



MAICS⁺

Membrane Action of Composite Structures
in Case of Fire

Brandverhalten von Stahl- und Verbunddeckensystemen

Design Guide

O. Vassart
B. Zhao



VORWORT

Dieses Projekt wurde durch die Europäische Kommission und dem Research Fund for Coal and Steel finanziert.

Die Veröffentlichung gibt lediglich die Auffassungen der Autoren wieder. Die Europäische Kommission kann somit für keine Verwendung, die anhand der im Folgenden gegebenen Informationen getroffen wird, zur Verantwortung gezogen werden.

Die Veröffentlichung ist das Ergebnis von nachfolgenden Forschungsprojekten: - RFCS Projekt FICEB+

- RFCS Projekt CROSSFIRE

- Projekt Leonardo DA Vinci 'Fire Resistance Assessment of Partially Protected Composite Floors' (FRACOF).

- Ein gemeinschaftlich gefördertes Projekt von ArcelorMittal und CTICM, durchgeführt in einer Partnerschaft von CTICM und SCI

Die hier vorgestellte einfache Bemessungsmethode wurde zunächst basierend auf Großbrandversuchen entwickelt, die in einem mehrstöckigen Stahlrahmengebäude der Building Research Establishment mit Hilfe einer Versuchseinrichtung in Cardington in Großbritannien durchgeführt wurden. Viele der für die Bemessungsmethode verwendeten theoretischen Grundlagen sind bereits seit den 1950er Jahren vorhanden und beruhen auf Studien über das bauliche Verhalten von Bewehrungsbetonplatten bei Raumtemperatur. Die erste Version der einfachen Bemessungsmethode wurde schließlich im Rahmen des SCI Bemessungsleitfaden P288 'Fire Safe Design: A new approach to Multi-story Steel Framed Buildings', 2. Ausgabe, veröffentlicht.

Obwohl die Grundlagen dieser Methode gut etabliert sind, ist ihre Anwendung für die Feuerwiderstandsbemessung vergleichsweise neu. Im Jahr 2000 wurde die einfache Bemessungsmethode als Software der SCI umgesetzt. Im Jahr 2006 erschien eine verbesserte Neufassung.

Wertvolle Beiträge hierzu lieferten:

- Mary Brettelle vom Steel Construction Institute
- IAN Sims vom Steel Construction Institute
- Louis Guy Cajot von ArcelorMittal
- Renata Obiala von ArcelorMittal
- Mohsen Roosefid von CTICM
- Gisèle Bihina von CTICM

Inhaltsverzeichnis

VORWORT.....	2
ZUSAMMENFASSUNG.....	5
1 EINLEITUNG	6
2 GRUNDLAGEN DES BEMESSUNGSVERFAHRENS.....	9
2.1 Brandschutz.....	9
2.2 Bauarten / Bauweisen	9
2.2.2 Deckenplatten und –träger	11
2.3 Deckenbemessungszonen	13
2.4 Kombinationen von Einwirkungen	13
2.5 Brandeinwirkung	15
2.5.1 Feuerwiderstand	15
2.5.2 Naturbrand (parametrische Temperatur-Zeitkurve).....	17
3 EMPFEHLUNGEN FÜR TRAGENDE BAUTEILE.....	19
3.1 Deckenbemessungszonen	19
3.2 Deckenplatten und Träger.....	20
3.2.1 Temperaturberechnung der Deckenplatte	21
3.2.2 Temperaturberechnung von ungeschützten Verbundträgern.....	22
3.2.3 Brandbemessung einer Deckenplatte	23
3.2.4 Brandbemessung der Träger am Rand der Deckenbemessungszone.....	25
3.3 Bewehrungsdetails.....	26
3.3.1 Ausführungshinweise für Betonstahl-Mattenbewehrung	27
3.3.2 Konstruktive Anforderungen für den Randbereich einer Verbunddecke	28
3.4 Bemessung von Randträgern ohne planmäßige Verbundwirkung	31
3.5 Stützen.....	31
3.6 Verbindungen	32
3.6.1 Einteilung der Verbindungen.....	32
3.6.2 Gelenkige Stirnplatten.....	33
3.6.3 Fahnenblechanschlüsse.....	33
3.6.4 Doppelwinkelanschlüsse	34
3.6.5 Brandschutz.....	34
3.7 Gebäudegesamtstabilität	35

4 BILDUNG VON BRANDABSCHNITTEN	36
4.1 Träger oberhalb von feuerbeständigen Wänden	36
4.2 Tragfähigkeit.....	37
4.3 Raumabschluss und Wärmedämmung.....	37
5 BEISPIELRECHNUNG	38
Bemessung der Verbunddecke im Brandfall	43
5.1.1 Deckenbemessung: Zone B	43
5.1.2 Deckenbemessung: Zone A	57
5.1.3 Deckenbemessung: Zone E.....	63
5.1.4 Deckenbemessung: Zone D	75
5.2 Bewehrungsdetails	83
5.3 Brandschutz der Stützen	83
LITERATURVERZEICHNIS.....	85

ZUSAMMENFASSUNG

In verschiedenen Ländern durchgeführte Großbrandversuche sowie Beobachtungen von realen Gebäudebränden haben gezeigt, dass das Brandverhalten von Gebäuden in Stahlrahmen-Verbundbauweise viel günstiger ist, als Brandversuche an Einzelbauteilen erwarten lassen. Es zeigt sich, dass bezüglich des Feuerwiderstands moderner Stahlrahmen-Gebäude große Reserven bestehen, während Standard-Brandwiderstandstests an einzelnen Bauteilen ohne Berücksichtigung realer Einbaurandbedingungen keine zufriedenstellenden Indikatoren für das Verhalten solcher Tragwerke liefern.

Diese Veröffentlichung gibt Hilfestellung für die Anwendung einer vereinfachten Bemessungsmethode, die in der MACS+ Software implementiert ist. Die Empfehlungen sind konservativ und gelten nur für Strukturen, die vergleichbar mit den getesteten sind, z.B. Gebäude mit unverschieblichen Stahlrahmen und Verbunddecken und Verbunddecken mit Wabenträgern. Der Leitfaden gibt Planern Zugang zum gesamten Gebäudetragverhalten und erlaubt ihnen festzulegen, welche Bauteile ungeschützt bleiben können, ohne das Sicherheitsniveau nach herkömmlichen Bemessungsmethoden zu beeinträchtigen.

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass viele Brandschutzingenieure mittlerweile Naturbrandszenarien benutzen, ist neben dem Standard-Brandmodell ein Naturbrand-Modell, formuliert in Form von Temperatur-Zeit-Kurven nach Eurocode 1, mit einbezogen.

Zusätzlich zu dieser Bemessungshilfe wird ein separates Dokument über die technischen Hintergründe und Details von Brandtests und Finite-Elemente-Analysen bereitgestellt. Diese wurden als Teil der FRACOF, COSSFIRE und FICEB Projekte durchgeführt. Weitere Detailinformationen umfassen die Cardington-Versuche, welche an einem achtstöckigen Gebäude in Cardington durchgeführt wurden. Das Hintergrunddokument soll den Leser beim Verständnis der Grundlagen der Bemessungsvorschläge in dieser Veröffentlichung unterstützen.

1 EINLEITUNG

Die Bemessungsempfehlungen dieser Veröffentlichung basieren auf dem Verhalten von Verbunddecken, ausgewertet anhand von tatsächlichen Gebäudebränden und Großbrandversuchen.^(1,2,3) Diese auf der sicheren Seite liegenden Empfehlungen für Brandbemessung können nach Meinung der Autoren als äquivalent zu den fortgeschrittenen Methoden in den Eurocodes betrachtet werden.

Aufgrund nationaler Bauvorschriften müssen tragende Bauteile von mehrgeschossigen Gebäuden ausreichenden Feuerwiderstand aufweisen. Der Feuerwiderstand kann versuchsgestützt mittels standardisierter Brandversuche ermittelt werden oder mittels Berechnungen in Übereinstimmung mit anerkannten Normen, insbesondere EN 1991-1-2⁽⁴⁾, EN 1993-1-2⁽⁵⁾ und EN 1994-1-2⁽⁶⁾. In einem gewöhnlichen Brandversuch kann von ungeschützten I oder H Stahlprofilträgern lediglich eine Feuerwiderstandsdauer von 15 bis 20 Minuten erwartet werden. Dementsprechend gehört es zur gängigen Praxis, Stahlträger und -stützen zu schützen, indem man feuerbeständige Verkleidungen, Spritzputzen oder Brandschutzbeschichtungen verwendet. Bei Slimfloorkonstruktionen werden die tragenden Elemente in den Deckenaufbau integriert.

Naturbrand - Großversuche in verschiedenen Ländern⁽⁷⁾ haben übereinstimmend gezeigt, dass sich das inhärente Brandverhalten von Verbunddecken mit ungeschützten Stahlträgern weitaus günstiger darstellt, als Resultate von Standardtests an Einzelbauteilen erwarten lassen. Insbesondere die Brandversuche in Cardington ermöglichten es, das Brandverhalten einer realen Struktur zu untersuchen und den Feuerwiderstand von ungeschützten Verbundkonstruktionen unter realistischen Randbedingungen zu beurteilen.

Da die Bemessungsempfehlungen in dieser Veröffentlichung im Zusammenhang mit standardisierten Vollbrandszenarien stehen, können sie jedoch ebenfalls einfach unter normalen Brandbedingungen angewendet werden, so wie es Rahmen der FRACOF- und COSSFIRE-Projekte durch Brandversuche an Decken im realen Maßstab demonstriert wurde. Es ist offensichtlich, dass diese Möglichkeit Ingenieuren große Vorteile für die Brandschutzbemessung von mehrgeschossigen Gebäuden mit Stahlstrukturen bietet. Die im Rahmen des FICEB-Projekts durchgeführten Großbrandversuche in Ulster heben hervor, dass die Membrantheorie auch auf Verbund-Wabenträger angewendet werden kann.

Sofern die nationalen Bauvorschriften die verhaltensbasierte Brandbemessung von Gebäuden zulassen, kann das in diesem Leitfaden vorgestellte Bemessungsverfahren dazu angewendet werden, den Brandwiderstand von Strukturen ohne zusätzliche Brandschutzvorkehrungen zu berechnen. In manchen Ländern werden für die Anerkennung eines solchen Vorgehens Zustimmungen im Einzelfall durch die nationalen Bauaufsichtsbehörden benötigt.

Mit den in dieser Veröffentlichung vorgestellten Empfehlungen sollen die Lösungsansätze des Brandingenieurwesens zur Verbesserung der strukturellen Leistungsfähigkeit erweitert und ein Konzept für die brandsichere Auslegung von Stahlverbundkonstruktionen entwickelt werden. Konstruktionen in Anlehnung an diese Empfehlungen sollen dabei mindestens das geforderte

Sicherheitsniveau nationaler Regelwerke erreichen, dabei aber auch wirtschaftliche Vorteile in Bezug auf die Konstruktionskosten ermöglichen.

Neben dem Brandwiderstand im Fall der Einheits-Temperaturzeitkurve-Beziehung werden Empfehlungen für die Gebäudeauslegung unter Naturbrandbelastung gegeben. Naturbrandszenarien können in der MACS+ Software definiert werden, indem die in der EN 1991-1-2 gegebene parametrische Temperatur-Zeit Kurve verwendet wird. Dabei werden die Größe des Brandabschnittes sämtliche Öffnungen sowie die Menge der Brennstoffe berücksichtigt. Alternativ erlaubt die MACS+ Software Temperatur-Zeit-Kurven aus einer Text-Datei einzulesen und somit die Ergebnisse von anderen Brandmodellen zu verwenden.

Die Bemessungsempfehlungen treffen auf Verbundkonstruktionen zu, die weitgehend ähnlich dem in Cardington getesteten achtstöckigen Gebäude sind, vgl. Abbildung 1-1 und 1-2.

Sie werden im Leitfaden zur Anwendung der MACS+ Software präsentiert. Die Software ist als kostenloser Download unter www.arclormittal.com/sections abrufbar.

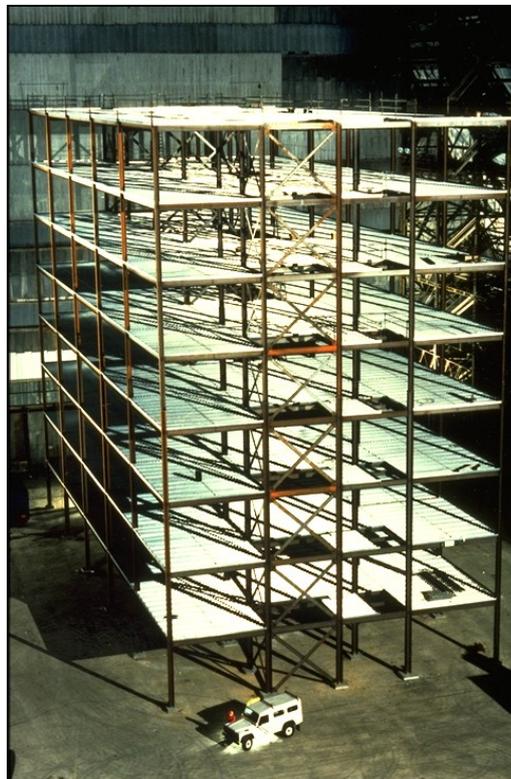


Abbildung 1-1 Testgebäude in Cardington vor dem Betonieren der Decken



Abbildung 1-2 Blick auf die ungeschützte Stahlstruktur

2 GRUNDLAGEN DES BEMESSUNGSVERFAHRENS

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Bemessungsgrundsätze und -annahmen, welche dem neu entwickelten vereinfachten Bemessungsverfahren zugrunde liegen. Detailliertere Informationen finden sich im beigefügten Hintergrundbericht⁽⁷⁾. Die Bauweisen und Tragstrukturen, auf die der Bemessungsleitfaden angewendet werden kann, werden ebenfalls kurz vorgestellt.

Der Bemessungsleitfaden wurde auf der Grundlage von Forschungsergebnissen aus Brandversuchen, Versuchen bei Umgebungstemperatur und Finite Elemente Analysen erarbeitet.

2.1 Brandschutz

Die im vereinfachten Bemessungsverfahren hinterlegten Bemessungsempfehlungen sollen grundsätzlich folgende fundamentale Brandschutz-Anforderungen erfüllen:

- Gegenüber der derzeitigen Praxis darf es keine erhöhte Gefährdung für Bewohner, Rettungskräfte und Andere in der unmittelbaren Umgebung des Gebäudes geben.
- Die dem Feuer ausgesetzte Deckenseite darf keine übermäßigen Verformungen aufweisen, die zu einem Versagen des Brandabschlusses führen können. Mit anderen Worten muss das Feuer im Brandabschnitt seines Ausbruchs gehalten werden und darf sich weder horizontal noch vertikal ausbreiten.

2.2 Bauarten / Bauweisen

Der auf dem vereinfachten Bemessungsverfahren basierende Leitfaden gilt nur für Stahlkonstruktionen mit Verbunddeckenträgern und Verbunddecken der folgenden allgemeinen Form:

- Horizontal mit Verbänden oder Kernen ausgesteifte Rahmen
- Konstruktionen mit gelenkigen Verbindungen gemäß Abschnitt 2.2.1 dieses Leitfadens
- Verbunddecken, die aus Stahlprofiltafeln, einer einfachen Lage von Bewehrungsmatten und einem Normal- oder Leichtbeton in Übereinstimmung mit der EN 1994-1-1⁽⁹⁾ bestehen.
- nach EN 1994-1-1 bemessene Verbunddeckenträger
- Träger mit Öffnungen im Steg für Installationen

Der Leitfaden gilt **nicht** für:

- Deckensysteme mit vorgefertigten Betondeckenelementen
- Innere Deckenträger ohne planmäßige Verbundwirkung

2.2.1 Vereinfachte Modellierung der Anschlüsse

Für die im Rahmen dieses Leitfadens entwickelten Modelle der Anschlusskonstruktionen wird unterstellt, dass keine Biegemomente übertragen werden können. Die Verbindungen werden auch als „gelenkig“ bezeichnet.

Träger-Stützen-Verbindungen können als „gelenkig“ angenommen werden, wenn folgende Anschlusskomponenten vorliegen:

- nachgiebige Stirnplatten (Abbildung 2-1)
- Fahnenblechanschlüsse (Abbildung 2-2)
- Winkelanschlüsse (Abbildung 2-3)

Weitere Informationen zur Bemessung der Komponenten von „gelenkigen“ Anschlusskonstruktionen sind in Abschnitt 3.6 gegeben.

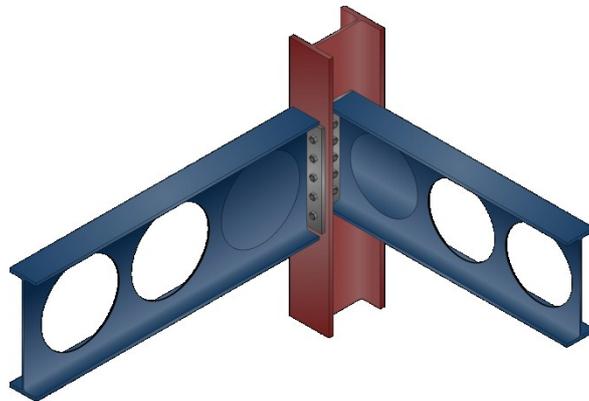


Abbildung 2-1 Beispiel einer Verbindung mit nachgiebigen Stirnplattenanschlüssen

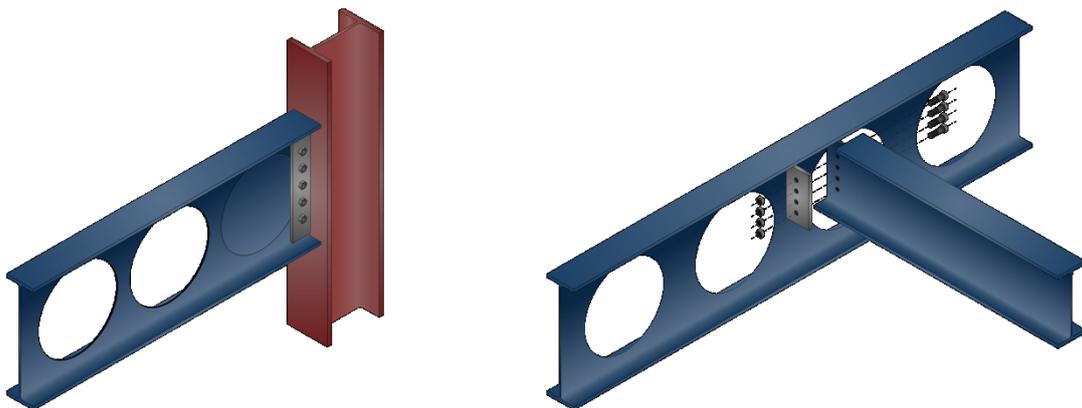


Abbildung 2-2 Beispiele von Verbindungen mit Fahnenblechanschlüssen

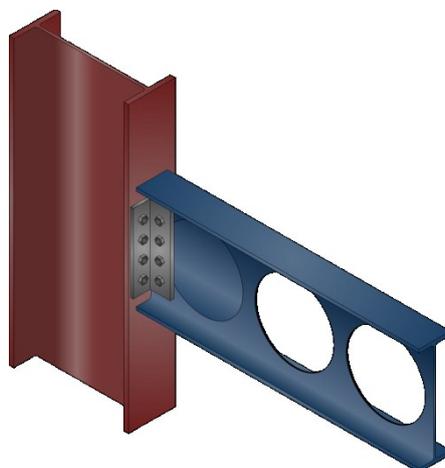


Abbildung 2-3 Beispiel einer Verbindung mit Winkelanschluss

2.2.2 Deckenplatten und -träger

Die in diesem Leitfaden gegebenen Bemessungsvorschläge sind auf Stahlverbunddecken bis zu einer Profilierungshöhe von 80 mm und Aufbetondicken von 60 bis 90 mm anwendbar. Der Tragwiderstand der Stahlprofilbleche wird bei der Brandbemessung ignoriert, jedoch verhindern die vorhandenen Stahlprofilbleche das Abplatzen des Betons auf der Unterseite der Decke. Diese Art von Deckenkonstruktion ist in Abbildung 2-4 dargestellt.

Die Bemessungsmethode kann für eine isotrope wie auch für eine orthotrope Bewehrungsanordnung angewendet werden, d.h. für gleiche bzw. unterschiedliche Bewehrungsmengen in orthogonaler Richtung. Die Stahlgüte der Bewehrung sollte in Übereinstimmung mit der EN 10080 bestimmt werden. Die MACS+ Software kann nur für geschweißte Bewehrungsmatten verwendet werden und nur eine Bewehrungslage berücksichtigen. Bewehrungsstäbe in den Rippen der Verbundplatten sind **nicht** erforderlich.

Die Software beinhaltet die nach britischen Normen standardisierten Betonstahlmatten der Serien A und B^(11,12) (Tabelle 2-1) und eine Reihe von Betonstahlmatten nach französischen Standards^(13,14) (Tabelle 2-2). Benutzerdefinierte Abmessungen für geschweißte Betonstahlmatten sind in der MACS+ Software ebenso erlaubt.

Tabelle 2-1 Betonstahlmatten nach BS 4483⁽¹¹⁾

Gitterbezeichnung	Gittergröße (mm)	Gewicht (kg/m ²)	Längsstäbe		Querstäbe	
			Größe (mm)	Fläche (mm ² /m)	Größe (mm)	Fläche (mm ² /m)
A142	200×200	2,22	6	142	6	142
A193	200×200	3,02	7	193	7	193
A252	200×200	3,95	8	252	8	252
A393	200×200	6,16	10	393	10	393
B196	100×200	3,05	5	196	7	193
B283	100×200	3,73	6	283	7	193
B385	100×200	4,53	7	385	7	193
B503	100×200	5,93	8	503	8	252

Tabelle 2-2 Auf dem französischen Markt verbreitete Betonstahlmatten

Gitterbezeichnung	Gittergröße (mm)	Gewicht (kg/m ²)	Längsstäbe		Querstäbe	
			Größe (mm)	Fläche (mm ² /m)	Größe (mm)	Fläche (mm ² /m)
ST 20	150×300	2,487	6	189	7	128
ST 25	150×300	3,020	7	257	7	128
ST 30	100×300	3,226	6	283	7	128
ST 35	100×300	6,16	7	385	7	128
ST 50	100×300	3,05	8	503	8	168
ST 60	100×300	3,73	9	636	9	254
ST 15 C	200×200	2,22	6	142	6	142
ST 25 C	150×150	4,03	7	257	7	257
ST 40 C	100×100	6,04	7	385	7	385
ST 50 C	100×100	7,90	8	503	8	503
ST 60 C	100×100	9,98	9	636	9	636

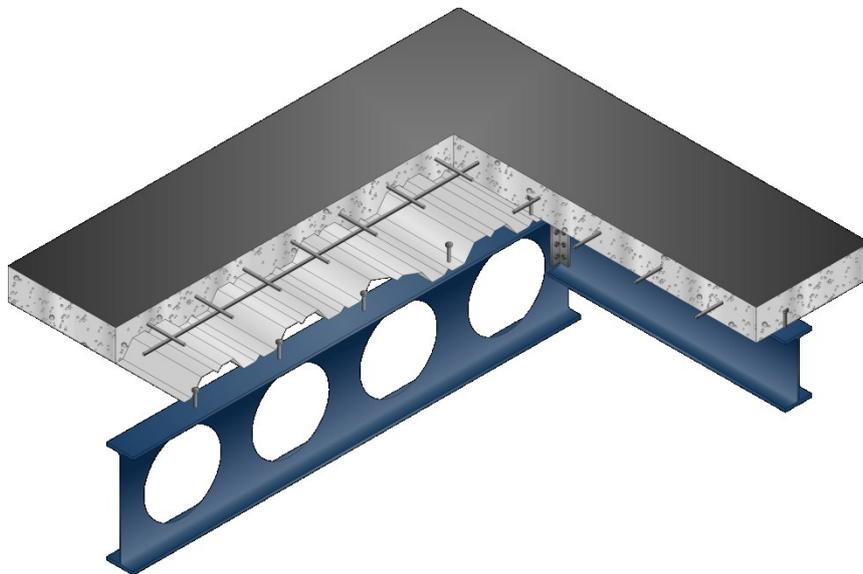


Abbildung 2-4 Schnittbild einer typischen Verbunddeckenkonstruktion

Es ist wichtig, die in der Konstruktion der Deckenplatte verwendeten Trägergrößen zu bestimmen, da diese das Brandverhalten der Deckenplatte beeinflussen. Der Planer benötigt dazu für jeden Träger in der Deckenplatte Detailangaben zur Profilgröße, zur Stahlgüte und den vorhandenen Verdübelungsgrad. Die Benutzeroberfläche der MACS+ Software erlaubt dem Anwender, aus einer

vordefinierten Liste die Profildimensionen gebräuchlicher britischer, europäischer und amerikanischer I- und H-Profile auszuwählen.

2.3 Deckenbemessungszonen

Die Bemessungsmethode erfordert, dass der Planer die Deckenplatte in eine Anzahl von Deckenbemessungszonen aufteilt, vgl. Abbildung 2-5. Die Träger am Rand dieser Deckenbemessungszonen müssen so bemessen werden, dass der vorgegebene Feuerwiderstand der Deckenplatte für diese Träger erreicht wird. Eine Deckenbemessungszone sollte folgende Eigenschaften haben:

- Jede Zone sollte rechteckig sein.
- Jede Zone sollte an jeder Seite von Trägern begrenzt sein.
- Die Träger innerhalb der Zone sollten nur in eine Richtung spannen.
- Stützen sollten sich nicht innerhalb einer Deckenbemessungszone befinden; sie dürfen am Rand der Deckenbemessungszonen angeordnet sein.
- Für Feuerwiderstandsperioden von mehr als 60 Minuten oder bei Verwendung einer parametrischen Temperatur-Zeitkurve sollten alle Stützen von mindestens einem brandgeschützten Träger orthogonal in jeder Richtung gehalten werden.
- Alle inneren Träger einer Zone können ungeschützt bleiben, vorausgesetzt die Berechnung mit der MACS+ Software zeigt, dass der Feuerwiderstand der Deckenbemessungszone ausreichend ist. Die Größe und der Abstand dieser ungeschützten Träger sind nicht entscheidend für das bauliche Verhalten im Brandfall.

Ein Beispiel einer einzelnen Deckenbemessungszone ist in Abbildung 2-5 gegeben.

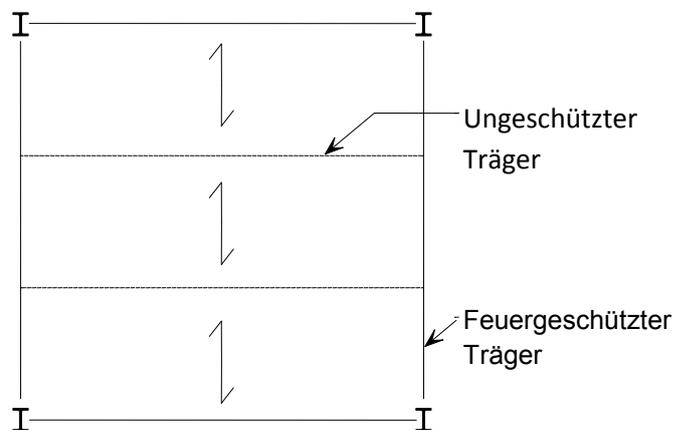


Abbildung 2-5 Beispiel einer Deckenbemessungszone

2.4 Kombinationen von Einwirkungen

Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit im Brandfall sollten die in Abschnitt 6.4.3.3 und Tabelle A1.3 der EN 1990⁽¹⁵⁾ gegebenen Einwirkungskombinationen für außergewöhnliche Bemessungssituationen verwendet werden. Für den Fall ungünstig wirkender, ständiger Einwirkungen ohne Vorspannung sind die folgenden Einwirkungskombinationen zu betrachten:

$$\sum G_{k,j,\text{sup}} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ or } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Mit:

$G_{k,j,sup}$	ungünstige wirkende, ständige Einwirkung
A_d	maßgebende außergewöhnliche Einwirkung
$Q_{k,1}$ und $Q_{k,i}$	begleitende veränderliche Einwirkungen, Leit- bzw. Begleiteinwirkungen
$\psi_{1,1}$	Kombinationsbeiwert für den häufigen Wert der maßgebenden veränderlichen Einwirkung
$\psi_{2,i}$	Kombinationsbeiwert für den quasi-ständigen Wert der i-ten veränderlichen Einwirkung

Die Verwendung von $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$ mit $Q_{k,1}$ sollte im jeweiligen nationalen Anhang festgelegt sein. Für die Wahl der Kombinationsbeiwerte sollte der nationale Anhang des Landes herangezogen werden, in dem das Gebäude errichtet wird.

Die Kombinationsbeiwerte beziehen sich jeweils auf unterschiedliche Kategorien Veränderlicher Einwirkungen. In Tabelle A1.1 der EN 1990 sind die vom Eurocode empfohlenen ψ -Kombinationsbeiwerte für Gebäude enthalten. Diese Werte werden in den relevanten nationalen Anhängen bestätigt oder abgewandelt. Die ψ -Werte für Gebäude in Großbritannien oder Frankreich sind in Tabelle 2-3 zusammengefasst. Für Decken, die eine Querverteilung der Lasten erlauben, sind die folgenden gleichmäßig verteilten Flächenlasten für leichte Trennwände in Abschnitt 6.3.1.2(8) der EN 1991-1-1⁽¹⁶⁾ gegeben:

Leichte Trennwände mit einem Eigengewicht ≤ 1.0 kN/m Wandlänge: $q_k = 0.5$ kN/m²

Leichte Trennwände mit einem Eigengewicht ≤ 2.0 kN/m Wandlänge: $q_k = 0.8$ kN/m²

Leichte Trennwände mit einem Eigengewicht ≤ 3.0 kN/m Wandlänge: $q_k = 1.2$ kN/m²

Bei leichten Trennwänden mit einem Eigengewicht größer als 3.0 kN/m Wandlänge soll die hier vorgestellte Methode nur angewendet werden, wenn Lage der Trennwände berücksichtigt wird.

In Tabelle 6.2 sind die Werte für veränderliche Lasten auf Decken gemäß Eurocode EN 1991-1-1 angegeben. Diese Werte können ebenfalls im gültigen nationalen Anhang modifiziert sein. Tabelle 2-4 zeigt die vom Eurocode empfohlenen Werte sowie die Werte der britischen und französischen nationalen Anhänge für Verkehrslasten bei Bürogebäuden.

Tabelle 2-3 Werte der ψ -Kombinationsbeiwerte

Nutzungskategorie	vom Eurocode empfohlene Werte		britische Werte (NA)		französische Werte (NA)	
	ψ_1	ψ_2	ψ_1	ψ_2	ψ_1	ψ_2
Haus-, Büro- und Verkehrsflächen: 30 kN <Masse \leq 160 kN	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3
Lagerflächen	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8
Andere*	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6

*Klimatische Einflüsse sind nicht beinhaltet

Tabelle 2-4 Verkehrslasten (Bürogebäude)

Kategorie der belasteten Fläche	vom Eurocode empfohlene Werte		britische Werte (NA)		französische Werte (NA)	
	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
B – Büroflächen	3,0	4,5	2,5* or 3,0**	2,7	3,5 – 5,0	15,0

* Oberhalb Erdgeschoß

** Auf- oder Unterhalb des Erdgeschoßes

2.5 Brandeinwirkung

Die Empfehlungen des vereinfachten Bemessungsverfahrens dürfen auf Gebäude angewendet werden, für deren Tragelemente eine Brandexposition nach Standard-Temperatur-Zeit-Kurve oder nach einer parametrisierten Temperatur-Zeit-Kurve gemäß den Definitionen nach EN 1991-1-2 angenommen werden kann. Zur Definition einer Temperatur-Zeitkurve eines Naturbrandszenarios können auch genauere Modelle verwendet werden. Die resultierende Temperatur-Zeitkurve kann in Form einer Textdatei in die MACS+ Software importiert werden.

In allen Fällen sind die Bestimmungen der nationalen Regelwerke auch in Bezug auf Fluchtmöglichkeiten zu beachten.

2.5.1 Feuerwiderstand

In den Tabellen 2-5 und 2-6 sind die gemäß nationalen Regelwerken empfohlenen Feuerwiderstandsdauern für tragende Bauteile verschiedener Gebäudetypen wiedergegeben. Die folgenden Empfehlungen gelten für Gebäude, bei denen eine Feuerwiderstandsdauer von 180 Minuten für tragende Bauteile erforderlich ist. Unter Berücksichtigung dieser Empfehlungen wird sichergestellt, dass die Standsicherheit von Stahlrahmenkonstruktionen mit Verbunddecken für jeden möglichen Brandraum unter Standard-Temperatureinwirkung für die gegebene Einwirkungsdauer gewährleistet ist.

Bei allen Verbundkonstruktionen des Hochbaus kann davon ausgegangen werden, dass 15 Minuten Feuerwiderstandsdauer ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen erreicht werden. Für diesen Fall werden daher keine speziellen Empfehlungen gegeben.

Tabelle 2-5 Erforderliche Feuerwiderstandsdauern gemäß des in England und Wales genehmigten Dokumentes B

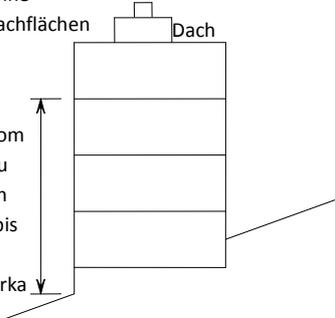
	Feuerwiderstand (min) für die Bauhöhen (m)				
	< 5	≤18	≤30	> 30	
Mehrfamilienhäuser(Wohnhäuser)	30	60	90	120	<p>Bauhöhe ohne begrünte Dachflächen</p>  <p>Höhe, gemessen vom Bodenniveau des obersten Geschosses bis zur Geländeoberkante an der niedrigsten Seite des Gebäudes</p>
Büro	30	60	90	120*	
Geschäfte, Gewerbe, Versammlung und Freizeit	30	60	90	120*	
Geschlossene Parkgaragen	30	60	90	120*	
Offene Parkgaragen	15	15	15	60	
<p>Genehmigtes Dokument B erlaubt die Feuerwiderstands-dauer für die meisten Nutzungsanforderungen von 60 auf 30 Minuten oder von 90 auf 60 Minuten zu reduzieren.</p> <p>* Sprinkler sind erforderlich, aber der Feuerwiderstand der Decke braucht nur 90 Minuten betragen.</p>					

Tabelle 2-6 Erforderliche Feuerwiderstandsdauern gemäß Französischer Regelwerke

Mehrfamilienhäuser (Wohnhäuser)	< 2 Etagen	2 Etagen< ... ≤ 4 Etagen	4 Etagen < ... ≤28 m	28 m < H < 50 m	> 50 m	
		R15	R30	R60	R90	R120
	Erdgeschoss		Höhe des Obergeschoss es ≤8 m	Höhe des Obergeschoss es > 8 m	Höhe des Obergeschosses s > 28 m	
Büro	0			R60	R 120	
Geschäfte, Gewerbe, Versammlung und Freizeit	< 100 Personen	0			R60	R120
	< 1500 Personen	R30			R60	

	n				
	> 1500 Personen	R30	R60	R90	
		Erdgeschoss	> 2 Ebenen	Höhe des Obergeschosses > 28 m	
Geschlossene Parkgaragen		R30	R60	R90	
offene Parkgaragen					

Anmerkung: ¹Büro, für Öffentlichkeit nicht zugänglich; *H* ist die Höhe des Obergeschosses

2.5.2 Naturbrand (parametrische Temperatur-Zeitkurve)

Die MACS+ Software erlaubt, auf Basis der parametrisierten Temperatur-Zeit-Kurve der EN 1991-1-2 Anhang A, die Auswirkungen eines Naturbrands auf Deckenplatten zu berechnen. Es ist anzumerken, dass Anhang A informativ ist und seine Verwendung in einigen europäischen Ländern, z.B. Frankreich, nicht erlaubt ist. Vor der endgültigen Bemessung muss der Planer den gültigen nationalen Anhang heranziehen.

Bei Anwendung der parametrischen Brandkurve ermittelt die Software die Brandraumtemperatur unter Berücksichtigung folgender Einflussgrößen:

- Brandraumgröße:
 - Länge
 - Breite
 - Höhe
- Höhe und Fläche der Fenster:
 - Fensterhöhe
 - Fensterlänge
 - Prozentsatz offener Fenster
- Brennstoffmenge und-verteilung im Brandraum
 - Brandlast
 - Verbrennungsfaktor
 - Abbrandrate
- thermische Eigenschaften des Brandraumabschlusses

Die Temperatur eines Naturbrandmodells steigt im Anfangsstadium oft schneller an als die Einheitstemperaturkurve. Sobald aber die Brennstoffe verbraucht sind, nimmt die Temperatur schnell ab, während bei der Einheitstemperaturkurve die Temperatur auf unbestimmte Zeit stetig ansteigt.

In Abbildung 2-6 sind die Einheitstemperaturkurve (ETK) und eine typische parametrische Temperatur-Zeitkurve dargestellt.

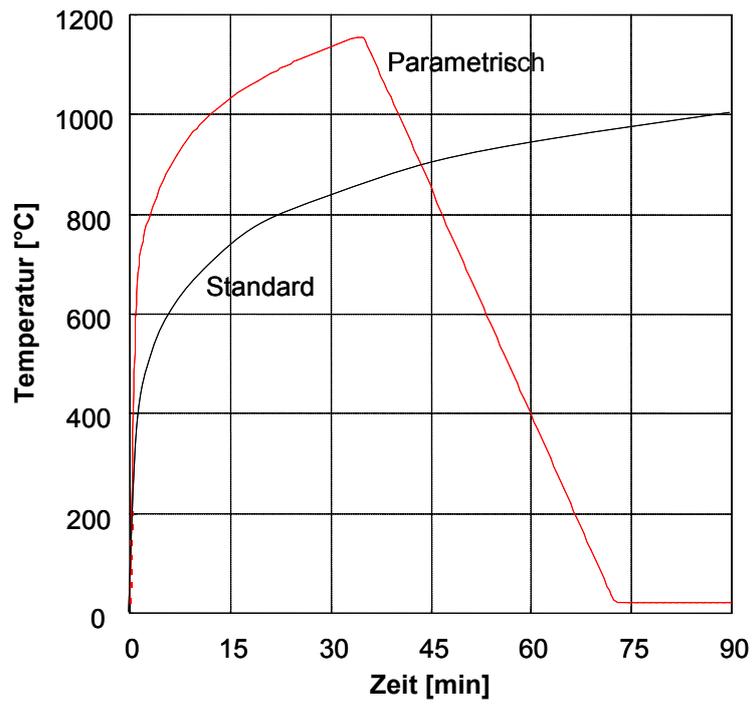


Abbildung 2-6 Vergleich einer typischen parametrischen Brandkurve mit der Einheitstemperaturkurve

3 EMPFEHLUNGEN FÜR TRAGENDE BAUTEILE

3.1 Deckenbemessungszonen

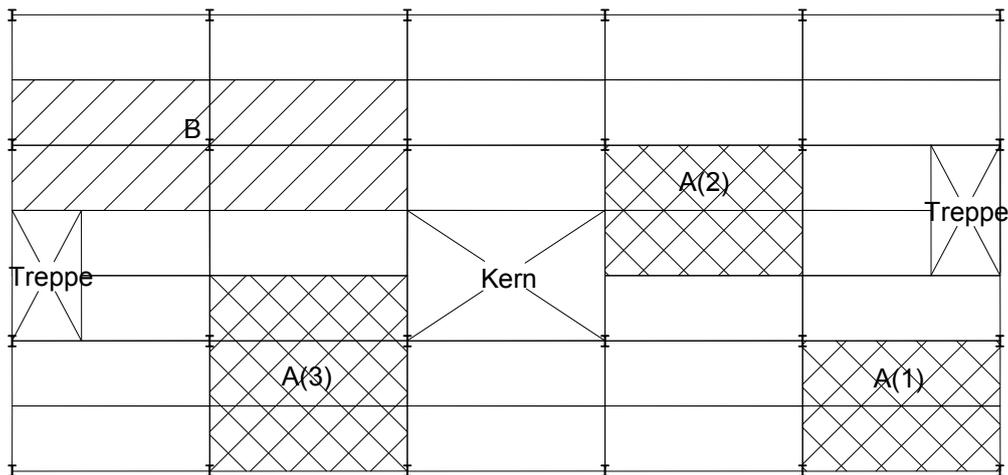
Jede Decke sollte in Deckenbemessungszonen unterteilt werden, die den Kriterien aus Abschnitt 2.3 entsprechen.

Die Unterteilung der Decke in Deckenbemessungszonen ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Mit ‚A‘ kenntlich gemachte Deckenzonen werden vom Anwendungsbereich der MACS+ Software abgedeckt Ihre Traglastfähigkeit im Brandfall darf mit MACS+ ermittelt werden. Die mit ‚B‘ bezeichnete Zone ist außerhalb des Anwendungsbereiches der Software, weil sie eine Stütze beinhaltet und außerdem die Träger innerhalb der Zone nicht alle in die gleiche Richtung spannen.

Die in Abbildung 3-2 dargestellte Deckenzone illustriert die in der MACS+ Software in Ansatz gebrachten Trägerspanrichtungen. Bei üblichen Konstruktionen werden die Deckenlasten von Sekundärträgern aufgenommen, welche die Lasten wiederum an Hauptträger abgeben.

Das zugrundeliegende Bemessungsverfahren unterstellt, dass im Brandfall die Tragfähigkeit der ungeschützten inneren Träger erheblich abnimmt. Infolge dessen kann für die Verbundplatte angenommen werden, dass sich eine zweiachsige Tragwirkung mit gelenkiger Auflagerung an den Umfangslinien einstellt. Um sicherzustellen, dass die Platte Membrantragwirkung entwickeln kann, berechnet die MACS+ Software für jeden der umlaufenden Hauptträger das Biegemoment infolge der Lasten der jeweiligen Deckenbemessungszone. Um die vertikale Lagerungsbedingung für den gesamten Umfang der betrachteten Deckenbemessungszone in der Praxis sicherzustellen, berechnet die Software den Ausnutzungsgrad und hieraus die kritische Temperatur der umlaufenden Primärträger. Die erforderlichen Brandschutzmaßnahmen für diese Träger sollten auf Basis der so ermittelten kritischen Temperatur und der geforderten Feuerwiderstandsdauer gemäß den Anforderungen der nationalen Regelwerke festgelegt werden. In Abbildung 3-2 sind die kritische Temperatur und der Ausnutzungsgrad für jeden der umlaufenden Hauptträger an den Seiten A bis D der Deckenbemessungszone dargestellt.

Gemäß Abschnitt 2.2.2 ist die Anwendung der MACS+-Software für Feuereinwirkungsdauern von 60 min oder mehr in der Art eingeschränkt, dass die Umrisse der Deckenbemessungszonen mit dem Stützenraster korrespondieren sowie die umlaufenden Randträger brandgeschützt sein müssen. Für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten trifft diese Beschränkung nicht zu und die Zonengrenzen brauchen sich nicht am Stützraster zu orientieren. In Tabelle 3-3 haben zum Beispiel die Zonen A2 und A3 lediglich an zwei ihrer Ecken Stützen und können daher nur als Deckenbemessungszonen für Feuerwiderstandsdauern bis maximal 30 Minuten in Betracht gezogen werden.



Legende zur Abbildung

- A: Diese Zone kann mit MACS+ bemessen werden
- A(1): Beliebige Feuerwiderstandsdauer
- A(2) & A(3): nur 30 Minuten Feuerwiderstand
- B: Außerhalb des Anwendungsbereiches von MACS+

Abbildung 3-1 Mögliche Deckenbemessungszonen

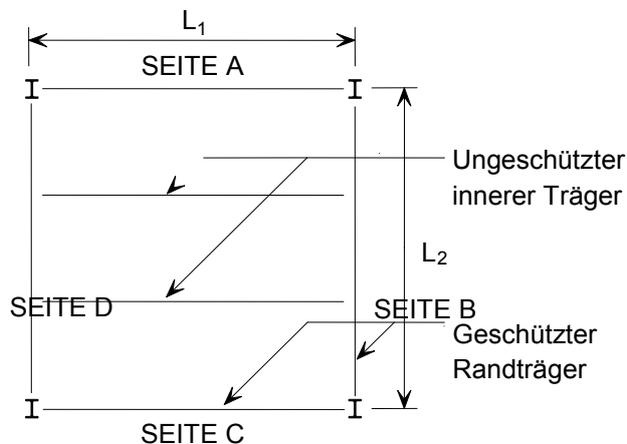


Abbildung 3-2 Definition der Spannweiten 1 (L_1) und 2 (L_2), sowie Trägeranordnung für eine Deckenbemessungszone in einem Gebäude mit einer geforderten Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten oder mehr

3.2 Deckenplatten und Träger

Die MACS+ Software berechnet die Traglast der Deckenplatte und der ungeschützten Träger im Brandfall. Da die in der Software implementierte vereinfachte Bemessungsmethode eine geeignete Lagerung der Platte über den Umfang unterstellt, wird die kritische Temperatur für jeden Randträger von der Software errechnet.

3.2.1 Temperaturberechnung der Deckenplatte

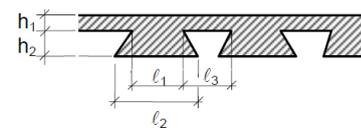
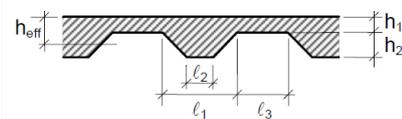
Die Temperaturverteilung in einer Verbunddecke kann mittels Finite-Differenzen-Methode oder mittels Finite-Elemente-Methode bestimmt werden. Hierbei sind die exakte Geometrie sowie die Grundsätze und Regeln des Abschnittes 4.4.2 der EN 1994-1-2 (6) zu beachten.

Alternativ kann die Temperaturverteilung in einer ungeschützten Verbunddecke unter ISO-Normbrandeinwirkung anhand der Werte aus Tabelle 3-1 festgelegt werden. Tabelle 3-1 wurde gemäß EN 1992-1-2 (17) und dem nationalen Anhang in Abhängigkeit von der effektiven Dicke h_{eff} der Platte, definiert durch Anhang D.4 der EN 1994-1-2 (6), erstellt.

Tabelle 3-1 Temperaturverteilung einer Deckenplatte ($h_{\text{eff, max}} = 150\text{mm}$) unter Normbrandeinwirkung von 30 bis 180 Minuten Dauer

Abstand x [mm]	Temperatur in der Betonplatte θ_c [°C]				
	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min
2,5	675	831	912	967	1 042
10	513	684	777	842	932
20	363	531	629	698	797
30	260	418	514	583	685
40	187	331	423	491	591
50	135	263	349	415	514
60	101	209	290	352	448
70	76	166	241	300	392
80	59	133	200	256	344
90	46	108	166	218	303
100	37	89	138	186	267
110	31	73	117	159	236
120	27	61	100	137	209
130	24	51	86	119	186
140	23	44	74	105	166
150	22	38	65	94	149

Unterseite der Platte,
dem Feuer ausgesetzt



$$\Phi = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{2h_2}{l_1 + l_3 - l_2}$$

Anhand der obigen Temperaturverteilung können folgende drei Parameter festgelegt werden:

- θ_2 : Temperatur der dem Feuer ausgesetzten Seite der Platte;

- θ_1 : Temperatur der dem Feuer abgewandten Seite der Platte;
- θ_s : Temperatur der Platte auf Höhe der Bewehrungslage.

Unter ISO-Normbrandeinwirkung sollten die folgenden Werte für x verwendet werden, um die Temperaturen θ_1 , θ_2 , und θ_s mit Hilfe von Tabelle 3-1 festzulegen:

- Für θ_2 , $x = 2,5$ mm;
- Für θ_1 , $x = h_{eff}$;
- Für θ_s , $x = h_1 - d + 10 \Phi$ (d : Abstand zwischen der Mittelachse der Bewehrung und der dem Feuer abgewandten Betonseite, vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, und Φ : vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

3.2.2 Temperaturberechnung von ungeschützten Verbundträgern

Die Temperaturen eines ungeschützten Stahlträgers unter ISO-Normbrandeinwirkung können gemäß Abschnitt 4.3.4.2.2 der EN 1994-1-2 bestimmt werden. Um die Anwendung der Berechnungsmethode zu erleichtern, sind in Tabelle 3-2 die Temperaturen für ungeschützte Stahlquerschnitte in Abhängigkeit des resultierenden Querschnittsfaktors und der Brandeinwirkungsdauer gegeben (der resultierende Querschnittsfaktor ist das Produkt des Querschnittsfaktors mit dem Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt).

Tabelle 3-2 Temperatur eines ungeschützten Stahlquerschnitts unter Normbrand

Resultierender Querschnittsfaktor $k_{sh} \left(\frac{A_r}{V_i} \right)$ [m ⁻¹]	Temperatur des Stahlquerschnitts θ_a [°C]				
	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min
20	432	736	942	1 030	1 101
30	555	835	987	1 039	1 104
40	637	901	995	1 042	1 106
50	691	923	997	1 043	1 106
60	722	931	999	1 044	1 107
70	734	934	1 000	1 045	1 107
80	742	936	1 001	1 046	1 108
90	754	937	1 001	1 046	1 108
100	768	938	1 002	1 046	1 108
110	782	939	1 002	1 047	1 108
120	793	939	1 003	1 047	1 108
130	802	940	1 003	1 047	1 109
140	810	940	1 003	1 047	1 109

150	815	941	1 003	1 047	1 109
200	829	942	1 004	1 048	1 109
500	838	944	1 005	1 048	1 109

3.2.3 Brandbemessung einer Deckenplatte

Tragverhalten von Verbund-Deckenplatten

Bei der Berechnung der Tragfähigkeit jeder Deckenbemessungszone werden die Einzeltragfähigkeiten der Verbunddecken und der ungeschützten Träger separat voneinander ermittelt. Dabei wird angenommen, dass die Platte an der Umfangsline der Deckenbemessungszone endet. Die Last, die durch das Biegetragverhalten der Verbundplatte innerhalb der Deckenbemessungszone aufgenommen werden kann, wird auf Grundlage einer auf der sicheren Seite liegenden Grenz Betrachtung bestimmt. Dieser liegt das Fließlinienmuster aus Abbildung 3-3 zugrunde.

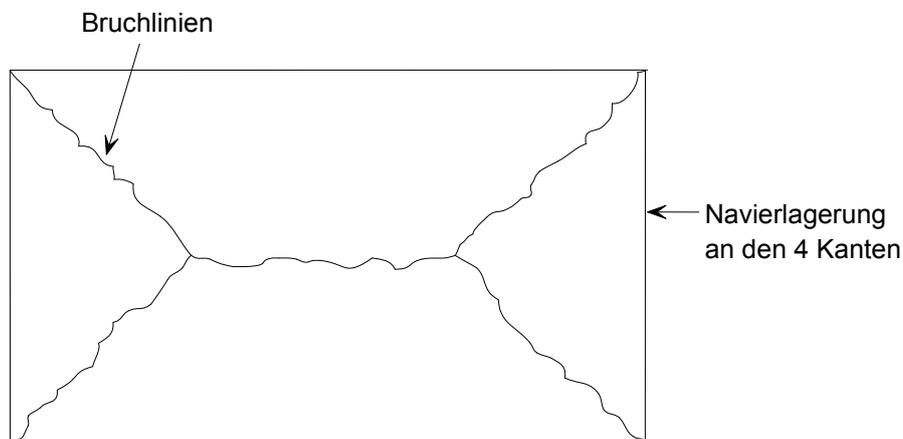


Abbildung 3-3 Angenommenes Fließlinienmuster zur Berechnung der Plattentragfähigkeit

Der auf diese Weise ermittelte untere Grenzwert der Tragfähigkeit wird durch die günstig wirkende Membrantragwirkung bei großen Verformungen gesteigert. Mit Zunahme der vertikalen Verformungen der Platte steigert sich der Anteil der Tragfähigkeit infolge Membranwirkung solange, bis das Versagen infolge Bewehrungsbruch entlang der kurzen Plattenseite oder infolge Betondruckversagen in den Ecken der Platte auftritt, vgl. Abbildung 3-4. Da die Bemessungsmethode den Ort des Versagens nicht vorhersagen kann, basiert der Wert der Durchbiegung, der berücksichtigt wird, auf einer auf der sicheren Seite liegenden Schätzung der Plattendurchbiegung, die einen Anteil aus der Temperaturkrümmung der Platte und einen Anteil aus der Dehnung der Bewehrung beinhaltet:

$$w = \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19,2h_{eff}} + \sqrt{\left(\frac{0,5f_y}{E_a}\right) \frac{3L^2}{8}}$$

Die Durchbiegung wird zu dem durch folgenden Ausdruck begrenzt:

$$w \leq \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19,2h_{eff}} + \frac{l}{30}$$

mit:

$(T_2 - T_1)$ Temperaturdifferenz zwischen Plattenober- und Plattenunterseite

L längere Seite der Deckenbemessungszone

l kürzere Seite der Deckenbemessungszone

f_y Streckgrenze der Deckenbewehrung

E Elastizitätsmodul des Stahls

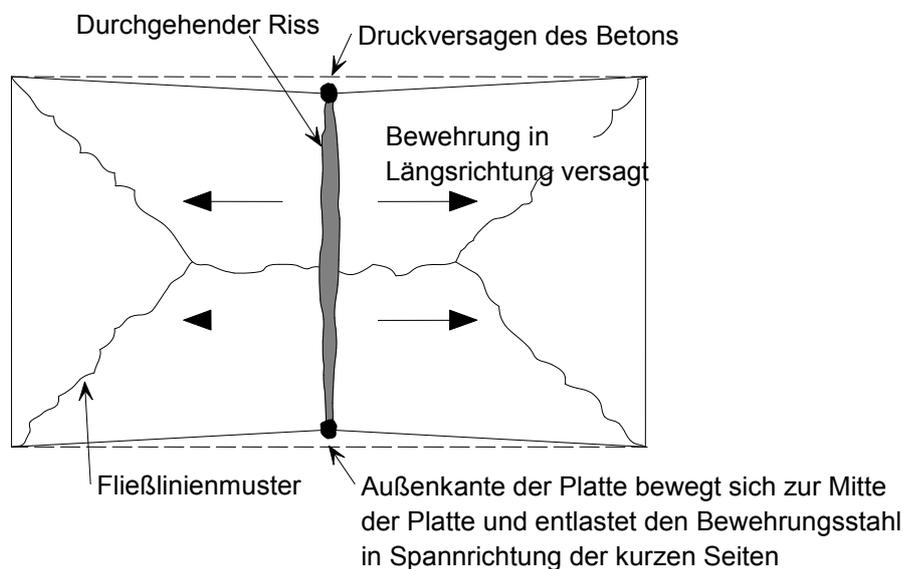
h_{eff} effektive Dicke der Verbundplatte

α Wärmeausdehnungskoeffizient des Betons

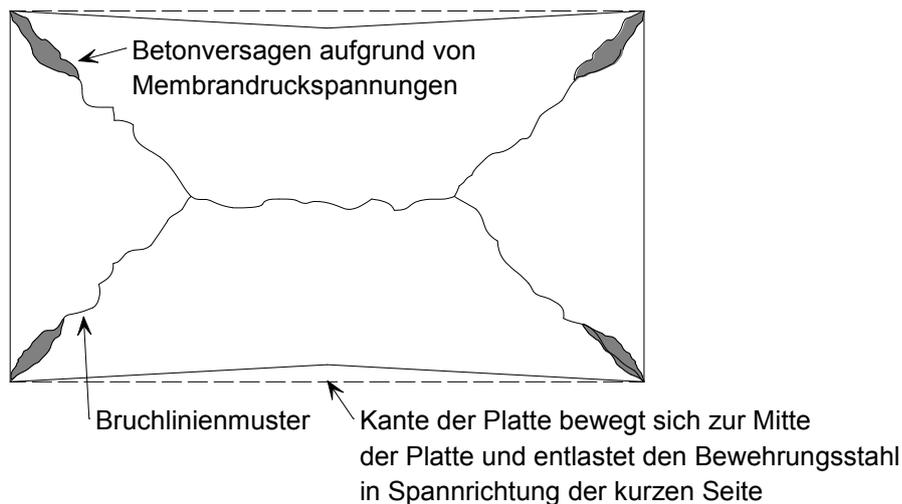
Alle bekannten Testergebnisse zeigen, dass die so errechneten Durchbiegungen überschritten werden, bevor das Versagen der Platten auftritt. Das bedeutet, dass der durch dieses Bemessungsverfahren vorhergesagte Widerstand im Vergleich zum tatsächlichen Verhalten auf der sicheren Seite liegt.

Die gesamte Plattendurchbiegung wird zusätzlich durch den folgenden Ausdruck begrenzt:

$$w \leq \frac{L+l}{30}$$



(a) Zugversagen der Bewehrung



(b) Druckversagen des Betons

Abbildung 3-4 Versagensmodi

Die verminderte Biegetragfähigkeit der ungeschützten Verbundträger wird anschließend zu der infolge Membrantragwirkung gesteigerten Plattenbiegetragfähigkeit addiert und ergibt die vollständige Tragfähigkeit des Gesamtsystems.

Brandraumabschließende- und isolierende Wirkung der Verbunddecke

Die MACS+ Software überprüft ausdrücklich nicht die Isolationswirkung oder die brandraumabschließende Leistungsfähigkeit der Deckenplatte. Der Planer muss daher sicherstellen, dass die gewählte Plattendicke ausreicht, um die erforderlichen Abschirmungseigenschaften gemäß den Empfehlungen der EN 1994-1-2 zu gewährleisten.

Um sicherzustellen, dass die Verbunddecke ihre strukturelle Integrität während des Brandes beibehält, damit sich die Membranwirkung entwickeln kann, müssen sich die Bewehrungsmatten ausreichend überlappen. Das ist vor allem im Bereich der ungeschützten Träger und um die Stützen wichtig. Weitere Informationen zu den nötigen Überlappungslängen und der Anordnung der Bewehrung sind in Abschnitt 3.3 gegeben.

3.2.4 Brandbemessung der Träger am Rand der Deckenbemessungszone

Die Randträger der Deckenbemessungszone, in Abbildung 3-2 mit A bis D bezeichnet, sollten den benötigten Feuerwiderstand der Deckenplatte erreichen, um das notwendige vertikale Auflager der Deckenbemessungszone sicherzustellen. In der Regel müssen diese Träger deshalb brandgeschützt ausgeführt werden.

Die MACS+ Software ermittelt die Schnittgrößen und die Biegemomenten­tragfähigkeit der Randträger bei Raumtemperatur, um die Ausnutzungsgrade gemäß EN 1993-1-2 §4.2.4 zu ermitteln: Die MACS+ Software berechnet den Bemessungseffekt der Wirkungen auf den Umfassungsbalken und den Widerstand des Raumtemperaturmomentes des Trägers, um den Gebrauchsgrad eines jeden Umfassungsbalkens zu berechnen. Diese Berechnung erfolgt mit Hilfe der EN 1993-1-2 §4.2.4:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

mit:

$E_{fi,d}$ Auswirkung auf den Randträger im Brandfall

$R_{fi,d,0}$ Bemessungswiderstand des Randträgers zum Zeitpunkt $t=0$

Nachdem die Ausnutzungsgrade der Randträger berechnet sind, ermittelt die Software die jeweiligen kritischen Temperaturen der Profil-Untergurte. Die errechneten kritischen Temperaturen werden in der Programmausgabe des MACS+ Software dokumentiert und können zur Bemessung der Brandschutzmaßnahmen für die Randträger herangezogen werden. Alle Details der Berechnungsmethode können dem MACS+ Hintergrunddokument entnommen werden.⁽⁷⁾

Bei Randträgern mit Deckenbemessungszonen auf beiden Seiten sollte der kleinere Wert der kritischen Temperatur der maßgebenden der beiden benachbarten Deckenbemessungszonen, verwendet werden, um den konstruktiven Brandschutz der Randträger zu bemessen. Die Bemessungsmethode für einen gemeinsamen Randträger von zwei benachbarten Deckenbemessungszonen wird anhand des Berechnungsbeispiels in Abschnitt 5 erklärt.

Zur vollständigen Spezifikation der Brandschutzmaßnahmen für die Randträger benötigt der Anbieter eines Brandschutzsystems für jedes zu schützende Bauteil den jeweiligen Querschnittsfaktor, die erforderliche Feuerwiderstandsdauer und die kritische Temperatur. Die meisten namhaften Hersteller von Brandschutzsystemen haben Produktspezifikationen über einen weiten Temperaturbereich gemäß EN 13381-1⁽¹⁷⁾ für nicht reaktive Materialien oder gemäß EN 13381-1⁽¹⁸⁾ für reaktive Materialien (Intumeszenz) vorliegen. Bemessungstabellen für den Brandschutz, welche die Schutzdicke auf den Querschnittsfaktor beziehen, basieren häufig auf einer einzelnen spezifischen kritischen Versagenstemperatur. Diese sollte kleiner oder gleich der kritischen Bauteiltemperatur sein.

3.3 Bewehrungsdetails

Die Streckgrenze und Duktilität des Stahlbewehrungsmaterials sollte in Übereinstimmung mit den Bedingungen der EN 10080 spezifiziert sein. Die charakteristische Streckgrenze der Bewehrungsstahl nach EN 10080 liegt je nach nationalem Markt zwischen 400 MPa und 600 MPa.

In den meisten Ländern existieren die nationalen Regelwerke zur Spezifikation des Bewehrungsstahls immer noch als nationale Normen und ergänzenden Regeln, die nicht im Widerspruch zum europäisch harmonisierten Normtext stehen (NCCI), da eine beträchtliche Anzahl an Stahlsorten noch nicht in der EN 10080 geregelt ist.

Bei Verbunddecken liegt die Hauptaufgabe der Flächenbewehrung darin, das Reißen des Betons zu kontrollieren. Deswegen wird die Bewehrung so nah wie möglich an der Oberfläche des Betons angeordnet, wobei eine Mindestbetondeckung eingehalten werden muss, um eine ausreichende Dauerhaftigkeit gemäß EN 1992-1-1⁽¹⁹⁾ zu gewährleisten. Die Lage der Bewehrung beeinflusst im Brandfall die resultierende Bewehrungstemperatur, den Hebelarm und damit die Biegetragfähigkeit der Verbunddecke. Üblicherweise wird ein angemessenes Brandverhalten erzielt, wenn die Deckenbewehrung zwischen 15 und 45 mm unter der Oberfläche des Betons angeordnet wird.

Abschnitt 3.3.1 gibt generelle Informationen bezüglich der Bewehrungsdetails. Weitere Richtlinien und Informationen können der EN 1994-1-1⁽⁹⁾ und der EN 1994-1-2⁽⁶⁾ oder den nationalen Regelungen (siehe Literaturangaben) entnommen werden.⁽²⁰⁾

3.3.1 Konstruktive Ausbildung der Betonstahl-Mattenbewehrung

Üblicherweise sind Betonstahlmatten 4,8 m x 2,4 m groß. Für eine fortlaufende Bewehrung müssen sie überlappend angeordnet werden. Für die Stöße sind ausreichende Übergreifungslängen vorzusehen. Die ordnungsgemäße Ausführung der Übergreifungsstöße auf der Baustelle ist durch geeignete Bauüberwachungsmaßnahmen sicherzustellen. Empfohlene Übergreifungslängen sind im Abschnitt 8.7.5 der EN 1992-1-1⁽¹⁹⁾ gegeben oder können Tabelle 3-3 entnommen werden. Die minimale Übergreifungslänge für Mattenbewehrung sollte 250 mm sein. Idealerweise sollten Matten mit überstehenden Stäben ausgeführt werden, vgl. Abbildung 3-5, um eine Stoßausbildung mit zwei Bewehrungsebenen zu vermeiden. Es ist oft wirtschaftlich, diese Matten maßgefertigt zu bestellen, um Stahlverluste zu vermeiden.

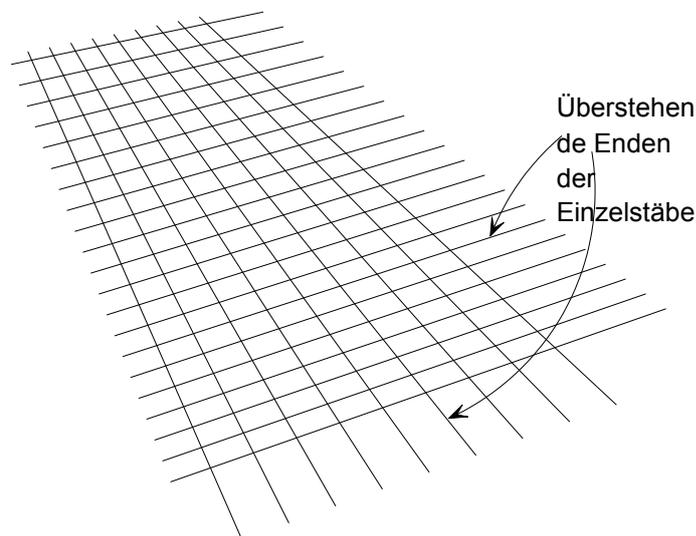


Abbildung 3-5 Matte mit überstehenden Stabenden

Tabelle 3-3 Empfohlene **Übergreifungslängen (Zugstoß)** und Verankerungslängen für geschweißte Betonstahl-Matten

Bewehrungstyp	Draht- /Gitterstabtyp	Betonklasse					
		LC 25/28	NC 25/30	LC 28/31	NC 28/35	LC 32/35	NC 32/40
Stahlgüte 500, Stab- Durchmesser d	gerippt	50d	40d	47d	38d	44d	35d
6 mm	gerippt	300	250	300	250	275	250
7 mm	gerippt	350	300	350	275	325	250
8 mm	gerippt	400	325	400	325	350	300
10 mm	gerippt	500	400	475	400	450	350

Anmerkungen:

Diese Empfehlungen liegen auf der sicheren Seite und stehen im Einklang mit den Regelungen der EN 1992-1-1. Sofern bei einem Übergreifungsstoß an der Querschnittsoberseite die minimale Betondeckung kleiner als 2 mal der Durchmesser der gestoßenen Bewehrung ist, sollte die Übergreifungslänge um den Faktor 1,4 erhöht werden. Gerippter Betonstahl ist in der EN 10080 geregelt. Die minimalen Überlappungs- und Verankerungslängen für Stabstahl und Mattenstahl sollten 300 mm bzw. 250 mm betragen.

3.3.2 Konstruktive Anforderungen für den Randträger einer Verbunddecke

Die Art der Bewehrungsführung am Deckenrand hat einen bedeutenden Einfluss auf das Tragverhalten der Randträger und damit auf das Gesamtverhalten der Decke im Brandfall. Die folgenden Leitlinien basieren auf „best-practice“-Empfehlungen für Entwurf und Ausführung von Verbunddecken im Fall der Bemessung bei Raumtemperatur. Die hier vorgestellte Brandbemessungsmethode setzt voraus, dass diese konstruktiven Randbedingungen erfüllt werden.

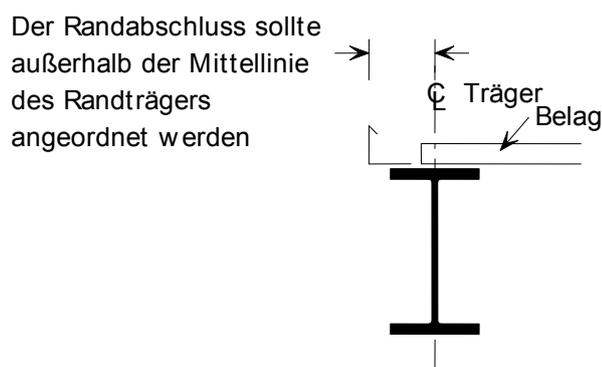


Abbildung 3-6 Anordnung des Randabschlussprofils

Der seitliche Abschluss von Verbunddecken wird in der Regel durch Randprofile aus leichten verzinkten Stahlblechen gebildet, welche auf gleiche Weise wie die Stahlprofilbleche auf dem Träger befestigt werden, vgl. Abbildung 3-6. In Fällen mit planmäßiger Verbundwirkung des Randträgers ist die Anordnung von die Kopfbolzendübel umgreifender horizontaler Bügelbewehrung erforderlich, um ein Abreißen der Betondecke in Längsrichtung des Randträgers zu verhindern. Die Bügelbewehrung stellt ebenfalls eine ausreichende Verankerung des Randträgers in der Betonplatte

sicher, was eine wesentliche Voraussetzung zur Anwendbarkeit des vereinfachten Bemessungsverfahrens ist.

In Abbildung 3.7 sind einige typische Details der Randkonstruktion für die beiden möglichen Orientierungen der Profilbleche dargestellt. Wo die Profilierung der Bleche quer zu den Randträgern verläuft und über kurze Distanzen auskragt, kann der Randbereich auf die in der Abbildung 3-7 (a) gezeigte Art befestigt werden. Die Kraglänge sollte nicht mehr als 600 mm, anhängig von der Plattendicke und dem verwendeten Blech, betragen.

Ein schwierigerer Fall liegt vor, wenn die Profilierung der Bleche parallel zu den Randträgern verläuft und die Platte im Endzustand über eine kurze Distanz auskragen soll. Dies führt dazu, dass der längsverlaufende Rand der Platte nicht gestützt ist, vgl. Abbildung 3-7 (b). Wenn die Plattenauskrantung mehr als 200 mm beträgt (abhängig von den genauen Details), sollte das Randabschlussprofil durch kurze Kragträger, die an dem Randträger befestigt sind, unterstützt werden, vgl. Abbildung 3-7 (c). Diese kurzen Kragträger sind in der Regel in Abständen von weniger als 3 m anzuordnen und sollten vom Tragwerksplaner als Teil der Stahlkonstruktion entworfen und nachgewiesen werden.

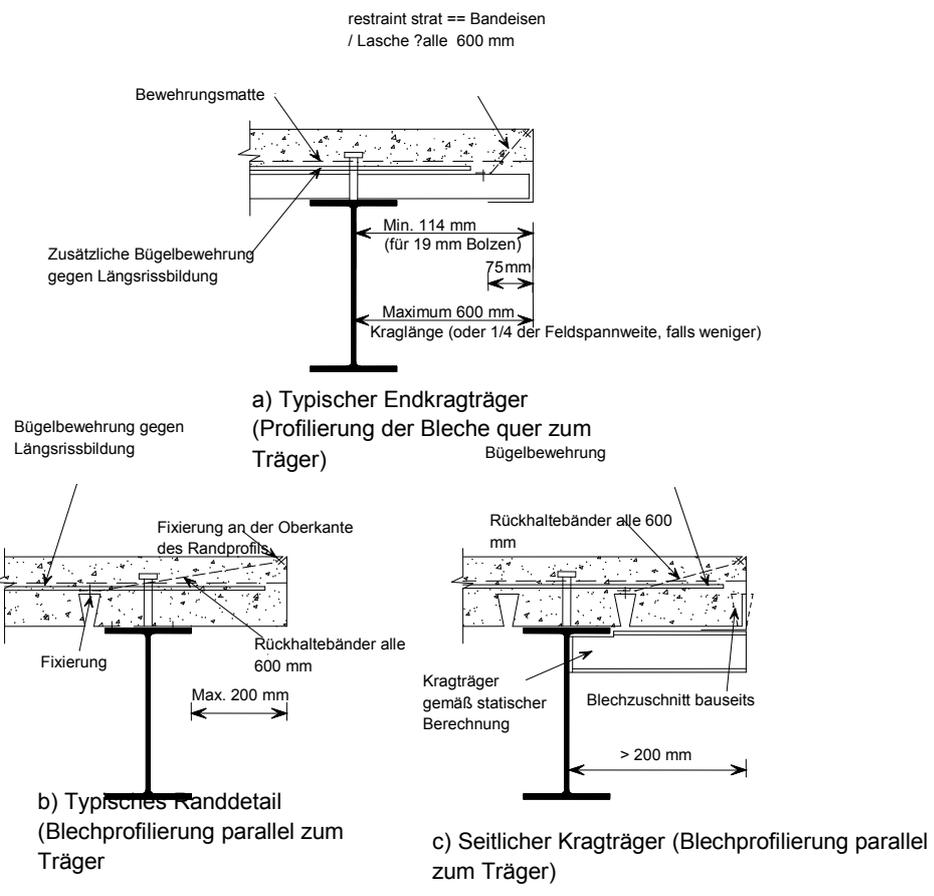


Abbildung 3-7 Typische Randdetails

3.4 Bemessung von Randträgern ohne planmäßige Verbundwirkung

Es ist gängige Praxis, dass Randträger nicht als Verbundträger bemessen werden. Das resultiert daraus, dass die Kosten für die Verbundsicherung höher liegen als für einem etwas stärkeren Stahlprofil. Für die Brandbemessung ist es wichtig, dass die Deckenplatte mit den Randträgern hinreichend verankert ist, da sich die Träger an den Rändern der Deckenbemessungszonen befinden. Obwohl normalerweise für die Bemessung von Randträgern bei Raumtemperatur nicht notwendig, empfiehlt dieser Leitfaden, Kopfbolzen im Abstand von nicht mehr als 300 mm anzuordnen und mit horizontal liegendem Bügel zu umfassen, vgl. Abschnitt 3.3.2.

Randträger haben oft eine zweifache Funktion, sie werden herangezogen zur Unterstützung der Decken wie auch der Fassade. Es ist wichtig, dass die Verformung der Randträger die Stabilität der Fassade nicht beeinträchtigt, da sonst die Gefährdung für Feuerwehkräfte und anderer Personen in der Nähe des Brandes zunimmt. Das bezieht sich nicht auf das Risiko von herabfallenden Glasscherben infolge Thermischer Schockbeanspruchung, welches man nur durch spezielle Materialien oder Sprinkler reduzieren kann. Große Verformungen der Fassade führen zu insbesondere dann zu einem erhöhten Gefährdungspotential durch herabfallende Mauerwerksteine, wenn das Gebäude hoch und mit Mauerwerk verkleidet ist.

3.5 Stützen

Der Bemessungsleitfaden in diesem Dokument wurde entwickelt um Bauschäden einzuschränken und die Brandausbreitung nur auf den Brandabschnitt selbst zu beschränken. Um das zu erreichen, sollten Stützen die nicht im Obergeschoss sind, für die benötigte Feuerwiderstandsdauer oder für den gewählten natürlichen (parametrischem) Brand bemessen werden.

Jeder eingesetzte Brandschutz sollte über die ganze Höhe, inklusive der Anschlüsse, vgl. Abbildung 3-8, der Stütze reichen. Dadurch wird sichergestellt, dass keine lokalen Quetschungen in der Stütze auftreten und dass sich Bauteilbeschädigungen auf die Decke beschränken.

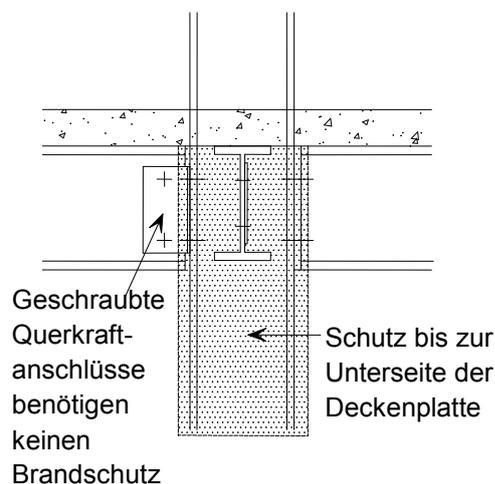


Abbildung 3-8 Brandschutzverkleidung von Stützen

In den Brandtests in Cardington haben sich die geschützten Stützen gut verhalten und kein Anzeichen eines Versagens gezeigt. Jedoch hat die anschließende Finite Elemente Modellierung die Möglichkeit angedeutet, dass es unter Umständen zu einem frühzeitigem Stützenversagen kommen kann. Es wurde eine Verhaltensweise gefunden⁽²²⁾, in der die Ausdehnung der Decke Biegemomente in den Stützen hervorruft. Das kann den Effekt haben, dass die Stütze schon bei einer geringeren Temperatur versagt.

Als Vorsichtsmaßnahme wird vorgeschlagen, dass in Gebäuden mit mehr als zwei Stockwerken, der Schutz der Stützen am Übergang zur Deckenplatte erhöht wird, indem die Dicke des Brandschutzes an einer kritische Temperatur von mind. 500°C bzw. 80°C weniger als die nach EN 1993-1-2 berechnete kritische Temperatur, je nachdem welche kleiner ist, bemessen wird.

Für die meisten Brandschutzverkleidungen hat diese Verminderung der kritischen Temperatur keine Auswirkung, da die kleinste verfügbare Dicke ausreicht.

3.6 Verbindungen

Wie schon in Abschnitt 2.2.1 erwähnt, beziehen sich die Werte der Bemessungsmethode auf 'einfache gelenkige' Verbindungen, wie z.B. Anschlüsse mit dünnen Stirnplatten, Fahnenblechen und Doppelwinkeln.

Das getestete Stahlrahmengebäude in Cardington hatte dünnen Stirnplatten- und Fahnenblech-Verbindungen. In den Tests konnte während der Abkühlphase Teil- und Vollversagen von einigen Verbindungen beobachtet werden. Dennoch trat kein Versagen der Konstruktion auf.

In diesen Fällen, trat trotz des Versagens der Anschlüsse kein globales Versagen auf, da die Deckenplatte die Lasten über andere Lastpfade abtrug. Das hebt die wichtige Rolle von Membrantragwirkung der Verbunddeckenplatten hervor, welche mit einer ausreichenden Überlappung der Bewehrung erreicht werden kann.

Die Widerstände der einfachen Anschlüsse sollten mit Hilfe der in der EN 1993-1-8⁽²³⁾ gegebenen Regeln überprüft werden.

3.6.1 Einteilung der Verbindungen

Verbindungsdetails sollten so gewählt werden, dass sie die in dem Bemessungsmodell getroffenen Annahmen erfüllen. In der EN 1993-1-8 sind drei Einteilungen von Verbindungen gegeben:

- Nominale gelenkige Verbindungen
 - Verbindungen, die innere Querkräfte ohne wesentliche Biegemomente übertragen
- Halbsteife Verbindungen
 - Verbindungen, die weder mit den nominal gelenkigen noch mit den biegesteifen Verbindungen übereinstimmen
- Biegesteife Verbindungen
 - Verbindungen, die eine volle Biegesteifigkeit und Biegetragfähigkeit vorweisen

Die EN 1993-1-8 §5.2 gibt basierend auf ihrer Steifigkeit und Tragfähigkeit Richtlinien für die Klassifikation von Verbindungen vor. Das Rotationsvermögen (Duktilität) der Verbindungen sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

Wie in Abschnitt 2.2.1 erwähnt, wurden die Werte aus der einfachen Bemessungsmethode für nominale (einfache) gelenkige Verbindungen angenommen. Um sicherzustellen, dass eine Verbindung keine wesentlichen Biegemomente überträgt und somit eine ‚einfache gelenkige‘ Verbindung ist, muss sie eine ausreichende Duktilität aufweisen um die erforderliche Rotation des Anschlusses zu ermöglichen. Das kann durch die konstruktive Ausführung der Verbindung unter Berücksichtigung geometrischer Anwendungsbedingungen erreicht werden. Hilfe zu den geometrischen Anwendungsgrenzen und der Bemessung zur Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität der Verbindungen ist in den „Access-Steel Dokumenten“⁽²⁵⁾ zu finden.

3.6.2 Gelenkige Stirnplatten

Es gibt im Wesentlichen zwei Typen von gelenkigen Stirnplattenverbindungen: halbhohe und profilhohe. SN013 empfiehlt den Gebrauch von:

halbhohe Stirnplatten, wenn $V_{Ed} \leq 0.75 V_{c,Rd}$

profilhohe Stirnplatten, wenn $0.75 V_{c,Rd} < V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$

mit:

V_{Ed} als Bemessungsquerkraft bezogen auf die Verbindung

$V_{c,Rd}$ als Bemessungsquerkraftwiderstand des angeschlossenen Trägers.

Der Widerstand der Komponenten der Verbindung sollte mit Hilfe der EN 1993-1-8 nachgewiesen werden. Für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen müssen die folgenden Bemessungswiderstände unter Umgebungstemperatur nachgewiesen werden:

- Tragfähigkeit der angeschlossenen Bauteile
- Stirnplatte auf Schub (Bruttoquerschnitt)
- Stirnplatte auf Schub (Nettoquerschnitt)
- Stirnplatte auf Schub (Blockversagen)
- Stirnplatte Biegung
- Trägersteg des angeschlossenen Bauteils auf Schub *

Der Vollständigkeit halber sollten alle oben genannten Nachweise geführt werden. In der Praxis sind die mit * gekennzeichneten Nachweise für ‚normale‘ Verbindungen die maßgebenden. Hilfe für die Erfüllung der Anforderungen der EN 1993-1-8 sind in den „Access-steel Dokumenten“⁽²⁶⁾ gegeben.

Die EN 1993-1-8 gibt keine Hilfen für die Bemessung des Widerstands der Verbindung von gelenkigen Stirnplattenanschlüssen. Hilfen sind in der SN015⁽²⁶⁾ zur Bestimmung des Widerstands der Verbindung von Endblechen gegeben.

3.6.3 Fahnenblechanschlüsse

Fahnenblechanschlüsse werden sowohl mit einer als auch mit zwei vertikalen Schraubenreihen ausgeführt. SN014⁽²⁶⁾ empfiehlt den Gebrauch von:

Einer Schraubenreihe, wenn: $V_{Ed} \leq 0.50 V_{c,Rd}$

Zwei Schraubenreihen, wenn: $0.50 V_{c,Rd} < V_{Ed} \leq 0.75 V_{c,Rd}$

Stirnplatten, wenn: $0.75 V_{c,Rd} < V_{Ed}$

mit:

V_{Ed} als die Bemessungsquerkraft bezogen auf die Verbindung

$V_{c,Rd}$ als der Bemessungsquerkraftwiderstand des unterstützten Trägers.

Für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen müssen die folgenden Bemessungswiderstände der Fahnenbleche unter Umgebungstemperatur nachgewiesen werden:

- Schrauben auf Schub*
- Fahnenblech auf Schub (Bruttoquerschnitt)
- Fahnenblech auf Schub (Nettoquerschnitt)
- Fahnenblech auf Schub (Blockversagen)
- Fahnenblech auf Biegung
- Beulen des Fahnenblechs (LTB)
- Trägersteg auf Schub (Bruttoquerschnitt)
- Trägersteg auf Schub (Nettoquerschnitt)
- Trägersteg auf Schub (Blockversagen)

Der Vollständigkeit halber sollten alle oben genannten Nachweise geführt werden. In der Praxis sind die mit * gekennzeichneten Nachweise für ‚normale‘ Verbindungen die maßgebenden. Hilfe für die Erfüllung der Anforderungen der EN 1993-1-8 sind in den „Access-Steel Dokumenten“⁽²⁷⁾ gegeben.

Wie für gelenkige Kopfplattenanschlüsse, gibt die EN 1993-1-8 keine Hilfen für die Bemessung der Tragfähigkeit von Fahnenblechen. Hilfen sind in der SN015⁽²⁷⁾ zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Fahnenblechanschlüssen gegeben.

3.6.4 Doppelwinkelanschlüsse

Obwohl bei den Cardingtonversuchen keine Winkelverbindungen verwendet wurden, hat SCI eine Anzahl von Brandversuchen an Verbund- und Nicht-Verbund-Winkelverbindungen durchgeführt⁽²⁸⁾. Diese Verbindungen bestanden aus zwei Stahlwinkeln, die an beiden Seiten des Trägersteges mit je zwei Schrauben an den Winkelschenkeln festgemacht wurden und dann am Flansch der Stütze mit ebenfalls zwei Schrauben. Es zeigte sich, dass sie im Brandfall rotationsduktile sind und große Rotationen aufnehmen können. Diese Duktilität stellte sich aufgrund der Fließgelenke ein, die sich im Winkelschenkel auf der Stützenseite gebildet haben. Während dem Brandversuch traten keine Versagen der Schrauben auf. Die Verbund-Winkelverbindung schnitt während des Brandes besser ab als die Nicht-Verbund-Winkelverbindung.

Für Nicht-Verbund-Winkelverbindungen wird empfohlen, dass einfache eine einreihige Schraubenanordnung nur verwendet werden, falls:

$$V_{Ed} \leq 0.50 V_{c,Rd}$$

Der Bemessungswiderstand der Winkelverbindungen sollten anhand Abschnitt 3 der EN 1993-1-8 nachgewiesen werden. Tabelle 3.3 der EN 1993-1-8 gibt die geometrischen Randbedingungen an, die bei der Bestimmung der Anordnung der Schrauben erfüllt werden sollten.

3.6.5 Brandschutz

In den Fällen in denen beide der zu verbindende Bauteile feuergeschützt sind, sollten auch die mit den Bauteilen in Kontakt kommenden Anschlüsse geschützt werden. Wenn nur ein Bauteil

feuergeschützt werden muss, können die Anschlüsse die in Kontakt mit dem ungeschützten Bauteil in stehen ungeschützt bleiben.

3.7 Gebäudegesamtstabilität

Um ein „seitlich verschiebliches“-Versagen zu vermeiden, sollte das Gebäude durch Verbände, Wände, Kerne oder andere stützende Systeme ausgesteift werden. Gemauerte- oder Stahlbetonquerwände sollten mit einem angemessenen Feuerschutz konstruiert werden.

Falls Verbände eine große Rolle spielen, die Gebäudegesamtstabilität zu gewährleisten, sollten diese brandgeschützt ausgeführt werden.

In zweigeschossigen Gebäuden ist es möglich, dass die Gesamtstabilität sichergestellt wird ohne dass alle Teile des stützenden Systems feuergeschützt sein müssen. In höheren Gebäuden sollten aber alle Teile des stützenden Systems in angemessener Weise feuergeschützt werden.

Ein ausreichender Feuerwiderstand kann auch durch indirekte Maßnahmen erreicht werden. Dazu muss das aussteifende System in einem geschützten Schacht wie z.B. einem Treppenhaus, Aufzugschacht oder Service Öffnungen angeordnet werden. Es ist wichtig, dass die angrenzenden Wände solcher Schächte einen ausreichenden Feuerwiderstand aufweisen, damit das Ausbreiten des Feuers verhindert wird. Stahlträger, Stützen und Abstütungen die sich vollständig innerhalb des Schachtes befinden, können ungeschützt bleiben. Andere Stahlbauten die die Wände solcher Schächte unterstützen, sollten angemessenen feuergeschützt werden.

4 BILDUNG VON BRANDABSCHNITTEN

Nationale Vorschriften verlangen, dass Brandabschnittswände, die nötige Standsicherheit, Brandabschnittsbildung und Isolation für die geforderte Feuerwiderstandszeit gewährleisten.

Tragfähigkeit ist die Eigenschaft die sicherstellt, dass die Wand im Brandfall nicht versagt. Tragende Wände müssen tragfähig bleiben.

Raumabschluss ist die Fähigkeit dem Eindringen von Flammen und heißen Gasen in die benachbarten Brandabschnitt zu verhindern.

Wärmedämmung ist die Eignung einen übermäßigen Austausch von Hitze von der dem Feuer ausgesetzten Seite zu der dem Feuer abgewandten Seite der Wand zu verhindern.

4.1 Träger oberhalb von feuerbeständigen Wänden

Wenn ein Träger Teil einer feuerbeständigen Wand ist, muss die gemeinsame Wand inkl. des Trägers diese Anforderungen erfüllen. Für eine optimale Brandabschnittsbildung sollten wenn möglich die Abschnittswände unter und in einer Linie mit den Trägern angeordnet werden.

Träger in der ebenen Wand

Die Versuche in Cardington haben gezeigt, dass die Durchbiegung ungeschützter Träger oberhalb und in derselben Ebene wie die Trennwände (vgl. Abbildung 4-1), die nur von einer Seite erhitzt werden, nicht so groß werden, dass besondere Maßnahmen bzgl. der Dilatation zwischen Wand und Träger erforderlich sind. Trotzdem sind die Träger so zu schützen, dass das Isolationskriterium eingehalten wird. Ebenso müssen alle Hohlräume und Installationsschlitze die Brandschutzanforderungen erfüllen. Träger die mit reaktiven Beschichtungssystemen geschützt sind, benötigen eine zusätzliche Dämmung, weil die Temperatur auf der dem Feuer abgewandten Seite voraussichtlich die erforderlichen Grenzen der Standards der Brandwiderstandstest übersteigt^(29,30).

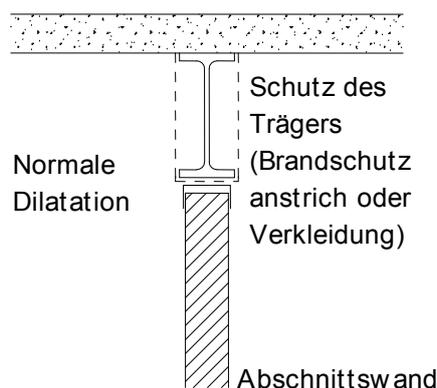


Abbildung 4-1 Träger in Wandebene

Träger durch Wände

Die Versuche in Cardington zeigten, dass die Deckenstabilität sogar aufrechterhalten werden kann, wenn die ungeschützten Träger große Durchbiegungen aufweisen. Sollten Wände außerhalb des

Stützraster angeordnet sein können die großen Durchbiegungen der ungeschützten Träger die Standsicherheit dieser Wände gefährden. In solchen Fällen sollten entweder die Träger geschützt werden oder Platz für eine ausreichende Relativbewegung zwischen Wand und Träger geschaffen werden. Es wird vorgeschlagen, dass eine Durchbiegung von Spannweite/30 in Wänden, die den Träger im mittleren Bereich kreuzen, ermöglicht werden sollte. Für Wände die das letzte Viertel der Träger kreuzen, kann diese Formel bis Null, Ende des Trägers, linear abgemindert werden, vgl. Abbildung 4-2. Die Abschnittswände sollten bis zur Unterseite der Decke reichen.

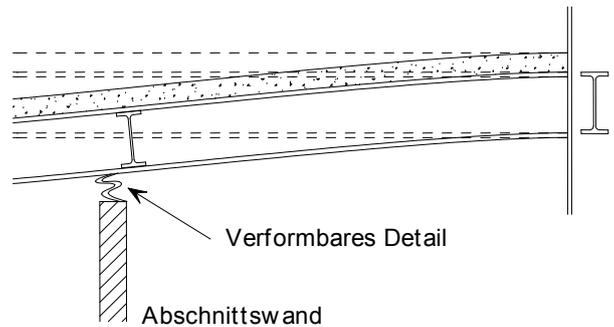


Abbildung 4-2 Durchbiegung der die Wände kreuzenden Träger

4.2 Tragfähigkeit

Wände die ein Stockwerk in mehr als einen Brandabschnitt teilen, müssen so bemessen werden, dass erwartete Bauteilbewegungen ohne Versagen (Standsicherheit) aufgenommen werden können. Werden Träger oberhalb und in der Ebene der Wände angeordnet, können deren Durchbiegungen, sogar die von ungeschützten Trägern, klein sein. Die normale Dilatation zwischen Wand und Träger sollte daher ausreichend sein. Falls eine Wand nicht unter einem Träger angeordnet ist, kann die Deckendurchbiegung die die Wand aufnehmen muss groß sein. Deswegen wird empfohlen, dass die Brandabschnittswände, wann immer möglich, unter Trägern angeordnet werden.

In manchen Fällen können Dilatationen in Form von Gleitverbindungen realisiert werden. In anderen Fällen kann die mögliche Durchbiegung zu groß sein dass verformbare Stoffe oder Abdichtungen notwendig werden, vgl. Abbildung 4-2.

Nationale Empfehlungen für die Bauteilverformungen und Regelungen zur Ausbildung von Brandabschnitten sollten beachten werden.

4.3 Raumabschluss und Wärmedämmung

Stahlträger oberhalb der Brandabschnittswände sind Teile der Wände und es wird gefordert, dass sie dieselben teilenden Eigenschaften wie die Wand aufweisen. Alle Installationsschlitze die Brandschutzanforderungen erfüllen. Ein ungeschützter Träger in der Ebene einer Abschnittswand weist nicht die erforderliche Dämmung auf und muss in der Regel durch zusätzliche Maßnahmen geschützt werden. Es wird empfohlen, dass alle Träger in Abschnittsgrenzflächen feuergeschützt sind, vgl. Abbildung 4-1.

5 BEISPIELRECHNUNG

Im folgenden Abschnitt wird die Anwendung der MACS+ Software anhand einer Beispielrechnung dargestellt. Dazu werden eine realitätsnahe Verbunddeckenkonstruktion und eine Verbunddeckenplatte mit Lochstegträgern gewählt.

Das betrachtete Gebäude ist ein vierstöckiges Bürogebäude aus Stahl. Von dem Gebäude wird ein 60 minütiger Feuerwiderstand nach nationalem Bauordnungsrecht eines europäischen Landes verlangt.

Die Deckenplatte eines jeden Stockwerks besteht aus einer Verbunddeckenplatte, bestehend aus einem Trapezblech (Cofraplus 60), Normalbeton und einer Lage Bewehrung. Die Verbunddecke spannt zwischen den Nebenträgern mit 9 m Spannweite, die als Verbundträger bemessen wurden. Die Nebenträger werden wiederum von Hauptträgern mit einer Spannweite von 9 m bis 12 m gestützt. Träger an den Gebäudeaußenkanten wurden in Übereinstimmung mit der EN 1993-1-1 als reine Stahlträger bemessen. Die Träger in Teil 1 bis 2 sind konventionelle Verbundträger. Die Träger die in den Teilen 2 bis 3 angeordnet sind, sind Verbundlochstegträger.

Die Konstruktion der Decke ist in den Abbildungen 5-3 bis 5-6 dargestellt.

Abbildung 5-3 zeigt die prinzipielle Anordnung der Stahlbauteile über die gesamte Gebäudebreite und für zwei Felder in Längsrichtung. Es wird angenommen, dass sich dieser Aufbau in benachbarten Feldern des Gebäudes wiederholt. Die Stützen sind zu HD320x158 als reine Stahlstützen in Übereinstimmung mit EN 1993-1-1 bemessen.

Die betrachtete Deckenbelastung setzte sich wie folgt zusammen.

Variable Last aufgrund der Nutzung	4 kN/m ²
Variable Last aufgrund der leichten Trennwände	1 kN/m ²
Ständige Last aufgrund der Decke und Services	0,7 kN/m ²
Eigengewicht der Träger	0,5 kN/m ²

Für die Randträger wurde in der Bemessung eine zusätzliche Last aus der Fassade von 2 KN/m berücksichtigt.

In Abbildung 5-3 sind die benötigten Profile dargestellt, damit die Träger die üblichen Nachweise zu Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit erfüllen. Die inneren Träger sind Verbundträger. Der Verdübelungsgrad ist für jeden Träger in Tabelle 5-1 angegeben.

Abbildung 5-4 zeigt einen Querschnitt der Verbunddecke. Die Platte besteht aus einem Normalbeton C25/30 mit einer Dicke von 130 mm. Die Platte ist mit einer ST15C Baustahlmatte, die eine Streckgrenze von 500 MPa besitzt, bewehrt. Dies stimmt mit den Anforderungen für eine Bemessung bei Raumtemperatur überein. Die Mattengröße muss aber eventuell vergrößert werden, falls das Verhalten im Brandfall dies erfordert.

Für die Deckenzone E werden Verbundlochstegträger mit kreisförmigen Öffnungen, hergestellt aus warmgewalztem IPE 300 der Güte S355 (vgl. Abbildung 5.1), verwendet.

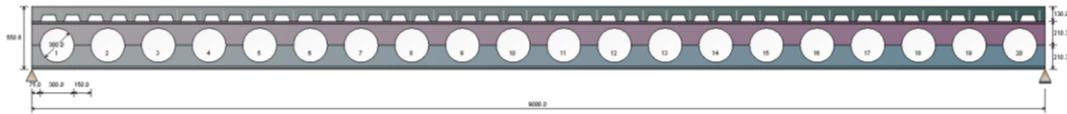


Abbildung 5-1 Geometrie des Lochstegträgers im Verbundquerschnitt

Für die Deckenzonen D und F werden Verbund Angelina™-Träger mit sinusförmiger Öffnung, hergestellt aus warmgewaltem IPE 270 der Güte S355 (vgl. Abbildung 5-2), verwendet.

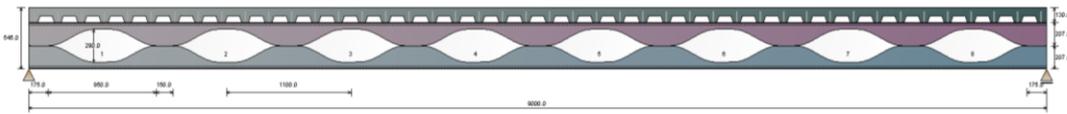


Abbildung 5-2 Geometrie der ANGELINA™-Träger im Verbundquerschnitt

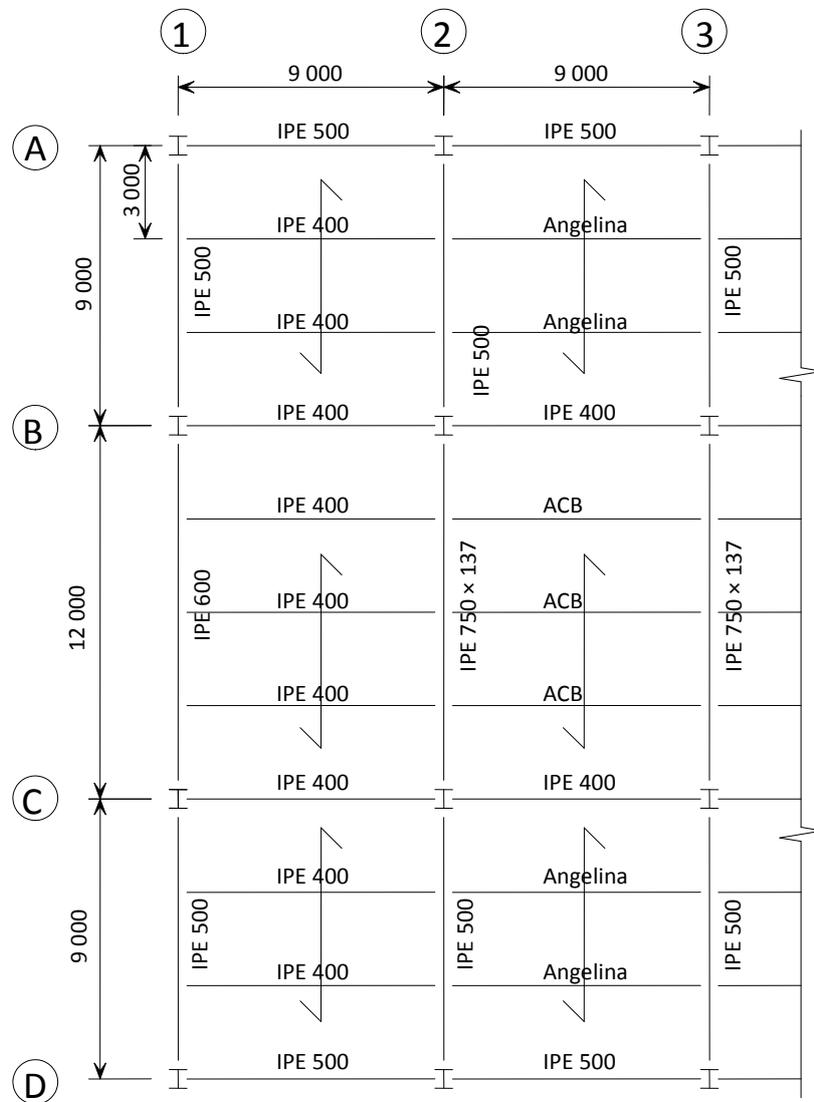


Abbildung 5-3 Grundriss der Verbunddeckenkonstruktion

Tabelle 5-1 Trägerdetails

Trägerquerschnitt (S355)	Ort der Träger	Bauart	Grad der Scherverbindung (%)	Anzahl der Kopfbolzen pro Reihe und Abstand
IPE 400	Innerer Nebenträger	Verbund	51	1 @ 207mm
IPE 500	Nebenrandträger	kein Verbund	-	
IPE 500	Innerer Hauptträger	Verbund	72	2 @ 207mm
IPE 750 × 137	Innerer Hauptträger	Verbund	71	2 @ 207 mm
IPE 600	Hauptrandträger	kein Verbund	-	
ACB IPE 300+ IPE 300	Innerer Nebenträger	Verbund	52	2 @ 207 mm
Angelina IPE270 + IPE 270	Innerer Nebenträger	Verbund	52	2 @ 207 mm

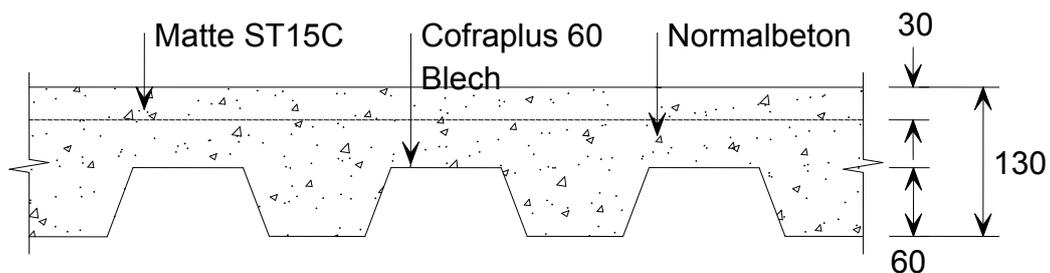
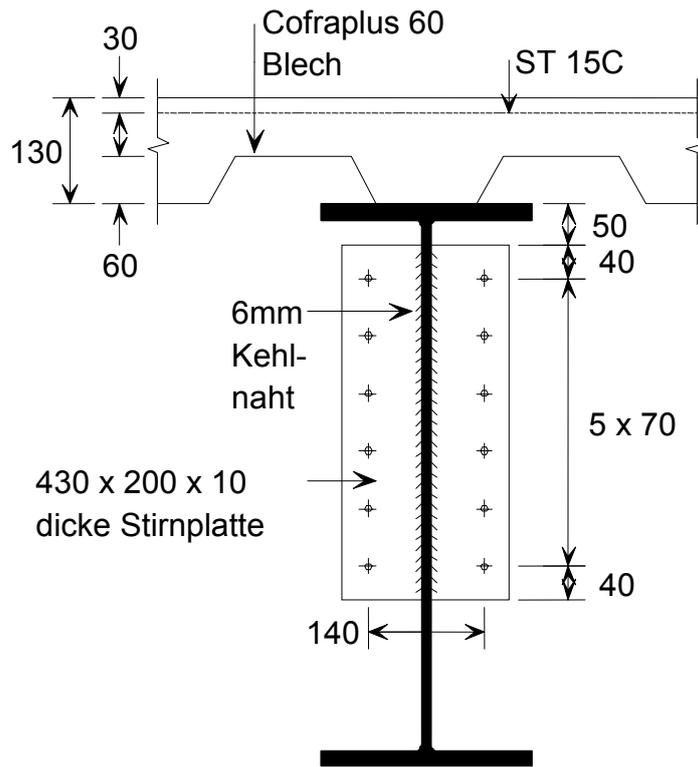
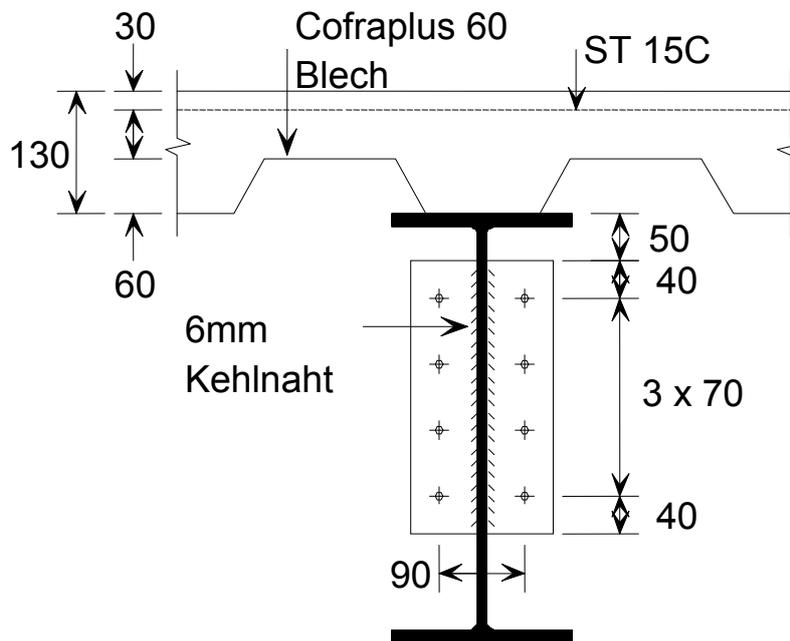


Abbildung 5-4 Querschnitt der Verbunddecke

Alle Verbindungen zwischen den Hauptstahlteilen verwenden gelenkige Stirnplattenstöße und sind in Übereinstimmung mit der EN 1993-1-8 als nominell gelenkig bemessen worden. Abbildung 5-5(a) zeigt den Anschluss zwischen den Hauptträgern und Stützen. Die Träger-Stützen-Verbindungen für Nebenträger wurden wie in Abbildung 5-5(b) gezeigt ausgeführt. Abbildung 5-6 zeigt die Stirnplattenverbindung zwischen den Neben- und Hauptträgern.



(a) Hauptträger-Stützen Verbindung



(b) Nebenträger-Stützen Verbindung

Abbildung 5-5 Träger-Stützen Verbindungen

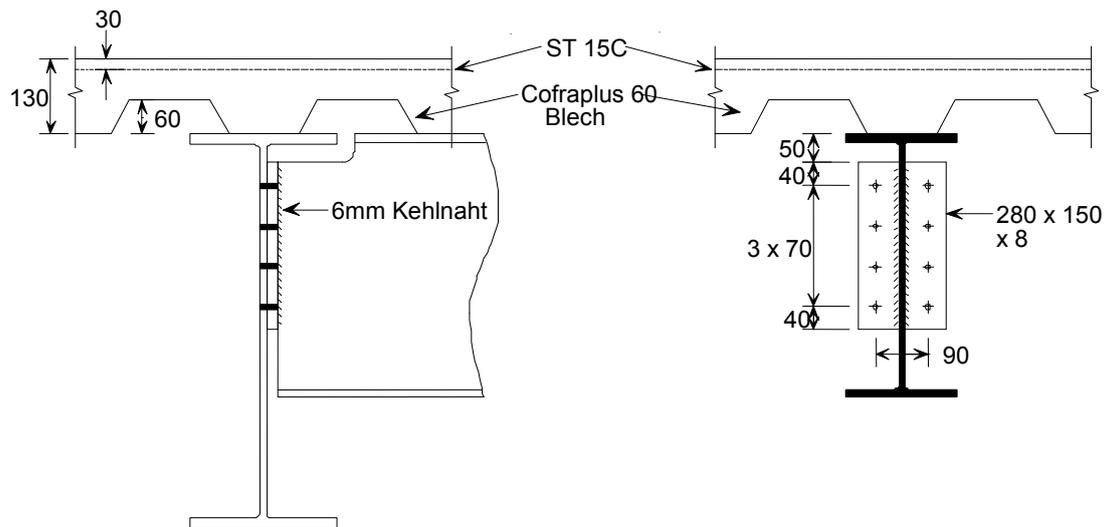


Abbildung 5-6 Nebenträger-/Hauptträgerverbindung

Abbildung 5-7 zeigt die in Deckenbemessungszonen aufgeteilte Decke. Es ist wahrscheinlich, dass die Deckenbemessungszonen A und B die maßgebend werden. Beider Zonen werden daher berücksichtigt.

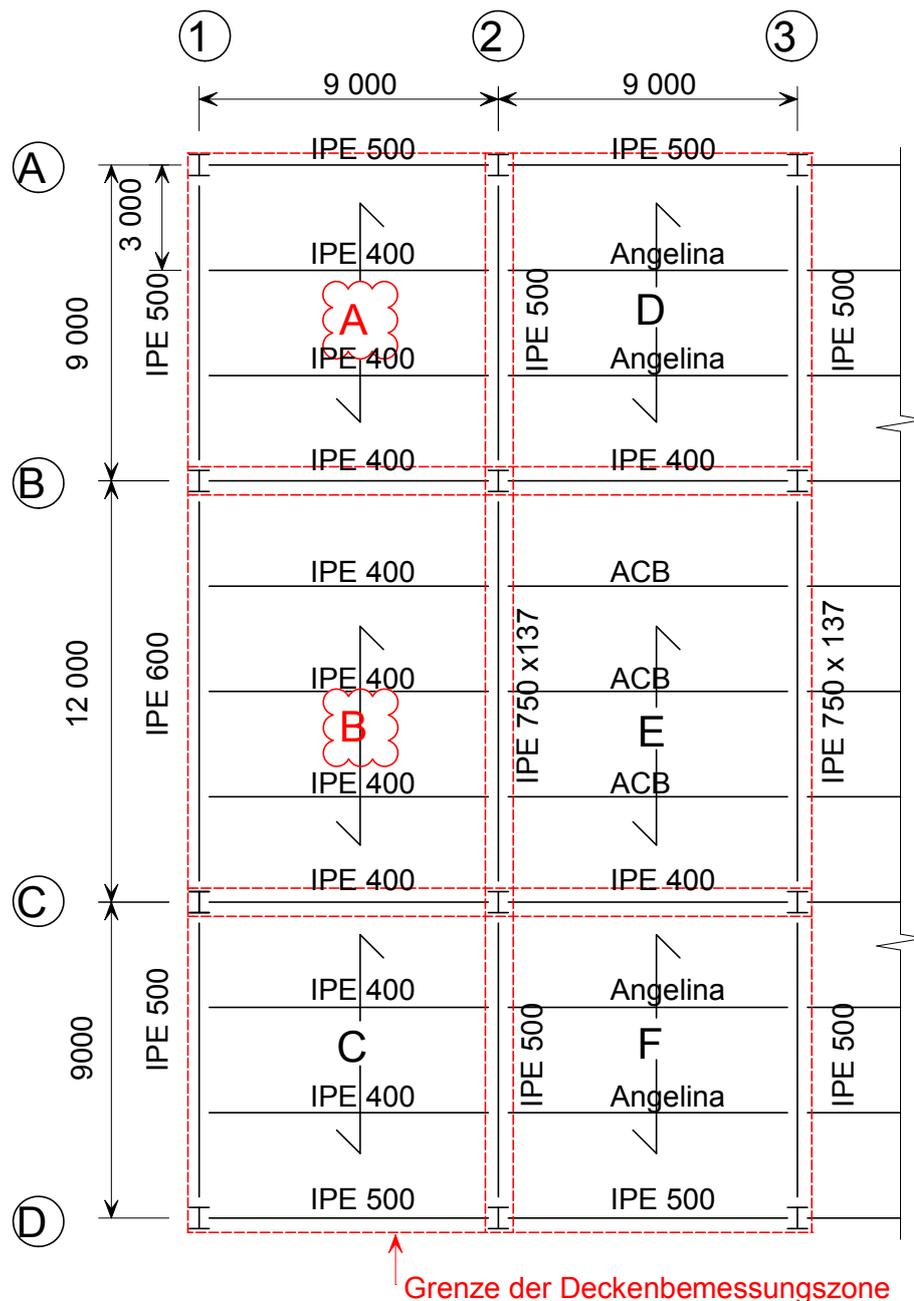


Abbildung 5-7 Deckenbemessungszonen (A-F)

Bemessung der Verbunddecke im Brandfall

Die folgenden an den Deckenbemessungszonen durchgeführten Nachweise gehen in einem ersten Schritt von der aus der Bemessung bei Raumtemperatur erhaltenen Ausführung aus. Falls sich herausstellt, dass diese Konstruktion im Brandfall ungeeignet ist, werden die Mattengröße und/oder die Deckendicke erhöht, um das Verhalten im Brandfall zu verbessern. Da die Bemessungszone B aufgrund ihrer größeren Spannweite kritischer als Zone A erscheint, wird diese zuerst betrachtet.

5.1.1 Deckenbemessung: Zone B

Tabelle 5-2 zeigt die Eingangsdaten für die Deckenbemessungszone B, die aus einem 9 x 12 m großen Deckenfeld besteht und mit einer Matte ST 15C bewehrt ist. Innerhalb dieser Deckenbemessungszone gibt es drei ungeschützte Verbundträger.

Tabelle 5-2 Eingangsdaten für die Deckenbemessungszone B

L (mm)	l (mm)	f_c (MPa)	A_s (mm ² /m)	f_{sy} (MPa)	Ungeschützter Träger	Stahlbleche	Gesamte Plattendicke (mm)	d : Mattenachsabstand (mm)
12 000	9 000	25	142	500	IPE400	Cofraplus60	130	30

Abbildungen 5-8 bis 5-11 zeigen die Informationen der Eingabefenster in der MACS+ Software.

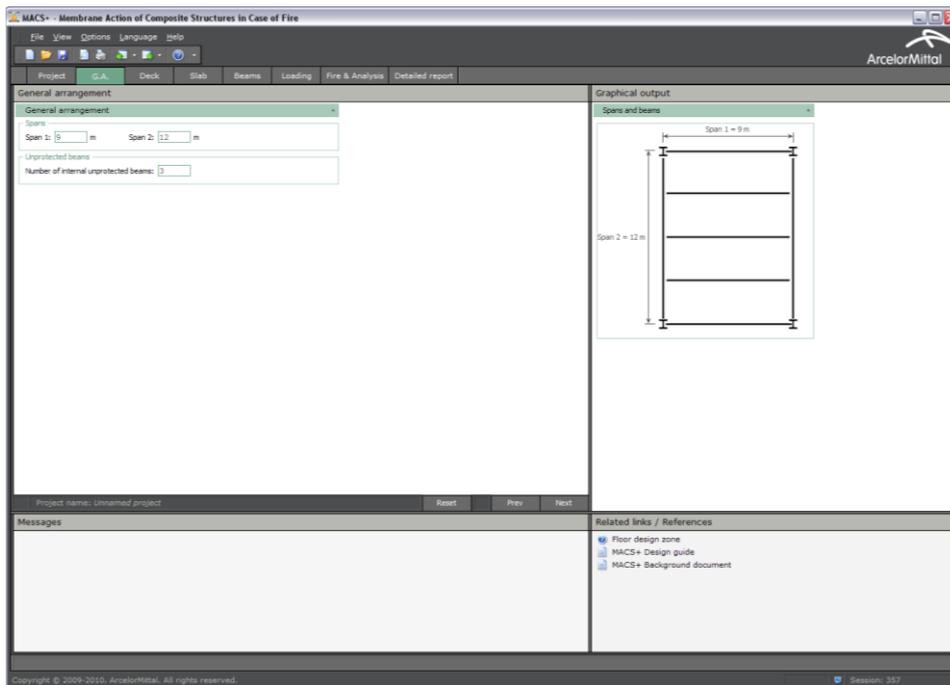


Abbildung 5-8 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Geometrie

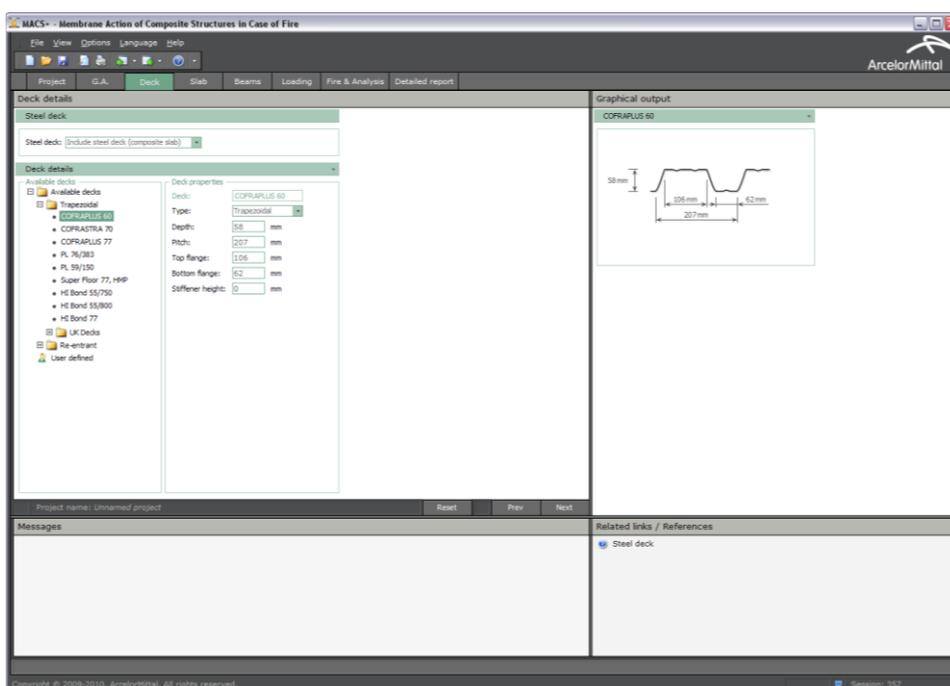


Abbildung 5-9 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Blech

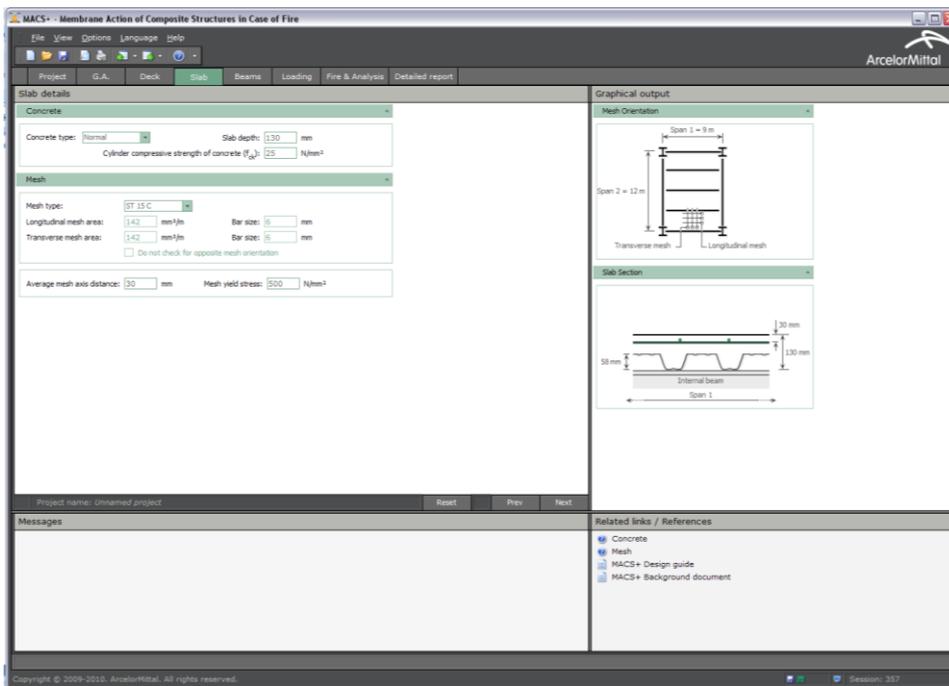
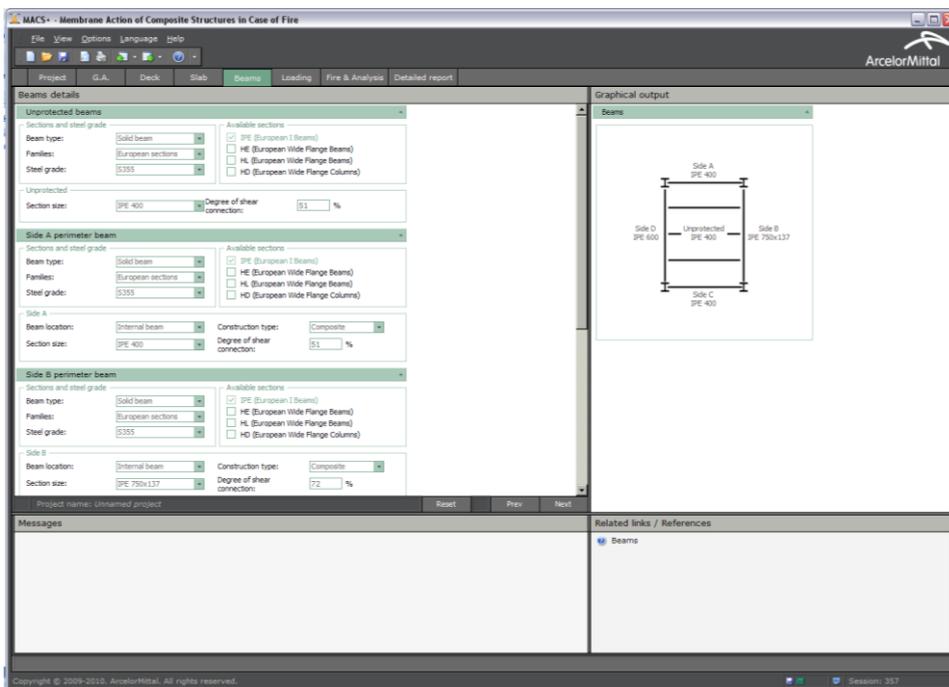


Abbildung 5-10 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Platte



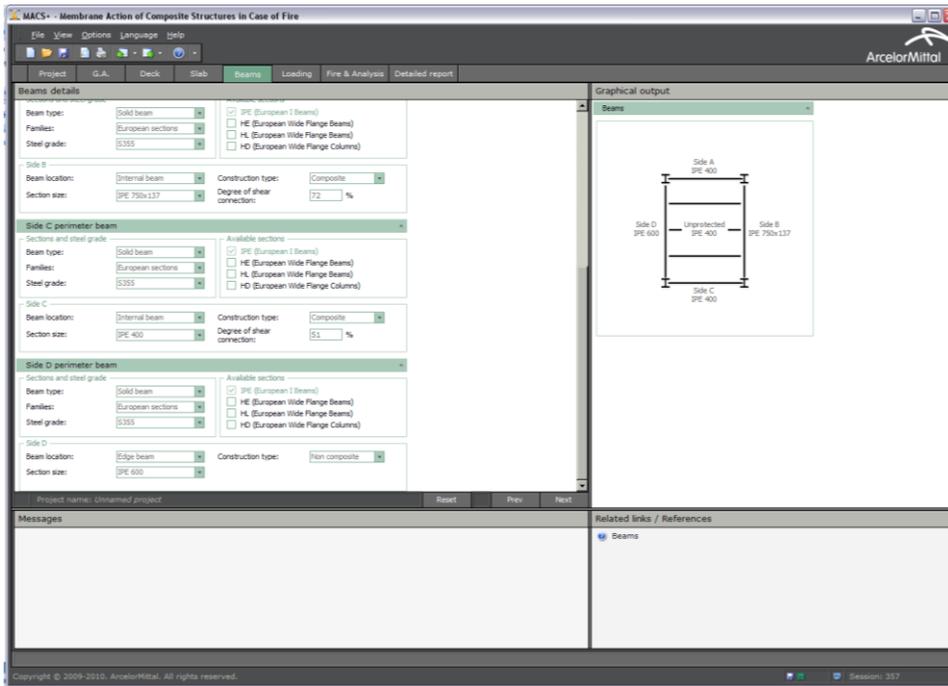


Abbildung 5-11 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Träger in Zone B

Die Anwendung des vereinfachten Modells wird in folgenden Einzelschritten durchgeführt:

Schritt 1: Berechnung der Auflast auf die Platte im Falle eines Brandes

Die Bemessungslast der Verbunddecke, mit einem Eigengewicht von $2,28 \text{ kN/m}^2$, kann im Brandfall wie folgt festgelegt werden:

$$q_{fi, Sd} = G + 0,5Q = (2,28 + 0,7 + 0,5) + 0,5 \times (4,0 + 1,0) = 5,98 \text{ kN/m}^2$$

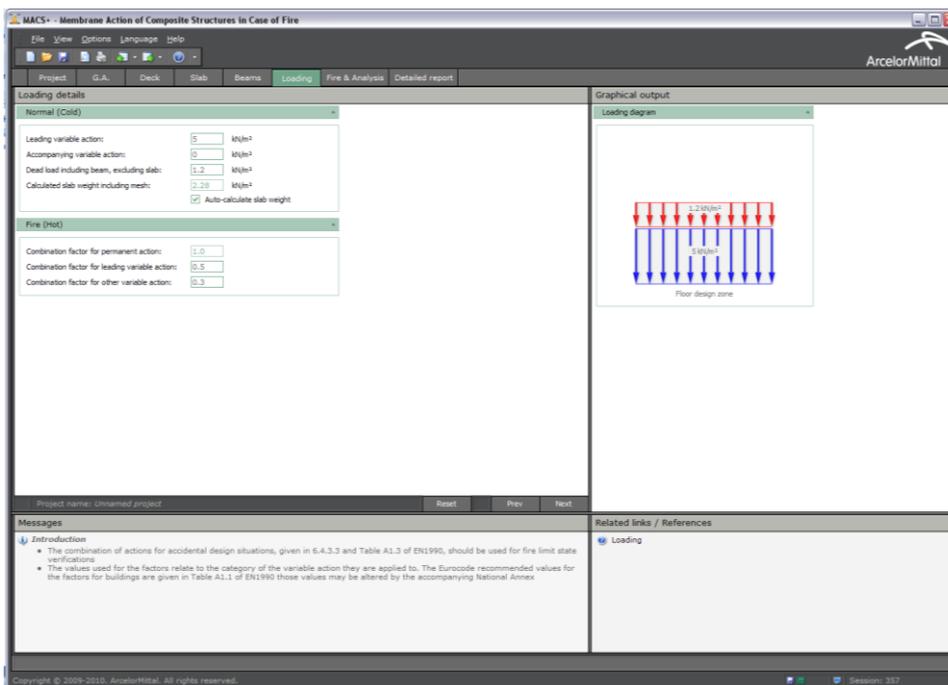


Abbildung 5-12 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Belastung

Schritt 2: Berechnung der Temperaturen in der Verbunddecke Cofraplus 60

Aus dem Zusammenhang D.15a des Anhanges D der EN 1994-1-2⁽¹⁶⁾, kann die effektive Plattendicke wie folgt berechnet werden:

$$h_{eff} = h_1 + 0,5 h_2 \left(\frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1 + \ell_3} \right) = 72 + 0,5 \times 58 \times \left(\frac{101 + 62}{101 + 106} \right) \approx 95 \text{ mm}$$

Diese effektive Plattendicke erlaubt die Überprüfung des Kriteriums EI60, welche eine effektive Plattendicke mit einem Mindestmaß von 80 mm für die Verbundplatte fordert.

Außerdem führt diese effektive Dicke zu den folgenden Temperaturen θ_1 , θ_2 und θ_s (vgl. Tabelle 3-1). Für eine Einwirkdauer von 60 Minuten bei ISO-Normbrandbelastung gilt:

$$\theta_1 = 99 \text{ °C}; \theta_2 = 831 \text{ °C und } \theta_s = 288 \text{ °C.}$$

Nach Tabelle 3-4 der EN 1994-1-2 ist daher keine Abminderung der effektiven Stahlfestigkeit für eine geschweißte Stahlmattenbewehrung notwendig:

$$f_{sy,\theta_s} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M_s,fi,s} = 1,0$$

Ferner gilt:

$$\gamma_{M_s,fi,c} = 1,0$$

Schritt 3: Berechnung des Bemessungswertes des Widerstands des Biegemomentes $M_{fi,0}$ des Plattenquerschnittes im Brandfall

Für die Bemessungszone B gilt:

$$L_1 = 9 \text{ 000 mm (Spannweite des Nebenträgers)}$$

$$L_2 = 12 \text{ 000 mm (Spannweite des Hauptträgers)}$$

Folglich sind, $L = \max \{L_1; L_2\} = 12 \text{ 000 mm}$ und $\ell = \min \{L_1; L_2\} = 9 \text{ 000 mm}$.

Man erhält:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{142}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 30} = 0,777$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{142}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 30} = 0,777$$

Es ist zu beachten, dass der Parameter K gleich 1,0 ist, weil die Bewehrungsmatte den gleichen Querschnitt in beide Richtungen hat.

Somit ergibt sich der Bemessungswert des positiven Biegemomentes des Plattenquerschnittes im Brandfall zu:

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,fi,s} d \frac{3+(g_0)_2}{4} = \frac{142}{1000} \times 500 / 1,0 \times 30 \times \frac{3+0,777}{4} = 2011,4 \text{ Nmm/mm}$$

Parallel dazu lassen sich die weiteren benötigten Parameter bestimmen:

$$\mu = K \frac{3+(g_0)_1}{3+(g_0)_2} = 1,0 \times \frac{3+0,777}{3+0,777} = 1,0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12000}{9000} = 1,333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1,0 \times 1,333^2} \times (\sqrt{3 \times 1,0 \times 1,333^2 + 1} - 1) = 0,427$$

Schritt 4: Bestimmung der Traglast der Verbunddecke im Brandfall

Die Traglast der Verbunddecke kann wie folgt bestimmt werden:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{2011,4}{0,427^2 \times 1,333^2 \times 9000^2} = 0,461 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 0,461 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 5: Bestimmung der Durchbiegung für die Berechnung der Membranwirkung

Die Durchbiegung der Decke unter Berücksichtigung der Membranwirkung im Brandfall ergibt sich zu:

$$w = \min \left\{ \frac{\alpha(\theta_2 - \theta_1)\ell^2}{19,2h_{eff}} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0,5f_{sy}}{E_a \gamma_{M,fi,s}} \right) \frac{3L^2}{8}}; \frac{\ell}{30} \right]; \frac{L+\ell}{30} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{1,2 \times 10^{-5} (831 - 99) \times 9000^2}{19,2 \times 95} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0,5 \times 500}{210000 \times 1,0} \right) \frac{3 \times 12000^2}{8}}; \frac{9000}{30} \right]; \frac{12000 + 9000}{30} \right\}$$

$$= \min \{ 391,0 + \min [253,5; 300]; 700 \} = 644,6 \text{ mm}$$

Schritt 6: Berechnung der Parameter zur Bestimmung der Membranwirkung

Die Bestimmung der verschiedenen Faktoren zur Berücksichtigung der Membranwirkung basieren auf den Parametern α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k und b . Die Werte dieser Parameter sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst.

Tabelle 5-3 Verwendete Parameter für die Beurteilung der Membranwirkung in Zone B

Gleichung	Berechnete Werte
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0,412
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0,059

$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,412
$\beta_2 = \frac{1 - (g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,059
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2 + 1} + 1$	1,194
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M_s, f_{i,s}}}{kK A_s f_{sy, \theta_k}} \left(0,85 \frac{f_c}{\gamma_{M_s, f_{i,c}}} \times 0,45d - A_s \frac{f_{sy, \theta_k}}{\gamma_{M_s, f_{i,s}}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0,909

Schritt 7: Berechnung der Faktoren zur Berücksichtigung der Membranwirkung

Die Faktoren e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} und e_{2m} können wie folgt bestimmt werden:

Tabelle 5-4 Faktoren für die Berücksichtigung der Membranwirkung in Zone B

Gleichung	Berechnete Werte
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n) (1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0,952
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	5,407
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	6,360

$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	1,016
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2 + 3k - k^3}{6(1+k)^2}$	2,777
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3,794

Der globale Multiplikationsfaktor e bestimmt sich zu:

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 6,360 - \frac{6,360 - 3,7948}{1 + 2 \times 1,0 \times 1,333^2} = 5,796$$

Schritt 8: Gesamte Traglast der Decke im Brandfall

Die gesamte Traglast der Decke unter Berücksichtigung der Membranwirkung im Brandfall, ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 5,796 \times 0,461 = 2,670 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 9: Traglast der Decke unter Berücksichtigung der ungeschützten Verbundträger

Unter Verwendung von Abschnitt 4.3.4.2.2 der EN 1994-1-2 ist es möglich die Temperatur der ungeschützten Verbundträger im Brandfall zu bestimmen. In einem ersten Schritt werden dazu die Querschnittswerte des Stahlquerschnittes IPE400 berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-5 zusammengefasst.

Aus Tabelle 3-2 folgen die Temperaturen der Stahlteile im Verbundquerschnitt:

- Flanshtemperatur: 938,6°C;
- Stegtemperatur: 941,5°C nach Tabelle 3-2. Es muss jedoch die Flanshtemperatur von 938,6°C verwendet werden, da die Höhe des Stahlquerschnittes nicht größer als 500 mm ist;
- Kopfbolzentemperatur (vgl. 4.3.4.2.5 der EN 1994-1-2): $938,6 \times 0,8 = 750,9^\circ\text{C}$

Tabelle 5-5 Querschnittswerte der ungeschützten Verbundträger

Stahlquerschnittsteil	$k_{sh} = 0,9 \left(\frac{H + 0,5B}{H + 1,5B - t_w} \right)$	$\left(\frac{A_i}{V_i} \right) (\text{m}^{-1})$	$k_{sh} \left(\frac{A_i}{V_i} \right) (\text{m}^{-1})$
unterer Flansch	0,668	$\frac{2(B+t_f)}{Bt_f} = 159$	106

Steg		$\frac{2}{t_w} = 233$	155
oberer Flansch		$\frac{2(B+t_f)}{Bt_f} = 159$	106
Mit: H : Höhe des Stahlquerschnittes; B : Breite des Stahlquerschnittes; t_f : Flanschdicke; t_w : Stegdicke.			

Die Temperaturen des Stahlquerschnittes und der Kopfbolzen erlauben es den Momentenwiderstand der inneren, ungeschützten Verbundträger, zu bestimmen. Die berechneten Werte sind Tabelle 5-6 zu entnehmen.

Tabelle 5-6 Momentenwiderstand für ungeschützte Verbundträger in Zone B

Parameter	Berechnete Werte
effektive Breite der Platte	$b_{eff} = \min\{9000/4; 3000\} = 2250 \text{ mm}$
Fläche des Stahlquerschnittes A_i	$A_i = 8446 \text{ mm}^2$
Abminderungsfaktor für die Streckgrenze des Baustahls	$k_{y,\theta} = 0,0523$
Abminderungsfaktor für die Tragfähigkeit der Kopfbolzendübel	$k_{u,\theta} = 0,17$
Plattendicke unter Druck im Brandfall	$h_u = \frac{\sum A_i f_y k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi,a}}{b_{eff} f_c / \gamma_{M,fi,c}} = \frac{8446 \times 355 \times 0,0523 / 1,0}{2250 \times 25 / 1,0} = 2,787 \text{ mm}$
Verdübelungsgrad der Träger bei 20°C	$n_{c,20^\circ C} = 0,51$
Verdübelungsgrad der Träger im Brandfall	$n_{c,\theta} = \frac{n_{c,20^\circ C} k_{u,\theta} \gamma_{M,v}}{k_{y,\theta} \gamma_{M,fi,v}} = \frac{0,51 \times 0,17 \times 1,25}{0,0523 \times 1,0} = 2,09 > 1,0$ → Volle Verdübelung
Positiver Momentenwiderstand	$M_{fi,Rd} = \frac{A_i f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M,fi,a}} \left(\frac{H}{2} + h_c - \frac{h_u}{2} \right) = \frac{8446 \times 355 \times 0,0523}{1,0} \left(\frac{400}{2} + 130 - \frac{2,787}{2} \right) = 51,51 \times 10^6 \text{ Nmm} = 51,51 \text{ kNm}$
Mit: h_c : gesamte Plattendicke; $\gamma_{M,fi,a}$, $\gamma_{M,v}$ und $\gamma_{M,fi,v}$ Teilsicherheitsfaktoren für das Stahlprofil und die Stahlkopfbolzen unter normalen Bedingungen und im Brandfall	

Der Beitrag der ungeschützten Verbundträger zur Traglast des Deckenfeldes ergibt sich damit zu:

$$q_{fi,Rd,ub} = \frac{8M_{fi,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 51,5}{9^2} \times \frac{(1+3)}{12} = 1,70 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 10: Bestimmung der gesamten Traglast der Decke im Brandfall und Nachweis des erforderlichen Feuerwiderstandes

Die gesamte Traglast der Decke ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 2,67 + 1,70 = 4,37 \text{ kN/m}^2$$

Es zeigt sich, dass in diesem Fall die Traglast kleiner als die im Brandfall berücksichtigende Flächenlast ist:

$$q_{fi,Sd} = 5,98 \text{ kN/m}^2 > q_{fi,Rd} = 4,37 \text{ kN/m}^2$$

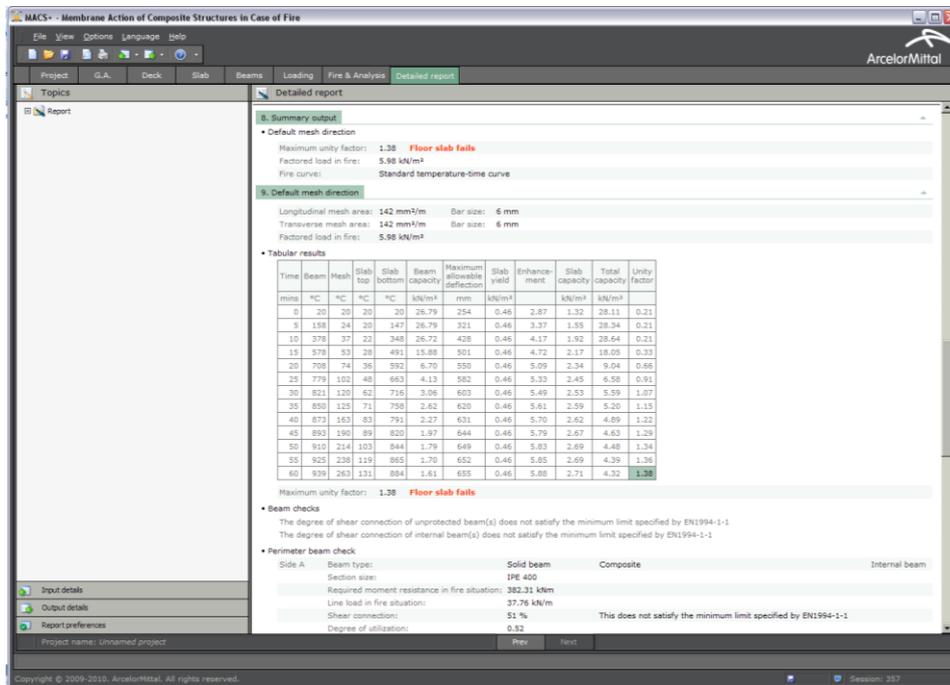


Abbildung 5-13 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Ausführlicher Bericht

Fazit 1

Die Tragfähigkeit der Decke kann für R60 mit seinen aktuellen Abmessungen in Zone B nicht sichergestellt werden. Es ist daher nötig die Konstruktionsparameter zu verändern.

Eine Möglichkeit besteht darin, die Querschnitte der Mattenbewehrung zu vergrößern. Es werden daher die Maße der geschweißten Matte von ST 15C (142 mm²/m) auf ST 25C (257 mm²/m) vergrößert.

Es muss nun eine neue Berechnung mit den neuen Eingangswerten durchgeführt werden. Dazu reicht es aus, lediglich die Traglast der Platte neu zu berechnen, da der ungeschützte Verbundträger unverändert bleibt.

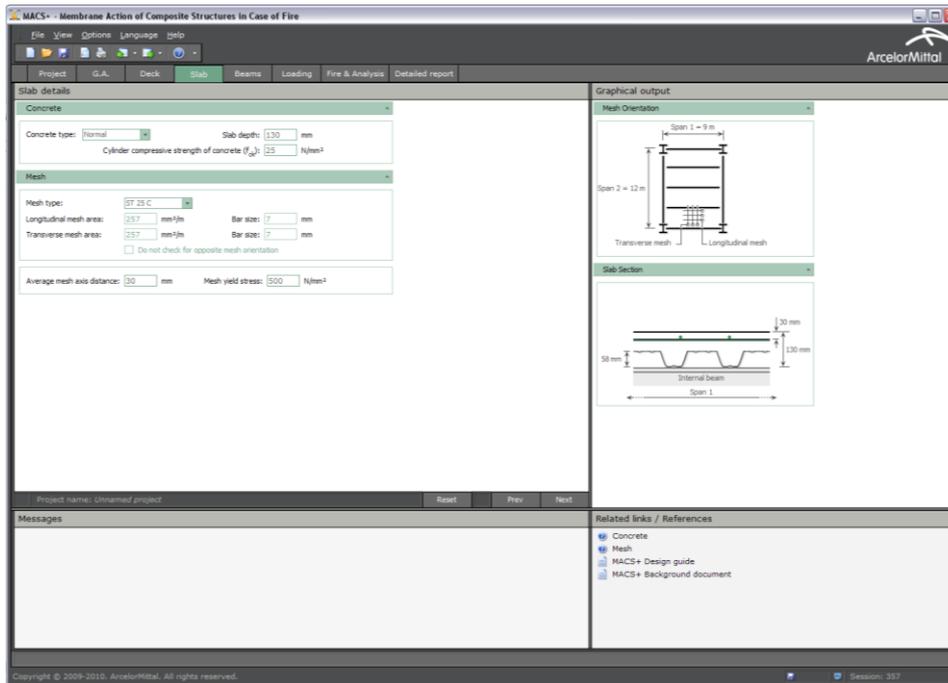


Abbildung 5-14 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Platte

Schritt 2a: Berechnung der Temperaturen in die Verbunddecke Cofraplus 60

Die Ergebnisse sind identisch mit denen aus Schritt 2, da die gesamten Abmessungen der Platte unverändert bleiben.

Schritt 3a: Berechnung des Bemessungswertes des Widerstands des Biegemomentes $M_{fi,0}$ des Plattenquerschnittes im Brandfall

Man erhält:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,fi,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 30} = 0,597$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,fi,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 30} = 0,597$$

Es ist zu beachten, dass der Parameter K gleich 1,0 ist, da die Bewehrungsmatte den gleichen Querschnitt in beide Richtungen hat.

Somit ergibt sich der Bemessungswert des positiven Biegemomentes des Plattenquerschnittes im Brandfall zu:

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,fi,s} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0 \times 30 \times \frac{3 + 0,597}{4} = 3466,5 \text{ Nmm/mm}$$

Parallel dazu lassen sich die weiteren benötigten Parameter bestimmen:

$$\mu = K \frac{3+(g_0)_1}{3+(g_0)_2} = 1,0 \times \frac{3+0,597}{3+0,597} = 1,0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12\,000}{9\,000} = 1,333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1,0 \times 1,333^2} \times (\sqrt{3 \times 1,0 \times 1,333^2 + 1} - 1) = 0,427$$

Schritt 4a: Bestimmung der Traglast der Verbunddecke im Brandfall

Die Traglast der Verbunddecke kann wie folgt bestimmt werden:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{3\,466,5}{0,427^2 \times 1,333^2 \times 9\,000^2} = 0,794 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 0,794 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 5a: Bestimmung der Durchbiegung für die Berechnung der Membranwirkung

Vlg. Schritt 5

Schritt 6a: Berechnung der Parameter zur Bestimmung der Membranwirkung

Die Bestimmung der verschiedenen Faktoren zur Berücksichtigung der Membranwirkung basieren auf den verschiedenen Parametern α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k und b . Die Werte dieser Parameter sind in Tabelle 5-7 zusammengefasst.

Tabelle 5-7 Verwendete Parameter für die Beurteilung der Membranwirkung in Zone B

Gleichung	Erhaltene Werte
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0,332
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0,112
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0,332
$\beta_2 = \frac{1-(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0,112
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2+1} + 1$	1,194

$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,fi,s}}{kK A_s f_{sy,tk}} \left(0,85 \frac{f_c}{\gamma_{M,fi,c}} \times 0,45d - A_s \frac{f_{sy,tk}}{\gamma_{M,fi,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0,909

Schritt 7a: Berechnung der Faktoren zur Berücksichtigung Membranwirkung

Die Faktoren e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} und e_{2m} können wie folgt bestimmt werden:

Tabelle 5-8 Faktoren für die Berücksichtigung der Membranwirkung in Zone B

Gleichung	Erhaltene Werte
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0,935
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	5,679
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	6,614
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0,991
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2+3k-k^3}{6(1+k)^2}$	2,917
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3,908

Der globale Multiplikationsfaktor e bestimmt sich zu:

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 6,614 - \frac{6,614 - 3,908}{1 + 2 \times 1,0 \times 1,333^2} = 6,020$$

Schritt 8a: Gesamte Traglast der Decke im Brandfall

Die gesamte Traglast der Decke im Brandfall unter Berücksichtigung der Membranwirkung im Brandfall ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 6,020 \times 0,794 = 4,78 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 9a: Traglast der Decke unter Berücksichtigung der ungeschützten Verbundträger

Vgl. Schritt 9

Schritt 10a: Bestimmung der gesamten Traglast der Decke im Brandfall und Nachweis des erforderlichen Feuerwiderstandes

Die gesamte Traglast der Platte ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 4,78 + 1,70 = 6,48 \text{ kN/m}^2$$

Sien ist damit größer als die im Brandfall zu berücksichtigende Flächenlast:

$$q_{fi,Sd} = 5,98 \text{ kN/m}^2 < q_{fi,Rd} = 6,48 \text{ kN/m}^2$$

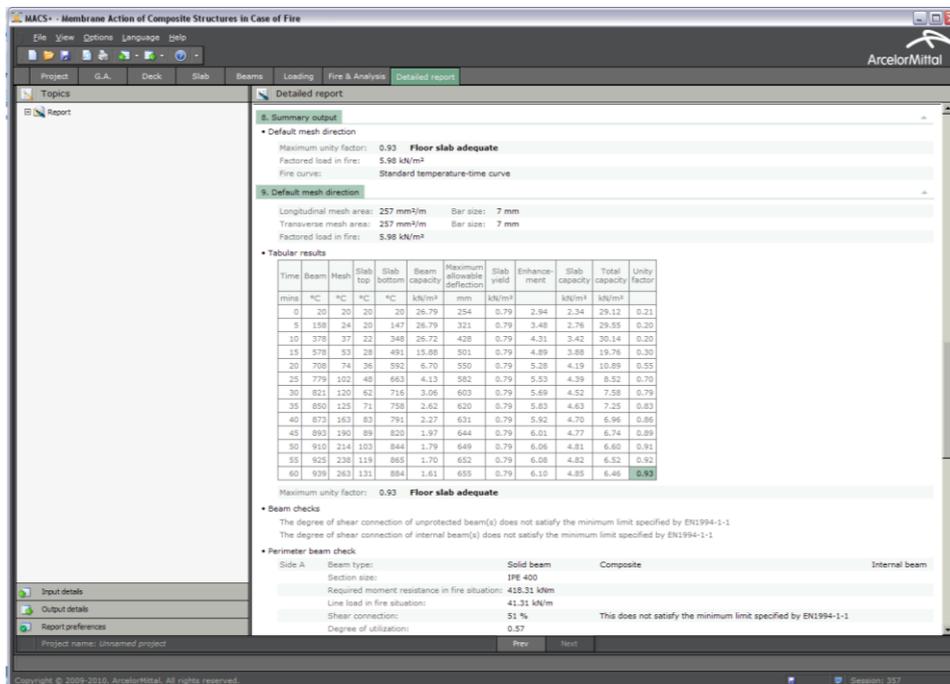


Abbildung 5-15 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Ausführlicher Bericht

Fazit 2

Die Tragfähigkeit des Deckenfeldes in Zone B ist für R60 nachgewiesen.

Schritt 11: Auswirkungen auf die Randträger im Brandfall

Die in Brandsituationen aufgebrauchte Last auf den Nebenträgern und Umfassungsträger der Zone B verursachen Auswirkungen (in der Terminologie des Eurocodes werden Schnittgrößen wie Biegemomente und Querkräfte als Auswirkungen bezeichnet), die mit den Beziehungen von 3.24 und 3.37 berechnet werden:

- Geschützter Nebenträger als Randträger eines Deckenfeldes

$$M_{f_i, Sd, b, 1} = \frac{q_{f_i, Rd} L_1^2 L_2 - 8 \left(M_{f_i, 0} \left(L_2 - n_{ub} b_{eff, ub} - \sum_{i=1}^2 b_{eff, 1, i} \right) + n_{ub} M_{f_i, Rd} \right)}{c_M}$$

$$= \frac{6,48 \times 9^2 \times 12 - 8 \times \{ 3466,5 \times 10^{-3} \times [12 - 3 \times 2,25 - (0 + 2,25/2)] + 3 \times 51,5 \}}{12}$$

$$= 412,3 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 1} = \frac{4M_{f_i, Sd, b, 1}}{L_1} = \frac{4 \times 412,3}{9} = 183,3 \text{ kN}$$

- Geschützter Hauptträger als Randträger eines Deckenfeldes

$$M_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{q_{f_i, Rd} L_1 L_2^2 - 8 \mu M_{f_i, 0} \left(L_1 - \sum_{i=1}^2 b_{eff, 2, i} \right)}{c_M} = \frac{6,48 \times 9 \times 12^2 - 8 \times 1,0 \times 3466,5 \times 10^{-3} \times (9 - (12/8 + 12/8))}{12}$$

$$= 686,0 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{4M_{f_i, Sd, b, 2}}{L_2} = \frac{4 \times 686,0}{12} = 228,7 \text{ kN}$$

Einer der Hauptträger von Zone B ist ein Randträger an der Gebäudeaußenkante. Dieser muss die zusätzlichen Lasten aus den Fassadenbauteilen von 2,0 kN/m aufnehmen, was eine Anpassung der aufgebrauchten Last im Brandfall erfordert:

$$M_{f_i, Sd, b, 2} = 686,0 + \frac{2,0 \times 12^2}{8} = 722,0 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 2} = 222,8 + \frac{2,0 \times 12}{2} = 234,8 \text{ kN}$$

Der Brandschutz dieses Trägers muss unter Berücksichtigung der zusätzlichen Lasten sichergestellt werden, da die berechnete Tragfähigkeit im Brandfall nicht kleiner als die aufgebrauchte Last sein darf.

5.1.2 Deckenbemessung: Zone A

Das angewandte Berechnungsschema ist das gleiche wie für Zone B. Bei Zone A besitzt die Abmessungen 9 x 9 m. Um die Konstruktion zu vereinfachen, wird die Betonstahlmatte ST 25C auch in diesem Bereich verwendet. Folglich muss auch Zone A mit diesem Mattenquerschnitt

nachgewiesen werden. Zone A besitzt zwei ungeschützte Verbundträger. Die Details dieser Berechnung sind unten gegeben:

Schritt 1: Berechnung der Auflast auf die Platte im Brandfall

Vgl. Schritt 1 für Zone B

Schritt 2: Berechnung der Temperaturen der Verbunddecke Cofraplus 60

Vgl. Schritt 2 für Zone B

Schritt 3: Berechnung des Bemessungswertes des Widerstands des Biegemomentes $M_{fi,0}$ des Plattenquerschnittes im Brandfall

Für diese Bemessungszone A gilt:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm}$$

$$L_2 = 9\,000 \text{ mm}$$

Folglich sind, $L = \max \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$ und $\ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$.

Man erhält:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,f_i,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,f_i,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 30} = 0,597$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,f_i,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,f_i,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 30} = 0,597$$

Es ist zu beachten, dass der Parameter K gleich 1,0 ist, weil die Bewehrungsmatte den gleichen Querschnitt in beide Richtungen hat.

Somit ergibt sich der Bemessungswert des positiven Biegemomentes des Plattenquerschnittes im Brandfall zu:

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,f_i,s} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0 \times 30 \times \frac{3 + 0,597}{4} = 3466,5 \text{ Nmm/mm}$$

Parallel dazu lassen sich die weiteren benötigten Parameter festlegen:

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1,0 \times \frac{3 + 0,597}{3 + 0,597} = 1,0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{9\,000}{9\,000} = 1,0$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} \left(\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1 \right) = \frac{1}{2 \times 1,0 \times 1,0^2} \times \left(\sqrt{3 \times 1,0 \times 1,0^2 + 1} - 1 \right) = 0,5$$

Schritt 4: Bestimmung der Traglast der Verbunddecke im Brandfall

Die Traglast der Verbunddecke kann wie folgt bestimmt werden:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{3466,5}{0,5^2 \times 1,0^2 \times 9000^2} = 1,027 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 1,027 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 5: Bestimmung der Durchbiegung für die Berechnung der Membranwirkung

Die Durchbiegung der Decke im Brandfall unter Berücksichtigung der Membranwirkung ergibt sich zu:

$$w = \min \left\{ \frac{\alpha(\theta_2 - \theta_1)\ell^2}{19,2h_{eff}} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0,5f_{sy}}{E_a \gamma_{M,fi,s}} \right) \frac{3L^2}{8}}; \frac{\ell}{30} \right]; \frac{L + \ell}{30} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{1,2 \times 10^{-5} (831 - 99) \times 9000^2}{19,2 \times 95} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0,5 \times 500}{210000 \times 1,0} \right) \frac{3 \times 9000^2}{8}}; \frac{9000}{30} \right]; \frac{9000 + 9000}{30} \right\}$$

$$= \min \{ 391,0 + \min [190,2; 300]; 600 \} = 581,2 \text{ mm}$$

Schritt 6: Berechnung der Parameter zur Bestimmung der Die Bestimmung der verschiedenen Faktoren für die Membranwirkung basieren auf den Parametern α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k und b . Die Werte dieser Parameter sind in Tabelle 5-9 zusammengefasst.

Tabelle 5-9 Verwendete Parameter für die Beurteilung der Membranwirkung in Zone A

Gleichung	Berechnete Werte
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0,332
$\beta_1 = \frac{1 - (g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0,112
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,332
$\beta_2 = \frac{1 - (g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,112
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2 + 1} + 1$	1,0
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	3 375 000 mm ²

$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	3 375 000 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	0 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	0 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M_s, f_{i,s}}}{kK A_s f_{sy, \ell k}} \left(0,85 \frac{f_c}{\gamma_{M_s, f_{i,c}}} \times 0,45d - A_s \frac{f_{sy, \ell k}}{\gamma_{M_s, f_{i,s}}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	1,232

Schritt 7: Berechnung der Faktoren zur Berücksichtigung der Membranwirkung

Die Faktoren e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} und e_{2m} können wie folgt bestimmt werden:

Tabelle 5-10 Faktoren für die Berücksichtigung der Membranwirkung in Zone A

Gleichung	Berechnete Werte
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n) (1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0,943
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	4,425
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	5,368
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0,943
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2+3k-k^3}{6(1+k)^2}$	4,425
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	5,368

Der globale Multiplikationsfaktor e ergibt sich zu:

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 5,368 - \frac{5,368 - 5,368}{1 + 2 \times 1,0 \times 1,0^2} = 5,368$$

Schritt 8: Gesamte Traglast der Decke im Brandfall

Die gesamte Traglast der Decke im Brandfall unter Berücksichtigung der Membranwirkung ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 5,368 \times 1,027 = 5,51 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 9: Traglast der Decke unter Berücksichtigung der ungeschützten Verbundträger

Der Momentenwiderstand der Träger hat den gleichen Wert wie in Zone B, aber es verändert sich die Berechnung der Traglast aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der inneren ungeschützten Träger und einer anderen Spannweite der Hauptträger:

$$q_{fi,Rd,ub} = \frac{8M_{fi,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 51,5}{9^2} \times \frac{(1+2)}{9} = 1,70 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 10: Bestimmung der gesamten Traglast der Platte im Brandfall und Nachweis des erforderlichen Feuerwiderstandes

Die gesamte Traglast der Platte ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 5,51 + 1,70 = 7,21 \text{ kN/m}^2$$

Die im Brandfall zu berücksichtigende Bemessungslast ist damit kleiner als der Bauteilwiderstand:

$$q_{fi,Sd} = 5,98 \text{ kN/m}^2 < q_{fi,Rd} = 7,21 \text{ kN/m}^2$$

7. Fire & Analysis

- Standard temperature-time curve
- Fire resistance period: 60 min

8. Summary output

- Default mesh direction
- Maximum unity factor: 0.83 **Floor slab adequate**
- Factored load in fire: 5.98 kN/m²
- Fire curve: Standard temperature-time curve

9. Default mesh direction

- Longitudinal mesh area: 257 mm²/m
- Transverse mesh area: 257 mm²/m
- Bar size: 7 mm
- Factored load in fire: 5.98 kN/m²

Tabular results

Time	Beam	Mesh	Slab top	Slab bottom	Beam capacity	Maximum allowable deflection	Slab yield	Enhance ment	Slab capacity	Total capacity	Unity factor
mins	°C	°C	°C	°C	kN/m ²	mm	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	
0	20	20	20	20	26.79	190	1.03	2.39	2.46	29.24	0.20
5	158	24	20	147	26.79	258	1.03	2.91	2.99	29.77	0.20
10	378	37	22	348	26.72	364	1.03	3.72	3.82	30.54	0.20
15	578	53	28	491	15.88	437	1.03	4.27	4.39	26.27	0.30
20	708	74	36	592	6.70	487	1.03	4.65	4.77	11.47	0.52
25	778	102	48	663	4.13	518	1.03	4.99	5.02	9.35	0.65
30	821	120	62	716	3.06	540	1.03	5.05	5.19	8.25	0.72
35	850	125	71	758	2.62	557	1.03	5.18	5.32	7.94	0.75
40	873	163	83	791	2.27	568	1.03	5.27	5.41	7.88	0.78
45	893	190	89	820	1.97	580	1.03	5.36	5.51	7.47	0.80
50	910	214	103	844	1.79	586	1.03	5.40	5.55	7.34	0.81
55	925	238	119	865	1.70	588	1.03	5.42	5.57	7.27	0.82
60	939	253	131	884	1.61	592	1.03	5.45	5.60	7.21	0.83

Maximum unity factor: 0.83 **Floor slab adequate**

Beam checks

The degree of shear connection of unprotected beam(s) does not satisfy the minimum limit specified by EN1994-1-1
The degree of shear connection of internal beam(s) does not satisfy the minimum limit specified by EN1994-1-1

Perimeter beam check

Side A	Beam type:	Solid beam	Non composite	Edge beam
	Section size:	PE 500		

Project name: Unnamed project

Copyright © 2009-2010, ArcelorMittal. All rights reserved. Session: 357

Abbildung 5-16 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Ausführlicher Bericht

Die Standsicherheit des Deckensystems ist in Zone A damit für R60 gesichert.

Schritt 11: Auswirkungen auf die geschützten Randträger der Deckenzone im Brandfall

Die in Brandsituationen aufgebrauchte Last auf den Nebenträgern und Umfassungsbalken der Zone A verursachen Auswirkungen (in der Terminologie des Eurocodes werden Schnittgrößen wie Biegemomente und Querkräfte als Auswirkungen bezeichnet), die mit den Beziehungen von 3.24 und 3.37 berechnet werden:

- Geschützter Nebenträger als Randträger eines Deckenfeldes

$$M_{f_i, Sd, b, 1} = \frac{q_{f_i, Rd} L_1^2 L_2 - 8 \left(M_{f_i, 0} \left(L_2 - n_{ub} b_{eff, ub} - \sum_{i=1}^2 b_{eff, 1, i} \right) + n_{ub} M_{f_i, Rd} \right)}{c_M}$$

$$= \frac{7,21 \times 9^2 \times 9 - 8 \times \{ 3466,5 \times 10^{-3} \times [9 - 2 \times 2,25 - (0 + 2,25/2)] + 2 \times 51,5 \}}{12}$$

$$= 361,5 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 1} = \frac{4M_{f_i, Sd, b, 1}}{L_1} = \frac{4 \times 361,5}{9} = 160,7 \text{ kN}$$

- Geschützter Hauptträger als Randträger eines Deckenfeldes

$$M_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{q_{f_i, Rd} L_1 L_2^2 - 8 \mu M_{f_i, 0} \left(L_1 - \sum_{i=1}^2 b_{eff, 2, i} \right)}{c_M} = \frac{7,21 \times 9 \times 9^2 - 8 \times 1,0 \times 3466,5 \times 10^{-3} \times (9 - (0 + 9/8))}{12}$$

$$= 419,8 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{4M_{f_i, Sd, b, 2}}{L_2} = \frac{4 \times 419,8}{9} = 186,6 \text{ kN}$$

Zwei der Randträger in dieser Zone sind Träger an der Außenkante des Gebäudes. Diese müssen die zusätzliche Last aus den Fassadenbauteilen von 2,0 kN/m aufnehmen, was eine Anpassung der aufgebrauchten Last im Brandfall erfordert und beim Nachweis dieser Träger für den Brandfall berücksichtigt werden muss:

- Hauptträger als Randträger mit Fassadenlasten

$$M_{f_i, Sd, b, 1} = 361,5 + \frac{2,0 \times 9^2}{8} = 381,7 \text{ kNm} \quad \text{und} \quad V_{f_i, Sd, b, 1} = 160,7 + \frac{2,0 \times 9}{2} = 169,7 \text{ kN}$$

- Nebenträger als Randträger mit Fassadenlasten

$$M_{f_i, Sd, b, 2} = 419,8 + \frac{2,0 \times 9^2}{8} = 440,0 \text{ kNm} \quad \text{und} \quad V_{f_i, Sd, b, 2} = 186,6 + \frac{2,0 \times 9}{2} = 195,6 \text{ kN}$$

5.1.3 Deckenbemessung: Zone E

Die Abmessung der Verbunddecke und die Spannweite der Träger in Zone E haben die gleichen Werte wie in Zone B. Es wurden jedoch die konventionellen Walzprofile durch Lochstegträger IPE 300+IPE 300 ACB Träger ersetzt, vgl. Querschnitt in Abbildung 5-18.

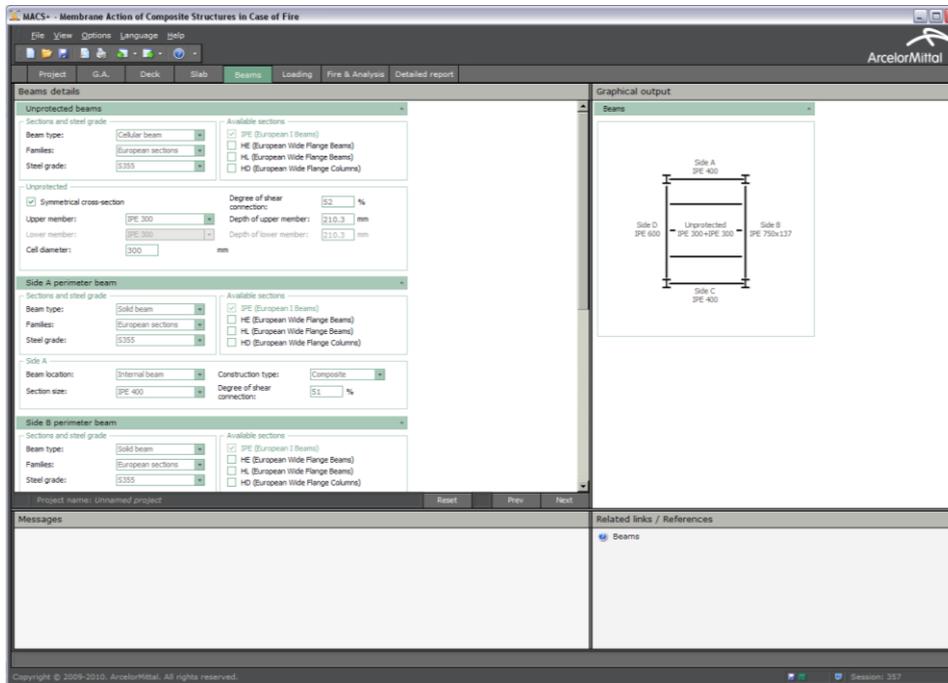


Abbildung 7-17 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Träger in Zone E

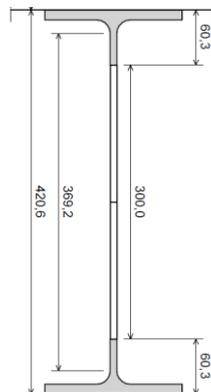


Abbildung 5-18 Netto-Querschnitt des ACB Trägers in Zone E

Es muss nur der Beitrag der ungeschützten Träger zur Traglast der Decke neu bestimmt werden.

Schritte 1 bis 8:

Vgl. Schritte 1 bis 8 für Zone B

Schritt 9: Traglast der Decke unter Berücksichtigung der ungeschützten Verbundträger

Die Werte der Querschnittswerte des Stahlquerschnittes sind in Tabelle 5-11 zusammengefasst. Die Temperaturen des Stahlteiles aus dem Verbundquerschnitt können Tabelle 3-2 entnommen werden:

- Temperatur im Flansch: 940,0°C;
- Temperatur des unteren Steges: 942,1°C in Tabelle 3-2 aber wie Flanschttemperatur zu 940,0°C zu wählen, da die Höhe des Stahlquerschnittes nicht größer als 500 mm ist;
- Temperatur im oberen Steg: 942,1°C;
- Temperatur in den Kopfbolzen (vgl. Abschnitt 4.3.4.2.5 der EN 1994-1-2): 940,0x0,8=752,0°C

Tabelle 5-11 Querschnittswerte der ungeschützten Verbundträger

Stahlquerschnittsteil	$k_{sh} = 0,9 \left(\frac{0,5B_1 + t_{f1} + t_{f2} + \sqrt{h_w^2 + (B_1 - B_2)^2}}{4} \right) / \left(H + B_1 + B_2 / 2 - (t_{w1} + t_{w2}) / 2 \right)$	$\left(\frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$k_{sh} \left(\frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$
Unterer Flansch	0,699	$\frac{2(B_1 + t_{f1})}{B_1 t_{f1}} = 200$	140
Unterer Steg		$\frac{2h_{w1} + t_{w1}}{h_{w1} t_{w1}} = 302$	211
Oberer Steg		$\frac{2h_{w2} + t_{w2}}{h_{w2} t_{w2}} = 302$	211
Unterer Flansch		$\frac{2(B_2 + t_{f2})}{B_2 t_{f2}} = 200$	140
Mit: H: Höhe des Stahlquerschnittes; h_w : Steghöhe; B_1 : Breite des unteren Flansches; t_{f1} : Dicke des unteren Flansches; t_{w1} : Dicke des unteren Steges; h_{w1} : Höhe des unteren Steges (Netto-Querschnitt); B_2 : Breite des oberen Flansches; t_{f2} : Dicke des oberen Flansches; t_{w2} : Dicke des oberen Steges; h_{w2} : Höhe des oberen Steges (Netto-Querschnitt)			

Die Kenntnis der Temperatur des Stahlquerschnittes und der Kopfbolzendübel erlauben es, den Momentenwiderstand der inneren ungeschützten Verbundträger festzulegen. Für Wabenträger wird der Beitrag der unteren Trägerhälfte vernachlässigt, da deren Temperatur auf über 600°C steigt. Die berechneten Werte sind in Tabelle 5-12 zusammengefasst.

Tabelle 5-12 Momentenwiderstand der ungeschützten Träger in Zone E

Parameter	Berechnete Werte
Effektive Breite der Platte	$b_{eff} = \min\{9000 / 4 ; 3000\} = 2250 \text{ mm}$
Fläche des oberen Flansches A_{f2}	$A_{f2} = 1605 \text{ mm}^2$
Fläche des oberen Steges A_{w2}	$A_{w2} = 352 \text{ mm}^2$
Abminderungsfaktor für die Stahlfestigkeitseigenschaften	$k_{y,\theta} = 0,052$

Abminderungsfaktor für die Kopfbolzenfestigkeitseigenschaften		$k_{u,\theta} = 0,17$
Zugkraft $T^+ = \sum A_i f_y k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi,a}$		$T^+ = (1605 + 352) \times 355 \times 0,052 / 1,0$ $= 36,08 \text{ kN}$
Plattendicke unter Druck im Brandfall $h_u = \frac{T^+}{b_{eff} f_c / \gamma_{M,fi,c}}$		$h_u = \frac{36,08}{2250 \times 25 / 1,0} = 0,641 \text{ mm}$
Verbindungsgrad der Träger bei 20°C		$n_{c,20^\circ C} = 0,52$
Verbindungsgrad der Träger im Brandfall $n_{c,\theta} = \frac{n_{c,20^\circ C} k_{u,\theta} \gamma_{M,v}}{k_{y,\theta} \gamma_{M,fi,v}}$		$n_{c,\theta} = \frac{0,52 \times 0,17 \times 1,25}{0,052 \times 1,0} = 2,05 > 1,0$ Folglich volle Scherverbindung
Angriffspunkt der Zugkraft $y_T = \frac{\sum A_i y_i f_y k_{y,\theta}}{T^+ \gamma_{M,fi,a}}$		$y_T = \frac{(352 \times 6,45 + 1605 \times 29,63) \times 355 \times 0,052}{36,08 \times 1,0}$ $= 409,86 \text{ mm}$
Angriffspunkt der Druckkraft $y_F = H + h_c - h_u / 2$		$y_F = 420,6 + 130 - 0,641 / 2 = 550,28 \text{ mm}$
positiver Momentenwiderstand $M_{fi,Rd} = T^+ (y_F - y_T)$		$M_{fi,Rd} = 36,08 \times (550,28 - 409,86)$ $= 5,07 \times 10^6 \text{ Nmm} = 5,07 \text{ kNm}$
Mit:	h_c : gesamte Plattendicke; $\gamma_{M,fi,a}$, $\gamma_{M,v}$ und $\gamma_{M,fi,v}$ Teilsicherheitsfaktoren für das Stahlprofil und die Kopfbolzendübel unter normalen Bedingungen und im Brandfall	

Die Beitrag der ungeschützten Verbundträger zur Traglast der Decke ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd,ub} = \frac{8M_{fi,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 5,07}{9^2} \times \frac{(1+3)}{12} = 0,17 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 10: Bestimmung der gesamten Traglast der Decke im Brandfall und Nachweis des erforderlichen Feuerwiderstands

Die gesamte Traglast der Platte liegt bei:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 4,78 + 0,17 = 4,95 \text{ kN/m}^2$$

Damit kann die Bemessungslast im Brandfall nicht aufgenommen werden:

$$q_{fi,Sd} = 5,98 \text{ kN/m}^2 > q_{fi,Rd} = 4,95 \text{ kN/m}^2$$

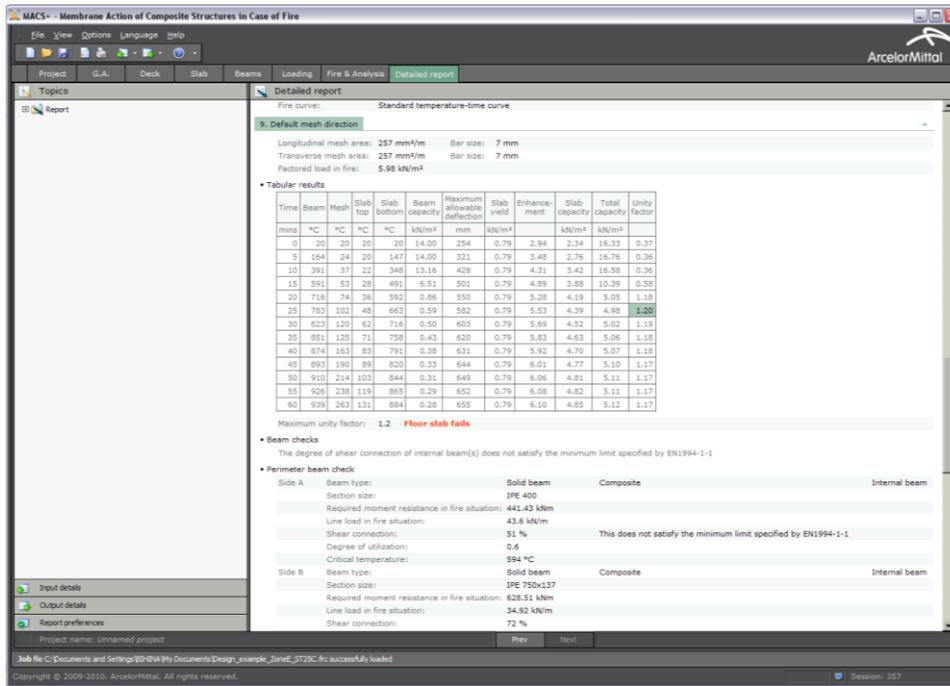


Abbildung 5-19 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Ausführlicher Bericht

Die Standsicherheit des Plattensystems ist mit seinen aktuellen Maßen in Zone E für die Klasse R60 daher nicht ausreichend.

Fazit 1

Die Standsicherheit der Decke kann für R60 mit den aktuellen Abmessungen in Zone E nicht sichergestellt werden. Somit ist es nötig die Konstruktionsparameter zu verändern.

Die könnte z.B. durch eine Variation der Lage oder der Abmessungen der Mattenbewehrung geschehen.

Die nächste größere verfügbare Matte besitzt eine Querschnittsfläche von 385 mm²/m, d.h. sie viel schwerer als die aktuelle Matte ST 25C. Somit sollte zuerst versucht werden die Matte so zu verlegen, dass deren Temperatur im Brandfall unter 400°C bleibt. Der Achsabstand der Matten von der Deckenoberkante wurde daher von 30 mm auf 40 mm erhöht.

Aus dem erhöhten Mattenachsabstand ergeben sich folgende Traglasten:

- Zone A: $q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 6,85 + 1,70 = 8,55 \text{ kN/m}^2 > 7,21 \text{ kN/m}^2$;

- Zone B: $q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 5,07 + 1,70 = 6,77 \text{ kN/m}^2 > 6,48 \text{ kN/m}^2$.

Folglich erhöht der geänderte Mattenachsenabstand die gesamte Traglast der Zonen A und B.

Schritt 2a: Berechnung der Temperaturen in die Verbunddecke Cofraplus 60

Die Temperaturverteilung in der Decke ändert sich nicht, aber die Temperatur der Matte erhöht sich von 288°C auf 363°C. Bezugnehmend auf Tabelle 3-4 der EN 1994-1-1 wird die effektive Streckgrenze der Bewehrungsmatte nicht vermindert.

Schritt 3a: Berechnung des Bemessungswertes des Widerstands des Biegemomentes $M_{fi,0}$ des Plattenquerschnittes im Brandfall

Für diese Berechnungszone gilt:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm (Spannweiten der Nebenträger)}$$

$$L_2 = 12\,000 \text{ mm (Spannweiten der Hauptträger)}$$

Folglich sind $L = \max\{L_1; L_2\} = 12\,000 \text{ mm}$ und $\ell = \min\{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$.

Man erhält:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,fi,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 40} = 0,698$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,fi,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 40} = 0,698$$

Daraus ergibt sich der positive Momentenwiderstand des Plattenquerschnittes:

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,fi,s} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0 \times 40 \times \frac{3 + 0,698}{4} = 4751,5 \text{ Nmm/mm}$$

Parallel dazu können die anderen benötigten Parameter bestimmt werden:

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1,0 \times \frac{3 + 0,698}{3 + 0,698} = 1,0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12\,000}{9\,000} = 1,333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1,0 \times 1,333^2} \times (\sqrt{3 \times 1,0 \times 1,333^2 + 1} - 1) = 0,427$$

Schritt 4a: Bestimmung der Traglast der Verbunddecke im Brandfall

Die Traglast der Verbunddecke kann wie folgt bestimmt werden:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{4751,5}{0,427^2 \times 1,333^2 \times 9\,000^2} = 1,088 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 1,088 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 5a: Bestimmung der Durchbiegung für die Berechnung der Membranwirkung

Vgl Schritt 5

Schritt 6a: Berechnung der Parameter zur Bestimmung der Membranwirkung

Die Bestimmung der verschiedenen Faktoren zur Berücksichtigung der Membranwirkung basieren auf den verschiedenen Parametern $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, A, B, C, D, k$ und b . Die Werte dieser Parameter sind in Tabelle 5-13 zusammengefasst.

Tabelle 5-13 Verwendete Parameter für die Beurteilung der Membranwirkung in Zone E

Gleichung	Erhaltene Werte
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0,377
$\beta_1 = \frac{1 - (g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0,082
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,377
$\beta_2 = \frac{1 - (g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,082
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2 + 1} + 1$	1,194
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,fi,s}}{kK A_s f_{sy,th}} \left(0,85 \frac{f_c}{\gamma_{M,fi,c}} \times 0,45d - A_s \frac{f_{sy,th}}{\gamma_{M,fi,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0,909

Schritt 7a: Berechnung der Faktoren zur Berücksichtigung der Membranwirkung

Die Faktoren e_{1b}, e_{2b}, e_{1m} und e_{2m} können wie folgt bestimmt werden:

Tabelle 5-14 Faktoren für die Beurteilung der Membranwirkung in Zone E

Gleichung	Erhaltene Werte
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0,944
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	4,143
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	5,088
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	1,006
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2+3k-k^3}{6(1+k)^2}$	2,128
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3,134

Der globale Multiplikationsfaktor e ergibt sich zu:

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 5,088 - \frac{5,088 - 3,134}{1 + 2 \times 1,0 \times 1,333^2} = 4,659$$

Schritt 8a: Gesamte Traglast der Decke im Brandfall

Die gesamte Traglast der Decke im Brandfall unter Berücksichtigung der Membranwirkung ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 4,659 \times 1,088 = 5,07 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 9a: Traglast der Decke unter Berücksichtigung der ungeschützten Verbundträger

Vgl. Schritt 9

Schritt 10a: Gesamte Traglast der Decke im Brandfall und Nachweis des Feuerwiderstandes

Die gesamte Traglast der Platte ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 5,07 + 0,17 = 5,24 \text{ kN/m}^2$$

Es zeigt sich, dass diese immer noch kleiner als die im Brandfall vorhandenen Bemessungslast ist:

$$q_{fi,Sd} = 5,98 \text{ kN/m}^2 > q_{fi,Rd} = 5,24 \text{ kN/m}^2$$

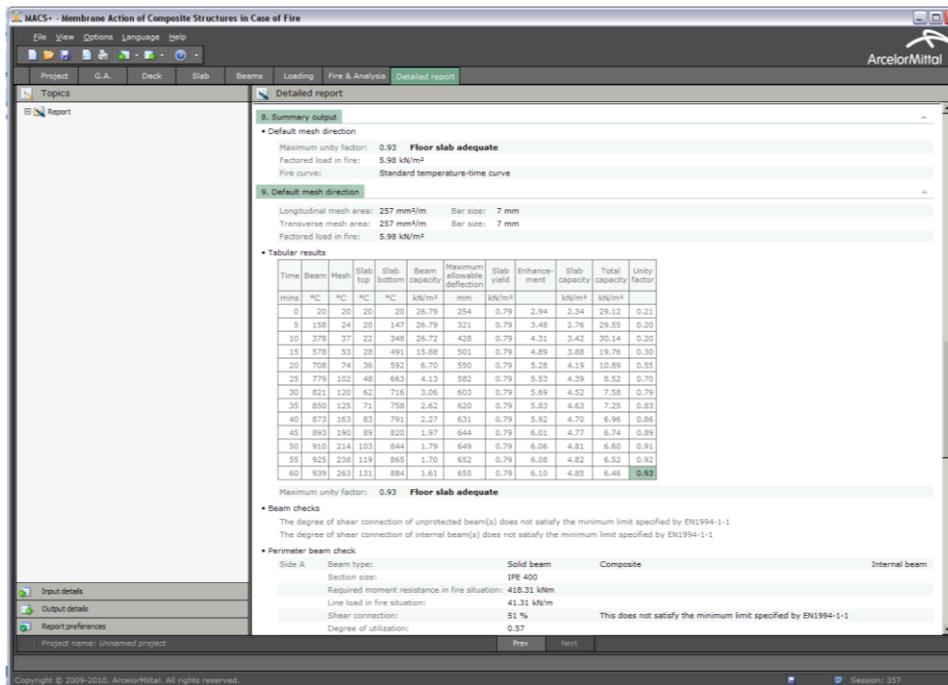


Abbildung 5-20 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Ausführlicher Bericht

Fazit 2

Die Standsicherheit des Plattensystems kann für R60 mit seinen aktuellen Maßen in Zone E nicht sichergestellt werden. Somit ist es nötig die Konstruktionsparameter zu verändern, z.B. indem die Bewehrungsmattenfläche vergrößert wird.

Die Größe der geschweißten Matte wird daher von ST 25C (257 mm²/m) auf ST 40C (385 mm²/m) erhöht.

Schritt 2b: Berechnung der Temperaturen in die Verbunddecke Cofraplus 60

vlg. Schritt 2a

Schritt 3b: Berechnung des Bemessungswertes des Widerstands des Biegemomentes $M_{fi,0}$ des Plattenquerschnittes im Brandfall

Für diese Bemessungszone E gilt:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm (Spannweiten der Nebenträger)}$$

$$L_2 = 12\,000 \text{ mm (Spannweiten der Hauptträger)}$$

Folglich sind $L = \max \{L_1; L_2\} = 12\,000 \text{ mm}$ und $\ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$.

Man erhält:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,fi,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{385}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 40} = 0,547$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{f_i,s}}}{0,85 f_c / \gamma_{M_{f_i,c}} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{385}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 40} = 0,547$$

Somit ergibt sich der Bemessungswert des positiven Biegemomentes des Plattenquerschnittes im Brandfall zu:

$$M_{f_i,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{f_i,s}} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{385}{1000} \times 500 / 1,0 \times 40 \times \frac{3 + 0,547}{4} = 6828,09 \text{ Nmm/mm}$$

Parallel dazu lassen sich die anderen benötigten Parameter bestimmen:

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1,0 \times \frac{3 + 0,547}{3 + 0,547} = 1,0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12\,000}{9\,000} = 1,333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1,0 \times 1,333^2} \times (\sqrt{3 \times 1,0 \times 1,333^2 + 1} - 1) = 0,427$$

Schritt 4b: Bestimmung der Traglast der Verbunddecke im Brandfall

Die Traglast der Decke kann wie folgt bestimmt werden:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{f_i,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{6828,09}{0,427^2 \times 1,333^2 \times 9\,000^2} = 1,564 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 1,564 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 5b: Bestimmung der Durchbiegung für die Berechnung der Membranwirkung

Vgl Schritt 5

Schritt 6b: Berechnung der Parameter zur Bestimmung der Membranwirkung

Die Bestimmung der verschiedenen Faktoren für die Berücksichtigung der Membranwirkung basieren auf den verschiedenen Parametern α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k und b . Die Werte dieser Parameter sind in Tabelle 5-15 zusammengefasst.

Tabelle 5-15 Verwendete Parameter für die Beurteilung der Membranwirkung in Zone E

Gleichung	Erhaltene Werte
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0,308
$\beta_1 = \frac{1 - (g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0,122

$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,308
$\beta_2 = \frac{1 - (g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,128
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2 + 1} + 1$	1,194
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,fs}}{kK A_s f_{sy,fb}} \left(0,85 \frac{f_c}{\gamma_{M,fc}} \times 0,45d - A_s \frac{f_{sy,fb}}{\gamma_{M,fs}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0,826

Schritt 7b: Berechnung der Faktoren zur Berücksichtigung der Membranwirkung

Die Faktoren e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} und e_{2m} können wie folgt bestimmt werden:

Tabelle 5-16 Faktoren für die Berücksichtigung der Membranwirkung in Zone E

Gleichung	Erhaltene Werte
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0,940
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	3,927
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	4,867

$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0,989
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2 + 3k - k^3}{6(1+k)^2}$	2,017
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3,006

Der globale Multiplikationsfaktor e ergibt sich zu:

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 5,088 - \frac{4,867 - 3,006}{1 + 2 \times 1,0 \times 1,333^2} = 4,458$$

Schritt 8b: Gesamte Traglast der Decke im Brandfall

Die gesamte Traglast der Decke im Brandfall unter Berücksichtigung der Membranwirkung ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 4,458 \times 1,564 = 6,97 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 9b: Traglast der Decke unter Berücksichtigung der ungeschützten Verbundträger

Vlg. Schritt 9

Schritt 10b: Bestimmung der gesamten Traglast der Decke im Brandfall und Nachweis des erforderlichen Feuerwiderstandes

Die gesamte Traglast der Platte ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 6,97 + 0,17 = 7,14 \text{ kN/m}^2$$

Damit sind die auf die Decke einwirkenden Bemessungslasten im Brandfall kleiner als der Bauteilwiderstand:

$$q_{fi,Sd} = 5,98 \text{ kN/m}^2 < q_{fi,Rd} = 7,14 \text{ kN/m}^2$$

Fazit 3

Die Standsicherheit der Decke ist in Zone E für R60 gegeben.

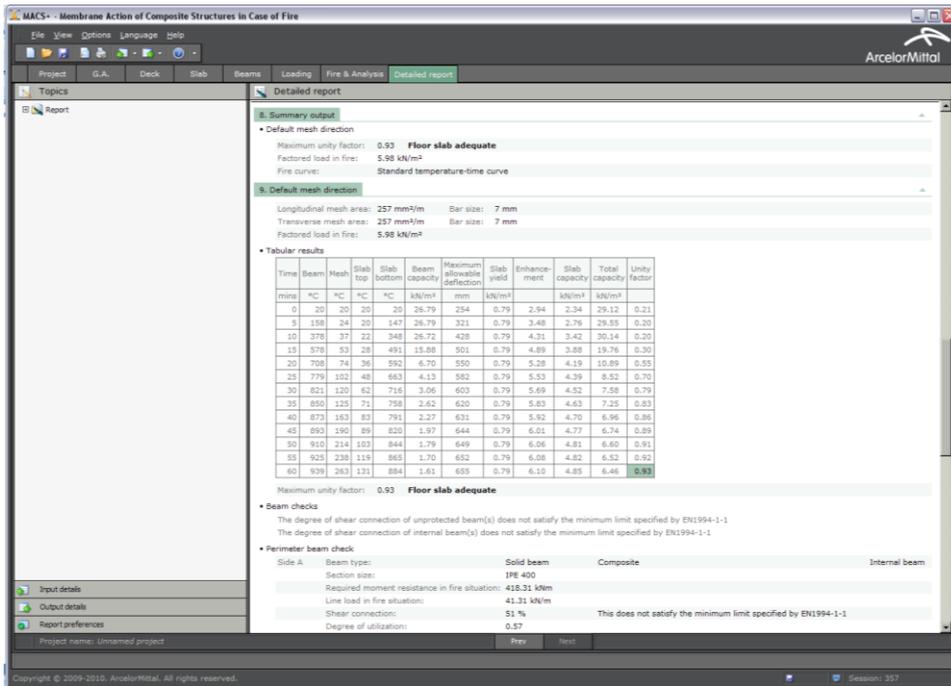


Abbildung 5-21 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Ausführlicher Bericht

Schritt 11: Auswirkungen auf die geschützten Randträger des Deckenfeldes im Brandfall

Die im Brandfall aufgebrachte Last auf die geschützten Randträger der Zone E werden mit den Beziehungen von 3.24 und 3.37 berechnet:

- Geschützter Nebenträger als Randträger

$$M_{fi,Sd,b,1} = \frac{q_{fi,Rd} L_1^2 L_2 - 8 \left(M_{fi,0} \left(L_2 - n_{ub} b_{eff,ub} - \sum_{i=1}^2 b_{eff,1,i} \right) + n_{ub} M_{fi,Rd} \right)}{c_M}$$

$$= \frac{7,14 \times 9^2 \times 12 - 8 \times \left\{ 6828,09 \times 10^{-3} \times [12 - 3 \times 2,25 - (2,25/2 + 2,25/2)] + 3 \times 5,1 \right\}}{12}$$

$$= 554,5 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,1} = \frac{4M_{fi,Sd,b,1}}{L_1} = \frac{4 \times 554,50}{9} = 246,4 \text{ kN}$$

- Geschützter Hauptträger als Randträger

$$M_{fi,Sd,b,2} = \frac{q_{fi,Rd} L_1 L_2^2 - 8 \mu M_{fi,0} \left(L_1 - \sum_{i=1}^2 b_{eff,2,i} \right)}{c_M} = \frac{7,14 \times 9 \times 12^2 - 8 \times 1,0 \times 6828,09 \times 10^{-3} \times (9 - (12/8 + 12/8))}{12}$$

$$= 743,8 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,2} = \frac{4M_{fi,Sd,b,2}}{L_2} = \frac{4 \times 743,8}{9} = 247,9 \text{ kN}$$

Diese Schnittgrößen sind beim Nachweis der Randträger für den Brandfall zu berücksichtigen.

5.1.4 Deckenbemessung: Zone D

Die Abmessungen der Verbundplatte und die Spannweiten der Träger in Zone D haben die gleichen Werte wie in Zone A. In Zone D wurden jedoch die konventionellen Stahlprofile durch IPE 270+IPE 270 Angelina Träger ersetzt, vgl. Querschnitt in Abbildung 5-23.

Folglich muss nur die Traglast der ungeschützten Träger bestimmt werden.

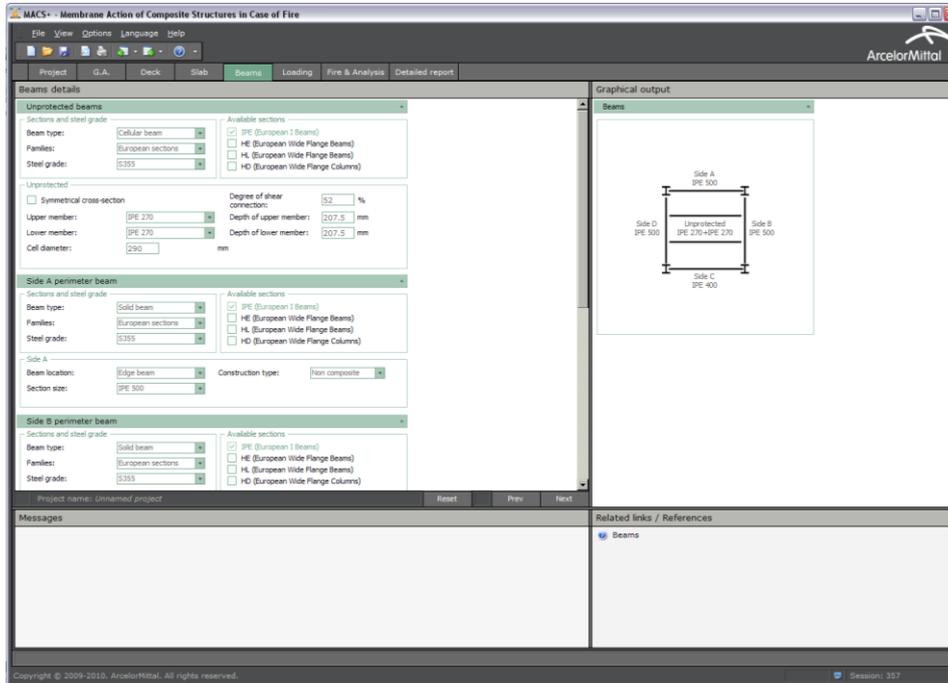


Abbildung 5-22 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Träger in Zone D

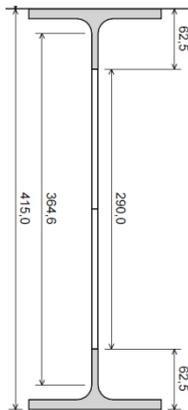


Abbildung 5-23 Netto-Querschnitt der Angelina Träger in Zone D

Schritt 2:

Vgl. Schritt 2 für Zone E

Schritte 3 bis 8:

Vgl. Schritte 3 bis 8 für Zone A

Schritt 9: Traglast der Decke unter Berücksichtigung der ungeschützten Verbundträger

Die Querschnittswerte des Stahlquerschnittes sind in Tabelle 5-17 zusammengefasst.

Temperaturen der Stahlteile im Verbundquerschnitt, vgl. Tabelle 3-3:

- Temperatur der Flansche:
941,0°C;
- Temperatur des unteren Steges: 942,2°C in Tabelle 3-3. Es ist aber die Temperatur des Flansches zu verwenden, da die Höhedes Stahlquerschnittes nicht größer als 500 mm ist;
- Temperatur im oberen Steg:
942,2°C;
- Temperatur in den Kopfbolzen
(vgl. Abschnitt 4.3.4.2.5 der EN 1994-1-2): 941,0x0,8=752,8°C

Tabelle 5-17 Querschnittswerte der ungeschützten Verbundträger in Zone D

Stahlquerschnittsteil	$k_{sh} = 0,9 \left(\frac{0,5B_1 + t_{f1} + t_{f2} + \sqrt{h_w^2 + (B_1 - B_2)^2 / 4}}{H + B_1 + B_2 / 2 - (t_{w1} + t_{w2}) / 2} \right)$	$\left(\frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$k_{sh} \left(\frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$
Unterer Flansch	0,711	$\frac{2(B_1 + t_{f1})}{B_1 t_{f1}} = 211$	150
Unterer Steg		$\frac{2h_{w1} + t_{w1}}{h_{w1} t_{w1}} = 322$	229
Oberer Steg		$\frac{2h_{w2} + t_{w2}}{h_{w2} t_{w2}} = 322$	229
Unterer Flansch		$\frac{2(B_2 + t_{f2})}{B_2 t_{f2}} = 211$	150
Mit: H : Höhe des Stahlquerschnittes; h_w : Steghöhe; B_1 : Breite des unteren Flansches; t_{f1} : Dicke des unteren Flansches; t_{w1} : Dicke des unteren Steges; h_{w1} : Höhe des unteren Steges (Netto-Querschnitt); B_2 : Breite des oberen Flansches; t_{f2} : Dicke des oberen Flansches; t_{w2} : Dicke des oberen Steges; h_{w2} : Höhe des oberen Steges (Netto-Querschnitt)			

Die Kenntnis der Temperaturen des Stahlquerschnittes und der Kopfbolzendübel ermöglicht es, den Momentenwiderstand der inneren ungeschützten Nicht-Verbundträger zu berechnen. Für die Angenlinaträger wird der Beitrag der unteren Trägerhälfte vernachlässigt, da ihre Temperatur auf über 600°C steigt. Die berechneten Werte sind in Tabelle 5-18 gegeben.

Tabelle 5-18 Momentenwiderstand der ungeschützten Träger in Zone D

Parameter	Berechnete Werte
Effektive Breite der Platte	$b_{eff} = \min \{9000 / 4 ; 3000\} = 2250 \text{ mm}$
Fläche des oberen Flansches A_{f2}	$A_{f2} = 1377 \text{ mm}^2$

Fläche des oberen Steges A_{w2}	$A_{w2} = 229,0 \text{ mm}^2$
Abminderungsfaktor für die Streckgrenze	$k_{y,\theta} = 0,052$
Abminderungsfaktor für die Tragfähigkeit der Kopfbolzendübel	$k_{u,\theta} = 0,17$
Zugkraft $T^+ = \sum A_i f_y k_{y,\theta} / \gamma_{M_{,fi,a}}$	$T^+ = (1377 + 229) \times 355 \times 0,052 / 1,0$ $= 31,64 \text{ kN}$
Plattendicke unter Druck im Brandfall $h_u = \frac{T^+}{b_{eff} f_c / \gamma_{M_{,fi,c}}}$	$h_u = \frac{31,64}{2250 \times 25 / 1,0} = 0,562 \text{ mm}$
Verdübelungsgrad der Träger bei 20°C	$n_{c,20^\circ C} = 0,52$
Verdübelungsgrad der Träger im Brandfall $n_{c,\theta} = \frac{n_{c,20^\circ C} k_{u,\theta} \gamma_{M_{,v}}}{k_{y,\theta} \gamma_{M_{,fi,v}}}$	$n_{c,\theta} = \frac{0,52 \times 0,17 \times 1,25}{0,052 \times 1,0} = 2,05 > 1,0$ Folglich volle Scherverbindung
Angriffspunkt der Zugkraft $y_T = \frac{\sum A_i y_i f_y k_{y,\theta}}{T^+ \gamma_{M_{,fi,a}}}$	$y_T = \frac{(229 \times 6,32 + 1377 \times 25,32) \times 355 \times 0,052}{31,64 \times 1,0}$ $= 403,66 \text{ mm}$
Angriffspunkt der Druckkraft $y_F = H + h_c - h_u / 2$	$y_F = 415 + 130 - 0,562 / 2 = 544,72 \text{ mm}$
positiver Momentenwiderstand $M_{fi,Rd} = T^+ (y_F - y_T)$	$M_{fi,Rd} = 31,64 \times (544,72 - 403,66)$ $= 4,46 \times 10^6 \text{ Nmm} = 4,46 \text{ kNm}$
Mit:	h_c : gesamte Plattendicke; $\gamma_{M_{,fi,a}}$, $\gamma_{M_{,v}}$ und $\gamma_{M_{,fi,v}}$ Teilsicherheitsfaktoren für das Stahlprofil und die Stahlkopfbolzen unter normalen Bedingungen und im Brandfall

Die Beitrag ungeschützten Verbundträger zur Traglast der Verbunddecke bestimmt sich zu:

$$q_{fi,Rd,ub} = \frac{8M_{fi,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 4,46}{9^2} \times \frac{(1+2)}{12} = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 10: Gesamte Traglast der Platte im Brandfall und Nachweis des Feuerwiderstandes

Die gesamte Traglast der Platte ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 5,51 + 0,15 = 5,66 \text{ kN/m}^2$$

Damit ist die im Brandfall zu berücksichtigende Bemessungslast der Decke größer als die Traglast:

$$q_{fi,Sd} = 5,98 \text{ kN/m}^2 > q_{fi,Rd} = 5,66 \text{ kN/m}^2$$

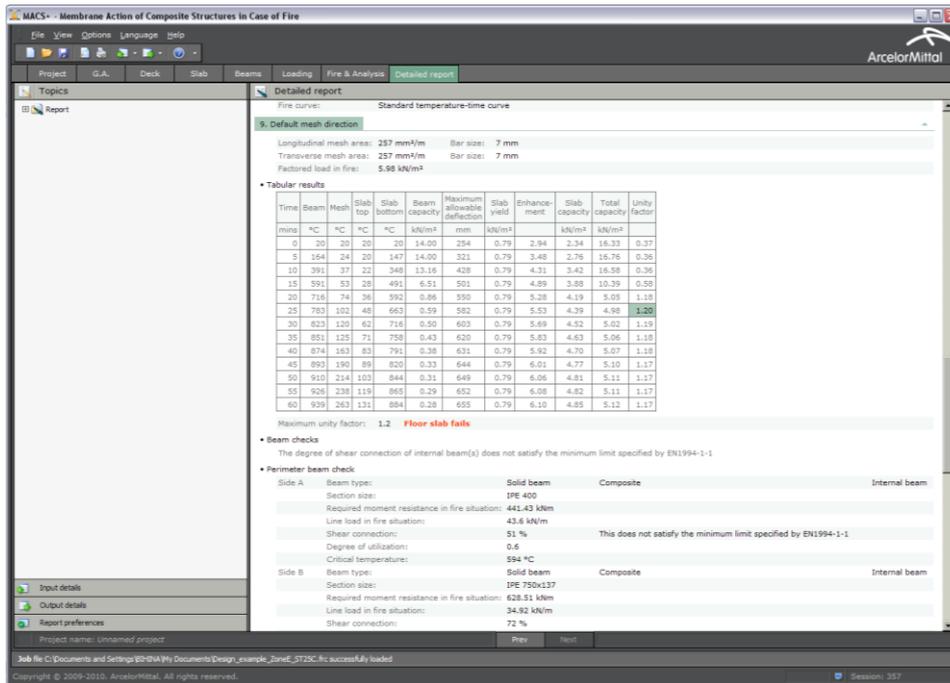


Abbildung 5-24 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Ausführlicher Bericht

Fazit 1

Die Standsicherheit der Verbunddecke kann für R60 mit den aktuellen Abmessungen in Zone B nicht sichergestellt werden. Somit ist es nötig die Konstruktionsparameter zu verändern.

Eine mögliche Lösung ist es, den Mattenachsenabstand oder die Mattengröße zu erhöhen.

Es wurde der Mattenachsenabstand von 30 mm auf 40 mm erhöht.

Schritt 2a: Berechnung Temperaturen in der Verbunddecke Cofraplus 60

Vgl. Schritt 2

Schritt 3a: Berechnung des Bemessungswertes des Widerstands des Biegemomentes $M_{fi,0}$ des Plattenquerschnittes im Brandfall

Für diese Berechnungszone gilt:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm (Spannweite des Nebenträgers)}$$

$$L_2 = 9\,000 \text{ mm (Spannweite des Hauptträgers)}$$

Folglich sind $L = \max \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$ und $\ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$.

Man erhält:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy, \theta_s} / \gamma_{M, fi, s}}{0,85 f_c / \gamma_{M, fi, c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 40} = 0,698$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,f_i,s}}{0,85 f_c / \gamma_{M,f_i,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1,0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0}{0,85 \times 25 / 1,0 \times 40} = 0,698$$

Es ist zu beachten, dass der Parameter K gleich 1,0 ist, da die Bewehrungsmatte den gleichen Querschnitt in beide Richtungen hat.

Somit ergibt sich der Bemessungswert des positiven Biegemomentes des Plattenquerschnittes im Brandfall:

$$M_{f_i,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M,f_i,s} d \frac{3+(g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1,0 \times 40 \times \frac{3+0,698}{4} = 4751,5 \text{ Nmm/mm}$$

Parallel dazu ist lassen sich die anderen Parameter bestimmen:

$$\mu = K \frac{3+(g_0)_1}{3+(g_0)_2} = 1,0 \times \frac{3+0,698}{3+0,698} = 1,0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{9000}{9000} = 1,0$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1,0 \times 1,0^2} \times (\sqrt{3 \times 1,0 \times 1,0^2 + 1} - 1) = 0,5$$

Schritt 4a: Bestimmung der Traglast der Verbunddecke im Brandfall

Die Traglast der Verbunddecke kann wie folgt bestimmt werden:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{f_i,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{4751,5}{0,427^2 \times 1,0^2 \times 9000^2} = 1,408 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 1,408 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 5a: Bestimmung der Durchbiegung für die Berechnung der Membranwirkung

Vgl. Schritt 5

Schritt 6a: Berechnung der Parameter zur Bestimmung der Membranwirkung

Die Bestimmung der verschiedenen Faktoren für die Membranwirkung basieren auf den verschiedenen Parametern α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A, B, C, D, k und b. Die Werte dieser Parameter sind in Tabelle 5-19 zusammengefasst.

Tabelle 5-19 Verwendete Parameter für die Beurteilung der Membranwirkung in Zone D

Gleichung	Erhaltene Werte
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0,377

$\beta_1 = \frac{1 - (g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0,082
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,377
$\beta_2 = \frac{1 - (g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0,082
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2 + 1} + 1$	1,0
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	3 375 000 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	3 375 000 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	0 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	0 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,fi,s}}{kK A_s f_{sy, \delta}} \left(0,85 \frac{f_c}{\gamma_{M,fi,c}} \times 0,45d - A_s \frac{f_{sy, \delta}}{\gamma_{M,fi,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	1,5

Schritt 7a: Berechnung der Faktoren zur Berücksichtigung der Membranwirkung

Die Faktoren e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} und e_{2m} können wie folgt bestimmt werden:

Tabelle 5-20 Faktoren für die Berücksichtigung der Membranwirkung in Zone D

Gleichung	Erhaltene Werte
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0,939
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	3,929

$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	4,868
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0,939
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2 + 3k - k^3}{6(1+k)^2}$	3,929
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	4,868

Der globale Multiplikationsfaktor e ergibt sich zu:

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 6,614 - \frac{4,868 - 4,868}{1 + 2 \times 1,0 \times 1,0^2} = 4,868$$

Schritt 8a: Gesamte Traglast der Decke im Brandfall

Die gesamte Traglast der Decke im Brandfall unter Berücksichtigung der Membranwirkung ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 4,868 \times 1,408 = 6,85 \text{ kN/m}^2$$

Schritt 9a: Traglast der Decke unter Berücksichtigung der ungeschützten Verbundträger

Vgl. Schritt 9

Schritt 10a: Bestimmung der gesamten Traglast der Decke im Brandfall und Nachweis des Feuerwiderstandes

Die gesamte Traglast der Platte ergibt sich zu:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 6,85 + 0,15 = 7,00 \text{ kN/m}^2$$

Sie ist damit größer als die im Brandfall zu berücksichtigende Bemessungslast:

$$q_{fi,Sd} = 5,98 \text{ kN/m}^2 < q_{fi,Rd} = 7,00 \text{ kN/m}^2$$

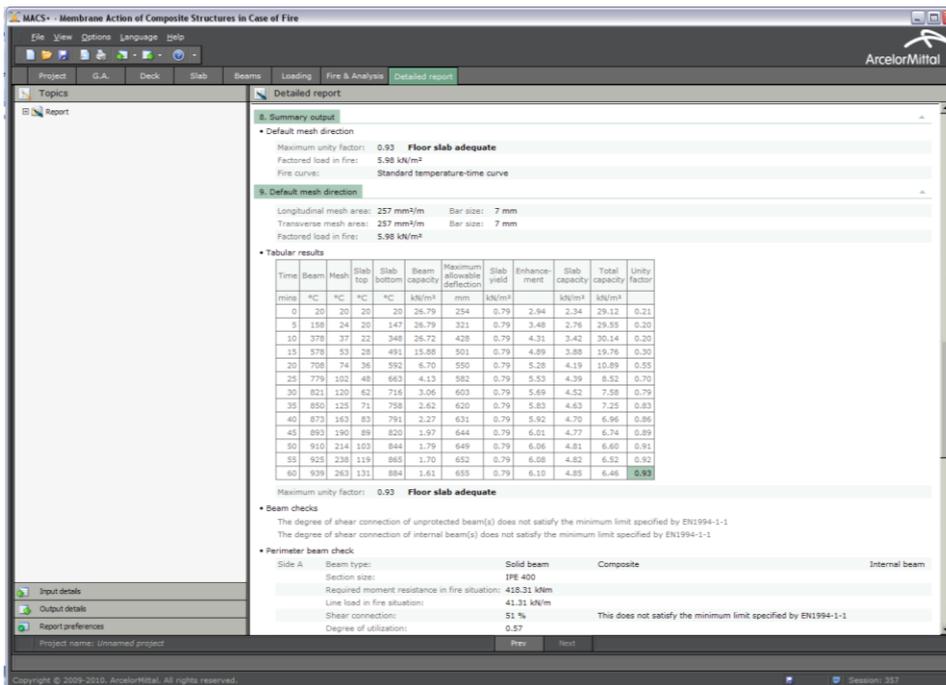


Abbildung 5-25 Verwendete Eingangsdaten in der MACS+ Software – Ausführlicher Bericht

Fazit 2

Die Standsicherheit der Decke ist damit in Zone D für R60 nachgewiesen.

Schritt 11: Auswirkungen auf die geschützten Randträger des Deckenfeldes im Brandfall

Die in Brandsituationen aufgebrachten Lasten auf die geschützten Randträger der Zone D werden mit den Beziehungen von 3.24 und 3.37 berechnet:

- Geschützter Nebenträger als Randträger

$$M_{fi,Sd,b,1} = \frac{q_{fi,Rd} L_1^2 L_2 - 8 \left(M_{fi,0} \left(L_2 - n_{ub} b_{eff,ub} - \sum_{i=1}^2 b_{eff,1,i} \right) + n_{ub} M_{fi,Rd} \right)}{c_M}$$

$$= \frac{7,00 \times 9^2 \times 9 - 8 \times \left\{ 4 \cdot 751,5 \times 10^{-3} \times \left[9 - 2 \times 2,25 - (0 + 2,25/2) \right] + 3 \times 4,5 \right\}}{12}$$

$$= 405,6 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,1} = \frac{4M_{fi,Sd,b,1}}{L_1} = \frac{4 \times 405,6}{9} = 180,2 \text{ kN}$$

- Geschützter Hauptträger als Randträger

$$M_{fi,Sd,b,2} = \frac{q_{fi,Rd} L_1 L_2^2 - 8 \mu M_{fi,0} \left(L_1 - \sum_{i=1}^2 b_{eff,2,i} \right)}{c_M} = \frac{7,00 \times 9 \times 9^2 - 8 \times 1,0 \times 4 \cdot 751,5 \times 10^{-3} \times (9 - (9/8 + 9/8))}{12}$$

$$= 403,9 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,2} = \frac{4M_{fi,Sd,b,2}}{L_2} = \frac{4 \times 403,9}{12} = 179,5 \text{ kN}$$

Einer der Hauptträger dieser Zone ist ein Randträger in Fassadenebene. Dieser muss die zusätzliche Last aus den Fassadenbauteilen von 2,0 kN/m aufnehmen, was eine Anpassung der aufgebracht Last im Brandfall erforderlich macht:

$$M_{fi,Sd,b,2} = 405,6 + \frac{2,0 \times 9^2}{8} = 425,9 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,2} = 180,2 + \frac{2,0 \times 9}{2} = 189,2 \text{ kN}$$

Die Randträger sind für die im Brandfall erhöhten Lasten nachzuweisen.

5.2 Bewehrungsdetails

Da die Berechnungen zeigen, dass zur Sicherstellung einer ausreichenden Traglast der Zonen A und B eine Bewehrung mit einer Matte ST 25C ausreichend für die Brandbemessung ist.

Die Matte hat in beide Richtungen eine Fläche von 257 mm²/m. Die Mattenstäbe haben einen Durchmesser von 7 mm und sind in beide Richtungen in Abständen von 150 mm angeordnet.

In diesem Beispiel hat die Matte eine Streckgrenze von 500 N/mm². Für die Brandbemessung sollte die Bewehrung der Klasse A in Übereinstimmung mit der EN 10080 festgelegt werden.

Bei Verbindungen zwischen den Matten müssen diese ausreichend überlappt werden, damit sich der volle Zugwiderstand im Brandfall entwickeln kann. Für die 7 mm Stäbe der ST 25C Matte wird eine Überlappung von mind. 300 mm gefordert, vgl. Tabelle 3-3. Um zu viele Bewehrungslagen vermeiden, sollten die Matten mit fliegenden Enden ausgeführt werden, vgl. Abbildung 3-5.

Zusätzliche Bewehrung in Form von U-förmigen Bügeln, sollte an den Randträgern vorgesehen werden, um einen ausreichenden Verbund zwischen diesen Trägern und der Verbundplatte sicherzustellen.

5.3 Brandschutz der Stützen

Die Brandschutzmaßnahmen für die Stützen sind ebenfalls Gegenstand dieses Beispiels. Die folgenden Informationen sind erforderlich, um den Brandschutz festlegen zu können.

Zeit der Feuerwiderstandsdauer	60 Minuten
Querschnittsgröße	HD320x158
Querschnittsfaktor	63 m ⁻¹ kastenförmige Verkleidung, vierseitig 89 m ⁻¹ profilfolgende Verkleidung, vierseitig
Kritische Temperatur	500°C oder 80°C weniger als die berechnete kritische Temperatur auf Basis der Bemessungsregeln der EN 1993-1-2, je nachdem welcher Wert kleiner ist.

Die verwendete Brandschutzverkleidung sollte über die ganze Höhe der Stützen bis zur Unterseite der Verbunddeckenplatte reichen.

LITERATURVERZEICHNIS

1. BAILEY, C. G. and MOORE, D. B.
The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 1:
Theory
The Structural Engineer, June 2000
2. BAILEY, C. G. and MOORE, D. B.
The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 2:
Design
The Structural Engineer, June 2000
3. BAILEY, C. G.
Membrane action of slab/beam composite floor systems in fire
Engineering Structures 26
4. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1 2: General actions. Actions
on structures exposed to fire
CEN
5. EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Structural fire
design
CEN
6. EN 1994-1-2:2005 Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures.
Structural fire design
CEN
7. VASSART O. and ZHAO B.
Membrane action of Composite Slab in Case of Fire, Background document, Edition
2012-1
8. The Building Regulations 2000, Approved Document B (Fire safety) 2006 Edition:
Volume 2: Buildings other than dwelling houses, Department of Communities and Local
Government, UK, 2006.
9. EN 1994-1-1:2004 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1
1: General rules and rules for buildings
CEN
10. EN 10080:2005 Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel –
General, CEN.
11. BS 4483:2005 Steel fabric for the reinforcement of concrete. Specification. BSI
12. BS 4449:1:2005 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar,
coil and decoiled product. Specification
BSI
13. NF A 35-016-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 2 : Treillis
soudés (novembre 2007) (AFNOR)
14. NF A 35-019-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 2 :
Treillis soudés (novembre 2007) (AFNOR)

15. EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design
CEN
16. EN 1991-1-1:2003 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions –
Densities, self-weight, imposed loads for buildings
CEN
17. EN13381-4 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of
structural members. Applied passive protection to steel members, CEN, (To be published
2009)
18. EN13381-8 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of
structural members. Applied reactive protection to steel members, CEN, (To be published
2009)
19. EN 1992-1-1 Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rule for buildings
BSI
20. COUCHMAN, G. H , HICKS, S. J. and RACKHAM, J, W
Composite Slabs and Beams Using Steel Decking: Best Practice for Design &
Construction (2nd edition)
SCI P300, The Steel Construction Institute, 2008
21. BS 8110-1 Structural use of concrete. Code of practice for design and construction, BSI,
London, 1997.
22. BAILEY, C. G.
The influence of thermal expansion of beams on the structural behaviour of columns in
steel framed buildings during a fire
Engineering Structures Vol. 22, July 2000, pp 755 768
23. EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Design of joints
BSI
24. Brown, D.G. Steel building design: Simple connections. SCI P358, The Steel Construction
Institute, (To be published 2009)
25. Initial sizing of simple end plate connections
Access-steel document SN013a
Initial sizing of fin plate connections
Access-steel document SN016a
www.access-steel.com
26. Shear resistance of a simple end plate connection
Access-steel document SN014a and SN015a
Tying resistance of a simple end plate connection
Access-steel document SN015a
www.access-steel.com
27. Shear resistance of a fin plate connection
Access-steel document SN017a
Tying resistance of a fin plate connection
Access-steel document SN018a
www.access-steel.com
28. LAWSON, R. M.
Enhancement of fire resistance of beams by beam to column connections
The Steel Construction Institute, 1990

- 29. EN 1363-1:1999 Fire resistance tests. General requirements
CEN
- 30. EN 1365 Fire resistance tests for load-bearing elements.
 - EN 1365-1:1999 Walls
 - EN 1365-2:2000 Floors and roofs
 - EN 1365-3:2000 Beams
 - EN 1365-4:1999 Columns
 - CEN