

Vergleichende Analyse der Rauchentwicklung modifizierter PVC-Materialien mit dem Cone Calorimeter TCC 918

Andrea Rahner, Applications Laboratory, und Kiran Chukka, R&D Project Engineer



1 Cone Calorimeter TCC 918

Einleitung

Polyvinylchlorid (PVC) wird in zahlreichen Anwendungen eingesetzt, bei denen erhöhte Anforderungen an den Brandschutz bestehen, beispielsweise in elektrischen Kabeln, Bauprodukten und technischen Kunststoffbauteilen. Aufgrund seines hohen Chlorgehalts zeigt PVC im Vergleich zu vielen anderen Thermoplasten eine relativ gute intrinsische Flammhemmung sowie eine ausgeprägte Rückstandsbildung während der thermischen Zersetzung.

Im Brandfall stellt jedoch insbesondere die Rauchentwicklung eine sicherheitsrelevante Herausforderung dar. Dichter Rauch kann die Sicht erheblich beeinträchtigen und Evakuierungsmaßnahmen erschweren.

Darüber hinaus können im Rauch enthaltene gasförmige und partikuläre Zersetzungsprodukte gesundheitliche Risiken für Personen sowie Einsatzkräfte darstellen.

Zur gezielten Reduzierung der Rauchentwicklung werden PVC-Materialien daher häufig durch gezielte Anpassung der Materialzusammensetzung modifiziert.

Die Cone-Kalorimetrie gemäß ISO 5660-1 zählt zu den etablierten Methoden zur quantitativen Bewertung des Brandverhaltens von Materialien. Sie gilt als eine der aussagekräftigsten Labormethoden zur experimentellen Analyse von Brandprozessen und liefert reproduzierbare Kennwerte für Zündverhalten, Wärmefreisetzung, Rauchentwicklung sowie Massenverlust unter definierten Wärmeflussbedingungen.

In dieser Application Note werden die Untersuchungsergebnisse an vier PVC-basierten Materialien vorgestellt. Eine Probe dient als Referenz, während die Varianten A, B und C modifizierte Formulierungen darstellen, die auf eine reduzierte Rauchentwicklung abzielen. Ziel der Untersuchung ist die vergleichende Bewertung des Brand- und Rauchverhaltens dieser Materialien unter identischen Prüfbedingungen mittels Cone-Kalorimetrie.

Messbedingungen

Die Untersuchungen wurden mit dem NETZSCH Cone Calorimeter TCC 918 (Abbildung 1) gemäß ISO 5660-1 durchgeführt, einem etablierten Prüfgerät für die experimentelle Analyse des Brandverhaltens unter definierten Wärmeflussbedingungen.

Die Proben wurden horizontal positioniert und mit einer konstanten Wärmeflussdichte von 50 kW/m^2 beaufschlagt. Während der Messung wurden die Wärmefreisetzungsrates (HRR), der Massenverlust sowie Kenngrößen zur Beschreibung der Rauchentwicklung, insbesondere die Rauchproduktionsrate (SPR) und die Gesamt-Rauchfreisetzung (TSR), kontinuierlich erfasst.

APPLICATIONNOTE Vergleichende Analyse der Rauchentwicklung modifizierter PVC-Materialien mit dem Cone Calorimeter TCC 918

Die wesentlichen Prüfparameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst:

Tabelle 1 Messbedingungen

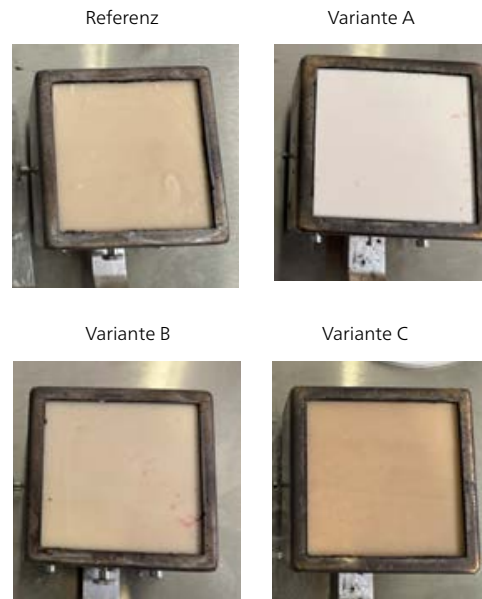
Probenhalter	Horizontal
Wärmefluss	50 kW/m ²
Nominale Durchflussrate	24,0 l/s
Abstand zum Cone-Heizer	25 mm
Probenmasse	42,8 g - 51,5 g

Abbildung 2 zeigt die Proben im Probenhalter vor der Messung.

Zündverhalten und Wärmefreisetzung

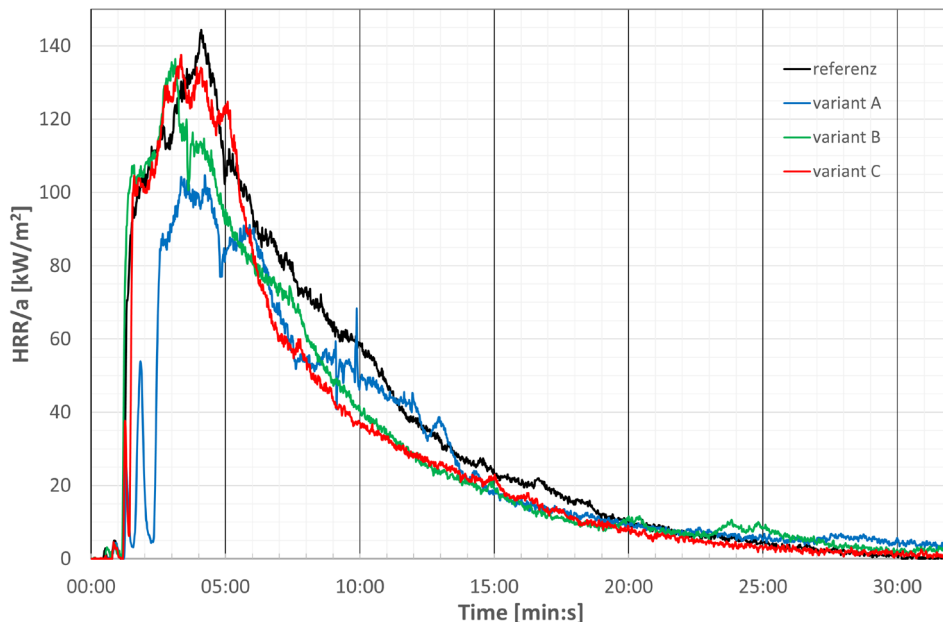
Alle untersuchten Materialien zündeten innerhalb eines Zeitbereichs von etwa 16 bis 20 s. Dieses Zündverhalten ist für PVC-Systeme unter einer externen Wärmeflussdichte von 50 kW/m² typisch.

Die Wärmefreisetzungsraten¹ bleiben insgesamt auf einem moderaten Niveau (Abbildung 3). Unterschiede zeigen sich hauptsächlich in der maximalen Wärmefreisetzungsrate (HRR_{max}). Das Referenzmaterial zeigt die höchste maximale Wärmefreisetzungsrate, während Variante A den niedrigsten HRR_{max} -Wert aufweist.



2 PVC-Proben vor der Messung im TCC 918

Insgesamt bleiben die Unterschiede jedoch begrenzt, sodass das grundlegende Verbrennungsverhalten der untersuchten PVC-Systeme als vergleichbar angesehen werden kann. Dies deutet darauf hin, dass die Materialmodifikationen primär das Rauchverhalten beeinflussen, während die grundlegenden Verbrennungsprozesse weitgehend unverändert bleiben.



3 Wärmefreisetzungsraten (HRR) der untersuchten PVC-Materialien

¹Die Wärmefreisetzungsrates ist ein Maß für die Intensität eines Brandes und die Geschwindigkeit der freigesetzten Wärmeleistung (kW/m²).

Rauchentwicklung als zentraler Differenzierungsparameter

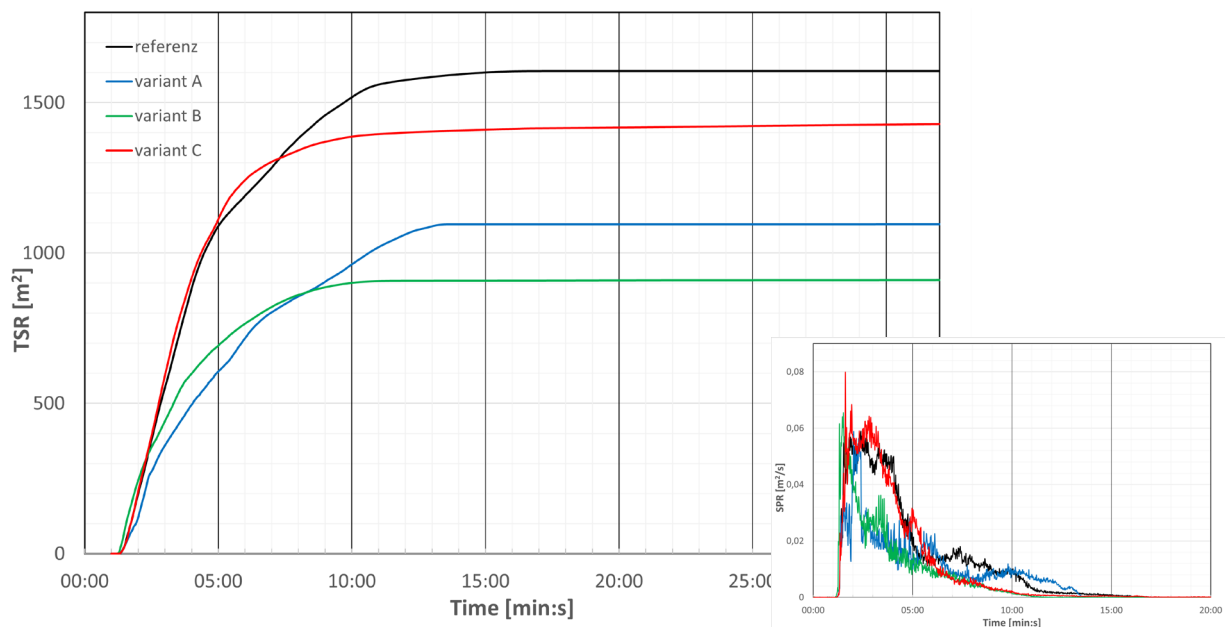
Die deutlichsten Unterschiede zwischen den untersuchten Materialien zeigen sich bei der Rauchentwicklung (Abbildung 4).

Das Referenzmaterial (schwarze Kurve) weist die höchste Gesamt-Rauchfreisetzung (TSR²) auf, während insbesondere Variante B (grüne Kurve) eine deutlich geringere Rauchentwicklung zeigt. Im Vergleich zum Referenzmaterial reduziert sich die Gesamt-Rauchfreisetzung um bis zu etwa 43 %.

Eine reduzierte Rauchfreisetzung kann im Brandfall zu verbesserten Sichtbedingungen beitragen und damit die Evakuierung sowie den Einsatz von Rettungskräften erleichtern. In realen Brandszenarien kann eine geringere Rauchproduktion somit dazu beitragen, kritische Sichtbedingungen später zu erreichen und die verfügbare Evakuierungszeit zu verlängern.

Neben der Gesamt-Rauchfreisetzung liefert die Rauchproduktionsrate (SPR) zusätzliche Informationen darüber, wie schnell Rauch während der Brandentwicklung freigesetzt wird. Dieser Parameter ist sicherheitsrelevant, da er beeinflusst, wie schnell kritische Sichtbedingungen im Brandfall entstehen können.

Trotz vergleichbarer Zündzeiten und ähnlicher Wärme-freisetzungsraten unterscheiden sich die Materialien somit deutlich im Rauchverhalten. Die Ergebnisse zeigen, dass durch gezielte Materialmodifikationen eine signifikante Reduktion der Rauchfreisetzung erreicht werden kann, ohne das grundlegende Verbrennungsverhalten der PVC-Systeme wesentlich zu verändern.



4 Rauchproduktionsrate (SPR) und Gesamt-Rauchfreisetzung (TSR)

²TSR (Gesamtrauchentwicklung) bezeichnet die kumulative Rauchmenge, die während der Verbrennung entsteht, und wird aus Messungen der Laserlichtdurchlässigkeit abgeleitet, die anhand der Lichtabschwächung gemäß dem Bouguer-Lambert-Gesetz ausgewertet werden.

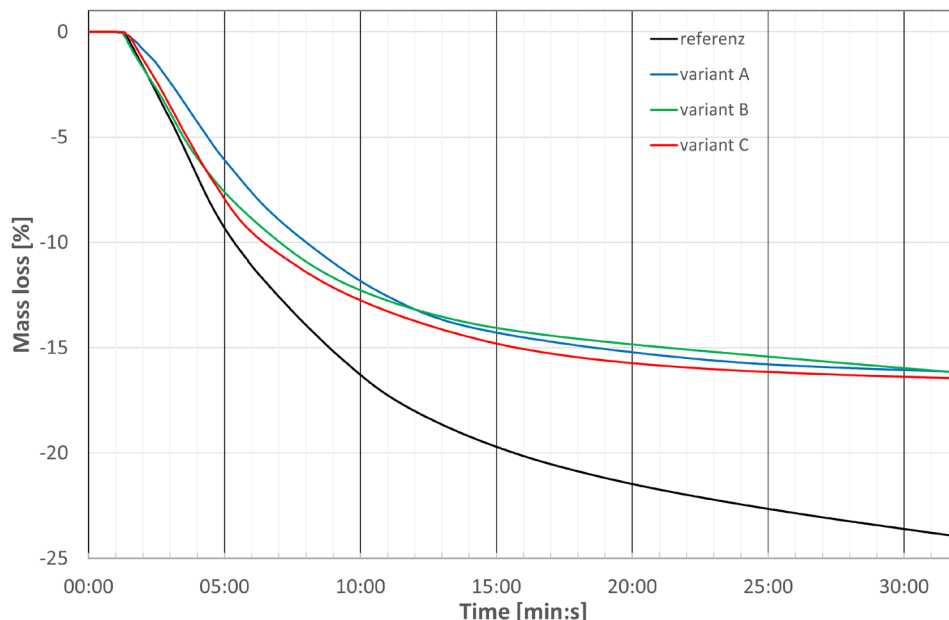
Massenverlust

Der relative Massenverlust beschreibt den thermischen Materialabbau während der Brandbeanspruchung und erlaubt Rückschlüsse auf das Zersetzungsverhalten der Materialien.

Das Referenzmaterial zeigt mit 23,95 % den höchsten relativen Massenverlust. Die Varianten A bis C weisen dagegen sehr ähnliche Werte von etwa 16,45 % auf (Abbildung 5).

Die zeitlichen Verläufe der Massenverlustkurven sind insgesamt vergleichbar, was darauf hindeutet, dass die Materialien einem ähnlichen thermischen Zersetzungsmechanismus folgen. Der geringere Massenverlust der modifizierten Varianten deutet jedoch auf eine höhere Rückstandsbildung während der Verbrennung hin.

Eine erhöhte Rückstandsbildung kann zur Reduzierung der flüchtigen Pyrolyseprodukte beitragen und damit auch die Rauchentwicklung beeinflussen. Für PVC-Systeme ist eine ausgeprägte Rückstandsbildung charakteristisch und steht häufig in Zusammenhang mit anorganischen Bestandteilen sowie Verkohlungsprozessen während der Brandbeanspruchung.



5 Relativer Massenverlust der PVC-Materialien während der Messung

APPLICATIONNOTE Vergleichende Analyse der Rauchentwicklung modifizierter PVC-Materialien mit dem Cone Calorimeter TCC 918

Zustand der Proben nach der Messung

Nach Abschluss der Messungen zeigen die Proben deutlich erkennbare Unterschiede in der Struktur und Stabilität der verbleibenden Rückstände (siehe Abbildung 6). Während alle Materialien eine charakteristische Verkohlung ausbilden, variieren Ausprägung und Oberflächenstruktur der Rückstände zwischen Referenzmaterial und den modifizierten Varianten.

Diese Unterschiede spiegeln die zuvor beobachteten Abweichungen im Materialabbau und in der Rauchfreisetzung wider. Insbesondere die modifizierten Varianten zeigen teilweise kompaktere Rückstandsstrukturen, was auf eine veränderte thermische Zersetzung und eine stärkere Stabilisierung des verbleibenden Materials während der Brandbeanspruchung hinweisen kann. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit den zuvor diskutierten Unterschieden im Massenverlust und in der Rauchfreisetzung.



6 PVC-Proben nach der Messung im TCC 918

Zusammenfassung

Die Cone-Kalorimetrie zeigte deutliche Unterschiede im Rauchverhalten der untersuchten PVC-Materialien, während Zündverhalten und Wärmefreisetzungsraten unter identischen Prüfbedingungen weitgehend vergleichbar blieben. Alle Materialien zündeten innerhalb eines Zeitbereichs von etwa 16 bis 20 s und zeigten insgesamt moderate Wärmefreisetzungsraten.

Die deutlichste Differenzierung zwischen den untersuchten Materialien zeigte sich bei der Rauchentwicklung. Insbesondere Variante B wies eine signifikant reduzierte Gesamt-Rauchfreisetzung auf und erreichte eine Verringerung von bis zu 43 % gegenüber dem Referenzmaterial. Eine reduzierte Rauchfreisetzung kann im Brandfall zu verbesserten Sichtbedingungen beitragen und damit Evakuierungsmaßnahmen sowie den Einsatz von Rettungskräften erleichtern.

Auch beim Massenverlust zeigten die modifizierten Varianten geringere Werte als das Referenzmaterial. Dies deutet auf eine erhöhte Rückstandsbildung während der Verbrennung hin, die mit einer geringeren Freisetzung flüchtiger Zersetzungsprodukte und damit auch mit einer reduzierten Rauchentwicklung in Zusammenhang stehen kann.

Die Ergebnisse belegen, dass bereits gezielte Anpassungen der Materialzusammensetzung einen deutlichen Einfluss auf das Brand- und Rauchverhalten von PVC-Systemen haben können. Die Cone-Kalorimetrie ermöglicht dabei eine reproduzierbare und quantitative Charakterisierung zentraler Brandparameter unter definierten Prüfbedingungen.

Das NETZSCH Cone Calorimeter TCC 918 bietet damit eine leistungsfähige Methode zur vergleichenden Bewertung unterschiedlicher Materialformulierungen und unterstützt Entwicklungsprozesse zur Optimierung des Brand- und Rauchverhaltens polymerer Werkstoffe.