



Form follows Formwork

Textile Schalungen zur
Herstellung von
Fassadenelementen
aus Beton

Beurteilung der Masterarbeit



Studienkennzahl

0	6	6	4	4	3
---	---	---	---	---	---

Matrikelnummer

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Familienname, Vorname(n)	Geburtsdatum
Titel der Diplomarbeit	
lt. TUG-online (hier bitte nichts eintragen)	
Titel der Diplomarbeit (Englisch)	
lt. TUG-online (hier bitte nichts eintragen)	
Betreuer der Masterarbeit	Note

Eva-Maria Walchhofer, BSc.

Form follows Formwork

Textile Schalungen zur Herstellung von
Fassadenelementen aus Beton

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Masterstudium Architektur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Andreas Trummer

Institut für Tragwerksentwurf

Graz, Oktober 2017

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die, den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das, in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument, ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

15.01.2018

Datum

Waldemar Ewald

Unterschrift

Kurzreferat

Unter Witterungseinfluss bleibt Beton viele Jahre fast unverändert. Obwohl nicht sehr häufig verwendet, eignet sich Beton deshalb besonders gut als Fassadenmaterial. Anhand dieser Eigenschaften und mit Überlegungen zum Thema textile Schalungen führte dies zur Entwicklung einer eigenen Reihe von Fassadenelementen in Form von Prototypen. Anhand dieser Prototypen wurden die Methoden der textilen Schalung und die Bedingungen zur Herstellung von Fassadenelementen ausgelotet. Durch das Erstellen von Tischmodellen wird die Oberfläche und die Struktur der späteren Fassade veranschaulicht. Die entwickelten Fassadenelemente werden im weiteren Schritt bewertet, um Befestigungsmöglichkeit zu finden. Resultat daraus ist die Gestaltung zusammenhängender Fassadenflächen.

Abstract

The surface and static structure of concrete remains almost in its initial state for many decades, even when directly exposed to environmental weather conditions. Nevertheless, concrete is rarely used for facade applications, while its properties would suggest otherwise. On basis of this material characteristics and researches concerning fabric formwork, a small batch of facade prototypes were produced as part of this thesis. The methods of working with fabric formwork and the conditions for the production of facade elements were examined by means of these bench models. Furthermore the prototypes represent the mechanical and visual structure of finished facades. Beyond that, fixation methods for the facade elements, according to their specific properties were developed. The result is the design of a coherent facade surface.

Danksagung

Das Thema für die vorliegende Masterarbeit entstand bei der Recherche zum Thema Textilien. Zusammen mit der Beschäftigung mit Betonbau stieß ich auf studentische Projekte zum Thema textile Schalungen. Diese Projekte motivierten mich meine eigenen Überlegungen zu dieser Materie anzustellen.

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ein besonderer Dank gilt dem Betreuer dieser Arbeit, Herrn Professor Dipl. -Ing. Dr.nat.techn. Andreas Trummer.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Bsc. Joshua Tapley, für seine konstruktive Kritik und die hilfreichen Anregungen zum Thema Fassaden, bedanken.

Meiner Familie und meinem Freund David Gratz danke ich besonders für den starken Rückhalt während meines gesamten Studiums und speziell während dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	2
Kurzreferat	3
Abstract	4
Danksagung	5
Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	11
1 Motivation	15
2 Betonbau	
2.1 Beton	16
2.1.1 Beton der Universal-Baustoff	16
2.1.2 Einfluss der Kombinationen aus Beton und Schalung	18
2.1.3 Oberflächen, Sturkturen und Texturen	20
2.1.4 Richtlinien für Sichtbeton	25
2.2 Betonfassaden	27
3 Geschichte der textilen Schalung	
3.1 Historie und Erfindergeist	32
3.2 Die wichtigsten Begründer der textilen Schalung	34
3.2.1 Gustav Lilienthal (1849 - 1933)	36
3.2.2 James Waller (1884 - 1968)	38
3.2.3 Felix Candela (1910 - 1997)	40
3.2.4 Miguel Fisac (1913 - 2006)	42
3.2.5 Mark West, Rick Fearn und Kenzo Unno	45
3.2.6 Diederik Veenendaal	52
3.2.7 International Society of Fabric Forming	53

4 Prototypen	
4.1 Experimente	54
4.1.1 Sicherheitsausrüstung	55
4.2 Entwicklungen	56
4.2.1 Versuch I	58
4.2.2 Versuch II	63
4.2.3 Versuch III	67
4.2.4 Versuch IV	70
4.2.5 Versuch V	73
4.2.6 Versuch VI	78
4.2.7 Versuch VII	84
4.3 Fazit	89
5 Anwendung der Fassadenbauteile	
5.1 Fassaden und Formen	90
5.2 Konstruktion der Fassaden	96
5.2.1 Hinterlüftete Konstruktion	97
5.2.2 Sandwichkonstruktion	101
5.2.3 Filigranbauteile	106
6 Schlusswort und Ausblick	109
Literaturverzeichnis	110
Abbildungsnachweis	112
Tabellennachweis	115

Abbildungsverzeichnis

Abb.:2.1 Betonoberfläche, hergestellt mit stark saugender textiler Schalung, dadurch blasenfreie Oberfläche	19
Abb.:2.2 Sägeraue, unbehandelte Brettschalung, Detailausschnitt einer fertigen Oberfläche, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung	20
Abb.:2.3 Glatte Schalung, Detailausschnitt einer fertigen Oberfläche mit Stößen und Ankerlöchern, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung	20
Abb.:2.4 Matrizenschalung, Detailausschnitt einer fertigen Oberfläche, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung	22
Abb.:2.5 Stampfbetonoberfläche hergestellt mit eingefärbten Beton, Detailausschnitt, Moderner Betonbau Atlas	22
Abb.:2.6 Feingewachene Waschbetonoberfläche, Detailausschnitt einer fertigen Oberfläche, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung	23
Abb.:2.7 Fotobetonoberfläche, Bibliothek für Forstwirtschaft in Eberswalde, 1999, Architekten: Herzog & de Meuron, Basel, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung	23
Abb.:2.8 Durchgefärbte Betonoberfläche mit in der Schalung eingelgten Blättern, Waldorfschule in Augsburg, 2007, Architekten: ott architekten, Augsburg, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung	24
Abb.:2.9 Proportionale veränderung von Elementdicke zu Elementlänge/ Fassadenatlas seite 113	29
Abb.:2.10 Hinterlüftete Betonfassade mit Fassadentafelanker befestigt, Fassadenatlas, 2016	30
Abb.:2.11 Detailschnitt, hinterlüftete Fassade aus kleinformatische Betonwerksteinplatten mit einzelanker in Mörtel gesetzt, Fassadenatlas, 2016	31
Abb.:2.12 Detailschnitt, hinterlüftete Fassade aus kleinformatigen Betonwerksteinplatten mit Dübel befestigt, Fassadenatlas, 2016	31

Abb.:3.1 Römisches Gewölbe aus Weidenästen mit Beton ausgegossen, unterhalb der Villa Medici, Rom/ Fotograf: Matthew Bronski, History and overview of fabric formwork: using fabrics for concrete casting	33
Abb.:3.2 Chronologischer Überblick der Objekte welche textil geschalt wurden und deren Entwickler/ Erstellt von: Andreoli, 2004, History and overview of fabric formwork: using fabrics for concrete casting	35
Abb.:3.3 Gustav Lilienthal, Portraitfoto, 1920/ Fotograf: Frantz Stödtner, the fabric formwork book	37
Abb.:3.4 Lilienthals patentierte feuerfeste Decke 1898, Systemschnittzeichnung der Patentzeichnung, the fabric formwork book	37
Abb.:3.5 James Waller, Portraitfoto, 1932 (zur verfügung gestellt von Dr Jim Carfrea), the fabric formwork book	39
Abb.:3.6 Ctesiphon Schalen Konstruktion 18 m experimental building, 1948, Barnet, UK/ Irisch Architectual Archive, the fabric formwork book	39
Abb.:3.7 Felix Candela, Portraitfoto, http://bit.ly/2vTwcdd Zugriff: 07.06.2017	41
Abb.:3.8 Baustelle einer Betonschale, Aufbau der Unterkonstruktion für die textile Schalhaut, Morelos, México 1959, http://bit.ly/2xkeX8l Zugriff: 07.06.2017	41
Abb.:3.9 Miguel Fisac, Portraitfoto, Fundación Miguel Fisac, the fabric formwork book	44
Abb.:3.10 Miguel Fisac, Haus in La Moraleja, Madrid, 1973-75, Architekturfoto, http://blog.alexwebb.com/?p=863 Zugriff: 28.05.2017	44
Abb.:3.11 Mark West, Portraitfoto, the fabric formwork book	47

Abb.:3.12 Modellfoto, Textil geschaltes Decken- und Stützensystem, the fabric formwork book	47
Abb.:3.13 Rick Fearn, Portraitfoto, http://bit.ly/2w6xaHn Zugriff: 18.08.2017	48
Abb.:3.14 Der von Rick Fearn erfundene Fastfoot, System zur Herstellung von Fundamenten. Fab form industries, http://bit.ly/2wZoNdD Zugriff: 18.08.2017	49
Abb.:3.15 Kenzo Unno, Portraitfoto, http://bit.ly/2xjuMfs Zugriff: 19.08.2017	50
Abb.: 3.16 Fertiges Oberflächenergebnis des Schalungssystems, welches von Unno erfunden wurde, Beispiel einer Innenraumanwendung, http://bit.ly/2vUdsKu Zugriff: 18.08.2017	51
Abb.:3.17 Diederik Veenendaal, Portraitfoto, http://kurzelinks.de/3z1c , Zugriff 27.10.2017	52
Abb.:3.18 Titelbild der Internetseite von ISOFF , / http://www.fabricforming.org/ Zugriff: 18.05.2017	53
Abb.:4.1 Sicherheitsausrüstung für den Umgang mit Zement	55
Abb.:4.2 Abfolge der wichtigsten Entwicklungsschritte	56
Abb.:4.3 Schrittweise Abformung der statischen Idealform bis hin zur eigenen Entwicklung	59
Abb.:4.4 Grundformat	60
Abb.:4.5 Grundformat mit Seitenwänden	60
Abb.:4.6 Grundformat mit Matrizen	60
Abb.:4.7 Grundkonstruktion mit Folie	60
Abb.:4.8 Skizze, Schnitt durch die Schalung	63

Abb.:4.9 Grundkonstruktion mit Sanafil ausgelegt	64
Abb.:4.10 Fertiges Ergebnis von Versuch II	64
Abb.:4.11 Skizze, Schnitt durch die Schalung	67
Abb.:4.12 Grundkonstruktion mit Polypropylen-Seilen	68
Abb.:4.13 Fertiges Ergebnis von Versuch III	68
Abb.:4.14 Skizze, Schnitt durch die Schalung	70
Abb.:4.15 Grundkonstruktion mit Kartonröhren	71
Abb.:4.16 Fertiges Ergebnis von Versuch IV	71
Abb.:4.17 Skizze, Schnitt durch die Schalung	73
Abb.:4.18 Tiefziehtisch mit angeschlossenem Staubsauger	74
Abb.:4.19 Fertiges Ergebnis von Versuch V	74
Abb.:4.20 Schalform mit feuchtem Sand befüllt	79
Abb.:4.21 Schalform mit Polsterstoff ausgelegt	79
Abb.:4.22 Fertiges Ergebnis von Versuch VI	80
Abb.:4.23 Skizze, Schnitt durch die Schalung	80
Abb.:4.24 Schalform Variante des Versuch VI	81

Abb.:4.25 Ausgeschaltetes Ergebnis der Variante von Versuch VI	81
Abb.:4.26 Skizze, Schnitt durch die Schalung/ eigenes Bild	85
Abb.:4.27 Fertiges Ergebnis von Versuch VII/ eigenes Bild	85
Abb.:4.28 Lose in den Unterbau gelegte Latexhaut	86
Abb.:4.29 Latexhaut in die Matrize gesaugt	86
Abb.:4.30 Variante von Versuch VII, ohne Trägerplatte, eventuelle Verwendung als Blendgitter	87
Abb.:5.1 Mögliche quadratische Anordnungen und Formate	91
Abb.:5.2 Querschnitt der Matrizenmodule	92
Abb.:5.3 Höhenunterschiede der verschiedenen Bausteine	93
Abb.:5.4 Isometrische Darstellung der Schalform	93
Abb.:5.5 Standardformat, 100 x 100 cm	94
Abb.:5.6 Geschoßhohes Format, 240 x 320 cm	94
Abb.:5.7 LKW beladen mit großformatigen Fassadenbauteilen	95
Abb.:5.8 Explosionszeichnung einer hinterlüfteten Fassadenkonstruktion	98
Abb.:5.9 Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt, einer hinterlüfteten Betonfassade, linker Teil der Ansicht: gerasterte Fassade; rechter Teil der Ansicht: freies Fugenbild	99

Abb.:5.10 Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt einer Betonfassade in Sandwichbauweise	102
Abb.:5.11 Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt einer Betonfassade in Sandwichbauweise, ausgeführt als Halbfertigteil	104
Abb.:5.12 Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt einer Betonfassade in Sandwichbauweise, ausgeführt als Halbfertigteil, befüllt mit Airium	105
Abb.:5.13 Skizze, Schalform zur Herstellung von transluzenten Bauteilen	107
Abb.:5.14 Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt von transluzenten Schiebeläden aus Beton	108

Tabellenverzeichnis

Tab.: 2.1 Sichtbetonklassifizierung aus den ÖVBB-Richtlinien für Sichtbeton/ http://sichtbeton-forum.de/oevbb-richtlinie/ Zugriff: 04.07.2017	26
Tab.: 2.2 Klassifikationen und Lösungsansätze für Fassaden aller Art, Fassadenatlas 2016	27

1 Motivation

Beton beschrieb Rem Koolhaas folgendermaßen: “[...] er ist die Modelliermasse der Architekten“⁷. Dies legt einen spielerischen, kreativen, freien und ungezwungenen Umgang mit dem Material nahe. Die spielerische und experimentelle Herangehensweise an das Material, erlaubt es eine außergewöhnliche Gestaltung für Fassaden zu entwickeln. Die Schalung ist einer der wichtigsten Bestandteile im Betonbau, denn sie ist ausschlaggebend für Oberfläche und Form des Werkstoffs. Der faszinierende Gedanke, dass Beton durch eine geschickte Anwendung der Schalung jede Form annehmen kann, war die Inspiration für das Thema Form follows Formwork. Diese Abschlussarbeit behandelt die Herausforderungen und den Widerspruch, dem Flexiblen die Aufgabe zu geben, das formbildende Element zu sein. Die Möglichkeiten zur Herstellung von Objekten mittels textilen Schalungen werden in Form einer Versuchsreihe ausgelotet. Es werden Prototypen in Größe von Tischmodellen hergestellt. Hauptaugenmerk gilt der Oberfläche und der Struktur der Fassadenelemente.

⁷ Koolhaas 1978, 249.

2 Betonbau

2.1 Beton

2.1.1 Beton der Universal-Baustoff

Die Grundbestandteile von Beton sind Wasser, Zement und Gestein. Letzterer Bestandteil ist ein Zuschlagstoff und wird auch als Gesteinskörnung bezeichnet. Die Größe der einzelnen Gesteinskörner wird in Millimeter angegeben, wobei eine Einteilung des Rohstoffs in Korngruppen geschieht. Für die Herstellung von Beton wird als kleinste Korngruppe Sand verwendet und reicht von 0 - 4 mm Korndurchmesser. Die größte verwendete Korngruppe, worunter die Bezeichnung Schotter fällt, erstreckt sich über den Bereich 2 - 32 mm.²¹ Durch Mischen der Komponenten zu Zementleim wird ein hydraulischer Abbindeprozess in Gang gesetzt. Nach Beendigung dieses Prozesses entsteht daraus Zementstein.

Hydraulisch abbindend, bedeutet, dass der Zement mit dem beigefügten Wasser reagiert. Durch die exotherme Reaktion erhärtet die gesamte Mischung zu einem künstlichen Konglomerat. Exotherm heißt, dass der Zement beim Abbinden Wärme abgibt, weil die Ausgangsstoffe, Wasser und Zement, eine geringere innere Energie aufweisen als die Umgebung der beiden Stoffe.

²¹ EN 12620

Das Abbinden des Zements geschieht unter Bildung einer unlöslichen, stabilen Verbindung aus Calciumsilikathydrat. Dieses bildet feine Kristallstrukturen auf Molekularebene aus. Genau diese nadelförmigen Kristalle geben dem Zement seine hohe Festigkeit, indem sich diese ineinander verzahnen.¹⁴

Zu den drei Grundstoffen kommen Zusätze wie zum Beispiel Beschleuniger, Verflüssiger, Verzögerer und Luft, um einige genannt zu haben. Diese Additive werden in Zusatzmittel und Zusatzstoffe unterteilt. Unter Zusatzmittel versteht man in der Regel jene Zugaben zum Beton deren chemische oder physikalische Wirkung die Eigenschaften des Betons beeinflussen. Zusatzmittel können sowohl den Frischbeton als auch den Festbeton verändern. Beispielsweise nehmen diese Mittel auf die Verarbeitbarkeit, das Erstarren, das Erhärten oder den Frostwiderstand Einfluss. Zusatzstoffe hingegen haben die Aufgabe bestimmte Eigenschaften des Betons zu steuern. Sie sind feine, im Beton verteilte Stoffe, welche keinerlei Beeinträchtigung auf die Erhärtung, die Festigkeit und die Dauerhaftigkeit haben dürfen. Außerdem werden Zusatzstoffe im Gegensatz zu Zusatzmitteln in der Stoffraumberechnung berücksichtigt. Dem Beton werden zum Beispiel Gesteinsmehle oder getemperte Gesteinsmehle, Pigmente, Trass oder Flugasche beigemischt.⁶ Die Additive im Beton machen jedoch in der Regel nie mehr als 5 % aus. Die Betonmischungen lassen sich genau auf das Einsatzgebiet, Verwendung und Verarbeitung abstimmen. Moderne Betone sind Hochleistungsbaustoffe, welche punktgenau auf ihre Aufgabe abgestimmt werden können.⁹

¹⁴ Vlg. [/www.chemie.de/lexikon/Zement.html](http://www.chemie.de/lexikon/Zement.html), Abs. 2.

⁶ Vlg. Informations Zentrum Beton GmbH (Hg.), 2014, 1-5.

⁹ Vlg. Peck (Hg.), 2013, 13. Sp. 1.

2.1.2 Einfluss der Kombinationen aus Beton und Schalung

Egal welches Schalungsmaterial verwendet wurde, es bleibt immer ein Abdruck. Dies kann die Absicht des Planers gewesen sein oder aber auch eine Notwendigkeit wie zum Beispiel die Ankerlöcher bei Ortbeton. Die Herstellung und das Schalmaterial sind immer zu erkennen und zwangsläufig in der Oberfläche verewigt. Betrachtet man die Oberfläche, so kann man Hinweise auf den Arbeitsablauf sehen. Beispielsweise die Witterungsverhältnisse am Tag des Betonierens, oder ob man etwaige Einschlüsse oder Fremdkörper im Beton vorhanden sind. Manchmal sind die Oberflächen auch wolkig oder können Flecken aufweisen, häufig lassen sich diese Veränderungen der Oberfläche auf die Verarbeitung zurückführen. Daraus lässt

sich schließen, dass für eine sichtbare Betonoberfläche nichts dem Zufall überlassen werden kann. Genaue Planung des Fugenbildes, ausreichende Verdichtung, keine Luft einschüsse, Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Alle diese Faktoren nehmen Einfluss auf den Beton und auf den späteren Zustand der Oberfläche. Auch wenn die Art der Herstellung die Oberfläche stark beeinflusst, so ist auch der gewählte Beton entscheidend. Durch Rezeptur, Farbe, Zusätze, Additive und anhand des Fertigungsprozesses, lässt sich die Gestalt der Oberfläche steuern. Alle Betonoberflächen können auch mechanisch, chemisch oder thermisch bearbeitet werden (siehe Kapitel 2.1.4).

Das Schalungsmaterial wird für alle Arten von Beton in saugende, schwach saugende und nicht bzw. sehr schwach saugende Schalungen unterteilt.⁴ So haben auch textile Schalungen verschiedene Eigenschaften. Die sehr häufig verwendeten Polyethylen oder Polypropylen Folien zählen zu den nicht saugenden Schalungen, während zum Beispiel ein gewöhnlicher Polsterstoff stark saugt. Der Einfluss auf die fertige Oberfläche ist erheblich. Eine beliebte Technik zur Herstellung von glatte Betonoberflächen ist, Filtervlies auf die Schalung aufzuziehen. Das Vlies nimmt überschüssiges Wasser auf und verhindert die Bildung von Luftblasen an der Betonoberfläche.⁵

Das bedeutet im Umkehrschluss das textile Schalungen, je nach Saugfähigkeit, einen ähnlichen Effekt auf die Oberfläche haben können, wie in der Abbildung 2.1 zu sehen ist.



Abb. 2.1
Betonoberfläche, hergestellt mit stark saugender textiler Schalung, dadurch entsteht eine blasenfreie Oberfläche

⁴ Vlg. Herzog/ Krippner/ Lang 2016, 111 Sp. 3.

⁵ Vlg. Informations Zentrum Beton GmbH 2009, 2-3.

2.1.3 Oberflächen, Strukturen und Texturen

Betonoberflächen als finale Gestaltung kamen um 1900 in den Architekturdiskurs. Nachdem in den 1920ern die Verarbeitung prozesssicher gestaltet wurde, konnte am Aussehen der Oberfläche gefeilt werden. Damals waren die Schalungen rau und uneben. Dies wiederum spiegelte der Beton als dessen positive Form wieder. Eine der einfachsten Arten eine Struktur auf Betonoberflächen aufzubringen ist eine Brettschalung. Abbildung 2.2 zeigt eine Betonoberfläche, welche mittels einer Brettschalung hergestellt wurde. Der Begriff Brettschalung hört sich zunächst simpel an. Dennoch wird zur Herstellung solcher eine solide Grundkenntnis von Materialverhalten und Technik benötigt. Die sägerauen Bretter hinterlassen ihren individuellen Abdruck und ihre Struktur auf der Betonoberfläche. Werden Bretter öfters verwendet, bleibt nach



Abb. 2.2
Sägeraute, unbehandelte Brettschalung, Detailausschnitt einer fertigen Oberfläche, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung

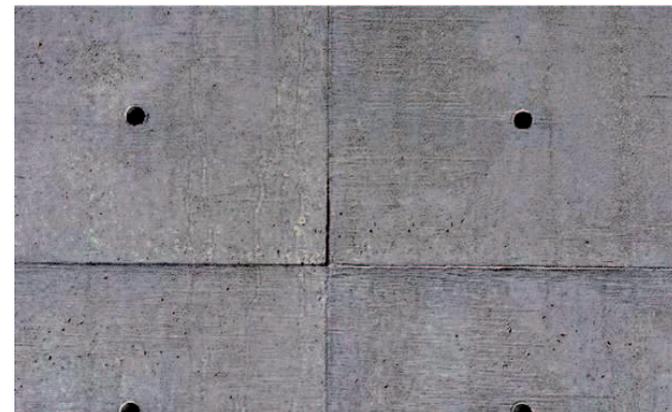


Abb. 2.3
Glatte Schalung, Detailausschnitt einer fertigen Oberfläche mit Stößen und Ankerlöchern, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung

jedem Einsatz Zement auf deren Oberfläche zurück. Somit werden die Oberfläche des Betons zunehmend glatter. Sägeraue Bretter zählen zu den stark saugenden Schalungen. Dies verhindert zwar Bläschen an der Oberfläche, trotzdem muss beachtet werden, dass die Schalung aus unterschiedlich rauen Holzbrettern besteht. Diese Bretter haben den Nachteil, dass keines dem Anderen in seiner Beschaffenheit gleicht. Die Unterschiede in der relativen Holzfeuchte, dem Zustand der Brettoberfläche, Harzgallen und vieles mehr nimmt Einfluss auf das spätere Ergebnis. Mit dem Aufkommen von beschichteten Sperrholzplatten in den 1960ern konnten nun perfekt glatte Betonoberflächen geschalt werden.⁹ Solch eine Oberfläche veranschaulicht Abbildung 2.3. Um diese glatten Oberflächen

aufzubrechen, kann mit sogenannten Matrizen gearbeitet werden. Diese werden in die Schalung eingelegt und können jede erdenkliche Form hinterlassen. Matrizen bestehen meist aus elastischen Kunststoffen und können eine Texturtiefe von ≤ 80 mm erzeugen. Die Abbildung 2.4 zeigt eine Betonoberfläche, welche nicht nur dunkel eingefärbt ist, sondern auch mit Silikonmatrizen gestaltet wurde.

Eine weitere unverkennbare Struktur, welche durch die Machart des Betons entsteht, ist Stampfbeton. Faktisch ist Stampfbeton eine alte Methode Beton zu verdichten. Diese Verarbeitung wurde ca. bis zum zweiten Weltkrieg verwendet. Durch das Fehlen von Geräten zur Verdichtung wurde die Betonmasse Schicht für Schicht erd-

⁹ Vlg. Peck (Hg.), 2013, 54-57.



Abb. 2.4
Matrizenschalung, Detailausschnitt einer fertigen Oberfläche, H8 Sichtbeton - Technik der Flächen-gestaltung



Abb. 2.5
Stampfbetonoberfläche hergestellt mit eingefärbten Beton, Detailausschnitt, Moderner Betonbau Atlas

feucht eingebracht und direkt verdichtet. Neuer Beliebtheit erfreut sich diese Methode durch die wellenförmigen Veränderungen des Betons in der Horizontalen. In Abbildung 2.5 sind die besagten wellenförmigen Muster an der Oberfläche zu sehen und werden hier als Gestaltung der Wandoberfläche verwendet. So wie in diesem Fall werden häufig diese Schichten auch mit unterschiedlichen Farbpigmenten versehen, sodass das Wellenmuster noch stärker zu Geltung kommt.

Etwa von 1965 bis 1980 wurden Waschbetonflächen besonders häufig verwendet. Hierfür wird der Zementleim an der Oberfläche mit Verzögerern behandelt, sodass, das Aushärten der Oberfläche um einen Tag verzögert wird. Nach dem Erhärten des Betonkerns kann der Zement an

der Oberfläche ausgewaschen werden und gibt den Blick auf die Zuschlagsstoffe frei. Diese Art der Oberfläche ist in Abbildung 2.6 zu erkennen.

Eine neuartige Anwendung des Waschbetons ist Fotobeton. Ein Beispiel ist in der Abbildung 2.7 zu sehen. Bei dieser Technik werden Fotos digital erfasst und in Graustufen umgewandelt. Das Negativ des Bildes wird auf der Schalhaut Punkt für Punkt mit einem Verzögerer versehen und später ausgewaschen. Je nach Auswaschtiefe des Betons variiert die Farbigkeit der Fläche. Je tiefer, desto dunkler erscheint später das Ergebnis.

Ähnliche Oberflächen wie bei diesem Verfahren erzeugt man durch das Säuern. Bei diesem Vorgang erzeugt man mit Hilfe einer organischen Säure, wie Zitronensäure ein Bild auf der Oberfläche. Die Säure löst die im Zementstein



Abb. 2.6
Feingewaschene Waschbetonoberfläche, Detailausschnitt einer fertigen Oberfläche, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung



Abb. 2.7
Fotobetonoberfläche, Bibliothek für Forstwirtschaft in Eberswalde, 1999, Architekten: Herzog & de Meuron, Basel, H8 Sichtbeton - Technik der Flächengestaltung

enthaltenen Kalziumverbindungen auf. Eine mechanische Behandlung, mit Hilfe von Bürsten oder eines Wasserstrahls kann den porös gewordenen Zementmörtel von der Oberfläche lösen. Damit wird das fertige Bild erkennbar gemacht.⁹ Einen unkonventionellen Weg zur Gestaltung einer Betonoberfläche gingen Ott Architekten bei der Neugestaltung der Waldorfschule in Augsburg im Jahr 2007. Bei dieser speziellen Oberfläche wurden Ahornblättern in die Schalung eingelegt. Die fertige Oberfläche zeigt das Relief der Blätter. Zudem ist der Beton rot eingefärbt. Ein Teil dieser Oberfläche ist in Abbildung 2.8 zu sehen.

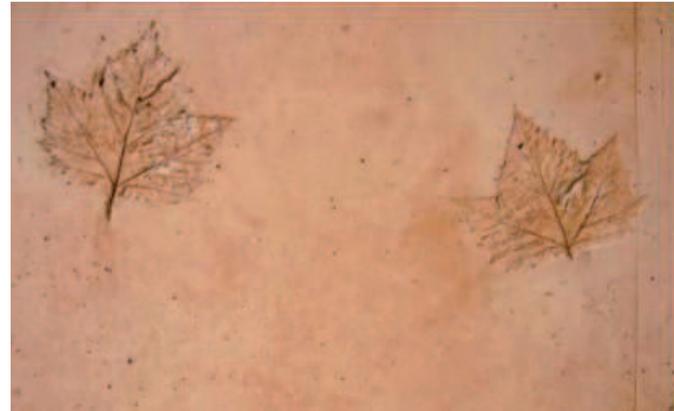


Abb. 2.8
Durchgefärbte Betonoberfläche mit in der Schalung
eingelgten Blättern, Waldorfschule in Augsburg, 2007,
Architekten: ott architekten, Augsburg, H8 Sichtbeton
- Technik der Flächengestaltung

⁹ Vlg. Peck (Hg.), 2013, 54-57.

2.1.4 Richtlinien für Sichtbeton

Betonoberflächen, welche als finaler Zustand offen sichtbar bleiben, werden als Sichtbeton bezeichnet. Der Begriff Sichtbeton stellt jedoch keine technisch eindeutige Normierung dar, sondern beschreibt lediglich das Aussehen der fertigen Oberfläche. Um das Aussehen der Sichtbetonoberflächen zu vereinheitlichen wurden in Deutschland, Österreich und der Schweiz Planungs- und Bauregeln, sowie die Gestaltungsmerkmale in einem Merkblatt festgeschrieben. Dies soll das Fehlen von Fachbegriffen, bei Bauaufgabe mit sichtbaren Betonoberflächen ersetzen. In der DIN 18217 „Betonoberflächen und Schalungshaut“ wird Sichtbeton als „Betonoberfläche mit Anforderung an das Aus-

sehen“ beschrieben, das jedoch ist eine sehr ungenauer und vage Beschreibung. Somit sind die Richtlinien, welche im Merkblatt Sichtbeton niedergeschriebenen sind zu einer Art Regelwerk geworden.¹⁶

Nach den ÖVBB Richtlinien werden Sichtbetonoberflächen klassifiziert und nach den Gestalterischen Anforderungen sortiert. Die Betonoberflächen werden in den Klassen SB1 bis SB3 eingeteilt. Zusätzlich gibt es die SBS als Sonderklasse. Diese Sonderklasse ist frei zu definieren und beschreibt jene Oberflächen welche die Qualität von SB3 übersteigen.¹⁹ In der Tabelle 2.1, sind diese Klassen aufgelistet.

¹⁶ Vlg. [s://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/sichtbeton](https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/sichtbeton).

¹⁹ Vlg. Sichtbeton Forum(Hg.) 2017.

Tab.: 2.1

Sichtbetonklassifizierung aus den ÖVBB-Richtlinien für Sichtbeton/ <http://sichtbeton-forum.de/oevbb-richtlinie/>
Zugriff: 04.07.2017

Sichtbetonklassen (SB = Sichtbeton) nach ÖVBB Richtlinien

SB-Klasse	Beispiel		Kosten
SB1	Geringen Umfangs überwiegend technische Anforderungen im Industrie- und Tiefbau		niedrig
SB2	Normalen Umfangs, z. B. einfachen Fassaden in Hochbauten, Sichtflächen im Industriebau mit großem Betrachtungsabstand		mittel
SB3	Hohen Umfangs z. B. repräsentative Oberflächen oder komplexe Fassaden in Hochbauten		hoch
SBS	Sonderklasse, frei definierbar		sehr hoch

Es gibt Sichtbetonoberflächen, welche keinen direkten Kontakt zur Schalung hatten. Diese Oberflächen werden durch Nachbearbeitung hergestellt. Diese Bearbeitungen können mechanischer, chemischer und thermischer Natur sein, beispielsweise gesäuert, gestockt, scharriert, gewaschen und ähnliche Nachbearbeitungen. Egal ob mechanische, chemische oder thermische Nachbearbeitung. Oftmals werden auch mehrere Techniken gleichzeitig angewandt, um das gewünschte Ergebnis zu erhalten. Darüber hinaus werden Betonelemente neben Nachbearbeitungen auch beschichtet. Darunter fällt unter anderem die Hydrophobierung.

Im Zuge der feuchten Bearbeitung wird Beton zum Beispiel eingefärbt. Auch Stampfbeton zählt zu den Sichtbetonen. Dieser erhält seine Oberfläche über den speziellen Herstellungsprozess. (Siehe Kapitel 2.1.3)

2.2 Betonfassaden

Es gibt unzählige Varianten Fassaden zu gestalten. Die Gestalt hängt vom System und von der Materialwahl ab. Tabelle 2.2 zeigt die Optionen und Lösungsansätze, sowie Klassifizierungen von Fassaden auf. Unabhängig vom Material können alle Fassaden diesen Klassifizierungen zugeordnet werden. Somit gilt dies auch für Betonfassaden. Dennoch haben alle Fassaden eines gemeinsam: sie sind eine Trennung zwischen Innen und Außen. Sie halten das Innere trocken, warm oder kühl und frei von Außenlärm.

Tab.: 2.2
Klassifikationen und Lösungsansätze für Fassaden aller Art, Fassadenatlas 2016

Klassifikation und Lösungsansätze		
Option für Fassaden		
Permeabilität - Luft	geschlossen	teildurchlässig offen
Permeabilität - Licht	opak	transluzent semitransparent transparent offen
Energiegewinn	keiner	Wärme Strom
Veränderbarkeit	nicht veränderbar	mechanisch physikalisch strukturell chemisch substanzuell
Regelung	keine	manuell direkt / indirekt selbstregelnd mit Regeltechnik
Teil des Tragwerks	nicht tragend	tragend
Aufbau in Schichten	einschichtig	mehrschichtig
Aufbau in Schalen	einschalig	mehrschalig
Hinterlüftet	nicht hinterlüftet	hinterlüftet
Vorfertigung	niedrig	hoch

Fassaden sind in den meisten Fällen senkrechte und flächige Bauteile. Die Wahl des Fassadenmaterials ist eine Frage der Gestaltung und dem Ausdruck des Gebauten. Abgesehen vom Geschmack ist die Gliederung einer Betonfassade eine wichtige und komplexe Aufgabe und bedarf einiger Aufmerksamkeit.⁴ Bei manchen Bauaufgaben ist es wichtig die Fugen so dezent und unscheinbar zu halten wie möglich. Ein anderer Gestaltungsansatz ist es, die Fugen markant und ausgeprägt zu betonen. Je nach Art der Herangehensweise ist eine unterschiedliche Technik zur Umsetzung notwendig.

Generell sind Fugen in der Betonarchitektur unausweich-

lich, egal ob es sich um Ortbeton, Fassadenplatten, Elemente oder Fertigteile handelt. Durch das entsprechende Dimensionieren der Bewehrung kann das Schwinden und Kriechen des Betons unterbunden werden. Dennoch kommt es durch den Bauprozess immer zu Fugen. Das Fugenbild nimmt Einfluss auf die Erscheinung. Das Erarbeiten des Fugenbild ist ein essenzieller Teil der Gestaltung einer Fassade.⁴

Nicht nur im Bereich des Ortbetons, sondern auch bei Fertigteiloberflächen müssen die Fugen einen Mindestabstand von 10 mm haben. Je nach Elementlänge und deren Temperaturempfindlichkeit müssen die Fugen um 10-30 % vergrößert werden.

⁴ Vgl. Herzog/ Krippner/ Lang 2016, 27-28.

⁴ Vgl. Herzog/ Krippner/ Lang 2016, 112-113.

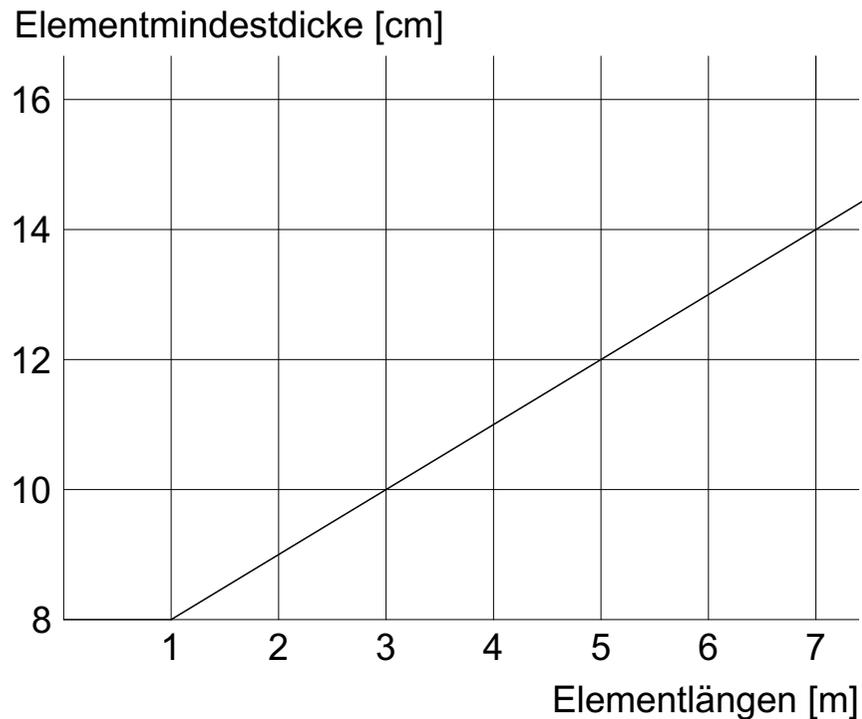


Abb.: 2.9
Proportionale Veränderung von Elementdicke zu Elementlänge/ Fassadenatlas Seite 113

Diese proportionale Vergrößerung ist in der Abbildung 2.9 dargestellt. Aus wirtschaftlichen Gründen empfiehlt es sich, den Fugenanteil so gering wie möglich zu halten. Für die Fugenausbildung selbst steht eine reiche Auswahl an Materialien zur Verfügung. Diese reicht von einbetonierten Kunststoffprofilen bis hin zu dauerelastischen Dichtstoffen und Bändern.

Die Verwendung von Betonfertigteilen erfordert im Voraus einen größeren Planungsaufwand. Fertigteilfassaden können aus verschiedenen Konstruktionsarten hergestellt werden. Die gängigsten unter ihnen sind:

- + einschalige, vorgehängte Wandtafeln
- + Sandwichelemente

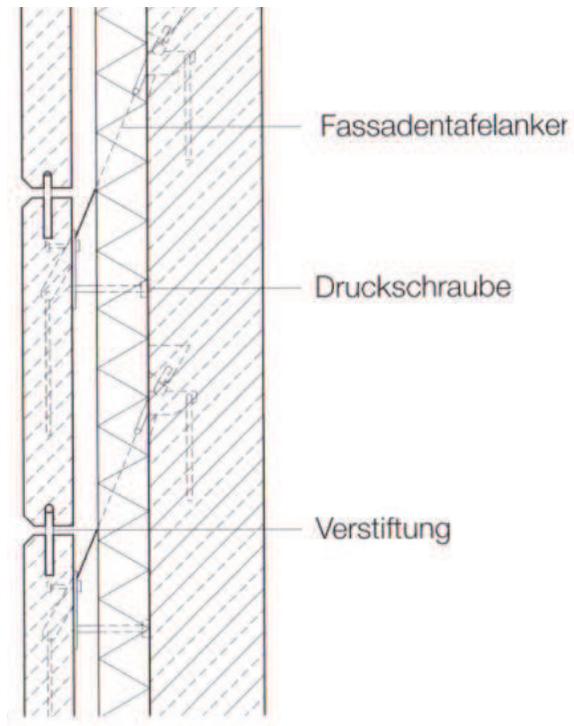


Abb. 2.10
Hinterlüftete Betonfassade mit Fassadentafelanker
befestigt, Fassadenatlas, 2016

Einschalige vorgehängte, großformatige Betonplatten werden in der Regel mit Fassadentafelankern an der Tragkonstruktion zwangsfrei hängend montiert.⁴ Diese Konstruktionsart ist in der Schnittdarstellung in der Abbildung 2.10 zu sehen. Oft werden die Fassadenteile mit Dübel bzw. mit Ankerschienen an der Tragkonstruktion verschraubt.⁴

Vorgefertigte Teile aus Beton haben den Vorteil, dass die Herstellung der Betonmasse und die Verarbeitung aus einer Hand geschehen. Wichtig bei Fertigteilen ist vor allem das Format. Die Elemente müssen transportierbar sein (siehe Kapitel 5.2). Die Formate im Fertigteilwerk lassen eine Fläche von 14 m² zu, können aber aus Transportgründen nicht länger als 5 m sein.⁴

⁴ Vgl. Herzog/ Krippner/ Lang 2016, 113-114.

⁴ Vgl. Herzog/ Krippner/ Lang 2016, 113-114.

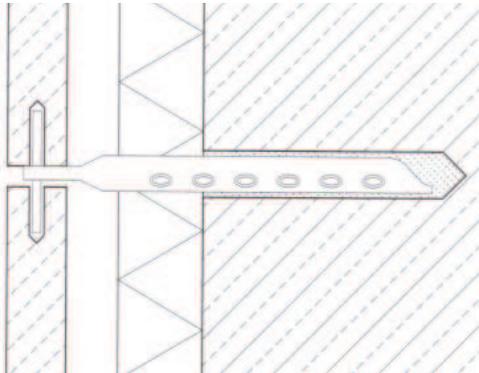


Abb. 2.11
 Detailschnitt, hinterlüftete Fassade aus kleinformate Betonwerksteinplatten mit Einzelanker in Mörtel gesetzt, Fassadenatlas, 2016

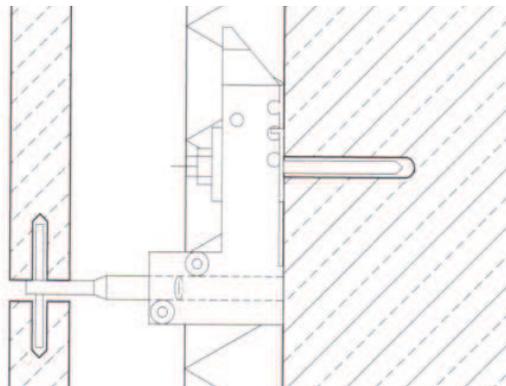


Abb. 2.12
 Detailschnitt, hinterlüftete Fassade aus kleinforma- tigen Betonwerksteinplatten mit Dübel befestigt, Fassadenatlas, 2016

Eine Form unbewehrter Fassadenplatten sind Betonwerksteinplatten. Diese werden als vorgehängte Fassadenbekleidung konstruiert. Diese Fassadenplatten werden häufig für hinterlüftete Konstruktionen verwendet und können mit $0,2 - 1 \text{ m}^2$ dimensioniert werden. Aufgrund der fehlenden Bewehrung sind diese Platten kleinformig. Die Platten können mittels dreierlei Befestigungsarten an der Fassade montiert werden. So werden zum Beispiel Einzelanker in Mörtel gesetzt (siehe Abbildung 2.11) oder ein Einzelanker mit einem Dübel befestigt (siehe Abbildung 2.12). Eine weitere Befestigungsmöglichkeit ist eine Hängeschiene als Unterkonstruktion. Die Dicke der Betonwerksteinplatten entspricht meistens 4 cm , kann aber auch je nach Format der Fassadenplatte kleiner mit $\geq 2 \text{ cm}$ verbaut werden.⁴

⁴ Vlg. Herzog/ Krippner/ Lang 2016, 113-114.

3 Geschichte der textilen Schalung

3.1 Historie und Erfindergeist

Das erste Mal wurde eine textile Schalung in Schriften von Vitruv erwähnt. Hierfür wurden weiche Weidenkörbe mit Tüchern ausgelegt und mit einer römischen Betonrezeptur gefüllt. Ein Objekt, welches einer derartigen Konstruktion zugrunde liegt, wurde unterhalb der Villa Medici gefunden. In diesem speziellen Fall wurden Weidenäste verflochten und in Form gebogen. Anschließend wurde über diese Konstruktion aus Weidenästen und Tuch eine dünne Betonschicht gegossen. Nach dem Erhärten der ersten Betonschicht wurde eine zweite, dickere darüber gegossen, um dem Bauwerk die volle Stabilität zu verleihen.

Das so errichtete Gewölbe reizt das Verhältnis von Lastabtragung und Materialaufwand optimal aus und bildet so ein antike Variante einer »verlorenen Schalung« Die Abbildung 3.1 zeigt die Konstruktion und die Überreste der Weidenäste.¹²

Im Jahr 1824 wurde der Portlandzement erfunden, der heutigen Zusammensetzung von Zement äußerst ähnlich. Seit dieser Wiederentdeckung des Betonbaus in der Neuzeit fand eine kontinuierliche Auseinandersetzung mit dem Material und dessen möglichen Formen statt.^{4,9} Die Betonbaupionieren wie beispielsweise Frank Lloyd Wright, Auguste Perret und Karl Moser, welche Anfang des 20. Jahrhunderts die Rohheit und die vielfältige Formbarkeit des Materials zelebrierten, sahen Beton als fertige Außenhaut. Die ersten Betonbauten mit einer sichtbaren Oberfläche waren Sakralbauten. Mit der Unity Church in Oak Park/ Illinois 1906, der Kirche Notre-Dame in Raincy bei Paris 1922 und der St. Antonius Kirche in Basel 1927, befreiten die oben genannten Architekten den

⁴ Vlg. Herzog/ Krippner/ Lang 2016, 106-109.

¹² Vlg. Veendendaal 2011, 164.

⁹ Vlg. Peck (Hg.) 2013, 11-13.

Beton von seinem Dasein als Industriebaustoff.⁴ So verrichtet er nicht nur unter Putz und Verkleidungen, seine statischen Dienste. Die Oberflächen von Sichtbeton haben einen ganz eigenen Charme.

Kaum ein anderes Material hat die Fantasie so vieler Architekten und Ingenieure beflügelt wie Beton. Die nahezu unbegrenzte Formbarkeit dieses Materials eröffnet mannigfaltige Gestaltungsmöglichkeiten. Deswegen ist der Einsatz textiler Schalungsmaterialien eine bemerkenswerte Entwicklung von Pionieren auf diesem Gebiet. Die ersten textilen Schalungen entstanden jedoch aus rein praktischen Gründen und stellten den ästhetischen Aspekt in den Hintergrund.



Abb. 3.1

Römisches Gewölbe aus Weidenästen mit Beton ausgegossen, unterhalb der Villa Medici, Rom/ Fotograf: Matthew Bronski, History and overview of fabric formwork: using fabrics for concrete casting

⁴ Vlg. Herzog/ Krippner/ Lang 2016, 106-109.

3.2 Die wichtigsten Begründer der textilen Schalung

Es gibt und gab weit mehr Forscher auf dem Gebiet der textilen Schalungen, als jene welche in dem folgenden Kapitel genannt werden. Dennoch werden einige der historisch und für diese Arbeit bedeutendsten, Denker und Erfinder auf diesem Gebiet im Weiteren aufgeführt.

Nach den zarten Anfängen im 19. und frühen 20. Jahrhundert erlebte die textile Schalung einen weiteren Entwicklungsschub. Vor allem als in den 1950er Jahren eine Vielzahl synthetischer Fasern und Textilien auf den Markt kamen.¹² Die Auswirkung der steigenden Produktion von synthetischen Textilien auf die Anzahl, deren Anwendung wird in Abbildung 3.2 dargestellt. Darüber hinaus zeigt die Darstellung die zeitliche Entwicklung der textil geschalteten System, deren Herstellungsart und den dazugehörigen Vertretern.¹²

³ Vgl. Veenendaal (Hg.) 2011, 175

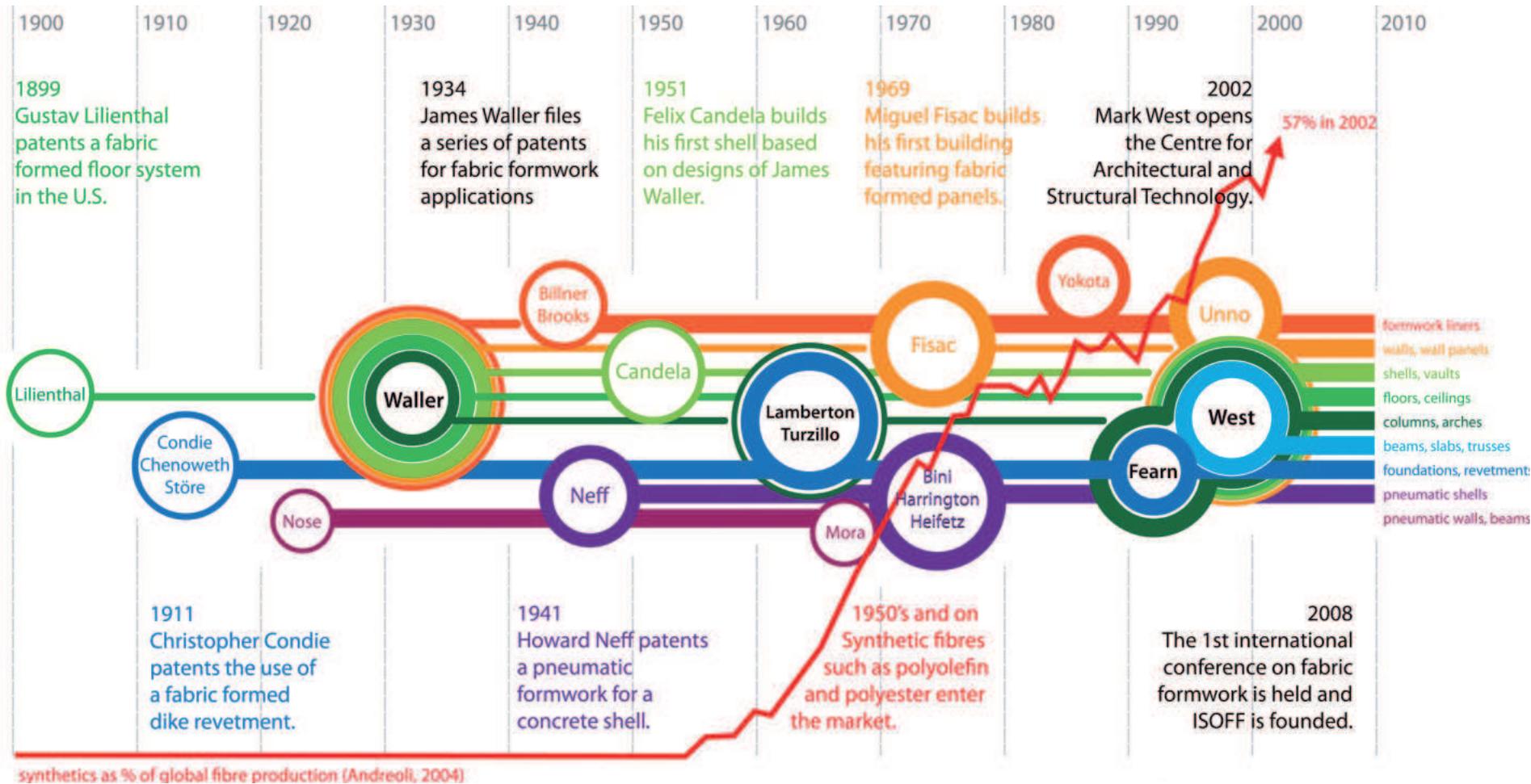


Abb. 3.2
 Chronologischer Überblick der Objekte welche textil geschalt wurden und deren Entwickler/ Erstellt von: Andreoli, 2004,
 History and overview of fabric formwork: using fabrics for concrete casting

3.2.1 Gustav Lilienthal (1849 - 1933)

(Abbildung 3.3)

Grundsätzlich sind textile Schalungen ein Kind der industriellen Revolution. Mit Hilfe von neuen Fertigungsverfahren wurde eine Reihe von Materialien entdeckt oder konnten nun einfacher und günstiger hergestellt werden. Dies führte zu zahlreichen Erfindungen, welche oftmals patentiert wurden. So erfand Gustav Lilienthal 1898 ein Deckensystem, welches auf einer textilen Schalung basiert. Hierzu wurden Stoff- oder Pappbahnen auf Holzbalken befestigt und mit Beton verfüllt. Die im Patentamt eingereichte Zeichnung ist in Abbildung 3.4 zu erkennen. Im Schnitt ist zu sehen, dass die Konstruktion zusätzlich mit einem Drahtgitter bewehrt ist. Das Patent entstand, weil sich der deutsche Erfinder, Baumeister, Architekt und gelernte Maurer

zusammen mit seinem Bruder auch als Flugpionier betätigte. Durch diese Leidenschaft beschäftigte er sich mit Textilien und mit Tuch bespannten Konstruktionen. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen bezüglich der Stabilität solcher Systeme setzte er sein Wissen beim Bau von Häusern ein.¹²
¹³ Gustav Lilienthal gilt somit als der Gründervater der textilen Schalung.

¹² Vlg. Veenendaal (Hg.) 2013, 165.

¹³ Vlg. West (Hg.) 2017, 18-19.



Abb. 3.3
Gustav Lilienthal, Portraitfoto, 1920/ Fotograf: Franz
Stödtner, the fabric formwork book



Abb. 3.4
Lilienthals patentierte feuerfeste Decke 1898, Systemschnittzeichnung der
Patentzeichnung, the fabric formwork book

3.2.2 James Waller (1884 – 1968) (Abbildung 3.5)

Auch James Waller patentierte 1934 ein vergleichbares System wie Lilienthal. Der Unterschied ist, dass bei Waller die Balken betoniert waren und nicht aus Holz, wie bei Lilienthal. Wallers System trug den Namen »Nofrago«. Nofrago wurde von ihm entwickelt, nachdem er im ersten Weltkrieg in Griechenland beobachtete, wie Zementstaub vom Wind auf ein nasses Zelt getragen wurde und dort erstarrte.¹²

James Waller unternahm 1922 eine Bildungsreise in den nahen Osten. In der Nähe von Bagdad besichtigte er die Ruine des Taq-I Kisra Palastes in der antiken Stadt Ctesiphon. Der stützenfreie Raum mit der gekrümmten Decke ließ ihn über Bauteile nachdenken, die nicht nur linear oder flächig sind. Waller kam zu folgender Erkenntnis und notierte: "engineers are frequently unkind in their treatment of concrete, impolitely regarding its aversion to tensile stress". Weiter schrieb er "gravity is destructive to the

beamtruss-girderfamily, but bestows stability upon the arch".¹² Resultat der Überlegungen von James Waller war die Suche nach einem Fertigungsverfahren für Betonschalen. In den 1950er Jahren wurde von ihm ein System entwickelt, das aus gekrümmten Oberleitungsprofilen bestand. Diese wurden mit Textil bespannt und mit Spritzbeton bedeckt. Nach einigen Modifizierungen wurden diese Schalen als „Cyprus bins“ bekannt. In der Abbildung 3.6 zu sehen.^{12 13} Wichtig ist Waller für diese Arbeit aus dem Grund, da er es mit seiner Erfindung schaffte die textile Schalung erstmals, als sichtbare Oberfläche zu verwenden.

¹² Vlg. Veenendaal (Hg.) 2011, 166. ¹³ Vlg. West (Hg.) 2017, 22-23.

¹² Veenendaal (Hg.) 2011, 166, Sp.1.



Abb. 3.5
James Waller, Portraitfoto, 1932 (zur Verfügung gestellt von Dr Jim Carfrea), the fabric formwork book

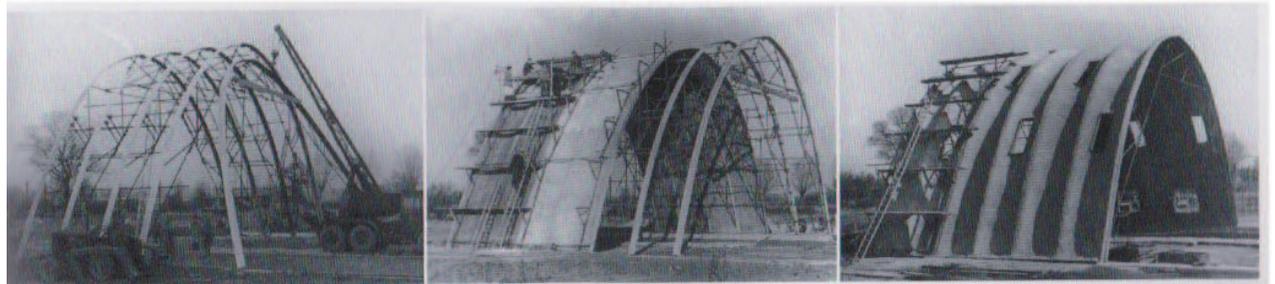


Abb. 3.6
Ctesiphon Schalen Konstruktion 18 m experimental building, 1948, Barnet, UK/ Irish Architectural Archive, the fabric formwork book

3.2.3 Felix Candela (1910 - 1997) (Abbildung 3.7)

Der Spanier Felix Candela verbrachte die Zeit des spanischen Bürgerkriegs, wie viele seiner intellektuellen Landsmänner in Südamerika. Dort befasste er sich mit Schalentragwerken. Für sein erstes Betonschalen-Experiment nutzte Candela das von James Watters entwickelte Ctesiphon System und modifizierte dieses weiter. Durch seine extrem leicht und elegant wirkenden Schalentragwerke erlangte Candela schnell Berühmtheit und war neben Heinz Isler und Eduardo Torroja Miret, einer der bekanntesten Betonschalenkonstrukteure seiner Zeit. Auch Pier Luigi Nervi würde in die Kategorie der Betonkuppelbauer passen.¹² Erwähnenswert ist hier auch Frei Otto, der sich mit Membranbetonverbundbauten auseinandersetzte.⁹ Die von Felix Candela entworfenen Schalentragwerke sind, besonders schlanke und elegante Konstruktionen aus Beton. Die Schalung einer seiner Schalen kann in Abbildung 3.8 betrachtet werden.

¹² Vlg. Veenendaal (Hg.) 2013, 165.

⁹ Vlg. Peck (Hg.) 2013, 11-12.

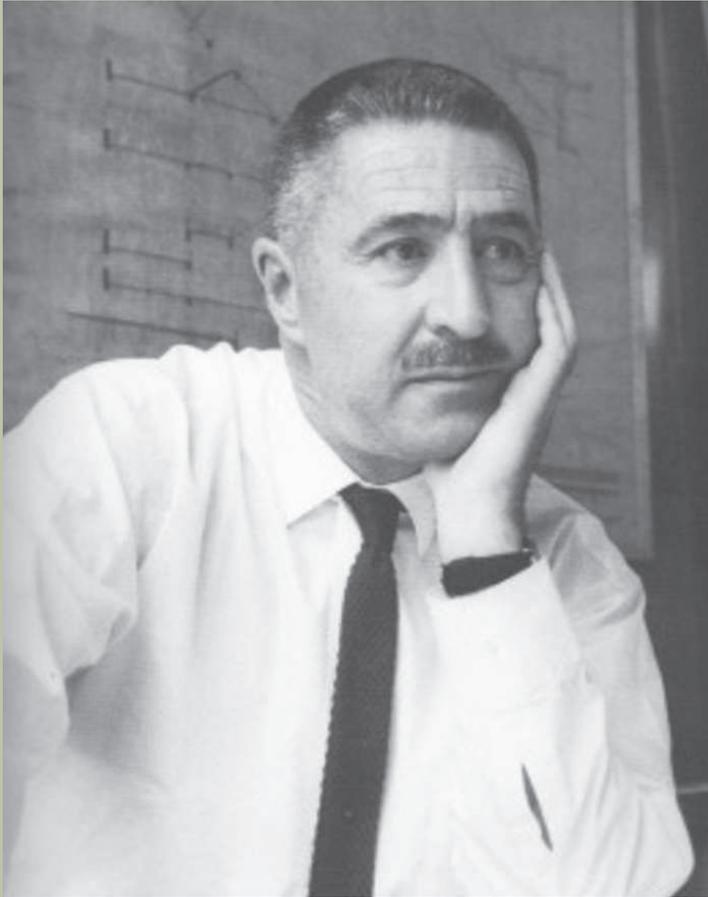


Abb. 3.7
Felix Candela, Portraitfoto, <http://bit.ly/2vTwcdd> Zugriff: 07.06.2017

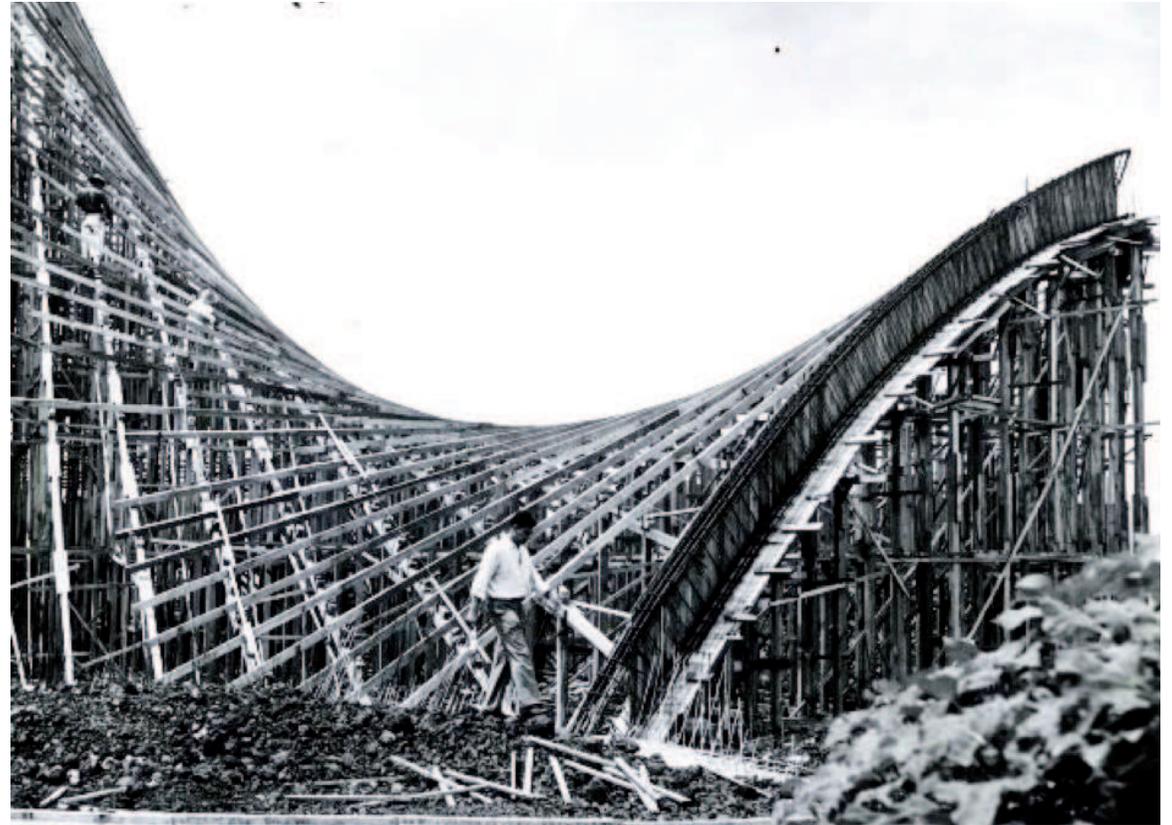


Abb. 3.8
Baustelle einer Betonschale, Aufbau der Unterkonstruktion für die textile Schalung, Morelos, México 1959, <http://bit.ly/2xkeX8l> Zugriff: 07.06.2017

3.2.4 Miguel Fisac (1913 - 2006) (Abbildung 3.9)

Lilienthal lobte in seinen Aufzeichnungen die Ergebnisse der Oberflächen, welche seiner Schalungen erzeugte. Die fertigen Objekte sehen aus wie weiche Polstermöbel und auch die Schönheit der Schalenkonstruktionen ist bemerkenswert. Allerdings war der Erste, der textile Schalungen mit einem architektonisch, ästhetisch Charakter belegte der Spanier Miguel Fisac. Da Fisac insbesondere Fassaden und Fassadenelemente entwarf, stellt er für diese Arbeit eine zentrale Rolle dar. Miguel Fisac graduierte sieben Jahre nach Felix Candela an derselben Hochschule, der Escuela Superiorde Arquitectura.¹² Bevor Fisac jedoch zu seiner eigenen Formensprache fand, musste einige Zeit verstreichen. 1913 geboren war er zur Zeit des spanischen Bürgerkrieges gezwungen sein Architekturstudium zu unterbrechen. Als strenger Katholik wurde Fisac ein frühes Mitglied der Opus Dei, welche Fisac auch während

des Bürgerkriegs im Land hielt. Als er 1942 graduierte, konnte er durch seine Loyalität Spanien gegenüber erste Aufträge an Land ziehen. Dies gelang ihm unter anderem, da Opus Dei Mitglieder zur Zeit des Franco Regimes einen ausgezeichneten Ruf genossen. Auch wenn er versuchte unabhängig zu sein, wurden seine frühen Werke stark von den Ausdrucksformen der Franco Diktatur geprägt. Fisacs erstes Werk war die Kapelle für das spanische Nationale Forschungs Choncil (CSIC). Diese wurde über der Ruine eines vom Bürgerkrieg zerstörten modernistisches Auditorium gebaut, welches von Carlos Arniches und Martin Domínguez stammte. Fisac versuchte den Vorgängerbau zu würdigen. Dieser war klar und rational, trotz der Bemühungen Fisacs wurde der Neubau mit den zu dieser Zeit für staatliche Bauaufgaben üblichen historisch klassizistischen Ornamenten versehen. In den 50ger Jahren schaffte es Fisac sich vom Regime unabhängig zu

¹² Vlg. Veenendaal 2013, 167.

machen. Mitte der 1950er verließ der Spanier die Opus Dei und heiratete. Nach zahlreichen Reisen in Europa, Japan, Israel und den USA, entwickelte Fisac seine eigene Ästhetik. Auf der Suche nach etwas Neuem und Einzigartigem entwickelte Fisac in den 1950ern ein Patent für einen Leichtbaustein. Später folgten die für ihn typischen Fassaden mit fein ziselierten und strukturreichen Sichtbetonoberflächen, die dennoch vom Material her absolut gleichmäßig sind. Ein besonderes Highlight der Formensprache Fisacs war das Wohnhaus in La Moraleja (1973 – 75), in der Nähe des Madrider Flughafens. Das eindeutig im Pop-Zeitalter erbaute Gebäude wirkt wie eine dort gestrandete Matratze in Mitten eines kleinen Waldes. Abbildung 3.10 zeigt dieses Gebäude. Das Objekt wirkt, als könnte man sich an die Fassade kuscheln. Die einst weiche Masse des Betons ist nun aber hart erstarrt, dennoch lässt die

Oberfläche nicht vergessen, dass sie zuvor weich und formbar gewesen ist. Fisac beschrieb das folgendermaßen: “[...]leave some trace of [its] having been soft.“¹

¹ Vig. Ballesteros 2015, Abs.: 4.



Abb. 3.10
Miguel Fisac, Haus in La Moraleja, Madrid, 1973-75, Architekturfoto,
<http://blog.alexwebb.com/?p=863> Zugriff: 28.05.2017

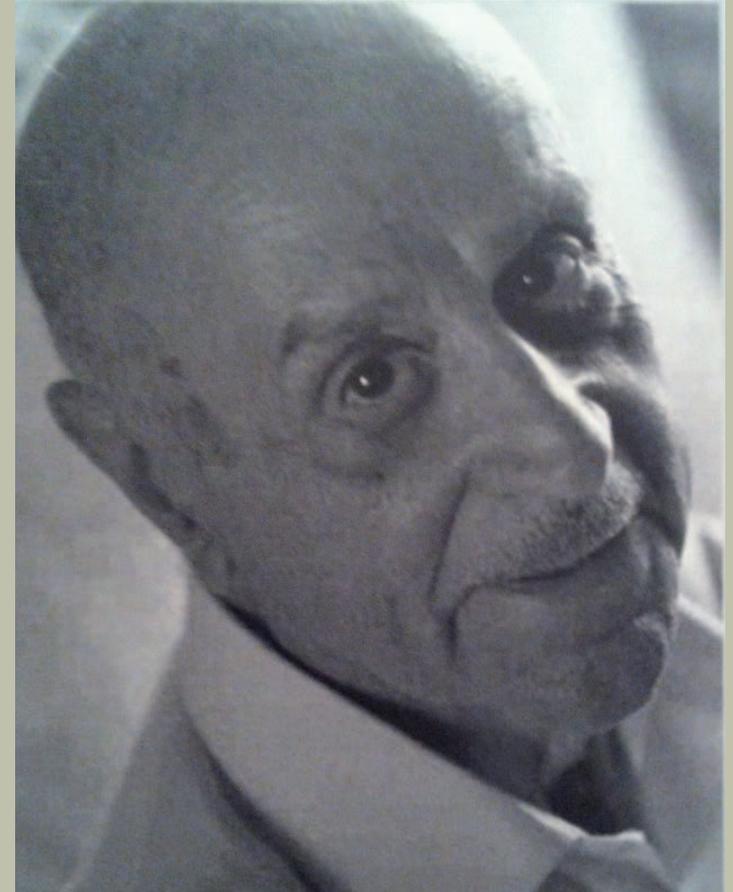


Abb. 3.9
Miguel Fisac, Portraitfoto, Fundación Miguel Fisac,
the fabric formwork book

3.2.5 Mark West, Rick Fearn und Kenzo Unno

In den späten 1980er und frühen 1990er Jahren waren vor allem Mark West, Rick Fearn und Kenzo Unno auf der Suche nach neuen Anwendungsgebieten von textilen Schalungen. Die drei Männer entwickelten, völlig unabhängig voneinander, variantenreiche Techniken für den textilen Schalungsbau.¹⁵ Die individuellen Forschungen kamen zu ähnlichen Ergebnissen, welche im weiteren Verlauf des Kapitel 3.2.5 beschrieben werden. Diese Architekten, welche sich textiler Schalungen zugewandt haben, denken nicht nur in großen Betonbauten, sondern auch in kleinteiligen Gebilden und Möbel. Deswegen stellen die von diesen drei Architekten entwickelten Techniken zum textilen Schalungsbau eine zentrale Rolle für diese Arbeit dar.

¹⁵ Vlg. International Society of Fabric Forming 2008, History, Sp. 1.

Mark West (Abbildung 3.11) ist ein aus Kanada stammender Künstler, Baumeister, Professor für Architektur und Erfinder einer Vielzahl von flexiblen Schalungstechniken und Konstruktionen. Zudem war West Gründer und Direktor des Centre for Architectural Structures and Technology, kurz CAST, an der University of Manitoba. Dies war die erste akademische Organisation, welche an textilen Schalungen forschte und diese auch weiterentwickelte. Derzeit lehrt er am Massachusetts Institut of Technology und als Gastprofessor an den unterschiedlichsten Bildungseinrichtungen weltweit.¹³ Außerdem ist er einer der Mitbegründer der ISOFF, der International society of fabric formwork (siehe Kapitel 3.5.7). Anfang 2017 veröffentlichte Mark West ein Buch, welches ein umfangreicher »state of the art report« ist. In diesem Buch legt er die Techniken und das Hintergrundwissen zum Thema textile Schalungen offen. Abbildung 3.12 zeigt eine von Wests Kunstgriffen, welcher mit Einschnürungen in der Schalhaut eine verzweigte Stütze zum Ergebnis hat.

¹³ Vgl. West, 2017, xi.



Abb. 3.11
Mark West, Portraitfoto, the fabric formwork book



Abb. 3.12
Modellfoto, Textil geschaltes Decken- und Stützensystem, the fabric formwork book

Rick Fearn (Abbildung 3.13) ist ebenfalls ein aus Kanada stammender Bauunternehmer, Geschäftsmann und CEO der Fab-Form Industries. Fearn erfand eine reiche Palette an textilen Schalungstechniken. Dies führte zur Entwicklung von leichten Fundamentschalungen, welche mittlerweile von Fab-Form Industries in Surrey BC hergestellt und vertrieben werden.¹⁵ In Abbildung 3.14 ist das System zu sehen. Dies hat einen rein technischen Anspruch und legt keinerlei Wert auf das Aussehen der fertigen Betonteile. Die Verwendung des Materials ist besonders effizient, da das Transportvolumen der Schalungsteile, im Gegensatz zu herkömmlichen Schalungen, um ein vielfaches reduziert wird.

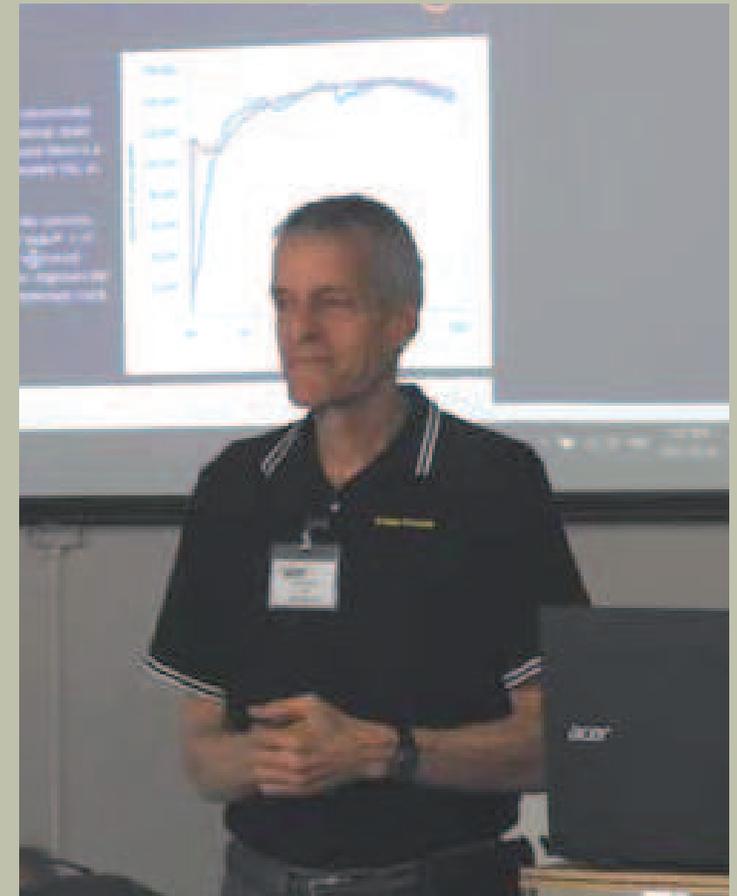


Abb. 3.13
Rick Fearn, Portraitfoto, <http://bit.ly/2w6xaHn> Zugriff:
18.08.2017

¹⁵ Vlg. International Society of Fabric Forming, 2008, History Sp. 1.



Abb. 3.14

Der von Rick Fearn erfundene Fastfoot, System zur Herstellung von Fundamenten.
Fab form industries, <http://bit.ly/2wZoNdD> Zugriff: 18.08.2017

Kenzo Unno (Abbildung 3.15) ist ein japanischer Architekt. Unno erfand ein textiles Schalungssystem für die Herstellung von Ortbetonwänden und wurde bekannt für seine Architektur, welche dem Aussehen von Polstermöbeln ähnelt. Die Einschnürungen seiner entworfenen Oberflächen wirken wie die Knöpfe einer Chaiselongue. In Wirklichkeit handelt es sich aber um die Ankerlöcher des Schalungssystems.^{15 17} Außerdem legte er großen Wert auf sparsame und effiziente Lösungen. So entstand das Zero-waste formwork System¹². Ein mit diesem Schalungssystem erzeugte Wand ist in Abbildung 3.16 zu sehen.



Abb. 3.15
Kenzo Unno, Portraitfoto, <http://bit.ly/2xjuMfs> Zugriff:
19.08.2017

¹⁵ Vlg. International Society of Fabric Forming, 2008, History Sp. 1.

¹⁷ www.fabwiki.fabric-formedconcrete.com/ Kenzo Unno.

¹² Vlg. Veenendaal 2011, 168.



Abb. 3.16
Fertiges Oberflächenergebnis des Schalungssystems, welches von Unno erfunden wurde, Beispiel einer Innenraumanwendung, <http://bit.ly/2vUdsKu> Zugriff: 18.08.2017

3.2.6 Diederik Veenendaal (Abbildung 3.17)

Der Bauingenieur Diederik Veenendaal ist ein Doktorand am Institut für Architekturtechnologie an der ETH Zürich, am Swiss Federal Institute of Technology. 2010 begann Veenendaal seine Doktoraststudium bei der Block Research Group. Seine Forschung hat folgende Bezeichnung: Strategies to integrate design, form-finding and analysis of fabric-formed shell structures and other structural systems. Neben zahlreichen eigenen Publikationen war er auch Co-Autor einiger Bücher und wissenschaftlicher Papers. Beispielsweise das Buch „Shell Structures for Architecture“ aus dem Jahr 2014. Veenendaal war neben Edward Allen, John Ochsendorf und Ronni Araya Caceres einer der Co-Autoren von »The Fabric Formwork Book«. Veendendaal verfasste das Kapiel 2 »The History of Fabric Formwork« in dem Buch, welches 2017 von Mark West herausgegeben wurde (siehe Kapitel 3.2.5).¹⁵



Abb. 3.17
Diederik Veenendaal, Portraitfoto, <http://kurzelinks.de/3z1c>, Zugriff 27.10.2017

¹⁵ Vlg. West (Hg.) 2017, xiii.

3.2.7 International Society of Fabric Forming (Abbildung 3.18)

In den 1980ern kamen günstige Kunststoffgewebe und Polyethylen- und Polypropylenfolien auf den Markt. Dies fiel zeitlich mit der Verwendung des Internets an den Universitäten zusammen, nun konnten sich Forschende einfacher in Verbindung setzen. Im Fall der fabric formwork schloss sich Mark West mit Kenzo Unno und Rick Fearn zusammen. Daraus entstand 2002 an der University of Bath und der University of Edinburgh ein Zusammenschluss namens CAST. Nachdem sich später noch zahlreiche Forscher, Architekten, Ingenieure und andere Forscher, welche an textil geformten Objekten interessiert waren, dieser Organisation anschlossen, wurde im Jahr 2008 die international Society of Fabric Forming gegründet. Eines der ausgewiesenen Ziele der Organisation ist es, in einer Welt mit begrenzten Ressourcen textile Schalung, als effiziente Lösung für den Schalungsbau anzubieten. Textile Schalungen nehmen wenig Platz in Anspruch und sind leicht zu transportieren. Auch statisch können bestimmte Formgebungen das Material Beton optimal ausnutzen. Die international Society of Flexible Forming ist eine Plattform, auf welcher ein multidisziplinärer Austausch stattfindet. Immer wieder organisiert die International Society of Fabric Forming Symposien und Premieren, bei denen die besten Projekte und Schriften zu diesem Thema vorgestellt werden.¹⁵

Abb. 3.18
Titelbild der Internetseite von ISOFF, / <http://www.fabricforming.org/> Zugriff:
18.05.2017

ISOFF
International Society of Fabric Forming

¹⁵ Vgl. International Society of Fabric Forming 2008.

4 Prototypen

4.1 Experimente

Inspiziert von den Arbeiten aus der gelesenen Literatur behandelt das Kapitel Prototypen den Findungsprozess einer eigenen Formensprache. Besonders Mark West und dessen Werk, „the fabric formwork book“ waren für die Ideenfindung und die darin enthaltenen Hinweise zur technischen Umsetzung eine große Hilfe. Dies gilt auch für das Buch „fabric formwork“ von Alan Chandler und Femo Pedreschi. Weitere Impressionen flossen aus der Betrachtung eines Workshops an der University of Bath und der University of Edinburgh ein. Diese Workshops beschäftigten sich hauptsächlich mit textil geschalteten Objekten. Bei diesen studentischen Projekten wurde mit einfachsten Mitteln gearbeitet. Eben diese Einfachheit wurde für die Entwicklung, der in Kapitel 4 beschriebenen

Prototypenserie aufgegriffen. Nach Festlegung des Design der Prototypen wurde eine Textilsammlung angelegt. Abhängig von den Eigenschaften der Textilien wurden diese einzelnen Designs zugeordnet. Das Grundformat wurde mit 50 x 50 cm festgelegt. Dank dieser Abmessungen bleiben die Einzelteile gut transportierbar, sind aber nicht zu klein, um Überlegungen auf größere Dimensionen zu erschweren. Der in den Versuchen verwendete Beton wurde mit einem Farb-Mörtelrührgeräte vermischt. Die Bestandteile des Betons wurden mit einem herkömmlichen Litermaß in Raumteilen bemessen. In den folgenden Kapiteln sind die Versuche chronologisch aufgelistet.



Abb. 4.1
Sicherheitsausrüstung für den Umgang mit Zement

4.1.1 Sicherheitsausrüstung

Zement kann bei Augenkontakt diese stark reizen. Deshalb ist es beim Umgang mit Zement wichtig die Augen zu schützen. Dies geschah mit Hilfe einer Schutzbrille.

Nicht nur die Augen, sondern auch die Haut ist von dieser Reizung betroffen. Dementsprechend ist auch das Tragen von Handschuhen und langärmeliger Arbeitskleidung empfehlenswert.

Das Gehör muss beim Arbeiten mit Maschinen die eine Lärmentwicklung von über 85 dB aufweisen ebenfalls bedeckt werden. Da dieser Grenzwert beim verwendeten Farb-Mörtelrührgerät überschritten wurde, war ein Gehörschutz unabdingbar. Die zur Herstellung der Prototypen verwendete Schutzausrüstung ist in der Abbildung 4.1 dargestellt.



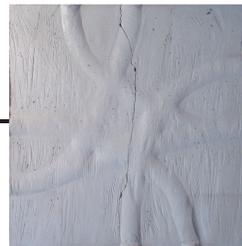
1



2



3



4



4.2 Entwicklungen

Die erfolgreichsten Entwicklungsschritte der Prototypen sind in der Bildabfolge von Abbildung 4.2 ersichtlich. Ausgehend vom Grundformat laufen die Entwicklungen in verschiedenen Richtungen. Die Entwicklungsschienen drei und vier sind die Erfolgversprechendsten, da der Herstellungsprozess effizient und die Ergebnisse reproduzierbar sind.

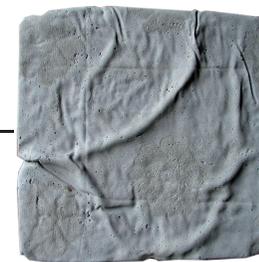
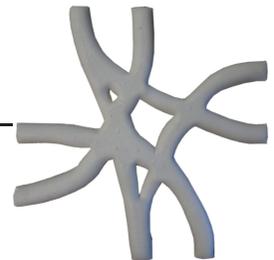
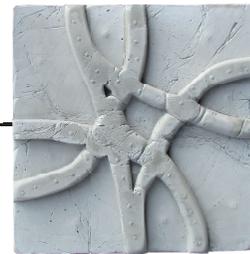


Abb. 4.2
Abfolge der wichtigsten Entwicklungsschritte

Steckbrief

Unterkonstruktion: Beschichtete Spanplatte,
Finnpappe

Textil: Gewebte Polyethylen-Plane

Material: Gips

+ Vorteile

Formschöne Oberfläche,
Relief tritt schön hervor

- Nachteile

Folie wirft Falten

VERSUCH I :

KURZBESCHREIBUNG:

Der erste Versuch wurde mit Gips getätigt. Dieses Material hatte jedoch das Problem, dass es durch die hohe Luftfeuchtigkeit in der Werkstätte nicht richtig ausgehärtet ist. Dadurch zerbröselte das Objekt beim Entfernen der Schalung. Es gestaltet sich außerdem auch schwierig die gewebte Plane in die verschiedenen Richtungen zu verformen. Aus diesem Grund wurde die Plane in den Vertiefungen fest geklammert, um das Verrutschen zu verhindern. Leider erschwert dies das Entfernen der Schalung zusätzlich.

4.2.1 Versuch I

Beim Herantasten an das Thema wurde der erste Versuch mit Gips ausgeführt, da dieser schneller abbindet als Beton. Abbildung 4.3 zeigt wie durch Rotieren, Verzerren und Krümmen der Idealform das finale Aussehen der Matrice entstanden ist.

Als Schalungsform diente eine 50 x 50 cm große beschichtete Spanplatte, auf deren Ränder 10 cm breite Streifen desselben Materials aufgeschraubt waren. In diese Unterkonstruktion wurden Matrizen aus Finnpappe eingelegt und darüber zwei Lagen einer schlicht gewebten Polyethylen Plane. Der Aufbau ist in den Abbildungen 4.4 bis 4.7 zu sehen. Die eingesetzte Plane verhielt sich beim Verarbeiten schwierig, da diese nicht gut geeignet ist, um sie in mehrere Richtungen zu biegen. Dies war aber Aufgrund der Geometrie der Schalung

notwendig. Aus diesem Grund wurde die Plane mit Klammern am Schalungsboden fixiert. Nachdem die Schalung fertiggestellt war, wurde diese mit Gips ausgegossen. Dieser wurde mit zwei Raumteilen Gips und einem Raumteil Wasser angemischt und bei +18 °C eingebracht. Die hohe Luftfeuchtigkeit in der Werkstätte erwies sich als problematisch für das Aushärten. Außerdem dehnt sich Gips beim Trocknen aus und quoll aus der Schalung hervor. Nachdem das Objekt aus der Schalung genommen wurde, zerfiel es in sehr kleine Teile. Zwar war an einigen Fragmenten die Struktur der Oberfläche erkennbar, aber durch deren Instabilität waren dieses Objekt unbrauchbar. Zudem knitterte diese Folie stark, was nicht besonders hilfreich für eine gleichmäßige Oberfläche ist.

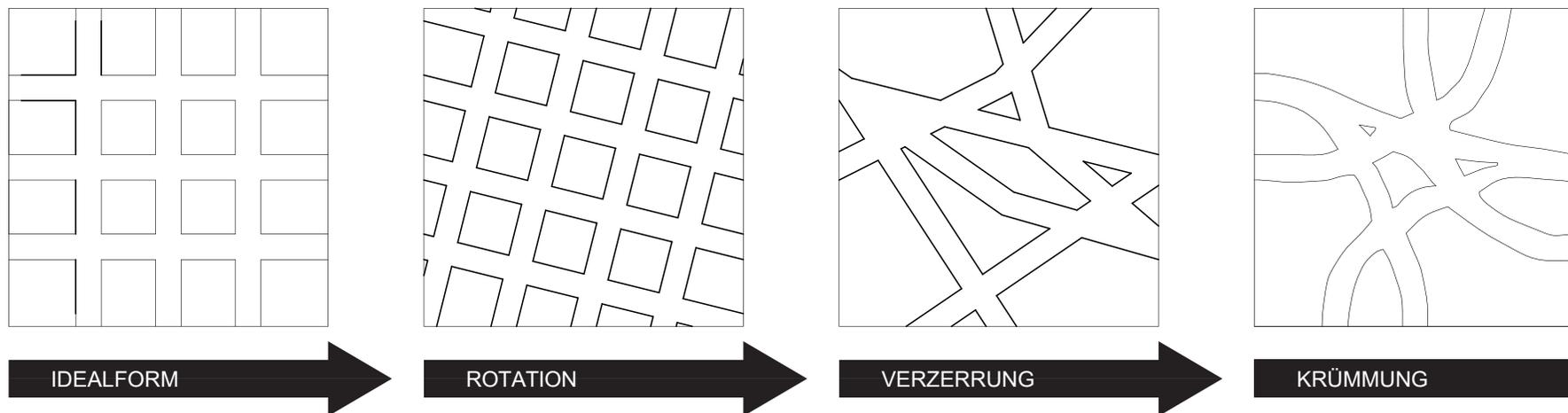


Abb. 4.3
Schrittweise Abformung der statischen Idealform bis hin zur eigenen Entwicklung.



Abb. 4.4
Grundformat

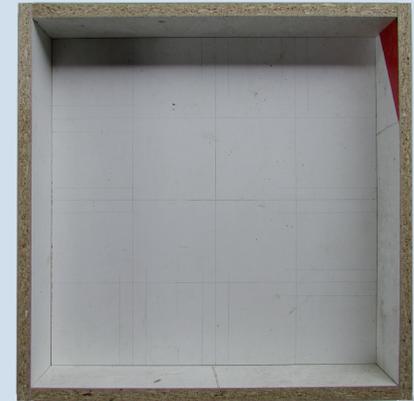


Abb. 4.5
Grundformat mit Seitenwänden

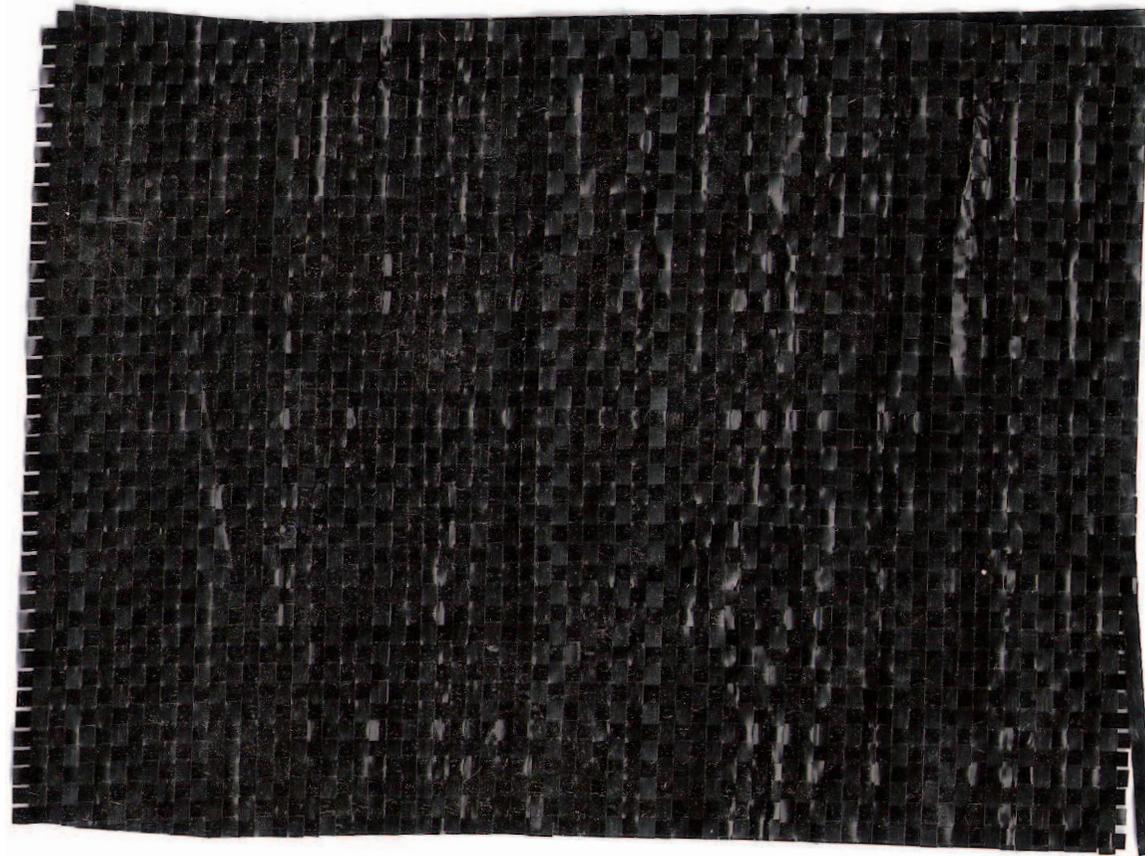


Abb. 4.6
Grundformat mit Matrizen



Abb. 4.7
Grundkonstruktion mit Folie

Versuch I



Textilmuster der angewandten Schalhaut des Versuchs I, III, IV

VERSUCH II :

KURZBESCHREIBUNG:

Beim nächsten Versuch wurde eine 3 mm dicke mehrschichtige Dachbahn aus Kunststoff (Sanafil) verwendet. Die Folie wurde mit einem Heißluftfön in die Vertiefungen der Matrize hineingebogen. Dies geschah bei einer Bearbeitungstemperatur von 480 - 530 °C. Wichtig ist dabei die Folie nicht zu stark aufzuheizen, um Blasenbildung zu vermeiden. Durch das in der Folie enthaltene Gewebe lässt sich diese nur wenig verformen.

Steckbrief

Unterkonstruktion: Beschichtete Spanplatte, Fennpappe

Textil: 3 mm Sanafilfolie mit Gewebeeinlage

Material: Beton (3 Raumteile Zement, 2 Raumteile Quarzsand, 1 Raumteil Wasser)

+ Vorteile

Sehr glatte Oberfläche

- Nachteile

Durch das in der Folie enthaltene Gewebe tritt das Relief nur sehr schwach hervor

4.2.2 Versuch II

Um die Fehler aus Versuch I zu korrigieren wurde beim nächsten Versuch der Gips gegen Beton getauscht und eine andere Schalhaut verwendet. Lediglich die Unterkonstruktion und das Format blieben erhalten. In die Unterkonstruktion wurde eine 3 mm dicke Sanafil-Folie mit Gewebereinlage eingebracht (Abbildung 4.9). Die Ecken wurden eingeschnitten, um die Folie besser der Form anzupassen. Sobald diese eben auf der Unterkonstruktion auflag, wurde die Folie mit einem Heißluftföhn bearbeitet. Mit 480 – 530 °C Bearbeitungstemperatur konnte die Folie nun in die Matrize hineingebogen werden. (Abbildung 4.8) Zu heiß darf nicht gearbeitet werden, denn ansonsten kann die Oberfläche der Folie Blasen werfen. Diese Blasen übertragen sich als unschöne Unregelmäßigkeiten auf den Beton. Durch die Gewebereinlage lässt sich diese Folie jedoch nicht besonders weit verformen. Das heißt für das fertige Ergebnis, dass sich das Relief nur schwach an der Betonoberfläche zeigt. Sobald die Folie ausgekühlt

war, wurde diese mit einer Betonmischung von drei Raumteilen Zement, zwei Raumteilen Quarzsand mit einer Körnung von 0,1 - 0,5 mm und einem Raumteil Wasser gefüllt. Bei einer Außentemperatur 24 °C wurde der Beton mit Frischhaltefolie abgedeckt, um ein Verdunsten des Wassers zu vermeiden. Beim Transportieren der fertigen Betontafel (Abbildung 4.10), brach diese in zwei Teile. Dies geschah aufgrund des Fehlens einer Bewehrung.

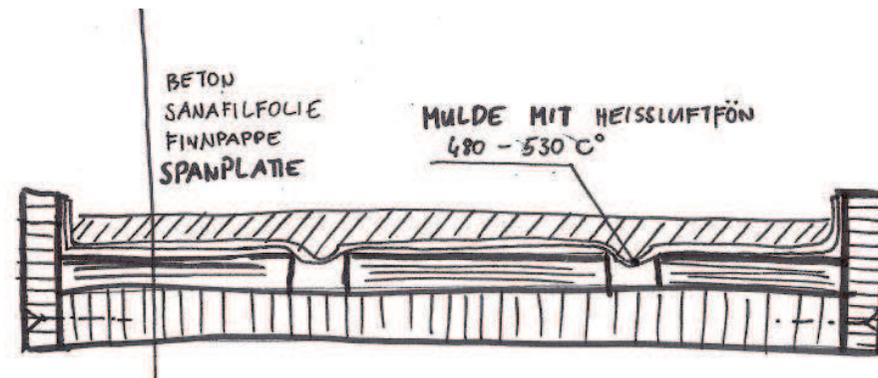


Abb. 4.8
Skizze, Schnitt durch die Schalung

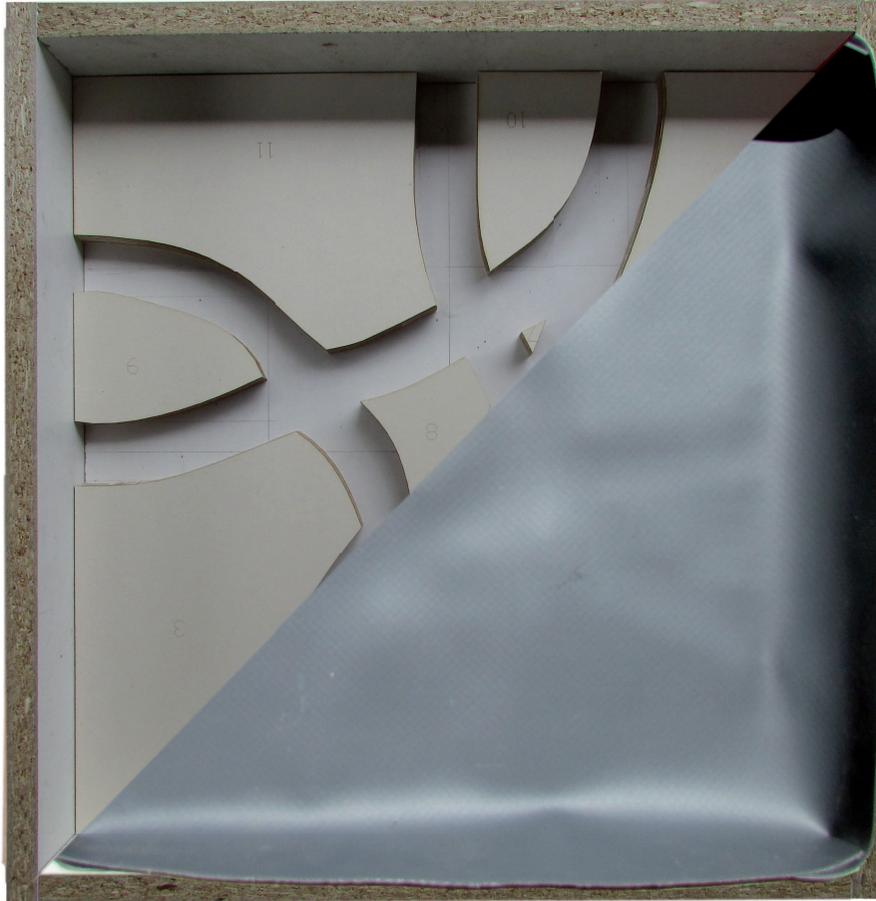
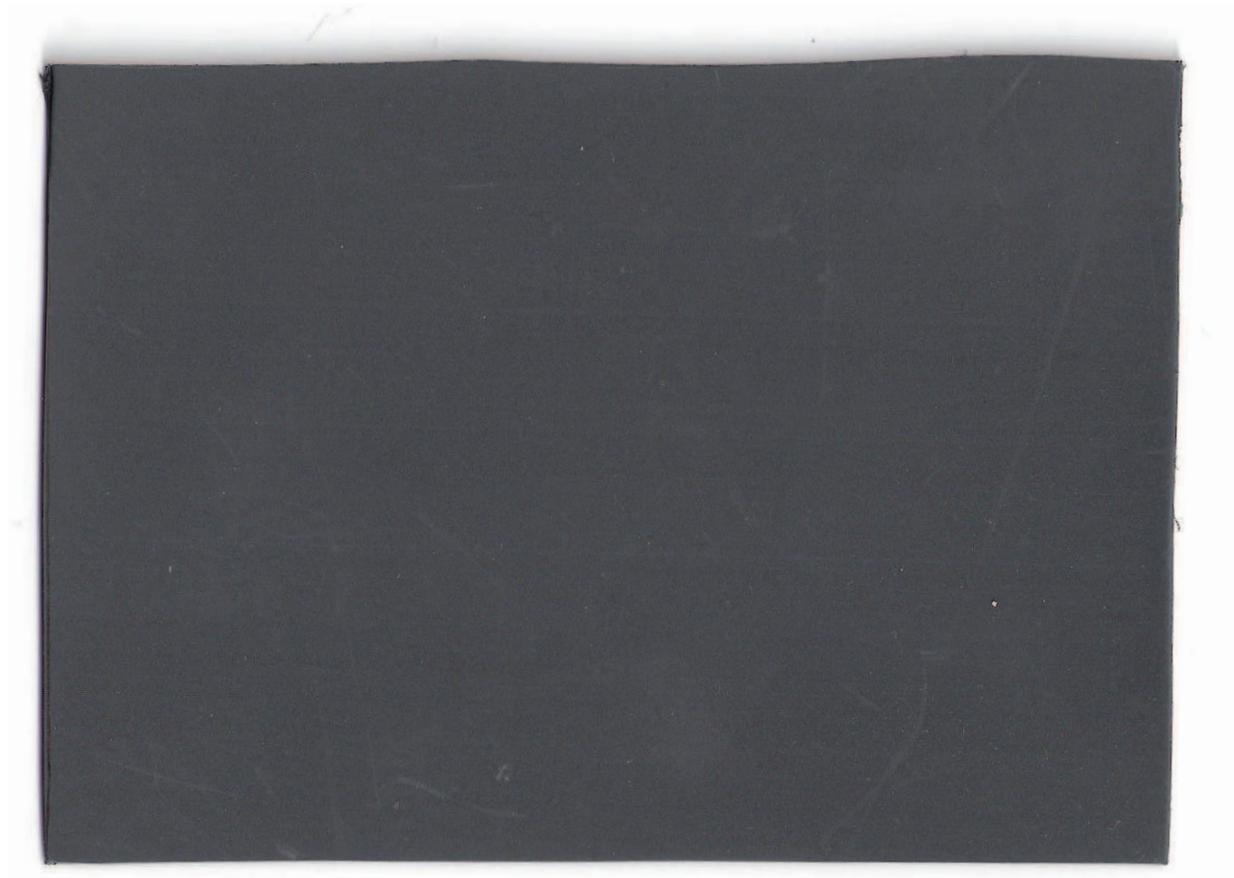


Abb. 4.9
Grundkonstruktion mit Sanafil ausgelegt



Abb. 4.10
Fertiges Ergebnis von Versuch II



Textilmuster der angewandten Schalhaut des Versuchs II

VERSUCH III :

KURZBESCHREIBUNG:

Über den Unterbau aus Siebdruckplatte werden Polypropylen-Seile gespannt. Auf die gespannten Seile wurde eine Plane aufgelegt. Danach wurde der Beton aufgeschüttet. Durch dessen Gewicht sackte der Beton in der Form ab und erhärtet so als gekrümmte Oberfläche. Beim Ausschalen brach die dünne Schale an den Seileeinschnitten und hielt nur noch an den Glasfaserfäden zusammen.

Steckbrief

Unterkonstruktion: Siebdruckplatte, Beschichtete Spanplatte, Polypropylen-Seil 8 mm

Textil: Gewebte Polyethylen-Plane

Material: Beton (1 Raumteil Zement, 3 Raumteile Quarzsand, 1 Raumteil Wasser)

Bewehrung: Glasfaserfäden

+ Vorteile

gutes Ergebnis der Oberfläche

- Nachteile

Steiles Relief, Absacken des Füllmaterials

4.2.3 Versuch III

Für Versuch III wurde mit Einschnürungen experimentiert. Für den Unterbau wurde wieder ein System gewählt so wie für die beiden ersten Experimente (Abbildung 4.11). Diese bestand aber aus Gründen der Feuchtebeständigkeit aus Siebdruckplatten, da eine gewebte Plane drückendem Wasser gegenüber durchlässig sein kann. Über die Konstruktion aus Siebdruckplatten wurde zwei Polypropylen-Seile (Abbildung 4.12) mit einem Durchmesser von 8 mm diagonal gespannt und mit Klammern an den Ecken befestigt. Nach diesem Schritt wurde eine gewebte Polyethylen-Plane in die Form gelegt. Diese Schalung wurde mit folgender Betonmischung ausgegossen: einem Raumteil Zement, drei Raumteile Quarzsand in Körnung 0,1 – 0,5 mm und einem Raumteil Wasser. Der Beton wurde bei einer Lufttemperatur von 22 °C verarbeitet und wurde wieder mit Frischhaltefolie abgedeckt. Um den Fehler der letzten Experimente nicht zu wiederholen wurde dieses Mal eine Bewehrung, in Form von einem Raumteil Glasfasern hinzugefügt. Diese Glasfasern wurden als ungerichtete Bewehrung in den Beton eingebracht.

Nachdem aber der flüssige Beton in der Schalung absackte, fiel der Effekt der Bewehrung relativ gering aus. An den Kanten konnte diese das Gewicht des Betons nicht halten und es kam zum Bruch. Es entstanden vier separate Teile (Abbildung 4.13). Auch beim Wiederholen des Experiments mit einer flacheren Unterkonstruktion glückte das Experiment nicht. Auch hier schnitt das Seil zu stark in den Beton ein und teilte diesen. Theoretisch wäre es in einem Vakuumsack sicher möglich ein derartiges Fassadenelement herzustellen. Der Vakuumsack würde das Absacken verhindern und ein gleichmäßig dickes, mehrfach gekrümmtes Betonelement könnte durchaus gefertigt werden.

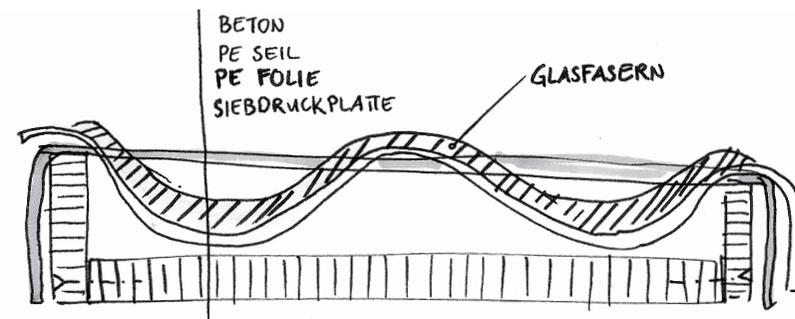


Abb. 4.11
Skizze, Schnitt durch die Schalung

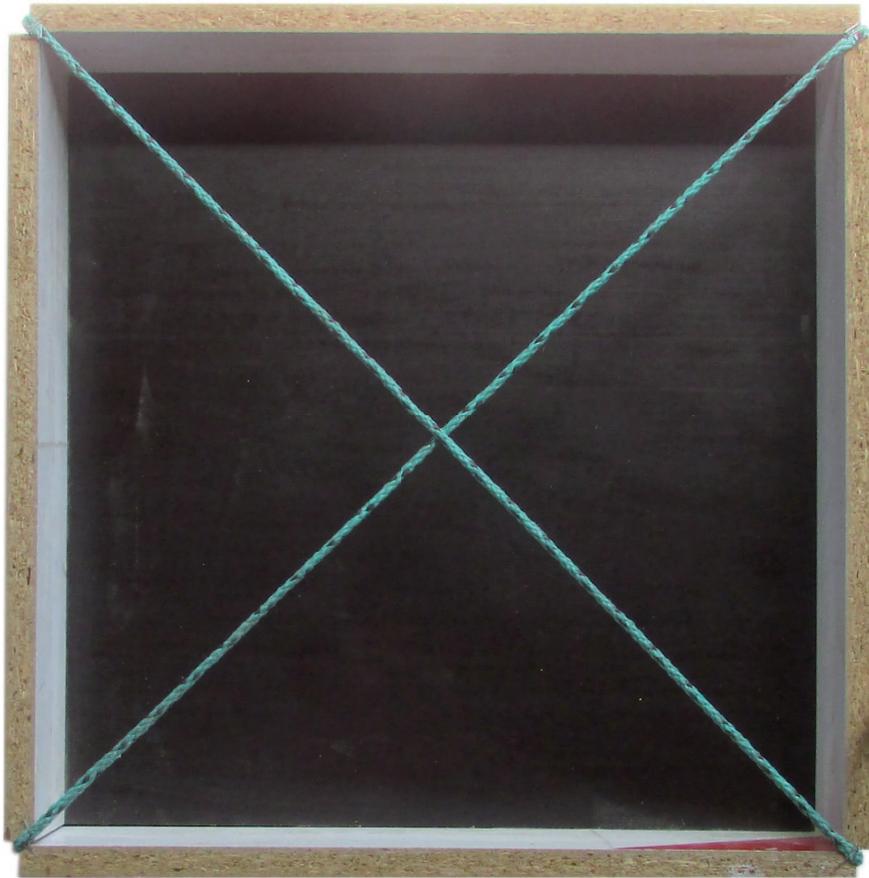


Abb. 4.12
Grundkonstruktion mit Polypropylen-Seilen



Abb. 4.13
Fertiges Ergebnis von Versuch III

Steckbrief

Unterkonstruktion: Siebdruckplatte, Kartonröhren 60cm Durchmesser

Textil: Gewebte Polyethylen Plane

Material: Beton (2 Raumteile Zement, 2 Raumteile Quarzsand, 1 Raumteil Wasser)

Bewehrung: Glasfaservlies

+ Vorteile

Gutes Ergebnis der Oberfläche

- Nachteile

Plane knitterte leicht

VERSUCH IV :

KURZBESCHREIBUNG:

Kartonrohre (60 cm Durchmesser) wurden aufgeschnitten und in die Schalung eingelegt. Zusätzlich wurden sie noch auf der Rückseite mit Doppelseitigem Klebeband fixiert, um sie gegen verrutschen zu sichern. Am Klebeband wird auch die Plane befestigt.

4.2.4 Versuch IV

Die Unterkonstruktion bestand aus Siebdruckplatten, da diese feuchtebeständiger sind als die zuerst verwendeten beschichteten Spanplatten. Die seitlichen Streifen aus Plattenmaterial waren diesmal 6 cm hoch. Innerhalb dieser ersten Konstruktion wurden aufgeschnittene Röhren aus Karton als Matrizen eingelegt und darüber wurde eine Lage gewebte Polyethylen-Plane gelegt (Abbildung 4.14 und 4.15). Der verwendete Beton setzte sich aus zwei Raumteilen Zement, zwei Raumteilen Quarzsand mit der Körnung 0,1 – 0,5 mm und einem Raumteil Wasser zusammen. Beim Einbringen des Betons bei einer Lufttemperatur von 22 °C, wurde als Bewehrung ein Glasfaservlies in den feuchten Beton eingewalzt. Davor wurden mit einem Schneebesen für den Kucheneinsatz die Luftblasen aus dem Beton entfernt. Um ein Verdunsten des Anmachwassers des Betons zu vermeiden, wurde das Experiment mit Frischhaltefolie abgedeckt. Diese Arbeitsweise ermöglichte eine hervorragende Oberflächenqualität, welche frei von Blasen war und das Muster der

Plane perfekt widerspiegelte. Siehe Abbildung 4.16. Zusätzlich erklärt sich die Blasenfreiheit mit der saugenden Unterkonstruktion aus Karton. Diese Kartonröhren waren nach dem Gebrauch völlig durchweicht und hatten ihre gesamte Stabilität eingebüßt, sodass diese nach einmaliger Verwendung entsorgt werden mussten. Für jeden Versuch aus dieser Reihe mussten neue Röhren verwendet werden. Das Oberflächenergebnis war reproduzierbar.

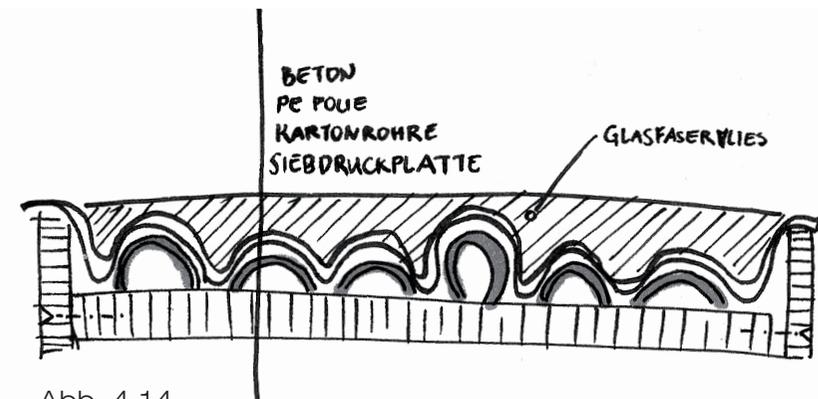


Abb. 4.14
Skizze, Schnitt durch die Schalung



Abb. 4.15
Grundkonstruktion mit Kartonröhren



Abb. 4.16
Fertiges Ergebnis von Versuch IV

VERSUCH V :

KURZBESCHREIBUNG:

Mit Hilfe eines Staubsaugers wurde eine Art Tiefziehtisch gebaut. Hierbei spielt die Dichtheit der Box eine große Rolle. Ansonsten würde zu viel Falschluff angesaugt. Deshalb wurde die Box mit Silikon abgedichtet. Für den Staubsaugerschlauch wurde am unteren Teil eine Gummilippe eingebaut. Vor dem Ansaugen wurde die Folie mit dem Heißluftfön behandelt, damit sich diese leicht ansaugen lässt.

Steckbrief

Unterkonstruktion: Finnpappe, Siebdruckplatte, beschichtete Spanplatte, Silikon

Textil: Tiefziehfolie 3 mm

Material: 2 Raumteile Zement, 2 Raumteile Quarzsand, 1 Raumteil Wasser

Bewehrung: Putzgitter aus PVC

+ Vorteile

Starkes Relief

- Nachteile

Bohrungen der Schalungen sind Sichtbar

4.2.5 Versuch V

Bei dem folgenden Versuch wurde wieder die Matrize aus Versuch I und II verwendet. Für eine Verbesserung der Ergebnisse wurde hier eine einfache Variante eines Tiefziehtisches angefertigt. Dies geschah folgendermaßen: Als Grundkonstruktion diente eine Box, bestehend aus Siebdruckplatten. Diese Box war mit Silikon abgedichtet und mit 50 x 2,8 mm Schrauben verschraubt. Die obere Platte mit der Matrize darauf war 10 cm nach unten versetzt, um eine Schalungsbegrenzung zu realisieren. Außerdem verfügt die Platte über eine Vielzahl von Bohrungen, als Verbindung zum Hohlraum unterhalb. Der Hohlraum im unteren Teil ist seitlich mit einer Bohrung mit einem 54 mm großen Durchmesser versehen. Diese Bohrung verfügte zusätzlich noch über eine Gummilippe um die Luftdichtheit zu erhöhen. In diese große Bohrung wurde ein Staubsaugerschlauch eingeführt. Als Schalhaut wurde hier Tiefziehfolie mit einer Stärke von 3 mm benutzt (Abbildung 4.17 und 4.18). Der thermoplastische Kunststoff, aus welchem die Tiefziehfolie besteht, wurde mit einem Heißluftföhn mit 280°C Bearbeitungstemperatur erhitzt. Nach ihrem Erweichen wird die Folie durch den Sog des Staubsaugers in die Matrize gezogen. Nach dem Auskühlen der Schalhaut wurde diese mit Speiseöl bestrichen und mit Beton

gefüllt. Der Beton hierfür enthielt zwei Raumteile Zement, zwei Raumteile Quarzsand mit der Körnung 0,1 – 0,5 mm und einen Raumteil Wasser. Durch den Einsatz des Schneebesens wurden etwaige Luftbläschen entfernt. Als Bewehrung wurde ein Putzgitter aus PVC in den feuchten Beton eingewalzt. Die Lufttemperatur betrug 26 °C und der Beton wurde mit Frischhaltefolie bedeckt, um ein Verdunsten des Anmachwassers zu vermeiden. Durch diesen Arbeitsprozess war die Betonoberfläche von guter Qualität (Abbildung 4.19). Leider knitterte die Folie etwas durch die ungleichmäßige Temperatur der Tiefziehfolie beim Ansaugen. Das bewirkte eine unregelmäßige Falten- und Wulstbildung. Teile der Folie blieben in den Falten des ausgehärteten Beton haften, etwaige abgerissene Reste wurden mit dem Heißluftföhn entfernt.

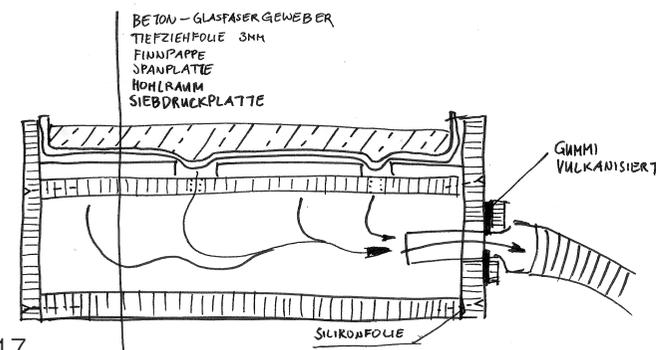


Abb. 4.17
Skizze, Schnitt durch die Schalung

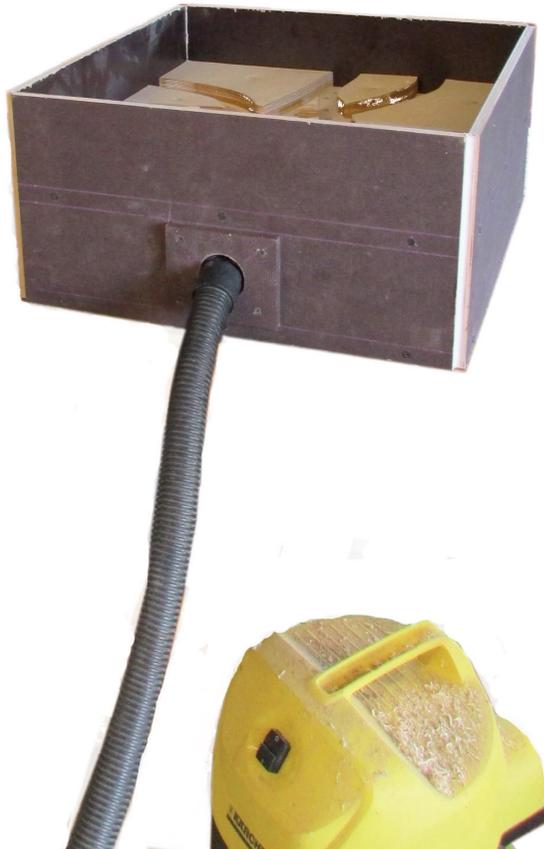


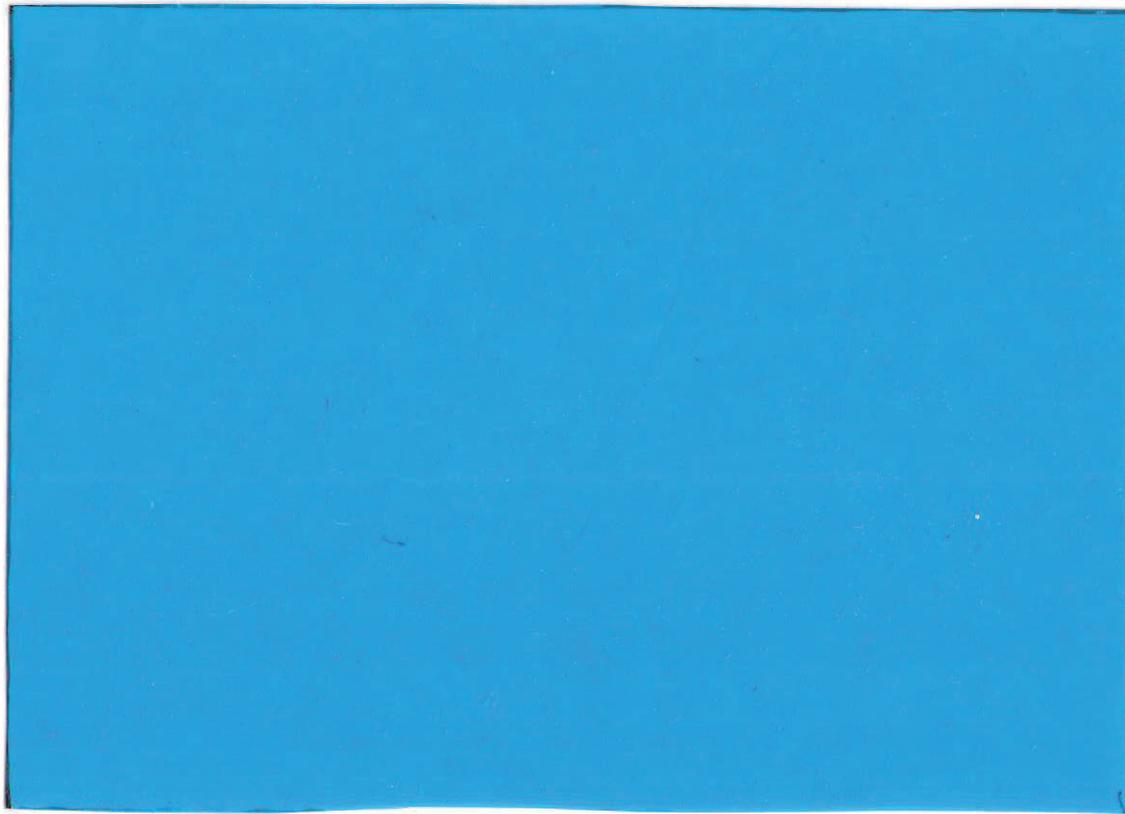
Abb. 4.18
Tiefziehtisch mit angeschlossenem Staubsauger



Abb. 4.19
Fertiges Ergebnis von Versuch V



Textilmuster der angewandten Bewehrung



Textilmuster der angewandten Schalhaut des Versuchs V

Steckbrief

Unterkonstruktion: Siebdruckplatte, beschichtete Spanplatte, feuchter Sand

Textil: Polsterstoff mit Satinblumenmuster

Material: Beton (2 Raumteile Zement, 2 Raumteile Quarzsand, 1 Raumteil Wasser)

Bewehrung: Putzgitter aus PVC

+ Vorteile

Blumenmuster überträgt sich perfekt,
Textil saugt stark

- Nachteile

Stoff muss sehr vorsichtig vom fertigen Beton abgezogen werden

VERSUCH VI :

KURZBESCHREIBUNG:

Zunächst wurde Sand in die Form gegeben, welcher mit einer Gießkanne befeuchtet wurde. Danach wurde der Stoff aufgelegt und verschiedene Vertiefungen in den Sand eingedrückt. Anschließend wurde Beton eingebracht und mit Putzgitter versehen.

4.2.6 Versuch VI

Dieser Versuch war besonders durch die Nutzung von unkonventionellen Mitteln geprägt. Der Unterbau bestand aus der üblichen Form aus Siebdruckplatten (Abbildung 4.23). Die seitlichen Streifen aus Plattenmaterial maßen 10 cm. Die Form wurde mit Quarzsand, Körnung 0,1 – 0,5 gefüllt und mit einer Gießkanne möglichst gleichmäßig befeuchtet, wie in der Abbildung 4.20 zu sehen ist. Danach wurde ein Polsterstoff mit einem großen Satinblumenmuster in die Schalform gelegt. Dieser wurde auch mit der Gießkanne angefeuchtet (Abbildung 4.21). Der Sand wurde in Form gebracht, sodass der Faltenwurf des Stoffes erhalten bleibt. Es wurden Dellen mit Hilfe eines Golfballes und einer Glasmurmeln durch den Stoff in den nassen Sand gedrückt. Bei einer Lufttemperatur von 28° C wurde eine Betonmischung, bestehend aus zwei Raumteilen Zement, zwei Raumteilen Quarzsand und einem Raumteil Wasser eingebracht. Mögliche Lufteinschlüsse

wurden mit dem Schneebesen entfernt und auch hier wurde ein Putzgitter aus PVC eingebracht. Auch bei Experiment VI wurde Frischhaltefolie gegen das Verdunsten des Anmachwassers verwendet. Nach dem Aushärten offenbarte diese Kombination aus saugender Schalung und dem Muster des Polsterstoffes ihre volle Wirkung. Der Beton übernahm die Oberfläche des Stoffes, welcher je nach Lichteinfall eine andere Wirkung entfaltet (Abbildung 4.22). Nachdem das Ergebnis dieses Versuchs so überzeugend war, wurde dieser mit einem Vorhangstoff, welcher mit großen Samtblumen beflockt war, wiederholt. Mit diesem Stoff konnte das oben genannte Ergebnis jedoch nicht voll und ganz umgesetzt werden. Der Polyesterstoff saugt nur schwach und somit blieben Lufteinschlüsse an der Betonoberfläche erhalten. Doch auch hier waren die Abdrücke der Blumen im Beton zu einer form-schönen Oberfläche erstarrt (Abbildung 4.24 und 4.25).



Abb. 4.20
Schalform mit feuchtem Sand befüllt



Abb. 4.21
Schalform mit Polsterstoff ausgelegt



Abb. 4.22
Fertiges Ergebnis von Versuch VI

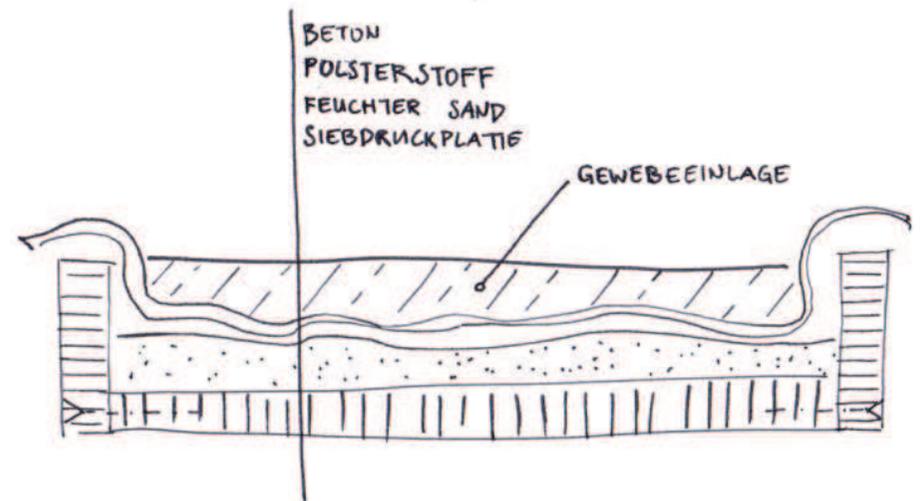


Abb. 4.23
Skizze, Schnitt durch die Schalung



Abb. 4.24
Schalform Variante des Versuch VI



Abb. 4.25
Ausgeschaltetes Ergebnis der Variante von Versuch VI



Textilmuster der angewandten Schalhaut des Versuchs VI

Steckbrief

Unterkonstruktion: Finnerpappe, Siebdruckplatte, beschichtete Spanplatte

Textil: 0,5 mm Latexhaut

Material: 2 Raumteile Zement, 2 Raumteile Quarzsand, 1 Raumteil Wasser

Bewehrung: Putzgitter aus PVC

+ Vorteile

Starkes Relief

- Nachteile

Bohrungen der Schalungen sind sichtbar

VERSUCH VII :

KURZBESCHREIBUNG:

Hier wurde dieselbe Unterkonstruktion verwendet wie in Versuch V. Auch hierbei spielte die Dichtheit der Box eine große Rolle, da ansonsten zu viel Falschluff angesaugt würde. Deshalb wurde die Box mit Silikon abgedichtet. Für den Staubsaugerschlauch wurde am unteren Teil eine Gummilippe eingebaut. Als Schalhaut wurde eine 0,5 mm dicke Latexhaut verwendet.

4.2.7 Versuch VII

Für den siebten Versuch wurde erneut der Tiefziehtisch aus Versuch V verwendet (Abbildung 4.26). Bis auf das Material der Schalhaut blieb der Aufbau der Schalung unverändert (siehe Kapitel 4.2.5). Es wurde eine 0,5 mm starke Latexhaut verwendet, welche in Abbildung 4.28 zu sehen ist. Sobald der Staubsauger einen Unterdruck erzeugte, passt sich die Latexhaut, durch deren Elastizität der Matritze darunter perfekt an (Abbildung 4.29). Die Latexhülle wurde an den Rändern eingeschnitten, damit diese faltenfrei auf der Unterkonstruktion aufliegt. Nach dem Einschalten des Staubsaugers spannte sich die Latexhaut in die Vertiefungen der Matritze und konnte mit Beton befüllt werden. Der Beton setzte sich aus zwei Raumteilen Zement, zwei Raumteilen Quarzsand mit 0,1 – 0,5 mm Körnung und 1 ½ Raumteilen Wasser zusammen. Diese Mischung wurde bei einer Raumtemperatur von 25 °C eingebracht und mit dem Schneebesen von Luftblasen befreit. Auch hier wurde als Bewehrung wieder ein Putzgitter aus PVC

verwendet. Nachteil hierbei war, dass der Staubsauger 24 h in Dauerbetrieb war, da die Latexhülle zum Zusammenziehen in ihre Ursprungsposition neigt. Dies hätte dazu geführt, dass der Beton aus der Schalung gedrückt werden würde. Für den Einsatz eines Kompressors für die Unterdruckproduktion war die Schalung dort, wo der Latex auflag leider zu wenig dicht. Um unter anderem den Staubsauger zu schonen und weil das Ergebnis der ersten Betonplatte nur mäßig zufriedenstellend war, wurde das Experiment mit der Zugabe von NitCal® Erstarrungsbeschleuniger wiederholt. Um das Abbinden um etwa 4 h zu beschleunigen empfiehlt der Hersteller eine Zugabe von 0,5 % des Zements. Trotz genauer Berechnung und einhalten der Dosierungsempfehlung des Herstellers brauchte es drei Versuche, bis die richtige Mischung gefunden war. Anfangs erstarrte der Beton schon, bevor er überhaupt in Schalung gegossen werden konnte. Danach war die Veränderung so geringfügig, dass kein nennenswerten Effekt eintrat.

Nachdem die Dosierung eingestellt war, zeigte der Beton hervorragende Ergebnisse. Nicht nur was die Abbindezeit betraf, sondern auch die Oberfläche und die Struktur. Es war durch das frühe Erhärten des Betons schwierig diesen mit dem Schneebesen zu bearbeiten. Dies konnte durch die leichten Vibrationen des Staubsaugers ausgeglichen werden, wodurch eine zusätzliche Verdichtung des Betons erreicht wurde. Die Oberfläche des fertigen Objekts ist glatt, blasenfrei und nahezu makellos, wie in Abbildung 4.26 zu sehen ist. Eine weitere Variante zu diesem Versuch ist in Abbildung 4.30 zu sehen.

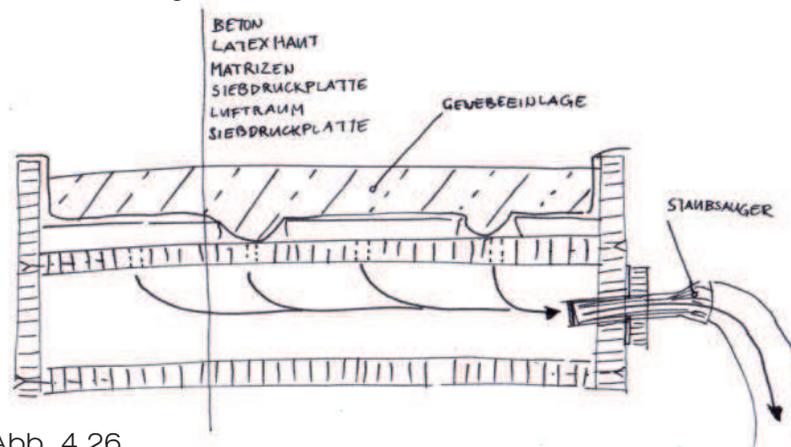


Abb. 4.26
Skizze, Schnitt durch die Schalung/ eigenes Bild



Abb. 4.27
Fertiges Ergebnis von Versuch VII/ eigenes Bild



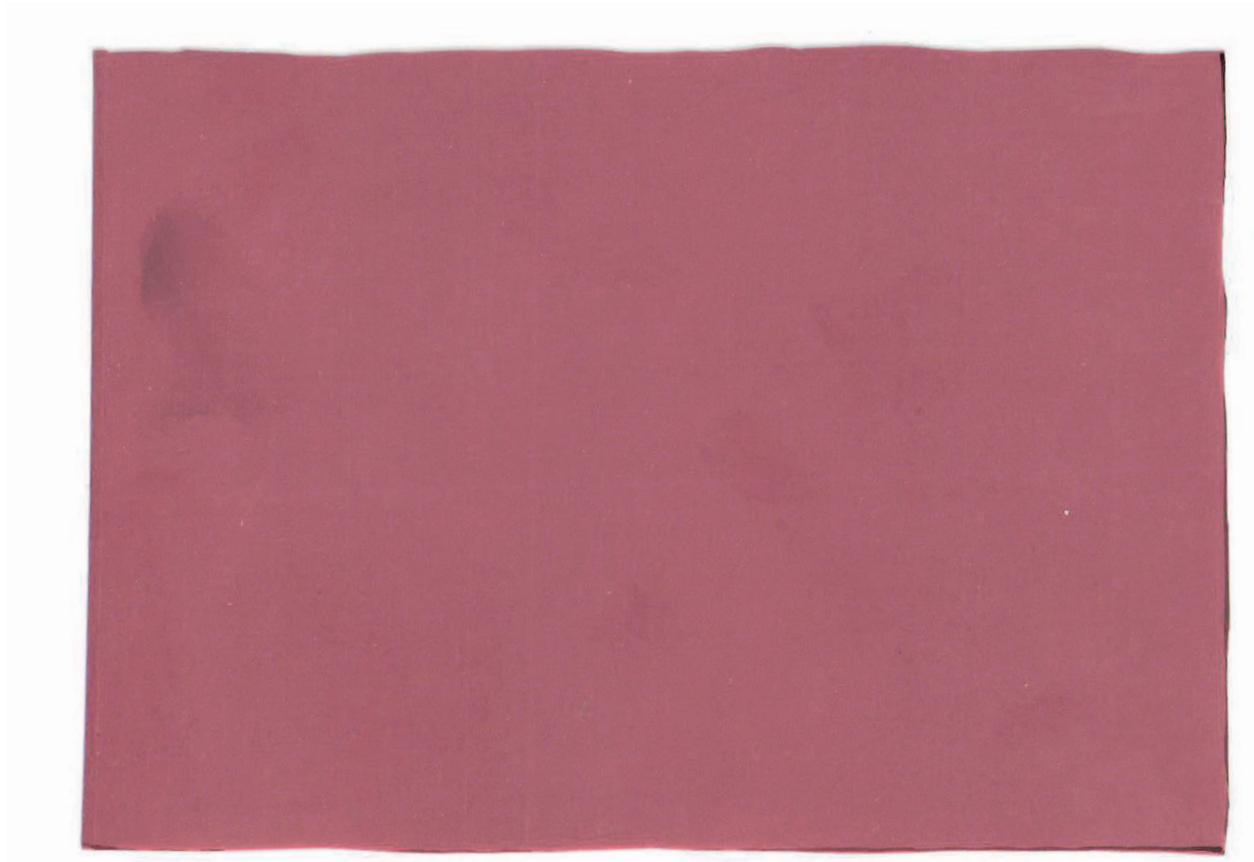
Abb. 4.28
Lose in den Unterbau gelegte Latexhaut



Abb. 4.29
Latexhaut in die Matrize gesaugt



Abb. 4.30
Variante von Versuch VII, ohne Trägerplatte, eventuelle Verwendung als
Blendgitter



Textilmuster der angewandten Schalhaut des Versuchs V

4.3 Fazit

Die Ergebnisse der Versuche lassen sich in Struktur und Oberfläche unterteilen. Obwohl sich diese beiden Eigenschaften gegenseitig ergänzen und komplettieren, können diese getrennt voneinander betrachtet und analysiert werden. Die Ergebnisse der Oberflächen waren oft eine positive Überraschung, da sich die Qualität der Oberfläche nicht so einfach planen lässt wie die Struktur. Die Objekte aus Entwicklungsschiene drei sind dem Bereich Struktur zuzuordnen, während die Stärke der Entwicklungsschiene vier im Bereich Oberfläche liegt. Die Struktur von Schiene drei kann zur Verstärkung und Aussteifung zum Beispiel eines Fassadenelements dienen, während die Plattendicke auf ein Minimum reduziert werden kann. Jene Fassadenplatten, deren Stärke mehr im Bereich der Oberfläche liegt, können für rein gestalterische Zwecke verwendet werden. Diese können zum Beispiel als ansprechende Betonoberflächen in Szene gesetzt werden. Die meisten Fehler konnten durch das Versuch- und Irrtumprinzip ausgemerzt und die Ergebnisse mit jedem neuen Experiment verbessert werden. Dank der großen Anzahl an durchgeführten Experimenten konnte bei den Entwicklungsschienen drei und vier ein reproduzierbarer Fertigungsprozess eingestellt werden. Des Weiteren werden im Kapitel 5 Überlegungen zu Montage und Größe der Fassadentafeln angestellt.

5 Anwendung der Fassadenbauteile

5.1 Fassaden und Formen

Ein zentrales Thema der Architektur ist die Gestaltung von Fassaden. Die in Kapitel 4 gezeigten Prototypen ermöglichen durch Verändern der Matrizen eine große Formenvielfalt. Dennoch ist es innerhalb eines Projekts nicht sinnvoll die Vielfalt von Fassadenteilen so groß zu wählen, dass jedes Fassadenelement eine andere Gestaltung aufweist. Für eine wirtschaftliche Anwendung des Systems ist eine begrenzte Anzahl der Module von Vorteil. Bei größeren Projekten kann die Anzahl der verschiedenen Formen ausgedehnt werden. Für die in Entwicklungsschiene drei hergestellten Fassadenplatten sind zum Beispiel mindestens zwei verschiedene Tafeln erforderlich, um ein fortlaufendes Muster zu erreichen. Um die daraus resultierenden Stöße der Betonwülste an der Oberfläche symmetrisch zu gestalten, bietet sich ein Wenden der Matrize in der Schalform an. Durch diese Vorgehensweise können perfekt gespiegelte Elemente erzeugt werden.



Abb. 5.1
Mögliche quadratische Anordnungen und Formate

Das Ergebnis dieser Spiegelung ist in der Abbildung 5.1 zu sehen. Zudem zeigt die Abbildung, dass unregelmäßige Geometrien geeignet sind, um mit einer Matrize zwei verschiedene Elemente herzustellen. In Abhängigkeit von Geometrie und Fügungspunkten der Tafeln, können zum Beispiel mit zehn verschiedenen Matrizen bis zu 20 verschiedene Fassadenteile erzeugt werden. Dies ermöglicht eine erhebliche Reduzierung der Komplexität im Herstellungsverfahren.

Neben den fixen Matrizen können im Tiefziehtisch mit Latexhüllen auch modulare Bausteine eingefügt werden. Diese modularen Matrizen werden in Form eines Baukastensystems ausgeführt. Dafür wird der Boden der Schalung mit einer Klettverschlussmatte ausgerüstet. Die Matrizen-Bausteine sind an der Unterseite mit dem Gegenstück des Klettverschlusses ausgestattet. Durch diese Befestigung werden die Matrizenbauteile fixiert und das Verschieben durch den Sog des Unterdrucks unterbunden. Die Module basieren auf einem Raster und bestehen aus verschiedenen Grundformen, welche im Querschnitt in der Abbildung 5.2 zu sehen sind. Das Raster ist mit 10 x 10 mm bemessen. In jedem Rasterfeld befindend sich ein Loch mit 5 mm Durchmesser.

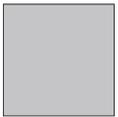
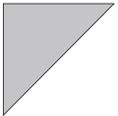
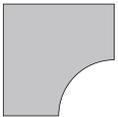
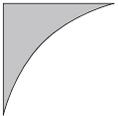
Querschnitte der Matrizenmodulen			
Typ 1	 20 x 20 mm	 50 x 50 mm	 100 x 100 mm
Typ 2	 20 x 20 mm	 50 x 50 mm	 100 x 100 mm
Typ 3	 20 x 20 mm	 50 x 50 mm	 100 x 100 mm
Typ 4	 20 x 20 mm	 50 x 50 mm	 100 x 100 mm

Abb. 5.2
Querschnitte der Matrizenmodule

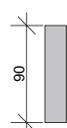
Höhe der Module	Höhe 1	Höhe 2	Höhe 3
			
	30 mm	60 mm	90 mm

Abb. 5.3
Höhenunterschiede der verschiedenen Bausteine

Dieses Loch dient der Durchlässigkeit für den Sog und ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Auch die Höhen der Einzelteile können variieren. Dies ist in der Grafik 5.3 ersichtlich.

Sind die Bausteine in der Box in der gewünschten Form angeordnet, wird die Latexhülle darüber gelegt und der Unterdruck angesetzt. Danach kann der Beton und die Bewehrung eingebracht werden.

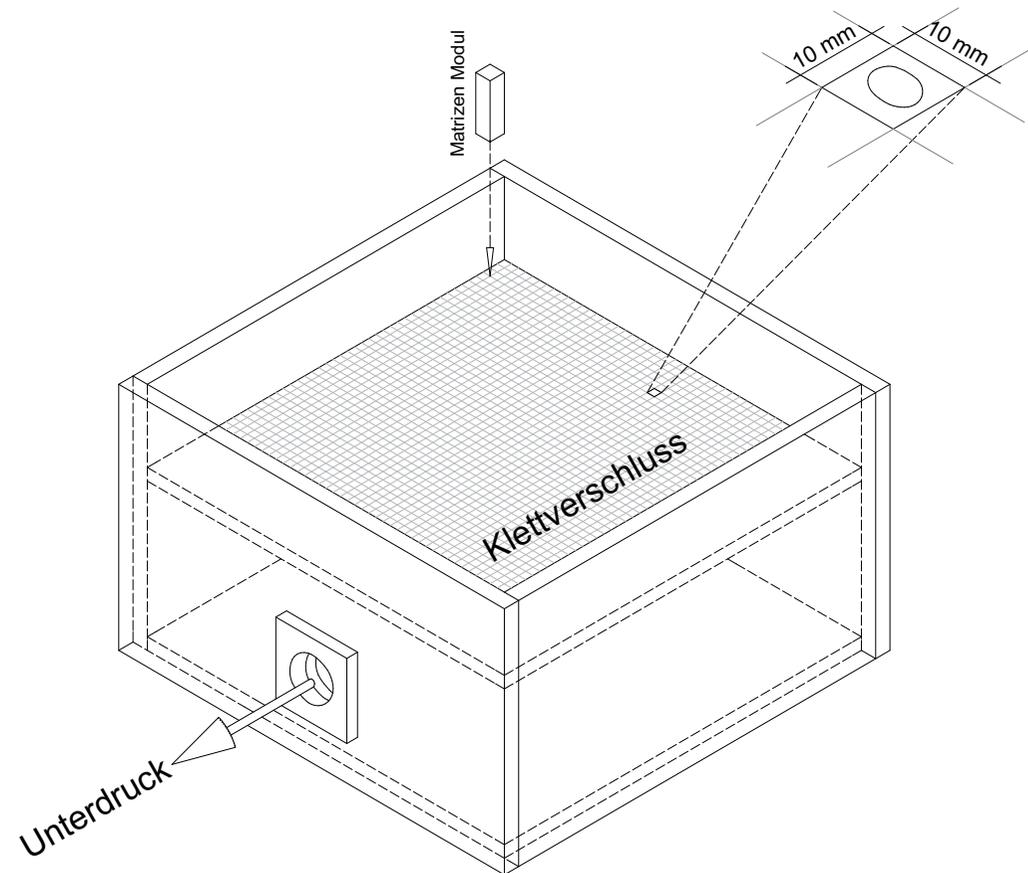


Abb. 5.4
Isometrische Darstellung der Schalform

Die Größe von Fassadenteilen wird vorrangig durch die Anforderung an deren Transportierbarkeit beschränkt. Zu großformatige Teile gelten als unwirtschaftlich, da die Verarbeitung großer und schwerer Teile umständlich und kompliziert ist. Durch Gestaltung der Betonplatten mit Rippen kann die Dicke der Trägerplatte reduziert werden. Je nach Format der Betonplatten ist eine Stärke von ≥ 30 mm als absolutes Minimum sinnvoll, um diese bei der Handhabung nicht zu beschädigen. Rippen helfen zusätzlich dünne Betonplatten zu stabilisieren. Somit kann das Muster der Entwicklungsschiene drei nicht nur zu dekorativen Zwecken verwendet werden, sondern auch als lastabtragendes Ornament. Je größer das Format wird, desto mehr Rippen müssen sich auf der Oberfläche befinden, da das Muster nicht aufskaliert, sondern fortgesetzt werden soll. Außerdem können Rippen bei einer geschosshohen Anwendung als Tragstruktur dienen, um das Eigengewicht nach unten ab zu tragen. Für diese Anwendung ist eine Maximalgröße der Fassadenbauteile von 240 x 320 cm sinnvoll. Der Wahl dieser Dimensionierung liegt die Geschosshöhe zeitgenössischer Bauwerke

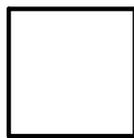


Abb. 5.5
Standardformat, 100 x 100 cm

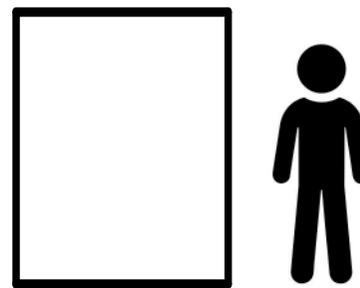


Abb. 5.6
Geschosshohes Format, 240 x 320 cm

und die Breite einer LKW Ladefläche zugrunde. In diesem Format können zum Beispiel drei bis vier Fassadenelemente auf Paletten übereinandergestapelt auf einen LKW verladen werden. Abbildung 5.7 zeigt das Schema einer möglichen Transportverladung. Als handliches Standardformat für Fassadentafeln ist vorzugsweise 100 x 100 cm zu wählen, um die Montage zu erleichtern. Auch Größen über und unter 100 x 100 cm sind denkbar. Kleiner als 50 x 50 cm ist jedoch nicht sinnvoll, da die Komplexität der Herstellung und der Montageaufwand zu groß wird.

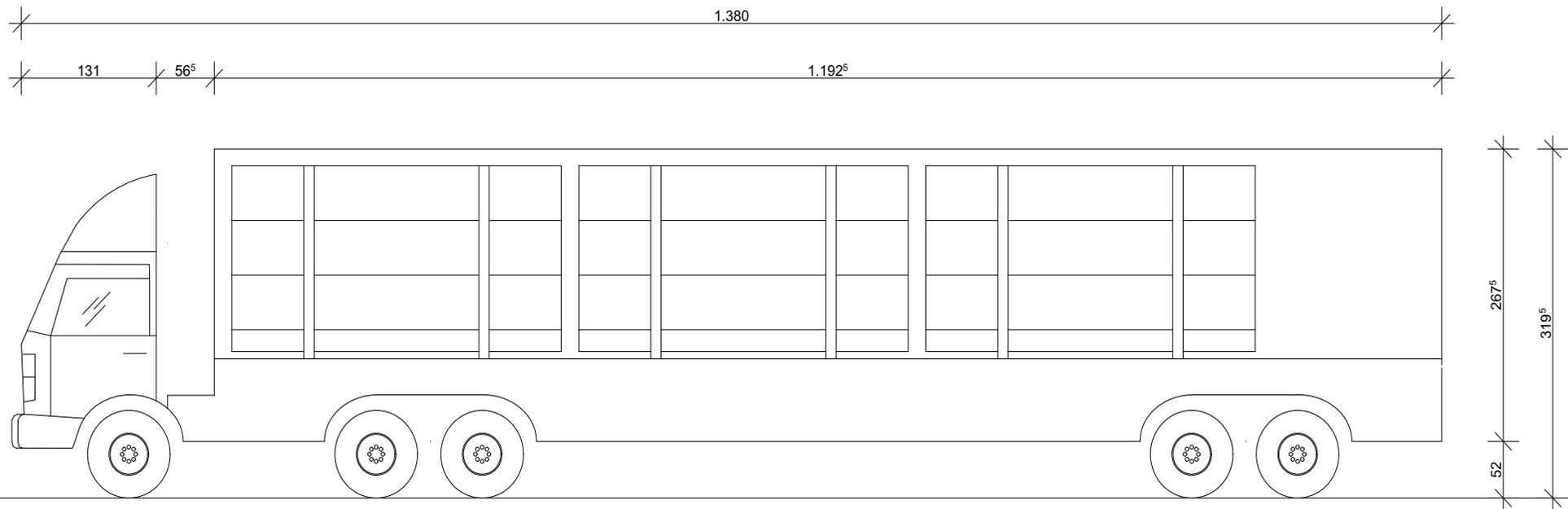


Abb. 5.7
LKW beladen mit großformatigen Fassadenbauteilen

5.2 Konstruktion der Fassaden

Für die Errichtung einer Fassade mit den entwickelten Elementen bieten sich zwei Varianten an. Zum einen die vorgehängte, hinterlüftete Fassade und zum anderen die Sandwichbauweise. Ergänzend können zusätzlich noch Blendgitter bei beiden Konstruktionsarten eingearbeitet werden. Abhängig von der Größe der Fassadenelemente und deren Bauweise muss die Befestigung variiert werden. Die Befestigungspunkte sind so zu wählen, dass diese in den verstärkten Stellen liegen. Durch Reduzierung der Plattendicke sind die Elemente so leicht wie möglich. Dennoch

muss die Materialstärke so groß sein, um Einlegeteilen zur Befestigung Platz zu bieten. Großformatige Fassadenplatten haben eine Dicke von mindestens 70 mm. Diese großen Formate werden mit Hilfe von Tragankern an der Fassade befestigt oder kommen als Sandwichkonstruktion zum Einsatz. Kleinere Formate können auch mit Aluminiumprofilen aufgehängt oder mit Einzelankern befestigt werden. Für dieses Vorhaben muss bei einer Rippenkonstruktion die Rippendicke mindestens 40 mm betragen.

5.2.1 Hinterlüftete Konstruktion

Hinterlüftete Fassaden haben einige entscheidende Vorteile hinsichtlich deren bauphysikalischen Eigenschaften. So ist zum Beispiel die Schicht, welche der Bewitterung ausgesetzt ist, durch Luft von der Dämmung getrennt. Dies hat zur Folge, dass etwaiges Wasser in Form von Regen oder Flugschnee schnell abtrocknen kann. Vorgehängte, hinterlüftete Konstruktionen bestehen grundsätzlich aus mindestens fünf Schichten und sind wie folgt von Innen nach Außen aufgebaut:

- + Tragkonstruktion
- + Wärmedämmung
- + Dampfdiffusionsoffene Winddichtung
- + Hinterlüftete Ebene
- + Fassadenelemente

Die hinterlüftete Konstruktionsweise eignet sich besonders gut für klein- bis mittelformatige Fassadenelemente. Die isometrische Explosionszeichnung in Abbildung 5.8 zeigt eine mögliche Konstruktionsart für hinterlüftete Fassaden. Hierbei werden Schraubbuchsen in den feuchten Beton eingelegt. Diese Schraubbuchsen sitzen an den, durch die Rippen verstärkten Stellen der Fassadenteile. Für großformatige hinterlüftete Betonteile empfiehlt es sich Fassadentafelanker zu verwenden.

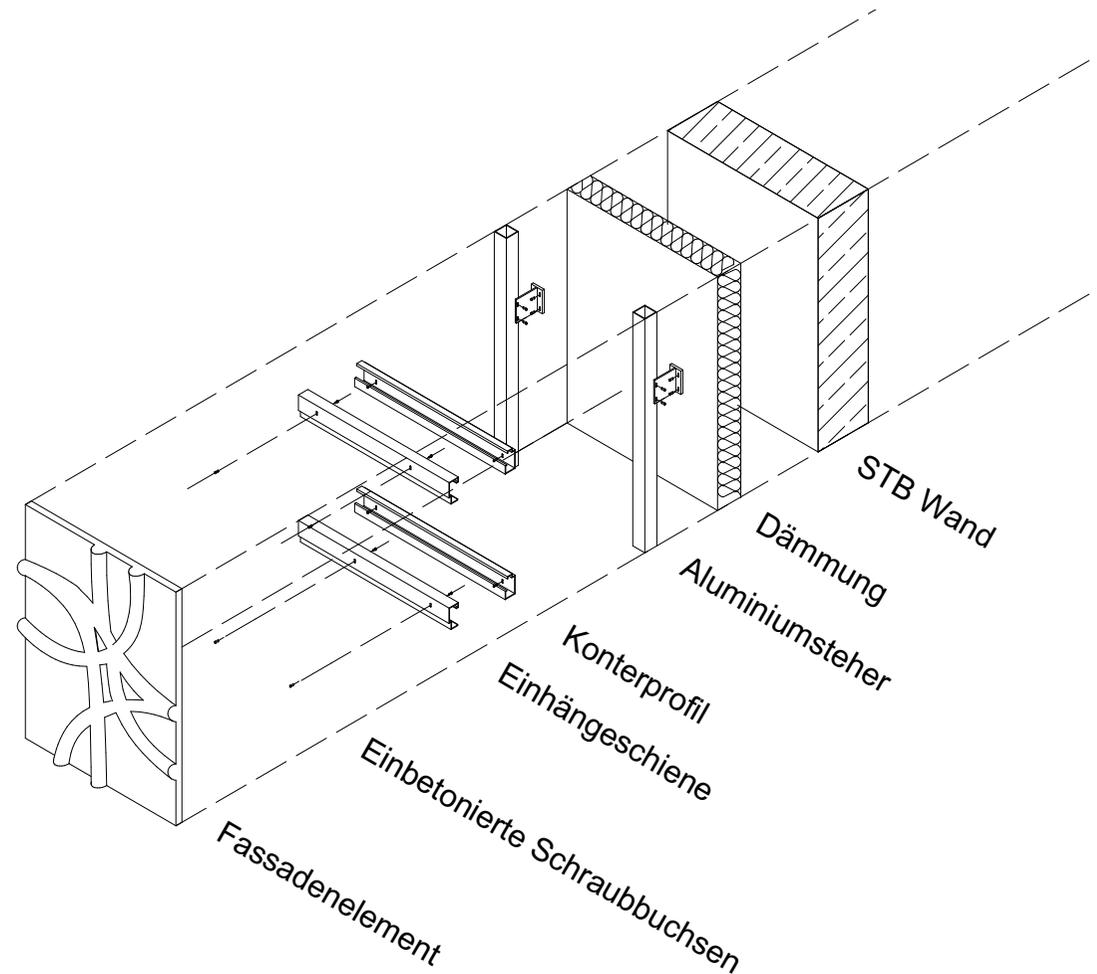
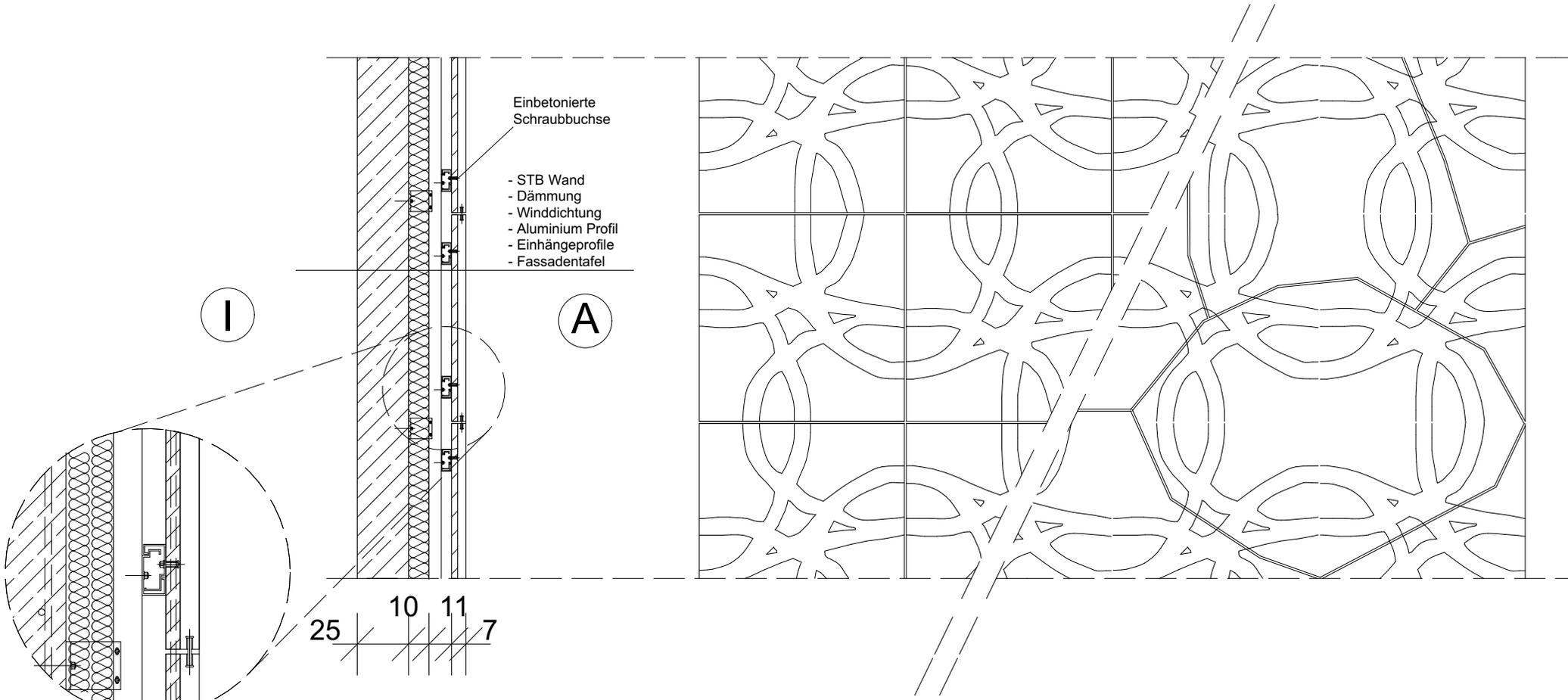


Abb. 5.8
Explosionszeichnung einer hinterlüfteten Fassadenkonstruktion



Detailausschnitt

Abb.5.9
Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt, einer hinterlüfteten Betonfassade, linker Teil der Ansicht: gerasterte Fassade; rechter Teil der Ansicht: freies Fugenbild

Abbildung 5.9 zeigt einen Fassadenschnitt, Ansicht und Detail einer hinterlüfteten Konstruktion. Hierbei werden quadratische Fassadentafeln mit den Außenmaßen 100 x 100 cm, aus Entwicklungsschiene drei verwendet. Diese Konstruktion ist für alle entwickelten Prototypen anwendbar. Zur Verstärkung werden die Plattenränder mit Stahlstiften verbunden, um ein Eindringen der dünnen Plattenecken, welche nicht durch Rippen verstärkt sind, zu vermeiden.

Je nach Gestaltungsansatz sind mit dieser Technik auch freie Fugenbilder möglich.

Durch dieses Fugenbild resultiert eine Vielzahl an

verschiedenen Fassadenteilen, wodurch diese Technik nur für kleine Fassadenflächen geeignet ist. Außerdem empfiehlt sich hier eine weitgehend digitale Vorbereitung und Fertigung, sodass die Teile später perfekt zusammenpassen.

5.2.2 Sandwichkonstruktion

Neben einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade lassen sich die Betonbauelemente auch als Sandwichkonstruktion herstellen. Diese haben den Vorteil eines hohen Vorfertigungsgrades und können als vollständige Objekte auf Baustellen montiert werden. Sandwichbauteile aus Beton bestehen aus mindestens drei Schichten. Zwischen Tragschicht und Fassadenschicht befindet sich eine Wärmedämmung. Die beiden Schichten aus Beton, Trag- und Fassadenschicht, sind durch einbetonierte Anker miteinander verbunden. Die Schicht der Fassade muss in der Dicke so dimensioniert werden, dass sie die Verbindungsstücke aufnehmen kann, wofür eine Stärke von mindestens ≥ 40 mm sinnvoll ist.

Bei sehr großen Formaten ist es sinnvoll, eine Sandwichkon-

struktion zu wählen, da die Aufhängung großer und schwerer Teile schwierig ist. Die Abbildung 5.10 zeigt einer Sandwichkonstruktion, welche als Fertigteil ausgeführt ist. Die beiden Betonteile sind mittels eines einbetonierten Stahlankers verbunden. Die Herstellung eines solchen Bauteils erfolgt im Fertigteilwerk und geschieht wie folgt: Als erster Schritt wird die sichtbare Oberfläche betoniert und anschließend werden Stahlanker eingebracht. Nachdem diese Schicht ausgehärtet ist wird die Schicht aus XPS eingebracht. Zuletzt wird die zweite Betonschicht angefertigt. Das fertige Betonelement wird auf die Baustelle transportiert und dort verbaut.

Das in Abbildung 5.10 dargestellte Betonmuster basiert auf der Zellstruktur eines Bienenflügels.

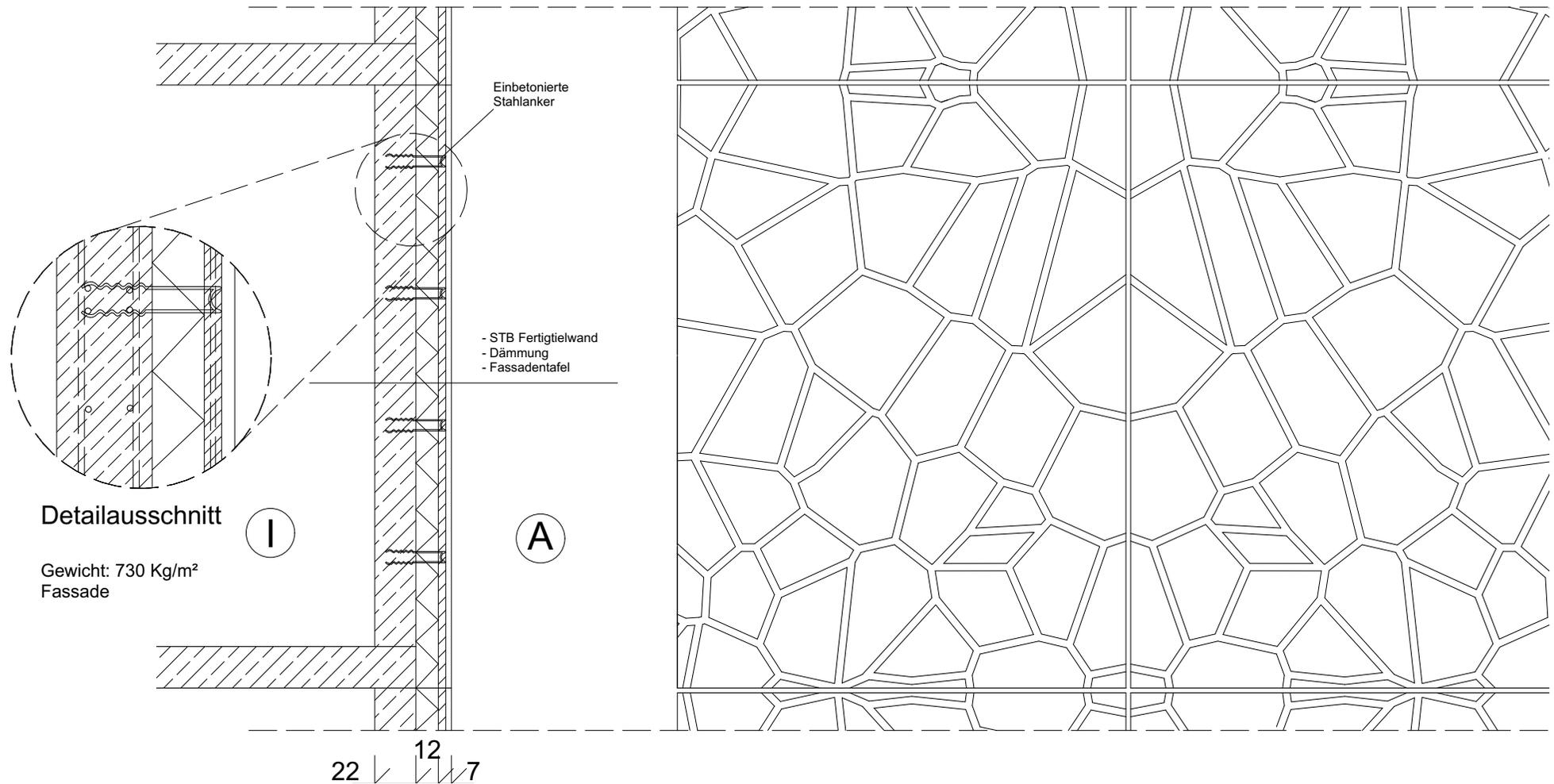


Abb. 5.10
Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt einer Betonfassade in Sandwichbauweise

Neben Fassadenfertigteilen gibt es auch Halbfertigteile. Der Unterschied zu Fertigteilen ist, dass nicht nur deren Montage, sondern auch deren Endfertigung auf der Baustelle vor Ort durchgeführt werden. Halbfertigteile werden nach der Montage mit Ortbeton verfüllt, wodurch die Einzelteile zueinander eine starre Verbindung eingehen. Zudem sind Halbfertigteile aufgrund des reduzierten Transportgewichts wirtschaftlicher. So wiegt der Quadratmeter Halbfertigteil 355Kg, während ein Quadratmeter Fertigteilfassade 730 Kg auf die Waage bringt. Auch der Aufwand für den Auf- und Abbau einer Schalung wird dadurch eingespart. Die innerste Schicht

des Fertigteiles ist kürzer, sodass es zum Beispiel auf einer Decke aufgesetzt werden kann, während an der Außenseite die Dämmung und das Betonmuster durchlaufen. Als Variante kann das Halbfertigteil mit Airium befüllt werden. Airium ist ein zementbasiertes Dämmmaterial, welches Lasten von bis zu 3 N/mm² aufnehmen kann. Durch diesen Aufbau ist ein Bauteil mit 525 Kg pro Quadratmeter Transport- und 650 Kg Fertiggewicht denkbar. Die Konstruktion ist in der Abbildung 5.12 ersichtlich.

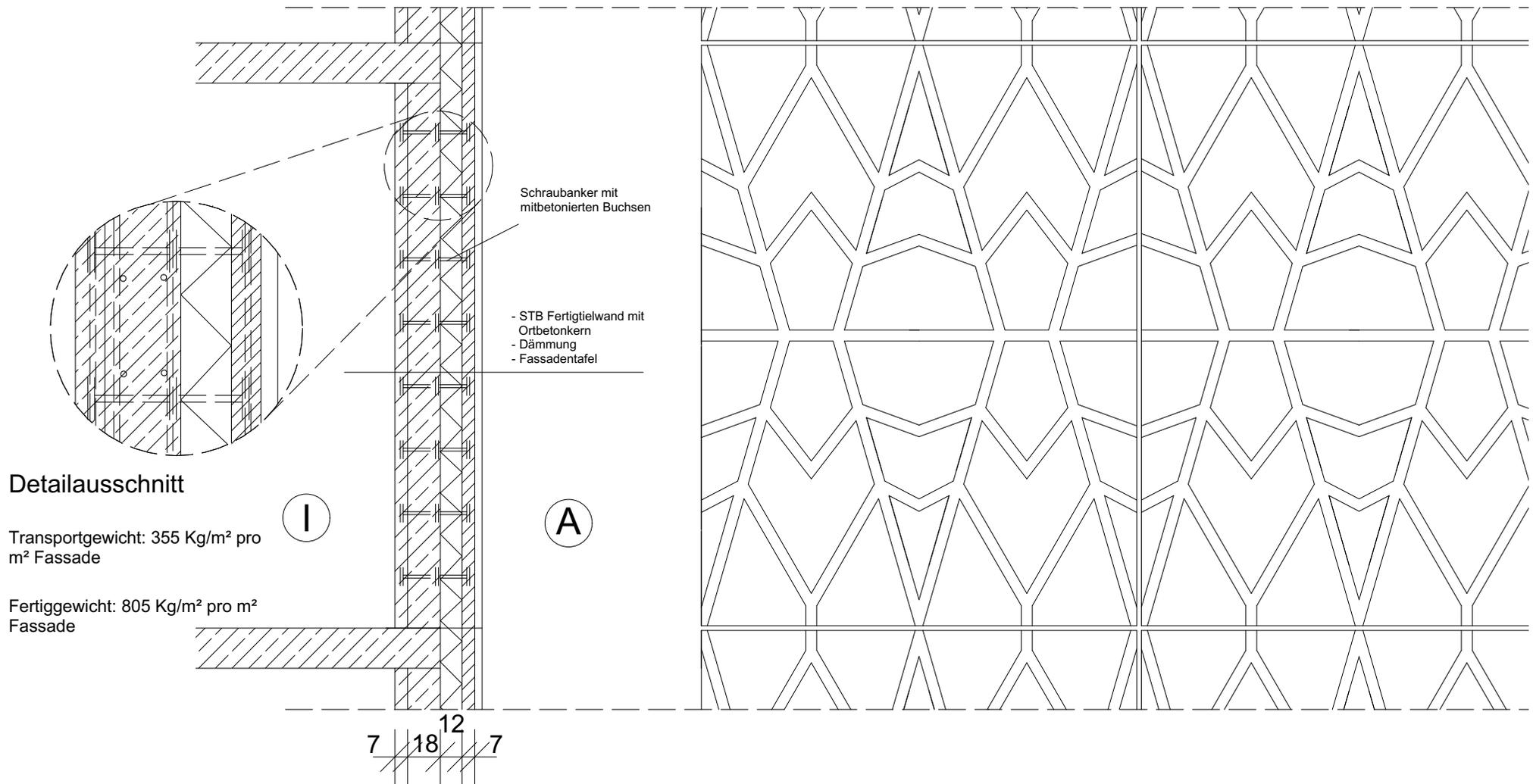


Abb. 5.11
Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt einer Betonfassade in Sandwichbauweise, ausgeführt als Halbfertigteil

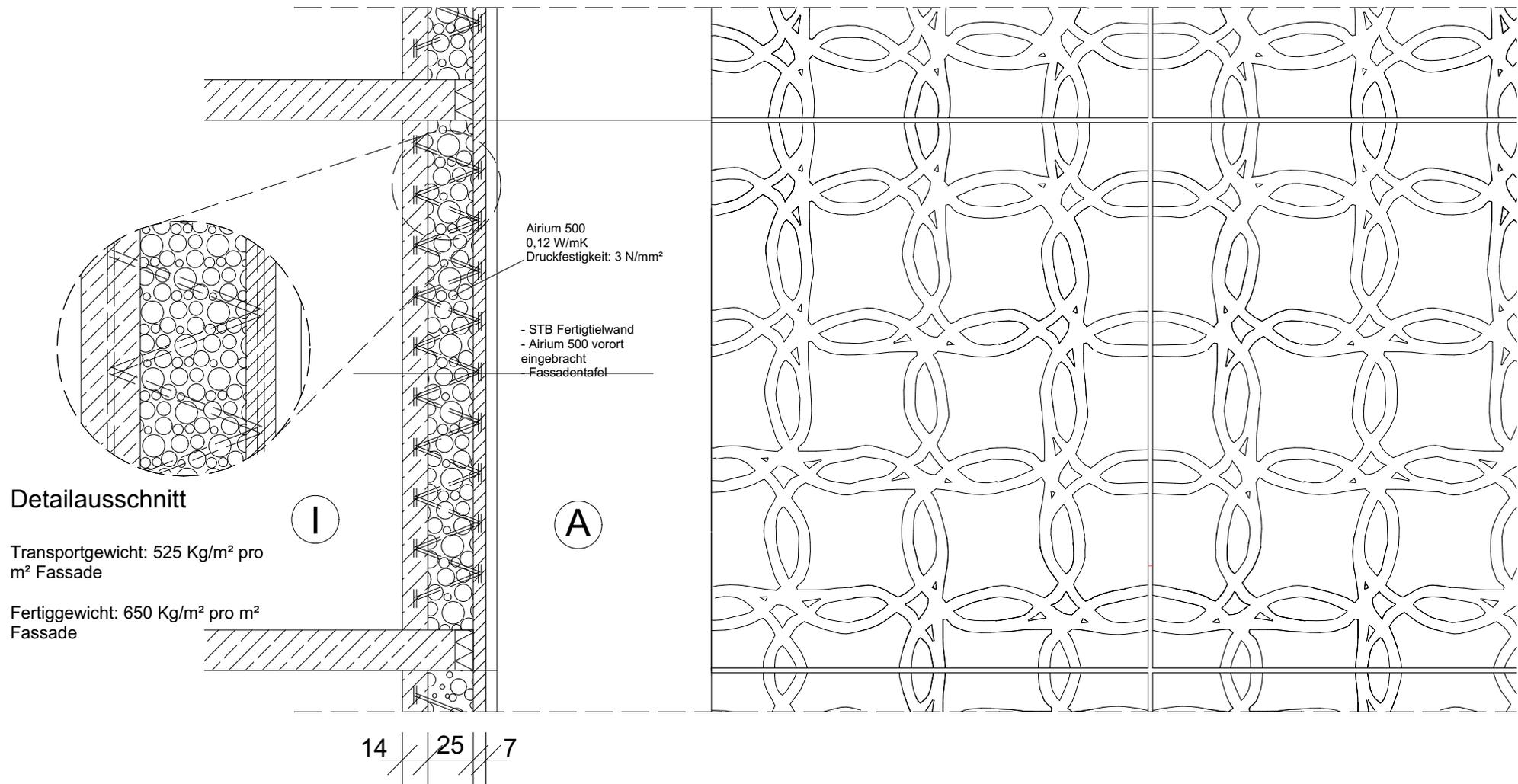


Abb. 5.12
Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt einer Betonfassade in Sandwichbauweise,
ausgeführt als Halbfertigteil, befüllt mit Airium

5.2.3 Filigranbauteile

Als Ergänzung zum Fassadenbau-System können mit dem erarbeiteten Herstellungsprozess auch transluzente Elemente gefertigt werden. Diese können nicht nur als Trennwände im Innenraum dienen sondern zum Beispiel auch vor Fenstern als Verschattung montiert werden. Damit die Oberfläche des Betons auf der dem Gebäude zugewandten und auch der abgewandten Seite gleich attraktiv angefertigt werden kann, ist eine Modifikation der Schalung nötig. Wie in der Abbildung 5.13 zu sehen ist wird die, sonst liegende Schalung nun vertikal befüllt und besteht aus zwei Teilen. Die Matrizen der beiden Hälften sind gespiegelt, worauf jeweils eine Membran aus Latex aufliegt. Dahinter befindet sich jeweils eine Box, an welcher Unterdruck

angesetzt werden kann. Durch den Unterdruck wird die Latexhülle in die Matrize gesaugt. Danach kann die Schalung mit Beton befüllt werden.

Nach dem Ausschalen kann dieses Verschattungselement entweder fix vor Fenstern montiert werden, oder aber als beweglicher Schiebeladen zum Einsatz kommen. Ein fixes Element wird mittels Schwerlastdübel an geeigneten Befestigungspunkten angebracht. Diese werden mittels einbetonierten Muffen, welche in den feuchten Beton eingebracht werden, zum Einschrauben realisiert.

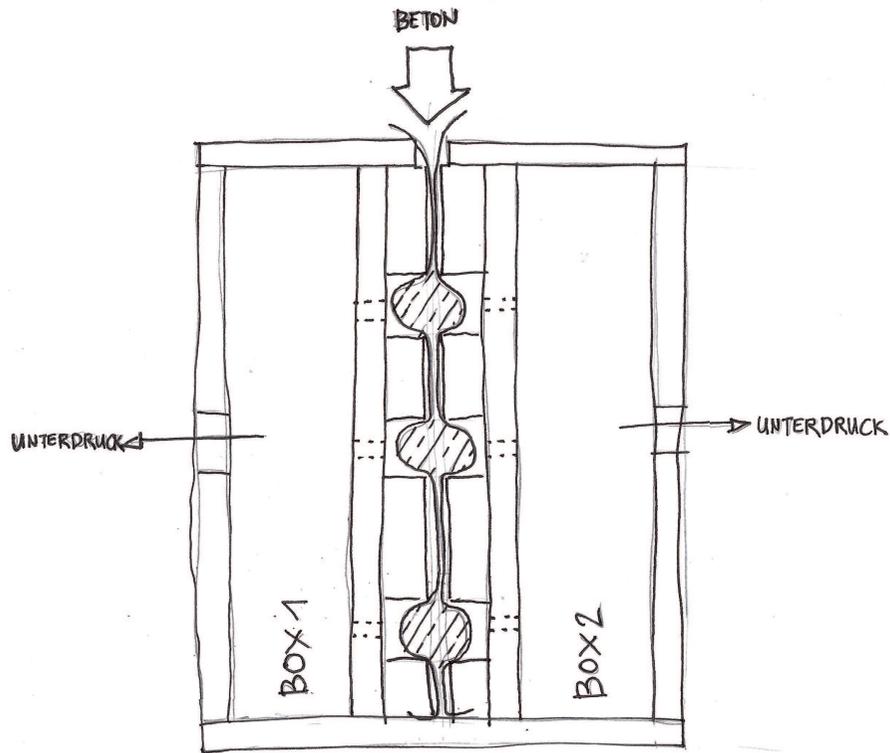


Abb. 5.13
Skizze, Schalform zur Herstellung von transluzenten Bauteilen

Um eine flexible Beschattung zu ermöglichen ist es durchaus sinnvoll ein mobiles Element zu wählen. Die Schiebeläden werden in einem Rahmen aus Aluminiumprofilen eingebettet. Die Elemente werden oben mittels Rollen in einer Profilschiene und unten in einer Nut geführt. Diese doppelte Führung soll vermeiden, dass der Schiebeläden bei Wind gegen die Glasscheibe gedrückt wird. Die beschriebene Konstruktion einer mobilen Beschattung ist in der Abbildung 5.14 anhand eines Fassadenschnittes und einer Ansicht dargestellt.

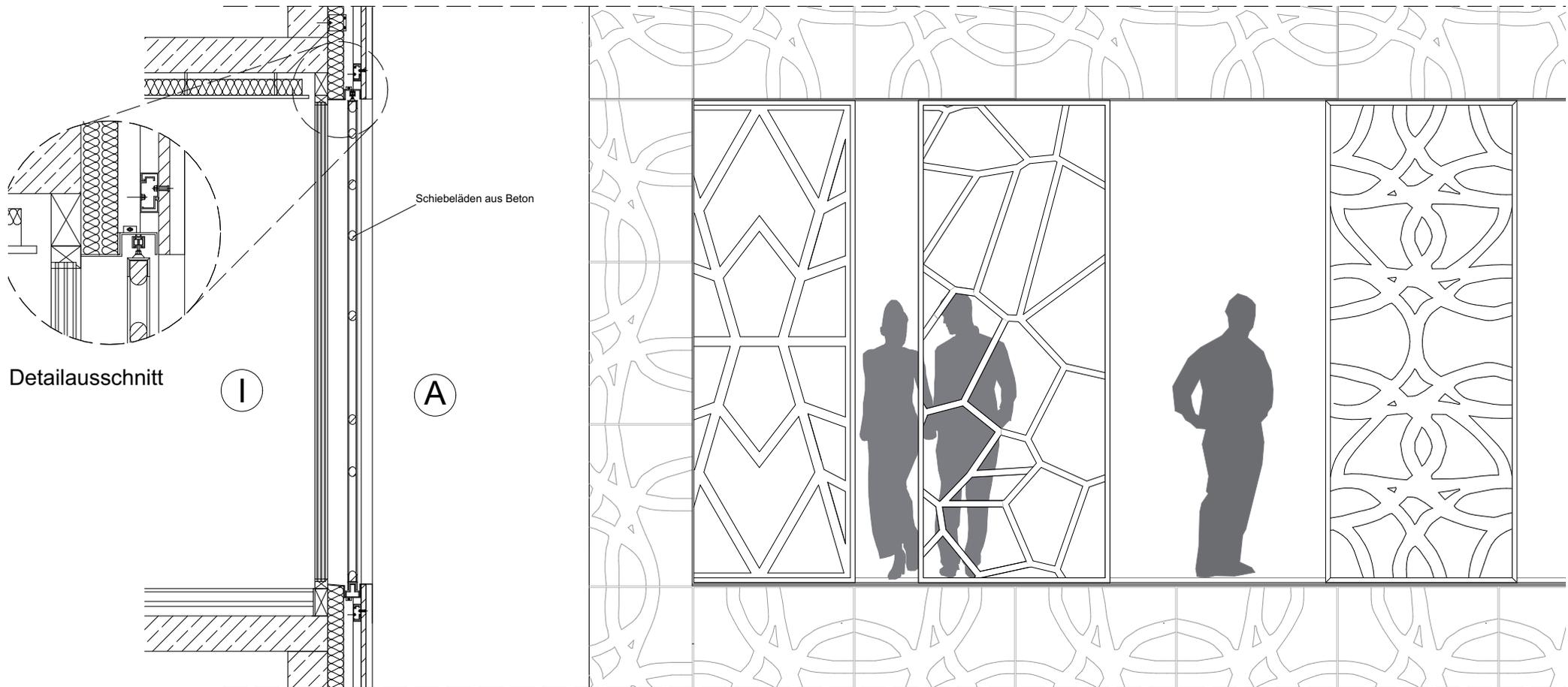


Abb. 5.14
Fassadenschnitt, Ansicht und Detailausschnitt von transluzenten Schiebeläden aus Beton

6 Schlusswort und Ausblick

Die Fassade ist das Gesicht eines Bauwerks. Somit ist sie neben der Innenraumgestaltung auch ein Aspekt des Gebäudes, welcher selbst von Laien erkannt und gesehen wird. Durch textile Schalungen erhalten Fassaden eine besondere Oberfläche und Struktur. Dies dient vor allem der Ästhetik. Durch die Auswahl einer besonderen Geometrie der Fassadentafeln können diese durch Rippen an der Oberfläche verstärkt werden. Die Textilien selbst hinterlassen auf der Oberfläche des Betons einen ganz eigenen Abdruck der in dieser Form kaum durch andere Techniken erreicht werden kann. Durch das Experimentieren mit verschiedenen Textilien und Betonrezepturen konnten erstaunliche Ergebnisse erzielt werden. Dem Variantenreichtum sind kaum Grenzen gesetzt. Deshalb wurde eine begrenzte Anzahl an Varianten erprobt und weiterentwickelt. Beim Einsatz an Fassa-

den spielt nicht nur die Ästhetik eine Rolle, sondern auch die gesamte Wirkung des Gebäudes und die Technik der Anbringung. Die Befestigung der Elemente soll so frei von sichtbaren Verbindungsmitteln sein wie möglich. Durch Anwendung verschiedenster Techniken, Geometrien und Materialien kann die Fassade individuell gestaltet werden. So können auch unterschiedliche Formate und Oberflächenmuster miteinander kombiniert werden, um ein formschönes Gesamtbild zu ergeben. Grundsätzlich spricht auch nichts dagegen die Tafeln als Wandverkleidung in Innenräumen zu verwenden. Darüber hinaus können schlanke Fassadenelemente nicht nur bei Neubauten eingesetzt werden, sondern auch zur Sanierung bestehender Fassaden.

Literaturverzeichnis

- [1] Ballesteros, Mario: Manchego Modern, in: Pin-Up Magazin No. 18 Spring, Summer (2015) Online unter: <http://pinupmagazine.org/2015/09/manchego-modern>, Zugriffsdatum 14.07.2017
- [2] Chandler, Alan/ Pedreschi, Remo: fabric formwork, London 2007
- [3] Hawkins, Will u.a. (Hg.) Flexible formwork technologies – a state of the art review, Berlin 2016
- [4] Herzog, Thomas/ Krippner, Roland/ Lang, Werner, Fassaden Atlas. Edition Detail, zweite Auflage, München 2016
- [5] Informations Zentrum Beton GmbH (Hg.), Zement Merkblätter Hochbau H8. Sichtbeton Technik der Flächengestaltung, Erkrath 2009
- [6] InformationsZentrum Beton GmbH (Hg.), Zement-Merkblatt Betontechnik B3. Betonzusätze Zusatzmittel und Zusatzstoffe, Erkrath 2014
- [7] Koolhaas, Rem, Delirious New York, New York 1978
- [8] o.A, The Global Cement Report, Eighth Edition, o.O. 2009
- [9] Peck Martin (Hg.) u.A., Moderner Betonbau Atlas. Konstruktion Material Nachhaltigkeit, Edition Detail, München 2013
- [10] Rügg, Arthur u.a. (Hg.), die Unschuld des Betons. Wege zu einer materialspezifischen Architektur, Zürich 2004
-

- [11] United Nations, Departement of Economic and Social Affairs, Population Division (2011). World Population Propects: The 2010 CD ROM Edition
- [12] Veenendaal, Diederik/ West, Mark/ Block, Philippe, History and overview of fabric formwork: using fabrics for concrete casting, Berlin 2011
- [13] West, Mark: the fabric formwork book. methods for building new architectural and structural forms in concrete, Oxon 2017
- [14] CHEMIE.DE Information Service GmbH (Hg.), o.A. 2004 <http://www.chemie.de/lexikon/Zement.html>, Zugriffsdatum 06.08.2017
- [15] International Society of Fabric Forming (ISOFF)(Hg.), o.A. 2008 <http://www.fabricforming.org/>, Zugriffsdatum 18.05.2017
- [16] Informations Zentrum Beton GmbH (Hg.), o.A., <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/sichtbeton/>, Zugriffsdatum 05.07.2017
- [17] o.Hg, 2010 <http://www.fabwiki.fabric-formedconcrete.com>, Zugriffsdatum 18.05.2017
- [18] österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden (ÖFHF)(Hg.), o.A. 2011 <http://www.oefhf.at/aufbau-technik>, Zugriffsdatm 15.07.2017
- [19] Sichtbeton Forum(Hg.), o.A. 2017 sichtbeton-forum.de/oevbb-richtlinien, Zugriffsdatum 04.07.2017
- [20] University of Bath (Hg.), o.A. 2012 <https://sites.eca.ed.ac.uk/fabricformedconcrete/workshops/university-of-bath-2012/>, Zugriffsdatum 11.04.2017
- [21] EN 12620, 2008 <https://www.euroquarz.de/wissen-ueber-quarzsand-quarzkies/normen-fuer-die-aufbereitung/themen-normen-fuer-die-aufbereitung/en12620-gesteinskoernungen>, Zugriff 25.10.2017

Abbildungsnachweis

Abb.:2.1 aus: Zement-Merkblatt Hochbau H 8, 2009: 1

Abb.:2.2 aus: Zement-Merkblatt Hochbau H 8, 2009: 2

Abb.:2.3 aus: Zement-Merkblatt Hochbau H 8, 2009: 4

Abb.:2.4 aus: Moderner Betonbau Atlas, 2013: 58

Abb.:2.5 aus: Zement-Merkblatt Hochbau H 8, 2009: 4

Abb.:2.6 aus: Zement-Merkblatt Hochbau H 8, 2009: 4

Abb.:2.7 aus: Zement-Merkblatt Hochbau H 8, 2009: 5

Abb.:2.9 <http://sichtbeton-forum.de/oevbb-richtlinie>

Abb.:2.10 aus: Fassadenatlas, 2016, 113

Abb.:2.11 aus: Fassadenatlas, 2016: 114

Abb.:2.12 aus: Fassadenatlas, 2016: 114

Abb.:3.1 aus: History and overview of fabric formwork: using fabric of concrete casting, 2011: 164

Abb.:3.2 aus: History and overview of fabric formwork: using fabric of concrete casting, 2011: 175

Abb.:3.3 aus: The fabric formwork book, 2017: 18

Abb.:3.4 aus: The fabric formwork book, 2017: 19

Abb.:3.5 aus: the fabric formwork book, 2017: 21

Abb.:3.6 aus: the fabric formwork book, 2017: 23

Abb.:3.7 http://images.adsttc.com/media/images/52e6/9f61/e8e4/4e08/1d00/021f/newsletter/20011_I_felix_2.jpg?1390845789

Abb.:3.8 <https://www.pinterest.at/pin/143270831874984772/>

Abb.:3.9 aus: the fabric formwork book,2017:29

Abb.:3.10 <http://blog.alexwebb.com/?p=863>

Abb.:3.11 aus: the fabric formwork book, 2017: xi

Abb.:3.12 aus: the fabric formwork book, 2017: 263,269

Abb.:3.13 www.fab-form.com <https://www.vancouvericf.com/training/2017/may2017.php>

Abb.:3.14 <http://fab-form.com/fastfoot/kentWhitham.php>

Abb.:3.15 http://fabwiki.fabric-formedconcrete.com/lib/exe/fetch.php?w=426&h=600&media=arch_projects:unno:kenzo_unno.jpg

Abb.: 3.16 http://www.concretedecormagazine.com/images/Feature_Photos/CD1001/technology.jpg

Abb.:3.17 http://www.block.arch.ethz.ch/brg/images/cache/diederik-veenendaal_1379450068_624x351.jpg

Abb.:3.18 <http://www.fabricforming.org/>

Tabellennachweis

Tab.: 2.1 Fassadenatlas, 2016: 27

Tab.: 2.2 Fassadenatlas, 2016: 113
