

Einfluss der Probendicke auf das Messergebnis im Cone Calorimeter TCC 918

Andrea Rahner und Jörg Menzel, Applikationslabor Selb



1 Cone Calorimeter TCC 918

Einleitung

Die Analyse des Brandverhaltens von Materialien ist ein zentraler Bestandteil der sicherheitstechnischen Bewertung. Das Cone Calorimeter TCC 918 (Abbildung 1) ist ein etabliertes Prüfgerät zur Bestimmung wesentlicher Kenngrößen wie Wärmefreisetzungsrate (HRR), Massenverlust und Rauchgasemissionen. Neben der chemischen Zusammensetzung eines Werkstoffs können

auch physikalische Parameter, wie die Probengeometrie, das Brandverhalten und damit die Messergebnisse beeinflussen.

Gemäß ISO 5660-1 betragen die Standardabmessungen für Prüfkörper 100 mm × 100 mm bei einer Dicke zwischen 6 mm und 50 mm. Ziel dieser Untersuchung ist es, den Einfluss der Probendicke auf die Messergebnisse zu analysieren.

Versuchsaufbau und -bedingungen

Es wurden neun PMMA-Proben mit Dicken von 7 mm, 14 mm und ca. 19 mm untersucht (jeweils drei Messungen pro Dicke).

Die Proben wurden auf einem horizontalen Probenhalter positioniert, der auf einer Wägezelle montiert ist, zur kontinuierlichen Erfassung des Massenverlusts während der Messung. Die Wärmebelastung erfolgte über einen elektrischen Heizkegel (Cone Heater) mit konstanter Wärmeflussdichte von 50 kW/m². Die Zündung fand mittels Funkenzünder statt, nachdem sich ausreichend Pyrolysegase freigesetzt hatten. Die entstehenden Rauchgase wurden analysiert, um Massenstrom, Rauchgastemperatur sowie Konzentrationen von O₂, CO₂ und CO zu erfassen. Die Rauchdichte wurde mittels Lichttransmission bestimmt. Das Gasanalyse-System (Siemens Oxymat/Ultramat) wurde vor der Messreihe kalibriert, und der C-Faktor¹ mit einem Methanbrenner validiert. Die Messbedingungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Messbedingungen

Probenhalter	Horizontal
Proben und Dicke	PMMA mit ca. 7, 14, 19 mm
Wärmefluss	50 kW/m ²
Nominale Durchflussrate	24,0 l/s
Abstand zum Cone-Heizer	25 mm

¹Der C-Faktor ist eine in ISO 5660-1 definierte Kalibrierkonstante, die zur Bestimmung der Wärmefreisetzungsrate (HRR) verwendet wird. Er verknüpft das Signal des Sauerstoffanalysators mit der tatsächlich freigesetzten Wärmeenergie.

Messergebnisse

Zünd- und Erlöschzeiten (TOI, TOF)

Die Zeit bis zur Entzündung (Time of Ignition, TOI) ist erwartungsgemäß für alle Proben gleich und beträgt 22 Sekunden. Dies weist darauf hin, dass die Zündung primär durch Oberflächeneigenschaften und nicht durch die Materialdicke beeinflusst wird.

Im Gegensatz dazu zeigt die Zeit bis zum vollständigen Erlöschen der Flamme (Time of Flame off, TOF) eine deutliche Abhängigkeit von der Probendicke. Die 7-mm-Proben brannten durchschnittlich 597 s, die 14-mm-Proben 857 s und die 19-mm-Proben 1108 s (siehe Tabelle 2). Auffällig ist, dass bei gleichmäßiger Zunahme der Probendicke auch gleichmäßige Zeitdifferenzen im TOF beobachtet wurden. Daraus lässt sich eine annähernd lineare Abhängigkeit der TOF von der Probendicke ableiten, was eine einfache Interpolation für weitere Dicken ermöglicht.

Tabelle 2 Durchschnittliche Zünd- und Erlöschzeiten

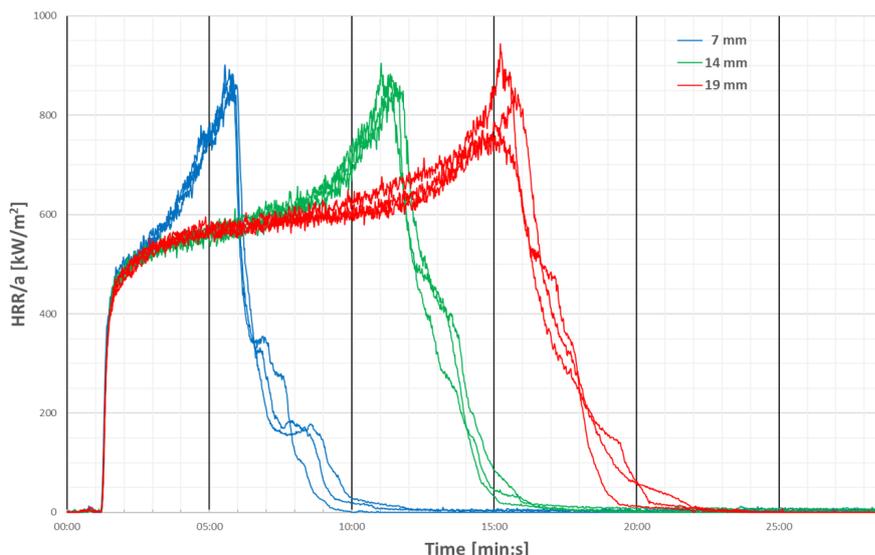
Probendicke	TOI	TOF
7 mm	22 s	597 s
14 mm	22 s	857 s
19 mm	22 s	1108 s

Wärmefreisetzung (HRR, THR)

Ein zentraler Aspekt der Analyse ist die Wärmefreisetzungsrates (Heat Release Rate, HRR), die die pro Zeiteinheit abgegebene Wärmemenge beschreibt.

Abbildung 2 zeigt die HRR-Verläufe der untersuchten PMMA-Proben mit unterschiedlichen Dicken: 7 mm (blau), 14 mm (grün) und 19 mm (rot). Die Auswertung der Wärmefreisetzungsrates zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Probendicken.

Die maximale HRR liegt bei allen Probendicken auf vergleichbarem Niveau ($\sim 880 \text{ kW/m}^2$), jedoch verschiebt sich zeitlich das Auftreten des Maximums mit zunehmender Probendicke systematisch zu späteren Zeitpunkten. Dies war zu erwarten, da dickere Materialien länger für die vollständige Aufheizung und Pyrolyse benötigen. Bei dünneren Proben werden flüchtige Bestandteile früher freigesetzt.



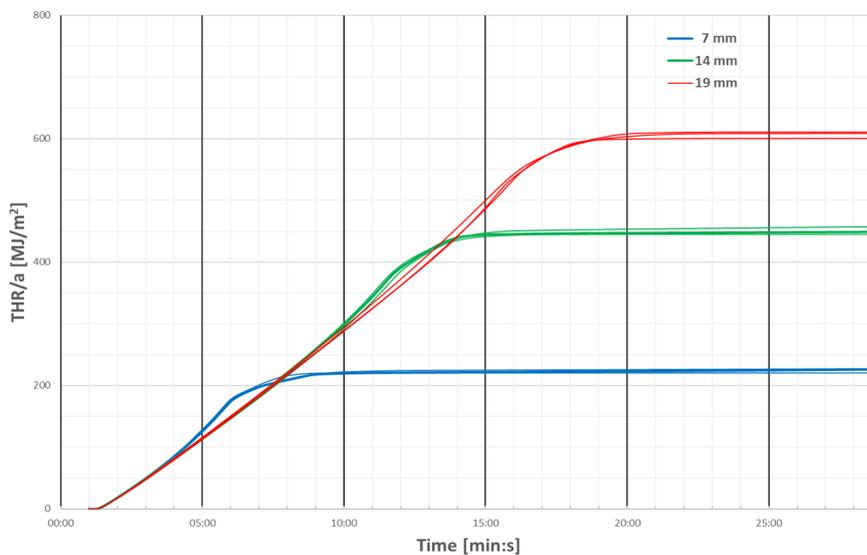
2 Verlauf der Wärmefreisetzungsrates (HRR) der PMMA-Proben mit unterschiedlichen Dicken

APPLICATIONNOTE Einfluss der Probendicke auf das Messergebnis im Cone Calorimeter TCC 918

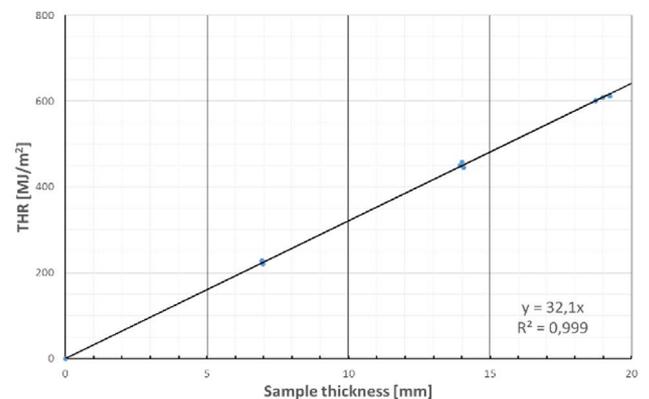
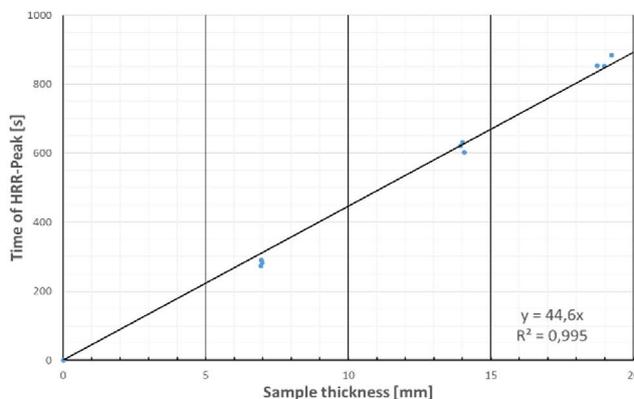
Die Gesamtwärmemenge (Total Heat Release, THR), die während der Verbrennung freigesetzt wird, entspricht dem Integral der HRR über der Zeit. Abbildung 3 stellt die THR-Verläufe dar. Mit zunehmender Probendicke steigen die THR-Werte erwartungsgemäß an.

Abbildung 4 zeigt den linearen Zusammenhang zwischen der Probendicke und a) dem Zeitpunkt des HRR-Maximums sowie b) der Gesamtwärmefreisetzung. Die

Korrelation bestätigt, dass bei vollständiger Verbrennung die THR im Wesentlichen durch die eingesetzte Materialmenge bestimmt wird. Die Linearität zwischen Probendicke, Brenndauer (TOF) und THR deutet auf eine weitgehend vollständige Umsetzung aller Proben hin. Durch zwei Einzelmessungen mit unterschiedlichen Probendicken lässt sich einfach auf entsprechende Werte für andere Probendicken umrechnen.



3 Verlauf der Gesamtwärmefreisetzung (THR) der PMMA-Proben mit unterschiedlichen Dicken

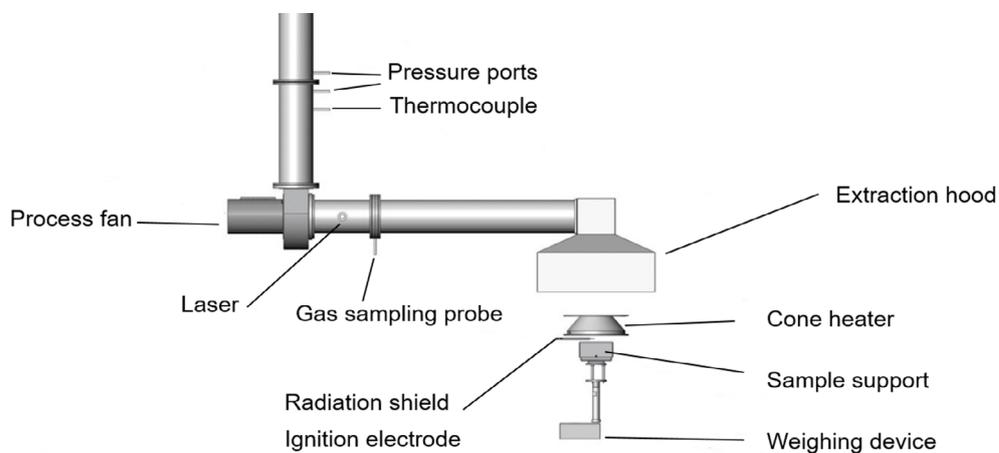


4 Zusammenhang zwischen Probendicke und a) Zeit des HRR-Maximums, b) Gesamtwärmefreisetzung (THR)

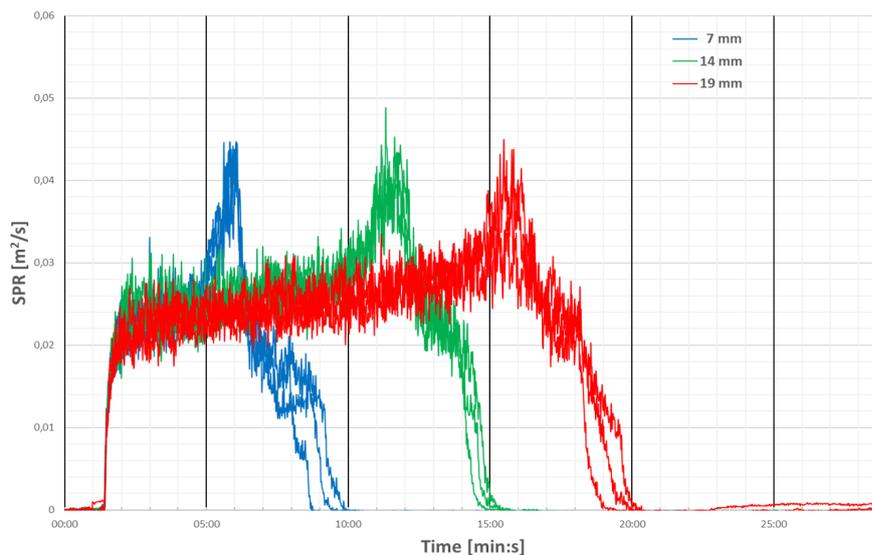
Rauchentwicklung (SPR, TSP)

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Untersuchung ist die Erfassung der Rauchentwicklung. Diese erfolgt über die Messung der Lichttransmission im Rauchgasstrom. Dabei wird ein Laserstrahl quer durch das Abluftrohr geführt (siehe Abbildung 5). Eine abnehmende Transmission signalisiert eine Zunahme der Rauchdichte.

Ähnlich wie bei der HRR wurde eine längere Zeit bis zum Erreichen des Maximums der Rauchgasproduktion (Smoke Production Rate, SPR) bei zunehmender Probendicke beobachtet. Die SPR-Kurven in Abbildung 6 zeigen, dass dünnere Proben schnell große Mengen an Rauchgasen freisetzen, während dickere Proben die Rauchfreisetzung über einen längeren Zeitraum verteilen. Dies spiegelt den verzögerten Pyrolyseverlauf wider, da dickere Proben länger zur vollständigen Zersetzung benötigen.



5 Schematischer Aufbau des TCC 918

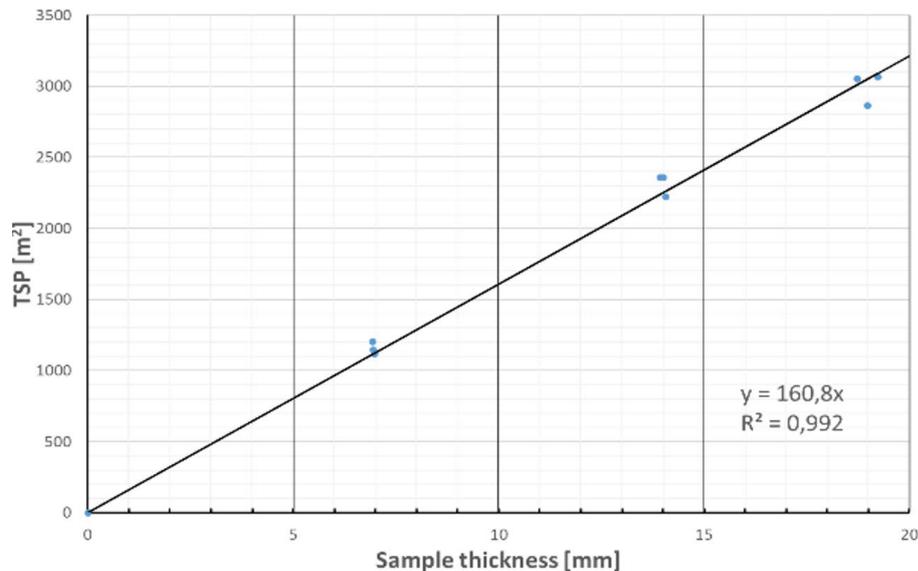


6 Verlauf der Rauchentwicklung (SPR) der PMMA-Proben mit unterschiedlichen Dicken

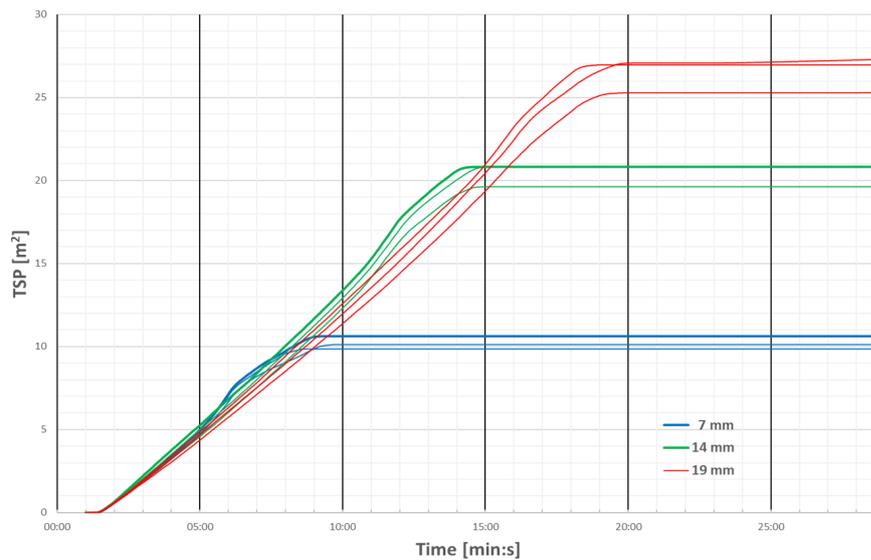
APPLICATIONNOTE Einfluss der Probendicke auf das Messergebnis im Cone Calorimeter TCC 918

Die aufsummierte Gesamtrauchproduktion (Total Smoke Production, TSP), dargestellt in Abbildung 7, steigt mit zunehmender Probendicke erwartungsgemäß an.

Abbildung 8 zeigt die nahezu lineare Beziehung zwischen Probendicke und der TSP. Dies bestätigt, dass bei vollständiger Umsetzung der Probenmasse auch die Gesamtrauchmenge im Wesentlichen durch die Materialmenge bestimmt wird.



7 Zusammenhang zwischen Probendicke und Gesamtrauchgasproduktion



8 Verlauf der Gesamtrauchentwicklung (TSP) der PMMA-Proben mit unterschiedlichen Dicken

Zusammenfassung

Die Probendicke hat einen erheblichen Einfluss auf die Brandparameter im Cone Calorimeter. Während die Zündzeit weitgehend konstant bleibt, steigen Brenndauer, THR und TSP mit zunehmender Probendicke annähernd linear an.

Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, bei vergleichenden Materialuntersuchungen stets identische Probendicken zu verwenden, um belastbare und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Dank der beobachteten Linearität können auf Basis von zwei Messungen Messergebnisse mithilfe einfacher Inter- bzw. Extrapolationen auf andere Dicken übertragen werden.

Da in der Praxis häufig Materialien mit unterschiedlichen Dicken in denselben Anwendungen zum Einsatz kommen, ist es für eine realistische brandschutztechnische Bewertung sinnvoll, Prüfungen unter anwendungsspezifischen Bedingungen – etwa mit typischen Bauteildicken oder realen Einbausituationen – durchzuführen. Nur so lässt sich das tatsächliche Brandverhalten verlässlich beurteilen und eine fundierte Materialauswahl treffen.