

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil I: Kurzbericht

Verbundprojekt: MIN-LOOP – Substitution polystyrolbasierter Hartschäume durch zementgebundenen Mineralschaum aus rezykliertem Brechsand in Sandwichhybriddecken für rein mineralische Stoffkreisläufe im Hochbau

Teilprojekt: TP 3 Entwicklung Hybriddecken

Förderprogramm: Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft - Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe (ReMin)

Förderkennzeichen: 033R261C

Durchgeführt von: INNOGRATION GmbH
Cusanusstraße 23
54470 Bernkastel-Kues

Projektlaufzeit: 01.02.2021 – 31.01.2024

Projektleiter: Thomas Friedrich

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 033R261C gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung trägt der Autor.

Autor(en):

Thomas Friedrich

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Das Thema Nachhaltigkeit ist schon seit Jahren nicht nur ein politischer Slogan, sondern wird nahezu in allen industriellen Bereichen gelebt. Auch in der Baubranche wird der Bedarf nach vollständig recycelfähigen Bauteilen immer höher, um vollständig geschlossene Stoffkreisläufe zu erreichen.

Im Rahmen des Projektes sollte ein neuartiger zementgebundener Mineralschaum aus rezykliertem Brechsand entwickelt werden, mit dem polystyrolbasierte Hartschäume ersetzt werden können. Die Firma innogration sollte die Definition der Anforderungen an den mineralischen Schaum unterstützen und die Überprüfung bzw. Entwicklung der Sandwichtragwirkung hybrider Decken mit dem neuartigen Schaum durchführen.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Es war bereits möglich, zementbasierte Schäume in einem weiten Trockendichtebereich herzustellen. Dies erlaubte potenziell ein zielgenaues Design für den jeweiligen Einsatzzweck. Diese Schäume verfügten zwar über eine Reihe von positiven Eigenschaften, wie eine gute Wärmedämmfähigkeit, Nichtbrennbarkeit und eine lange Lebensdauer. Entwicklungs- und Forschungsbedarf bestand jedoch im Bereich der Schwindreduzierung und neuer Rezepturen für anwendungsbezogene, optimiert abgestimmte mechanische und bauphysikalische Eigenschaften. An dieser Stelle setzte das Forschungsprojekt mit dem Ziel an, eine optimierte Rezeptur in Sandwichhybriddecken einzusetzen. Insbesondere war es notwendig, ganzheitliche Ansätze zur Verortung des mineralisierten Schaumes im baulichen Stoffkreislauf zu finden. Bisher war auf dem Markt noch keine Lösung für mineralschaumintegrierte Hybriddecken vorhanden.

3. Ablauf des Vorhabens

Innogration und die anderen Partner definierten zunächst die Eigenschaften, die der mineralische Schaum zum Einsatz in Sandwich-Decken aufweisen muss. Anschließend erforschte und untersuchte man bei innogration die Möglichkeiten zur Integration verschiedener TGA-Komponenten in den Sandwich-Zwischenraum, wenn mineralischer Schaum zum Verfüllen genutzt wird. Die erarbeiteten Konzepte wurden simulationstechnisch und rechnerisch validiert. Es wurde ferner ein neuartiger Leitungskanal aus Pappe entwickelt und testweise aufgebaut. Umfangreiche praktische Versuche konnten aufgrund fehlender Probekörper noch nicht durchgeführt werden.

4. Wesentliche Ergebnisse

Theoretisch konnten verschiedene Untersuchungen und Berechnungen im Rahmen des Projektes angestellt werden. Die praktischen Ausführungen waren mangels Probekörper nicht durchführbar. Unsere Erfahrungen mit vorgefertigten Decken mit Sandwichquerschnitt hinsichtlich der statischen Widerstände und auch in Bezug auf die Integrierbarkeit der haustechnischen Leitungen haben wir versucht, auf die Variante bei einem Querschnitt mit Mineralschaum zu übertragen.

Das Ergebnis betrifft die Tragfähigkeit und die thermische Leistungsfähigkeit. Aus unserer Sicht wird es problematisch sein, die gewünschten Festigkeit mit dem Mineralschaum zu erreichen, um die Leistungsfähigkeit der vorgefertigten Platte mit Sandwichquerschnitt zu realisieren. Der Einbau der Leitungen für Heizen/Kühlen muss weiterhin in der unteren Betonplatte erfolgen, da die thermische Leistung sonst nicht gegeben ist.

Insbesondere aufgrund der geringen Tragwirkung des Mineralschaums ist an eine praktische Verwendung innerhalb der von uns vertriebenen Deckensysteme mit Sandwichquerschnitt aktuell noch nicht zu denken.

Wir haben innerhalb des Projekts auch nach alternativen Lösungen zur Reduzierung des Gewichts der Decken gesucht. Für den Zwischenraum zwischen den beiden Deckensichten kann alternativ auch mit Verdrängungskörpern aus Pappe (zum Kegelstumpf geformten Wabenplatten) gearbeitet werden. Die Körper aus Pappe lassen sich gut von dem Beton sortenrein trennen, und auch als Rohmaterial für eine weitere Herstellung verwenden. Auf dieser Basis haben wir den Installationskanal entwickelt, aber auch flexible Raumkörper als Einbauteile bei Fertigteilplatten.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projektes wurde mit den Projektpartnern eng zusammengearbeitet. Darüber hinaus fand keine weitere Zusammenarbeit mit anderen Stellen statt.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil II: Eingehende Darstellung

Verbundprojekt: MIN-LOOP – Substitution polystyrolbasierter Hartschäume durch zementgebundenen Mineralschaum aus rezykliertem Brechsand in Sandwichhybriddecken für rein mineralische Stoffkreisläufe im Hochbau

Teilprojekt: TP 3 Entwicklung Hybriddecken

Förderprogramm: Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft - Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe (ReMin)

Förderkennzeichen: 033R261C

Durchgeführt von: INNOGRATION GmbH
Cusanusstraße 23
54470 Bernkastel-Kues

Projektlaufzeit: 01.02.2021 – 31.01.2024

Projektleiter: Thomas Friedrich

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 033R261C gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung trägt der Autor.

Autor(en):

Thomas Friedrich

Inhaltsverzeichnis

1. Ergebnisse des Projekts	4
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	15
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	15
4. Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse	16
5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen	16
6. Veröffentlichung der Ergebnisse	16

1. Ergebnisse des Projekts

Zu Beginn des Projektes wurde die Aufgabenstellung anhand der vorgefertigten Deckenkonstruktion mit Sandwichquerschnitt definiert. Die beiden tragenden Schalen in den außenliegenden Zonen müssen in Teilbereichen miteinander verbunden werden. Der verbleibende Zwischenraum zwischen den beiden Schalen kann u. a. für die weiteren Installationsleitungen genutzt werden. Der restliche Zwischenraum wird aus produktionstechnischen Gründen mit einem leichten Dämmmaterial ausgefüllt (siehe Abbildung 1).

Insgesamt gilt es, in drei Schichten zu unterscheiden:

- Die untere Schale zur Aufnahme der Zugbewehrung und der Rohrleitungen zum Heizen/Kühlen
- Der Zwischenraum zur Aufnahme von weiteren Leitungen wie z. B. Zuleitung für die Klimatisierung, Lüftungsleitungen und Elektroleitungen
- Die obere Schale zur Aufnahme der Druckkräfte aus dem Biegemoment

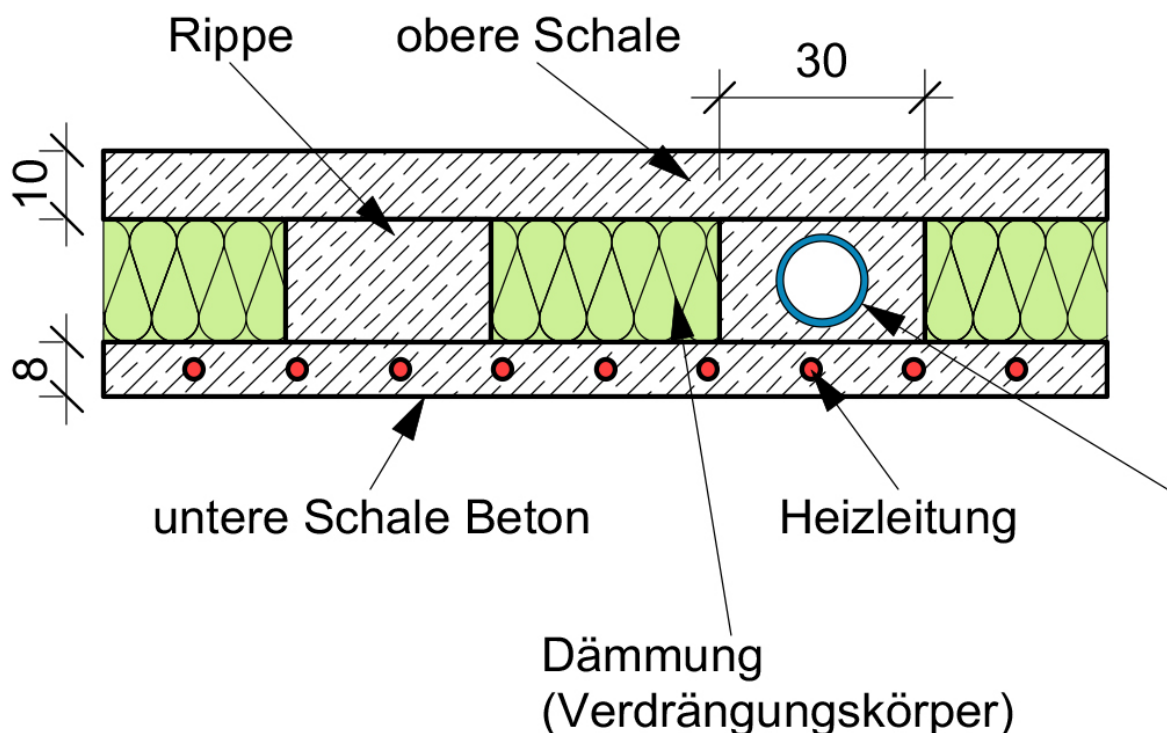


Abbildung 1: Schichtaufbau der Deckenkonstruktion

Die Dicke der beiden Schalen kann aus statischer Sicht relativ schlank ausfallen. In der Regel wird die Abmessung der Schale von konstruktiven Bedingungen bestimmt, wie z. B. Luft- und Trittschallmasse.

Die Verwendung von Deckenelementen mit Sandwichquerschnitt bietet den großen Vorteil, dass nur in den tragenden Zonen Beton verwendet wird. Damit kann der Anteil an Beton für die Deckenkonstruktion erheblich bis zu 40 % gegenüber einem Vollquerschnitt reduziert werden. Damit werden auch entsprechend CO₂-Emissionen eingespart.

Alternativ zur derzeitigen Ausführung des Zwischenraums mit einzelnen punktuell angeordneten Rippen sollte untersucht werden, den gesamten Zwischenraum mit einer „leicht“ tragenden Schicht auszufüllen. Das Material für diese Schicht sollte aus einem zementgebundenen Schaum mit Zuschlägen aus kleiner Fraktion von Betonrecycling bestehen. In dieser Kombination ist die Schicht dämmend und tragend zugleich. Auf die punktuell angeordneten Rippen kann verzichtet werden. Durch die Anordnung der Leitungen innerhalb des zementgebundenen Schaums besteht auch die Möglichkeit, bei einem eventuellen späteren Abbruch der gesamten Konstruktion die Leitungen von dem umgebenden Füllstoff sauber zu trennen.

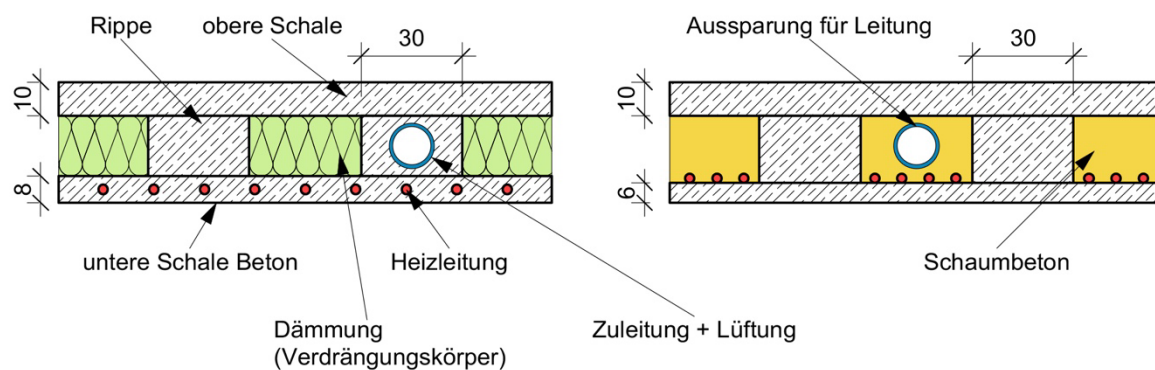


Abbildung 2: Vergleich bisheriger und neuer Einbauvarianten

Im Detail wurden alle Varianten hinsichtlich der Einbauten von TGA-Komponenten in den Decken zusammengestellt. Dabei wurden auch Hinweise auf die kombinierte Anordnung der Leitungen in dem Zwischenraum gegeben.

Für die derzeitige Umsetzung der Deckenkonstruktion mit vorgefertigten Deckenelementen mit Sandwichquerschnitt wurden anhand von ausgeführten Bauvorhaben die Massen für den eingesetzten Beton und die Dämmstoffe ermittelt. Durch den Einsatz des Sandwichquerschnitts konnte bereits 40 % an Beton gespart werden. Durch die Einsparung an Gewicht reduziert sich auch der Bewehrungsanteil, sodass insgesamt eine CO₂-Einsparung von ca. 42 % ermittelt werden konnte. Der Anteil der Dämmung für die Zwischenschicht ist für den CO₂-Vergleich unerheblich.

Vergleich der CO₂-Äquivalente					
Flachdecke d=25cm					
		Volldecke	Ceiltec	Werte	Ersparnis
Deckenstärke		0,25	0,25		100,00%
Betonvolumen		0,25	0,204	252	18,40%
Volumen Dämmkörper		0	0,023	47	
Bewehrung		42	30	1,23	28,57%
Co ₂ -Äquivalent kg Co ₂ Äq/m ²		114,66	89,389		22,04%

Abbildung 3: Vergleich CO₂-Äquivalente

Um mit der Vorfertigung noch weitere Vorzüge zu realisieren, wurden einzelne Makroelemente entwickelt, die als gesamte Einheit in den Zwischenraum eingelegt werden können. Damit sollen die Leitungen der Haustechnik gebündelt werden und nicht mehr vereinzelt in der Zwischenschicht angeordnet werden. Das Bündel an Leitung wird in einem sogenannten „Haustechnikkasten“ angeordnet. Auch Leerrohre finden darin Platz, die zu einem späteren Zeitpunkt für das Ein- und Durchfädeln der TGA-Leitungen genutzt werden.

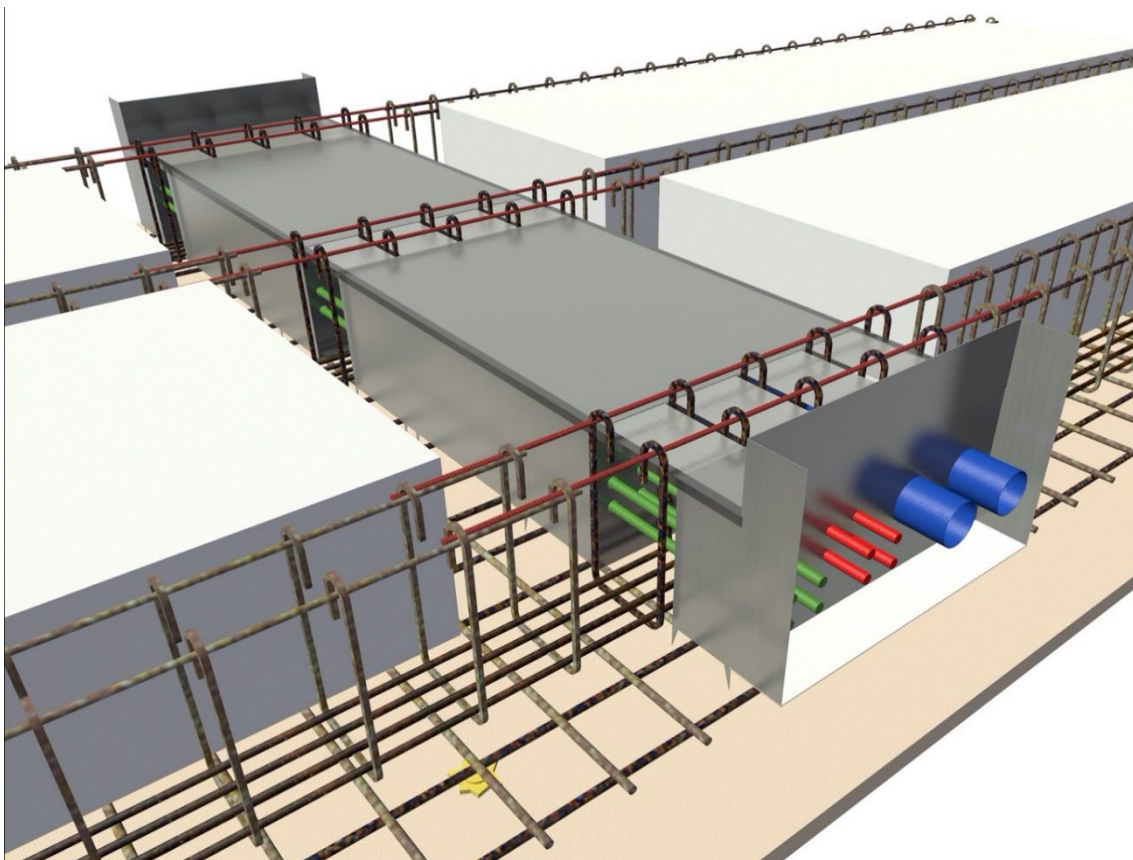


Abbildung 4: Aufbaukonzept des Haustechnikkastens

Der Haustechnikkasten wird vorgefertigt und bereits mit dem Schaum ausgefüllt. Diese Einheit wird dann zwischen den beiden tragenden Schalen im Fertigteilwerk angeordnet. An den Enden des Kastens besteht dann die Möglichkeit, die Leitungen über die Fuge hinweg zu verbinden, sodass schlussendlich eine durchgängige Leitung entsteht.

Die Vorfertigung dieser Makroelemente dient dem raschen Einbau der TGA-Komponenten in die Sandwichdecke. Zudem vereinheitlicht diese Vorgehensweise den Umgang mit den integrierten Haustechnikkomponenten.

Zur Bewertung der Sandwichtragwirkung wurden die tribologischen Verbundeigenschaften zwischen Mineralschaum und Beton (Haftverbund, Haft- und Gleitreibungskoeffizienten) experimentell ermittelt. Weiterhin wurden Scherversuche an Sandwichquerschnitten durchgeführt, um das Verbundtragverhalten der Kernschicht bestehend aus Gitterträger und Mineralschaum zu untersuchen. Aus den Ergebnissen wurden Ingenieurmodelle zur Beschreibung des nichtlinearen Verbundtragverhaltens der Kernschicht abgeleitet. Basierend auf der Sandwichtheorie wurde ein Ingenieurmodell zur Berechnung der Schnitt- und Verformungsgrößen unter Berücksichtigung der Rissbildung in den Betondeckschichten und dem nichtlinearen Tragverhalten der Kernschicht abgeleitet. Die Validierung des Ingenieurmodells erfolgte anhand der Ergebnisse von Querkraft- und Biegeversuchen. Die Probekörper für die Querkraft- und Biegeversuche wurden bei der Fa. Büscher hergestellt und im Labor für konstruktiven Ingenieurbau der TU Kaiserslautern getestet.

Weiterhin wurde ein Bemessungskonzept unter Berücksichtigung von Störungen durch Leitungsführungen basierend auf den Forschungsergebnissen, bestehenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und normativen Regelungen erstellt. Zur baupraktischen Anwendung und zur Steigerung der Akzeptanz wurden die validierten Ingenieurmodelle und das Bemessungskonzept aufbereitet und in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht.

Durch die Integration technischer Komponenten im Mineralschaum hybrider Decken kann die Rückbaubarkeit vereinfacht werden. Dazu wurden Verfahrenstechniken entwickelt, Medienrohre in den Ortschaum sicher zu integrieren. Dabei ist erhöhten Anforderungen an die Positionierungsgenauigkeit der Medienrohre Rechnung zu tragen. Durch den Einsatz von Rohrregistern zur Bauteilaktivierung im Mineralschaum kann es durch die geringere Wärmeleitfähigkeit des Mineralschaums zu Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit der Bauteilaktivierung kommen. Die Leistungsfähigkeit der Bauteilaktivierung wurde in experimentellen Untersuchungen an kleinformigen Deckenausschnitten und thermischen Simulationen untersucht. Aufbauend darauf wurden Bewertungskriterien zur Integration technischer Komponenten erstellt. Im Rahmen eines realen Bauprojekts wurde die Umsetzbarkeit mineralschaumintegrierter Hybriddecken untersucht und durch die Erstellung eines digitalen Modells begleitend dokumentiert.

An den geprüften Probekörpern wurde die Trennbarkeit der einzelnen Schichten exemplarisch bei der Firma Büscher analysiert. Dabei standen unterschiedliche Recyclingstrategien im Vordergrund der Betrachtung. Anschließend folgte der Rückbau der in den Mineralschaum integrierten technischen Gebäudeausrüstung. Die einzelnen Schichten wurden anschließend gebrochen und deren mineralische Baustoffe aufbereitet. An der TU Darmstadt wurde nachfolgend die Qualität und Eignung des Rezyklates zur Wiederverwendung untersucht.

Die tragende Deckenkonstruktion wurde weiterentwickelt im Hinblick auf Minimierung der Bewehrungseinlagen. Dabei zeigte sich sehr deutlich, dass die Bewehrung vorgespannt werden muss, um den Gesamtstahlanteil auf ein Minimum zu begrenzen.

Dazu wurden vergleichende Berechnungen für Deckenkonstruktionen mit Vollquerschnitt und mit Sandwichquerschnitt erstellt. Die Ergebnisse zeigten, dass erheblich Eigengewicht eingespart werden kann. Durch den Einsatz von vorgespannter Bewehrung kann zudem nochmals der Gesamtbewehrungsgehalt reduziert werden.

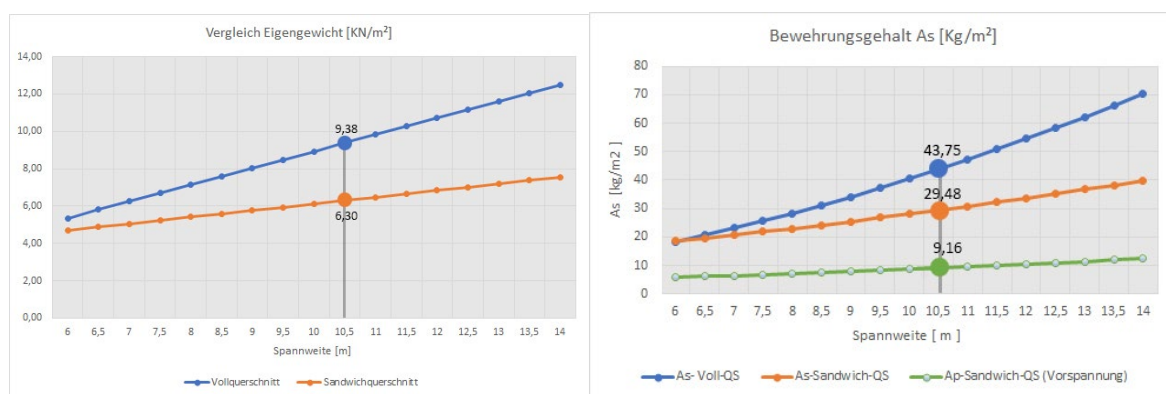


Abbildung 5: Reduktion des Betonvolumens durch Sandwichaufbau und Vorspannung

Die beiden Diagramme zeigen die Reduktion des Betonvolumens aber auch die damit verbundene Reduktion des Stahlgehalts. Ein Minimum an Stahlgehalt lässt sich durch die Verwendung von vorgespanntem Stahl erreichen. Diese Reduktionen haben maßgeblichen Anteil an der Reduktion des GWP CO₂-äq. Dieses Ergebnis ist aus dem nachstehenden Diagramm ersichtlich.

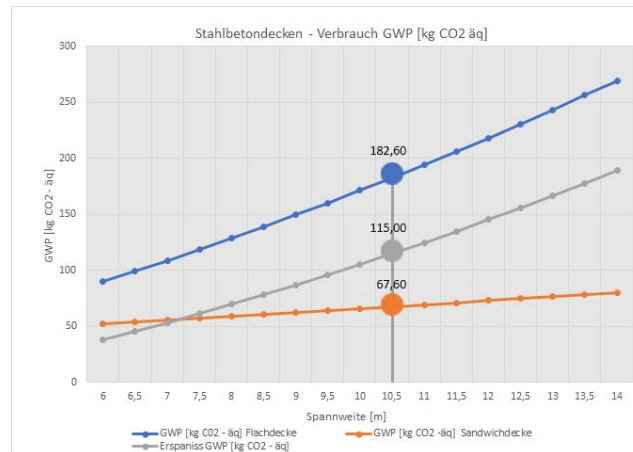


Abbildung 6: Reduktion des GWP CO₂-Äquivalents

Passend zu diesen Überlegungen wurde auch eine Spannbettanlage entwickelt, sodass die Ergebnisse auch praktische Anwendung finden. Dazu dient ein mobiles Spannbett, welches bestehende Fertigungstische nutzt. Deshalb brauchte es keine weitergehenden Investitionen, da die Einrichtung eines mobilen Spannbetts in jedem Fertigteilwerk umgesetzt werden kann.

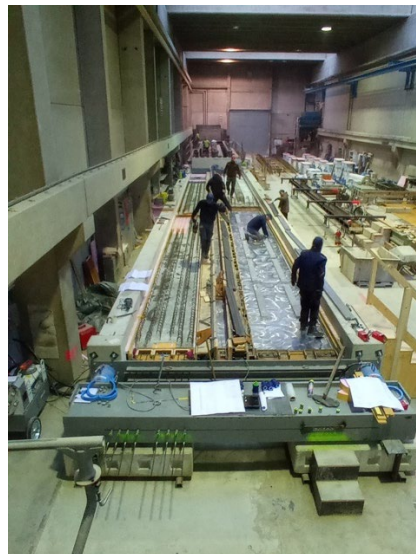


Abbildung 7: Spannbett

In Abbildung 7 ist ein Prototyp einer solchen Anlage zu erkennen. Auf den zugehörigen Tischen lassen sich die beiden Teile einer Decke mit Sandwichquerschnitt herstellen und zugleich vorspannen.

Für die Entwicklung des Haustechnikkastens erfolgte eine weitere Optimierung. Ursprünglich mit Winkelprofilen aus Stahl konzipiert, gab es die Überlegung, zumindest einen Teil der Profile durch stabile Kartonage zu ersetzen. Dabei wurden Winkel als Karton verwendet, die sonst

z. B. als Kantenschutz eingesetzt werden. Letztlich konnte eine stabile Form mit Wabenplatten hergestellt werden. Die Sandwichwabenplatten mit einer Wandstärke von 2 cm bestehen aus recyceltem Papier. Die Oberfläche ist so imprägniert, dass der feuchte Beton die Stabilität nicht beeinflusst.

Die Wabenplatten mit einem stabilen Kern und zwei Deckenschichten lassen sich flexibel an die Geometrie anpassen. Dabei werden die einzelnen Teile aus einer großen Platte geschnitten, indem V-förmige Fugen an den Stellen einer Geometrieänderung in die Platte geschnitten werden. Über diese Kante lässt sich dann die räumliche Geometrie des Kastens aus der ebenen Fläche herstellen. So entsteht aus einer ebenen Wabenplatte eine räumliche Konstruktion, die ausreichend stabil ist. In den Abbildungen 8 – 10 sind derartige Installationskästen gezeigt.



Abbildung 8: geometrische Form bestehend aus einer faltbaren Wabenplatte

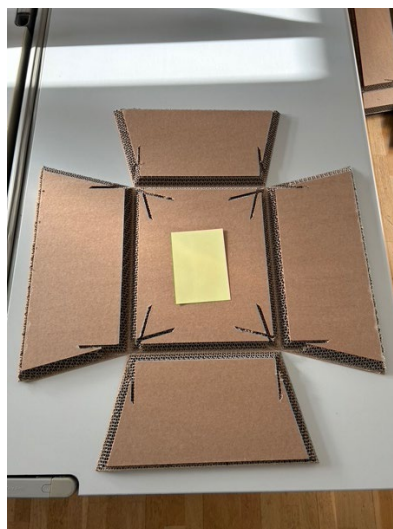


Abbildung 9: Zuschnitt der Wabenplatten, um daraus eine gewünschte Geometrie zu erzeugen



Abbildung 10: Installationskasten aus Wabenplatten als Einbauteil für die vorgefertigte Elementplatte

Die Entwicklung der nachhaltigen Installationskästen war notwendig, da die Untersuchungen zur Integration der Rohrleitungen in den Mineralschaum zeigten, dass ein kompletter Verguss nicht wünschenswert ist. Insbesondere die Leitungen für Heiz- und Kühlregister würden durch eine Einbettung in eine Dämmschicht an Funktionsfähigkeit verlieren.

Berechnungen zum Wärmetransport ausgehend von den Rohrquerschnitten haben gezeigt, dass sich die Energie im hochdämmenden Mineralschaummateriale nicht weiter ausbreitet und somit nicht bis zur Deckenunterseite gelangt. Die beigefügten Berechnungen mit dem Programm Heat zeigen dieses Verhalten deutlich auf. Zum Vergleich wurde der Sandwichquerschnitt betrachtet, in dem die Heizleitungen in der unteren Schale angeordnet sind. In diesem Fall verhindert die gute Dämmschicht den Transport der Energie an die obere Seite des Querschnitts. Die Wärmeenergie wird an die untere Seite des Querschnitts abgegeben, wo sie dann wirkungsvoll das Raumklima beeinflusst.

Dem Vergleich der beiden Berechnungen entnimmt man die große Reduktion von ca. 70 % der Leistung, die an der Deckenunterseite abgegeben wird. Damit wird die Leistungsfähigkeit der Bauteilaktivierung bis zu Unbrauchbarkeit eingeschränkt. Diese Reduktion ist zu groß, als dass man den Vorteil einer leichten Trennbarkeit der Leitungen vom umgebenen Beton bevorzugt. Es hat sich zudem aus anderen Untersuchungen im Fertigteilwerk gezeigt, dass die Rohrleitungen aus Kunststoff sich leicht von einem Normalbeton trennen lassen. Das führt nun als Ergebnis dazu, dass die Leitungen zum Kühlen/Heizen immer in der unteren Schale des Sandwichquerschnitts angeordnet werden müssen.

Die Rohrleitungen für die Zuleitung der Register können jedoch in der Ebene des Mineralschaums verlegt werden. In diesem Fall wirkt sich die gute Isolierung der Zuleitungen durch den Mineralschaum positiv aus, da die Wärmeverluste vom Verteiler bis zu Register gering bleiben. Die Verteiler mit ihren Blechkästen lassen sich gut in den Mineralschaum einbetten. Allerdings ist ein Teil der Blechkiste auch in der unteren Schicht aus Normalbeton integriert.

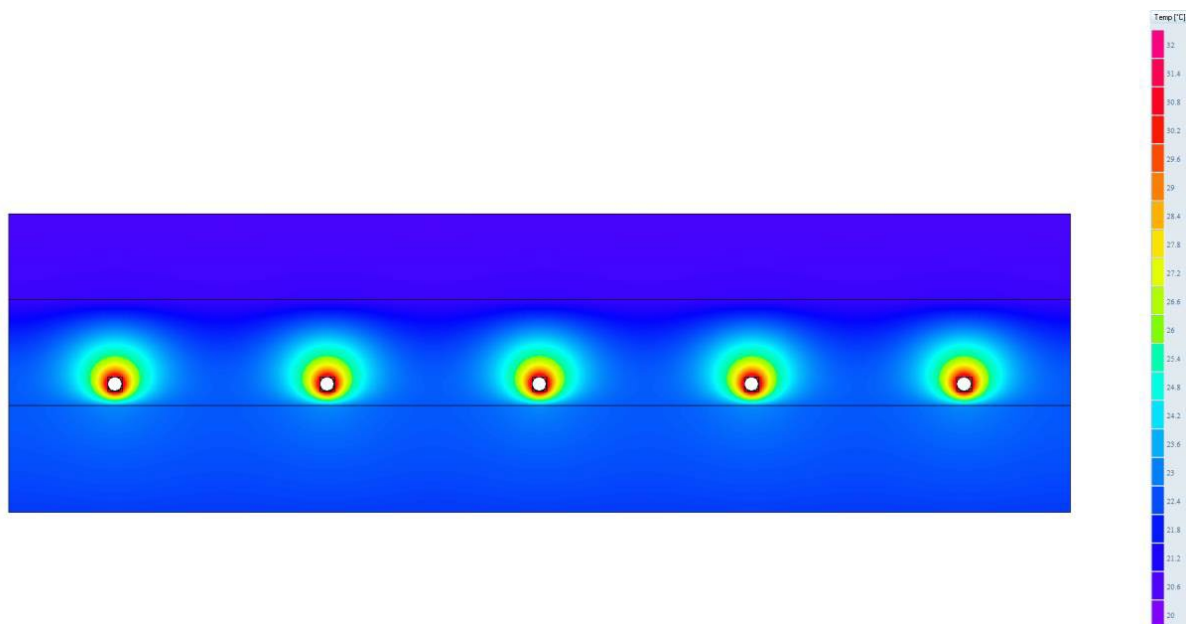


Abbildung 11: Temperaturverlauf im Heizfall, bei Anordnung der Leitungen auf der Betonschicht

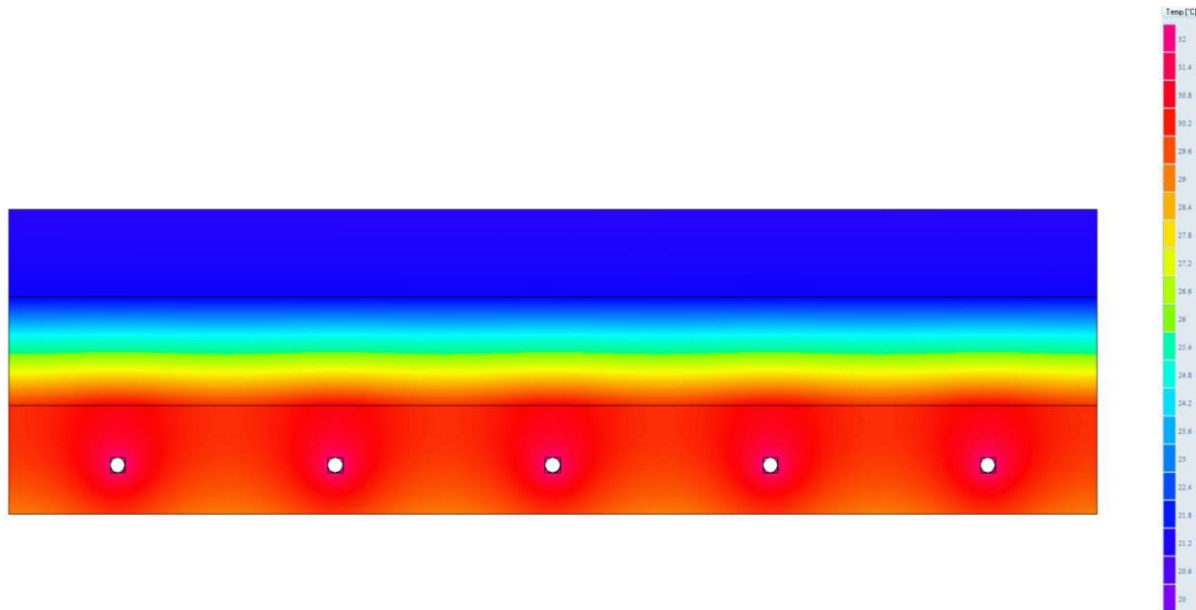


Abbildung 12: Temperaturverlauf im Heizfall, bei Anordnung der Leitungen in der Betonschicht

Die Lüftungsleitungen mit dem gegenüber den Heizleitungen größeren Durchmesser müssen zwangsläufig aufgrund ihres großen Durchmessers in der Mittelschicht des Sandwichquerschnitts angeordnet werden.

Bei der Anordnung der Lüftungsleitungen gilt es, die Leitungstrasse zu beachten. Werden vorgefertigte Blöcke aus Mineralschaum verwendet, müssen diese in ihrer Geometrie angepasst werden. Denn bei den Lüftungsleitungen gilt es noch zu beachten, dass es sich hierbei teilweise um großformatige Zuleitungen handelt, von denen kleinere Durchmesser abzweigen und zu den Lüftungsauslässen führen. Die geometrischen Abmessungen der Lüftungsauslässen führen auch dazu, dass der Einlasskasten für die Leitung ebenfalls im Zwischenraum liegt. Erfahrungsgemäß verlaufen die Lüftungsleitungen quer zur Plattenspannrichtung von Fuge zu Fuge, mit den Abzweigern für die sogenannte Stichleitung, die bis zum Auslass innerhalb der Platte geführt wird.

Im Hinblick auf die Vorfertigung der Leitungsstränge für die jeweilige Elementplatte, bietet sich ein umhüllender Installationskasten an, der mitsamt den integrierten Leitungen in die Schalung der vorzufertigenden Elementplatte eingebaut wird. Der Kasten dient als Installationskörper, innerhalb dem sämtliche Leitungen vorgängig befestigt werden können. Diese Arbeiten lassen sich vorgängig durchführen, so dass der Einbau in die Betonplatte sehr einfach stattfindet, und der Produktionsprozess zeitlich nicht verzögert wird.

Innerhalb des Installationskastens können dann weitere Leitungen wie z.B. die Zuleitungen für die Rohrregister ebenfalls vormontiert werden.

Im Bereich des Kastens sind dann keine Verdrängungskörper erforderlich, da der Kasten an sich bereits als Hohlraum zwischen den beiden Betonplatten wirksam ist. Der vorgefertigte Kasten hat den großen Vorteil, dass die Lüftungsleitungen mit den Abzweigern exakt positioniert werden können, ohne dass die Geometrie des Mineralschaums bzw. deren Blöcke angepasst werden muss.

Ein weiterer Vorteil des Installationskastens besteht in einer effizienten Lösung an der Plattenfuge, da dort ein entsprechender Platzbedarf geschaffen wird, um die Verbindung der Leitungsenden auf der Baustelle über die Fuge hinweg zu einem gemeinsamen Strang umzusetzen.

Leider konnte die Sandwichtragwirkung des Mineralschaums bei innogration nicht untersucht werden, da keine Probekörper vor Ort untersucht werden konnten. Ein Modell zur Statik wurde von der RPTU gemacht. Aus unserer Sicht sind die uns mündlich überlieferten Werte für die Aufnahme von Druckspannungen allerdings zu gering, sodass der Mineralschaum nicht als tragendes Element zwischen den beiden Deckensichten verwendet werden können.

Üblicherweise werden bei den vorgefertigten Platten einzelne Rippen aus Normalbeton C30/37 mit einer Druckfestigkeit von 30 N/mm² genutzt. Die Rippen übernehmen die Schubfestigkeit zwischen den beiden Deckschichten. Der Anteil der Rippen variiert zwischen 20 % und 33 %. Beim Wegfall dieser Rippen müsste der Mineralschaum eine äquivalente Festigkeit von 6,0 bis 9,9 N/mm² übernehmen. Das wurde in den uns übermittelten Versuchen nicht erreicht.

Zur Integration der technischen Funktionen konnten ebenfalls keine konkreten Versuche durchgeführt werden, da keine Blöcke aus Mineralschaum zur Verfügung gestellt wurden. Die oben erläuterten Empfehlungen zur Positionierung der Leitungen konnten daher praktisch nicht bestätigt werden.

Fazit

Theoretisch konnten verschiedene Untersuchungen und Berechnungen im Rahmen des Projektes angestellt werden. Die praktischen Ausführungen waren mangels Probekörper nicht durchführbar. Unsere Erfahrungen mit vorgefertigten Decken mit Sandwichquerschnitt hinsichtlich der statischen Widerstände und auch in Bezug auf die Integrierbarkeit der haustechnischen Leitungen haben wir versucht, auf die Variante bei einem Querschnitt mit Mineralschaum zu übertragen.

Das Ergebnis betrifft die Tragfähigkeit und die thermische Leistungsfähigkeit. Aus unserer Sicht wird es problematisch sein, die gewünschten Festigkeit mit dem Mineralschaum zu erreichen, um die Leistungsfähigkeit der vorgefertigten Platte mit Sandwichquerschnitt zu

realisieren. Der Einbau der Leitungen für Heizen/Kühlen muss weiterhin in der unteren Betonplatte erfolgen, da die thermische Leistung sonst nicht gegeben ist.

Insbesondere aufgrund der geringen Tragwirkung des Mineralschaums ist an eine praktische Verwendung innerhalb der von uns vertriebenen Deckensysteme mit Sandwichquerschnitt aktuell noch nicht zu denken.

Wir haben innerhalb des Projekts auch nach alternativen Lösungen zur Reduzierung des Gewichts der Decken gesucht. Für den Zwischenraum zwischen den beiden Deckensichten kann alternativ auch mit Verdrängungskörpern aus Pappe (zum Kegelstumpf geformten Wabenplatten) gearbeitet werden. Die Körper aus Pappe lassen sich gut von dem Beton sortenrein trennen, und auch als Rohmaterial für eine weitere Herstellung verwenden. Auf dieser Basis haben wir den Installationskanal entwickelt, aber auch flexible Raumkörper als Einbauteile bei Fertigteilplatten.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigste Position des zahlenmäßigen Nachweises waren die Personalkosten. Weitere Kosten (Material und Reisen) sind nur in sehr kleinem Umfang angefallen und wurden daher selbst getragen.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Auf Basis von Daten eines realen Bauprojekts wurde die Umsetzbarkeit der mineralschaumintegrierter Hybriddecken durch die Fa. Innogration GmbH untersucht und durch die Erstellung eines digitalen Modells begleitend dokumentiert. Die Mittel wurden mit Bedacht eingesetzt. Dadurch, dass die Entwicklungen letztlich relativ theoretisch blieben, konnte innogration das Projekt sogar wirtschaftlicher durchführen, als ursprünglich geplant.

Die Notwendigkeit der Entwicklung bestand darin, dass seit Jahren geforscht wird, wie die Bauwirtschaft nachhaltiger werden kann. Durch den Ersatz von Betonwerkstoffen und eine bessere Trennbarkeit verschiedener Materialien beim Rückbau kann im doppelten Sinn Energie bei der Herstellung gespart werden. Zum einen kann Recycligmaterial in größerem Umfang und sehr viel einfacher zurück in den Kreislauf gebracht werden. Zum anderen führt die Bauweise dazu, dass möglichst wenig Beton benötigt wird.

4. Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Produkte des Unternehmens auf dem Gebiet der multifunktionalen Hochbaudecken wurden in entscheidendem Maße von Nachhaltigkeitsanforderungen geprägt. Die Innogration GmbH wollte sich als Anbieter stoffstromtechnisch optimierter Deckensysteme positionieren. Die im Rahmen des Projektes erarbeitete Technologie ergänzt diesen strategischen Ansatz, um einerseits durch hochleistungsfähige Produkte und andererseits durch innovative Produktionsprozesse das Geschäftsfeld signifikant zu erweitern. Der Mineralschaum selbst muss hinsichtlich der Druckfestigkeit vermutlich noch optimiert werden. Die Nutzung von Leitungskanälen aus Pappe scheint ein erfolgreicher Ansatz zur besseren Rückbaubarkeit zu sein.

Innogration ist bereits seit einigen Jahren auf dem Markt multifunktionaler Deckensysteme aktiv. Die Systeme wurden im Laufe der Zeit immer weiterentwickelt und somit immer attraktiver gemacht. Zu den Features zählen unter anderem nachhaltige Klimatisierungstechnologien, die konventionelle Klimaanlage überflüssig machen. Somit ist es nur konsequent, auch bei den Baustoffen eine Strategie der Nachhaltigkeit zu verfolgen.

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Innogration recherchiert kontinuierlich über neue Entwicklungen im Markt und konnte während des Projektes keinen relevanten Fortschritt bei anderen Stellen feststellen, der sich auf die Projektergebnisse auswirkt.

6. Veröffentlichung der Ergebnisse

Es wurden keine Veröffentlichungen vorgenommen.