

DIN 18232-7



ICS 13.220.99

**Rauch- und Wärmefreihaltung –
Teil 7: Wärmeabzüge aus schmelzbaren Stoffen; Bewertungsverfahren
und Einbau**

Smoke and heat control systems –

Part 7: Heat exhaust ventilators made of meltable materials; Assessment procedure and installation

Systèmes pour le contrôle des fumées et de la chaleur –

Partie 7: Systèmes d'évacuation de la chaleur à base de matières fusibles; Méthodes d'évaluation et mise en place

Gesamtumfang 40 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	6
5 Bewertungsgrundlagen	7
6 Thermischer Trägheitsindex TTI	8
6.1 Allgemeines	8
6.2 Bestimmung ohne Versuch.....	10
6.2.1 Schritte des Verfahrens	12
6.3 Bestimmung mit Versuch.....	12
6.3.1 Allgemeines	12
6.3.2 Schritte des Verfahrens	12
7 Praktische Anwendung im Rahmen ingenieurmäßiger brandschutztechnischer Nachweisverfahren	12
7.1 Allgemeines	12
7.2 Schritte des Verfahrens.....	13
7.3 Anwendungsgrenzen von Handrechenverfahren.....	13
7.4 Anwendung in Zonen- und Feldmodellen	14
8 Einbau	15
8.1 Einbau in Dächern.....	15
8.2 Einbau in Wänden	15
Anhang A (informativ) TTI-Wert und Bestimmung der Temperatur des Wärmeabzuges	17
Anhang B (informativ) Rechenbeispiel zur Anwendung der Norm	22
B.1 Allgemeines	22
B.2 Feststellen der Schmelzzeiten mit Versuch	22
B.3 Berechnung der Schmelzzeit ohne Versuch	24
B.4 Berechnung des TTI-Wertes	26
B.5 Schlussfolgerungen.....	26
Anhang C (informativ) Kopplung dieser Norm mit DIN 18230-1 bzw. der IndBauRL	29
Anhang D (informativ) Berechnung von Temperaturen an Auslöseelementen	34
D.1 Allgemeines	34
D.2 Ceiling Jet für Räume großer Grundfläche mit Decken ohne Strömungshindernisse	35
D.3 Ceiling Jet nach ISO 16736	35
D.4 Ceiling Jet für Korridore und ähnliche Geometrien	36
D.5 Ceiling Jet nach Mowrer.....	36
Anhang E (informativ) Bewertungsverfahren	39
Literaturhinweise	40

Bilder

Bild 1 — Beispiel für eine TTI-Bestimmung aus Versuchsergebnissen	10
Bild 2 — Mögliche Lage von Öffnungen in Außenwänden und im Dach zur Verwendung als WA.....	16
Bild A.1 — Wärmeübertragung an einem Detektor	17
Bild A.2 — Temperaturverlauf im Wärmeabzug	21
Bild B.1 — Beispiel für einen Versuchsstand für Abschmelzversuche	23
Bild B.2 — Der für die Berechnung verwendete zeitliche Verlauf der Brandrauchttemperatur unterhalb der Lichtkuppel.....	24
Bild B.3 — Zeitliche Temperaturverläufe für den Versuch	25
Bild B.4 — Haupteingabemenü „TTIware“	27
Bild B.5 — Ergebnisblatt für den Versuch	28
Bild C.1 — Zusammenhang zwischen TTI-Wert und Auslösezeit für verschiedene Schmelztemperaturen	30
Bild C.2 — Zusammenhang zwischen Auslösezeit und Schmelztemperatur für verschiedene TTI-Werte	30
Bild C.3 — Zusammenhang zwischen Auslösezeit, Schmelztemperatur und TTI-Wert	31
Bild C.4 — Zusammenhang zwischen TTI-Wert und Auslösezeit für verschiedene Schmelztemperaturen im Vergleich zur Interpolationsfunktion	32
Bild C.5 — Zusammenhang zwischen Auslösezeit und Schmelztemperatur für verschiedene TTI-Werte im Vergleich zur Interpolationsfunktion	33
Bild E.1 — Übersicht über die mit dieser Norm möglichen Bewertungsverfahren	39

Tabellen

Tabelle 1 — Rechenwerte für Stoffwerte thermoplastischer WA (für reine, unverstärkte Stoffe).....	11
Tabelle B.1 — Aus Versuchsergebnis berechneter TTI-Wert für zweischalige PMMA-Lichtkuppel.....	26
Tabelle C.1 — Berechnete Stützstellen für die Auslösezeiten unter ETK-Temperaturbelastung	29
Tabelle D.1 — Faktoren k_T und k_U bei einen eingeschränkten oder einen uneingeschränkten Ceiling Jet.....	37
Tabelle D.2 — Typische Werte für den Exponenten n aus Gleichung (D.18)	37
Tabelle D.3 — Auswahl an möglichen Werten für die Brandausbreitungsgeschwindigkeit k.....	38

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Bauwesen (NABau), Arbeitsausschuss NA 005-52-32 AA „Rauch- und Wärmefreihaltung“ erarbeitet.

DIN 18232 *Rauch- und Wärmefreihaltung* besteht aus:

- Teil 1: *Begriffe, Aufgabenstellung*;
- Teil 2: *Natürliche Rauchabzüge, Bemessung, Anforderungen und Einbau*;
- Teil 4: *Wärmeabzüge (WA) – Prüfverfahren*;
- Teil 5: *Maschinelle Rauchabzüge (MRA) – Anforderungen, Bemessung*;
- Teil 6: *Maschinelle Rauchabzüge (MRA) – Anforderungen an die Einzelbauteile und Eignungsnachweise (Vornorm)*;
- Teil 7: *Wärmeabzüge aus schmelzbaren Stoffen – Bewertungsverfahren und Einbau*

Teil 6 der Normenreihe DIN 18232 wird in absehbarer Zeit durch Europäische Normen (DIN EN 12101-3 bzw. DIN EN 12101-7) ersetzt.

Die in dieser Norm benannten Rechenverfahren beinhalten keine Sicherheitszuschläge; Zuschläge können als Vergrößerung der Wärmeabzugsfläche gewählt werden.

In der Muster-Industriebaurichtlinie (M IndBauRL) werden z. B. nach Abschnitt 6, Tabelle 1 bzw. nach Abschnitt 7 für die brandschutztechnische Bemessung von Brandabschnitten Wärmeabzugsflächen eines definierten Anteils der Grundfläche vorausgesetzt. Hierbei ist eine Differenzierung des Ausschmelzverhaltens schmelzbarer Abdeckungen von Wärmeabzügen (WA) nicht berücksichtigt. Die nachfolgende Norm dient einer Bewertung des Ausschmelzverhaltens der verwendeten Materialien. In Verbindung mit weiteren ingenieurmäßigen Verfahren ermöglicht die Norm damit eine differenziertere Bewertung (siehe auch Anhang C).

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Bewertung und den Einbau von Wärmeabzugsflächen aus schmelzbaren Stoffen. Derartige Wärmeabzugsflächen werden z. B. bei Räumen, die direkt unter dem Dach liegen, bevorzugt als Dachwärmeabzüge eingebaut. Sie können aber auch in Außenwänden eingebaut werden.

Natürliche Rauchabzüge z. B. nach DIN EN 12101-2 können unter bestimmten Voraussetzungen als Wärmeabzugsfläche angerechnet werden.

Mit den hier beschriebenen Verfahren können Wärmeabzüge (WA) bewertet werden, die sich aufgrund eines schmelzbaren Verhaltens ihrer Abdeckungen von Durchdringungen durch thermische Einwirkung öffnen und hierdurch die Funktion eines Wärmeabzugs im Sinne von DIN 18232-4 übernehmen.

Diese Norm enthält Hinweise und Festlegungen, die bei der Anwendung dieser Bewertungsregeln und beim Einbau von WA zu beachten sind.

Mit den hier veröffentlichten Bewertungsregeln können der Zeitpunkt des Öffnungsbeginns und die zeitliche Änderung der freigegebenen Öffnungsfläche eines im Brandfall durch Wärmeeinwirkung zerstörbaren Wärmeabzugs bis zu dessen nahezu vollständiger Öffnung über sein Materialverhalten (z. B. Aufschmelzen, Aufreißen) bestimmt werden. Gegenwärtig sind die Bewertungsregeln auf horizontal oder nahezu horizontal eingebaute WA beschränkt.

Darüber hinaus kann mit den in dieser Norm gegebenen Regeln auch das Ansprechverhalten von Detektoren, die auf die Kenngröße Wärme ansprechen (z. B. Glasfässchen, Bimetalle) bewertet werden.

Diese Bewertungsregeln können z. B. in eine Bewertung nach DIN 18230-1 einfließen oder auch als Grundlage für die Anwendung von Ingenieurverfahren im Brandschutz dienen (siehe Anhang C).

Das Verfahren ist auf nichtthermoplastische Abdeckungen von Durchdringungen nicht anwendbar, da sich diese wie z. B. Glas nach dem derzeitigen Wissensstand in nicht reproduzierbarer Weise bei thermischer Belastung verhalten.

ANMERKUNG 1 Der Zeitpunkt des Öffnungsbeginns und Angaben zum weiteren zeitlichen Verlauf des jeweiligen Flächenanteils der offenen Fläche bezogen auf die Gesamtfläche von sich unter thermischer Belastung öffnenden Wärmeabzügen aus Glas ist nicht generell vorhersagbar, da dies von zahlreichen Einflüssen (z. B. Größe der Einzelflächen, Materialdicken, Beschichtungen, Verstärkungen, Einbaulage, Rahmenmaterial und Art der Einspannung) abhängt.

ANMERKUNG 2 Natürliche Rauch- und Wärmeabzüge (NRA) nach DIN 18232-2 bzw. DIN EN 12101-2 können, da sie neben den Rauchgasen auch Wärme ableiten, als Wärmeabzug genutzt werden. NRA lösen aufgrund der zur Anwendung kommenden Auslösemechanismen auch früher aus als WA mit schmelzbaren Abdeckungen. Abschmelzbare Wärmeabzugsflächen können deshalb im Rahmen von Bemessungen von ganzheitlichen Brandschutzkonzepten nicht als NRA angerechnet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 4102-2, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen — Bauteile — Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*

DIN 18230-1, *Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer*

DIN 18232-1, *Rauch- und Wärmefreihaltung — Teil 1: Begriffe, Aufgabenstellung*

DIN 18232-4, *Rauch- und Wärmefreihaltung — Teil 4: Wärmeabzüge (WA); Prüfverfahren*

DIN EN 54-7, *Brandmeldeanlagen — Teil 7: Rauchmelder — Punktförmige Melder nach dem Streulicht-, Durchlicht- oder Ionisationsprinzip*

DIN EN 12101-1, *Rauch- und Wärmefreihaltung — Teil 1: Bestimmungen für Rauchschürzen*

DIN EN 12101-2, *Rauch- und Wärmefreihaltung — Teil 2: Bestimmungen für natürliche Rauch- und Wärmeabzugsgeräte*

DIN EN 12101-3, *Rauch- und Wärmefreihaltung — Teil 3: Bestimmungen für maschinelle Rauch- und Wärmeabzugsgeräte*

DIN EN 1363-1, *Feuerwiderstandsprüfungen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

DIN VDE 0833-2 (VDE 0833 Teil 2), *Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall — Teil 2: Festlegungen für Brandmeldeanlagen (BMA)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 18232-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

schmelzbare Abdeckung einer Durchdringung

bildet nach dem Abschmelzen den Wärmeabzug und besteht z. B. aus Polymethylmetacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC), Polyvinylchlorid (PVC), Styrol-Acrylnitril (SAN)

3.2

Response Time Index

RTI (en: Response Time Index; de: Kenngröße für dynamisches Ansprechverhalten)

Kennwert für die dynamische Ansprechempfindlichkeit eines thermischen Auslöseelements, wie z. B. Glasfasselement bei Sprinklern, thermisch ausgelösten Rauchabzügen oder Schmelzlotelement

3.3

thermischer Trägheitsindex

TTI

gibt eine materialspezifische Eigenschaft der schmelzbaren Abdeckung an, aus dem der mittlere Temperaturverlauf der schmelzbaren Abdeckung des Wärmeabzugs und die Öffnungszeit unabhängig vom zugrunde liegenden Brandszenarium berechnet werden kann

4 Symbole und Abkürzungen

A	Fläche	m^2
c_p	spezifische Wärmekapazität	$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
C_x	x-ter Koeffizient	
m	Masse	kg
q_{conv}	konvektive Brandleistung	kW
RTI	Response Time Index (de: Kenngröße für dynamisches Ansprechverhalten)	$(\text{m} \cdot \text{s})^{0,5}$
RS	Index für die Strömung des heißen Brandrauchs	
t	Zeit	s
t_r	Auslösezeit des Wärmeabzugs	s
T_g	Temperatur der Umgebung	K
T_r oder T_{Schmelz}	Schmelz-Temperatur bzw. Auslösetemperatur des Wärmeabzugs	K
T_{RS}	Temperatur der heißen Brandrauchströmung	K
T_{WA}	Temperatur am Wärmeabzug	K
TTI	thermischer Trägheitsindex	$(\text{m} \cdot \text{s})^{1/2}$
WA	Wärmeabzug	
α	Wärmeübergangszahl	$\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
τ	Zeitkonstante	s
v	Geschwindigkeit	m/s

5 Bewertungsgrundlagen

Der Beginn des Öffnens von Wärmeabzügen sowie die zeitliche Vergrößerung der freigegebenen Öffnungsfläche können für schmelzbare Materialien durch das Prüfverfahren nach DIN 18232-4 an praxisgerecht in einen Versuchsstand eingebauten Prüfkörpern ermittelt werden.

Zusätzlich kann durch Anwendung von in dieser Norm benannten Verfahren der Öffnungszeitpunkt vorhergesagt und damit ebenfalls eine Bewertung des Öffnungsverhaltens unterschiedlicher Wärmeabzüge durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Die Ergebnisse aus diesen Bewertungsverfahren können z. B. im Rahmen von Brandschutzkonzepten in verschiedenen Nachweisverfahren verwendet werden, um den Einfluss der Wärmeabzüge im zeitlichen Verlauf des Brandgeschehens bei einem Bauwerk vorherzusagen zu können.

Die Bewertung des Öffnungsverhaltens der Wärmeabzüge erfordert die Berücksichtigung mehrerer, im Folgenden benannter, aufeinander aufbauender Arbeitsschritte.

ANMERKUNG 2 Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist auch im Bild E.1 dargestellt.

Arbeitsschritt 1a Es werden Brandversuche nach DIN 18232-4 (Prüfstand nach DIN 4102-2 bzw. DIN EN 1363-1) oder einem anderen geeigneten Prüfverfahren¹⁾ an Wärmeabzügen durchgeführt. Der in einem Dach einzubauende Wärmeabzug ist hierbei oberhalb des Abgasstroms außerhalb des unmittelbaren Einwirkungsbereichs der Flammen einer Brandlast anzuordnen. Dabei ist der zeitliche Verlauf der Brandleistung so zu steuern, dass das Öffnungsverhalten des jeweils eingebauten Prüfkörpers zuverlässig bestimmt werden kann.

Oder

Arbeitsschritt 1b Es werden Berechnungen der Temperaturverteilung in der schmelzbaren Abdeckung von WA bei realen Bränden, bis zu ihrem vollständigen Abschmelzen durch Lösung der instationären Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung von Schmelzprozessen durchgeführt (z. B. durch Anwendung des in [2] benannten Rechenverfahrens). Damit ist auch eine Nachrechnung von Versuchsergebnissen nach Arbeitsschritt 1a möglich.

Und

Arbeitsschritt 2 Anwendung des in Abschnitt 6 angegebenen Rechenverfahrens zur Bestimmung eines thermischen Trägheitsindex für schmelzbare Wärmeabzüge aus bei Brandversuchen nach Arbeitsschritt 1a oder rechnerischen Vorhersagen nach Arbeitsschritt 1b ermittelten Kennwerten.

Die Anwendung des Bewertungsverfahrens nach den Arbeitsschritten 1a oder 1b, jeweils in Verbindung mit Arbeitsschritt 2, erfolgt für Wärmeabzüge in Bauwerken im Rahmen brandschutztechnischer Nachweise.

Auf den Arbeitsschritt 2 kann auch verzichtet werden, wenn das Verfahren nach Arbeitsschritt 1b unmittelbar im Rahmen brandschutztechnischer Nachweise angewendet wird.

Und

Arbeitsschritt 3 Die Verwendung des TTI-Wertes im Rahmen brandschutztechnischer Nachweise erfolgt nach Abschnitt 7.

1) Z. B. Prüfstand nach DIN 18234-1:2003-09, 6.1 (Maße ($b \times l \times h$) 4,5 m $\times$ 11,0 m $\times$ 4,0 m), wobei der Wärmeabzug 5 m von der hinteren Querwand und der unmittelbar davor anzuordnenden Brandlast entfernt eingebaut wird.

6 Thermischer Trägheitsindex TTI

6.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt wird ein Rechenverfahren zur Bestimmung eines thermischen Trägheitsindex (TTI) für schmelzbare Abdeckungen von WA aus bei Brandversuchen oder durch Wärmeleitungsrechnung ermittelten Daten beschrieben. Mit dem TTI-Wert wird eine materialspezifische Eigenschaft der schmelzbaren Abdeckung angegeben, aus der der mittlere Temperaturverlauf der schmelzbaren Abdeckung des WA und die Öffnungszeit unabhängig vom zugrunde liegenden Brandszenarium berechnet werden kann.

ANMERKUNG 1 In Anlehnung an die bei der Bestimmung des Auslöseverhaltens von Sprinklern verwendete Modellvorstellung wird die thermische Trägheit durch einen grundsätzlich dem RTI-Wert ähnlichen, diesem jedoch nicht unmittelbar gleichzusetzenden thermischen Trägheitsindex dargestellt.

ANMERKUNG 2 Einflussfaktoren für den RTI-Wert sind u. a.:

- die Masse und Art des verwendeten Materials eines thermischen Auslöseelements,
- spezifische Wärmekapazität und die sonstigen Stoffkennwerte,
- der Strömung ausgesetzte Masse,
- eine Wärmeübergangszahl in Abhängigkeit der Strömungsverhältnisse.

ANMERKUNG 3 Einflussfaktoren für den TTI-Wert sind u. a.:

- die Masse des in der Fläche verwendeten Materials der Abdeckung der Durchdringung (Rahmenanteile können vernachlässigt werden),
- spezifische Wärmekapazität und die sonstigen Stoffkennwerte,
- die der Strömung ausgesetzte Fläche,
- eine Wärmeübergangszahl in Abhängigkeit der Strömungsverhältnisse.

Es wird bei schmelzbaren Abdeckungen von WA folgende Modellvorstellung umgesetzt:

Der Temperaturanstieg ΔT_{WA} einer schmelzbaren Abdeckung von WA errechnet sich nach der folgenden Gleichung mit Δt in s:

$$T_{WA,t+\Delta t} = (T_{RS,t+\Delta t} - T_{WA,t}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}\right) + (T_{RS,t+\Delta t} - T_{WA,t}) \cdot \frac{\tau}{\Delta t} \cdot \left(e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} + \frac{\Delta t}{\tau} - 1\right) + T_{WA,t} \text{ in K/s} \quad (1)$$

wobei die Zeitkonstante τ über den TTI-Wert und die Geschwindigkeit der Strömung in Gleichung (2) definiert sind.

$$\tau = \frac{TTI}{\sqrt{v_{RS,t}}} \text{ in s} \quad (2)$$

$$TTI = \sqrt{v_{RS,t}} \cdot (m_{c_p})_{WA} / (\alpha \cdot A) \text{ in (ms)}^{0,5} \quad (3)$$

Dabei ist

t	die Zeit in s;
m	die Masse in kg;
c_p	die spezifische Wärmekapazität in kJ/(kg K);
τ	die Zeitkonstante in s;
α	die Wärmeübergangszahl in W/m ² K;
A	die Fläche in m ² ;
v	die Geschwindigkeit in m/s;
WA	der Index für Wärmeabzug;
RS	der Index für die Strömung des heißen Brandrauchs.

Der TTI-Wert wird beeinflusst durch die Masse des in der Fläche verwendeten Materials der Abdeckung der Durchdringung, seiner spezifischen Wärmekapazität, einer Wärmeübergangszahl und der Strömungsgeschwindigkeit.

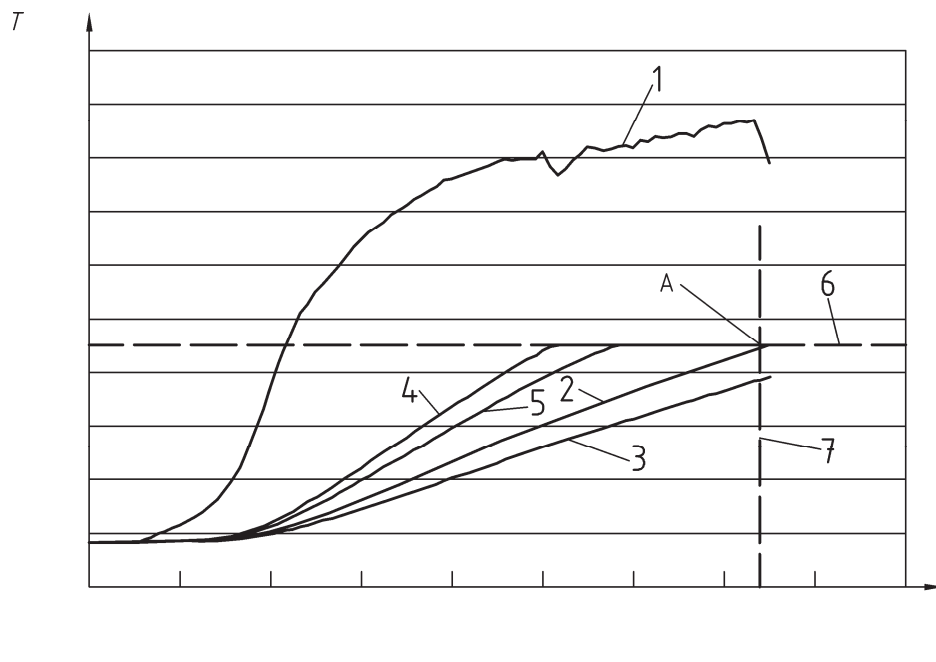
Die Gleichung (1) wird dazu verwendet, um bei vorgegebenem zeitlichen Verlauf der Temperatur des heißen Brandrauchs denjenigen Zeitpunkt zu ermitteln, bei dem in der Abdeckung des WA die Schmelztemperatur erreicht ist.

Man beginnt hierbei mit einem Schätzwert für den TTI-Wert. Der sich bei der Lösung der Gleichung (1) für diesen TTI-Wert ergebende Zeitpunkt wird danach verglichen mit derjenigen Schmelzzeit, die sich aus einem Versuch nach Arbeitsschritt 1a oder dem Rechenverfahren zur Lösung der instationären Wärmeleitungsgleichung nach Arbeitsschritt 1b ergeben hat.

Im Weiteren wird der gewählte TTI-Wert solange variiert, bis sich eine Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis für die Schmelzzeit nach Gleichung (1) mit der experimentell bzw. rechnerisch ermittelten Schmelzzeit ergeben hat.

Im Folgenden ist diese Vorgehensweise an einem praktischen Beispiel dargestellt.

Die durch „TTI-Wert 1“ bis „TTI-Wert 3“ bezeichneten Kurven beziehen sich entsprechend untenstehenden Angaben auf Schätzwerte, um den TTI-Wertebereich im Hinblick auf die angestrebte Lösung einzugrenzen. Dieser Vorgang ist beispielhaft im Diagramm Bild 1 wiedergegeben. Der Punkt „A“ steht für den Zeitpunkt, an dem die gemessene Abschmelzzeit mit der Abschmelzzeit aufgrund des nach dem vorgeschriebenen Verfahren angenäherten und TTI-Wertes deckungsgleich ist. Dieser TTI-Wert ist dann die gesuchte Größe.



Legende

- 1 Temperatur Brandgase unterhalb des Wärmeabzugs
- 2 Materialtemperatur des Wärmeabzugs für maßgebenden TTI-Wert
- 3 Materialtemperatur des Wärmeabzugs TTI-Wert 1
- 4 Materialtemperatur des Wärmeabzugs TTI-Wert 2
- 5 Materialtemperatur des Wärmeabzugs TTI-Wert 3
- 6 Schmelztemperatur des Materials
- 7 Schmelzzeitpunkt aus Versuch
- A siehe oben im Text direkt oberhalb des Bildes
- t Zeit
- T Temperatur

Bild 1 — Beispiel für eine TTI-Bestimmung aus Versuchsergebnissen

ANMERKUNG 4 Es steht ein Rechenverfahren als Tabellenkalkulation (unter dem Namen „TTIware“) zur Verfügung, bei dem diese TTI-Bestimmung automatisiert iterativ abläuft. Dieses Verfahren steht unter www.ciw.uni-karlsruhe.de/ffb/, www.brandschutz-agb.de und www.fvrlr.de kostenfrei zum Download bereit.

6.2 Bestimmung ohne Versuch

Der Abschmelzzeitpunkt schmelzbarer Abdeckungen von WA wird für reale Brände als Ergebnis der Anwendung eines Rechenverfahrens zur Lösung der instationären Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung von Schmelzprozessen und unter Zugrundelegung der maßgeblichen thermophysikalischen Stoffwerte des WA ermittelt.

Bei Verwendung temperaturabhängiger Stoffwerte in Verbindung mit Schmelz- oder Zersetzungsprozessen, wie diese bei höherer thermischer Belastung verschiedener Kunststoffprodukte auftreten können, ist eine explizite analytische Lösung für die instationäre Wärmeleitungsgleichung nicht möglich. Numerische Lösungen können z. B. mittels Differenzen- oder Finite-Elemente-Verfahren ermittelt werden. In dem in [2] beschriebenen Simulationsprogramm wird der zu untersuchende Körper mittels eines Gitters diskretisiert, die Differentialgleichung wird linearisiert und mittels eines Differenzenverfahrens (z. B. unter Verwendung des Algorithmus nach Crank-Nicholson) numerisch gelöst. Die zur Validierung des Rechenverfahrens verwendeten Vergleichsdaten stammen aus [1] und [3].

ANMERKUNG 1 Mechanische Einwirkungen wie z. B. Verformung durch Eigengewicht oder Einspannung im Rahmen können bei diesem Rechenverfahren bisher nicht berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Das Verfahren ist im derzeitigen Entwicklungsstand nur für plattenförmige monolithische Werkstoffe wie z. B. herkömmliche ein- oder mehrschalige Lichtkuppeln anwendbar, die keine abstützenden Stege mit Hohlräumen aufweisen. Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens für z. B. Stegmehrfachplatten ist deshalb noch nicht möglich, weil unter gleichen Bedingungen der thermischen Belastung die Stege zu einer Stabilitätssteigerung mit der Folge langsameren Öffnens als bei ein- oder mehrschaligen Aufbauten mit Luftzwischenraum führen. Mehrschaligkeit von schmelzbaren Abdeckungen von WA mit zwischenliegenden Luftschichten kann dagegen aufgrund vorliegender Validierungsversuche und Vergleichsrechnungen berücksichtigt werden, indem die Gesamtdicke des mehrlagigen Schalenaufbaus als „quasi monolithische Dicke“ der Platte verwendet wird. Dies ist derzeit bis 5 mm Gesamtdicke der schmelzbaren Schalen in mehrschaligen thermoplastischen Abdeckungen von Durchdringungen nachgewiesen. Für die Ermittlung der Schmelzzeit ohne Versuch sind für die Wärmeübergangszahl α der Wert $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und für die Strahlungsaustauschgröße φ der Wert 0,25 zu verwenden. Diese Werte sind gültig für den in Anhang B (informativ) beschriebenen Versuchsstand und beziehen sich auf das in [2] beschriebene Rechenverfahren.

Wesentlich ist die Kenntnis der jeweiligen thermophysikalischen Stoffwerte und der Wärmeübergangsvorgänge, insbesondere auf der Innenseite der Wärmeabzüge.

ANMERKUNG 3 Im Rahmen der hier normierten Bewertungsverfahren wird die Schmelztemperatur für das jeweilige Material als fester Wert angenommen, auch wenn diese Größe beim realen Schmelzverhalten eher durch einen Temperaturbereich charakterisiert wird. Ebenso wird die Schmelzwärme dieser festen materialspezifischen Schmelztemperatur zugeordnet, obwohl in der Realität endotherme Vorgänge ebenfalls über einen größeren Temperaturbereich ablaufen.

Folgende Stoffwerte können für die Berechnungen von thermoplastischen WA mit Materialien aus Tabelle 1 zugrunde gelegt werden. Für andere Materialien mit vergleichbarem Ausschmelzverhalten können Stoffwerte durch eingeführte Messverfahren (z. B. Differential-Thermoanalyse) ermittelt werden.

Tabelle 1 — Rechenwerte für Stoffwerte thermoplastischer WA (für reine, unverstärkte Stoffe)

Stoff	Wärmeleitfähigkeit $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Dichte kg/m^3	Wärmekapazität $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	Schmelztemperatur K	Schmelzwärme J/kg
PMMA Polymethylmetacrylat	0,18	1 180	1 500	513	96 000
PC Polycarbonat	0,21	1 200	1 170	498	145 000
PVC Polyvinylchlorid	0,15	1 400	850	513	176 000
SAN Styrol-Acrylnitril	0,17	1 080	1 200	379	460 000
PET-G Polyethylenterephthalat-Glycol	0,24	1 400	—	513	—

6.2.1 Schritte des Verfahrens

- a) Festlegung der zeitabhängigen Temperatur- und Geschwindigkeitsverläufe der Brandgase an der dem WA zugewandten Seite.
- b) Aus der Lösung der instationären Wärmeleitungs-Gleichung ist derjenige Zeitpunkt als Schmelzzeitpunkt maßgebend, bei dem der WA vollständig abgeschmolzen ist.

ANMERKUNG Die Daten (Temperatur und Geschwindigkeit) aus a) sind als Randwerte in die Berechnung der instationären Wärmeleitungs-Gleichung zu überführen. Aus der numerischen Lösung der Wärmeleitungs-Gleichung erhält man den zeitlichen Temperaturverlauf im thermoplastischen WA bis zu dem Zeitpunkt, in dem dieser vollständig abgeschmolzen ist.

- c) Berechnung des TTI-Wertes mit Rechenverfahren nach Abschnitt 6.

6.3 Bestimmung mit Versuch

6.3.1 Allgemeines

Für massive monolithische schmelzbare Materialien (wenn z. B. die erforderlichen Eingangskennwerte nach Tabelle 1 nicht bekannt sind) oder für thermoplastische Materialien in Stegplattengeometrie oder für andere schmelzbare Materialien sind Versuche nach DIN 18232-4 oder andere geeignete Versuche (z. B. in einem Prüfstand nach DIN 18234-1) durchzuführen, um deren Ergebnisse als Eingangswerte für das folgende Verfahren verwenden zu können.

6.3.2 Schritte des Verfahrens

- a) Die Werte des zeitlichen Temperaturverlaufs und die Geschwindigkeit des heißen Brandrauches an der dem WA zugewandten Seite in einer unterhalb des Daches entlangströmenden Brandrauches werden aus dem Versuch übernommen.
- b) Die Ergebnisse aus dem Versuch liefern den Schmelzzeitpunkt. Dabei ist der Zeitpunkt des vollständigen Abschmelzens der Abdeckung maßgebend.
- c) Berechnung des TTI-Wertes mit dem Rechenverfahren nach Abschnitt 6.

7 Praktische Anwendung im Rahmen ingenieurmäßiger brandschutztechnischer Nachweisverfahren

7.1 Allgemeines

Für die Anwendung der TTI-Werte im ingenieurmäßigen Nachweisverfahren sind zuerst die zu berücksichtigenden Temperatur- und Geschwindigkeitsentwicklungen der Brandgasströmungen zu ermitteln oder festzulegen.

Im Anschluss kann für diese Szenarien mit dem aus Versuchen oder Berechnungen ermittelten TTI-Wert bei bekannter Temperatur- und Geschwindigkeitsentwicklung der Brandrauchströmung unterhalb eines Daches bei einem Brandfall der Ausschmelzzeitpunkt der schmelzbaren Abdeckung der WA berechnet werden, ab dem die thermische Entlastung des Brandraums wirksam wird.

Der Ausschmelzzeitpunkt ist unter den in 6.2 genannten Voraussetzungen auch ohne Versuch und ohne TTI-Bestimmung ermittelbar.

Im Rahmen brandschutztechnischer Nachweise kann damit die selbsttätige Freigabe von Abdeckungen in der Gebäudehülle und damit die Freigabe von Öffnungen zur Abführung von heißem Brandrauch vorhergesagt