



MFPA Leipzig GmbH

Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle für
Baustoffe, Bauprodukte und Bausysteme

Zentrum für Innovation und Berechnung

Dr.-Ing. Susanne Reichel

Arbeitsgruppe - FEM

Dr.-Ing. Susanne Reichel, Dr.-Ing. habil. Jörg Schmidt

Telefon +49 (0) 341-6582-106

s.reichel@mfpa-leipzig.de

Gutachterliche Stellungnahme Nr. GS 6.1/19-020-1

vom 30.09.2019

Gegenstand: Klassifizierung der Feuerwiderstandsdauer einer Stahlbetonwandkonstruktion mit einer verlorenen Schalung aus PVC gemäß ETAG 009, Anhang C

Auftraggeber: **FormProtect GmbH**
Heidchenstraße 16
56424 Bannberscheid

Bearbeiter: Dr.-Ing. Susanne Reichel, Dr.-Ing. habil. Jörg Schmidt

Dieses Dokument besteht aus 24 Seiten, inkl. 0 Anlagen.

Dieses Dokument darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung – auch auszugsweise – bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung der MFPA Leipzig GmbH. Als rechtsverbindliche Form gilt die deutsche Schriftform mit Originalunterschriften und Originalstempel des/der Zeichnungsberechtigten. Es gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB) der MFPA Leipzig GmbH.

Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das
Bauwesen Leipzig mbH (MFPA Leipzig GmbH)

Sitz: Hans-Weigel-Str. 2b – 04319 Leipzig/Germany
Geschäftsführer: Dr.-Ing. habil. Jörg Schmidt
Handelsregister: Amtsgericht Leipzig HRB 17719
USt-Id Nr.: DE 813200649
Tel.: +49 (0) 341-6582-0
Fax: +49 (0) 341-6582-135

Gesamtinhaltsverzeichnis

I	Zielstellung und Vorgehensweise	3
1	Beschreibung der Konstruktion	3
2	Brandverhalten	5
3	Randbedingungen gemäß [N2], Anhang C	5
4	Grundlagen der Berechnung, verwendete Programme	7
II	Literatur	9
1	Verwendete Normen, Richtlinien und Regelwerke	9
2	Referenzdokumente	10
2.1	Gutachten und Prüfberichte	10
2.2	Sonstiges	10
III	Thermische Analyse – Theoretische Grundlagen	11
1	Thermische Randbedingungen	11
2	Materialmodelle	12
3	Materialkennwerte	12
3.1	Beton	12
IV	Simulation des Durchwärmungsverhaltens	15
1	Modellierung und Vernetzung	15
2	Ergebnisse	16
3	Auswertung	22
V	Schlussfolgerung	23
VI	Unterschriften	24

I Zielstellung und Vorgehensweise

Als Alternative zur einer Prüfung und Klassifizierung des Feuerwiderstands nach EN 13501-2 [N1] wurde im Rahmen eines Verfahrens zur Erlangung eines europäischen Verwendbarkeitsnachweises (ETA) auf Basis von ETAG 009 [N2] für eine verlorene Schalung aus PVC, vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) vorgeschlagen, die Einstufung, ob es sich um einen scheiben- oder gitterartigen Typ handelt, gutachterlich vorzunehmen. Die MFPA Leipzig GmbH wurde von der Firma FormProtect GmbH beauftragt, die beschriebene gutachterliche Bewertung zu erarbeiten. Im Rahmen der vorliegenden gutachterlichen Stellungnahme wird der Feuerwiderstand der Stahlbetonwandkonstruktion mit verlorener Schalung aus PVC im Endzustand auf Basis von [N2], Anhang C beurteilt.

1 Beschreibung der Konstruktion

Als verlorene Schalung kommt ein PVC-Schalungssystem zum Einsatz, welches in Abbildung 1 dargestellt ist. Der Zwischenraum wird konventionell bewehrt und anschließend mit Beton vergossen (vgl. Abbildung 1, rechts).



Abbildung 1: FormProtect PVC-Schalungssystem: links: Gesamtsystem vor dem Einbau; rechts: Einbauzustand

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Elemente des Bausatzes. In Abbildung 3 sind das Außenpanel mit Isolierung sowie das Innenpanel mit Joiner und Stegverbindungen als Modell dargestellt.

Page 4 of Testing programme and missing information_ETA Formprotect_V1_31 01 2019_endg_en
 OIB_31/01/2019.

Missing information (values, drawings)

Shuttering elements

1. Panels

Tabelle 7: Panels external ¹⁾

17.6 cm external panel	
------------------------	--

¹⁾ The given dimensions correspond to the width of the shuttering elements.

Tabelle 7: Panels internal ¹⁾

45.5 cm internal panel	
------------------------	--

¹⁾ The given dimensions correspond to the width of the shuttering elements.

2. Connectors

Table 9: Connectors internal ¹⁾

19.0 cm internal connector (short)	
29.0 cm internal connector (long)	

3. Accessories

Table 8: 45° brace connector ¹⁾

45° brace connector 6.0 cm	
-------------------------------	---

Table 10: Joiner internal ¹⁾

Joiner for internal panels xx.y cm	
--	---

¹⁾ The given dimensions correspond to the width of the shuttering elements.

FormProtect shuttering kit	Page 4
Shuttering elements	Shuttering elements

Testing programme and missing information_ETA Formprotect_V1_31 01 2019_endg_en

OIB-205-121/18-xxa

Abbildung 2: FormProtect PVC-Schalungssystem: Übersicht

Bauteil: I Zielstellung und Vorgehensweise

Archiv-Nr.:

Block: 1 Beschreibung der Konstruktion

Seite: 4

Vorgang:

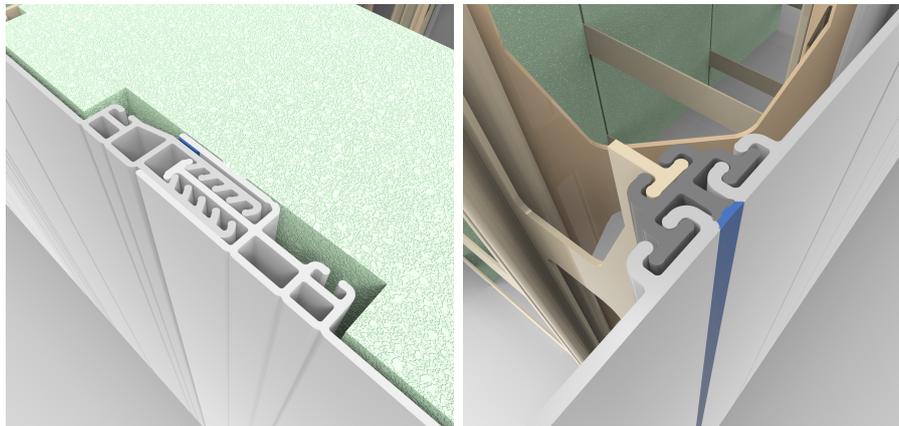


Abbildung 3: FormProtect PVC-Schalungssystem: links: Außenpanel mit Isolierung; rechts: Innenpanel mit Joiner und Stegverbindungen

Das FormProtect PVC-Schalungssystem wird im Behälterbau eingesetzt.

2 Brandverhalten

Gemäß des Klassifizierungsberichts [G1] ist das FormProtect PVC-Schalungssystem hinsichtlich seines Brandverhaltens gemäß [N3] in die Klasse E einzustufen. Die Klassifizierung basiert auf den in [G2] dokumentierten experimentellen Untersuchungen.

3 Randbedingungen gemäß [N2], Anhang C

Unter Voraussetzung einer einseitigen Beflammung der Wand sind hinsichtlich der Einstufung eines Wandsystems in eine Feuerwiderstandsklasse die in [N2], Anhang C, Tabelle 1, (siehe Abbildung 4) spezifizierten Mindestanforderungen an die Geometrie des Kernbetons zu erfüllen.

Tabelle 1: Mindestdicke des Kernbetons bei einer Wand, die an einer Seite dem Feuer ausgesetzt ist

	Scheibenartiger Typ tragende Wand	Scheibenartiger Typ nichttragende Wand	Gitter- und Säulentyp tragende Wand
Kriterien	REI	EI	REI
Dauer (Minuten)	Mindestdicke des Kernbetons (mm)		Mindestabmessung der Betonsäulen (mm)
30	100	90	100
60	110	90	120
90	120	100	150
120	150	120	170

Abbildung 4: FormProtect PVC-Schalungssystem: Mindestanforderungen an den Kernbeton bei einseitiger Beflammung, [N2], Anhang C, Tabelle 1

Eine einseitige Beflammung darf jedoch nur unter den folgenden Voraussetzungen unterstellt werden:

- Die Abstandhalter bestehen aus einem Werkstoff mit einem Brandverhalten gemäß Klasse A (siehe Entscheidung der Kommission 96/603/EG) oder Klasse A1 bzw. Klasse A2 und schmelzen bei einer Temperatur von knapp unter 1000 °C nicht.

oder

- Die Abstandhalter bestehen aus Baustoffen der Klasse B und C und der tragende Kernbeton ist unter Endnutzungsbedingungen mit Materialien der Klasse A1, A2, B oder C umhüllt. Hinsichtlich der Baustoffe der Abstandhalter und der Umhüllung ist bekannt, dass diese bei einer Temperatur von knapp unter 1000 °C nicht schmelzen und keine hohe Verkohlungs geschwindigkeit (mehr als 0,7 mm pro Minute) aufweisen.

Sind diese Anforderungen nicht erbracht, gelten die Mindestanforderungen für tragende Wände des Gittertyps gemäß [N2], Anhang C, Tabelle 2 (siehe Abbildung 5). Alternativ darf eine Wärmeübertragungsberechnung zur Abschätzung der zeitabhängigen Temperaturentwicklung durchgeführt werden, die als Resultat die Einstufung als scheibenartiger oder gitterartiger Typ erlaubt.

Tabelle 2: Tragende Wände des Gitter- bzw. Säulentyps - Mindestabmessungen der vertikalen Säulen

Kriterien	R
Dauer (Minuten)	Mindestabmessungen von Betonsäulen (mm)
30	150
60	200
90	240
120	280

Abbildung 5: FormProtect PVC-Schalungssystem: Mindestanforderungen an tragende Wände des Gittertyps, [N2], Anhang C, Tabelle 2

Im vorliegenden Fall sind die Voraussetzungen für die Annahme einer einseitigen Beflammung and damit für die Nutzung von [N2], Anhang C, Tabelle 1 nicht erbracht (vgl. Abschnitt I.2, [G1]). Es wird eine Wärmeübertragungsberechnung unter Nutzung der Finite-Elemente-Methode (thermische Analyse) durchgeführt.

Gemäß [N2], Anhang C gelten zusätzlich die folgenden Vorbedingungen, die ebenfalls den im Rahmen der vorliegenden gutachterlichen Stellungnahme getroffenen Annahmen zugrunde liegen:

- Bemessung:
 - Bei der Bemessung des Gebäudes bzw. der Behälter müssen die Folgewirkungen des Feuers berücksichtigt werden. Es sind die am Ort der Nutzung geltenden Regeln maßgebend. Konstruktive Anforderungen an das Bauwerk unter den am Ort der Nutzung geltenden, üblichen Bedingungen können größere Abmessungen erforderlich machen. Die Betondeckung der Bewehrung entspricht mindestens den Anforderungen aus [N6] (Expositionsklasse). Die am Ort der Nutzung geltenden Vorschriften sind zusätzlich zu beachten und haben keine Auswirkungen auf die nachfolgenden Aussagen.
- Beton:
 - Es ist Normalbeton gemäß [N5] bzw. [N6] zu verwenden. Die am Ort der Nutzung geltenden Vorschriften sind zusätzlich zu beachten und haben keine Auswirkungen auf die nachfolgenden Aussagen.
- Festigkeit des Betons:
 - Die Festigkeit des Betons muss zwischen C16/20 und C50/60 gemäß [N5] liegen.

4 Grundlagen der Berechnung, verwendete Programme

Die durchgeführten numerischen Simulationen basieren auf der Finite Elemente Methode (FEM) unter Nutzung der freien Software Code_Aster, Version 13.6, entwickelt durch Électricité de France (EDF). Die Elementansätze und Materialmodelle wurden anhand unabhängiger Vergleichsberechnungen sowie anhand der im Nationalen Anwendungsdokument zu DIN EN 1991-1-2, Anhang CC [N7] benannten Beispiele verifiziert. Die generelle Eignung des verwendeten Programmsystems für die thermischen



und auch mechanischen Simulationen brandbeanspruchter Bauteile konnte demnach vollumfänglich durch generelle Validierungsbeispiele gezeigt werden (vgl. www.mfpa-leipzig.de).
Alle Berechnungen werden unter Einbeziehung der referenzierten Regelwerke durchgeführt.

II Literatur

1 Verwendete Normen, Richtlinien und Regelwerke

Den Berechnungen liegen die folgenden Normen, Richtlinien und Regelwerke zugrunde:

- [N1] EN 13501-2:2016: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen
- [N2] ETAG 009: Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für nicht lasttragende verlorene Schalungsbausätze/-systeme bestehend aus Schalungs-/Mantelsteinen oder -elementen aus Wärmedämmstoffen und - mitunter - aus Beton; 06/2002
- [N3] EN 13501-1:2018: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
- [N4] EN 1992-1-2:2004 + AC:2008: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton - und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [N5] EN 206:2013+A1:2016: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [N6] EN 1992-1-1:2004 + AC:2010: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [N7] Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- [N8] EN 1363-1:2012: Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [N9] EN 1991-1-2:2002 + AC:2009: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkung auf Tragwerke

2 Referenzdokumente

2.1 Gutachten und Prüfberichte

[G1] Klassifizierungsbericht Nr. KB 3.1/19-072-2: Klassifizierung zum Brandverhalten nach DIN EN 13501-1:2019-05, PVC-Schalungsbausatz "FormProtect Schalungssystem" nach ETAG 009. – MFPA Leipzig GmbH; 24.07.2019

[G2] Prüfbericht Nr. PB 3.1/19-072-1: Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten, Entzündbarkeit bei direkter Flammeneinwirkung nach DIN EN ISO 11925-2:2011-02 als Grundlage eines Klassifizierungsberichtes, PVC-Schalungsbausatz "FormProtect Schalungssystem" nach ETAG 009. – MFPA Leipzig GmbH; 24.07.2019

2.2 Sonstiges

[S1] Fire Safety Science-Proceedings of The ninth International Symposium, pp. 1227-1238 – U. Wickström; International Association for Fire Safety Science

III Thermische Analyse – Theoretische Grundlagen

Die den Wärmetransportvorgängen zugrundeliegenden Differentialgleichungen werden unter Beachtung der Erhaltungs- bzw. Bilanzgleichungen durch niederwertige Ansatzfunktionen abschnittsweise approximiert. Dabei werden die räumlichen und zeitlichen Dimensionen separat behandelt. Die räumliche Approximation geschieht durch die Diskretisierung, die zeitliche durch Näherungslösungen der Zeitintegration.

Alle Materialparameter werden temperaturabhängig berücksichtigt. Die Materialmodelle und die Elementbeschreibungen sind konsistent linearisiert, so dass das inkrementell-iterative Lösungsverfahren quadratisch konvergiert. Da die Determinante der Koeffizientenmatrix ihr Vorzeichen nicht ändert, werden nur physikalisch sinnvolle Gleichgewichtszustände berechnet.

1 Thermische Randbedingungen

Im Hinblick auf die zeitabhängige Umgebungstemperatur an den brandzugewandten Seiten wird die Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) gemäß [N8] (siehe Abbildung 6) untersucht.

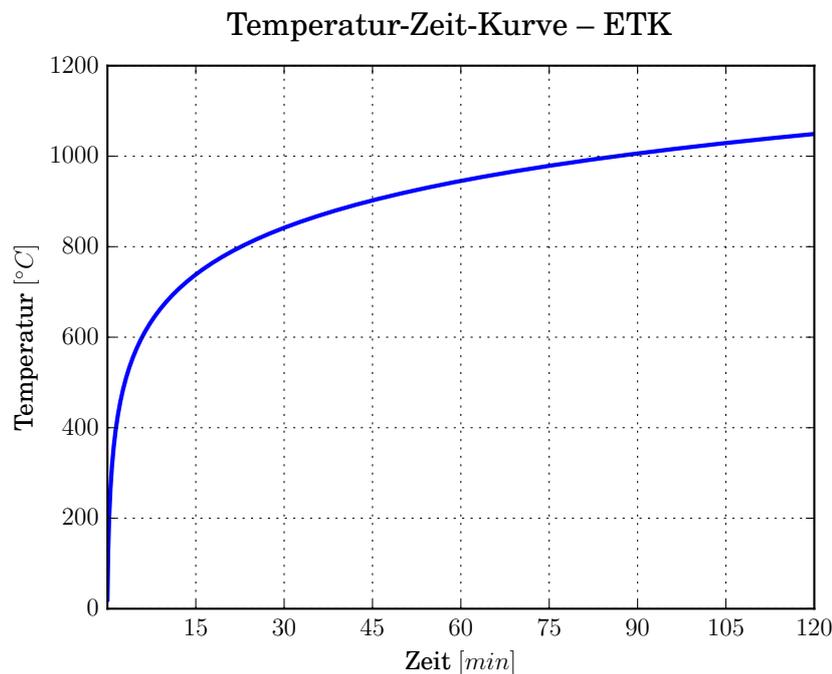


Abbildung 6: FormProtect PVC-Schalungssystem: Zeitabhängige Umgebungstemperatur gemäß Einheits-Temperaturzeitkurve [N8]

2 Materialmodelle

Der Wärmeaustausch zwischen Bauteil und umgebender Luft an den thermisch beanspruchten Oberflächen erfolgt durch Wärmestrahlung und Konvektion. Nach [S1] kann die Wärmestromdichte q durch die Oberfläche mit Hilfe einer NEUMANN-Randbedingung der Form

$$q = \sigma_{SB} \cdot \epsilon_e \cdot (T_u^4 - T_s^4) + h \cdot (T_u - T_s) \quad (1)$$

abgebildet werden, mit h : Wärmeübergangskoeffizient, ϵ_e : Emissivität, σ_{SB} : Stefan-Boltzman-Konstante mit $\sigma_{SB} = 5,67 \frac{W}{m^2 K^4}$, T_s : Oberflächentemperatur, T_u : Umgebungstemperatur. Für brandbeanspruchte Oberflächen und vereinfachte Brandmodelle gilt gemäß [N9], Kapitel 3.3.1.1(3)

$$h = 35 \frac{W}{m^2 K} \quad (2)$$

Das veränderliche Durchwärmungsverhalten in der Fuge wird im vorliegenden Fall mit Hilfe eines örtlich veränderlichen Wärmeübergangskoeffizienten berücksichtigt.

Hinsichtlich der Emissivität gilt gemäß [N9], 3.1(6) für allgemeine Oberflächen

$$\epsilon_e = 0,8. \quad (3)$$

Zur Simulation der Wärmeleitung innerhalb des Bauteils wird das FOURIER'sche Gesetz in seiner stationären

$$q = -\lambda(T) \cdot \nabla T \quad (4)$$

und transienten

$$\rho \cdot C(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda(T) \cdot \nabla T) \quad (5)$$

Form angewandt, mit T : Temperatur im Bauteil, $\lambda(T)$: temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit, ρ : Dichte, $C(T)$ temperaturabhängige Wärmekapazität.

3 Materialkennwerte

3.1 Beton

Für die Wärmeleitfähigkeit von Beton wird die obere Grenze des in [N4], Kapitel 3.3.3 angegebenen Verlaufs der temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit in Ansatz gebracht (siehe Abbildung 7).

Wärmeleitfähigkeit von Beton

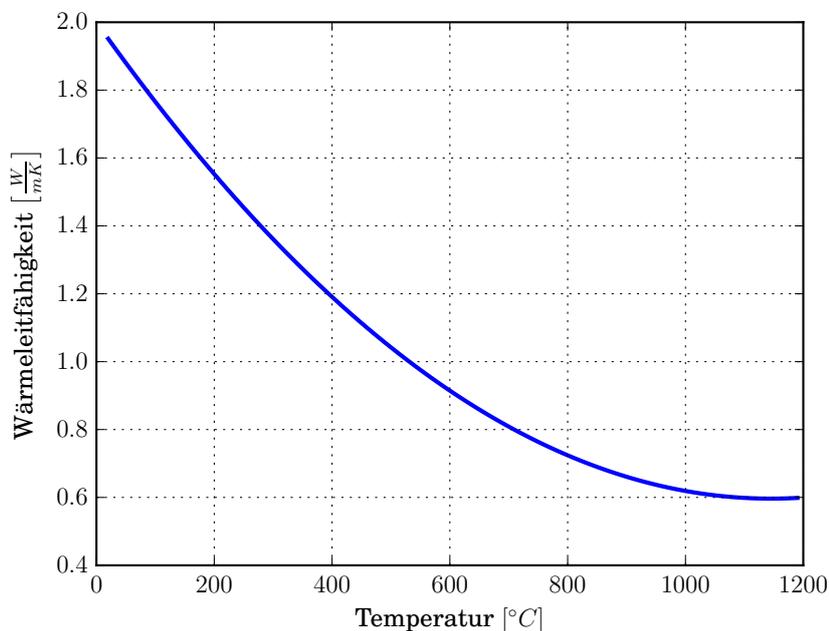


Abbildung 7: FormProtect PVC-Schalungssystem: Wärmeleitfähigkeit λ_{Beton} von Beton in Abhängigkeit der Temperatur, obere Grenze gemäß [N4]

Bei den in [N4] enthaltenen Modellen zur Abbildung der thermischen Eigenschaften von Beton wird die Verdampfungsenthalpie des freien Wassers (Feuchtegehalt) über einen Anstieg der Wärmespeicherkapazität des Betons im Bereich von ca. 100°C bis ca. 200°C modelliert. Abbildung 8 zeigt die Abhängigkeit der Wärmekapazität inklusive des Enthalpieanteils des verdampfenden Wassers eines Betons mit der Rohdichte

$$\rho_{\text{Beton}} = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (6)$$

bei einem Feuchtegehalt von 3%. Ein Beton-Feuchtegehalt von 3% bildet nach Erfahrung der Verfasser auf Basis des Vergleichs zahlreicher Simulationen mit versuchstechnisch bestimmten Zeit-Temperatur-Kurven die thermischen Eigenschaften von Beton im Mittel zutreffend ab (vgl. auch die Annahmen in [N7], Anhang CC) und kommt im Rahmen der vorliegenden numerischen Berechnungen zur Anwendung.

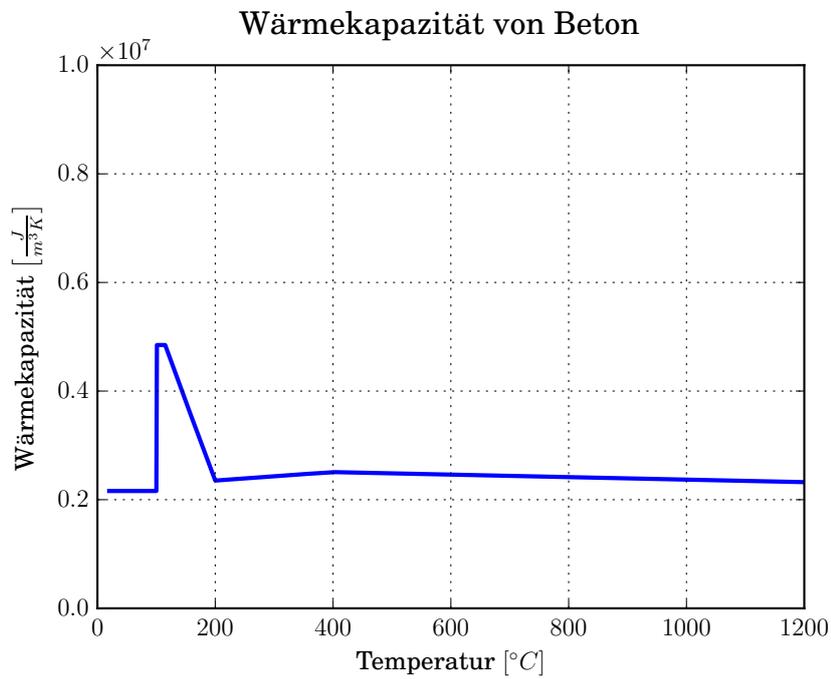


Abbildung 8: FormProtect PVC-Schalungssystem: Wärmekapazität C_{Beton} von Beton mit der Rohdichte $\rho = 2400 kg/m^3$ und einem Feuchtegehalt von 3% in Abhängigkeit der Temperatur gemäß [N4]

IV Simulation des Durchwärmungsverhaltens

1 Modellierung und Vernetzung

Die zeitabhängige Ausbildung des Temperaturfeldes wird mit Hilfe der Finite-Elemente Methode unter Nutzung von zweidimensionalen Modellen simuliert. Dabei wird ein repräsentatives Segment der Wand betrachtet, welches 100 mm breit und 100 mm tief ist. Es wird angenommen, dass die aus PVC bestehende verlorene Schalung sowohl oberflächlich als auch im Bereich der Stegverbindungen sofort schmilzt bzw. abbrennt. Diese Annahme liegt v.a. für die Stegverbindung auf der sicheren Seite. Das Modell vernachlässigt die wärmedämmenden Eigenschaften der verbleibenden Verbrennungsrückstände der innenliegenden Kunststoffteile, was eine Konvektion im Spalt nicht ausschließt (ebenfalls auf der sicheren Seite liegend). Der Wärmeeintrag im Spalt durch Strahlung ist durch die geometrischen Verhältnisse vernachlässigbar.

In Abbildung 9 ist das zum Einsatz kommende Finite-Elemente-Modell dargestellt. Die Vernetzung der Querschnitte erfolgt mittels quadratischer Elemente mit Temperatur-Freiheitsgraden und linearen Ansatzfunktionen. Die Elementgröße ist so gewählt, dass eine weitere Verfeinerung zu keiner Verbesserung der Ergebnislösung führt. Die Auswertung der zeitabhängigen Temperatur erfolgt jeweils im Bereich der Fuge und im ungestörten Wandbereich auf Höhe der Bewehrung (siehe Messpunkte in Abbildung 9). Der in Abschnitt III.2 beschriebene örtlich veränderliche Wärmeübergangskoeffizient im Bereich der Fuge ist ebenfalls in Abbildung 9 dargestellt.

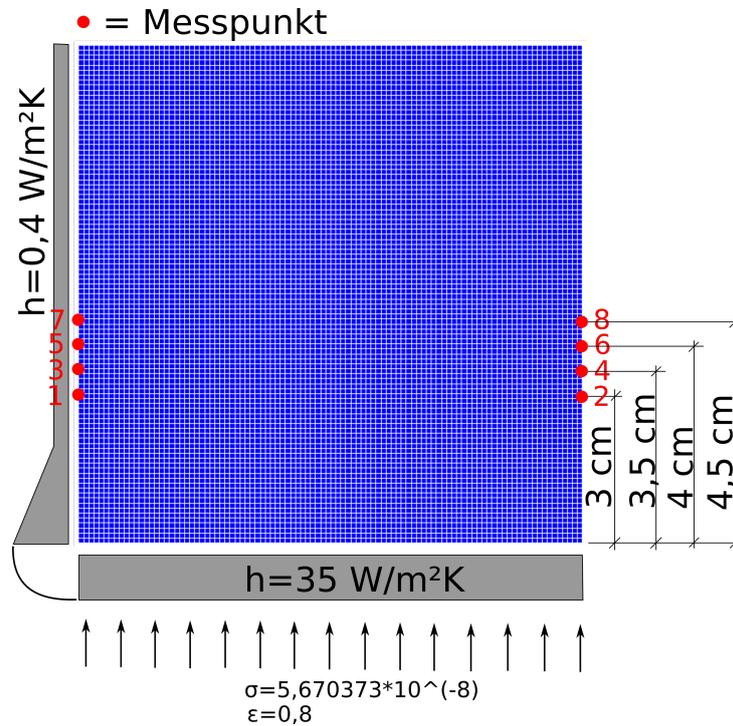


Abbildung 9: FormProtect PVC-Schalungssystem: Finite-Elemente-Modell mit Randbedingungen; linke Seite: Fuge; untere Seite: brandbeanspruchte Oberfläche; rechte und obere Seite: ungestörter Wandbereich

2 Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten sind die Ergebnisse der numerischen Simulation des Durchwärmungsverhaltens der Konstruktionsvarianten ausgewiesen. Abbildung 10 zeigt die zeitabhängigen Temperaturen für die untersuchten Messpunkte. In Abbildung 11 ist für jede Messtiefe das zeitabhängige Verhältnis $\frac{T_{\text{ungestoert}}}{T_{\text{Fuge}}}$ der Temperaturen im ungestörten Wandbereich zu den Temperaturen in der Fuge ausgewiesen. Zusätzlich ist in den Abbildungen 12 bis 14 die Temperaturverteilung im Querschnitt zu den Zeitpunkten $t = 30 \text{ min}$, $t = 60 \text{ min}$ und $t = 90 \text{ min}$ dargestellt.

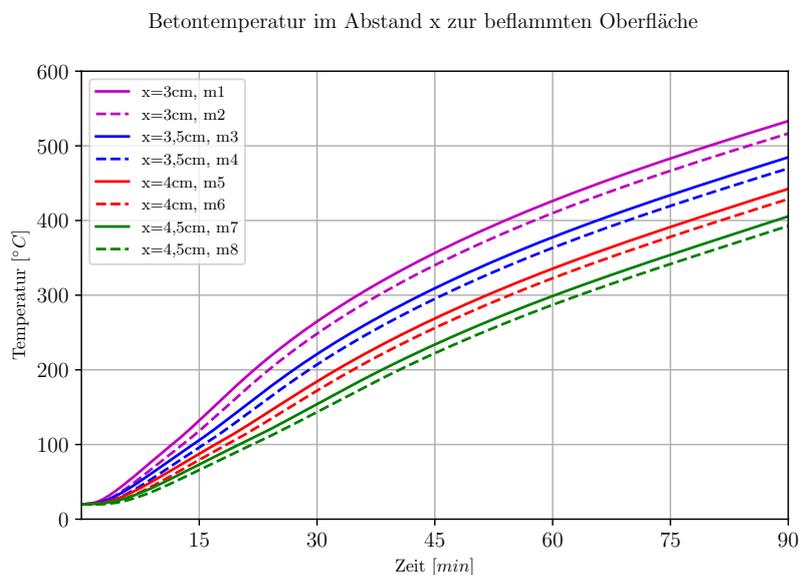


Abbildung 10: FormProtect PVC-Schalungssystem: Zeitabhängige Temperaturen im Bauteil

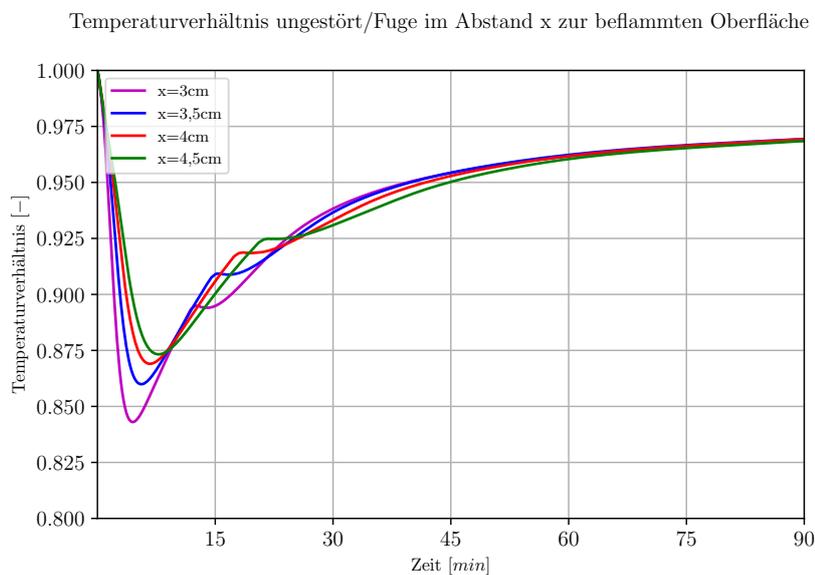


Abbildung 11: FormProtect PVC-Schalungssystem: Zeitabhängiges Temperaturverhältnis $\frac{T_{ungestoert}}{T_{Fuge}}$

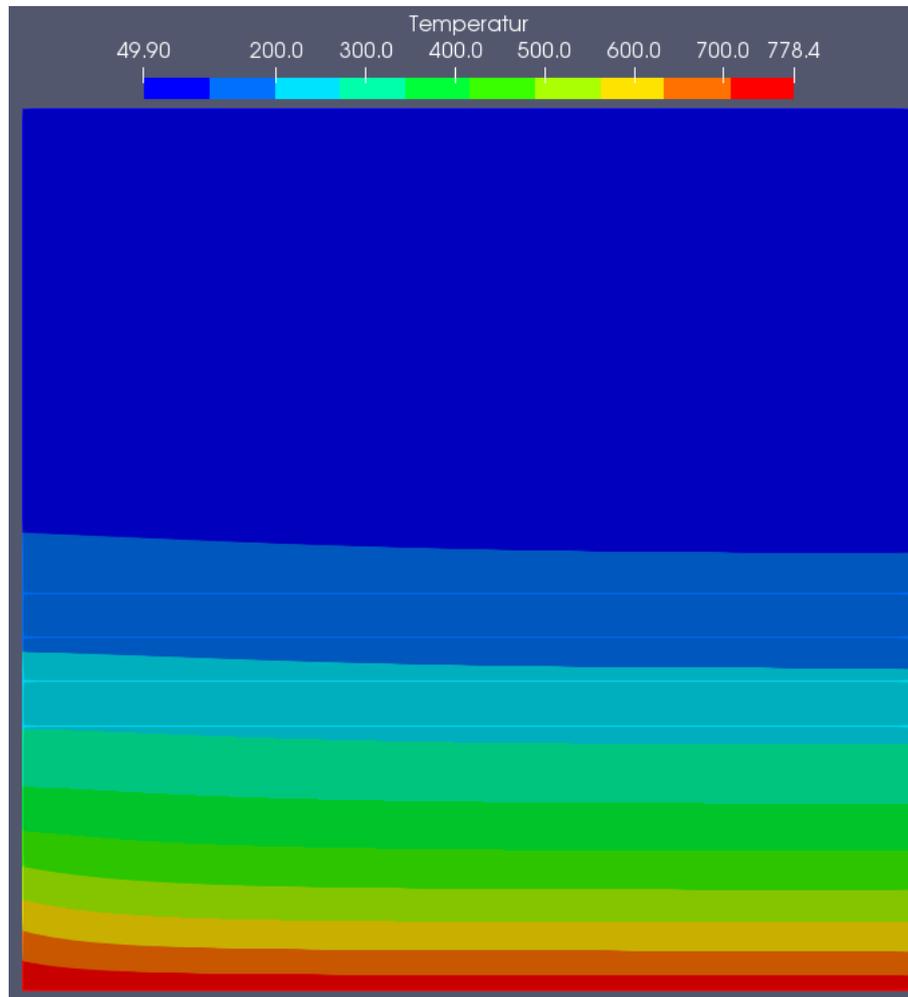


Abbildung 12: FormProtect PVC-Schalungssystem: Temperaturverteilung zum Zeitpunkt $t = 30min$

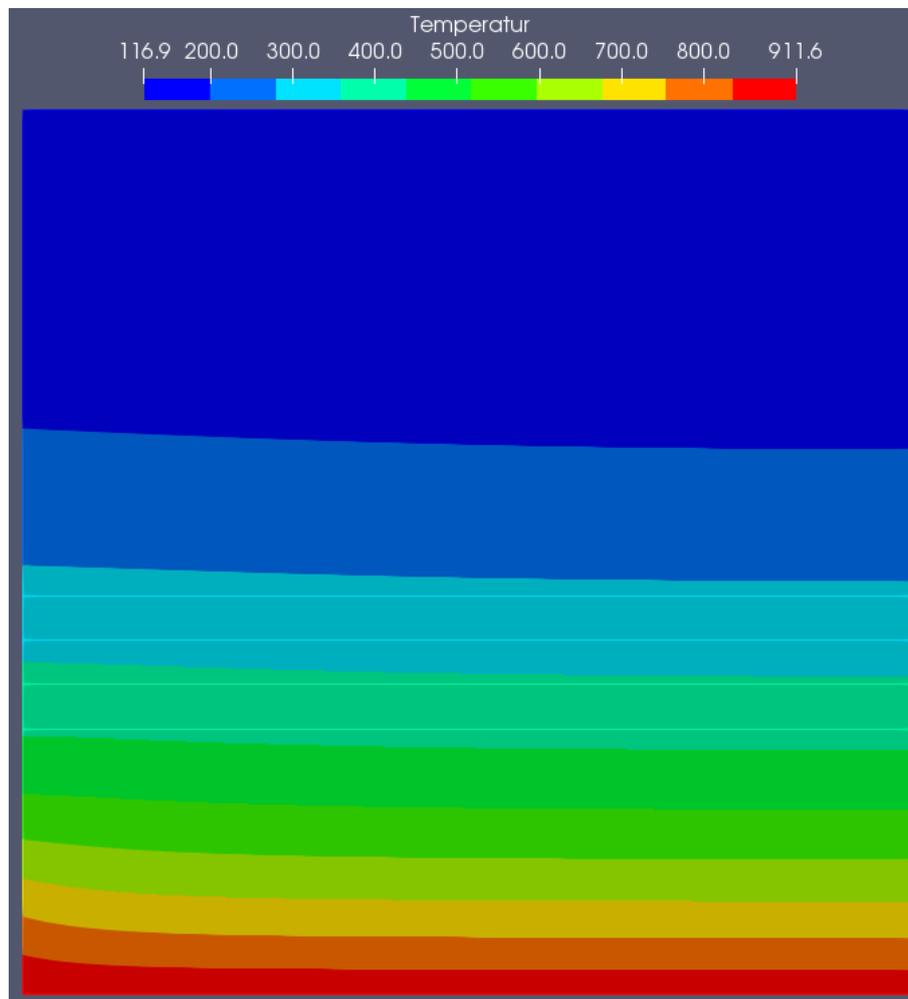


Abbildung 13: FormProtect PVC-Schalungssystem: Temperaturverteilung zum Zeitpunkt $t = 60min$

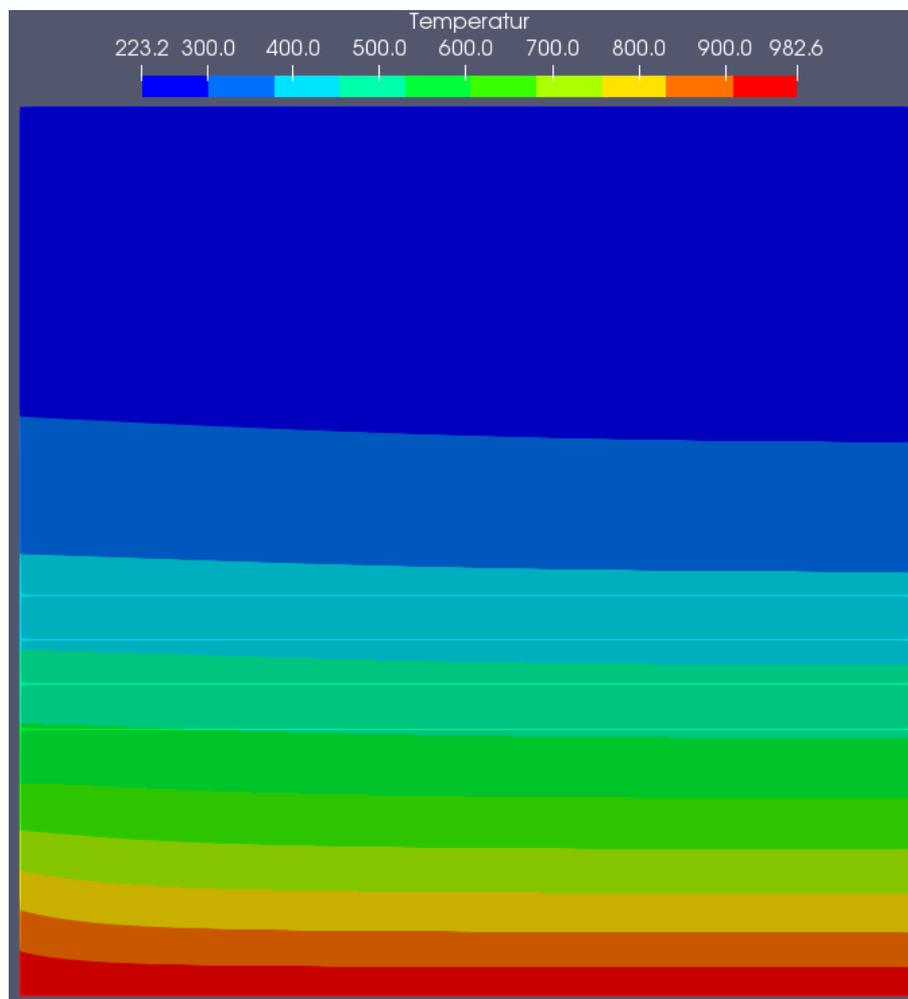


Abbildung 14: FormProtect PVC-Schalungssystem: Temperaturverteilung zum Zeitpunkt $t = 90min$

Unter Nutzung der in [N4], Tabelle 3.2(a) ausgewiesenen temperaturabhängigen Abminderungsfaktoren k_y der Streckgrenze warmgewalzter Betonstähle und der Ergebnisse der Durchwärmungsberechnung ist in Abbildung 15 für die untersuchten Messpunkte der zu erwartende zeitabhängige Tragfähigkeitsverlust der Bewehrung ausgewiesen. Abbildung 16 zeigt für alle Messtiefen das Verhältnis $\frac{k_{y,Fuge}}{k_{y,ungestoert}}$ der Temperaturen in der Fuge zu den Temperaturen im ungestörten Wandbereich.

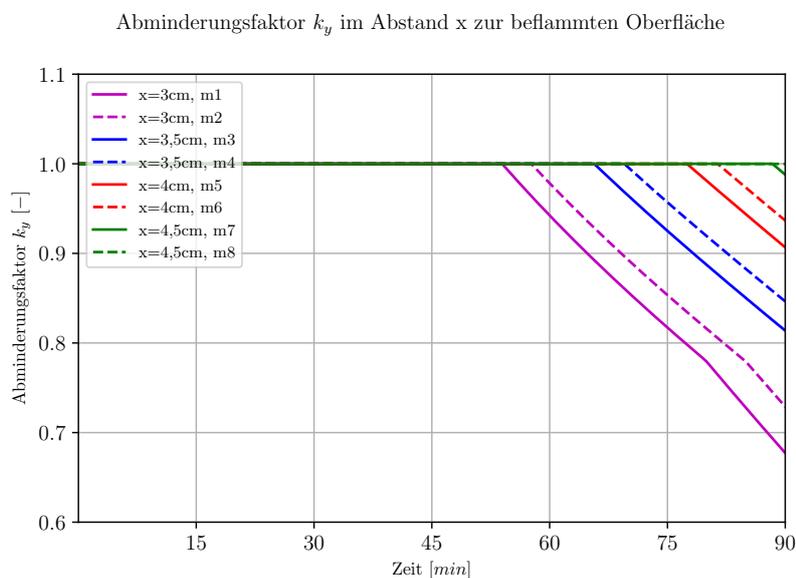


Abbildung 15: FormProtect PVC-Schalungssystem: Zeitabhängiger Tragfähigkeitsverlust im Bauteil

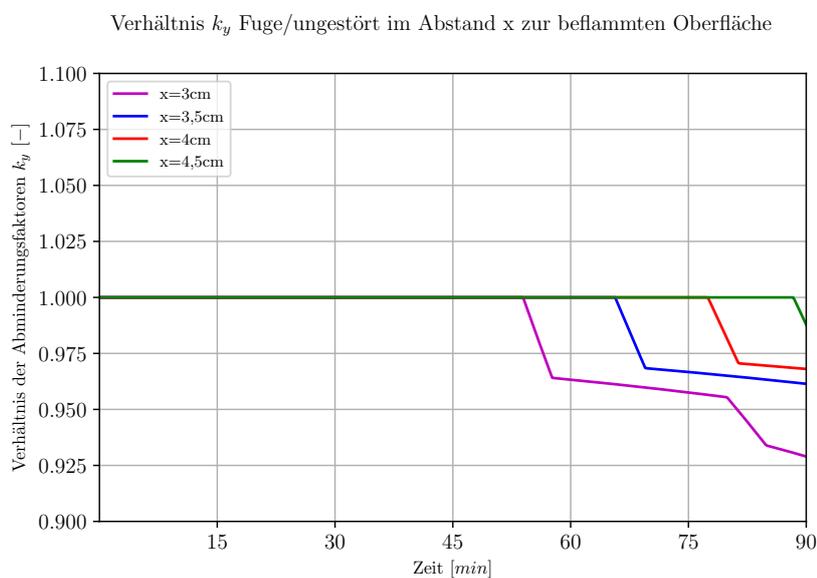


Abbildung 16: FormProtect PVC-Schalungssystem: Zeitabhängiges Verhältnis $\frac{k_{y,Fuge}}{k_{y,ungestoert}}$

3 Auswertung

Aus Abbildung 11 wird ersichtlich, dass der Einfluss der Brandeinwirkung in der entstehenden Fuge auf das Durchwärmungsverhalten der Wand gering ist und sowohl mit steigendem Abstand zur beflamnten Oberfläche als auch mit zunehmender Zeit sinkt. Zum Zeitpunkt $t = 90min$ beträgt das Verhältnis $\frac{T_{ungestoert}}{T_{Fuge}}$ für alle Messtiefen etwa 0,97.

Der Einfluss der Brandeinwirkung in der Fuge auf den Tragfähigkeitsverlust der Bewehrung ist ebenfalls gering, was aus Abbildung 16 hervor geht. Aufgrund der ausgeprägteren Temperaturgradienten in der Nähe der beflamnten Oberfläche sinkt das Verhältnis $\frac{k_{y,Fuge}}{k_{y,ungestoert}}$ mit steigendem Abstand zur beflamnten Oberfläche. Während zum Zeitpunkt $t = 30min$ noch kein Tragfähigkeitsverlust und zum Zeitpunkt $t = 60min$ nur für einen Abstand von $3cm$ zur beflamnten Oberfläche ein geringer Tragfähigkeitsverlust auftritt, bewegt sich das Verhältnis $\frac{k_{y,Fuge}}{k_{y,ungestoert}}$ zum Zeitpunkt $t = 90min$ etwa zwischen 0,93 und 0,985.

V Schlussfolgerung

Die Berechnungsergebnisse erlauben die Einstufung der Wand, die unter Verwendung der in den Abbildungen 1 bis 3 dargestellten verlorenen Schalung hergestellt wurde, als Wand scheibenartigen Typs gemäß [N2], Anhang C, Tabelle 1. Die Gesamtkonstruktion steht in Übereinstimmung mit der Begriffsdefinition für Wände scheibenartigen Typs gemäß [N2], Kapitel 2.2.

Aufgrund der mit zunehmender Entfernung zur brandbeanspruchten Oberfläche vorhandenen kühlenden Wirkung des Betons muss kein vollständiges Verbrennen der PVC-Stegverbindung befürchtet werden. Auf der brandabgewandten Wandseite muss daher keine Erhöhung der Temperatur im Vergleich zu einer Wand ohne verlorene Schalung und damit ohne PVC-Stegverbindung berücksichtigt werden.

Die in [N2], Anhang C, Tabelle 1 ausgewiesenen Mindestdicken des Kernbetons können also auch dann verwendet werden, wenn die Wandkonstruktion unter Verwendung der in Abbildungen 1 bis 3 dargestellten verlorenen Schalung des FormProtect PVC-Schalungssystems hergestellt wurde.

VI Unterschriften

Die Ergebnisse der Prüfungen beziehen sich ausschließlich auf die geprüften Gegenstände. Dieses Dokument ersetzt keinen Konformitäts- oder Verwendbarkeitsnachweis im Sinne der Bauordnungen (national/ europäisch).

Leipzig, den 30.09.2019



Dr.-Ing. habil. J. Schmidt
Geschäftsführer & Bearbeiter



Dr.-Ing. S. Reichel
Geschäftsbereichsleiterin & Bearbeiterin