

Jürgen Schnell, Christian Kohlmeyer, Michael Weber

Temporäre Raumzellen aus Hochleistungsbeton mit lösbaren Verbindungen

F 3013

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-8167-9919-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

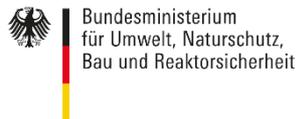
www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt:

Temporäre Raumzellen aus Hochleistungsbeton mit lösbaren Verbindungen

(II 3-F20-11-1-017/SWD-10.08.18.7-13.09)

Gefördert durch:



Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(AktENZEICHEN II 3-F20-11-1-017/SWD-10.08.18.7-13.09)

Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell
Dr.-Ing. Christian Kohlmeyer

Sachbearbeiter: Michael Weber

Kaiserslautern, im Juli 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Intention des Forschungsprojekts	4
1.2	Gliederung des Vorhabens	5
2	Studentisches Projekt "Modulsystem"	7
2.1	Aufgabenstellung	7
2.2	Ergebnisse	8
3	Modulsystem von Herrn Bayer und Herrn Schluppkotten (B/S)	9
4	Schalungsbau und Herstellung von Modellen im Maßstab 1:1	19
4.1	Schalungen und Modelle	19
4.2	Verbindungen	25
4.3	Stützen	26
4.4	Wandelemente	28
5	Numerische Untersuchungen an Einzelbauteilen und Raumzellenvarianten	30
5.1	Konstruktion und Vorbemessung eines beispielhaften Modulsystems	30
5.1.1	Gewähltes Modulsystem	30
5.1.2	Ermittlung der Einwirkungen	33
5.1.3	Bemessung der Dachelemente	35
5.1.4	Bemessung der Wandelemente	39
5.1.5	Betrachtungen am Gesamtsystem	41
5.2	Numerische Untersuchung dreier Raumzellenvarianten nach dem System Bayer/Schluppkotten	43
5.2.1	Vorbemerkung	43
5.2.2	Materialien	43
5.2.3	Modellbildung	43
5.2.4	Stütze	45
5.2.5	Schwellbalken	45
5.2.6	Träger	46
5.2.7	Wände	46
5.2.8	Deckenelemente	47
5.2.9	Verbindungen	47
5.2.10	Lastannahmen	47
5.2.11	Lastzusammenstellung und Lastkombinationen	48
5.2.12	Geometrien der drei verschiedenen Varianten	48
5.2.13	Ergebnisse der numerischen Untersuchungen für Variante 1	51
5.2.14	Ergebnisse der numerischen Untersuchungen für Variante 2	55
5.2.15	Ergebnisse der numerischen Untersuchungen für Variante 3	57
5.2.16	Zusammenfassung der Ergebnisse	59

6	Experimentelle Untersuchungen	60
6.1	Verwendete Werkstoffe	60
6.1.1	Hochleistungsbeton	60
6.1.2	Mikrobewehrung	60
6.1.3	Bewehrung	61
6.1.4	Verbindungsmittel	61
6.2	Experimentelle Untersuchung dreier Verbindungssysteme	61
6.2.1	Übersicht	61
6.2.2	Verbindungssystem V1	62
6.2.3	Verbindungssystem V2	77
6.2.4	Verbindungssystem V3	84
6.2.5	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Versuchen an den Verbindungssystemen V2 und V3	92
6.3	Experimentelle Untersuchung eines Wandelements	94
6.3.1	Einleitung	94
6.3.2	Versuchskörper	94
6.3.3	Versuchsaufbau	96
6.3.4	Versuchsdurchführung	96
6.3.5	Versuchsergebnisse	97
6.3.6	Weitere Versuche	99
7	Experimenteller Nachweis der Wind- und Schlagregendichtheit	100
8	Entwurf eines Prüfprogramms für die Verbindungssysteme	101
9	Entwurf eines Prüfprogramms für die Betonelemente	104
10	Zusammenfassung und Ausblick	106
11	Literaturverzeichnis	108
Anhang A	Prüfeinrichtung für die Versuche am Verbindungssystem V1	
Anhang B	Werkstoffkennwerte des Betons des Verbindungssystems V1	
Anhang C	Ergebnisse der numerischen Untersuchungen	
Anhang D	Dokumentation Studentisches Projekt „Modulsystem“ und Modulsystem B/S	
Anhang E	Konstruktionszeichnungen Modulsystem B/S	

1 Einleitung

1.1 Intention des Forschungsprojekts

Die mechanischen Eigenschaften des hochfesten (HPC) und ultrahochfesten Betons (UHPC) wurden in den letzten Jahren weitgehend erforscht. Für die praktische Anwendung fehlen allerdings noch die erforderlichen Regelwerke, sodass bei der Verwendung entsprechender Bauteile i.d.R. bauaufsichtliche Zulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) notwendig sind.

Im Rahmen des hier beantragten Projektes soll unter Zusammenarbeit von Architekten und Ingenieuren ein Modulsystem für multifunktionale, demontierbare Raumzellen entwickelt werden, die sich aus möglichst wenig verschiedenen Betonelementen zusammenfügen lassen. Das Modulsystem soll von Architekten in einem studentischen Projekt entwickelt werden. Ziel ist es, diese Raumzellen in vielfältiger Weise, z.B. als temporäre Ausstellungsräume in Städten oder als Notunterkünfte in Katastrophengebieten einsetzen zu können.

Der Schwerpunkt für die Ingenieure liegt auf der Konstruktion und der Prüfung lösbarer Verbindungssysteme, mit denen die Fertigteile zu einem standsicheren Gebäude verbunden werden können, und auf der Konstruktion der zu verbindenden Betonelemente, die in Wechselwirkung mit dem Verbindungssystem stehen.

Sowohl für die Verbindungssysteme als auch für die Betonelemente soll ein Versuchs- und Nachweisprogramm erarbeitet werden, dass als Grundlage für die Erwirkung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall dienen kann.

Um die Ergebnisse aus den beschriebenen Untersuchungen sichtbar und „begreifbar“ zu machen und die Multifunktionalität zu demonstrieren, soll ein Prototyp (siehe Abb. 1.1) gebaut werden und an geeigneter Stelle aufgebaut werden.

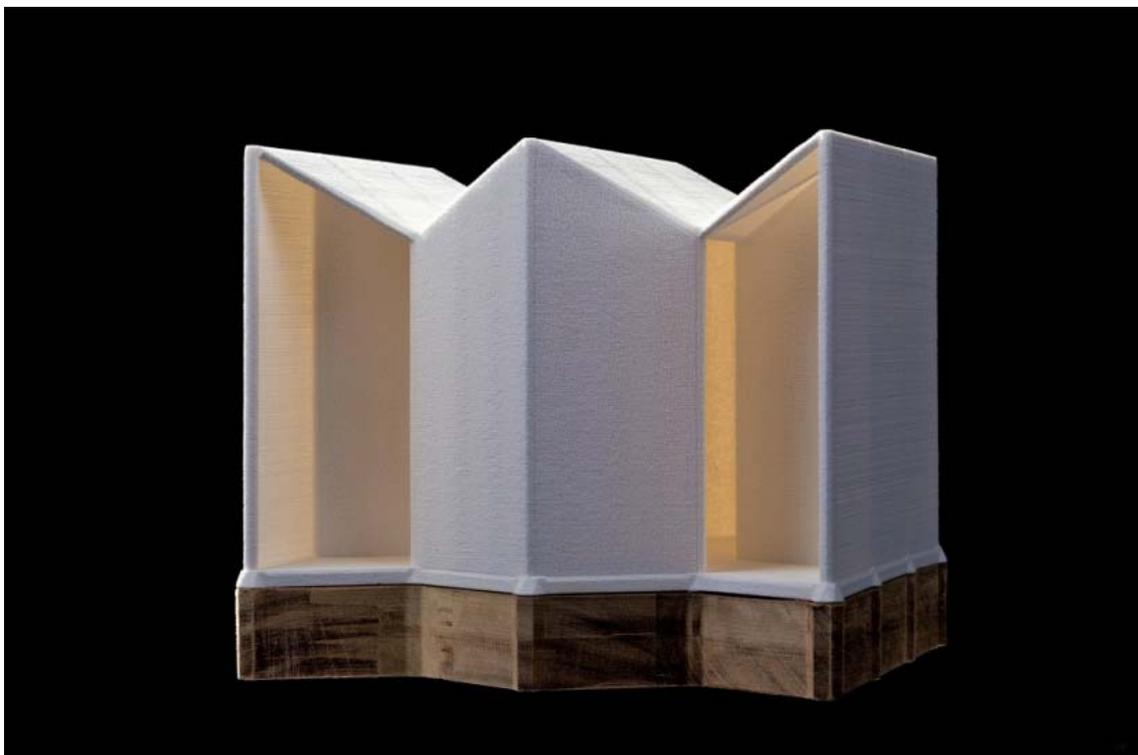


Abbildung 1.1: Modellfoto der zur Umsetzung als Prototyp gewählten Entwurfsvariante

1.2 Gliederung des Vorhabens

Das Vorhaben ist im Antrag wie folgt gegliedert (kursiv). Die konkrete Umsetzung und die Gliederung im Bericht sind jeweils darunter angegeben.

1. *Entwurf eines Modulsystems, mit dem sich Raumzellen unterschiedlicher Abmessungen und Geometrien zusammensetzen lassen.*

Insgesamt wurden 4 verschiedene Modulsysteme entworfen. Drei davon im Rahmen eines Studentischen Projektes (Kap. 2) und eines, das auch weiter verfolgt und gebaut wird (Kap. 3). Für dieses System wurde und wird die gesamte Schalung gebaut und Probekörper wurden hergestellt (Kap. 4).

2. *Numerische Untersuchungen an verschiedenen Raumzellen.*

Dieser Punkt wird zusammen mit Punkt 5 in Kap. 5 abgehandelt. Dabei werden zunächst an einem beispielhaften Element, das sowohl als Wand als auch als Decke eingesetzt werden kann, die Schnitt- und Auflagergrößen bestimmt und die Elemente beispielhaft bemessen.

Anschließend werden drei Varianten des Modulsystems Bayer/Schluppkotten (B/S) numerisch untersucht und die maßgebenden Beanspruchungen der Verbindungsmittel herausgefiltert.

3. *Experimentelle Untersuchung der Verbindungssysteme*

Für die drei Verbindungssysteme sollen jeweils die folgenden Versuche durchgeführt werden:

- *Zugversuche*
- *Schubversuche*
- *Querkraftversuche*
- *Kombinationen*

Mit diesen Versuchen werden auch die entsprechenden Last-Schlupf-Beziehungen und die Nachgiebigkeiten ermittelt.

Insgesamt wurden 7 Versuche an drei verschiedenen Verbindungssystemen mit unterschiedlichen Beanspruchungen durchgeführt. Darüber wird in Kapitel 6 berichtet.

4. *Experimentelle Untersuchung der Betonelemente*

- *Biegeversuche, um die Plattentragwirkung zu untersuchen*
- *Längsdruckversuche, um die Scheibentragwirkung zu untersuchen*
- *Versuche mit kombinierten Beanspruchungen*

Über den Versuch an einem Wandelement mit angeschlossenen Stützen wird ebenfalls in Kapitel 6 berichtet.

5. *Numerische Untersuchung der Betonelemente*

In Kapitel 5 wurde zunächst ein einfaches System statisch untersucht, um erste Anhaltswerte über mögliche Bauteildicken und die Größenordnung der durch die Verbindungssysteme zu übertragenden Kräfte zu gewinnen. Anschließend wurden drei Varianten des Modulsystems Bayer/Schluppkotten dreidimensional mit einem FE-Modell abgebildet und berechnet.

6. *Experimenteller Nachweis der Wind- und Schlagregendichtheit*

In Kapitel 7 werden Vorschläge zur Abdichtung der Fugen gemacht. Getestet werden sollen die Dichtungsbänder an dem noch zu errichtenden Prototypen.

7. *Entwurf eines Prüfprogramms für die Verbindungssysteme, auf dessen Grundlage die Erteilung einer bauaufsichtlichen Zulassung erfolgen könnte.*

Aus den durchgeführten experimentellen Untersuchungen an den Verbindungssystemen wird in Kapitel 8 ein entsprechendes Prüfprogramm abgeleitet.

8. *Entwurf eines Prüfprogramms für die Betonelemente, auf dessen Grundlage die Erteilung einer bauaufsichtlichen Zulassung erfolgen kann.*

In Kapitel 9 wird auf der Grundlage des durchgeführten Bauteilversuchs ein Prüfprogramm für die Betonelemente vorgeschlagen.

9. *Bau eines Prototypen auf dem Gelände der TU Kaiserslautern, um die Konstruktionsart im Dauerbetrieb zu erproben*

Dieser letzte Abschnitt ist noch nicht abgeschlossen. Zurzeit werden die Schalungen für den Bau des Prototypen hergestellt. Mit seiner Fertigstellung und seinem Aufbau ist im Laufe des Jahres zu rechnen.

Die eingangs vorgestellten beiden Hauptziele des Forschungsvorhabens, die Entwicklung eines multifunktionalen Modulsystems und die Erarbeitung eines Nachweisprogramms als Grundlage für die Erwirkung einer Bauaufsichtlichen Zulassung, wurden demnach erreicht und die zugehörigen Arbeitsschritte vollständig abgeschlossen.

Für den Prototypen sind noch nicht alle Bauteile hergestellt. Die technisch sehr aufwendigen und zeitintensiven Arbeiten unter der Regie von Prof. Dirk Bayer sind in vollem Gange, sodass – wie bereits erwähnt – der Aufbau und die Versuche zur Wind- und Schlagregendichtheit voraussichtlich im Laufe des Jahres auch abgeschlossen werden können.

2 Studentisches Projekt "Modulsystem"

2.1 Aufgabenstellung

Durch das Einbeziehen der Studierenden der Architektur in das Projekt im Rahmen eines Seminars, entstanden weitere Ideen und Impulse. Die Aufgabenstellung orientierte sich am Forschungsantrag und lautete sinngemäß wie folgt:

Im Rahmen dieses Seminars soll ein Modulsystem für multifunktionale, demontierbare Raumzellen aus ultrahochfestem Beton (UHPC) entworfen und bis ins Detail entwickelt und anhand von Modellen und Prototypen überprüft werden.

Das Konzept der Raumzellen soll es ermöglichen, schnell und unkompliziert Raum für unterschiedliche Nutzungen zu erzeugen, Strukturen bei Bedarf zu demontieren und an anderer Stelle zu anderen Zwecken wieder zu errichten. Diese Strategie ist ökonomischer und ökologischer als der Rückbau und das Recycling der verwendeten Baustoffe.

Das große Potenzial hochfester Feinkornbetone wird in der Baupraxis nicht ausgeschöpft. Durch ihre hohe Festigkeit und Dichte können tragende Wand- und Dachelemente auf wenige Zentimeter reduziert, der Materialverbrauch minimiert und wertvolle Ressourcen geschont werden. Auch im Bereich der Gestaltung bestehen Möglichkeiten (Oberflächenqualität und -vielfalt, Freiformung, etc.), die viel zu selten genutzt werden.

An das Modulsystem werden folgende Anforderungen gestellt:

- Eine Vielzahl unterschiedlicher Raumzellengrößen und -formen sollte sich aus möglichst wenig verschiedenen Betonelementen zusammensetzen lassen. Im Sinne einer Kostenreduktion sollte die Anzahl der verschiedenen Betonelemente und damit der erforderlichen Schalungen so weit wie möglich reduziert werden.
- Für einen möglichst schnellen und effizienten Einsatz der Raumzellen sind die Abmessungen der einzelnen Betonelemente so zu wählen, dass sie in einem Standardcontainer mit Innenabmessungen von ca. 5,85 x 2,35 x 2,35 m verladen und transportiert werden können.
- Das Gewicht der einzelnen Betonelemente sollte 200 kg nicht überschreiten, um einen einfachen Auf- und Abbau mit leichten Hebezeugen oder sogar von Hand zu ermöglichen.

2.2 Ergebnisse

Vier Studierendengruppen hatten ihren Entwurf bis zum Seminarende entsprechend ausgearbeitet. Die Ergebnisse sind im ersten Teil einer vom Fachbereich von Herrn Prof. Bayer herausgegebenen Broschüre, die als Anhang D beigefügt ist, zusammengefasst. In den Abbildungen 2.1 bis 2.4 sind die vier Entwürfe dargestellt.



Abbildung 2.1: Entwurf Matthias Faul



Abbildung 2.2: Entwurf Pierre Klein / Stefan Werth

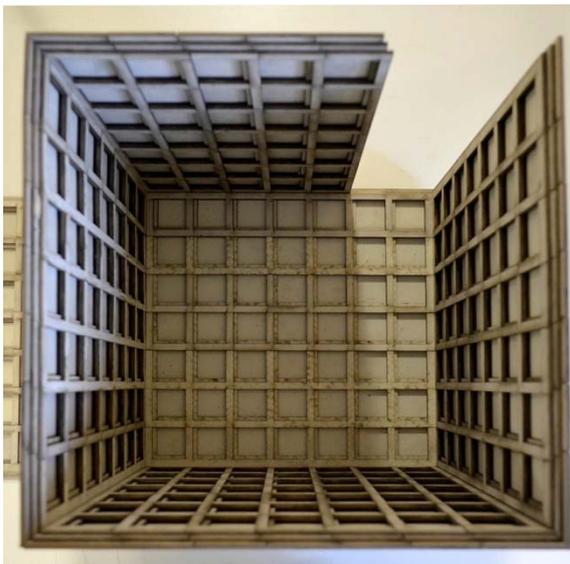


Abbildung 2.3: Entwurf Ali Ajeti / Roman Wiens



Abbildung 2.4: Entwurf Paola Signoretta / Johanna Schramm

3 Modulsystem von Herrn Bayer und Herrn Schluppkotten (B/S)

Neben den Studierenden haben auch Herr Prof. Bayer und sein Mitarbeiter Herr Schluppkotten ein Modulsystem entworfen. Dieses System baut auf einem dreieckigen Grundmuster auf. Abb. 3.1 zeigt das zugrunde liegende Schema und die einzelnen Bauteile. Dieses System wird ebenfalls im Anhang D ausführlich dargestellt.

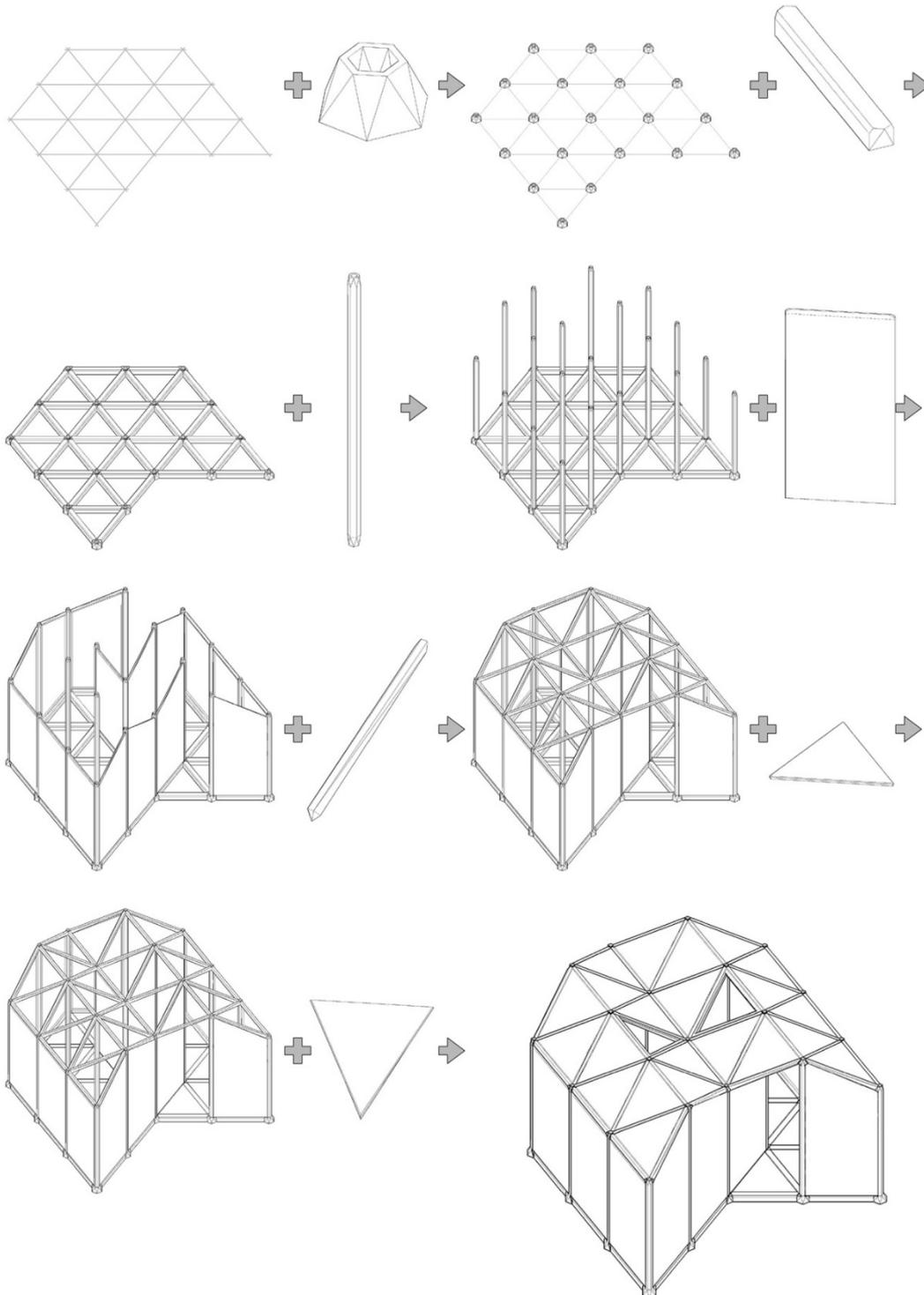


Abbildung 3.1: Elemente und Aufbau des Modulsystems B/S (Bayer/Schluppkotten)

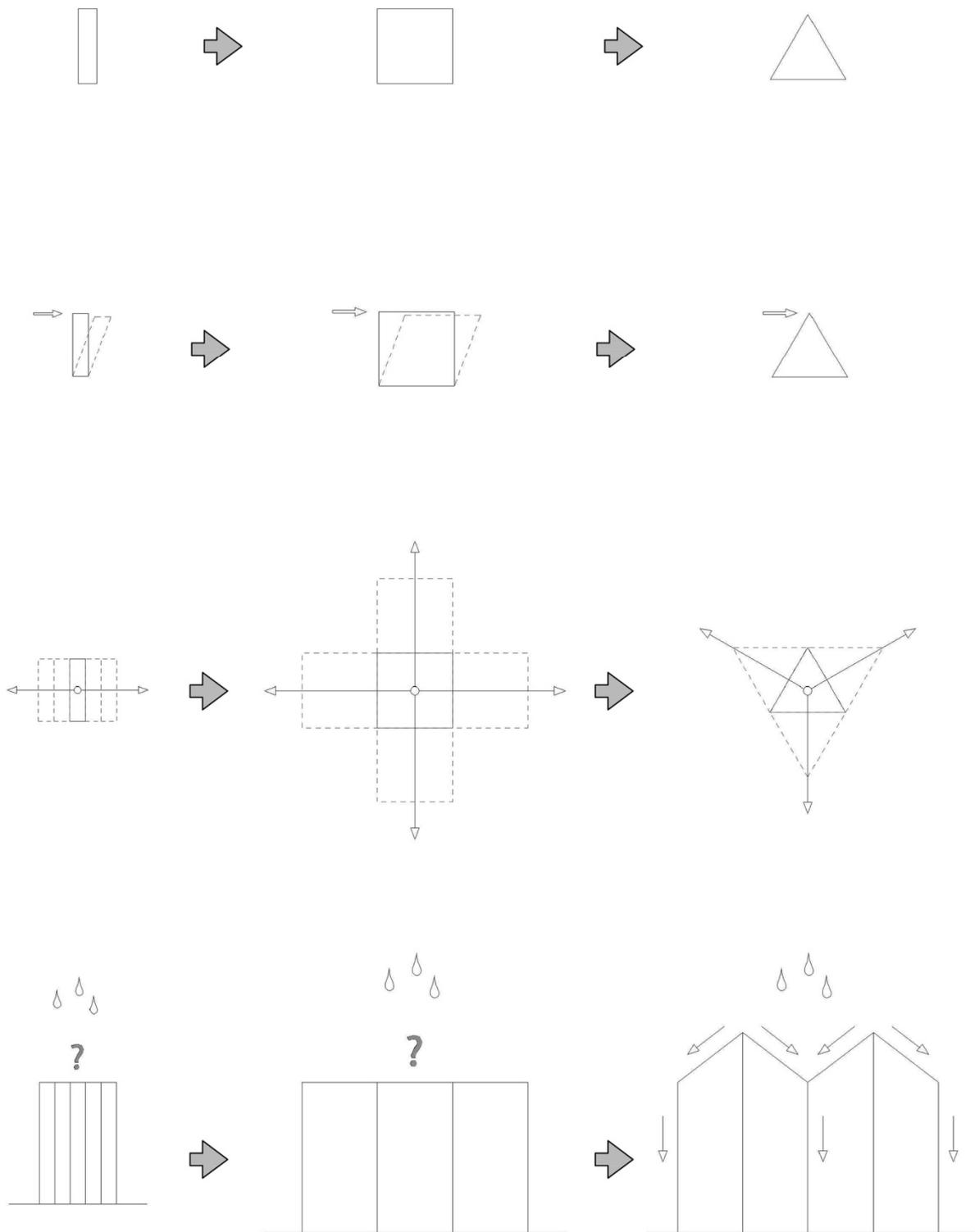


Abbildung 3.2: Herleitung des geometrischen Grundprinzips

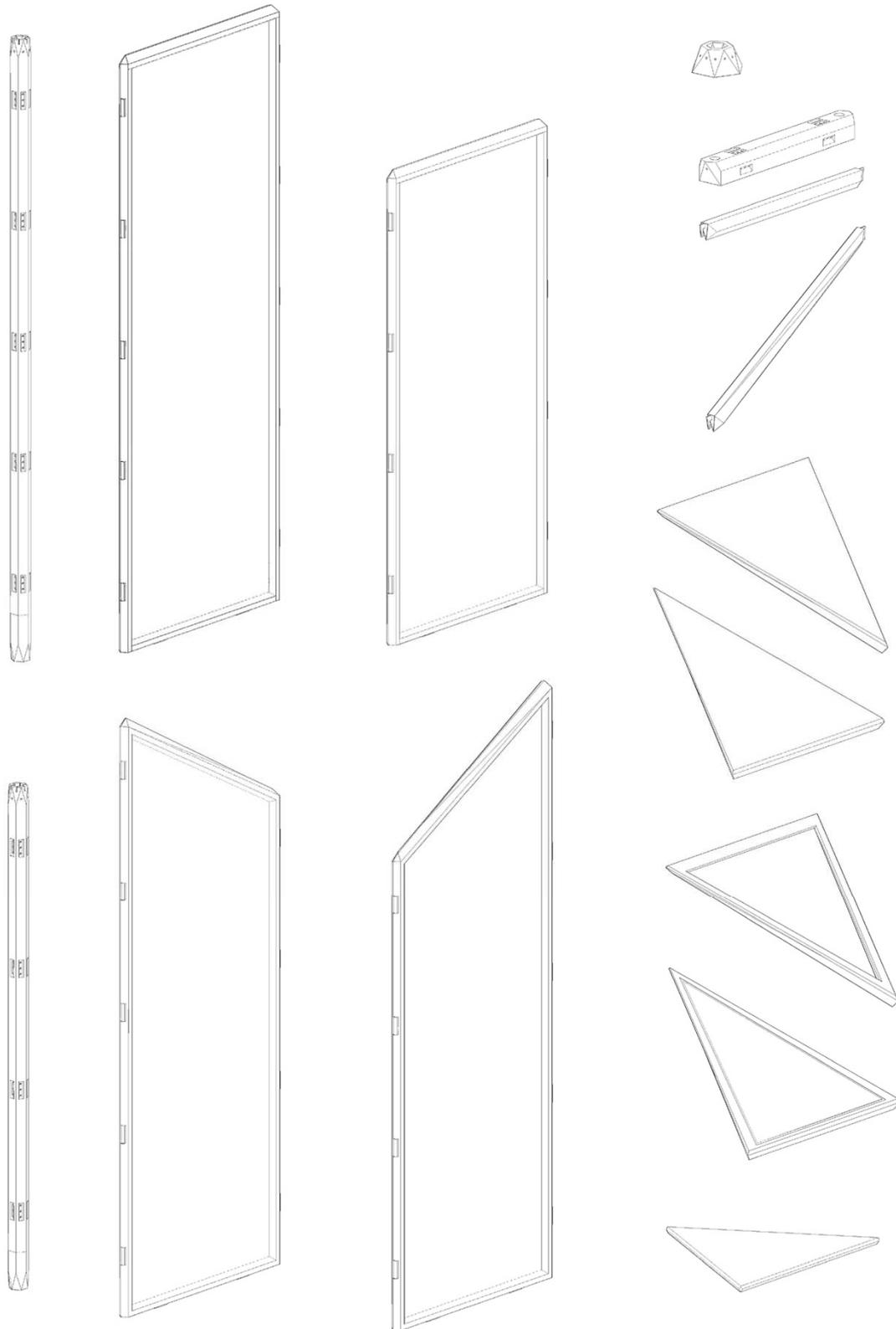


Abbildung 3.3: 15 verschiedene Betonfertigteile einerseits, maximale Flexibilität andererseits

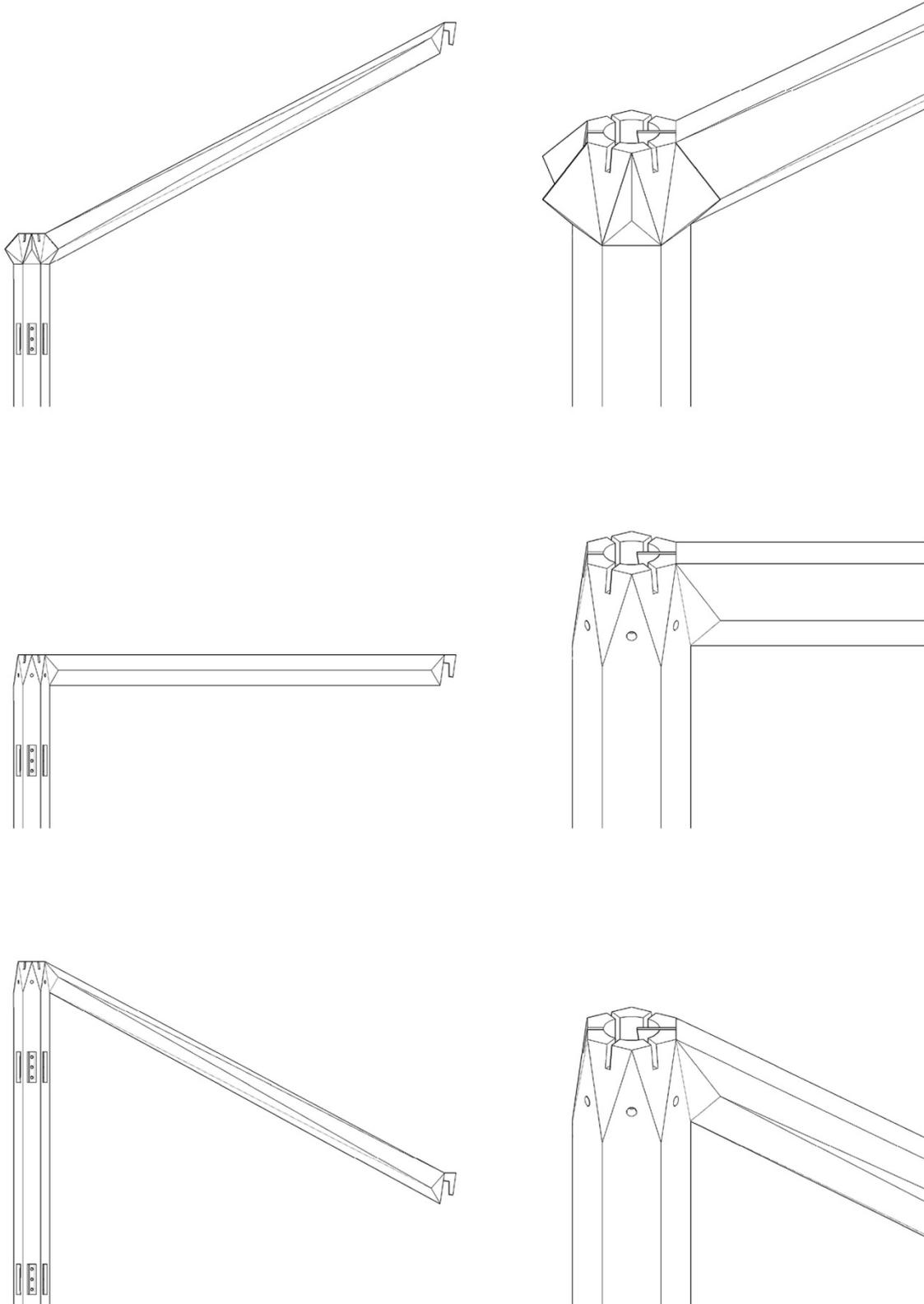


Abbildung 3.4: Flexibilität im Schnitt - drei Anschlussmöglichkeiten von Träger und Stütze

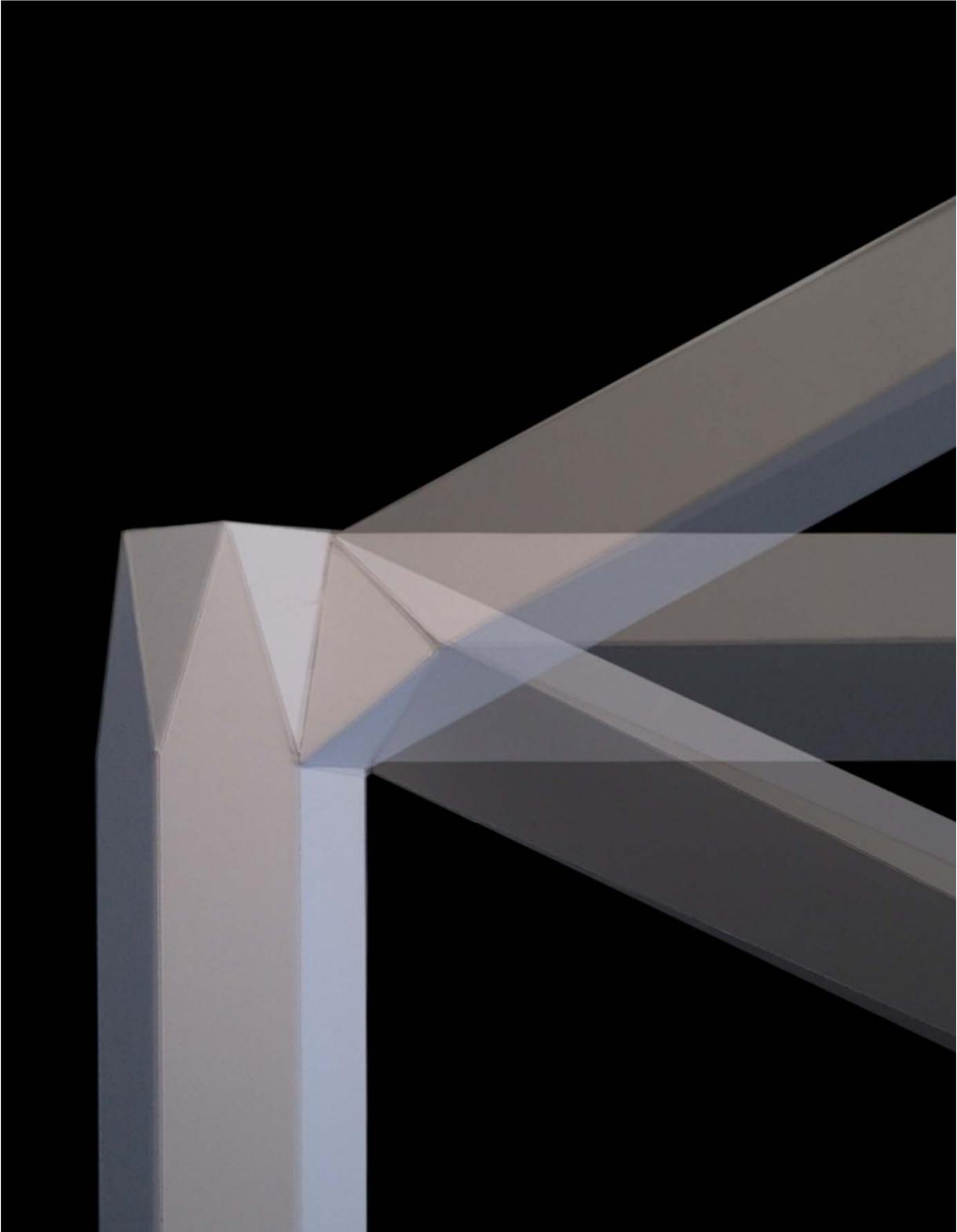


Abbildung 3.5: Flexibilität im Schnitt - Darstellung in der Überlagerung von Modellfotos

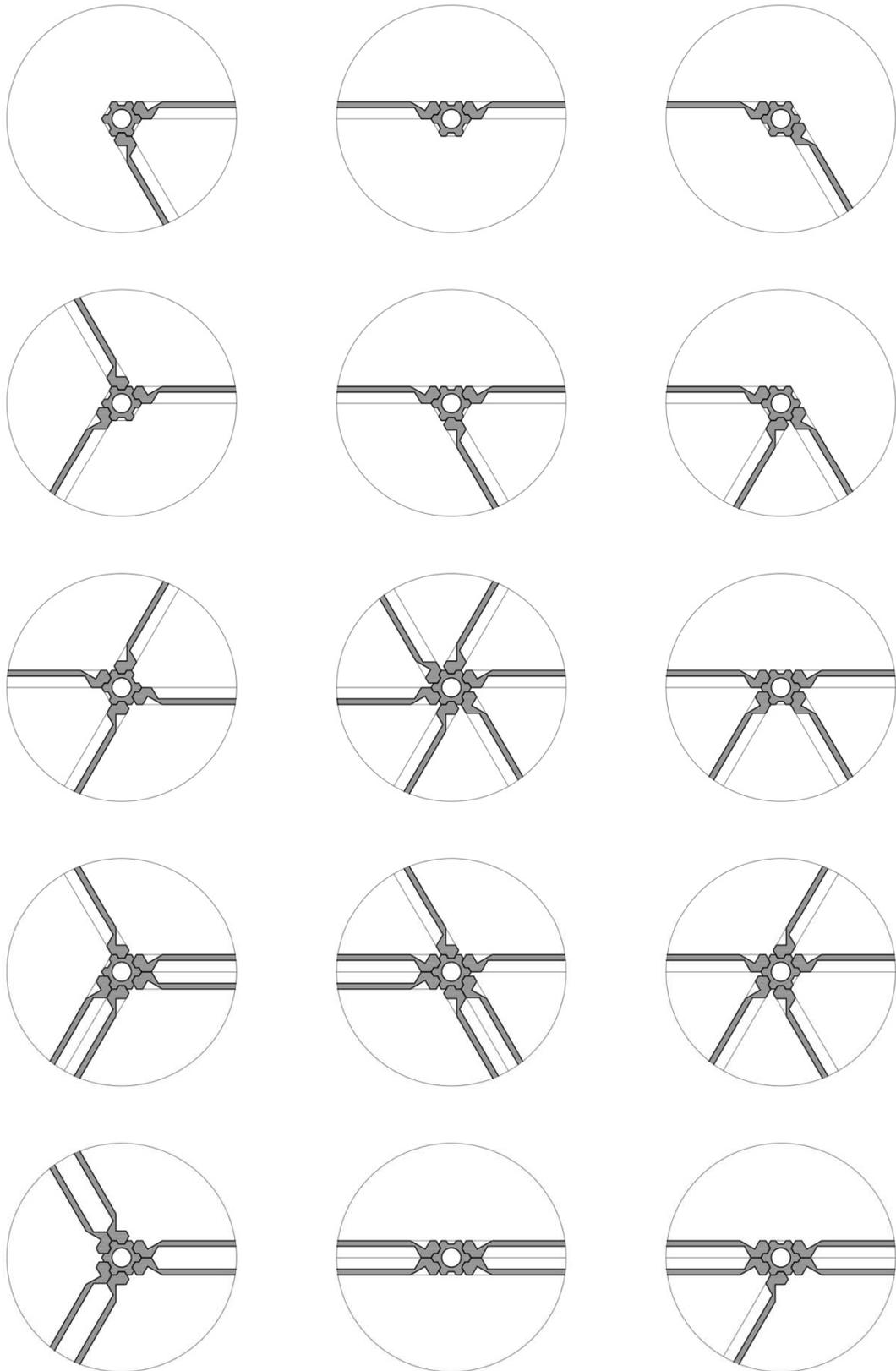


Abbildung 3.6: Flexibilität im Grundriss - Anschlussmöglichkeiten von Stütze und Wand



Abbildung 3.7: Keimzelle - Darstellung der kleinsten Raumeinheit im Modell

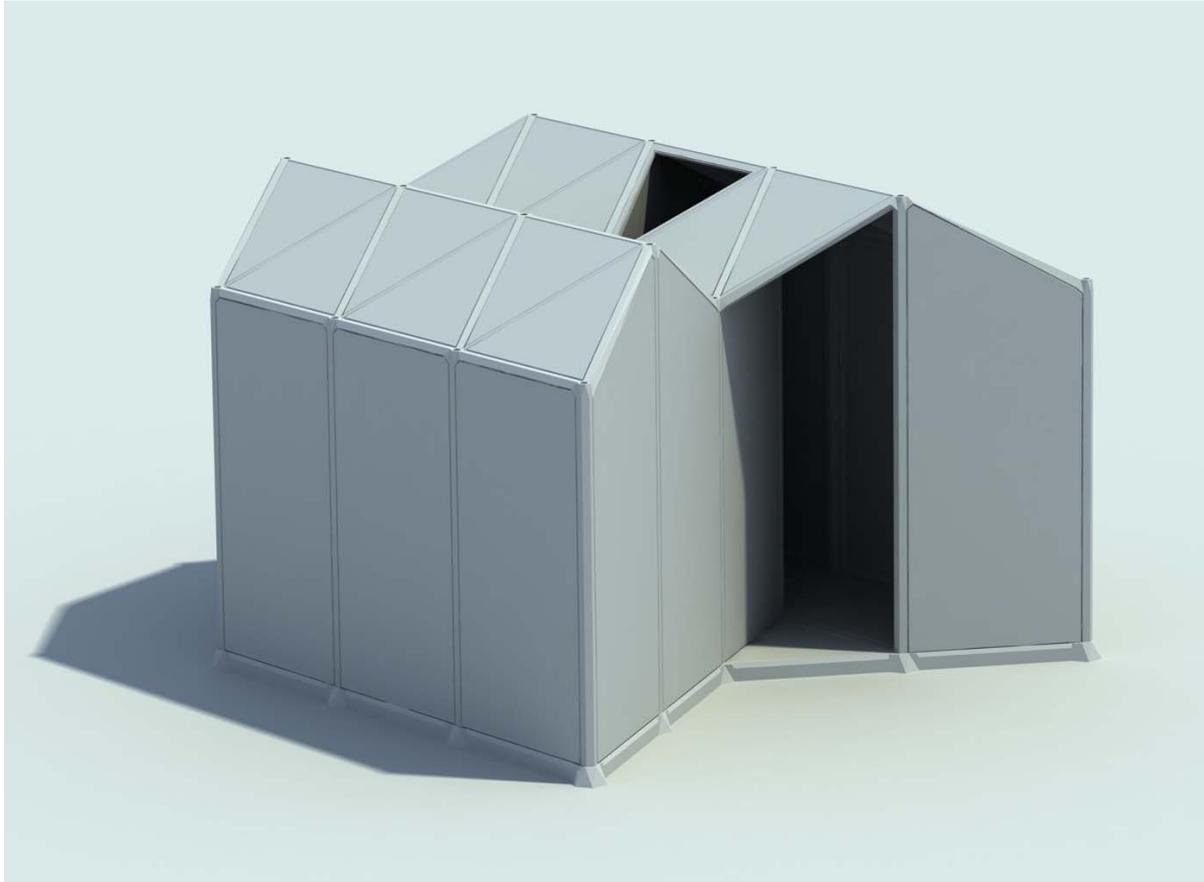


Abbildung 3.8: Pilgerzelle oder Notunterkunft - Visualisierung beispielhafter Varianten

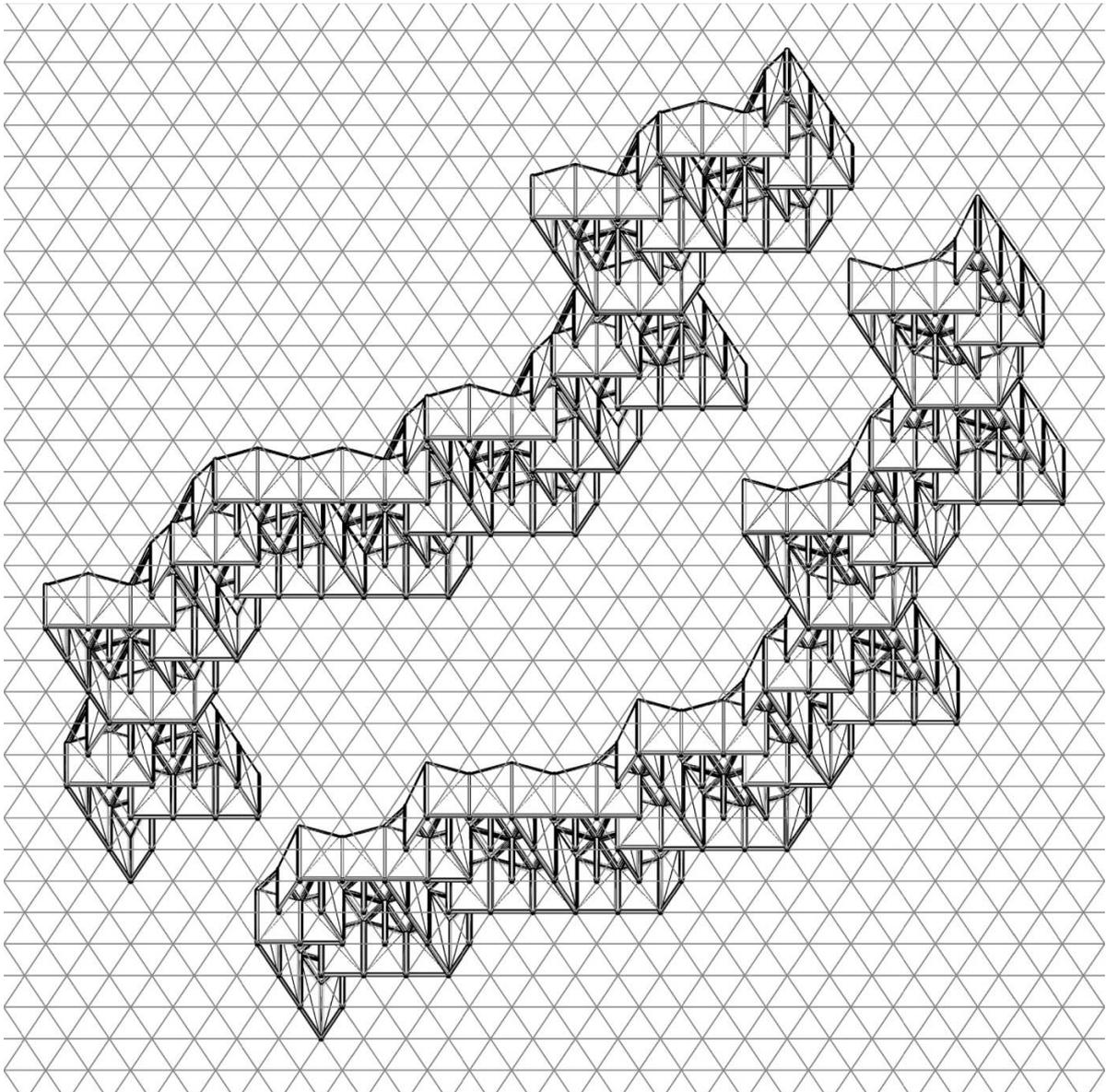


Abbildung 3.9: Wachstum - enorme Flexibilität und uneingeschränkte Erweiterbarkeit



Abbildung 3.10: Wachstum - große Kompaktheit und differenzierte Raumbildung

Im Vergleich mit den anderen Systemen ist das Modulsystem Bayer/Schluppkotten mit Abstand das flexibelste. Mit ihm lassen sich nahezu unendlich viele Varianten herstellen, ohne dass es wie eine bloße Wiederholung oder Kopie wirkt. Es ist in alle Richtungen erweiterbar und bietet immer neue Perspektiven. Vor dem Hintergrund der geplanten Einsatzbereiche wie Notunterkünfte in Katastrophengebiete oder Ausstellungsräume im urbanen Raum, scheint es daher das am besten geeignete.

Weiterhin bietet es aufgrund seiner geometrischen Komplexität und der Filigranität der Bauteile die größte Herausforderung bezüglich des Schalungsbaus und der Verbindungen. Hier können die technischen Möglichkeiten voll ausgelotet werden. Es gilt die Devise: vom Komplizierten zum Einfachen. Wenn sich diese Formen herstellen lassen, lassen sich auch die anderen bauen.

Um die Ergebnisse des Vorhabens einer möglichst breiten Fachöffentlichkeit bekannt zu machen, wird unter anderem darauf abgezielt, das Projekt bei einschlägigen Wettbewerben wie z.B. dem Architekturpreis Beton einzureichen. Dafür werden dem System B/S die besten Aussichten eingeräumt.

4 Schalungsbau und Herstellung von Modellen im Maßstab 1:1

4.1 Schalungen und Modelle

Von den Entwürfen der Studierenden und dem Entwurf von Herrn Bayer und Herrn Schlupp-kotten wurden Modelle im Maßstab 1:1 hergestellt. Hierzu wurden in der Schreinerei und der Modellbauerwerkstatt des Fachgebiets Architektur zunächst die Schalungen angefertigt (Abb. 4.1 bis 4.10).



Abbildung 4.1: Schalung Pierre Klein / Stefan Werth



Abbildung 4.2: Schalung Matthias Faul



Abbildung 4.3: Schalung System B/S:
Schwellenprofil



Abbildung 4.4: Schalung System B/S:
Stützenkopf im 3D-Druck

Dank der technischen Möglichkeiten und der fachkundigen Mitarbeiter der Modellbauwerkstatt ließen sich auch die komplexeren Geometrien der Wand- und Trägerelemente passgenau herstellen.



Abbildung 4.5: fertige Schalung eines Wandelements



Abbildung 4.6: Detail der 3D-gefrästen Rand-schalung



Abbildung 4.7: fertige Schalung der Bodenplatten

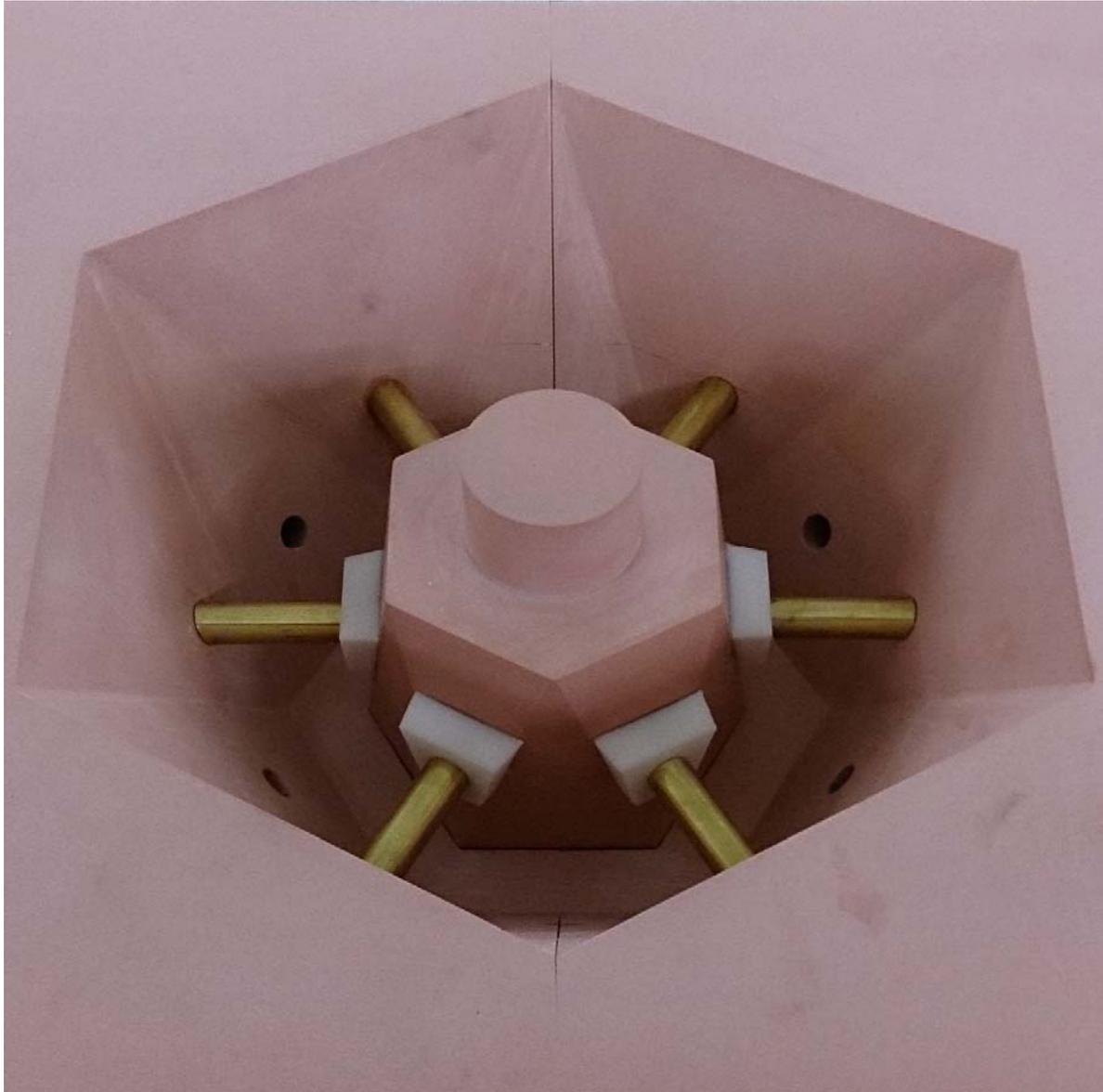


Abbildung 4.8: Mehrfach verwendbare, zusammengebaute Schalung für das Köcherelement

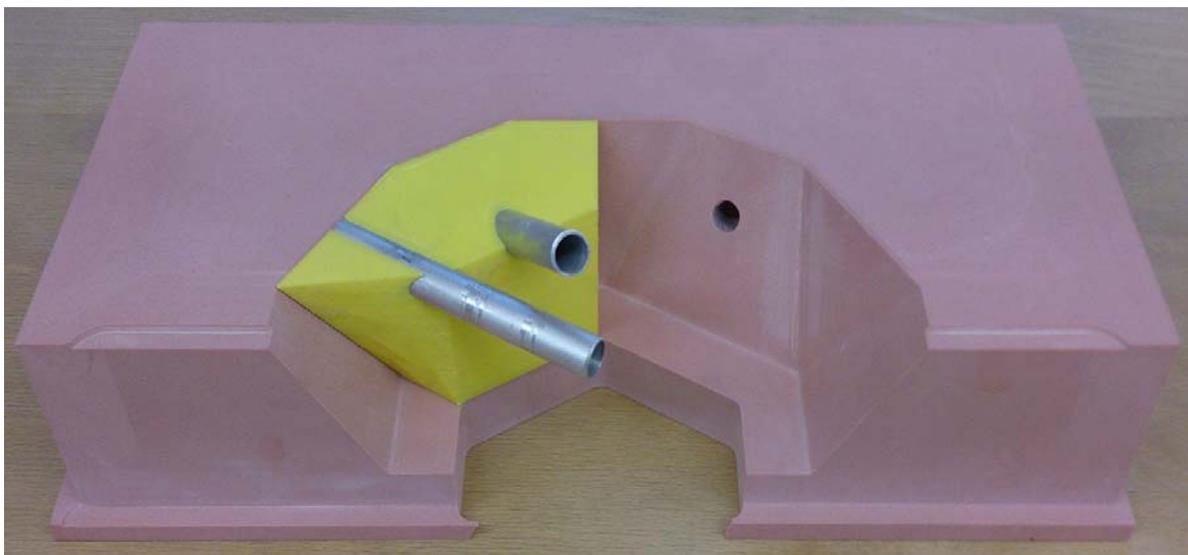


Abbildung 4.9: Eine Hälfte der Schalung für das Köcherelement

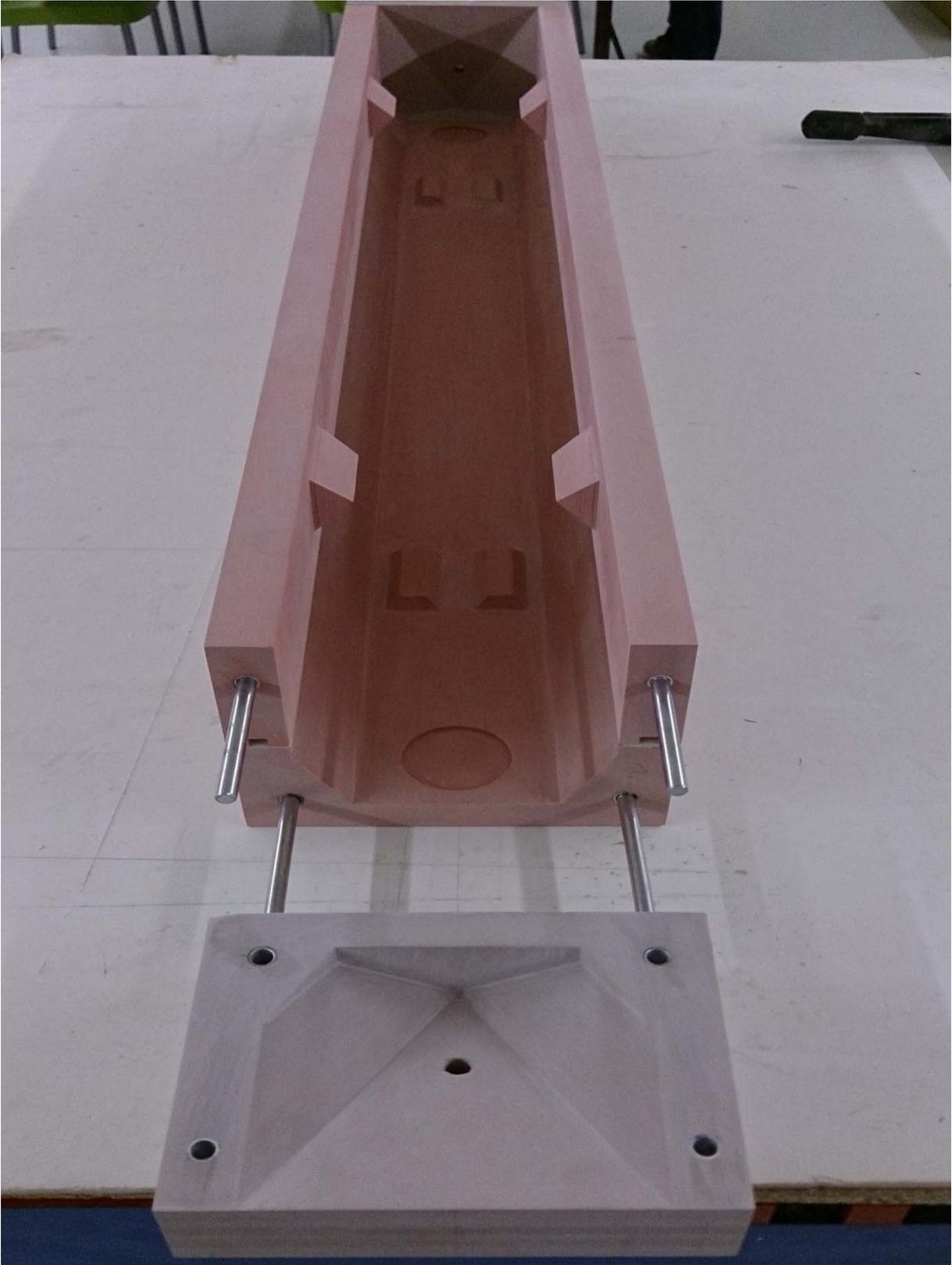


Abbildung 4.10: Mehrfach verwendbare, demontierte Schalung für die Schwelle

Nach dem Abschluss des Schalungsbaus wurden die verschiedenen Elemente mit dem hochfesten, selbstverdichtenden Feinkornbeton ausbetoniert. Durch die Unterschiedlichkeit und die Vielzahl der Modelle konnte damit auch der Betoniervorgang getestet werden (Abb. 4.11).



Abbildung 4.11: Einbringen des Feinkornbetons in die vorbereiteten Schalungen

Die Herstellung der Ausschnittmodelle im Maßstab 1:1 (Abb. 4.12 bis 4.15) gibt einen bestmöglichen Eindruck des wirklichen Bauteils und seiner räumlichen Wirkung. Darüber hinaus gibt der probeweise Aufbau Aufschluss über sinnvolle oder auch problematische Fügungen und Montageabläufe.



Abbildung 4.12: 1:1 Modell Pierre Klein / Stefan Werth



Abbildung 4.13: 1:1 Modell Matthias Faul



Abbildung 4.14: 1:1 Modell Ali Ajeti / Roman Wiens



Abbildung 4.15: 1:1 Modell System B/S

4.2 Verbindungen

Im Verlauf der ersten Beratergruppensitzung am 11.4.2014 und in den beiden dem 1. Zwischenbericht beigefügten, vom Fachbereich von Herrn Prof. Bayer herausgegebenen Broschüren, die in der aktualisierten Form dem Abschlussbericht als Anhang D bzw. E beigefügt sind, ist das System Bayer/Schluppkotten ausführlich dargestellt worden. Es wurde beschlossen, dieses Modulsystem weiter auszuarbeiten und schließlich auch zu realisieren.

Verstärktes Augenmerk galt in dieser Phase der Optimierung der Bauteilanschlüsse. In enger Zusammenarbeit mit der Metallwerkstatt konnten die unterschiedlichen Anschlusselemente entwickelt und maßhaltig hergestellt werden.



Abbildung 4.16: Kopfplatte und Anschlussstaken der Träger

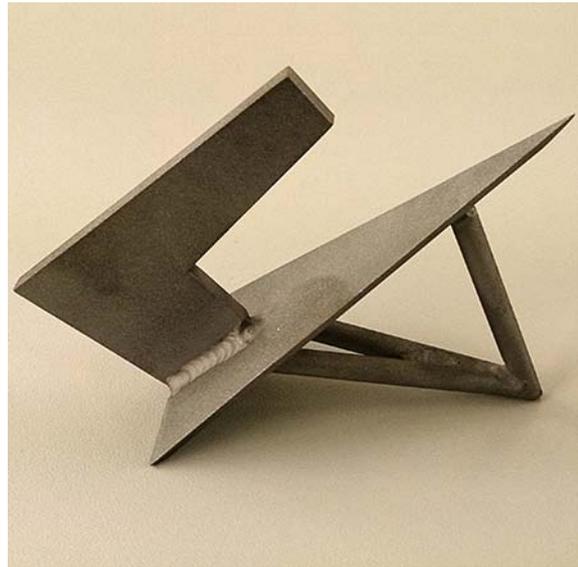


Abbildung 4.17 Geometrisch optimierte Rückverankerung



Abbildung 4.18: Die Anschlussmanschetten der Stützen



Abbildung 4.19: Manschette und Rundrohr der Stützen

4.3 Stützen

Die Entwicklung, Überprüfung und Optimierung der Stützen führte zu einer multifunktionalen Verbundkonstruktion. Die Stahlrohre erhöhen die Tragfähigkeit der Stützen und dienen gleichzeitig als verlorene Schalung für die innenliegende Entwässerung (Abb. 4.20 und 4.21).



Abbildung 4.20: multifunktionale Verbundstütze

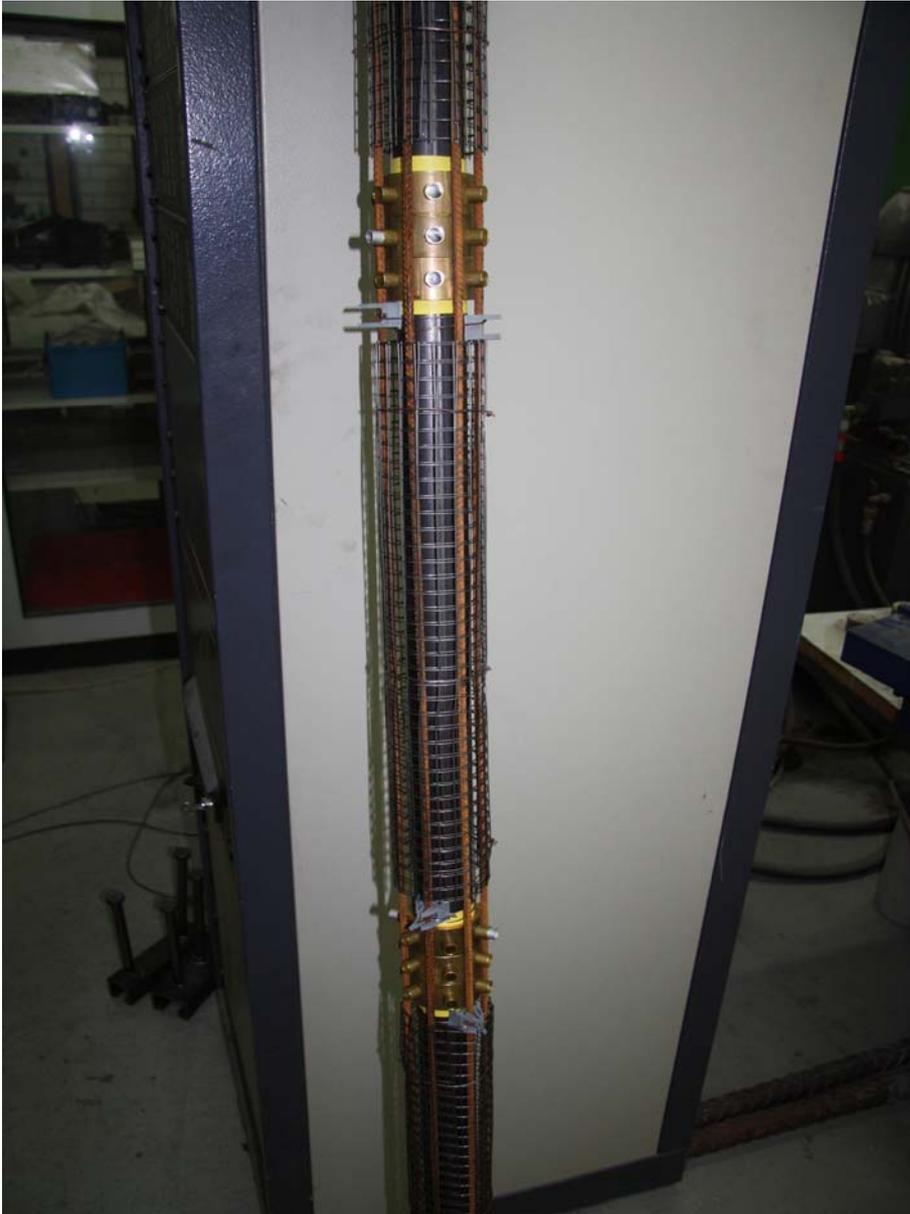


Abbildung 4.21: Fertig vorbereitete Bewehrung der Stützen mit Anschlussmanschetten

4.4 Wandelemente

Die maßgebenden Bauteile wie Dach, Wand und Koppelement wurden insbesondere hinsichtlich der zur Fügung und Abdichtung notwendigen Toleranzen geometrisch optimiert, im Maßstab 1:1 hergestellt (Abb. 4.22 und 4.23) und experimentell untersucht.

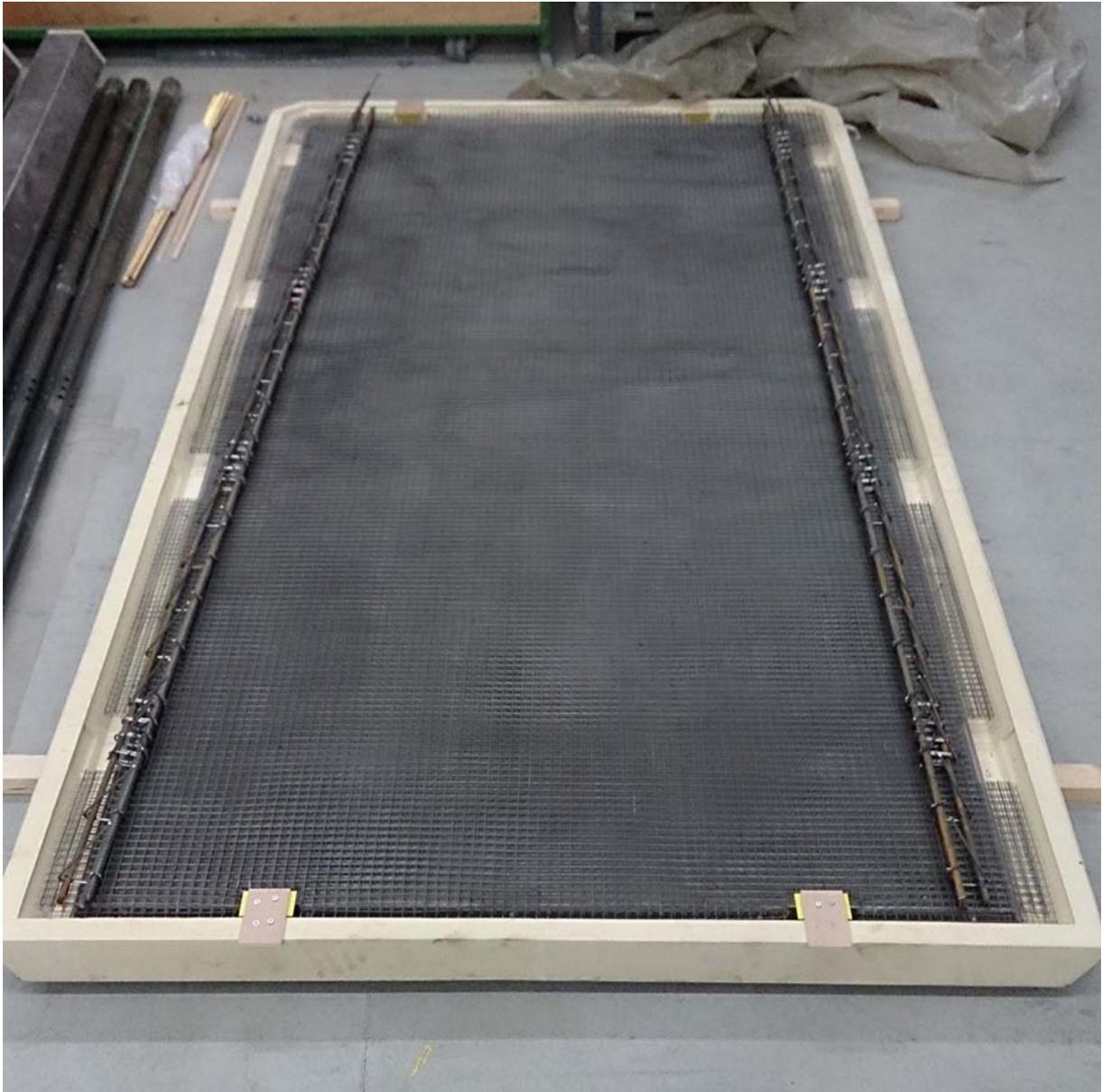


Abbildung 4.22: Montierte Wandschalung mit vorbereiteter Bewehrung

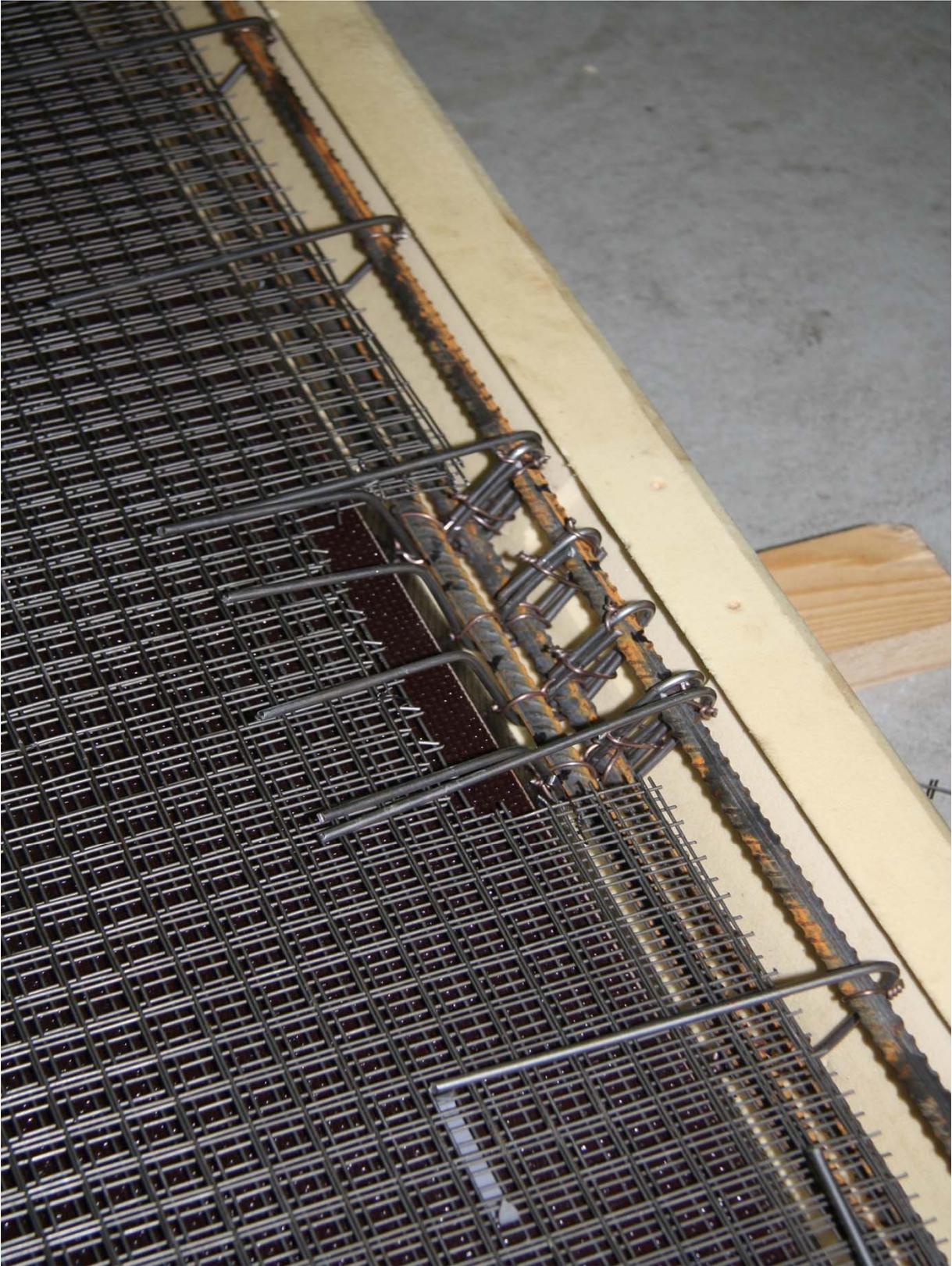


Abbildung 4.23: Detail der Bewehrung im Bereich der Verbindungen.

5 Numerische Untersuchungen an Einzelbauteilen und Raumzellenvarianten

5.1 Konstruktion und Vorbemessung eines beispielhaften Modulsystems

5.1.1 Gewähltes Modulsystem

Um erste Anhaltswerte für die erforderlichen Querschnittsabmessungen und die zu übertragenden Kräfte zwischen den einzelnen Bauteilen zu erhalten, wurde ein einfaches Modulsystem entworfen und eine Vorbemessung durchgeführt.

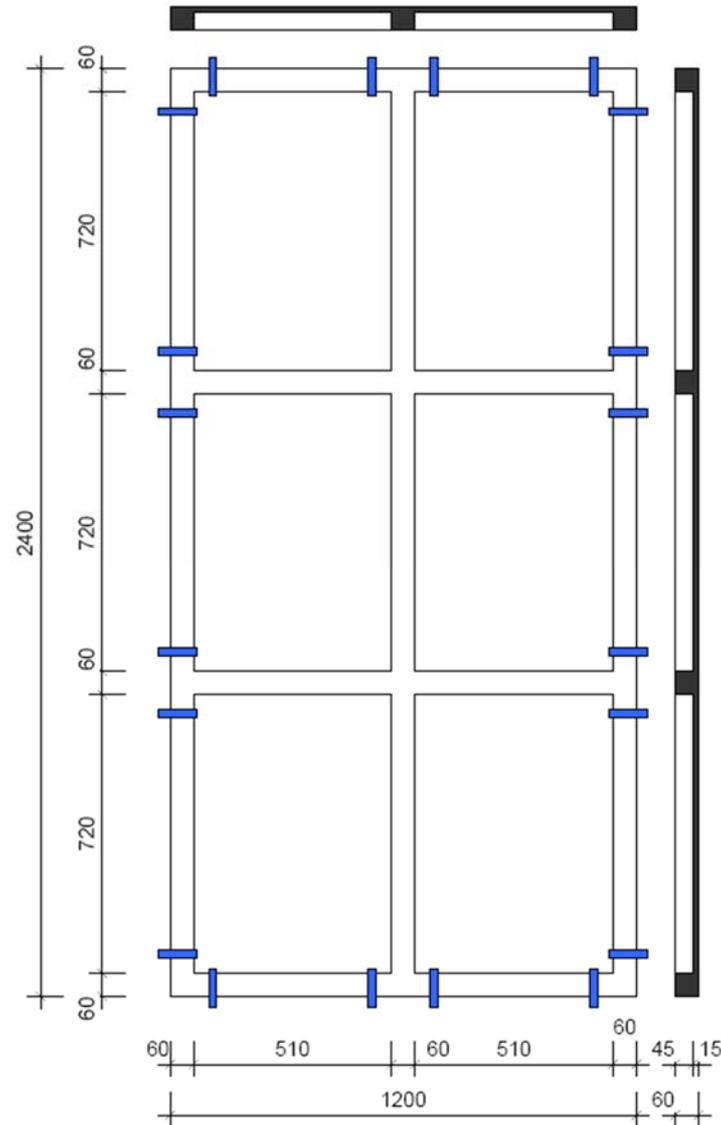


Abbildung 5.1: Dach- und Wandelement eines beispielhaften Modulsystems

Das konstruierte Modulsystem orientiert sich eng an dem von Herrn Faul entworfenen System (Abb. 5.1). Es besteht insgesamt nur aus zwei Bauteilen: einem flächigen, das sowohl als Dach- als auch als Wandelement verwendet wird (siehe Abbildung 5.1) und einem stabförmigen Koppелеlement (siehe Abb. 5.5).

Die Dach- und Wandelemente haben jeweils einen umlaufenden Rahmen und eine Längs- sowie zwei Querrippen mit jeweils den gleichen Abmessungen.

Verbunden werden sie mit insgesamt 20 Schrauben (siehe blaue Markierungen in Abb. 5.1): je zwei an den beiden Enden der drei Rippe und je zwei in den vier Ecken. Die Dicke des Elementspiegels beträgt 15 mm.

In den Wandebenen und der Dachebene werden die Elemente mittels Schrauben direkt mit einander verbunden (Abb. 5.5). An den Ecken werden Koppellemente (braun hinterlegt) angeordnet (ebenfalls Abb. 5.5).

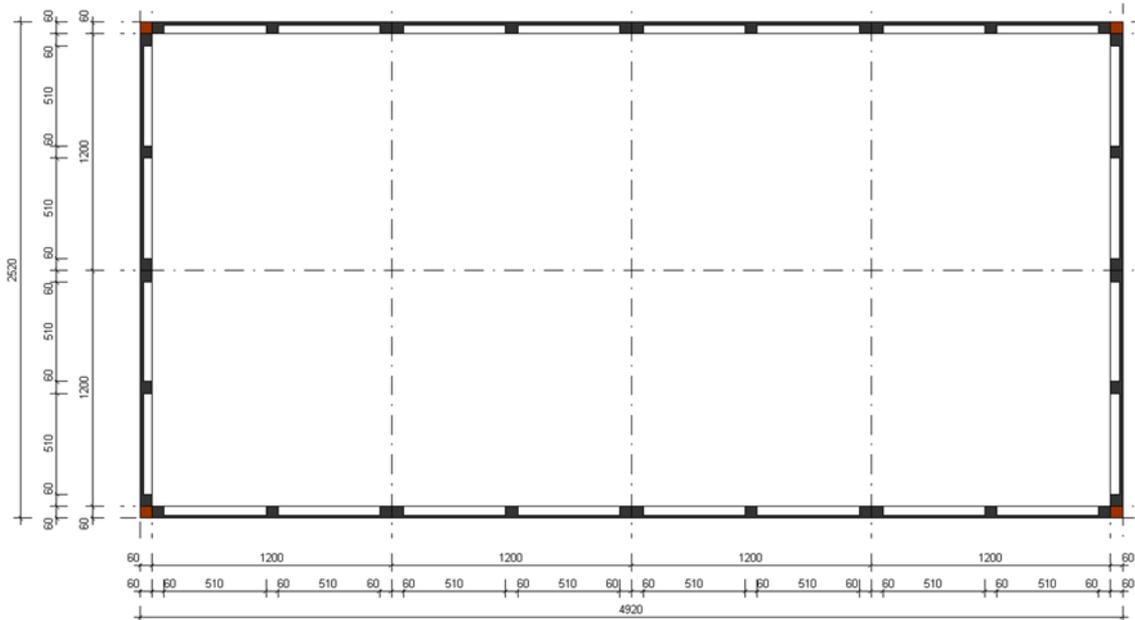


Abbildung 5.2: Grundriss des beispielhaften Modulsystems

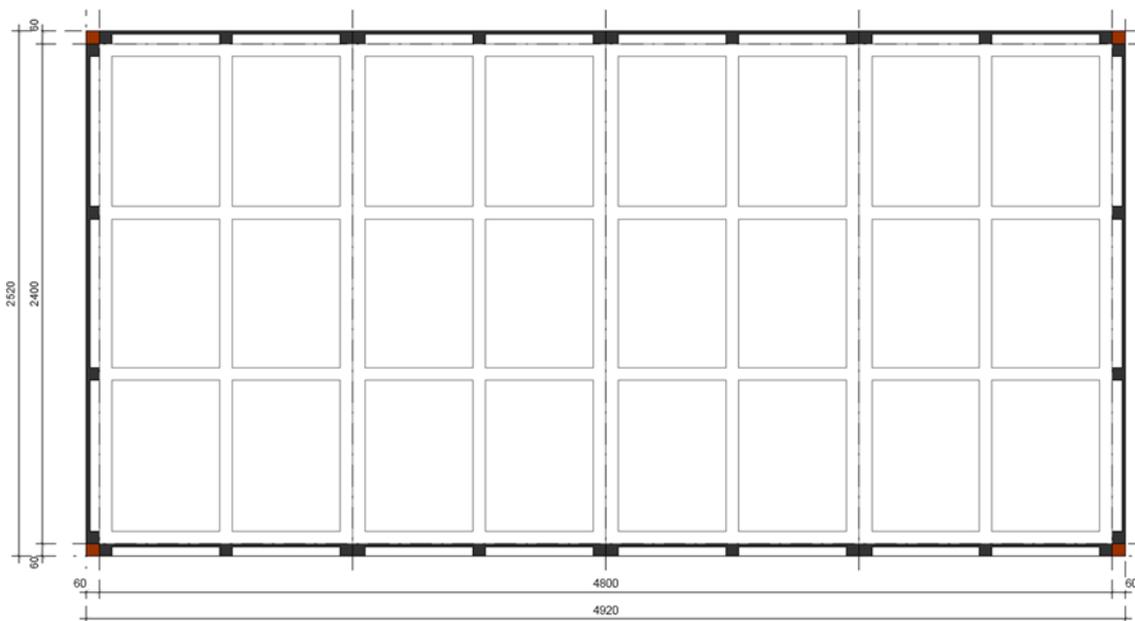


Abbildung 5.3: Längsschnitt des beispielhaften Modulsystems

Die Schrauben wirken als Scher-Lochleibungsverbindung und werden in M12 ausgeführt. Zwischen den einzelnen Betonbauteilen sollen Dichtungsbänder aus einem elastischen Material eingebaut werden, um zum einen Spannungskonzentrationen zu vermeiden und zum anderen, um die Stöße abzudichten (siehe Abb. 5.5).

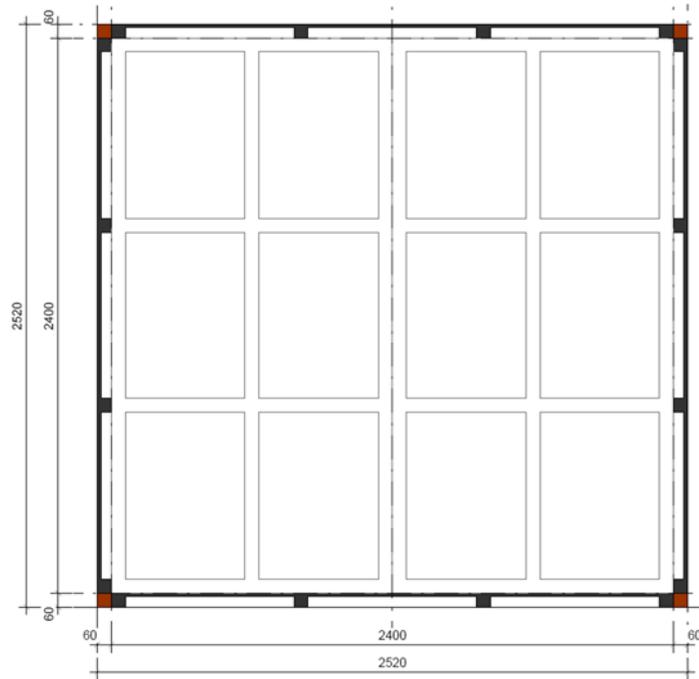


Abbildung 5.4: Querschnitt des beispielhaften Modulsystems

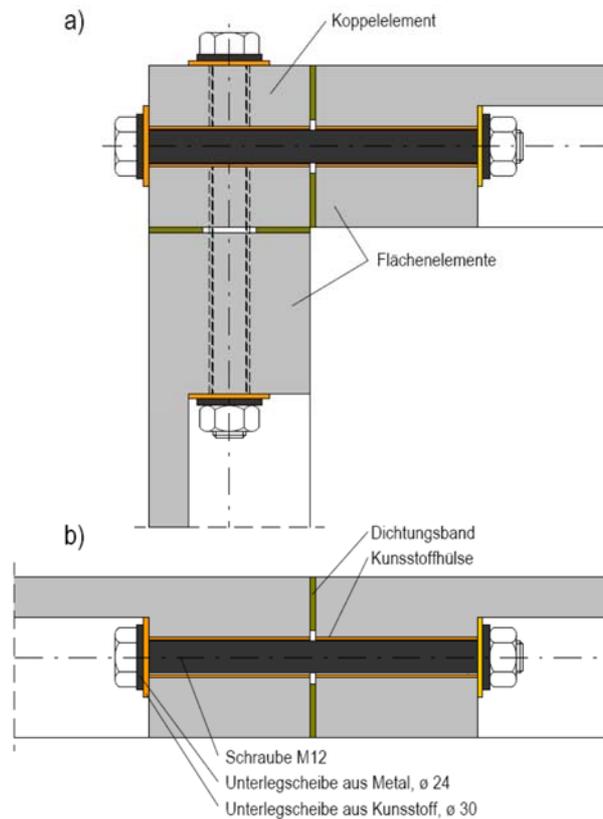


Abbildung 5.5: Gewählte Schraubverbindung: a) Eckverbindung mit Koppelement; b) direkte Verbindung der Elemente in der Ebene.

5.1.2 Ermittlung der Einwirkungen

Die Raumzellen werden für die folgenden Lasten ausgelegt:

- Eigenlasten
- Nutzlasten
- Windlasten
- Schneelasten

Zusätzlich kommen ggf. noch Lastfälle aus dem Transport und den Bauzuständen hinzu. Weiterhin sind je nach Einsatzgebiet auch Erdbebenlasten zu berücksichtigen. Temperaturlasten können aufgrund der kleinteiligen Bauteile und deren relativ nachgiebigen Verbindungen vernachlässigt werden.

Eigenlasten

Für die gewählten Dachelemente ergibt sich die Eigenlast zu:

Spiegel:	$1,2 \text{ m} * 2,4 \text{ m} * 0,015 \text{ m}$	$= 0,0432 \text{ m}^3$
Längsrippen:	$3 * 0,045 \text{ m} * 0,06 \text{ m} * 2,4 \text{ m}$	$= 0,0194 \text{ m}^3$
Querrrippen:	$4 * 0,045 \text{ m} * 0,06 \text{ m} * 1,02 \text{ m}$	$= 0,0110 \text{ m}^3$
Summe:		$= \mathbf{0,0774 \text{ m}^3}$
Eigenlast:	$0,0774 \text{ m}^3 * 25 \text{ kN/m}^2$	$= \mathbf{1,85 \text{ kN}}$
verschmiert:	$1,85 \text{ kN} / (1,2 \text{ m} * 2,4 \text{ m})$	$= 0,64 \text{ kN/m}^2$

Ein Element mit einer Fläche von $2,88 \text{ m}^2$ kann demnach mit rund 77 Litern Beton hergestellt werden.

Die Eigenlast würde der einer Platte mit einer konstanten Dicke von ca. 2,7 cm entsprechen.

Nutzlasten

Als Nutzlasten für die Raumzelle werden die Werte entsprechend der Kategorie A, Wohn- und Aufenthaltsräume gewählt. Dabei wird davon ausgegangen, dass infolge der dünnen Bauteile keine ausreichende Querverteilung der Lasten gewährleistet ist. Dementsprechend wird die Nutzlast auf dem Fußboden zu 2 kN/m^2 festgelegt (Kategorie A3).

Für das Dach wird eine Nutzlast entsprechend der Kategorie H von $0,75 \text{ kN/m}^2$ festgelegt. Außerdem soll eine Einzellast von 1 kN , wirkend auf einer Fläche von $5 \times 5 \text{ cm}$, aufgenommen werden können.

Schneelasten

Weil es möglich sein soll, die Raumzellen an allen möglichen Orten aufzubauen, wird in dem Beispiel von einer möglichst hohen Schneelast ausgegangen. Dementsprechend wird die Schneelastzone 3 gewählt und eine Aufstellort, der auf einer Höhe von $1000 \text{ m} \ddot{u}. \text{ NN}$ liegt. Mit den gewählten Gebäudeabmessungen ergibt sich für ein Flachdach eine Schneelast von rund $5,5 \text{ kN/m}^2$, was für die Raumzellen unverhältnismäßig hoch erscheint.

Als sinnvoller Wert werden 2 kN/m^2 erachtet, was einer Schneehöhe von etwa einem Meter entspricht. Würde sich andeuten, dass sich der Schnee auf dem Dach höher auftürmt, müsste das Dach geräumt werden.

Windlasten

Für die Ermittlung der Windlasten wird auch von einem denkbar ungünstigen Szenario ausgegangen. Gewählt wird die Windzone 4, was „Nordseeinseln“ entspricht. Mit den vorhandenen Gebäudeabmessungen ergeben sich für Wind auf die Längs- und Querseite die Windlasten nach Abbildung 5.6 und 5.7.

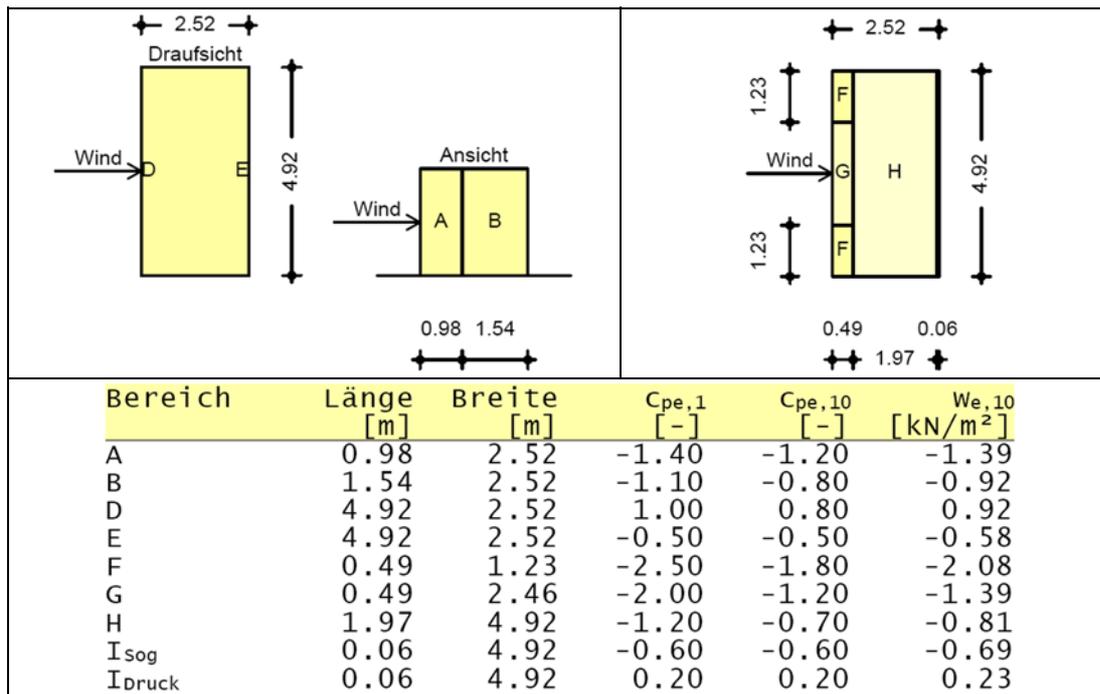


Abbildung 5.6: Ermittlung der Windlasten für Dach und Wand bei Wind auf der Längsseite

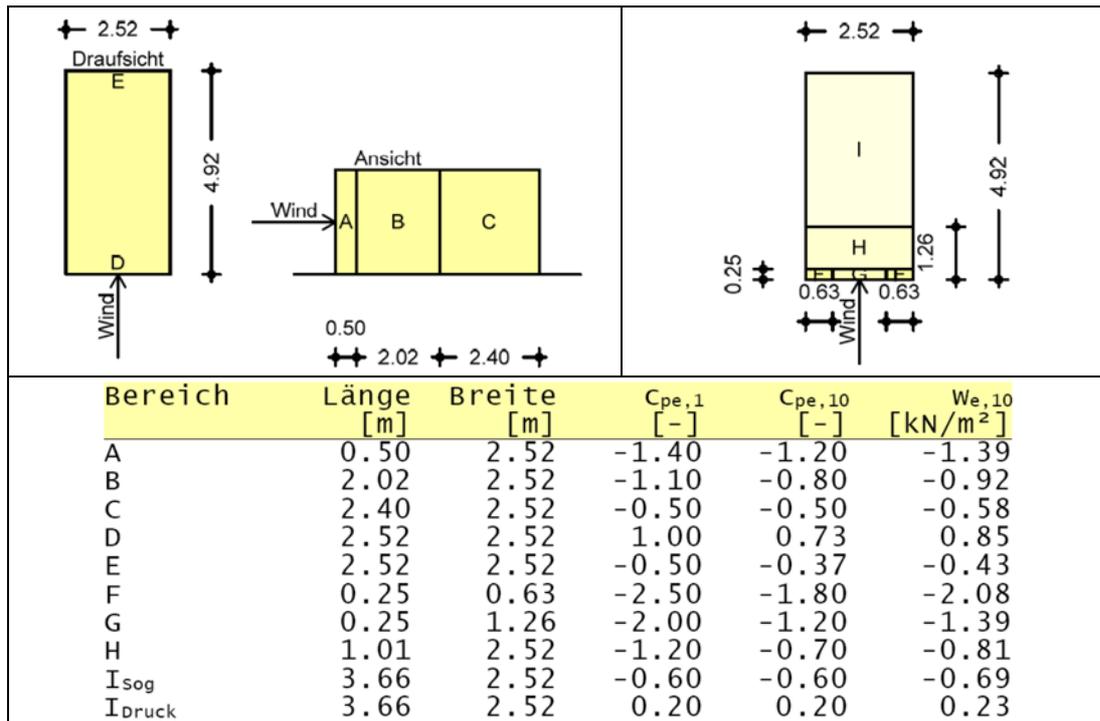


Abbildung 5.7: Ermittlung der Windlasten für Dach und Wand bei Wind auf der Querseite

5.1.3 Bemessung der Dachelemente

Bei den Dachelementen sind bezüglich der Lagerung zwei Fälle zu unterscheiden. Elemente, die jeweils auf den Längs- und Seitenwänden aufliegen und Elemente, die nur auf den Längswänden aufliegen. Letztere sind einachsig gespannt und erfahren die größten Biegemomente in Längsrichtung. Für diesen Fall erfolgt die nachfolgende Bemessung.

Als Material wird ein Beton der Festigkeitsklasse C90/105 mit den folgenden Kennwerten nach EC2 angenommen:

- $f_{cd} = 51 \text{ MN/m}^2$
- $E_{cm} = 44.000 \text{ MN/m}^2$
- $f_{ctk;0,05} = 3,5 \text{ MN/m}^2$

Als Bewehrung soll ein Betonstahl B500A zum Einsatz kommen.

- $f_{yd} = 435 \text{ MN/m}^2$
- $E_s = 200.000 \text{ MN/m}^2$

Die Belastungen wurden in dem vorangegangenen Kapitel ermittelt und sind nachfolgend zusammengefasst:

Eigenlast: 0,64 kN/m²,

Nutzlast: 0,75 kN/m², kleiner als Schneelast

Schneelast: 2,00 kN/m², größer als Nutzlast, maßgebend

Windlast: Winddruck vernachlässigt

Kombinationen:

$$\text{GZT:} \quad 1,35 * 0,64 + 1,5 * 2 = 3,86 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{GZG:} \quad 1,00 * 0,64 + 1,0 * 2 = 2,64 \text{ kN/m}^2$$

Das Dachelement wurde mit dem FE-Programm MicroFe von mbAEC modelliert. Das Programm ist in vielen Ingenieurbüros vorhanden und einfach zu bedienen.

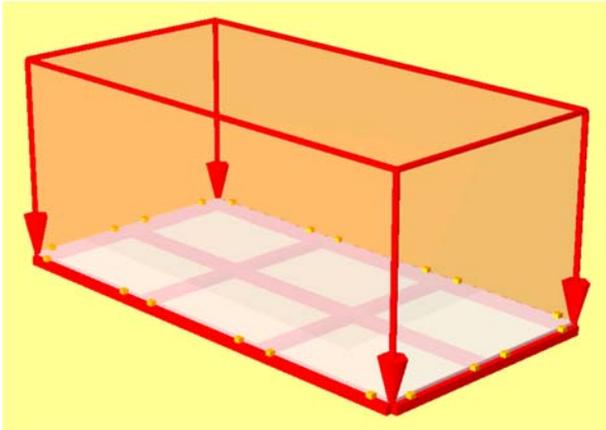


Abbildung 5.8: FE-Modell des Dachelements mit Belastung

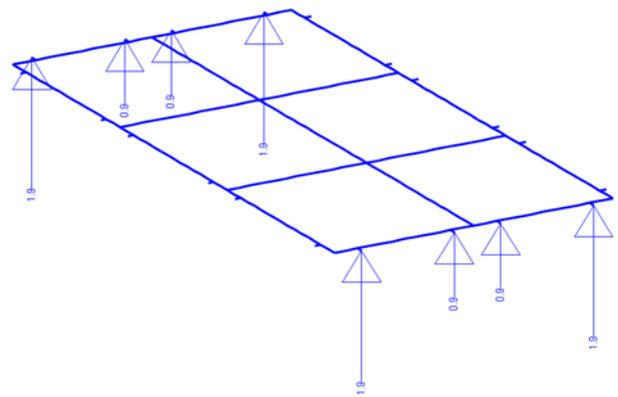


Abbildung 5.9: Auflagerkräfte aus der FE-Berechnung

Dabei wurde der Spiegel als Platte und die Rippen als Unterzüge abgebildet. Die Verbindungen sind als stählerne Stabelemente modelliert. In Abbildung 5.8 ist das FE-Modell dargestellt. Die verwendeten Materialien sind linear elastisch und die Berechnung erfolgt ebenfalls linear.

Aus der statischen Analyse ergeben sich die in Abbildung 5.9 dargestellten Auflagerkräfte. In der Summe sind dies:

$$4 * (1,9 + 0,9) = 11,3 \text{ kN.}$$

Eine Überprüfung erfolgt durch die Berechnung der resultierenden Last:

$$3,86 \text{ kN/m}^2 * 1,2 \text{ m} * 2,4 \text{ m} = 11,1 \text{ kN.}$$

Die Durchbiegung unter Gebrauchslast im Zustand I beträgt 4,5 mm (Abb. 5.10) und damit etwa 1/550-stel der Stützweite. Kriechen ist dabei nicht berücksichtigt. Selbst wenn sich die Durchbiegung infolge des Reißen des Betons und der Kriechverformungen verdoppeln oder verdreifachen würde, wäre dies noch akzeptabel.

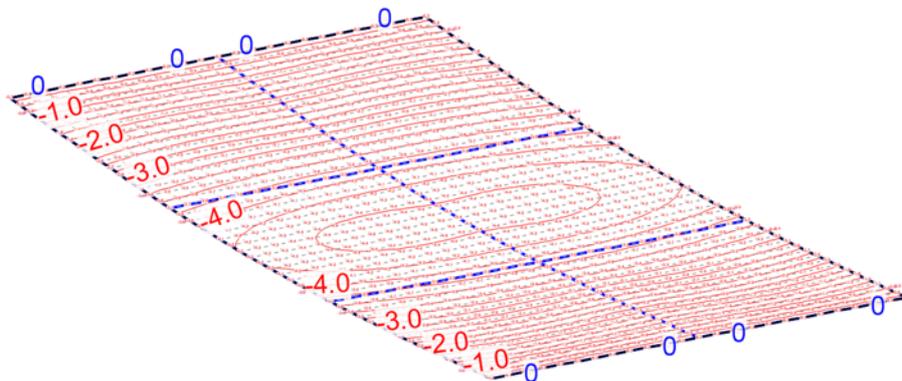


Abbildung 5.10: Verformungen unter Gebrauchslast im Zustand I: max. Durchbiegung: 4,5 mm

Die Haupttrandspannungen in den 1,5 cm dicken Spiegeln betragen im GZT etwa 4 MN/m² (Abb.5.11), was etwa der mittleren Zugfestigkeit des Betons entspricht. Unter Gebrauchslast liegen die maximalen Spannungen etwa bei 2,8 MN/m². Demnach ist davon auszugehen, dass die Bereiche in den Spiegeln zwar reißen können, aber durch die vorgesehene Mikrobewehrung und die ungerissene Druckzone dicht bleiben.

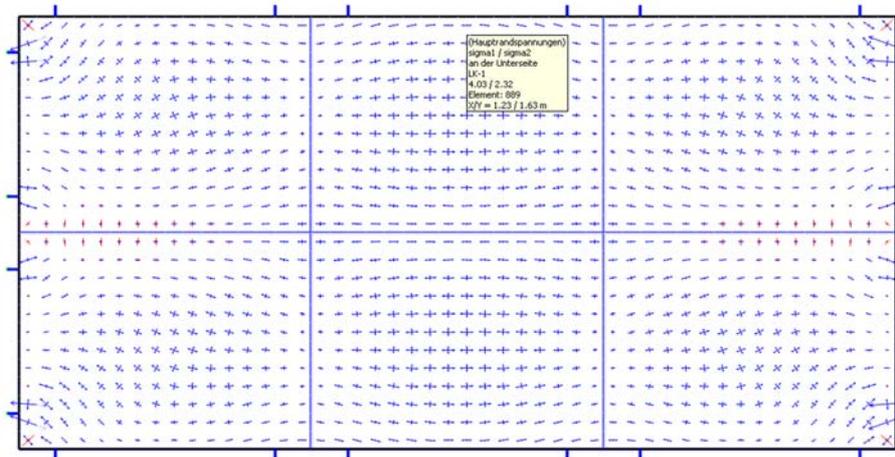


Abbildung 5.11: Hauptnormalspannungen der Spiegel auf der Unterseite im GZT

In Abbildung 5.12 sind die Biegemomente der Rippen im GZT dargestellt. Wie zu erwarten war, sind sie in der mittleren Längsrippe größer als in den beiden Randrippen. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich die Momente infolge des Reißens des Betons und der damit einhergehenden Steifigkeitsverminderung angleichen werden. Demnach wäre es genügend genau, mit gleich großen Biegemomenten zu bemessen. Der Lastabtrag über die Spiegel kann vernachlässigt werden.

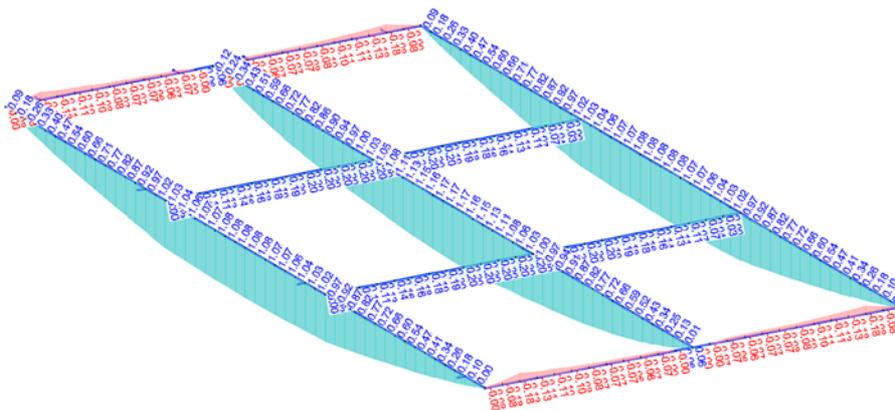


Abbildung 5.12: Biegemomente der Rippen

Aus der FE- Berechnung ergibt sich ein "Gesamtmoment" von:

$$1,08 \cdot 2 + 1,17 = 3,33 \text{ kNm}$$

Die Handrechnung ergibt:

$$M = q \cdot l^2 \cdot 1/8 = 3,86 \cdot 1,2 \cdot 2,46^2 \cdot 1/8 = 3,50 \text{ kNm}$$

Bezogen auf eine Rippe sind das:

$$3,5 / 3 = 1,17 \text{ kNm}$$

Bemessung

Nachfolgend werden die Rippen für dieses Moment bemessen. Der angenommene Querschnitt der Rippen ist in Abb. 5.13 dargestellt.

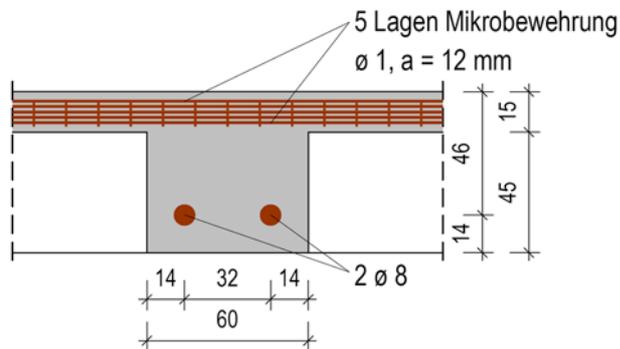


Abbildung 5.13: Gewählter Querschnitt der Rippen und Bewehrung

- Bemessungsmoment

$$M_{Eds} = 1,17 \text{ kNm}$$

- Mittragende Breite

volle Breite als mittragend anrechenbar:

$$b = b_{eff} = 6 + 51/2 = 31,5 \text{ cm}$$

- Erf. Bewehrung

$$\mu_{Eds} = 0,001 * 1,17 \text{ kNm} / (0,315 \text{ m} * 0,045^2 \text{ m}^2 * 51 \text{ MN/m}^2)$$

$$\mu_{Eds} = 0,001 * 1,17 \text{ kNm} / (0,0325 \text{ MN/m})$$

$$\mu_{Eds} = 0,036$$

$$A_{s1} = 1/435 \text{ MN/m}^2 * (0,041 * 0,315 \text{ m} * 0,045 \text{ m} * 51 \text{ MN/m}^2)$$

$$A_{s1} = 0,681 \text{ cm}^2$$

$$\text{Gewählt } 2 \text{ } \varnothing 8 \text{ mm} = 1,01 \text{ cm}^2$$

- „Umgekehrte Bemessung“: welches Moment kann mit 2 Ø 8 aufgenommen werden

$$\omega = 0,0001 * (1,01 \text{ cm}^2 * 435 \text{ MN/m}^2) / (0,315 \text{ m} * 0,045 \text{ m} * 51 \text{ MN/m}^2)$$

$$\omega = 0,0608$$

$$\mu_{Eds} \approx 0,059$$

$$M_{Eds} = 0,059 * 0,315 \text{ m} * 0,045^2 \text{ m}^2 * 51 \text{ MN/m}^2$$

$$M_{Eds} = 1,9 \text{ kNm}$$

- Welche Nutzlast kann mit 2 Ø 8 aufgenommen werden

$$\text{Bezogen auf ein Element: } 1,9 * 3 = 5,7 \text{ kNm}$$

$$p_{Ed} = 5,7 / 1,2 * 2,46^2 * 1/8 = 6,27 \text{ kNm}^2$$

$$q_k = (6,27 \text{ kNm}^2 - 1,35 * 0,64) / 1,5 = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

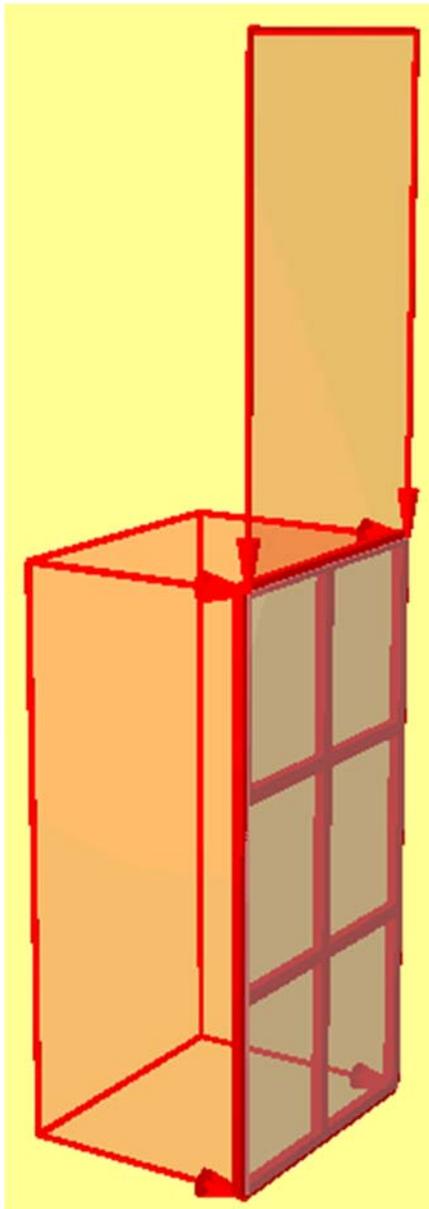
Zusammenfassung

Für die einzelnen Elemente lassen sich die Schnitt- und Auflagergrößen und damit auch die Kräfte in den Verbindungsmitteln in einem ersten Ansatz mit herkömmlichen FE-Programmen oder gar per Hand berechnen. Dabei ist von den Grenzfällen wie z.B. einachsig oder zweiachsig gespannt auszugehen.

Die Verformungen können für den Zustand I berechnet werden. Der Steifigkeitsabfall im Zustand II kann angenähert werden, indem der E-Modul reduziert wird; z.B. auf ein Drittel.

5.1.4 Bemessung der Wandelemente

Die Wandelemente haben die gleiche Geometrie wie die Dachelemente.



Die Auflagerkräfte der Dachelemente werden als Normalkräfte in die Wandelemente eingeleitet. Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Lasten als Linienlasten gleichmäßig verteilt einwirken.

Gesamtlast:

$$3,86 \text{ kN/m}^2 * 1,2 \text{ m} * 2,4 \text{ m} = 11,1 \text{ kN}$$

res. Linienlast:

$$11,1 \text{ kN} / 2 / 1,2 \text{ m} = 4,63 \text{ kN/m}$$

Windlast aus Abb. 12, Bereich A:

$$\approx 1,4 \text{ kN/m}^2 * 1,5 = 2,1 \text{ kN/m}^2$$

In Abbildung 5.14 ist das FE-Modell samt zugehöriger Belastung dargestellt.

Die Schnittgrößen werden nach Theorie 2. Ordnung ermittelt. Dazu werden die Steifigkeiten durch die Reduzierung des E-Moduls des Betons auf ein Drittel abgemindert.

$$44.000 \text{ MN/m}^2 / 3 = 14.666 \approx 15.000 \text{ MN/m}^2$$

In Abbildung 5.15 sind die Normalkräfte und die Biegemomente der Rippen sowie die zugehörigen Verformungen ausgegeben.

Abbildung 5.14: FE-Modell des Wandelements

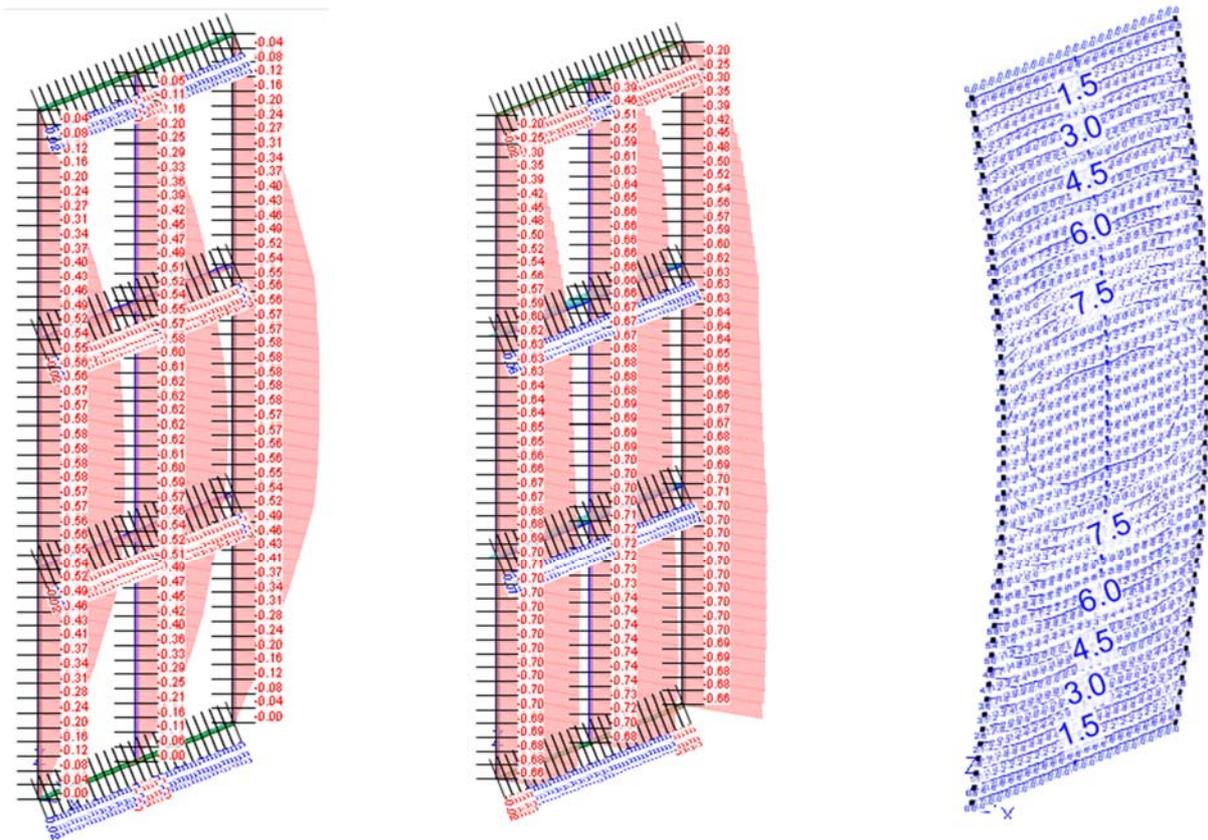


Abbildung 5.15: Ergebnisse der FE-Berechnung an einem Wandelement: a) Biegemomente der Rippen; b) Normalkräfte der Rippen; c) zugehörige Verformung

Nachfolgend wird für die Rippen des Wandelements eine Biegebemessung durchgeführt. Auf der sicheren Seite liegend wird dabei die Drucknormalkraft vernachlässigt. Durch die einwirkende Windsogkraft resultiert ein "negatives" Moment. Demnach liegt die Zugzone auf der Außenseite, d.h. in den Spiegeln.

- Biegebemessung für „negatives“ Moment

$$\mu_{Eds} = 0,001 * 0,62 \text{ kNm} / (0,06 \text{ m} * 0,05252 \text{ m}^2 * 51 \text{ MN/m}^2)$$

$$\mu_{Eds} = 0,001 * 0,62 \text{ kNm} / (0,0084 \text{ MN/m}) / 1000$$

$$\mu_{Eds} = 0,074$$

$$A_{s1} = 1/435 \text{ MN/m}^2 * (0,0836 * 0,06 \text{ m} * 0,0525 \text{ m} * 51 \text{ MN/m}^2)$$

$$A_{s1} = 0,309 \text{ cm}^2$$

Dieser Querschnitt entspricht 44 Drähten mit einem Durchmesser von einem Millimeter; vorausgesetzt, sie haben die gleiche Zugfestigkeit wie der Betonstahl. Wird die Bewehrung wie in Abb. 5.13 dargestellt gewählt, ist der erforderliche Bewehrungsquerschnitt bei einer 5-lagigen Mikrobewehrung in einem rund 10 cm breiten Streifen ($44/5 * 12 \text{ mm} = 106 \text{ mm}$) im unmittelbaren Rippenbereich vorhanden.

5.1.5 Betrachtungen am Gesamtsystem

Die wesentlichen Beanspruchungen für die Biegebemessung der Dach- und Wandelemente lassen sich zunächst an einzelnen Bauteilen ermitteln. Allerdings sind auch die zusätzlich, aus der räumlichen Tragwirkung resultierenden, Beanspruchungen zu berücksichtigen. Diese können vor allem für die Bemessung der Verbindungsmittel maßgebend werden. Zur Verdeutlichung des räumlichen Lastabtrags wird im Folgenden das Beispiel Winddruck (Bemessungswert: $2,1 \text{ kN/m}^2$) auf der Längsseite betrachtet. Dazu wird die gesamte Raumzelle bestehend aus 12 Wand und 4 Dachelementen samt der Verbindungsmittel modelliert (Abb. 5.16). Die Wand- und Dachelemente sind vereinfacht als ebene Scheiben- bzw. Plattenelemente mit einer konstanten Dicke von 3 cm abgebildet. Diese sind durch die Verbindungsmittel punktuell miteinander gekoppelt.

Um nur die Beanspruchungen infolge Wind zu erhalten, werden alle anderen Lasten, auch die Eigenlast, nicht angesetzt. Abbildung 5.17 zeigt die hieraus resultierenden Verformungen.

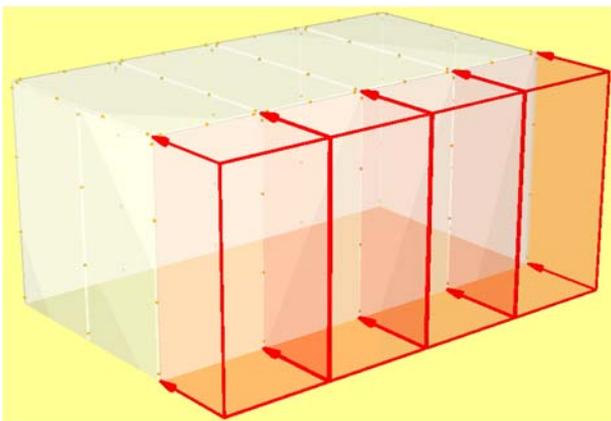


Abbildung 5.16: FE-Modell der gesamten Raumzelle mit horizontaler Windlast auf der Längsseite.

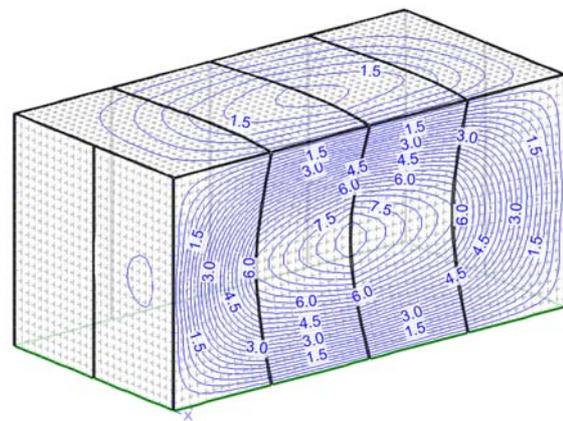


Abbildung 5.17: Verformungen in x-Richtung infolge der horizontalen Windlast auf der Längsseite.

In Abbildung 5.18 sind beispielhaft die vertikalen Auflagerkräfte an der Unterseite der Wandelemente dargestellt. Wie zu erwarten war, sind sie in den Ecken am größten. Die ausgegebenen Werte haben die Einheit kN/m . An den beiden äußeren Elementen auf der Vorderseite ist der Verlauf der Zugkräfte dreiecksförmig. Unter der Annahme eines Höchstwertes von etwa 10 kN/m und drei Verbindungsmitteln ergibt sich eine resultierende Zugkraft für das höchstbelastete in der Ecke von rund $3,3 \text{ kN}$ ($= (10 + 6,6)/2 \text{ kN/m} \cdot 0,4 \text{ m}$). Allerdings reduziert sich dieser Wert noch durch die nicht berücksichtigte Eigenlast.

Weiterhin wird deutlich, dass jeweils in den Stößen zwischen der beiden Wandelementen auf den Stirnseiten Schubkräfte auftreten werden und Verschiebungen stattfinden.

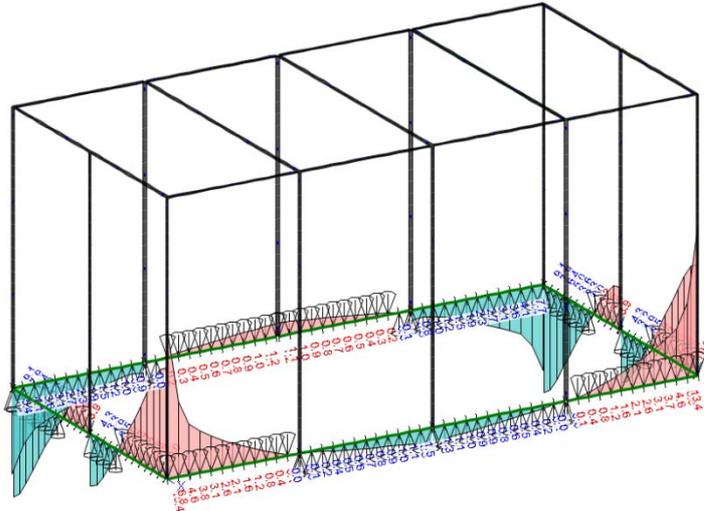


Abbildung 5.18: Bemessungswerte der vertikale Auflagerkräfte [kN/m] resultierend aus der horizontalen Windlast

Die Abbildungen 5.19 und 5.20 zeigen die Normal- bzw. Querkräfte in den Verbindungselementen. Die Druck und Zugkräfte in den Dachelementen, die jeweils zu den Längsseiten hin zunehmen, verdeutlichen die Scheibenbeanspruchung im Dach.

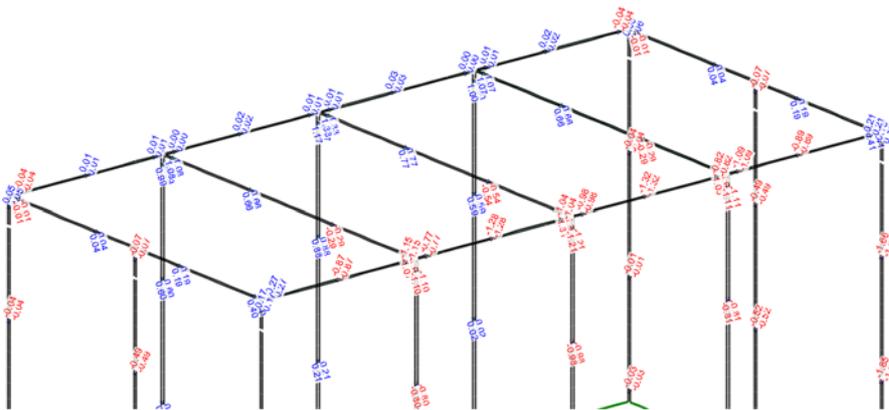


Abbildung 5.19: Bemessungswerte der Normalkräfte in den Verbindungselementen [kN]

Die Querkräfte in Abbildungen 5.20 verdeutlichen den Abtrag der horizontalen Windlasten über das Dach in die Querwände.

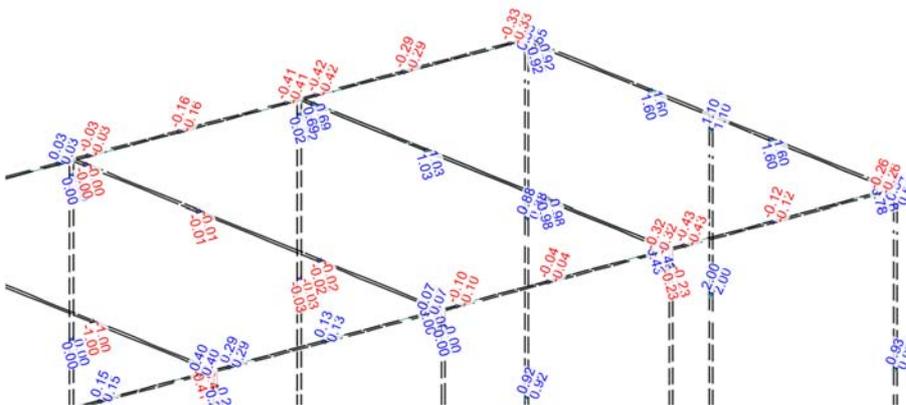


Abbildung 5.20: Bemessungswerte der Querkräfte in Querrichtung in den Verbindungselementen [kN]

Letztendlich müssen alle Elemente und Verbindungsmittel so bemessen werden, dass sie an jeder Stelle im Gesamtsystem eingebaut werden können. Die Kräfte pro Verbindungselement – egal in welche Richtung – liegen für diese einfache System in einer Größenordnung unter 3 kN. Auch bei andere Varianten sollten die Kräfte in dieser Größenordnung liegen. Um dies zu gewährleisten, kann entweder die Anzahl der Verbindungsmittel entsprechend angepasst werden oder das Gesamtsystem.

5.2 Numerische Untersuchung dreier Raumzellenvarianten nach dem System Bayer/Schluppkotten

5.2.1 Vorbemerkung

Nachfolgend werden drei Raumzellenvarianten numerisch untersucht. Dazu werden zunächst die Querschnitts- und Materialkennwerte für die einzelnen Bauteile ermittelt. Anschließend erfolgt die Berechnung der Einwirkungen nach den entsprechenden Vorschriften. Die Raumzellenvarianten werden als 3-D-Modelle in dem Programm MicoFe abgebildet und berechnet. Abschließend werden die Beanspruchungen der Verbindungsmittel zusammengefasst.

Der Übersichtlichkeit halber, werden die Schnee-, Wind- und Nutzlasten zunächst mit dem Wert „1“ angesetzt und im Nachgang für die einzelnen Lastkombinationen mit den entsprechenden Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten multipliziert.

5.2.2 Materialien

Als Material wird wie bei der Vorbemessung auch ein Beton der Festigkeitsklasse C90/105 mit den folgenden Kennwerten nach EC2 angenommen:

- $f_{cd} = 51 \text{ MN/m}^2$
- $E_{cm} = 44.000 \text{ MN/m}^2$
- $f_{ctk;0,05} = 3,5 \text{ MN/m}^2$

Als Bewehrung soll ein Betonstahl B500A zum Einsatz kommen.

- $f_{yd} = 435 \text{ MN/m}^2$
- $E_s = 200.000 \text{ MN/m}^2$

5.2.3 Modellbildung

Die Raumzellen bestehen wie eingangs beschrieben aus Wand- und Dachelementen sowie Träger, Schwellbalken, Stützen mit Köchern und Verbindungsmitteln. Diese Elemente und deren Koppelung werden in dem FE-Modell entsprechend abgebildet.

In Abbildung 5.21 ist das FE-Modell der Variante 1 dargestellt.

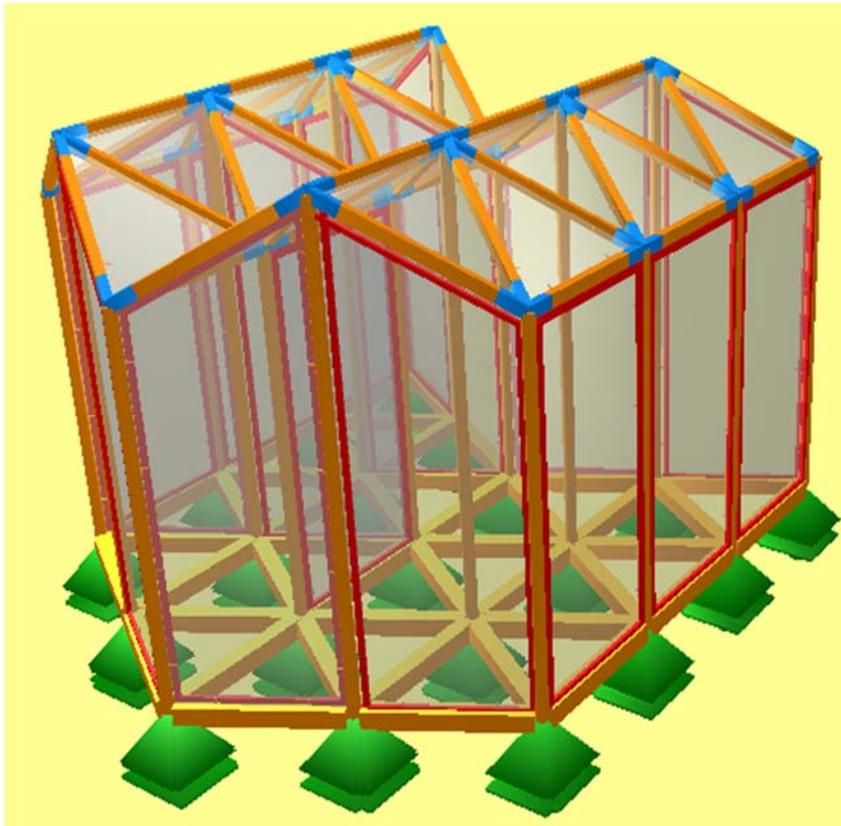


Abbildung 5.21: FE-Modell der Variante 1 mit Lagerung

Die Köcher werden als dreiwertige (unverschiebliche), gelenkige Auflager angenommen. Die Schwellbalken, die direkt auf dem Boden aufgelagert sind, sind in vertikaler Richtung linienförmig gelagert und horizontal verschieblich.

Die Bodenplattenelemente werden in diesem Modell nicht abgebildet. Sie tragen nur die unmittelbar auf sie wirkenden vertikalen Lasten ab und sind für die Ermittlung der Kräfte in den Verbindungselementen nicht von Bedeutung.

5.2.4 Stütze

Die sechseckige Stütze besteht aus einem betonummantelten Stahlrohr ($d_a = 48,3 \text{ mm}$, $t = 2,6 \text{ mm}$) mit den in Bild 5.22 dargestellten Querschnittsabmessungen.

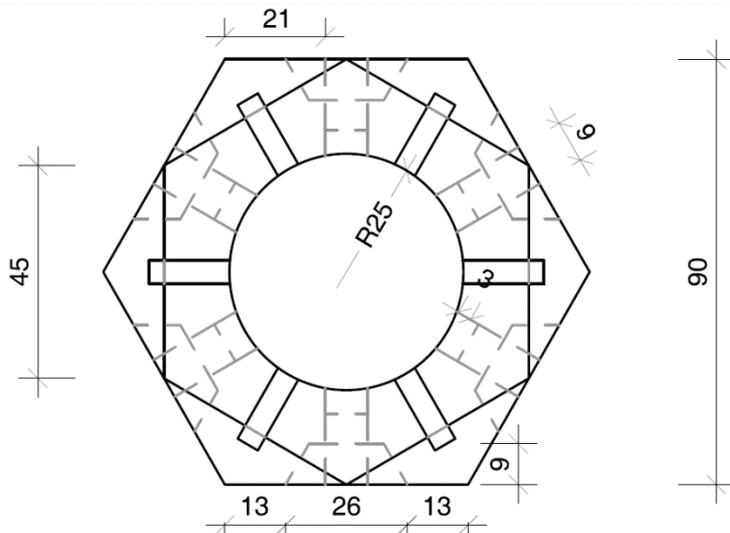


Abbildung 5.22: Abmessungen des Stützenquerschnitts (Modulsystem B/S)

Da sich mit dem FE-Modell nur runde oder rechteckige Betonquerschnitte abbilden lassen, werden die folgenden Vereinfachungen getroffen: das Stahlrohr wird nicht berücksichtigt, stattdessen wird der Betonquerschnitt als massiver Kreisquerschnitt mit einem Durchmesser von 92,8 mm angenommen. Damit stimmt das Flächenträgheitsmoment mit dem des Betonquerschnitts (mit Aussparung) überein. Die Querschnittsfläche ist zwar etwa um ein Drittel höher, was aber für die Betrachtungen unerheblich ist.

5.2.5 Schwellbalken

Der Querschnitt des Schwellbalkens besteht aus einem Rechteck mit den Abmessungen $b/h = 135/120 \text{ mm}$ und zwei dreieckigen Aussparungen ($b/h = 22,5/45 \text{ mm}$) in den oberen Ecken (vgl. Abb. 5.23).

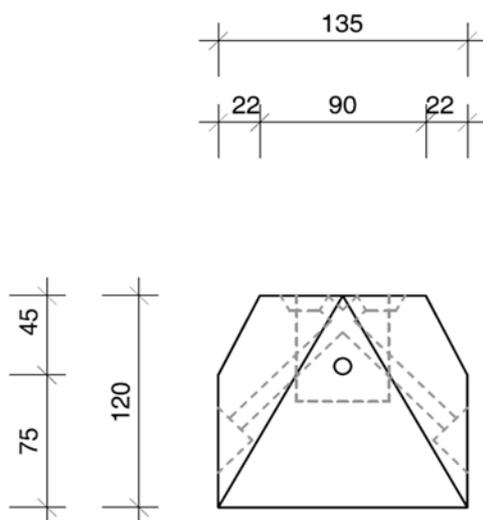


Abbildung 5.23: Querschnitt des Schwellbalkens

Dieser Querschnitt wird zu einem Rechteckquerschnitt mit $b/h = 12,9/11,8$ cm vereinfacht, für den die Querschnittswerte nahezu identisch sind.

5.2.6 Träger

Der Träger zwischen den Dachelementen hat einen fünfeckigen Querschnitt (siehe Abb. 5.24).

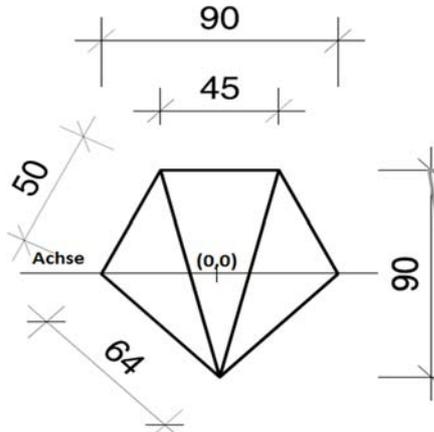


Abbildung 5.24: Querschnitt des Trägers

Auch dieser Querschnitt wird zu einem Rechteck mit den Abmessungen $b/h = 63,7/79,5$ mm vereinfacht, für den die Querschnittswerte wieder annähernd denen des Originalquerschnitts entsprechen.

5.2.7 Wände

Die Wandelemente haben je nach Position unterschiedliche Abmessungen ($W1$, $W2$, $W3$). Sie sind aber alle 15 mm dick und haben einen umlaufenden Rahmen. Die Wände sind punktförmig mit den anderen Elementen verbunden. Die Position der Verbindungen wird den Originalwandelementen entsprechend übernommen.

Die Wände haben die folgenden Abmessungen:

- $W1$: 1185 x 3069 x 15 mm
- $W2$: 1185 x 2444 x 15 mm
- $W3a-b$: 1185 x 3035 (und 2444) x 15 mm

Diese Wände wurden mit ihrer Dicke unter Berücksichtigung der Abmessungen von Stützen und Träger (50 mm von Stützenschwerachse und 40 mm von Balkenachse) eingegeben, um eine direkte Verbindung zwischen Wand und Stütze oder Wand und Träger zu vermeiden. Dadurch werden alle Kräfte nur über die vorgesehenen Verbindungen übertragen. Der umlaufende Rand wird als Unterzug für die Wände eingegeben.

Der Rahmen ist trapezförmig und hat je nach Lage unterschiedliche Abmessungen, die Höhe ist immer ca. 3 cm. Auch er wird zu den folgenden Rechteckquerschnitten vereinfacht:

- Seitlich: $b/h = 40,4/29,7$ mm
- Unten: $b/h = 35,1/29,9$ mm
- Oben: $b/h = 57/28,9$ mm

5.2.8 Deckenelemente

Die dreiecksförmigen Deckenelemente haben – projiziert auf den Grundriss – eine Seitenlänge von 1,25 m. Durch ihre Neigung ergeben sich entsprechend andere Abmessungen. Die Dicke der Dachelemente variiert zwischen 11 und 14 mm. Auch die Dachelemente sind mit einem umlaufenden Rahmen versehen. Für das FE-Modell wird die Deckendicke wie für die Wandelemente mit 15 mm eingegeben. Diese höhere Dicke macht die Decke steifer, daher wird auf die Rippen verzichtet.

Die Deckenelemente sind mit jeweils 2 Verbindungen pro Seite auf den Trägern punktförmig gelagert. Der Abstand der Verbindungen beträgt auf den Grundriss projiziertem 312,5 mm vom Rand und 62,5 mm zwischen den 2 Verbindungen.

5.2.9 Verbindungen

Die Schraubverbindungen werden an den entsprechenden Stellen als runde Stahlstäbe mit einem Durchmesser von 12 mm eingegeben.

5.2.10 Lastannahmen

Eigenlast

Zur Ermittlung der Eigenlast wird von einer 1,5 cm dicken Platte ausgegangen und die Wichte des Betons mit 25 kN/m^3 angenommen. Die Eigenlast der umlaufenden Rippen wird bei der Eigenlast der Platten mitberücksichtigt. Demnach berechnet sich die Eigenlast eines Wandelements mit den Abmessungen von 1,2 x 2,4 m wie folgt:

Spiegel:	$1,2 \text{ m} * 2,4 \text{ m} * 0,015 \text{ m}$	$= 0,0432 \text{ m}^3$
Längsrippen:	$3 * 0,045 \text{ m} * 0,06 \text{ m} * 2,4 \text{ m}$	$= 0,0194 \text{ m}^3$
Querrippen:	$4 * 0,045 \text{ m} * 0,06 \text{ m} * 1,02 \text{ m}$	$= 0,0110 \text{ m}^3$
Summe:		$= 0,0774 \text{ m}^3$
Eigenlast:	$0,0774 \text{ m}^3 * 25 \text{ kN/m}^3$	$= 1,85 \text{ kN}$
verschmiert:	$1,85 \text{ kN} / (1,2 \text{ m} * 2,4 \text{ m})$	$= 0,6 \text{ kN/m}^2$

Die charakteristische Eigenlast g_k wird mit $= 0,6 \text{ kN/m}^2$ angesetzt.

Windlasten

Zur Ermittlung der Windlasten wird auf der sicheren Seite liegend von Windzone 4 (Nordsee) ausgegangen.

Nach DIN EN 1991-1-4: 2010-12 wird hierfür ein Geschwindigkeitsdruck q_b von $= 1,15 \text{ kN/m}^2$ angesetzt. Je nach Größe und Lage der Fläche ist dieser Wert mit dem Druckbeiwert zu multiplizieren.

Schneelasten

Hier werden die gleichen Annahmen getroffen wie eingangs: die Schneelast wird mit 2 kN/m^2 angenommen.

Nutzlasten

Für das Dach wird eine Nutzlast entsprechend der Kategorie H von $0,75 \text{ kN/m}^2$ festgelegt, was für Deutschland nach DIN EN 1990/NA:2010-12 nicht nötig wäre. Außerdem soll eine Einzelast von 1 kN , wirkend auf einer Fläche von $5 \times 5 \text{ cm}$, aufgenommen werden können. Diese

Einzellast wirkt im ungünstigsten Fall auf ein einzelnes Verbindungselement. Zur Vereinfachung wird die Einzellast nicht im Modell berücksichtigt sondern für die entsprechenden Verbindungselemente nachträglich addiert.

5.2.11 Lastzusammenstellung und Lastkombinationen

Zur Ermittlung der Beanspruchungen werden die folgenden Lasten angesetzt:

Eigengewicht: $g_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$

Windlast: w_k ermittelt aus $q_b = 1,15 \text{ kN/m}^2$

Schneelast: $s_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Nutzlast: $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Personenlast: $Q_k = 1 \text{ kN}$

Die Beanspruchungen werden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ermittelt unter ständiger und vorübergehender Beanspruchung. Demnach ergibt sich die folgende Einwirkungskombination:

$$E_d = 1,35 * E_{gk} + 1,5 * E_{Sk} + 1,5 * 0,6 * E_{wk} + 1,5 * 0,7 * E_{qk} + 1,5 * 0,7 * E_{Qk}$$

Wobei 0,6 und 0,7 die Kombinationsbeiwerte ψ_0 für Wind bzw. Verkehrslast sind und 1,35 und 1,5 die Sicherheitsbeiwerte für ständige bzw. veränderliche Einwirkungen.

In dem FE-Modell werden die Beanspruchungen der Verbindungsmittel für jeden Lastfall einzeln ermittelt. Dabei wird die jeweils einwirkende Last zu 1 kN/m^2 gesetzt.

Die jeweiligen Werte werden aus dem Modell ausgelesen und in eine Excel-Tabelle übertragen. Dort können sie dann mit dem Wert ihrer wahren Größe multipliziert werden. Anschließend können für die einzelnen Einwirkungskombinationen die Bemessungswerte berechnet werden.

Zu beachten ist, dass die Personenlast, nur in eine Richtung (nach unten, 1-Richtung) wirkt. Sie wird nur auf Dach, Träger und Schwellbalken angesetzt.

5.2.12 Geometrien der drei verschiedenen Varianten

Variante 1

In Abbildung 5.25 ist die Visualisierung der Raumzellenvariante 1 dargestellt.



Abbildung 1.25: Visualisierung der Raumzellenvariante 1

Die Abbildungen 5.25 und 5.26 zeigen den Grundriss bzw. einen Schnitt.

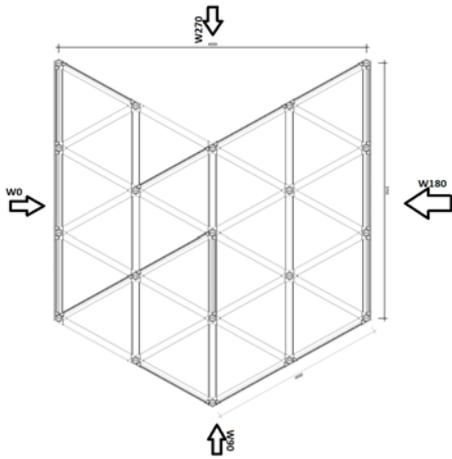


Abbildung 5.26: Grundriss der Raumzellenvariante 1 mit den vier Windrichtungen

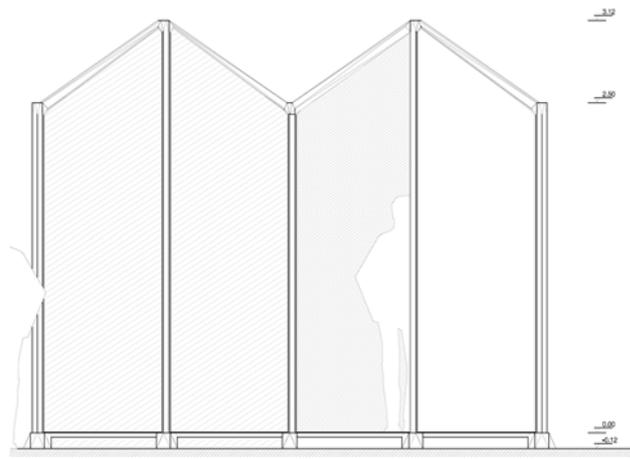


Abbildung 5.27: Schnitt durch die Raumzellenvariante 1

Variante 2

In Abbildung 5.28 ist die Visualisierung der Raumzellenvariante 2 dargestellt.

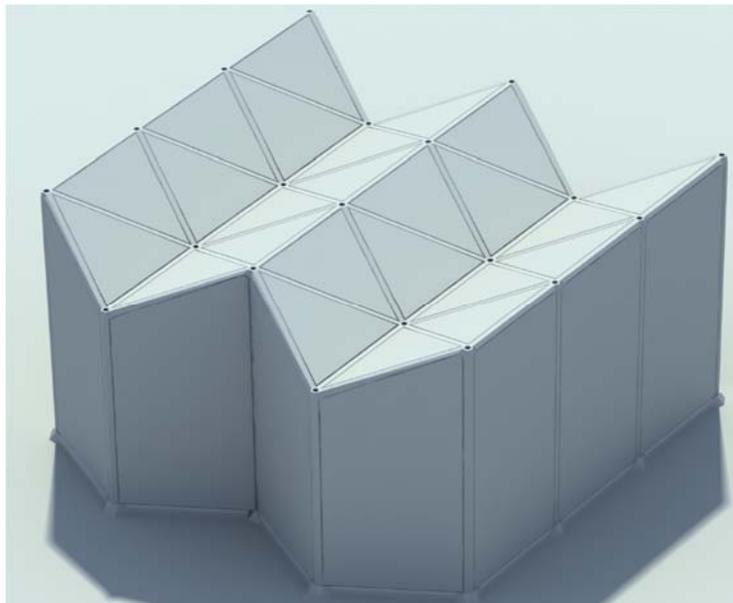


Abbildung 2.28: Visualisierung der Raumzellenvariante 2

Die Abbildungen 5.29 und 5.30 zeigen den Grundriss bzw. einen Schnitt.

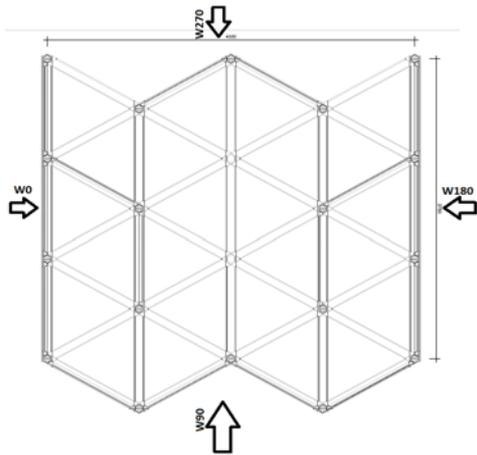


Abbildung 5.29: Grundriss der Raumzellenvariante 2 mit den vier Windrichtungen

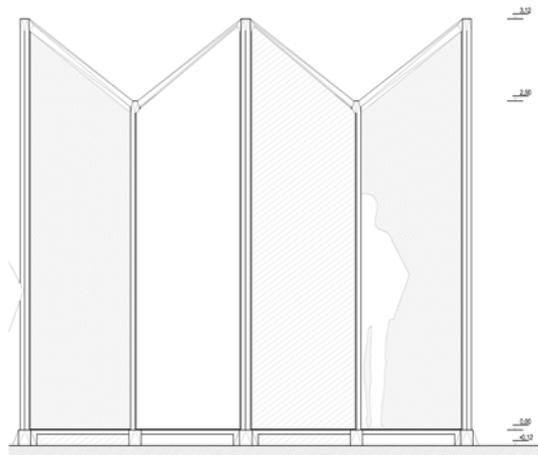


Abbildung 5.30: Schnitt durch die Raumzellenvariante 2

Variante 3

In Abbildung 5.31 ist die Visualisierung der Raumzellenvariante 3 dargestellt.



Abbildung 3.31: Visualisierung der Raumzellenvariante 3

Die Abbildungen 5.32 und 5.33 zeigen den Grundriss bzw. einen Schnitt.

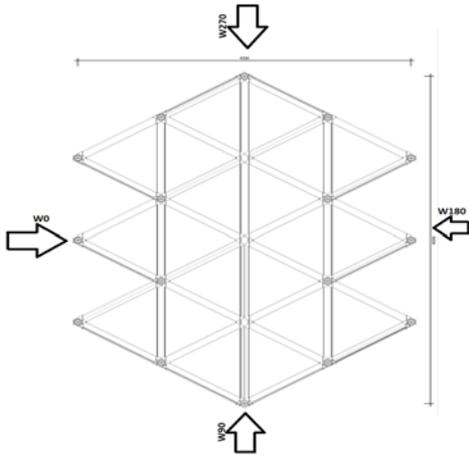


Abbildung 5.32: Grundriss der Raumzellenvariante 3 mit den vier Windrichtungen

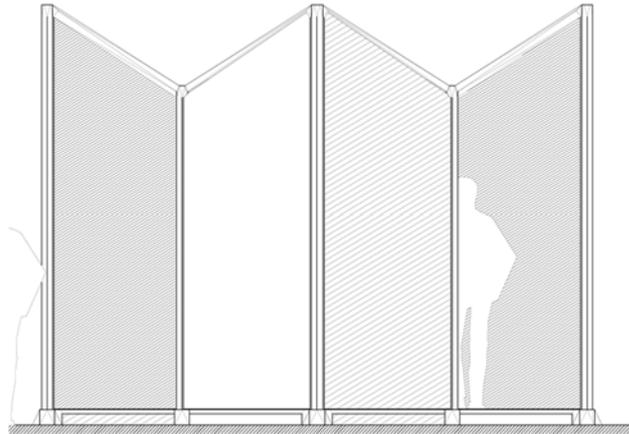


Abbildung 5.33: Schnitt durch die Raumzellenvariante 3

5.2.13 Ergebnisse der numerischen Untersuchungen für Variante 1

In Abbildung 5.34 ist das FE-Modell der Variante 1 abgebildet. Die Momentengelenke der Knoten der Dachbalken sind blau markiert, die roten Balken zeigen die umlaufenden Rippen. Die runden kleinen Stäbe sind die Stahlprofile, die die Verbindungselemente abbilden. Die Träger und Schwellbalken sind orange dargestellt. Die Stützen sind unten unverschieblich und gelenkig gelagert. Die betreffenden Auflager sind grün markiert. Die vertikalen Linienauflager der Schwellbalken lassen sich in dieser Einstellung nicht anzeigen, sie sind aber in Abbildung 5.35 zu sehen und dort grün dargestellt.

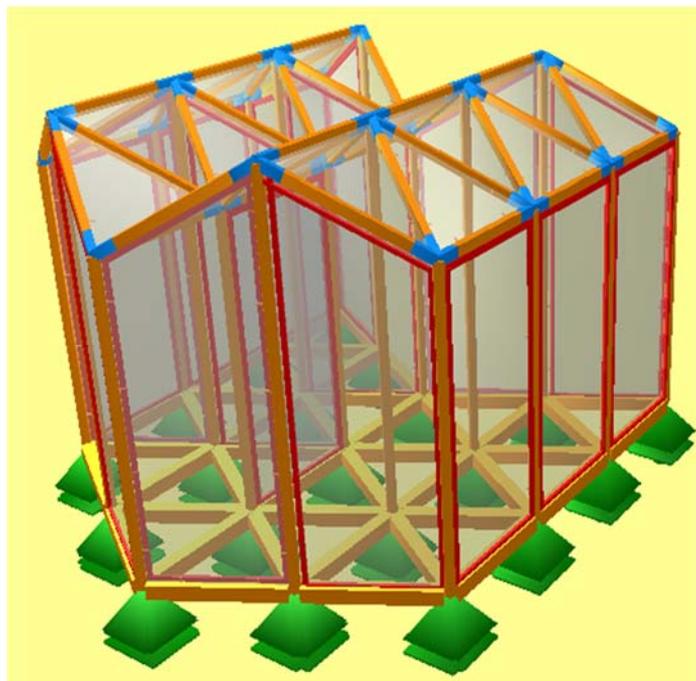


Abbildung5.34: FE-Modell der Variante 1 ohne Lasten

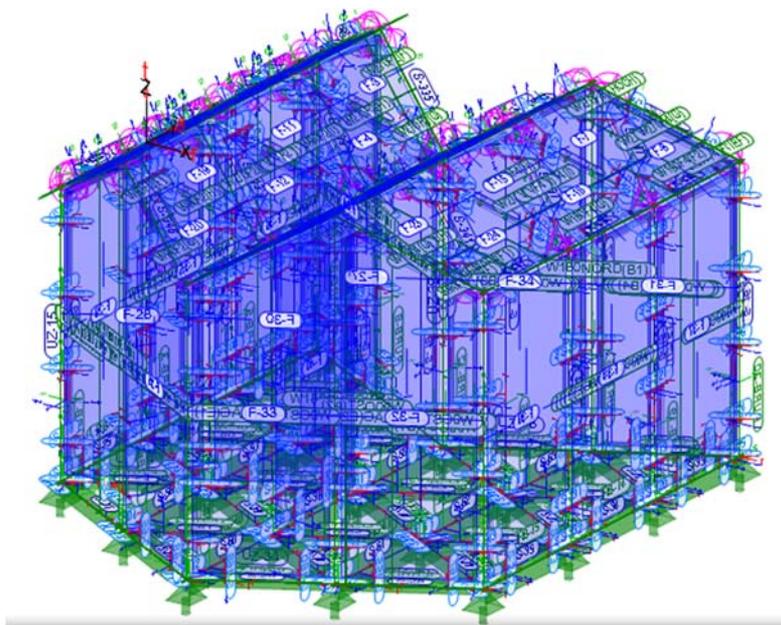


Abbildung 5.35: FE-Modell der Variante 1 mit Bezeichnung der einzelnen Elemente

Nach der Eingabe des Systems wurden die Lasten aufgegeben. Abbildung 5.36 zeigt ein entsprechendes Beispiel.

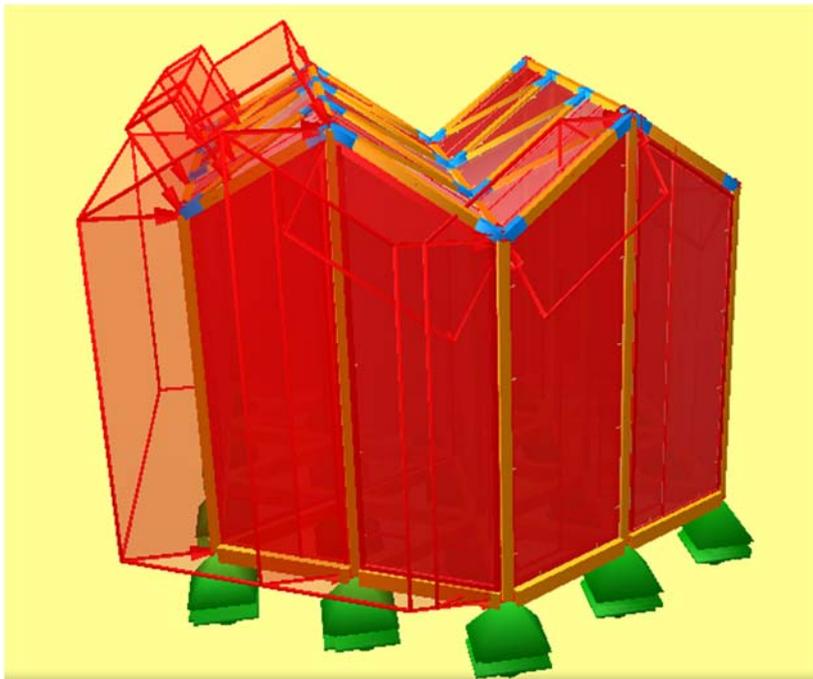


Abbildung 5.36: FE-Modell der Variante 1 mit normierter Windlast (W_0)

Die einzelnen Lastfälle sind wie folgt bezeichnet:

Vi-1X

Hierbei bedeutet „V“ Variante und i ist die jeweilige Variantenummer, z.B. 1, 2 oder 3.

Die „1“ steht für die normierte Last von 1 kN/m².

X bezeichnet schließlich die Art der Last und ihre Richtung.

Folgende Lastfälle wurden untersucht:

- Vi-1V** Variante i mit normierter Last in Vertikalrichtung
- Vi-W0D** Variante i mit normierter Windlast W0 bei Druck auf der Dachlufseite (hier ist eine Unterscheidung zwischen dieser und der nächsten Variante notwendig, weil bei der vorhandenen Dachneigung, die Windlast auf die Dachfläche sowohl als Druck „D“ als auch als Sog „S“ anzusetzen ist)
- Vi-W0S** Variante i mit normierter Windlast W0 bei Sog auf der Dachlufseite
- Vi-W180D** Variante i mit normierter Windlast W180 bei Druck auf der Dachlufseite (hier ist die oben beschriebene Unterscheidung ebenfalls vorzunehmen)
- Vi-W180S** Variante i mit normierter Windlast W180 bei Sog auf der Dachlufseite
- Vi-W90** Variante i mit normierter Windlast W90
- Vi-V270** Variante i mit normierter Windlast W270

Jeder Lastfall wird getrennt berechnet. Eine erste Plausibilitätskontrolle lässt sich anhand der Verformungen durchführen. Wurden die zu erwarteten maximalen Verformungen nicht erreicht, wurde kontrolliert, ob die Last mit den richtigen Werten und Vorzeichen eingegeben wurde.

Abbildung 5.37 zeigt die Verformungsfigur aus V1-W0D als Netz, während Abbildung 5.38 einen Ausschnitt aus der Animation beim gleichen Lastfall zeigt.

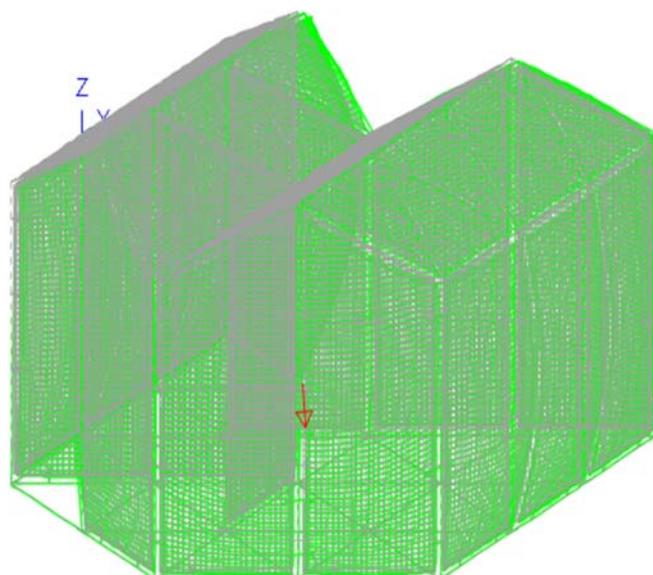


Abbildung 5.37: Verformungsfigur für den Lastfall V1-W0D als Netz

Der rote Pfeil markiert die Stelle der maximalen Verformung.

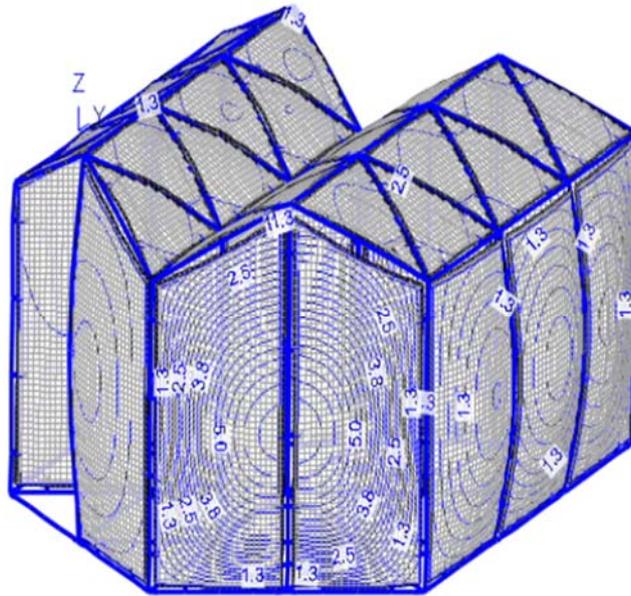


Abbildung 5.38: Ausschnitt aus der Animation für den Lastfall V1-W0D mit Isolinien

Nach der Plausibilitätskontrolle wurden die Schnittgrößen für die Verbindungselemente ausgegeben und in die entsprechenden Excel-Tabellen eingelesen. Anschließend wurden die maßgebenden Schnittgrößen herausgefiltert.

In Anhang C sind für alle drei Modulvarianten die entsprechenden Schnittgrößen zusammengestellt.

5.2.14 Ergebnisse der numerischen Untersuchungen für Variante 2

Mit der gleichen Vorgehensweise wurden auch Varianten 2 untersucht. Nachfolgen sind nur die Abbildungen gezeigt. Die Ergebnisse sind in tabellarischer Form in Anhang C zusammengefasst.

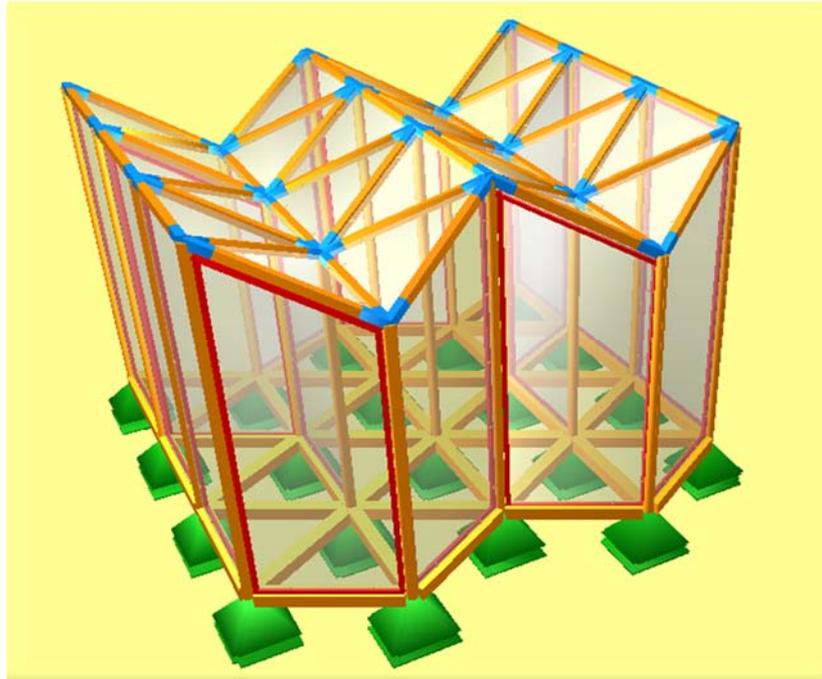


Abbildung 5.39: FE-Modell der Variante 2 ohne Lasten

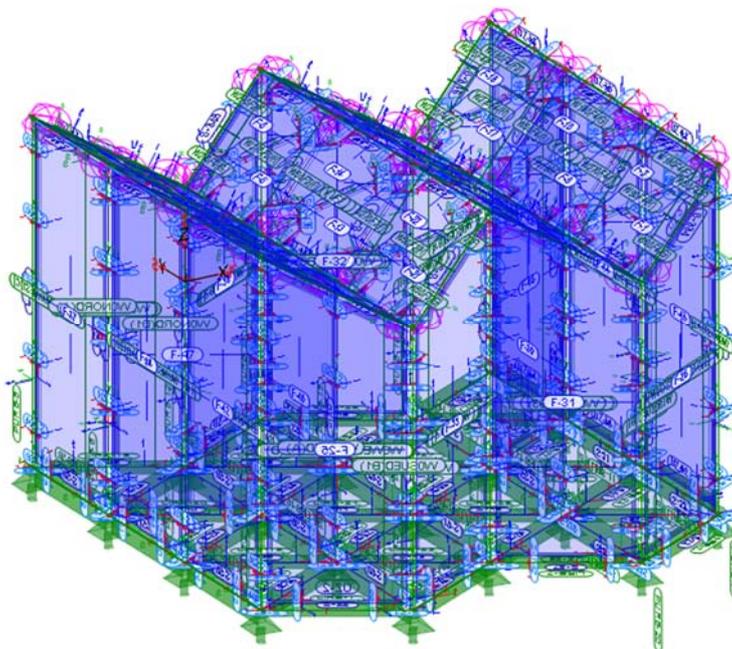


Abbildung 5.40: FE-Modell der Variante 2 mit Bezeichnung der einzelnen Elemente

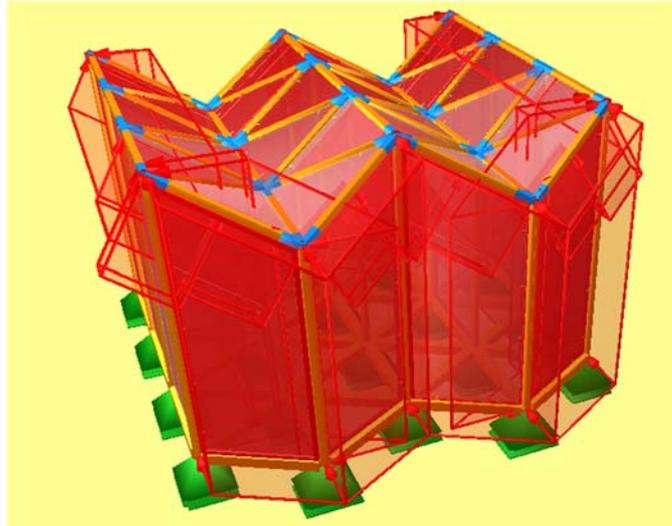


Abbildung 5.41: FE-Modell der Variante 2 mit normierter Windlast (W90)

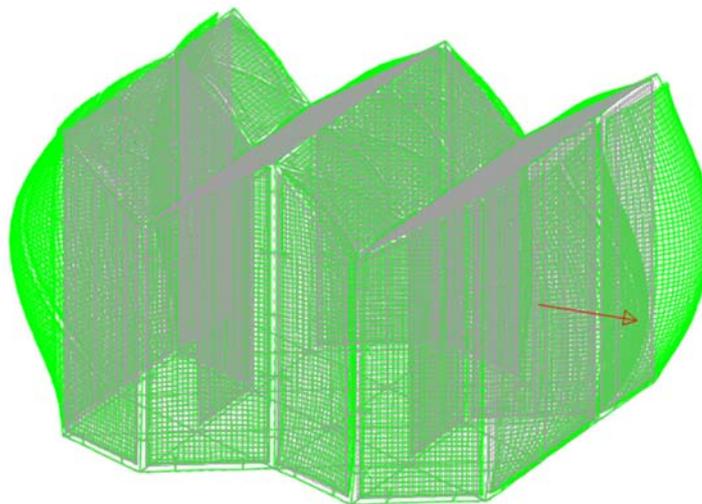


Abbildung 5.42: Verformungsfigur für den Lastfall V2-W90 als Netz

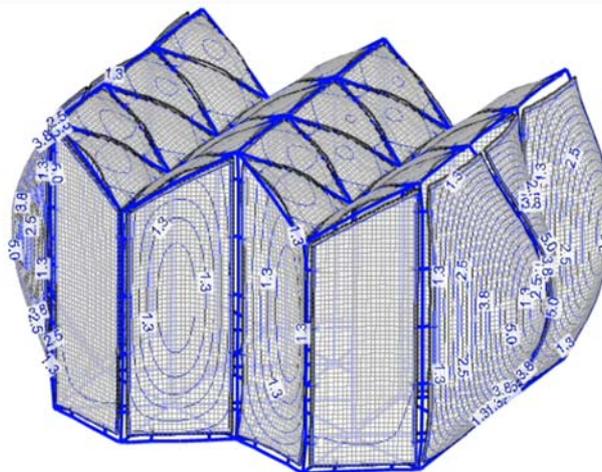


Abbildung 5.43: Ausschnitt aus der Animation für den Lastfall V2-W90 mit Isolinien

5.2.15 Ergebnisse der numerischen Untersuchungen für Variante 3

Mit der gleichen Vorgehensweise wurden auch Varianten 3 untersucht. Nachfolgen sind nur die Abbildungen gezeigt. Die Ergebnisse sind in tabellarischer Form in Anhang C zusammengefasst.

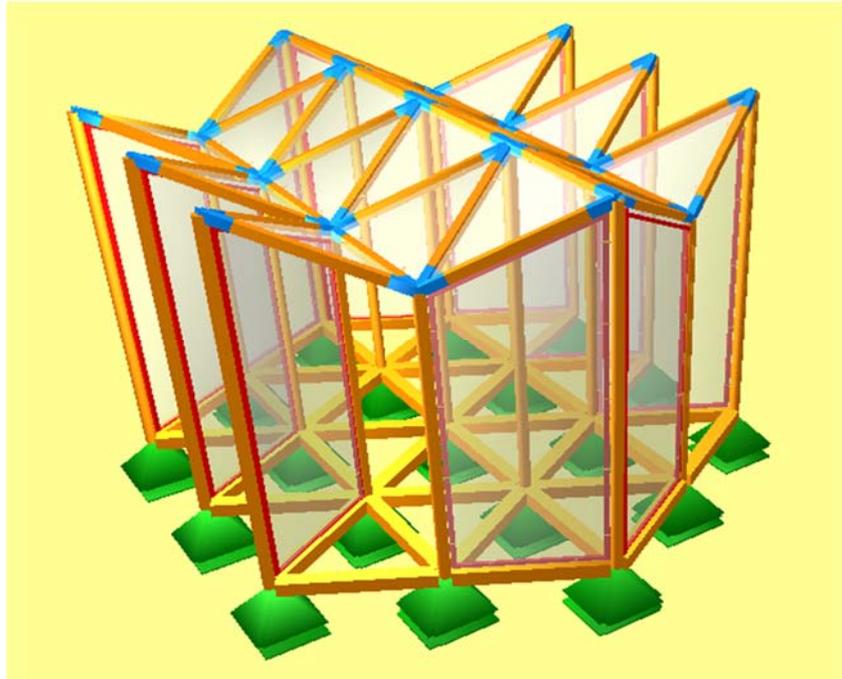


Abbildung 5.44: FE-Modell der Variante 3 ohne Lasten

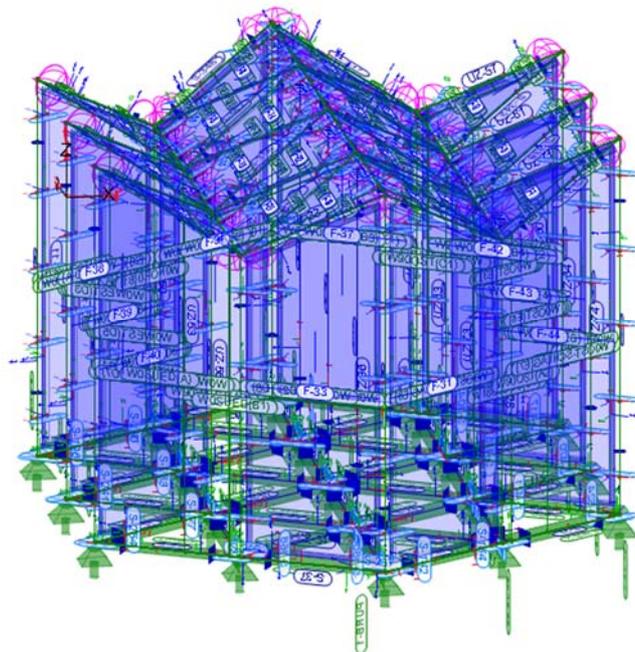


Abbildung 5.45: FE-Modell der Variante 3 mit Bezeichnung der einzelnen Elemente

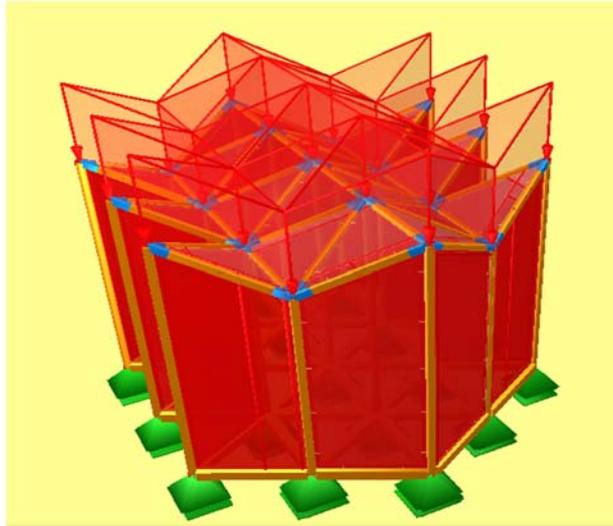


Abbildung 5.46: FE-Modell der Variante 3 mit normierter Last in vertikaler Richtung (1V)

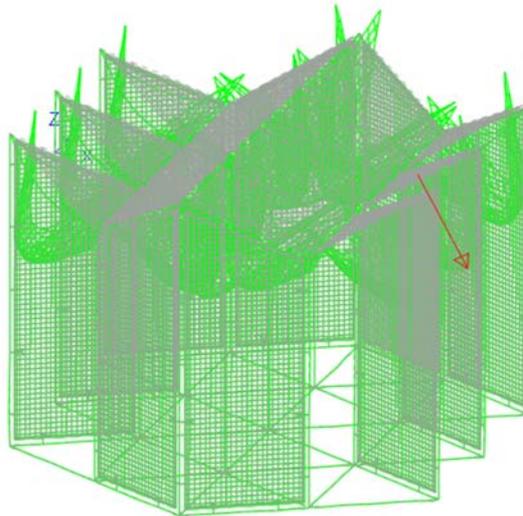


Abbildung 5.47: Verformungsfigur für den Lastfall V3-1V als Netz

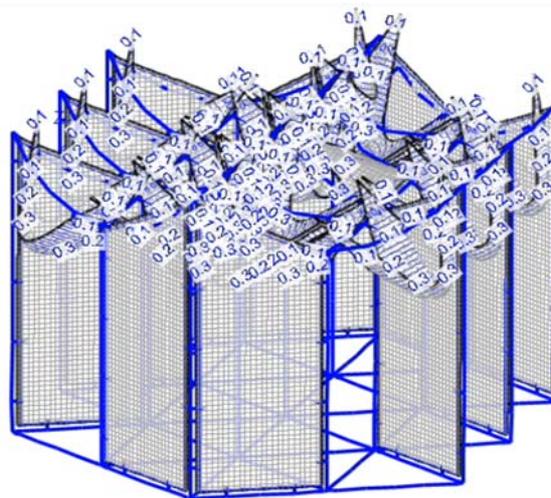


Abbildung 5.48: Ausschnitt aus der Animation für den Lastfall V3-1V mit Isolinen

5.2.16 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 5.1 sind für alle drei Varianten die maximalen und minimalen Schnittgrößen der Verbindungselemente zusammengefasst. Steht die jeweilige Variante hinter einer Schnittgröße in Klammern, unterscheidet sich der Betrag dieser Variante gegenüber einer andern lediglich um weniger als ca. 0,1 kN. Demzufolge sind in solchen Fällen die Einwirkungen für die einzelnen Varianten nahezu gleich groß.

Tabelle 5.1: Maximale und minimale Einwirkungen der Varianten 1, 2 und 3

Maximale und Minimale kombinierte Lasten - V1, V2 und V3													
		N[kN]				Vt[kN]				Vs[kN]			
		Max.		Min.		Max.		Min.		Max.		Min.	
		Betrag	Variante										
Wand	Zug	5,06	V3	3,90	V1	1,61	V3	1,07	V2	2,00	V3	1,76	V2
	Druck	-5,39	V3	-4,67	V1	1,61	V3	1,07	V2	2,00	V3	1,76	V2
Dach	Zug	1,03	(V1)	0,90	(V3)	0,94	(V1)	0,92	V2	2,14	V3	2,10	(V2)
	Druck	-1,01	(V2)	-0,89	(V1)	0,94	(V1)	0,92	V2	2,14	V3	2,10	(V2)
Träger	Zug	3,77	V1	3,15	V2	2,27	(V2)	2,16	(V3)	0,49	V3	0,18	V1,V2
	Druck	-3,19	V2	-3,02	V1	2,27	(V2)	2,16	(V3)	0,49	V3	0,18	V1,V2
Schwellbalken	Zug	1,78	V3	1,55	V2	0,97	V3	0,22	V2	3,33	V2,V1	2,79	V3
	Druck	-1,72	V3	-1,54	V2	0,97	V3	0,22	V2	3,33	V2,V1	2,79	V2

Die Verbindungen an den Wandelementen erfahren die höchste Normalkraft, nämlich zwischen -5,39 kN (Druck) und 5,06 kN (Zug), wobei die Druckkräfte über Kontakt übertragen werden. Die maximale Zugkraft tritt bei Variante 3 in einer Verbindung zwischen Wand und Schwellbalken auf und zwar unter dem Lastfall W90 oder W270, d.h. wenn die Windlast in diese Richtungen wirkt. Dies ist deshalb so, weil bei dieser Variante keine Wandscheiben rechtwinklig zu dieser Windrichtung stehen. Dadurch müssen die Windlasten durch die nahezu parallel stehenden Wandscheiben aufgenommen werden, die einen geringen Hebelarm zur Aufnahme der Momente haben. Durch eine geschicktere Anordnung der Wandscheiben könnten diese Zugkräfte reduziert werden.

Insgesamt betrachtet liegen die Zugkräfte alle unter 5,5 kN und die Querkräfte unter 3,5 kN was auch die Größenordnung für solche Verbindungselemente markiert.

6 Experimentelle Untersuchungen

6.1 Verwendete Werkstoffe

6.1.1 Hochleistungsbeton

Zur Herstellung der Versuchskörper und der einzelnen Bauteile wurde ein sehr gefügedichter, selbstverdichtender Feinkornbeton (Größtkorn 2,0 mm) mit einer Druckfestigkeiten von rund 130 N/mm² verwendet. In Tab. 6.1 ist die entsprechende Rezeptur des Hochleistungsbetons (HPC) aufgeführt.

Die Herstellung erfolgte in einem Einwellen-Zwangsmischer mit einem Fassungsvermögen von 80 Litern.

Tab. 6.1: Mischungszusammensetzung des verwendeten HPC's

Rohstoff	Bezeichnung	Anteile [kg/m ³]
Bindemittelvormischung	DUCON® Compound	870
Wasser	Wasser	220
Zuschlag	Sand 0/2	1235
Zusatzstoff	-	
Zusatzmittel (Fließmittel)	Glenium ACE30	16

Um die Materialeigenschaften zum Zeitpunkt der Versuche bestimmen zu können, wurden mit den Versuchskörpern im Allgemeinen drei Prismen mit den Abmessungen 40x40x160 mm betoniert. Diese Prismen wurden einen Tag nach der Betonage aus der Schalung genommen und anschließend bei den Versuchskörpern trocken gelagert. Jeweils am Versuchstag wurden drei der Prismen geprüft und die Biegezugfestigkeit sowie die Druckfestigkeit in Anlehnung an DIN 18555-3: 1982-09 ermittelt.

6.1.2 Mikrobewehrung

Als Bewehrung für die Wandelemente wurde eine sogenannte Mikrobewehrung eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Matten aus Stahldraht mit einer Maschenweite von 12,7 mm und einem Drahtdurchmesser von 1,0 mm, der Firma DUCON®. In Tab. 6.2 sind zum einen die Materialkennwerte der Mikrobewehrung nach *Hauser 1999* aufgeführt und zum anderen die von *Müller 2015* ermittelten.

Tab. 6.2: Materialeigenschaften der verwendeten Mikrobewehrung (Oster 2016)

		S ¹	S ²
Drahtdurchmesser d	[mm]		1,0
Maschenweite a	[mm]		12,7
Mattenquerschnitt A	[mm ² /m]		61,8
Mittelwert der Streckgrenze f_{ym}	[N/mm ²]	-	345
Streckgrenzendehnung ε_y	[‰]	-	4,0-4,2
Mittlere Zugfestigkeit f_{tm}	[N/mm ²]	350-400	407
Bruchdehnung ε_u	[‰]	170-220	38-62
Elastizitätsmodul E_s	[N/mm ²]	205.000	160.000

¹ nach Hauser 1999 an Einzeldrähten ermittelt

² nach Müller 2015 an 20 cm breiten Mattenstreifen ermittelt

6.1.3 Bewehrung

Bei den Stützen und Koppelelemente sowie im Randbereich der Wandelemente wurden als Bewehrung neben geripptem Betonstabstahl B500A mit einem Durchmesser von 5, 6 und 8 mm auch Stahldraht mit einem Durchmesser 3 mm der Festigkeitsklasse S235 eingesetzt.

6.1.4 Verbindungsmittel

Als Verbindungsmittel kamen Schrauben oder Gewindestäbe unterschiedlicher Durchmesser und Festigkeitsklassen zum Einsatz.

6.2 Experimentelle Untersuchung dreier Verbindungssysteme

6.2.1 Übersicht

Nachdem an den drei Varianten des Modulsystems die durch eine Verbindung zu übertragenden Schnittgrößen beispielhaft ermittelt wurden, wurden drei unterschiedliche Verbindungssysteme V1 bis V3 entworfen, konstruiert, hergestellt und entsprechend experimentell untersucht. In Tabelle 6.3 sind die Verbindungssysteme und die zugehörigen Versuche zusammengestellt.

Tab. 6.3: Zusammenstellung der Verbindungssysteme und der durchgeführten Versuche

Verbindungssystem		Zugehörige Versuche		
V1	Schraubverbindung mit Koppelement	V1-V1	V1-V2	V1-V3
V2	Schraubverbindung ohne Koppelement	V2-V1 (Position 1)	V2-V2 (Position 2)	--
V3	„Spannschloss“	V3-V1 (Position 1)	V3-V2 (Position 2)	--

Das erste System V1 ist eine Schraubverbindung, bei der jeweils zwei Dach- oder Wandelemente über ein sogenanntes Koppellement mit Gewindestäben M8 und Muttern verbunden werden. Bei dem System V2 werden die Elemente mit Stahlbauschrauben M12 ohne Koppellement direkt miteinander verbunden und bei dem System V3 werden die Elemente mittels eines stählernen sog. Spanschlusses, einbetonierten Schraubankern und Stahlbauschrauben verbunden.

6.2.2 Verbindungssystem V1

Das Verbindungssystem V1 bildet die Verbindung zwischen Stütze und Wandelementen ab, die für das Modulsystem Bayer/Schluppkotten konstruiert wurde (siehe Abb. 6.1). In den Numerischen Untersuchungen waren dies die mit am höchsten belasteten Verbindungen.

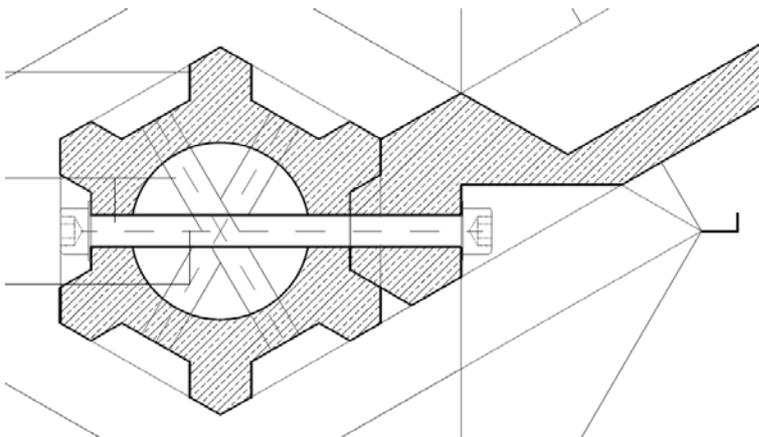


Abbildung 6.1: Verbindung zwischen Wandelement und Stütze des Systems Bayer/Schluppkotten

6.2.2.1 Versuchsaufbau

Da die Verbindungen in alle drei Richtungen im Raum belastet sein können, wurde ein Versuchsaufbau und ein entsprechender Versuchsstand konstruiert und hergestellt.

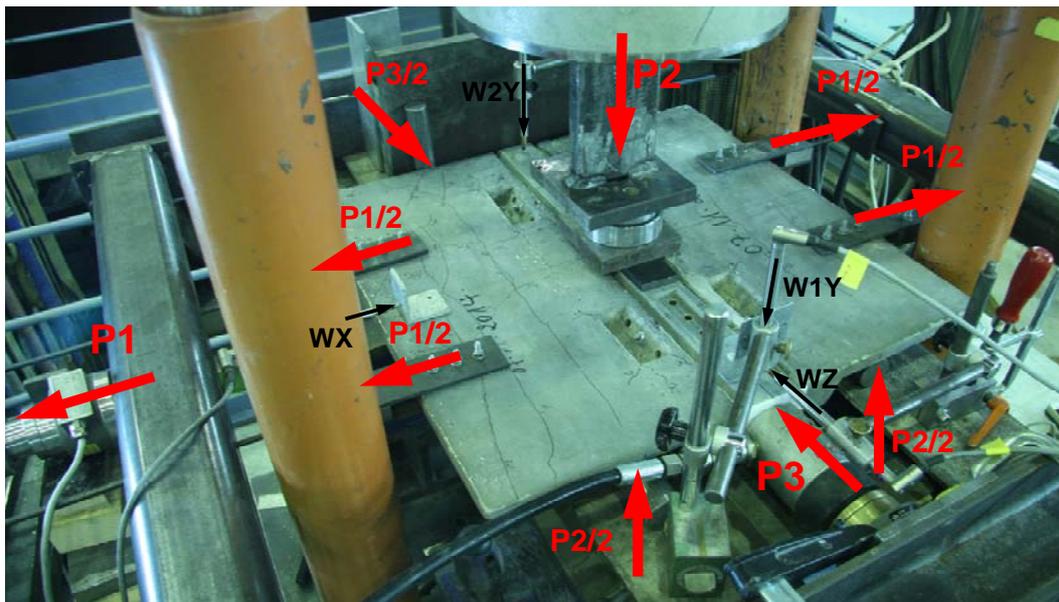


Abbildung 6.2: Versuchsaufbau mit dem eigens für die Untersuchungen hergestellten Versuchsstand und den eingetragenen Kräften und Wegaufnehmern

Dieser ermöglicht es, gleichzeitig Belastungen in drei Richtungen auf die Verbindungssysteme aufzubringen. Der Prüfstand besteht wie in Abb. 6.2 dargestellt aus einem horizontalen Rahmen, 2 Pressen und der Prüfmaschine, einem sog. Viersäulenprüfrahmen. Die weiteren Details sind Anhang A zu entnehmen. Horizontal kann rechtwinklig zum Verbindungselement die Zugkraft P_1 auf die Wandelemente und damit auf das Verbindungssystem aufgebracht werden (siehe Abb. 6.2). Parallel zum Kopperelement kann die Kraft P_3 aufgebracht werden, die eine Abscherkraft parallel zum Kopperelement erzeugt. Die dritte Kraft P_2 wirkt rechtwinklig zur Wandebene auf das Kopperelement.

6.2.2.2 Herstellung der Versuchskörper

Jede Probe besteht aus zwei Wandelementen mit den dazugehörigen Rippen und einem Stützenstück als Kopperelement (vgl. Abb. 6.14). Die Wandelemente mit den Abmessungen 60 auf 30 cm waren mit 4 Lagen Stahldrahtmatten bewehrt. Im Randbereich sowie im Bereich der Verbindungspunkte wurden diese zusätzlich mit Stahldraht $\varnothing 3$ mm verstärkt (siehe Abb. 6.3) und 8 mm starken Bewehrungsstäben in Längsrichtung.

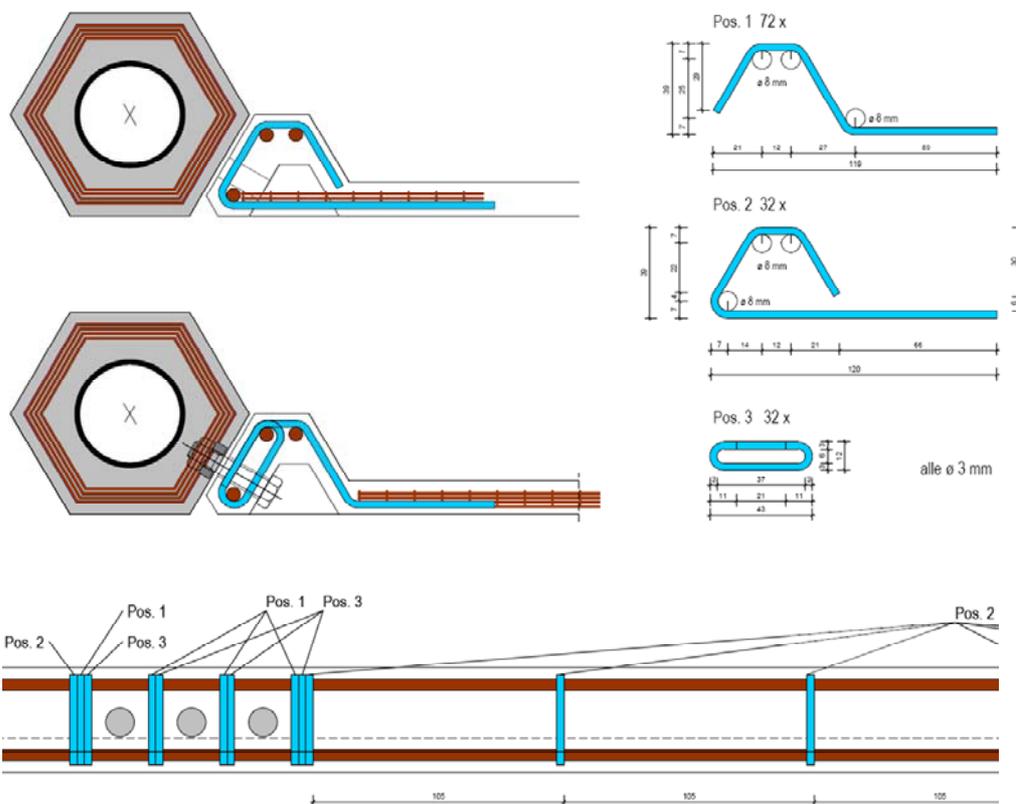


Abbildung 6.3: Bewehrungsführung im Randbereich der Wandelemente und zugehörige Biegeformen.



Abbildung 6.4: Bewehrungselemente für den Rand- und Verbindungsbereich der Wandelemente: links: Herstellung auf einem „Biegetisch“, rechts: fertige Elemente.

Die fertige Rippebewehrung ist in Abbildung 6.5 dargestellt

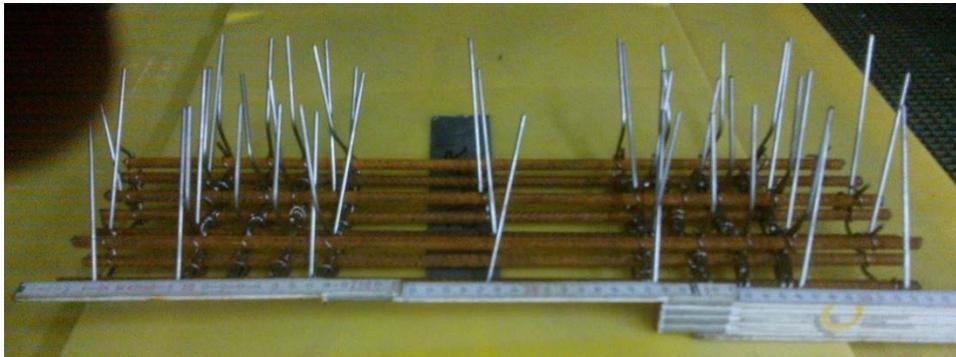


Abbildung 6.5: „Bewehrungskorb“ der Rippebewehrungen

Die Matten wurden entsprechend den Probenabmessungen zugeschnitten und zu Paketen verbunden (siehe Abbildung 6.6).

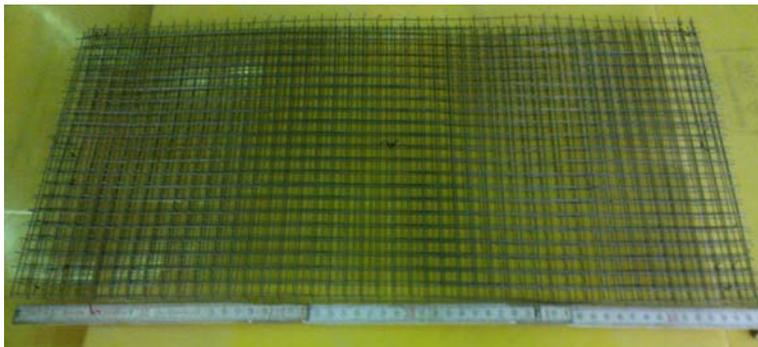


Abbildung 6.6: Vierlagige Mattenbewehrung der Plattenelemente

Die Koppellelemente, die in dem Modulsystem die Stützen bilden, waren längs mit 6 Bewehrungsstäben $\varnothing 6$ mm bewehrt und in Ringrichtung mit zweilagigen Stahldrahtmatten umwickelt (siehe Abb. 6.7). Zur Realisierung der Verbindungspunkte wurden Messing-Einbauteile auf einem Rohr ($d_a/t = 48,3/2,6$) aus Stahl der Festigkeitsklasse S235 befestigt. Der Innendurchmesser der Röhrcchen auf den Manschetten betrug wie die Bohrungen im Rohr 12 mm, sodass sich bei dem vorgesehenen Schraubendurchmesser von 8 mm noch eine Toleranz von 4 mm ergab. Die Lage der Manschetten ist durch die durchgehenden Bewehrungsstäbe gesichert. Über Abstandshalter wurde die Längsbewehrung angebracht und mit Draht verbunden. Schließlich wurden die Matten um die Längsbewehrung gewickelt (siehe Abb. 6.7).

Die beiden Plattenelemente wurde mit Gewindestangen und Muttern M8 der Festigkeitsklasse 8.8. mit dem Koppellement verbunden. Die beiden Verbindungen hatten untereinander einen Abstand von 30 cm und jeweils 15 cm zum Rand.



Abbildung 6.7: Bewehrung der Koppellelemente (Stützen)

Parallel zur Vorbereitung der Bewehrung wurde die Schalung angefertigt.

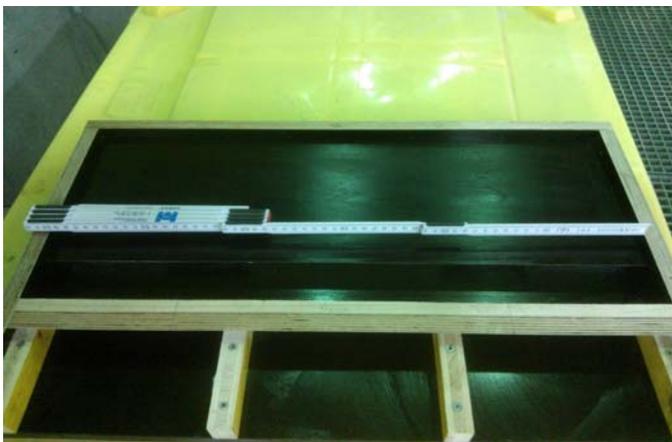


Abbildung 6.8: Wandschalung

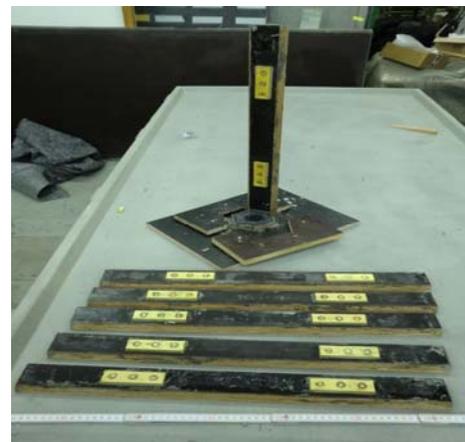


Abbildung 6.9: Stützenschalung

Die Schalungen wurden geölt und die Bewehrungen eingelegt.



Abbildung 6.10: Wandschalung mit Bewehrung



Abbildung 6.11: Stützenschalung mit Bewehrung

Betonieren und Ausschalen

Für den hochfesten, selbsterdichtenden Feinkornbeton wurde das vorgemischte Bindemittel der Firma DUCON verwendet. Die Betonrezeptur ist in Tabelle 6.1 angegeben.

Zusätzlich zu den Versuchskörpern wurden auch Probekörper für die Betonprüfung betoniert. Frühestens nach drei Tagen wurden die Versuchskörper ausgeschalt.



Abbildung 6.12: Ausgeschaltete Wandelemente und Probekörper zur Ermittlung der Betonfestigkeit



Abbildung 6.13: Ausgeschaltetes Koppелеlement (Stütze)

6.2.2.3 Versuchsstand

Frühestens nach 22 Tagen wurden die Probekörper in die Versuchsvorrichtung eingebaut und mit den vorgegebenen Lastverhältnissen in drei Richtungen stufenweise bis zum Versagen belastet.

An den beiden horizontal angeordneten Pressen wurde jeweils eine Kraftmessdose eingebaut und entsprechende Wegaufnehmer (siehe Abb. 6.2). Die Last in vertikaler Richtung, P2, wurde direkt von dem Viersäulenprüfrahmen erzeugt und gemessen.

Zwischen den Richtungen und Schnittgrößen der numerischen Simulationen und den Lasten und Richtungen im Versuch besteht folgender Zusammenhang:

- Y-Richtung:
Last P2 erzeugt durch den Zylinder des Viersäulenprüfrahmens wirkt senkrecht zur Wandebene.
Im globalen Koordinatensystem des FE-Modells wurde diese Kraft mit F_y bezeichnet.

Bezogen auf die Verbindungsmittel erzeugt diese Kraft die Schubkraft V_t

Zusammengefasst: Y-Kraft = $P2 = F_y \rightarrow V_t$

Die beiden Wegaufnehmer, die die Verschiebung des Koppелеlements in Y-Richtung aufzeichnen, werden mit „W1Y“ und „W2Y“ bezeichnet. Siehe Abb. 6.2.

- Z-Richtung:

Last P3 erzeugt durch einen Zylinder wirkt in Wandebene parallel zum Koppелеlement.

Im globalen Koordinatensystem des FE-Modells wurde diese Kraft mit F_z bezeichnet.

Bezogen auf die Verbindungsmittel erzeugt diese Kraft die Schubkraft V_s .

Zusammengefasst: Z-Kraft = $P3 = F_z \rightarrow V_s$.

Der Wegaufnehmer, der die Verschiebung des Koppелеlements in Z-Richtung aufzeichnen, wird mit „WZ“ bezeichnet.

- X-Richtung:

Last P1 erzeugt durch einen Zylinder wirkt in Wandebene rechtwinklig zum Koppелеlement.

Im globalen Koordinatensystem des FE-Modells wurde diese Kraft mit F_x bezeichnet.

Bezogen auf die Verbindungsmittel erzeugt diese Kraft die Normalkraft N.

Zusammengefasst: X-Kraft = $P1 = F_x \rightarrow N$.

Der Wegaufnehmer, der die Verschiebung des Koppелеlements in X-Richtung aufzeichnen, wird mit „WX“ bezeichnet.

Die Versuchskörper, bestehend aus jeweils zwei Wandelementen und einem Koppелеlement, wurden zusammengebaut (siehe Abb. 6.14) und zentrisch in die Prüfeinrichtung eingebaut (siehe Abbildung 6.2). Der Versuchskörper lag auf Stahlrollen mit einem Abstand von 30 cm.



Abbildung 6.14: Montierter Versuchskörper bestehend aus dem Koppелеlement und den beiden Wandelementen

6.2.2.4 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Die Versuche wurden weggeregelt gefahren, wobei die Lasten stufenweise gesteigert wurden. Da die Versuchskörper in drei Richtungen belastet sind, mussten für jede Laststufe auch immer drei Lasten aufgebracht werden, wobei als erstes die Last P1 (Zug in X-Richtung $\rightarrow N$) und anschließend dann P2 (Scherkraft in Y-Richtung $\rightarrow V_s$) und schließlich P3 (Scherkraft in Z-Richtung $\rightarrow V_t$) aufgebracht wurden.

An den jeweiligen Versuchstagen wurden die Betonfestigkeiten ermittelt. Die Druckfestigkeiten lagen zwischen 102 und 114 N/mm² und die Biegezugfestigkeiten zwischen 10,5 und 13,8 N/mm². Einzelheiten hierzu sind Anhang B zu entnehmen.

Versuch V1-V1

In den FE-Berechnung der drei Raumzellen war das Verhältnis der drei Verbindungsmittelschnittgrößen unter der maximalen Zugkraft $N/V_t/V_s = 1/0,4/0,5$. Dieses Verhältnis ist das in einem einzelnen Stahlstab, der an den Verbindungsstellen jeweils auf der einen und der anderen Seite des Koppелеlements angeordnet war.

Im Versuch verteilt sich die aufgebrachte Zugkraft P1 auf die beiden Verbindungsstellen und wird jeweils durch ein Verbindungsmittel durch diese hindurchgeleitet. Demzufolge erzeugt die Kraft P1 in jedem Verbindungsmittel die Zugkraft $N = P1/2$.

Die Kraft P3 wird in Längsrichtung auf das Koppелеlement aufgebracht. Auch sie verteilt sich auf die beiden Verbindungsstellen. An den Verbindungsstellen wird sie aber jeweils von zwei Verbindungselementen in die beiden seitlich anschließenden Wandelemente übertragen. Demzufolge erzeugt die Kraft P3 in jedem Verbindungsmittel die Querkraft $V_s = P3/4$.

Die Kraft P2 wird von oben rechtwinklig auf das Koppелеlement aufgebracht. Auch sie verteilt sich auf die beiden Verbindungsstellen. An den Verbindungsstellen wird sie dann auch jeweils von zwei Verbindungselementen in die beiden seitlich anschließenden Wandelemente übertragen. Demzufolge erzeugt die Kraft P2 in jedem Verbindungsmittel die Querkraft $V_t = P2/4$.

In den drei Versuchen wurden bezogen auf die Gesamtlasten P1 bis P3 zwei unterschiedliche Verhältnisse untersucht und zwar in den beiden Versuchen V1-V1 und V1-V3 das Verhältnis 1/0,5/0,5 und im Versuch V1-V2 das Verhältnis 1/1/1.

Im Versuch V1-V1 wurden fünf Laststufen (LS) aufgebracht:

- LS1: P1 = 5 kN → N = 2,5kN (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS2: P1 = 8 kN → N = 4kN (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS3: P1 = 10 kN → N = 5kN (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS4: P1 = 12 kN → N = 6kN (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS4: P1 = 16 kN → N = 8kN (je Verbindung und Verbindungsmittel)

Die Kraft P1 wurde immer als erstes erhöht. Wenn diese Kraft den für die jeweilige Laststufe angepeilten Wert erreicht hatte, wurden die beiden anderen Kräfte entsprechend erhöht. Dabei beeinflussen sich in dem Versuchsstand alle drei Kräfte und die gemessenen Wege gegenseitig.

Bei jeder Laststufe wurde das Bauteilverhalten beobachtet und neu entstandene Risse markiert.

In Abbildung 6.15 sind die drei aufgebrachten Lasten P1 bis P3 über die jeweils in Krafrichtung gemessenen Verschiebungen aufgetragen. Die Verschiebungen sind der Wert oder die Mittelwerte aus den jeweiligen Wegaufnehmern.

In Abbildung 6.16 wurden die aufgebrachten Lasten P1, P2 und P3 auf die jeweils durch sie in den einzelnen Verbindungsmitteln erzeugten Schnittgrößen N, V_t bzw. V_s umgerechnet und wiederum über den Verschiebungen aufgetragen. Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung ist der Kurvenverlauf entsprechend unstetig.

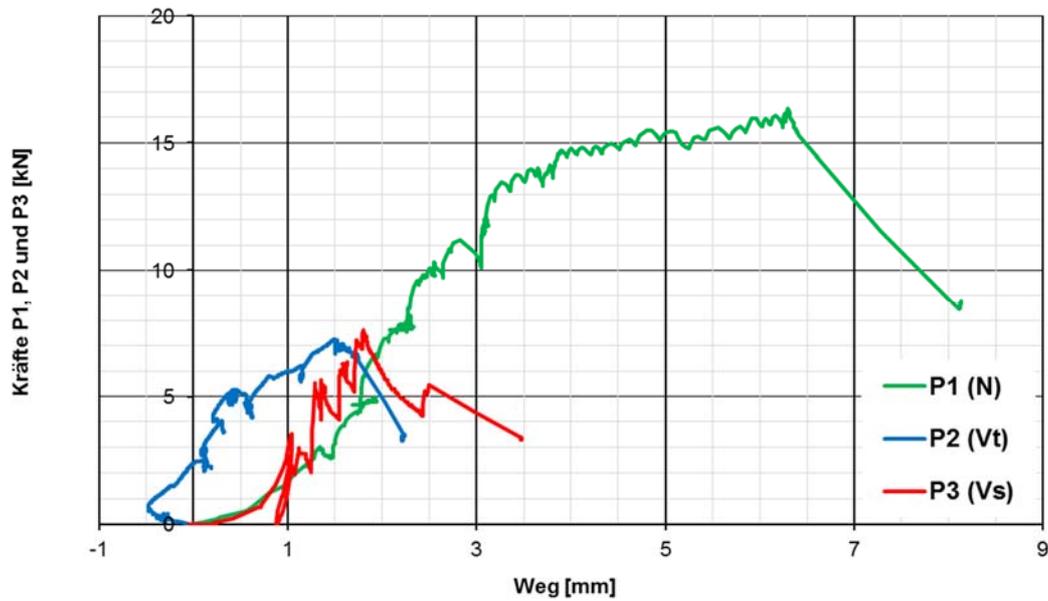


Abbildung 6.15: Kraft - Weg - Diagramm für Versuch V1-V1 bezogen auf die Gesamtlasten P1 bis P3

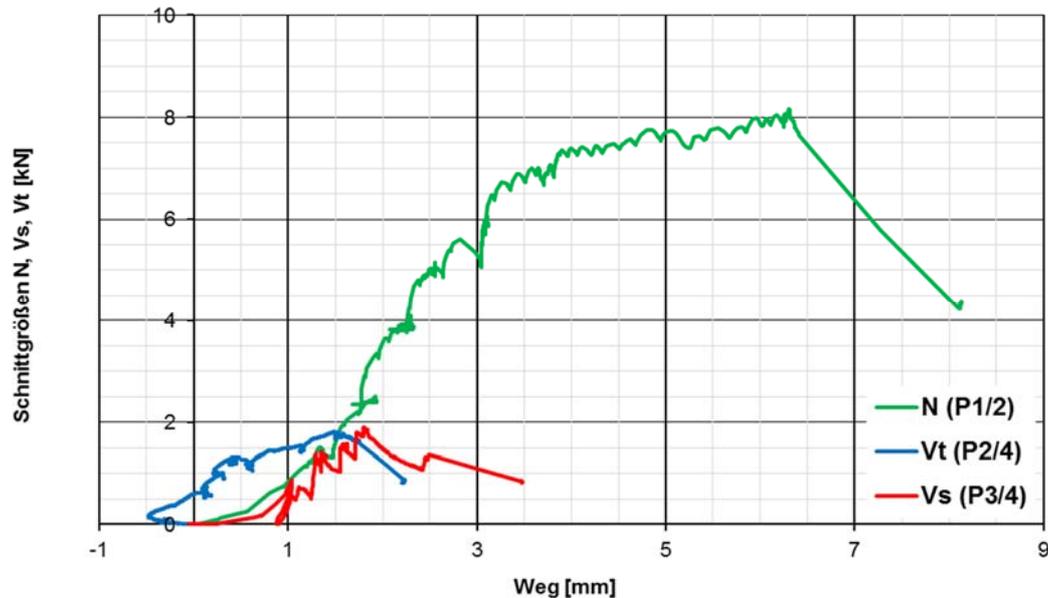


Abbildung 6.16: Kraft - Weg - Diagramm für Versuch V1-V1 bezogen auf die Lasten an den Einzelverbindungen N, V_s und V_t

Das Versagen trat beim Anfahren der Kraft P1 für die Laststufe 5 ein. Dadurch konnten die Lasten P2 und P3 nicht mehr erhöht werden. Die Maximalwerte der zugehörigen Verbindungsmittelschnittgrößen V_t und V_s betragen 1,8 bzw. 1,9 kN.

Die ersten deutlichen Risse im Fugenbereich traten bei Laststufe 3 (10 kN) auf. Bei Laststufe 4 (12 kN) wurde der Beton an einem Verbindungspunkt abgesprengt (Abb. 6.17) und schließlich bei Laststufe 5 (16 kN) wurde die Mutter durchgezogen (Abb. 6.18), was das Versagen markierte.



Abbildung 6.17: Verbindungsbereich des Versuchskörpers V1-V1 unter LS 4



Abbildung 6.18: Versagensbild des Versuchskörpers V1-V1 unter LS 5

Versuch V1-V2

Für den zweiten Versuch V1-V2 wurde das Kräfteverhältnis $P1/P2/P3$ auf $1/1/1$ festgelegt. Das Verhältnis der Schnittgrößen $N/V_t/V_s$ in einer einzelnen Schraube betrug demnach $1/0,5/0,5$.

Dieses Mal wurden vier Laststufen aufgebracht, nämlich:

- LS1: $P1 = 4 \text{ kN} \rightarrow N = 2 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS2: $P1 = 8 \text{ kN} \rightarrow N = 4 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS3: $P1 = 12 \text{ kN} \rightarrow N = 6 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS4: $P1 = 16 \text{ kN} \rightarrow N = 8 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)

In den Abb. 6.19 und 6.20 sind wieder die Kräfte bzw. Schnittgrößen über die jeweiligen Verschiebungen aufgetragen.

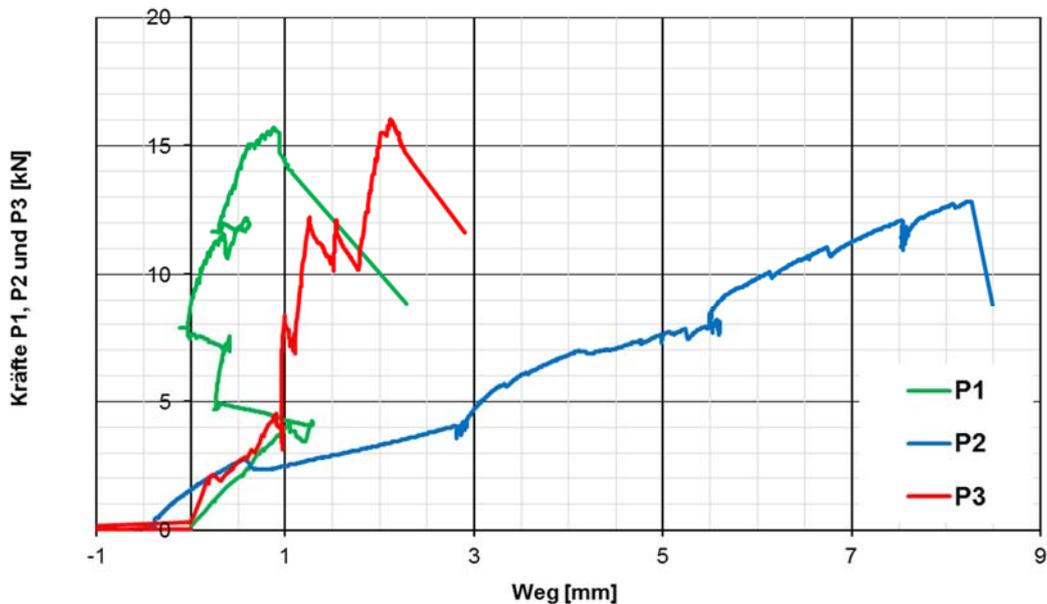


Abbildung 6.19: Kraft - Weg - Diagramm für Versuch V1-V2 bezogen auf die Gesamtlasten P1 bis P3

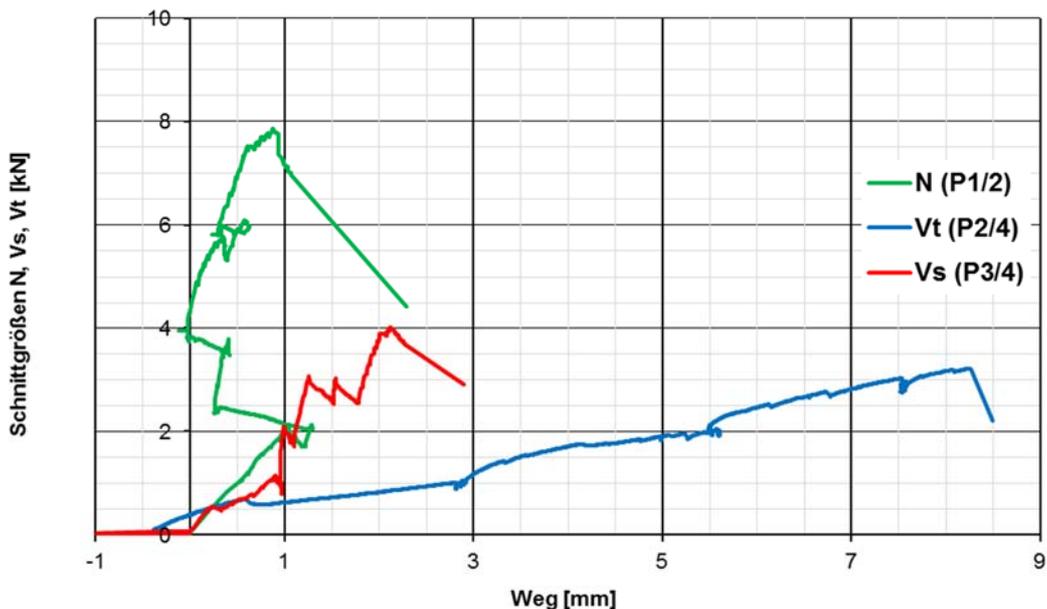


Abbildung 6.20: Kraft - Weg - Diagramm für Versuch V1-V2 bezogen auf die Lasten an den Einzelverbindungen N , V_s und V_t

In diesem Versuch trat das Versagen schon beim Anfahren der Laststufe 4 (16 kN) auf. Auch hier wurde die Mutter durchgezogen (Abb. 6.22) und der Beton angesprengt. Die angestrebte Kraft P_2 von 8 kN konnte dabei nicht mehr ganz erreicht werden.

Der erste Riss an der Verbindungsstelle trafa bei Laststufe 1 (4 kN) auf, war aber erst bei Laststufe 3 (12 kN) deutlich zu erkennen (Abb. 6.21).



Abbildung 6.21: Versuchskörper V1-V2 unter LS 3



Abbildung 6.22: Versagensbild des Versuchskörpers V1-V2 unter LS 4

Versuch V1-V3

An einer der Verbindungsstelle war beim Ausschalen Beton abgeplatzt. Der Schaden konnte aber mit einem Reparaturmörtel behoben werden. Dieser Versuchskörper wurde ebenfalls nach 22 Tagen geprüft. Wegen der Beschädigung und möglicher Auswirkungen auf die Tragfähigkeit, wurde das Kräfteverhältnis $P1/P2/P3$ wieder auf $1/0,5/0,5$ reduziert.

Fünf Laststufen wurden aufgebracht, nämlich:

- LS1: $P1 = 4 \text{ kN} \rightarrow N = 2 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS2: $P1 = 8 \text{ kN} \rightarrow N = 4 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS3: $P1 = 12 \text{ kN} \rightarrow N = 6 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS4: $P1 = 14 \text{ kN} \rightarrow N = 7 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)
- LS5: $P1 = 16 \text{ kN} \rightarrow N = 8 \text{ kN}$ (je Verbindung und Verbindungsmittel)

In den Abb. 6.23 und 6.24 sind wieder die Kräfte bzw. Schnittgrößen über die jeweiligen Verschiebungen aufgetragen.

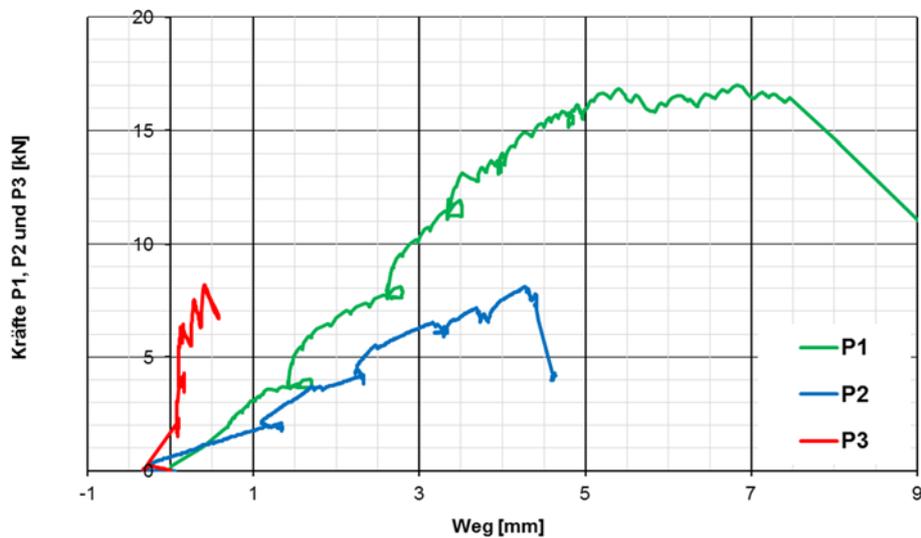


Abbildung 6.23: Kraft - Weg - Diagramm für Versuch V1-V3 bezogen auf die Gesamtlasten P1 bis P3

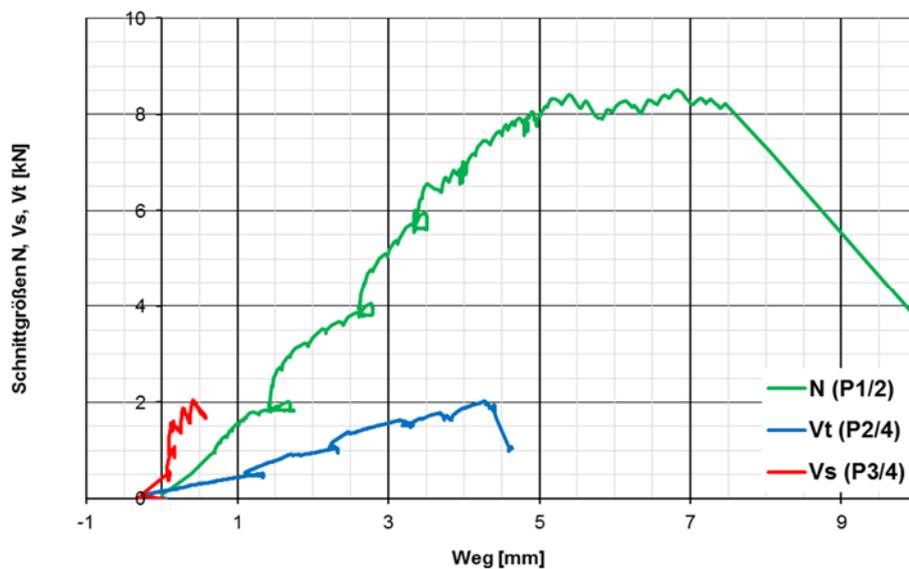


Abbildung 6.24: Kraft - Weg - Diagramm für Versuch V1-V3 bezogen auf die Lasten an den Einzelverbindungen N , V_s und V_t

In diesem Versuch trat das Versagen bei Laststufe 5 (16 kN) auf (Abb. 6.26). Auch hier wurde die Mutter durchgezogen. Allerdings konnten alle drei angestrebten Lasten der Stufe (16 kN, 4 kN und 4 kN) aufgebracht werden. Erste Riss an der Verbindungsstelle traten bei Laststufe 1 (4 kN) auf (siehe Abb. 6.25) und waren bei Laststufe 4 (14 kN) deutlich zu erkennen.



Abbildung 6.25: Versuchskörper V1-V3 unter LS 4



Abbildung 6.26: Versagensbild des Versuchskörpers V1-V3 unter LS 5

Das Versagen trat nicht an den reparierten Stellen ein, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sie keinen Einfluss auf die Traglast hatten. Auch wenn der Probekörper nur 22 Tage alt war, hatte er die gleiche Tragfähigkeit wie Probekörper V1-V1, der nach 35 Tagen geprüft wurde. Daraus folgt die Vermutung, dass die leicht geringere Betonfestigkeit keinen nennenswerten Einfluss auf die Tragfähigkeit hatte.

Zusammenfassung der Versuche am Verbindungssystem V1

In Tabelle 6.4 sind die wichtigsten Daten der drei Versuche an dem ersten Verbindungssystem zusammengefasst.

Tabelle 6.4: Übersicht der wichtigsten Daten aus den 3 Versuchen V1-V1 bis V1-V3

Versuch		V1-V1	V1-V2	V1-V3
Druckfestigkeit	[N/mm ²]	113,8	112,2	102,2
Prüfalter	Tage	35	28	22
N/V_s/V_t		1/0,25/0,25	1/0,5/0,5	1/0,25/0,25
LS 1	N [kN]	2,5	2	2
	Bemerkung	Risse in Einspannung	erster Riss an Verbindungsstellen	Risse in Ecken von Verbindungsstellen
LS 2	N [kN]	4	4	4
	Bemerkung	---	---	---
LS 3	N [kN]	5	6	6
	Bemerkung	erste deutliche Risse im Fugenbereich, Spalt an Schubnocke	deutliche Risse an Verbindungspunkt	---
LS 4	N [kN]	6	8	7
	Bemerkung	Absprengungen an erster Verbindungsstelle	Mutter durchgezogen	---
LS 5	N [kN]	8		8
	Bemerkung	Mutter durchgezogen und Absprengen von Betondeckung	---	Mutter durchgezogen und Absprengen von Betondeckung
Max. N	[kN]	8	7,8	8
Max. V_s	[kN]	1,7	3,2	2
Max. V_t	[kN]	1,8	4	2

Aus den Versuchen lassen sich bezüglich der Versuchskörper, des Versuchsstandes und für das weitere Vorgehen die folgenden Schlüsse ziehen:

Das Versagen war bei allen drei Versuchen gleich, nämlich ein Durchziehen der Muttern durch das Loch an den Wandelementen. Dieses Durchziehen wurde aber erst möglich, weil vorher der obere Betonrand infolge der großen Verformungen nahezu komplett abgesprengt wurde. Von daher hätte sich die Last vielleicht mit einer entsprechend großen Unterlegscheibe noch steigern lassen, aber der Beton wäre trotzdem in dieser Art und Weise abgeplatzt.

Das Last-Verformungsverhalten kann als weitestgehend duktil beschrieben werden, was sich aber mit den Unterlegscheiben noch verbessern ließe. Die Verbindung ist in alle Richtungen stark verformbar, wodurch sich in einem aus mehreren Elementen zusammengesetzten Baukörper die Kräfte in einem einzelnen Verbindungsmittel auf die benachbarten entsprechend

umlagern können und somit eine Vergleichmäßigung stattfinden kann. Von daher kann das Verbindungssystem als sehr gutmütig beschrieben werden.

Wie groß der Einfluss der Lasten P2 und P3 rechtwinklig bzw. parallel zum Koppelement ist, ließ sich in den Versuchen nicht eindeutig feststellen. Die aufnehmbare Zugkraft N ist aber auch bei doppelt so hohen Querkräften V_s und V_t nahezu gleich.

Der Versuchsaufbau ist sehr aufwändig. Insbesondere die Steuerung der Lasten, die sich gegenseitig beeinflussen, was sich in den Kraft-Verformungs-Diagrammen in den un stetigen Kurvenverläufen zeigt. Idealerweise sollten alle drei Lasten gleichzeitig gesteigert werden, was einer speziellen Steuerung bedarf. In Y-Richtung sind die Wandelemente auf zwei Rollen gelagert und das Koppelement wird mittig belastet. Dadurch entsteht in X-Richtung um die Z-Achse ein Biegemoment, das in den Schrauben des Verbindungssystems zusätzliche Zugkräfte erzeugt. Um diese zu vermeiden, wäre ein zusätzliches Lager in Y-Richtung parallel zum Koppelement auf der Oberseite, am Rand der Wandelemente nötig.

Die im Folgenden zu untersuchenden Verbindungssysteme waren durch einen massiveren Betonrand, dickere Schrauben und entsprechende Unterlegscheiben insbesondere in Zugrichtung erheblich robuster ausgelegt. Auch Lasten in Z-Richtung, die in der Regel gering sind, führen nicht zu erheblichen Beanspruchungen, sodass ausschließlich das maßgebende Tragverhalten in Y-Richtung, rechtwinklig zu den Wandelementen, untersucht wurde.

Da sich dieser von der Dicke des Wandbereiches (15 mm) unterscheidet, wird dort beim Betonieren ein Verdrängungskörper aus XPS eingebracht, wodurch die Höhe der Schalung im entsprechenden Bereich auf 15 mm reduziert wird (s. Abb. 6.29)



Abbildung 6.29: Betonage der Schraubverbindung

Bewehrung

Im Wandbereich wurde eine vierlagige Mikrobewehrung mit einer Betondeckung von 3 mm angeordnet. Die Stabstahlbewehrung im Verbindungsbereich dient auch zur Lagesicherung der Hülsen für die Schrauben und wird als Schlaufe mit einem Biegerollendurchmesser von 24 mm ausgeführt (Abb. 6.30). Die Betondeckung wurde auf 10 mm festgelegt. Je Probekörper und Schraube wurden vier Schlaufen verwendet. (siehe Abb. 6.31). Die Bewehrung wurde so angeordnet, dass jeweils zwei Schlaufen direkt nebeneinander und in entgegengesetzte Richtung liegen. Mit Hilfe kleiner Schweißpunkte wurde die Bewehrung an den Übergangsstellen miteinander verbunden, um sie so in der Lage zu sichern.



Abbildung 6.30: Schlaufenbewehrung im Verbindungsbereich

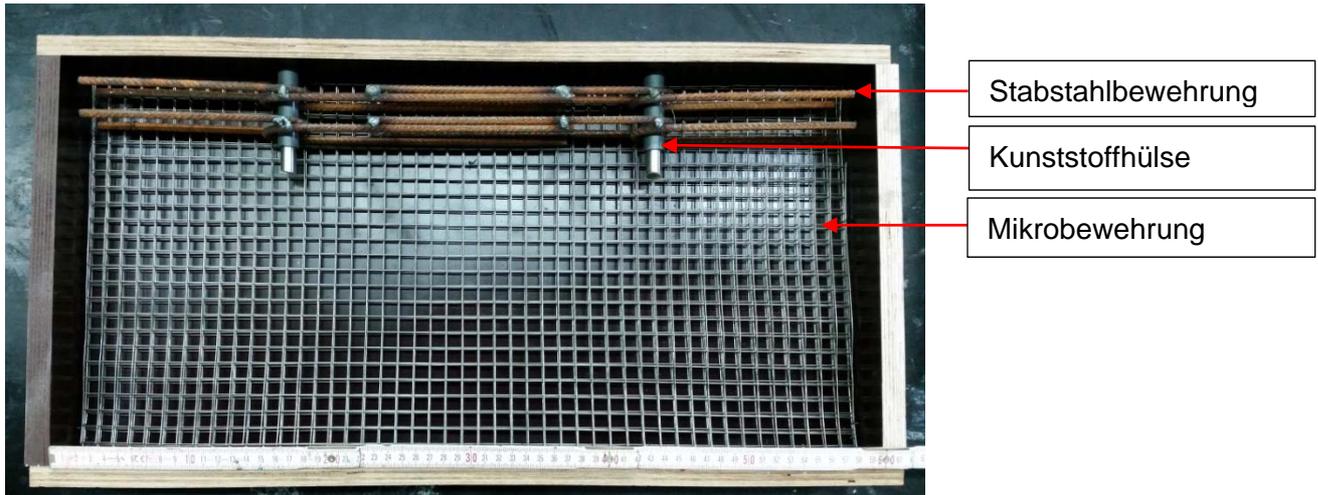


Abbildung 6.31: Eingebaute Bewehrung

6.2.3.3 Versuchsstand und Versuchsaufbau

Anders als bei dem Verbindungssystem V1 wurden wie bereits begründet, die beiden Verbindungssysteme V2 und V3 nur rechtwinklig zur Plattenebene belastete. Dabei erfolgt die Belastung sowohl in die eine als auch in die andere Richtung. Der erste Versuch V2-V1 wird - wie in Abb. 6.32 dargestellt - mit oberliegender Rippe (Position 1) durchgeführt und der zweite mit unterliegender Rippe (Position 2).

Um den Versuchsaufbau zu vereinfachen und mögliche Störeinflüsse zu vermeiden, werden anders als bei dem Verbindungssystem 1 nicht zwei Wandelemente miteinander verbunden, sondern das Wandelement wird an einem festen Auflager, einem Stahlwinkel, angeschraubt. Dies hat auch noch den Nebeneffekt, dass dadurch Material und Zeit für die Herstellung der Probekörper gespart wird.



a) Schraubverbindung in Pos.1 (Versuch V2-V1)

b) Schraubverbindung in Pos.2 (Versuch V2-V2)

Abbildung 6.32: Lage und Belastung der Prüfkörper

Die Versuche werden wie die an dem Verbindungssystem 1 in demselben Viersäulenprüfrahmen durchgeführt. Die aufgebrachte Last wird wieder mittels einer Kraftmessdose gemessen und die Verformungen rechts und links unter dem Prüfkörper über zwei induktive Wegaufnehmer. Die Versuche werden mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 0,6 mm/min kontinuierlich bis zum Bruch belastet.

Die Probekörper sind auf der einen Seite mit zwei Muttern und Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 an dem Stahlwinkel befestigt und liegen am anderen Ende auf einem stählernen Rollenlager auf (siehe Abb. 6.33). Belastet wird die Verbindung über eine massive, stählerne Halbschale, die an drei Punkten die Last über Stahlplatten und Elastomerstreifen in den Probekörper einleitet. Die Position der Stahlplatten ist so gewählt, dass sie seitlich möglichst weit von den Schrauben entfernt sind, aber möglichst nahe an dem Winkel liegen. Durch die Abmessungen des statischen Systems geht ein Großteil der durch den Zylinder aufgebrachtene Last (zwischen rund 70 und 80%) über die Schrauben direkt in den Stahlwinkel. Der Rest wird über das Rollenlager abgetragen. Durch die Schrauben entsteht an dem Stahlwinkel auch eine geringfügige Einspannung des Wandelements, die sich aber nicht nennenswert auswirkt.



a) Schraubverbindung in Pos.1, Frontansicht im Prüfstand (Versuche V2-V1)



b) Schraubverbindung in Pos.1, Seitenansicht im Prüfstand (Versuche V2-V1)



c) Schraubverbindung in Pos.2, Frontansicht im Prüfstand (Versuche V2-V2)

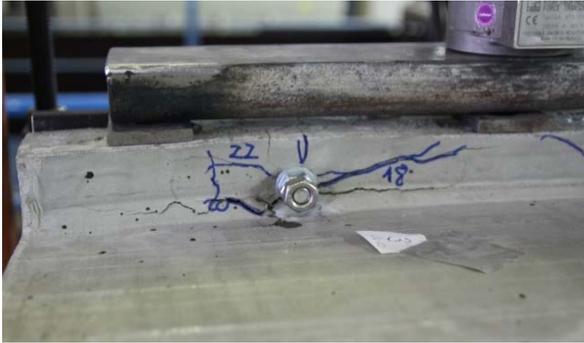


d) Schraubverbindung in Pos.2, Seitenansicht im Prüfstand (Versuche V2-V2)

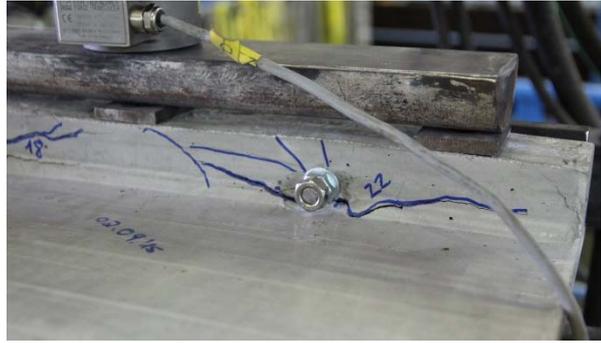
Abbildung 6.33: Versuchsaufbau für das Verbindungssystem V2

6.2.3.4 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Der erste Versuch V2-V1 wurde in Position 1 gefahren. Die Last wurde kontinuierliche gesteigert. Die Risse entstanden vorwiegend im Bereich der Verbindungsmittel und im Randbereich. Die ersten, feinen Risse entstanden unmittelbar am Schraubenloch unter einer Gesamtkraft, von 7 kN, was einer Kraft pro Verbindungsmittel von rund 2,5 kN entspricht. (Die jeweiligen Kraft-Weg-Diagramme sind in Abb. 6.36 bzw. 6.52 dargestellt.) Erste größere Risse konnten ab einer Gesamtkraft von 18 kN beobachtet werden. Unterhalb der Verbindungsmittel entwickelte sich bei Laststeigerung ein durchgängiger breiter Riss (s. Abb. 6.34 d).



a) Frontansicht: Rissbildung an der linken Schraube



b) Frontansicht: Rissbildung an der rechten Schraube



c) Seitenansicht: Riss in Höhe der Schrauben



d) Seitenansicht: durchlaufender Riss

Abbildung 6.34 Rissbilder des Versuchskörpers V2-V1 im Traglastbereich



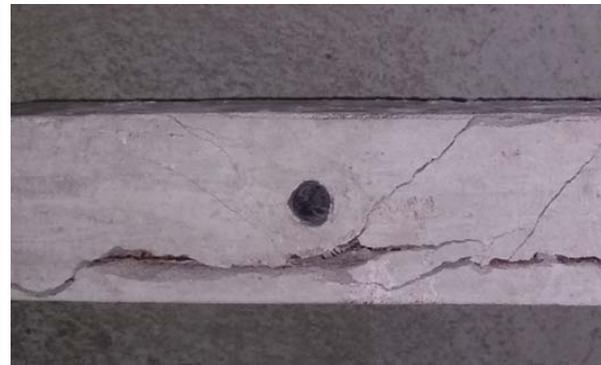
a) Endgültiges Rissbild an der linken Schraube



b) Endgültiges Rissbild an der rechten Schraube



c) Risse im Bereich der Auflagerung an der linken Schraube



d) Risse im Bereich der Auflagerung an der rechten Schraube

Abbildung 6.35: Rissbilder nach Abschluss des Versuchs und Ausbau des Versuchskörpers V2-V1

Unter einer Gesamtkraft von 20 kN ist im Last-Verformungs-Diagramm in Abb. 6-36, ein kurzer, starker Lastabfall zu erkennen, welcher auf das Entstehen des durchgehenden Risses unterhalb der Schrauben zurückzuführen ist. Die Rissbreite vergrößerte sich im weiteren Verlauf weiter. Mit 23 kN wurde letztendlich die Maximallast erreicht. Danach fiel die Last leicht ab, auf etwa 21 kN.

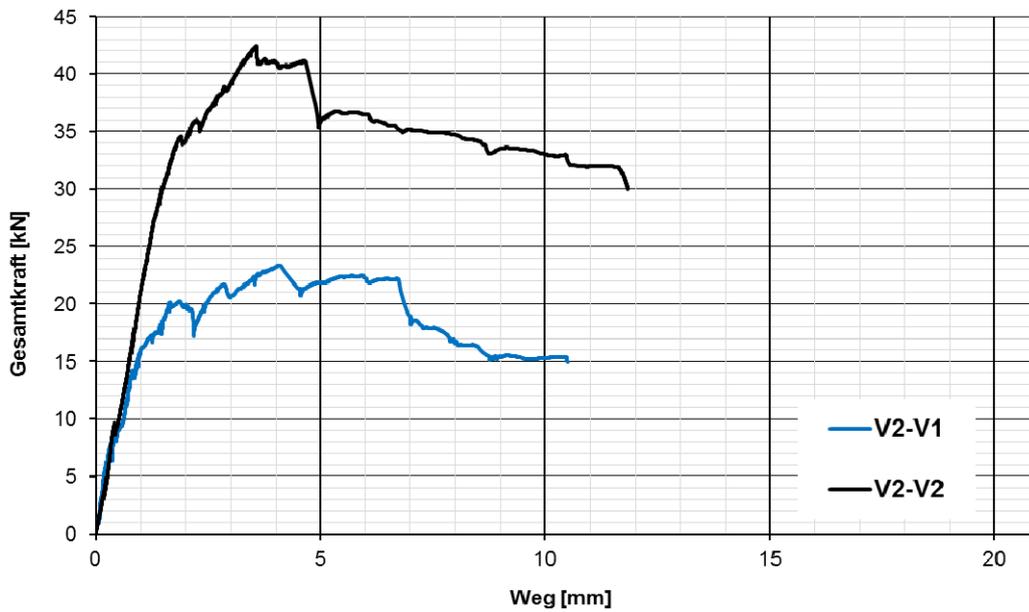


Abbildung 6.36: Last-Verformungs-Diagramme der Schraubverbindung in Position 1 und 2 (Versuche V2-V1 bzw. V2-V2)



a) Rissbildung im Bereich des Querschnittsprungs



b) Rissbildung im Lasteinleitungsbereich auf der rechten Seite



c) Frontansicht: endgültiges Rissbild im Lasteinleitungsbereich auf der rechten Seite



d) Seitenansicht: endgültiges Rissbild im Lasteinleitungsbereich auf der rechten Seite

Abbildung 6.37: Rissbilder des Versuchskörpers V2-V2

Nach weiteren 2 mm Verformung fiel die Kurve noch einmal stärker ab. Nach Versuchsende wurde die Verbindung gelöst, um die Rissbildung im Kontaktbereich von Stahlwinkel und Bauteil sichtbar zu machen. Die Abbildungen 6.35 c und d zeigen, dass auch hier ein klaffender Riss entstanden war und die Stabstahlbewehrung offen lag.

Bei der Belastung des Probekörpers in Position 2 war die Maximallast doppelt so hoch, wie in Position 1 (Abb. 6.36). Der erste sichtbare Riss entstand bei 16 kN an der Innenseite im Übergang zwischen Platte und Rahmen (s. Abbildung 6.37 a). Auf der gegenüberliegenden Seite konnte bei 20 kN ein weiterer Riss mit dem fast gleichen Verlauf beobachtet werden.

Die Abbildungen 6.37 c und d zeigen die deutlichen, klaffenden Risse entlang der Verbindungsmittels auf der rechten Seite. Die Rissbreiten und Verformungen waren zum Teil so groß, dass die Betondeckung abplatzte. Aus dem Last-Verformungsdiagramm in Abb. 6.36 geht hervor, dass sich erst ab einer Belastung von 35 kN deutliche Risse bildeten. Bevor das Maximum von 42 kN und einer Verformung von 3,5 mm erreicht wurden, löste sich die Platte zunehmend vom Verbindungsbereich. Lediglich die Mikrobewehrung verhinderte ein komplettes Abtrennen.

6.2.4 Verbindungssystem V3

6.2.4.1 Beschreibung

Das Prinzip des Verbindungssystems V3 ist an das des BT-Spannschlusses der Firm B.T. innovation GmbH angelehnt (siehe Abb. 6.38).



Abbildung 6.38: BT-Spannschluss-Verbindung mit Schrauben und Ankern

Nach dem Modell des BT-Spannschlusses setzt sich diese Verbindung ebenfalls aus einem „Spannschloss“, einer Schraubenverbindungen und in die Betonkörper eingelassenen Ankern zusammen. Das Verbindungselement, das „Spannschloss“, besteht aus einem Stück eines Quadratischen Hohlprofils (QRO 45x45x2, S355), auf dessen einem Ende ein Blech aufgeschweißt ist, zwei Schrauben (M12) und zwei Unterlegscheiben aus Metall ($d_a = 24$ mm). Aufgrund der geringen Abmessungen, wird in jedes Wandelement passend zur Sechskantschraube ein Flachstahlanker von „PHILIPP“ einbetoniert (s. Abbildung 6.43).

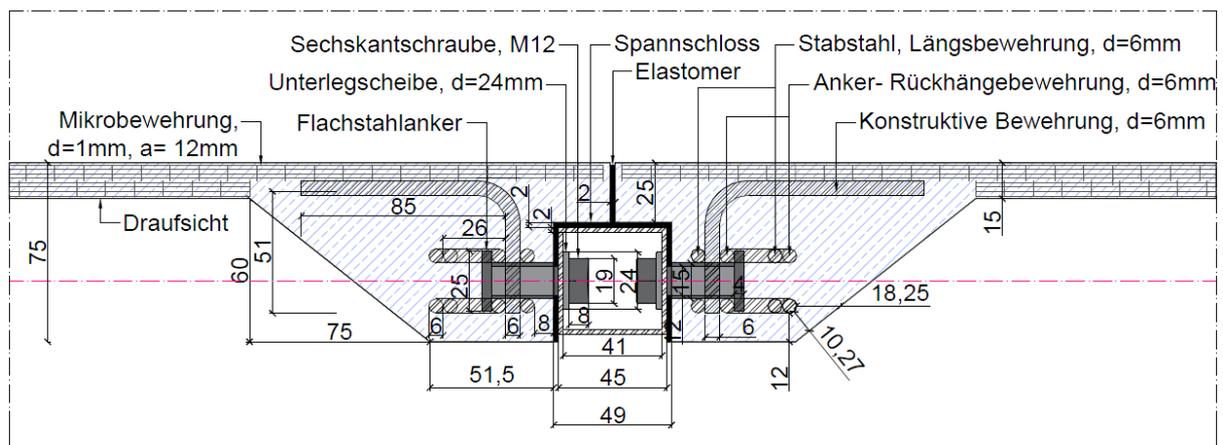


Abbildung 6.39: Schnitt durch die „Spannschloss“-Verbindung

Die Wandelemente werden durch Einbringen der Spannschlösser in die dafür vorgesehenen Aussparungen und anschließendes Festschrauben miteinander verbunden. Die Probekörper sind mit jeweils zwei Spannschlössern versehen (Abb. 6.40). Zwischen die Wandelemente wird ein Elastomerband ($d = 2$ mm) eingelegt.

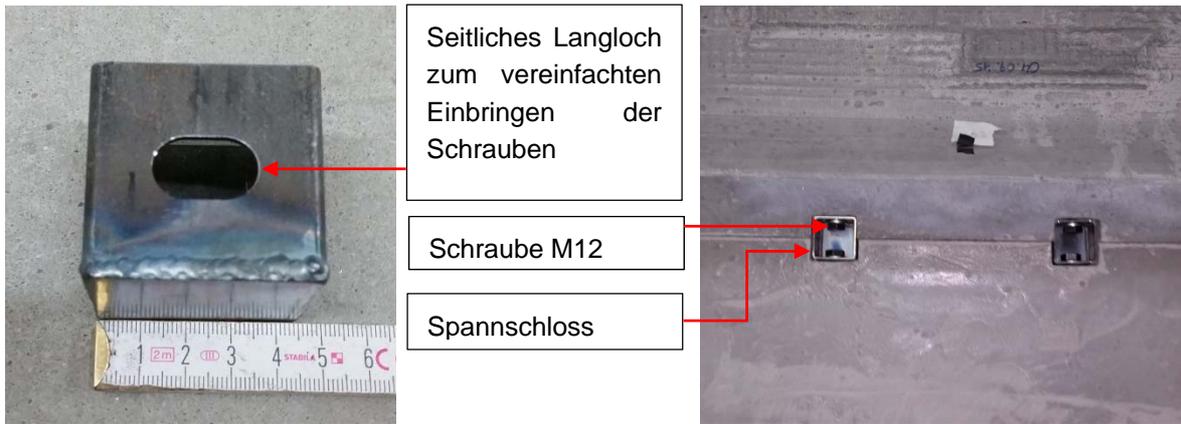


Abbildung 6.40: Spannschlossverbindung zwischen den Wandelementen

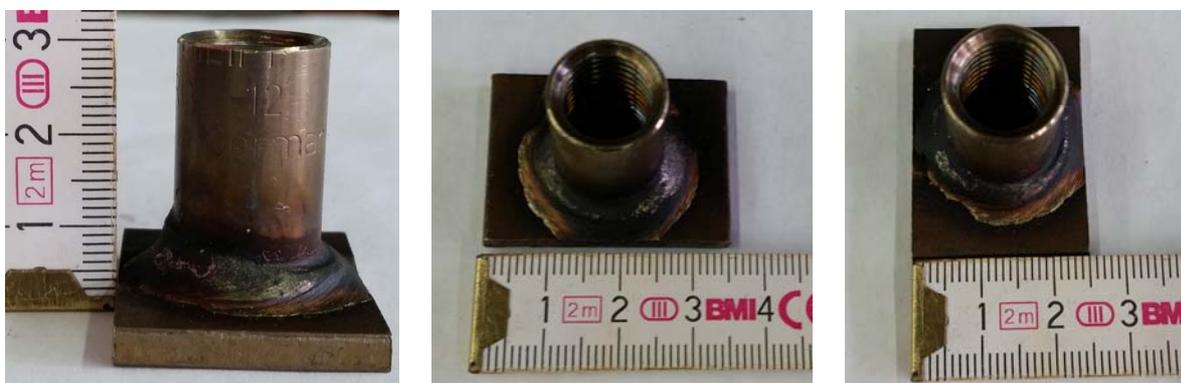
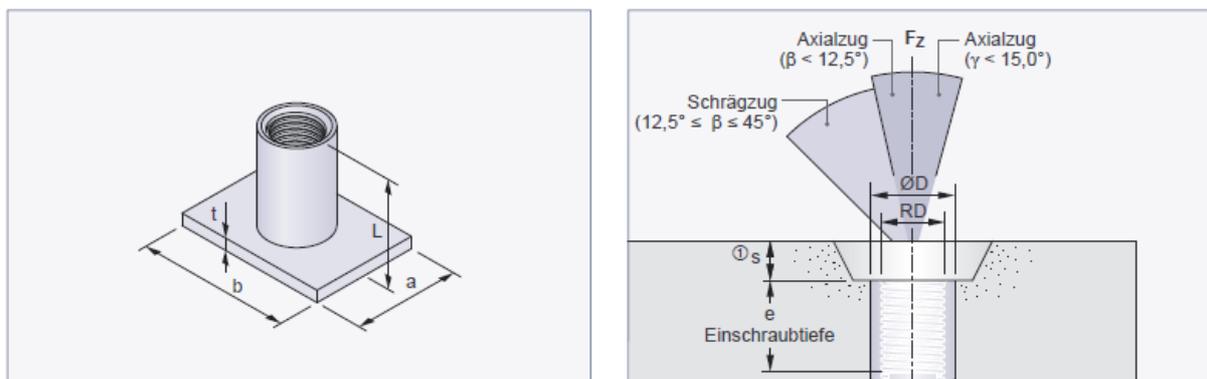


Abbildung 6.41: Verwendeter Flachstahlanker, Typ „RD 12“



Typ	Abmessungen [mm]						Gewicht [kg/100 Stck.]
	ØD	L	e	a	b	t	
RD 12	15,0	30	22	25	35	4	4,5
RD 14	18,0	33	25	35	35	4	7,0
RD 16	21,0	35	27	35	50	4	11,0

Abbildung 6.42: Abmessungen der Flachstahlanker

6.2.4.2 Herstellung der Probekörper

Die Schalung für die Probekörper des Verbindungssystems V3, der „Spannschloss-Verbindung“, unterscheidet sich lediglich hinsichtlich der Höhe. Die Dicke des Verbindungsbereichs und somit die Höhe der Schalung beträgt 75 mm. Die Wanddicke misst ebenfalls 15 mm. Für das spätere Einbringen des Spannschlusses muss eine Aussparung im Beton vorgesehen werden. Die Aussparung, sowie die Schräge im Verbindungsbereich und der Höhenunterschied von 75 mm auf 15 mm, werden, wie bei der Schraubverbindung, durch Verdrängungskörper hergestellt (s. Abbildungen 6.43 und 6.44). Die Abmessungen des Verdrängungskörpers orientieren sich dabei an den Abmessungen des Spannschlusses (45 x 45 mm) plus der Dicke für einen um das Spannschloss herumlaufenden Elastomerstreifen (ca. 2 mm). Für die Versuche an einem Wandelement werden als Gegenstücke sog. Massivkörper hergestellt. Dabei werden die Schalungen bis auf die Aussparungen für die Spannschlösser vollständig mit Beton verfüllt $l/b/h = 60/30/7,5$ cm.

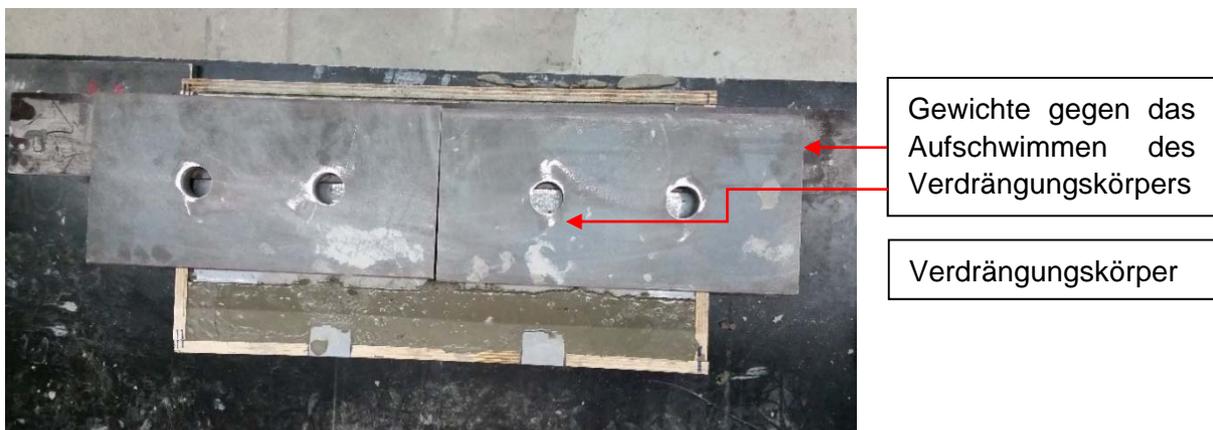


Abbildung 6.43: Betonage der Spannschlossverbindung

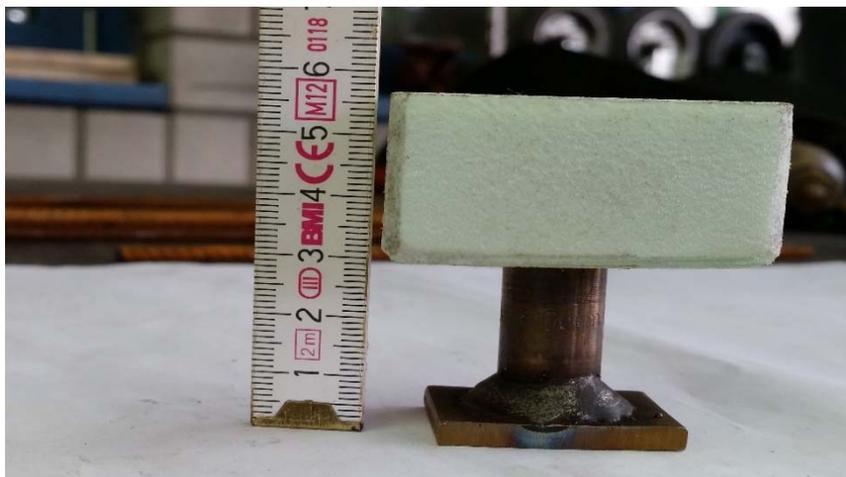


Abbildung 6.44: Anker mit Verdrängungskörper

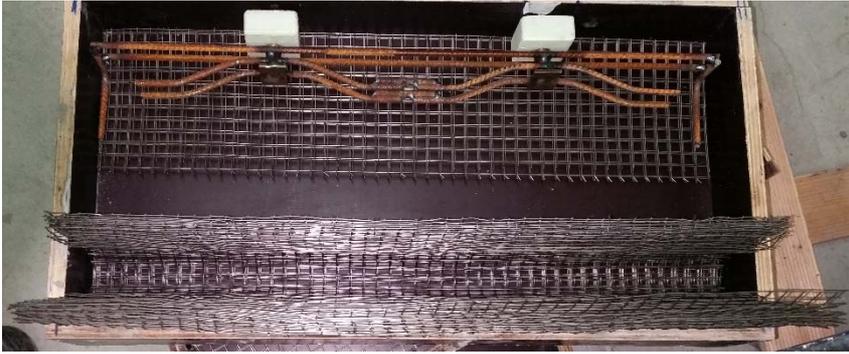


Abbildung 6.45: Bewehrung des Verbindungssystems V3

6.2.4.3 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entspricht im Wesentlichen dem des Verbindungssystems V2 (siehe Abb. 6.46).



a) Probekörper V3-V1 des Verbindungssystems V3 in Pos.1; Frontansicht des Versuchstandes



b) Probekörper V3-V2 des Verbindungssystems V3 in Pos.2; Seitenansicht des Versuchstandes



c) Probekörper V3-V2 des Verbindungssystems V3 in Pos. 2; Seitenansicht des Versuchstandes



d) Lasteinleitung mittels stählerner Halbschale, Stahlplatten und Elastomerstreifen

Abbildung 6.46: Im Versuchstand eingebautes Verbindungssystem V3 (Spannschlossverbindung)

6.2.4.4 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Auch in diesen Versuchen wurde die Last kontinuierlich gesteigert. In Position 1 konnte bei einer Last (wieder bezogen auf ein Verbindungsmittel) von etwa 7,5 kN und einer Verschiebung von 0,28 mm ein erster Riss im Randbereich, sowie kleinere Risse an der Betonoberfläche beobachtet werden. Ein zweiter Riss folgte bei einer Last von 9,8 kN mit einer Verschiebung von 0,9 mm (s. Abbildung 6.47).



a) Erste Risse in Pos.1, Seitenansicht



b) Zweiter Riss auf der gegenüberliegenden Seite (vgl. a))



c) Abplatzen der Betondeckung



d) Verdrehung des Prüfkörpers und Abplatzen der Betondeckung

Abbildung 6.47: Rissbildung des Verbindungssystems V3 beim Versuch V3-V1

Die weitere Laststeigerung führte zu deutlichen Verformungen im Belastungsbereich, sowie zu Absprengungen der Betondeckung. Ab der Erstrissbildung bis zu einer Last von ungefähr 20 kN ist ein annähernd linearer Verlauf der Last-Verformungskurve (Abb. 6.48) zu beobachten. Danach flachte die Kurve stark ab, wobei die Last nur noch geringfügig gesteigert werden konnte. Nachdem die Maximallast von rund 22 kN bei einer Verformung von etwa 8 mm überschritten wurde, ließ sich die Verbindung bei etwa gleichbleibender Last weiter verformen.

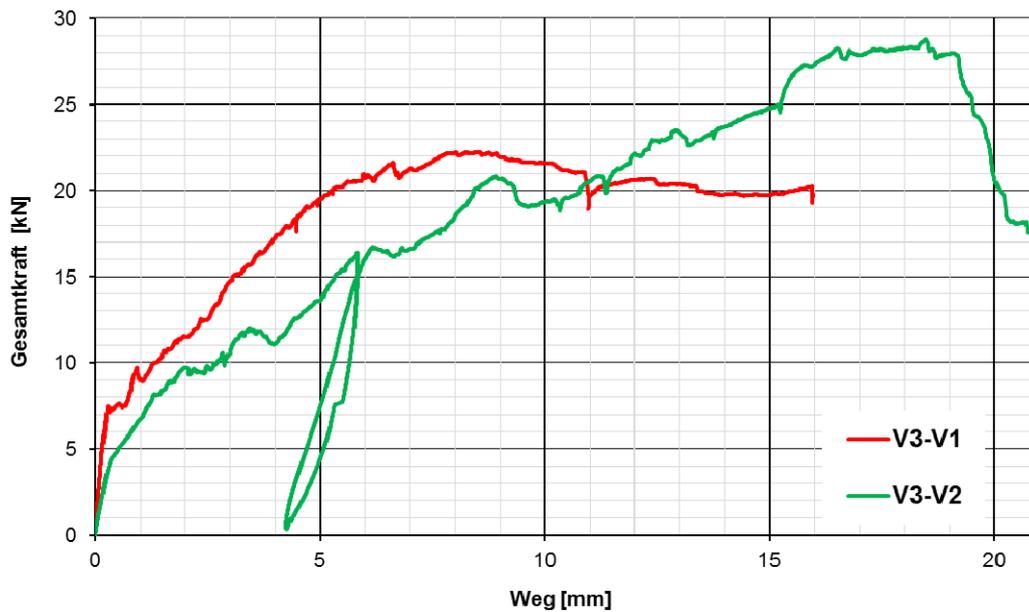


Abbildung 6.48: Last-Verformungs-Diagramme der Spannschlossverbindungen in Position 1 und 2 (Versuche V3-V1 bzw. V3-V2)

Nach dem Lösen der Verbindungsmittel wurden die Verformungen des Spannschlusses und die Risse sowie die Betonabplatzungen sichtbar. Auch an dem Massivkörper traten im Bereich des Spannschlusses Risse auf (s. Abbildung 6.50 b). Die Schrauben (M12) hingegen waren unversehrt. Durch die Betonabplatzungen lag auch hier die Bewehrung frei.



Abbildung 6.49: Durch die Betonabplatzungen sichtbare Stabstahlbewehrung und Anker des Versuchskörpers V3-V1 nach dem Versuch



b) Risse im Massivbauteil



c) Freigelegte Stabstahlbewehrung und verformtes Spannschloss

Abbildung 6.50: Rissbildung des Verbindungssystems V3 beim Versuch in Position 1 (V3-V1)

Abschließend wurde das Verbindungssystem V3 in Position 2 belastet (Versuch V3-V2). Die Rissentwicklung war ähnlich der in Position 1, wobei der erste Riss an der Betonoberfläche im Belastungsbereich bei 1,2 kN sichtbar wurde. Bei einer Last von 4,5 kN folgte ein zweiter Riss am rechten Bauteilrand unter einer Verschiebung von ungefähr 0,2 mm. Ein weiterer sichtbarer Riss konnte bei 8,2 kN im rechten Randbereich nahe des Spannschlusses beobachtet werden. Bei weiterer Laststeigerung kam es vor allem in der unmittelbaren Umgebung der Spannschlösser zu Betonabplatzungen, wodurch stellenweise die Mikrobewehrung freigelegt wurde.

Das Abflachen der Last-Verformungs-Kurve in Abb. 6.48 ab einer Belastung von 9 kN geht mit einer verstärkten Rissbildung einher. Bei 20,8 kN ist ein kurzzeitiger Kraftabfall zu beobachten, was auf einen großen Riss und die ihm folgenden Betonabplatzungen im linken Belastungsbereich zurückgeht (s. Abbildung 6.51 d.). Unter einer Last von 28 kN, was auch die maximal aufnehmbare Last war, stieg die Verformung von 16,5 mm auf ungefähr 19,2 mm an, wobei die Last annähernd gleich blieb.

In Abbildung 6.52 wird deutlich, dass die Betondeckung und mit ihr die Mattenbewehrung am Rand nach oben gebogen wurde. Das Spannschloss war, wie in in Versuch V3-V1 auch, im Bereich der Schrauben plastisch verformt. In dieser Position allerdings stärkere auf der Seite des Prüfkörpers. Im Versuch V3-V1 in Position 1 war die Verformung auf der Seite des Massivkörpers größer. Da die Kurve ab einer Last von 28 kN stark fällt, d.h. die aufnehmbare Last abnahm, wurde der Versuch beendet und der Prüfkörper entlastet.



a) Zweiter Riss am rechten Bauteilrand



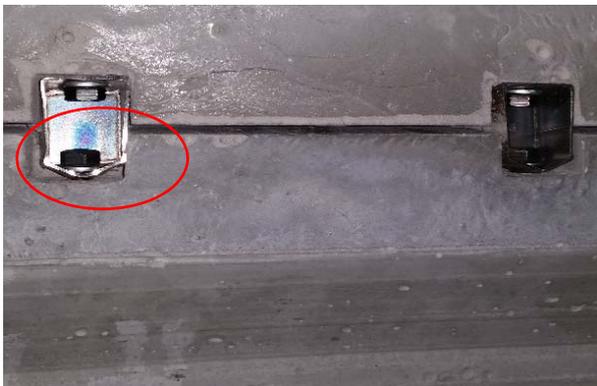
b) Weiterer Riss bei 8,2 kN am rechten Bauteilrand



c) Verdrehung des Prüfkörpers (rechtes Beton-element)



d) Betonabplatzungen im Belastungsbereich



e) Plastische Verformungen des Spannschlusses nach Versuchsende



f) Betonabplatzungen über der Mikrobewehrung (rechts) und Risse im Massivkörper (links)

Abbildung 6.51: Rissbildung und Betonabplatzungen im Versuch V3-V2 (Spannschloss in Position 2)

6.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Versuchen an den Verbindungssystemen V2 und V3

In Abbildung 6.52 sind die Lastverformungskurven der vier Versuche an den beiden Verbindungssystemen V2 und V3 zusammengestellt. Dabei ist die Kraft auf ein einzelnes Verbindungsmittel aufgetragen.

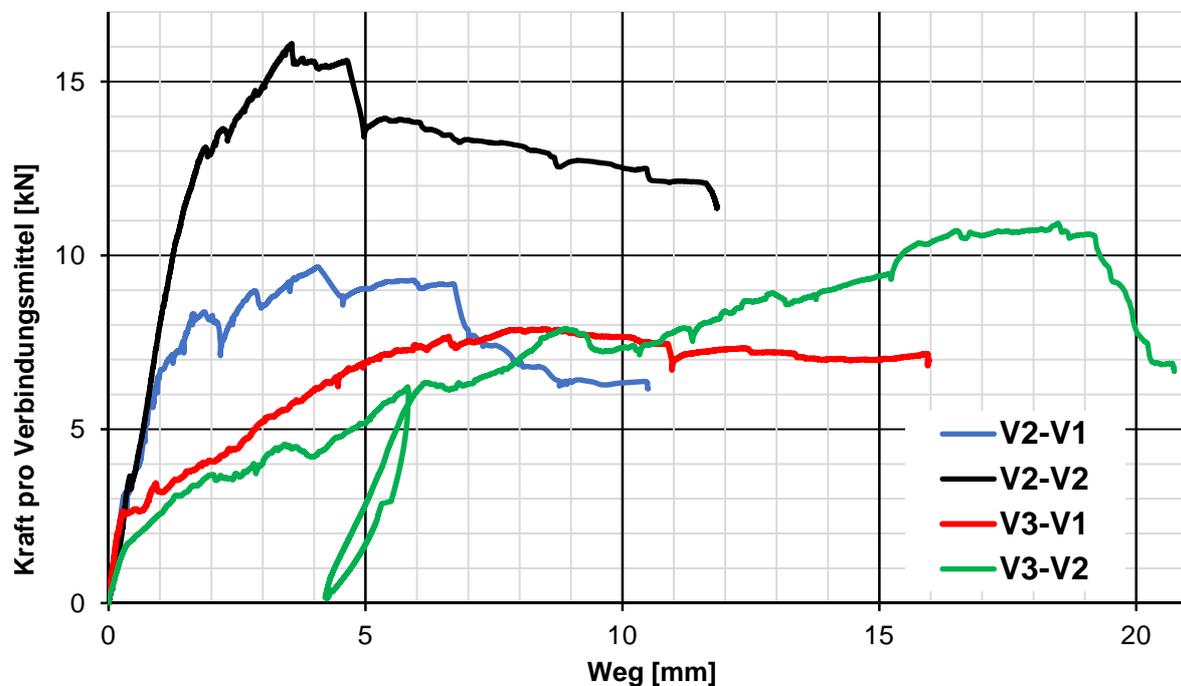


Abbildung 6.52: Zusammenfassung der Last-Verformungs-Diagramme der vier Versuche V2-V1, V2-V2, V3-V1 und V3-V2

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Lastverformungsverhalten der beiden Spannschlossverbindungen (V3-V1 und V3-V2) ist bis zu einem Weg von 10 mm annähernd gleich. Im ungerissenen Zustand, der im Versuche V3-V1 bis etwa 2,5 kN reicht, verläuft die Kurve fast linear, bis sie mit der einsetzenden Rissbildung flacher wird. Unter einer Verformung von 9 mm beträgt für beide Positionen die Last rund 8 kN. Die Gebrauchslast ist etwa bei der Hälfte (4 kN), anzusetzen, zumal unter dieser Last schon größere Risse auftreten (Abb. 6.51a).
- Nachdem in den Versuchen V3-V1 und V3-V2 eine Verformung von 10 mm überschritten ist, setzt eine massive Rissbildung ein. Im Versuch V3-V1 lässt sich die Last nicht mehr steigern. In Versuche V3-V2 hingegen wird eine Maximallast von rund 11 kN erreicht, was allerdings mit einer massiven Rissbildung und großen Verformungen einhergeht.
- Die größeren Verformungen im Versuche V3-V2 sind darauf zurückzuführen, dass sich dort der Versuchskörper verdreht und dadurch eine Einspannung in den Massivkörper entsteht. Die Zugkraft des Einspannmoments wird von der – in dieser Position – unten liegenden Schraube aufgenommen, während die Druckkraft an der Oberseite durch Kontakt übertragen wird. In dem anderen Versuch liegt das Spannschloss oben, auf der Druckseite, wodurch nur ein sehr geringes Moment aufgenommen werden kann.

- Um die Rissbildung und die Betonabplatzungen zu verringern und damit die Gebrauchstauglichkeit zu erhöhen, sind zwischen den Betonelementen – wie auch ursprünglich vorgesehen – Elastomerbänder einzubauen, die die auftretenden Spannungen gleichmäßig verteilen.
- Die Leistungsfähigkeit des Spannschlusses selbst ließe sich durch größere Wandstärken, höhere Materialfestigkeit und einen höheren E-Modul verbessern.
- Bei der Schraubverbindung, Verbindungssystem V2, ist das Last-Verformungs-Verhalten ebenfalls abhängig von der Belastungsrichtung (Position 1 oder 2, V2-V1 bzw. V2-V2).
- Wie zu erwarten war, ist dieses Verbindungssystem steifer als die Spannschlussverbindung V3 und die Rissbildung setzt später ein.
- Die nennenswert höhere Traglast im Versuch V2-V2 gegenüber V2-V1 ist darauf zurückzuführen, dass in den Randrippen ausgehend von den Schrauben eine Art Durchstanzen stattfindet. Der Durchstanzkegel verläuft von dort, wo die Schrauben auf den Beton drücken, nach oben zum freien Bauteilrand. In Position 2 (Versuch V2-V2) schließt dort die Platte an, die entsprechend mit Mikrobewehrung bewehrt ist. Diese Mikrobewehrung nimmt die Querkraft auf und erhöht den Durchstanzwiderstand.
- Die Leistungsfähigkeit der Schraubverbindung ließe sich dadurch verbessern, dass die Rippe – außer im unmittelbaren Schraubenbereich – so ausgeführt wird, wie bei der Spannschlussverbindung. Weiterhin könnte durch den Einbau von Bügeln, so wie sie im Verbindungssystem V1 verwendet wurden (Abb. 6.3, Pos. 3), das Aufspalten der Randrippe behindert werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass:

- die Bewehrung und die Bewehrungsführung entscheidend für die Gebrauchstauglichkeit und die Tragfähigkeit sind. Dem entsprechend ist die Bewehrung sorgfältig zu planen.
- die Verbindungen je nach Belastungsrichtung ein anderes Tragverhalten haben können. Deshalb sind in solchen Fällen immer Belastungsversuche in beide Richtungen durchzuführen.

6.3 Experimentelle Untersuchung eines Wandelements

6.3.1 Einleitung

Nachdem das für den Prototyp vorgesehene Verbindungssystem experimentell auf seine Tauglichkeit untersucht wurde, wurde auch ein Traglastversuch an einem Wandelement im Maßstab 1:1 durchgeführt. Die flächige Belastung auf das Wandelement rechtwinklig zu seiner Ebene wurde durch Unterdruck erzeugt. Hierfür kam ein an der TU Kaiserslautern entwickelter Prüfstand zum Einsatz, der sich bereits in anderen Forschungsvorhaben bewährt hatte.

6.3.2 Versuchskörper

Der Spiegel des 2,50 m mal 1,20 m großen Wandelements war 15 mm dick. Bewehrt war er mit vier Lagen Stahldrahtmatten. Umlaufen war ein trapezförmiger Rahmen mit einer Höhe von rund 30 mm angeordnet, in welchem drei Bewehrungsstäbe mit jeweils einem Durchmesser von 6 mm eingelegt wurden.



Abbildung 6.53: Schalung im Bereich der Verbindungspunkte



Abbildung 6.54: Detail der Bewehrungsführung im Verbindungsbereich

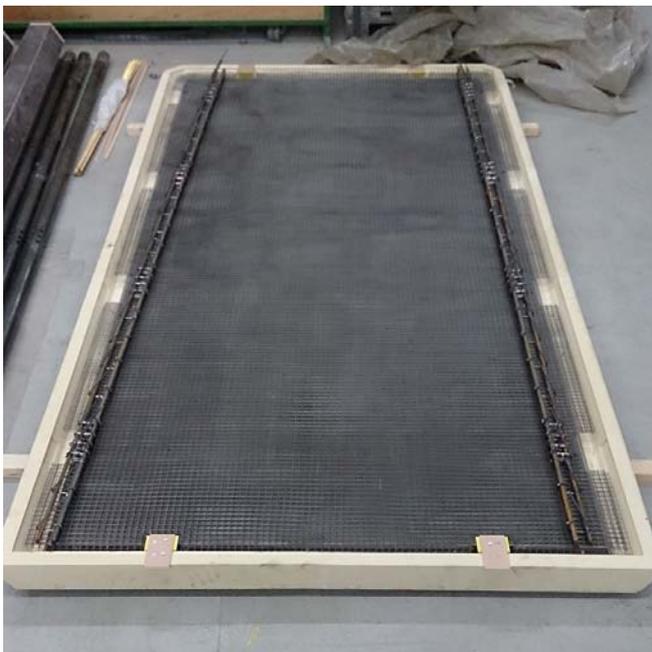


Abbildung 6.55: Gesamtansicht der Schalung und der Bewehrung



Abbildung 6.56: Detail der Randbewehrung

Im Randbereich sowie im Bereich der Verbindungspunkte wurden zusätzlich Bügel aus Stahldraht mit einem Durchmesser von 3 mm angeordnet, sowie sie auch in dem ersten Verbindungssystem V1 eingebaut waren (siehe Abb. 6.3). Die Schalung wurde aus Siebdruckplatten und gefrästen Kunststoffteilen für den Rahmen hergestellt. Die kleinteiligen Schalelemente für die Verbindungspunkte (Abb. 6.53) wurden mit einem 3D-Drucker erzeugt.

Um das Wandelement im Versuch so zu lagern wie später im Prototyp, wurden die Wandelemente in Verbindung mit den Koppелеlementen (Stützen) getestet (Abb. 6.59). Die Stützelemente waren im Versuch über ihre gesamte Länge hinweg linienförmig gelagert.

Die Stützelemente waren - wie für die Versuche am Verbindungssystem V1 auch - längs mit 6 Stäben $\varnothing 6$ mm bewehrt und in Ringrichtung war eine zweilagig Stahldrahtmatte angeordnet (siehe Abb. 6.57). Die Schalung wurde ebenfalls aus Siebdruckplatten gefertigt. Bei der Betonage der Stützelemente wurde die Schalung schräg stehen von oben befüllt und anschließend senkrecht aufgestellt (siehe Abb. 6.58).

Verbunden wurde das Wandelement mit den Stützelementen durch Gewindestangen und Muttern M8 der Güte 8.8 (siehe Abb. 6.60).

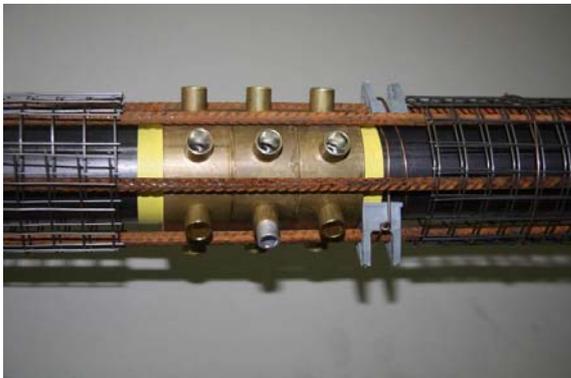


Abbildung 6.57: Bewehrungsführung und Ausbildung der Stützelemente im Verbindungsbereich



Abbildung 6.58: Betonage der Stützelemente



Abbildung 6.59: Fertig montierter Versuchskörper für die Unterdruckversuche



Abbildung 6.60: Detail Verbindungsbereich zwischen Wand und Stütze

6.3.3 Versuchsaufbau

Das Prinzip des Unterdruckprüfstands besteht darin, im Inneren eines luftdicht abgeschlossenen Raums, dessen obere Begrenzungsfläche der zu prüfende Probekörper darstellt, mithilfe einer Vakuumpumpe einen Unterdruck zu erzeugen. Aus der Differenz des Luftdrucks im Inneren des Raums p_{int} in mbar und des Umgebungsluftdrucks p_{ext} kann die auf den Probekörper wirkende Flächenlast p_{baro} in kN/m^2 berechnet werden ($p_{\text{baro}} = (p_{\text{ext}} - p_{\text{int}})/10$).

Als Boden des Prüfstands diente eine Siebdruckplatte, die auf den Hallenboden gelegt wurde. Die Seitenwände des Prüfstandes bildeten Stahlprofile U200, (siehe Abb. 6.61) welche mit Schraubzwingen auf die Bodenplatte gepresst wurden. Die Fugen zwischen Siebdruckplatte und den U-Profilen wurden mit Vakuumdichtband abgedichtet. An die Seitenwände des Prüfstands wurden weiterhin vier Anschlussadapter zur Befestigung der erforderlichen Zu- und Abluftschläuche zum Absaugen und Befüllen mittels der Vakuumpumpe, sowie zum Anschluss zweier elektronischer Barometer montiert. Die Barometer dienten zur Steuerung des Versuchs bzw. zur Erfassung der Messwerte. Weiterhin wurden zwei Barometer zur Erfassung des Umgebungsluftdrucks verwendet.

Die Probekörper wurden in den Prüfstand eingehoben und bildeten mit der oberen Deckschicht einen bündigen Abschluss mit den Seitenwänden des Prüfstandes. Um Fehlstellen und mögliche Risse im Probekörper luftdicht abzudichten, wurde über den Probekörper eine spezielle Vakuumfolie ausgelegt und mit den Stirn- und Seitenflächen der U-Profile mit Vakuumdichtband luftdicht verklebt.

6.3.4 Versuchsdurchführung

Die Belastungsgeschwindigkeit und die erreichbare Maximallast waren stark von der Luftdichtigkeit des Prüfstands abhängig. Bereits kleinste Leckagen zwischen den Seitenwänden und dem Boden des Prüfstands oder zwischen der Folie und den Seitenwänden führten dazu, dass der Unterdruck kaum oder gar nicht aufgebaut werden konnte oder während des Versuchs stark abfiel.

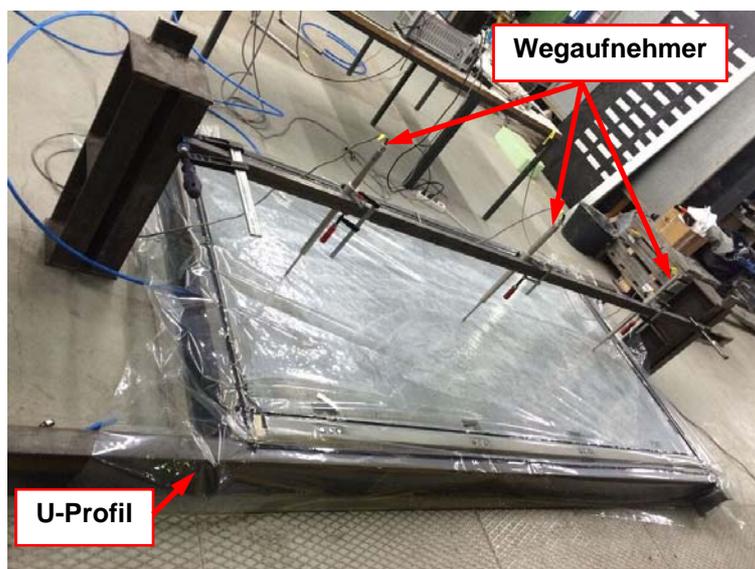


Abbildung 6.61: Versuchsaufbau für den Unterdruckversuch an dem Wandelement

Neben den Luftdruckwerten wurden die Durchbiegungen auf der Oberseite der oberen Deckschicht mit drei Wegaufnehmern gemessen (siehe Abbildung 6.61). Alle Messwerte wurden mit einer Messfrequenz von 2 Hz aufgezeichnet.

6.3.5 Versuchsergebnisse

In dem Diagramm in Abb. 6.64 ist die berechnete Flächenlast p_{baro} über die Durchbiegung in Feldmitte aufgetragen.

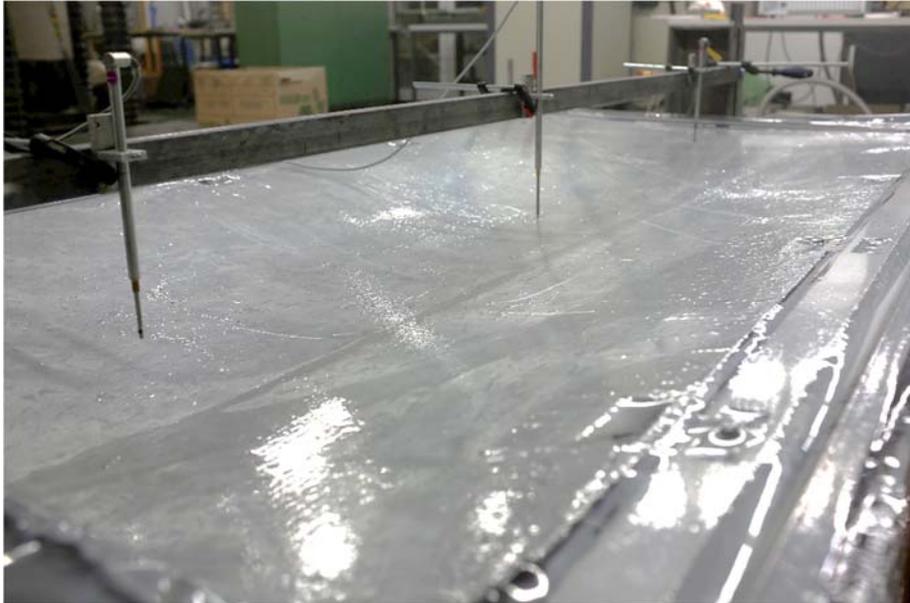


Abbildung 6.62: Durch Unterdruck belastetes, verformtes Wandelement



Abbildung 6.63: Späterer Versagensbereich des Wandelements am Randbalken

Bis zu einer Last von rund 11 kN/m^2 und der zugehörigen Durchbiegung von rund 30 mm war der Zusammenhang nahezu linear. (In dieser Stelle ist zu erwähnen, dass das Wandelement im Vorfeld zum Prüfen der Luftdichtigkeit bereits ein paar Mal über den Bereich der Erstrissbildung hinaus belastet wurde.) Dann flacht die Kurve ab und die Verformungen nehmen ohne weitere Laststeigerung zu.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass an einem der Randbalken an der Querseite starke Verformungen auftraten (Abb. 6.63). Dort trat auch schließlich das Versagen ein (Abb. 6.65 und 6.66).

Die Laststeigerung, die mit zunehmender Verformung noch einmal möglich war, ist der Vaku-
umfolie zuzuschreiben, die bei diesen großen Dehnungen auch entsprechende Kräfte über-
trägt.

Schließlich konnte aufgrund der großen Verformungen der Unterdruck nicht mehr aufrecht-
erhalten werden.

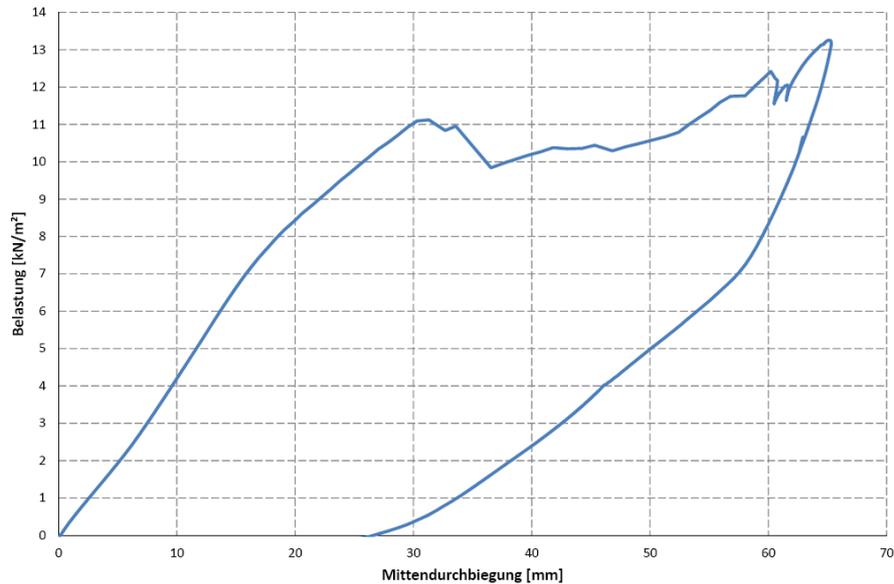


Abbildung 6.64: Last-Verformungskurve bei einem Unterdruckversuch

Nach Beendigung des Versuchs wurde der Versuchskörper ausgebaut und umgedreht. Die Risse auf der Unterseite wurden rot markiert (Abb. 6.65). Deutlich sind die Biegerisse in Längsrichtung zu erkennen, die auf die Bruchstelle an dem einen Querrand zulaufen. Die Längsränder waren durch die Stützen gehalten und sind nahezu unversehrt. Die Stützen, die linienförmig gelagert waren, sind ebenfalls gerissen, wobei die Rissbreiten gering sind.

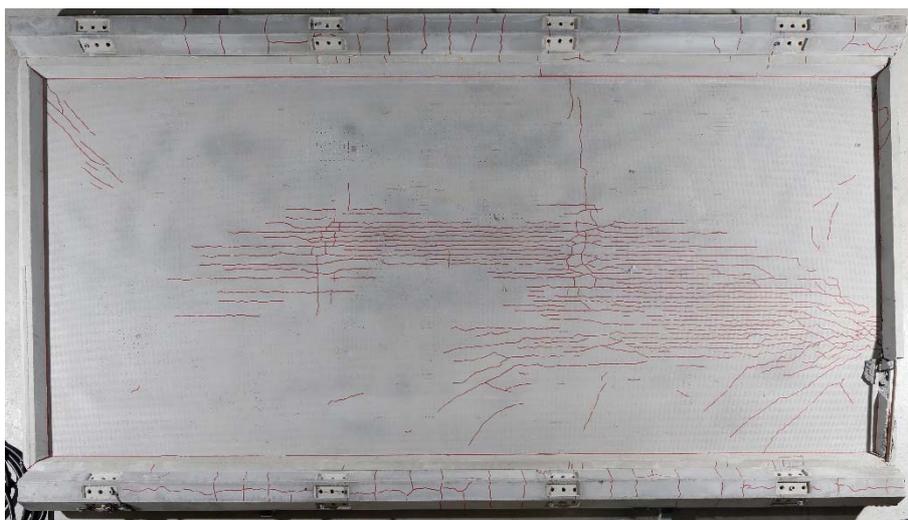


Abbildung 6.65: Rissbild auf der Unterseite nach dem Versuch

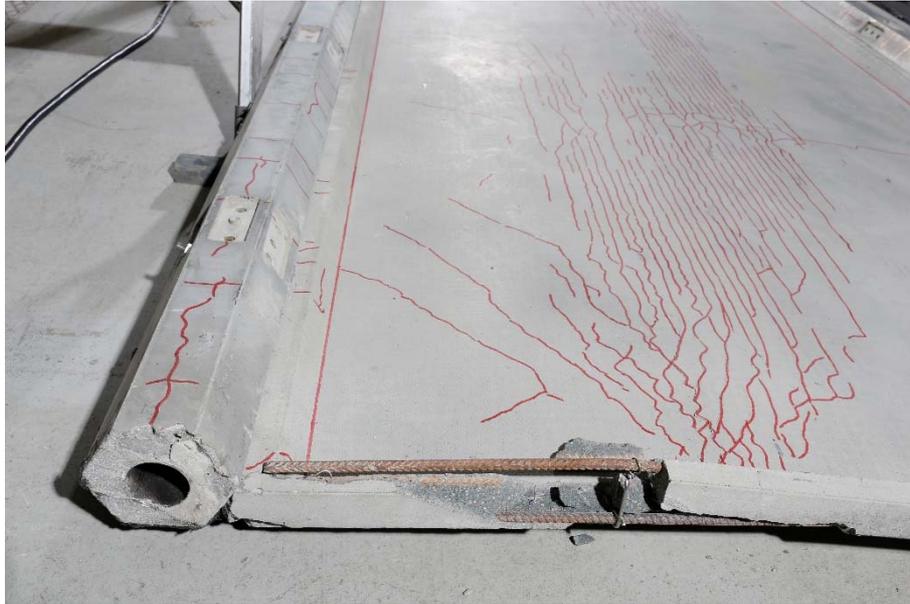


Abbildung 6.66: Abgeplatzte Betondeckung und freiliegende Bewehrung an der Versagensstelle am Querrand

Das Versagen am Querrand (Abb. 6.66) fand im Übergreifungsbereich der Bewehrungsstäbe statt. Allerdings sind im späteren Gebäude die Querränder nicht wie im Versuche frei, sondern unten durch die Schwellbalken und oben durch die Dachelemente seitlich gehalten, was diese Art des Versagens behindert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die aufnehmbare Last von rund 11 kN/m^2 mehr als ausreichend ist, um die Bemessungslasten von rund 2 kN/m^2 mit der geforderten Sicherheit aufnehmen zu können.

Die Durchbiegungen in Wandmitte unter einer solchen Last liegen mit rund 5 mm ebenfalls in einem akzeptablen Bereich.

6.3.6 Weitere Versuche

Ursprünglich waren auch Längsdruckversuche zur Untersuchung der Scheibentragwirkung und Versuche mit kombinierter Beanspruchung vorgesehen.

Auf die Längsdruckversuche wurde verzichtet, weil bei dem Modulsystem von Bayer/Schluppkotten, von dem auch der Prototyp hergestellt wird, die Stützen, die auch als Koppелеlemente dienen, mit einer großen Sicherheit in der Lage sind, die Normalkräfte aufzunehmen. Alleine das Stahlrohr 48.3-2.6 aus S235 ist mit einer Knicklänge von $3,35 \text{ m}$ in der Lage, eine Bemessungsdruckkraft von knapp 15 kN aufzunehmen. Dabei ist weder die bewehrte Betonummantelung noch die stützende Wirkung der Wandelemente berücksichtigt.

7 Experimenteller Nachweis der Wind- und Schlagregendichtheit

Aus statischen Gesichtspunkten müssen die Fugen zwischen den Betonelementen in der Lage sein, zumindest Druckkräfte zu übertragen. Um die „Gebrauchstauglichkeit“ zu gewährleisten, sollen die Fugen zudem wind- und schlagregendicht sein.

Um beide Anforderungen zu erfüllen, bietet sich eine Kombination aus einem dünnen, 2 mm dicken, unbewehrten Elastomerlager an, z.B. „Serie 4100 unbewehrt“ der Firma SPEBA Bauelemente GmbH (siehe Abb. 7.2), und einem Dichtungsband, z.B. dem „Illbruck illmod trioplex“ der tremco illbruck Group GmbH (siehe Abb. 7.1).

Dabei soll das Elastomerlager auf beiden Seiten mit dem Dichtungsband beklebt werden. Die Breite soll der der Fuge entsprechen. Im Stoßbereich ist zwischen den Elastomerlagern eine Lücke von etwa 2 cm zu lassen, in die sich das Dichtungsband, das durchgeführt wird, hineindrücken kann.



Abb. 7.1: Dichtungsband „Illbruck illmod trioplex“

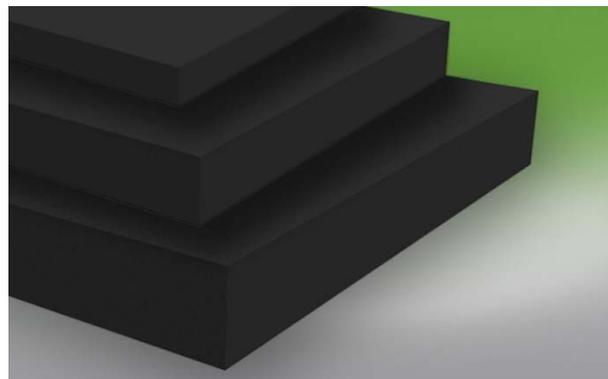


Abb. 7.2: Elastomerlager „Serie 4100 unbewehrt“

Bei dem Dichtungsband handelt es sich um ein imprägniertes, vorkomprimiertes Multifunktions-Dichtungsband, das speziell für erhöhte Anforderungen in Passivhaus-, Neubau- und Sanierungsobjekten als Wärmedämmung entwickelt wurde. Es dichtet Fensterfugen nach RAL luftdicht, wärme- und schalldämmend sowie dampfdiffusionsoffen und schlagregendicht ab.

Das Elastomerlager „Serie 4100 unbewehrt“ ist eigentlich zum Ausgleich bauteilbedingter Ungenauigkeiten. Es kann bei Ausnutzung der plastischen und elastischen Verformung Druckspannungen bis 4 N/mm^2 aufnehmen, bei einer Mindestlagerbreite der fünf fachen Lagerdicke. Die Zugfestigkeit beträgt 3 N/mm^2 und die Härte $\pm 10 \text{ Shore-A}$. Damit sind die mechanischen Eigenschaften mehr als ausreichend.

Der „experimentelle Nachweis“ soll an dem Prototypen erfolgen, der nach seinem Aufbau für eine gewisse Zeit der Witterung ausgesetzt wird. Zusätzlich soll durch Besprühen mit Wasser die Dichtigkeit überprüft werden.

8 Entwurf eines Prüfprogramms für die Verbindungssysteme

Aus den durchgeführten experimentellen Untersuchungen an den drei Verbindungssystemen lassen sich die folgenden Empfehlungen für ein Prüfprogramm, auf dessen Grundlage die Erteilung einer bauaufsichtlichen Zulassung erfolgen könnte, ableiten:

- a) Ermittlung der Art und der Größe der durch das Verbindungssystem aufzunehmenden Kräfte

Welche Art von Kräften (Zugkraft, Querkräfte rechtwinklig oder parallel zur Fuge) aufzunehmen sind, wird durch die Ausbildung des Verbindungssystems und die Anordnung der Elemente sowie die Geometrie des Baukörpers bestimmt. Werden keine besonderen Maßnahmen ergriffen, ist das Verbindungssystem in der Regel für Beanspruchungen in den drei Richtungen auszulegen, nämlich für die Bemessungswerte der Zugkraft N_{Ed} und der Querkräfte rechtwinklig und parallel zur Fuge $V_{t,Ed}$ bzw. $V_{s,Ed}$.

Die Größe der jeweils aufzunehmenden Kräfte hängt zum einen von der Anzahl und dem Abstand der Verbindungsmittel ab, aber in besonderem Maße auch von der Anordnung der Elemente und der Geometrie des Baukörpers (siehe Kap. 5.2.14). Wie bereits erwähnt, können die Kräfte in den Verbindungsmitteln durch einen geschickten Entwurf möglichst gering gehalten werden.

- b) Entwurf, Konstruktion und Bemessung eines geeigneten Versuchsstandes

Hierbei ist insbesondere auf die Lagerung und die Belastung der Versuchskörper zu achten. Diese sollten möglichst realistisch die Bedingungen im Baukörper abbilden.

- c) Konstruktion und Herstellung der Versuchskörper

Die Versuchskörper sind als Ausschnitt aus den späteren Bauelementen herzustellen, mit der gleichen Bewehrung und der gleichen Geometrie und ggf. den Koppelementen. Nach Möglichkeit sollten die Versuchskörper zwei Verbindungsmittel enthalten (siehe durchgeführte Versuche).

- d) Versuchsprogramm und Versuchsdurchführung

Die Versuchskörper sind so zu lagern und zu belasten, dass in den Verbindungen die Kräfte auftreten, die sich auch am Gesamtsystem als Schnittgrößen einstellen. In der Regel sind dies wie bereits erwähnt die Zugkraft N sowie eine Querkraft rechtwinklig und parallel zur Fuge V_t bzw. V_s . Bei den Querkräften ist auch die jeweilige Richtung zu beachten. Während bei der Querkraft parallel zur Fuge die Richtung in der Regel keinen großen Unterschied machen dürfte, spielt sie für die Querkraft rechtwinklig zur Fuge u.U. eine entscheidende Rolle (siehe Versuche an den Verbindungssystemen V2 und V3).

In einer ersten Serie V_0 sollte immer nur eine der Kräfte bis zum Versagen aufgebracht werden (siehe Tab. 8.1). Dadurch werden die jeweiligen Traglasten $N_{u,0}$, $V_{s,u,0}$ und $V_{t,u,0}$ ermittelt. Können die Querkräfte in unterschiedliche Richtungen wirken und macht es erkennbar einen Unterschied in der Traglast, ist auch jeweils die zweite Richtung zu untersuchen. Im ungünstigsten Fall sind dann fünf Traglasten zu ermitteln: $N_{u,0}$, $V_{s,u,0}$, $V_{s-,u,0}$, $V_{t,u,0}$ und $V_{t-,u,0}$.

Zeigt sich schon bei diesen Versuchen, dass eine der Kräfte durch das Verbindungssystem nicht mit der erforderlichen Sicherheit aufgenommen werden kann, ist das Verbindungssystem zu überarbeiten.

Außerdem lässt sich so überprüfen, wie groß das jeweilige Verhältnis des zu erwartenden Bemessungswiderstandes (der noch aus der im Versuch ermittelten Traglast zu berechnen ist) zum Bemessungswert der Einwirkung ist ($N_{Ed}/N_{u,0}$, $V_{s,Ed}/V_{s,u,0}$, $V_{t,Ed}/V_{t,u,0}$, usw.). Die Verhältnisse sollten möglichst gleichgroß sein, um eine gleichmäßige Ausnutzung des Verbindungssystems zu gewährleisten und ein vorzeitiges Versagen in einer Richtung zu vermeiden. Sie sollten zudem etwa im Bereich zwischen 0,5 und 0,7 liegen, weil aus den im Versuch gemessenen Traglasten anschließend die Bemessungswerte der Widerstände zu ermitteln sind. Um eine vernünftige statistische Absicherung zu gewährleisten, sind mindestens 3 Versuche (Zählindex i) pro Konstellation empfehlenswert.

In der zweiten Serie V_1 ist das Verbindungssystem in alle drei Richtungen zu belasten. Das Verhältnis der Kräfte sollte möglichst ungünstig gewählt werden. (Das wird in der Regel für die Kombination der Fall sein, in der die Kräfte alle möglichst groß sind.) Dazu wird die betragsmäßig größte Bemessungslast (N_{Ed} , $V_{t,Ed}$ oder $V_{s,Ed}$) zu „1“ gesetzt. Im ungünstigsten Fall sind die drei Bemessungslasten gleich groß. Dann wäre das zu untersuchende Verhältnis 1/1/1.

Die Lasten sind dann gleichzeitig und in den im Vorfeld ermittelten Verhältnisse aufzubringen. Dabei ist es empfehlenswert, die Lasten stufenweise (etwa 5 bis 10 Stufen bis zur Traglast) aufzubringen und nach jeder Laststufe den Probekörper auf Risse hin zu untersuchen, denn neben der Tragfähigkeit ist auch die Gebrauchstauglichkeit zu bewerten.

In den folgenden Serien (Zählindex j) sind dann weitere Verhältnisse zu untersuchen.

Tabelle 8.1: Empfohlenes Versuchsprogramm für ein Verbindungssystem

Versuch	Verhältnis $N / V_s (V_{s-}) / V_t (V_{t-})$	Ergebnis
Serie V_0		
V_0-N_i	1/0/0	$N_{u,0}$
$V_0-V_{s,i}$	0/1/0	$V_{s,u,0}$
$V_0-V_{s-,i}$	0/1/0	$V_{s-,u,0}$
$V_0-V_{t,i}$	0/0/1	$V_{t,u,0}$
$V_0-V_{t-,i}$	0/0/1	$V_{t-,u,0}$
Serie V_1		
$V_1-V_i (n_1/V_{s,1}/V_{t,1})$	$n_1/V_{s,1}/V_{t,1}$	z.B. $N_{u,1}$ in Abh. von $V_{s,1}$, $V_{t,1}$
Serie V_2		
$V_2-V_i (n_2/V_{s,2}/V_{t,2})$	$n_2/V_{s,2}/V_{t,2}$	z.B. $N_{u,2}$ in Abh. von $V_{s,2}$, $V_{t,2}$
Serie V_j		
$V_j-V_i (n_j/V_{s,j}/V_{t,j})$	$n_j/V_{s,j}/V_{t,j}$	z.B. $N_{u,j}$ in Abh. von $V_{s,j}$, $V_{t,j}$

e) Auswertung

Die Ergebnisse können schließlich in der in Abb. 8.1 dargestellten Form aufgetragen werden. Es entstehen Interaktionskurven zwischen zwei Kräften, die durch die dritte Kraft beeinflusst werden. Sinnvollerweise sollte die Kraft, deren Einfluss auf die „Gesamtraglast“ am geringsten ist, als dritte Kraft festgelegt werden.

Aus den Traglasten der Versuche sind mit einer entsprechenden statistischen Auswertung die Bemessungswerte der Widerstände N_{Rd} , $V_{s,Rd}$ und $V_{t,Rd}$ zu ermitteln, um die entsprechenden Interaktionsdiagramme auf Bemessungsniveau zu erhalten.

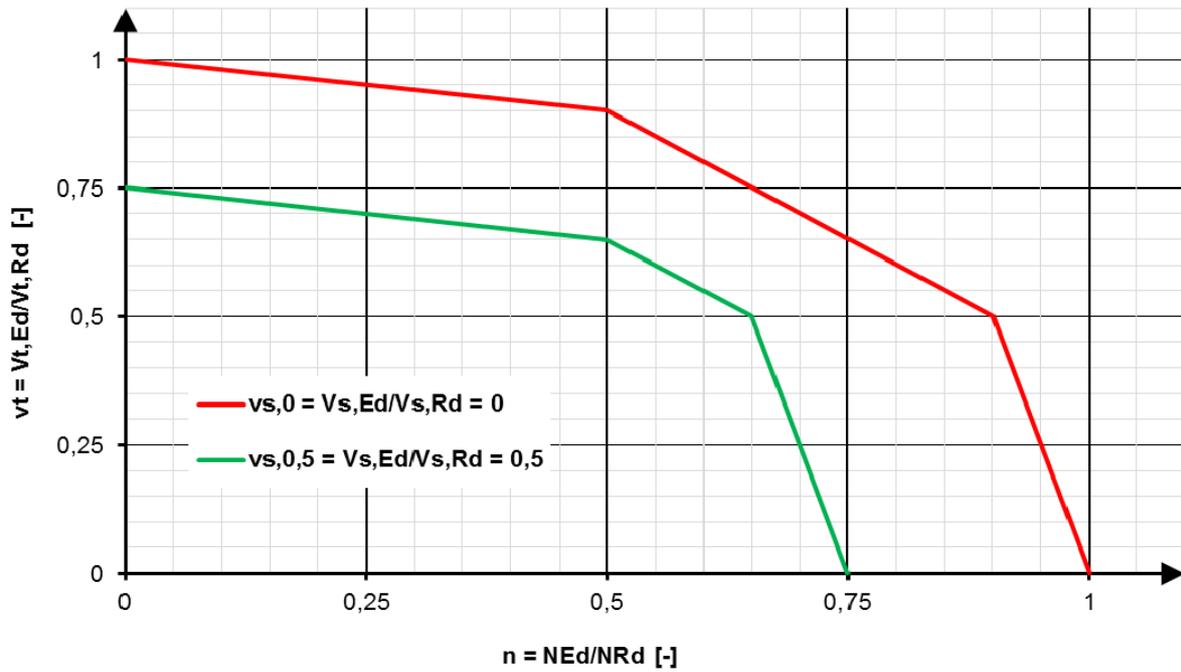


Abbildung 8.1: Beispielhaftes Interaktionsdiagramm auf Bemessungsniveau für ein Verbindungssystem

Am besten sollte der Entwurf des Versuchsprogramms im Vorfeld mit der entsprechenden Abteilung des DiBt abgestimmt werden.

9 Entwurf eines Prüfprogramms für die Betonelemente

Sofern die Dach- und Wandelemente und ggf. die Koppелеlemente sich nicht nach den bauaufsichtlich eingeführten technischen Baubestimmungen bemessen und nachweisen lassen, ist auch für diese eine bauaufsichtliche Zulassung zu erwirken. Dabei kann folgendermaßen vorgegangen werden:

a) Ermittlung der Beanspruchungen der Elemente

Auch hier ist zunächst am Gesamtsystem oder bei einfachen Systemen an einem einzelnen Element zu ermitteln, wie groß die einzelnen Einwirkungen und die daraus resultierenden Beanspruchungen sind.

In der Regel erfahren die Elemente sowohl eine Scheiben- als auch eine Plattenbeanspruchung. Welche der beiden Beanspruchungen kritischer ist, hängt ganz von dem Modulsystem und seiner baulichen Durchbildung ab.

b) Entwurf, Konstruktion und Bemessung eines geeigneten Versuchsstandes.

Zur Ermittlung der Biegetragfähigkeit dünner Betonelemente hat sich der Unterdruckversuch bewährt. Was dazu notwendig ist und wie er durchzuführen ist, kann Kap. 6.3 entnommen werden.

Dieser Versuchsstand ließe sich auch derart erweitern, dass gleichzeitig Druckkräfte auf das Element aufgebracht werden können. Dazu müssten an den beiden Querseiten jeweils ein Joch angeordnet werden, das seitlich über das Element herausragt und an dem Spannstrangen und Pressen angeordnet werden können.

c) Konstruktion und Herstellung der Versuchskörper

Anders als bei den Verbindungen, sollten hier die vollständigen Wandelemente im Maßstab 1:1 getestet werden. Dabei kann die Geometrie ggf. vereinfacht werden.

d) Versuchsprogramm und Versuchsdurchführung

Die Versuchskörper sind so zu lagern und zu belasten, dass in den Elementen die Kräfte auftreten, die sich auch am Gesamtsystem als Schnittgrößen einstellen. In der Regel sind dies Scheibenbeanspruchungen (Normalkräfte in Elementebene) sowie Plattenbeanspruchungen (Flächenlasten rechtwinklig zur Elementebene). Bei den Plattenbeanspruchungen ist zu überlegen, ob die Richtung der Last einen Unterschied macht. Für eine symmetrisch bewehrte Platte ist dies nicht der Fall. Das Tragverhalten der Rand- und Zwischenrippen könnte sich allerdings je nach Belastungsrichtung unterscheiden.

Auch hier sollte in einer ersten Serie V_0 immer nur eine der Beanspruchungen bis zum Versagen aufgebracht werden (siehe Tab. 8.2). Dadurch werden die jeweiligen Traglasten $N_{u,0}$ und $V_{u,0}$ ermittelt. Falls die Richtung der Plattenbeanspruchung erkennbar einen Unterschied in der Traglast macht, ist auch die zweite Richtung zu untersuchen. Im ungünstigsten Fall sind dann drei Traglasten zu ermitteln: $N_{u,0}$, $V_{u,0}$ und $V_{-,u,0}$.

Zeigt sich schon bei diesen Versuchen, dass eine der Beanspruchungen durch die Elemente nicht mit der erforderlichen Sicherheit aufgenommen werden kann, sind die Elemente zu überarbeiten. Im Weiteren gilt sinngemäß das gleiche wie für die Verbindungssysteme.

Tabelle 8.2: Empfohlenes Versuchsprogramm für ein Element

Versuch	Verhältnis N / V	Ergebnis
Serie V_0		
V_0-N_i	1/0	$N_{u,0}$
V_0-V_i	0/1	$V_{u,0}$
$V_0-V_{-,i}$	0/1	$V_{-,u,0}$
Serie V_1		
$V_1-V_i (n_1/v_1)$	n_1/v_1	z.B. $N_{u,1}$ in Abh. von V_1
Serie V_2		
$V_2-V_i (n_2/v_2)$	n_2/v_2	z.B. $N_{u,2}$ in Abh. von V_2
Serie V_j		
$V_j-V_i (n_j/v_j)$	n_j/v_j	z.B. $N_{u,j}$ in Abh. von V_j

e) Auswertung

Die Ergebnisse können wie bei den Verbindungselementen auch als Interaktionskurve aufgetragen werden. Da es nur zwei Beanspruchungen sind, vereinfacht sich das Diagramm entsprechend.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Die sich ergebenden Problemstellungen wurden von den drei Antragstellern Prof. Bayer, Prof. Schnell und Juniorprof. Kohlmeyer gemeinschaftlich gelöst. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Als Einstieg wurden insgesamt vier verschiedene Modulsysteme entworfen. Drei davon im Rahmen eines Studentischen Projektes. Die Ergebnisse sind in Kapitel 2 zusammengefasst und in Anhang D ausführlich dargestellt.

Ein weiteres System wurde von Herrn Bayer und Herrn Schluppkotten entworfen. Zusammenfassend beschrieben ist es in Kapitel 3. Eine ausführliche Erläuterung enthält Anhang D und E, wobei in Anhang E auch alle Bauteile detailliert aufgeführt sind. Für dieses System wurde und wird die gesamte Schalung gebaut und Probekörper wurden hergestellt (Kap. 4).

Zuvor wurden für die insgesamt 4 Modulsysteme Teile der betreffenden Betonelemente im Maßstab 1:1 hergestellt und damit die Praxistauglichkeit bezüglich Herstellung und Montage demonstriert.

Die Anforderungen, die im Antrag an das Modulsystem gestellt wurden, sind alle erfüllt. Demnach lassen sich aus einer geringen Anzahl verschiedener Betonelemente beliebig viele Raumzellenkonstellationen in unterschiedlichsten Formen und Größen herstellen. Auch die geforderten Höchstabmessungen und das Maximalgewicht von 200 kg werden eingehalten. Damit können die Elemente beispielsweise in einem Überseecontainer mit den Innenabmessungen 5,90 x 2,35 x 2,40 m verladen und transportiert werden und von Hand oder mit leichten Hebezeugen einfach aufgebaut werden.

In einem zweiten Schritt wurden numerische Untersuchungen an verschiedenen Raumzellenvarianten durchgeführt (Kap. 5). Dabei wurden zunächst an einem beispielhaften Element, das sowohl als Wand als auch als Decke eingesetzt werden kann, die Schnitt- und Auflagergrößen bestimmt und die Elemente beispielhaft bemessen. Anschließend wurden drei Varianten des Modulsystems Bayer/Schluppkotten (B/S) numerisch untersucht und die maßgebenden Beanspruchungen der Verbindungsmittel herausgefiltert.

Dabei wurde deutlich, dass die Größe der zu übertragenden Kräfte nicht nur von der Anzahl und Anordnung der Verbindungsmittel an einem einzelnen Element abhängt, sondern vor allem von der Anordnung der Wand- und Deckenelemente in dem betreffenden Gebäude. Bei einer vernünftigen Anordnung der Wand- und Deckenscheiben liegen die durch ein Verbindungsmittel zu übertragenden Zugkräfte im Bereich von 5 kN und die Querkräfte bei rund 4 kN. Wie sich in den Versuchen gezeigt hat, lässt sich diese Größenordnung auch gut beherrschen.

Einen weiteren Teil des Vorhabens bildeten die experimentelle Untersuchung der Verbindungssysteme und der Betonelemente (Kap. 6). Hier wurden drei Verbindungssysteme, eine Schraubverbindung mit Koppelement, eine ohne und eine sogenannte Spannschlossverbindung, unter unterschiedlichen Beanspruchungen bis zum Versagen belastet und dabei auch die entsprechenden Last-Schlupf-Beziehungen und die Nachgiebigkeiten ermittelt. Für das Verbindungssystem 1, das bei dem Modulsystem Bayer/Schluppkotten verwendet wird, betrug die übertragbare Zugkraft N rund 8 kN und die Querkräfte sowohl rechtwinklig zur Platte als auch parallel zur Platte (V_t bzw. V_s) bis zu 4 kN, wobei die Zugkraft immer maßgebend war.

Bei den anderen beiden Verbindungssystemen konnten bis zu 15 kN Querkraft rechtwinklig zur Platte aufgenommen werden.

Die drei untersuchten Verbindungssysteme sind allesamt lösbar und vielfach verwendbar, aber auch dauerhaft. Sie sind gleichsam funktional und tragfähig, was in den Versuchen bestätigt wurde.

Aus diesen Versuchen wurde ein Prüfprogramm abgeleitet, so wie es auch zur Erlangung einer bauaufsichtlichen Zulassung erforderlich wäre. Es sieht vor, die Verbindung zunächst immer nur in eine der möglichen Beanspruchungsrichtungen zu belasten. Hieraus resultieren dann die Beanspruchbarkeiten für den Fall, dass entweder nur eine Normalkraft oder eine der Querkräfte wirken würde. In weiteren Versuchen sind dann die Verbindungssysteme in alle drei Richtungen zu belasten. Das Verhältnis der Kräfte sollte dabei möglichst ungünstig gewählt werden, was im ungünstigsten Fall bedeuten würde, dass alle drei Bemessungslasten gleich groß sind. Die Lasten sind möglichst gleichzeitig und in den im Vorfeld ermittelten Verhältnisse aufzubringen.

Die Versuchsergebnisse können schließlich in grafischer Form in Interaktionsdiagrammen aufgetragen werden. Aus den Traglasten der Versuche sind mit einer entsprechenden statistischen Auswertung die Bemessungswerte der Widerstände zu ermitteln, die ebenfalls in Interaktionsdiagrammen verdeutlicht werden können.

Weiterhin wurde eines der Wandelemente mit seitlich angeschlossenen Stützen in einem Unterdruckprüfstand bis zum Bruch belastet. Die aufnehmbare Flächenlast von rund 10 kN/m² lag dabei weit über dem, was in der Praxis an Beanspruchungen zu erwarten ist. Dabei ist das Wandelement nur 1,5 cm dick. Bewehrt war es mit 4 Lagen Stahldrahtmatten, einer sog. Mikrobewehrung. Die umlaufende Randrippe war zusätzlich mit Betonstahl, Durchmesser 6 mm bewehrt.

Auch für die tragenden dünnwandigen Betonelemente wurde ein Versuchsprogramm vorgeschlagen, auf dessen Grundlage sich eine bauaufsichtliche Genehmigung ableiten lässt. Die Rippen lassen sich – zumindest was die Biegung betrifft - in Anlehnung an die gültige Stahlbetonbaunorm bemessen und nachweisen.

Die eingangs vorgestellten beiden Hauptziele des Forschungsvorhabens, die Entwicklung eines multifunktionalen Modulsystems und die Erarbeitung eines Nachweisprogramms als Grundlage für die Erwirkung einer Bauaufsichtlichen Zulassung, wurden demnach erreicht und die zugehörigen Arbeitsschritte vollständig abgeschlossen.

Der Bau des Prototypen ist noch nicht abgeschlossen. Zurzeit werden für den Prototypen in den Werkstätten der TU Kaiserslautern die letzten Teile der Schalungen und die Einbauteile hergestellt. Die Betonelemente sollen dann im Laufe des Jahres von der Firma Fehr (<http://www.fehr-groupe.com/de/>) produziert werden.

Anschließend wird der Prototyp zunächst auf einem Privatgrundstück aufgebaut und professionell fotografiert. In diesem Zuge soll auch die Wind- und Schlagregendichtheit getestet werden. In Kapitel 7 wurden Vorschläge zur Abdichtung der Fugen gemacht.

Es ist geplant das Projekt bei Architekturwettbewerben einzureichen und in Fachzeitschriften zu veröffentlichen. Damit soll ein möglichst großer Kreis von Architekten für diesen neuen innovativen Baustoff und die Bauweise begeistert und zum Bauen damit inspiriert werden. Die Idee vom Hightech-Baustoff Beton und von leichten, filigranen Bauwerken daraus soll Publik gemacht werden und zur Steigerung der Attraktivität des Bauwesens beitragen.

11 Literaturverzeichnis

Hauser 1999 Hauser, S.: Hochfester Fasermattenbeton. SIMCON neu / DUCON. Dissertation. Darmstadt, 1999.

Müller 2015 Müller, F.: Selbsttragende Sandwichelemente mit Deckschichten aus Hochleistungsbeton und einem Kern aus extrudiertem Polystyrol. Dissertation. Kaiserslautern, 2015.

Oster 2016 Oster, S.: Keilzinkenverbindungen als Füge­technik für dünne Bauteile aus mikrobewehrtem Hochleistungsbeton. Dissertation. TU Kaiserslautern, 2016 (in Vorbereitung).

Anhang A: Prüfeinrichtung für die Versuche am Verbindungssystem V1

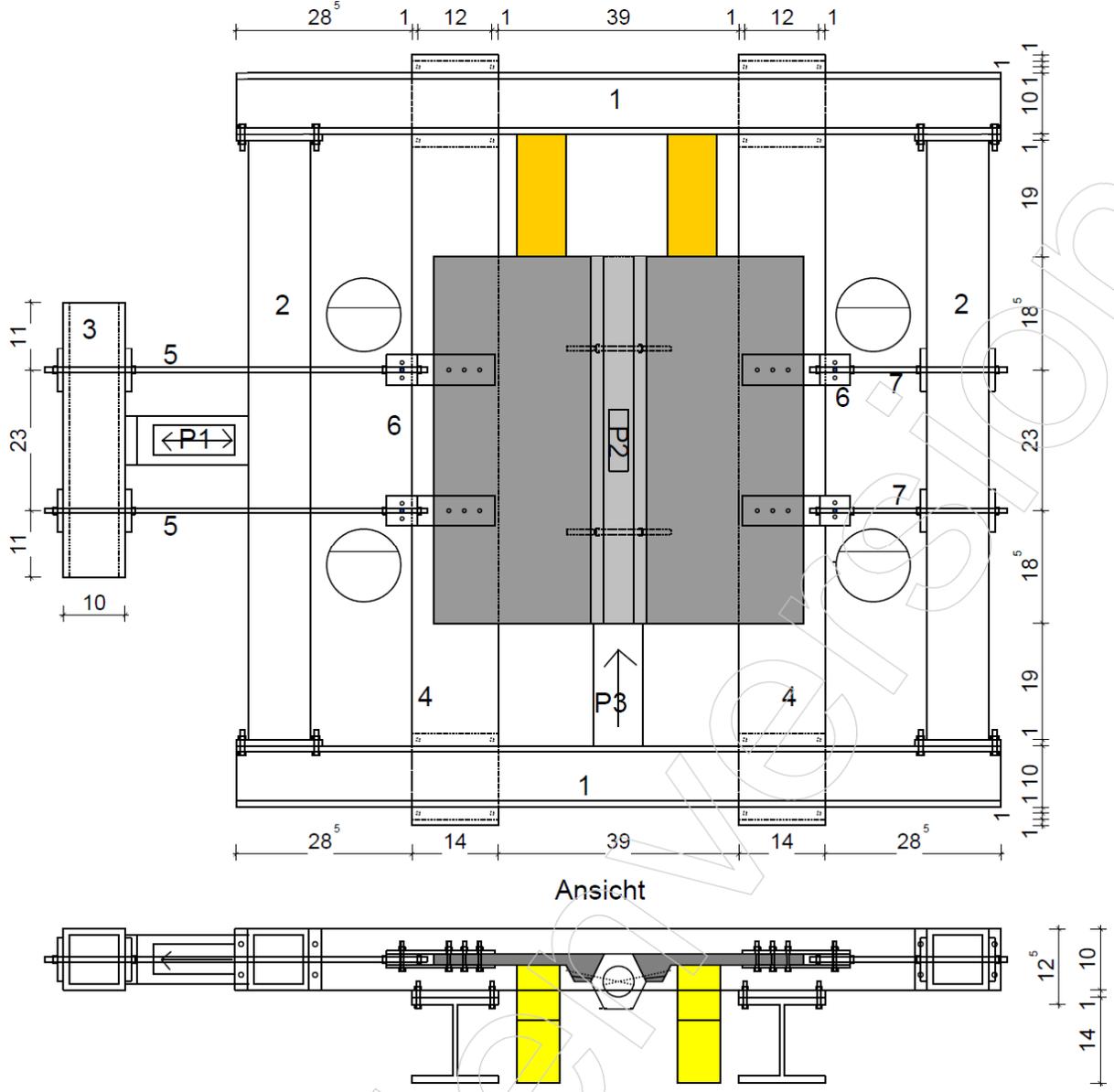


Abbildung A.1: Draufsicht und Ansicht des horizontalen Prüfrahmens

Anhang B: Werkstoffkennwerte des Betons des Verbindungssystems V1

Tabelle B.1: Druck- und Biegezugfestigkeiten

Versuch V1-V1	Länge l	Breite b	Höhe h	Bruchlast F _f	Biegezugf. f _{ct}	Bruchlast F _c	Druckf. f _c
Probe Nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MN/m ²]	[N]	[MN/m ²]
1	161,2	40,4	40,2	5150	11,8	186500	116,6
2	161,2	40,6	40,1	4160	9,6	188600	117,9
3	161,2	40,6	39,8	4280	10,0	170900	106,8
Prüfalter:	39 Tage				Festigkeiten: f_{ct} = 10,5	f_c =	113,8
Versuch V1-V2	Länge l	Breite b	Höhe h	Bruchlast F _f	Biegezugf. f _{ct}	Bruchlast F _c	Druckf. f _c
Probe Nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MN/m ²]	[N]	[MN/m ²]
1	161,2	40,8	40	5920	13,6	177700	111,1
2	160,9	40,7	40,1	5620	12,9	202000	126,3
3	161,8	34,6	40,6	5710	15,0	158900	99,3
Prüfalter:	28 Tage				Festigkeiten: f_{ct} = 13,8	f_c =	112,2
Versuch V1-V3	Länge l	Breite b	Höhe h	Bruchlast F _f	Biegezugf. f _{ct}	Bruchlast F _c	Druckf. f _c
Probe Nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MN/m ²]	[N]	[MN/m ²]
1	161,9	40	39,8	4210	10,0	164600	102,9
2	162,2	40,8	40,3	4910	11,1	165000	103,1
3	161,8	39,8	39,8	4790	11,4	160800	100,5
Prüfalter:	25 Tage				Festigkeiten: f_{ct} = 10,8	f_c =	102,2

Die Biegezugfestigkeiten wurden mit Dreipunktbiegeversuchen an Prismen ermittelt und wie folgt berechnet:

$$f_{ct} = 1,5 \cdot \frac{F_f \cdot l}{b \cdot h^2}$$

Mit l = 100 mm.

Anhang C: Ergebnisse der numerischen Untersuchungen

C.1 Raumzellenvariante 1

Tabelle C.1: Elementübersicht

Elementenübersicht - V1			
Element		Bezeichnung	Anzahl
Dach		F1 bis F24	24
Wände		F25 bis F40	16
Sütze		S1 bis S20	20
Schwellbalken		S21 bis S63	43
Träger		S64 & S320 bis S361	43
Verb. Decke		S362 bis S 505	144
Verb.Wände & Schwellbalken		S65 bis S319	255
	Verb. Schwellbalken	S67; 74; 80; 84; 93; 99; 106; 111; 119; 124; 131; 137; 144; 150; 157; 163; 170; 175; 183; 188; 196; 201; 208; 213; 220; 225; 232; 237; 244; 249; 256; 261; 266 bis 319	86
	Verb.Wände	S65;66;68 bis 73; 75 bis 79;81 bis 83;85 bis 92;94 bis 98;100 bis 105;107 bis 110;112 bis 118 120 bis 123;125 bis 130;132 bis 136;138 bis 143;145 bis 149;151 bis 156;158 bis 162 164 bis 169;171 bis 174;176 bis 182;184 bis 187;189 bis 195;197 bis 200;202 bis 207; 209 bis 212;2014 bis 219;221 bis 224;226 bis 231;233 bis 236;238 bis 243;245 bis 248 250 bis 255;257 bis 260;262 bis 265.	169
Unterzüge(Rippen von Wänden)		UZ-1 bis 64	64
Linienauflager		LIRB-1 bis 43	43
Punktauflager		PURB-1 bis 20	20

Tabelle C.2: Maximal- und Minimalwerte der Schnittgrößen aus den Einheitswindlasten

	1-Wind									
	Fall	Ort	Max.N[KN]	Fall	Ort	Max.Vt[KN]	Fall	Ort	Max.Vs[KN]	
Wand	W90	S168	4,49	W90	S180	1,78	W90	S167		1,75
	W0D	S68	-4,48	W180D	S180	-1,45	W180D	S167		-1,48
Dach	W0D	S369	0,41	W0D	S364	0,23	W270	S381		0,23
	W90&270	S468,471,495&S386	-0,24	W270	S392	-0,25	W90	S472		-0,22
Träger	W180D	S330	2,5	W270	S351	0,29	W180D/W90/W270	S333/S352,353,356,357,358/S351,352,361		0,05
	W0D	S361	-1,48	W270	S336	-0,29	W0D/W90/W270	S321/S344/S336,347		-0,05
Schwellbalken	W90	S170	1,9	W0D/S	S175	0,34	W0D	S279		2,65
	W90	S175	-1,98	W270	S220	-0,33	W180D	S284		-2,45

Tabelle C.3: Maximal- und Minimalwerte der Schnittgrößen aus der Bemessungskombination

kombinierte Lasten - V1				
		Max.N[KN]	Max.Vt[KN]	Max.Vs[KN]
Wand	Zug	3,90	1,52	1,95
	Druck	-4,67	1,52	1,95
Dach	Zug	1,03	0,94	2,11
	Druck	-0,89	0,94	2,11
Träger	Zug	3,77	2,26	0,18
	Druck	-3,02	2,26	0,18
Schwellbalken	Zug	1,62	0,28	3,24
	Druck	-1,69	0,28	3,24

Tabelle C.4: Verhältnisse der Schnittgrößen aus Tabelle C.3

Verhältniss N/V - V1				
		Max.N[KN]	Max.Vt[KN]	Max.Vs[KN]
Wand	Zug	1	0,39	0,50
	Druck	1	-0,33	-0,42
Dach	Zug	1	0,92	2,05
	Druck	1	-1,06	-2,38
Träger	Zug	1	0,60	0,05
	Druck	1	-0,75	-0,06
Schwellbalken	Zug	1	0,17	2,00
	Druck	1	-0,17	-1,92

Tabelle C.5: Schnittgrößen aus den Lastfällen mit Einheitslast

		Variante 1				
		1-V				
	Max.N[KN]	Stelle	Max.Vt[KN]	Stelle	Max.Vs[KN]	Stelle
Wand	0,04	S109;102	0,01	S89	0,11	S115
	-0,21	S141	-0,01	S116;154	-0,11	S97;135
	0,15	S481;483	0,16	S392;440;463;488	0,19	S478
Dach	-0,15	S372;374,396,398,493;495	-0,11	S388;436	-0,18	S380;425;490
	0,37	S344	0,21	S354;361	0,03	S336 - 338,341,342 - 344,347,350,351,353,354,356 - 358,361
Träger	-0,39	S339	-0,21	S341,347	-0,03	S336 - 338,339, 341,342 - 344,347,350,351,353,354,356 - 358,361
	0,01	S84;93	0		0	
Schwellbalken	-0,01	S150	0		0	
Alle Windlastfälle - V1						
1-W00						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	4,43	S65	0,72	S179	1,58	S68
	-4,48	S68	-0,92	S68	-0,67	S115
Dach	0,41	S369	0,23	S364	0,15	S501
	-0,19	S385	-0,16	S375;462	-0,15	S382;430;486
Träger	2,36	S324	0,22	S339,343,351,355,358	0,04	S320,338,339,343,351
	-1,48	S361	-0,23	S339,343,351,355,358	-0,05	S321
Schwellbalken	1,68	S67	0,34	S175	2,65	S279
	-1,74	S74	-0,31	S84	-1,79	S284
1-W05						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	3,95	S65	0,72	S179	1,51	S68
	-4,05	S68	-0,88	S68	-0,58	S193
Dach	0,39	S369	0,14	S364,494	0,13	S501
	-0,18	S385;387	-0,15	S375	-0,15	S382,383,430
Träger	2,06	S324	0,22	S339,343,351,355,358	0,04	S339,343
	-1,23	S361	-0,22	S339,351,355,358	-0,04	S351,358
Schwellbalken	1,61	S67	0,34	S175	2,64	S279
	-1,66	S74	-0,31	S84	-1,8	S284
1-W180D						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	4,18	S167	0,63	S223	1,03	S180
	-3,76	S168	-1,45	S180	-1,48	S167
Dach	0,38	S400,402,406	0,2	S389	0,18	S389
	-0,18	S451	-0,19	S391,439	-0,2	S405
Träger	2,5	S330	0,21	S344	0,05	S333
	-1,4	S357	-0,19	S336,340,344,352,356	-0,04	S32,352,353,356
Schwellbalken	1,68	S175	0,33	S144	1,46	S294
	-1,62	S170	-0,27	S188	-2,45	S284
1-W180S						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	3,8	S167	0,63	S223	0,99	S180
	-3,38	S168	-1,37	S180	-1,41	S167
Dach	0,38	S400	0,2	S389	0,15	S405
	-0,16	S481	-0,18	S391,486	-0,2	S389
Träger	2,23	S330	0,2	S344	0,03	S333,336,337,339,340,341,343,344,345,347
	-1,07	S357	-0,19	S336,344	-0,04	S352
Schwellbalken	1,6	S175	0,33	S144	1,44	S294
	-1,54	S170	-0,27	S188	-2,42	S284
1-W90						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	4,49	S168	1,78	S180	1,75	S167
	-4,34	S167	-0,8	S77	-1,08	S180
Dach	0,24	S468,471,495	0,12	S388,436	0,2	S394
	-0,24	S481,482	-0,21	S440	-0,22	S472
Träger	1,83	S336	0,27	S344	0,05	S352,353,356,357,358
	-0,85	S326	-0,27	S358	-0,05	S344
Schwellbalken	1,9	S170	0,25	S249	1,19	S287
	-1,98	S175	-0,25	S124	-2,01	S294
1-W270						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	2,22	S229	0,76	S211	0,47	S223
	-1,94	S242	-0,76	S223	-0,71	S229
Dach	0,26	S372,375,375,398	0,12	S388,436	0,23	S381
	-0,24	S386	-0,25	S392	-0,21	S388
Träger	2,34	S335	0,29	S351	0,05	S351,352,361
	-1,85	S330	-0,29	S336	-0,05	S336,347
Schwellbalken	0,67	S225,237	0,32	S208	2,07	S279
	-0,65	S220,232	-0,33	S220	-1,32	S301

C.2 Raumzellenvariante 2

Tabelle C.6: Elementübersicht

Elementenübersicht - V 2			
Element		Bezeichnung	Anzahl
Dach		F1 bis F24	24
Wände		F25 bis F40	16
Sütze		S1 bis S20	20
Schwellbalken		S21 bis S63	43
Träger		S320 bis S361; S508 bis 510	43
Verb. Decke		S362 bis S 505	144
Verb.Wände & Schwellbalken		zwischen 65 und 319; S521 bis 595	266
	Verb. Schwellbalken	S67; 74; 80; 84; 93; 99; 106; 111; 119; 124; 131; 137; 144; 150; 157; 163; 170; 175; 183; 188; 196; 208; 213; 220; 225; 232; 237; 244; 249; 256; 261; 266 bis 276; 278 bis 319; 595	86
	Verb.Wände	S65;66;68 bis 73; 75 bis 79;81 bis 83;85 bis 89; 91; 142; 143; 145 bis 149; 151 bis 156; 158 bis 162 164 bis 169; 171 bis 174; 176 bis 182; 184 bis 187; 189 bis 193; 218; 219; 221 bis 224; 226 bis 231; 233 bis 236; 238 bis 243; 245 bis 248; 250 bis 255; 257 bis 260; 262 bis 265; 521 bis 594	180
Unterzüge(Rippen von Wänden)		UZ-1 bis 10; 25 bis 41; 47 bis 64; 71 bis 89	64
Linienauflager		LIRB-1 bis 43	43
Punktaufleger		PURB-1 bis 20	20

Tabelle C.7: Maximal- und Minimalwerte der Schnittgrößen aus den Einheitswindlasten

Variante 2									
1-Wind									
	Fall	Ort	Max.N[KN]	Fall	Ort	Max.Vt[KN]	Fall	Ort	Max.Vt[KN]
Wand	W180	S89	4,88	W0	S193	0,98	W180	S131	1,62
	W0	S68	-4,8	W180	S180	-1,29	W90	S89	-1,53
Dach	W270	S397,399	0,27	W270	S467	0,19	W270	S403	0,21
	W90	S367,475	-0,33	W270	S392	-0,22	W180	S5404,405	-0,21
Träger	W90	S350,355	1,75	W90/270	S344/S351,354	0,29	W0/180/90/W270	S343/S361/S338,342,358,360/S338,353,355,358,510	0,05
	W90	S326,333	-1,8	W90	S358,361	-0,31	W180/90/270	S338/S339,342,361,508,509/S336,337,343,350,354,361	-0,05
Schwellbalken	W180	S84	1,82	W190	S208	0,24	W0	S275	2,75
	W0	S174	-1,8	W270	S309	-0,26	W180	S293	-2,55

Tabelle C.8: Maximal- und Minimalwerte der Schnittgrößen aus der Bemessungskombination

Kombinierte Lasten - V2				
		Max.N[KN]	Max.Vt[KN]	Max.Vs[KN]
Wand	Zug	4,13	1,07	1,76
	Druck	-4,85	1,07	1,76
Dach	Zug	0,91	0,92	2,10
	Druck	-1,01	0,92	2,10
Träger	Zug	3,15	2,27	0,18
	Druck	-3,19	2,27	0,18
Schwellbalken	Zug	1,55	0,22	3,33
	Druck	-1,54	0,22	3,33

Tabelle C.9: Verhältnisse der Schnittgrößen aus Tabelle C.8

Verhältniss N/V - V2				
		Max.N[KN]	Max.Vt[KN]	Max.Vs[KN]
Wand	Zug	1	0,26	0,42
	Druck	1	-0,22	-0,36
Dach	Zug	1	1,01	2,30
	Druck	1	-0,91	-2,08
Träger	Zug	1	0,72	0,06
	Druck	1	-0,71	-0,06
Schwellbalken	Zug	1	0,14	2,14
	Druck	1	-0,14	-2,17

Tabelle C.10: Schnittgrößen aus den Lastfällen mit Einheitslast

Variante 2						
1-V						
	Max.N[KN]	Stelle	Max.Vt[KN]	Stelle	Max.Vs[KN]	Stelle
Wand	0,02	S247;259	0		0,09	S252
	-0,19	S254	0		-0,09	S247; 259
Dach	0,15	S362,408,481,483	0,16	S440	0,19	S404
	-0,16	S396,398	-0,11	S369,415,417	-0,19	S402
Träger	0,37	S344	0,21	S351,354,358,361	0,03	S336,338,339,342 - 344,350,351,353 - 356,358,360,36
	-0,37	S337,350,352	-0,2	S351,354	-0,03	S336,338,339,342 - 344,350,351,353 - 355,358,360,36
Schwellbalken	0,01	S273,276	0		0	
	-0,01	S112	0		0	
Alle Windlastfälle - V2						
1-W0						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	4,65	S65	0,98	S193	0,84	S143,149
	-4,8	S68	1,09	S68	-1,29	S154
Dach	0,26	S491	0,16	S462	0,18	S452
	-0,21	S483	-0,2	S486	-0,17	S486,501
Träger	1,51	S326	0,23	S358	0,05	S343
	-1,39	S355	-0,27	S358	-0,04	S322,351,355,356
Schwellbalken	1,72	S67	0,17	S309	2,75	S270
	-1,8	S74	-0,17	S170	-1,53	S275
1-W180						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	4,88	S89	0,6	S77	1,62	S131
	-4,73	S78	-1,29	S180	-1,03	S79
Dach	0,26	S496	0,16	S465,457	0,19	S500
	-0,19	S457,458	-0,14	S409	-0,21	S404,405
Träger	1,56	S330	0,24	S354,361	0,05	S361
	-1,37	S350	-0,27	S361	-0,05	S338
Schwellbalken	1,82	S84	0,2	S74	2,56	S275
	-1,73	S80	-0,25	S208	-2,55	S293
1-W90						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	3,49	S68	0,97	S68	0,74	S594
	-2,98	S65	-0,5	S563	-1,53	S89
Dach	0,24	S493,495	0,18	S480	0,2	S366
	-0,33	S367,475	-0,2	S488	-0,19	S486
Träger	1,75	S350,355	0,29	S344	0,05	S338,342,358,360
	-1,8	S326,333	-0,31	S358,361	-0,05	S339,342,361,508,509
Schwellbalken	1,66	S74	0,24	S208	2,5	S131,293
	-1,67	S84	-0,24	S305	-2,52	S270
1-W270						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	1,9	S180	0,66	S545	0,61	S594
	-1,92	S154	-0,7	S180	-0,54	S534
Dach	0,27	S397,399	0,19	S467	0,21	S403
	-0,23	S384,386	-0,22	S392	-0,2	S436
Träger	1,57	S344,360	0,29	S351,354	0,05	S338,353,355,358,510
	-1,19	S330	-0,3	S350,354	-0,05	S336,337,343,350,354,361
Schwellbalken	0,85	S175	0,23	S208	2,5	S131
	-0,85	S150	-0,26	S309	-2,5	S293

C.3 Raumzellenvariante 3

Tabelle C.11: Elementübersicht

Elementenübersicht - V3			
Element		Bezeichnung	Anzahl
Dach		F1; 3 bis 9; 12 bis 18; 20 bis 24	20
Wände		F31; 33; 34; 37 bis 40; 42 bis 44	10
Sütze		S2 bis S20	19
Schwellbalken		S21 bis 24; 33 bis 51; 52 bis 55; 57; 59 bis 63	38
Träger		S322; 325 bis S361	38
Verb. Decke		S362 bis 366; 368; 374 bis 414; 416;425; 427; 430 bis 469; 473;475;475 bis 505	120
Verb.Wände & Schwellbalken		zwischen 67 und 524	186
	Verb. Schwellbalken	S67; 74; 80; 84; 93; 99; 106; 111; 119; 124; 131; 137; 144; 150; 157; 163; 170; 175; 183; 188; 220; 225; 232; 237; 244; 249; 256; 261; 266 bis 268; 270; 271 bis 276; 278 bis 303;306; 309 bis 319	76
	Verb.Wände	142; 143; 145 bis 149; 151 bis 154; 168; 169; 171 bis 174; 176 bis 182; 184 bis 187; 189 bis 193; 196 208; 213; 218; 219; 221 bis 224; 226 bis 231; 233 bis 236; 238 bis 243; 245 bis 248; 250 bis 255; 257 bis 260; 262 bis 265; 277; 304; 305; 323; 367; 367 bis 373; 415; 417 bis 424; 426; 428;426; 470 bis 472; 474; 477; 508; 509; 521 bis 524	110
Unterzüge(Rippen von Wänden)		UZ-8; 10; 11 bis 13; 25; 26; 28; 31 bis 40; 47 bis 64; 71 bis 74	40
Linienauflager		LIRB-1 bis 10; 13 bis 35; 39 bis 43	38
Punktaflager		PURB-1 bis 7; 9 bis 20	19

Tabelle C.12: Maximal- und Minimalwerte der Schnittgrößen aus den Einheitswindlasten

	1-Wind								Max.Vt[KN]
	Fall	Ort	Max.N[KN]	Fall	Ort	Max.Vt[KN]	Fall	Ort	
Wand	W270	S193	6,06	W0	S193	1,55	W270	S240	1,97
	W270	S180	-5,62	W270	S193	-1,94	W0	S240	-1,63
Dach	W90	S374	0,25	W90	S463,465	0,2	W90	S499	0,26
	W270	S386	-0,28	W270	S393	-0,23	W90	S4497	-0,23
Träger	W90	S337,352	2,2	W90	S359	0,27	W90	S352,353,356,357,359,360	0,05
	W90	S329	-1,66	W90	S349	-0,29	W90	S335	-0,15
Schwellbalken	W270	S99,183	2,15	W0	S266	0,83	W270	S237	1,93
	W270	S183	-2,08	W90	S267	-1	W180	S272	-1,84

Tabelle C.13: Maximal- und Minimalwerte der Schnittgrößen aus der Bemessungskombination

Kombinierte Lasten - V3				
		Max.N[KN]	Max.Vt[KN]	Max.Vs[KN]
Wand	Zug	5,06	1,61	2,00
	Druck	-5,39	1,61	2,00
Dach	Zug	0,90	0,93	2,14
	Druck	-0,97	0,93	2,14
Träger	Zug	3,57	2,16	0,49
	Druck	-3,17	2,16	0,49
Schwellbalken	Zug	1,78	0,97	2,79
	Druck	-1,72	0,97	2,79

Tabelle C.14: Verhältnisse der Schnittgrößen aus Tabelle C.13

Verhältnis N/V - V3				
		Max.N[KN]	Max.Vt[KN]	Max.Vs[KN]
Wand	Zug	1	0,32	0,39
	Druck	1	-0,30	-0,37
Dach	Zug	1	1,03	2,39
	Druck	1	-0,96	-2,21
Träger	Zug	1	0,61	0,14
	Druck	1	-0,68	-0,16
Schwellbalken	Zug	1	0,54	1,56
	Druck	1	-0,56	-1,62

Tabelle C.15: Schnittgrößen aus den Lastfällen mit Einheitslast

1-V						
	Max.N[KN]		Si Max.Vt[KN]	Stelle	Max.Vs[KN]	Stelle
Wand	0,01	S147; 153;173;178; 182;226; 227; 233; 235; 246; 250;	0		0,04	S224
	-0,16	S253;v277	0		-0,08	S252; 265
	0,15	S387,434,434,435,457,483	0,16	S392,488	0,19	S376
Dach	-0,16	S375,468	-0,16	S463	-0,17	S377,425,473,498
	0,38	S356	0,19	S336,337,340,344,34	0,08	S335
Träger	-0,39	S344,352	-0,19	S336,337,340,344,35	-0,03	S336,352,353,355,356
	0		0,01	S267	0,03	S150
Schwellbalken	0		-0,03	S266	0	
Alle Windlastfälle - V3						
1-W0						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	4,11	S181	1,55	S193	1,03	S153
	-4,16	S193; 277	-0,76	S228	-1,63	S240
Dach	0,21	S380,395	0,15	S436	0,16	S453
	-0,23	S387	-0,22	S390	-0,19	S390
Träger	1,77	S322	0,17	S337,353	0,03	S336,339,344
	-0,94	S351	-0,18	S349,353	-0,08	S335
Schwellbalken	1,66	S183	0,83	S266	1,64	S112
	-1,74	S99	-0,26	S285	-1,69	S237
1-W180						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	4,43	S524	0,76	S154	1,53	S230
	-4,43	S471	-1,67	S417	-1,17	S149
Dach	0,24	S467	0,19	S436	0,15	S455
	-0,22	S457	-0,13	S387	-0,21	S464,469
Träger	1,76	S322	0,18	S336,359	0,04	S336,344
	-0,89	S354	-0,17	S336,340,,344,352,35	-0,07	S335
Schwellbalken	1,75	S111	0,29	S183	0,88	S170
	-1,68	S284	-0,86	S266	-1,84	S272
1-W90						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	2,64	S181	0,45	S168	1,17	S143
	-2,72	S193	-1,22	S180	-1,04	S142
Dach	0,25	S374	0,2	S463,465	0,26	S499
	-0,27	S482	-0,22	S440	-0,23	S497
Träger	2,2	S337,352	0,27	S359	0,05	S352,353,356,357,359,360
	-1,66	S329	-0,29	S349	-0,15	S335
Schwellbalken	1,28	S267	0,21	S183	1,43	S112
	-1,33	S150	-1	S267	-1,6	S272
1-W270						
	Max.N[KN]		Max.Vt[KN]		Max.Vs[KN]	
Wand	6,06	S193	1,1	S240	1,97	S240
	-5,62	S180	-1,94	S193	-1,19	S235
Dach	0,24	S375,396,397,468	0,17	S463	0,19	S462,464
	-0,28	S386	-0,23	S393	-0,2	S388
Träger	0,99	S359	0,27	S336	0,04	S336,337,340,344,352, 353,354,355,356,357,359
	-1,52	S352	-0,28	S336	-0,11	S335
Schwellbalken	2,15	S99,183	0,62	S266	1,93	S237
	-2,08	S183	-0,26	S106	-0,82	S112

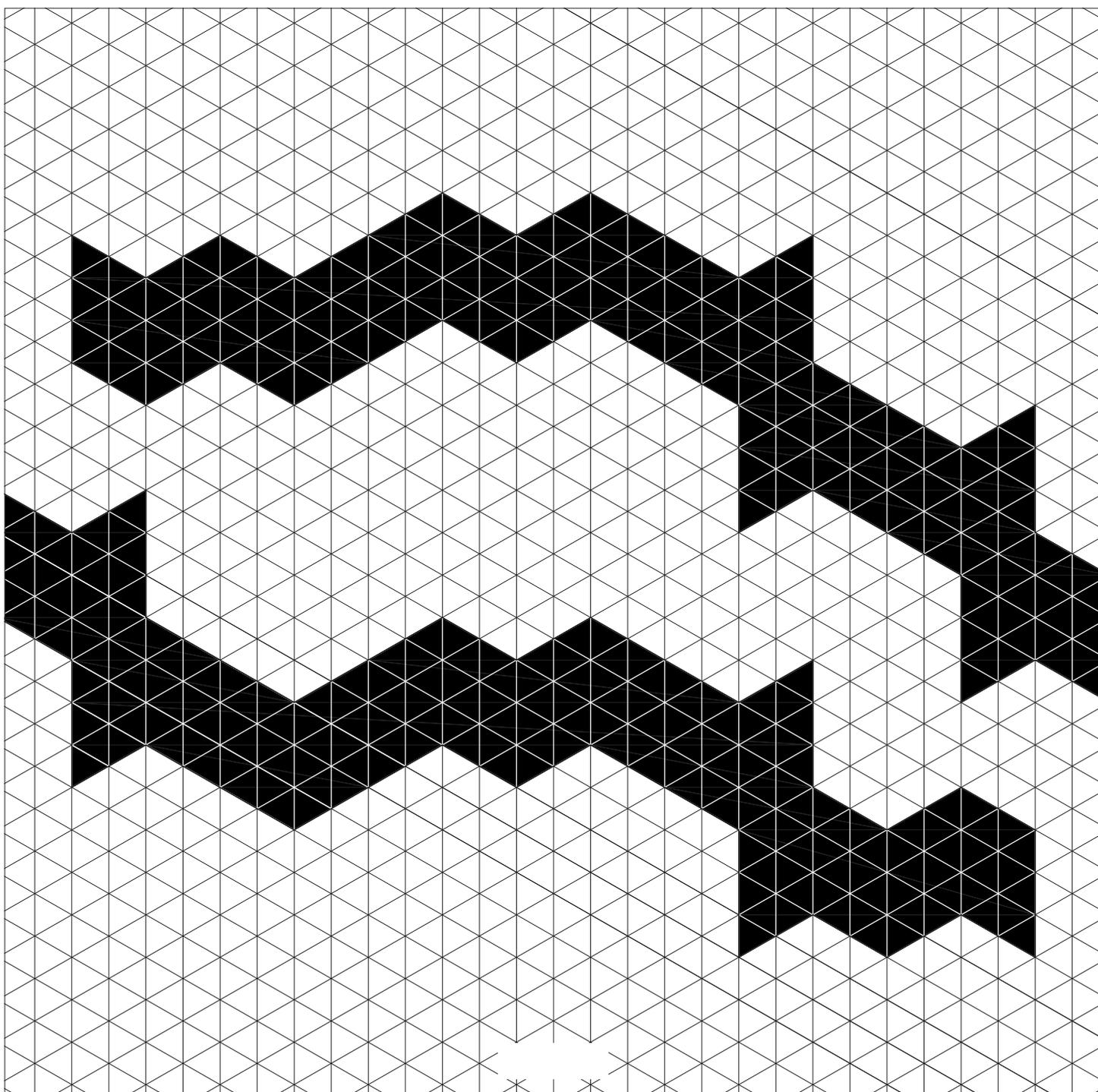


Bundesamt
für Bauwesen und
Raumordnung

Forschungsprojekt

DRZ

Temporäre Raumzellen aus Hochleistungsbeton mit lösbaeren Verbindungen





Bundesaamt
für Bauwesen und
Raumordnung

Forschungsprojekt

DRZ

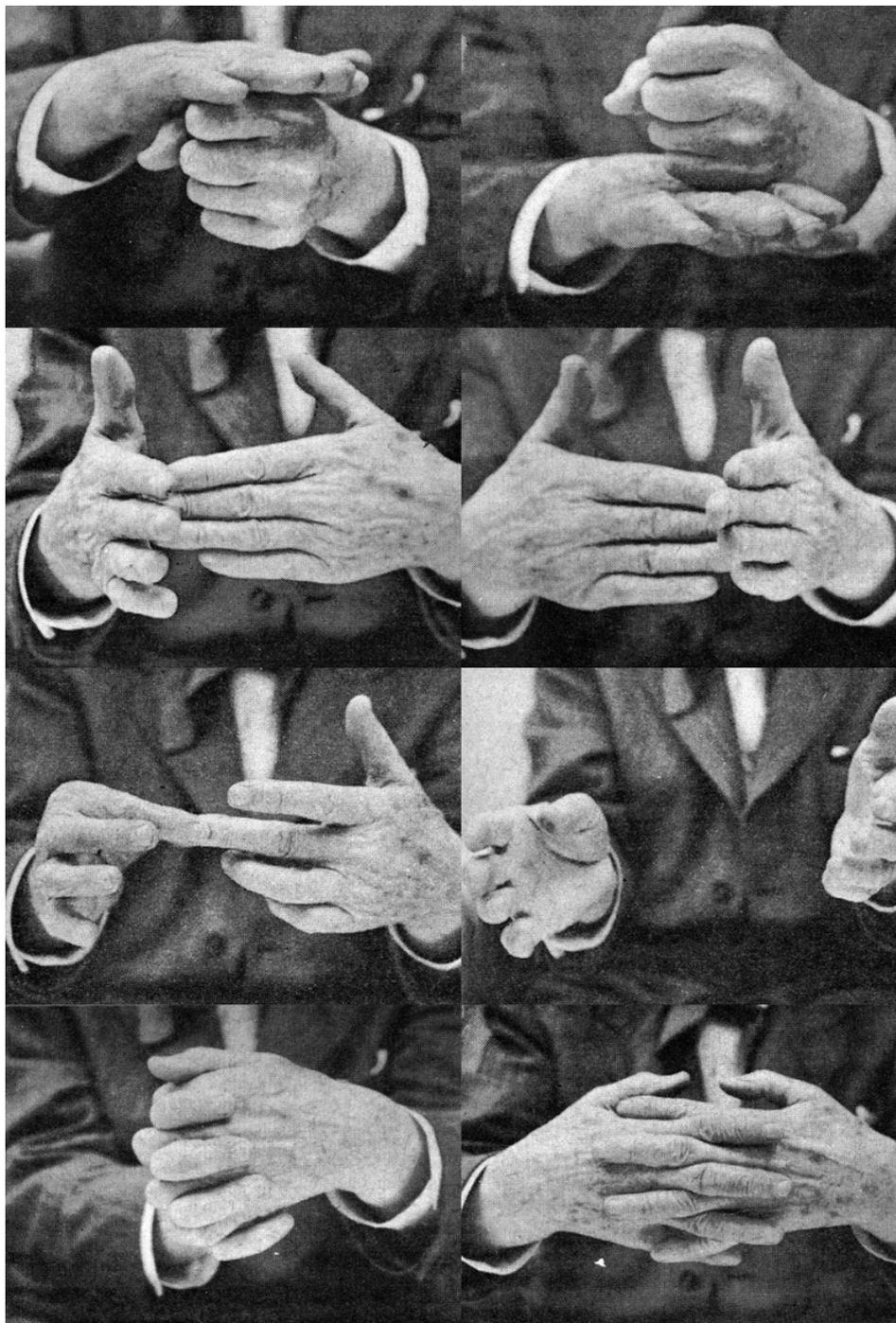
Temporäre Raumzellen aus Hochleistungsbeton mit lösbaeren Verbindungen

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Prof. Dr. Ing. Jürgen Schnell
Jun.-Prof. Dr. Ing. Christian Kohlmeyer

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen
Prof. Dipl.-Ing. Dirk Bayer

INHALT

SEMINAR „KONSTRUKTION UND FORM“	S.06
AUFGABENSTELLUNG	S.09
ANALYSEPHASE	S.17
ENTWURFSPHASE	S.29
SYSTEMENTWURF DRZ	S.50
ENTWURFSPHASE	S.55
Herleitung / Idee	
Optimierung	
Flexibilität	
Übersicht der Elemente	
Idealisierter Montageablauf	
Exemplarische Varianten	
Szenarien / Raumeindrücke	
PLANUNGSPHASE	S.99
Gruppierung	
Variante 1	
Variante 2	
Variante 3	
Elemente	
Verbindungen	
Details	



„KONSTRUKTION UND FORM“

SONDERPROBLEME DES ENTWERFENS - FÜGUNG

WAHLPFLICHTFACH IM WS 2013 / 2014



...“Die Entwerferinnen und Entwerfer - so lautet unsere These - waren in Tat und Wahrheit immer dann von konstruktiven Problemstellungen fasziniert, wenn sie daraus einen wesentlichen Teil des Ausdrucks ihrer Gebäude zu gewinnen hofften. (...) Uns interessiert dabei nicht die Konstruktion an sich, sondern die Beziehung von konstruktiver Disposition und ästhetischer Wirksamkeit.“...

Arthur Rüegg, Konstruktive Konzepte der Moderne, Zürich 2001

AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen dieses Seminars wollen wir ein Modulsystem für multifunktionale, demontierbare Raumzellen aus ultrahochfestem Beton (UHPC) entwerfen, bis ins Detail entwickeln und anhand von Modellen und Prototypen überprüfen.

Das Konzept der Raumzellen ermöglicht es, schnell und unkompliziert Raum für unterschiedliche Nutzungen zu erzeugen, Strukturen bei Bedarf zu demontieren und an anderer Stelle zu anderen Zwecken wieder zu errichten. Diese Strategie ist ökonomischer und ökologischer als das Recycling der verwendeten Baustoffe.

Das große Potenzial hochfester Feinkornbetone wird in der Baupraxis nicht ausgeschöpft. Durch ihre hohe Festigkeit und Dichte können tragende Wand- und Dachelemente auf wenige Zentimeter reduziert, der Materialverbrauch minimiert und wertvolle Ressourcen geschont werden. Auch im Bereich der Gestaltung bestehen Möglichkeiten (Oberflächenqualität und -vielfalt, Freiformung, etc.), die viel zu selten genutzt werden.

An das Modulsystem werden folgende Anforderungen gestellt:

- Eine Vielzahl unterschiedlicher Raumzellengrößen und -formen sollte sich aus möglichst wenig verschiedenen Betonelementen zusammensetzen lassen. Im Sinne einer Kostenreduktion sollte die Anzahl der verschiedenen Betonelemente und damit der erforderlichen Schalungen so weit wie möglich reduziert werden.
- Für einen möglichst schnellen und effizienten Einsatz der Raumzellen sind die Abmessungen der einzelnen Betonelemente so zu wählen, dass sie in einem Standardcontainer mit Innenabmessungen von ca. 5,85 x 2,35 x 2,35 m verladen und transportiert werden können.
- Das Gewicht der einzelnen Betonelemente sollte 200 kg nicht überschreiten, um einen einfachen Auf- und Abbau mit leichten Hebezeugen oder sogar von Hand zu ermöglichen.

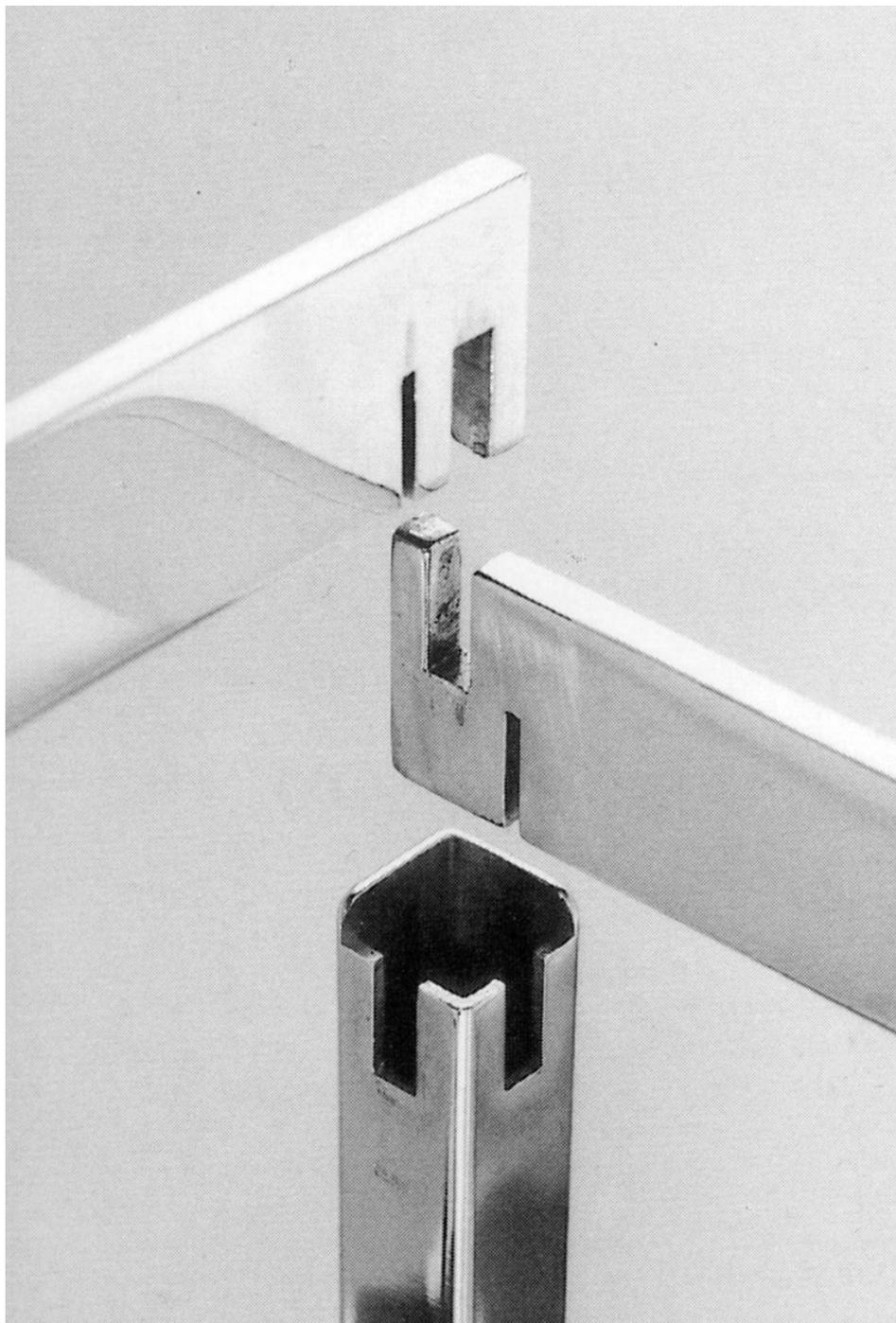


THEMA PILGERHÜTTE

Als programmatischen Ansatzpunkt und Katalysator des Entwurfsprozesses haben wir aus dem weiten Spektrum denkbarer Nutzungen das Thema einer Pilgerhütte auf dem Jakobsweg herausgegriffen.

Das Netz der Jakobswege innerhalb Europas ist weit verzweigt. Die Vorstellung einer elementaren, auf das absolut notwendige reduzierten Schutzhütte als stetig wiederkehrender „Begleiter“ der Pilger auf Ihrem Weg nach Santiago de Compostela bietet einen reichen Nährboden für Ihre Vorstellungskraft - einzelne, in entlegenen Gegenden errichtete Zellen sind ebenso naheliegend wie kleine Pilgerdörfer entlang der Haupttrouten.

Das von Ihnen entwickelte System soll all dies leisten können - und darüber hinaus auch in seiner gestalterischen Durchbildung angemessen mit der besonderen Erfahrung der Pilgerschaft umgehen.



THEMA FÜGUNG

Angeregt von der rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der industriellen Produktion ist die Architektur des 20. Jahrhunderts stark geprägt von dem Wunsch, ähnliche Planungs- und Fertigungsmethoden auf das Bauen anzuwenden. In letzter Konsequenz sollte das Haus selbst zu einem industriell produzierten Konsumgut werden. Die Ansatzpunkte und Zielsetzungen dieser Versuche waren hierbei sehr unterschiedlich - von einer reinen Optimierung des Bauablaufs über eine Rationalisierung des Planungsprozesses bis hin zu einer konzeptionellen und gestalterischen Auseinandersetzung im architektonischen Entwurf.

Insbesondere auf dem Gebiet des vorgefertigten Betonbaus - der sogenannten schweren Vorfabrikation - war die mit der Systematisierung und Elementierung des Bauens einhergehende Notwendigkeit der Fuge zunächst rein technisch konnotiert. Sukzessive wurde das Prinzip der Fügung aber auch als architektonisches Potential erkannt und thematisiert. Dieses Verhältnis einer rationalen, modular organisierten Konstruktion einerseits und ihrer architektonischen Thematisierung in der gebauten Form andererseits soll uns in diesem Entwurfsseminar beschäftigen.

Die bereits angesprochenen technischen Möglichkeiten der hochfesten Feinkornbetone und die heute praktisch unbegrenzten Möglichkeiten der Formgebung im Bereich des Schalungsbaus legen eine Beschäftigung mit alternativen Konstruktions- und Verbindungstechniken, die ohne sekundäre Hilfsmittel auskommen, nahe.

Ähnliche Entwicklungen finden sich auch im Stahlbau und insbesondere im Holzbau, wo die technischen Möglichkeiten einer computergestützten Produktion passgenauer, kraftschlüssiger und zudem reversibler Verbindungen zu einer Rückbesinnung auf die Handwerkskunst japanischer Holzverbindungen geführt haben.



ABLAUF

Die Bearbeitung des Seminars erfolgt in Gruppen. Wöchentliche Korrekturen und Vorstellungsrunden sollen Sie bei Ihrer Arbeit unterstützen. Einen Schwerpunkt bildet die Arbeit am Modell.

TERMINE

06.11.2013	Einführung Aufgabenstellung, Gruppenbildung, Analyseobjekte, Referatsthemen
13.11.2013	Kurzreferate, Diskussion, Vorbesprechung Modellbau
20.11.2013	Zwischenbesprechung Modellbau
27.11.2013	Vorstellung Analyse Zusammenfassung und Darstellung der Analyseergebnisse Übersichtsmodell des jew. Analyseobjekts Detailmodell eines charakteristischen Fügungspunktes
04.12.2013	Entwurf Schritt 1: Konstruktion und Raum
11.12.2013	Zwischenbesprechung Entwurf
18.12.2013	Zwischenbesprechung Entwurf, Vorbesprechung Modellbau
08.01.2014	Vorstellung Entwurf Schritt 1 Erläuterung der Entwurfssystematik (Modularität, Flexibilität, etc.) Darstellung der räumlichen Qualitäten Ihres Entwurfs in 2D und 3D Übersichtsmodell des jew. Entwurfsansatzes
15.01.2014	Entwurf Schritt 2: Konstruktion und Form
22.01.2014	Zwischenbesprechung Entwurf
29.01.2014	Zwischenbesprechung Entwurf, Vorbesprechung Modellbau
12.02.2014	Vorstellung Entwurf Schritt 2 Erläuterung der Fügungssystematik (Montage, Demonatge, etc.) Darstellung der formalen Qualitäten in 2D und 3D Detailmodell eines charakteristischen Fügungspunktes Schlussrunde

ANALYSEPHASE

THE PACKAGED HOUSE SYSTEM

Konrad Wachsmann, Walter Gropius
1939-1945

Wedge connectors, spaced 3' 4" apart through all vertical and horizontal joints consist of four stamped steel parts and four die cast wedges which are shop inserted into the framing.

THE CON NECTOR

CORNER

POST

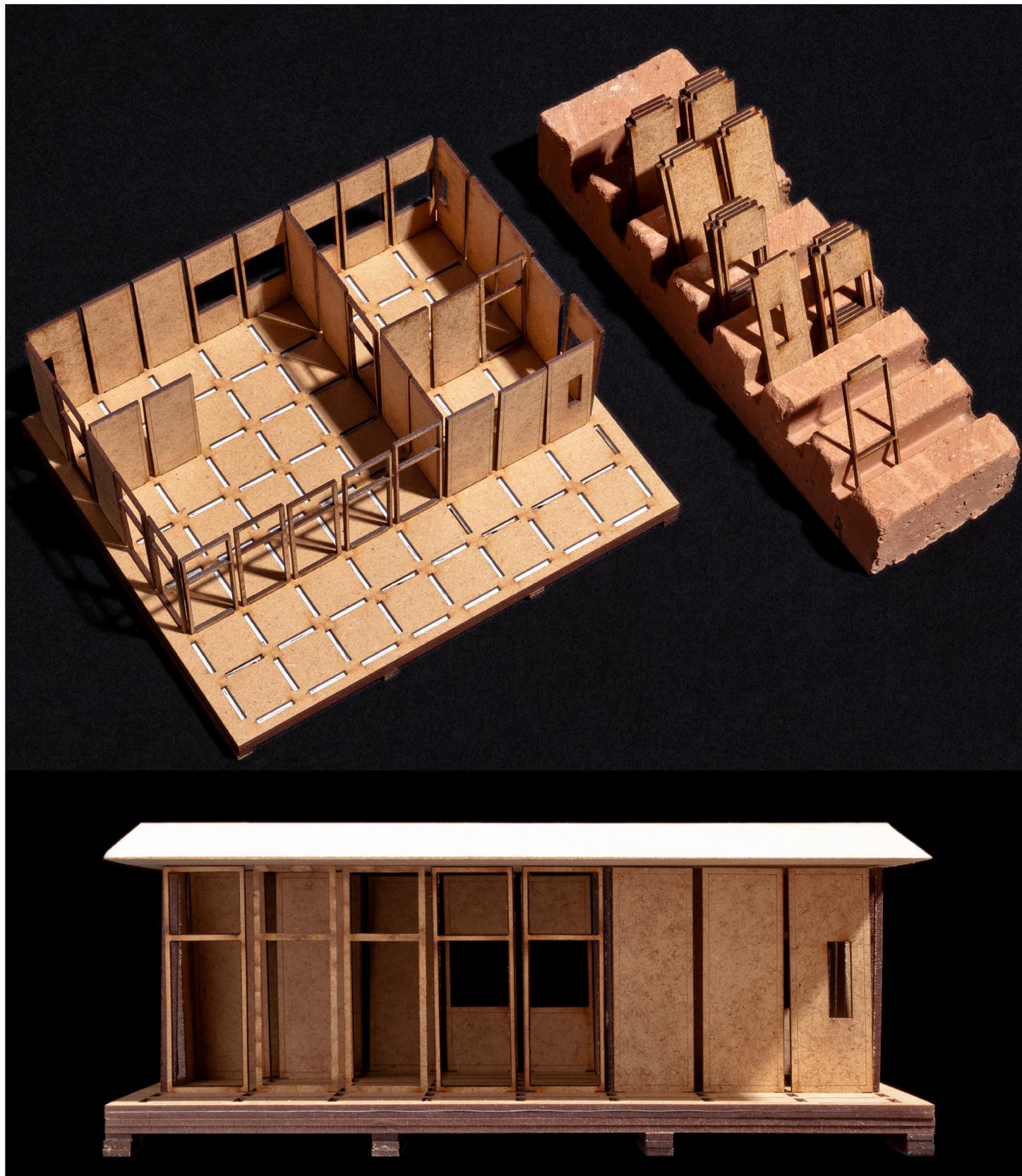
ONE-WAY

TWO-WAY

THREE-WAY

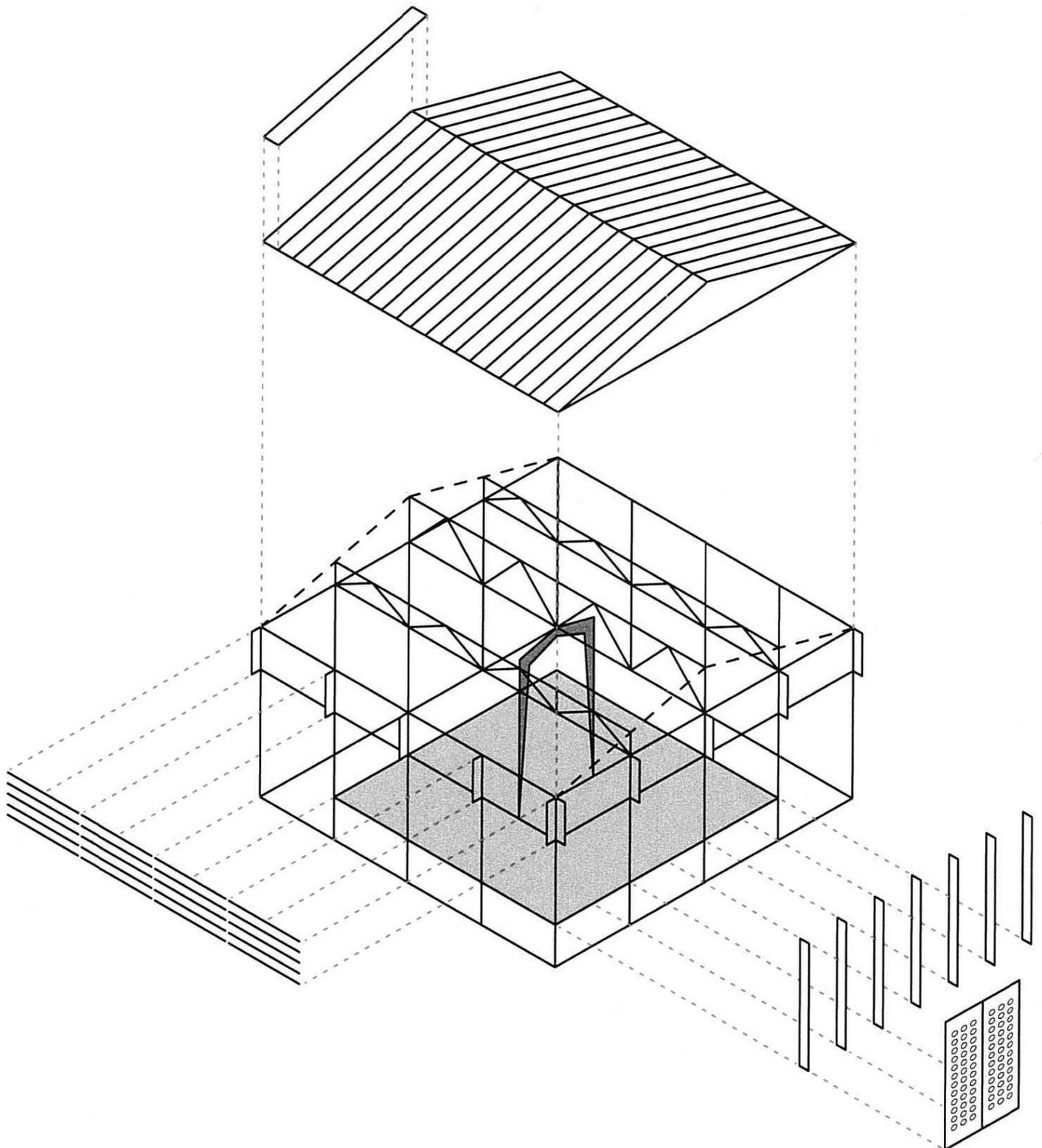
FOUR-WAY

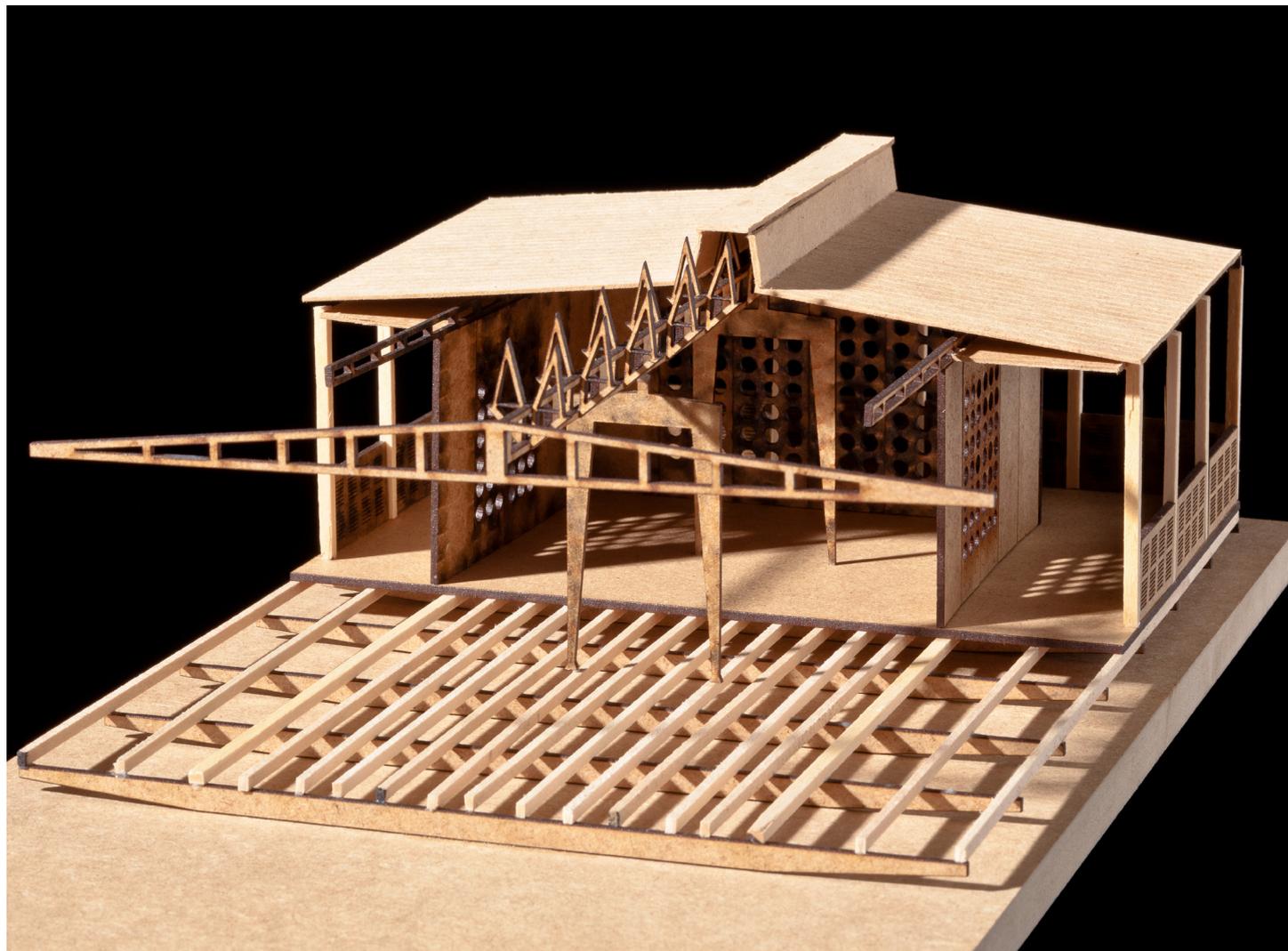
In the assembly, three parts are first nested together, the fourth is then driven home with a hammer. The diagrams above show how, by means of an unsymmetrical edge, it is possible to effect any desired combination, whereby all elements are interchangeable and surfaces are flush after assembly.



MAISON TROPICALE

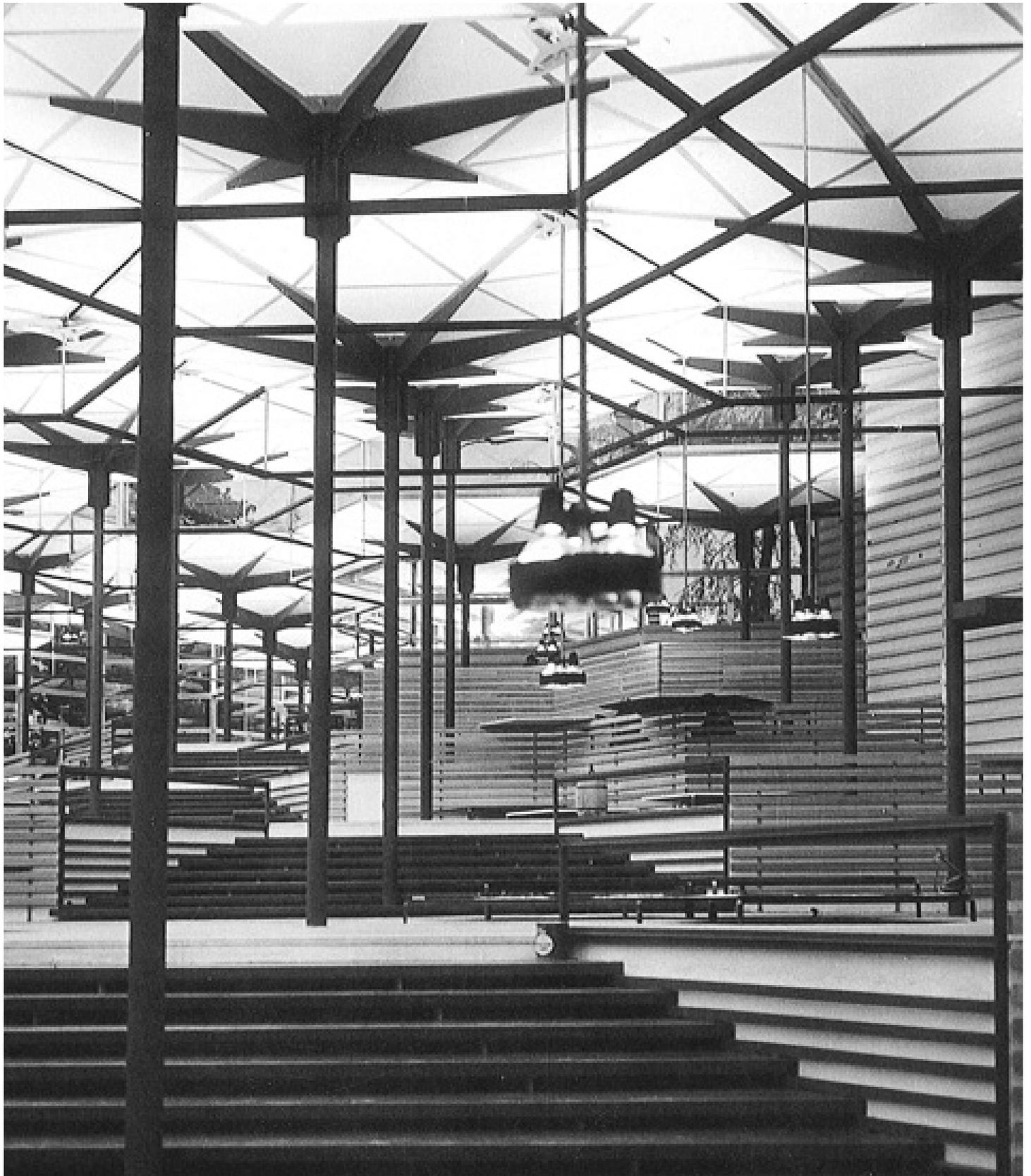
Jean Prouvé
1949-1951

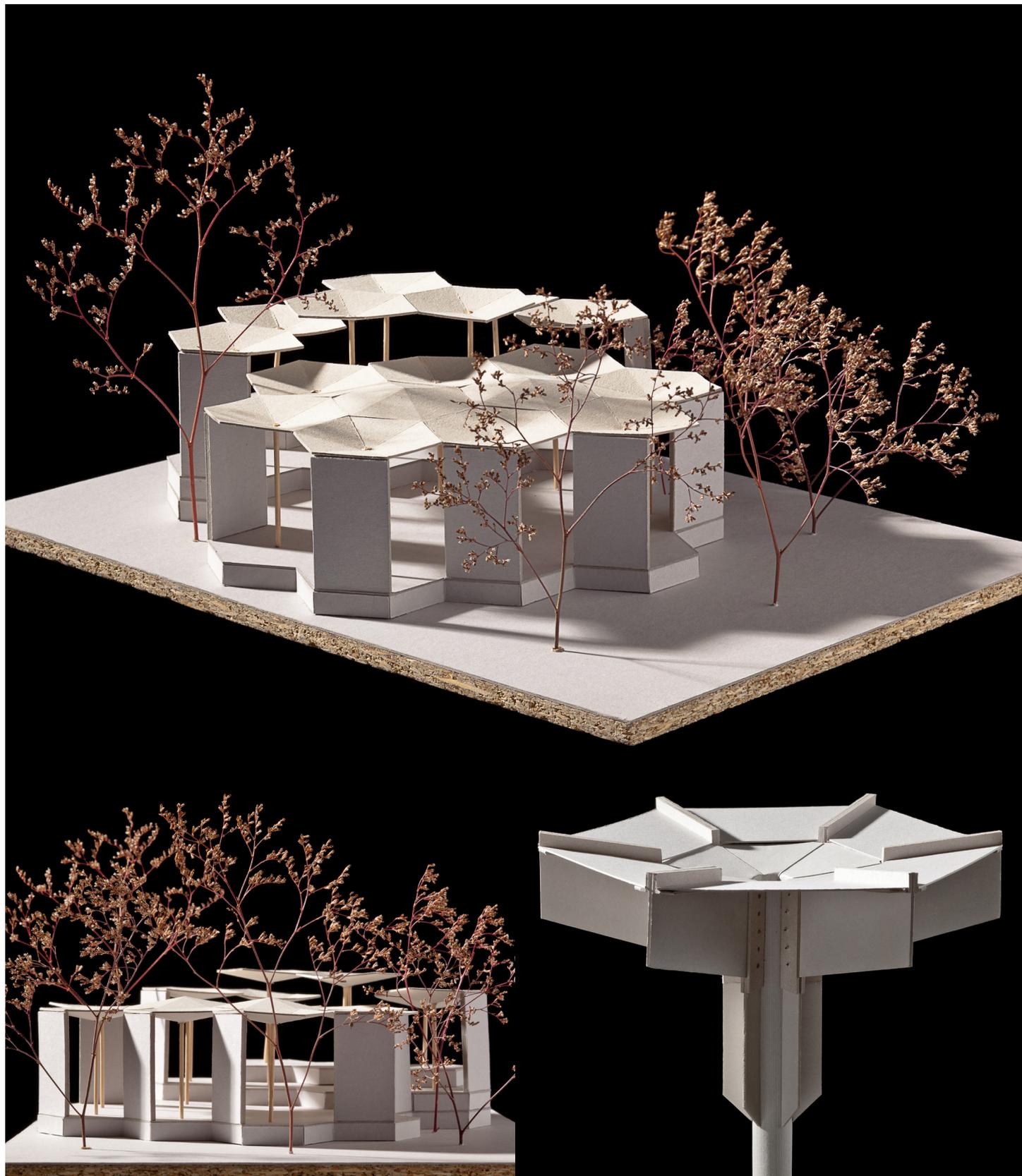




EXPO-PAVILLON 1958

José Antonio Corrales, Ramón Vázquez Molezún
Brüssel, 1956-1958

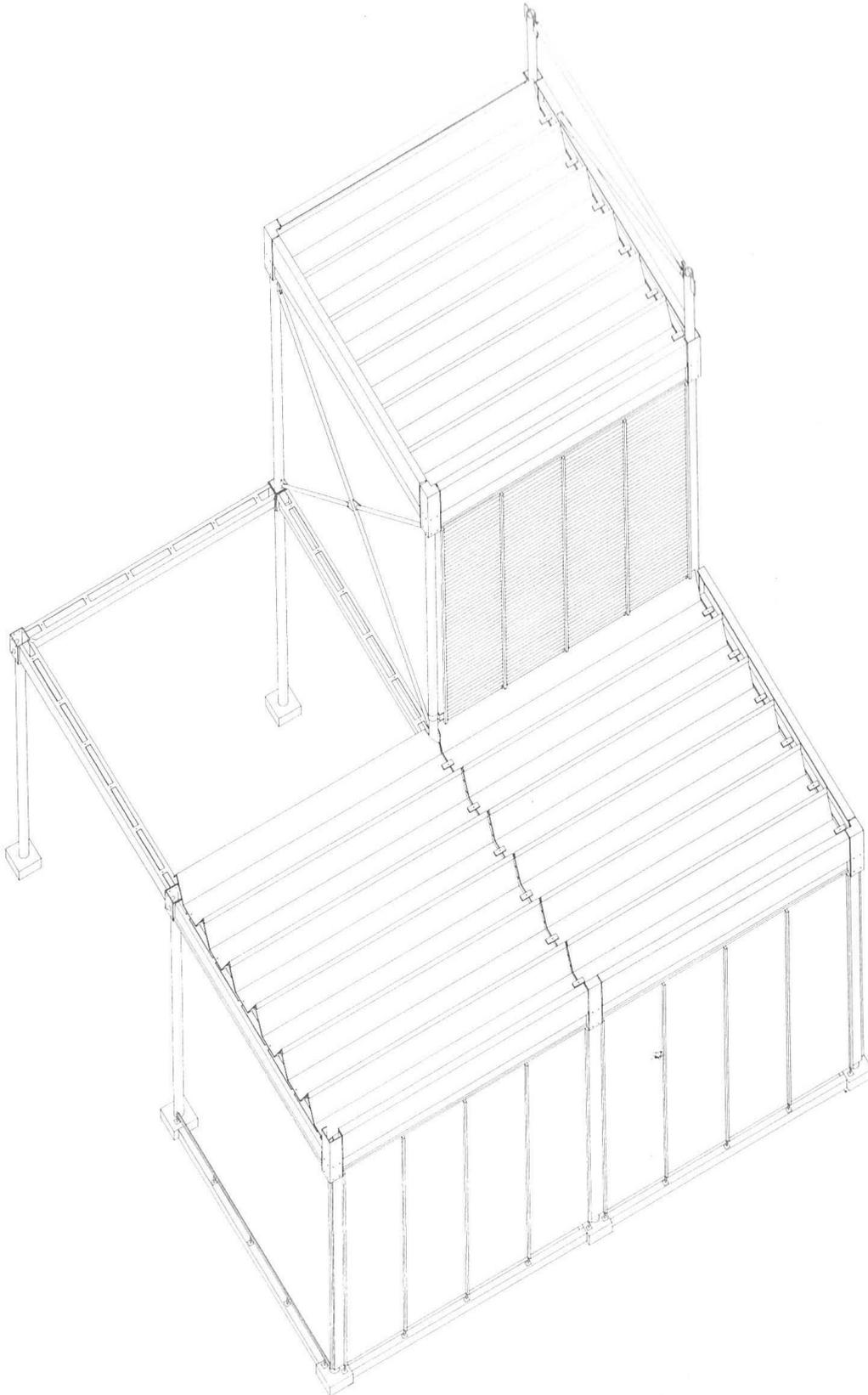




EXPO-PAVILLON 1964

Max Bill

Lausanne, 1963-1964

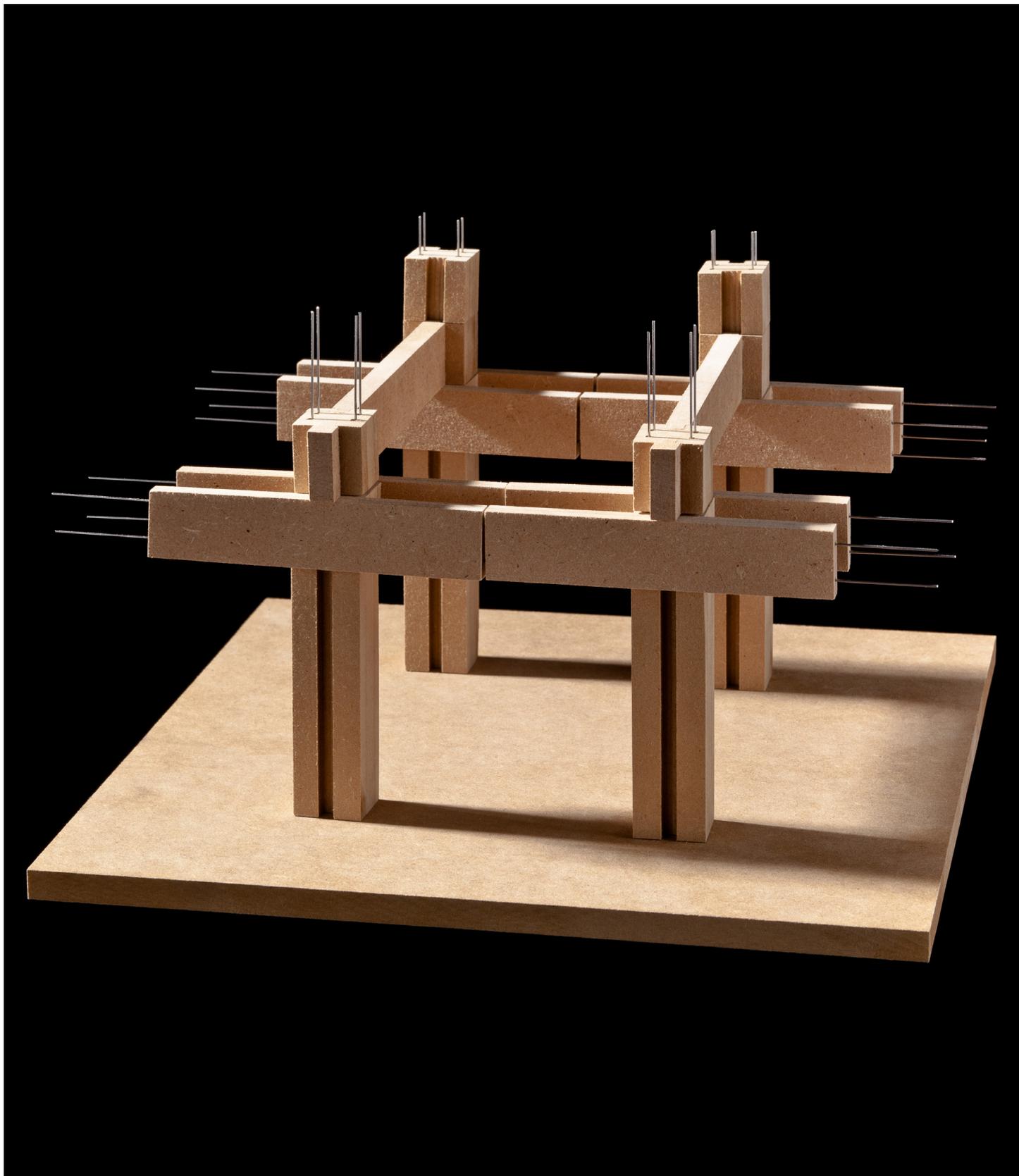




MODESCHULE

Takamatsu Architects
Fukuoka, 2002

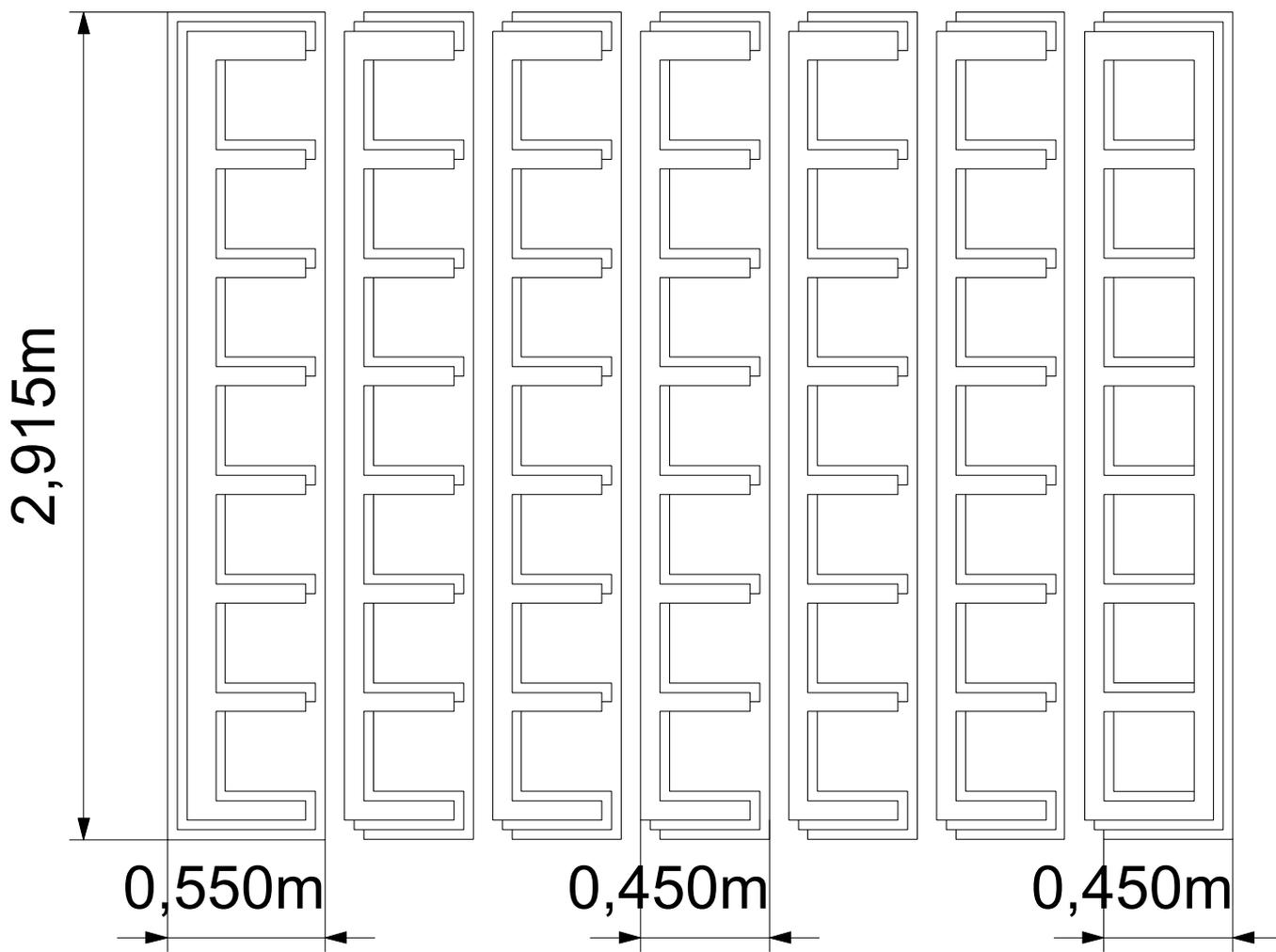




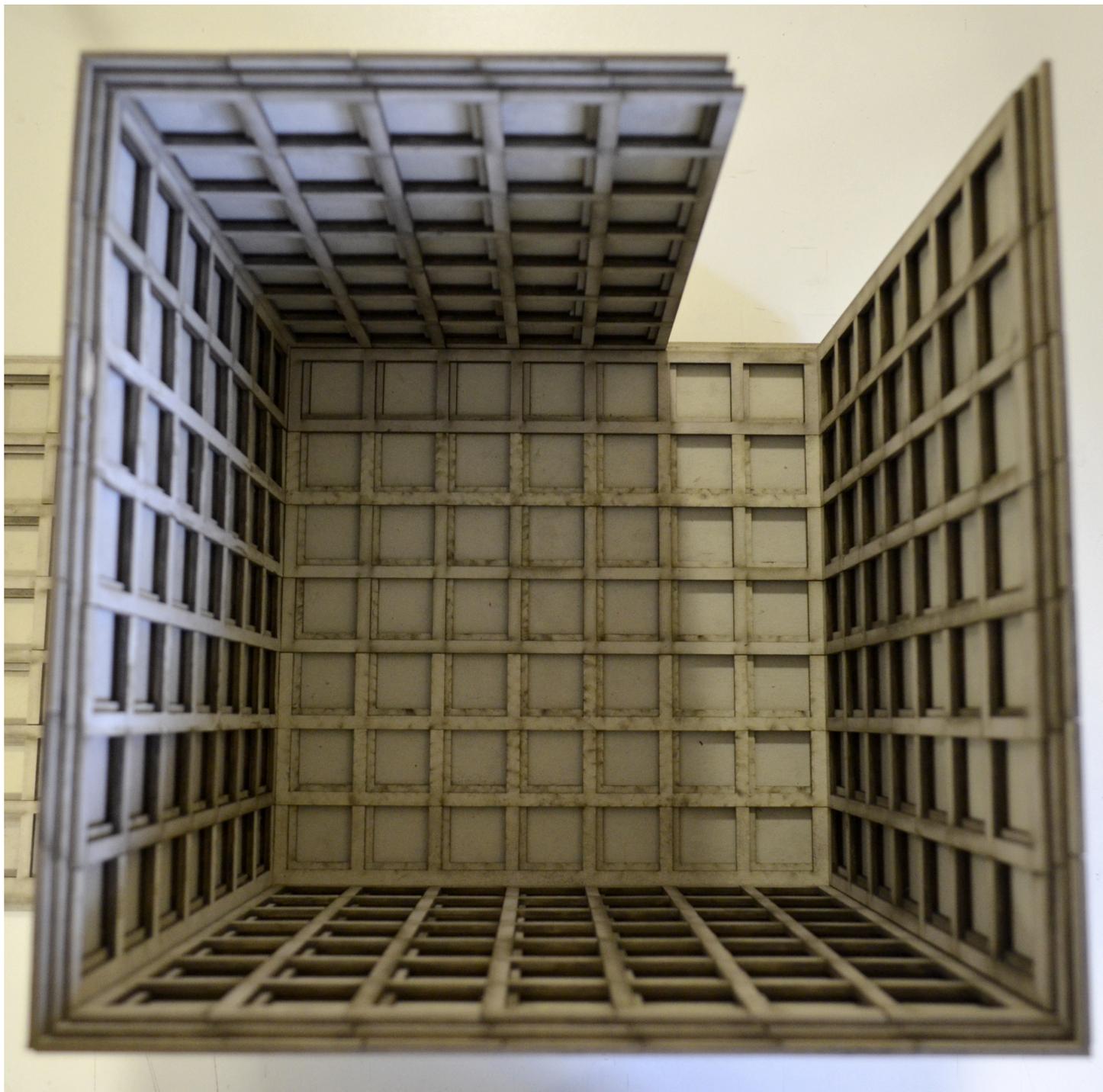
ENTWURFSPHASE

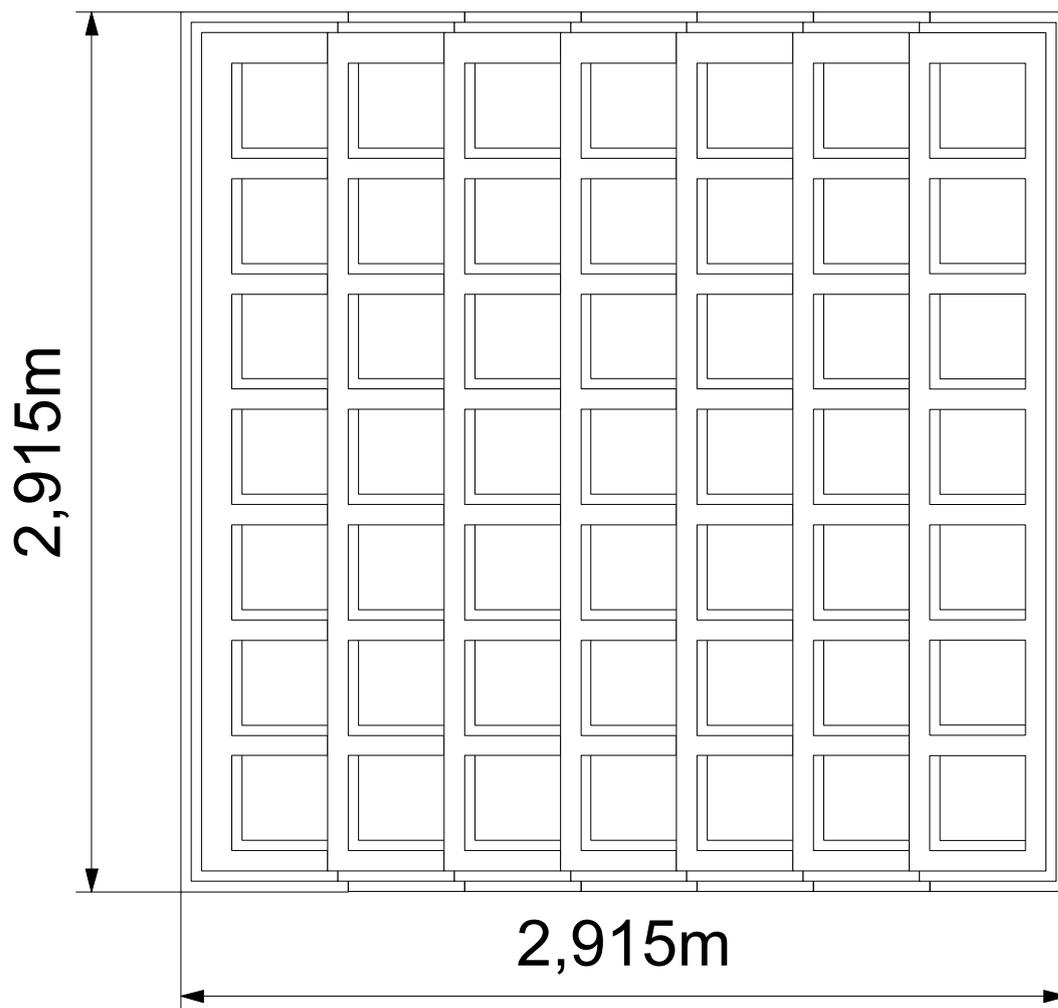
SYSTEMENTWURF 1





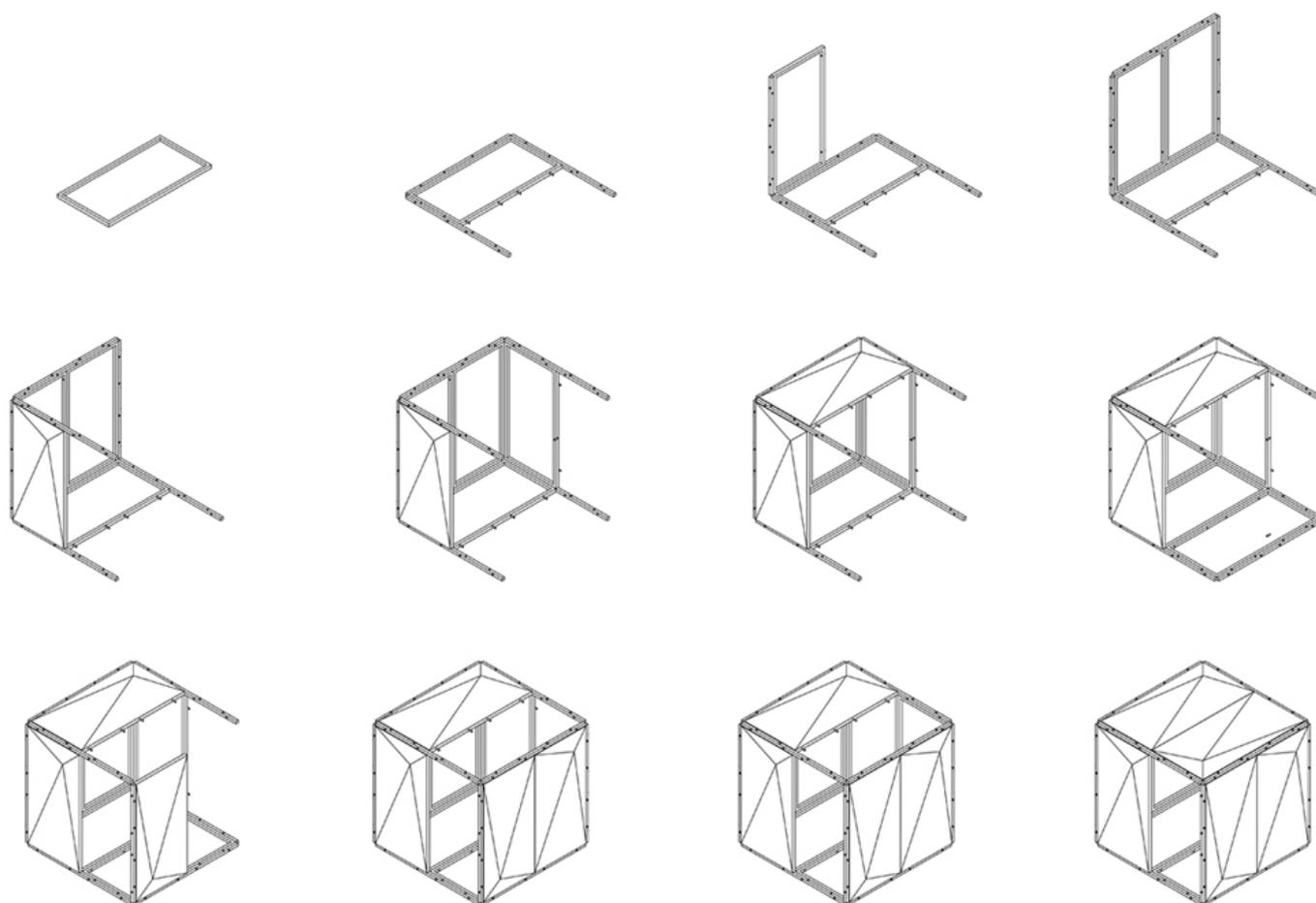
SYSTEMENTWURF 1





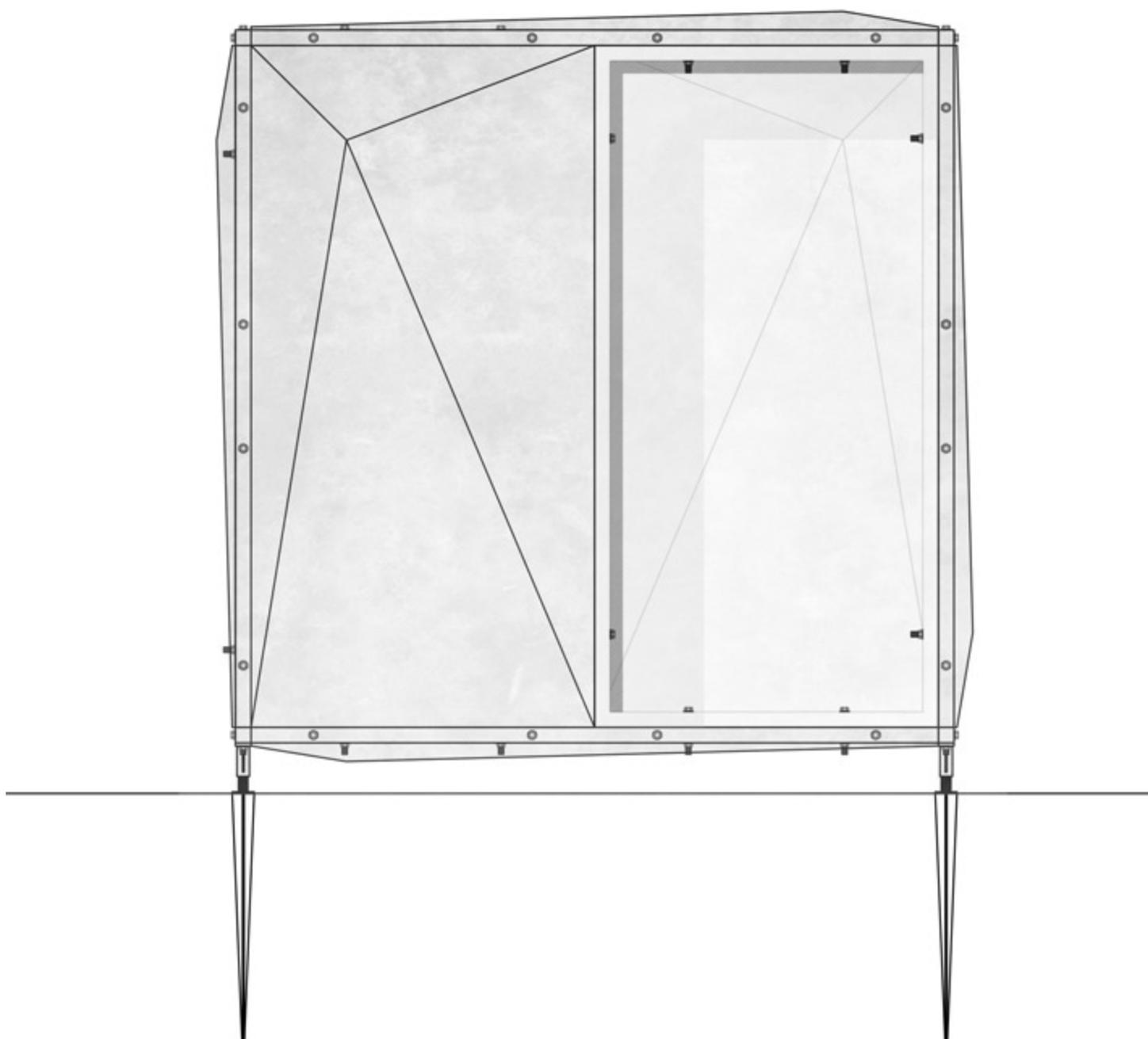
SYSTEMENTWURF 2





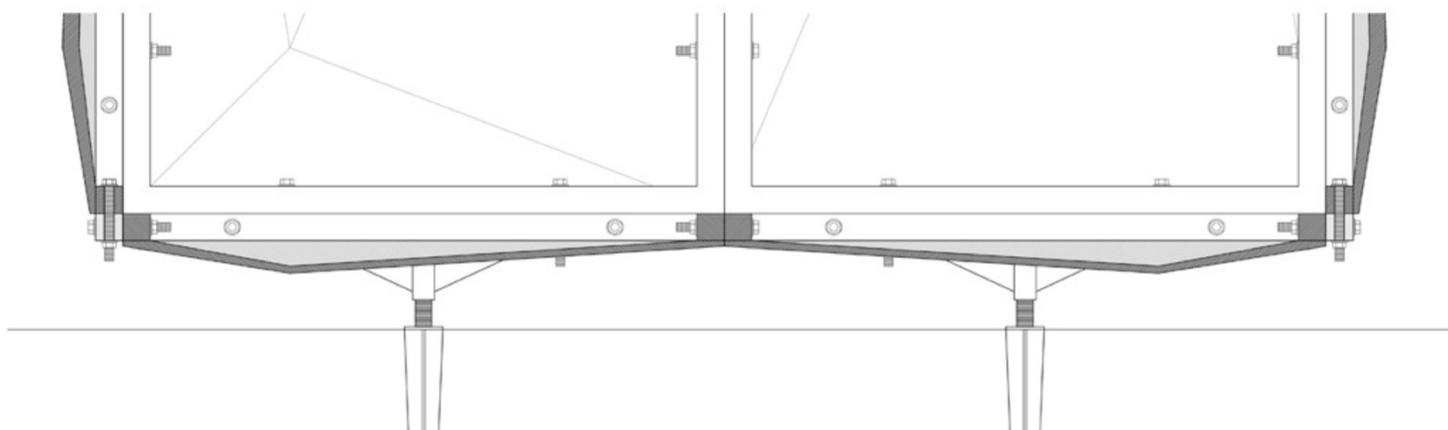
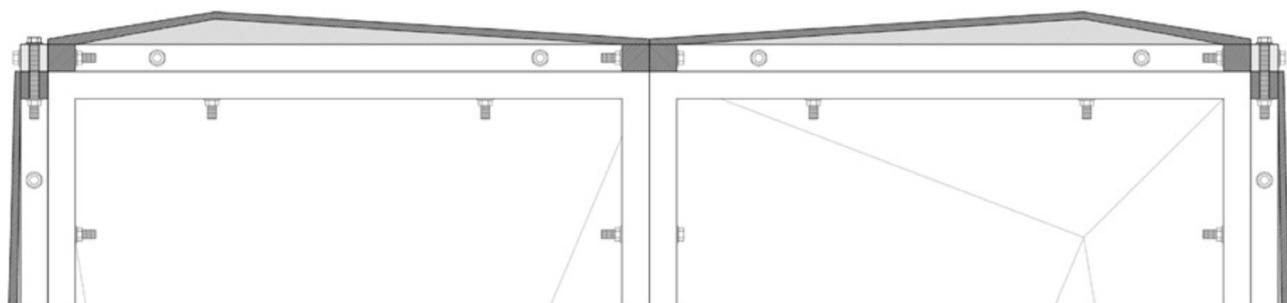
SYSTEMENTWURF 2





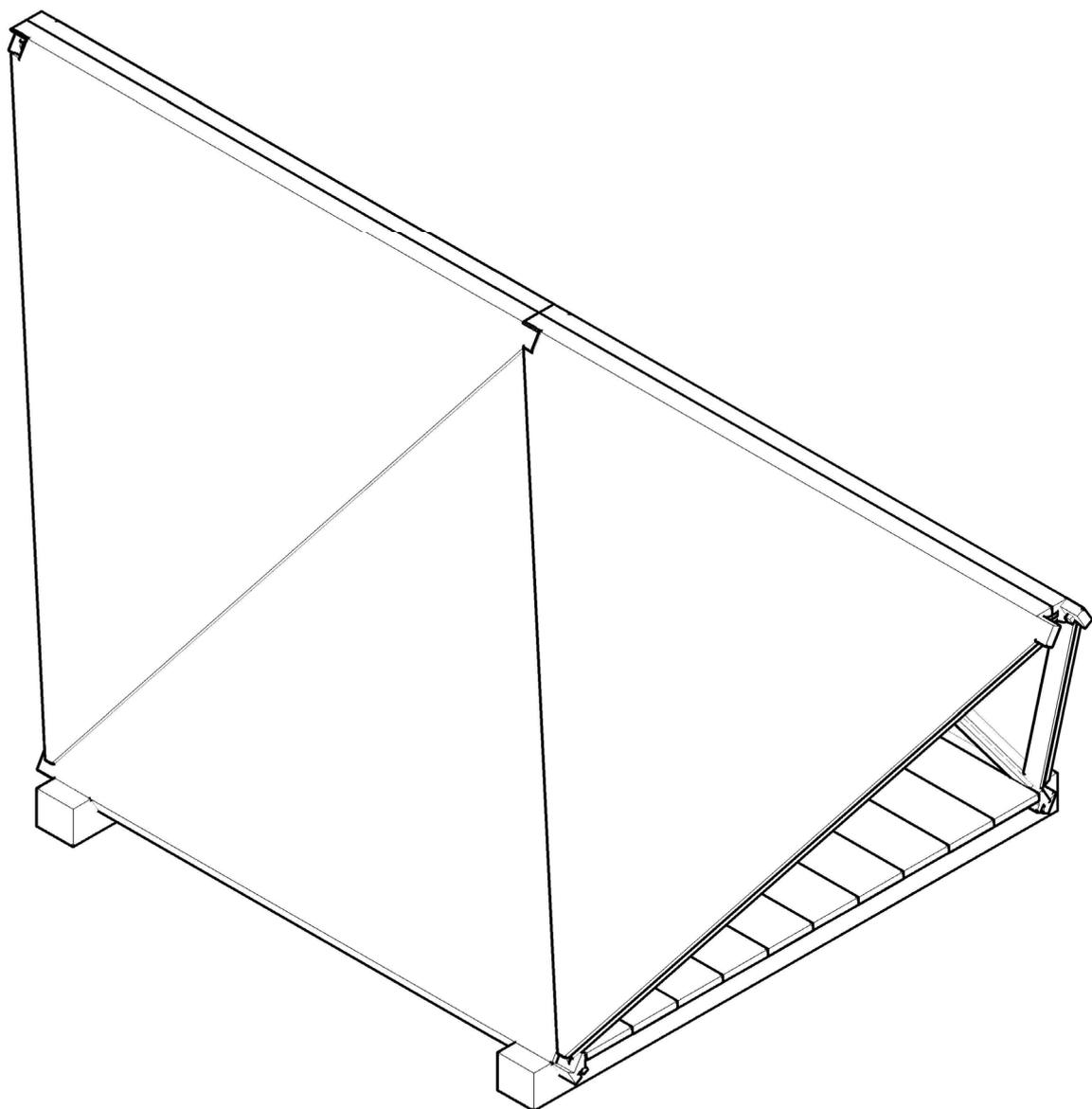
SYSTEMENTWURF 2





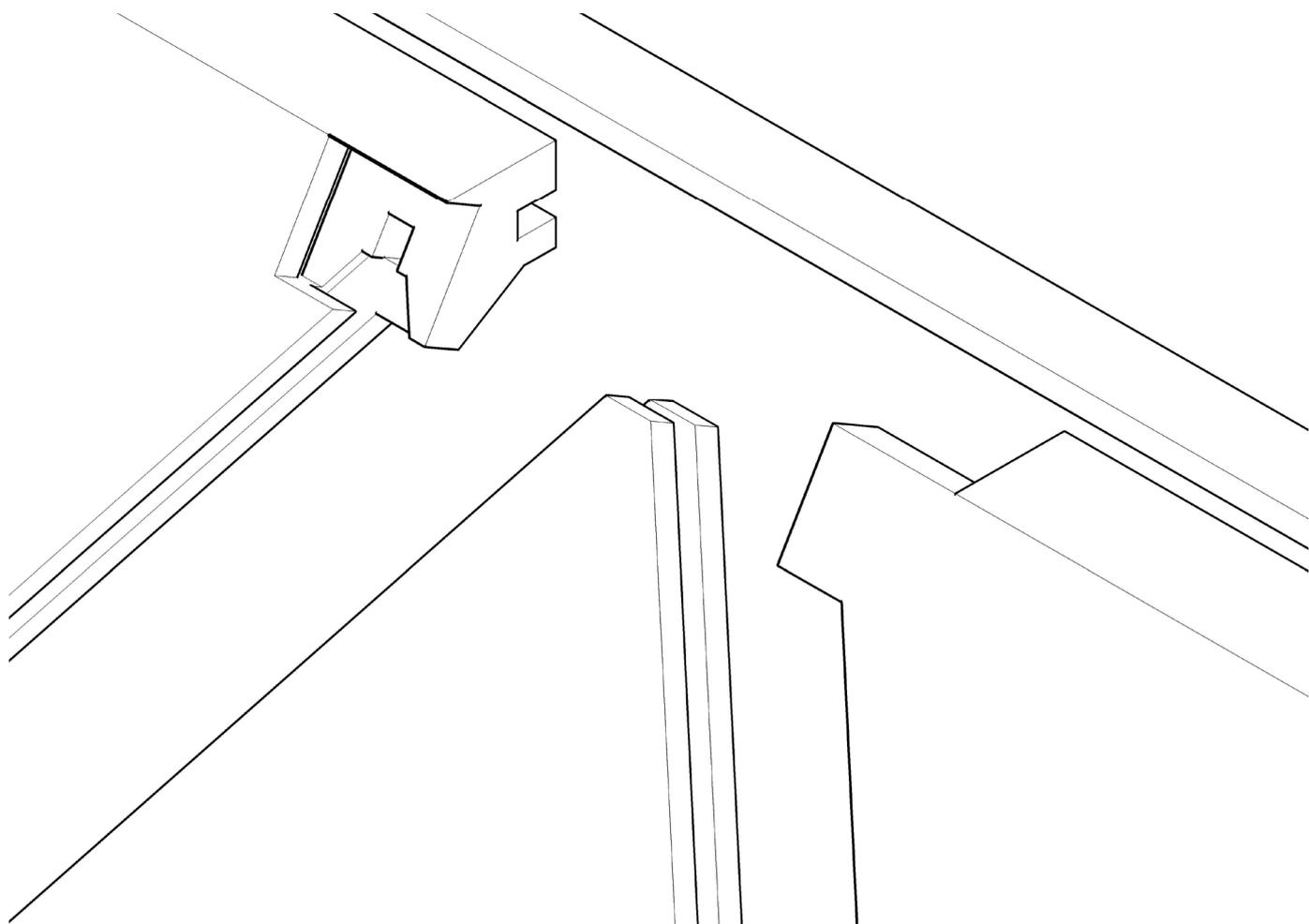
SYSTEMENTWURF 3





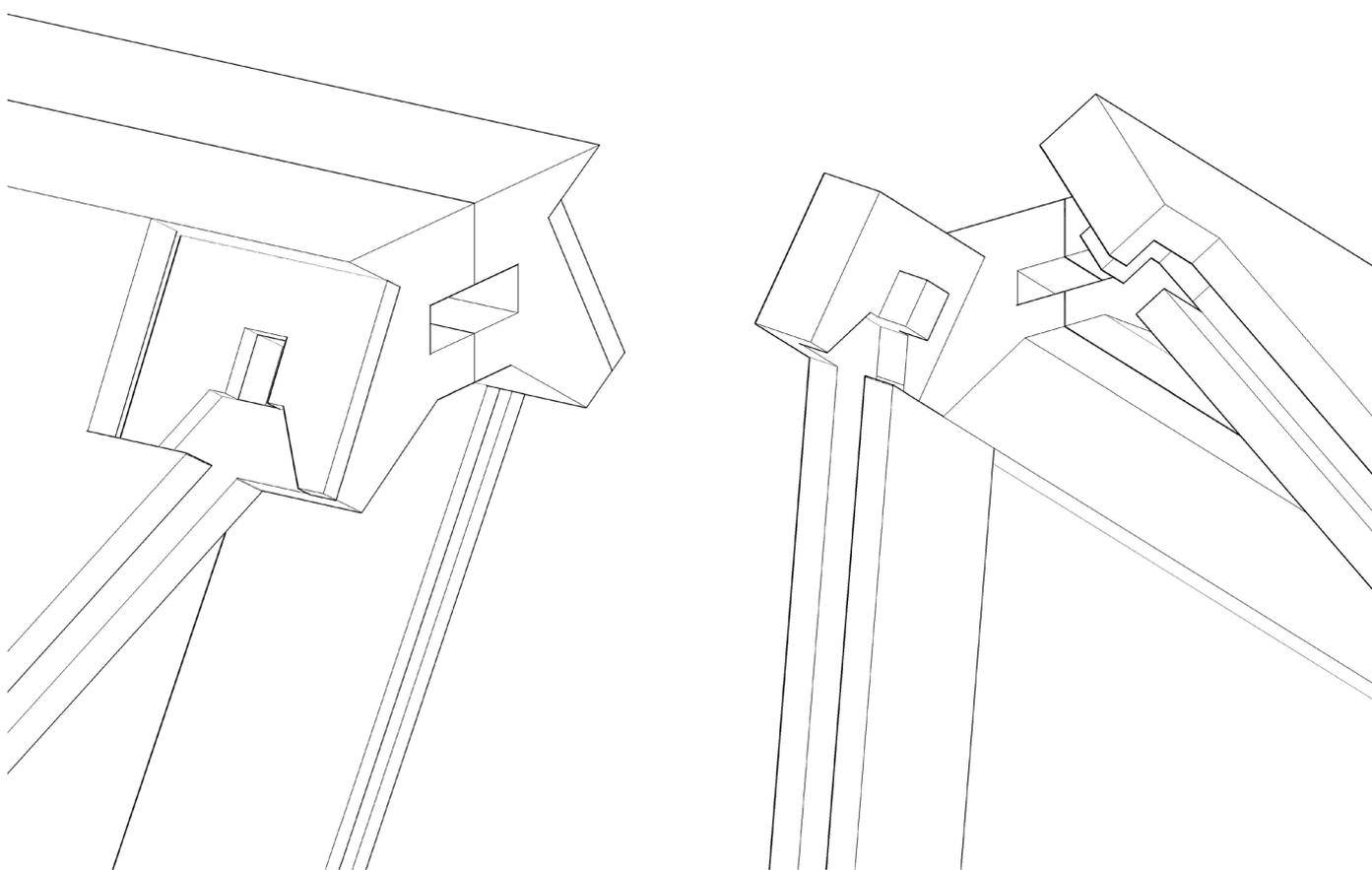
SYSTEMENTWURF 3





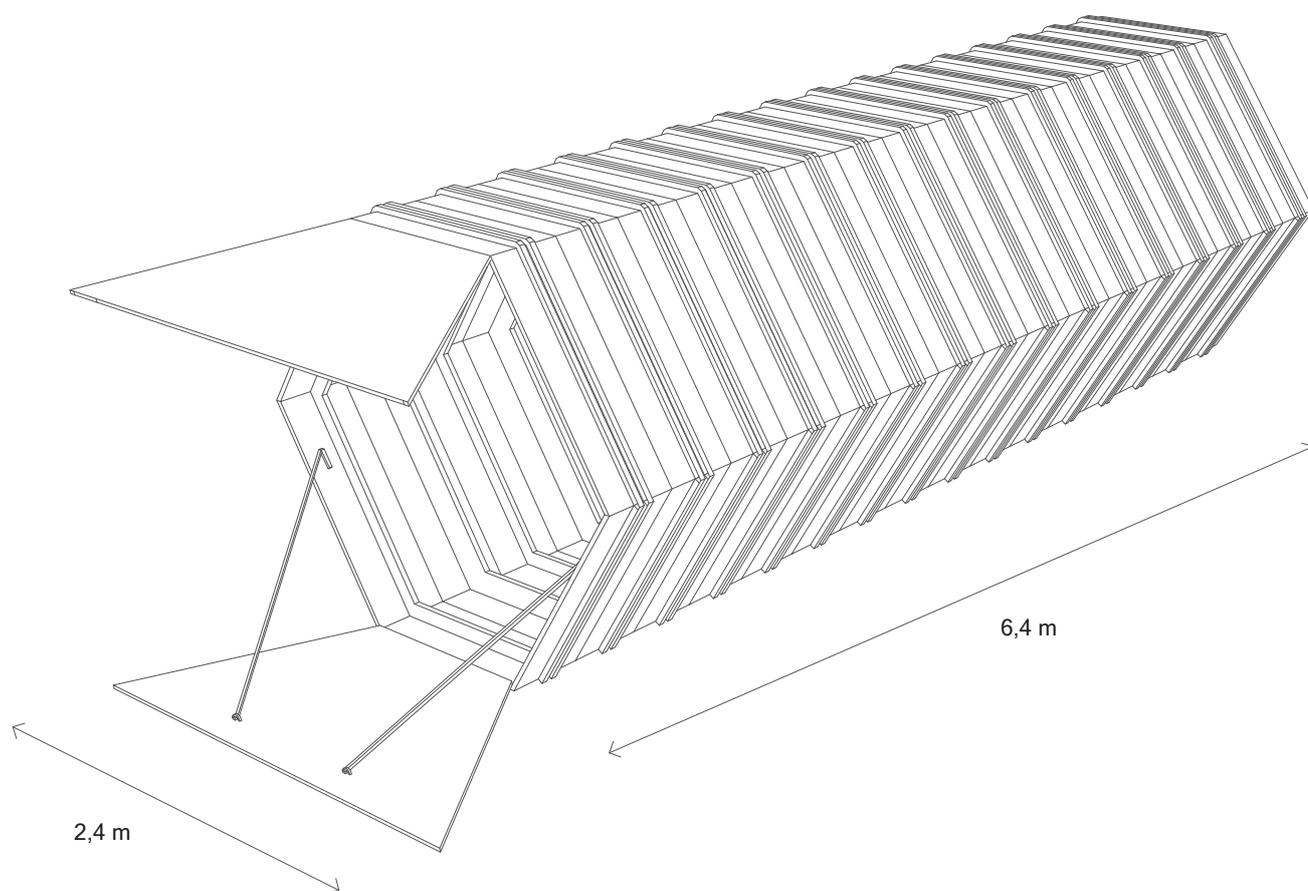
SYSTEMENTWURF 3



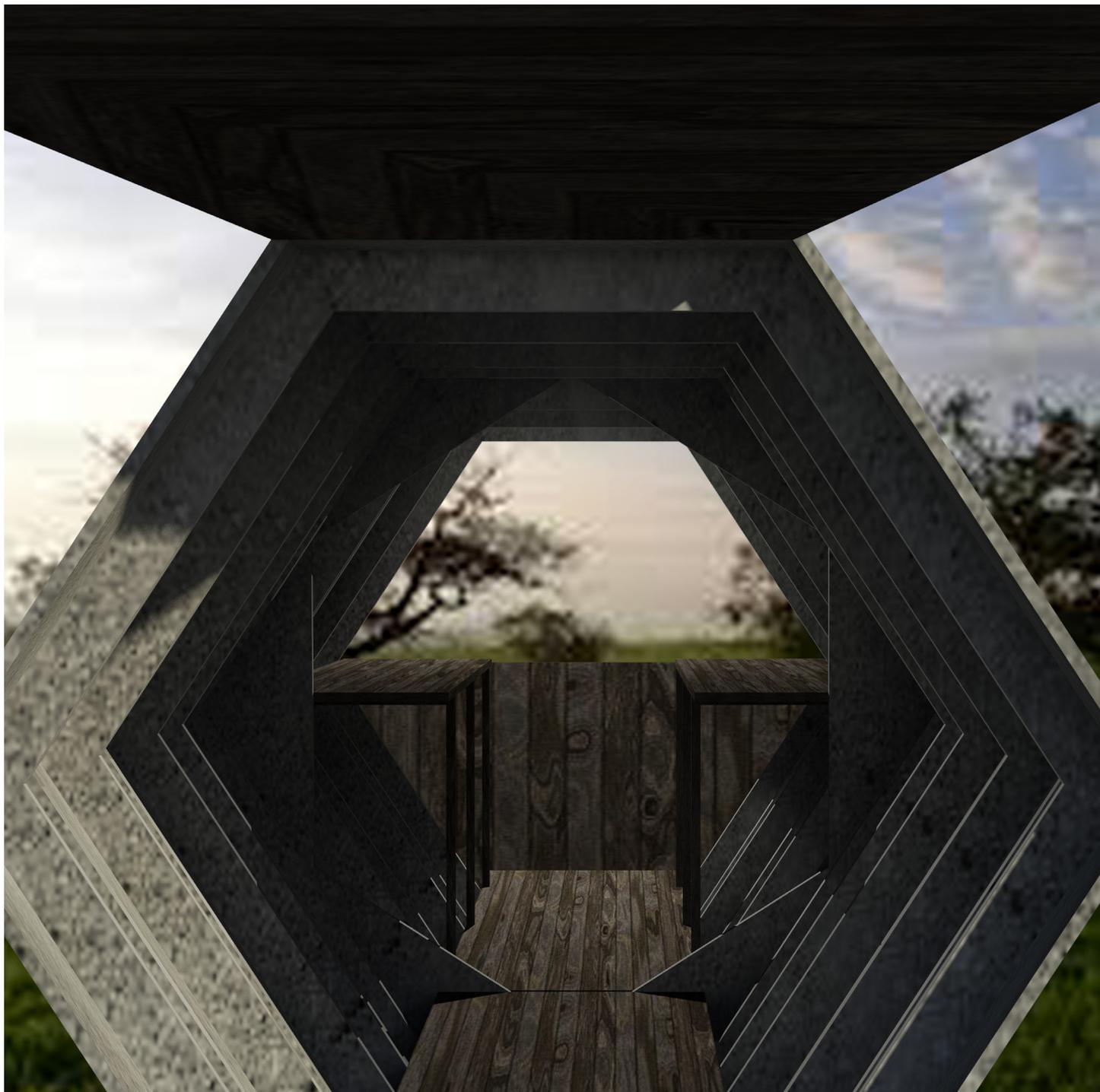


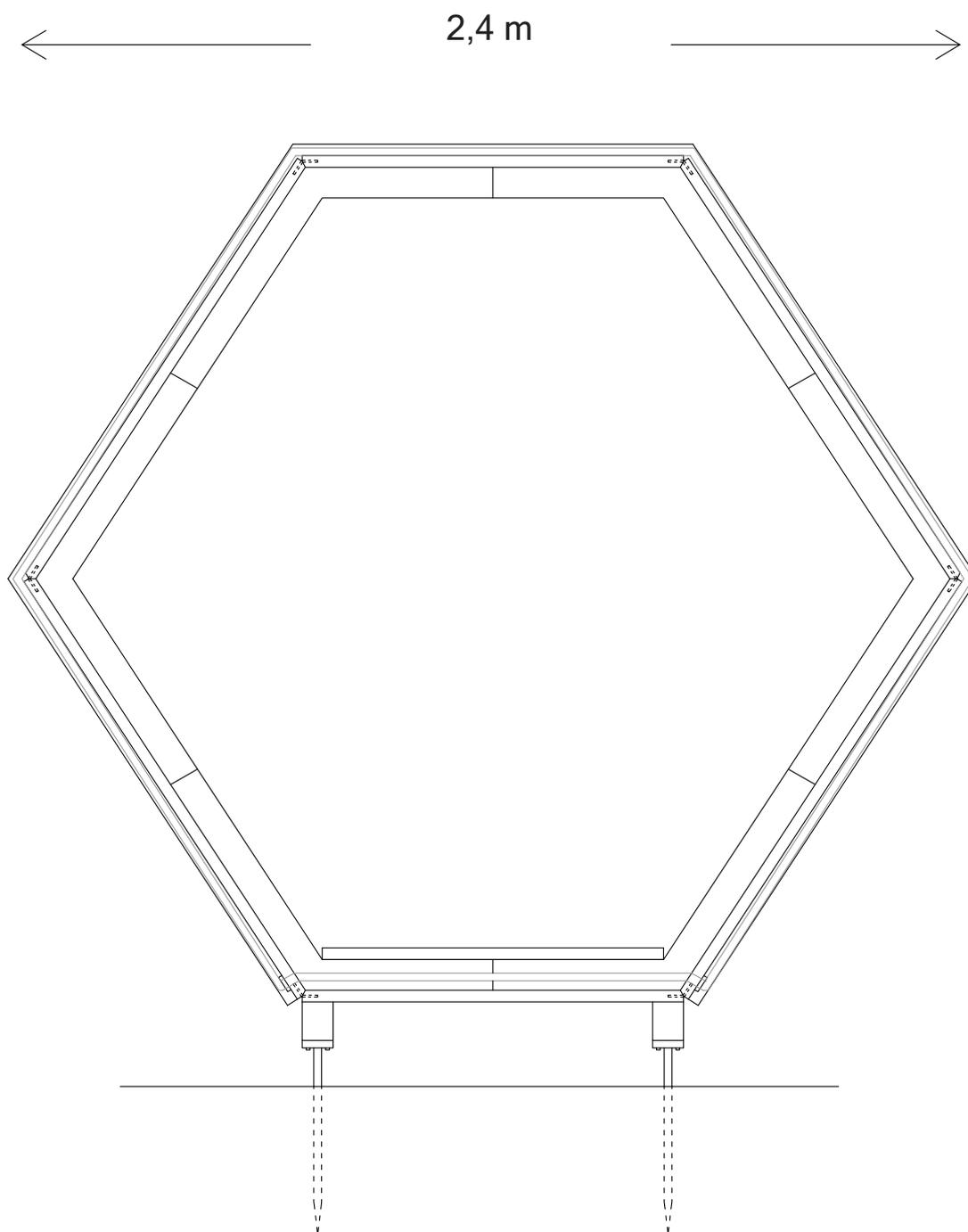
SYSTEMENTWURF 4

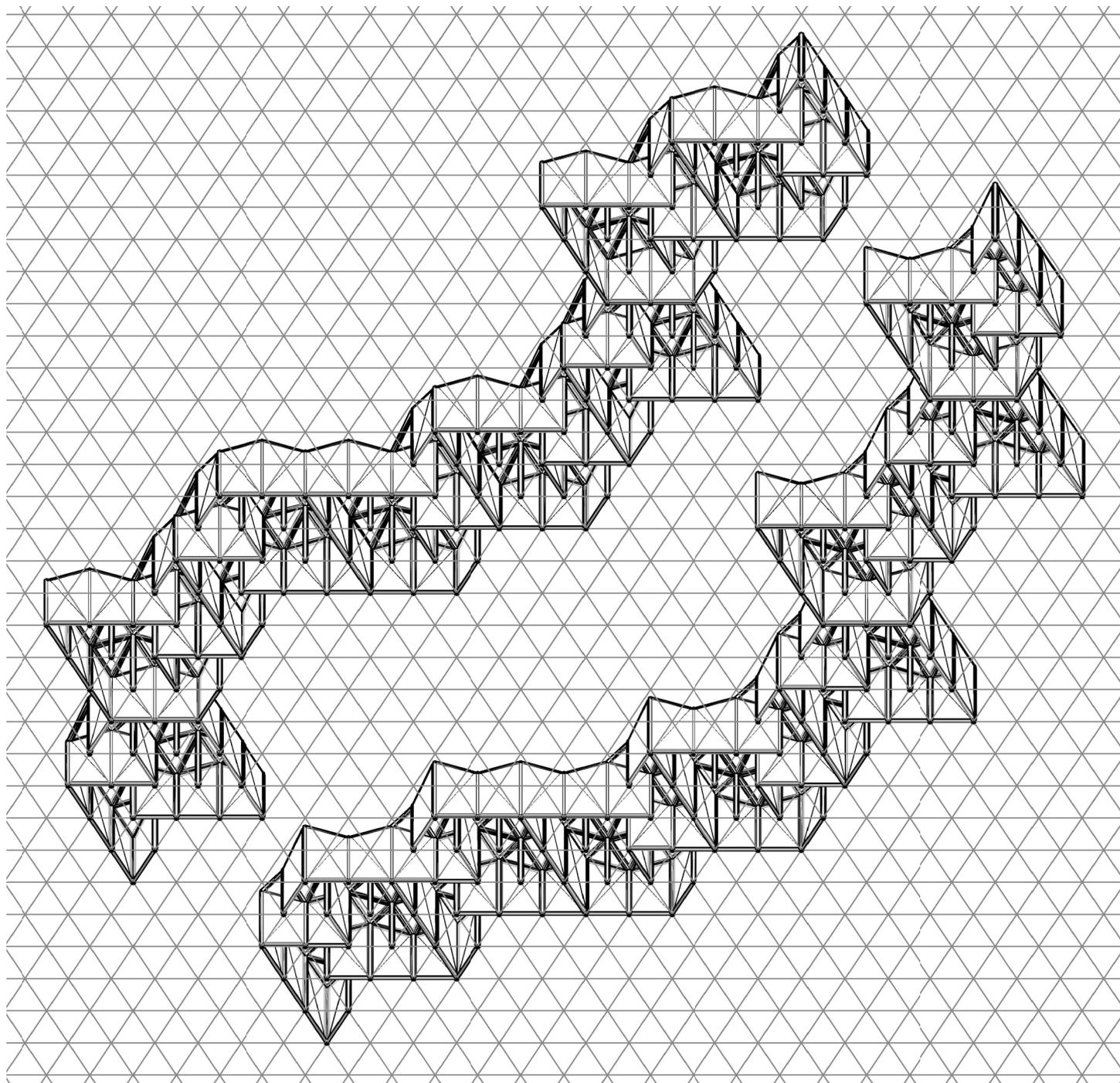




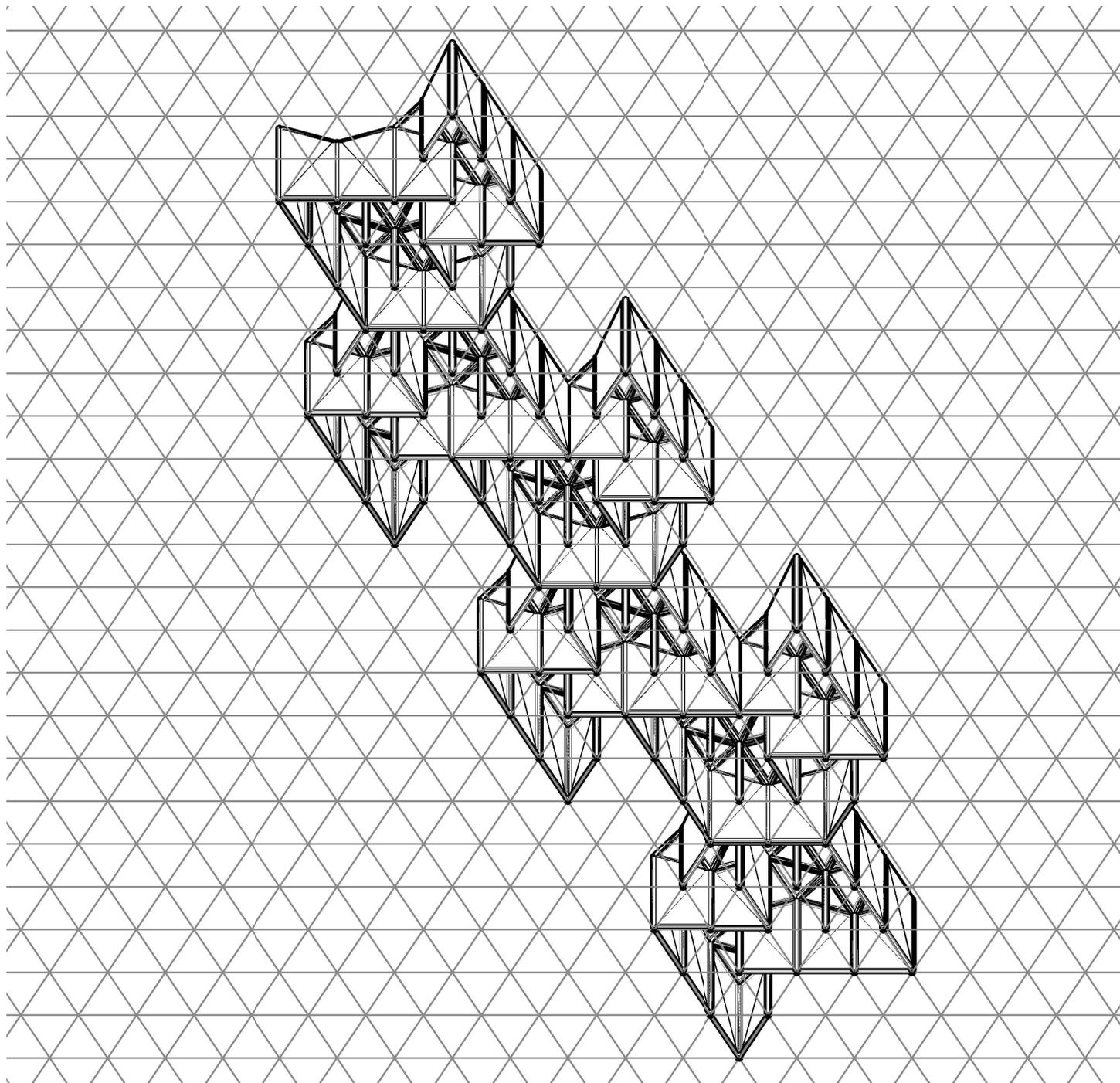
SYSTEMENTWURF 4







SYSTEMENTWURF DRZ



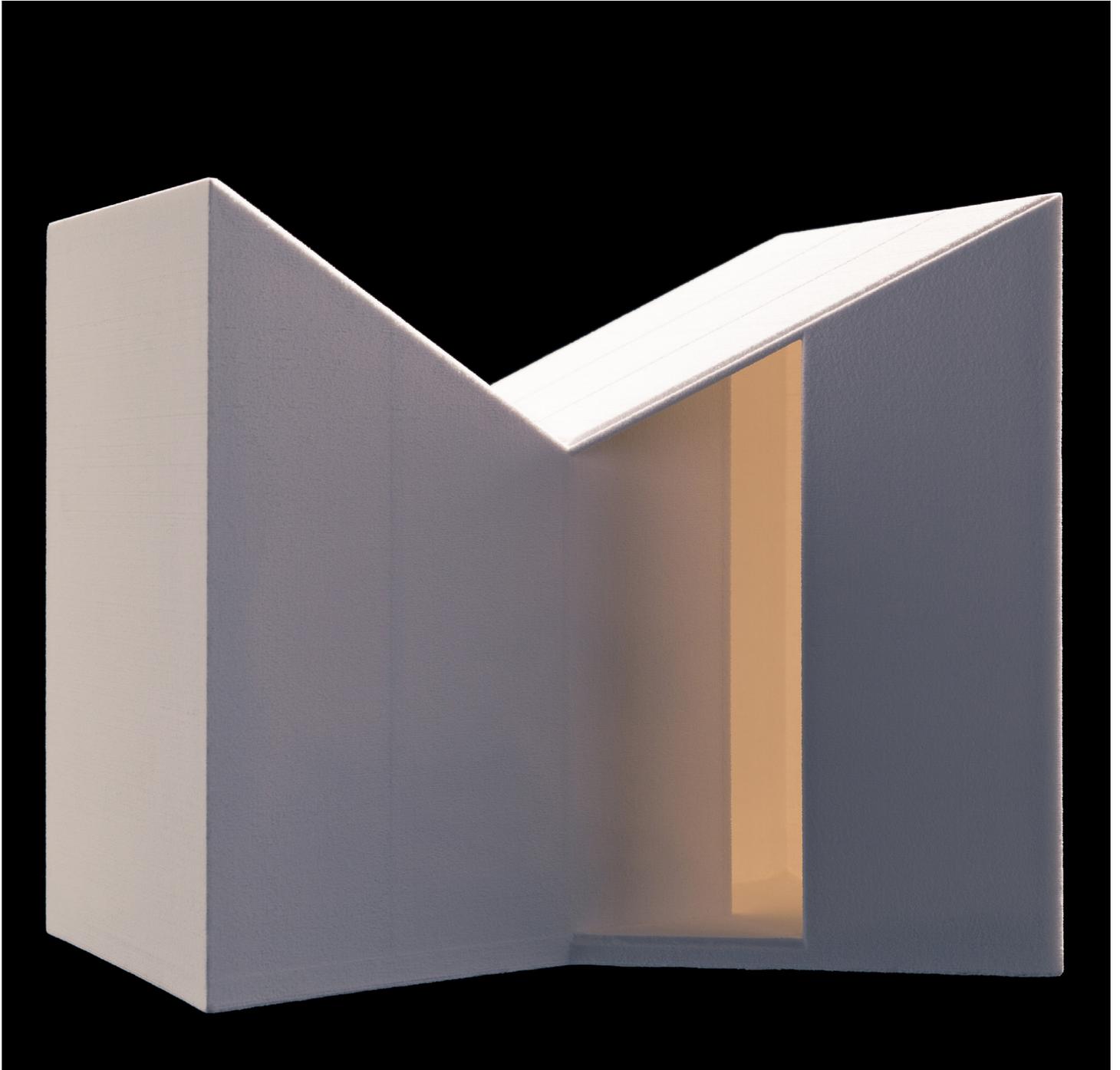
Parallel zu den seminaristischen Beiträgen des Wahlpflichtfachs „Konstruktion und Form“ ist die im Forschungsantrag formulierte Themenstellung in direkter Kooperation der beteiligten Fachgebiete entwerferisch untersucht worden. Die bisherigen Ergebnisse dieser Auseinandersetzung sollen in der Folge zusammengefasst werden.

GRUNDANNAHMEN UND LEITIDEEN

Das hier vorgestellte Modulsystem setzt auf das konstruktive und räumliche Zusammenwirken stab- und plattenförmiger Bauteile. Die Gründe hierfür sind mannigfaltig, von der gestalterisch durchaus wünschenswerten tektonischen Gliederung bis hin zu der Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit hochfester Feinkornbetone in stabförmigen Bauteilen zu untersuchen. Ausschlaggebend jedoch ist die immer wiederkehrende Problematik, die sich bei der Materialisierung eines abstrakten Rasters ergibt und die als „Eckkonflikt“ allseits bekannt ist. Schon bei den einfachsten Baukörpern führt der Versuch, diese aus möglichst wenigen, idealerweise identischen plattenförmigen Elementen zusammenzusetzen, zu gehörigen Problemen und unerwünschten Einschränkungen in der Flexibilität des Systems. Erst unter Zuhilfenahme eines wie auch immer gearteten sekundären Koppel-elementes gelingt es, ein Raster ohne weitere Komplikationen zu verräumlichen und einem von dieser Grundannahme ausgehenden System zu voller Flexibilität und Leistungsfähigkeit zu verhelfen.

Als geometrische Grundlage des Modulsystems wurde das Dreieck gewählt - die elementarste Form der Fläche, Synonym sowohl für Stabilität als auch für Anpassungsfähigkeit. Gleichzeitig erzeugt es den neutralen Hintergrund, auf dem sich die unterschiedlichsten räumlichen Konfigurationen entfalten können.

Das bereits erwähnte Koppel-element nimmt die Form einer sechseckigen Stütze an. In Zusammenwirkung mit den der gleichen Geometrie folgenden Wandpaneelen ergibt sich eine Fülle von Anschlussmöglichkeiten. Im Schnitt folgt das System den gleichen Prinzipien, ohne dabei die natürlichen Randbedingungen zu negieren.



Fotografie: Bernhard Friese, Pforzheim

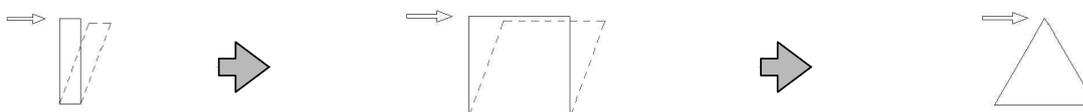
ENTWURFSPHASE

ÜBERLEGUNGEN ZU DEN EIGENSCHAFTEN UND ANFORDERUNGEN DES MODULSYSTEMS IN GRUNDRISS UND SCHNITT

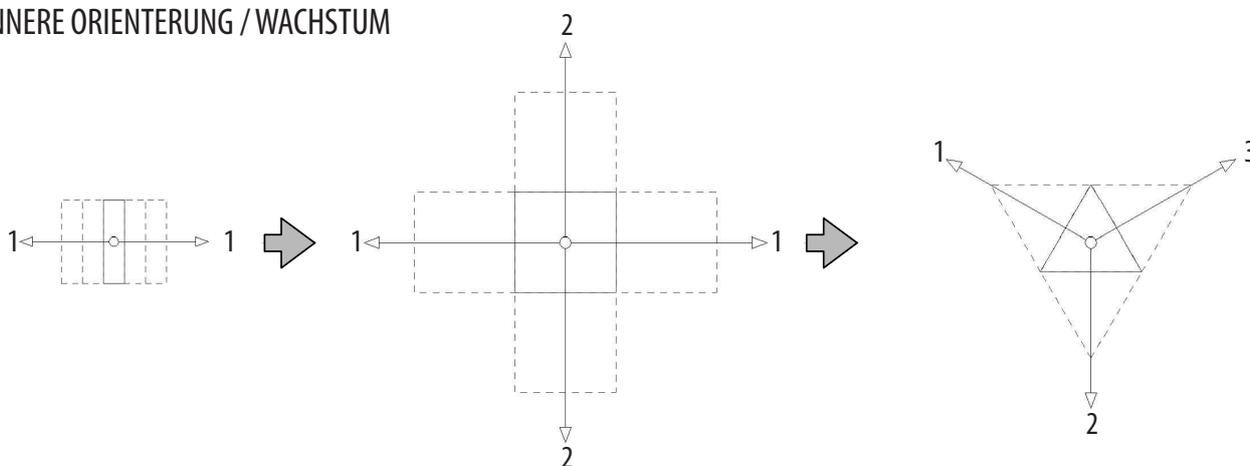
PROPORTION / FLÄCHE



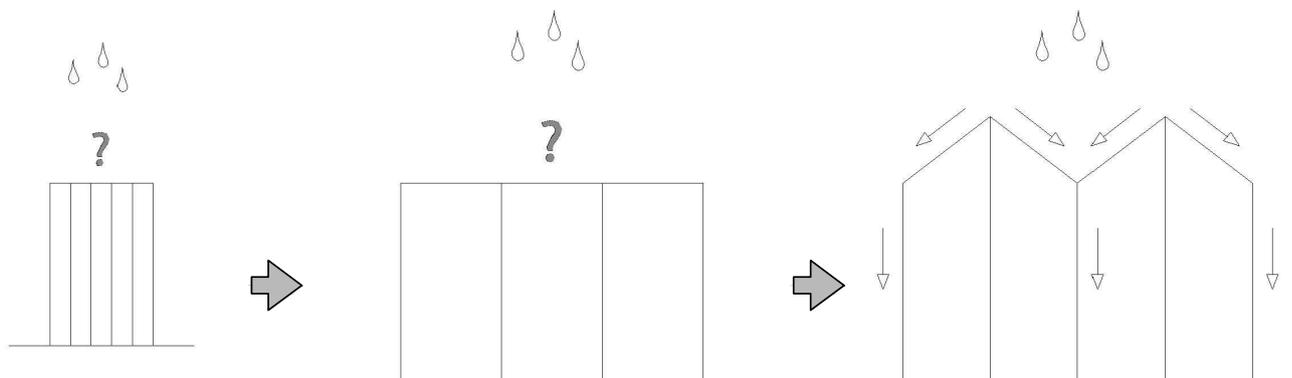
STEIFIGKEIT



INNERE ORIENTIERUNG / WACHSTUM



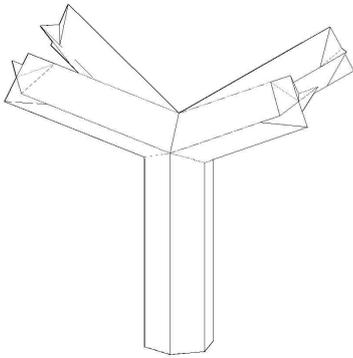
DACHFORM / ENTWÄSSERUNG





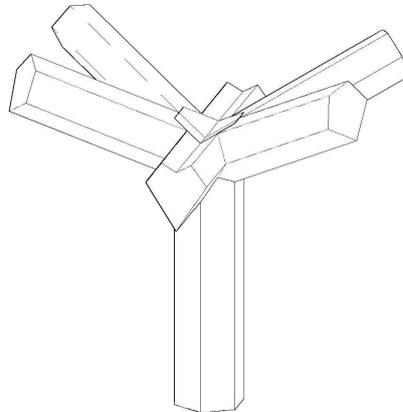
OPTIMIERUNGSPROZESS - VEREINFACHUNG UND REDUKTION

PHASE 1



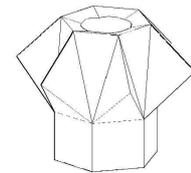
Knotenpunkt als Sonderteil
Anschluss von Trägern und
Stützen; große Dachplatten

PHASE 2

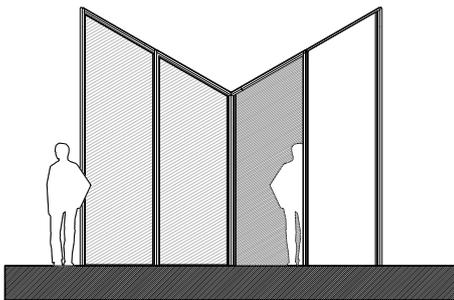


Knotenpunkt als Sonderteil
Anschluss von Trägern und
Stützen; kleine Dachplatten

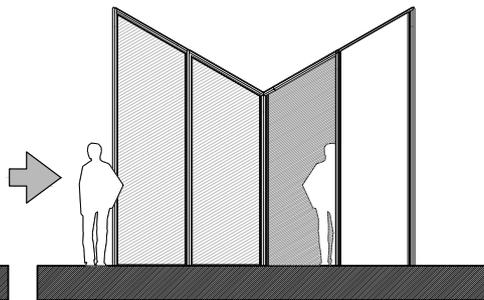
PHASE 3



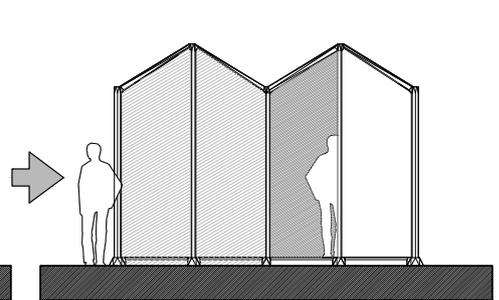
Geometrische Optimierung
von Träger- und Stützenkopf;
Knoten als Sonderteil entfällt



3 Höhen -> 3 Stützen



3 Höhen -> 3 Stützen



2 Höhen -> 2 Stützen



Träger im Querschnitt asym-
metrisch -> mehr Paneele

ELEMENTE

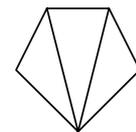
- 3 x Stütze
- 7 x Paneel
- 21 x Knoten
- 2 x Träger
- 5 x Dachpaneel



Träger im Querschnitt asym-
metrisch -> mehr Paneele

ELEMENTE

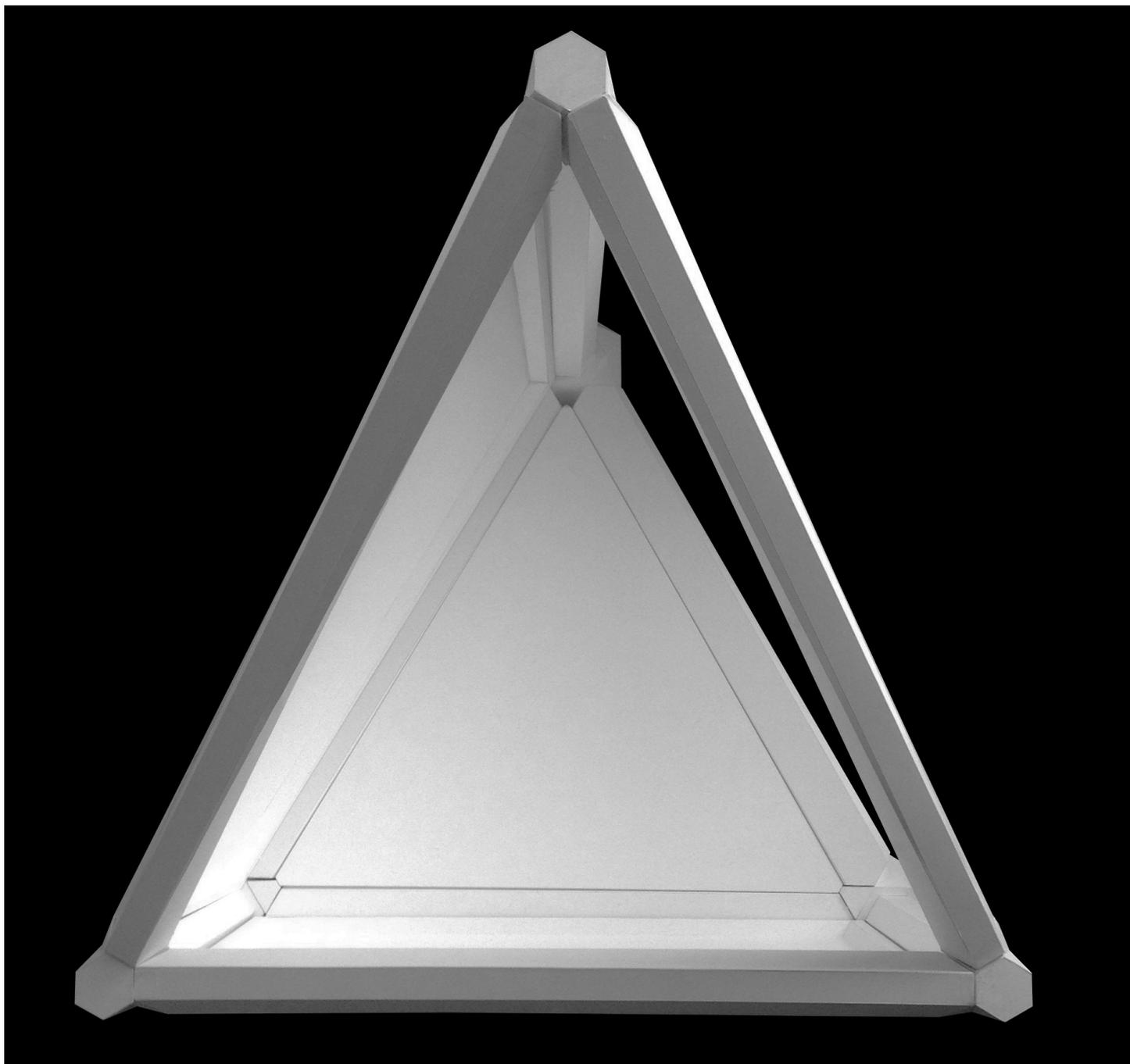
- 3 x Stütze
- 7 x Paneel
- 21 x Knoten
- 3 x Träger
- 2 x Dachpaneel



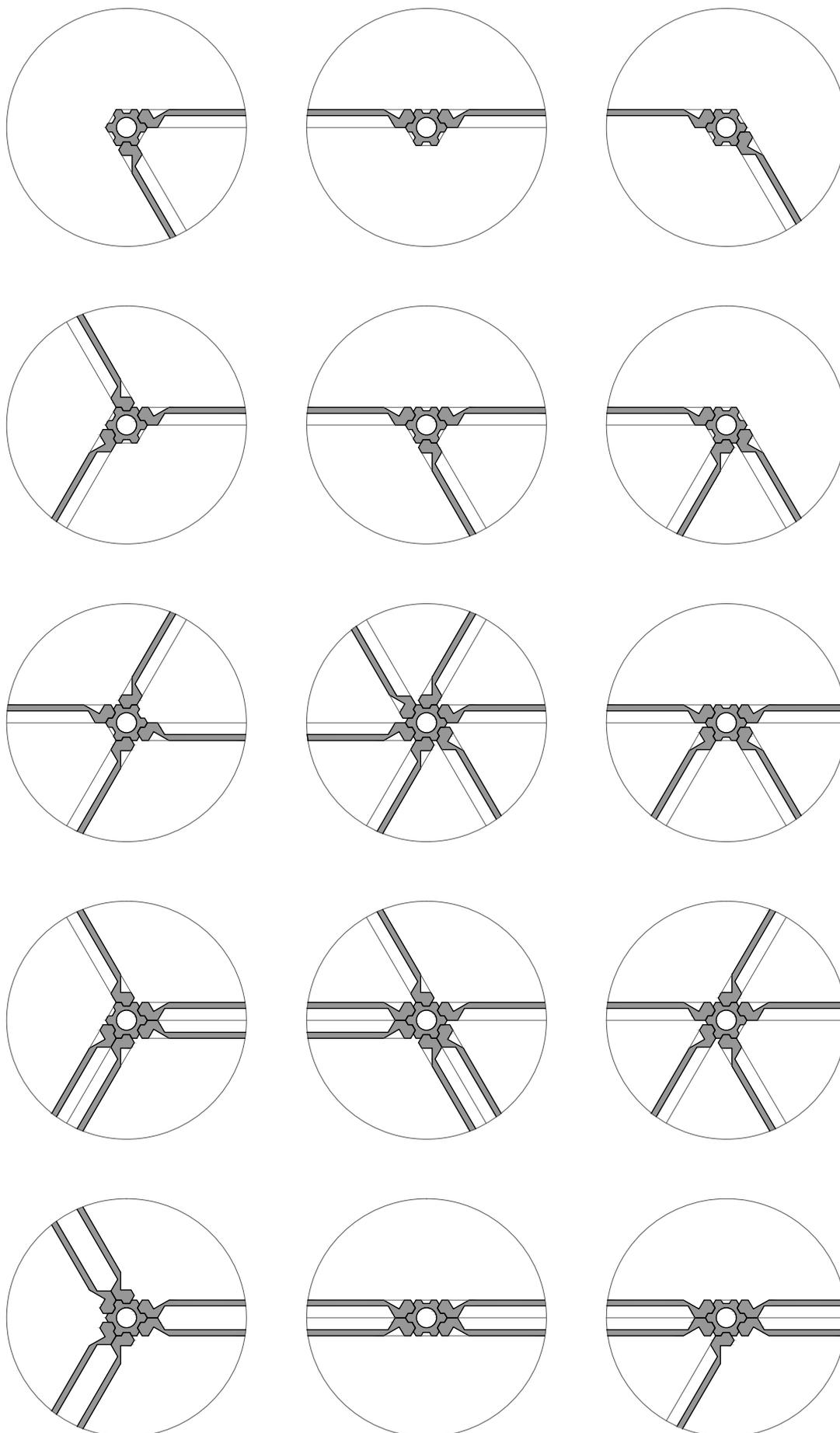
Träger im Querschnitt symme-
trisch -> weniger Paneele

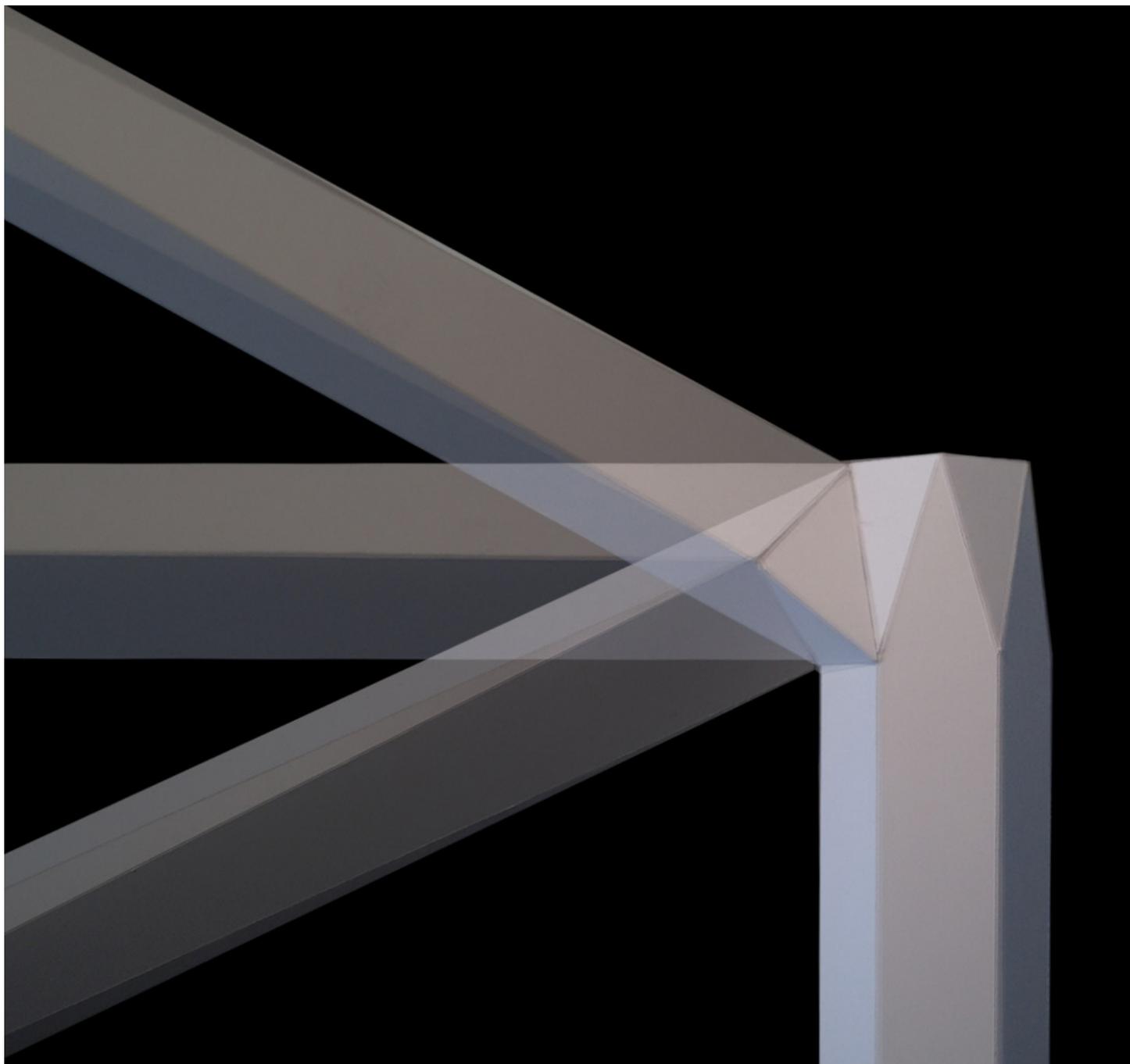
ELEMENTE

- 2 x Stütze
- 4 x Paneel
- 1 x Knoten
- 2 x Träger
- 2 x Dachpaneel

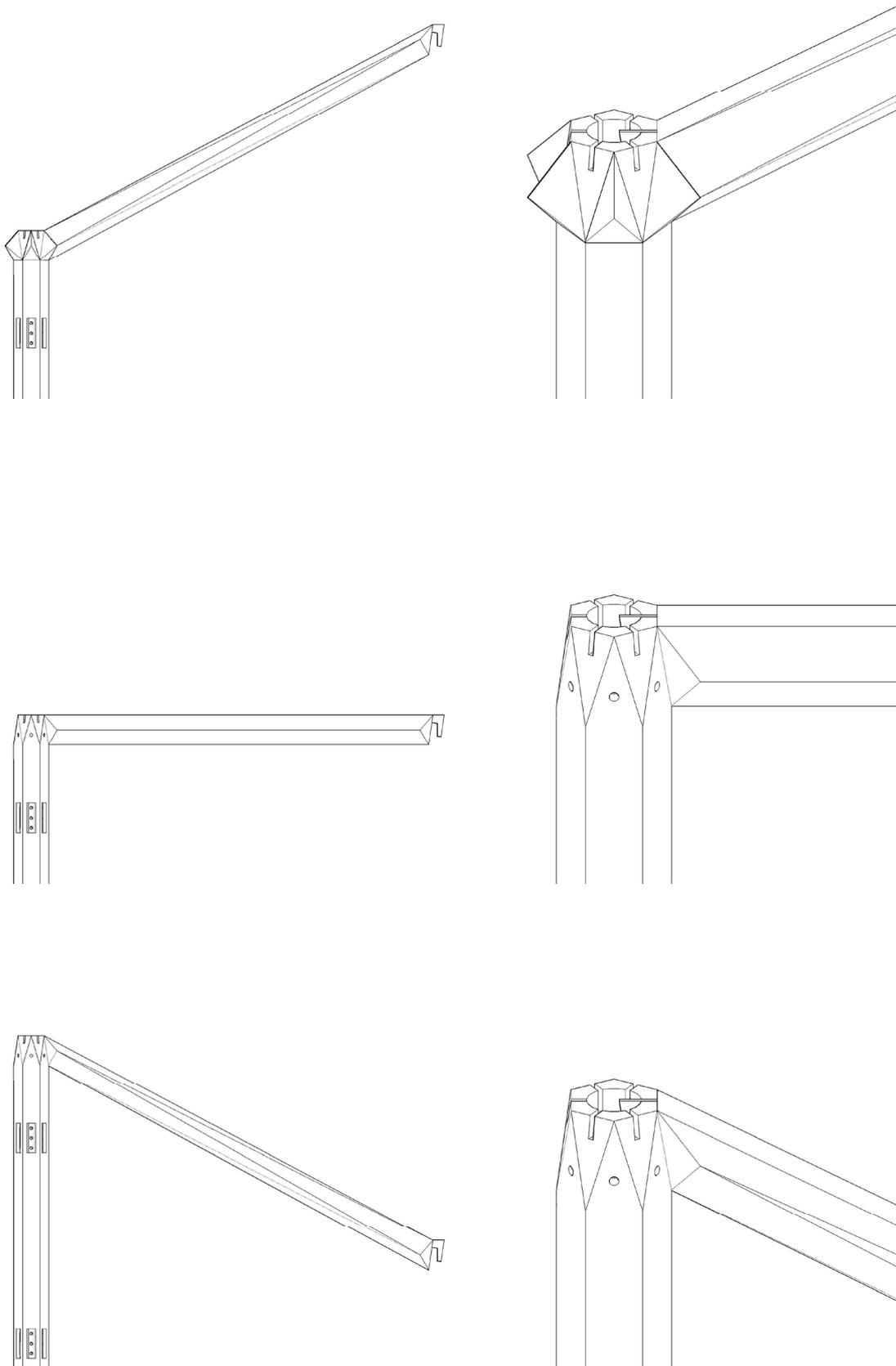


FLEXIBILITÄT IM GRUNDRISS - EINE AUSWAHL VERSCHIEDENER ANSCHLUSSMÖGLICHKEITEN



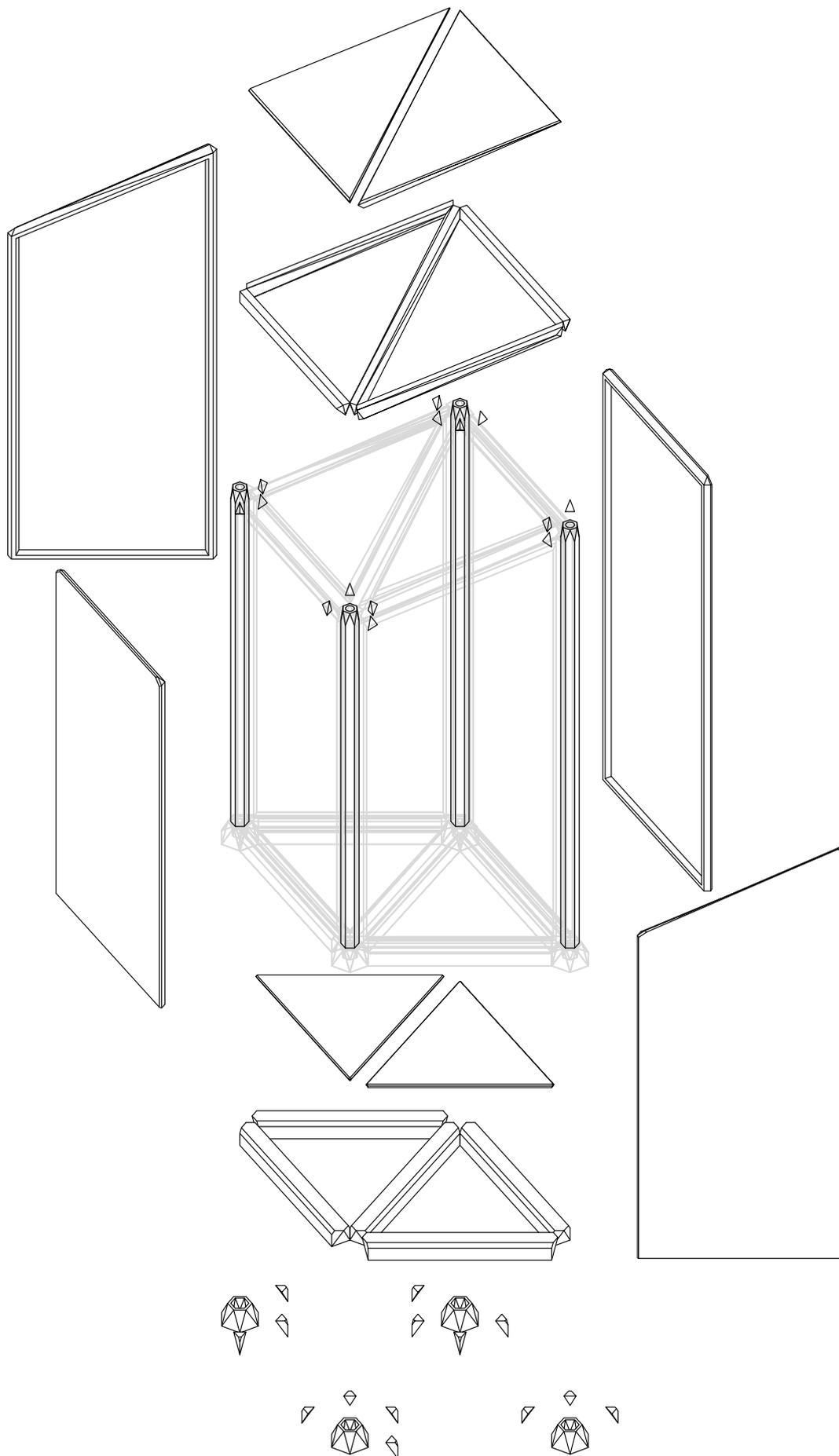


FLEXIBILITÄT IM SCHNITT - SECHS MAL DREI ANSCHLUSSMÖGLICHKEITEN AM STÜTZENKOPF





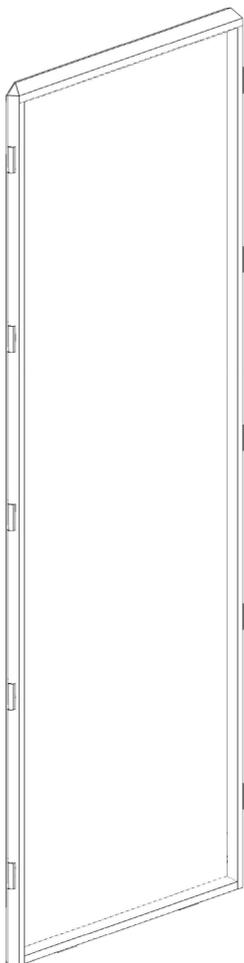
MOCK UP - DARSTELLUNG DES GEPLANTEN 1:1 MODELLS MIT ALLEN ELEMENTEN DES SYSTEMS



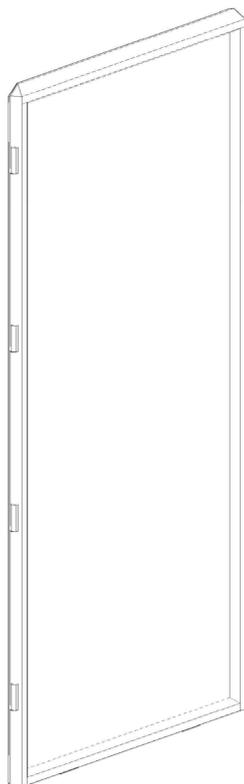
03.



05.



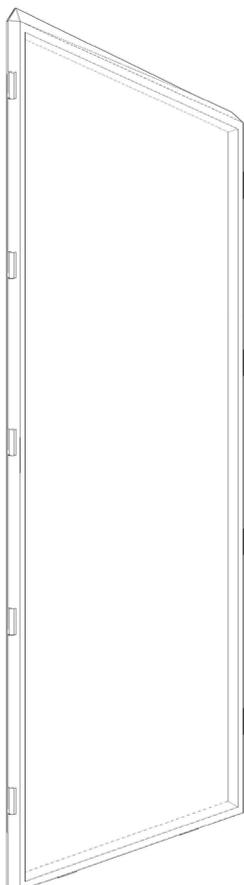
06.



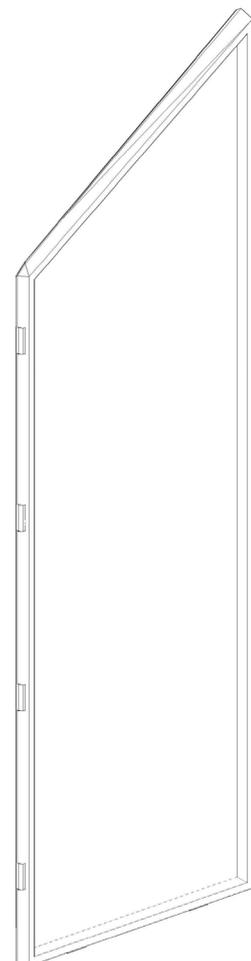
04.



07.



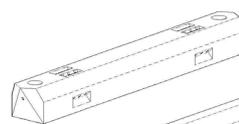
08.



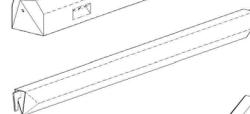
01.



02.



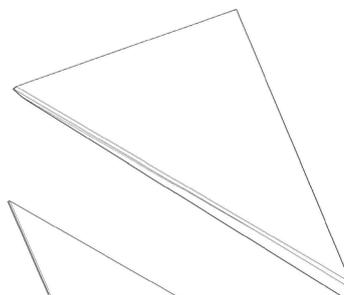
09.



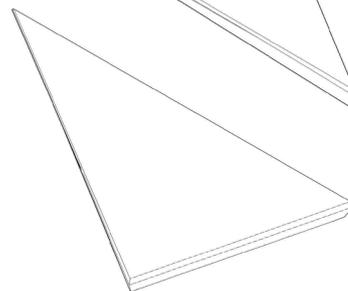
10.



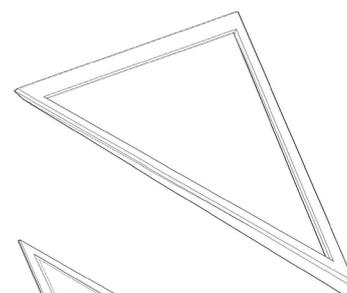
11.



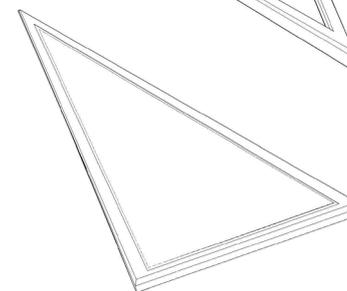
12.



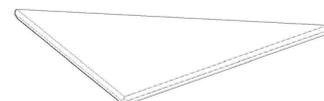
13.



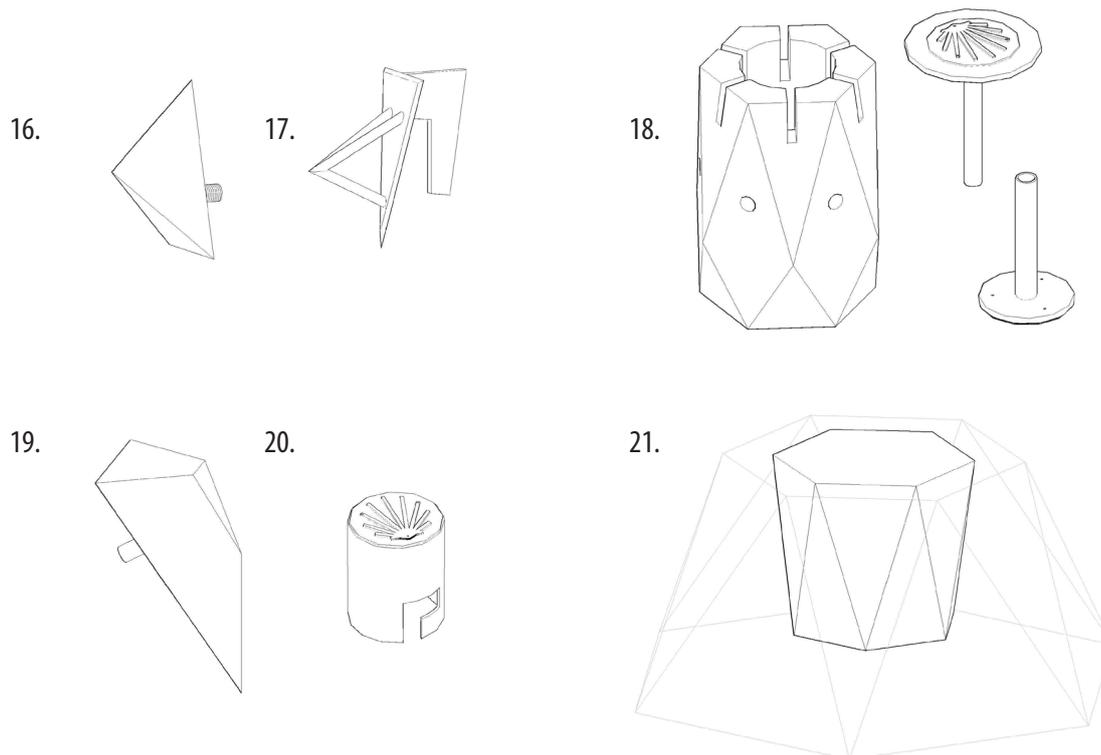
14.



15.



ÜBERSICHT DER ELEMENTE, VERBINDUNGS- UND SONDERTEILE DES MODULSYSTEMS



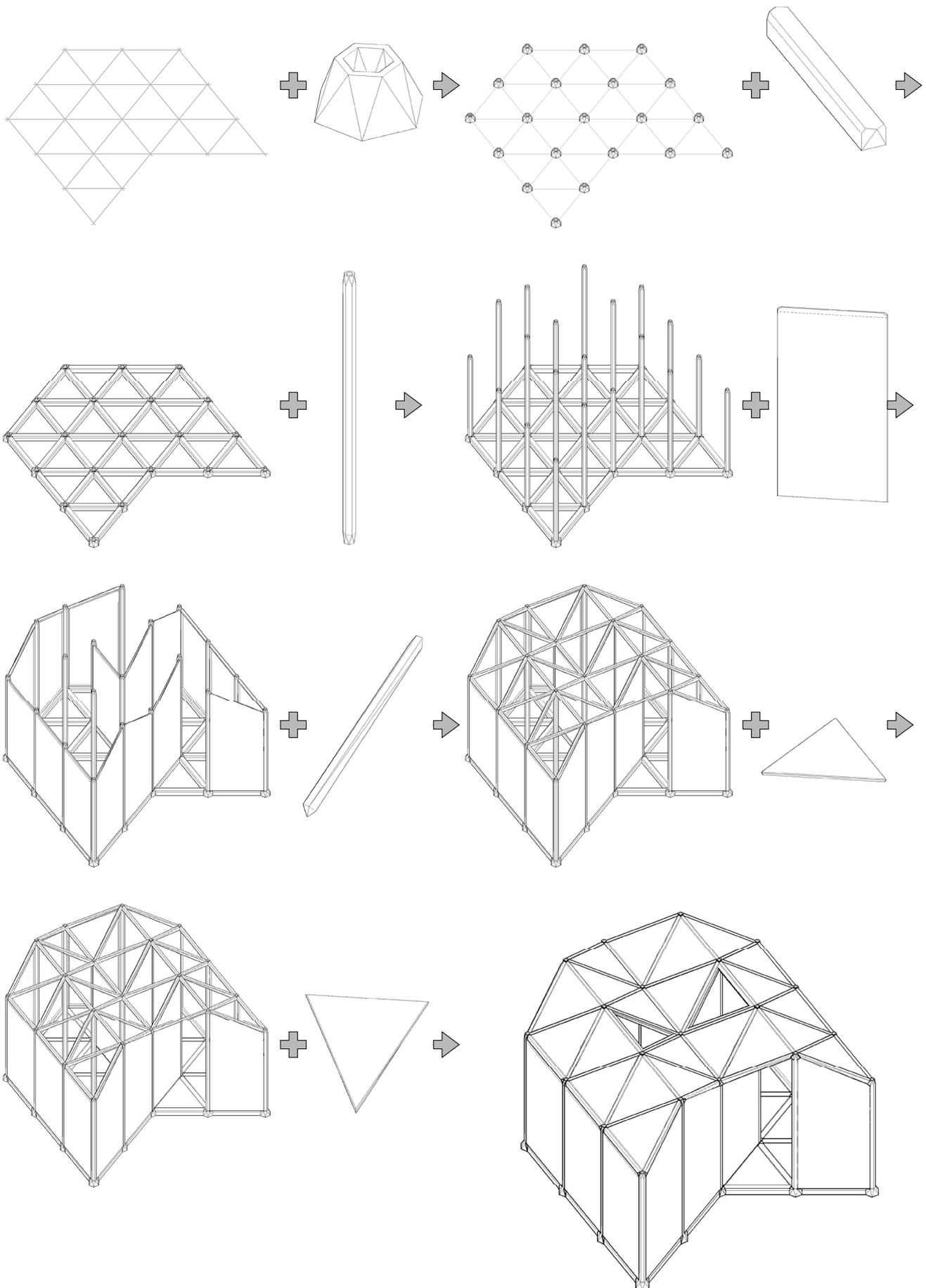
ELEMENTE

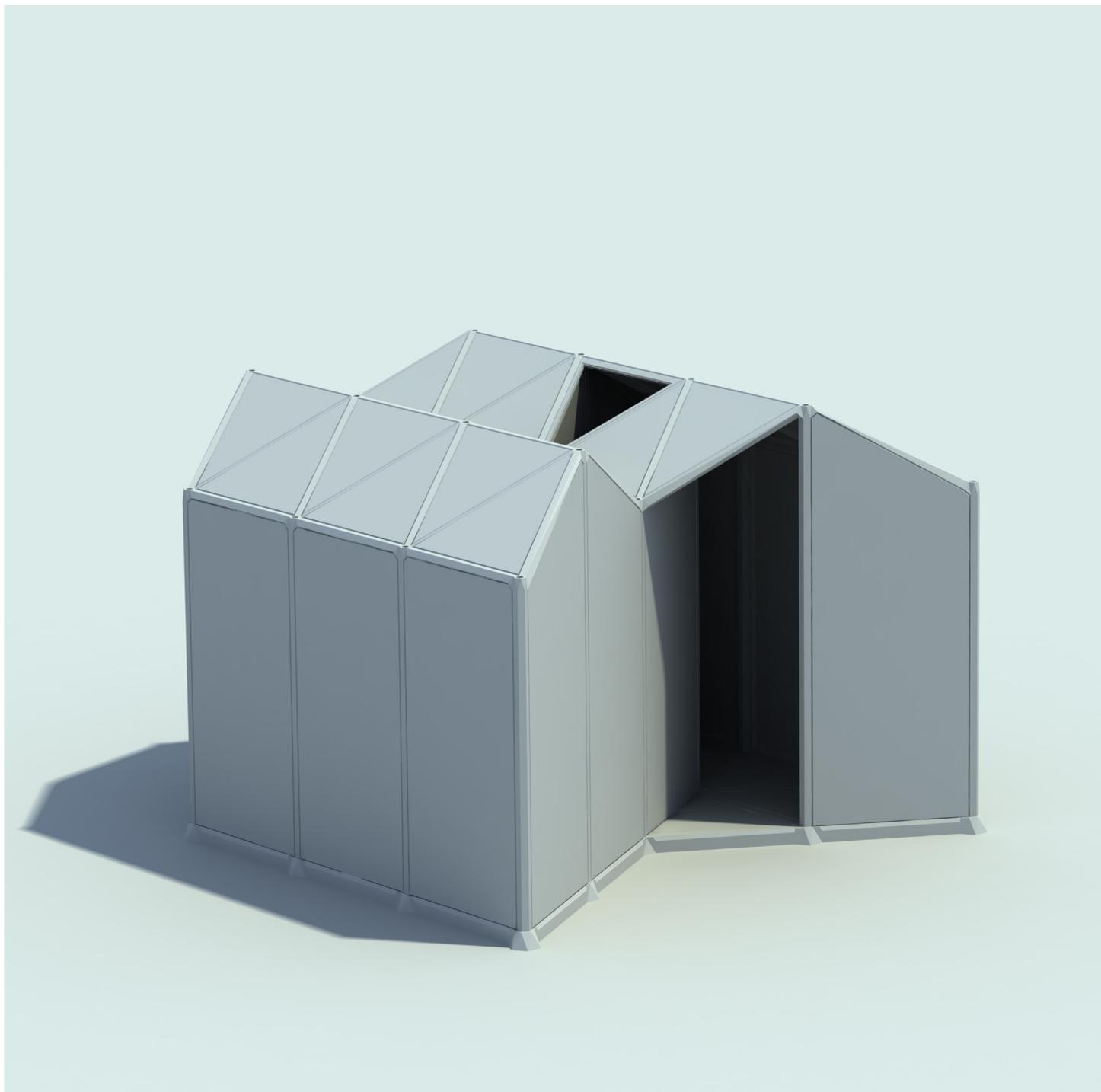
- 01. Köcher
- 02. Schwellbalken
- 03. Stuetze lang
- 04. Stuetze kurz
- 05. Paneel 1
- 06. Paneel 2
- 07. Paneel 3a
- 08. Paneel 3b
- 09. Traeger horizontal
- 10. Traeger geneigt
- 11. Dachpaneel 1
- 12. Dachpaneel 2
- 13. Dachpaneel 1a (Oberlicht)
- 14. Dachpaneel 2a (Oberlicht)
- 15. Bodenpaneel

VERBINDUNGS- UND SONDERTEILE

- 16. Lagesicherung Anschluss Träger-Stütze
- 17. Kopfplatte Träger
- 18. Schlussstein mit Zierkappen
- 19. Lagesicherung Anschluss Schwelle-Stütze
- 20. Zierkappe Anschluss Schwelle-Stütze
- 21. Füllung Köcher

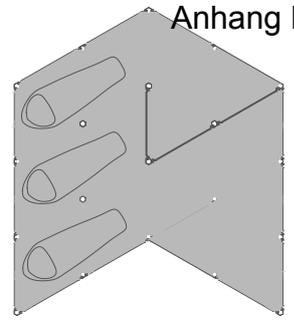
IDEALISIERTER MONTAGEBLAUF

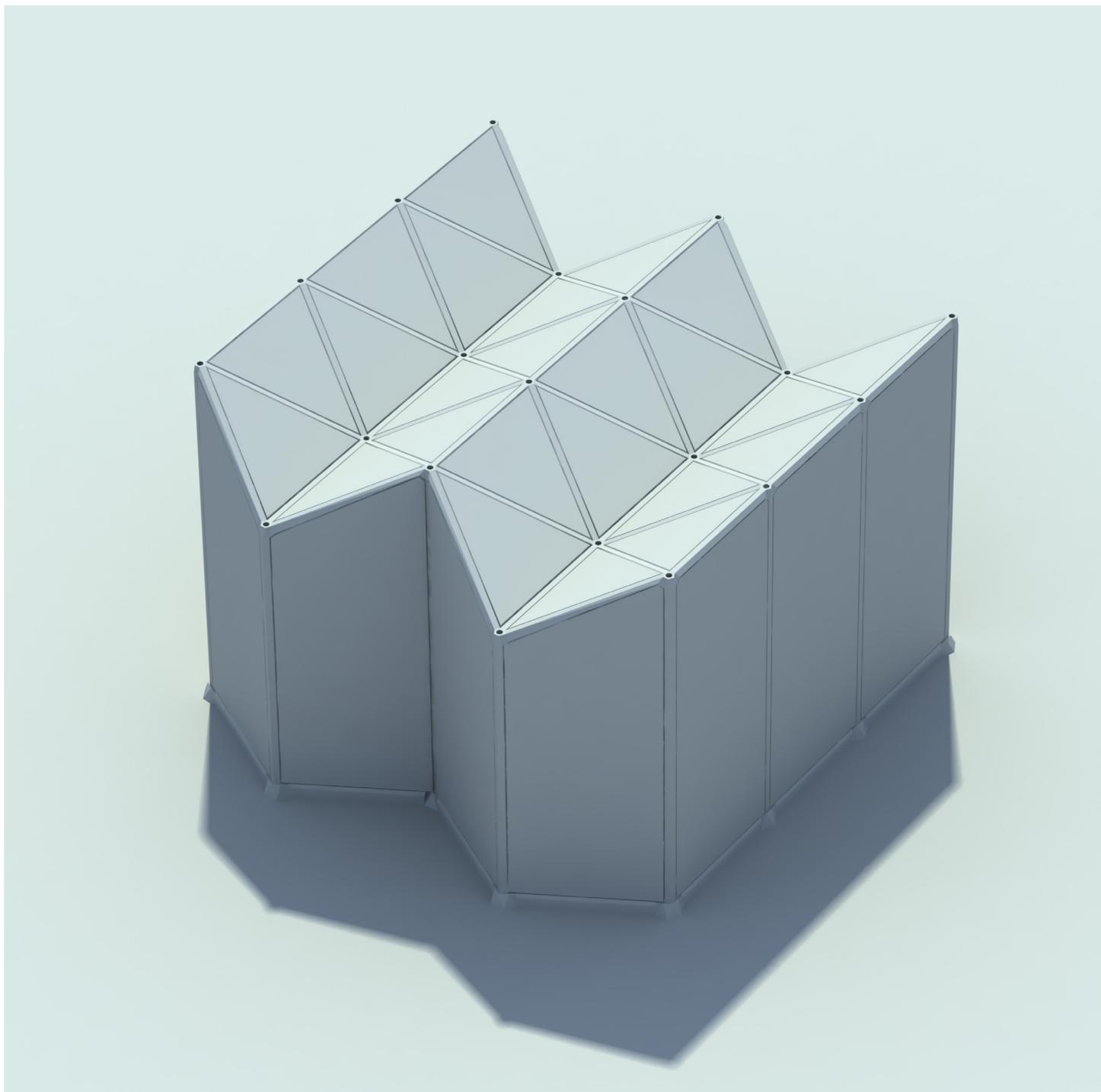




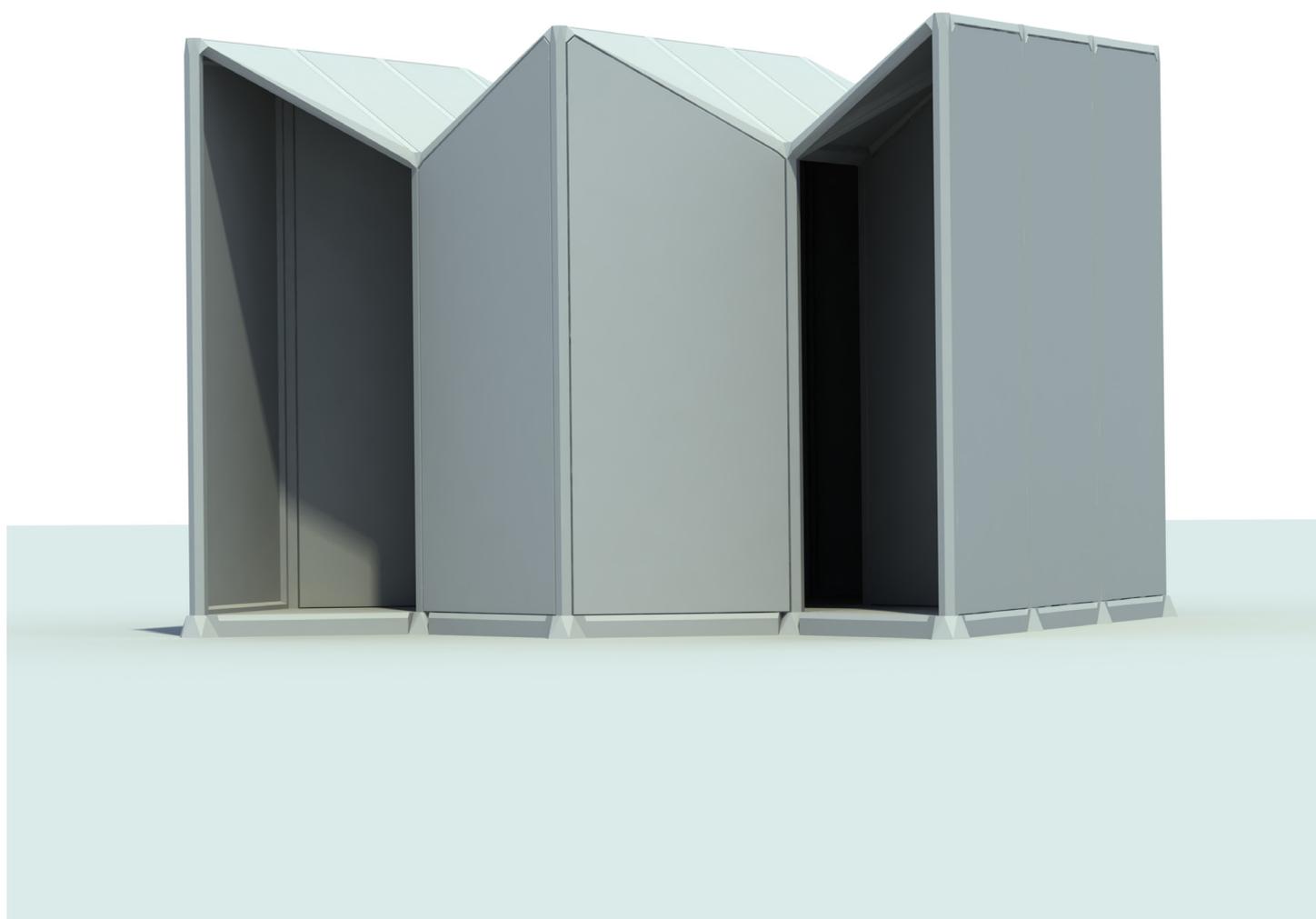
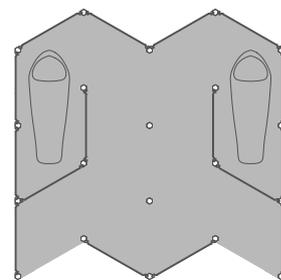
PILGERHÜTTE - VARIANTE 1

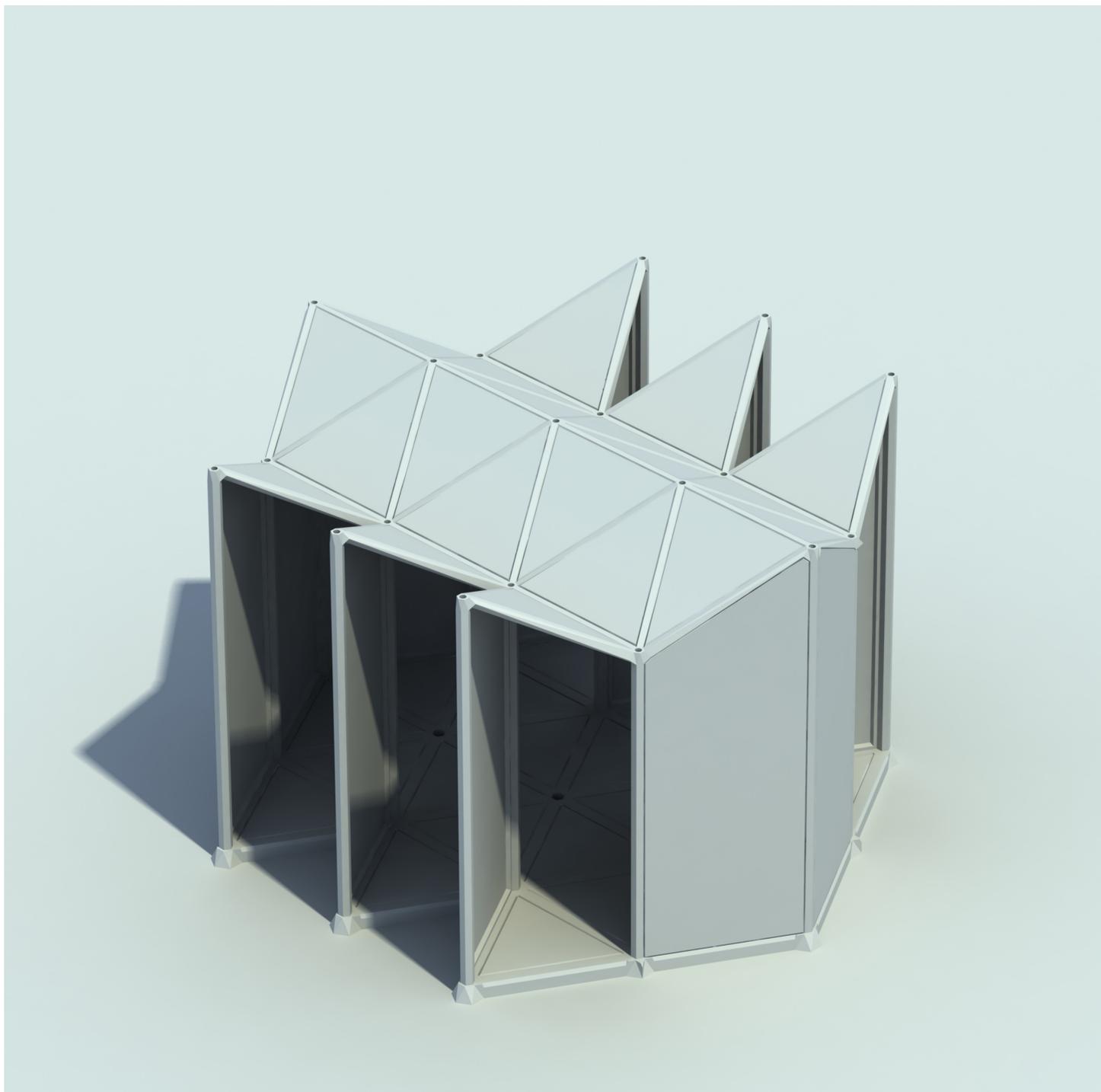
Anhang D



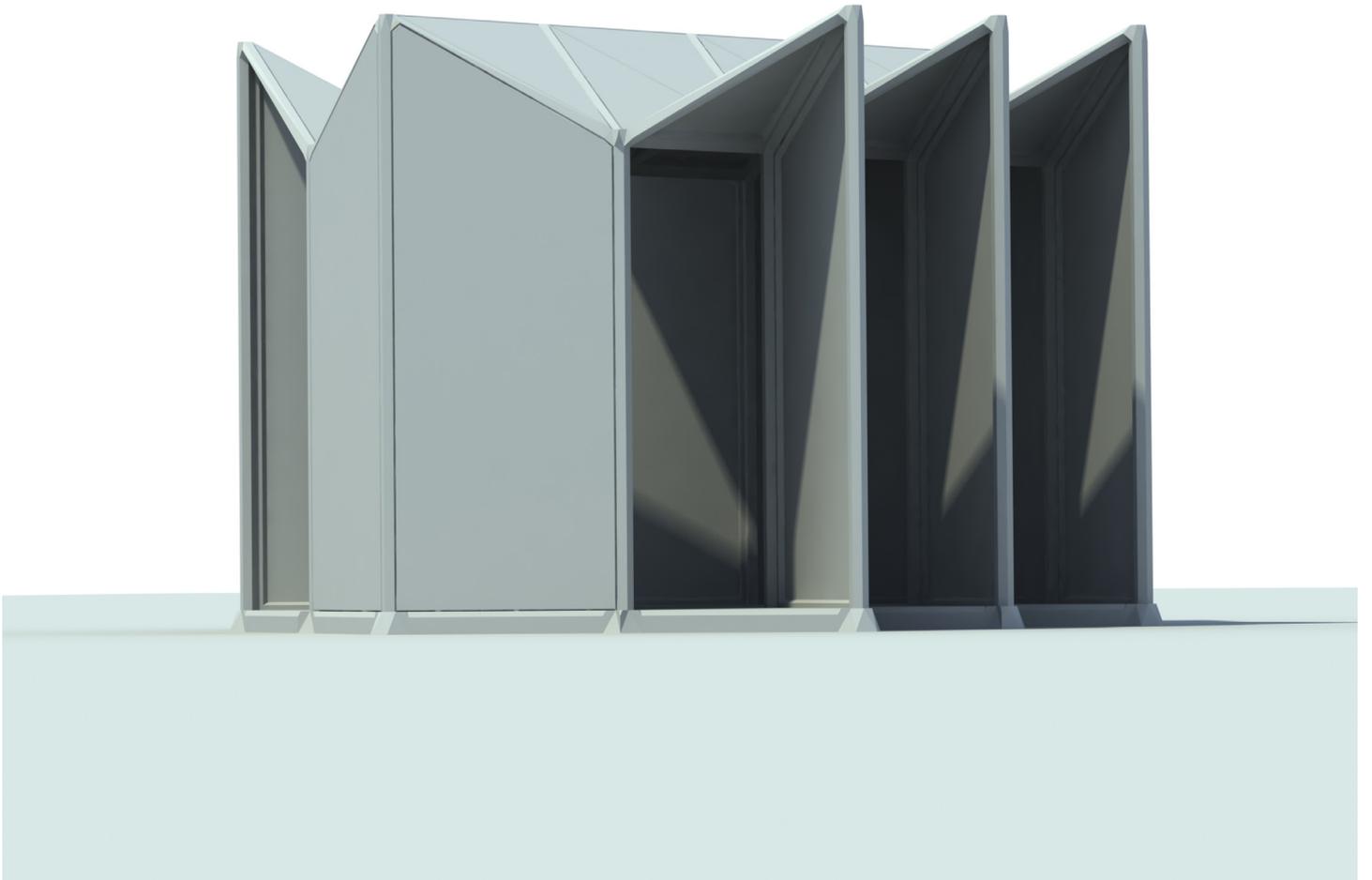
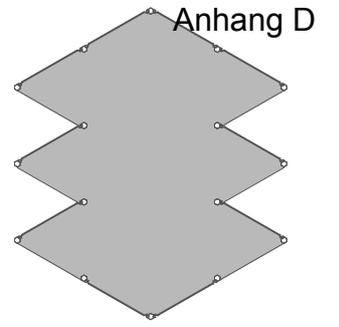


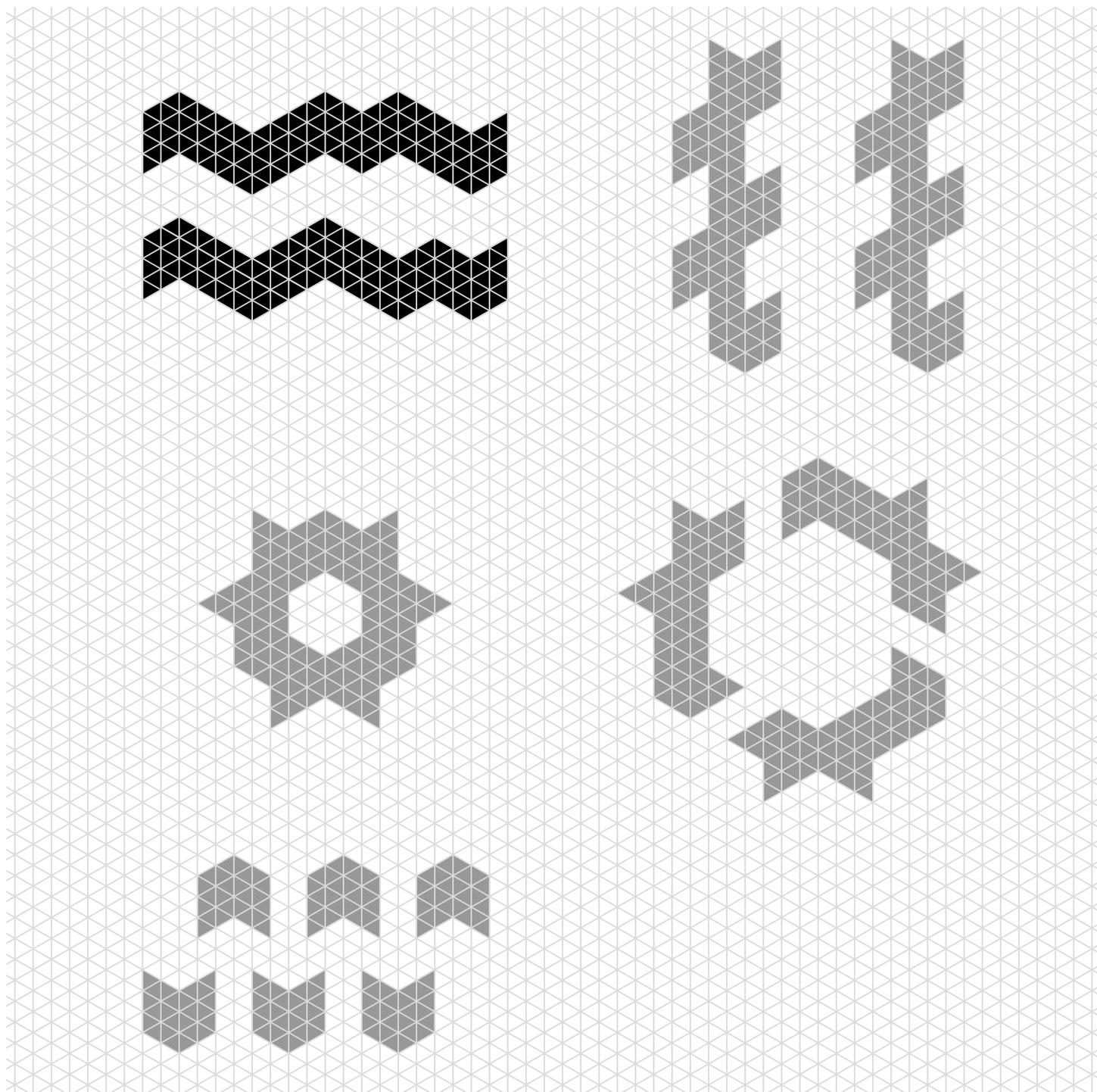
PILGERHÜTTE - VARIANTE 2



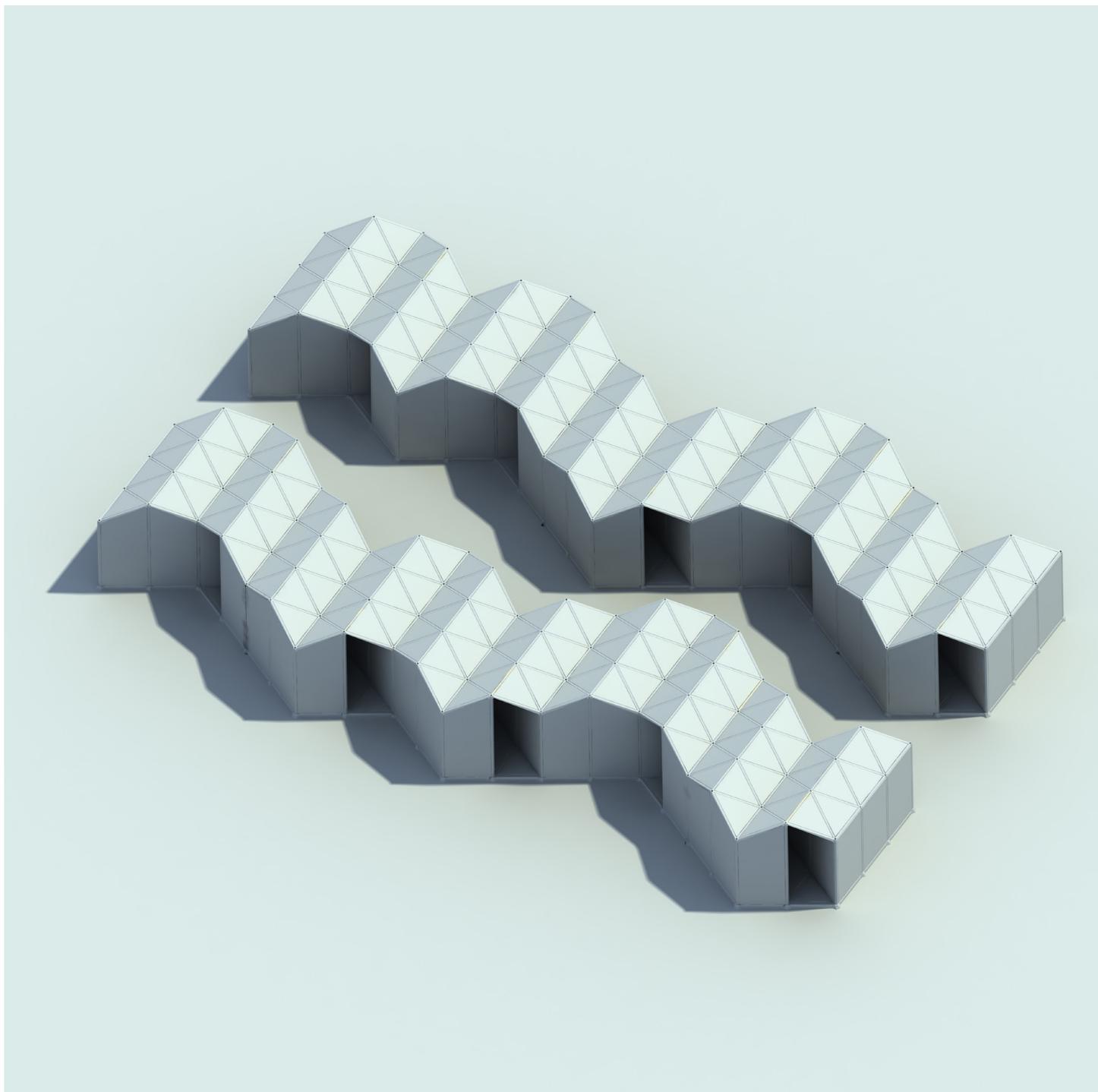


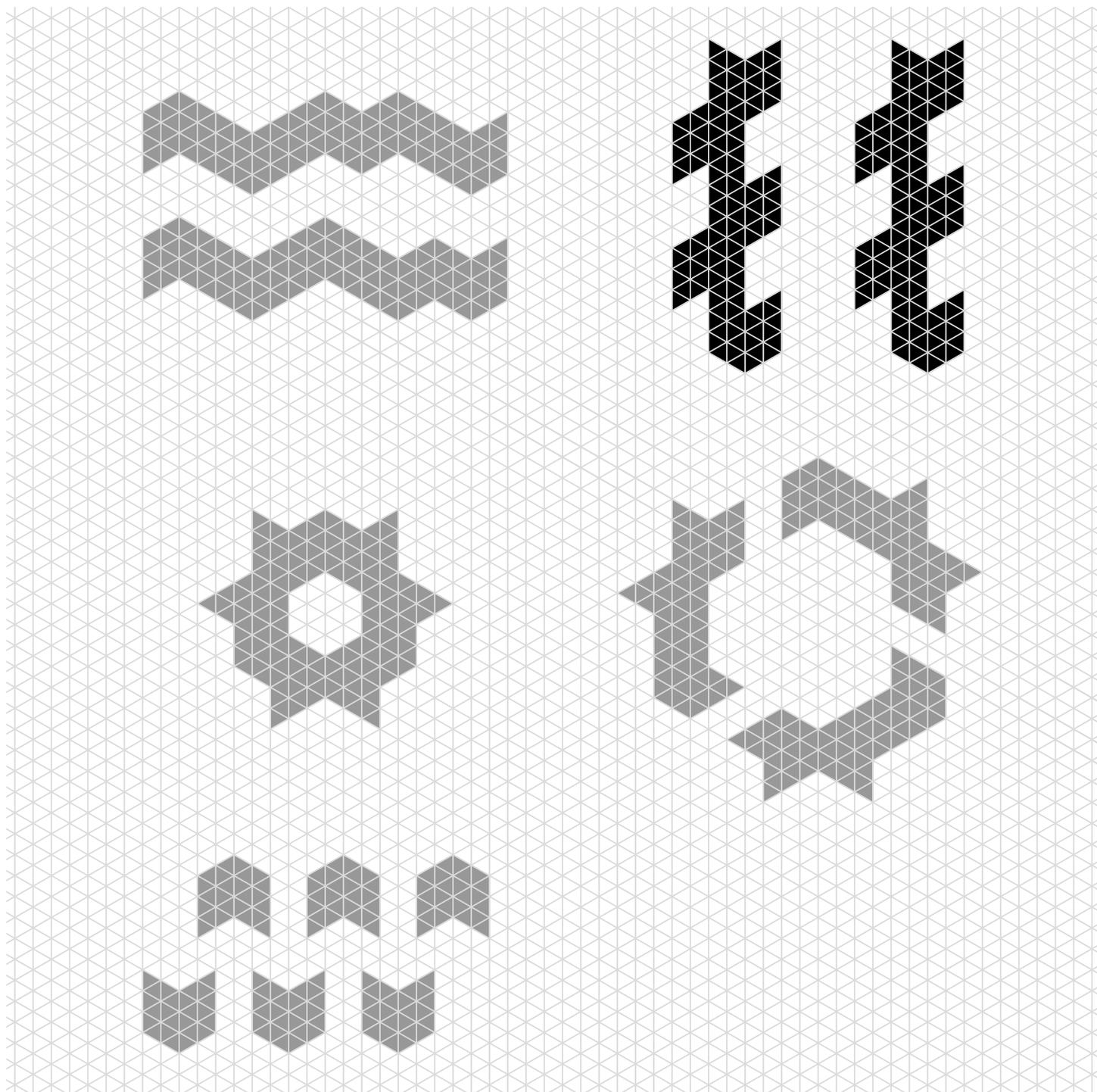
AUSSTELLUNGSPAVILLON - VARIANTE 3



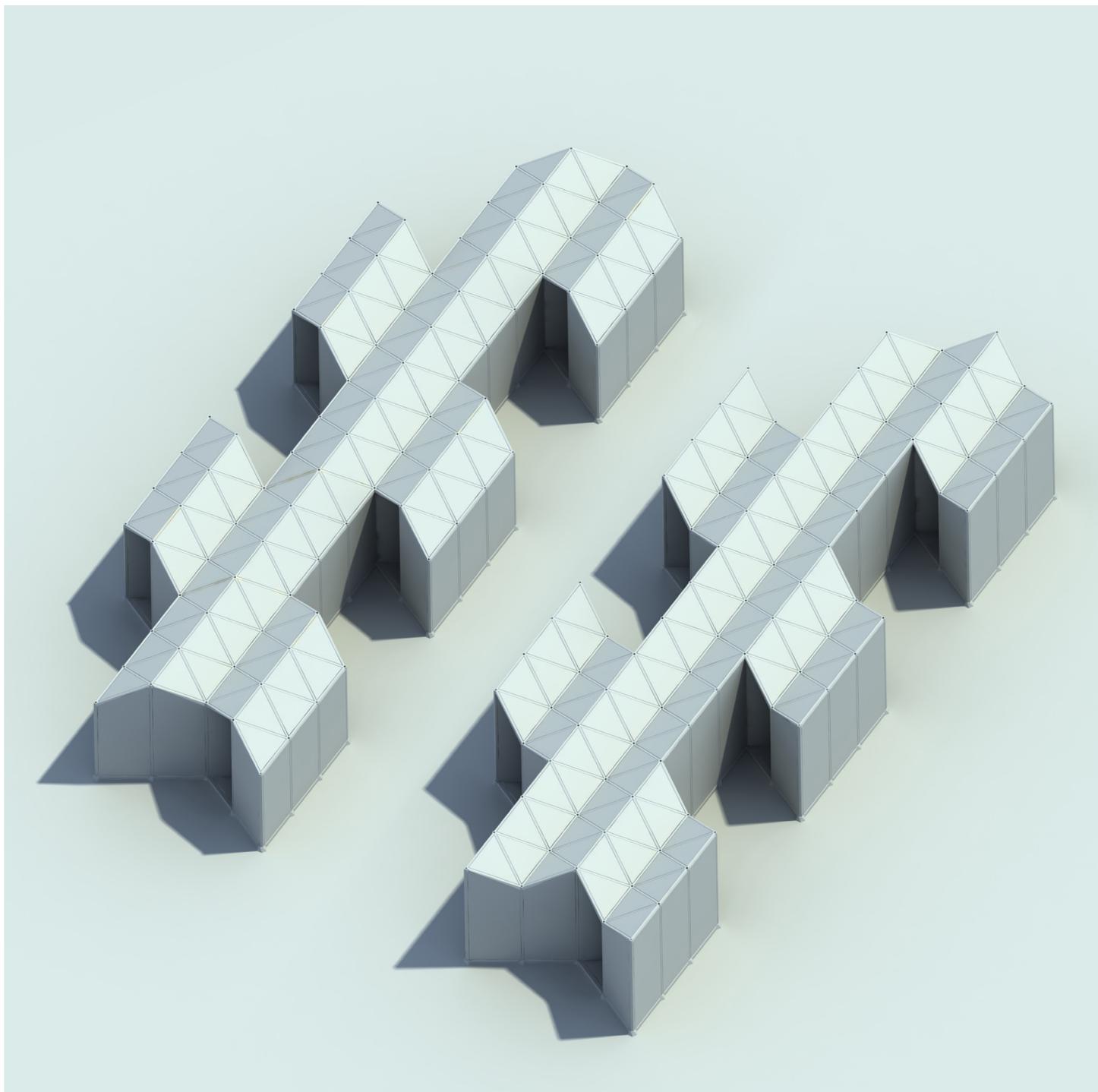


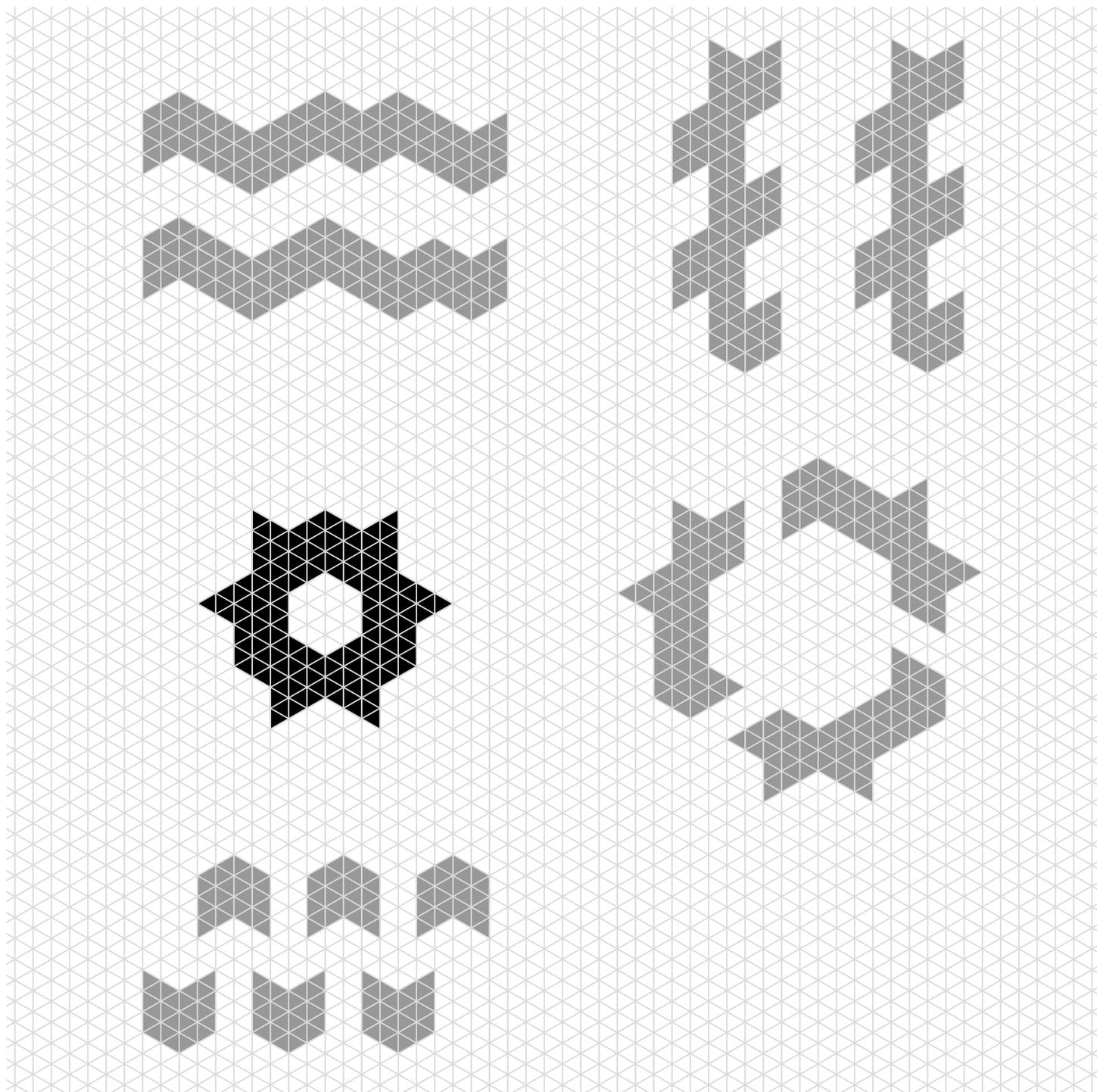
TYOLOGISCHE VARIATIONEN - „ZEILE“



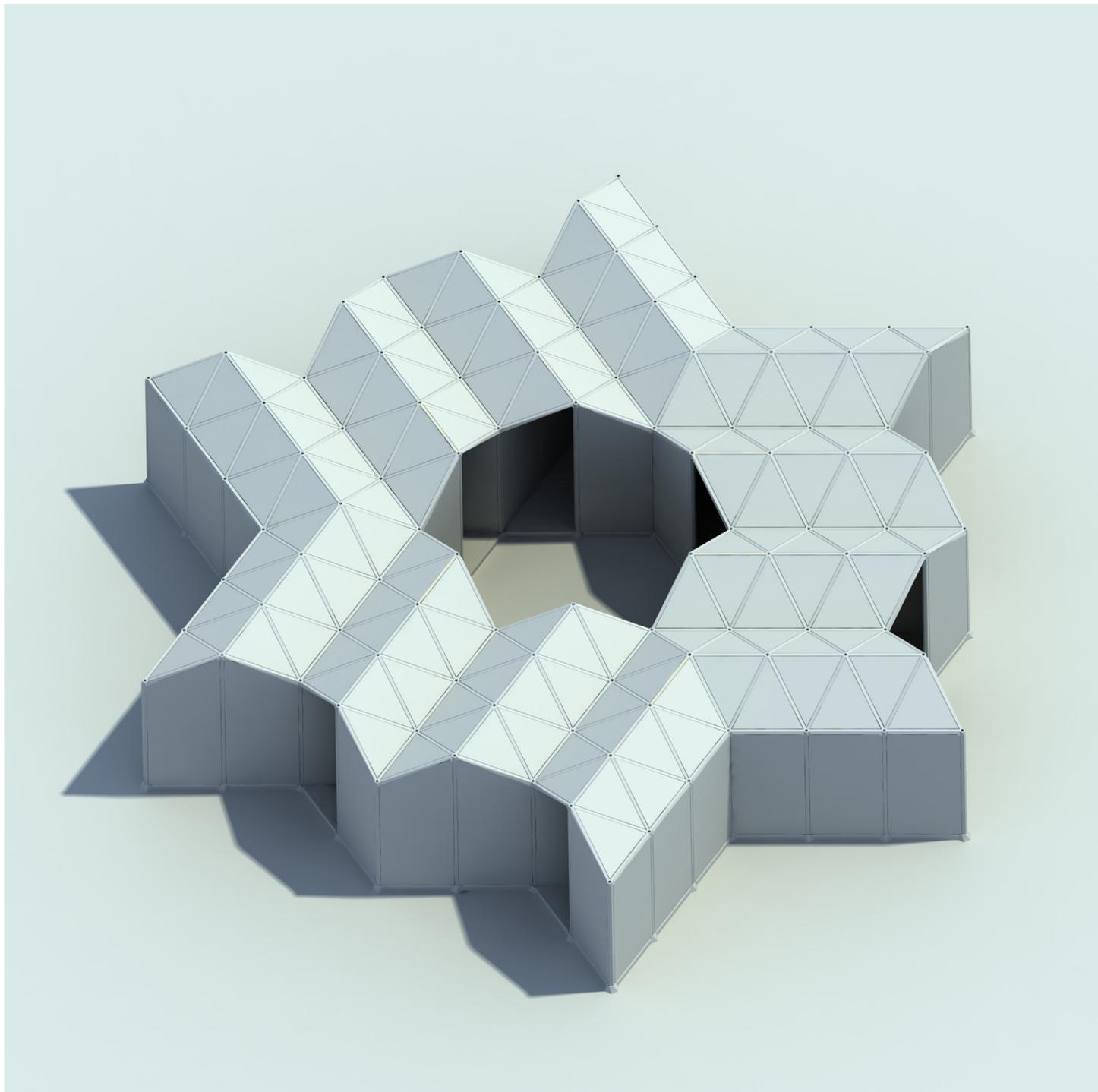


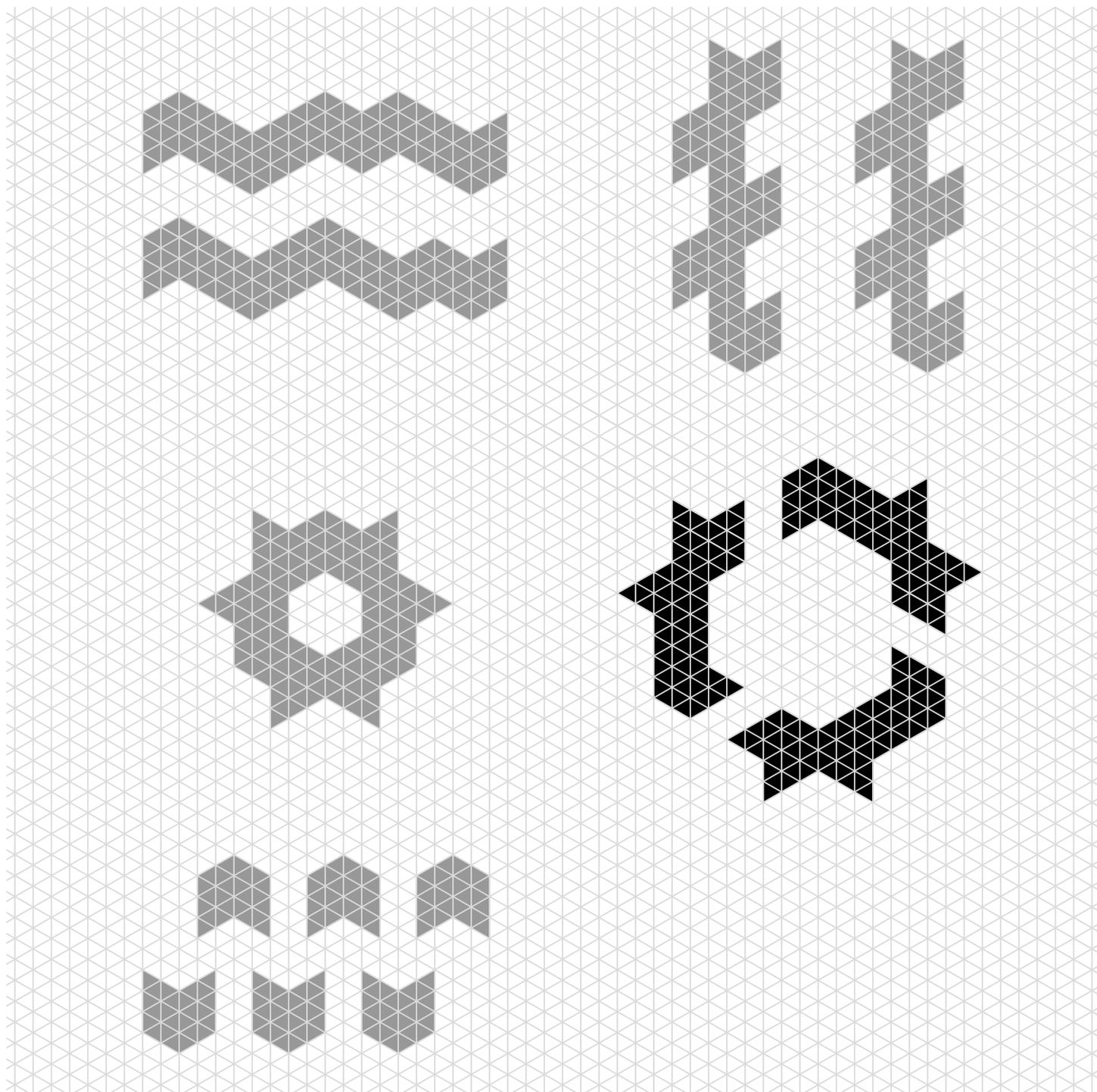
TYOLOGISCHE VARIATIONEN - „REIHE“





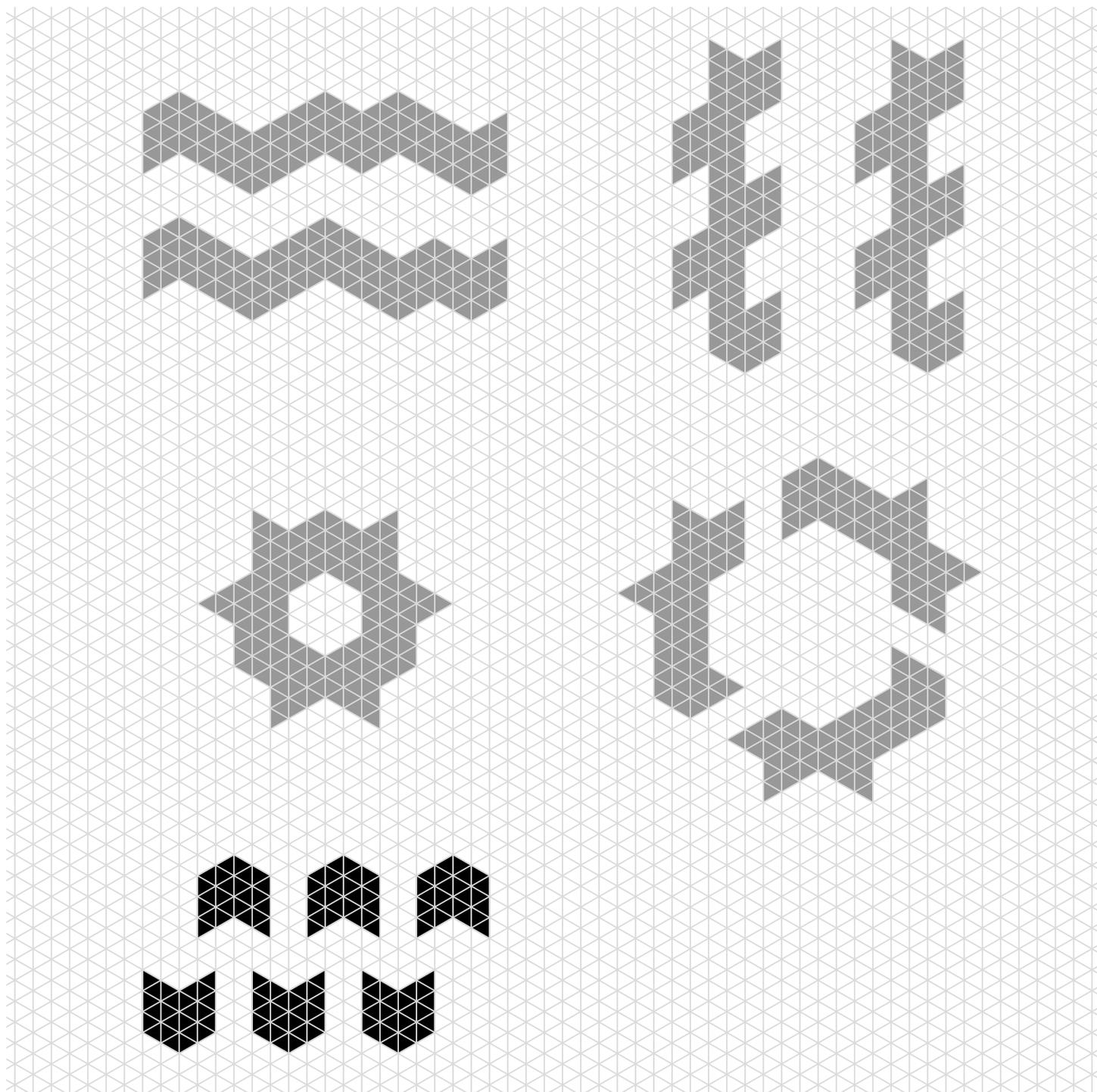
TYOLOGISCHE VARIATIONEN - „BLOCK“





TYOLOGISCHE VARIATIONEN - „HOF“





TYOLOGISCHE VARIATIONEN - OFFENE BAUWEISE



SZENARIEN



SZENARIEN



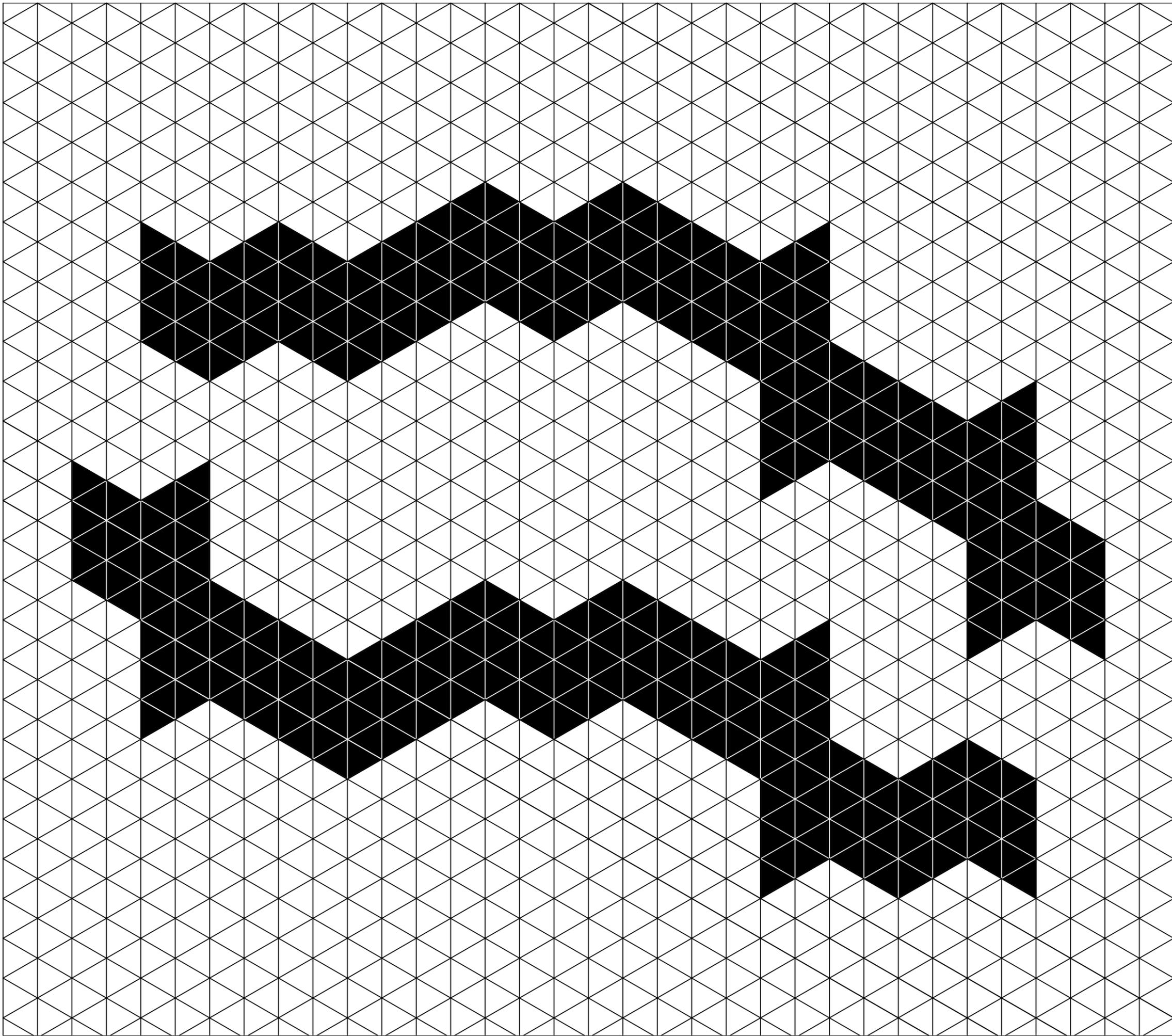
SZENARIEN











DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen

Technische Universität Kaiserslautern



Forschungsprojekt

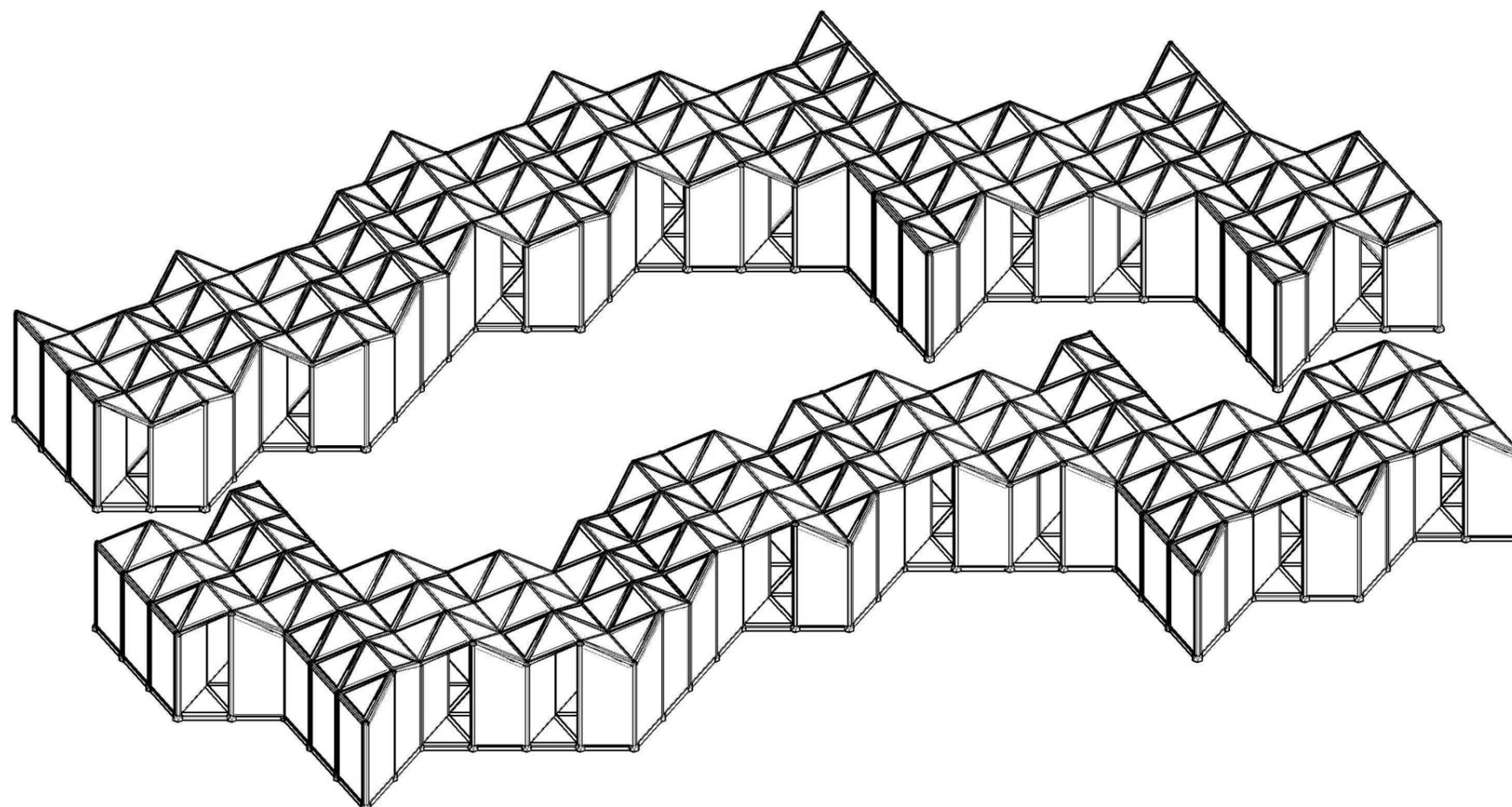
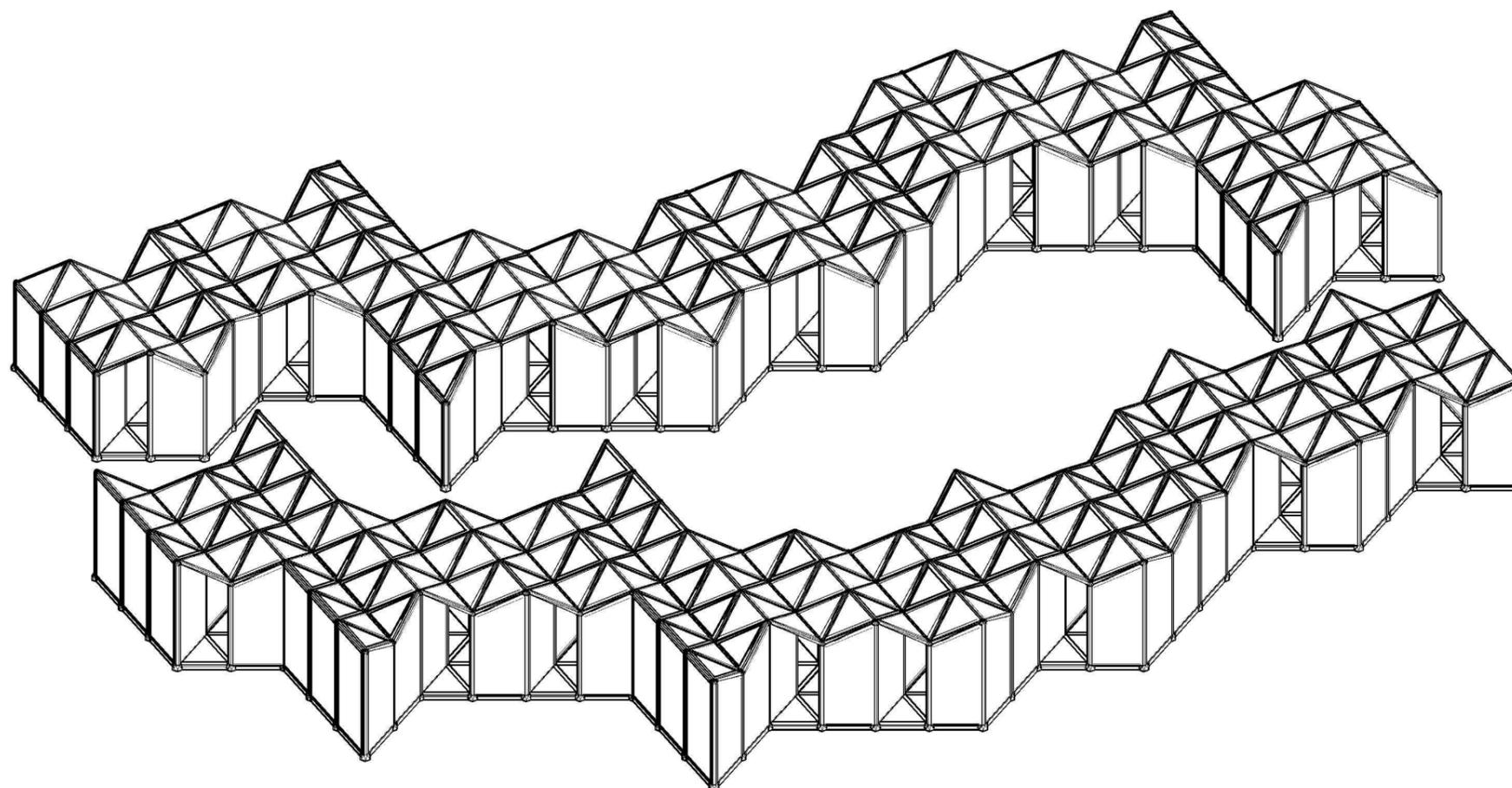
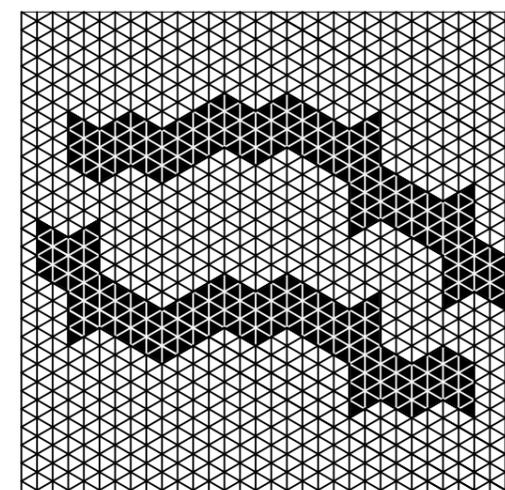
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

**Raumzellen
Gruppierung V1**

Plannummer

DRZ-02-000-01



Maßstab	-
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

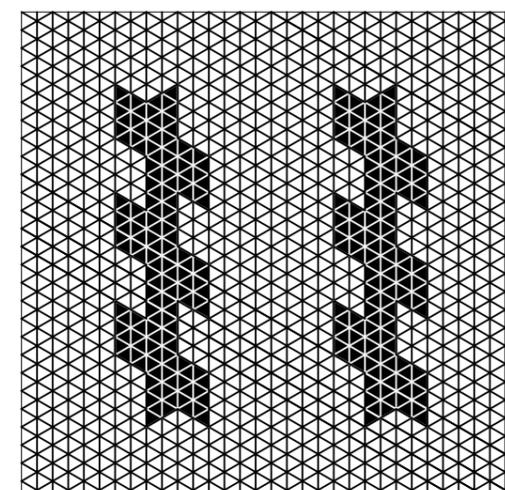
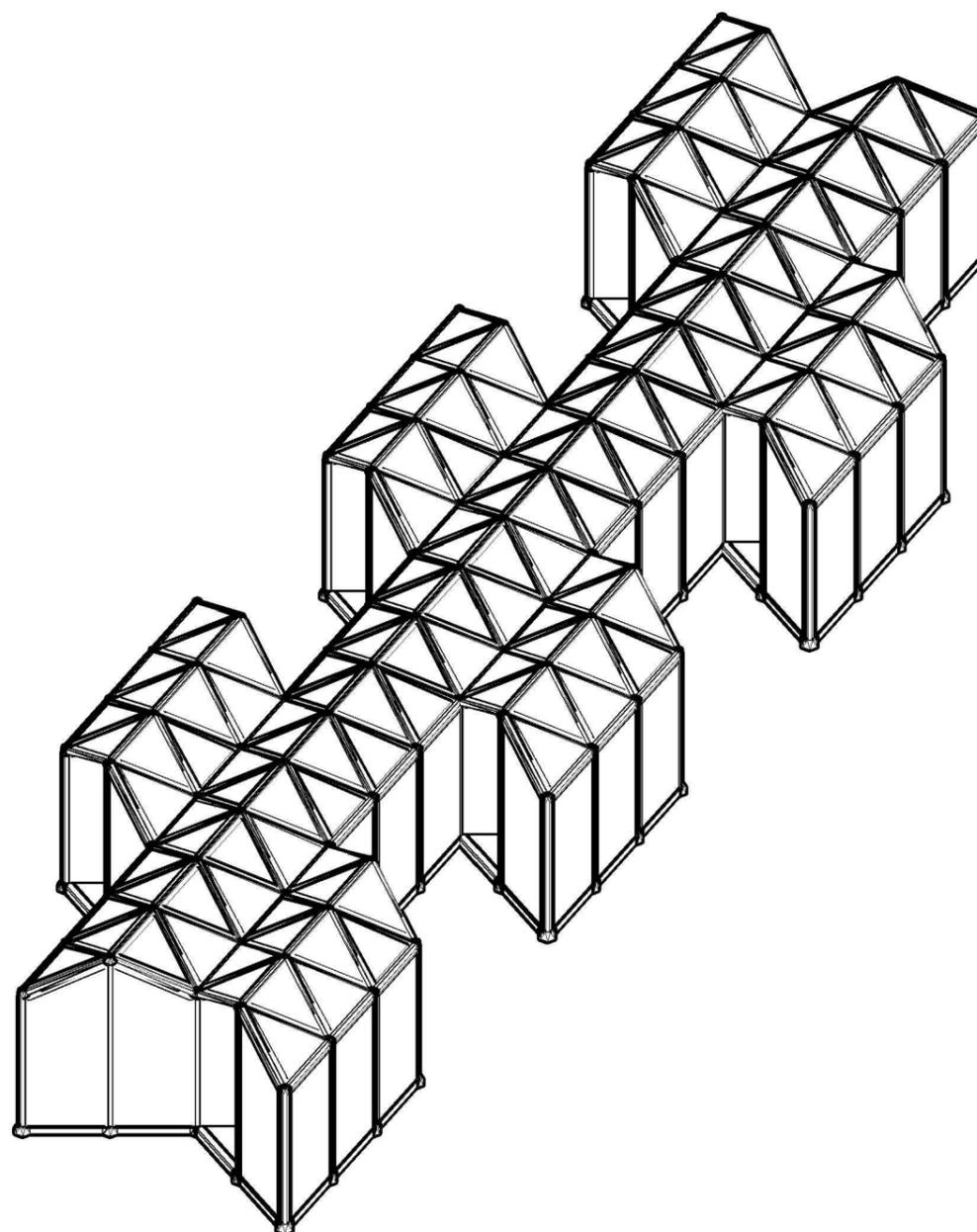
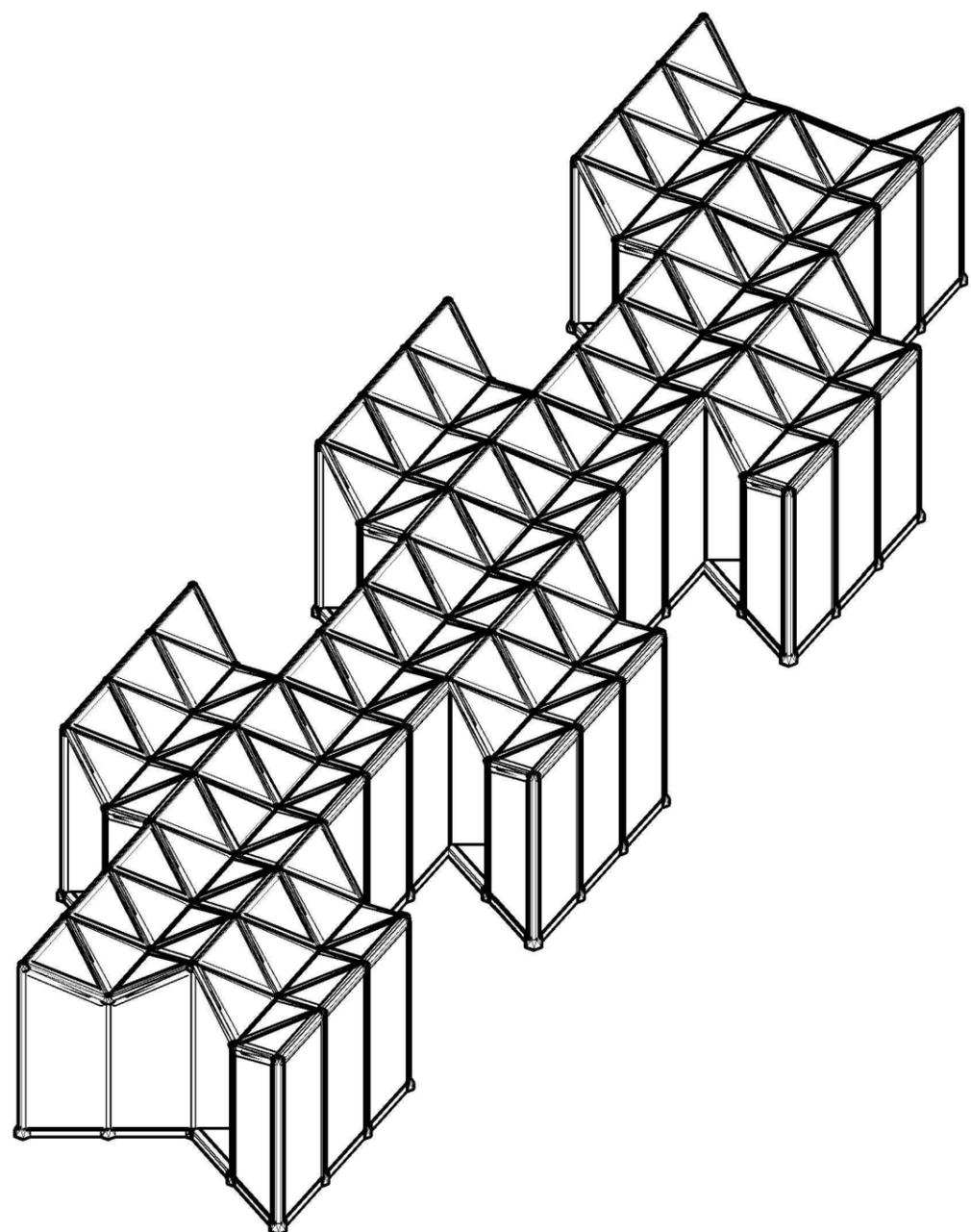
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Raumzellen Gruppierung V2

Plannummer

DRZ-02-000-02



Maßstab	-
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

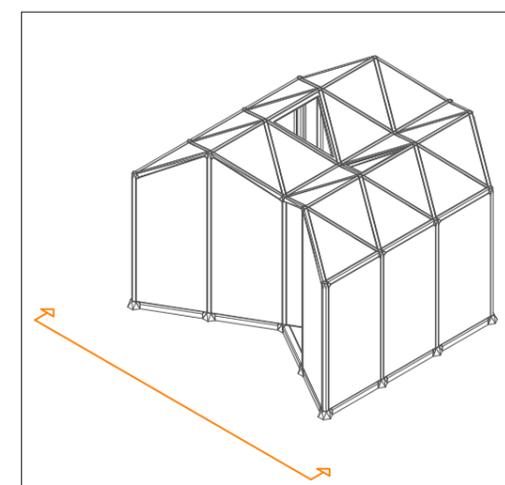
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

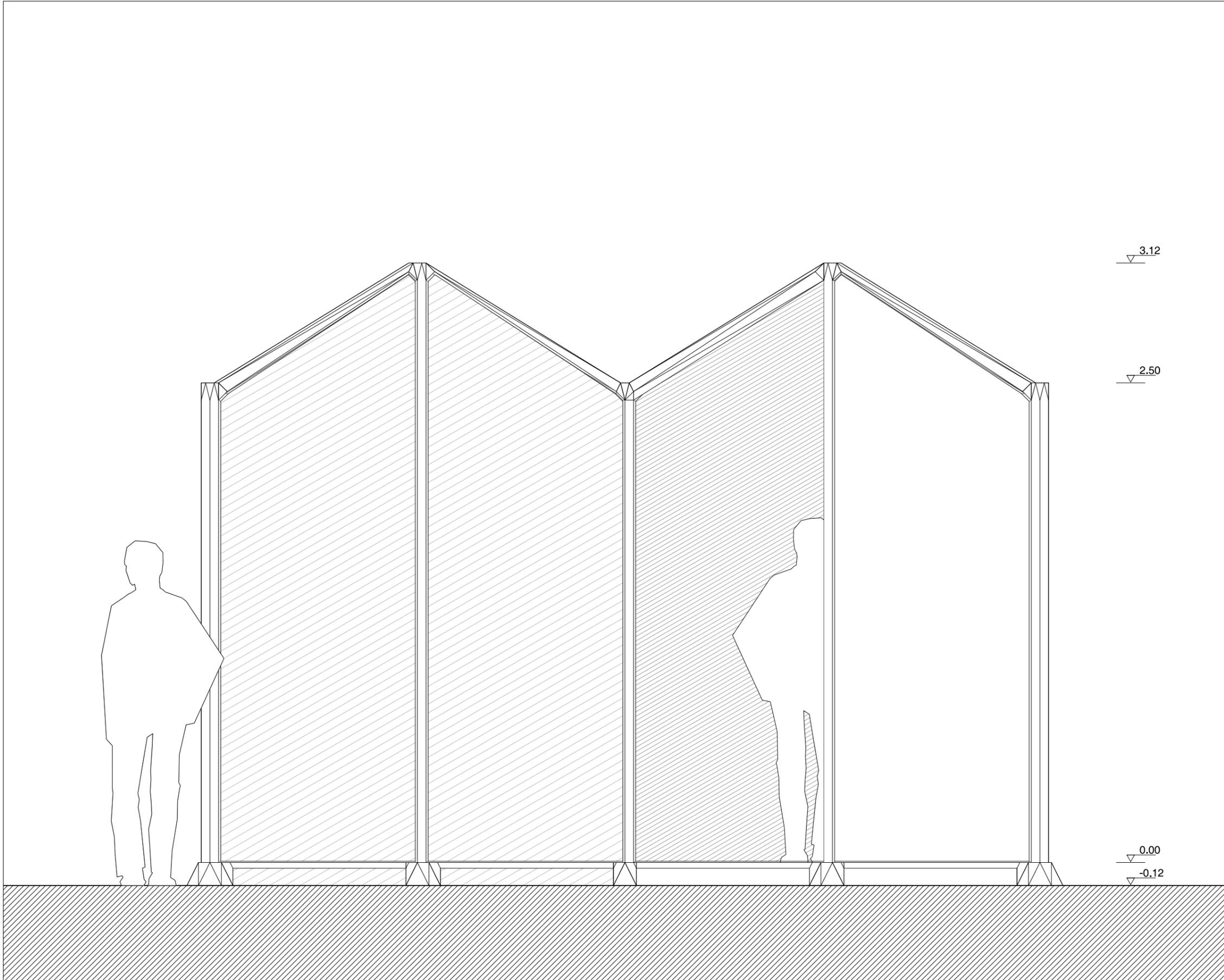
Raumzelle V1
Ansicht 1

Plannummer
DRZ-02-320-01



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

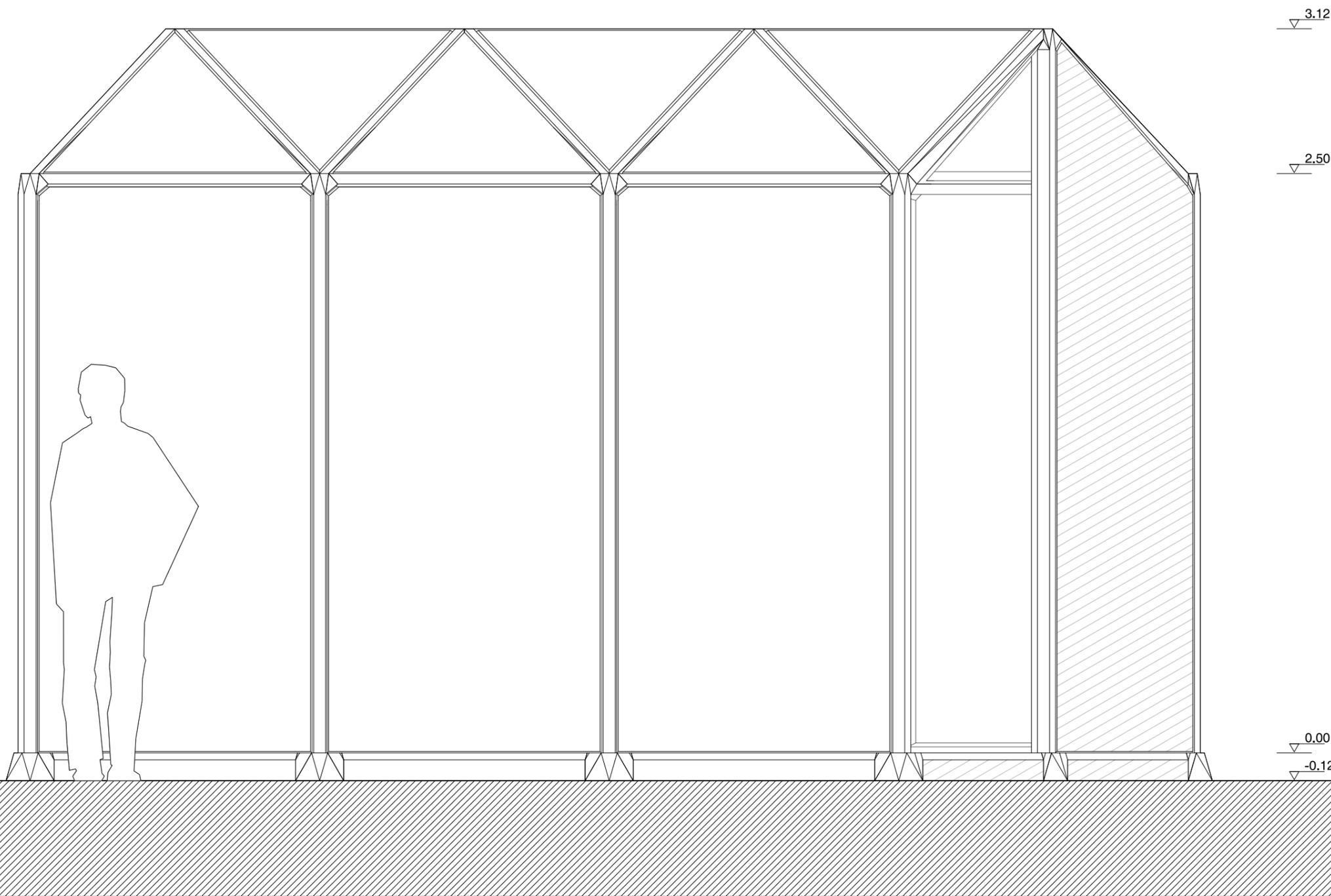
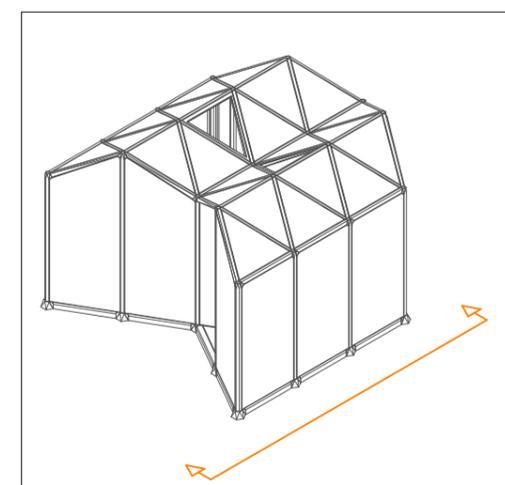
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Raumzelle V1
Ansicht 2

Plannummer
DRZ-02-320-02



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

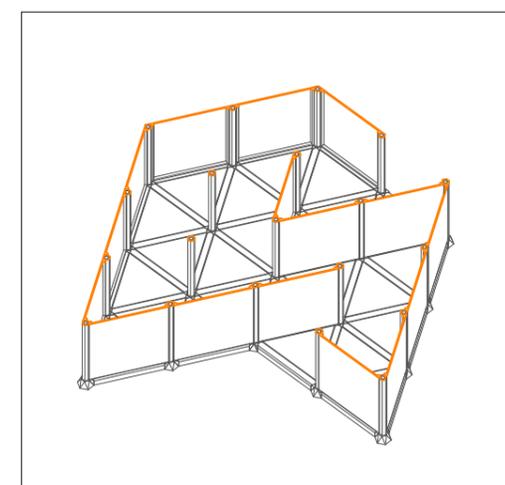
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

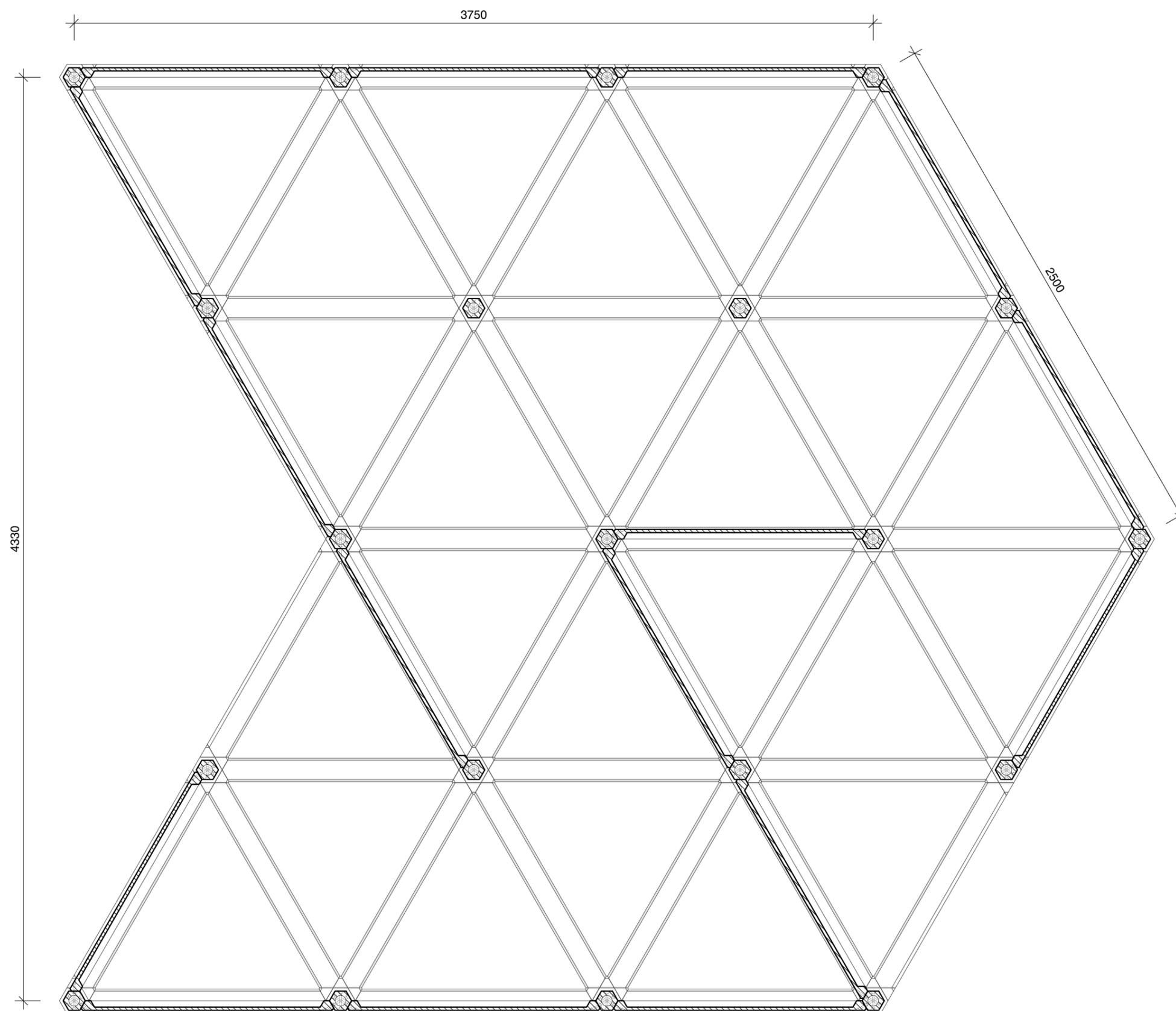
Raumzelle V1
Grundriss

Plannummer
DRZ-02-120-01



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

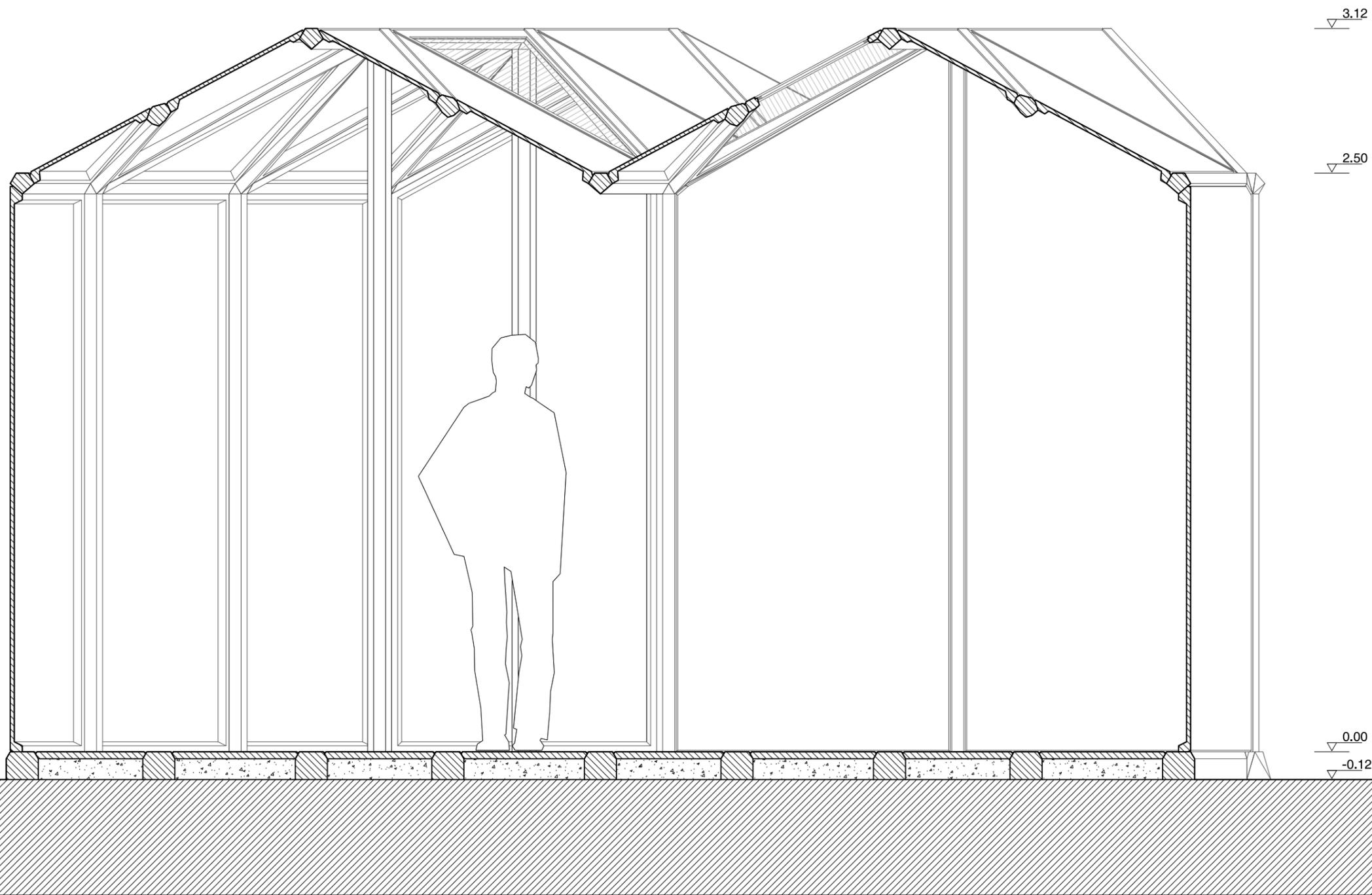
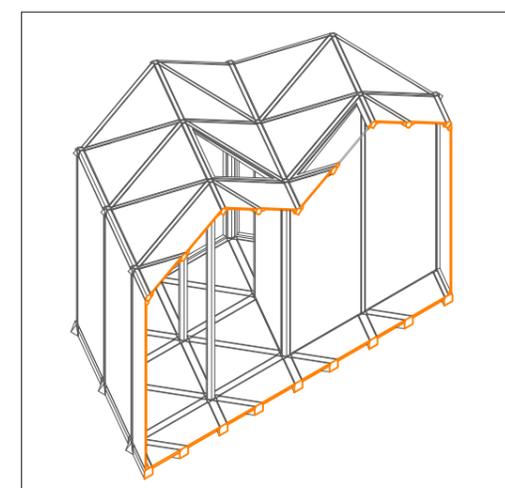
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Raumzelle V1
Schnitt

Plannummer
DRZ-02-220-01



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

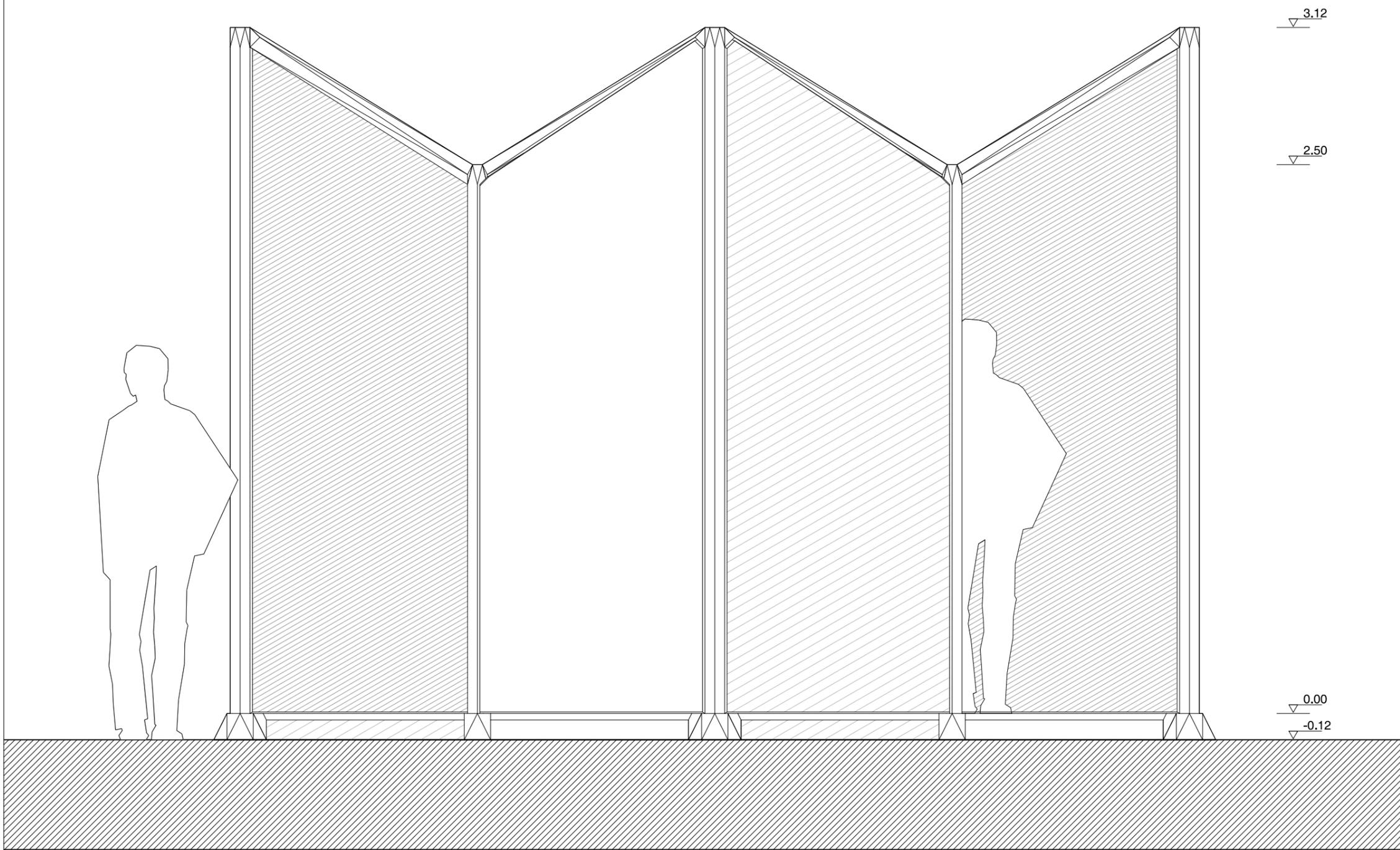
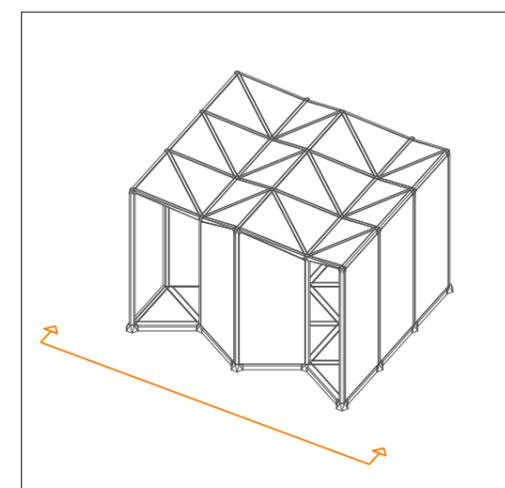
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Raumzelle V2
Ansicht 1

Plannummer
DRZ-02-320-03



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

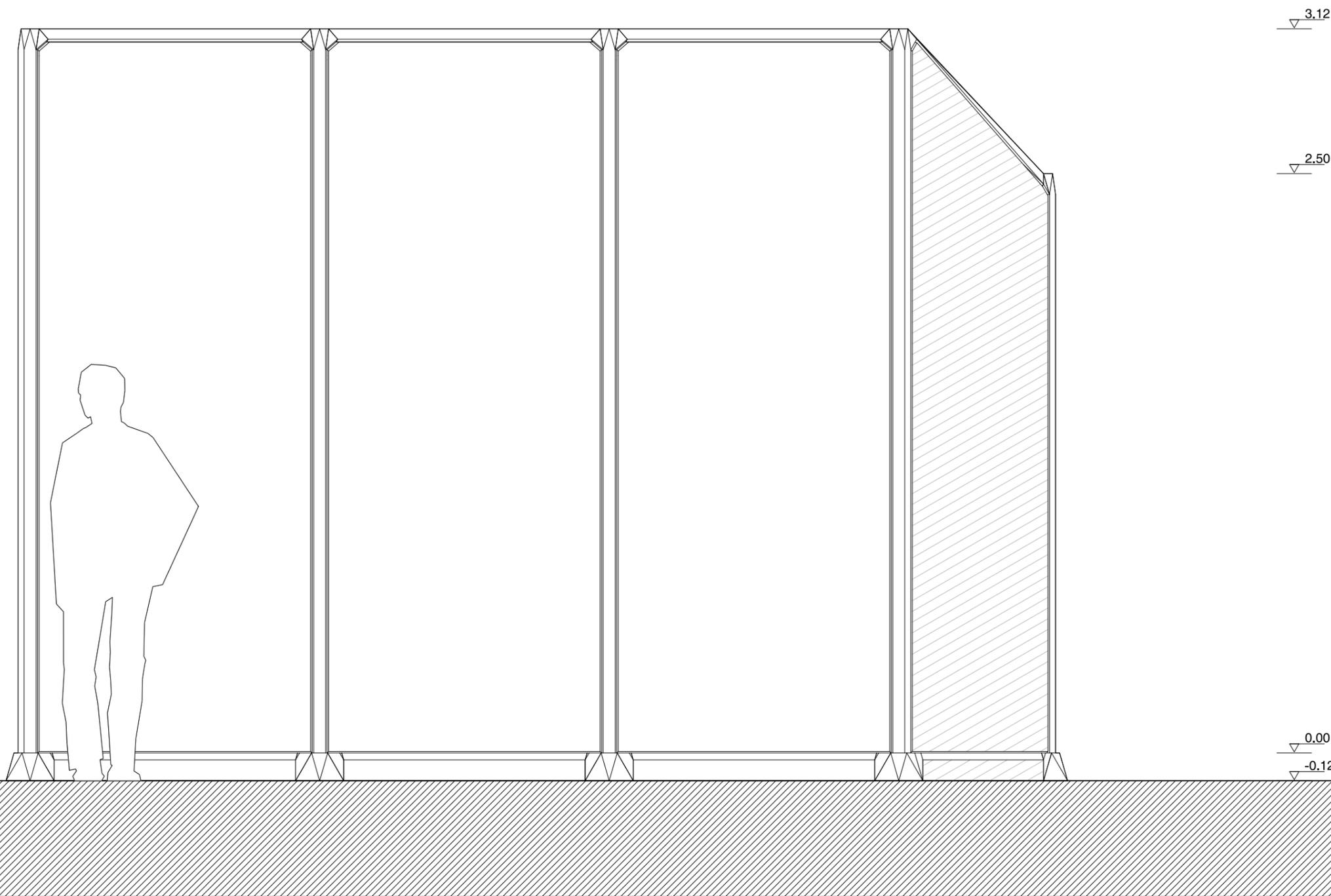
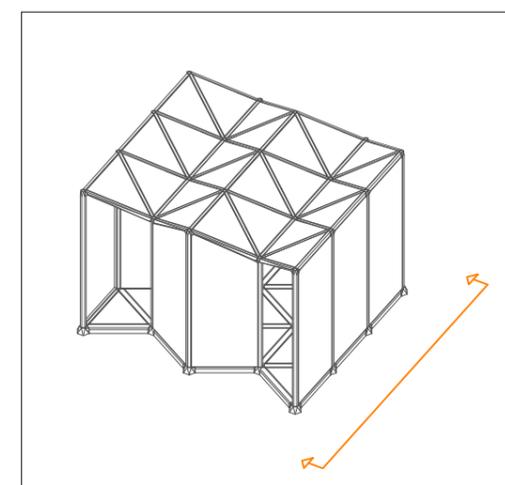
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Raumzelle V2
Ansicht 2

Plannummer
DRZ-02-320-04



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

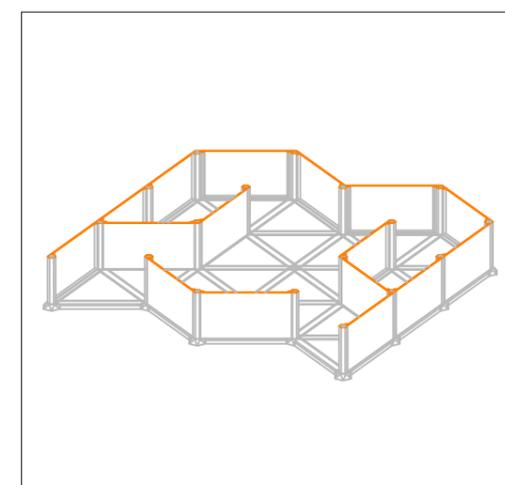
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

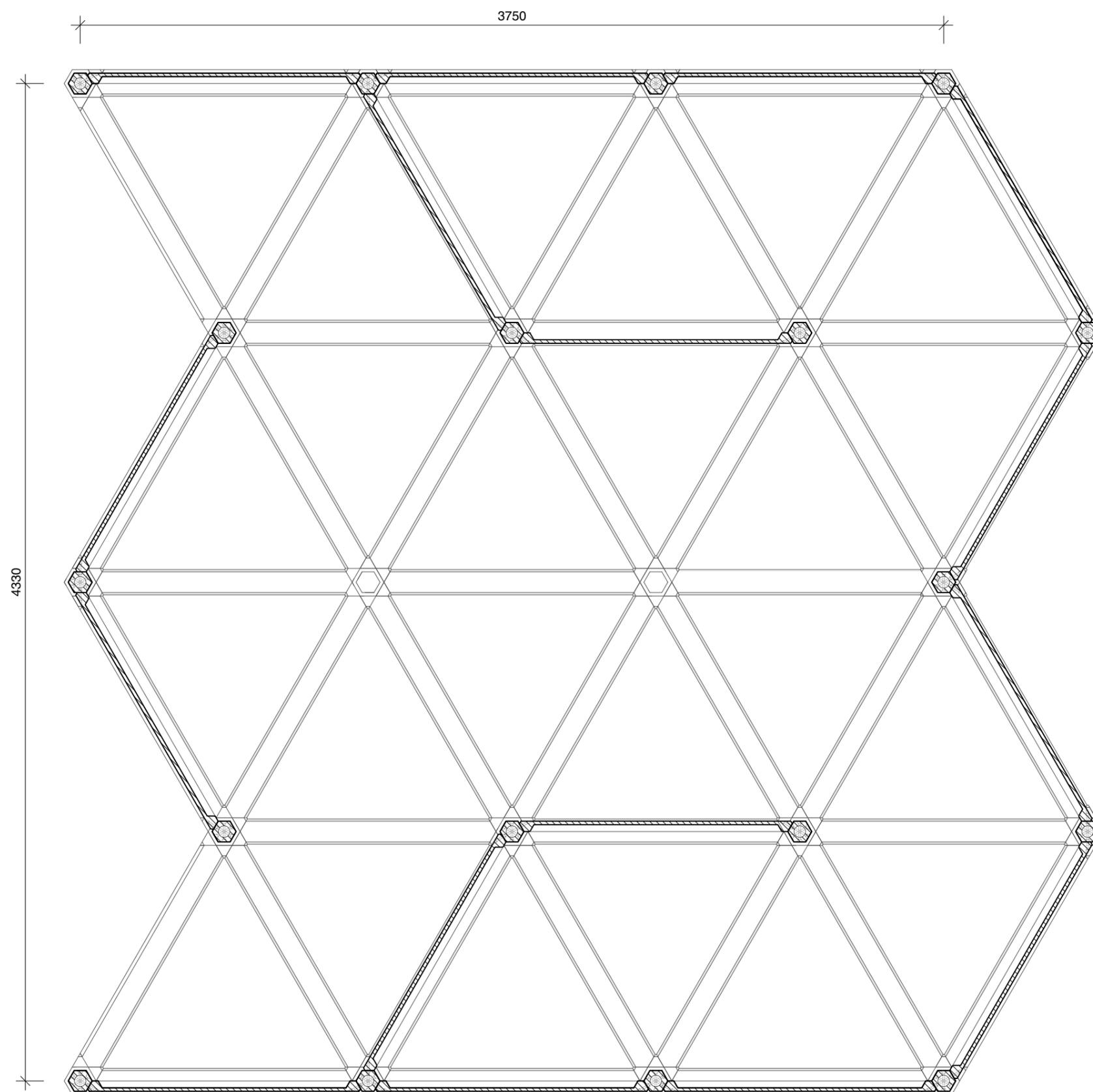
Raumzelle V2
Grundriss

Plannummer
DRZ-02-120-02



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

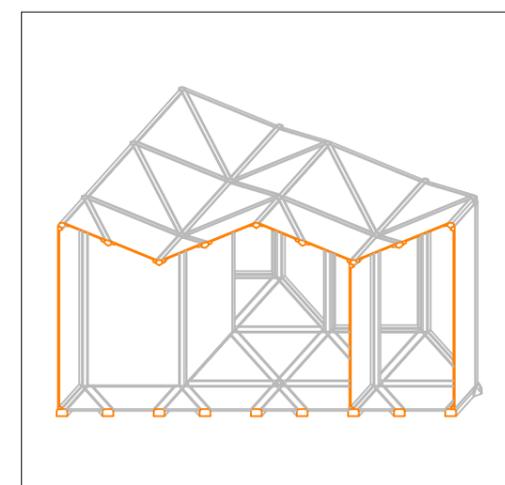
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

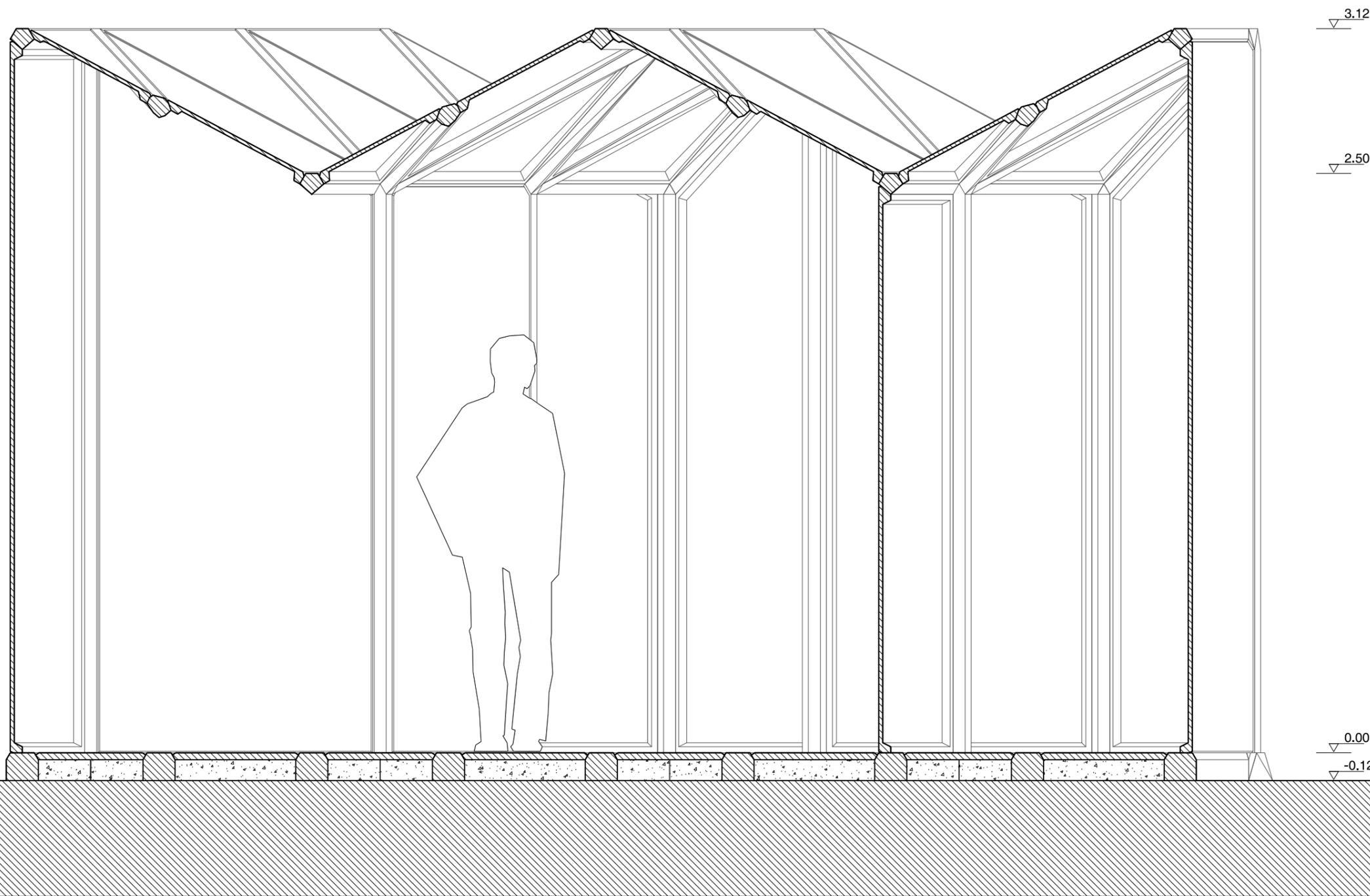
Raumzelle V2
Schnitt

Plannummer
DRZ-02-220-02



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

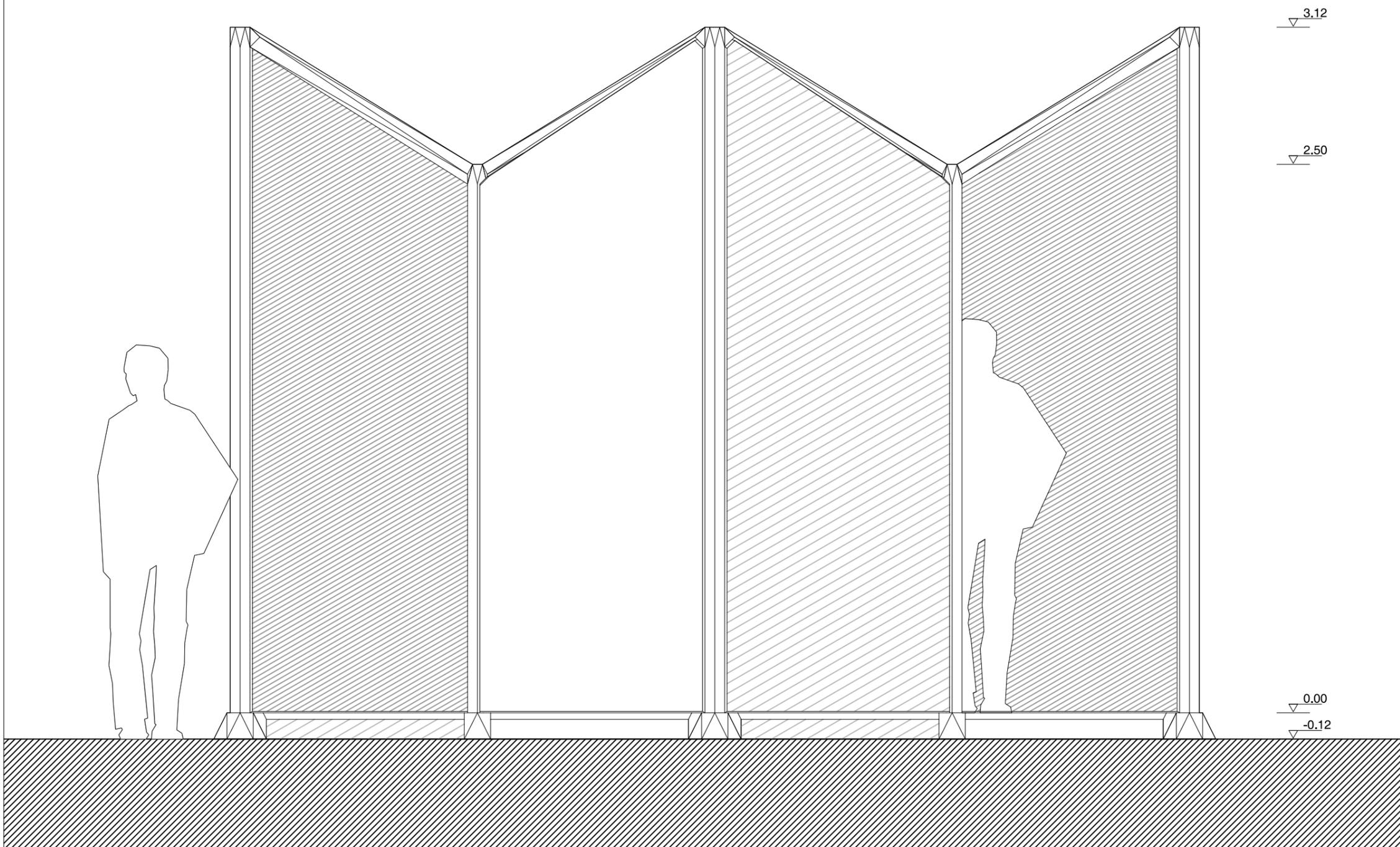
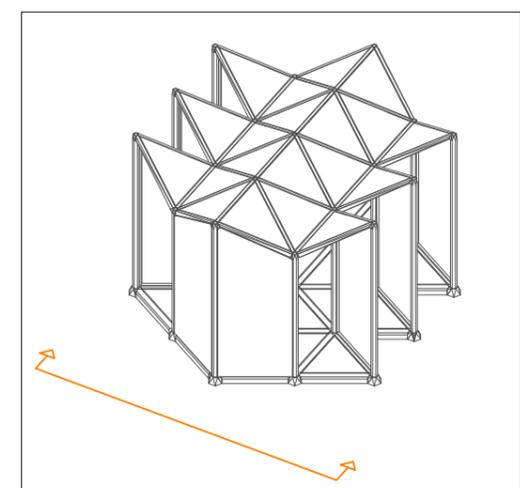
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Raumzelle V3
Ansicht 1

Plannummer
DRZ-02-300-01



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

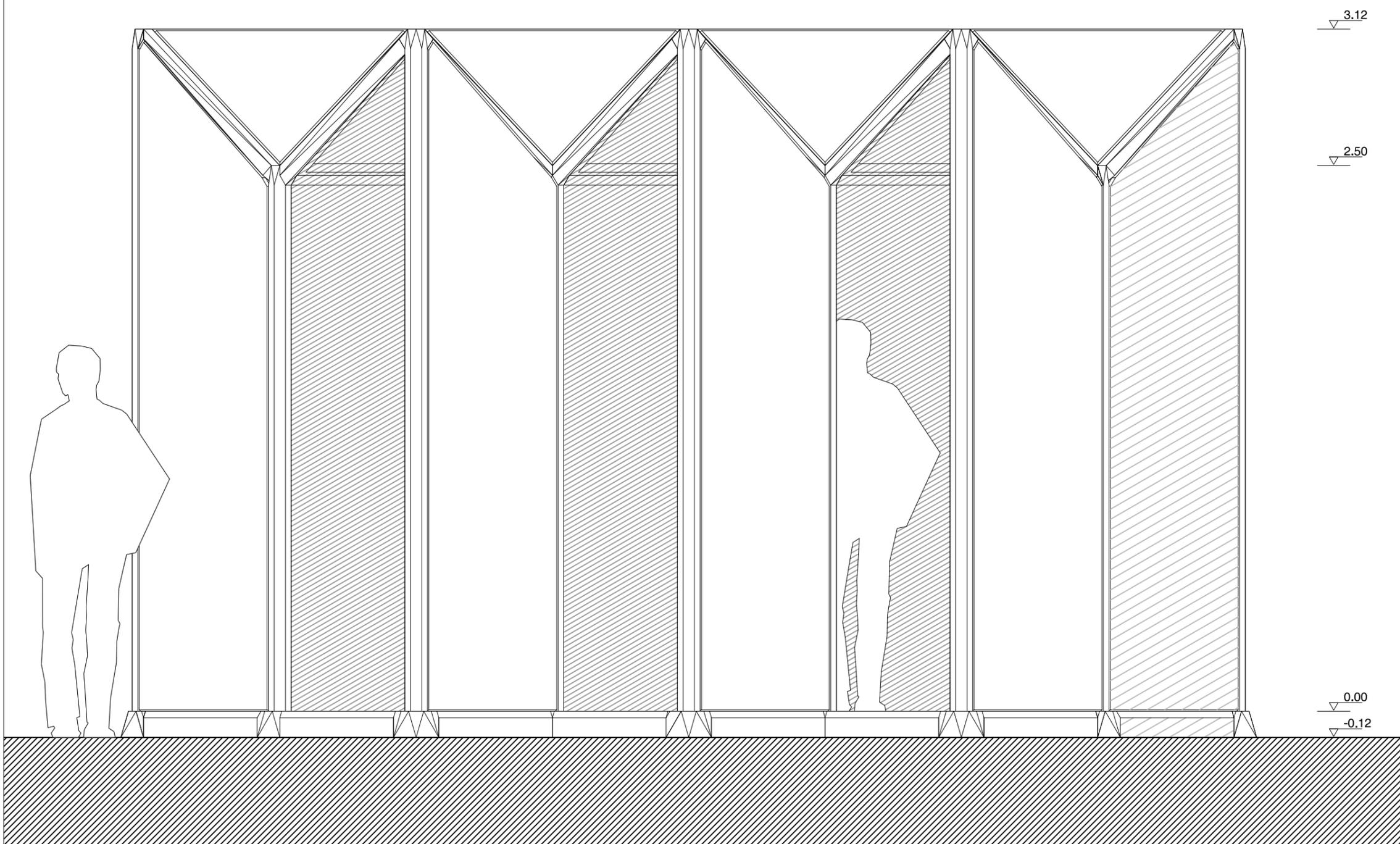
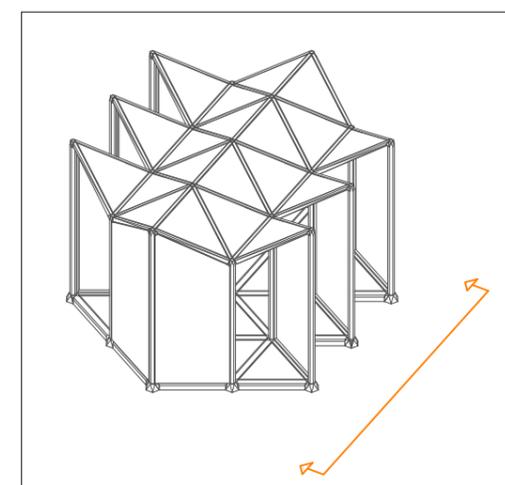
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Raumzelle V3
Ansicht 2

Plannummer
DRZ-02-300-02



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

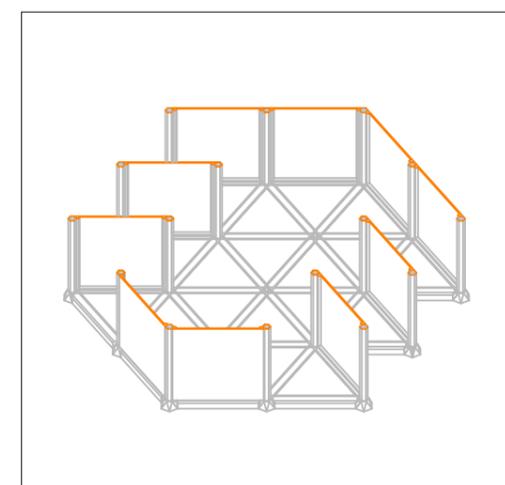
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

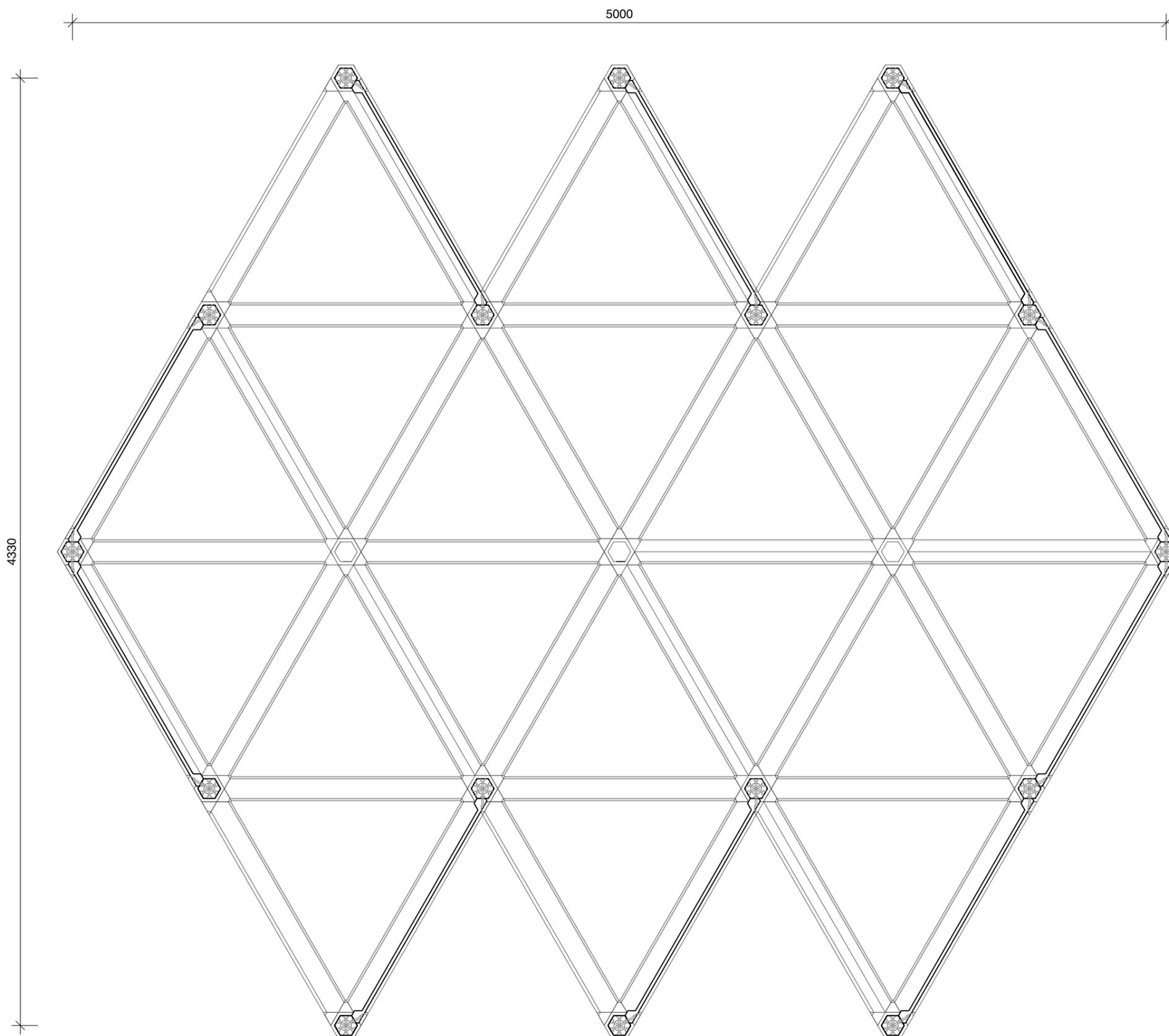
Raumzelle V3
Grundriss

Plannummer
DRZ-02-100-01



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

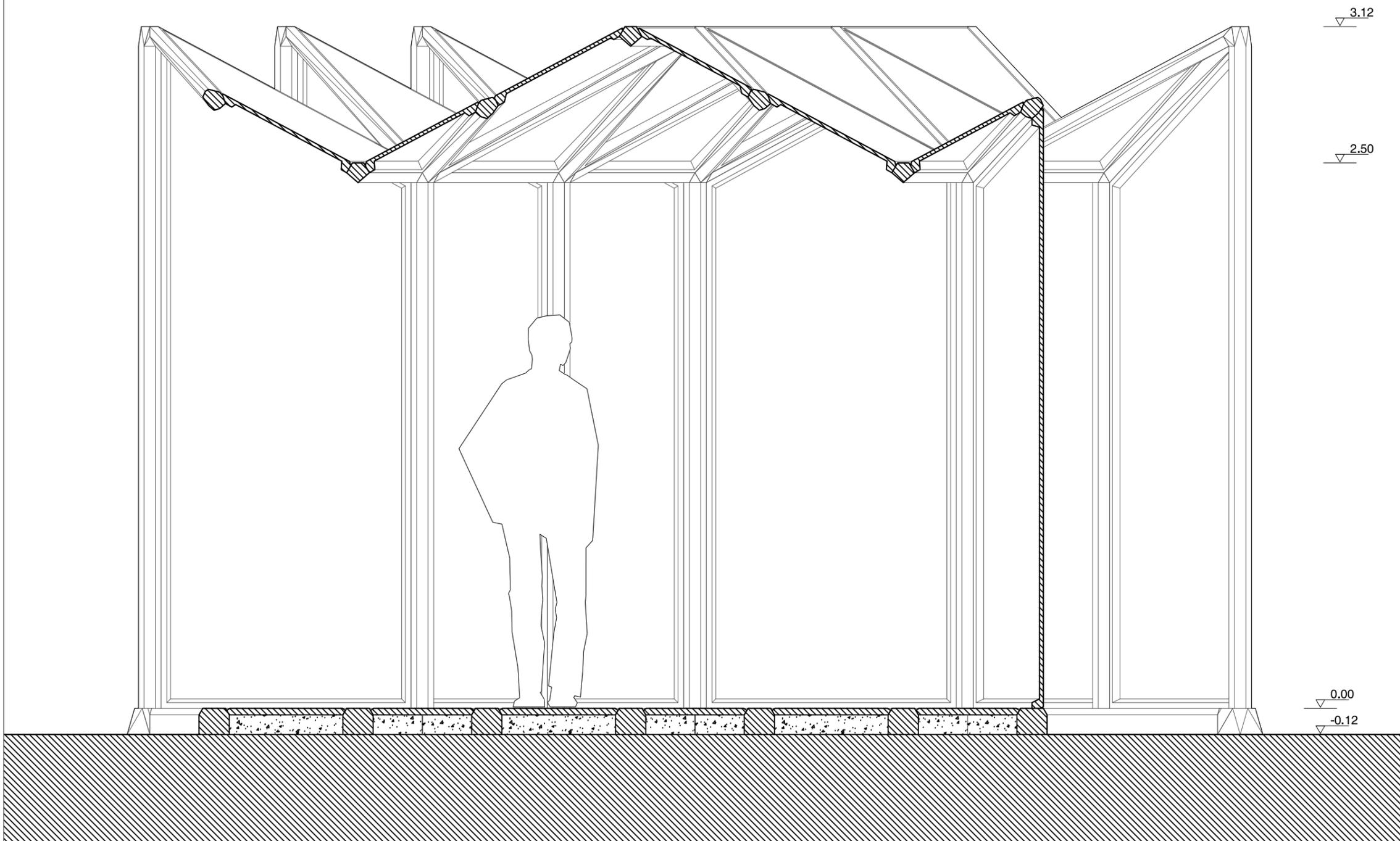
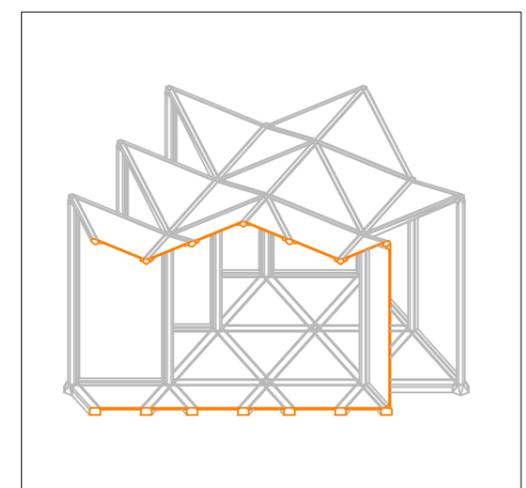
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Raumzelle V3
Schnitt

Plannummer
DRZ-02-200-01



Maßstab	1:20
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS

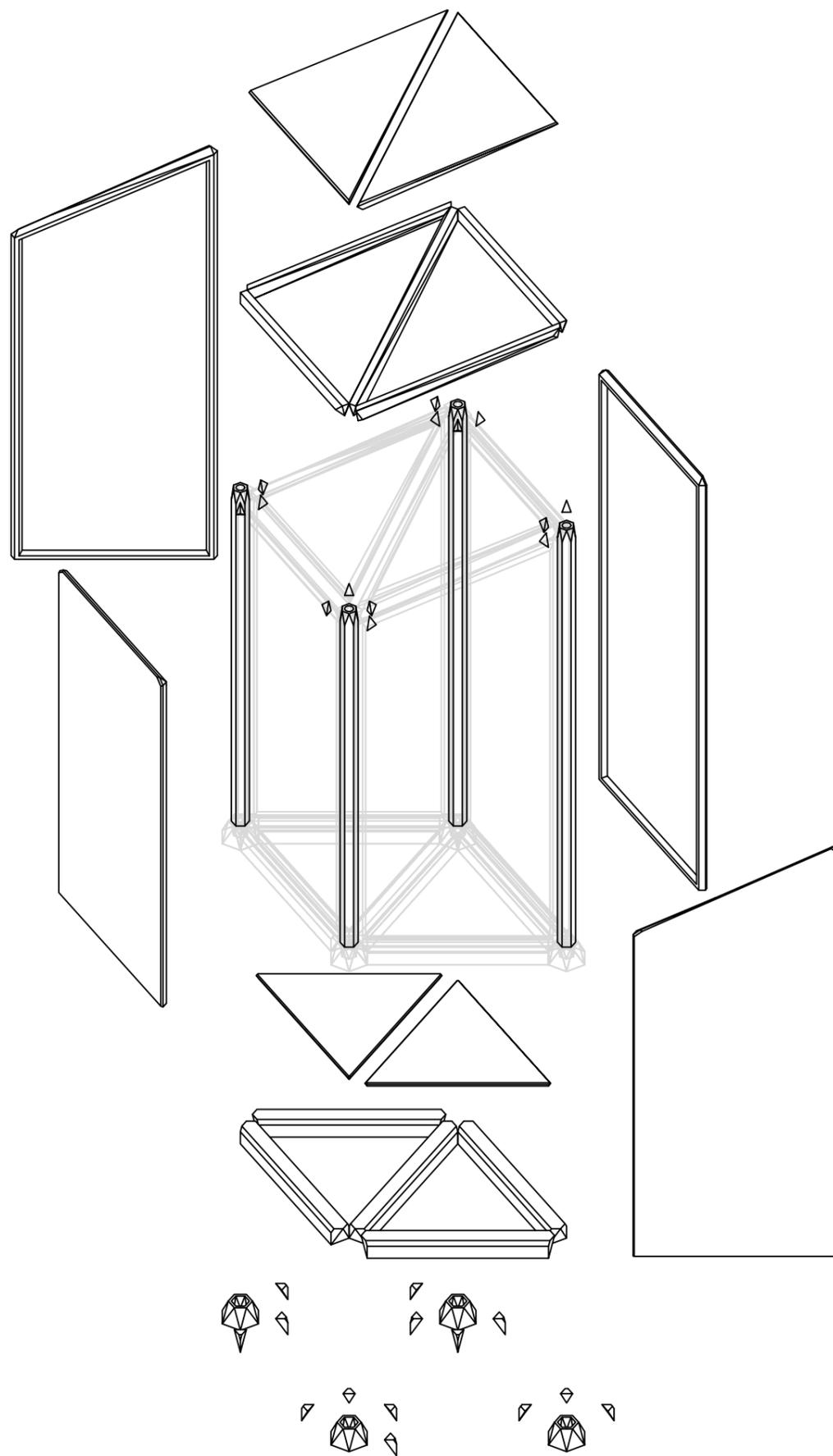
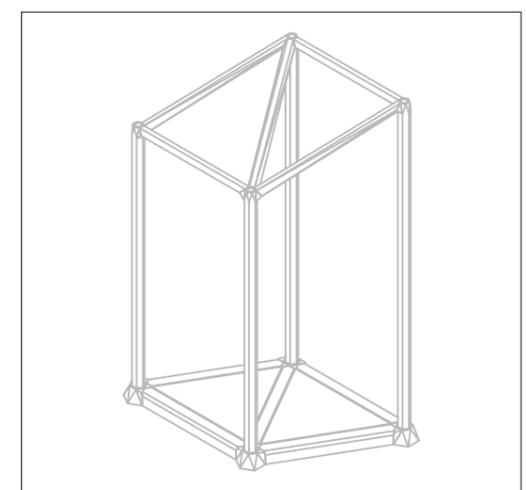
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Übersicht Elemente

Plannummer
DRZ-02-400-00



Maßstab	-
Datum	10.02.2014
Gezeichnet	DMS
Index	

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

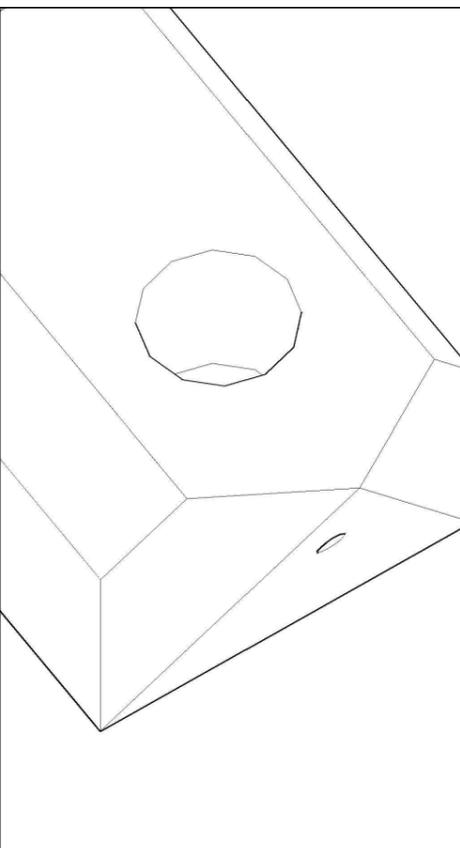
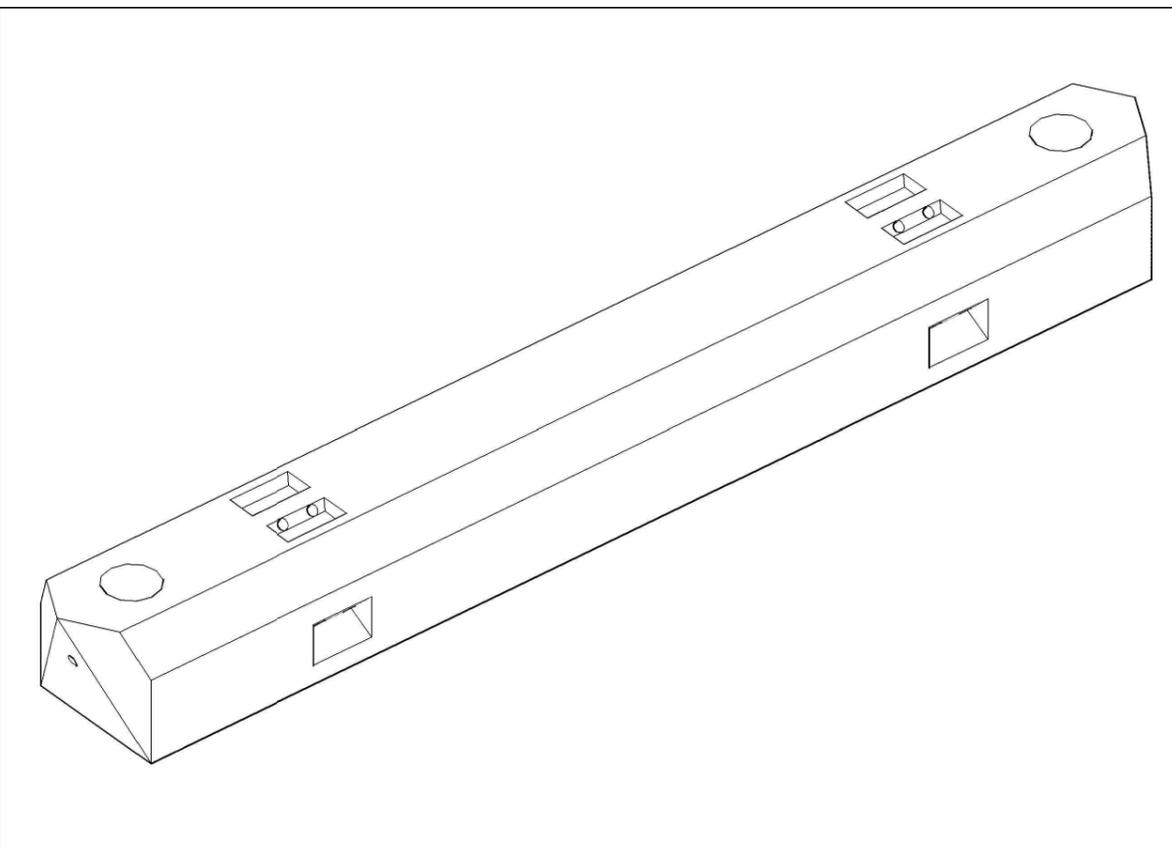
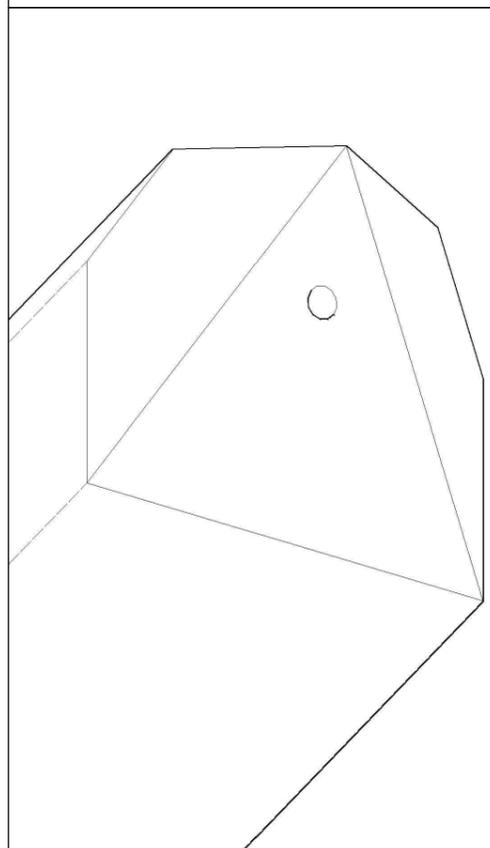
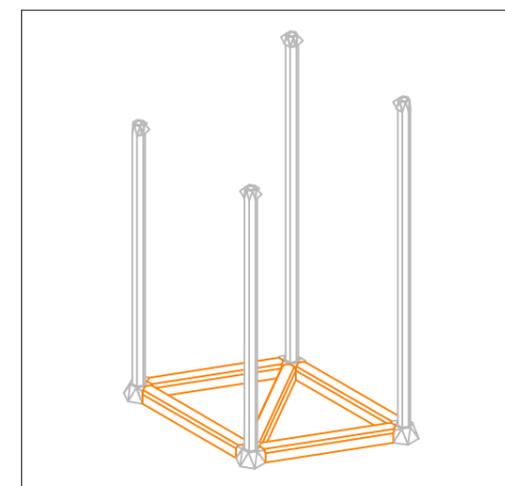
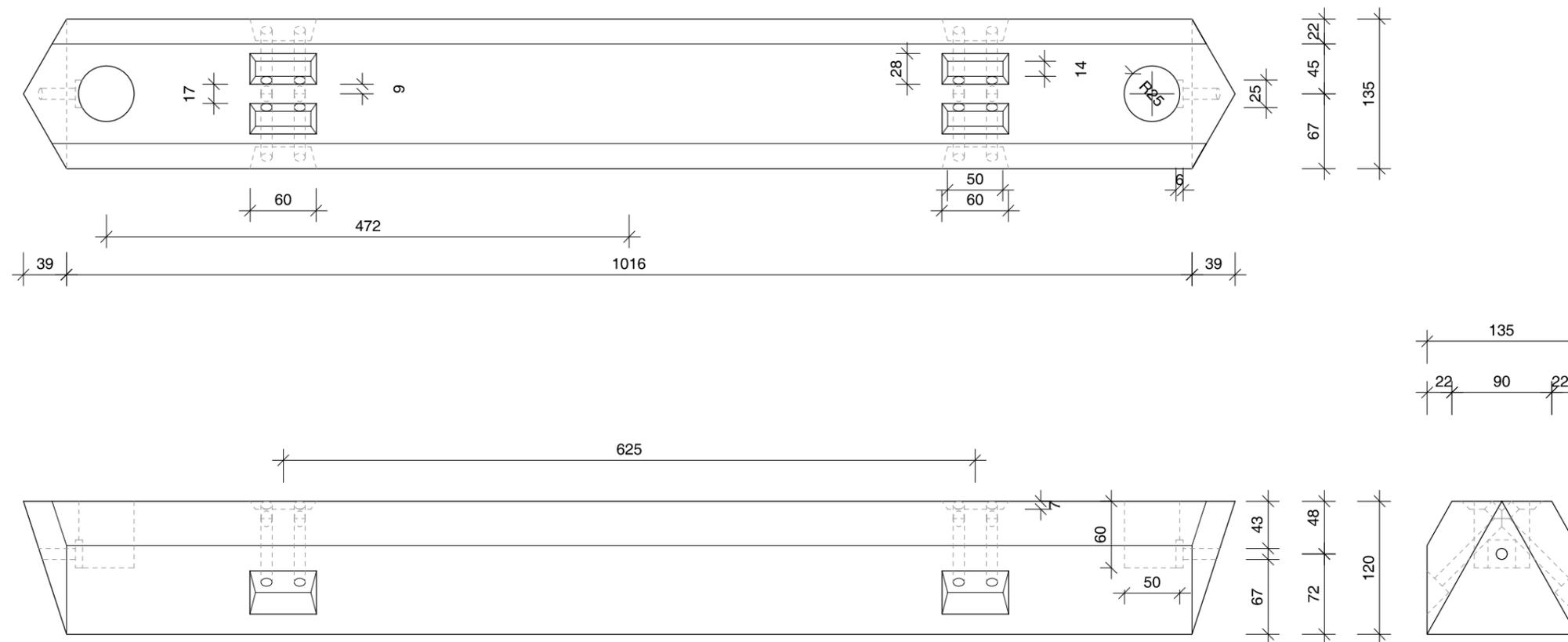
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente Schwellbalken

Plannummer

DRZ-03-01.01



Maßstab	1:5
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

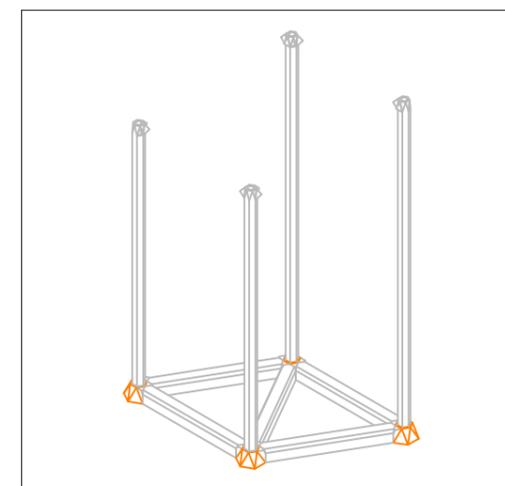
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente
Fußpunkt - Köcher

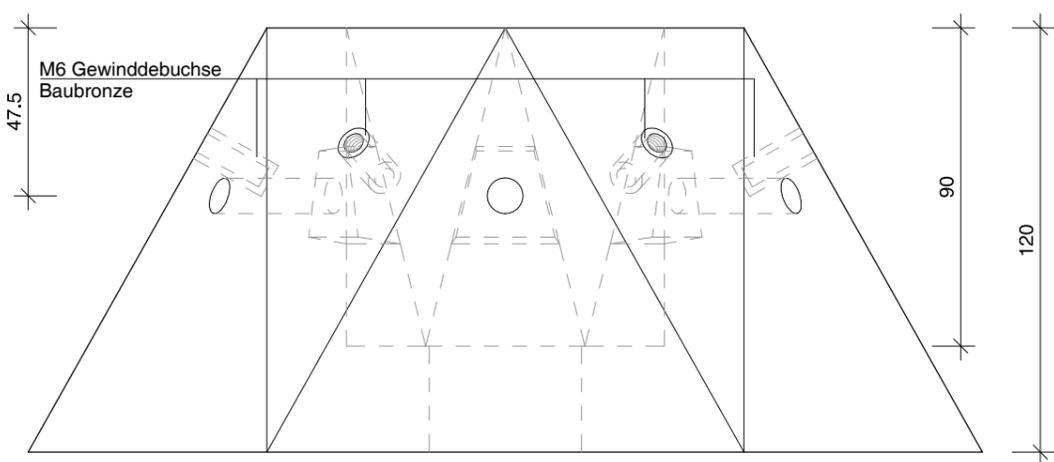
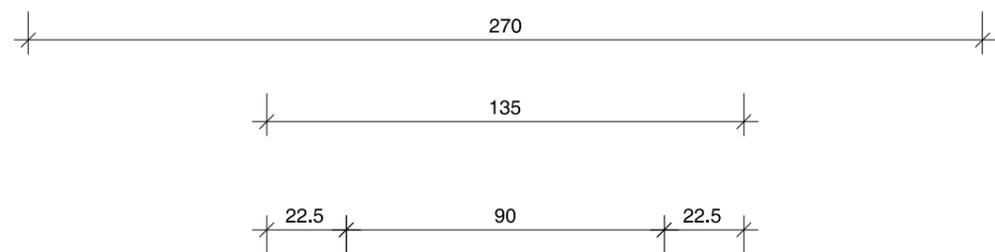
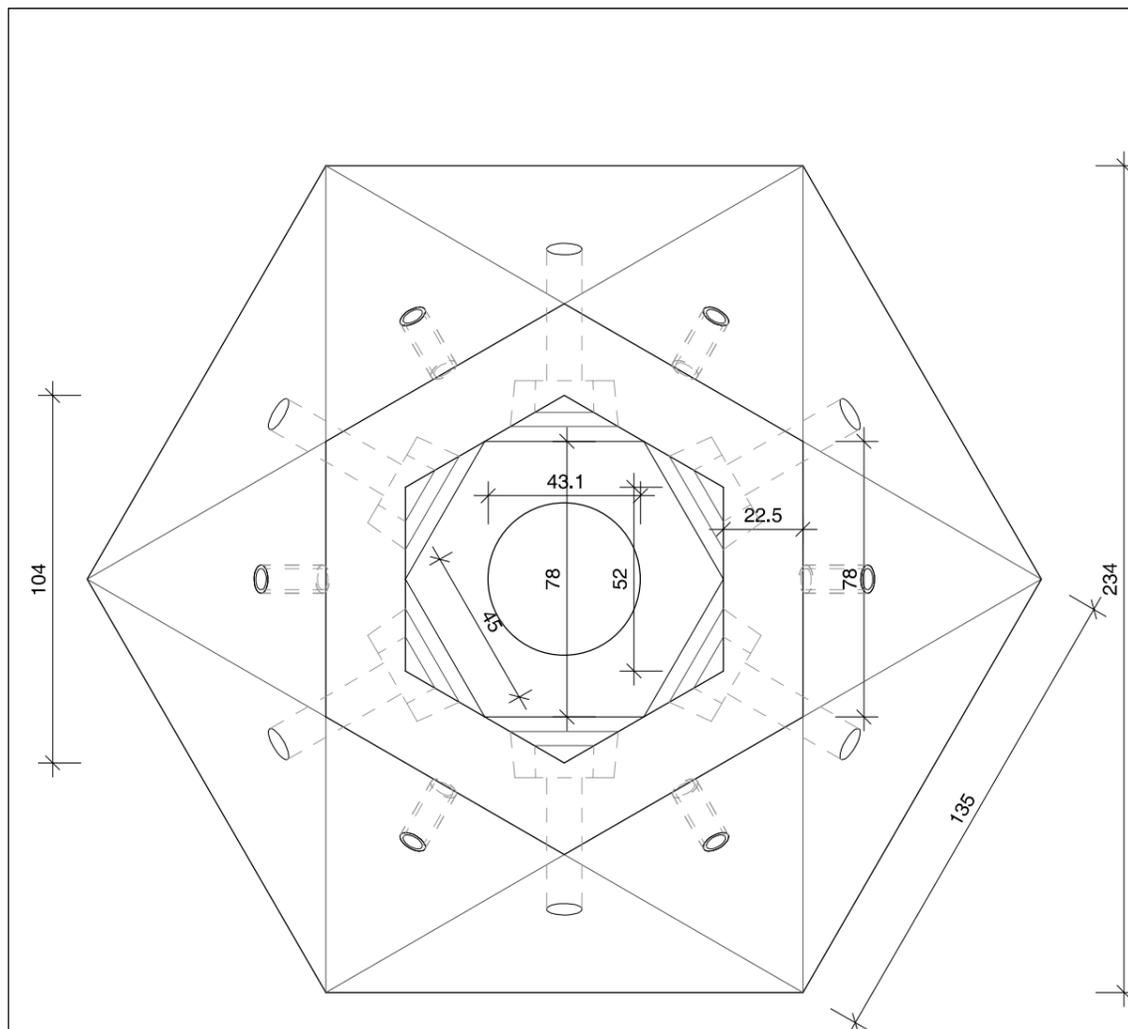
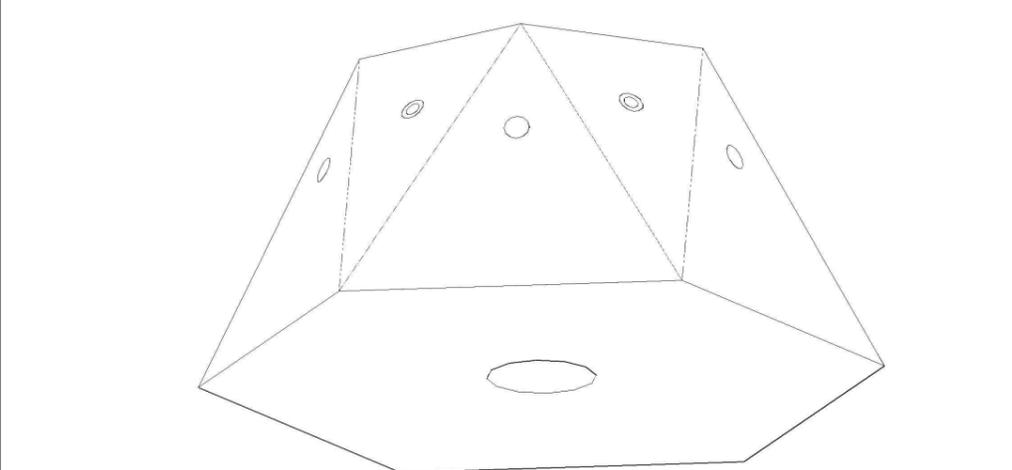
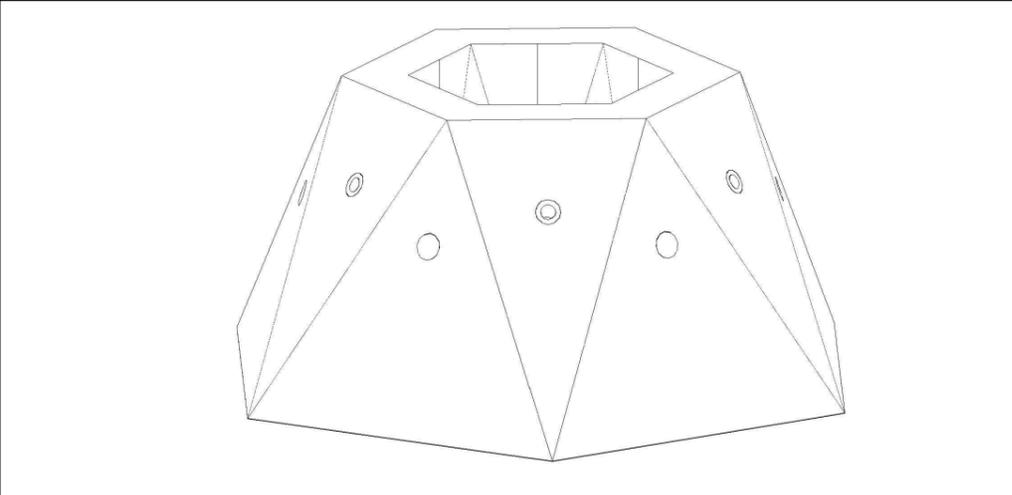
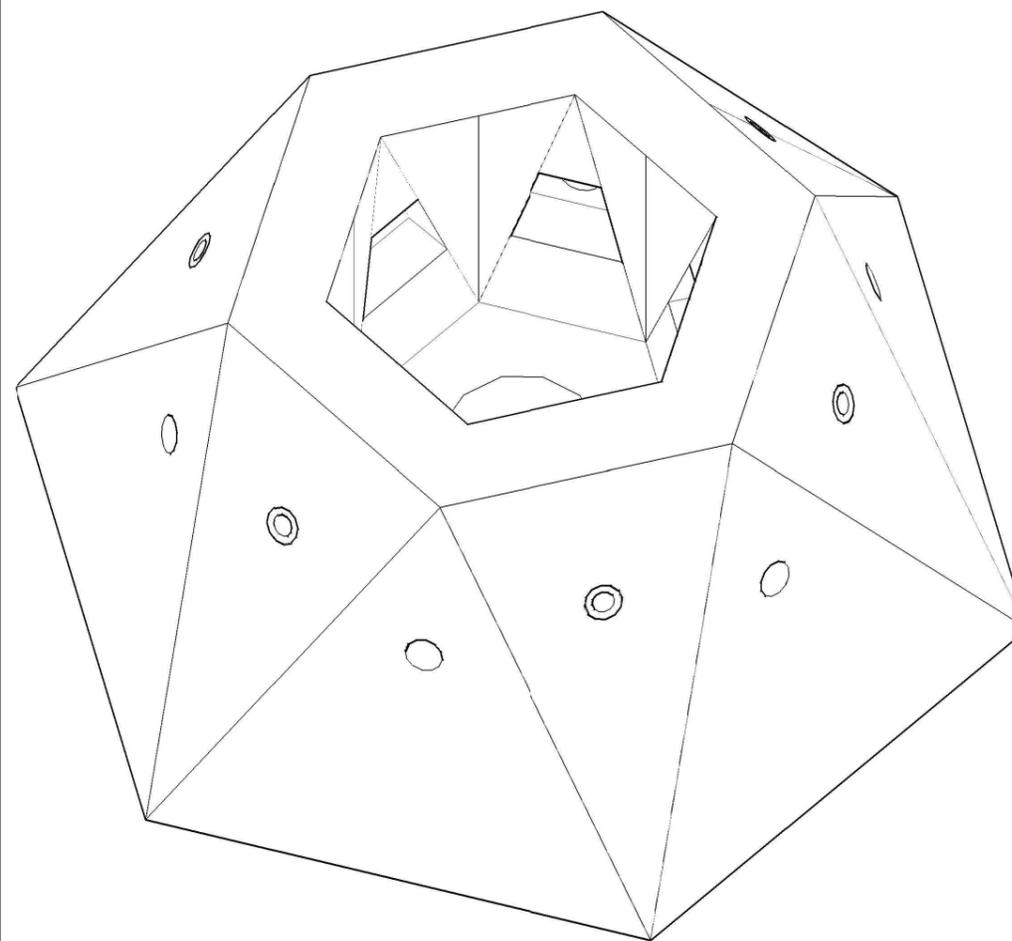
Plannummer

DRZ-03-01.02



Maßstab	1:2
Datum	17.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

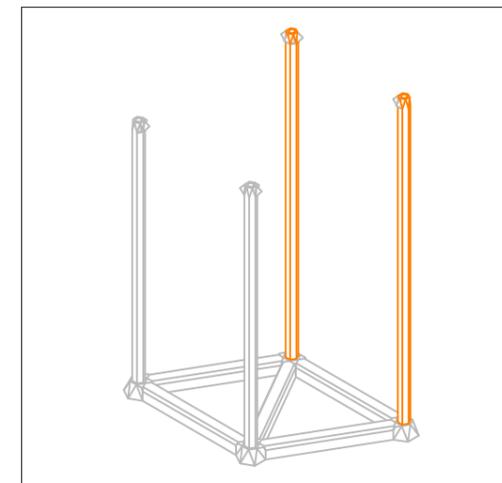
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Elemente Stütze lang

Plannummer
DRZ-03-02.01

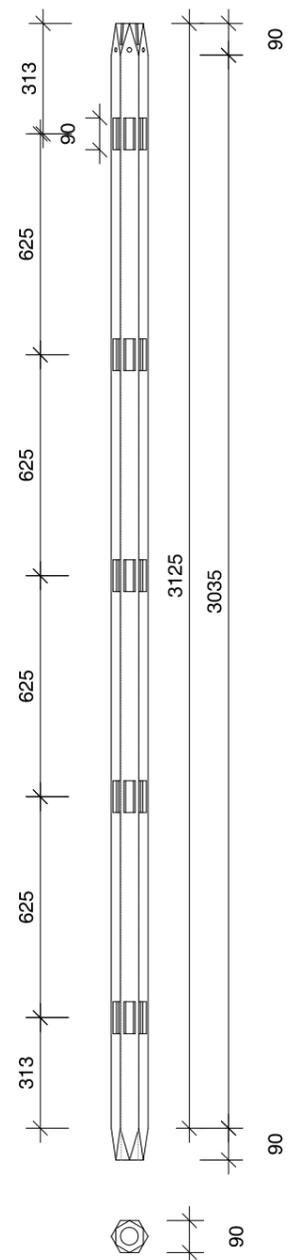


Maßstab	1:20 / 1:2
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

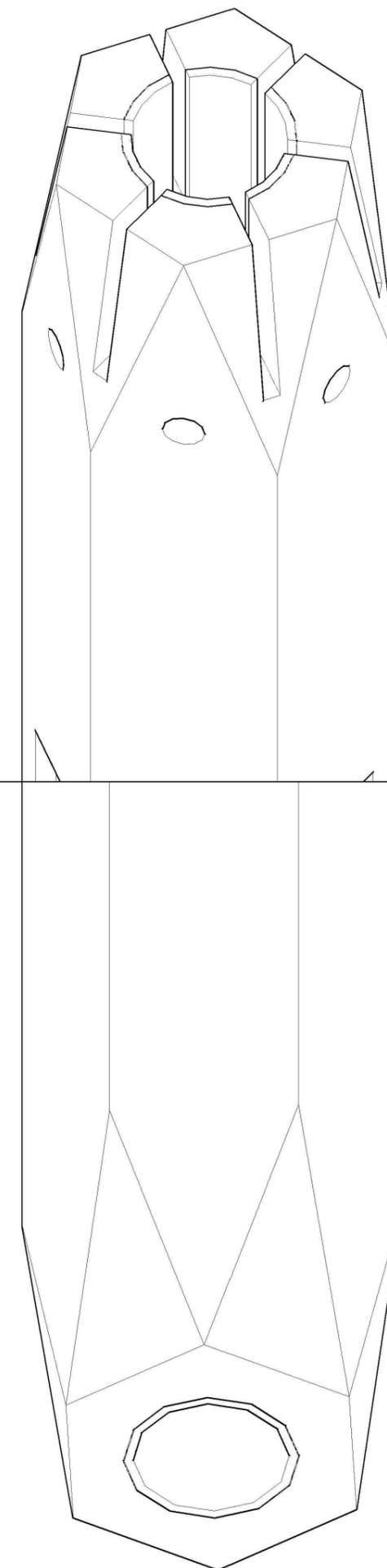
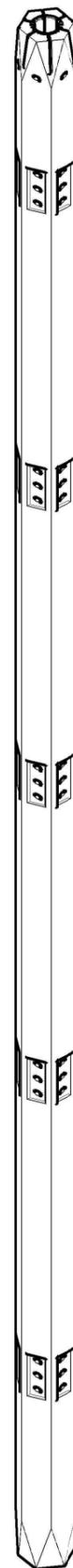
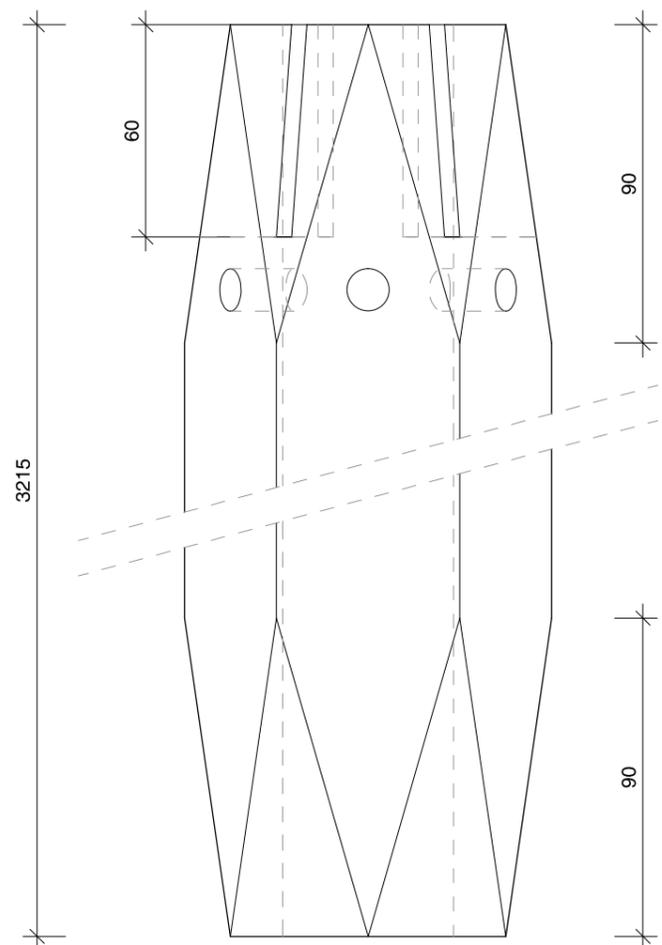
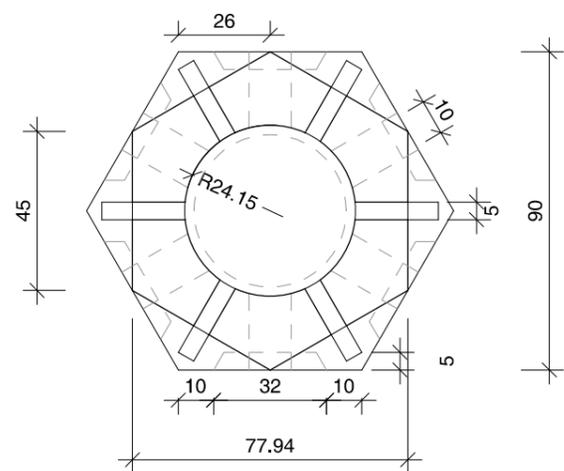
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



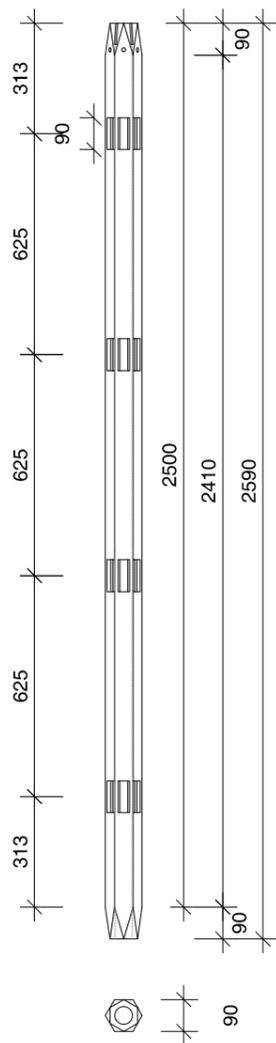
1:20



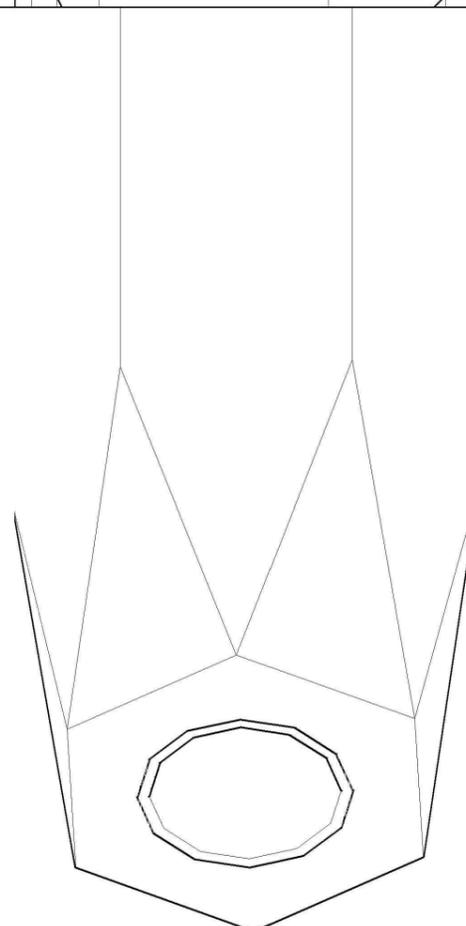
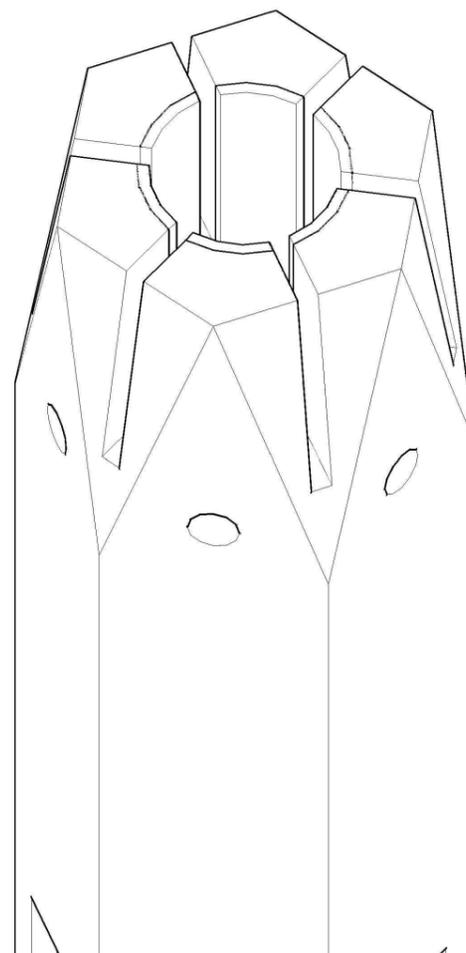
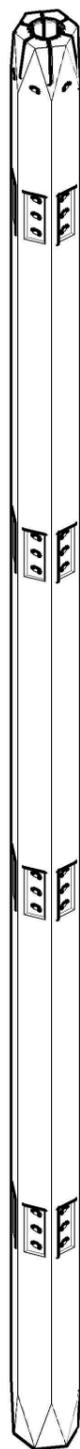
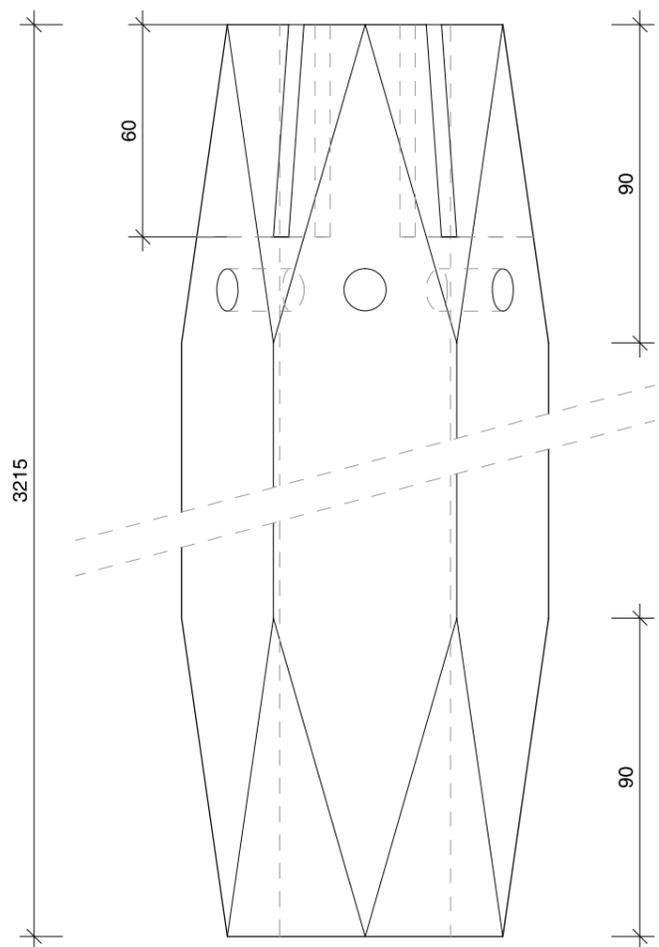
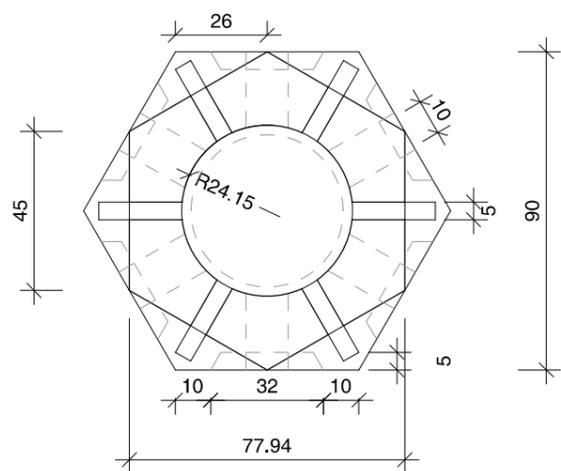
1:2



1:20



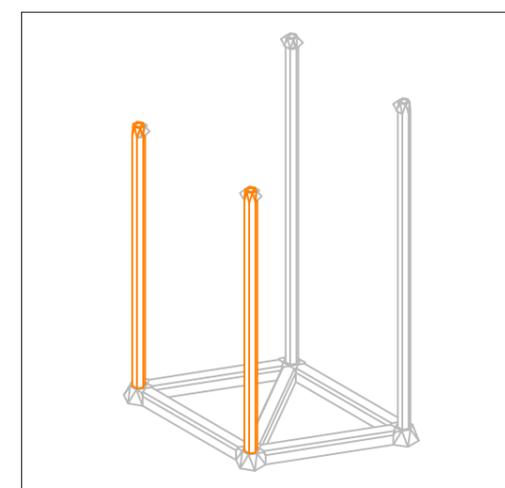
1:2



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Elemente Stütze kurz

Plannummer
DRZ-03-02.02



Maßstab	1:20 / 1:2
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

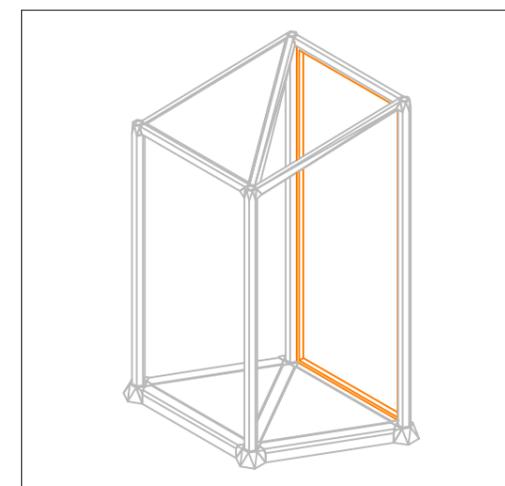
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente Panel Wand 1

Plannummer

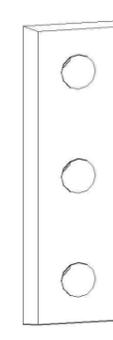
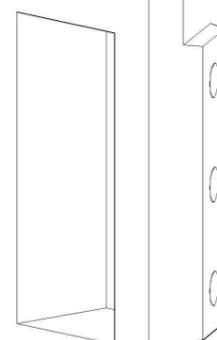
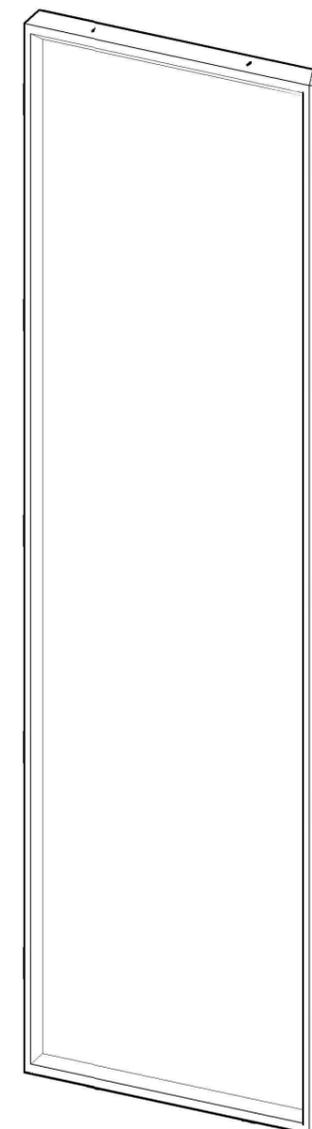
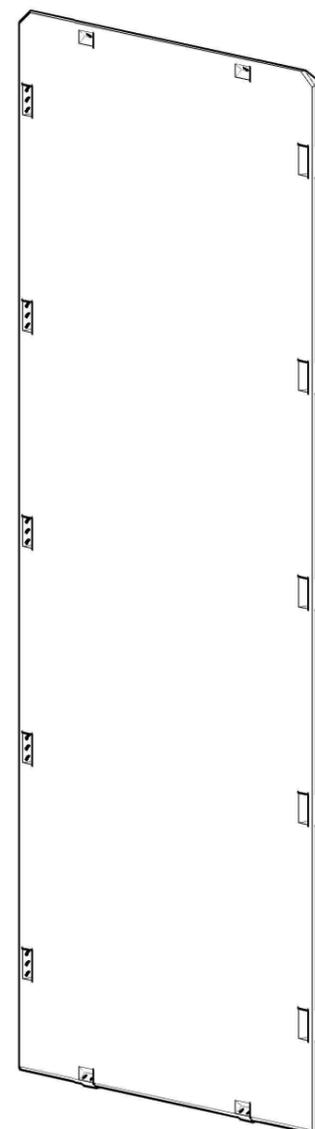
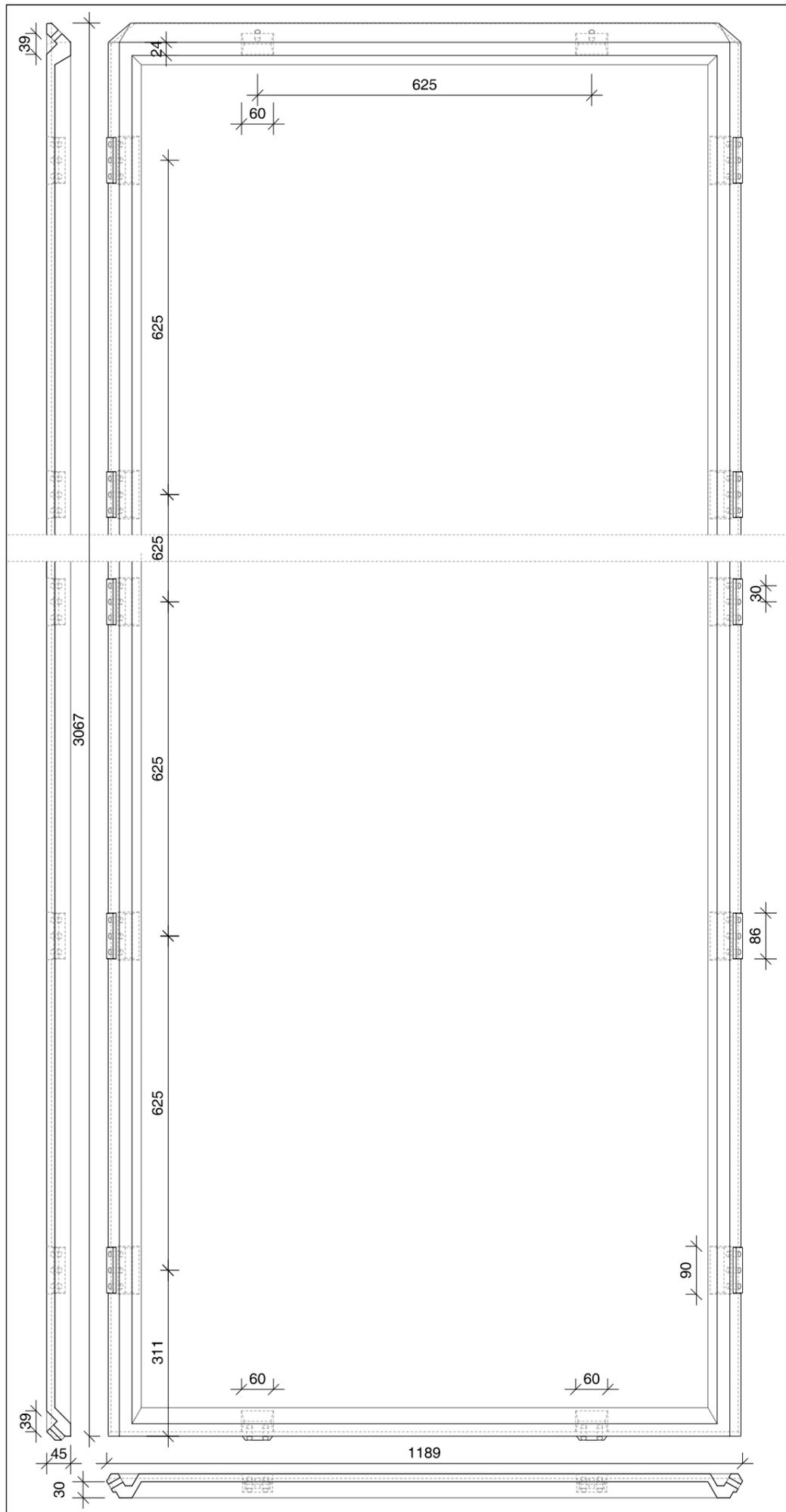
DRZ-03-03.01



Maßstab	1:20 / 1:10 / 1:2
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

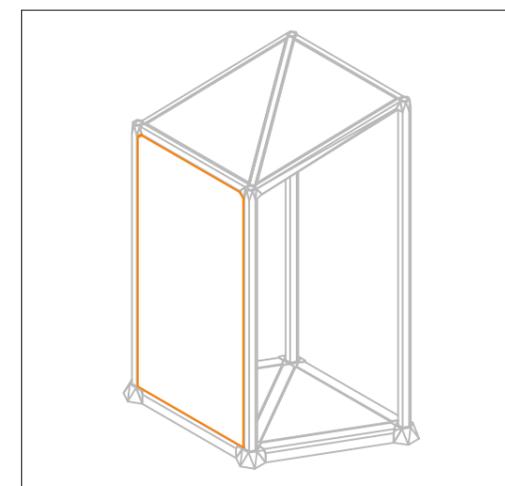
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente Panel Wand 2

Plannummer

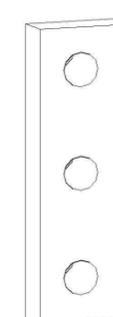
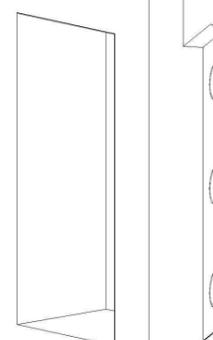
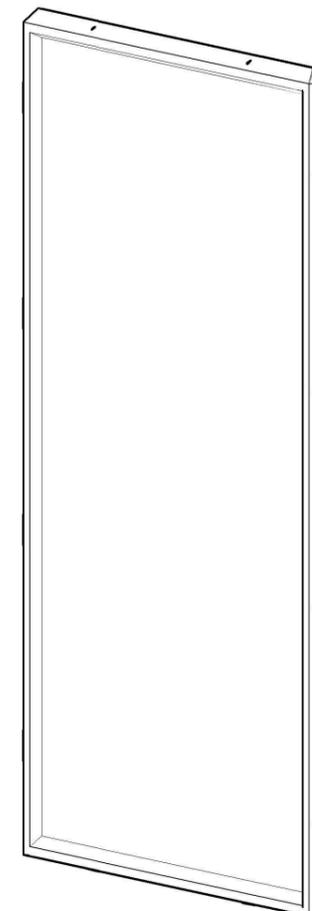
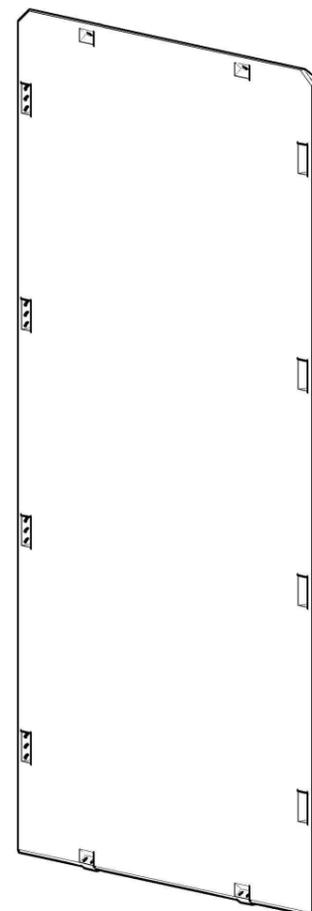
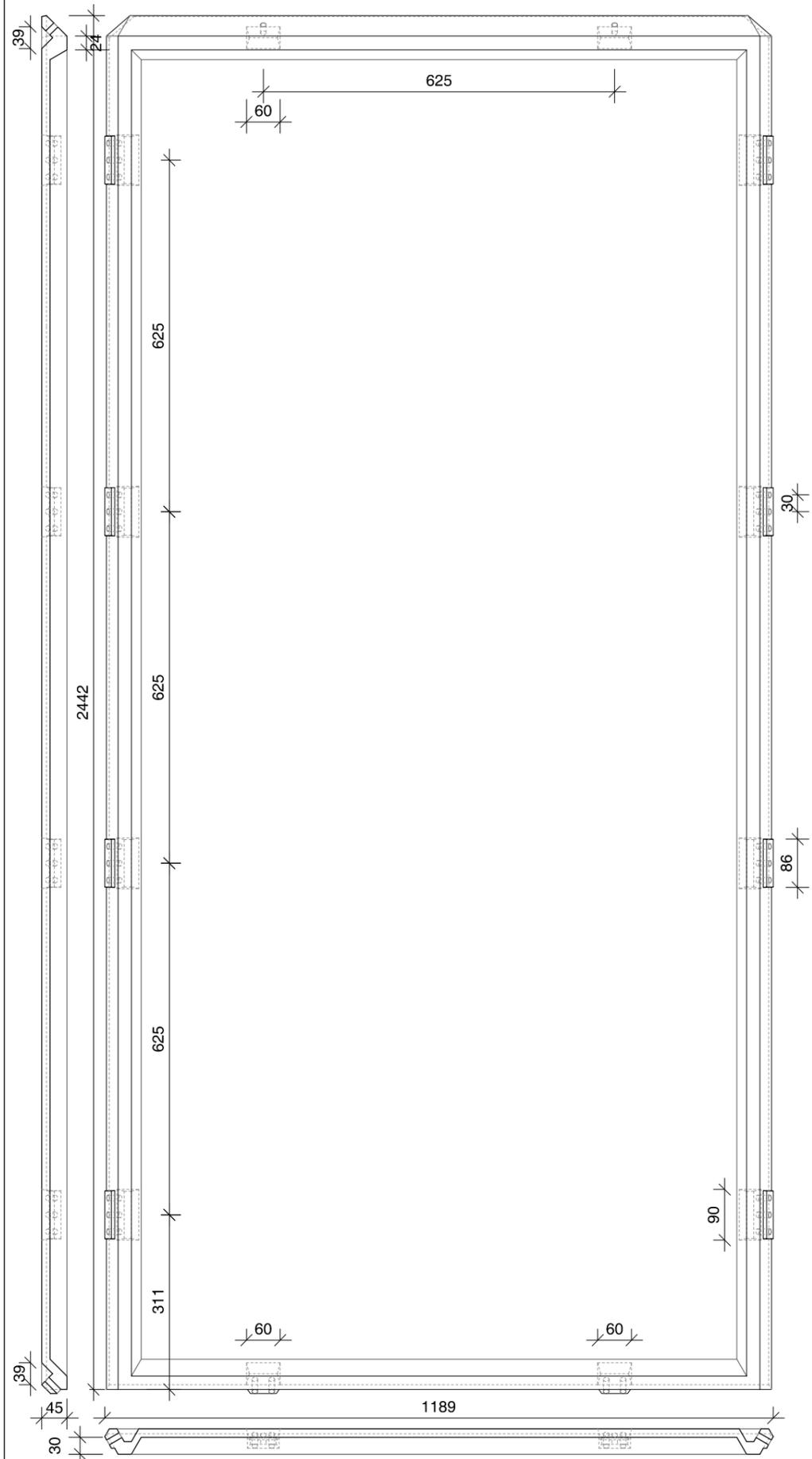
DRZ-02-03.02



Maßstab	1:20 / 1:10 / 1:2
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

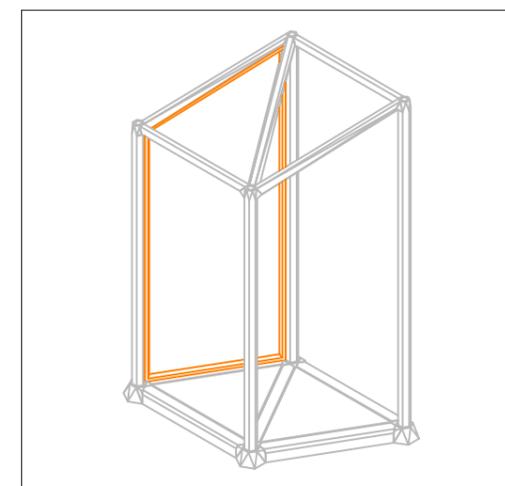
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente
Panel Wand 3a

Plannummer

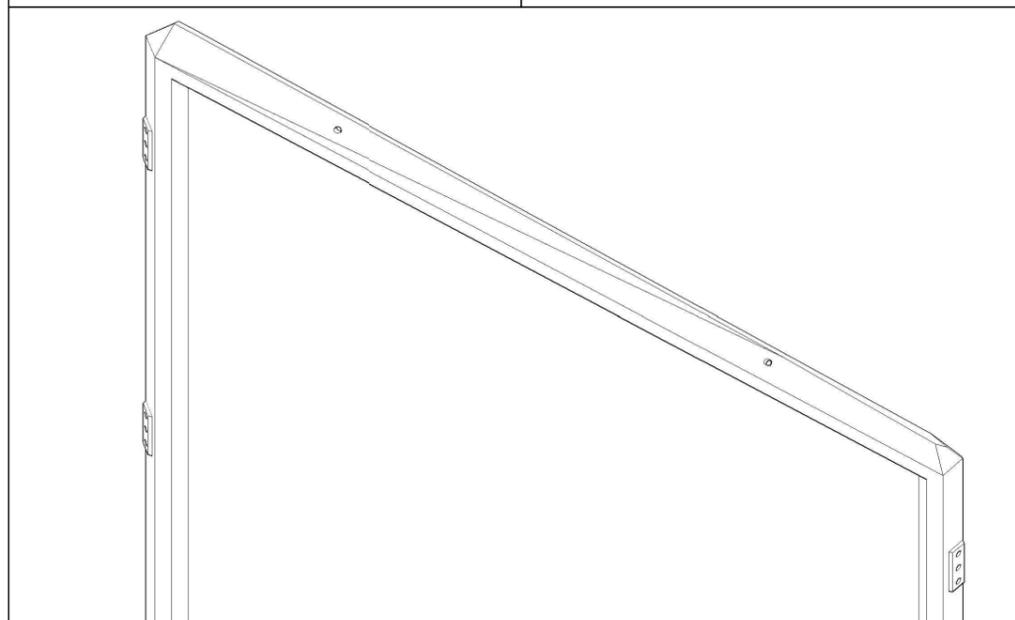
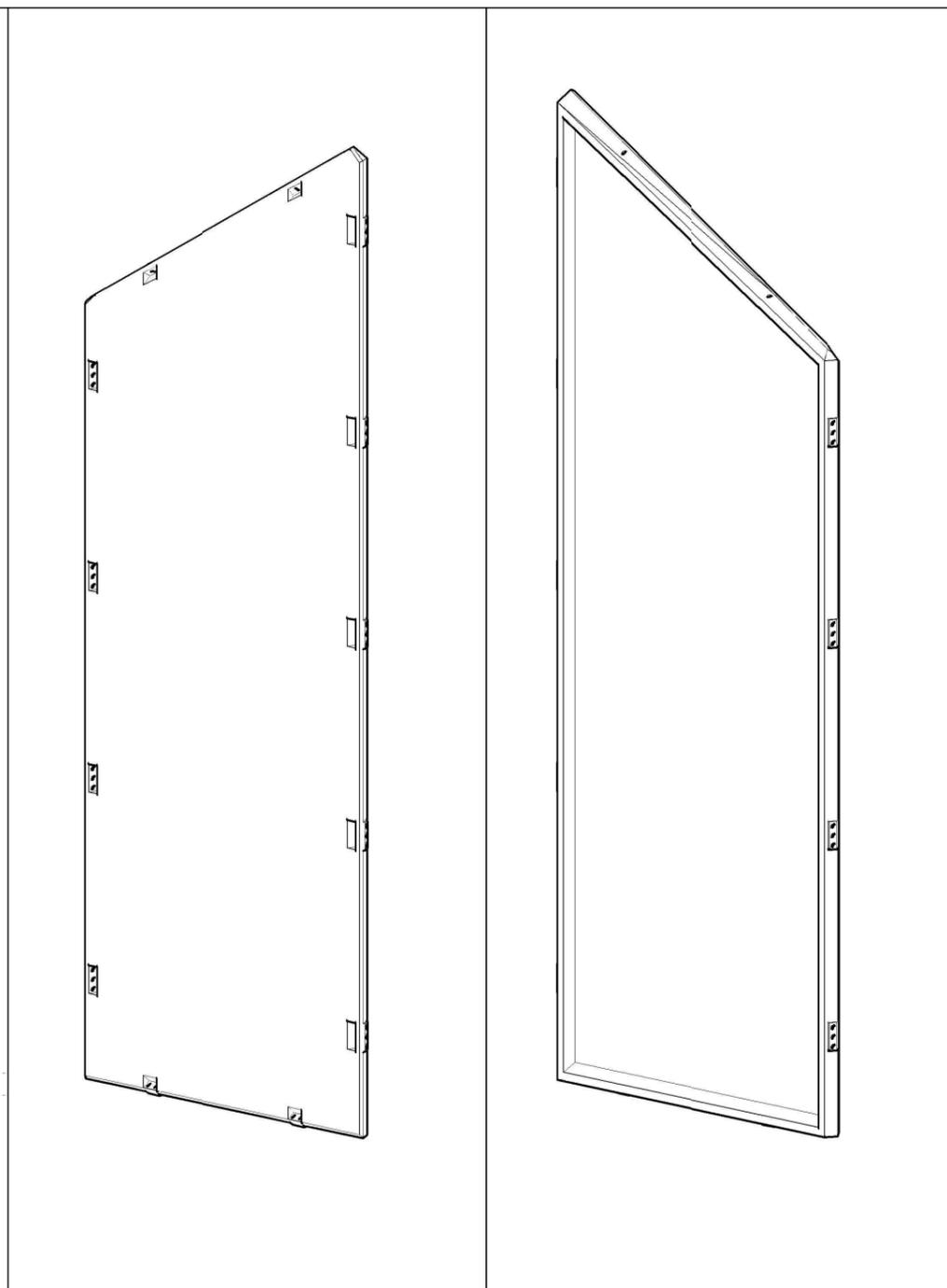
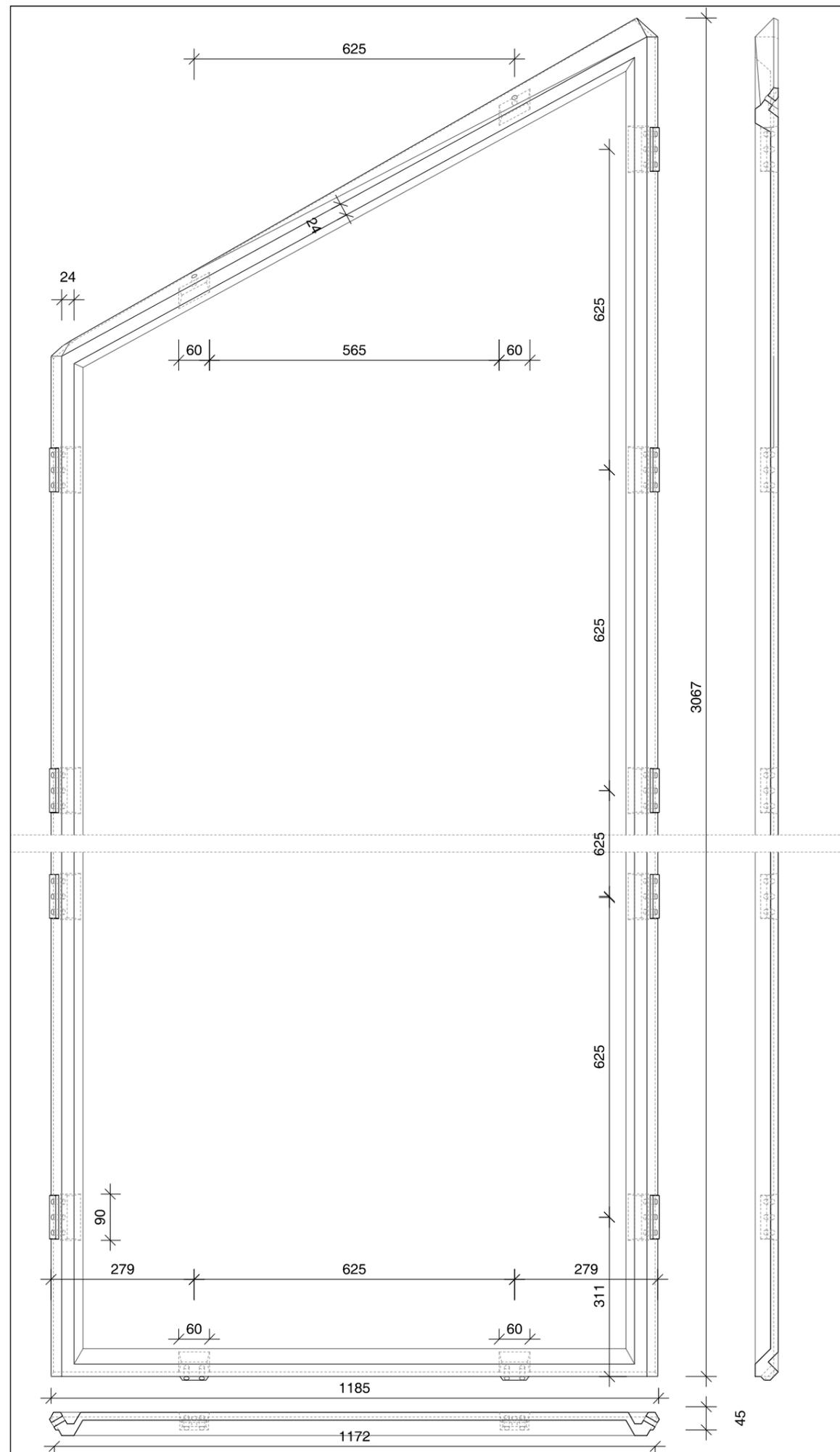
DRZ-03-03.03a



Maßstab	1:20 / 1:10
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

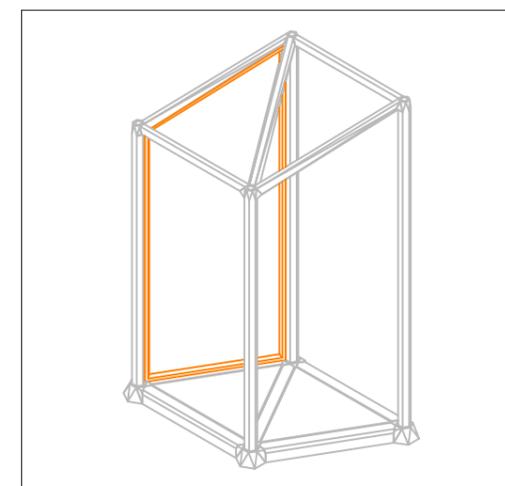
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente Panel Wand 3b

Plannummer

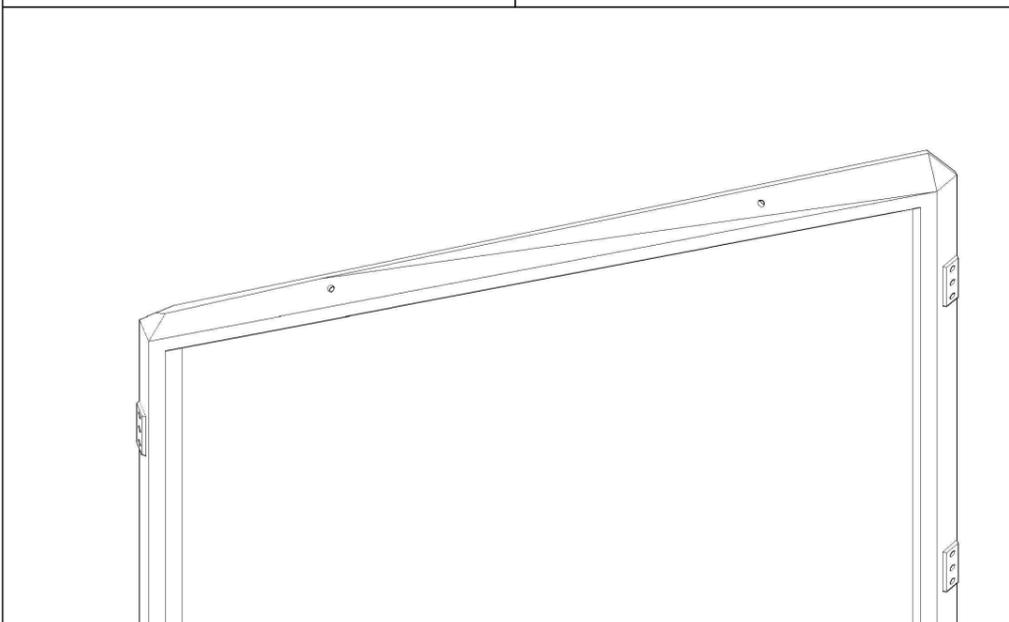
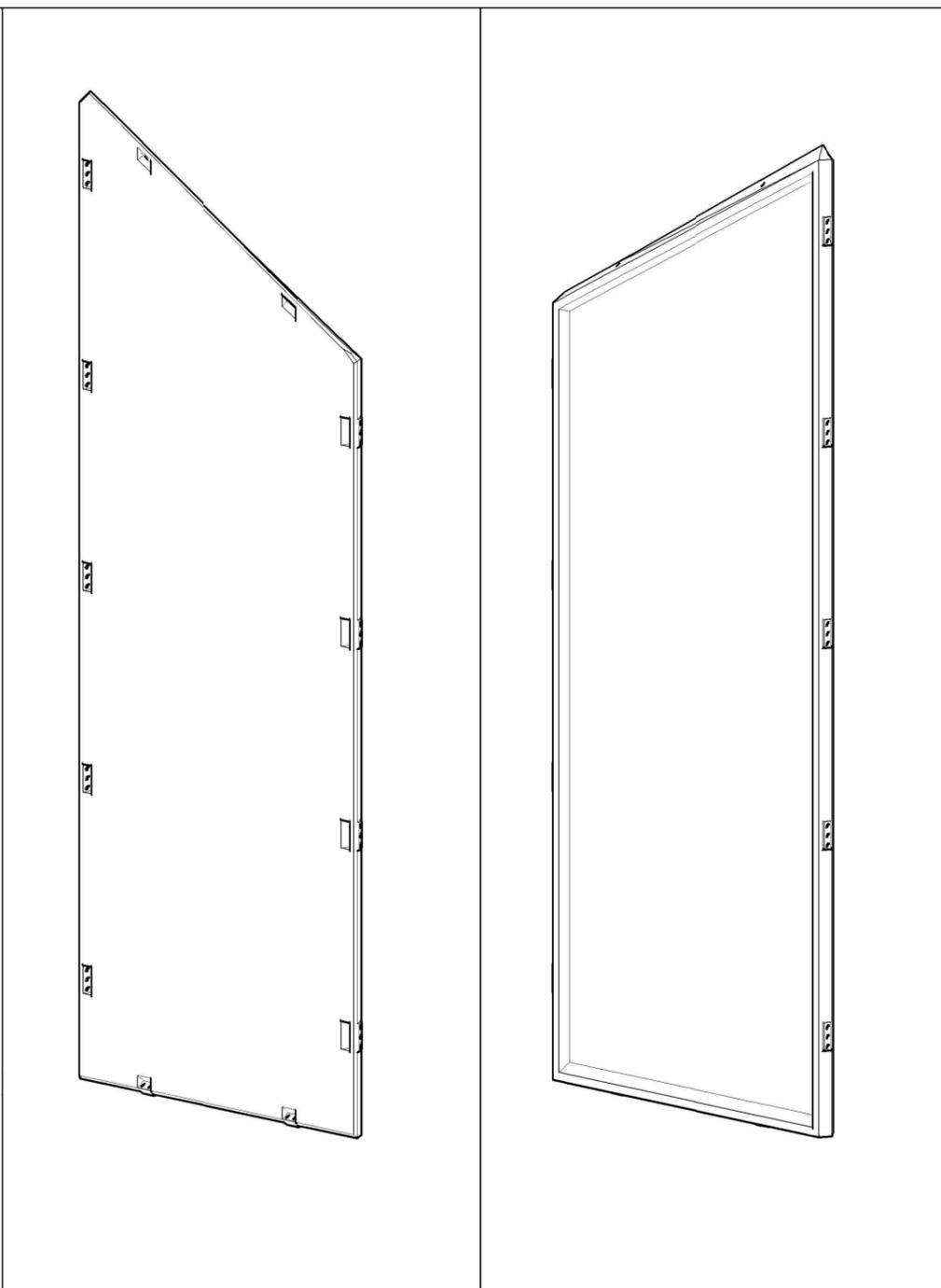
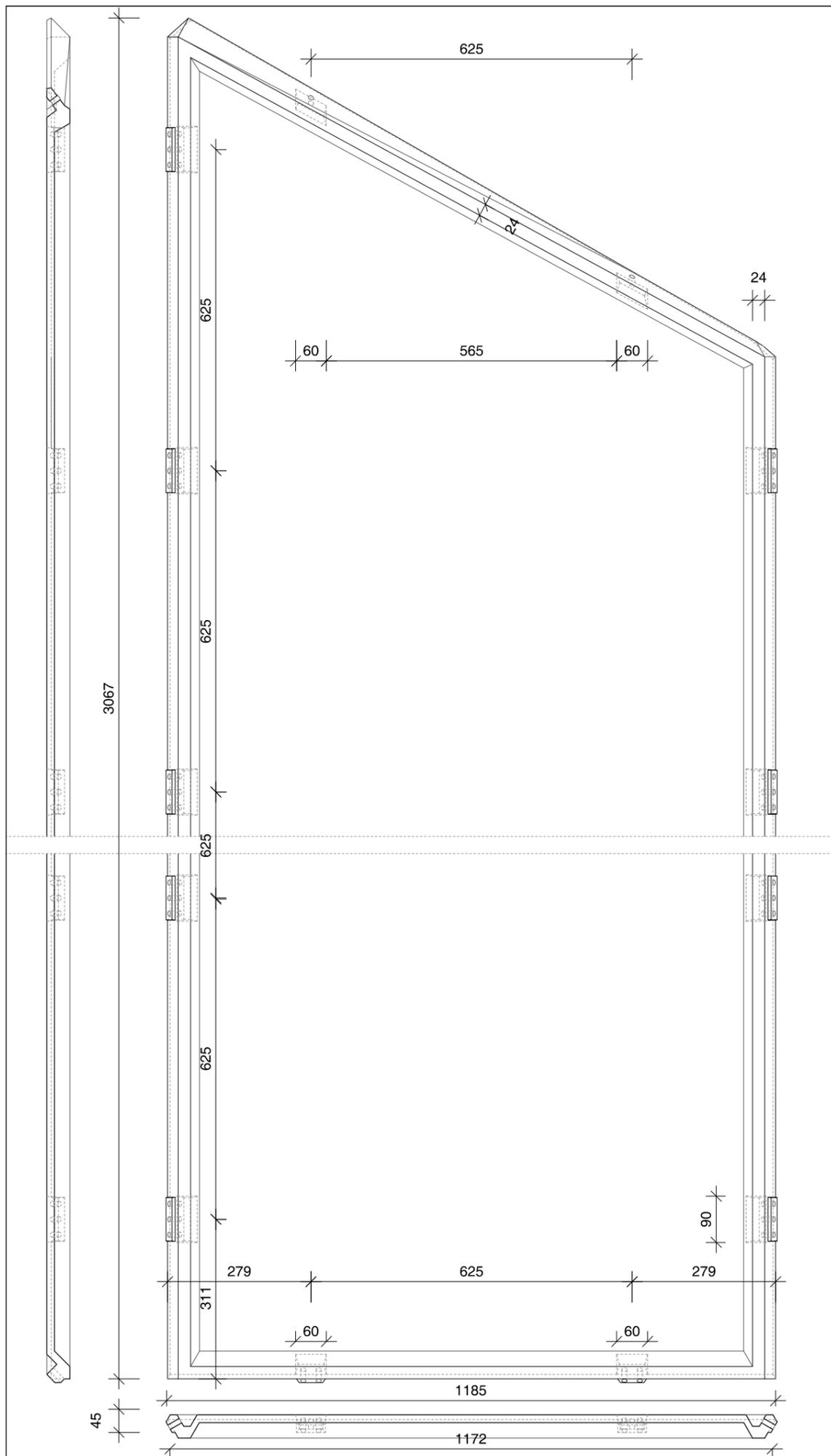
DRZ-03-03.03b



Maßstab	1:20 / 1:10
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

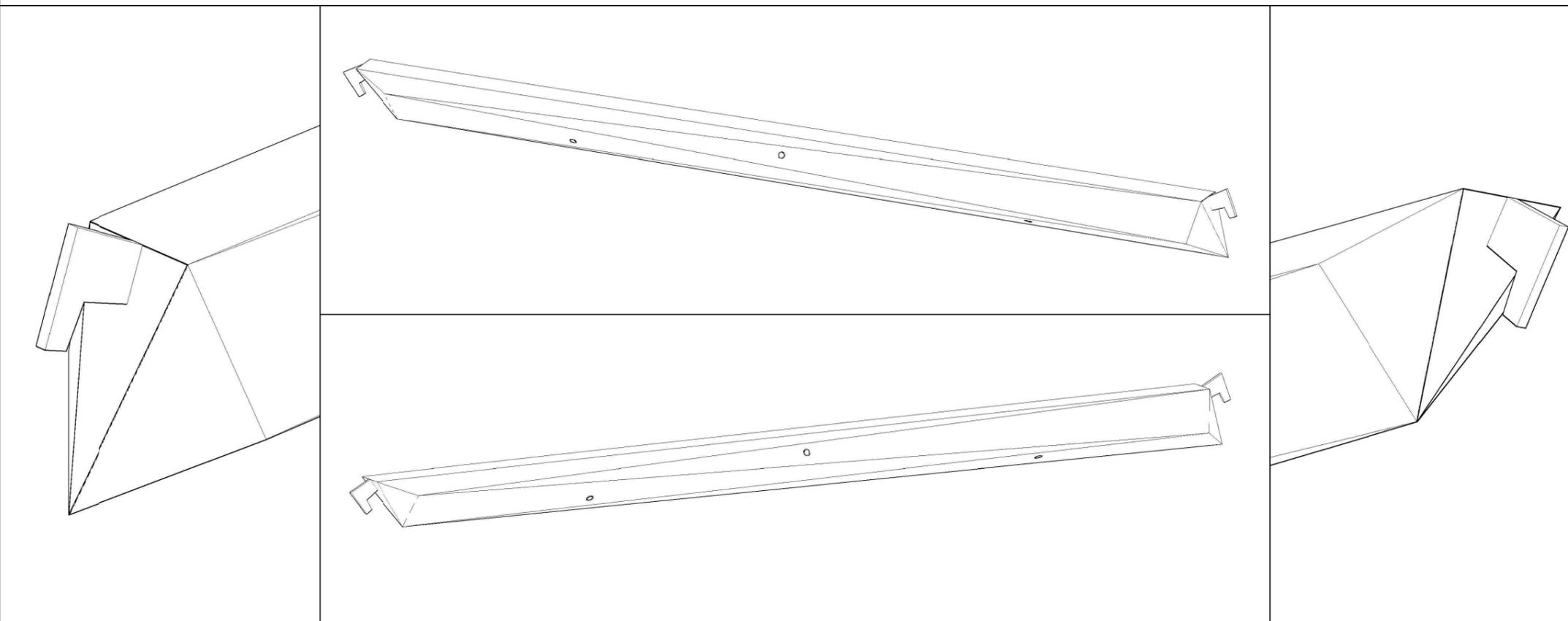
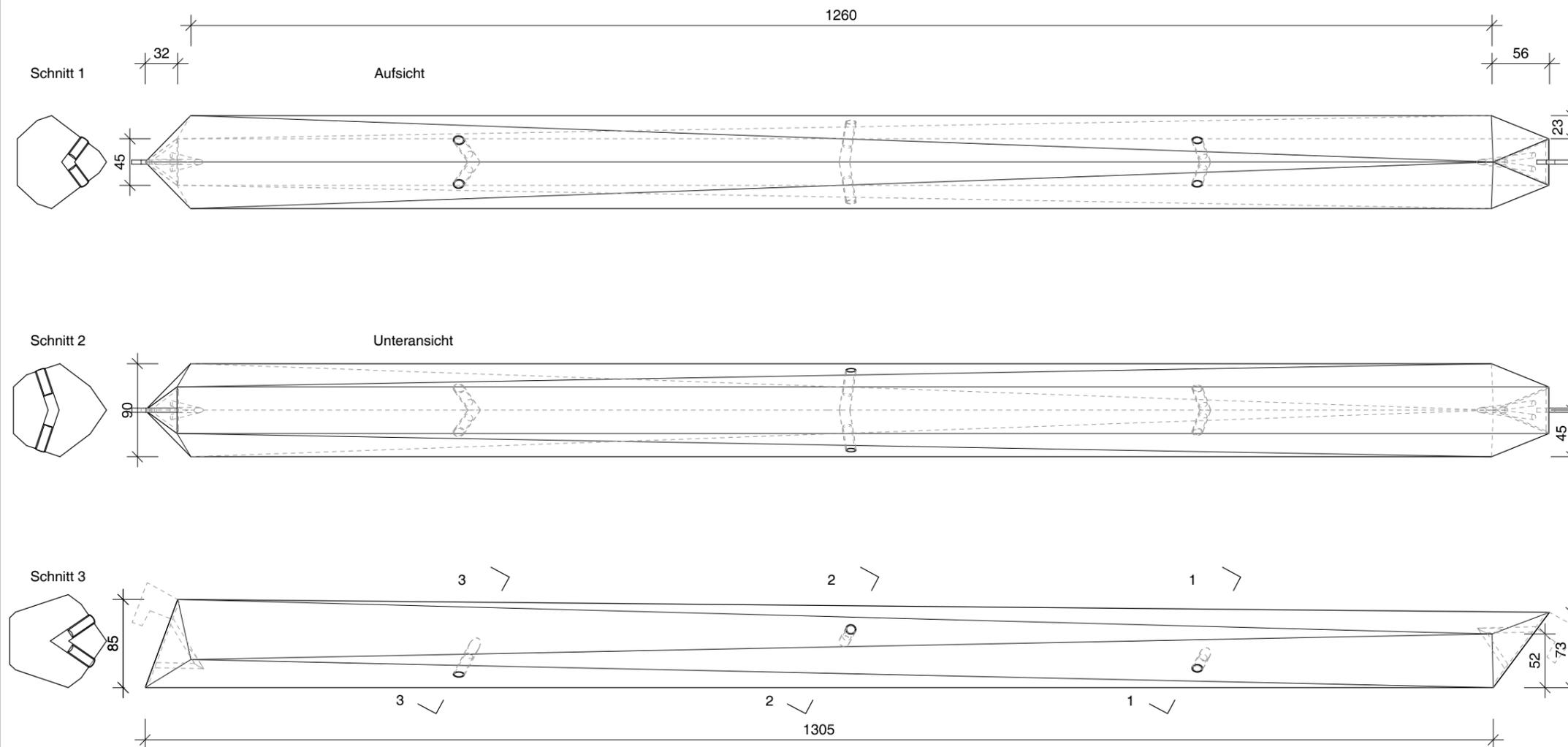
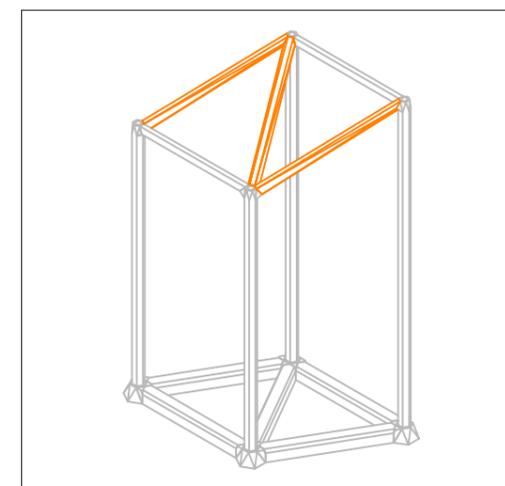
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

**Elemente
Träger 1**

Plannummer

DRZ-03-04.01



Maßstab	1:5
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

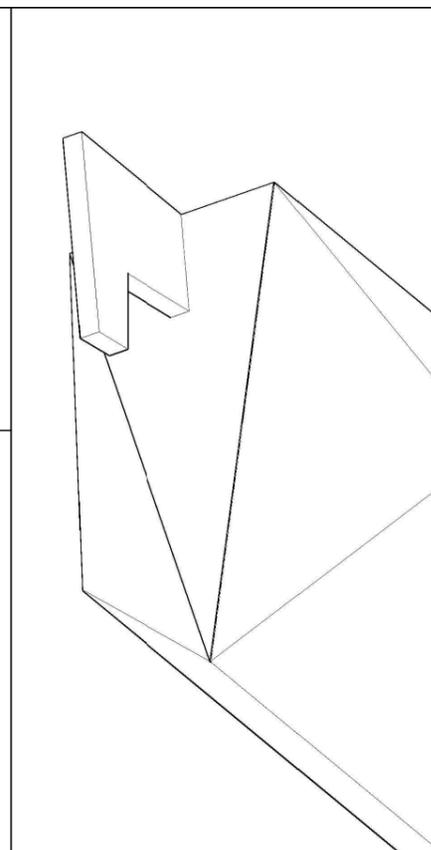
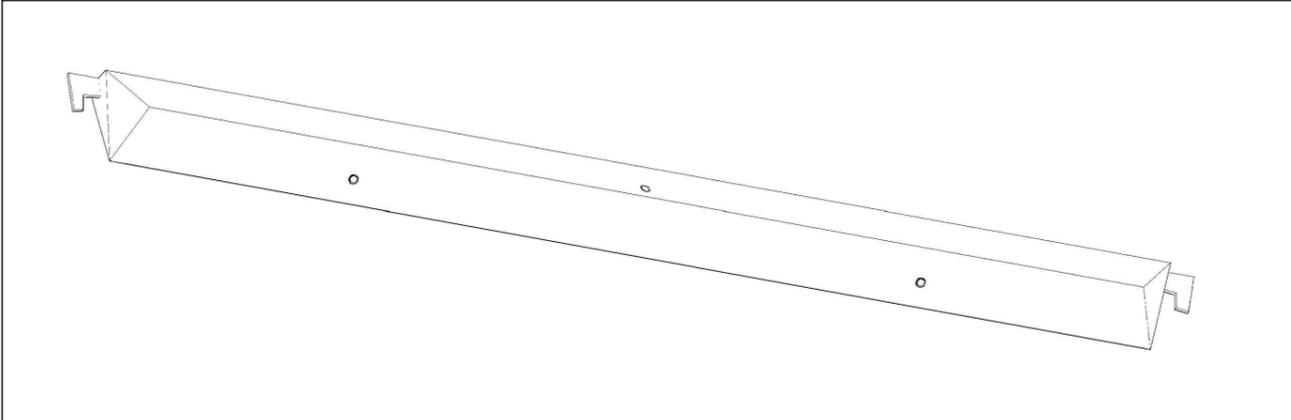
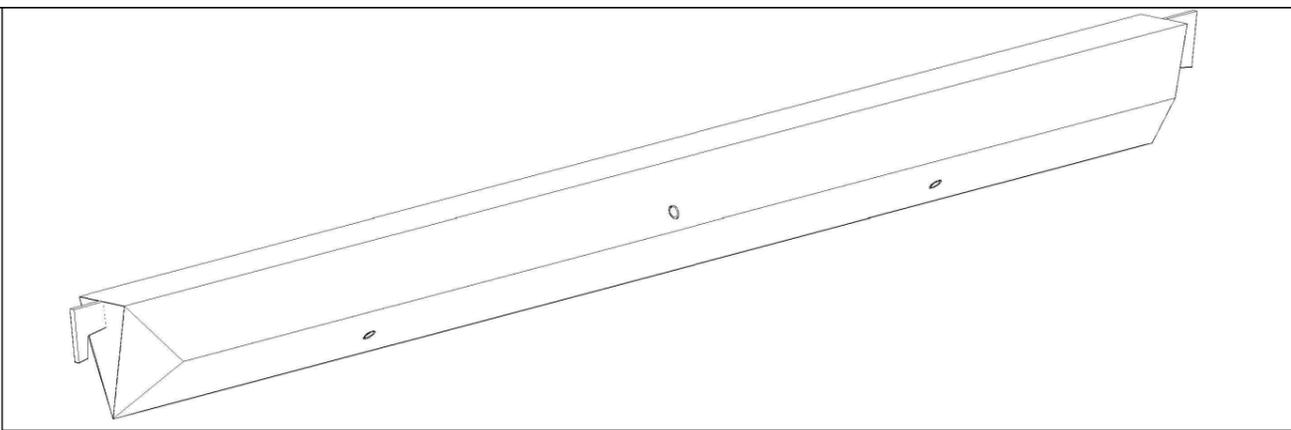
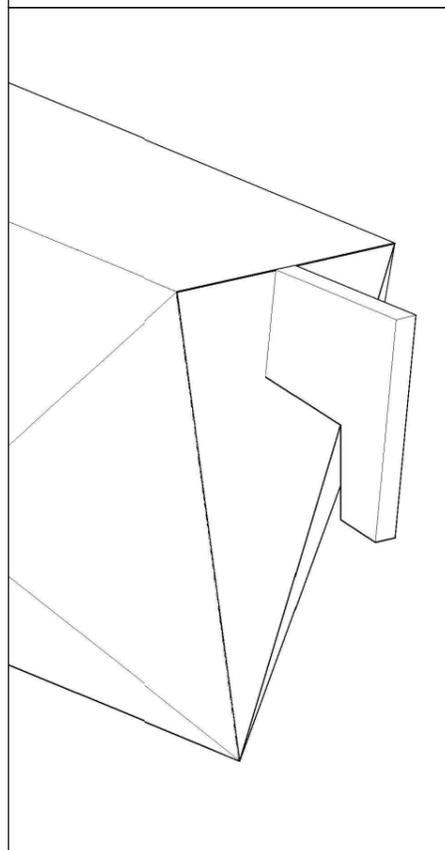
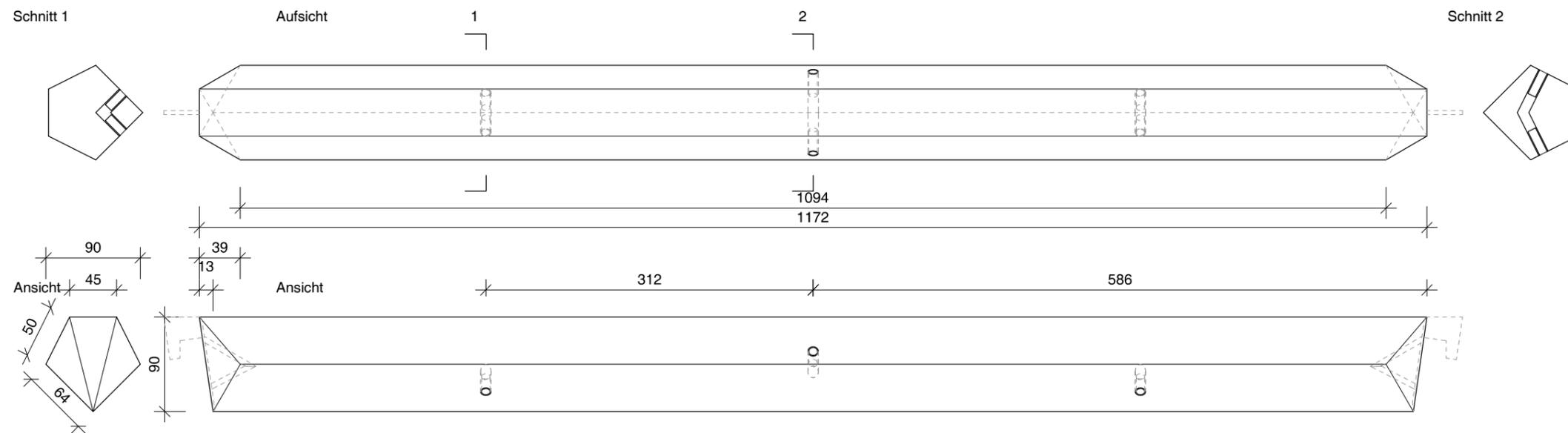
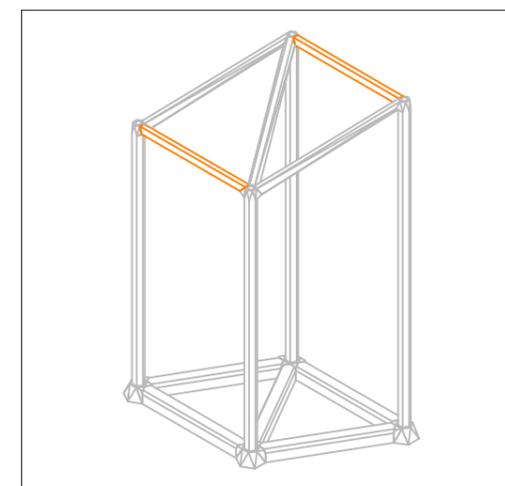
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente Träger 2

Plannummer

DRZ-03-04.02



Maßstab	1:5
Datum	07.07.14
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

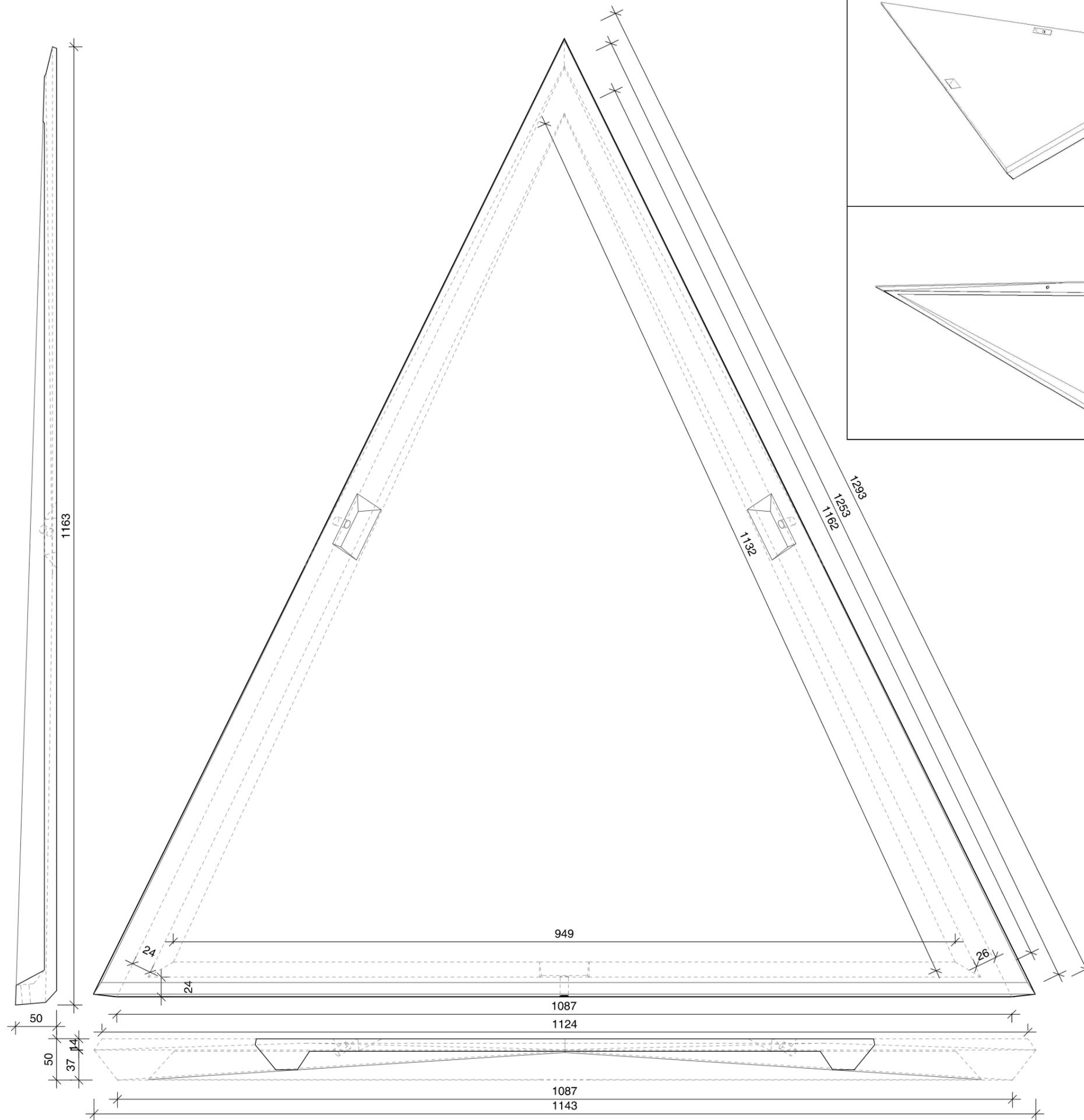
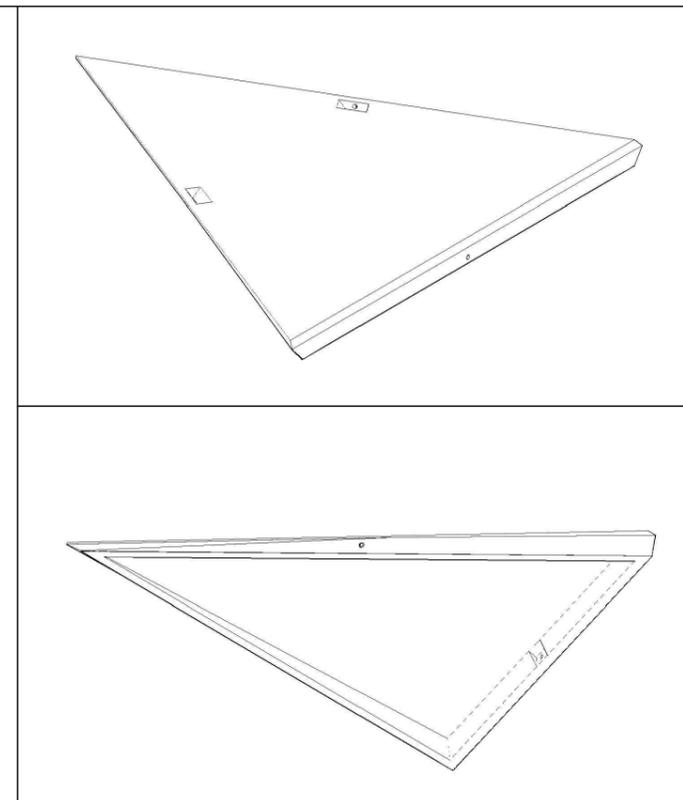
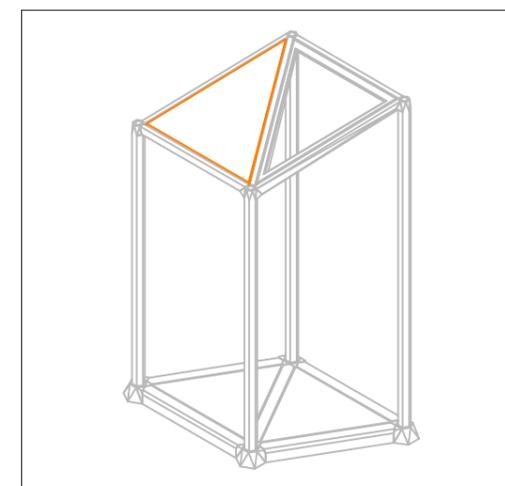
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente
Paneel Dach 1

Plannummer

DRZ-03-05.01



Maßstab	1:5
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

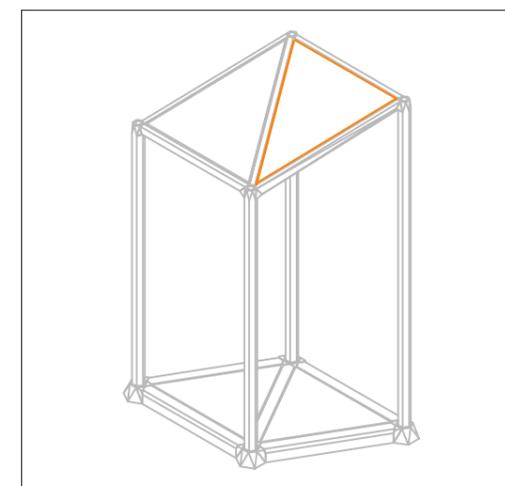
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

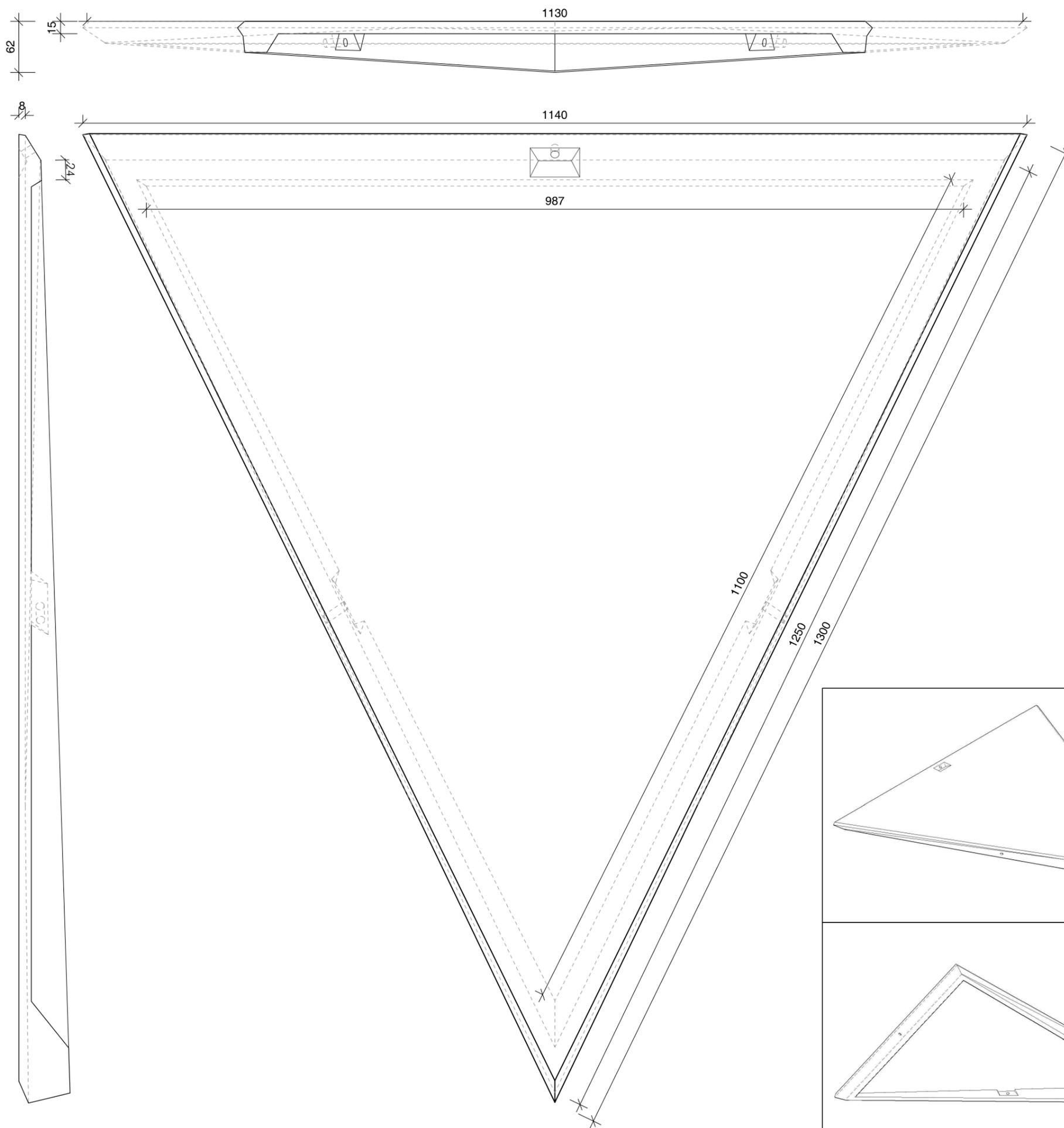
Elemente
Paneel Dach 2a

Plannummer
DRZ-03-05.02a



Maßstab	1:5
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

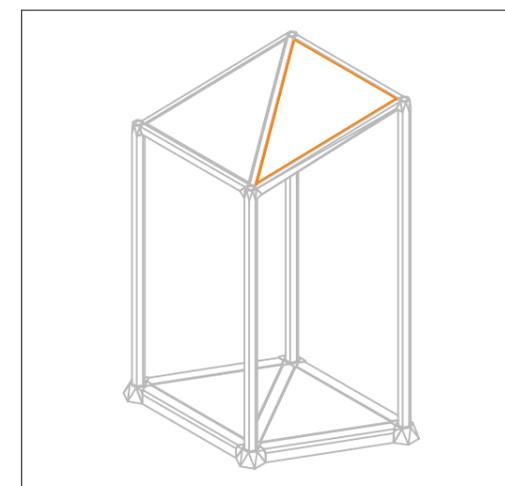
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente
Paneel Dach 2b

Plannummer

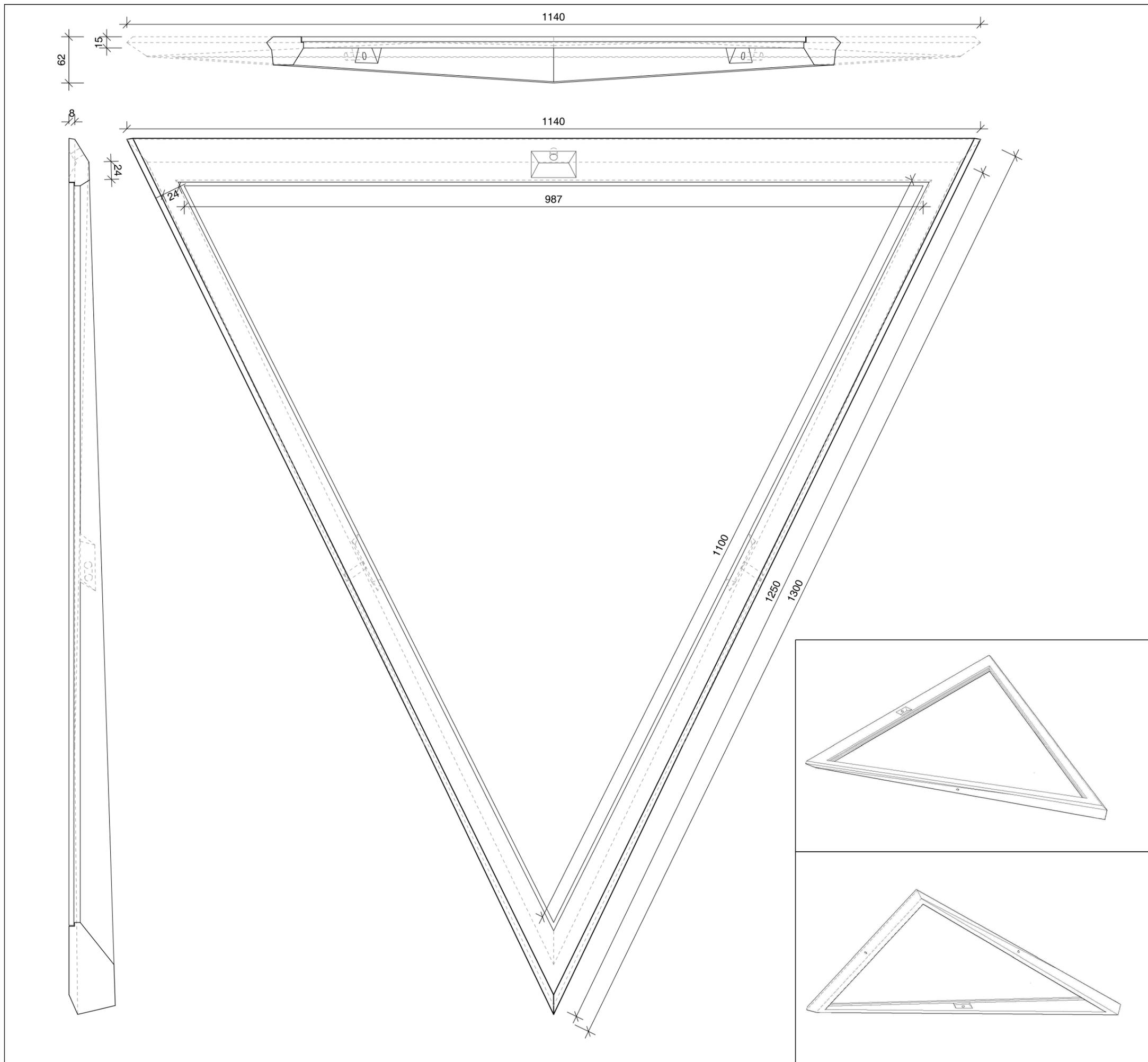
DRZ-03-05.04



Maßstab	1:5
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

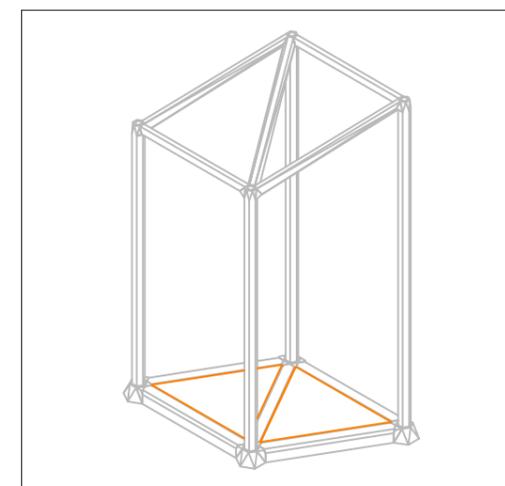
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Elemente
Paneel Boden

Plannummer

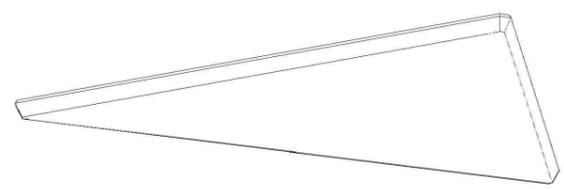
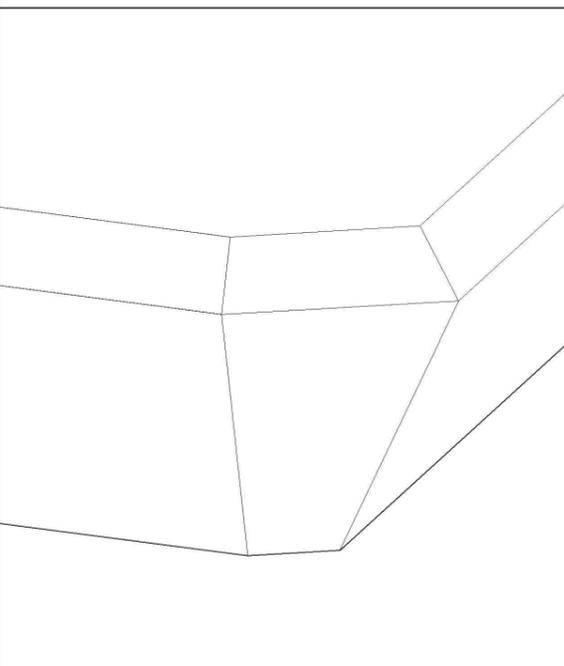
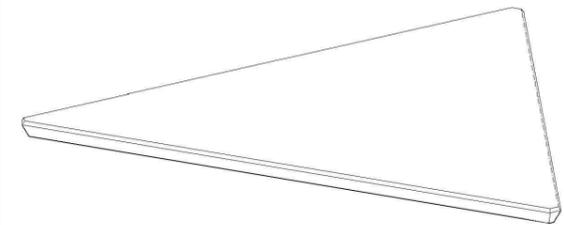
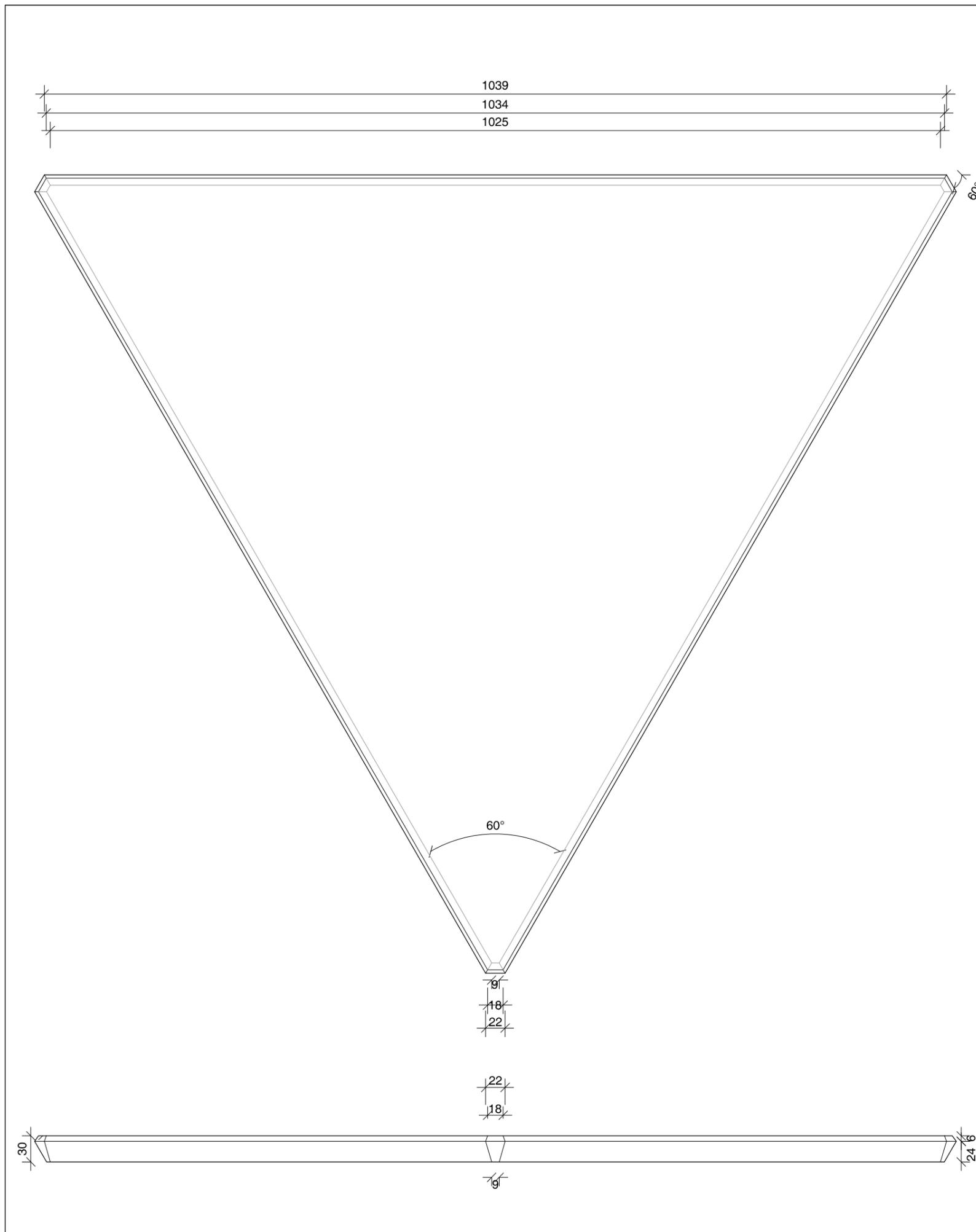
DRZ-03-06.01



Maßstab	1:5
Datum	19.05.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

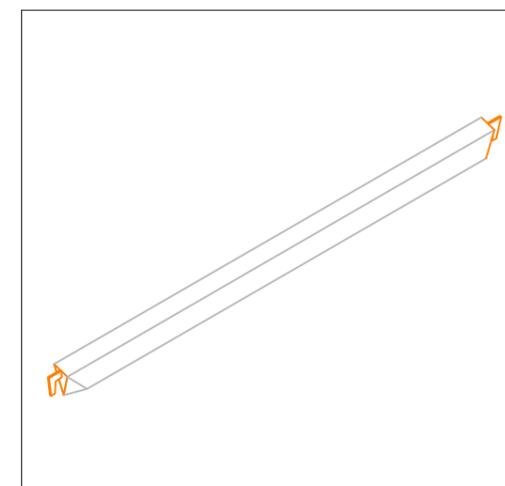
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Verbindungen Träger - Stütze

Plannummer

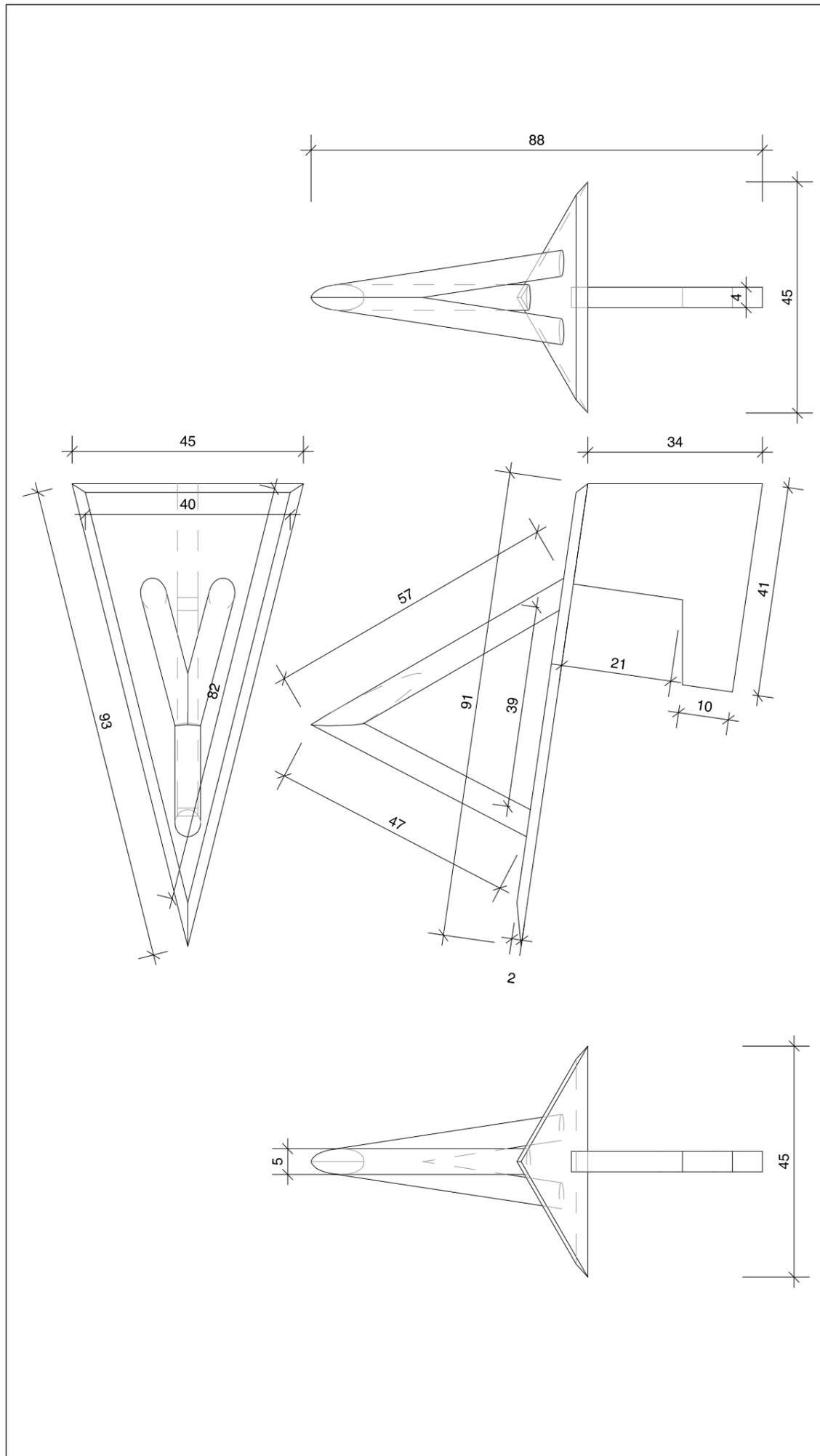
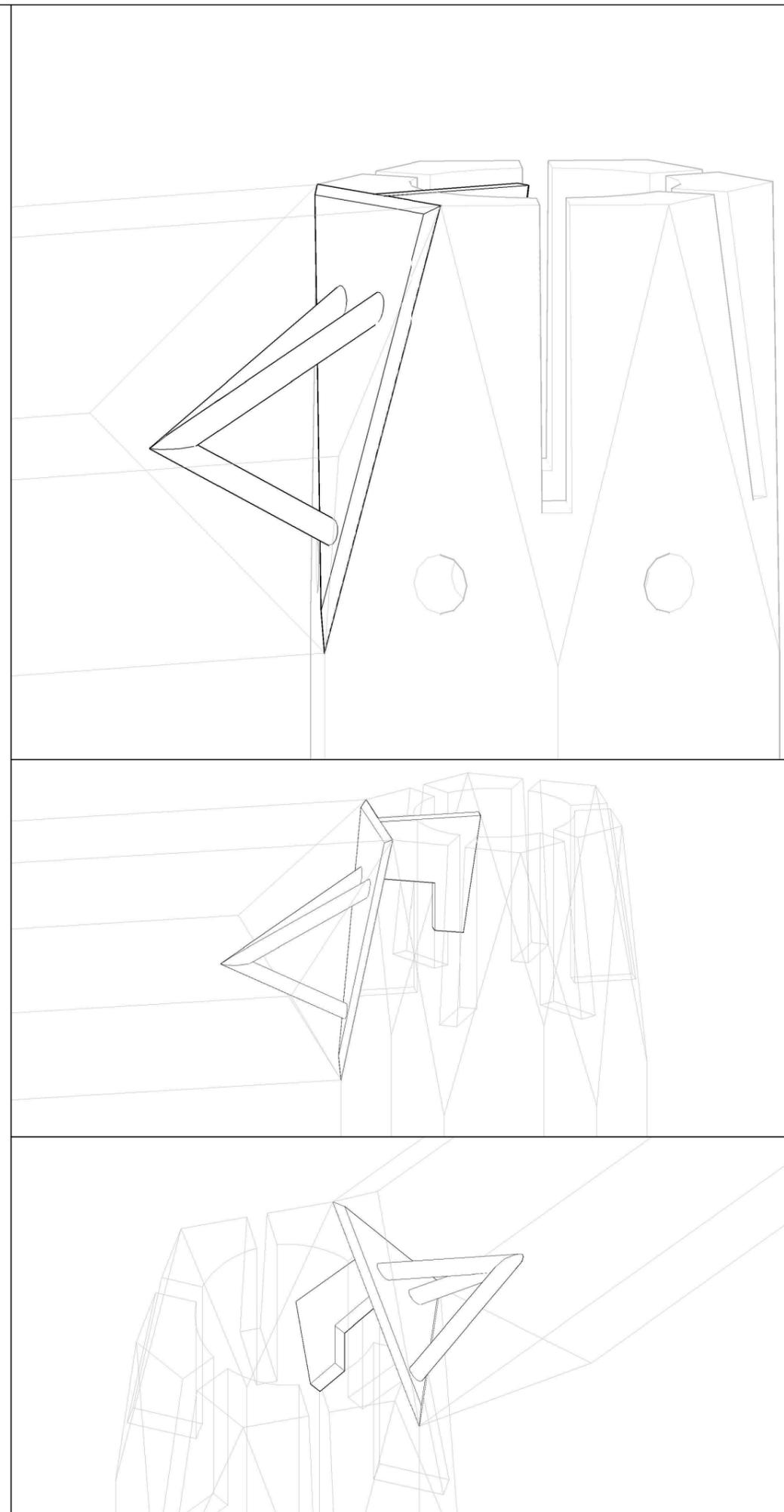
DRZ-03-07.01



Maßstab	1:1
Datum	17.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

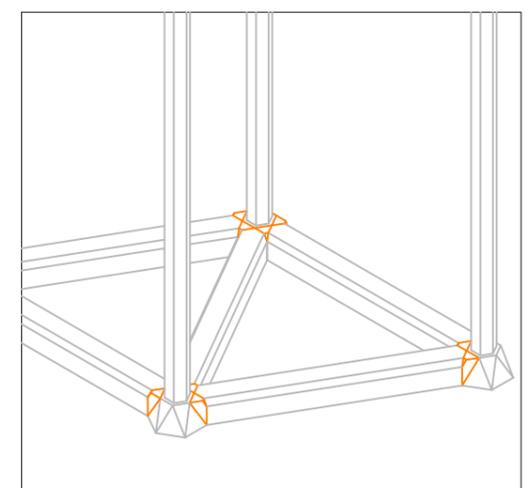
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

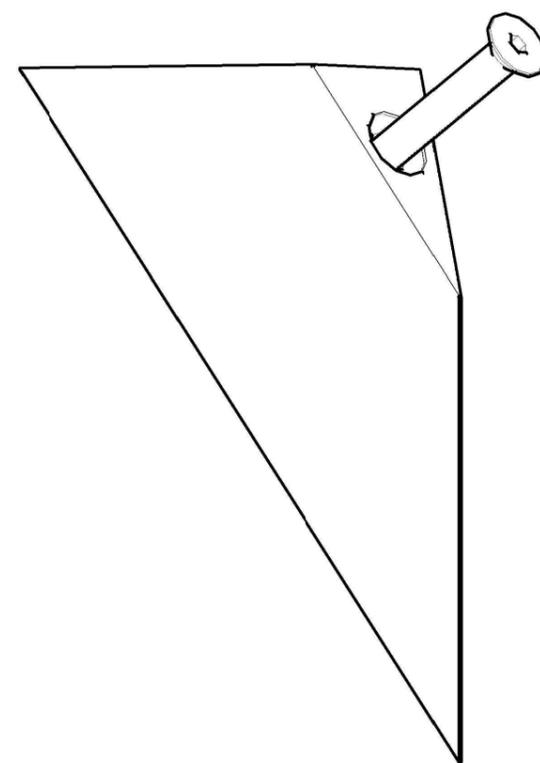
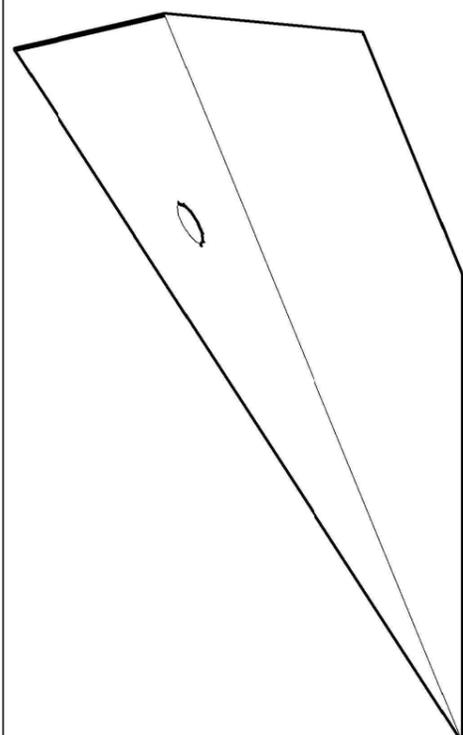
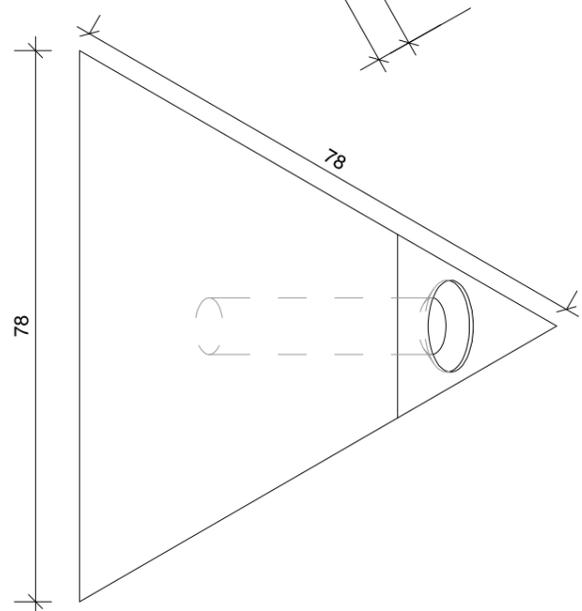
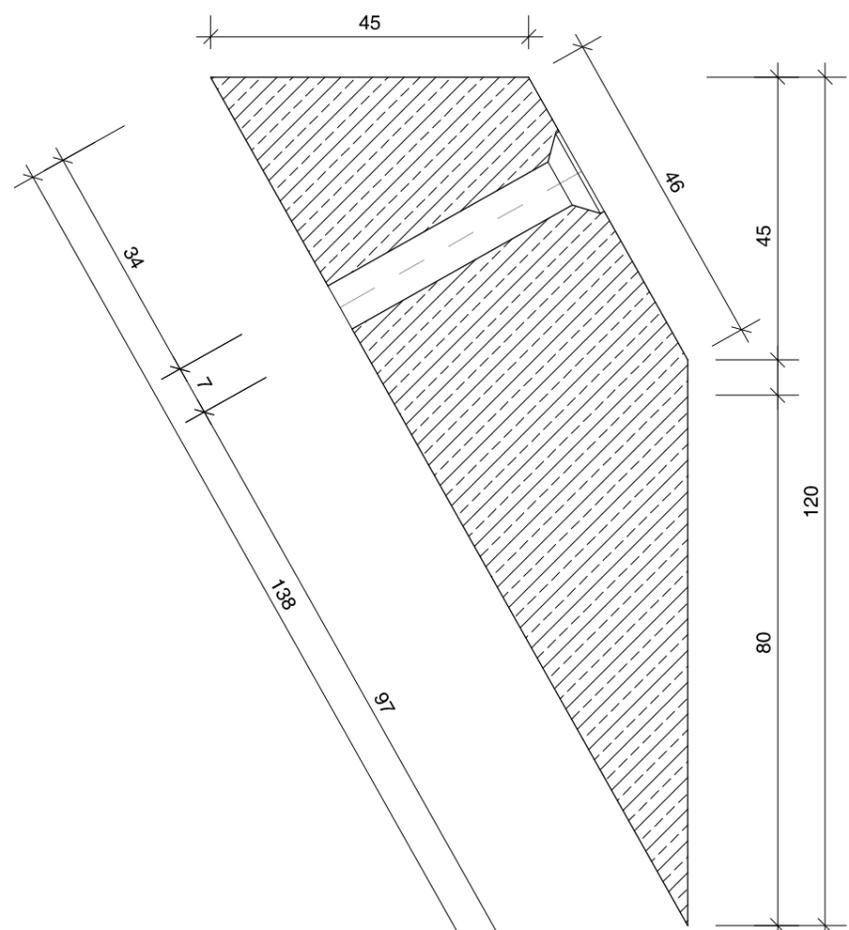
Lagesicherung Schwelle

Plannummer
DRZ-03-07.02



Maßstab	1:1
Datum	17.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

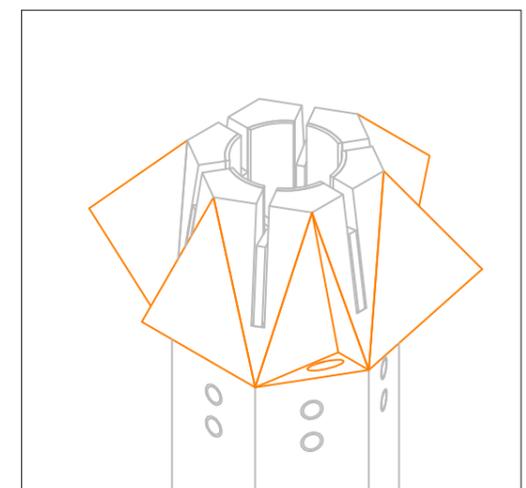
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

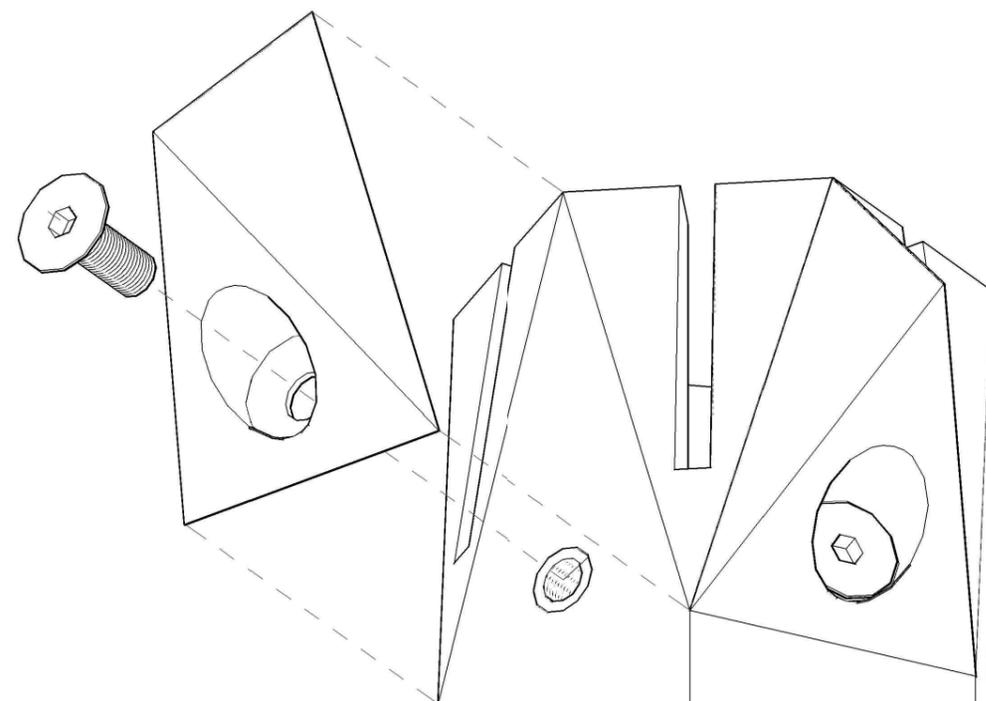
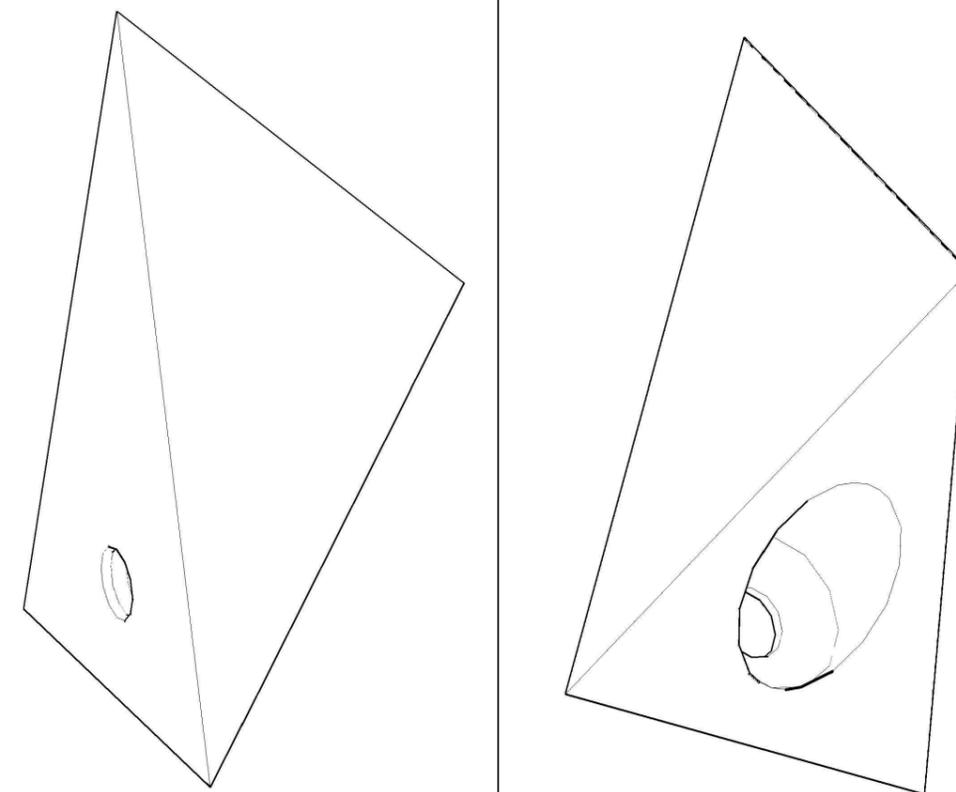
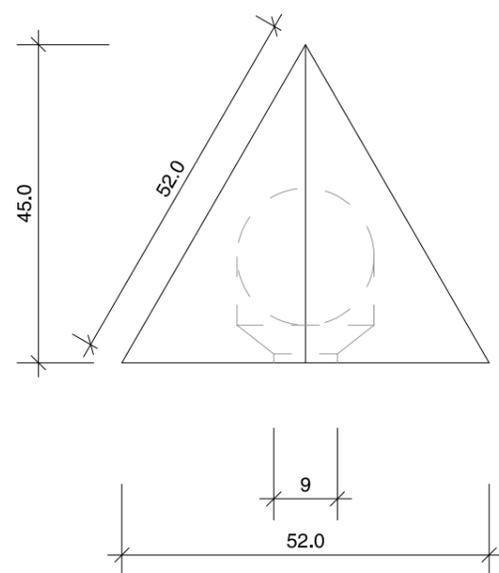
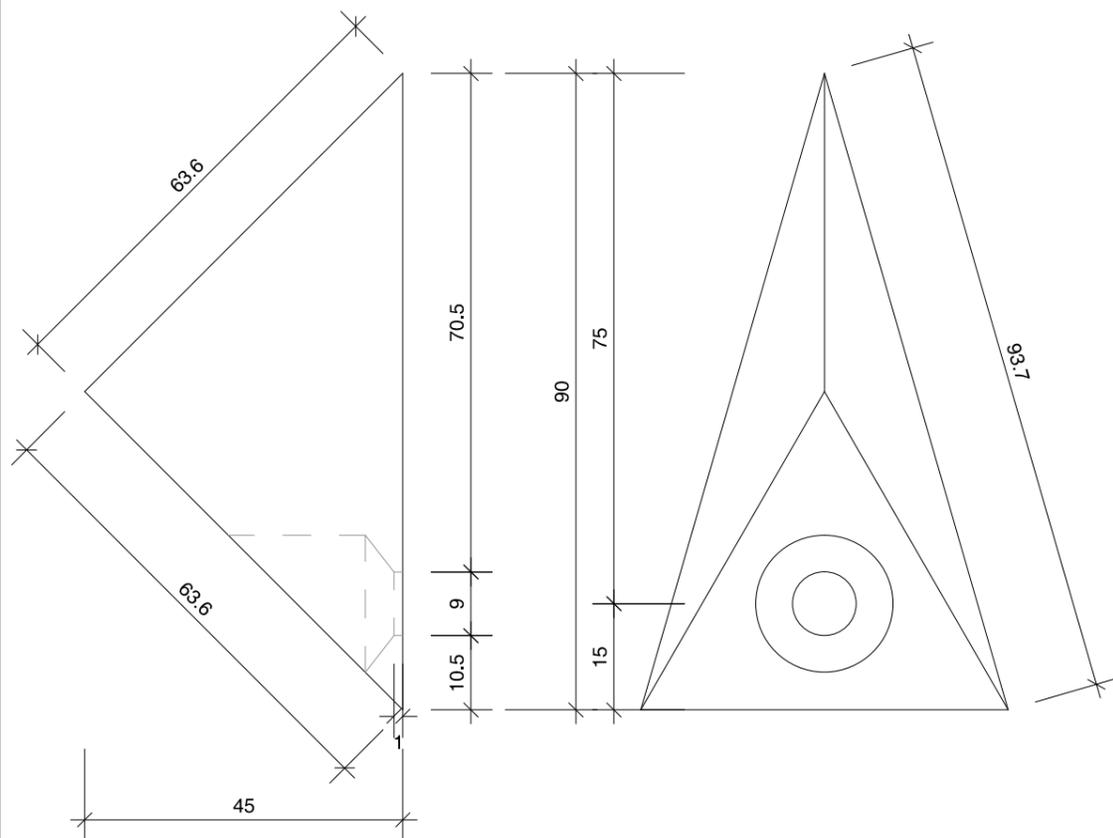
Lagesicherung Träger

Plannummer
DRZ-03-07.03



Maßstab	1:1
Datum	17.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

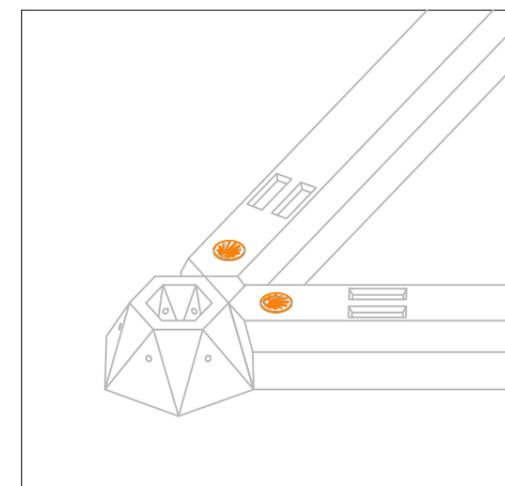
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

**Zierkappe
Anschluss Schwelle**

Plannummer

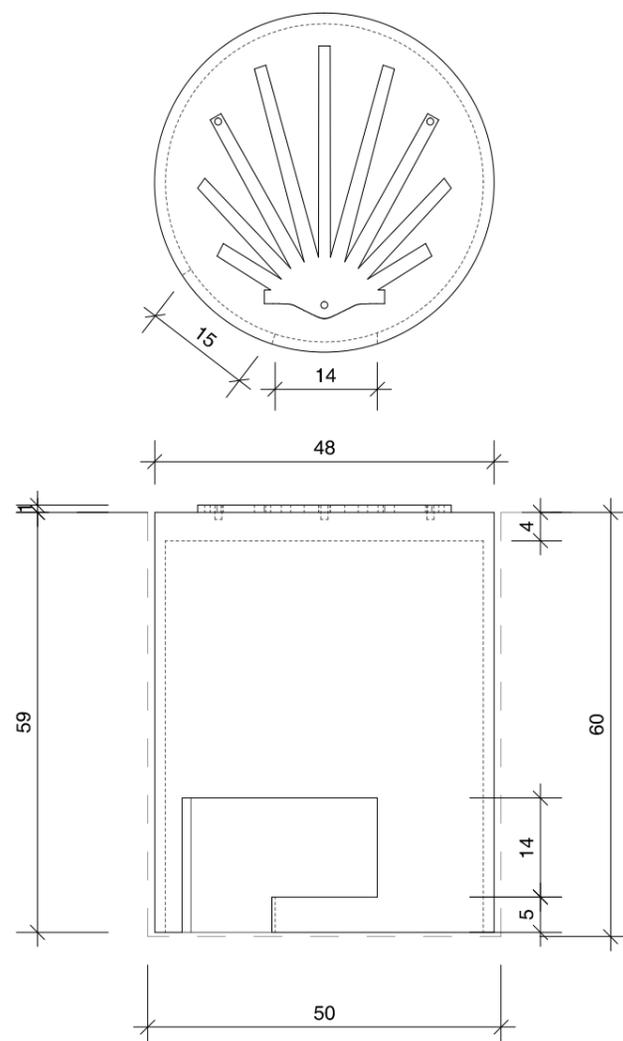
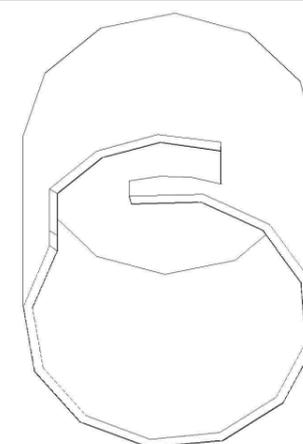
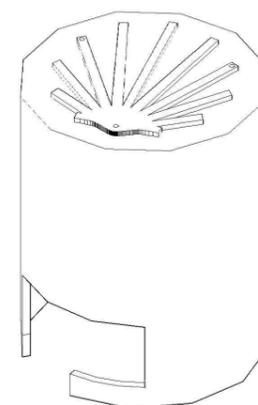
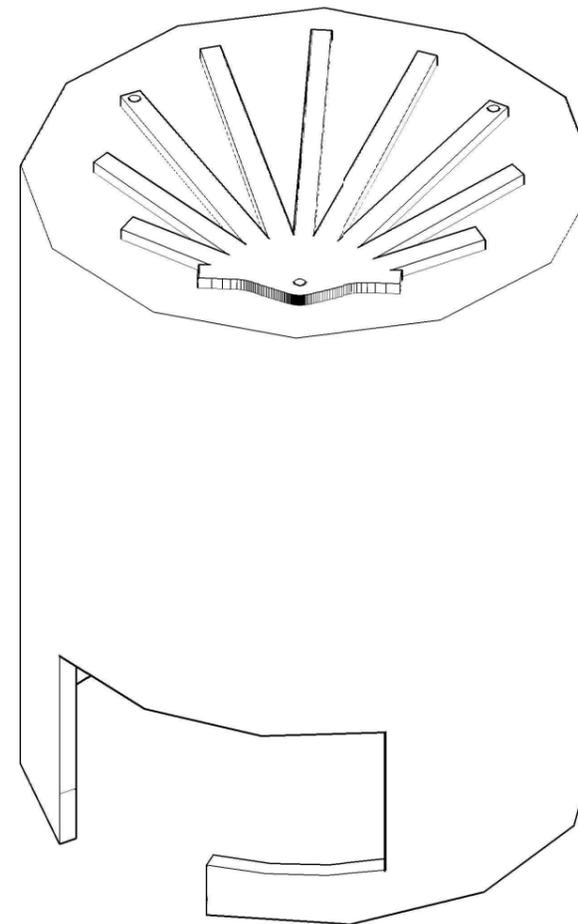
DRZ-03-07.04



Maßstab	1:1
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

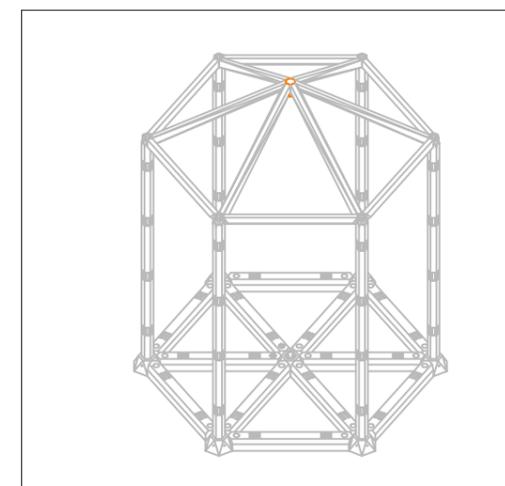
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

**Verbindungen
Schlussstein**

Plannummer

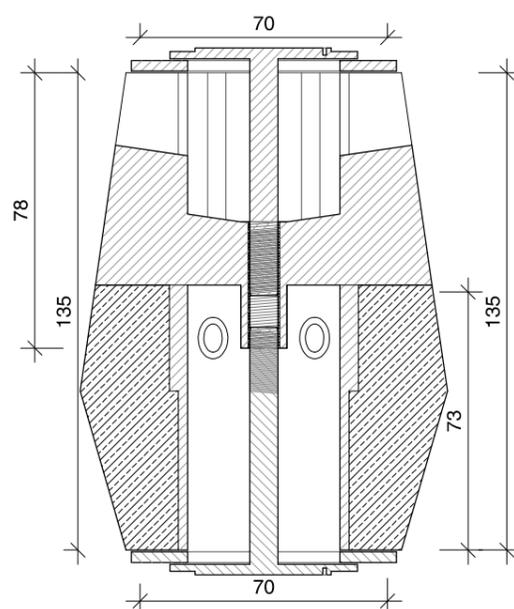
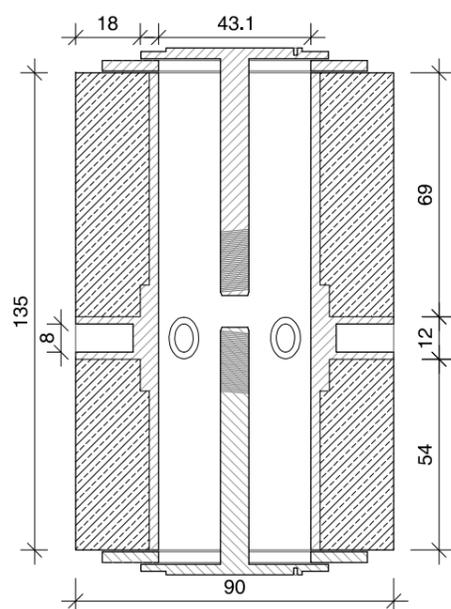
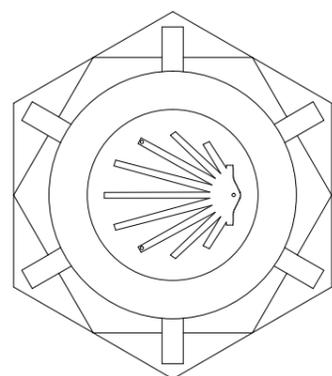
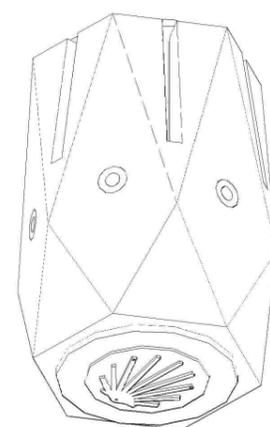
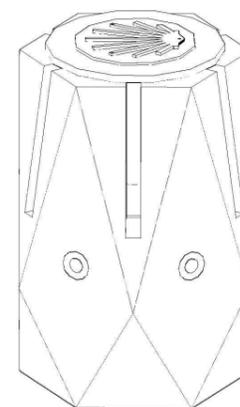
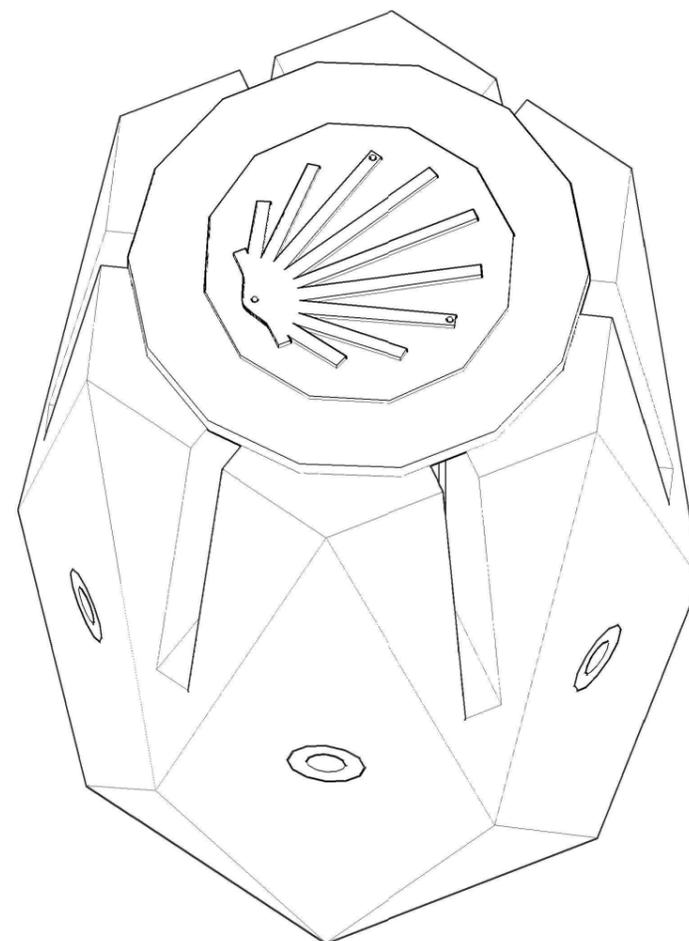
DRZ-03-07.05



Maßstab	1:2
Datum	19.05.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

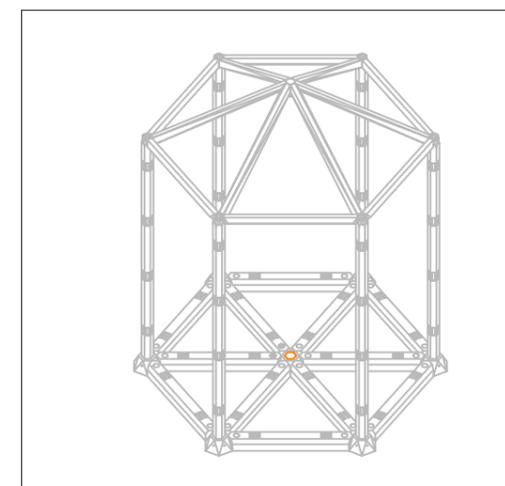
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Verbindungen
Verschluss Köcher

Plannummer

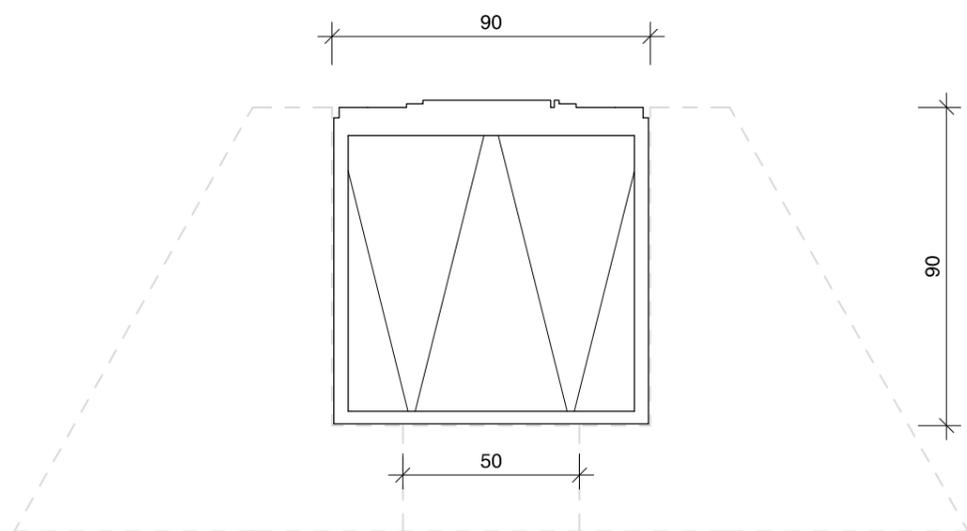
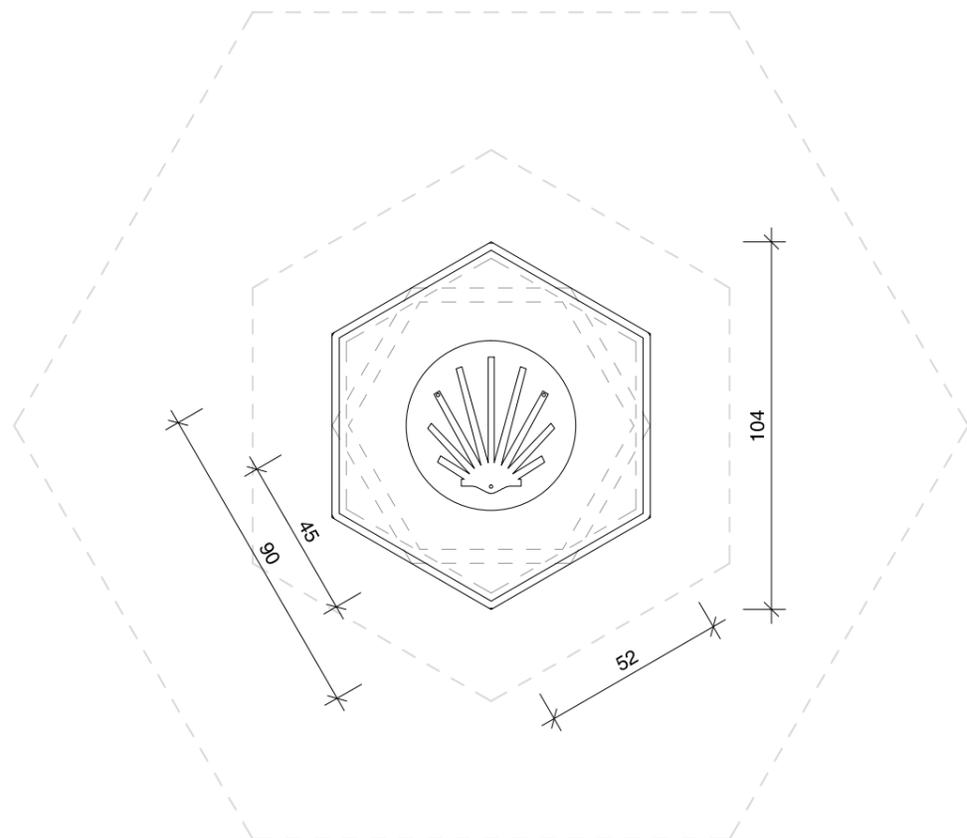
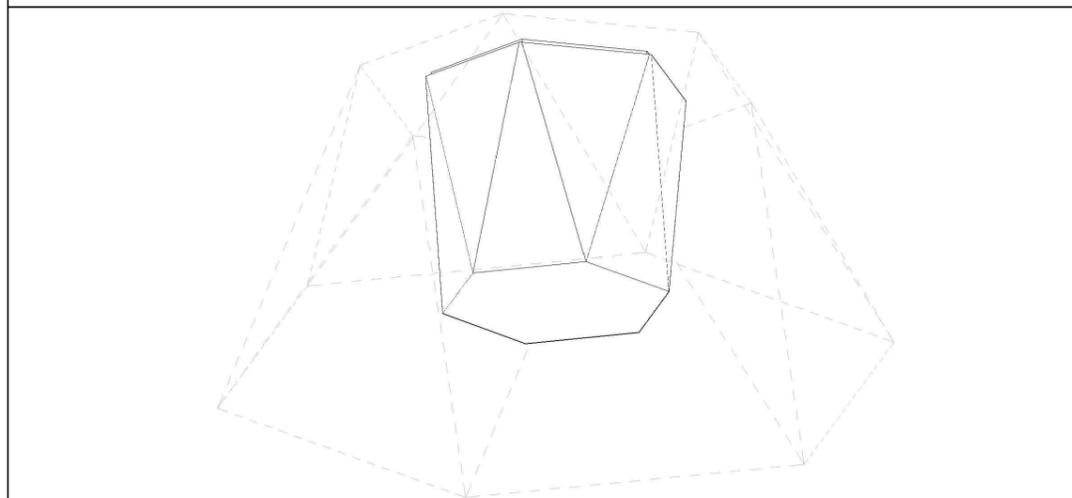
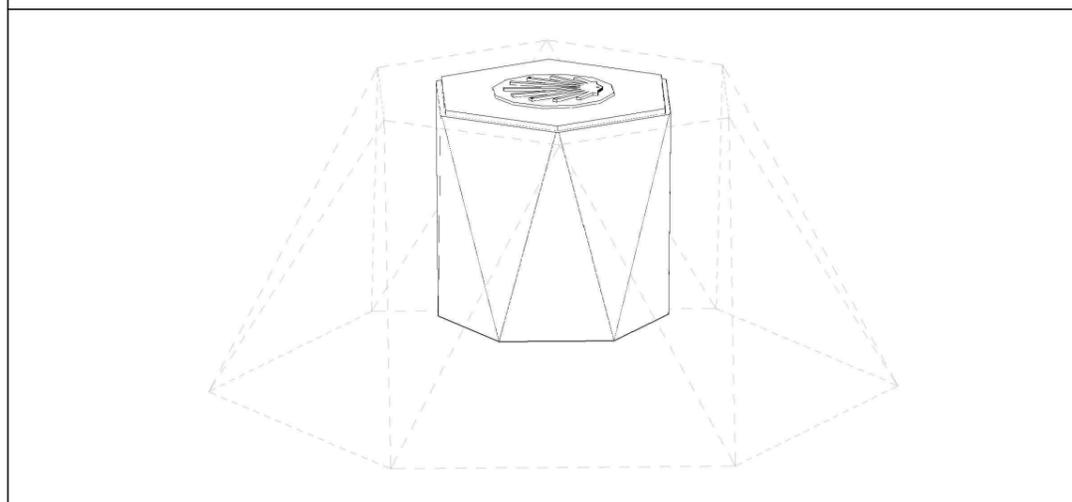
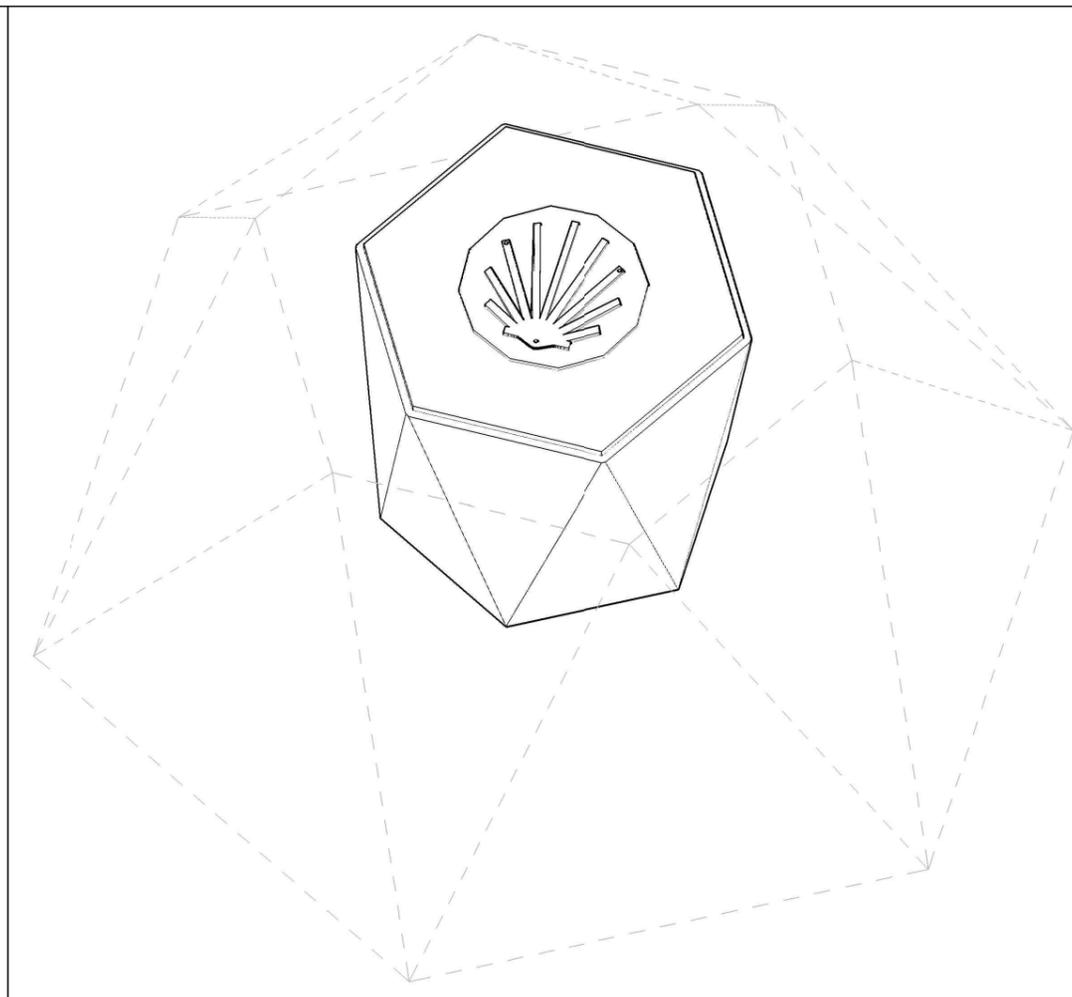
DRZ-03-07.06



Maßstab	1:2
Datum	17.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

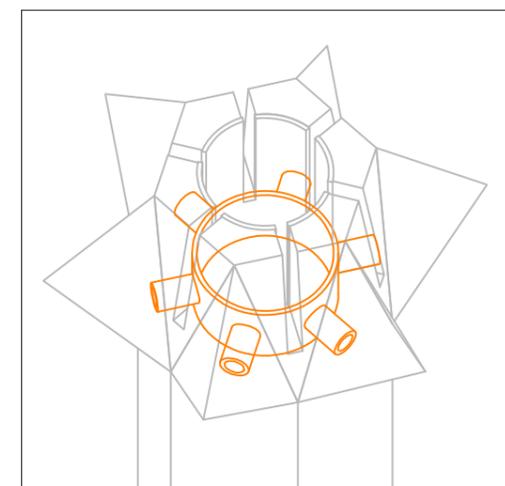
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

**Verbindungen
Anschlussmanschette**

Plannummer

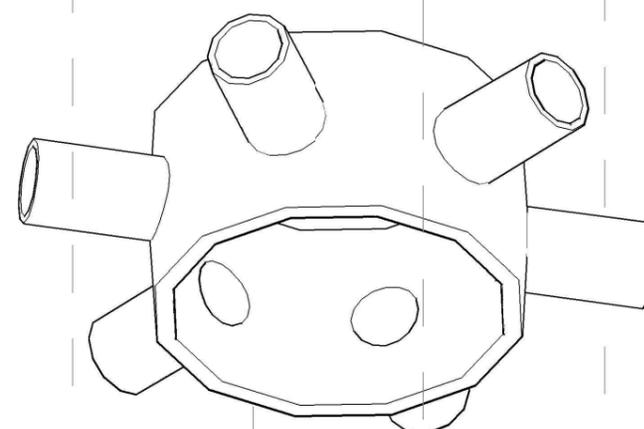
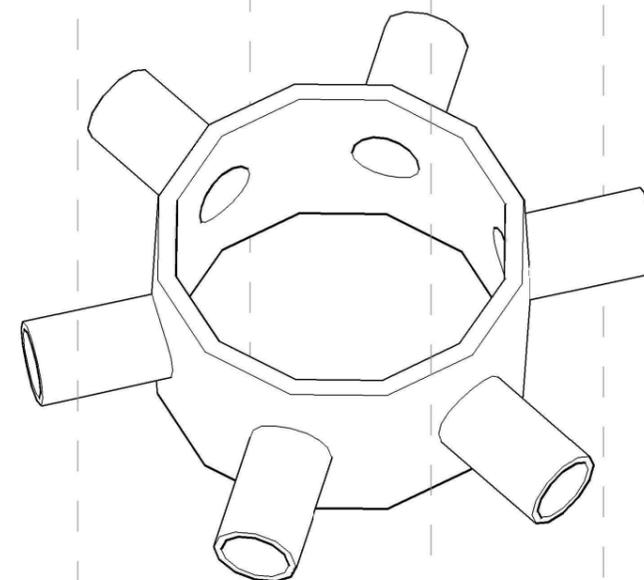
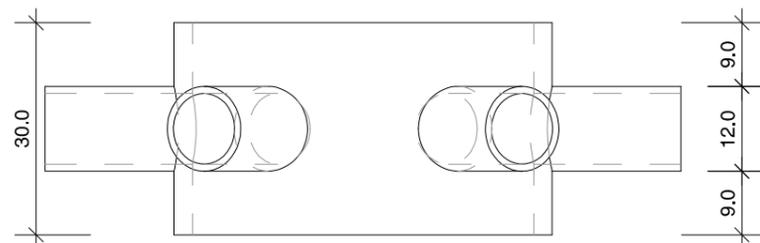
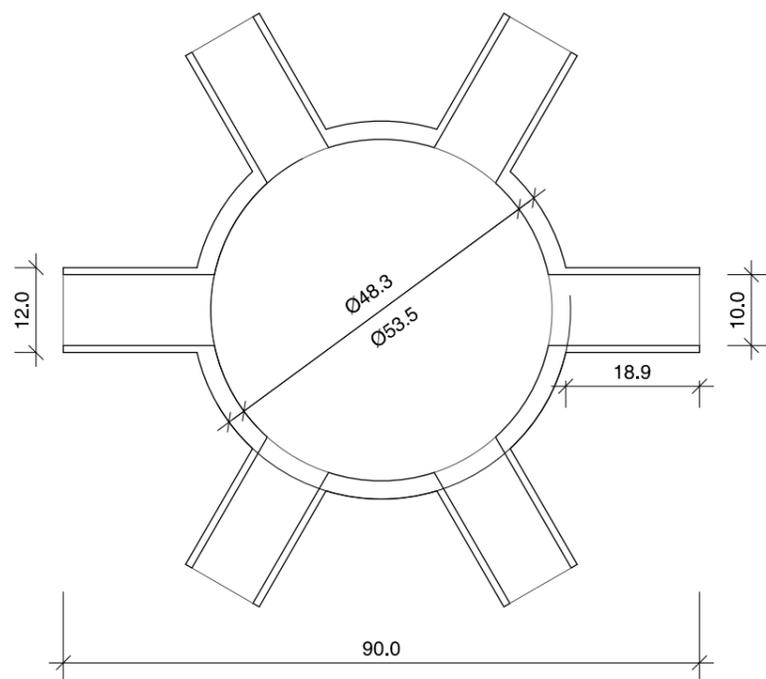
DRZ-03-07.08



Maßstab	1:1
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

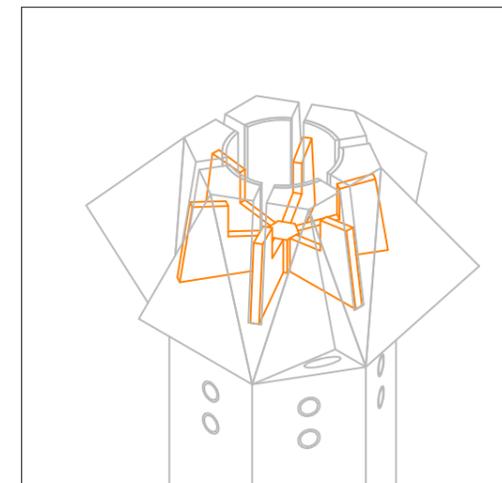
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

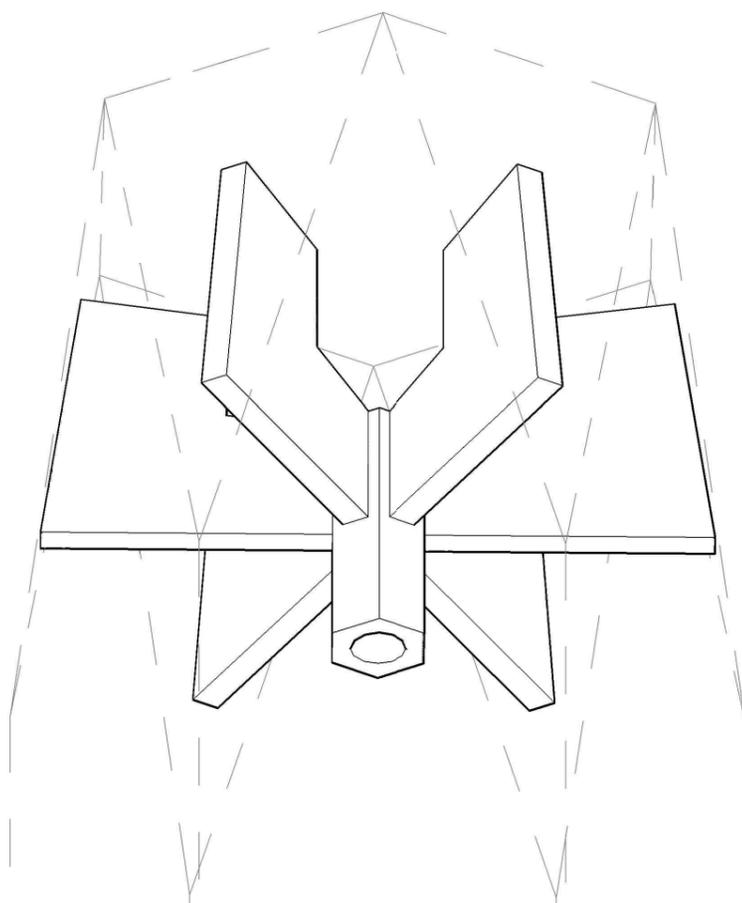
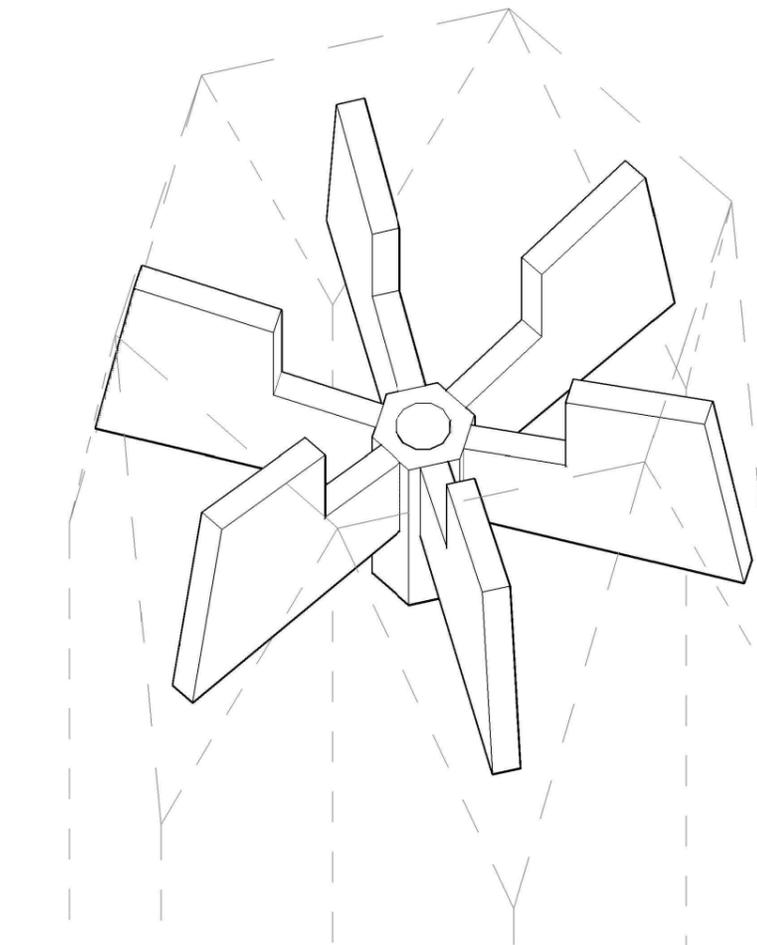
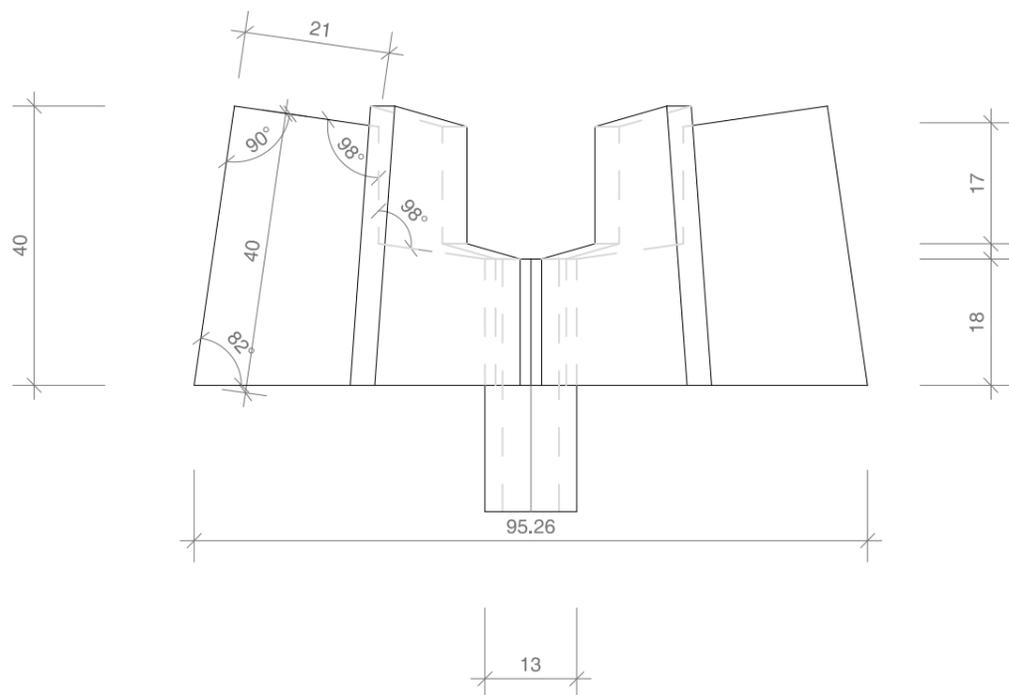
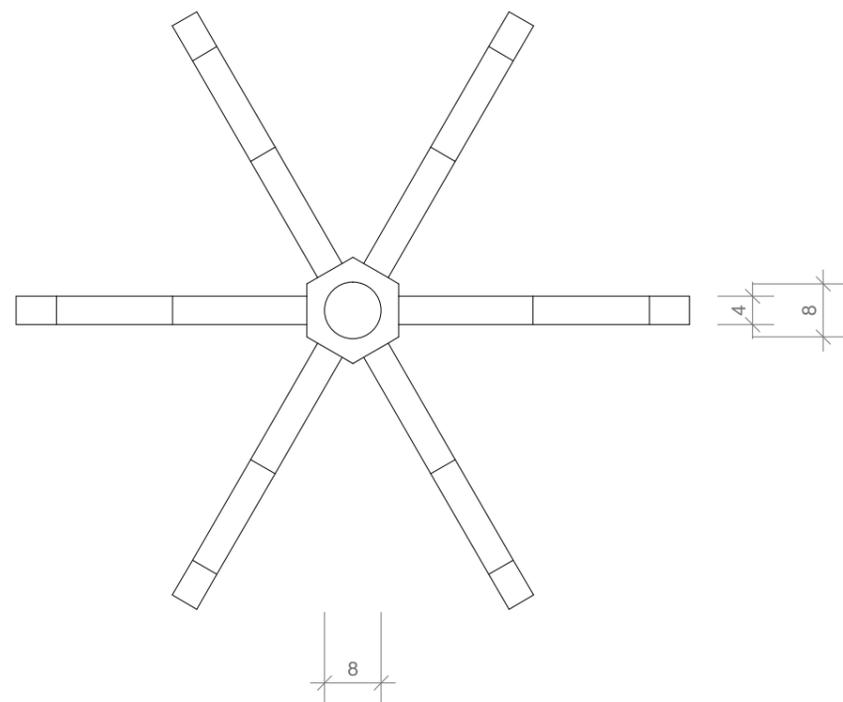
**Verbindungen
 Widerlager Träger**

Plannummer
DRZ-03-07.09



Maßstab	1:1
Datum	17.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt

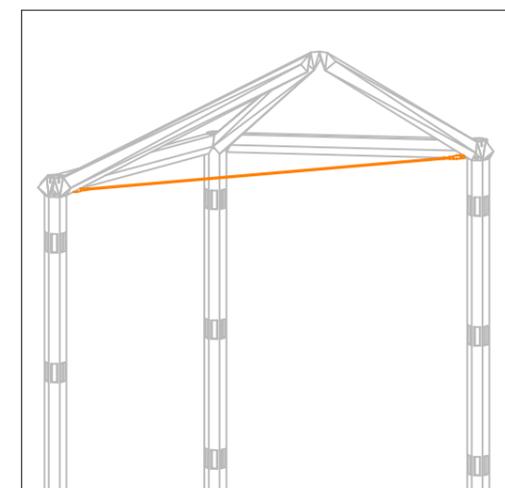
DRZ

Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Verbindungen Anschluss Zugseil

Plannummer

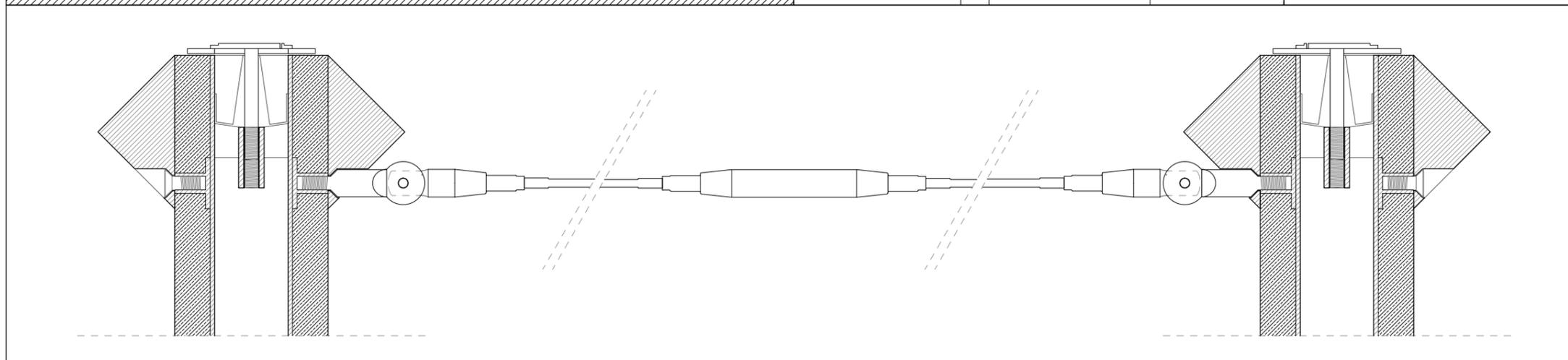
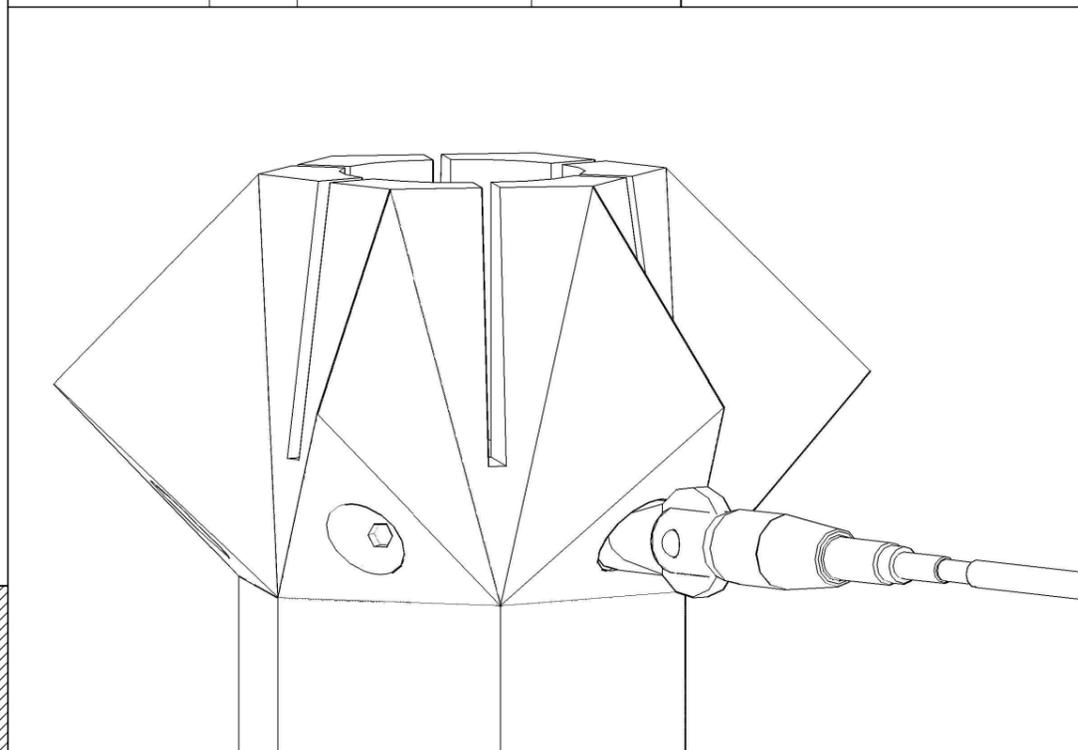
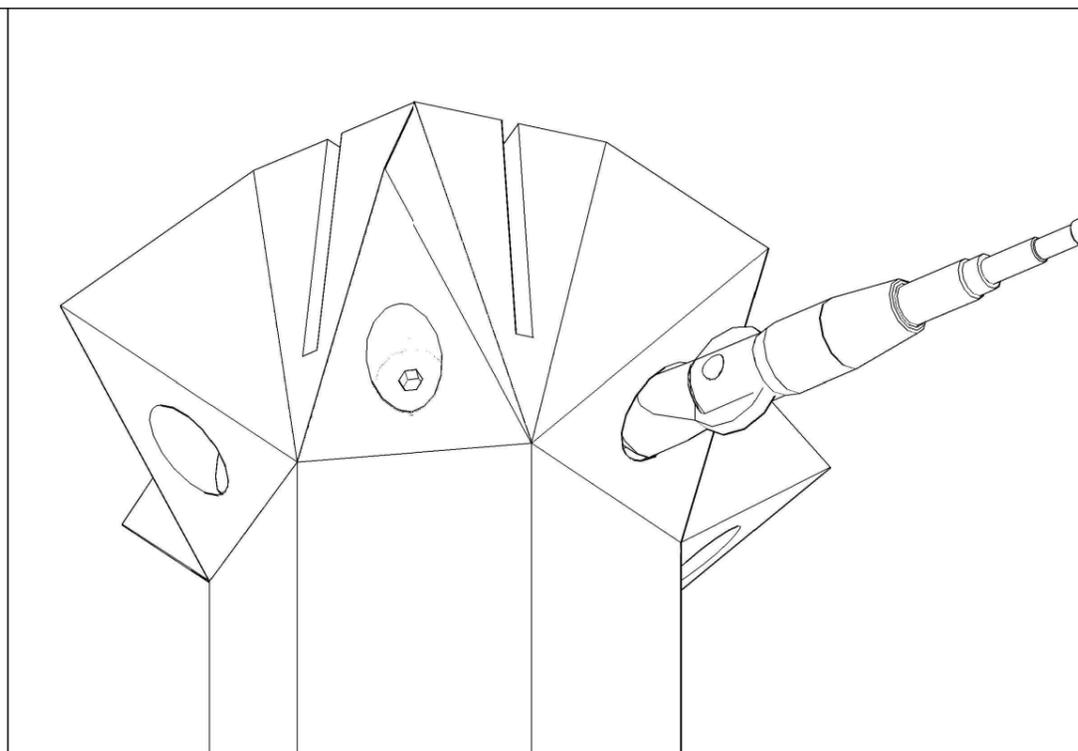
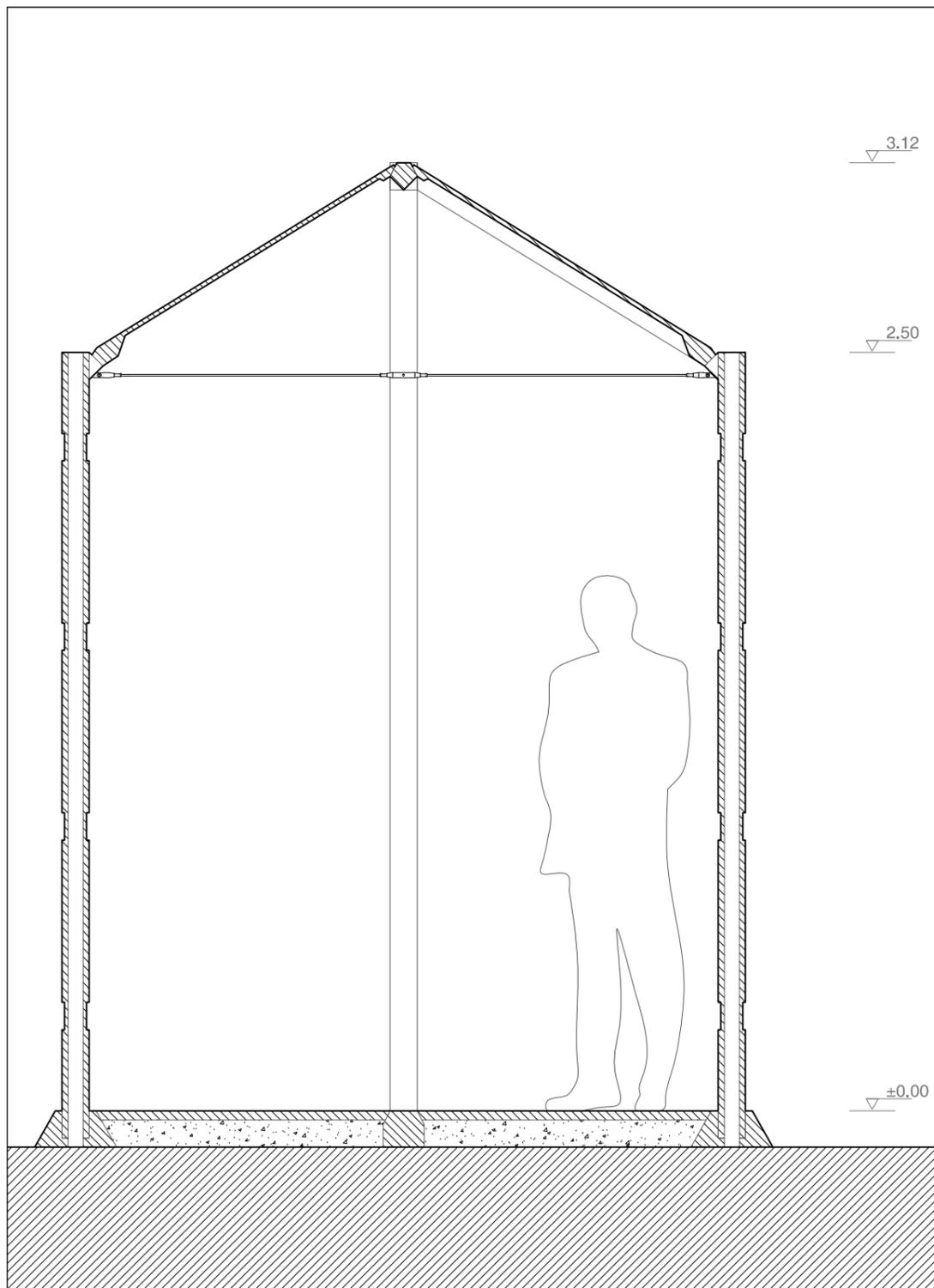
DRZ-03-07.10



Maßstab	1:20 / 1:3
Datum	19.05.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

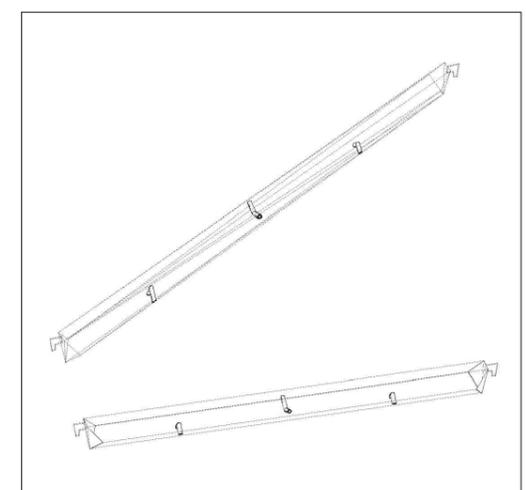
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Verbindungen
Träger - Paneel

Plannummer
DRZ-03-07.11



Maßstab	1:1
Datum	07.07.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Träger 1

Träger 1

Träger 1

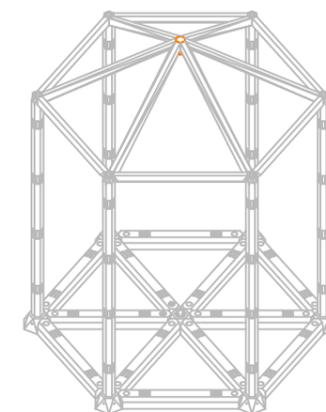
Träger 2

Träger 2

Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

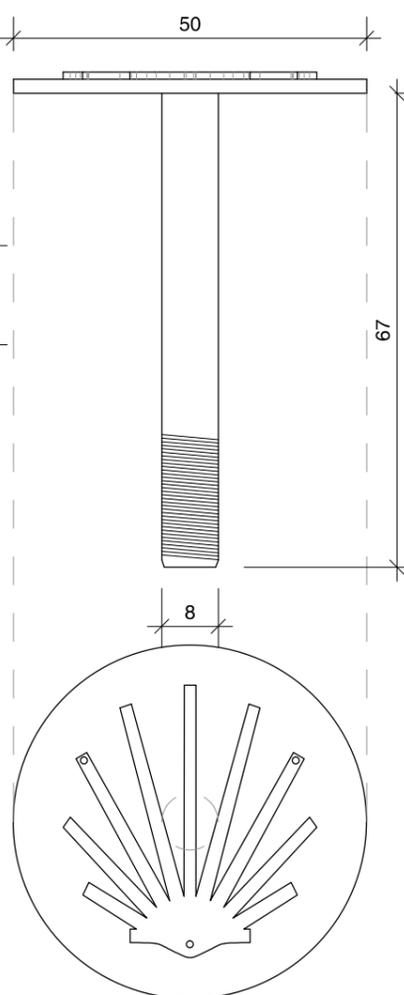
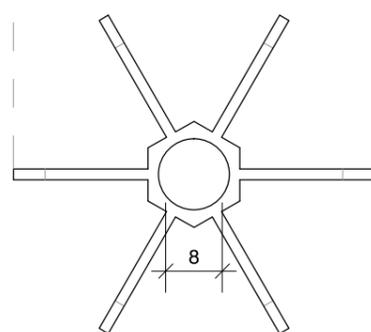
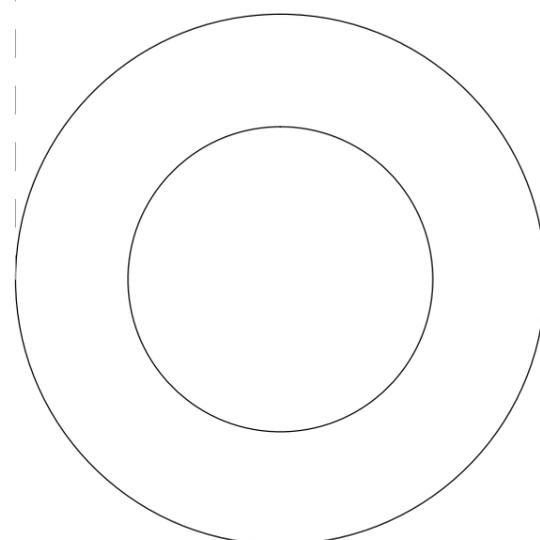
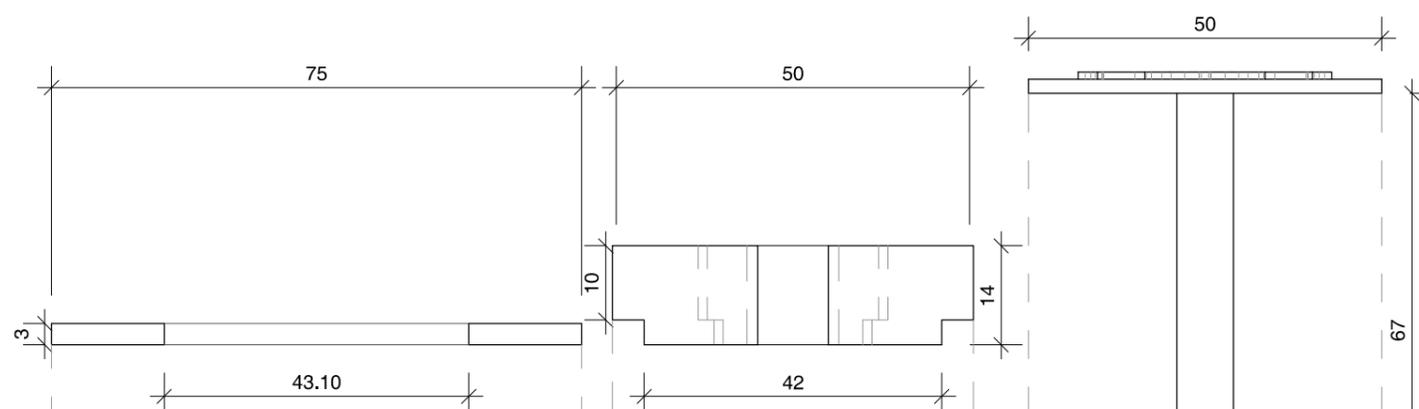
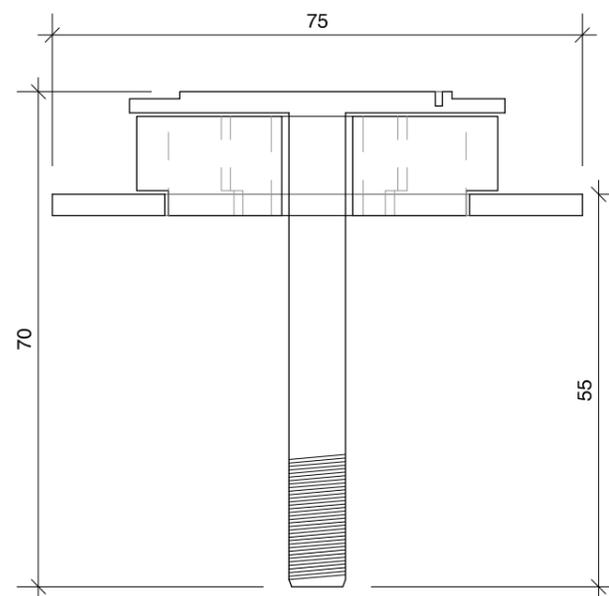
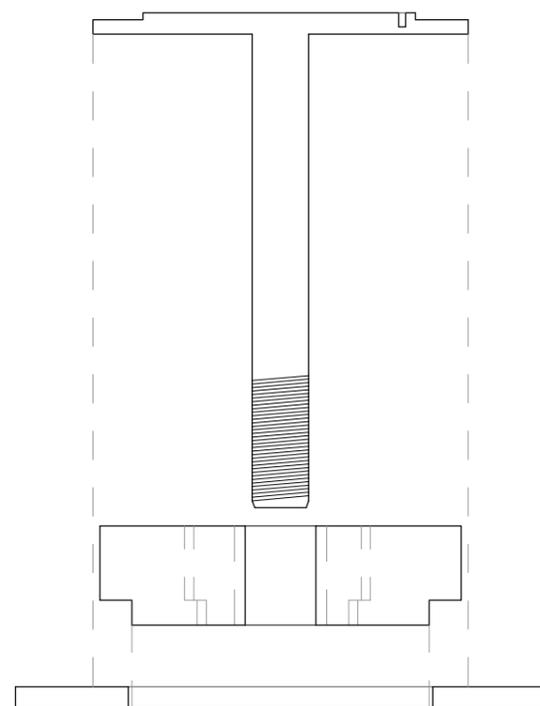
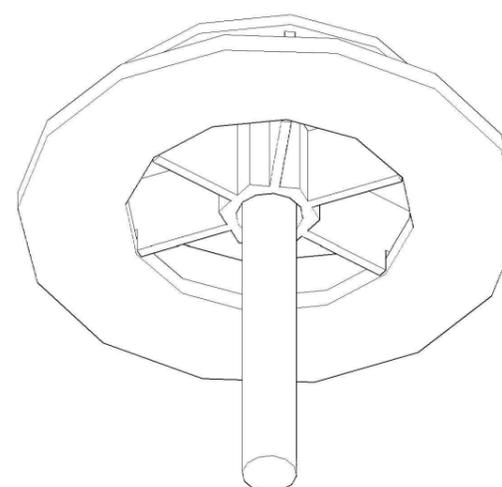
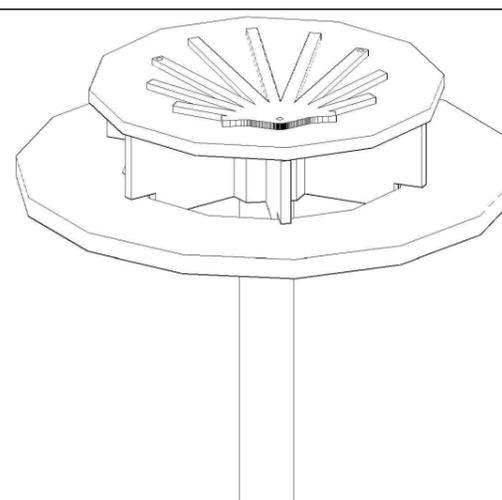
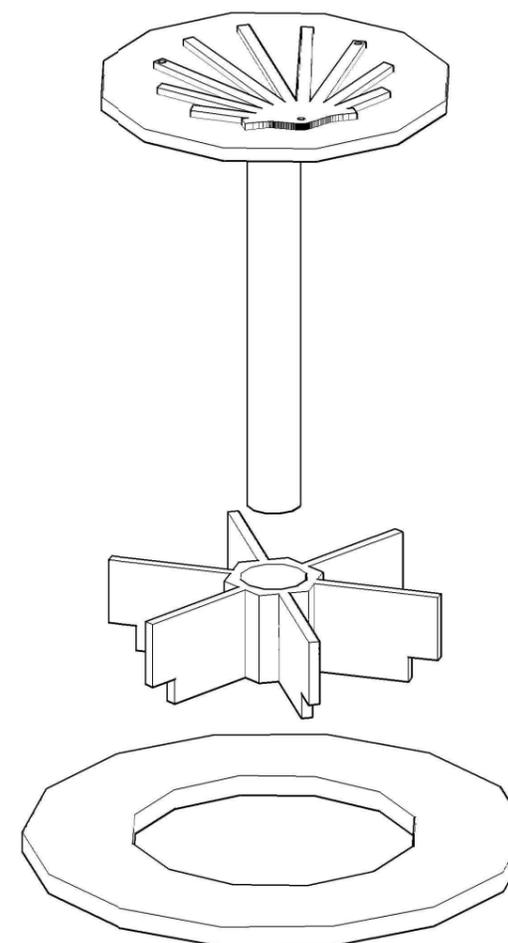
Zierkappe Stütze

Plannummer
DRZ-03-07.12

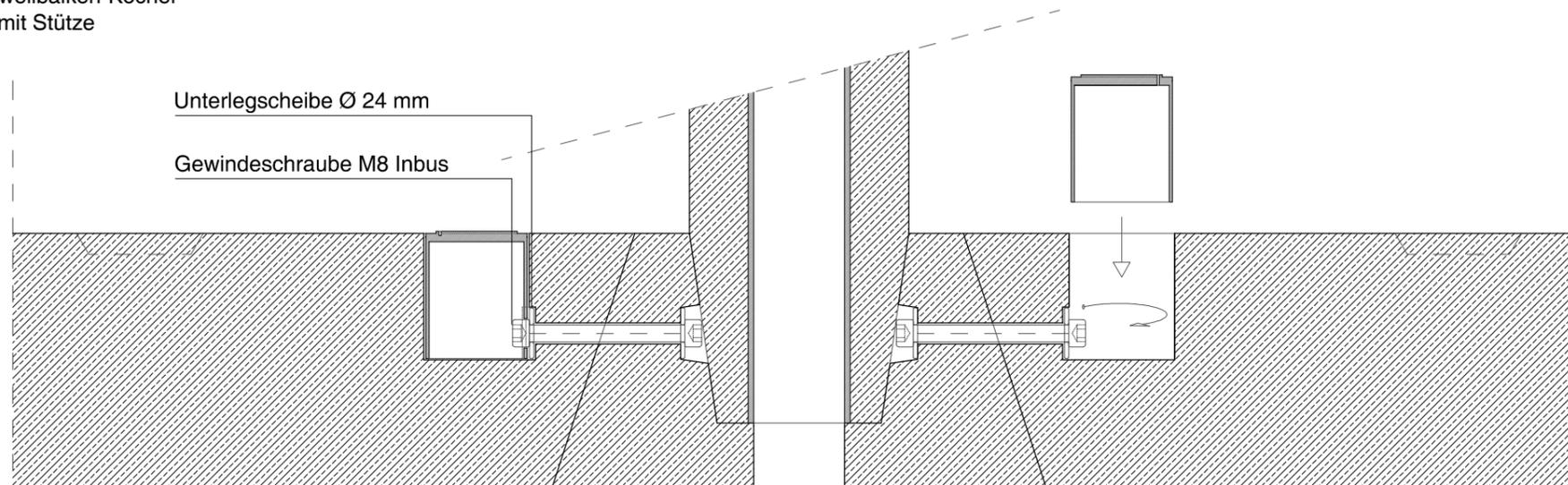


Maßstab	1:2
Datum	19.05.2014
Gezeichnet	DMS
Index	-

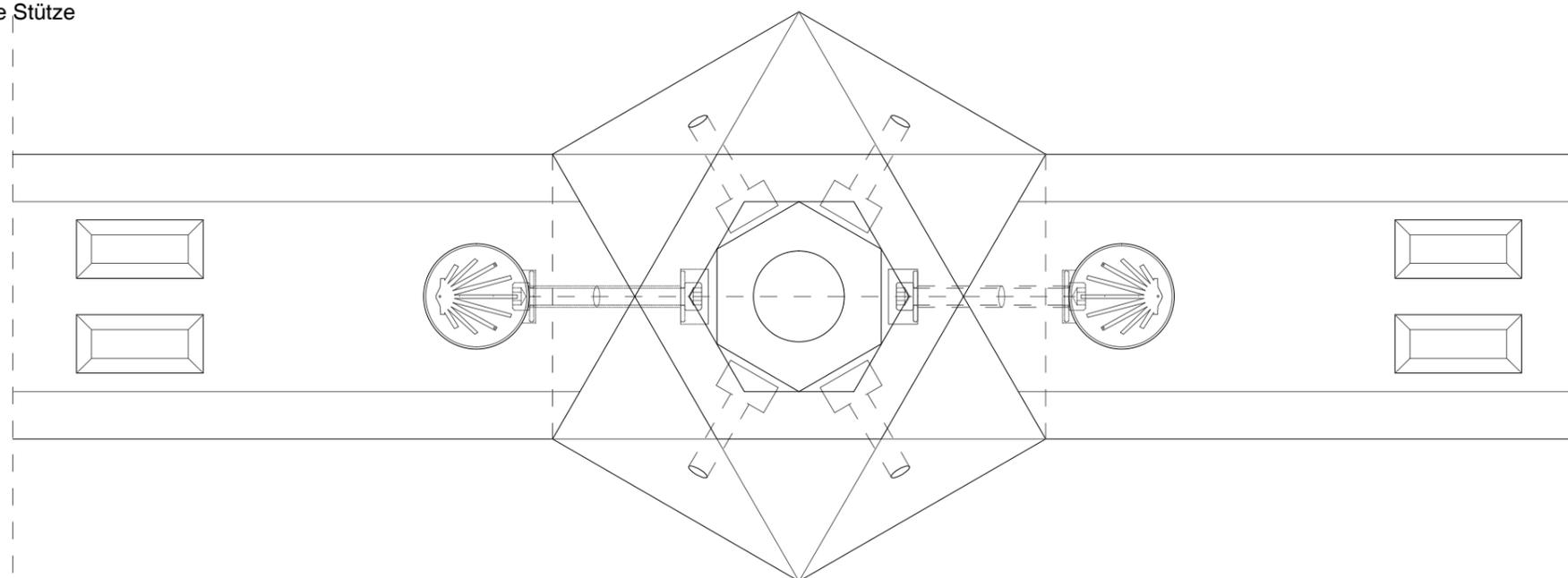
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



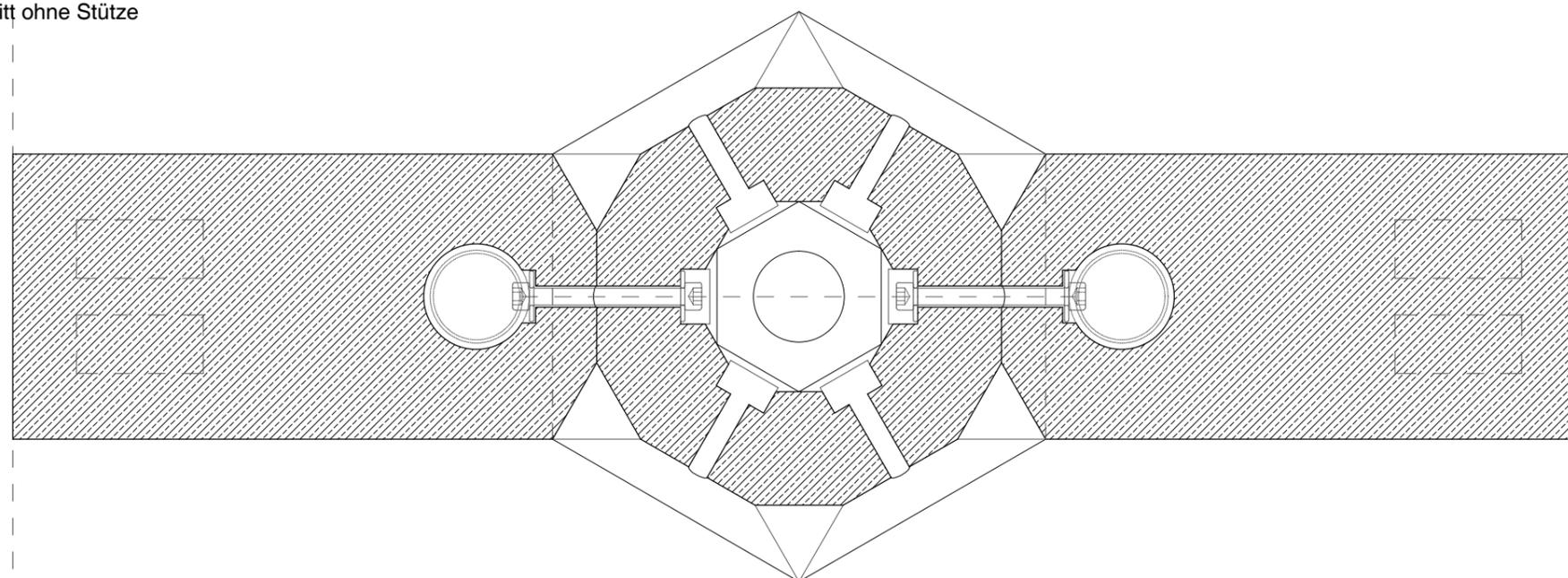
Anschluss Schwellbalken-Köcher
Vertikalschnitt mit Stütze



Draufsicht ohne Stütze



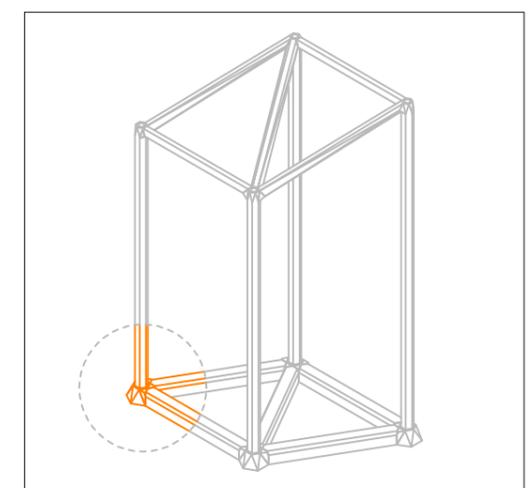
Horizontalschnitt ohne Stütze



Forschungsprojekt
DRZ
Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Details 01

Plannummer
DRZ-03-400-01



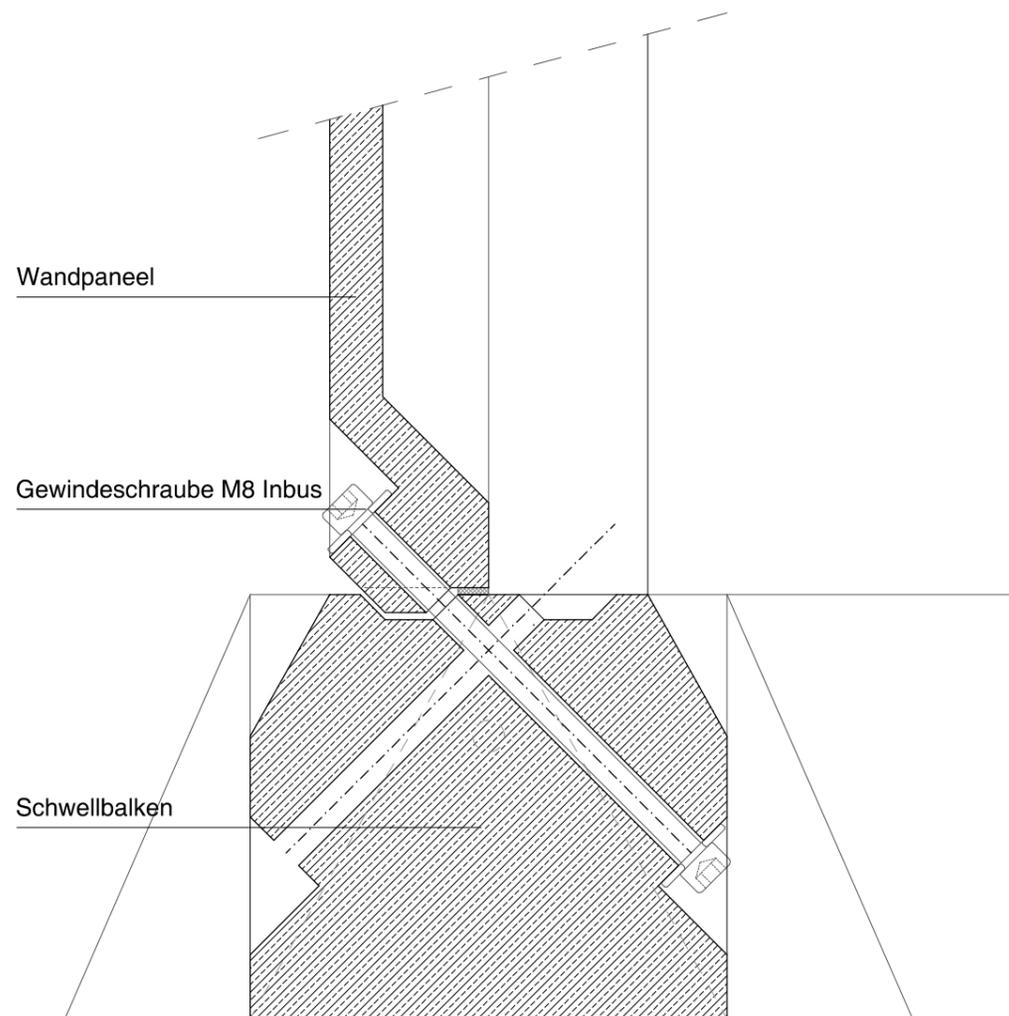
Maßstab	1:3
Datum	24.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

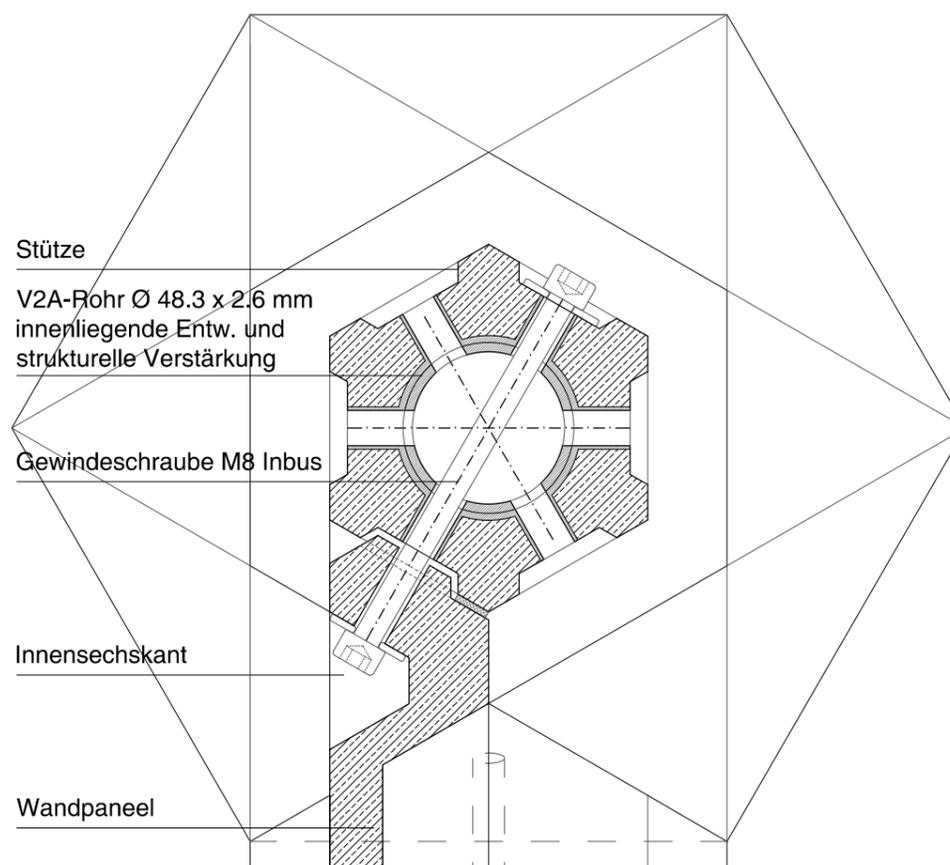
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Anschluss Wandpaneel-Schwellbalken
Vertikalschnitt



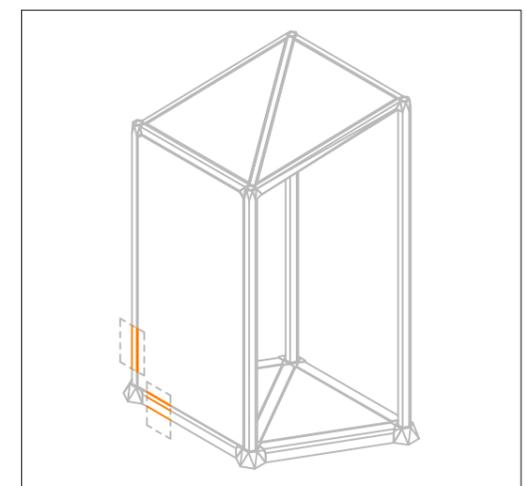
Anschluss
Wandpaneel-
Stütze
Horizontal-
schnitt



Forschungsprojekt
DRZ
Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Details 02

Plannummer
DRZ-03-400-02



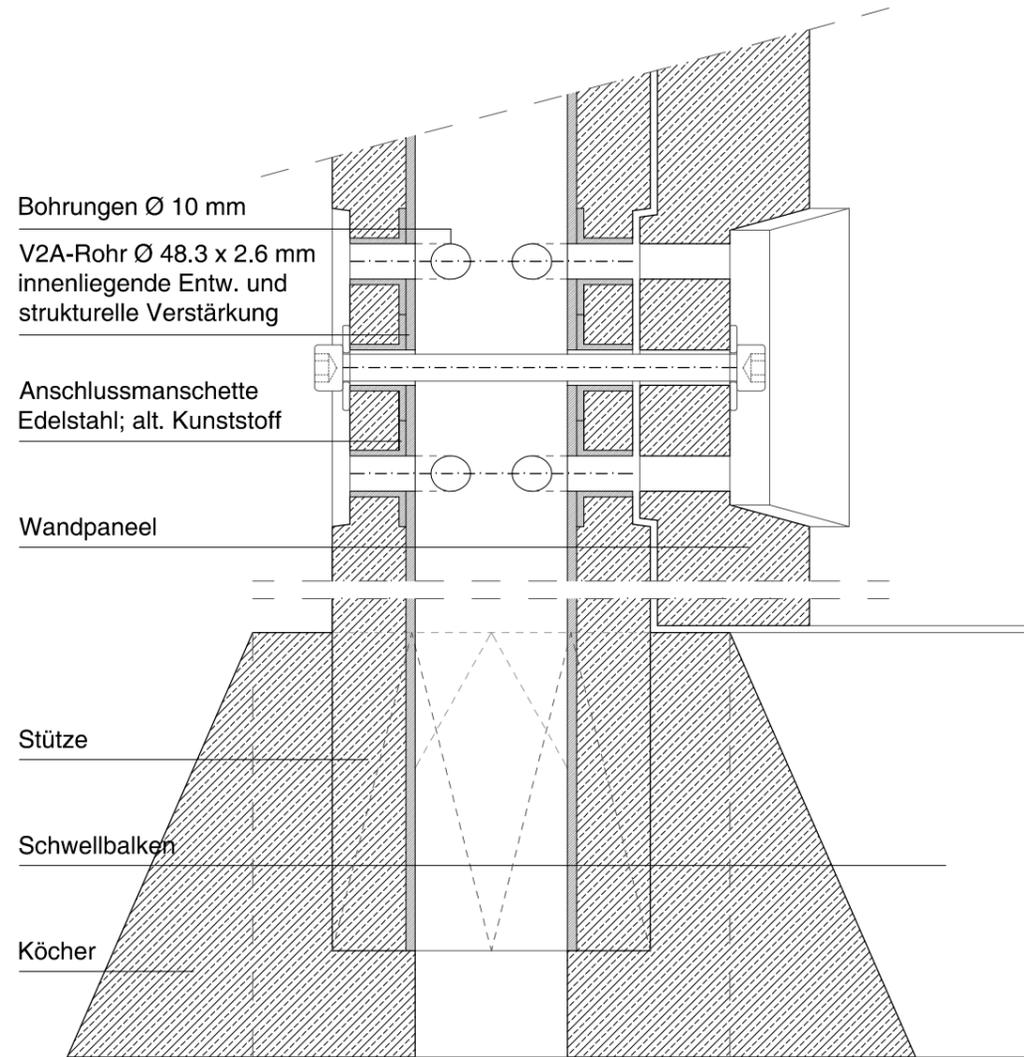
Maßstab	1:2
Datum	24.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

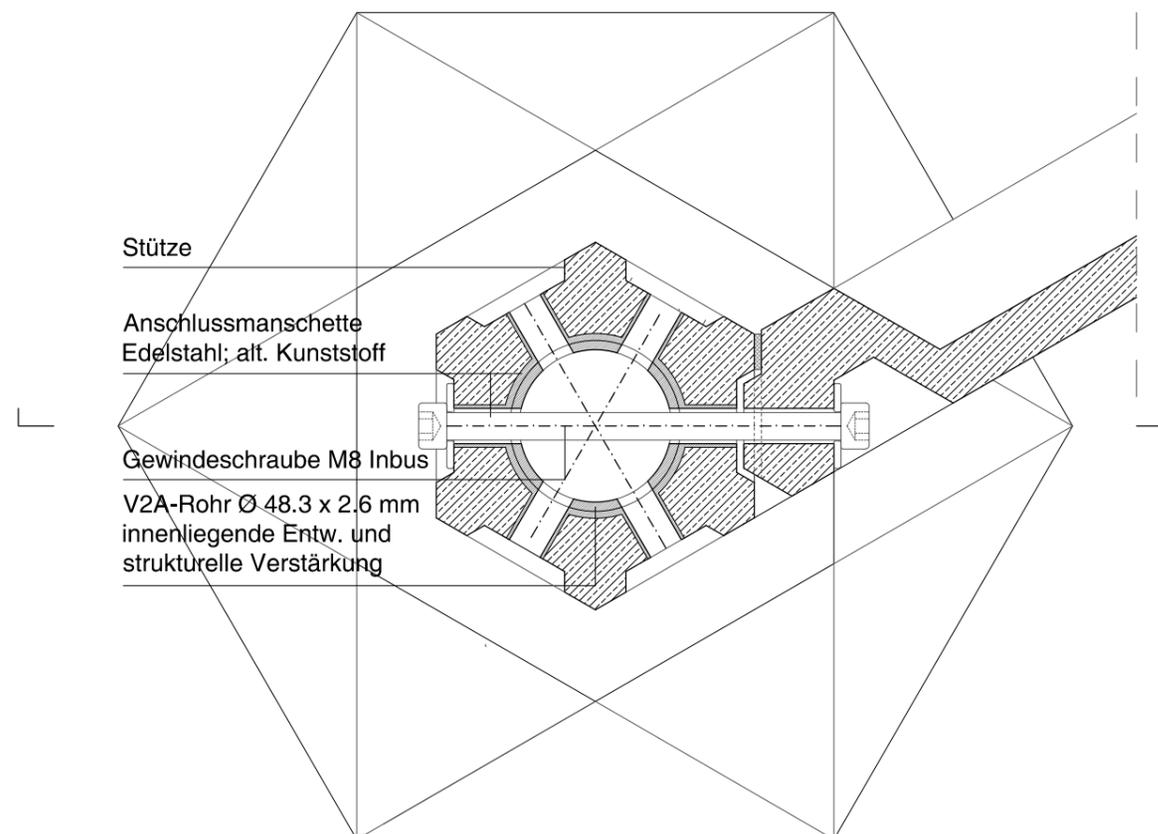
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Anschluss Wandpaneel-Stütze
Vertikalschnitt



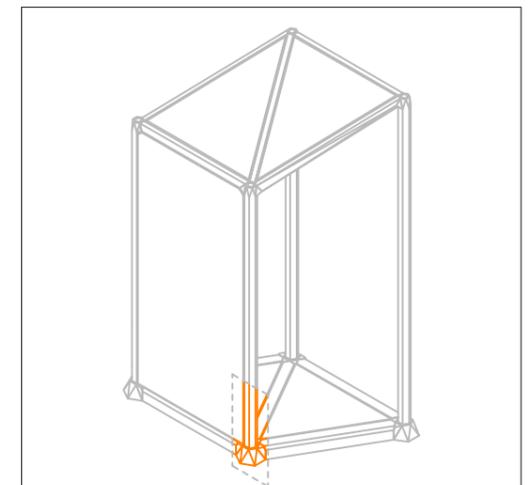
Horizontalschnitt



Forschungsprojekt
DRZ
Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
Technische Universität Kaiserslautern

Details 03

Plannummer
DRZ-03-400-03



Maßstab	1:2
Datum	24.06.2014
Gezeichnet	DMS
Index	b

Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion

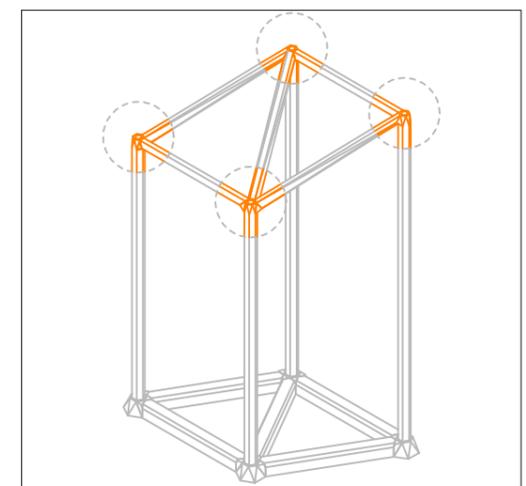
Fachbereich Architektur
Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Details 04

Plannummer
DRZ-03-400-04



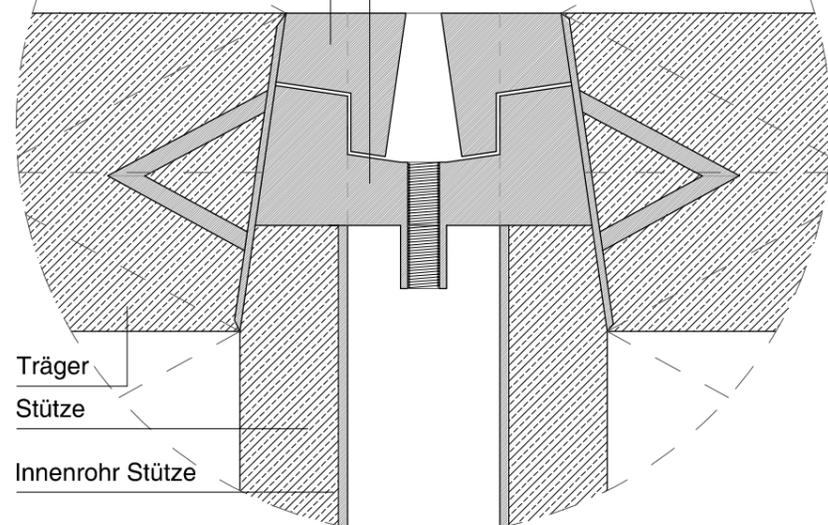
Maßstab	1:2
Datum	19.05.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Vertikalschnitt Anschluss
 Träger horizontal

Wiederlager Träger
 Hakenplatten

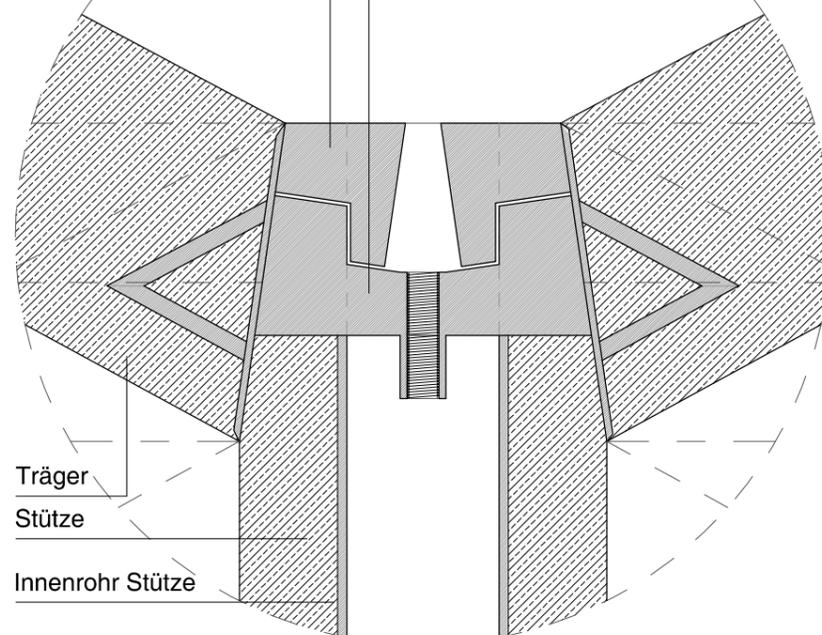


Träger
 Stütze

Innenrohr Stütze

Vertikalschnitt Anschluss
 Träger geneigt

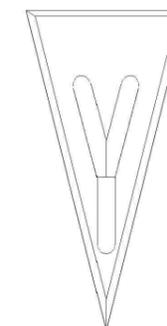
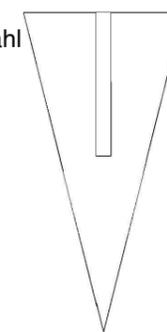
Wiederlager Träger
 Hakenplatten



Träger
 Stütze

Innenrohr Stütze

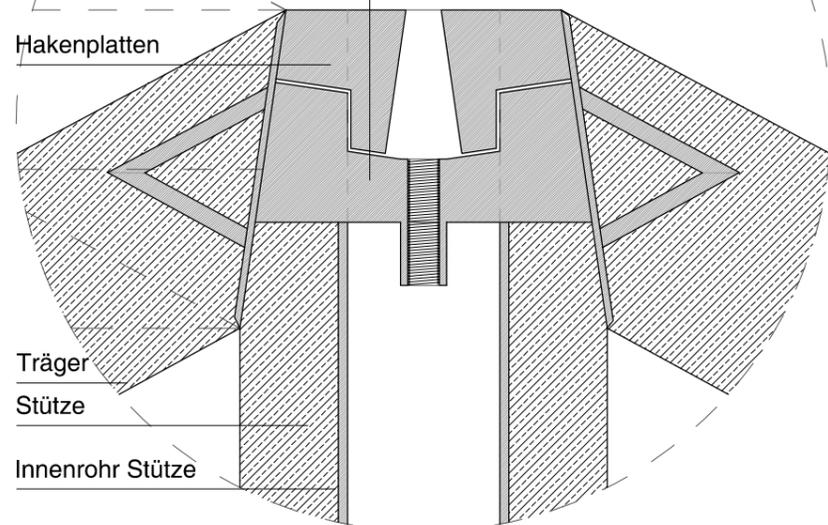
Haken
 aus Stahl



Vertikalschnitt Anschluss
 Träger geneigt

Wiederlager Träger

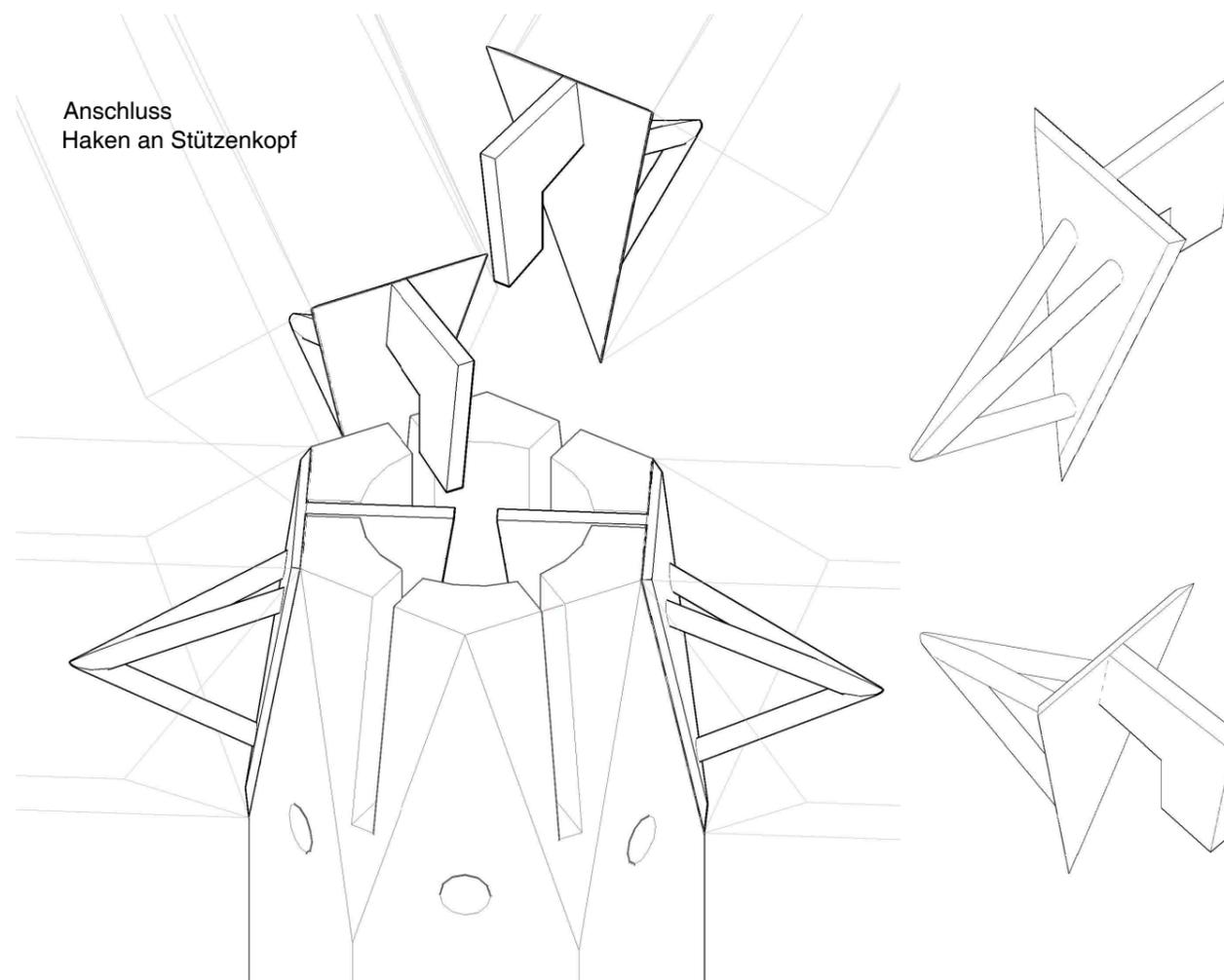
Hakenplatten



Träger
 Stütze

Innenrohr Stütze

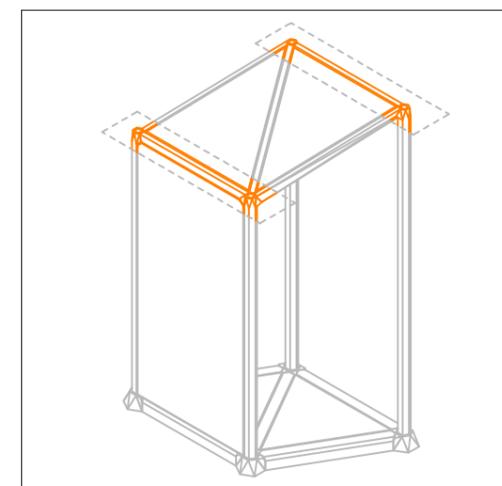
Anschluss
 Haken an Stützenkopf



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Details 05a

Plannummer
DRZ-03-400-05a



Maßstab	1:2
Datum	19.05.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Vertikalschnitt Anschluss
 an Träger

Dachpaneel 1

Schraube
 M8 - 40mm
 Schraube
 M8 - 40mm

Dachpaneel 2

Träger horizontal
 Rundstab Messing Ø 10 mm
 Innengewinde M8

Vertikalschnitt Anschluss
 an Träger

Dachpaneel 1

Schraube
 M8 - 40mm

Träger horizontal

Messing Ø 10 mm
 Innengewinde M8

Wandpaneel

Vertikalschnitt Anschluss
 an Träger

Dachpaneel 1

Träger horizontal

Dachpaneel 2

Schraube
 M8 - 40mm
 Messing Ø 10 mm
 Innengewinde M8

Wandpaneel

Vertikalschnitt Anschluss
 an Träger

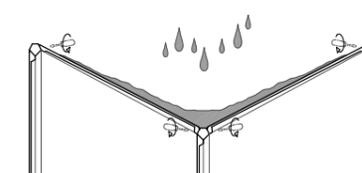
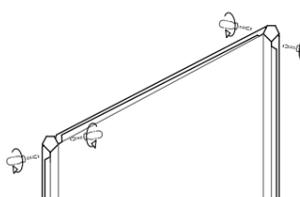
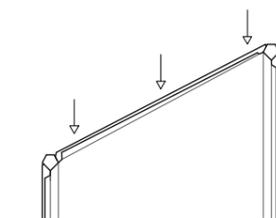
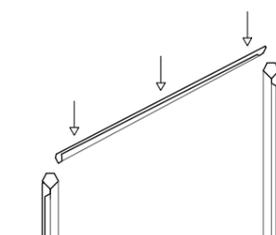
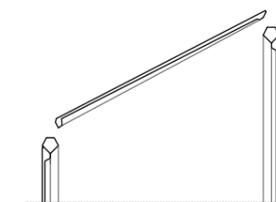
Dachpaneel 1

Schraube
 M8 - 40mm
 Schraube
 M8 - 40mm

Träger horizontal

Messing Ø 10 mm
 Innengewinde M8

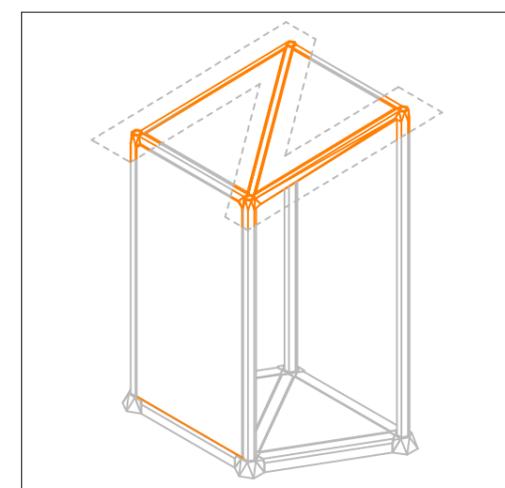
Wandpaneel



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

Details 05b

Plannummer
DRZ-03-400-05b

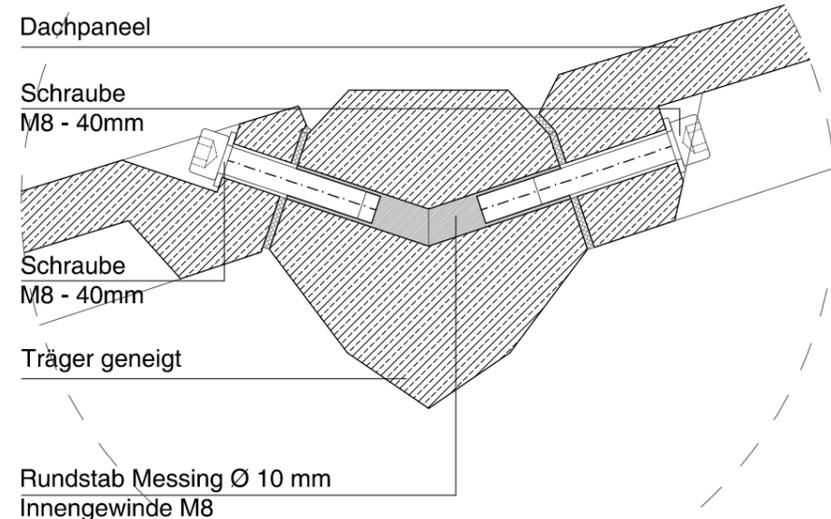


Maßstab	1:2
Datum	19.05.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

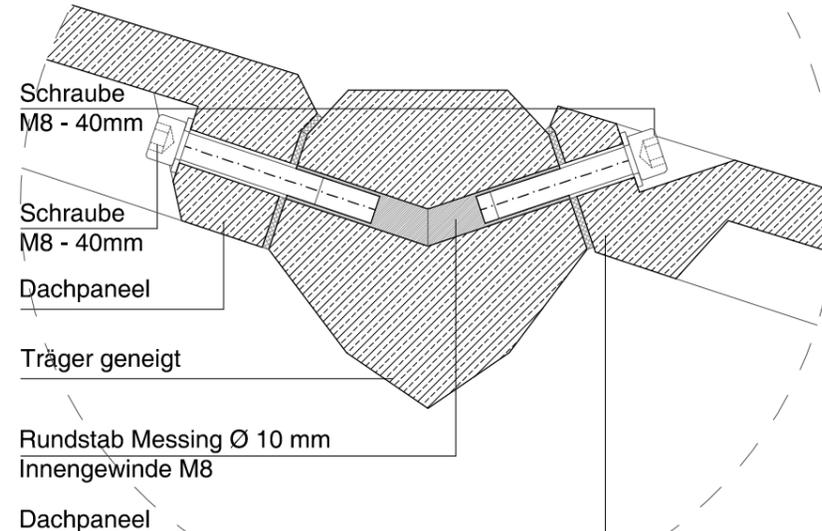
Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



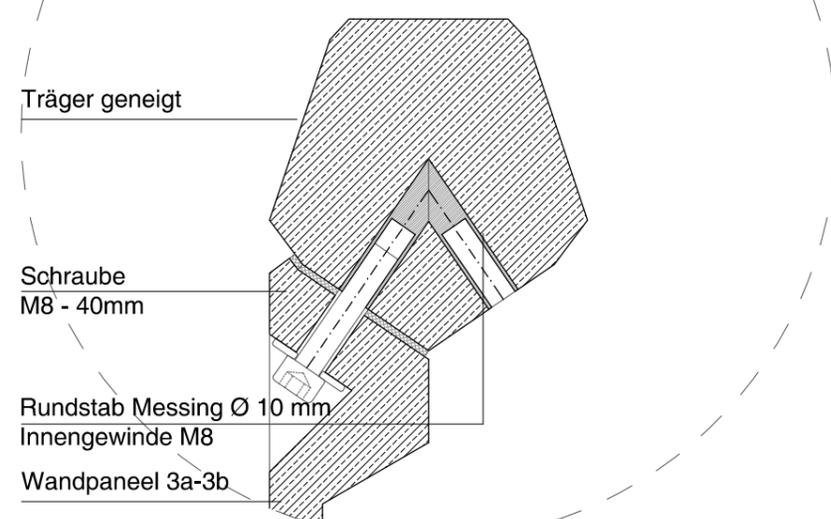
Vertikalschnitt Anschluss
 an Träger



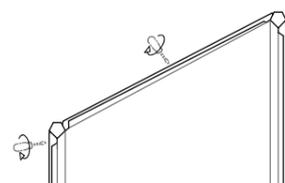
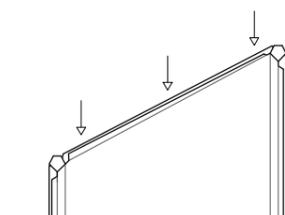
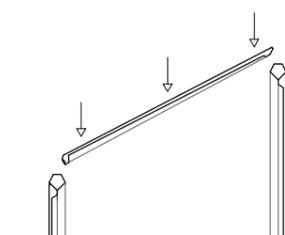
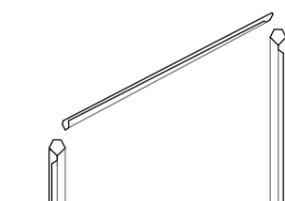
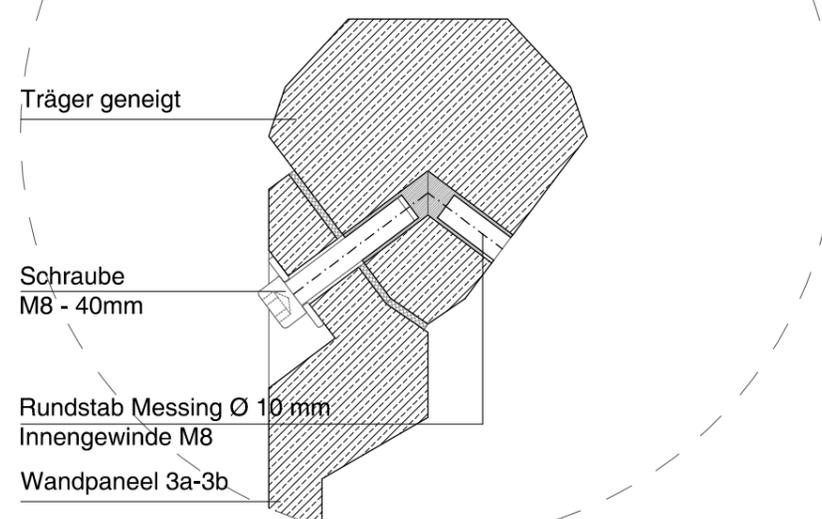
Vertikalschnitt Anschluss
 an Träger



Schnitt Anschluss
 an Träger



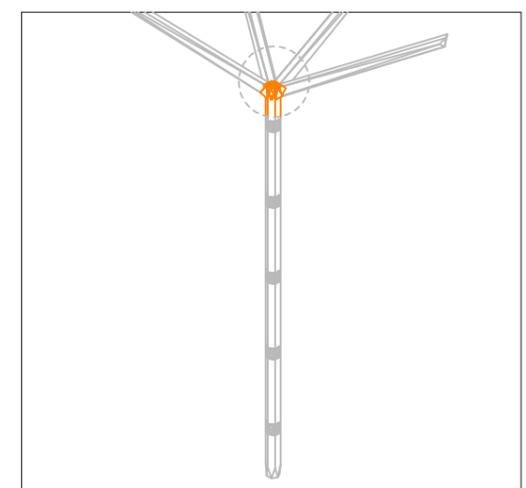
Schnitt Anschluss
 an Träger



Forschungsprojekt
DRZ
 Raumzellen aus UHPC mit lösbaren Verbindungen
 Technische Universität Kaiserslautern

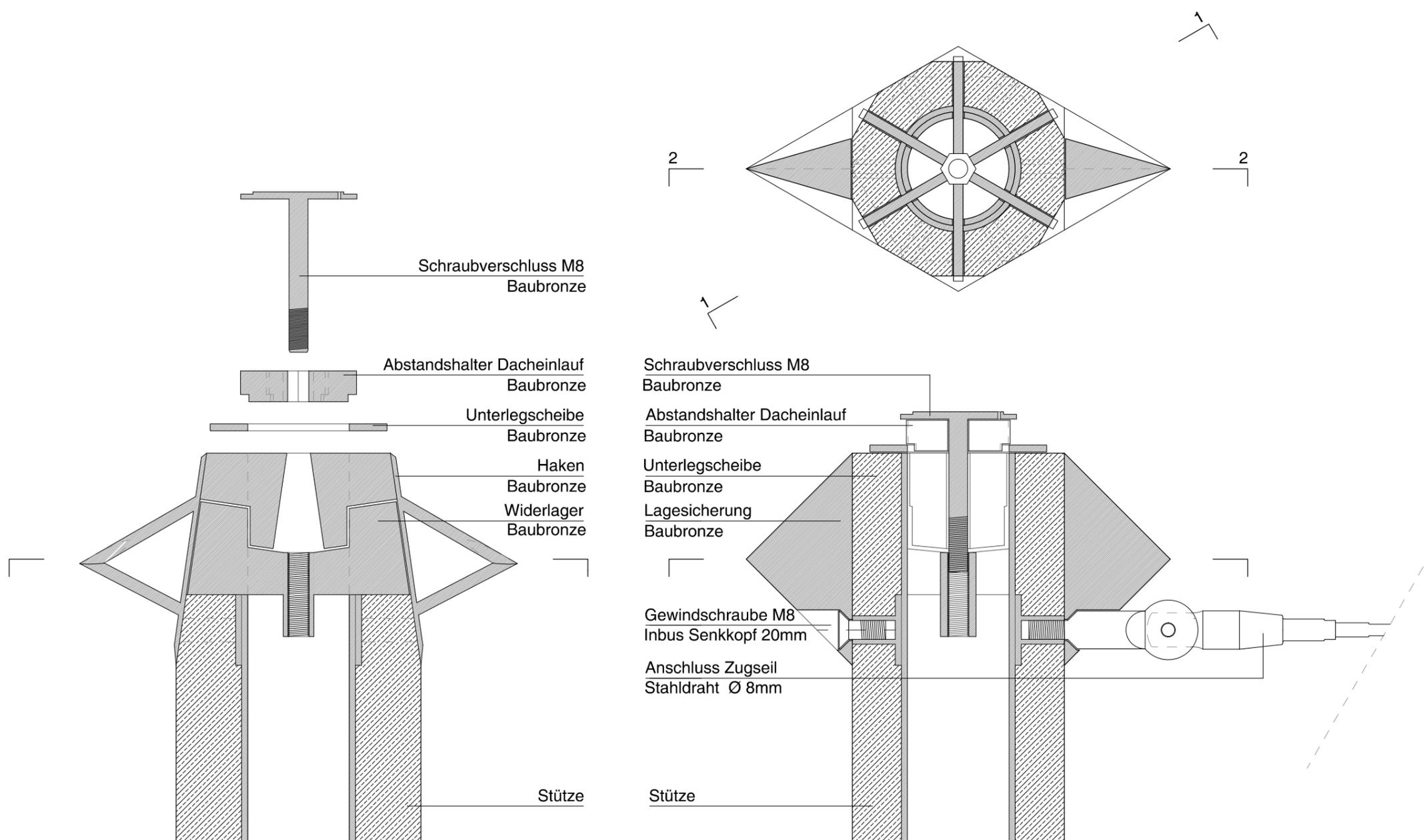
Details 06

Plannummer
DRZ-03-400-06



Maßstab	1:2
Datum	19.05.2014
Gezeichnet	DMS
Index	a

Fachbereich Bauingenieurwesen
 Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
 Fachbereich Architektur
 Fachgebiet Methodik des Entwerfens und Entwerfen



Schraubverschluss M8
 Baubronze

Abstandshalter Dacheinlauf
 Baubronze

Unterlegscheibe
 Baubronze

Haken
 Baubronze

Widerlager
 Baubronze

Stütze

Schnitt 1

Schraubverschluss M8
 Baubronze

Abstandshalter Dacheinlauf
 Baubronze

Unterlegscheibe
 Baubronze

Lagesicherung
 Baubronze

Gewindschraube M8
 Inbus Senkkopf 20mm

Anschluss Zugseil
 Stahldraht Ø 8mm

Stütze

Schnitt 2