

Entwicklung leichter, großformatiger Stahl- Aluminium-schaum-Sandwichelemente und Stahlblech-Hüllelemente für den Einsatz in temporären Bauwerken

Kräusel, V.; Thümmler, R. - Fraunhofer-IWU Chemnitz
Kaufmann, P. - SMK Chemnitz

Kurzfassung

Temporäres Bauen erlangt im mobilen Zeitalter immer größere Bedeutung für Hochbauten, Verkehrsbauten und Industriebauten. Der Stand der Technik für derartige Bauwerke ist bisher noch durch die Verwendung weitestgehend konventioneller Baustoffe sowie Bau- und Montagetechnologien geprägt. Temporäre Bauwerke, wie z.B. Hallen, Brücken, Tribünen oder Parkhäuser, erfordern leichte, montage- und demontagefähige sowie transportfähige Konstruktionen. Für ein temporär einsetzbares, offenes Parkhaus mit seinen Hauptkomponenten Tragwerk, Decke und Hülle wurden in diesem Zusammenhang leichte Deckenelemente aus aluminiumgeschäumten Sandwichplatten und rationell herstellbare Hüllelemente aus Stahlblech entwickelt.

Im Beitrag werden dafür die Prinzipien des konstruktiven und stofflichen Leichtbaus sowie die Anwendung effektiver flexibler Technologien der Metallverarbeitung (Metallschäumen, Blechumformung, Fügen) als entscheidende Grundlagen aufgezeigt und die wesentlichen Ergebnisse durchgeführter Bauteilprüfungen vorgestellt. Die Ergebnisse der aus einem Verbundprojekt resultierenden Arbeiten wurden als Ausschnitt eines temporären Parkhauses mit 216 Stellplätzen in 9 Etagen am Beispiel eines Demonstrators dokumentiert.

1 Ausgangssituation

In der Regel werden Bauwerke nicht unter dem Gesichtspunkt einer temporären Nutzung errichtet und sind demzufolge auch nicht für eine Demontage und Wiederverwendung ausgelegt. Revolutionierende Entwicklungen von Baustoffen, Materialien und Verbundwerkstoffen sowie hoch automatisierte Verarbeitungstechnologien haben den Fortgang der Herausbildung und des Einsatzes temporärer Bauwerke in den letzten Jahren rasant weiter befördert. Nicht zuletzt setzten politische, sportliche und kulturelle Veranstaltungen wachsenden Umfangs erneut das Nachdenken über temporäre Bauwerke in Gang. Als Beispiel kann hier die „Infobox“ am Potsdamer Platz in Berlin angeführt werden, die von den Architekten Till Schneider und Michael Schumacher geplant wurde und 8 Jahre die Besichtigung der Großbaustelle am Potsdamer Platz ermöglichte. Im Januar 2003 wurde das temporäre Bauwerk wieder demontiert, nachdem 10 Millionen Besucher die Infobox besucht hatten (Abb. 1).

Imposant ist auch ein seit dem Jahr 2000 jährlich auf dem Stadtplatz von Haag aufgebautes temporäres Bauwerk - eine Bühne und Tribüne für ca. 600 Besucher

(Abb. 2). Die Konstruktion muss in kurzer Zeit aufgebaut sein und einen regen-unabhängigen Spielbetrieb gewährleisten.

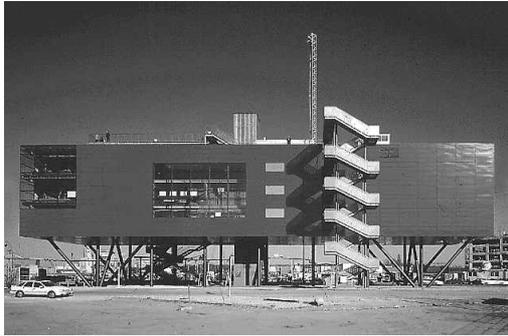


Abb. 1 Infobox



Abb. 2 Temporäres Sommertheater in Niederösterreich

Aber auch die politischen Entwicklungen in der Welt und die damit verbundene humanitäre und militärische Hilfe werden Forderungen nach temporären Bauwerken weiter anwachsen lassen. Der Bauaufwand wird beim derzeitigen Stand der Bautechnik und -technologie ganz erheblich durch die Montagefähigkeit möglichst leichter und großflächiger, industriell vorgefertigter Bauelemente beeinflusst.

2 Grundkonzept für temporäre Bauwerke

Für ein temporär einsetzbares, offenes Parkhaus wurden in diesem Zusammenhang die Hauptkomponenten Tragwerk, Decke und Hülle unter folgenden, konzeptionellen Gesichtspunkten entwickelt:

Tragwerk

Das Tragwerk eines temporären Bauwerkes wird grundsätzlich infolge seiner Anforderung an leichte Montier- und Demontierbarkeit als Skeletttragwerk ausgeführt. Das Skelett übernimmt bei allen temporären Bauwerken als einziges Bauglied die Abtragung aller Lasten in den Baugrund (Fundamente). Tragende Wände entfallen. Die Lasteintragung an den Stützfüßen wird gelenkig ausgeführt, so dass lediglich Vertikal- und Horizontalkräfte von den Stützen in die Fundamente eingeleitet werden. Das Tragwerk gliedert sich in die Komponenten:

- Stützen
 - Riegel
 - Koppelstäbe
 - Diagonale (Verbände)
 - Deckenträger längs
 - Deckenträger quer
- } Stockwerksrahmen
- } Trägerrost

An den Stützen werden die Hüllelemente (Außenwände) befestigt und auf oder in den Trägern liegen die Deckenelemente.

Deckenplatten

Je nach Anforderung an das Bauwerk hinsichtlich seiner bauphysikalischen Eigenschaften (Schalldämmung, Wärmedämmung, Schwingung) ergeben sich unterschiedliche konstruktive Anforderungen an die Deckenplatten. Die temporären Bauwerke sind auf jeden Fall mit Leichtbaudecken auszurüsten. Bauwerke mit Anforderungen an Schall- und Wärmedämmung an die Decken werden mit mehrschaligen Leichtbaudecken aus umgeformten Stahlblechprofilen mit eingebrachter Schall- und Wärmedämmung ausgeführt. Bauwerke ohne derartige Anforderungen erhalten leichte tragfähige Deckenplatten mit geringer Schwingungsanfälligkeit. Die Verbindung der Deckenplatten mit den Trägern des Skeletts ist konstruktiv so zu lösen, dass Montage und Demontage mit geringstem Arbeitsaufwand ermöglicht werden. Die Dichtheit der Gesamtdecke ist ebenfalls konstruktiv zu sichern.

Hüllelemente

Die raumbildenden Hüllelemente (Außenwände, Dach) sind als Leichtbauelemente herzustellen. Gedämmte Elemente enthalten als Dämmstoff Polyurethan-Schaum oder Mineralwolle und werden als Sandwich-Elemente mit Stahl- oder Aluminiumblech-Deckschichten hergestellt. Die Anbringung der gedämmten Hüllelemente erfolgt an der Außenseite des Stahlskeletts so, dass eine leichte Montage und Demontage möglich ist. Ungedämmte Hüllelemente bestehen aus umgeformtem Stahl- oder Aluminiumblech und werden mit leicht montage- und demontagefähigen Konstruktionen an oder in das Stahlskelett eingehängt. Die Dichtheit der Hülle richtet sich nach den Anforderungen des Bauwerkes. In der Mehrzahl der Fälle bestehen diesbezüglich an ungedämmte Hüllen keine hohen Anforderungen. Trotz leichter Demontagefähigkeit sind die einzelnen Hüllelemente gegen unbeabsichtigtes oder mutwilliges Abnehmen zu sichern.

3 Entwicklung von Deckenplatten mit Aluminiumschaumkern

Als spezielles Deckenelement für den Einsatz in einem temporären Parkhaus wurden Stahl-Aluminium-Stahl-Sandwichplatten entwickelt. Das Sandwich wird in seiner Funktion als tragendes Element innerhalb eines Bauwerkes Umwelteinflüssen wie z. B. Wasser, Salze und Schmutz ausgesetzt sein. Dabei darf es in seiner Tragfunktion zu keiner Zeit beeinträchtigt werden. Das Sandwich besteht aus einer Wanne mit Deckblech, welche den Schaumkern vollständig umschließt (Abb. 3). Der Deckel wird

in seiner Lage auf der Wanne durch die entstehende Schaumstruktur fixiert, d. h. der Metallschaum geht eine Bindung mit Wanne und Deckel ein. Somit wird eine Dichtung gegen Medieneinflüsse gegenüber dem Schaum geschaffen und gleichzeitig die Struktur in sich tragfähig. Gegen Korrosion wird die Oberfläche des Sandwichs mittels spezieller mineralischer Beschichtung geschützt.

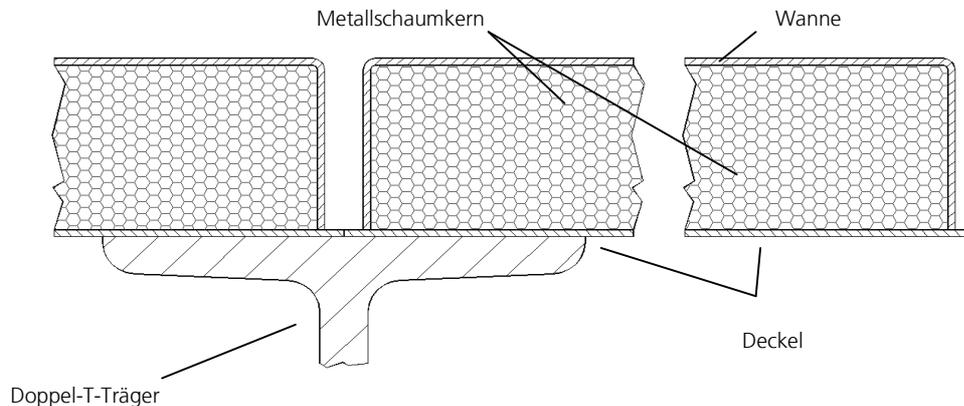


Abb. 3 Einbauposition der Sandwichelemente

Belastungssimulation und Optimierung des Sandwichlagenaufbaus

Die Auslegung der Metallschaum-Sandwichplatten erfolgte nach den Belastungsannahmen aus DIN V ENV 1991/2/1, Kategorie F, Fahrzeuggewicht ≤ 30 kN, wobei von einer Flächenlast (Gleichlast) $q_k = 2$ kN/m² und einer konzentrierten Einzellast (Fahrzeug) $Q_k = 10$ kN auszugehen ist. Unter diesen Lasten darf sich das Bauteil maximal 1/300-tel seiner Tragweite durchbiegen. Die Bauteilmaße bilden sich aus einem Kompromiss zwischen Rastermaß des Fahrzeug-Stellplatzes, Herstellungstechnologie und Handhabbarkeit. Die Sandwichelemente haben eine Länge von 1250 mm und eine Breite von 1000 mm. Zehn Sandwichplatten bilden eine Fahrzeug-Stellfläche von 12,5 m².

Um die Durchbiegungs-Forderung in jedem Fall erfüllen zu können, wurde bei der Auslegung eine maximale Durchbiegung der Sandwichplatte von 1/500-tel der Tragweite der längeren Seite zugrunde gelegt. Dabei wurde das Eigengewicht der Platte berücksichtigt. Die konzentrierte Einzellast ist durch ein Rad des Fahrzeugs auf einer Fläche von 200 x 200 mm² am Rand der längeren Seite der Platte als für das Bauteil ungünstigster Lastfall repräsentiert. Um die zulässige Druck-Spannung in den Sandwichwerkstoffen nicht zu überschreiten, ist außerdem der Lastfall der konzentrierten Einzellast direkt über der Lagerstelle der Platte nachgerechnet worden. In Abb. 4 sind die Berechnungsmodelle nach der Finiten-Element-Methode (FEM) mit Randbedingungen dargestellt (Gleichlast ist als Punktierung auf der Oberfläche erkennbar).

Um dem Durchbiegungskriterium von 1/500-tel der Bauteillänge zu genügen, musste die Sandwichhöhe und der Schichtaufbau (Deckblechdicke, Metallschaumkern-Dicke) hinsichtlich des Masse-Steifigkeitsverhältnisses optimiert (\rightarrow minimale Masse bei einer Durchbiegung von ca. 2,5 mm) werden.

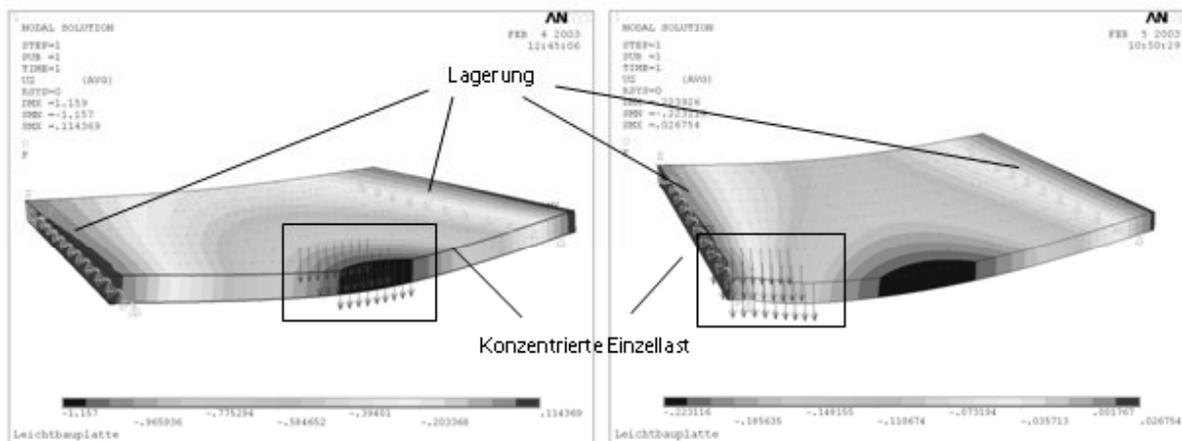


Abb. 4 FEM-Modelle der Sandwichplatte mit Lasten und Lagerung

Dazu wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Varianten berechnet. Als herstellungstechnologische Grenzen wurden dabei eine Deckblechdicke von mindestens 1,5 mm und eine mit hoher Prozesssicherheit erreichbare Schaumdichte von $0,65 \text{ g/cm}^3$ festgelegt.

Tabelle 1: Berechnete Varianten des Schichtaufbaus eines Sandwichs mit $1250 \times 1000 \text{ mm}^2$ Fläche

Sandwichdicke [mm]	Deckblechdicke [mm]	Durchbiegung [mm]	Masse Schaum [kg]	Masse Stahl [kg]
41 *	1,5	2,55	28,5	29,44
38	2,0	2,41	25,5	39,24
36	2,3	2,43	23,6	45,14
31	3,5	2,50	18,0	68,69
29	4,5	2,48	15,0	88,31

Als Variante für die weiteren Untersuchungen wurde die Variante * ausgewählt (Sandwichdicke 41 mm; Blockdicke 1,5 mm, Gesamtgewicht 57,95 kg).

Optimierung der Schäumtechnologie für großformatige Bauteile

Für die Herstellung von Stahl-Metallschaum-Sandwichelementen ist eine Stützstruktur (sog. Schäumkokille, Abb. 6) erforderlich, welche während des Wärmebehandlungsprozesses das Sandwich zum einen fördertechnisch handhabbar macht und zum anderen sicherstellt, dass seine Geometrie bei einer Schäumofen-Temperatur von ca. 700 °C erhalten bleibt.

Der ungeschäumte Sandwichverbund besteht aus Wanne, Deckel und schäumbarem Vormaterial, welches in die Wanne eingelegt wird. Die Menge des Vormaterials bestimmt sich aus der zu erreichenden Schaumdichte und der Schäumrate (Volumenverhältnis von Vormaterial und Schaum) der Vormaterial-Legierung. Im konkreten Fall wurde die Aluminiumlegierung AISi10 verwendet.

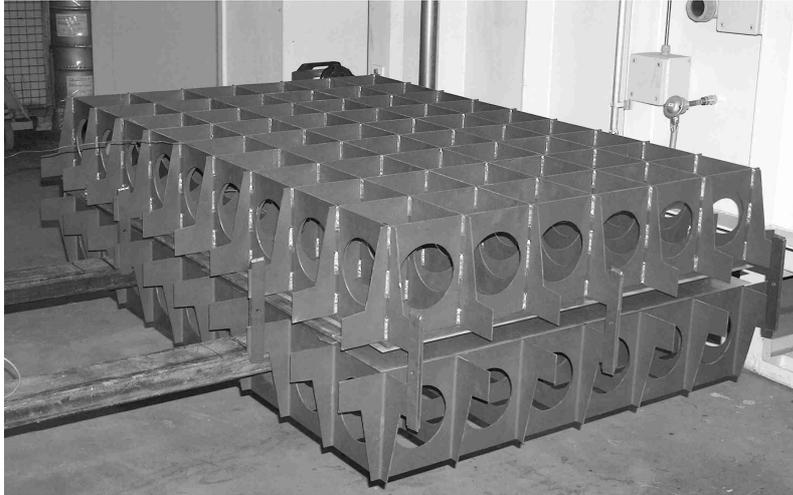


Abb. 6 Zusammengebaute Schäumkokille mit unterer und oberer Hälfte und dazwischen der ungeschäumte Sandwichverbund

Nach Abschluss des Schäumprozesses wird das Bauteil aus dem Ofen entnommen und kühlt an der Luft ab. Dabei erstarrt die noch niedrig-viskose Schaumstruktur innerhalb des Sandwichverbundes. Zu Beginn einer neuen Bauteilserie ist in den meisten Fällen eine iterative Anpassung der Schäumparameter notwendig. Abb. 7 zeigt ein Sandwich nach nicht erfolgreicher Schäumung. Im rechten Teil des Bildes kann man das noch nicht vollständig geschäumte Vormaterial erkennen. Dies ist ein Hinweis auf eine zu kurze Schäumzeit bzw. zu geringe Schäumofen-Temperatur. Im weiteren Projektverlauf konnten auf Basis der gefundenen Prozessparameter Gutteile hergestellt werden (Abb. 8), die für die Beurteilung der Schaumstruktur, für Beschichtungsprozesse und für Belastungsuntersuchungen zur Verfügung gestellt wurden.



Abb. 7 Sandwich nach Fehlschäumung



Abb. 8 Vorder- und Seitenansicht des optimierten Sandwich

Belastungsprüfung

Zur Verifikation der simulativ ermittelten Eigenschaften wurden die gefertigten Sandwichplatten einer Belastungsprüfung unterzogen und dabei sowohl der elastische wie auch der plastische Deformationsbereich ermittelt.

Die Messanordnung ist in Abb. 9 dargestellt. Die Sandwichplatte wurde auf 2 Trägern gelagert. Die Kraft wurde durch einen Hydraulikzylinder erzeugt und mit Hilfe einer Druckplatte \square 100 mm in die Platte eingeleitet. Die Kraftmessung erfolgte mit Hilfe einer Kraftmessdose. Es wurden 6 Wegmesspunkte vorgesehen an denen die Verformung sowohl an der Plattenoberseite als auch an der Plattenunterseite gemessen wurde. In Abb. 10 ist beispielhaft ein Kraft-Weg-Verlauf einer Belastung bis 6 kN dargestellt.



Abb. 9 Versuchsaufbau zur messtechnischen Überprüfung der Verformung der Sandwichplatten

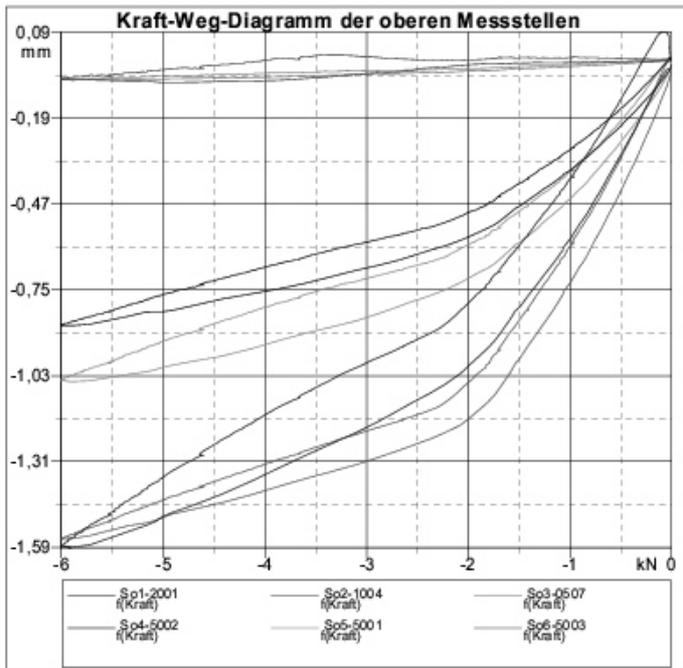


Abb. 10 Kraft-Weg-Verlauf einer Belastung bis 6 kN

4 Flexible Fertigungsvarianten für Hüllelemente

Zur Verkleidung einer Fassade sind in Abhängigkeit von der Größe des zu umbauenden Raumes flächige Bauelemente in den verschiedensten Abmessungen und Stückzahlen notwendig. Die Zielstellung bei der Erarbeitung der Fertigungsvarianten für flächige Bauelemente war auf eine wirtschaftliche Fertigungslösung für Hüllkomponenten, bei Berücksichtigung variabler Abmessungen und geringer Losgrößen, gerichtet.

Bestimmung der Umformtechnologie

Die für Blechverkleidungen übliche Fertigung der Eckverbindung erfolgt in der Regel durch Ausklinken des Eckbereiches und Hochstellen der Flanken. In den Biegezentren können dabei präzise geschlossene Ecken gefertigt werden, indem durch ausgeklügelte Zuschnitte die Kanten gebogen und durch Punktschweißen verbunden werden, so dass damit das herkömmliche Schweißen und Verputzen der Eckverbindungen entfällt.

Die umformtechnische Herstellung geschlossener Ecken durch Eckenziehen bzw. Eckformen ist für eine variantenreiche Blechteilfertigung ebenfalls geeignet. Einschränkungen bestehen hinsichtlich der in Abhängigkeit von der Blechdicke herstellbaren Eckradien sowie der möglichen Kantenhöhen.

Entwicklung des Fertigungskonzeptes

Komplettbearbeitungssysteme gewährleisten eine hohe Teileausbringung sowie große Flexibilität bei Variantenvielfalt und minimalen Rüstzeiten. Bei detaillierter Betrachtung eines Blechbearbeitungszentrums der Firma Salvagnini stellte sich

jedoch heraus, dass zwar das Oberwerkzeug im Biegezentrum flexibel auf Abmessungsänderungen einstellbar ist, das Unterwerkzeug jedoch für jede neue Länge an der Abkantpresse, auf Grund der erforderlichen Aussparung für den Eckbereich, gewechselt werden muss. Damit ist die Herstellung von Fassadenelementen mit geformten Ecken nur dann wirtschaftlich, wenn in Rastermaßen und in großen Losen gefertigt werden kann. Die Anwendung wird somit auf temporäre, eigenständige Gebäude eingeschränkt.

Die für eine Lückenbebauung notwendige Flexibilität in den Abmessungen der Fassadenbleche und somit die Herstellung auf einer vollautomatischen Anlage ist dann möglich, wenn anstelle des Eckenformens das Schweißen der Ecken akzeptiert werden kann. Auf Grund des in Voruntersuchungen beurteilten Nahtbildes und der Möglichkeit der Einbindung des Schweißroboters in den vollautomatischen Fertigungsprozess wurden parallel zur Herstellung von Musterteilen mit geformten Ecken auch Bauteile mit verschweißten Ecken auf Salvagnini-Anlagen hergestellt und dem Emaillierprozess zugeführt. Anlagenseitig lassen sich damit zwei Fertigungslinien für Hüllelemente ableiten (Abb. 11).

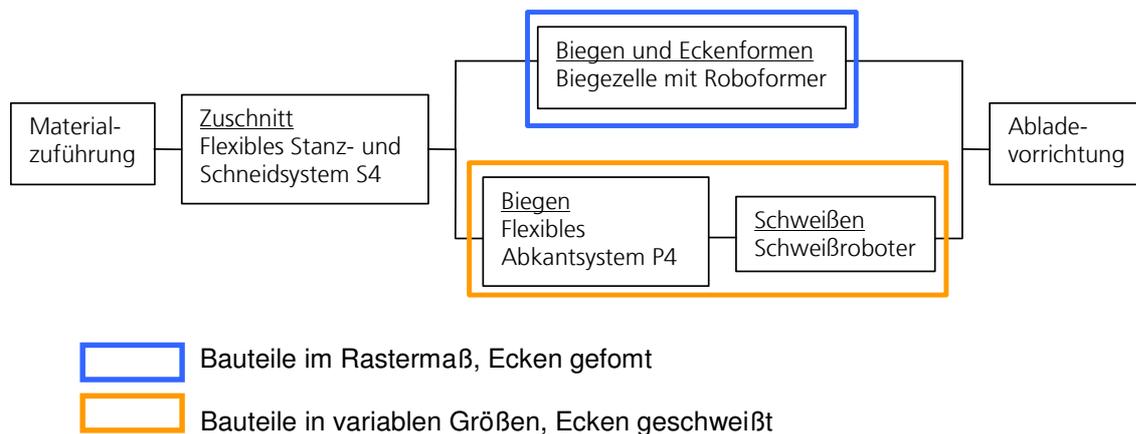


Abb. 11 Varianten zur Herstellung von Hüllelementen

Oberflächenbeschichtung

Für die aus Stahlblech gefertigten Hüllelemente wurden folgende Beschichtungsarten ausgewählt (Abb. 12):

- Pulverlack
- Acrylharzlack
- mineralischer Anstrich
- Emaille.

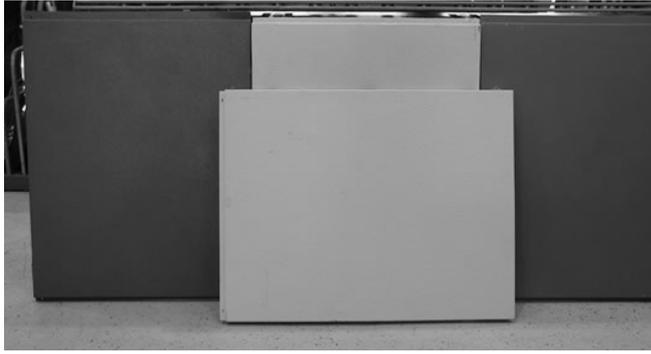


Abb. 12 Hüllelemente mit unterschiedlichen Beschichtungen

Als Qualitätskriterium für Emaille-Schichten dient die aufgebraachte Schichtdicke, die bei Zweischichtemaillierung zwischen 0,3 und 0,4 μm liegen muss. Dieses Maß konnte an den gefertigten Blechhüllen mit Ecken, die nach dem Schweißen nicht manuell nachbehandelt wurden, sicher erreicht werden (Abb. 13).

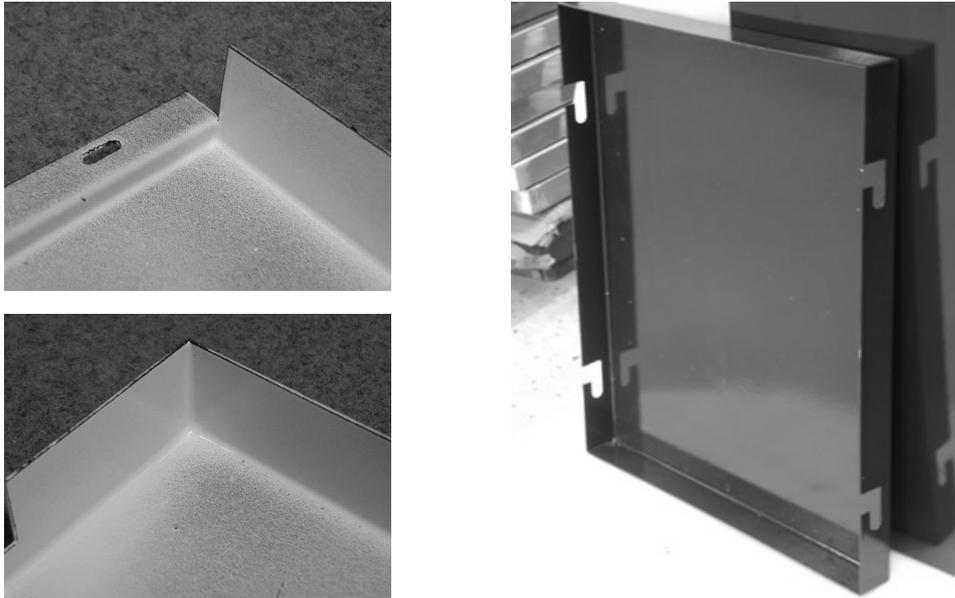


Abb. 13 Ecken der emaillierten Blechhüllen

5 Konzipierung und Umsetzung eines Baumusters für ein temporäres Parkhaus

Als Demonstrator für das temporäre Parkhaus (9 Ebenen, 6 Raster à 5 m, 24 Stellplätze je Ebene, 216 Stellplätze, Gesamtabmessung ca. 16 m x ca. 30 m x ca. 23 m hoch) wurde ein Ausschnitt mit Originalabmessungen für die Bauelemente (4 Stützen HEA 600, 2 Längsträger HEA 600, 2 Trägerroste HEA 180; 2,0 m) gewählt (Abb. 14). Er umfasst damit insgesamt vier Stellplätze mit dem dazugehörigen Verfahrbereich, die zu überspannende Fläche beträgt 80 m².

Daraus ergeben sich folgende Abmessungen für den aus Stützen und Riegeln bestehenden Stockwerksrahmen:

- Abstand der Stützen in Längsrichtung der Fahrzeuge: 16 m
- Abstand der Stützen in Richtung Fahrzeugbreite: 5 m

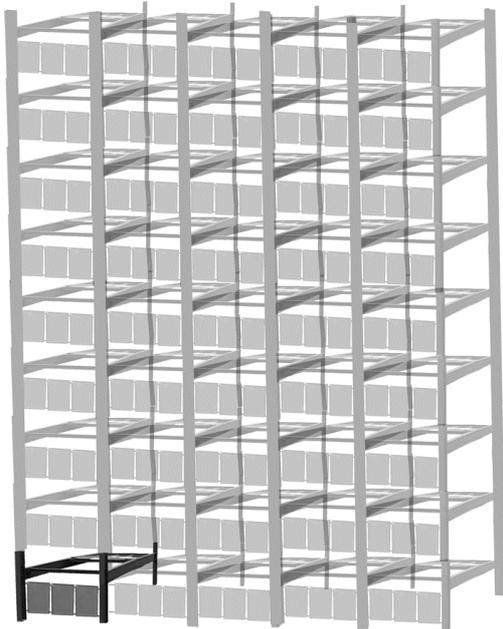


Abb. 14 Gesamtansicht des temporären Parkhauses und Demonstratorausschnitt (Schema)

Abb. 15 zeigt das Stahlskelett des Demonstrators für ein temporäres Parkhaus, bestehend aus vier Stützen aus Stahlwalzprofilen HEA600, zwei vorgekrümmten Längsträgern aus geschweißtem Stahlblech mit den Profilabmessungen HEA600 und dem Stahlträgerrost mit den Abmessungen 4680 mm x 3030 mm aus HEA180 und HEA200 Walzprofilen. Die Stahlträgerroste sind vormontiert und werden nach erfolgter Montage der Stützen, Längsträger und Koppelträger auf Konsolen abgesetzt, die an den Stegen der Längsträger angeschweißt sind. Durch Schrauben erfolgt eine Sicherung gegen Verschieben.

Die Belegung der Stahlträgerroste mit den geschäumten Sandwichplatten kann sowohl im vormontierten Zustand als auch von einem auf dem Trägerrost abgestellten Palettenstapel erfolgen. Um einen guten „Grip“ des Fahrzeugreifens auf der Platte zu gewährleisten, wurden die Bauteile zuvor einer Oberflächenbeschichtung mit dem Anstrich Satintex der Firma Westox zugeführt. Nach der Montage von Tragwerk und Stahlträgerrost erfolgte eine Probelastung des Demonstrators mit einem Kleintransporter (Abb. 16). Die Belastung der Gesamtkonstruktion mit dem mittig auf den Längsträgern abgesetzten Kleintransporter (ca. 2,5 t) ergab ausreichende Werte für die Tragfähigkeit und Deformation von Stahltragwerk und Sandwichplatten.



Abb. 15 Montage des Tragwerkes



Abb. 16 Belastung mit einem Kleinbus zum Nachweis der Tragfähigkeit

6 Fazit

Mit der Entwicklung von mobilen Bauwerkslösungen kann dem Bedarf nach Bauwerken mit einer leichten Demontierbarkeit und wiederholter Montagefähigkeit nach planmäßig begrenzter Nutzung entsprochen werden und es sind bei wirtschaftlicher Realisierbarkeit temporäre Standortentscheidungen möglich, die z.B. beim Bau von Brücken, im Industrieanlagenbau, bei der Errichtung von Parkhäusern für den innerstädtischen ruhenden Verkehr oder auch für den Wohnungsbau in Krisengebieten getroffen werden müssen.

Das konzipierte Parkhaus für 240 PKW-Stellplätze in 9 Parkebenen mit einer Breite von ca. 16 m, einer Länge von ca. 30 m und einer Höhe von ca. 23 m hat bei Einsatz der entwickelten leichten Decken- und Hüllelemente ein Gesamtkonstruktionsgewicht von ca. 638 t, d.h. ein Konstruktionsgewicht von ca. 2,66 t je Stellplatz (20 m²); das bedeutet eine Reduzierung des Eigengewichts auf max. 40 % gegenüber konventioneller Bauweise mit Stahlbetonplatten anstelle der untersuchten Aluschaumsandwichplatten.

Die experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Eigenschaftswerte der durch FEM-Simulation optimierten Leichtbauplatten mit hoher Genauigkeit erreicht wurden. Es wurde damit unter anderem gezeigt, dass die Numerische Simulation von Verbundbauteilen auf Basis von Metallschäumen praxisrelevante und verlässliche Ergebnisse liefert.

Kontakt:

Dr.-Ing. Verena Kraeusel, Abt. Blechbearbeitung
Dipl.-Ing. Rocco Thümmeler, Abt. Produktionssysteme
Fraunhofer IWU Chemnitz
Reichenhainer Str. 88
D-09126 Chemnitz
e-Mail: verena.kraeusel@iwu.fraunhofer.de
rocco.thuemmler@iwu.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Peter Kaufmann
SMK Stahl- und Metallbau GmbH & Co.KG,
Limbacher Str. 56
D-09113 Chemnitz
e-Mail: ism.steelstructure@t-online.de