







Ivan Marjanović BSc

**Alginat in der Architektur**  
**- Ein experimenteller Ansatz eines neuen nachhaltigen Baustoffes**

**MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Architektur

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuerin

Stavric Milena, Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.

Institut für Architektur und Medien

Graz Mai 2021



## **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.

---

Datum

---

Unterschrift



# ALGINAT IN DER ARCHITEKTUR

EIN EXPERIMENTELLER ANSATZ EINES  
NEUEN NACHHALTIGEN BAUSTOFFES

IVAN MARJANOVIĆ



## **DANKSAGUNG**

Ich möchte mich bei allen folgenden Personen für Ihre Unterstützung und Hilfe bedanken, die es mir ermöglicht haben diese Arbeit zu verfassen.

Mein Dank gilt

meiner Betreuerin Milena Stavrić, für eine ausgezeichnete Betreuung und für jede Unterstützung.

Dem ganzen Institut für Architektur und Medien, für die großartigen Diskussionen.

Elizabeta Šamec, für die Koordination der Ausstellungen in Kroatien.

Mein großer Dank gilt meinen Eltern, Mirjana und Vlado sowie besonders meiner Schwester Bianka.

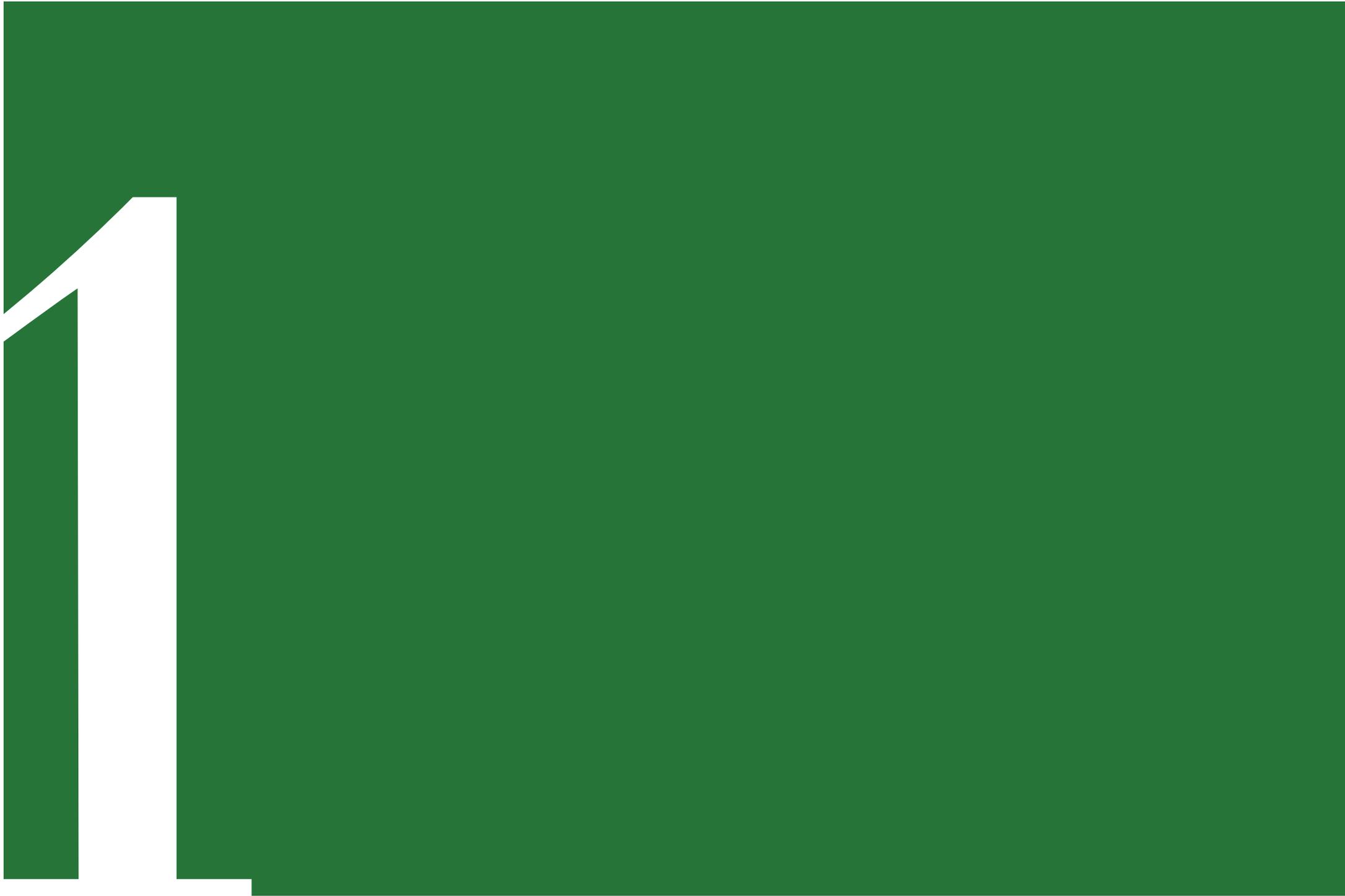
Außerdem möchte ich mich besonders bei meiner Frau bedanken, Ana. Ohne deinen Rückenwind in dieser schweren Zeit, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

|                      |                                 |    |                       |                                   |     |
|----------------------|---------------------------------|----|-----------------------|-----------------------------------|-----|
| <b>1. EINLEITUNG</b> |                                 |    | <b>3. EXPERIMENTE</b> |                                   |     |
| 1.1                  | Grundgedanken                   | 19 | 3.1                   | Chemische Aspekte                 | 75  |
| 1.2                  | Textil                          | 20 | 3.1.1                 | Zusatzstoffe                      | 76  |
| 1.3                  | Rohmaterial                     | 21 | 3.2                   | Grundlagen der Experimente        | 78  |
| 1.4                  | Verarbeitung                    | 23 | 3.3                   | Lineare Elemente                  | 83  |
| 1.5                  | Einsatzgebiete & Beispiele      | 28 | 3.3.1                 | Einfaches Garn                    | 84  |
| <b>2. ALGEN</b>      |                                 |    | 3.3.2                 | verschiedene Durchmesser          | 85  |
| 2.1                  | Allgemein                       | 45 | 3.3.3                 | Langer in CaCl <sub>2</sub> -Bad | 86  |
| 2.2                  | Mikroalgen                      | 48 | 3.3.4                 | 24h an der Luft & Wasser          | 87  |
| 2.3                  | Makroalgen                      | 49 | 3.3.5                 | Suspensionen im Vergleich         | 88  |
| 2.4                  | Fakten                          | 51 | 3.3.6                 | Brandtest                         | 93  |
| 2.5                  | Vorkommen & Gewinnung von Algen | 52 | 3.3.7                 | Netzforn-01                       | 94  |
| 2.6                  | Algenarten in der Adria         | 54 | 3.3.8                 | Zugtest                           | 95  |
| 2.7                  | Zusammensetzung der Braunalgen  | 56 | 3.3.9                 | Netzforn-02                       | 96  |
| 2.7.1                | Alginsäure                      | 57 | 3.3.10                | Stricken                          | 98  |
| 2.7.2                | Alginat & seine Herstellung     | 58 | 3.3.11                | Endlos Garn                       | 100 |
| 2.7.3                | Verwendung von Alginaten        | 60 | 3.3.12                | Geometrische Figuren-01           | 102 |
| 2.8                  | Algenutzung Allgemein           | 61 | 3.4                   | Versuchsanalyse                   | 105 |
| 2.9                  | Problemstellung                 | 66 | 3.5                   | Architektonischer Ansatz          | 107 |
|                      |                                 |    | 3.6                   | Gegossene & Volumen Elemente      | 119 |
|                      |                                 |    | 3.6.1                 | Gusstafel-01                      | 120 |
|                      |                                 |    | 3.6.2                 | Gusstafel-02                      | 122 |
|                      |                                 |    | 3.6.3                 | Gusstafel-03                      | 124 |
|                      |                                 |    | 3.6.4                 | Die Kraft des Zusammenziehens     | 125 |
|                      |                                 |    | 3.6.5                 | Alginat - „Kleber“                | 126 |
|                      |                                 |    | 3.6.6                 | Drahtform-01                      | 127 |
|                      |                                 |    | 3.6.7                 | Drahtform-02                      | 128 |
|                      |                                 |    | 3.6.8                 | Bubbles                           | 132 |
|                      |                                 |    | 3.6.9                 | Aufgeblasene Membran - 01         | 134 |
|                      |                                 |    | 3.6.10                | Aufgeblasene Membran - 02         | 136 |

|        |                          |     |     |                            |     |
|--------|--------------------------|-----|-----|----------------------------|-----|
| 3.6.11 | Alginatschaum Kugeln     | 138 | 4.  | ZUSAMMENFASSUNG            |     |
| 3.6.12 | Alginat Folie            | 140 | 4.1 | Erkenntnisse & Optimierung | 183 |
| 3.6.13 | Akustische Membranen     | 142 | 4.2 | Blick in die Zukunft       | 187 |
| 3.7    | Versuchsanalyse          | 147 | 4.3 | Alg.A design lab           | 191 |
| 3.8    | Architektonischer Ansatz | 149 | 5.  | ANHANG                     |     |
| 3.9    | Alginat Verbund Elemente | 159 | 5.1 | Abbildungsverzeichnis      | 200 |
| 3.9.1  | Alginat & Keramik        | 160 | 5.2 | Literaturverzeichnis       | 204 |
| 3.9.2  | Alginatüberzug           | 161 | 5.3 | Tabellenverzeichnis        | 207 |
| 3.9.3  | Algi-Light               | 162 |     |                            |     |
| 3.9.4  | Alginat & Stoff - 01     | 163 |     |                            |     |
| 3.9.5  | Alginat & Stoff - 02     | 164 |     |                            |     |
| 3.9.6  | Alginat im Netz          | 165 |     |                            |     |
| 3.9.7  | Alginatstütze            | 166 |     |                            |     |
| 3.10   | Versuchsanalyse          | 169 |     |                            |     |
| 3.11   | Architektonischer Ansatz | 171 |     |                            |     |







**EINLEITUNG**







Abb. 1. Blick auf Pula mit Colloseum und Altstadt sowie der Werft „Uljanik“

# 1.1

## GRUNDGEDANKEN

**E**ins stand für mich schon immer fest, meine Masterarbeit sollte die Kroatische Küstenstadt Pula in irgendeiner Weise thematisieren. Das liegt größtenteils an meinem persönlichen Bezug, da sie meine zweite Heimatstadt ist, sowie ist es eine Stadt mit großem Potential, in den letzten Jahren erlebt sie einen revitalisierenden Aufschwung. Auch die Tatsache dass Graz und Pula seit 1972 Partnerstädte sind und 2022 ihr 50. Jubiläum feiern war ein zusätzlicher Anreiz, sich mit diesem Thema zu befassen.

Lange stellte ich mir die Frage wie die verschiedenen Faktoren der Stadt miteinander verbunden werden können, das Meer, die Befestigungsanlagen, der Hafen, die Geschichte wie auch die Verbindung zu Österreich, da Pula Hauptkriegshafen der K.u.K. Monarchie war.

Es entstand die Idee eines Pavillons für eins der neuen Projekte der Stadt. Die Befestigungsanlagen sollen saniert und als ein neues und kulturelles Produkt vermarktet werden. Ein Pavillon, als temporärer Ausstellungsort würde die Gelegenheiten bieten, auf die Befestigungsanlagen aufmerksam zu machen. Doch ein Pavillon ist viel mehr als nur eine temporäre Struktur. Hier besteht die Möglichkeit neues auszuprobieren, neue

Bauweisen, neue Materialien, die Architektur aus einem neuen Blickwinkel zu betrachten.

Da wir uns hier in einer Küstenstadt befinden und das Meer, Globale Klimaerwärmung und Nachhaltigkeit wichtige Schlagworte sind, begann ich meine Arbeit mit einer Recherche über Materialien. Ich wollte einen Kontrast zu den massiven Bauten aus Stein und Beton. Dieser Kontrast konnte mit Textilien erreicht werden. Doch je intensiver ich mich mit dem Thema befasste umso mehr wurde mein Blick auf etwas völlig anderes gelenkt was ich davor nicht erwartet hätte, *Algen*.

Der Gedanke mich mit Algen zu befassen ließ mich nicht mehr los und lenkte meine Arbeit in eine ganz andere Richtung als Anfangs gedacht. Wie ich feststellen durfte habe ich ein Thema gefunden, mit dem nicht nur ich mich identifizieren konnte, sondern das Thema wurde mit Begeisterung von vielen Seiten angenommen. Diese Faszination führte zu weit mehr als nur einer Masterarbeit. Es entstanden mehrere Zusammenarbeiten sowie der Wunsch mich mit der Stadt Pula zu befassen wurde bzw. wird auf eine gewisse Art erfüllt.

Zu Beginn dieser Arbeit, möchte ich aber auf die Grundlegende Recherche zurück kehren, das Textil.

# 1.2

## TEXTIL

**W**ie schon erwähnt, bildet die Textil Recherche den Grundstein für diese Arbeit. Deshalb soll auch diese hier vorgestellt werden.

Textil ist in der heutigen Zeit nicht mehr wegzudenken. Nicht nur in der Modeindustrie, sondern auch in der Architektur hat Textil seit langem eine Existenzberechtigung. Textilien sind ein fester Bestandteil in unserem Alltag:

*„Wir tragen sie am Körper, oder sie sind bereits Bestandteil von Gebäuden, Autos und technischen Anlagen. Textilien revolutionieren das Bauen, sie sind wegen ihrer Leichtigkeit und Festigkeit bei allem bevorzugt, was sich bewegt.“<sup>7</sup>*

Dies wird gegeben durch die Verformbarkeit, Verarbeitung und das geringe Gewicht Textiler Stoffe. Das führt zu einem großen Anwendungsbereich im Inneren sowie auch Außen.

Ein bekanntes Beispiel hierfür ist das „*Curtain Wall House*“ des Architekten Shigeru Ban **Abb. 2**. Hier wird der Begriff der vorgehängten Fassade, mithilfe des Materials, auf extreme Art und Weise neu Interpretiert. Große Vorhänge, auf der Ost- und Südfassade, bil-

den nicht nur Terrassen, sondern umschließen auch öffentliche und private Räume.<sup>1</sup>

Sehr oft wird Textil zur Beschattung oder als Trennelement sowie Membran eingesetzt. Aber auch neuere Methoden finden Einzug in die Architektur wie zum Beispiel Textilbeton oder als Schalung. Darauf wird aber in den folgenden Kapiteln noch genauer Eingegangen. Zuerst stellt sich die Frage aus welchen Rohmaterialien, Textil hergestellt werden kann.



Abb. 2. *Curtain Wall House* - Shigeru Ban - Tokyo 1994-95

<sup>1</sup> Vgl. <https://en.wikiarquitectura.com/building/curtain-wall-house/>, 30.03.2021 30.03.2021

<sup>7</sup> Vgl. <https://www.textilforschung.de/uploads/2016-11-14-15-12-22-40-1.pdf>, 31.03.2021

# 1.3

## ROHMATERIAL

**F**ür das Entstehen eines Gewebes wird ein Faden benötigt, dieser kann aus verschiedenen Rohstoffen gewonnen werden. Grundsätzlich kann zwischen Natur- und Chemiefasern unterschieden werden. Die Gruppe der Naturfasern bilden, tierische, pflanzliche sowie mineralische Fasern.

Die Chemiefasern können wiederum in natürliche-, synthetische-, und Anorgane Polymere unterteilt werden.<sup>2</sup>

Die Gewinnung der Fasern aus Rohstoffen ist somit der erste Schritt in der Textilherstellung. Naturfasern entstehen durch Faserbildungsprozesse oder Wachstumsprozesse, wohingegen Chemiefasern industriell gefertigt werden. Der große Vorteil der Industriefasern gegenüber den Naturfasern besteht darin, dass diese nahezu in endloser Länge und Größe hergestellt werden können. Wohingegen Naturfasern erst miteinander versponnen werden müssen. Baumwolle zählt hier zu der beliebtesten Naturfaser, jedoch überwiegt bei weitem die Herstellung von Chemiefasern weltweit. *Abb. 3*

Das wachsende Umweltbewusstsein führt zu einer Rückbesinnung auf Naturfasern. Nicht nur die Lebensmittel- und Verpackungsindustrie verspüren diesen Trend, auch in der Textilbranche wird immer mehr auf Nach-

haltigkeit und Ökologie gesetzt. Angefangen beim Anbau über die Verarbeitung bis hin zum fertigen Produkt.

Ob natürlich oder synthetisch, die gewonnenen Fasern sind viel zu filigran und müssen deshalb einem Zwischenschritt unterzogen werden. Das nächste Kapitel zeigt die Verarbeitung der Faser zum Garn und weiter zum Textil.

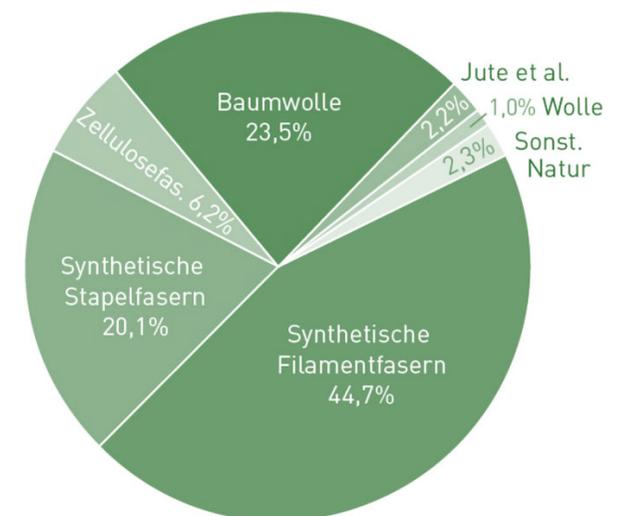


Abb. 3. Faserherstellung Weltweit 2019

<sup>2</sup> Vgl. <http://www.aethic.de/sustainable-strategies/ethical-fabrics/>, 30.03.2021 29.10.2020



Abb. 4. Baumwollfeld



Abb. 6. Wolle



Abb. 5. Hanf

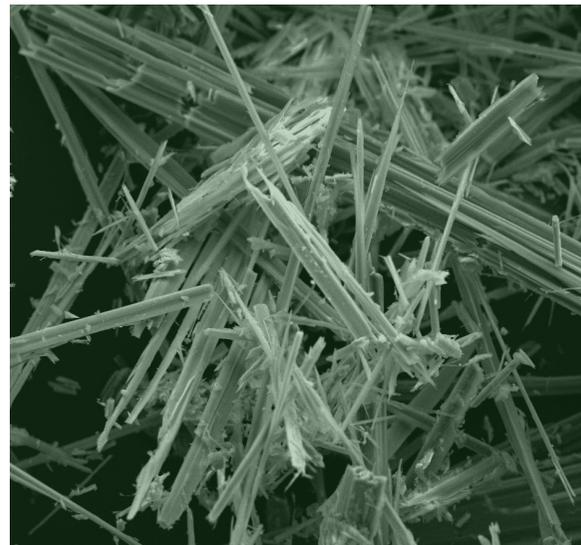


Abb. 7. Asbest

| <b>FASERPRODUKTION</b>     |               |             |                |             |
|----------------------------|---------------|-------------|----------------|-------------|
| <b>in 1.000 Tonnen</b>     | <b>2008</b>   | <b>%</b>    | <b>2018</b>    | <b>%</b>    |
| <b>NATURFASERN</b>         |               |             |                |             |
| Kokosfasern                | 1.056         | 1,4         | 970            | 0,9         |
| Rohbaumwolle               | 23.584        | 31,4        | 26.120         | 23,5        |
| Leinen et al.              | 533           | 0,7         | 310            | 0,3         |
| Hanf                       | 60            | 0,1         | 70             | 0,1         |
| Jute, Kenaf et al.         | 2.588         | 3,4         | 2.500          | 2,2         |
| Sisal et al.               | 295           | 0,4         | 210            | 0,2         |
| Rohseide                   | 164           | 0,2         | 164            | 0,2         |
| Wolle, gesäubert           | 1.198         | 1,6         | 1.080          | 1,0         |
| Sonstige Fasern            | 1.076         | 1,4         | 780            | 0,7         |
| <b>Total Natur</b>         | <b>29.479</b> | <b>40,7</b> | <b>32.200</b>  | <b>29,9</b> |
| <b>SYNTHETISCHE FASERN</b> |               |             |                |             |
| Zellulosefasern            | 3.464         | 4,6         | 6.900          | 6,2         |
| Synth. Filamente           | 25.750        | 34,3        | 49.800         | 44,7        |
| Synth. Stapelfasern        | 15.331        | 20,4        | 22.400         | 20,1        |
| <b>Total Synthetisch</b>   | <b>44.545</b> | <b>59,3</b> | <b>79.100</b>  | <b>71,1</b> |
| <b>Alle Fasern</b>         | <b>74.024</b> | <b>100</b>  | <b>111.300</b> | <b>100</b>  |

Tab. 1. Faserproduktion Weltweit, 2008 - 2018

# 1.4

## VERARBEITUNG

**M**ehrere der filigranen Fasern werden zu einem Garn zusammengefasst. Dabei kann ein Garn aus hundert einzelnen Fasern bestehen. Die Spinnfasern (Fasern mit begrenzter Länge) werden zu sogenannten Spinnfasergarnen, die chemischen Endlosfasern - auch Filamente genannt - zu Filament- oder Multifilamentgarnen zusammengefasst.

Üblicherweise werden die Fasern bei diesem Schritt durch eine Längsdrehung - für die benötigte Formstabilität - miteinander verdreht. Es können nicht nur mehrere Fasern zu einem Garn zusammengefasst werden, sondern auch mehrere Garne zu einem Zwirn. Dieser Arbeitsschritt des Ineinanderverdrehens kann somit, je nach Anforderung, mehrmals wiederholt werden.

Die so entstandenen Garne werden üblicherweise für die Herstellung von flächigen Textilien weiterverarbeitet.<sup>3</sup>

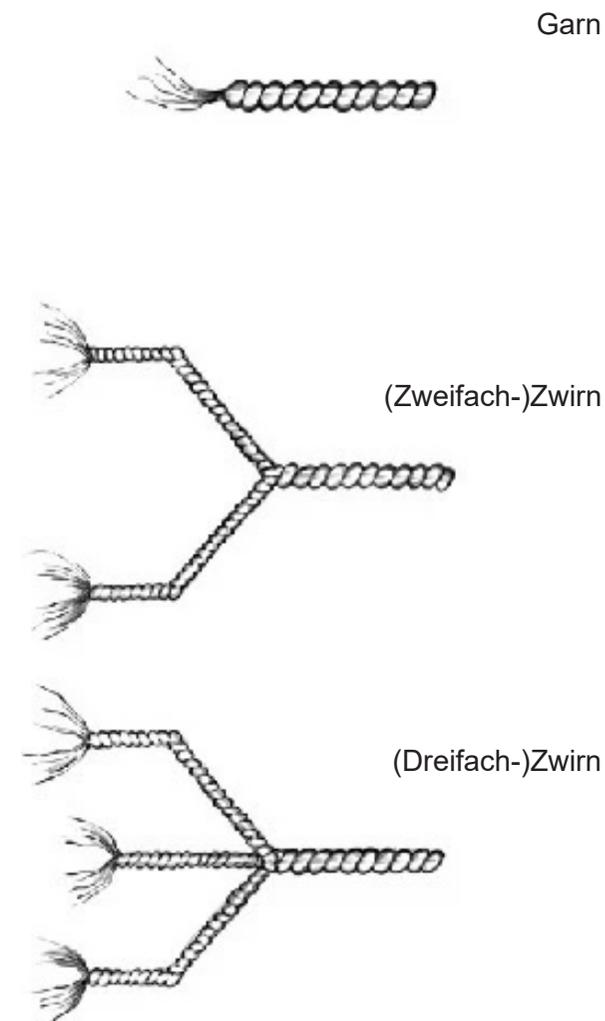


Abb. 8. Garn & Zwirn

<sup>3</sup> Vgl. Sobek, Werner/Speth, Martin: Von der Faser zum Gewebe. Textile Werkstoffe im Bauwesen, in: deutsche bauzeitung 93,9 (1993), 74-81



Abb. 9. Non-Wovens: Filz



Abb. 10. Webwaren: Gewebe



Abb. 11. Maschenware

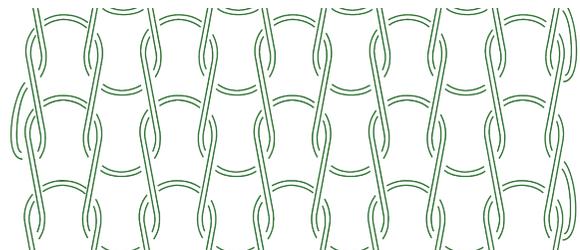


Abb. 12. Maschenware Skizze

Diese flächigen Textilien werden mithilfe von Flächenbildenden Technologien produziert. So entstehen folgende Typen:

#### Non-Wovens

- Vliese
- Filze
- Fadengelege

#### Webwaren

- Gewebe
- Nähgewebe

#### Maschenwaren

- Gewirke
- Gestricke

Bei den Vliesen wird der Zwischenschritt von der Faser zum Garn nicht benötigt, da die einzelnen losen Fasern mechanisch, thermisch oder chemisch miteinander verfestigt werden.

Webwaren bestehen aus zwei Fadensystemen, die sich fast im rechten Winkel kreuzen. Dabei können verschiedene Kreuzungsmuster angewendet werden.

Bei Maschenware handelt es sich um Textilien, die dadurch entstehen wenn Fadenschleifen ineinander greifen *Abb. 12*. Die entstandenen Maschen können auch aus mehr als

einem Faden gebildet werden. Im Vergleich zum Gewebe ist Maschenware dehnbarer, elastischer und weist somit eine geringere Knitterbildung auf.<sup>4</sup>

Webwaren entstehen, indem zwei Fadensysteme sich rechtwinklig kreuzen. Dieses System besteht aus den zur Gewebelängsrichtung parallel liegenden Kettfäden und den senkrecht dazu stehenden Schussfäden. Die Kettfäden sind im Webstuhl eingespannt, während die Schussfäden der Reihe nach eingearbeitet werden. Um unterschiedliche Dehnverhalten zu erhalten, können verschiedene Bindungsarten angewandt werden. Die Drei Grundbindungsarten sind die Leinwand-, Körper- und Atlasbindung.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Vgl. <https://www.hessnatur.com/magazin/textillexikon/maschenware/>, 31.03.2021

<sup>5</sup> Vgl. Knippers, Jan/ Cremers, Jan, u.a.: Atlas Kunststoffe + Membranen. Werkstoffe und Halbzeuge Formfindung und Konstruktion, München, 2010, 70

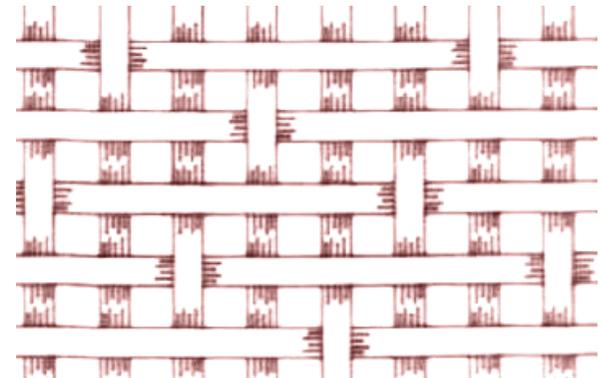
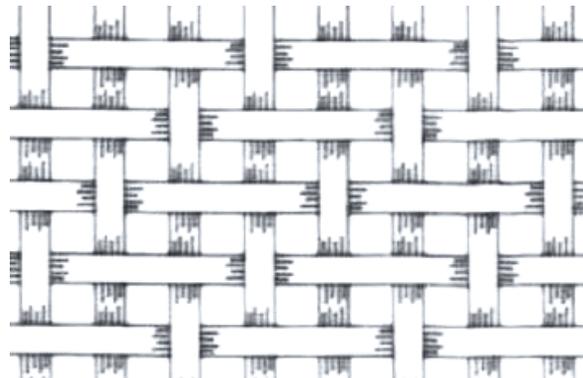
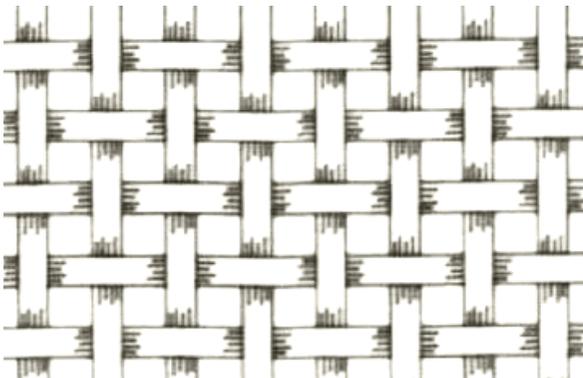
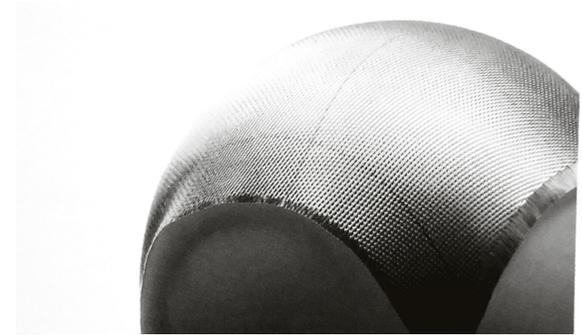
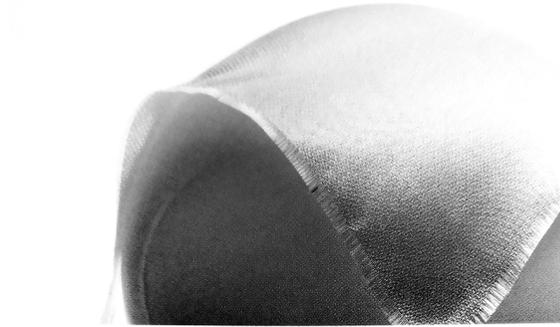


Abb. 13. *Leinwandbindung*

Abb. 14. *Körperbindung*

Abb. 15. *Atlasbindung*

**N**ach der Herstellung der flächigen Gebilde folgen noch weitere Stufen bis hin zum Endprodukt.

Die textilen Flächen können, je nach Anwendungsgebiet, unterschiedlich gestaltet oder durch verschiedene Textiltechniken veredelt werden. Schlussendlich erfolgt die Anfertigung (Konfektion), bei der die Textilien ihre Endform erhalten bzw. das Endprodukt entsteht.

Mit immer weiter entwickelten Prozessen, wird auch das Textil immer technischer. Durch Kombination verschiedener Fasern/Garne, Harze, Elektrotechnik etc. können neue Stoffe produziert werden. Technische Textilien entstehen, deren Möglichkeiten unbegrenzt sind.

Ein großer Schritt ist die Verdrängung von Metallen in diversen Industrien. Da Kunststofffasern in Verbindung mit Epoxidharzen eine hohe Steifigkeit gewährleisten, bei gleichzeitiger Reduzierung des Gewichtes. So kann allein schon eine Gewichtseinsparung weitere Ressourcen- und Kostenschonende Effekte nach sich ziehen.<sup>6</sup> Ein Beispiel hierfür sind großflächige Überdachungen. Diese bestehen immer mehr aus textilen Materialien. Vorteile gegenüber konventioneller Baustoffe bieten unter anderem Eigenschaften wie:

Gewicht, Statik, leichtere und vielseitigere Verarbeitung sowie auch niedrigere Kosten.

Die Integration von Nanotechnologie, Solarzellen, LEDs, Sensoren etc. spielt zur Zeit sowie in der Zukunft eine wichtige Rolle. Dabei sind sensorische Bauteilüberwachung, Solarthermie, Leuchtbekleidung, externe (Notruf) Kommunikation, Wearables, Energieerzeugende Markisen und Stadiondächer, Klimasysteme, Berufsbekleidung mit Warnfunktionen, dynamische Wandbeleuchtung, Nerven stimulierende Therapiehilfen, Vitalparametererfassung und Energiespeicher nur einige Begriffe die mit Smarten Textilien in Verbindung gebracht werden können.

Hier sind vor allem Medizin, Sport sowie die Automobilindustrie treibende Kräfte in der Forschung, Entwicklung und Produktion solcher neuen Textilien.<sup>7</sup> Auf den folgenden Seiten werden einige Beispiele vorgestellt.

<sup>6</sup> Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Textilindustrie>, 31.03.2021

<sup>7</sup> Vgl. <https://www.textilforschung.de/uploads/2016-11-14-15-12-22-40-1.pdf>, 31.03.2021



Abb. 16. Smart Textile



Abb. 18. Prägung



Abb. 17. Textildruck



Abb. 19. Impregnierung

# 1.5

## EINSATZGEBIETE & BEISPIELE

**T**extil ist vielseitig einsetzbar und nicht nur in der Bekleidungsindustrie zu finden. Mittlerweile ist Textil ein festes Bestandteil der unterschiedlichsten Branchen. Dazu zählen u.a.:

- Haushalt & Innenraumgestaltung
- Industrie
  - *Sportartikel*
  - *Fahrzeuge*
  - *Luftfahrt*
  - *Boots-Schiffbau*
- Bauwesen und Architektur
- Medizin und Hygiene

Seine Beliebtheit erlangt Textil vor allem durch dessen Eigenschaften die, je nach Einsatzgebiet, variieren können. Dabei bleibt es aber immer ein leichtes und anpassungsfähiges Material, welches in der Lage ist mehrere Funktionen miteinander zu verbinden oder weitere Funktionen zu implementieren. So haben Wundauflagen, die mit Chitosan und Alginat versetzt sind, eine antibakterielle Wirkung. Schutzwesten sind beim Militär und der Polizei schon längst Standard, sowie auch Faserverbundwerkstoffe in diversen Industrien.

Folgende Beispiele zeigen wie Textil in der Kunst, Architektur etc. angewendet wird, sowie auch den heutigen Stand der Forschung.

**S**chlanke Betonbauteile, die dabei mit konventionellen Stahlbeton bzgl. Tragfähigkeit, Eigengewicht und Einsatzdauer nicht nur mithalten können sondern auch in der Lage sind einen wichtigen Beitrag für die Nachhaltigkeit zu leisten, sind nicht nur der Traum eines jeden Architekten sondern sie sind dank Textilbeton auch Wirklichkeit.

Wie der Name schon verrät, ist im Textilbeton kein Stahl für die Aufnahme von Zugkräften verantwortlich, sondern Textil (z.Bsp. Carbon), welches als Bewehrungsmaterial, eingesetzt wird.

Der Einsatz von Carbon lässt sich zum einen dadurch erklären, dass das Material eine höhere Zugfestigkeit im Vergleich zu Stahl aufweist, zum anderen rostet Carbon nicht. Denn damit im Stahlbeton der Korrosionsschutz gewährleistet werden kann - damit die Stahlbewehrung nicht rostet - muss der Stahl durch eine dicke Schicht Beton geschützt werden, die dieser durch seine alkalische Milieu schafft.

Die Kombination aus schlanken Bauteilen und gleichzeitig geringem Eigengewicht ermöglicht filigranes Bauen, dass vor allem seinen Einsatz im Brücken-, Dachschaalen-,

Fassadenbau aber auch bei Instandsetzungsarbeiten findet.

Schlussendlich benötigt ein schlankes Bauteil weniger Baumaterial, womit Ressourcen geschont werden sowie allgemein die graue Energie herabgesetzt werden kann.<sup>8</sup>



Abb. 20. Textil Beton



Abb. 21. Patric Trauschke, Segmentierte Leichtbetonschale

<sup>8</sup> Vgl. <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/textilbeton/>, 01.04.2021



Abb. 22. Tensegrity Membran Pavillon, Noda, 2012



Abb. 23. Modell Membran Konstruktion

**M**embran vom lateinischen Wort membrana (=Haut/Häutchen) beschreibt in der Biologie ein „*dünnes, feines Häutchen, das trennende oder abgrenzende Funktion hat*“<sup>9</sup>. In der Architektur bzw. im Bauwesen wurde dieser Begriff für einen flexiblen Werkstoff mit einer sehr dünnen Oberfläche übertragen. Diese Werkstoffe können (un-)beschichtete Gewebe, Kunststofffolien oder dünne Bleche aus Metall sein.

Membranen übernehmen nicht nur die Funktion einer Außenhaut, sondern können auch eine tragende Funktion ausführen. Dabei sind mechanische Zugfestigkeit, Elastizität und Oberflächenbeschaffenheit wichtige Eigenschaften die zu erfüllen sind. Die Wahl des Fadens oder der Webart sowie der Beschichtung sind hier entscheidend.

Häufig handelt es sich um Verbundwerkstoffe aus mehreren Lagen Gewebe und/oder Beschichtungen. Haben Membranen einen rein trennenden Zweck in Form von Sonnenschutz oder Raumakustik kommen auch unbeschichtete Gewebe oder Netze zum Einsatz.<sup>10</sup>

<sup>9</sup> <https://www.duden.de/rechtschreibung/Membran>, 01.04.2021

<sup>10</sup> Vgl. Knippers, Jan/ Cremers, Jan, u.a.: *Atlas Kunststoffe + Membranen. Werkstoffe und Halbzeuge Formfindung und Konstruktion*, München, 2010, 100



Abb. 24. Olympiastadion München, Frey Otto, 1972

**K**nit *Candela* ist ein Pavillon der in einer Zusammenarbeit zwischen Zaha Hadid Architect's und der ETH Zürich entstanden und in Mexico City ausgestellt ist.

Auch wenn der Pavillon an einen Textilbetonbau erinnert ist dieser anders da hier das Textil nicht als Bewehrung dient, sondern vielmehr eine Schale für den Beton ist. 350 km Garn wurden mithilfe einer neuen 3D-Stricktechnologie hergestellt mit welcher gekrümmte Betonstrukturen ermöglicht werden, wobei zeitaufwändige sowie teure Formen wegfallen. Die Fertigung der vier Textilstreifen mit bis zu 26 Meter Länge wurden nur innerhalb von 36 Stunden - dank digitaler Fertigungsmethoden - vollendet und nach Mexiko verschickt. Da es sich hier um Maschenware handelt, die einfach zusammengelegt werden kann und somit extrem komprimiert wird, entfallen teure Transportkosten.

In Mexico City angekommen wurden vor Ort, im Museo Universitario Arte Contemporáneo (MUAC), die vier Streifen an eine Holzrahmenkonstruktion durch ein Spannseilnetzsystem gespannt. Die Streifen bilden eine doppelte Schale in deren Zwischenraum 1.000 Modellierballons gesteckt wurden, um die gewünschte Form zu erhalten. Im nächsten Arbeitsschritt wurde eine spezielle Ze-

mentpaste aufgetragen um die Form starr zu bekommen.

Im nächsten Schritt wurde die Struktur händisch betoniert. Dadurch entsteht eine Mischung aus digitalen sowie analogen Bautechniken. Interessant ist die Tatsache dass das Strickwerk nur 25 Kg wiegt, das Kabelnetz 30 Kg und dass dies vollkommen ausreicht fünf Tonnen Beton zu tragen.

Dieses als *KnitCrete* bezeichnete System vereinfacht die Herstellung komplexer, doppelt gekrümmter Betonformen mit einer leicht zu transportierenden Schale. Folgend führt dies wieder zu geringerer Baumaterialmenge, geringerem Energieverbrauch, verminderten Kosten sowie der Schonung von Ressourcen.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Vgl. <https://www.zaha-hadid.com/design/knitcandela/>, 01.04.2021



Abb. 25. Digitales Stricken



Abb. 26. Textilstreifen



Abb. 27. Betonierung



Abb. 28. KnitCandela

Architekturstudenten des Instituts für Computational Design (ICD) und des Instituts für Gebäudestrukturen und Tragwerksplanung (ITKE) der Universität Stuttgart haben einen Forschungspavillon fertiggestellt, der roboterhaft aus Kohlenstoff- und Glasfaserverbundwerkstoffen hergestellt wird.

Die Entwicklung der Struktur konzentrierte sich auf die materiellen und morphologischen Prinzipien der Exoskelette von Anthropoiden als Explorationsquelle für neue Konstruktionsverbindungen in der Architektur.

Die Montage des Pavillons wurde vor Ort von einem 6-Achsen-Roboter durchgeführt der mit einer externen siebten Achse gekoppelt war. Als Teil des Prozesses wurden die Materialien mit Harz gesättigt und unmittelbar vor ihrer Platzierung durch den Roboter durch ein Bad des synthetischen Polymers geführt. Nach Abschluss des Filamentwickelprozesses und anschließender Aushärtung der Faser-Harz-Mischung konnte der temporäre Stahlrahmen zerlegt und entfernt werden. Die automatisch hergestellte, aber lokal differenzierte Struktur führte zu einer extrem dünnen Schale mit einer Dicke von nur 4 mm.



Abb. 29. ICD/ITKE research Pavillon Work in Progress



Abb. 30. ICD/ITKE research Pavillon



Abb. 31. ICD/ITKE research Pavillon

**E**rnesto Saboia de Albuquerque Neto (\*1964 in Rio de Janeiro, Brasilien) ist ein brasilianischer bildender Künstler, der internationale Bekanntheit mit seinen raumfassenden Stoffskulpturen erlangt hat.

Der Großteil seiner Werke sind als textiler Raum zu verstehen, der die Besucher animieren soll sich in diesen hinein zu bewegen, mit ihm zu interagieren. Dadurch dass er elastische Stoffe wie Tüll, Nylon oder Lycra verwendet schafft er Räume und Körper die durch das Aufspannen im Raum und durch zusätzlichen Ballast biomorphe Strukturen annehmen. Neto spielt hier gezielt mit allen Sinnen der Besucher, da er als Ballast nicht nur Sand verwendet, sondern auch Gewürze die ihren Duft in den Raum abgeben oder Reis, Glasperlen, Kunststoffe, Gips etc. <sup>13 14</sup>

*„Die organisch weichen Formen der Arbeiten Netos regen dazu an, sie als autonome, poetische und humorvolle Organismen zu entdecken. Dennoch bezieht er sich auf klassischen Fragen der Bildhauerei: Raum, Körper, Schwerkraft, Masse und Licht.“ <sup>12</sup>*

<sup>12</sup> [https://www.wikiwand.com/de/Ernesto\\_Neto](https://www.wikiwand.com/de/Ernesto_Neto), 19.11.2020

<sup>13</sup> Vgl. <https://www.munzinger.de/search/portrait/ernesto+neto/0/28846.html>, 19.11.2020

<sup>14</sup> Vgl. <https://www.designboom.com/tag/ernesto-neto/> 19.11.2020



Abb. 32. Ernesto Neto, *Flying Gloop Nave*, 1999

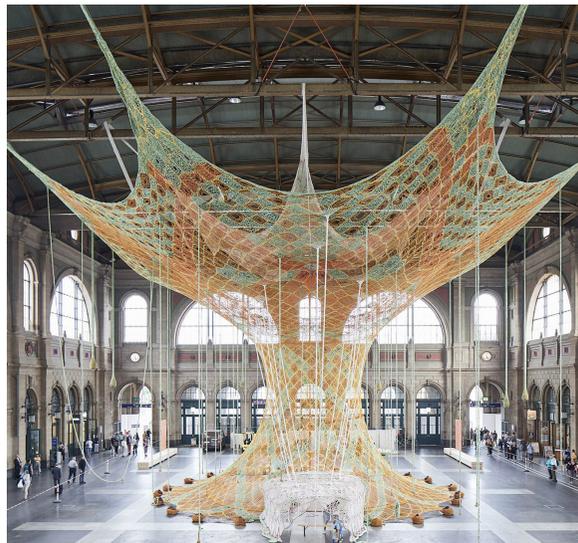


Abb. 33. Ernesto Neto, *Gaja Mother Tree*, Zürich 2018



Abb. 34. Ernesto Neto, *Madness is part of life*, Espace Louis Vuitton Tokyo, 2012



Abb. 35. NET, Rovinj, Kroatien, 2016

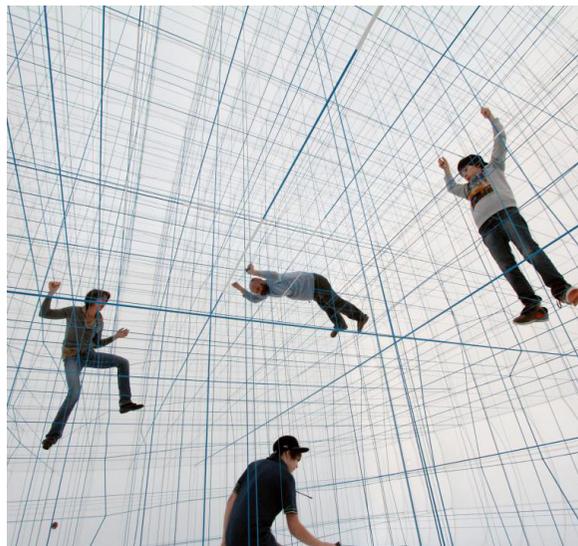


Abb. 36. STRING, Wien, Österreich, 2014



Abb. 37. TAPE, Des Moines, USA, 2017

**N**umen/For Use ist ein Kollektiv, das sich innerhalb von Szenografie, Kunst, Industrie-, Raumdesign und konzeptioneller Kunst bewegt. Gründungsmitglieder sind die Industriedesigner Sven Jonke, Christoph Katzler und Nikola Radeljković. Anfangs noch unter dem Namen *For Use* tätig wurde die Gruppe ein Jahr später (1999) in die kollektive Identität *Numen* umbenannt.

Zu Beginn waren die Projekte geprägt von unpersönlichem Design und einer radikalen formalen Reduktion, welcher die Tradition der Hochmoderne zu Grunde lag.

Anfangs hauptsächlich in Kroatien tätig, gelang dem Kollektiv mit einer ortsspezifischen Installation für die Inszenierung von „Inferno“ im Nationalen Zentrum für Theater in Madrid (2004), der internationale Durchbruch. Der Bereich der Szenographie wurde in das Arbeitsfeld der Gruppe integriert und es folgten weitere Realisierungen in Theatern in ganz Europa.

Seit 2008 beschäftigt sich das Kollektiv mit der Zusammensetzung von Objekten und Konzepten ohne einer im Vorhinein bestimmten Funktion. Das Resultat sind hybride sowie experimentelle Arbeiten wie die N-Light-Serie oder die Tape Installation.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Vgl. <http://www.numen.eu/info/biography/>, 07.04.2021

Designer wie Aaron Nesser (*AlgiKnit*) oder Studenten des New York City Fashion Institute of Technology haben auf der Basis von Alginat ein Biopolymeres Garn geschaffen, das per Hand oder Maschine gestrickt werden kann.<sup>16 17</sup>

Dabei wird eine Alginat Mischung angerührt, welche danach im Spritzverfahren in eine Kalzium-Chlorid Lösung extrudiert wird. Die Chemische Reaktion erzeugt aus der Gelartigen Masse ein festes Produkt. Dieses Algengarn lässt sich nun, wie jedes weitere Garn, zu Textil weiterverarbeiten.

Aaron Nesser geht sogar noch weiter und hat einen kompletten Schuh aus Alginat hergestellt (*AlgiKicks*). Nicht nur das er ein Garn aus dem Alginat gewinnt, er schafft es auch ganze Formen herzustellen, wie zum Beispiel die Fußsohle.

Dieses Verfahren der Garnherstellung oder besser gesagt dieses Material ist die Inspiration für die folgende Arbeit. Denn Algen sind vielseitig einsetzbar und haben einen enormen Einfluss auf das Ökosystem unserer Erde. Dies wird in den kommenden Kapiteln aufgezeigt.

<sup>16</sup> Vgl. <https://www.designindaba.com/articles/creative-work/students-create-seaweed-based-yarn-tackle-fashion-industry-pollution>, 19.11.2020

<sup>17</sup> Vgl. <https://www.algiknit.com/>, 20.11.2020



Abb. 38. Extrusion von Alginat



Abb. 39. Gewebebeispiel aus Alginat Garn

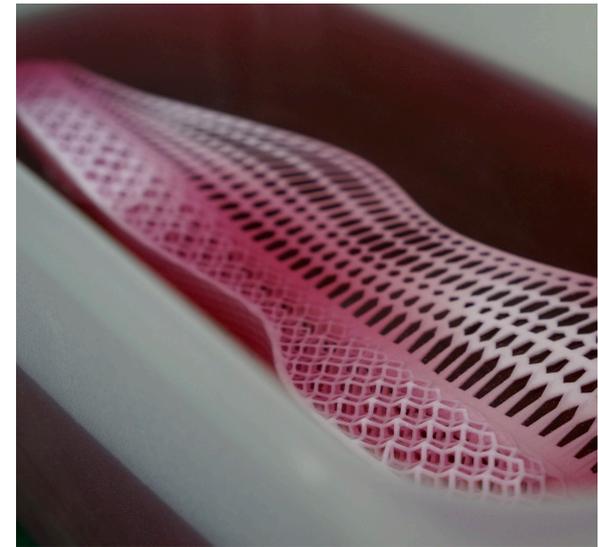


Abb. 40. AlgiKick Fußsohle



Abb. 41. Einzelteile des Algengarns



Abb. 42. AlgiKick- Prototyp Schuh







ALGEN







Abb. 43. Braunalgen

## 2.1 ALLGEMEIN

**A**lgen, (vom lat. alga = Seegrass, Seetang)<sup>18</sup> hinter diesem Begriff versteckt sich ein eukaryotisches pflanzenartiges Lebewesen, das vielmehr kann als man es diesem zumuten würde.<sup>19</sup> Obwohl Algen hauptsächlich in Gewässern zu finden und in der Lage sind Photosynthese zu betreiben, gehören sie nicht zu den eigentlichen Pflanzen.<sup>20</sup>

Wie viele Algenarten es auf der Welt gibt, ist bis jetzt noch nicht nachgewiesen. Die Meinungen gehen weit auseinander, so sind Zahlen von 30.000 bis über eine Million zu finden. Eine Studie geht davon aus, dass es um die 72.500 Arten geben könnte. Auf der Plattform Algaebase.com wurden bis jetzt 37.455 Algenarten erfasst (Stand 2020). Ein großes Problem bei der Erfassung der Arten besteht darin welche Organismen den Algen zugeordnet werden können und wie diese voneinander abzugrenzen sind. Von dieser Großzahl an Algen werden wiederum aber nur ca. 160 Arten industriell genutzt.<sup>21</sup>

Grob kann man zwischen Mikro- und Makroalgen differenzieren. Mikroalgen können wir weiter unterteilen, in Einzeller, Kolonien und Fäden *Abb. 44-Abb. 46*. Während die einen einzellige, mikroskopisch kleine Organismen sind, handelt es sich bei Makroalgen um Mehrzeller. Diese können im Fall

<sup>18</sup> Vgl. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Alge>, 02.12.2020

<sup>19</sup> Vgl. Fott, Bohuslav: *Algenkunde*, Prag, 21967, 15

<sup>20</sup> Vgl. <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/algen-597>, 02.12.2020

<sup>21</sup> Vgl. Guiry, Michael D.: HOW MANY SPECIES OF ALGAE ARE THERE? in: *Journal of Phycology* 48,5 (2012), 1057–1063

der *Macrocystis pyrifera* (auch als Riesentang bekannt) aus der Gattung der Braunalgen, bis zu 45 Meter lang werden, bei einer Wachstumsrate von bis zu 30 cm pro Tag.<sup>22</sup>

Hauptlebensraum der Alge ist das Wasser. Sie sind im Meer sowie in Süßwässern vorhanden. Einige wenige Arten jedoch haben sich an andere Umweltsituationen angepasst, sodass diese in der Luft (Aerophyten), in bzw. auf der Erde (terrestrische Algen), sowie auf dem Schnee anzutreffen sind. Letztere sind Grünalgen welche sich auf Schneefeldern in Gebirgs- und Polarregionen befinden und in den Sommermonaten für das Phänomen des Blutschnees verantwortlich sind.<sup>23</sup>

Die sogenannten Blaualgen sind, auch wenn es der Name vermuten lässt, keine Algenart sondern sie gehören zu den Cyanobakterien.

Einer der wichtigsten Aspekte der Algen ist ihre Filterfähigkeit. Sie können nicht nur toxische Stoffe aus dem Wasser filtern, sie sind ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Kohlenwasserstoffkreislaufs. Aufgrund ihres enorm schnellen Wachstums und dank der von ihnen sehr effektiv betriebenen Photosynthese, sind sie, Schätzungen zur Folge,

der Lieferant für rund 50 % des weltweiten Sauerstoffbedarfs.<sup>24</sup>

Forscher gehen sogar davon aus dass, wenn nur 9 % der Meere mit Seetangwäldern bedeckt wären, mehr als ausreichend Biometan produziert werden könnte um den Bedarf der heutigen fossilen Brennstoffe zu decken und gleichzeitig 53 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entziehen. Bei der heutigen Produktion von 40 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr würde dies sogar eine negativ Bilanz zugunsten der Umwelt ergeben.<sup>25</sup>

<sup>22</sup> Vgl. [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?t-c=accept&species\\_id=w7faaac344fafeb7e](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?t-c=accept&species_id=w7faaac344fafeb7e), 02.12.2020

<sup>23</sup> Vgl. <http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e44/44.htm>, 02.12.2020

<sup>24</sup> Vgl. Smetacek, Victor: Die Primärproduktion der marinen Plankton-Algen, in: *Spektrum der Wissenschaft*, 12(1991), 52

<sup>25</sup> Vgl. N'Yeurt, Antoine de Ramon/Chynoweth, David P. u.a. : Negative carbon via Ocean Afforestation, in: *Process Safety and Environmental Protection*, 90/6 (2012), 467-474



Abb. 44. Einzeller-Mikroalgen

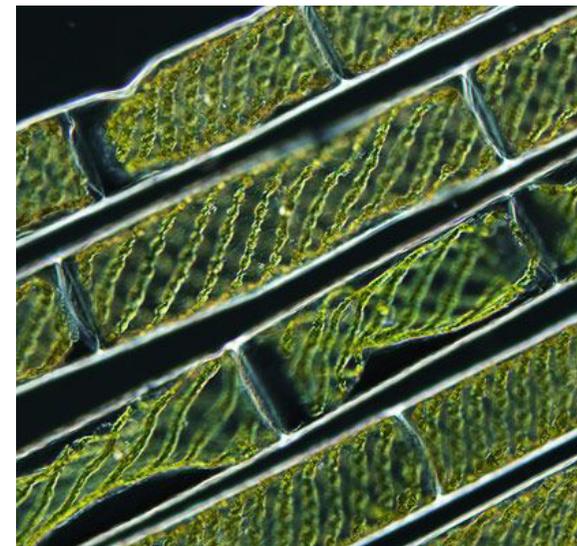


Abb. 46. Fäden-Mikroalgen

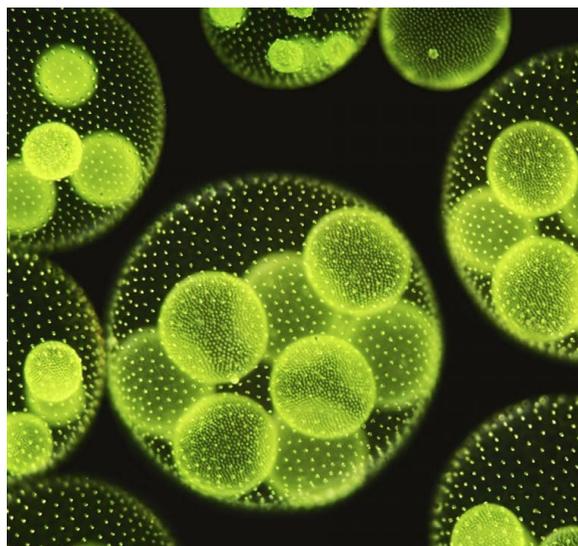


Abb. 45. Kolonien-Mikroalgen



Abb. 47. Seetang-Makroalgen

## 2.2 MIKROALGEN

**M**ikroalgen oder Mikrophyten sind, wie bereits erwähnt, mikroskopisch kleine Algen, die mit dem bloßen Auge nicht erkennbar sind. Je nach Art weisen diese eine Größe von wenigen Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ) bis zu einigen hundert Mikrometern auf.

Im Gegensatz zu höheren Pflanzen haben Mikroalgen keine Wurzeln, Stängel oder Blätter. Sie sind speziell an eine Umgebung angepasst, die von viskosen Kräften bestimmt wird. Dennoch sind sie in der Lage Photosynthese zu betreiben und nutzen Kohlendioxid für ihr photoautotrophes Wachstum. Aus Schätzungen geht hervor, dass jährlich etwa 45 - 50 Gigatonnen (1 Gigatonne = 1.000.000.000 Tonnen) Kohlenstoff, des Kohlendioxids, in Phytoplanktonbiomasse gebunden werden.<sup>24</sup>

Mikroalgen bilden, zusammen mit Bakterien, die Basis der Nahrungskette und liefern Energie für alle darüber liegenden trophischen Ebenen.<sup>26</sup>

Die Artenvielfalt der Mikroalgen ist enorm und sie stellt eine fast ungenutzte Ressource dar. Über 15.000 neue Verbindungen, die aus der Algenbiomasse stammen, wurden chemisch bestimmt. Dazu zählen unter anderem Carotinoide, Antioxidantien, Fettsäuren, Enzyme, Polymere, Peptide, Toxine und Sterole.<sup>27</sup>

Dieses enorme Potenzial der Mikroalgen versucht die Industrie für sich zu gewinnen. Auch Architekten und Künstler haben dieses Feld neu für sich entdeckt. Im kleinen Labormaßstab, in offenen- oder geschlossenen Anlagen sowie in großen Photobioreaktoren, können Mikroalgen gezüchtet werden.



Abb. 48. Industrielle Photobioreaktor Anlage



Abb. 49. The Coral : home algae farming

<sup>24</sup> Vgl. Smetacek, Victor: Die Primärproduktion der marinen Plankton-Algen, in: Spektrum der Wissenschaft, 12(1991), 52

<sup>26</sup> Vgl. Thrush, Simon F./ Hewitt, Judi E./ Gibbs, Max u.a.: Functional Role of Large Organisms in Intertidal Communities: Community Effects and Ecosystem Function. in: Ecosystems 9, (2006), 1029–1040

<sup>27</sup> Vgl. Cardozo, Karina H.M./ Guaratini, Thais/ Barros, Marcelo P. u.a.: Metabolites from algae with economical impact: Comparative Biochemistry and Physiology Part C, in: Toxicology & Pharmacology, 146/1-2, (2007), 60-78

## 2.3 MAKROALGEN

**D**ie für diese Arbeit wichtigen Makroalgen, lassen sich in die folgenden drei Algenklassen aufteilen:

- *Grünalgen (Chlorophyceae)*
- *Rotalgen (Rhodophyceae)*
- *Braunalgen (Phaeophyceae)*

Dabei stellt die Gruppe der Braunalgen die größten Vertreter, während Grün- und Rotalgen vergleichsweise kleinere Exemplare stellen. Deshalb ist es auch gebräuchlich, dass der vom ursprünglichen lateinischen stammende Name, *Tang* hauptsächlich auf Braunalgen bzw. genauer gesagt auf die großen Vertreter der Ordnungen *Fucales* und *Laminariales* angewendet wird. Ein weiterer Begriff der oft mit Algen in Verbindung gebracht wird, ist *Kelp*. Hierbei handelt es sich um einen Begriff aus dem Englischen, der im engen Sinn nur die großen Vertreter der Laminariales umfasst.<sup>28</sup>

Das größte Beispiel in unseren Weltmeeren ist der Kalifornische Riesentang, *Macrocystis pyrifera*, der mit 30-60 Metern Länge die größte Meerespflanze ist und eine enorm schnelle Wachstumsrate von bis zu 30 cm/Tag erreichen kann.<sup>22</sup>

Auch an den Küsten Europas gibt es einige Algen mit mehreren Metern Länge. Die größte

davon, mit 4 bis 5 Metern, ist der Zuckertang, *Laminaria Saccharina* oder der ihr Verwandte Palmentang, *Laminaria hyperborea*.<sup>29 30</sup>

Diese großen Algen sind meistens in großen „Kolonien“ vorzufinden sodass man von Tangwäldern spricht. Diese Wälder zeichnen sich zum einen durch ihre Dichte und Größe aus. Zum anderen bieten sie eine unglaubliche Artenvielfalt, da sie ein Habitat für andere Lebewesen bieten.

Somit sind die Tangwälder ein wichtiger Bestandteil der küstennahen Ökosysteme sowie des Weltklimas. Als wichtiger Sauerstoffproduzent und gleichzeitig in Ihrer Funktion als Kohlenstoffspeicher.<sup>31</sup>



Abb. 50. Tangwald

<sup>22</sup> Vgl. [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?t-c=accept&species\\_id=w7faaac344fafeb7e](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?t-c=accept&species_id=w7faaac344fafeb7e), 02.12.2020

<sup>28</sup> Vgl. <https://www.thefreedictionary.com/kelp>, 08.04.2021

<sup>29</sup> Vgl. [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=80](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=80), 08.04.2021

<sup>30</sup> Vgl. [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=27](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=27), 08.04.2021

<sup>31</sup> Vgl. Raven, John: *Blue carbon: past, present and future, with emphasis on macroalgae*, in: *Biology Letters*, 14/10, (2018), o.S.

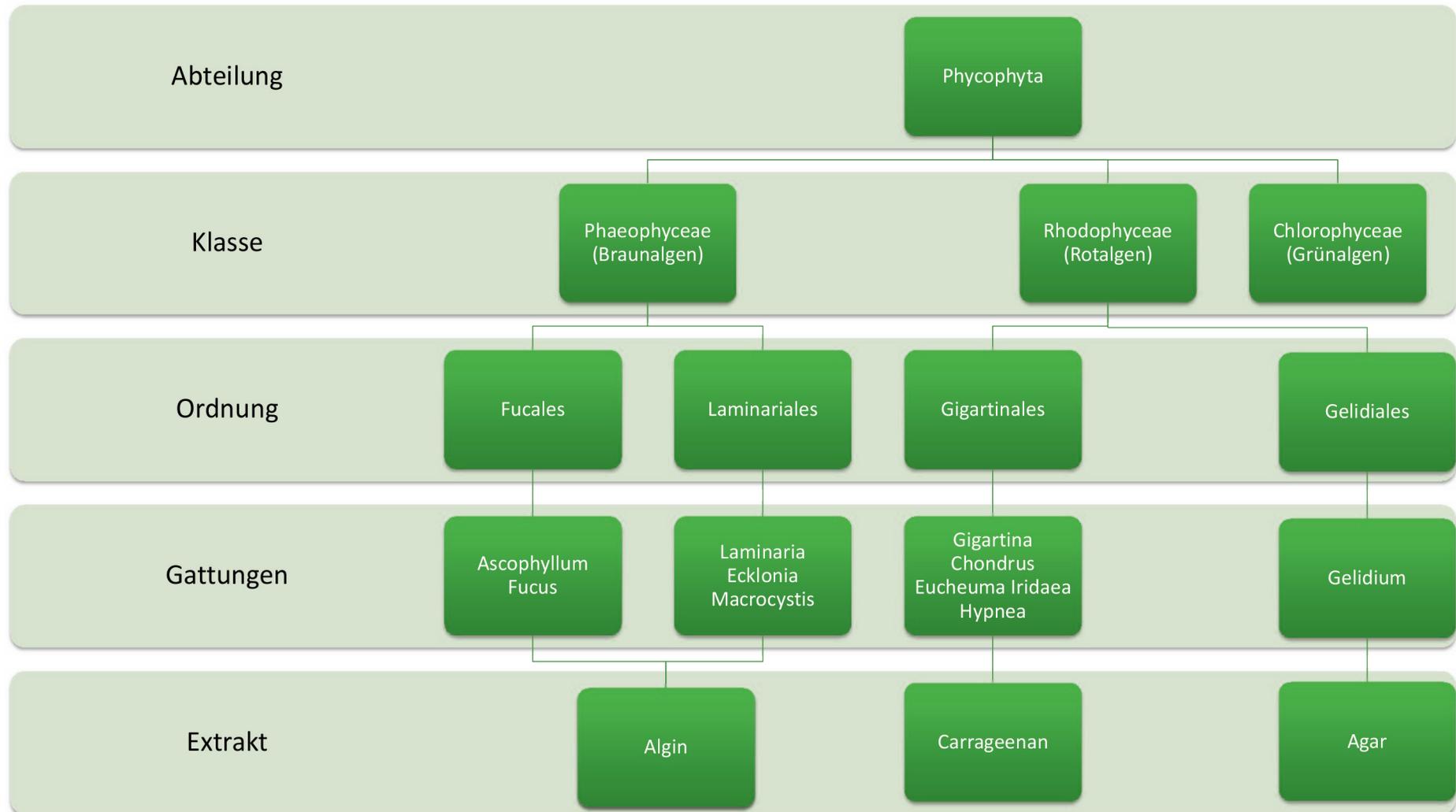


Abb. 51. Auszug aus der allgemeinen Klassifikation der Makroalgen sowie daraus gewonnene Produkte

## 2.4 FAKTEN

Erde:

ca. 29% Landmasse

ca. 71% Wassermasse

Fläche der Weltmeere Gesamt:

ca. 361.100.000 km<sup>2</sup>

9% betragen 32.499.000 km<sup>2</sup>

entspricht in etwa der Fläche Afrikas  
30.370.000 km<sup>2</sup>

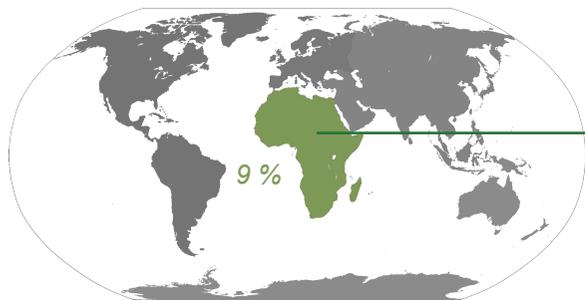
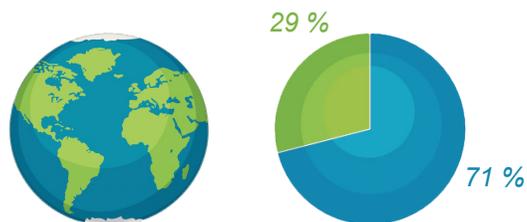


Abb. 52. Grafiken



Abb. 53. Symbolbild Wald

1 ha Buchenwald  
bindet 10-12 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr

Entspricht etwa 1 LKW 

Durchschnitt 12,5kg pro Buche/Jahr

80 Jahre pro Buche für 1 Tonne

*Seetangwälder der Größe Afrikas wären genug um den Bedarf der fossilen Brennstoffe durch Algentreibstoff zu ersetzen sowie 53 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entziehen.*

*Bei der heutigen Produktion von 40 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr würde dies sogar eine negativ Bilanz zugunsten der Umwelt ergeben.*



Abb. 54. Symbolbild Tangwald

1 ha Mikroalgen  
binden ca. 200 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr

Entsprechen 16,6 LKWs



Durchschnitt 20,07kg pro m<sup>2</sup>/Jahr  
(30g Algen pro m<sup>2</sup>)

1m<sup>2</sup> Mikroalgen 50 Jahre für 1 Tonne CO<sub>2</sub>

1 ha Riesentang  
bindet ca. 16 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr

Entspricht 1,3 LKWs



## 2.5

VORKOMMEN &  
GEWINNUNG VON  
ALGEN

**M**it zahlreichen Arten sind die Makroalgen auf der ganzen Welt verbreitet. Zwar bilden Mikroalgen die größte Gruppe doch, auch Makroalgen haben zahlreiche Artenvertreter. So gibt es ca. 7.000 Grün-, 4.000 Rot- und 1.500 Braunalgen Arten.<sup>32,33,34</sup>

Die für diese Arbeit relevanten Braunalgen sind vorwiegend in den kälteren Gewässern der Arktik und Antarktik heimisch. Nichtsdestotrotz sind sie auch, an der Pazifikküste Nord- und Südamerikas, China und Japan zu finden wie auch in Europa, hier vor allem an der Atlantikküste Frankreichs, Englands, Schottlands und sogar in der Nordsee.<sup>35</sup>

Die Ernte von Algen erfolgt heutzutage meist vollmechanisch bzw. automatisch. Vor allem in Nordamerika kommen hier sogenannte „Kelp Harvester“ Boote zum Einsatz. Diese können bis zu 300 Tonnen Algen pro Tag ernten. Dabei wird der Riesentang einige Meter unter der Wasseroberfläche abgeschnitten und per Förderband an Deck geladen. Aber auch das Ernten per Hand mit Sicheln ist ein Bild, dass man noch sehen kann. Ebenso wie das Auflesen der an die Strände angespülten Algen.

<sup>32</sup> Vgl. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/rotalgen/57573>

<sup>33</sup> Vgl. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/gruenalgen/29572>

<sup>34</sup> Vgl. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/braunalgen/10496>

<sup>35</sup> Vgl. Assis, Jorge/ Fragkopoulou, Eliza/ Frade, Duarte u.a. : A fine-tuned global distribution dataset of marine forests, in: *Scientific Data*, 7,(2020), o.S



Abb. 55. Kelp Harvester an der Kalifornischen Küste



Abb. 56. Händische Algenernte in Alaska

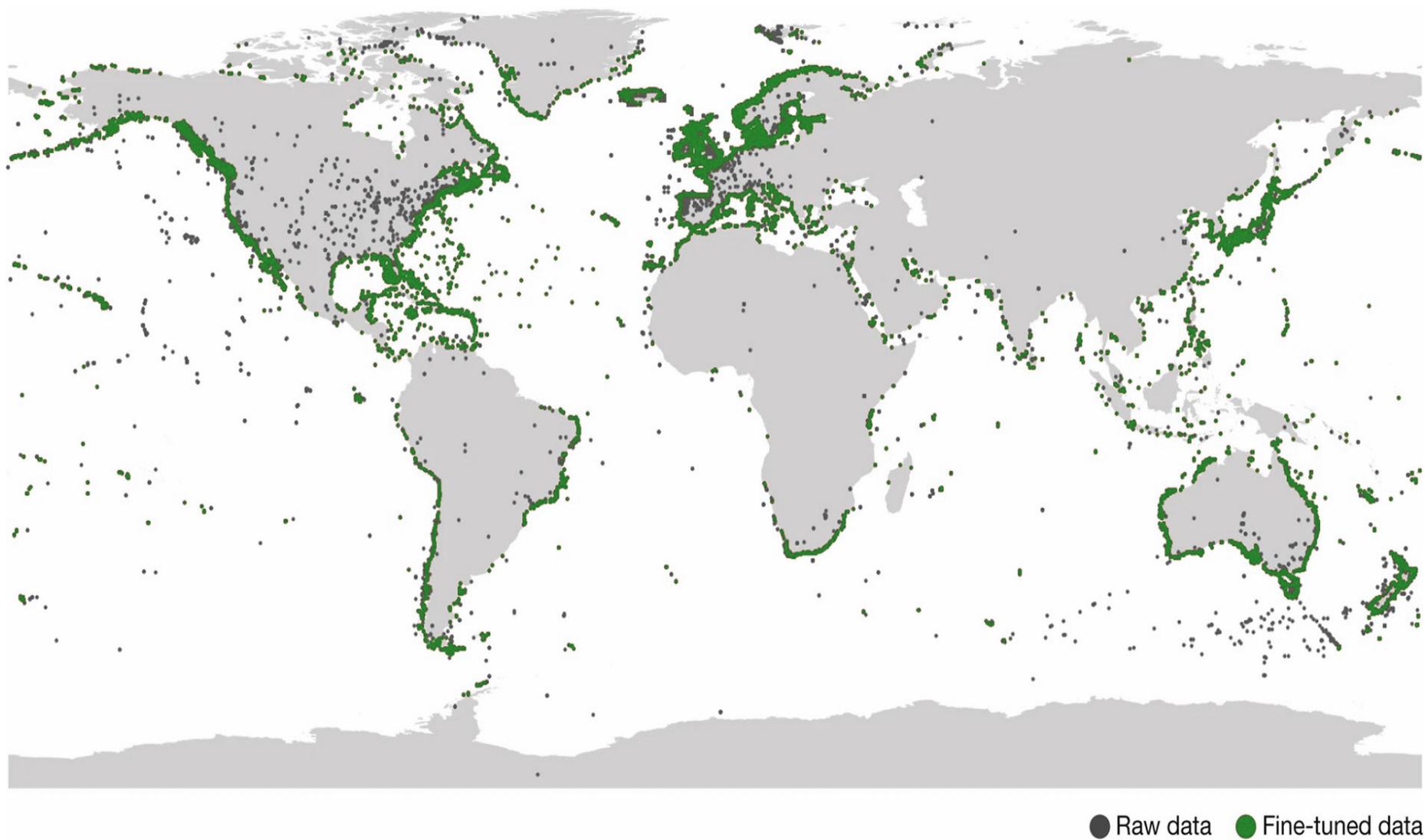


Abb. 57. Globaler Datensatz von marinen Wäldern aus Braunen Makroalgen

# 2.6

## ALGENARTEN IN DER ADRIA

**D**a im Rahmen dieser Arbeit auch eine Ausstellung in Pula stattfinden wird, hier die 18 am häufigsten vorkommenden Algenarten der Adria aufgelistet.<sup>36</sup>

### Grünalgen

- *Acetabularia acetabulum*
- *Caulerpa prolifera*
- *Codium bursa*
- *Codium effusum*
- *Codium fragile*
- *Flabellia petiolata*
- *Halimeda tuna*
- *Palmophyllum crassum*
- *Ulva* spp.
- *Valonia macrophysa*
- *Valonia utricularis*

### Braunalgen

- *Cystoseira* spp.
- *Fucus virsoides*
- *Padina pavonica*
- *Sargassum* spp.

### Rotalgen

- *Osmundaria volubilis*
- *Peyssonnelia* spp.
- mehrere Korallenalgen im Circalittoral



Abb. 58. *Acetabularia acetabulum*



Abb. 59. *Padina pavonica*



Abb. 60. *Peyssonnelia* spp.

<sup>36</sup> Vgl. Prvan, Mosor/ Jakl, Zrinka (Hg.): Priručnik za zaštitu mora i prepoznavanje živog svijeta jadrana, Split, 2016, 60-81

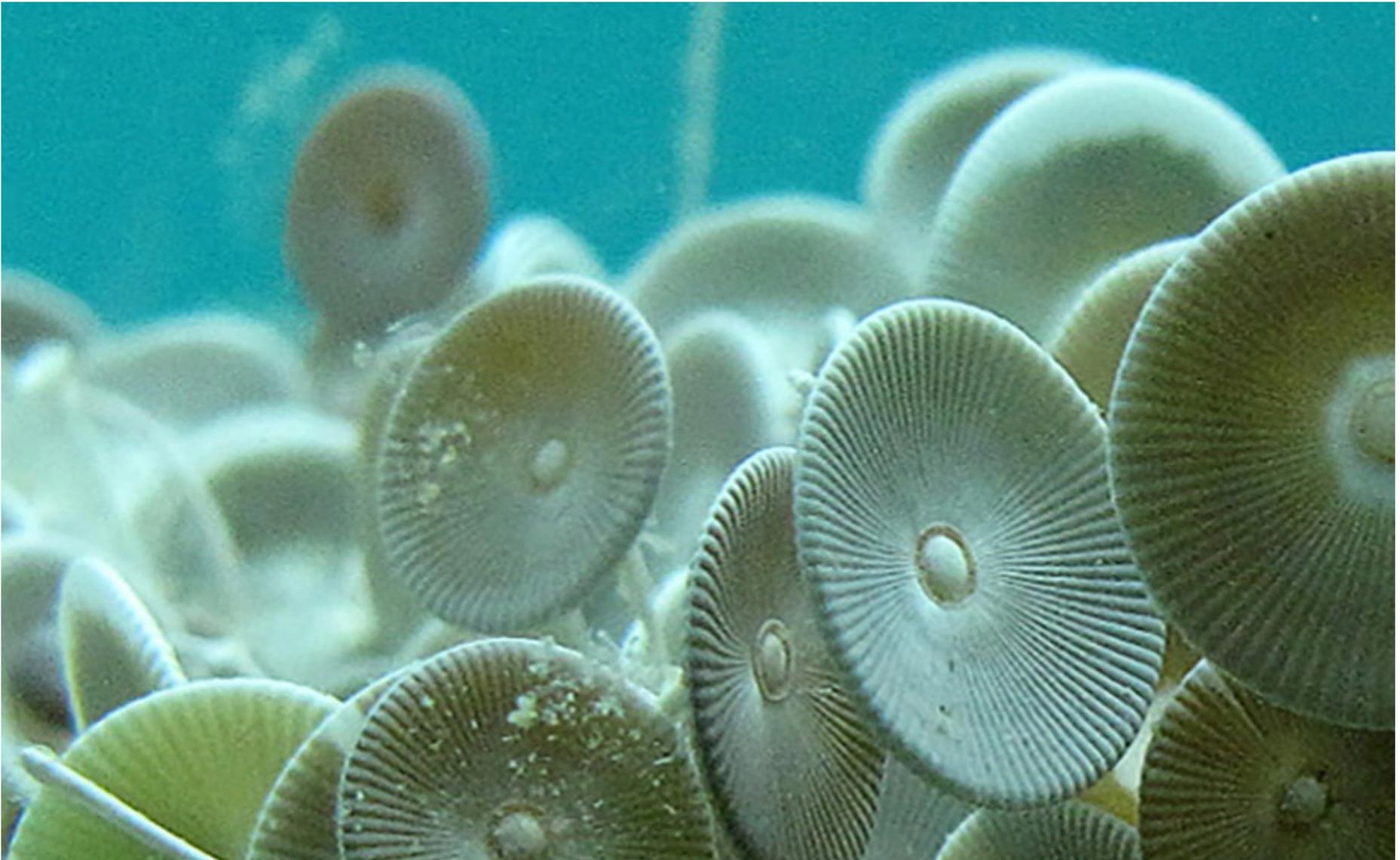


Abb. 61. *Acetabularia acetabulum*

## 2.7 ZUSAMMENSETZUNG DER BRAUNALGEN

Der Hauptbestandteil von Braunalgen im frischen und feuchten Zustand, besteht aus Wasser (75 - 90 %), wobei die Zusammensetzung von mehreren Faktoren abhängt, dazu zählen vorwiegend die Jahreszeit sowie die Tiefe der Algen im Wasser. Nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammensetzung von Braunalgen im trockenen Zustand.<sup>37</sup>

| TROCKENSUBSTANZ                      | GEHALT [%] |
|--------------------------------------|------------|
| Alginsäure                           | 20 - 35    |
| Mannit                               | 4 - 12     |
| Laminarin                            | 9 - 12     |
| Cellulose                            | 7 - 12     |
| andere Kohlenhydrate (z.B. Fucoidin) | 16 - 23    |
| Proteine                             | 5 - 15     |
| Fette                                | 1 - 2      |
| Salze                                | in Spuren  |
| Vitamine                             | in Spuren  |
| Toxine                               | in Spuren  |

Tab. 2. Zusammensetzung von Braunalgen

Für diese Arbeit ist die Alginsäure der relevante Bestandteil der Algen bzw. das daraus gewonnene Natriumalginat. Dies wird in den nachfolgenden Kapiteln genauer erläutert.

<sup>37</sup> Vgl. Winter, Manfred: Das Alginsulat - Verfahren. Herstellung eines Schaumstoffes aus Braunalgen. Teil A, Diss., TU Graz 1997, 76

## 2.7.1 ALGINSÄURE

**A**lginsäure (oder Algin, E 400) ist das strukturgebende Element der Algen. Es wird in den Zellwänden gebildet. Dort ist sie meist als Calcium-Salz (Calciumalginat) vorzufinden. Ihr verdankt die Alge ihre Flexibilität wie auch ihre Festigkeit.<sup>38</sup> Deshalb kann sie mit Cellulose verglichen werden, da beide aus langen Fäden bestehen und eine ähnliche Stützfunktion aufweisen.

Wie hoch das Vorkommen der Alginsäure in den verschiedenen Arten der Braunalgen sein kann, wird in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich.<sup>39</sup>

| ALGE                                | ALGINGEHALT [%] |
|-------------------------------------|-----------------|
| Macrocystis pyrifera, Blätter       | 16,2            |
| Macrocystis pyrifera, Stengel       | 18,2            |
| Nereocystis leutkeana, Blätter      | 14,4            |
| Nereocystis leutkeana, Stengel      | 13,6            |
| Pelagophycus porra, Blätter         | 16,1            |
| Pelagophycus porra, Stengel         | 15,9            |
| Egregia laevigata, ganze Pflanze    | 18,7            |
| Egregia menziesii, ganze Pflanze    | 19,1            |
| Laminaria andersonii, ganze Pflanze | 22,8            |
| Iridoea sp., ganze Pflanze          | 1,0             |
| Laminaria digitata, Stengel         | 33,3            |
| Laminaria digitata, Blätter         | 31,9            |
| Laminaria stenophylla, Stengel      | 39,2            |
| Laminaria stenophylla, Blätter      | 40,1            |

Tab. 3. Algingehalt in Braunalgen

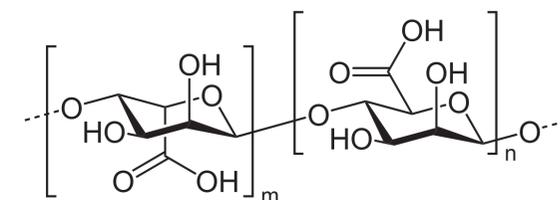


Abb. 62. Strukturformel Alginsäure

<sup>38</sup> Vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Algins%C3%A4ure.html>, 09.04.2021

<sup>39</sup> Vgl. Winter, Manfred: *Das Alginsulat - Verfahren. Herstellung eines Schaumstoffes aus Braunalgen. Teil A, Diss., TU Graz 1997, 77*

## 2.7.2 ALGINAT & SEINE HERSTELLUNG

Der Begriff *Alginat* ist vorwiegend die Bezeichnung für auf den Markt erhältliche Erzeugnisse bestehend aus der Alginsäure, während Algin der Oberbegriff ist.

Das Herstellungsverfahren von Alginat bzw. das für diese Arbeit notwendige Natriumalginat, kann als eine Reihe von Ionenaustauschprozessen angesehen werden. Der Prozess der heutigen Alginat Gewinnung basiert immer noch auf den Patenten großer amerikanischer Firmen aus der Zeit zwischen 1920 und 1940. Zwei der bekanntesten Verfahren sind der *Greens Cold Process* (1934) sowie der *Gloahec-Herter Process* (1938).

Zu Beginn der Prozesse müssen die Algen frisch geerntet, gewaschen und von grobem Schmutz oder Verunreinigungen befreit werden, oft werden sie zusätzlich auch schon getrocknet bevor sie an Alginathersteller weiterverschickt werden.

Auch die Alginathersteller unterziehen die Algen einem Reinigungsschritt mit Wasser und verdünnter Salzsäure oder einer Calciumchloridlösung, bevor sie zerkleinert werden und mit Soda (Natriumcarbonat) aufgeschlossen werden. Dieser Schritt bewirkt, dass das wasserunlösliche Calciumalginat in das wasserlösliche Natriumalginat überführt wird. Dieses Natriumalginat ist eine zähe

<sup>40</sup> Vgl. *Ebda.*, 81 f.

Masse, welche in einem nächsten Schritt verdünnt und gefiltert wird, um Pflanzenteile zu extrahieren.

Je nach Verfahren wird das Algiant einer Calcium- oder Säurefällung unterzogen. Bevor die Alginsäure vorliegt, muss diese weiteren Schritten der Waschung, Bleichung und Säurebehandlung unterzogen werden.

Nach mechanischer Entwässerung und der Zugabe von Natriumcarbonat erhalten wir endlich eine Natriumalginat Paste. Diese muss nur noch getrocknet, gemahlen und durchgeseibt werden.<sup>40</sup>

Ebenfalls ist es möglich statt der Zugabe von Natriumcarbonat, die Masse mit anderen Ionen auszustatten. Wie z. B. Calcium, Magnesium, Kalium etc.. Die Abbildung Links zeigt eine schematische Darstellung des Herstellungsprozesses.

Anwendungsbeispiele für Natriumalginat sind im folgendem Kapitel aufgelistet.

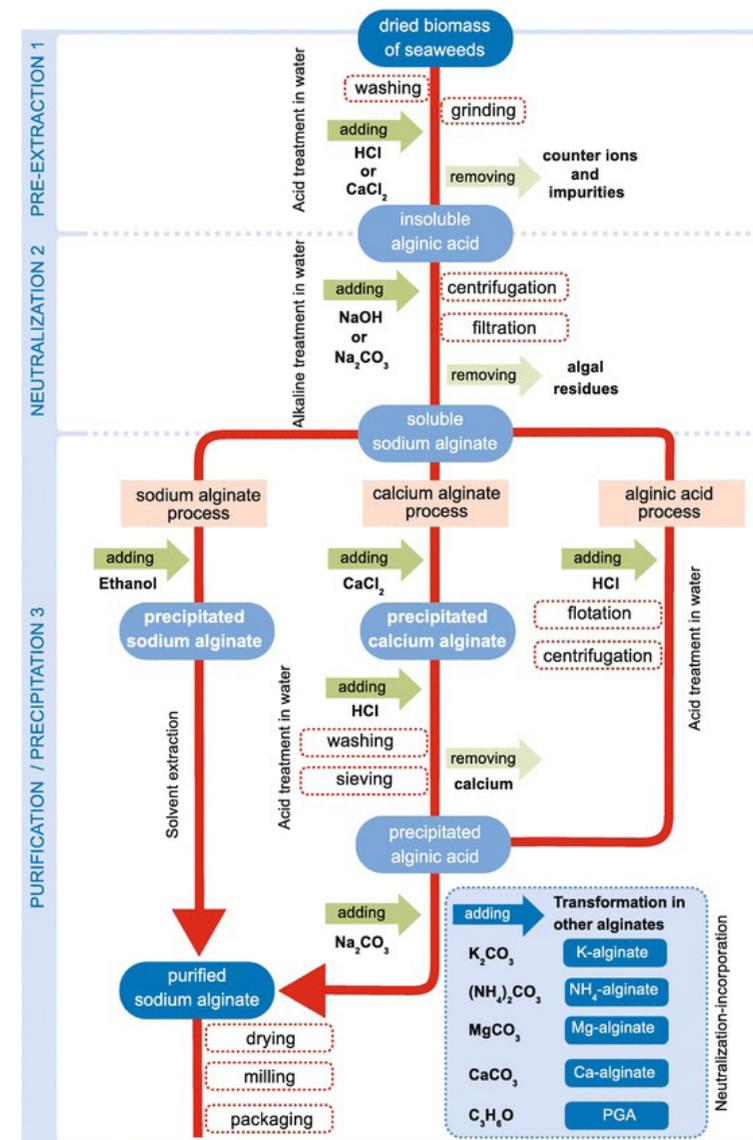


Abb. 63. Schematische Darstellung der Natriumalginatgewinnung

## 2.7.3 VERWENDUNG VON ALGINATEN

Den größten Absatzmarkt für Alginat bildet die Lebensmittelindustrie. Weitere Verwendung finden Alginat in der Pharma-, Kosmetik- und Textilindustrie, sowie auch für Körperabformungen. Dessen Verwendung basiert vor allem auf der Eigenschaft Gele und Emulsionen zu bilden oder zu stabilisieren.

Als Verdickungsmittel und Schutzkolloid ist es deshalb in folgenden Produkten enthalten:

- Leimen
- Speiseeis
- Marmeladen
- Fruchtgelees
- Kosmetika
- Seifen
- Rasierseifen
- Cremes
- essbaren Wursthüllen
- künstlichen Trüffeln
- chirurgischen Nähfäden
- Bäckereihilfsstoffen
- Mayonnaisen
- Tiefkühlprodukten
- Pudding
- Fertigsuppen etc...

Unter den E-Nummern E 400 - E 404 wird Alginat als Lebensmittelzusatzstoff gekennzeichnet.

- E 400 - Alginsäure
- E 401 - Natriumalginat
- E 402 - Kaliumalginat
- E 403 - Ammoniumalginat
- E 404 - Calciumalginat <sup>41</sup>

In der Pharmaindustrie helfen Alginat, Arzneistoffe verträglicher für den Magen-Darm-Trakt zu machen. Während in der Papier- und Textilindustrie Alginat zum Einsatz kommt, um die Haftung von Drucken auf dem Trägermaterial zu verbessern.

In der Zahnmedizin, wie auch für Körperabformungen, wird Alginat aufgrund seiner sehr guten Hautverträglichkeit verwendet

Nachfolgend eine Gesamtübersicht zur Alginatnutzung. Es wird auf Makro- als auch auf Mikroalgen eingegangen.

<sup>41</sup> Vgl. <https://www.zusatzstoffmuseum.de/lexikon-der-zusatzstoffe.html>, 09.04.2021

# 2.8

## ALGENNUTZUNG ALLGEMEIN

Nicht nur Alginat findet seine Verwendung in diversen Industrien und Branchen, allgemein sind Algen vielseitig einsetzbar. Dieses Kapitel soll einen kleinen Überblick der Algennutzung im Allgemeinen geben.

Als Nahrungsmittel sind Algen vor allem im asiatischen Bereich bekannt. Durch fehlende Anbauflächen auf dem Land bieten Algen die perfekte Alternative. Die größten Algenproduzenten in Asien sind China, Japan, die Philippinen und Südkorea. In Europa ist Frankreich bzw. die Bretagne der größte Produzent. In Nordamerika ist es Kalifornien.<sup>42</sup> Weltweit werden mehr als neun Millionen Tonnen Makroalgen geerntet und allein 400.000 Tonnen sind Rotalgen, die für das schon erwähnte Sushi verwendet werden.

Weitere Makroalgen werden direkt in Speisen dazugegeben, entweder als Geschmacksverstärker oder aber auch in Form von Süßigkeiten oder Knabberzeug. In Frankreich gilt *Ulva lactuca*, auch als Meersalat bezeichnet, als eine Delikatesse.<sup>43</sup>

Das japanische Design Studio **AMAM** hat es geschafft aus dem Geliermittel Agar-Agar eine Alternative zu herkömmlichen Verpackungsmaterial herzustellen. Mit ihrem Projekt *Agar Plasticity* haben sie sogar 2016 den Lexus

Design Award gewonnen. Ihr bestreben lag darin die Unmengen an Verpackungsmaterial so Umweltfreundlich wie möglich zu gestalten. Allein im Jahr 2012 wurden 288 Millionen Tonnen Plastik produziert, mehr als 36 % davon für Verpackungsmaterial.<sup>44</sup>



Abb. 64. Nori Blätter, Sushi



Abb. 65. Spirulina, Pulver und Tabletten



Abb. 66. Loses Verpackungsmaterial von AMAM

<sup>42</sup> Vgl. <https://www.geo.de/natur/oekologie/4203-rtkl-algen-was-sie-ueber-algen-wissen-sollten>, 09.04.2021

<sup>43</sup> Vgl. <https://www.planet-wissen.de/natur/pflanzen/algen/algen-in-der-kueche-100.html#Meersalat>, 09.04.2021

<sup>44</sup> Vgl. <https://materialdistrict.com/article/agar-plasticity-exciting-potential-seaweed-based-packaging/>, 09.04.2021

Die Kosmetikindustrie setzt intensiv auf Algen. Einer der Gründe ist, dass Algen in der Lage sind Giftstoffe abzubauen. Auf den Menschen hat das einen entschlackenden Effekt. Weiterhin helfen sie bei Hautunreinheiten. Die in den Algen enthaltenen Proteine, Mineralien und Spurenelemente versorgen die Hautzellen.

Es nicht wunderlich, dass auch Anti-Aging Produkte auf Algen setzten. Die Haut wird geschützt, Talgdrüsenfunktionen werden reguliert, die Erneuerung von Zellen angespornt. Algen tragen aktiv dazu bei die Haut besser mit Sauerstoff zu versorgen.<sup>45</sup>

In der Medizin wird ebenfalls seit einigen Jahren intensiv an Algen geforscht. Allen voran sieht die Krebsforschung hier großes Potenzial.<sup>46</sup>



Abb. 67. Spirulina in Tabletten & Pulver



Abb. 68. Kosmetikprodukte auf Algenbasis

<sup>45</sup> Vgl. <https://www.biomaris.com/algen>, 09.04.2021

<sup>46</sup> Vgl. Piker, Levent/ Zenthoefer, Marion u.a.: Algen gegen Krebs. Neue Wirkstoffe braucht die Onkologie, in: GIT Labor-Fachzeitschrift 9 ,(2010), 678-680

**A**lgenkraftstoff wird hauptsächlich aus Mikroalgen gewonnen und dient als Ersatz zum Erdöl. Dabei können folgende Arten unterschieden werden:

- *Biodiesel*
- *Bioethanol*
- *Biogas*
- *Biowasserstoff*

Um die Biomasse zu erzeugen werden Algen in Photobioreaktoren herangezüchtet. Ein architektonisches Beispiel hierfür ist das in Hamburg entstandene *BIQ Haus* mit einer Bioreaktorfassade (2011-2013). Innerhalb dieser Fassade wachsen Algen, um später in einer externen Biogasanlage vergoren zu werden. Die Biomasse dient somit zur Gewinnung von Biogas.<sup>47</sup>

Ein spannender Effekt entsteht, da sich die Fassade in ständiger Bewegung befindet. Je mehr Algen, umso dunkler bzw. grüner und opaker wird die Fassade. Nach der Ernte erstrahlt sie hell und transparent. Dieses Wechselspiel wird nach Außen wie auch nach Innen wiedergegeben.

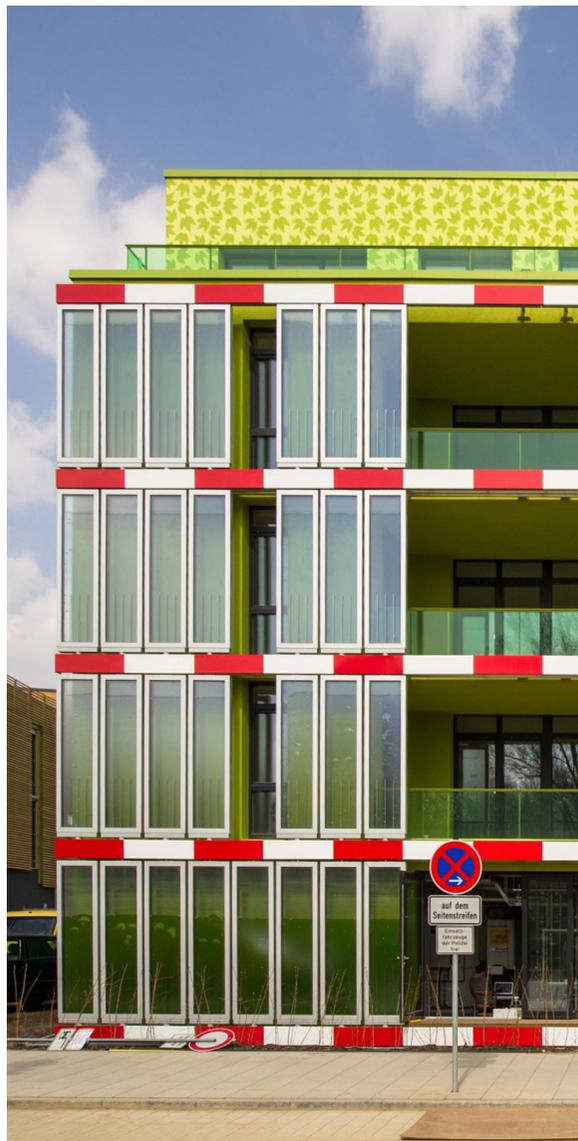


Abb. 69. BIQ Haus in Hamburg



Abb. 70. Detail Bioreaktorfassade

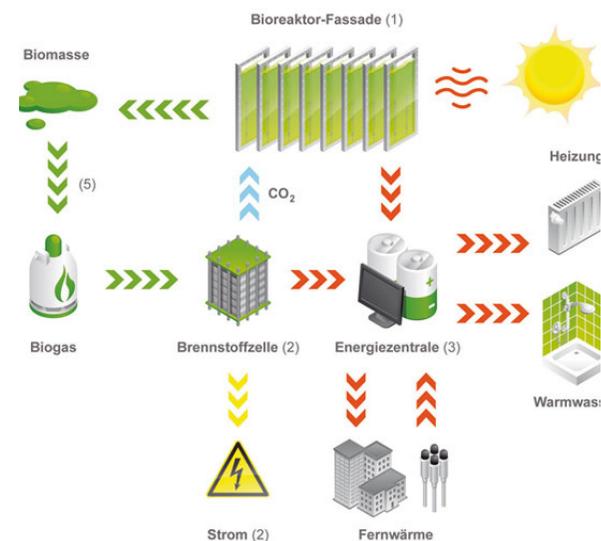


Abb. 71. Prinzip der Energiegewinnung

<sup>47</sup> Vgl. <https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/projekte/bauausstellung-in-der-bauausstellung/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html>, 10.04.2021

**F**ranzösische Forscher der Universität von Nantes, des französischen Zentrums für wissenschaftliche Forschung (CNRS) und des Unternehmens Algosource Technologies, haben Biobitumen entwickelt. Dafür benutzen sie Algenreste der Kosmetik- und Lebensmittelindustrie sowie Prinzipien der Erdölraffinerie. Nach der Zugabe von Splitt ist die Herstellung von Bioasphalt möglich.

Druck und Temperatur sind erforderlich, um aus einer Algen und Wasser Mischung, eine erdölähnliche Flüssigkeit herzustellen. Dieses Verfahren könnte drastisch dazu beitragen die Erdölreserven zu schonen. Dabei kann ein nachhaltiges Bauen ermöglicht werden.<sup>48</sup>



Abb. 72. Herstellung von Biobitumen

Eine wichtige Wende erlebt auch die Textilindustrie, eine der größten Umweltverschmutzer der Welt. Die Prozessstufen der Textilherstellung, die besonders starke Belastungen für die Umwelt hervorrufen, sind Anbau und Produktion der Rohfasern sowie die Textilveredlung.

Die SmartFiberAG aus Deutschland gewinnt für ihr Produkt *SeaCell*, Fasern aus Algen. Jedoch besteht das Produkt aus maximal 4% Algenfasern, während der Rest aus anderen Naturfasern gewonnen wird.<sup>49</sup> Es ist zumindestens ein Schritt in die richtige Richtung. Ein weiteres Unternehmen ist *PANGAIA*. Hier wird ebenfalls auf eine Algen und Baumwoll basierte Textilmischung gesetzt.<sup>50</sup>

Eine Holländische Künstlerin hat sich ebenfalls intensiv mit Algen auseinandergesetzt. *Nienke Hoogvliet* hat es geschafft nicht nur reines Textil aus Algen zu gewinnen, sondern sie verwertet auch deren Abfallstoffe weiter. Sie benutzt Algen, um ihre Stoffe zu färben. Weiterhin hat sie es geschafft Bioplastik zu entwickeln. Die Ergebnisse Ihrer Arbeiten präsentiert sie in Ihrem Buch *SEA ME RESEARCH*.<sup>51</sup>

<sup>48</sup> Vgl. <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/verfahrenstechnik/algen-entpuppen-hervorragender-strassenasphalt/>, 08.12.2021

<sup>49</sup> Vgl. <https://www.smartfiber.de/fasern/seacelltm/>, 08.12.2020

<sup>50</sup> Vgl. <https://thepangaia.com/blogs/technologies/seaweed-fiber>, 08.12.2020

<sup>51</sup> Vgl. <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/seaweed-research/>, 08.12.2020



Abb. 73. SEA ME RESEARCH



Abb. 75. Stuhlgewebe aus Algen



Abb. 76. Garn aus Algen

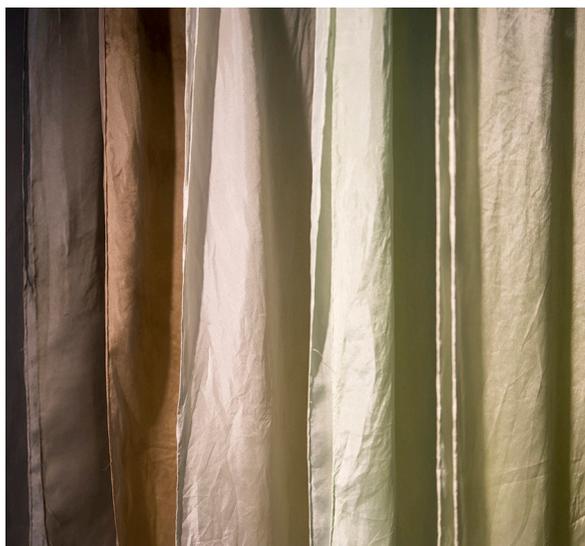


Abb. 74. Textilfärbung mit Algen



Abb. 77. Bioplastikschüsseln und Lack aus Algen

# 2.9

## PROBLEMSTELLUNG

**D**er am 16.12.2020 vorgelegte Bericht des UN-Umweltprogramms bzgl. des Bau- und Gebäudesektors *2020 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector* zeigt alarmierende Zahlen. 35 % des weltweiten Energiebedarfs sowie 38 % der Emissionen sind dem Bau- und Gebäudesektor geschuldet. *Abb. 78*

Die großen Industrien verschmutzen unseren Planeten und es ist höchste Zeit neue Lösungsansätze voranzutreiben. Einen dieser Ansätze möchte ich mit meiner Masterarbeit in einem experimentellen Versuch präsentieren.

Wie aus den angeführten Beispielen ersichtlich wird, sind Algen Multifunktionstalente in allen möglichen Bereichen. Dabei sind sie ein natürlich nachwachsender Rohstoff. Im Gegensatz zu anderen Materialien haben sie fast keinen negativen Einfluss auf unsere Umwelt, sondern könnten vielmehr eine Lösung für viele Probleme unserer Zeit sein.

Der Anbau von Algen kann ganz ohne Landfläche auskommen. Hinzugabe von Dünger oder Süßwasser ist nicht notwendig. Vielmehr filtern Algen Toxine aus dem Wasser und mit einer Wachstumsrate von bis zu 30 cm pro

Tag, handelt es sich hierbei um einen schnell und einfach zu handhabenden Rohstoff. Dieser bringt ein enormes Potenzial für die Architektur-, Baubranche mit.

Die folgenden Experimente sollen aufzeigen, dass ein Einsatz in dieser Branche durchaus sinnvoll ist.

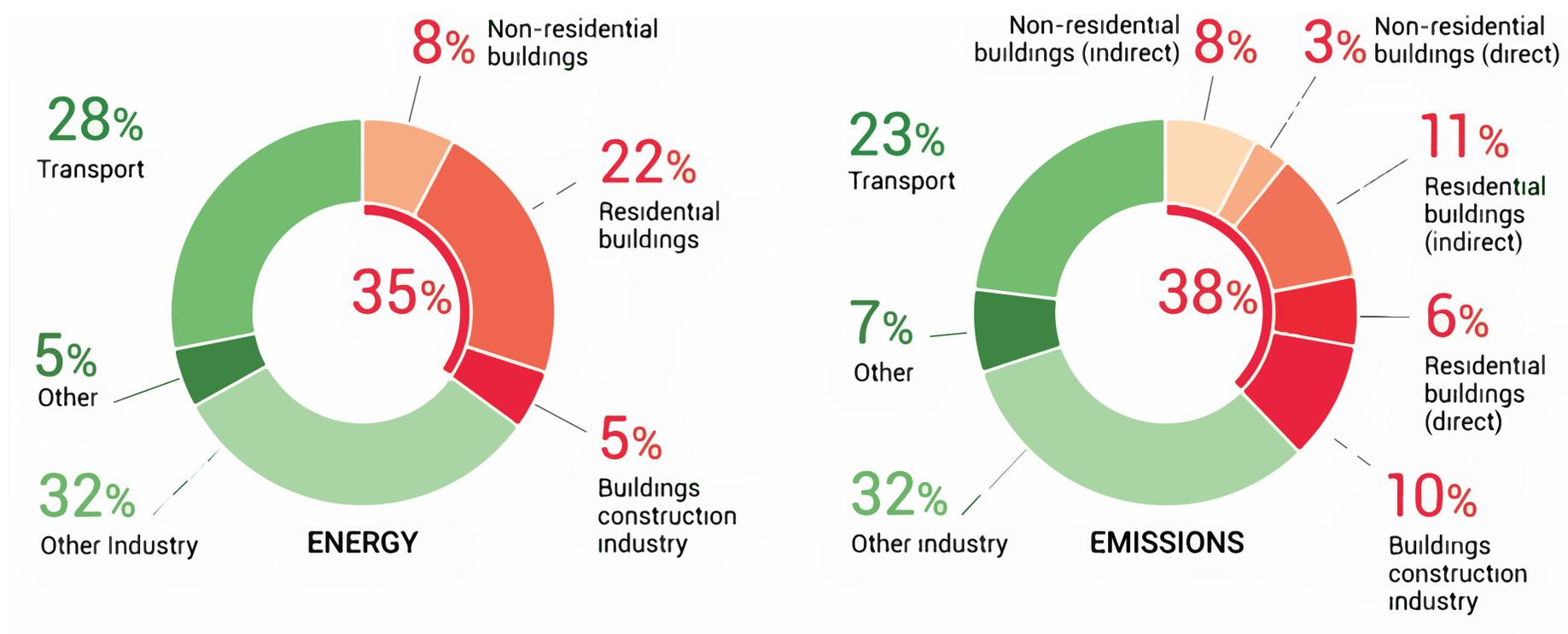


Abb. 78. Globaler Anteil an Gebäude- und Bauendenergie und Emissionen, 2019 aus dem UN-Bericht: 2020 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector







**EXPERIMENTE**







Abb. 79. Algen im Labor

# 3.1

## CHEMISCHE ASPEKTE

**A**ufgrund seiner schnellen Fähigkeit von einer (zäh-)flüssigen Masse in eine feste Form überzugehen bzw. ein Gel zu bilden eignet sich (Natrium-)Alginate hervorragend für nachfolgende Experimente.

Vereinfacht kann das Natriumalginate als mehrere einzelne, zickzackförmige, negativ geladene Fäden bzw. Ketten angesehen werden. Um diese einzelnen Fäden miteinander zu Verbinden sind positive Ionen notwendig.

Ein beliebtes „Bindemittel“ ist Calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ). Da Calcium-Ionen zweiwertig sind, sprich sie eine doppelte positive Ladung besitzen ( $\text{Ca}^{2+}$ ), können sie sich an zwei Alginatketten gleichzeitig binden. Die Alginatketten werden so miteinander verbunden dass ein stabiles System entsteht. Aus dem Anfänglichen Natriumalginate entsteht Calciumalginate.

Verbildlichen kann man das mit einer Eierschachtel. Dabei wirken die Calcium-Ionen wie Eier die in einer Schachtel zwischen den zickzackförmigen Ketten Platz nehmen. Wassermoleküle werden In diesem Netzwerk eingelagert was eine Gelbildung zur Folge hat. Dieser Prozess kann aber auch wieder zurückgeführt werden. Das stabile Netzwerk kann in seine einzelnen Ketten wieder zerlegt

werden.<sup>52</sup> Durch die Beigabe von Ethylendiamintetraessigsäure bzw. Ethylendiamintetraacetat (kurz: EDTA) werden dem Verbund die  $\text{Ca}^{2+}$  Ionen entzogen. Die Alginatketten sind nicht mehr miteinander verbunden und liegen wieder als einzelne lose Fäden vor.

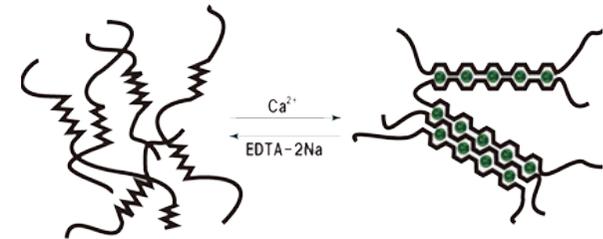


Abb. 80. Alginatketten in Verbindung mit  $\text{Ca}^{2+}$

<sup>52</sup> Vgl. <https://kimica-algin.com/products/NaAlgin/>, 08.12.2020

### 3.1.1 ZUSATZSTOFFE

**E**igentlich reichen Alginat und Wasser aus um eine Suspension zu erhalten. Doch um seine Eigenschaften zu optimieren, können weitere Zusatzstoffe eingesetzt werden.

In den nachfolgenden Experimenten wird hauptsächlich mit Glycerin, Öl, Chitosan und Decyl Glycosid gearbeitet. Diese Zusatzstoffe dienen um Elastizität, Rigidität und Schaumbildung zu verbessern.

#### GLYCERIN

Aus dem griechischen (glykys = süß und lat. cera = Wachs) ist der umgangssprachliche Name für Propantriol bzw. Propan-1,2,3-triol und ist ein dreiwertiger Alkohol. Es handelt sich um eine viskose und hygroskopische Flüssigkeit ohne Farbe oder Geruch aber mit süßlichem Geschmack. Glycerin kann petrochemisch hergestellt werden wie auch rein pflanzlichen Ursprungs sein.

Glycerin findet, dank seiner wasserbindenden Eigenschaften, Verwendung in der Kosmetikindustrie als Feuchtigkeitsspender, in Cremes, Zahnpasta etc.. Wie auch als Frostschutzmittel, Schmierstoff und Weichmacher.<sup>53</sup>

<sup>53</sup> Vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Glycerin.html>, 09.12.2020

**CHITOSAN**

Chitosan (v. griech. chitón „Unterleid, Hülle, Panzer“) ist ein Biopolymer bzw. ein Polylaminosaccharid, es dient ähnlich wie die Zellulose der Strukturbildung. Es ist nach ihr das verbreitetste Polysaccharid auf unserem Planeten. Es spielt im Tierreich eine große Rolle. Gemeinsam mit Proteinen und Calciumcarbonat ist es für das Exoskelett vieler Insekten und Krustentiere verantwortlich. Es wird vor allem in der Medizin eingesetzt da es antibakterielle, antivirale und antiallergene Eigenschaften hat.<sup>54</sup>

**TENSIDE**

Auch unter den Ausdrücken Detergentien, Amphiphile oder Surfactants bekannt, sind Substanzen die die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten heruntersetzen damit diese eine Dispersion bilden können. So können z.B. Öl und Wasser, durch die Zugabe von Tensiden, miteinander vermennt werden ohne dass sie sich wieder trennen. In Waschmitteln, Spülmitteln etc finden sich Tenside als waschaktive Substanz wieder.<sup>55</sup>

| ZUSATZSTOFF                      | EIGENSCHAFT                                |
|----------------------------------|--|
| Biozide                          | Schutz vor frühzeitigem biologischen Abbau |
| Farbstoffe, Pigmente             | veränderte Oberflächenbeschaffenheit       |
| flammhemende Stoffe              | Brandschutz                                |
| Füllstoffe (z.B. Sägespäne etc.) | verbesserter Strukturaufbau                |
| Harze                            | Verbundsubstanz, Beschichtungsmaterial     |
| Latex                            | Elastizität, Beschichtungsmaterial         |
| Tenside                          | Schaumbildung                              |
| Stärke                           | Füllmaterial, Verbundsubstanz              |
| Viskositäts-Regler               | verbesserte Schaumbildung                  |
| wasserabstoßende Substanzen      | Oberflächenschutz                          |
| Zellstoff, Zellulose             | Strukturgeber, besseres Dämpfungsverhalten |

Tab. 4. Zusatzstoffe für Basis Alginate Suspension

<sup>54</sup> Vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Chitosan.html>, 09.12.2020

<sup>55</sup> Vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Tenside.html>, 09.12.2020

## 3.2 GRUNDLAGEN DER EXPERIMENTE

Die folgenden Kapitel zeigen die Experimente die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden. Weiterhin sollen sie einen Einblick geben wie das Material in die Architektur übertragen werden kann.

Mehrere Alginatsuspensionen wurden mit unterschiedlichen Zusatzstoffen und Mischverhältnissen angesetzt. Da die Alginatsuspensionen an sich farblos sind, wurde zu Zwecken der besseren Unterscheidung sowie Darstellung, Lebensmittel- bzw. Acrylfarbe beige-mischt. Diese haben jedoch keinen Einfluss auf die Eigenschaften der Suspensionen.

Bei allen Suspensionen wurde streng darauf geachtet dass nur natürliche und nachhaltige Produkte eingesetzt werden. So handelt es sich beim Glycerin um ein rein pflanzliches Produkt (Hersteller: Isolatech). Auch das Tensid Decyl Glycosid ist ein rein pflanzliches. Es gehört zu den Zuckertensiden und ist eins der mildesten und Hautverträglichsten Tensiden auf der Basis von Glukose (Maisstärke) und pflanzlichen Fettalkoholen (Hersteller: Manufaktur Rührwerkstatt).

Das Natriumalginat sowie das Calciumchlorid, sind beide zum Verzehr geeignet (Hersteller: Würzteufel). Ursprünglich sind sie für

den Einsatz in Küchen gedacht, wie auch das handelsübliche Maisöl.

Chitosan (Hersteller: Msystic Moments), ebenfalls ein reines Naturprodukt, besteht nur aus zermahlenden Krabbenschalen.

Kein destilliertes- sondern Wasser aus dem Wasserhahn wurde verwendet. Beim Meerwasser handelt es sich um Wasser aus der Region um Pula.

Die Calciumchlorid Lösung wird immer zu Beginn jedes Versuches angesetzt. Je nach Experiment wird die Alginatsuspension in das  $\text{CaCl}_2$  Bad getaucht oder mithilfe einer Sprühflasche besprüht.

Ein weiterer wichtiger Faktor der bis jetzt noch nicht erwähnt wurde, ist die Zeit. Denn auch diese kann einen entscheidenden Faktor auf den Ausgang des Produktes haben. Kommt die Suspension gleich in Kontakt mit den positiven Calcium-Ionen oder erst nach einer gewissen Ruhezeit.

Das Ansetzen einer Alginatsuspension ist auf der folgenden Seite genauer beschrieben. Für das  $\text{CaCl}_2$  hat sich eine 10% Lösung am effektivsten erwiesen. Hier findet ein optima-

ler Ionenaustausch bei geringem Materialeinsatz statt.

Die ausgehärteten Alginate sind alle UV-beständig, wie Tests gezeigt haben. Dabei wurden einige Erzeugnisse über Monate der Sonneneinstrahlung ausgesetzt.

Da die Alginatsuspension aus natürlichen und biologischen Rohstoffen besteht, darf nicht vergessen werden dass es sich hier um einen biologisch abbaubaren Stoff handelt. Daher sollten Suspensionen rasch bearbeitet werden. Nach einigen Tagen kann eine Schimmelbildung einsetzen. Nach dem Ionenaustausch ist das Calciumalginat nur in direktem Kontakt mit Mikroorganismen biologisch abbaubar.



Wasser



Na-Alginat



Glycerin



Öl



Chitosan



Milchsäure



Decyl-  
Glycosid



Farbe

### HILFSMITTEL

- Waage
- Messbecher
- Handmixer
- Standmixer
- Schüsseln

### ZUBEREITUNG

- Einen Standmixer mit Wasser befüllen
- Bei geringster Stufe Farbe, sowie die Flüssigen Komponenten Glycerin/Öl hinzugeben
- Unter ständigem rühren Alginatpulver in kleinen Mengen dazugeben
- So lange rühren bis eine homogene Masse entsteht.

### NOTIZEN

- Alginatpulver klumpt sofort bei Wasserkontakt
- Das rühren per Hand oder mit einem Handmixer reicht nicht aus um eine homogene Masse zu erzeugen
- Wird Chitosan hinzugefügt muss vorher die Suspension mithilfe von Milchsäure auf einen sauren PH-Wert gesenkt werden
- Um eine Überschäumung zu vermeiden das Tensid erst zum Schluss beimengen

### ALGINATSUSPENSIONEN (AS)

#### AS-01 (weiß)

Wasser 83%  
Glycerin 12%  
Alginat 5%

#### AS-02 (grün)

Wasser 77%  
Glycerin 19%  
Alginat 4%

#### AS-03 (gelb)

Wasser 83%  
Glycerin 8%  
Öl 4%  
Alginat 5%

#### AS-04 (rot)

Wasser 93%  
Glycerin 5%  
Alginat 2%  
Chitosan <1%

#### AS-05 (blau)

Wasser 93%  
Glycerin 5%  
Alginat 2%

#### AS-06 (lila)

Meerwasser 77%  
Glycerin 19%  
Alginat 4%

#### AS-07

Wasser 89%  
Glycerin 4,5%  
Alginat 2%  
Decyl-Gl. 4,5%

#### AS-08

Wasser 76%  
Glycerin 19%  
Alginat 4%  
Decyl-Gl. 1%

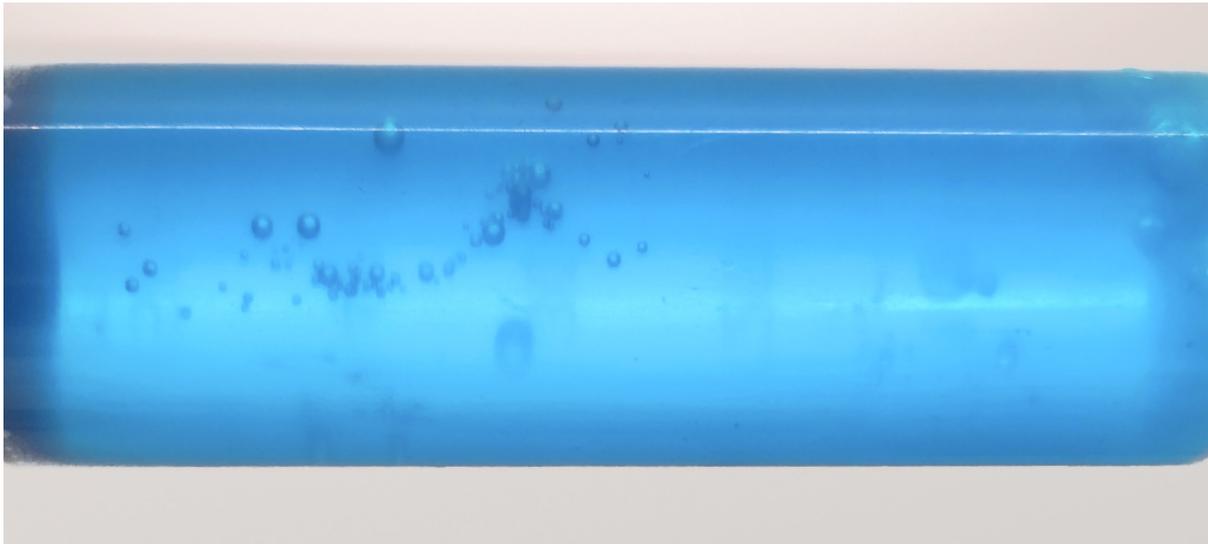


Abb. 81. AS-05



Abb. 84. AS-02



Abb. 85. Klumpen in AS-01



Abb. 82. PH Teststreifen - Reduzierung von 7,0 aus 5,6



Abb. 83. AS-04



Abb. 86. AS-06



Abb. 87. geflochtene Algengarne

## 3.3 LINEARE ELEMENTE

Die erste Experimentenreihe befasst sich mit Linearen Elementen. Diese werden hauptsächlich aus einer Spritze in das  $\text{CaCl}_2$ -Bad extrudiert. In der Textilindustrie gibt es das sogenannte *Wet Spinning* Verfahren bzw. *Nassspinnverfahren* welches auf dem gleichen Prinzip basiert

Dieses Verfahren wird für Polymere verwendet, die zum Spinnen in einem Lösungsmittel aufgelöst werden müssen. Die Spinn Düse wird in ein chemisches Bad getaucht, das bewirkt, dass die Faser beim Austreten ausfällt und dann erstarrt. Daher auch der Name des Nassspinnen. Acryl, Rayon, Aramid, Modacryl und Spandex werden mit diesem Verfahren hergestellt.<sup>56</sup>

Folgend werden alle Suspensionen miteinander verglichen. Grundlegende Erkenntnisse gewonnen und erste Modelle erstellt.

<sup>56</sup> Vgl. <https://web.archive.org/web/19980526024459/http://www.fibersource.com/f-tutor/techpag.htm>, 12.04.2021

## 3.3.1 EINFACHES GARN

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-01
- 12ml Spritze
- CaCl<sub>2</sub>-Bad

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Eine Spritze wird mit AS-01 befüllt
- Die Suspension wird in das CaCl<sub>2</sub>-Bad extrudiert

### BEOBACHTUNGEN

- Die Alginatmischung verfestigt sich bei sofortigen Kontakt mit der CaCl<sub>2</sub> Lösung, ein gelartiges Garn entsteht.

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Länge des Garns hängt vom Volumen der Spritze ab, theoretisch wäre eine endlos-langes Garn möglich
- CaCl<sub>2</sub>-Bad muss nach einer gewissen Zeit erneuert werden da keine freien Ca<sup>2+</sup> Ionen zum Binden vorhanden sind

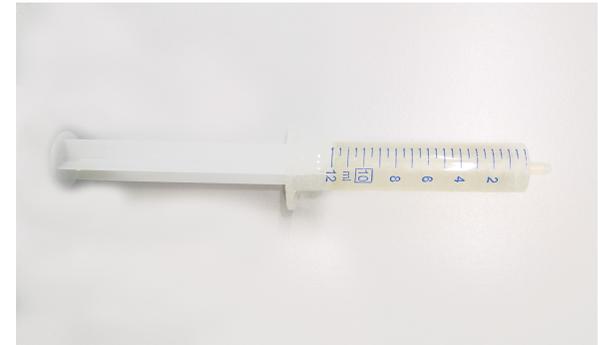


Abb. 88. Spritze gefüllt mit Suspension



Abb. 89. Extrudiertes Garn in CaCl<sub>2</sub>-Bad



Abb. 90. Gelartiges Garn

## 3.3.2 VERSCHIEDENE DURCHMESSER

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-01
- Spritzbeutel
- CaCl<sub>2</sub>-Bad

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Eine Spritzbeutel wird mit AS-01 befüllt
- Die Suspension wird in das CaCl<sub>2</sub>-Bad extrudiert

### BEOBACHTUNGEN

- Die Oberfläche verfestigt sich sofort während es im Inneren noch flüssig ist

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Zuerst findet ein Ionenaustausch an der Oberfläche statt, da diese zuerst Kontakt mit der CaCl<sub>2</sub>-Lösung hat
- Falls das Garn diffusionsoffen ist müsste es durch längeres liegen in der Lösung zu einem vollständigen Ionenaustausch kommen
- Die Form kann beim extrudieren beeinflusst werden

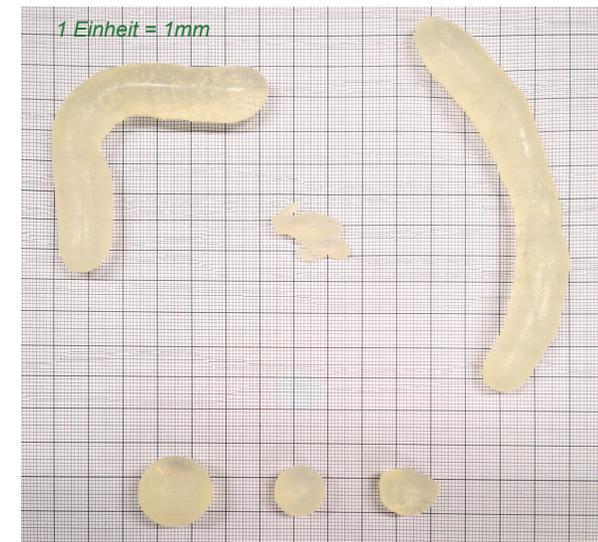


Abb. 91. Extrudiertes Alginat - breitere Öffnung

### 3.3.3 LÄNGER IN $\text{CaCl}_2$ -BAD

#### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-01
- Spritzbeutel
- $\text{CaCl}_2$ -Bad

#### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Eine Spritzbeutel wird mit AS-01 befüllt
- Die Suspension wird in das  $\text{CaCl}_2$ -Bad extrudiert
- In 10 Minuten Schritten wird das Alginat aus der Lösung entnommen und durchgeschnitten

#### BEOBACHTUNGEN

- Je länger sich die Suspension in der Lösung befindet umso fester wird das Alginat im Inneren

#### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Je länger das Alginatgemisch der  $\text{CaCl}_2$ -Lösung ausgesetzt ist, umso tiefer können die positiven Calcium-Ionen eindringen
- Eine Osmose findet statt.

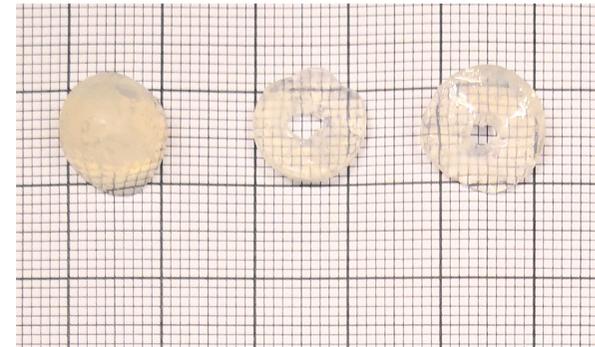


Abb. 92. Durchgeschnittenes Alginat

## 3.3.4 24H AN DER LUFT & WASSER

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- Extrudiertes Garn aus *Kapitel 3.3.2*
- Milimeterpapier
- Gefäß mit Wasser

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Das extrudierte Alginat wird über Nacht an der Luft gelassen
- Die Größenveränderung wird gemessen
- Für mehrere Stunden wird das Alginat in Wasser eingetaucht und wieder an der Luft getrocknet

### BEOBACHTUNGEN

- Im Inneren ist das Alginat, nach 24h an der Luft, vollkommen fest
- Es ist ein deutliches Schrumpfen zu beobachten
- Alginatkugel schrumpft von  $\text{Ø } 22\text{mm}$  auf  $\text{Ø } 16\text{mm}$
- Nach dem Eintunken in das Wasser quillt das Alginat an, auf  $\text{Ø } 20\text{mm}$ , und trocknet später an der Luft wieder aus auf  $\text{Ø } 16\text{mm}$

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Ein Teil des Wasser verdunstet, sowie müssen noch überschüssige  $\text{Ca}^{2+}$  Ionen das Innere des Alginates verfestigt haben
- Gleicher Effekt wenn länger in  $\text{CaCl}_2$ -Bad
- Die Wassermoleküle dringen zwischen die Alginatketten was zu einem aufquillen führt.

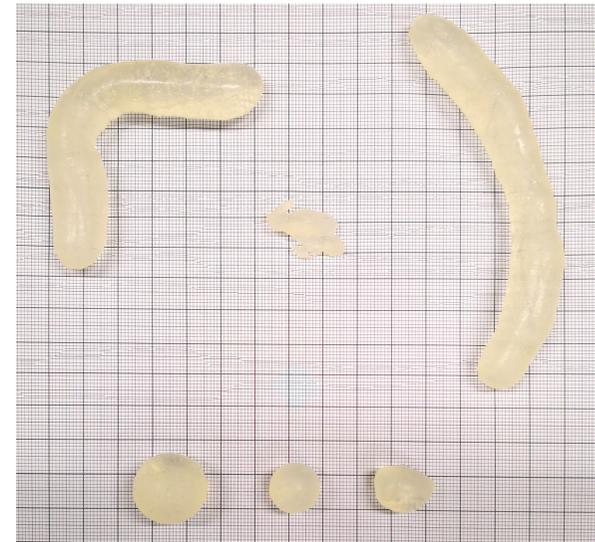


Abb. 93. Frisch extrudiertes Alginat

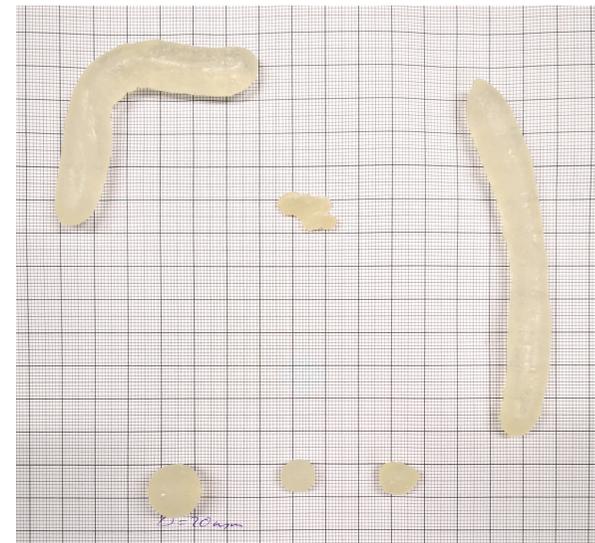


Abb. 94. Alginat nach 24h an der Luft

### 3.3.5 SUSPENSIONEN IM VERGLEICH

#### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02 - AS-05
- Spritze 12ml
- CaCl<sub>2</sub>-Bad

#### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Es wird jeweils von jeder Suspension ein Garn extrudiert um die unterschiedlichen Eigenschaften aufzuzeigen

#### BEOBACHTUNGEN

- siehe Abschnitt zu jedem Garn

#### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- siehe Abschnitt zu jedem Garn

**SUSPENSION**

- AS-02

**BEOBACHTUNGEN**

- Hoch viskose Suspension vergleichbar mit der Konsistenz von Honig
- Während dem trocknen schrumpft das Garn weniger als AS-04/AS-05
- Das Garn weist eine deutlich höhere Elastizität auf
- Ein Teil des Garns wurde über Nacht in Folie gewickelt, welches am nächsten Morgen immer noch sehr „frisch“ und nicht ausgetrocknet war

**AUSWERTUNG / NOTIZEN**

- Der hohe Anteil an Alginat im Mischverhältniss führt zu einer stark dickflüssigen und gelartigen Masse
- Das Glycerin, welches knapp 20% der Suspension ausmacht, führt zu einem dass weniger Wasser verdunstet und auch langsamer, zum anderen erhöht es die Elastizität des Garn
- In feuchter Umgebung bleibt das Garn länger frisch, da der Wasserentzug nicht völlig geschehen kann



### SUSPENSION

- AS-03

### BEOBACHTUNGEN

- Ähnliche Eigenschaften wie AS-02
- Wirkt im feuchten Zustand sehr gummihaft
- Frisch extrudiert lässt es sich sehr gut dehnen
- Nachdem über längere Zeit an der Luft fängt es an sehr spröde und rau zu werden

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Wasser- und Alginatanteil gleich wie bei AS-02 nur wurde ein Teil des Glycerins durch handelsübliches Maisöl ersetzt, daher die anfängliche Elastizität
- Öl entzieht Wasser, was dazu beiträgt dass das Garn nach dem Trocknen spröde und rau wird.

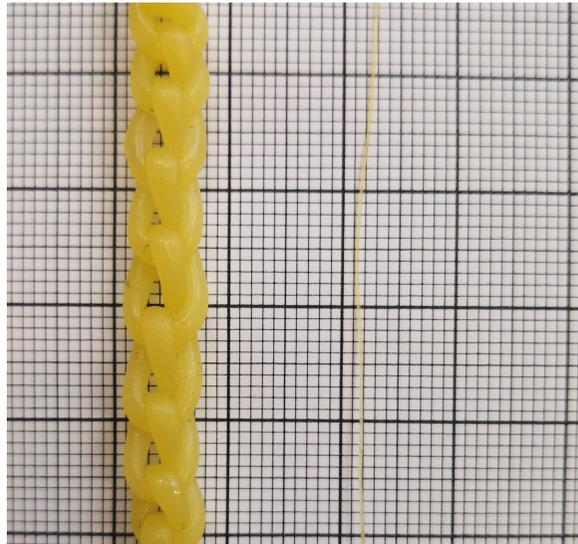


Abb. 95. Links: Garn geflochten | Rechts: dünner Faden



Abb. 96. geflochtenes Garn nach dem trocknen

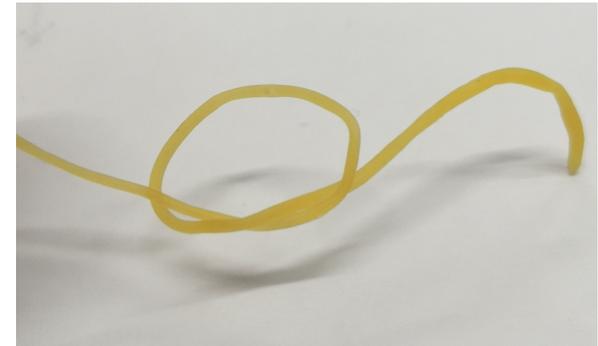


Abb. 97. Knoten Test

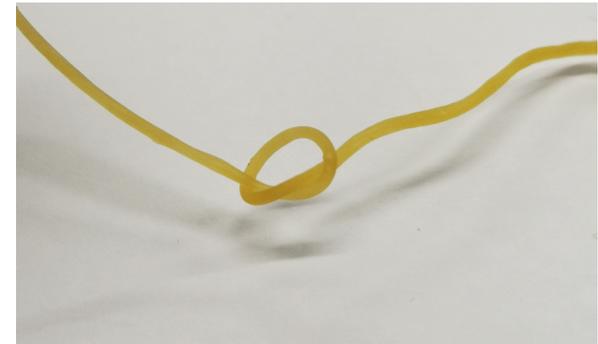


Abb. 98. Knoten Test

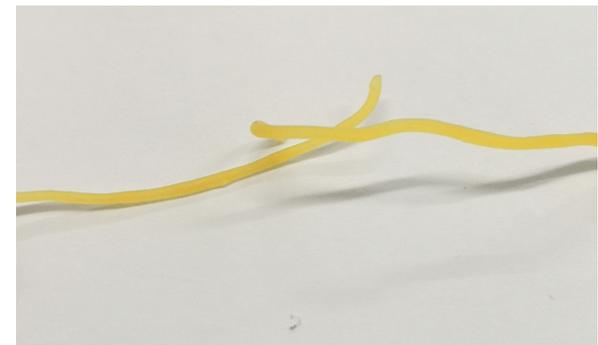


Abb. 99. Knoten Test

**SUSPENSION**

- AS-04

**BEOBACHTUNGEN**

- Suspension ist trotz hohem Wasseranteil von 93% sehr dickflüssig
- Beim trocknen verliert das Garn viel an Wasser
- Nach dem trocknen ist das Garn wie ausgehärtet
- Ausgehärtet behält es sogar seine vorher bestimmte Form

**AUSWERTUNG / NOTIZEN**

- Das Chitosan, auch wenn nur sehr gering vorhanden erhöht die Rigidität enorm
- Es eignet sich viel besser als das Öl um die Steifigkeit zu verbessern, da deutlich geringerer Rohstoffeinsatz



Abb. 100. ausgehärtetes Alginat Garn

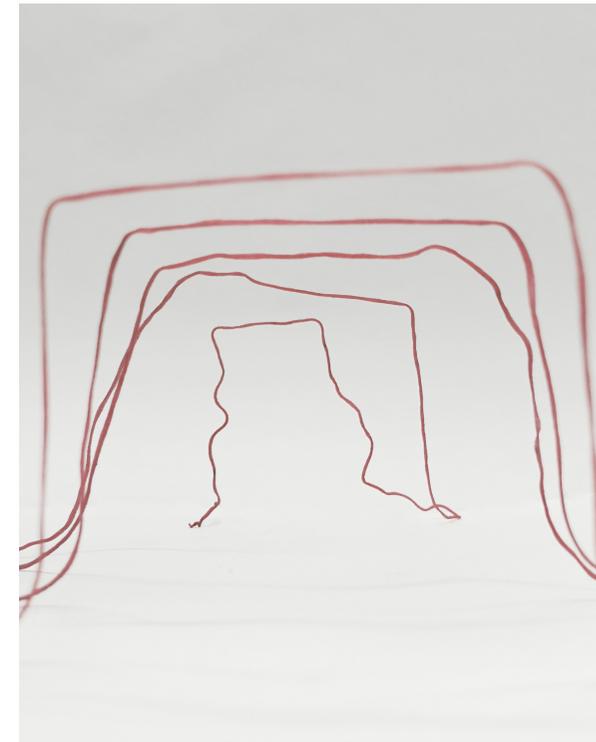


Abb. 101. ausgehärtetes Alginat Garn



Abb. 102. ausgehärtetes Alginat Garn

**SUSPENSION**

- AS-05

**BEOBACHTUNGEN**

- Sehr dünnflüssige Suspension
- Lässt sich mühelos mit der Spritze aufziehen
- Schrumpfprozess im Vergleich zu anderen Suspensionen am größten
- Oberfläche sehr dünn im Vergleich zu anderen Garnen

**AUSWERTUNG / NOTIZEN**

- Hier wird der Unterschied deutlich wie schon kleine Mengen an Zusatzstoffen Einfluss auf das Endprodukt haben kann, da sich AS-04 und AS-05 nur um das Chitosan unterscheiden.
- Der geringe Anteil an Alginat führt dazu dass sich die Wassermoleküle viel freier bewegen können und so beim Kontakt mit  $\text{CaCl}_2$  nur eine sehr dünne Oberflächenmembran entsteht

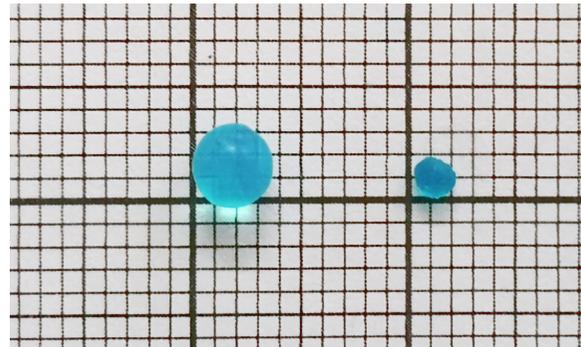


Abb. 103. frische & ausgetrocknete Alginatkugel

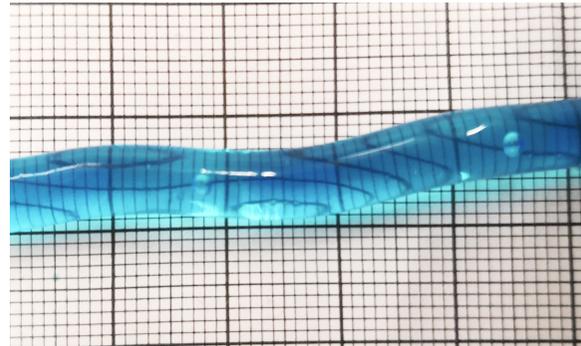


Abb. 104. frisch extrudiertes Garn

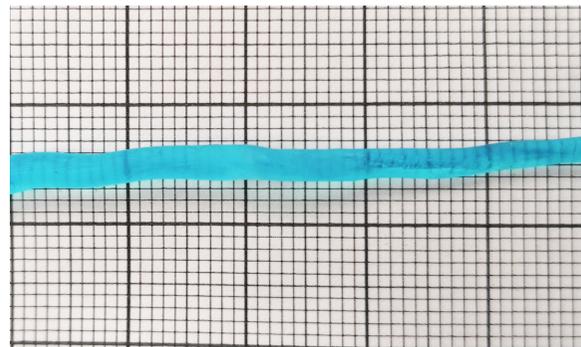


Abb. 105. nach 12h an der Luft

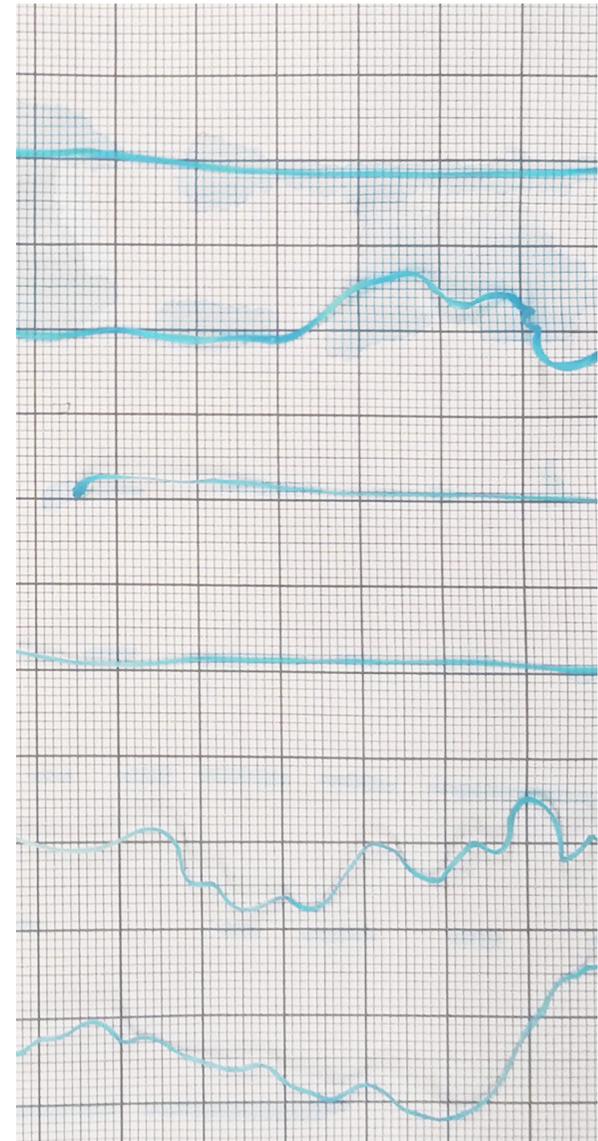


Abb. 106. nach 24h an der Luft

### 3.3.6 BRANDTEST

#### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-01-AS-06 Folie/Garn
- Feuerzeug

#### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Die Alginate werden mithilfe des Feuerzeugs angezündet
- Entfernen der Feuerquelle

#### BEOBACHTUNGEN

- Alle Alginate geraten in Brand
- Die Alginate brennen nur langsam
- An der Brandstelle schäumt sich das Alginat auf ähnlich wie PU-Schaum aus der Sprühdose
- Nur AS-01-02 und AS-06 brennen weiter nachdem Feuerquelle entfernt

#### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Es fällt auf dass alle hoch glycerinhaltigen Alginate weiter brennen nachdem die Feuerquelle aus ist
- Glycerin hat einen Flammpunkt bei 191°C und eine Zündtemperatur bei 400°C, deshalb ist das Glycerin maßgebend für das Brandverhalten der Alginate

| FESTE STOFFE    |                  |                      |
|-----------------|------------------|----------------------|
| Stoff           | Flammpunkt in °C | Zündtemperatur in °C |
| Holz            | ---              | 280 - 340            |
| Kork            | ---              | 300 - 320            |
| Kunststoffe     | ---              | 200 - 300            |
| Papier          | ---              | 360                  |
| Baumwolle       | ---              | 450                  |
| EPS / XPS       | ---              | 370                  |
| FLÜSSIGE STOFFE |                  |                      |
| Asphalt         | 205              | 400                  |
| Bitumen         | > 220            | > 350                |
| PU Schaum       | 315 - 370        | 370 - 427            |

Tab. 5. Flamm- & Zündtemperaturen diverser Stoffe



Abb. 107. AS-05 Folie, Brandtest



Abb. 108. AS-05 Garn, Brandtest



Abb. 109. AS-02 Folie, Brandtest



Abb. 110. AS-04 Garn, Brandtest

### 3.3.7 NETZFREIFORM-01

#### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-03 in Spritze
- CaCl<sub>2</sub> in Sprühflasche
- Gefäß

#### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Die Alginatsuspension AS-03 wird in eine Spritze abgefüllt.
- Freihändig wird ein Netz mit der Suspension gezeichnet
- Die Freiform wird mit der CaCl<sub>2</sub>-Lösung besprüht

#### BEOBACHTUNGEN

- Die Netzform fängt an sich sofort zusammenzuziehen
- Nach 24h ist das Netz vollkommen trocken

#### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Das Zusammenziehen entsteht durch den Ionenaustausch, die losen Alginatketten verbinden sich
- Verdunsten von Wasser trägt ebenfalls zum Zusammenziehen bei



Abb. 111. frisches AS-03

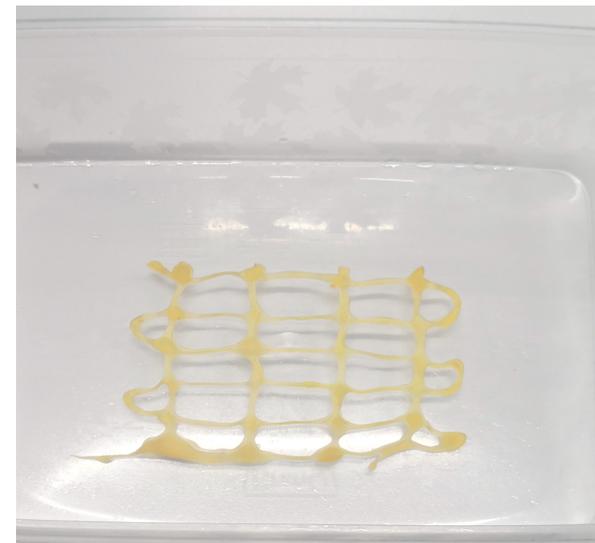


Abb. 112. Zusammengezogenes AS-03

### 3.3.8 ZUGTEST

| Garn          | Ø in mm | max. Zug in N | Zugspannung in N/mm <sup>2</sup> |
|---------------|---------|---------------|----------------------------------|
| AS-02 frisch  | 3       | 3             | 0,42                             |
| As-02 trocken | 1       | 6,7           | 8,5                              |
| AS-02 5-fach  | 3       | 14            | 1,98                             |
| AS-02 5x5     | 8       | 85            | 1,69                             |
| AS-05 trocken | 0,5     | 12            | 61,14                            |
| AS-04 trocken | 0,5     | 13            | 66,24                            |
| AS-06         | 0,9     | 4,6           | 7,23                             |

Tab. 6. Zugmesswerte

| VERGLEICHSWERTE                |         |                                  |
|--------------------------------|---------|----------------------------------|
| Material                       | Ø in mm | Zugspannung in N/mm <sup>2</sup> |
| Blanker Eisendraht             | 0,08    | 700                              |
| Verzinkter Eisendraht          | 0,18    | 300                              |
| Stahldraht (Phosphatiert)      | 0,4     | 1.180                            |
| Stahldraht (Verzinkt Klasse B) | 0,4     | 1.180                            |
| Kupferdraht                    | 2       | 200-350                          |

Tab. 7. Vergleichswerte Stahl & Draht

#### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- Unterschiedliche Alginatgarne einzeln und geflochten
- Digitale Zugwaage / Zugvorrichtung

#### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Die Garne werden in die Zugvorrichtung eingespannt
- Ein 10cm langer Abschnitt wird farblich markiert um das Dehnverhalten dokumentieren zu können
- Per Hand wird am Garn gezogen bis es bricht

#### BEOBACHTUNGEN

- Es ist eine Dehnung bei allen Garnen zu beobachten bevor diese unter Zug reißen (bis zu 50%)
- Frisch extrudiertes Alginat reißt schon bei geringerem Zug ( 3-5 N)
- Einzelne Alginatfasern reißen bei einer Zugkraft von 7-15 N
- Zugspannung bei AS-02 nimmt ab je mehr Garne miteinander verflochten sind

#### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Frisches Garn besteht größtenteils aus nicht gebundenem Alginat, somit reißt es auch viel eher
- AS-04 und AS-05 zeigen deutlich bessere Werte, was evtl. am geringeren Glycerin Gehalt liegen könnte
- Schwache Werte im Vergleich zu Stahl und Kupfer

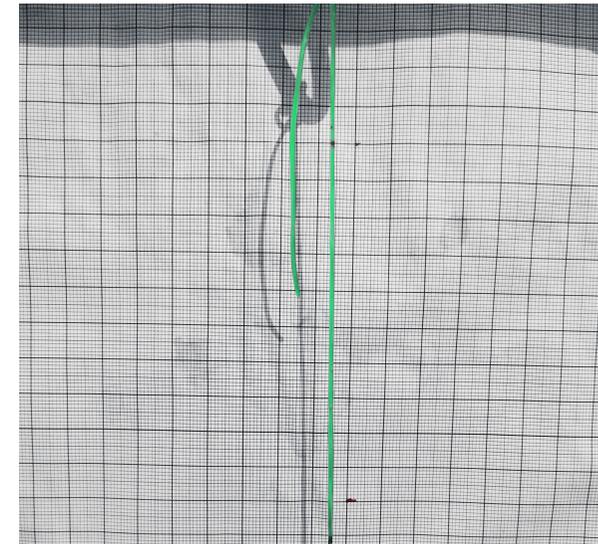


Abb. 113. Alginat in Zugvorrichtung



Abb. 114. 5x5 geflochtenes Garn

### 3.3.9 NETZFREIFORM-02

#### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-04 in Spritze
- CaCl<sub>2</sub> in Sprühflasche
- Ballon
- Stift

#### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Die Alginatsuspension AS-04 wird in eine Spritze abgefüllt
- Mit einem Stift ein Netz auf einen Ballon zeichnen
- Mit der befüllten Spritze zügig das Netz auf dem Ballon nachfahren da die Maße verfließt
- Das Netz wird mit CaCl<sub>2</sub> besprüht

#### BEOBACHTUNGEN

- Nach 24h ist das Netz vollkommen trocken
- Anders als im vorherigen Versuch hat sich das Netz kaum zusammengezogen
- Es wirkt jedoch etwas platter und dünner

#### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Das dünn aufgetragene Alginat ist der Schwerkraft ausgesetzt und kann sich somit sehr schwer zusammenziehen
- Das Alginat zieht sich nur in eine Richtung zusammen statt in zwei wie im Versuch davor



Abb. 115. Alginat auf Ballon

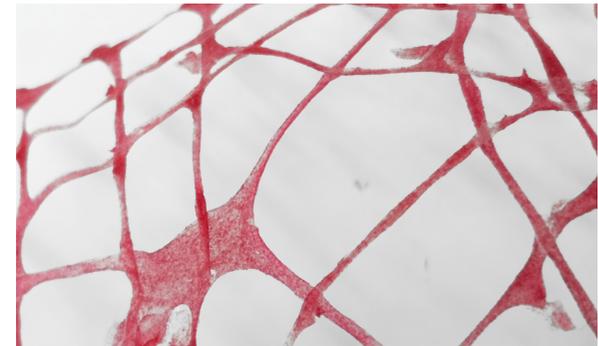


Abb. 116. Freiform Alginatnetz

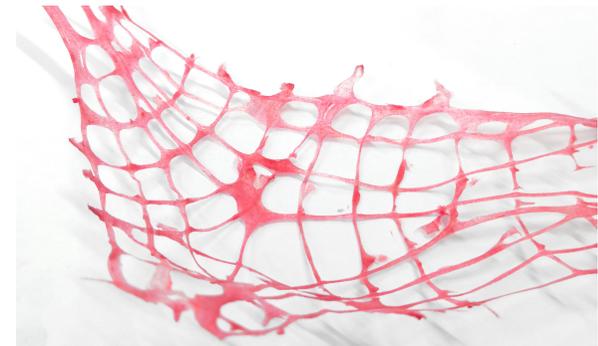


Abb. 117. Freiform Alginatnetz

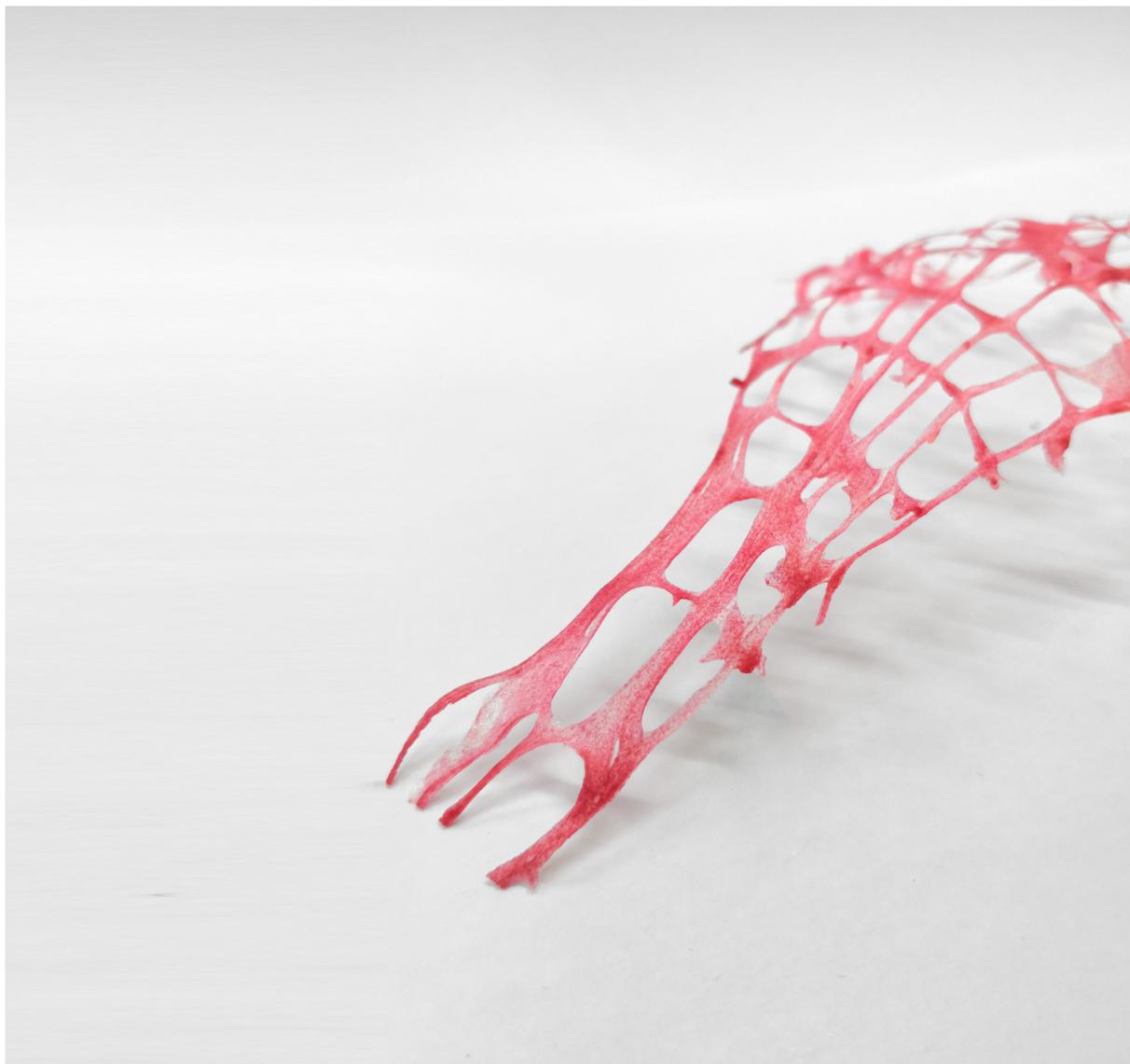


Abb. 118. Freiform Alginatnetz



Abb. 119. Freiform Alginatnetz

## 3.3.10 STRICKEN

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02 frisch/trocken
- Stricknadeln
- Strickmaschine *Addi Expres Kingsize*

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Frisches wie auch trocknes Alginatgarn wird mithilfe von Stricknadeln und einer Strickmaschine gestrickt

### BEOBACHTUNGEN

- In der Strickmaschine lässt sich das frische Garn viel besser verarbeiten als das getrocknete
- Feuchtes Garn ist deutlich schwerer als das trockene
- Per Hand lässt sich ebenfalls das frische Garn besser verarbeiten, das Trockene geht hier aber deutlich besser als in der Strickmaschine

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Das noch feuchte Garn gleitet besser als das getrocknete
- Trockenes Garn aufgrund des Glycerins sehr gummihaft und rutscht deshalb nicht gut über die Nadeln
- Da in der Strickmaschine das Gestricke hängt reißt es nach einigen Reihen ab da zu hohes Eigengewicht für das Garn



Abb. 120. Alginat Maschen - feucht



Abb. 121. Alginat Gestrick - feucht



Abb. 122. Algiant Gestrück - feucht

## 3.3.11 ENDLOS GARN

### MATERIALIEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02
- Keramik 3D Drucker: Delta Wasp 40100
- Düsenkopf mit 2mm Durchmesser
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in großem Gefäß
- Garnrolle

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Der Zylinder des 3D Druckers wird mit Alginate Suspension einen Tag vorher befüllt damit Luftblasen reduziert werden
- Düse wird kurz oberhalb der Lösung positioniert
- Direktes Extrudieren in CaCl<sub>2</sub> Bad
- Extrudiertes Garn auf Garnrolle aufrollen

### BEOBACHTUNGEN

- Die Suspension lässt sich sehr gut extrudieren, ohne abzureißen
- Druck im Zylinder muss nach einiger Zeit angepasst werden
- Nach gewisser extrudierter Masse, fällt die Ca-Ionen Konzentration in der Lösung

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Sehr gute Methode Garn zu erstellen, gleiches Prinzip wie beim Nassspinnverfahren nur im Labormaßstab
- Die Konzentration der Ca-Ionen fällt ab aufgrund des ständigen Ionenaustauschs und es muss neues CaCl<sub>2</sub> und Wasser in das Bad hinzugefügt werden, um eine gleichbleibende Qualität gewährleisten zu können.



Abb. 123. Versuchs Set-Up



Abb. 124. Alginat Suspension in Zylinder



Abb. 125. 2mm Düsenkopf

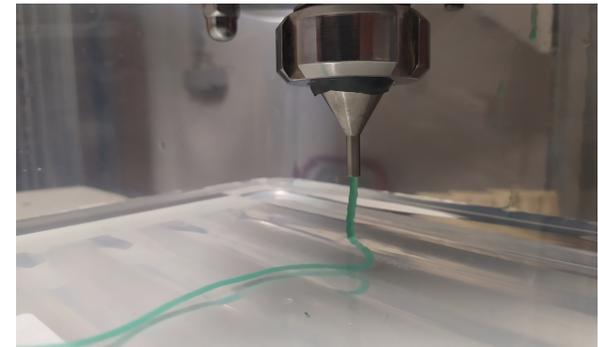


Abb. 126. Extrusion von Garn in CaCl<sub>2</sub>-Bad

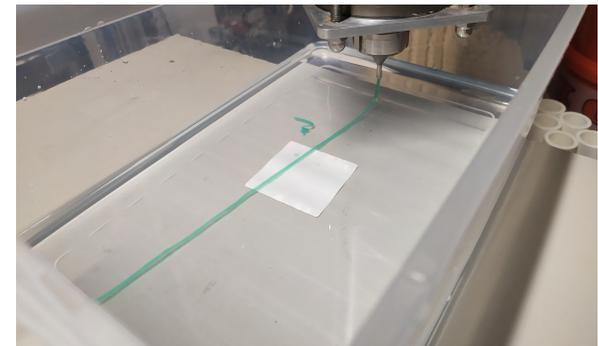


Abb. 127. Extrusion von Garn in CaCl<sub>2</sub>-Bad



Abb. 128. Aufwickeln des Garns auf Garnrolle

## 3.3.12 GEOMETRISCHE FIGUREN-01

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02 / AS-06 Garn trocken
- Holz/Acryl- Rahmen
- Frische Suspensionen
- Spachtel
- CaCl<sub>2</sub> in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- In einen Rahmen werden die Garne durchgespannt
- Mithilfe eines Spachtels frische Suspensionen auf die Garne streichen, damit Flächen entstehen
- Das frische Alginat mit CaCl<sub>2</sub> besprühen

### BEOBACHTUNGEN

- Garne lassen sich sehr gut durch die vorgesehenen Öffnungen durchführen
- Entstehen einer 2-fach gekrümmten Figur
- Die eher Viskosen Suspensionen lassen sich leicht auftragen
- Unterschiedliche Suspensionen verbinden sich sehr gut untereinander wie auch mit den vorhandenen Garnen

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Die trockenen Garne wirken wie Gummibänder
- Je nach Gebrauch ist ein gezieltes Einsetzen des Materials bzw. verschiedener Eigenschaften möglich
- Der Ionenaustausch bindet auch unterschiedliche Suspensionen miteinander

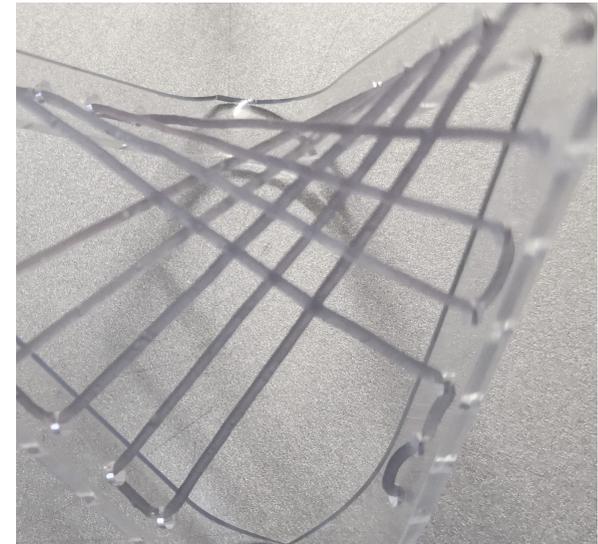


Abb. 129. Hyperbolischer Paraboloid

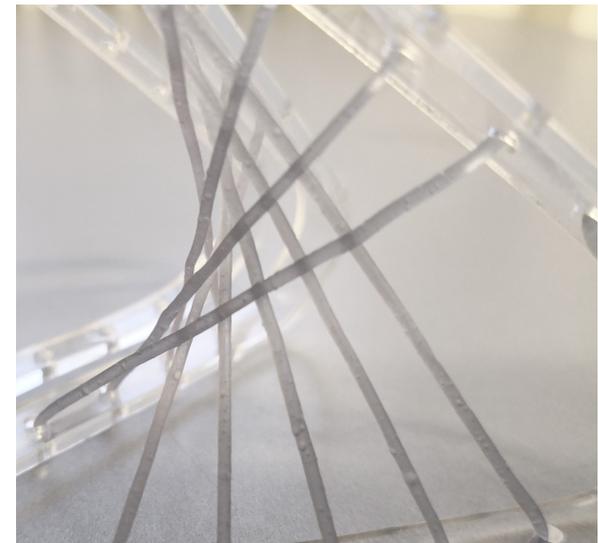


Abb. 130. Hyperbolischer Paraboloid

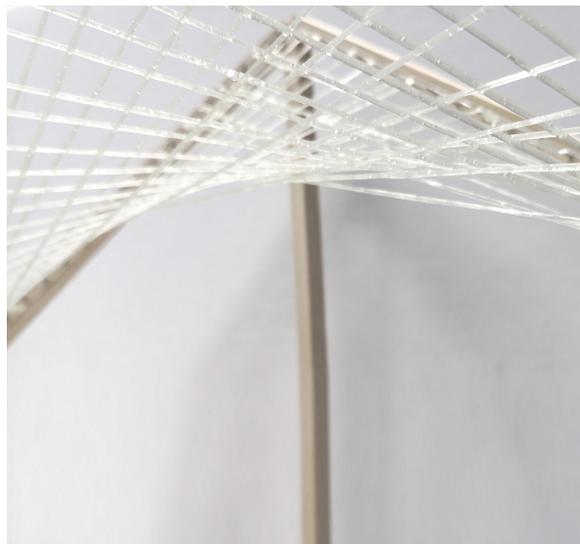


Abb. 131. Hyperbolischer Paraboloid Modell

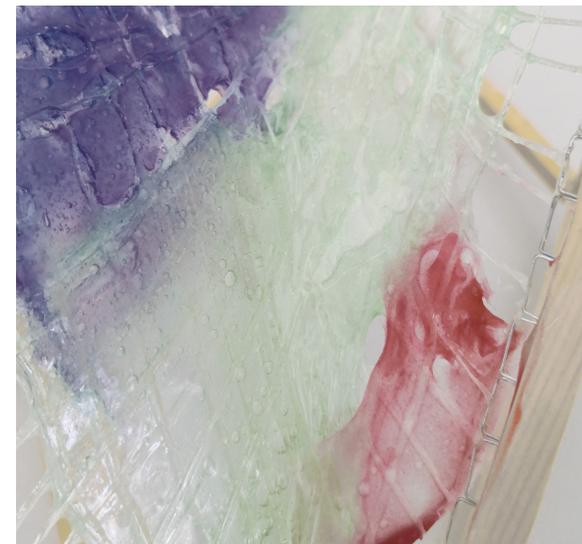


Abb. 133. Flächiges Alginat im Modell



Abb. 132. Hyperbolischer Paraboloid Modell



Abb. 134. Flächiges Alginat im Modell



## 3.4 VERSUCHSANALYSE

Allgemein ist sehr überraschend wie schnell das Alginat mit dem Calcium reagiert. Es entsteht sofort etwas festes aus einer flüssigen Masse. Die Chemische Reaktion des Ionenaustausches findet ohne Verzögerung bei Kontakt statt. Auch wenn vorerst nur an der Oberfläche, da diese zuerst in Kontakt mit den positiven Ionen des Calciums kommt.

Weiter ist es überraschend wie das Basis Alginat mit den Zusatzstoffen reagiert. Kleine Mengen reichen aus um die Eigenschaften grundlegend zu verändern. Wie etwa das Chitosan. Aber auch die Zusammensetzung des Basis Alginates, also das Mischverhältnis von Wasser und Alginat, kann beliebig variiert werden. Hinzukommt dass verschiedene Suspensionen trotzdem in einem Gussverfahren miteinander kombiniert werden können.

Von großem Interesse wäre die Herstellung sehr dünner Alginatfaser. Denn hier besteht das Problem des Vergleichs mit anderen Fasern bzgl. der Zugspannung. Die Faserquerschnitte in diesen Versuchen sind zu groß da sich sonstige Fasern im Bereich von Mikrometern bewegen, sowie bestehen Garne oder Drähte meist aus mehreren solcher Fasern. Diese Garne haben dann deutlich bessere Werte als eine einzelne Faser mit

gleichem Querschnitt. Deshalb müsste das Alginat bzgl. seiner Zugspannung weiter untersucht und optimiert werden.

Ein weiterer Punkt der sehr auffällt ist das Zusammenziehen des Materials. Was aufgrund des hohen Anteils an Wasser nicht verwunderlich ist. Dieses verdunstet mit der weiteren Trocknung und bewirkt somit das Zusammenziehen. Währenddessen weist das Alginat noch Restzustände von unreaktiertem  $\text{CaCl}_2$  und Natriumalginat auf. Diese kommen bei der Trocknung ebenfalls noch in Kontakt. Das Trocknungsverfahren des Alginates ist ein wichtiger Aspekt um Produkte mit gleichbleibender Qualität herstellen zu können sowie wirtschaftlich und nachhaltig arbeiten zu können. Dieses Thema ist aber zu umfangreich und bedarf einer eigenen Arbeit. Thomas Strasser befasst sich ausgiebig damit in seiner Dissertation: *Das Alginsulat-Verfahren. Herstellung eines Schaumstoffes aus Braunalgen. Teil B, Graz, 1997*

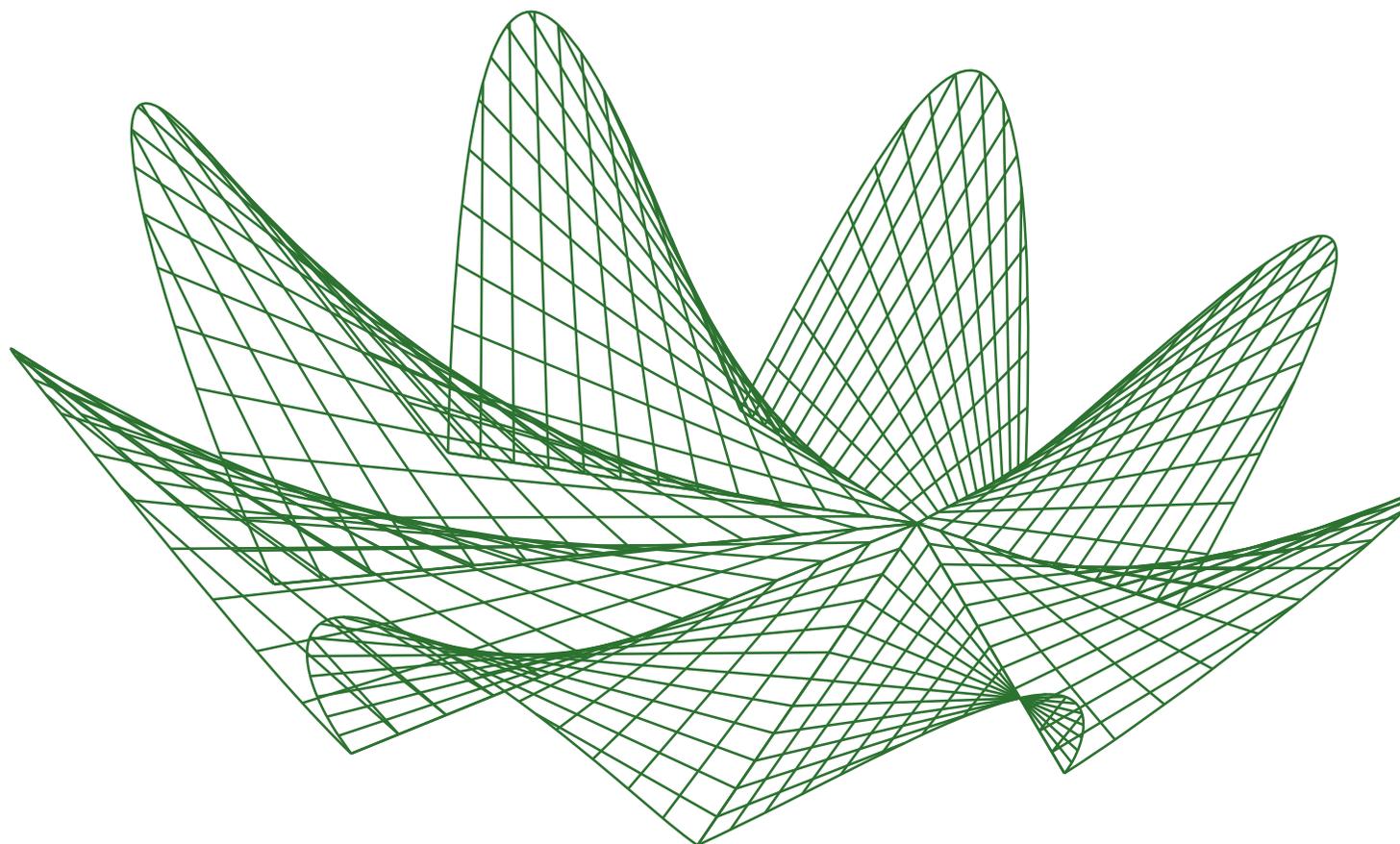


Abb. 135. 3D Modell

## 3.5

ARCHITEKTONISCHER  
ANSATZ

**S**eilkonstruktionen sind ein Bestandteil der Architektur und der Baubranche. Hier wird vor allem auf Stahl gesetzt aufgrund seiner sehr guten Zugspannung. Kunststoff- oder Naturseile wie in den Beispielen im *Kapitel 1.5* sind ebenfalls möglich.

Auch wenn Stahl wiederverwertet werden kann, wäre eine nachhaltigere Alternative von Vorteil. Bezugnehmend darauf, dass das Alginat biologisch abbaubar ist, würde es sich sehr für temporäre Objekte eignen.

Ein großer Vorteil eines temporären Objektes bzw. Pavillons ist, dass neuartige Materialien und Konstruktionsmethoden in einem ersten Versuch in die Architektur übertragen und getestet werden können.

Ein einfaches geometrisches Prinzip mit großem Effekt, sind doppelgekrümmte Flächen, *hyperbolische Paraboloid*. In der Architektur aber immer wieder eine große Herausforderung.

Diesem Prinzip zugrunde wurde mithilfe von Rhinoceros und Grasshopper eine parametrische Figur entworfen die sich für einen Pavillon aus Alginat Seilen eignen würde.

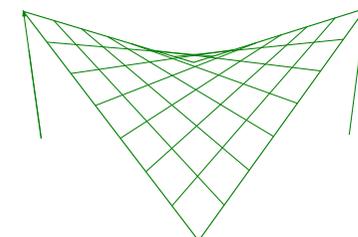
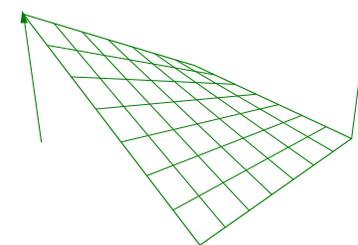
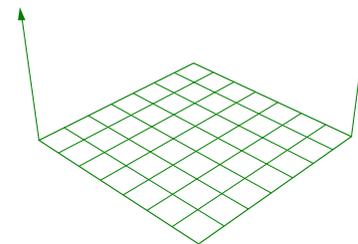
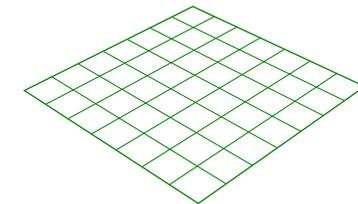


Abb. 136. Grafik hyperbolischer Paraboloid

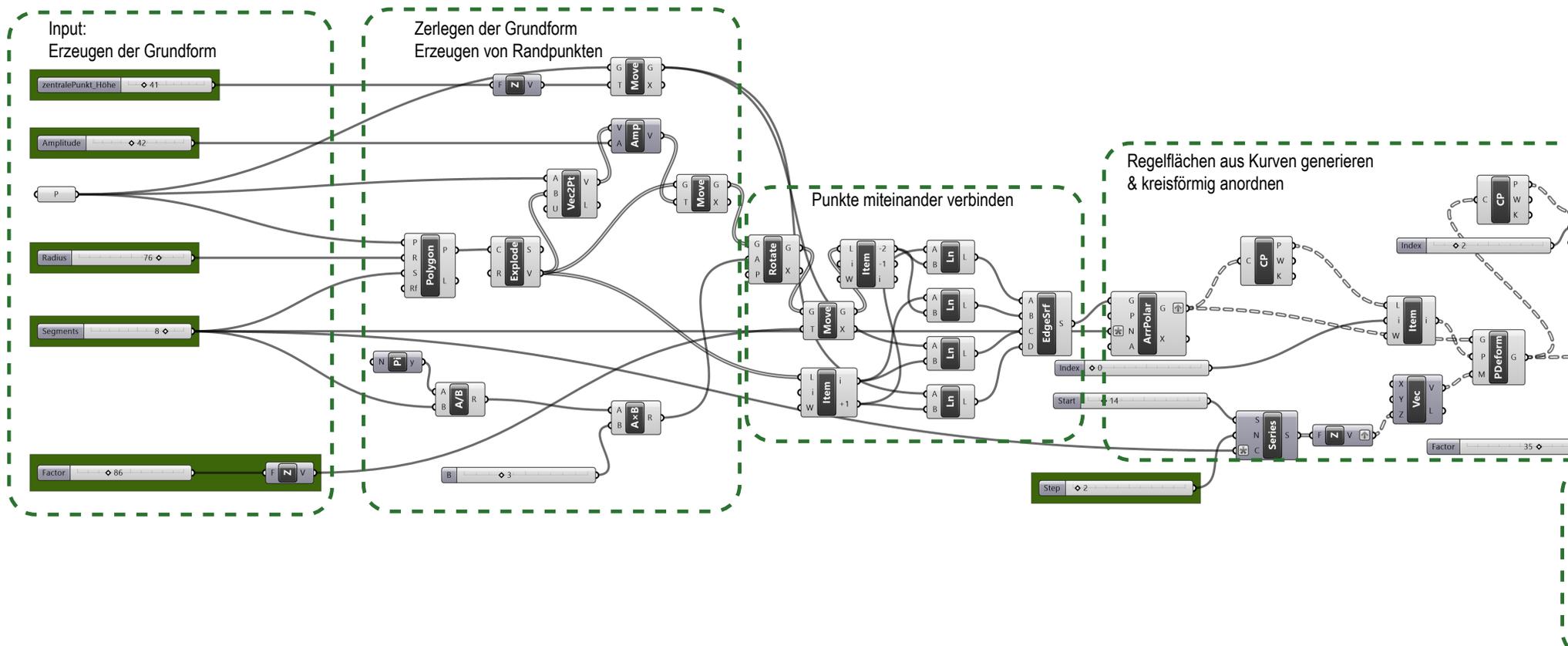
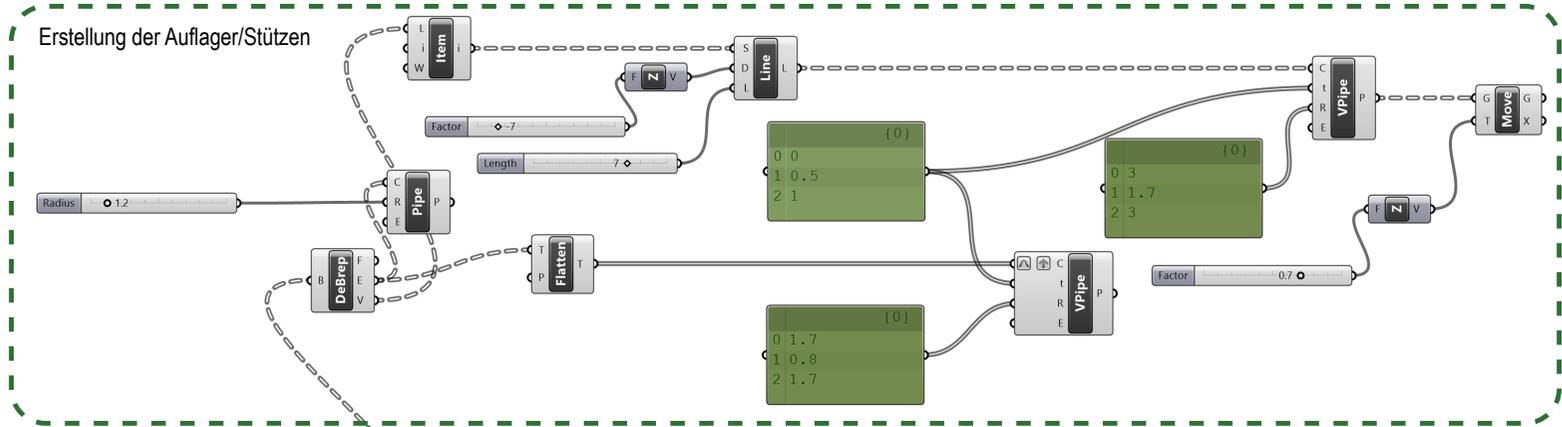
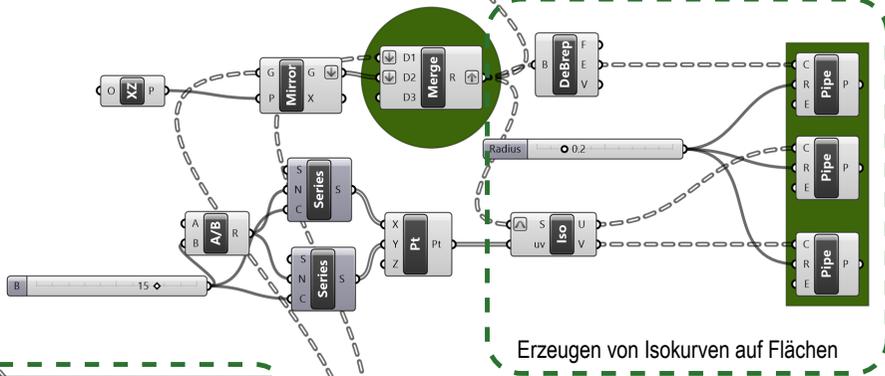


Abb. 137. Grasshopper Skript

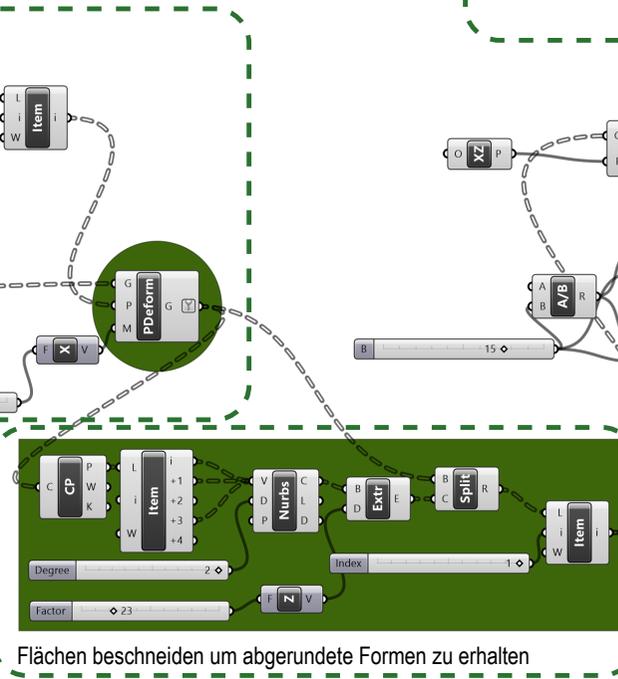
Erstellung der Auflager/Stützen



Erzeugen von Isokurven auf Flächen



Flächen beschneiden um abgerundete Formen zu erhalten



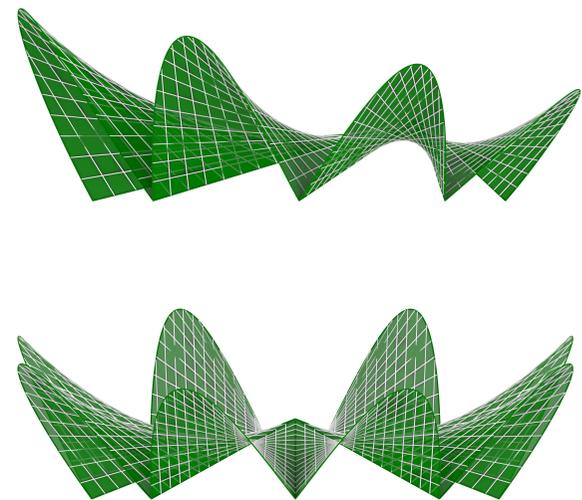
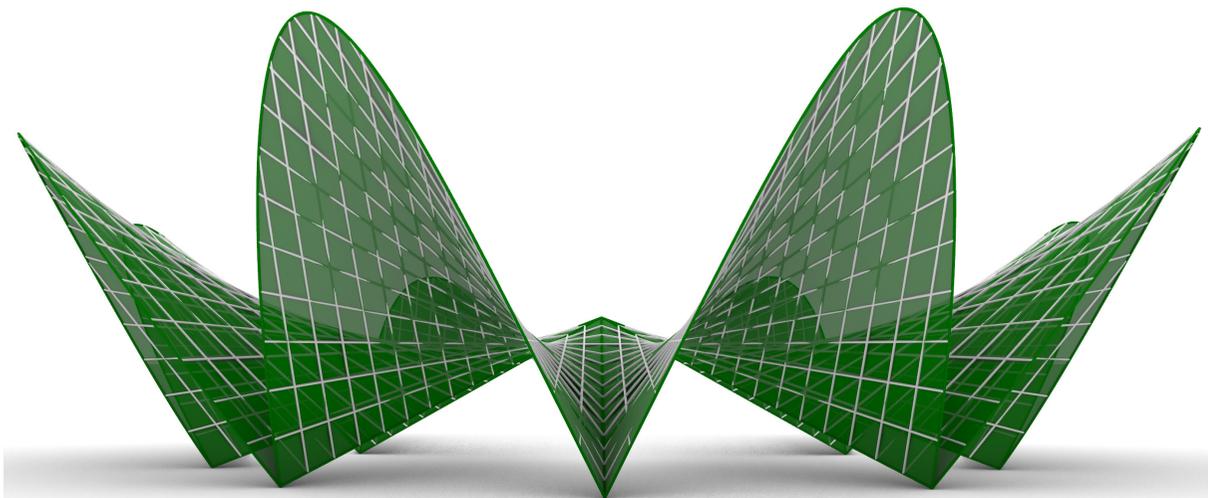


Abb. 138. Parametrisches 3D-Modell - Studien

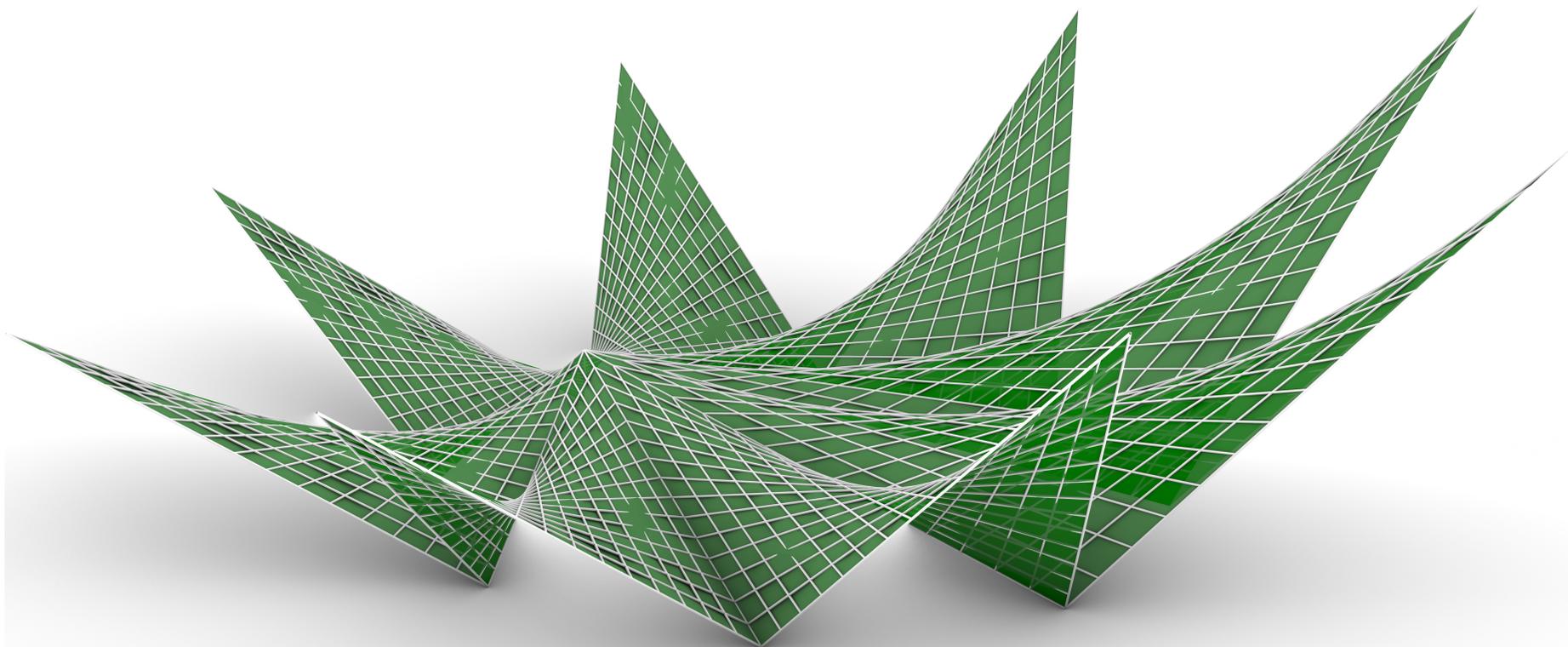


Abb. 139. Parametrisches 3D Modell - Studie

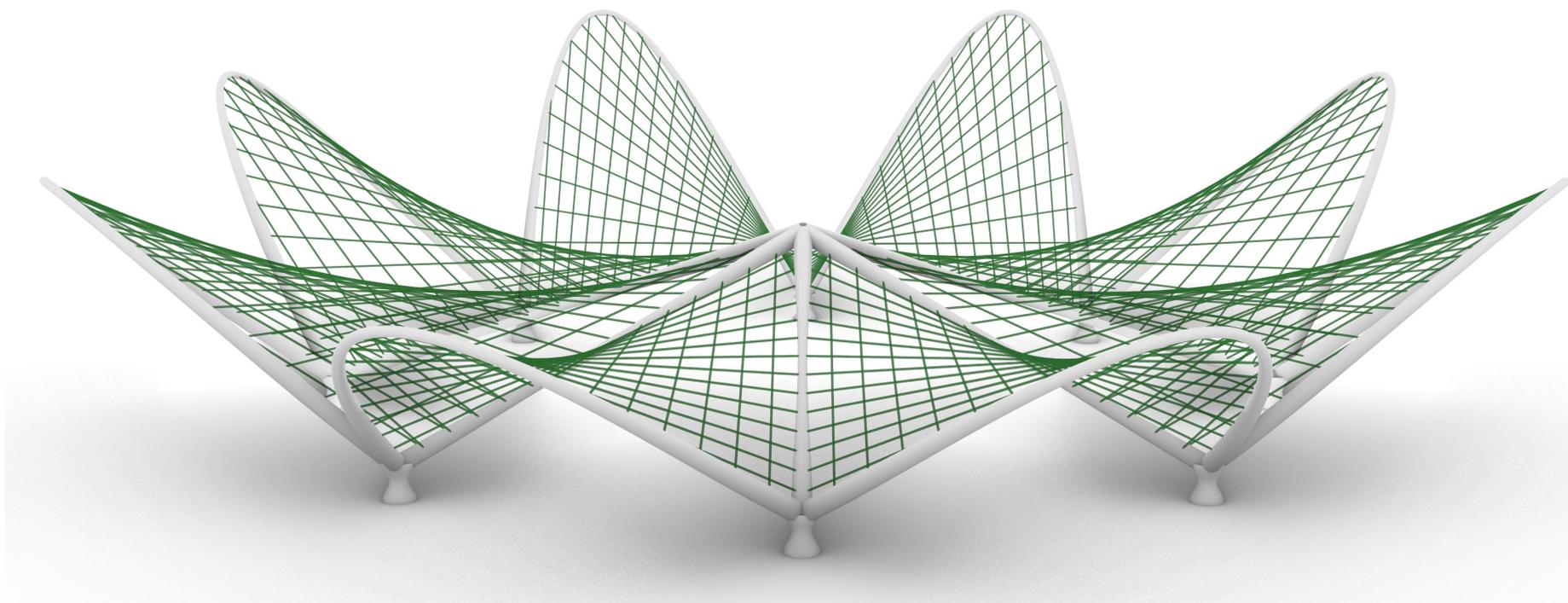


Abb. 140. 3D-Modell String-Pavillon

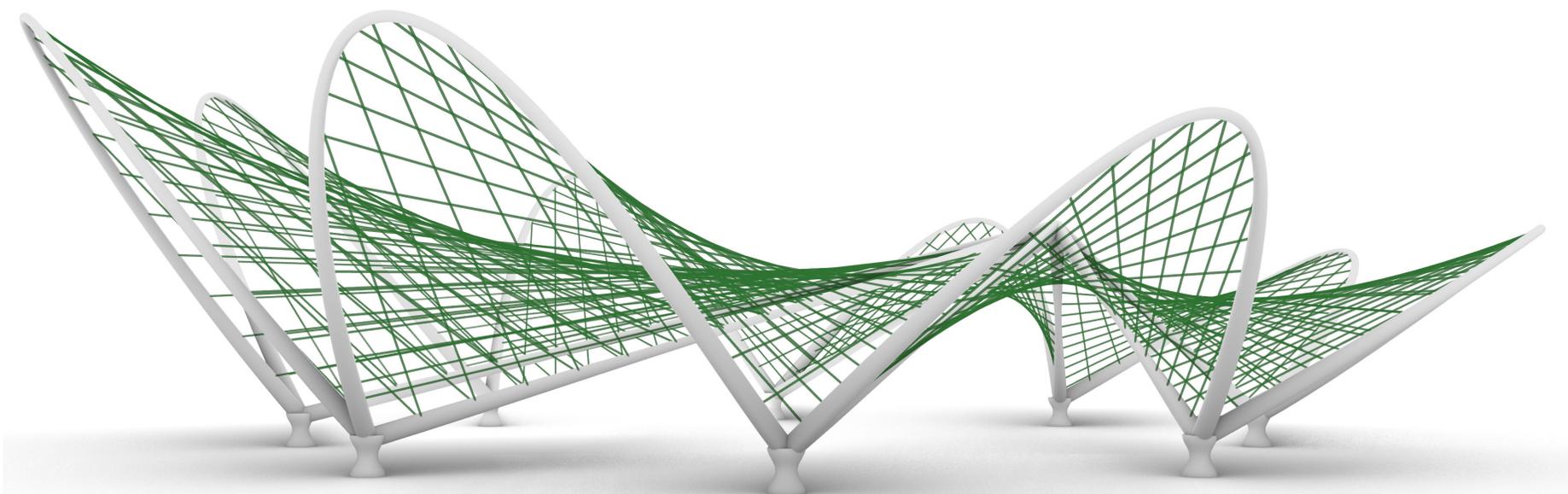


Abb. 141. 3D-Modell String-Pavillon

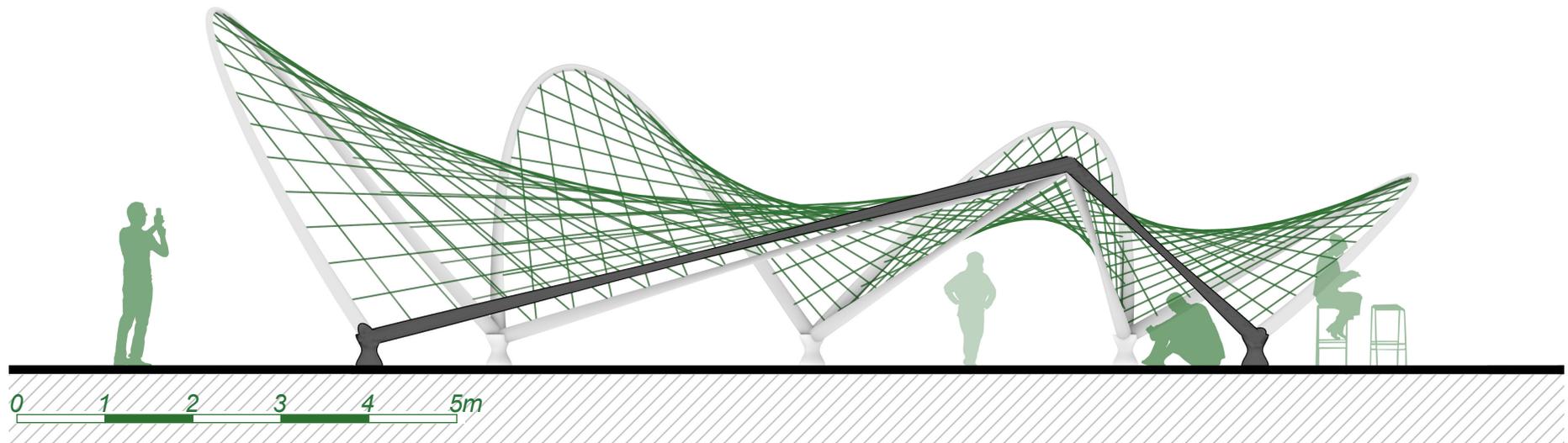


Abb. 142. Schnitt String-Pavillon

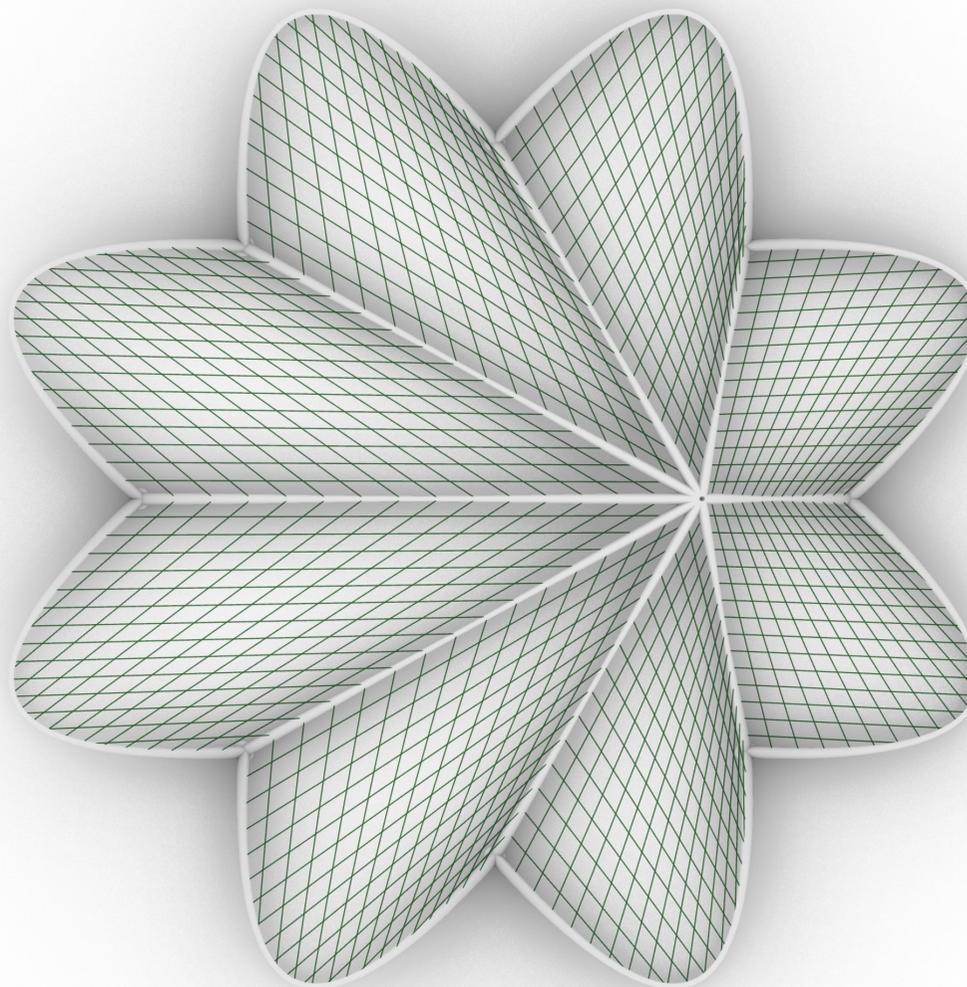


Abb. 143. Draufsicht String Pavillon

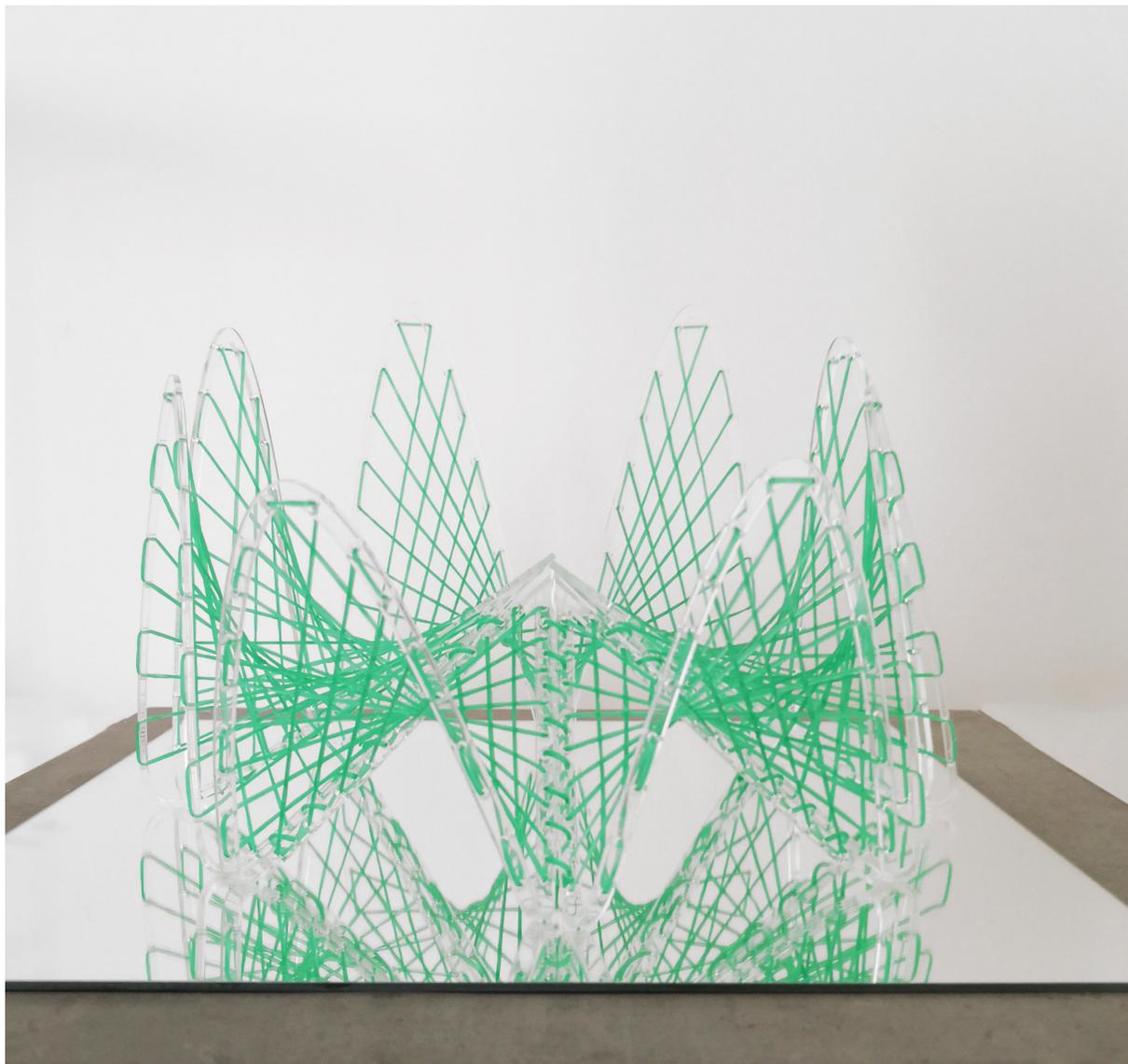


Abb. 144. String-Pavillon Modell



Abb. 145. Detail String-Pavillon Modell

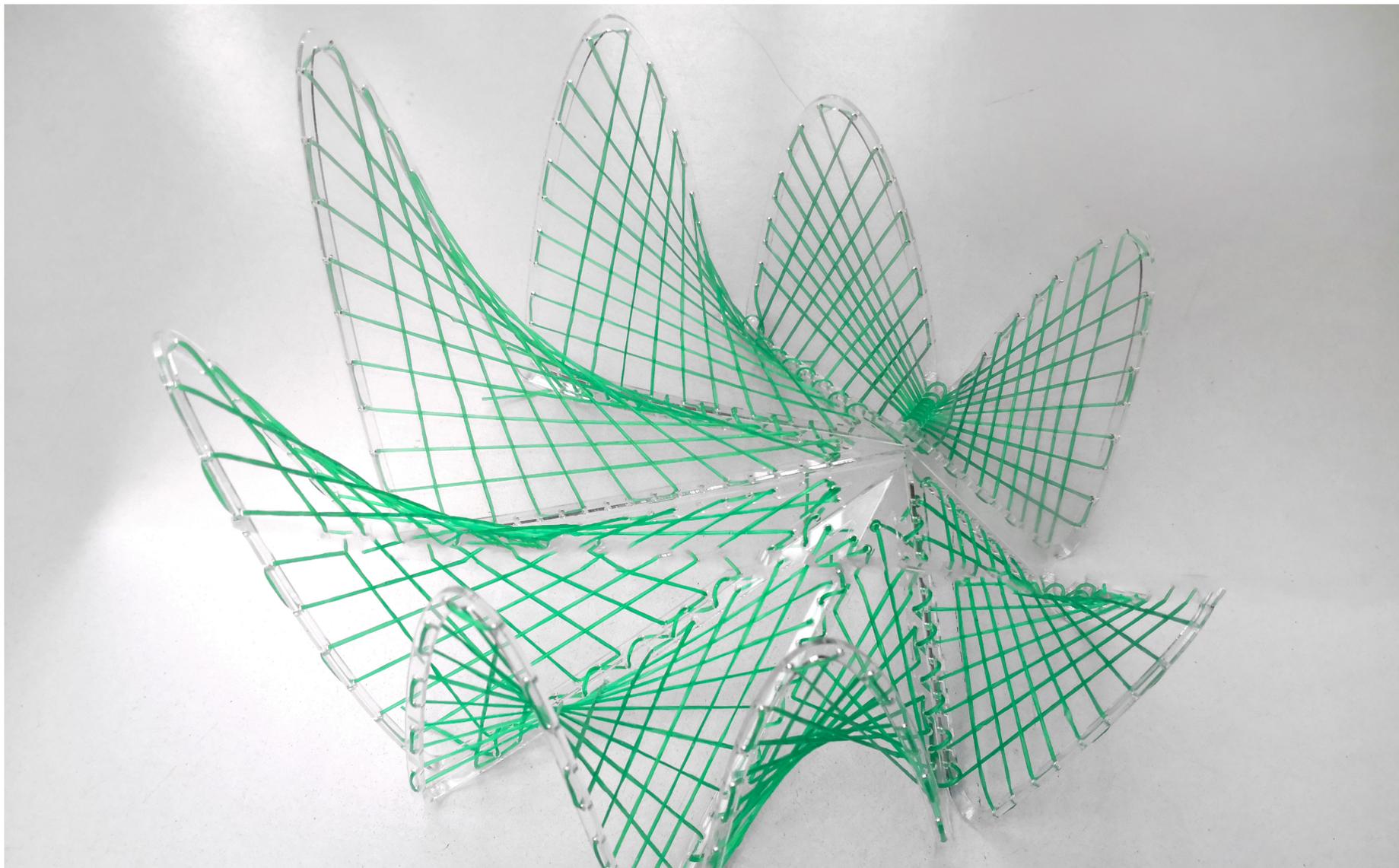


Abb. 146. String-Pavillon Modell

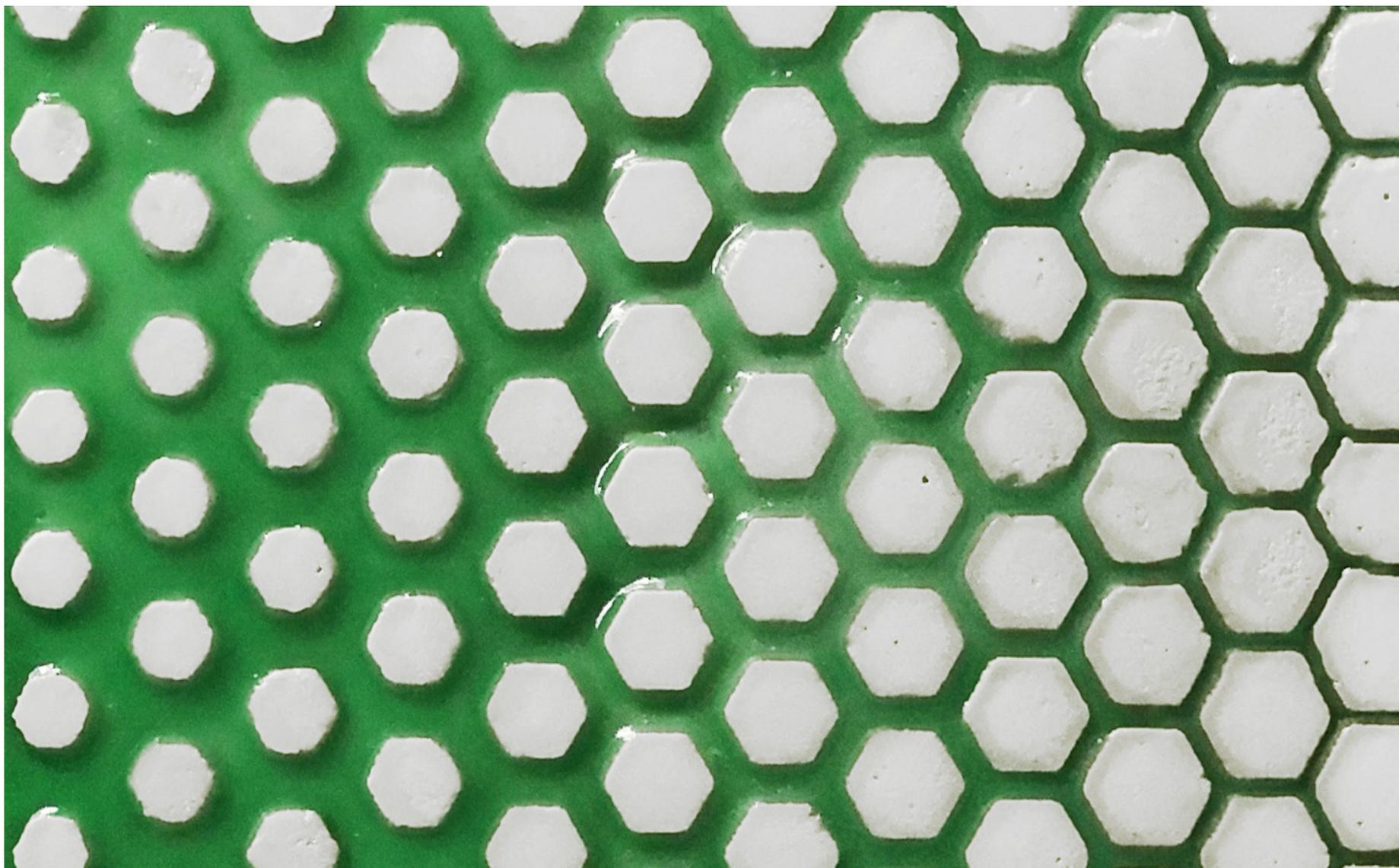


Abb. 147. Alginat in Keramikform

# 3.6

## GEGOSSENE & VOLUMEN ELEMENTE

**D**ieses Kapitel beschäftigt sich mit gegossenen Formen und Volumen Elementen. Aufgrund seiner Konsistenz, sowie des nachträglichen Besprühens eignet sich das Alginat für diesen Prozess.

Zwar wird hier zusätzlicher Aufwand betrieben und mehr Material für das Erstellen von Gießformen verwendet, aber diese sind Wiederverwendbar.

Die Idee kam nach den Versuchen der Freiformen. Gezielte Elemente sollen erstellt, das Zusammenziehen minimiert und kontrolliert werden. Außerdem soll die folgende Versuchsreihe weitere Anwendungsmöglichkeiten aufzeigen.

## 3.6.1 GUSSTAFEL-01

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02
- Finnpappe 3mm
- Lasercutter
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Aus Finnpappe wird eine negativ Form erstellt, scharfe Ecken vermeiden
- Gießen der Suspension in die Form
- Masse gleichmäßig verteilen / glatt streichen
- Besprühen mit CaCl<sub>2</sub>

### BEOBACHTUNGEN

- Die Suspension lässt sich sehr gut in die Form gießen
- Verteilt sich ebenmäßig von alleine
- Masse ist nicht gerissen und gut in der Form erhalten geblieben

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Die vorgegebene Form zwingt das Alginat sich nur in eine Richtung zusammen zu ziehen
- Finnpappe weicht auf, kein geeignetes Material



Abb. 148. Gusstafel aus Finnpappe

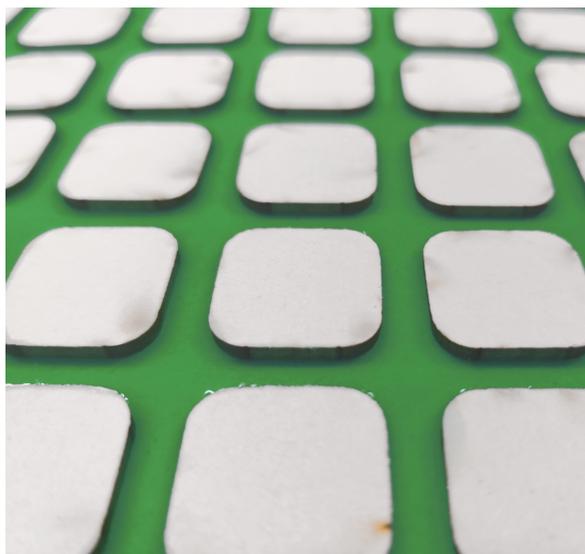


Abb. 149. Alginat in Gussform

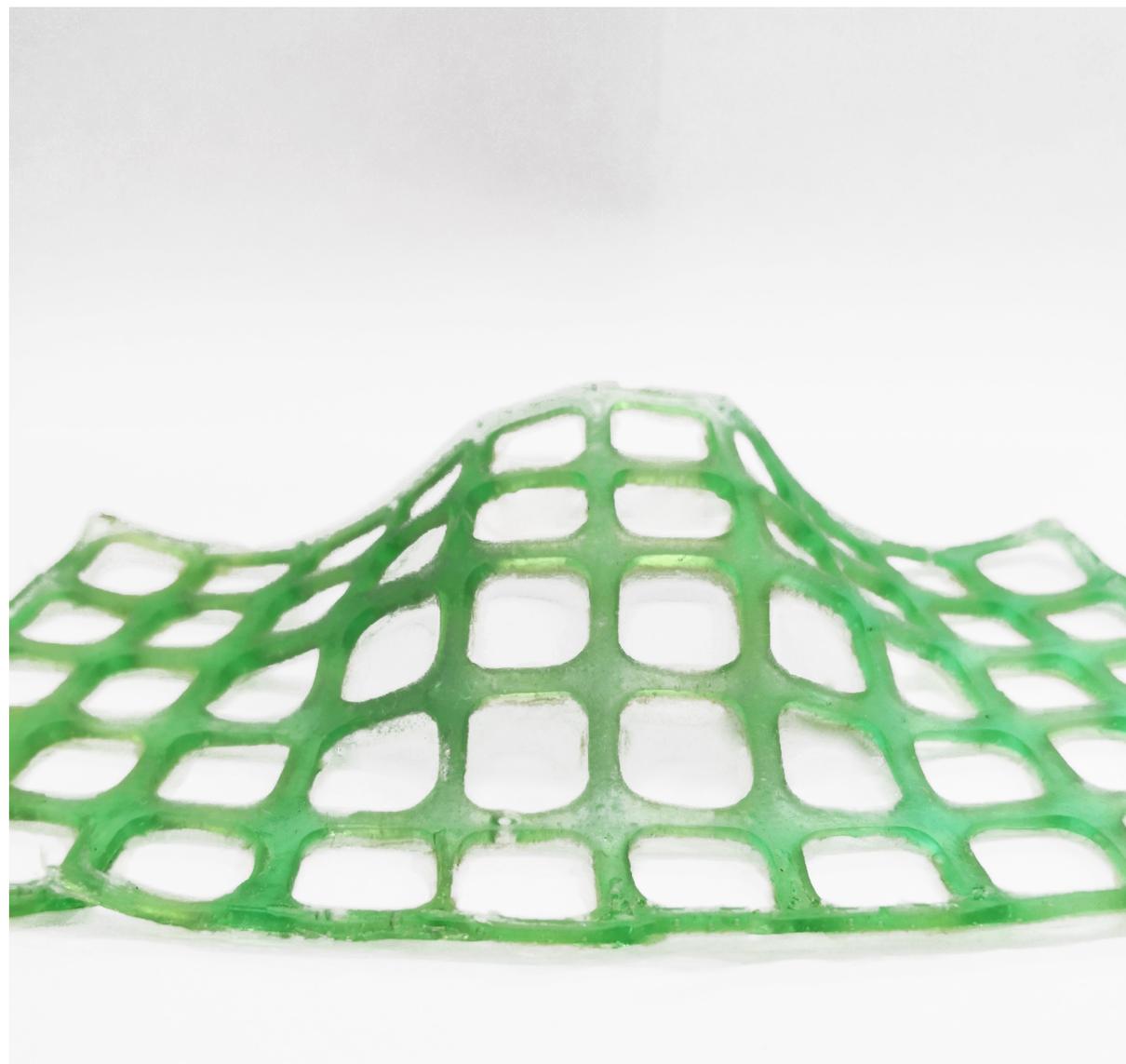


Abb. 150. flexible Alginatmatte

## 3.6.2 GUSSTAFEL-02

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02
- Finnpappe 3mm
- Lasercutter
- Holzrahmen
- Reliefgießmasse- *Keraquick*
- Antihaftmittel
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Aus Finnpappe wird eine positiv Form erstellt, scharfe Ecken vermeiden
- Die Form wird in einen Holzrahmen gegeben und mit einem Antihaftmittel besprüht
- Eine ca. 1cm dicke Schicht Keraquick in den Rahmen gießen
- Nach der Aushärtungszeit (ca. 30 min), die Keramik aus der Form nehmen und von der Finnpappe befreien
- Gießen der Alginatsuspension in die Keramikform, gleichmäßig verstreichen und über Nacht ruhen lassen
- Alginat mit CaCl<sub>2</sub> besprühen
- Nach 24h kann die fertige Alginatmatte herausgenommen werden

### BEOBACHTUNGEN

- Das Alginat trocknet über Nacht leicht an und zieht sich nach dem besprühen weniger zusammen
- Auch die dünnen Stellen sind sehr gut herausgekommen *Abb. 157*

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Eine sehr gute Methode um Alginatmatten herzustellen

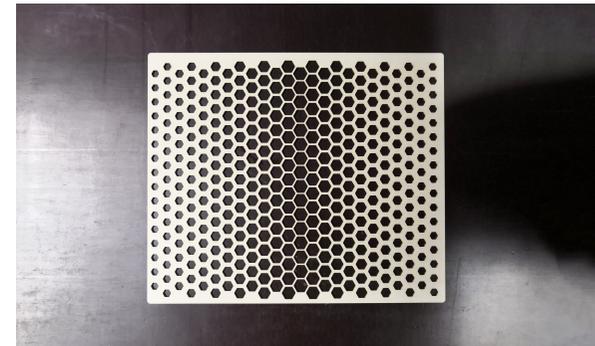


Abb. 151. Positivform aus Finnpappe 3mm



Abb. 152. Holzrahmen für Keramik

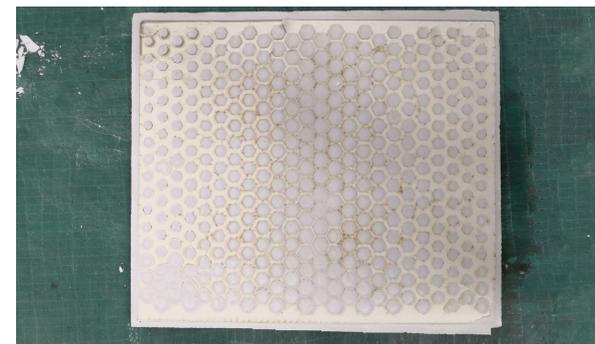


Abb. 153. Fertige Gussform aus Keramik

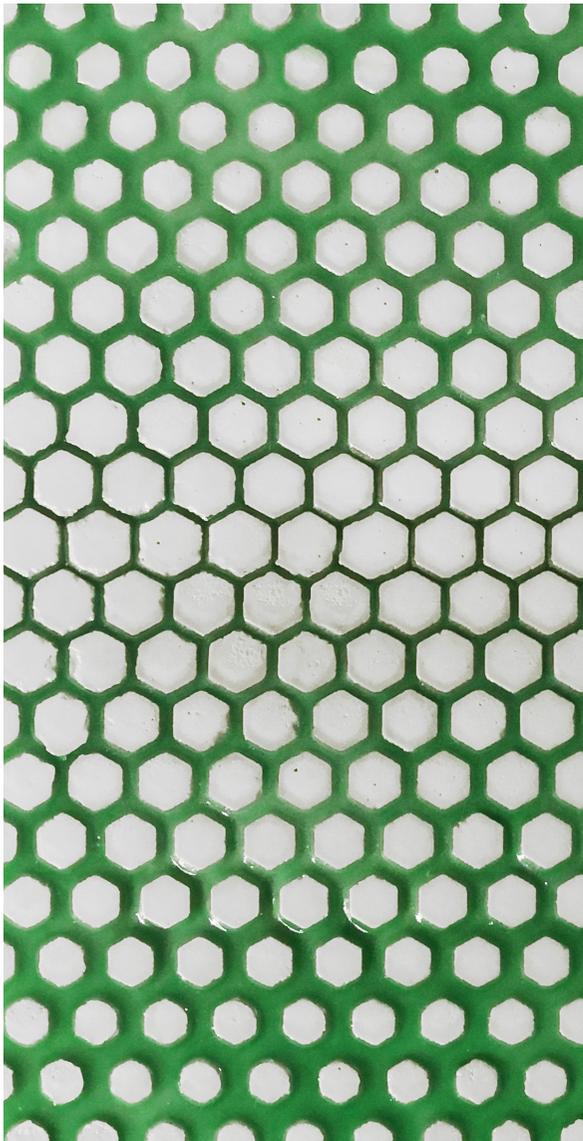


Abb. 154. Alginat in Gussform

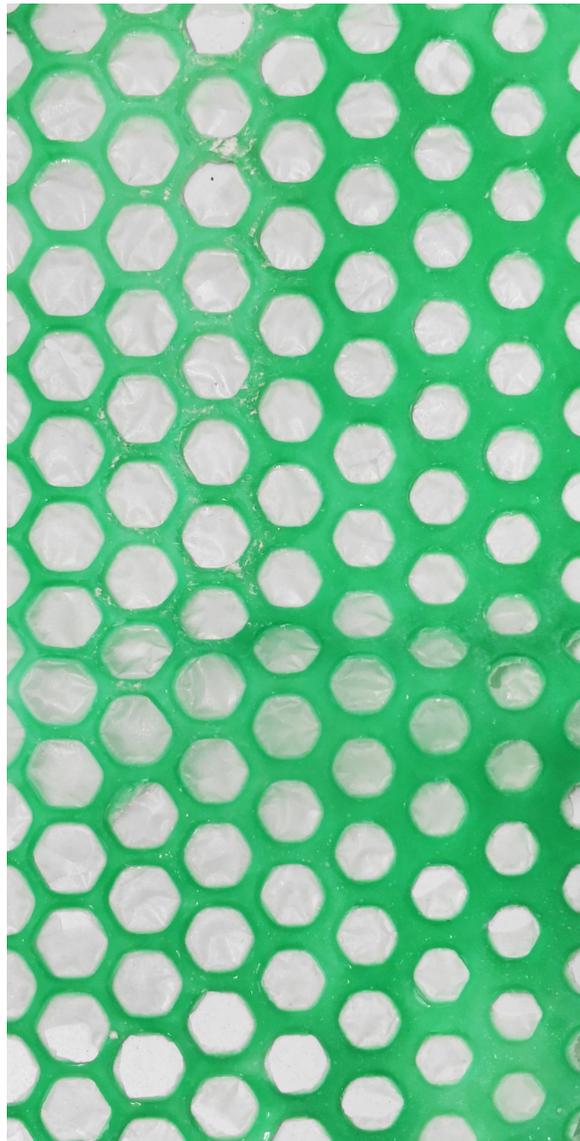


Abb. 155. Fertige Alginatmatte

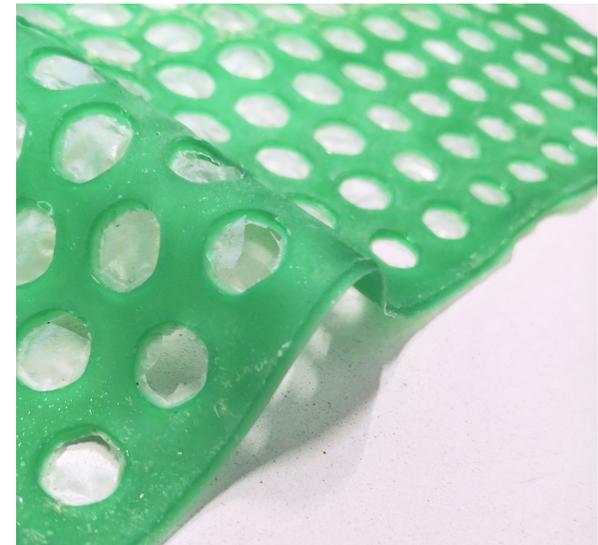


Abb. 156. Biegsame Alginatmatte

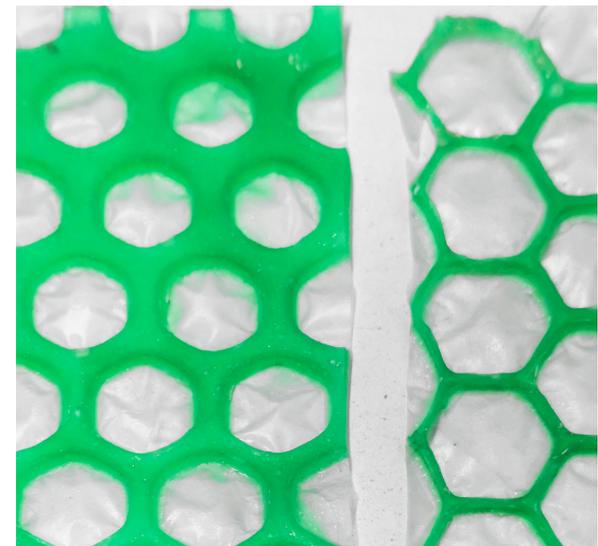


Abb. 157. Detail Alginatmatte

## 3.6.3 GUSSTAFEL-03

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-05
- Positivform aus Finnpappe
- Lasercutter / Thermoformer
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Mithilfe von Lasercutter und Finnpappe Positivform erstellen
- Mit Thermoformer eine Negativ Gussform erstellen
- AS-05 in die Form gießen und besprühen

### BEOBACHTUNGEN

- Mit dem Thermoformer lassen sich sehr gut und schnell Negativformen erstellen
- Da die Form sehr tief ist wird viel Masse benötigt
- Beim besprühen mit CaCl<sub>2</sub> wird nur die Oberfläche fest während sehr viel Masse noch flüssig ist
- Alginat verzieht sich zu sehr sodass die Ursprungsform nicht wiedererkennbar ist

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- All zu tiefe Formen eignen sich nicht für das Gussverfahren
- Oberfläche verzieht sich zu sehr

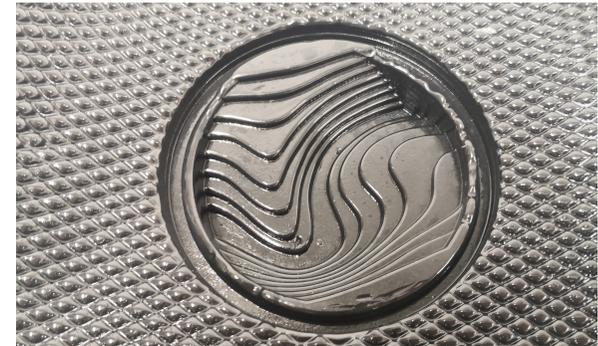


Abb. 158. Gussform

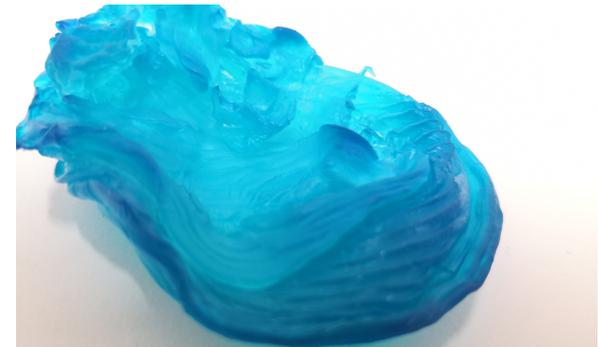


Abb. 159. Alginat aus Gussform



Abb. 160. Alginat aus Gussform

## 3.6.4 DIE KRAFT DES ZUSAMMENZIEHENS

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02
- Gefäß
- Zahnstocher
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- In ein Gefäß wird die Suspension gegeben
- Zahnstocher in Sternformation in die Masse hineinlegen, sodass sie mit Alginat bedeckt sind
- Besprühen mit CaCl<sub>2</sub>

### BEOBACHTUNGEN

- Die Zahnstocher werden von der Masse fest umschlossen
- Beim Zusammenziehen werden die Zahnstocher mitgezogen, teils treffen sie sich
- Die Masse fängt an sich zu krümmen

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Die Zahnstocher zwingen die Masse sich zu verformen
- Frage: kontrolliertes Verformen möglich?
- Frage: auch im größeren Maßstab möglich?



Abb. 161. frisches Alginat & Zahnstocher



Abb. 162. getrocknetes verformtes Alginat



Abb. 163. getrocknetes verformtes Alginat

## 3.6.5 ALGINAT - „KLEBER“

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02-Matte aus *Kapitel 3.6.1*
- frisches AS-02
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Eine Alginatmatte wird zusammengerollt
- Die Kanten die zusammentreffen mit frischer Suspension bestreichen
- Besprühen mit CaCl<sub>2</sub>

### BEOBACHTUNGEN

- Die Suspension umfasst die zwei Kanten und verfestigt sich beim besprühen
- Die Matte wird an den Kanten verklebt

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Sobald das Alginat etwas umfasst/umschließt und besprüht wird, wird der umschlossene Gegenstand mit Alginat dauerhaft umhüllt
- Es ist kein herkömmlicher Kleber, der Gegenstand muss komplett mit Alginat umhüllt werden



Abb. 164. Alginatmatte verklebt mit Alginat



Abb. 165. Alginat Klebekante



Abb. 166. Alginat Klebekante

## 3.6.6 DRAHTFORM-01

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-05
- Draht
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Fertigen einer Kreisform aus Draht
- Alginatsuspension flach ausgießen
- Draht muss komplett von Alginat umgeben sein
- besprühen mit CaCl<sub>2</sub>

### BEOBACHTUNGEN

- Alginat fängt an sich sofort zusammenzuziehen beim besprühen
- Der Draht wird mit eingeschlossen
- Das Alginat behält seine runde Form wenn Ionenaustausch komplett durchlaufen

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Wenn der Draht komplett mit Alginat umhüllt wird er mit eingeschlossen
- Das Alginat kann sich nur bis zum Metalldraht zusammenziehen
- Einfache Methode um flache Alginatelemente herzustellen



Abb. 167. Metalldraht

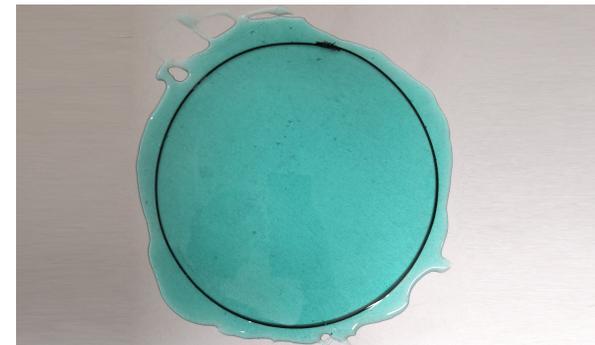


Abb. 168. Metalldraht mit frischem Alginat



Abb. 169. Metalldraht & Alginat besprüht

## 3.6.7 DRAHTFORM-02

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02 & AS-05
- Finnplatte 3mm
- Draht
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Aus Finnplatte wird eine kreisförmig geschnitten
- Draht ebenfalls in Kreisform biegen
- Gießen der Suspension in die Formen
- Besprühen mit CaCl<sub>2</sub>
- Solange das Alginat noch feucht ist Draht biegen

### BEOBACHTUNGEN

- Die Finnplatte wird feucht und fängt an sich zu biegen dabei wird das Alginat mitgezogen
- Beim Draht reißt das Alginat an manchen Stellen
- Einmal völlig trocken und vom Draht befreit behält das Alginat seine Form

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Wenn der Draht nicht vollkommen umhüllt ist reißt das Alginat an diesen Stellen ab und zieht sich weiter zusammen
- Alginat kann mit Draht beliebig in Form gebracht werden



Abb. 170. Alginat & Finnplatte



Abb. 171. Alginat verformt mit Draht



Abb. 172. Hyperbolischer Paraboloid befreit vom Draht



Abb. 173. Hyperbolischer Paraboloid



Abb. 174. Hyperbolischer Paraboloid, flexibel



Abb. 175. *Freiform aus Draht*



Abb. 176. *Freiform aus Draht*

## 3.6.8 BUBBLES

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02, AS-04, AS-05
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche
- Spritze mit Nadel

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Etwas Alginat flach ausgießen
- Mit CaCl<sub>2</sub> besprühen
- Spritze leer aufziehen
- In das Alginat hineinstechen und Luft ausdrücken (dieser Schritt kann mehrmals wiederholt werden)

### BEOBACHTUNGEN

- Sobald man Luft in das Alginat hineinpumpt bläst sich dieses wie ein Luftballon aus
- Die Blase ist nicht dehnbar wie ein Ballon, sondern die maximale Form ist vorgegeben
- Sobald man die Nadel herausnimmt verschließt sich das Loch von selbst

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Das Material ist nicht dehnbar, die flache Form wird beim Luftpumpen zwar aufgeblasen kann aber nicht größer werden
- Da sich immer noch flüssiges Alginat im inneren befindet kann die Spritze herausgezogen werden, das Alginat fließt an diese Stelle und tritt sofort mit CaCl<sub>2</sub> in Kontakt
  - Das Loch verschließt sich von selbst



Abb. 177. Aufgeblasenes Alginat



Abb. 178. Aufgeblasenes Alginat



Abb. 179. Aufgeblasene Alginat Kugeln



Abb. 180. Blaue Kugel



Abb. 181. Grüne Kugel



Abb. 182. Rote Kugel

## 3.6.9 AUFGEBLASENE MEMBRAN - 01

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-04, AS-05
- AS-05 Garn
- Draht
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche
- Spritze mit Nadel

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Draht in Form biegen
- Alginat und Draht auslegen
- Besprühen mit CaCl<sub>2</sub>
- Noch feuchtes Alginat mit Spritze aufblasen
- Einzelne Elemente mithilfe von Alginatgarn zusammenbinden

### BEOBSACHTUNGEN

- Die Alginate wirken wie Membranen
- Einmal aufgeblasen und trocken behält das Alginat seine Form, es kann aufgeschnitten und halbiert werden ohne dass es zusammenfällt

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Es können Membranen bzw. Luftkissen in beliebiger Form ausgeführt werden
- Anders als beispielsweise Luftballons fallen die Alginate mit der Zeit nicht in sich zusammen
- Die Luft bläst die Alginate auf. Einmal trocken behält das Alginat weiterhin seine Form die Luft ist nicht dauerhaft notwendig



Abb. 183. Aufgeblasenes Alginat in Draht, kombiniert



Abb. 184. Aufgeblasenes Alginat

## 3.6.10 AUFGEBLASENE MEMBRAN - 02

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-04, AS-05
- Form aus Acryl
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche
- Spritze mit Nadel

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Eine Acryl-Form zuerst mit AS-04 befüllen (dient als Rahmen)
- Den Rahmen mit AS-05 befüllen
- Besprühen mit CaCl<sub>2</sub>-Lösung
- Noch frisches Alginat mit Spritze aufblasen

### BEOBACHTUNGEN

- Obwohl die AS-04 deutlich rigider ist weicht sie beim erneuten Kontakt mit Flüssigkeiten
- Der Rahmen verformt sich zu stark
- Auch der Versuch zuerst den Rahmen zu erstellen und dann mit Alginat aufzufüllen ist nicht zufriedenstellend

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Der Wunsch den Rahmen ebenfalls durch Alginat zu ersetzen erweist sich als Schwierig
- Alginatrahmen muss deutlich fester und vor allem Feuchtigkeitsabweisender sein

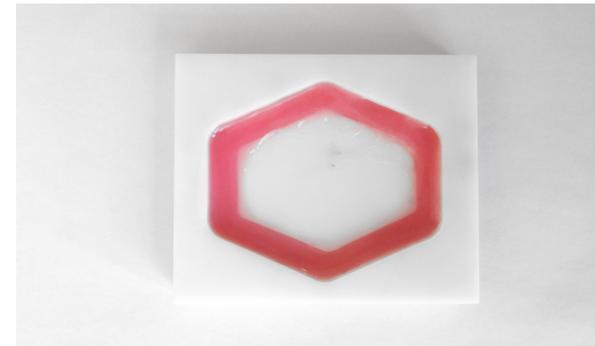


Abb. 185. Alginatrahmen aus AS-04 in Form

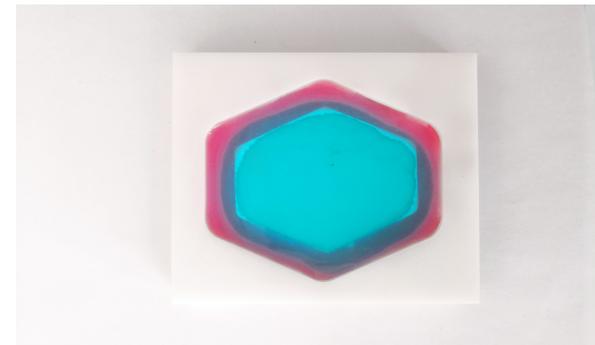


Abb. 186. Alginatrahmen & Füllung



Abb. 187. Aufgeblasenes 2-Komponenten System

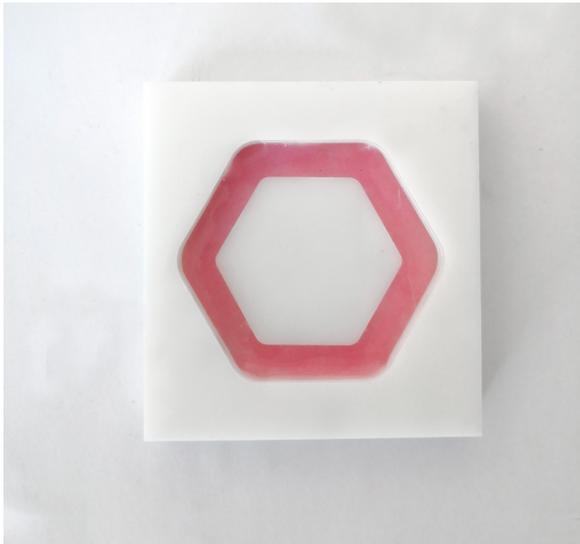


Abb. 188. Alginatrahmen aus AS-04 in Form

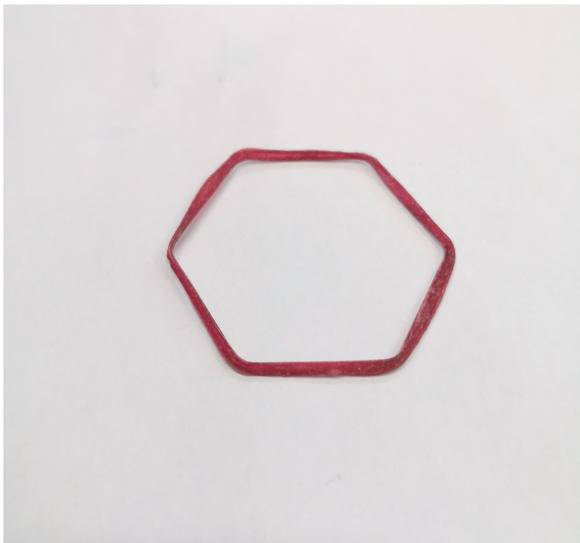


Abb. 189. Alginatrahmen aus AS-04 trocken

## 3.6.11 ALGINATSCHAUM KUGELN

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-08
- Spätzlereibe
- CaCl<sub>2</sub>-Bad

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Damit das Tensid gut aufschäumt die Suspension sehr gut im Standmixer aufschäumen
- Die Suspension in eine Spätzlereibe gegeben
- Über dem CaCl<sub>2</sub> Bad das Alginat durch die Löcher drücken

### BEOBACHTUNGEN

- Wie Spätzleteig fällt das Alginat in das Calciumhaltige Bad
- Kleine Kugelähnliche Schaumalginat entstehen
- Vor allem vergrößert unter dem Mikroskop können viele kleine eingeschlossene Luftbläschen erkannt werden

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Wie schon bereits erwähnt setzen Tenside die Oberflächenspannung herab und ermöglichen eine Schaumbildung



Abb. 190. Spätzlereibe mit AS-08



Abb. 191. In CaCl<sub>2</sub> fallendes Alginat



Abb. 192. Suspension ohne Tensid

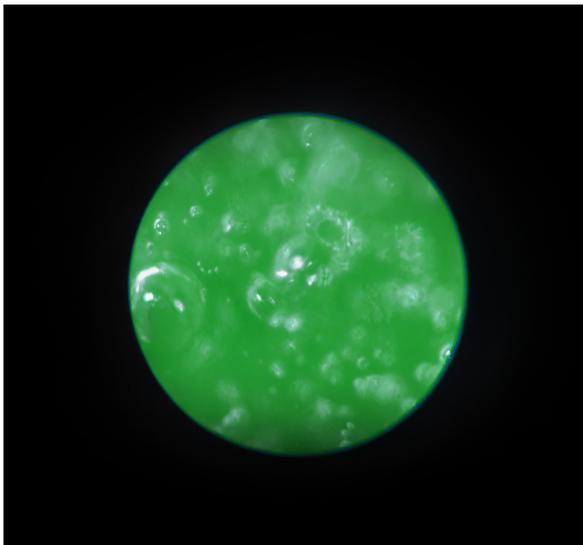


Abb. 193. Suspension mit Tensid

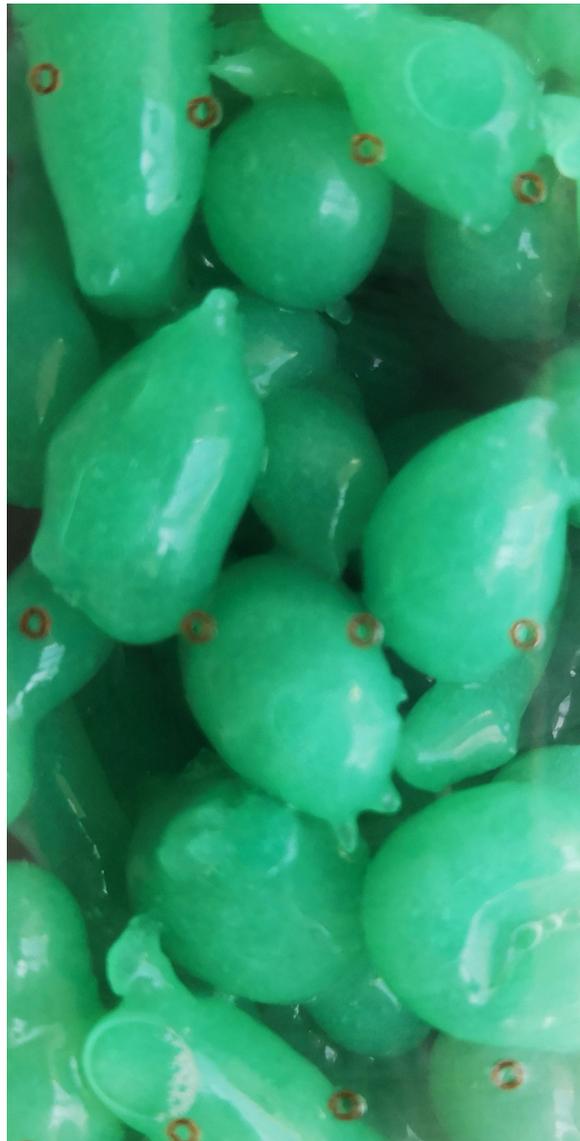


Abb. 194. Alginatschaum Kugeln



Abb. 195. Alginatschaum Kugeln

## 3.6.12 ALGINAT FOLIE

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02, AS-05
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche
- Lasercutter

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Die Suspension wird flach ausgegossen und über Nacht stehen gelassen
- Nach 24h mit CaCl<sub>2</sub> besprühen
- Wenn trocken im Lasercutter schneiden

### BEOBACHTUNGEN

- Nach der Standzeit hat sich die Suspension minimal zusammengezogen
- Suspension ist fester und nicht mehr zähflüssig, sehr homogener und fester Eindruck
- Nach dem besprühen zieht sich das Alginat nicht so stark zusammen
- Lässt sich im Lasercutter schneiden ohne zu verbrennen oder zu schmelzen

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Während der Standzeit verdunstet ein Teil des Wassers schon
- Luftblasen im Alginat entweichen
- Das Zusammenziehen wird schrittweise reduziert bzw. kontrollierter
- Alginat hält hohen Temperaturen stand

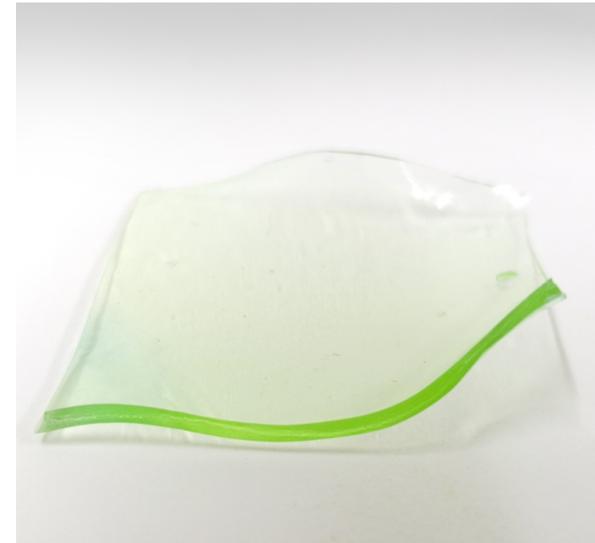
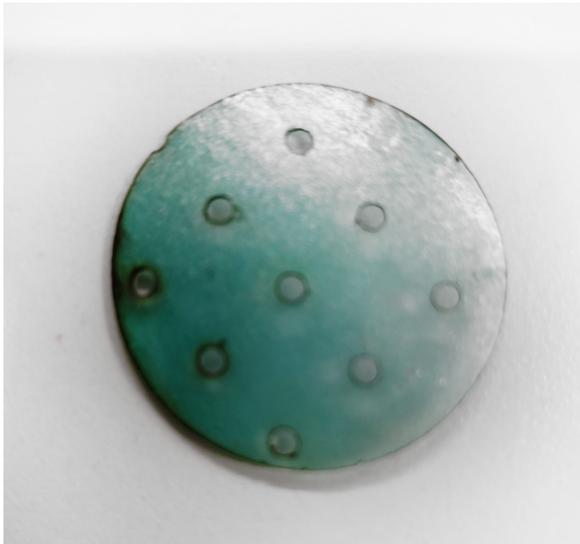


Abb. 196. Alginat-Folie



Abb. 197. Alginat-Folie



*Abb. 198. 1mm Alginatfolie geschnitten im Lasercutter*



*Abb. 199. 2,5mm Alginatfolie geschnitten im Lasercutter*

## 3.6.13 AKUSTISCHE MEMBRANEN

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02 , AS-05
- Finnpappe 3mm
- Lasercutter
- CaCl<sub>2</sub>-Lösung in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Die Alginat werden in verschiedenen Varianten ausgeführt und zwischen zwei Finnpappen Kreisen ( Ø 10cm) geklebt
- Extern wurden die Alginatproben in einem Impedanzrohr gemessen

### BEOBACHTUNGEN

- Die Ergebnisse sind auf den folgenden Seiten festgehalten



Abb. 200. Akustikproben



Abb. 201. Akustikproben



Abb. 202. Akustikprobe perforiert



Abb. 203. 01 Alginat\_B001\_001mm000L\_3KR\_01



Abb. 204. 05 Alginat\_G001\_002mm000L\_3KR\_01



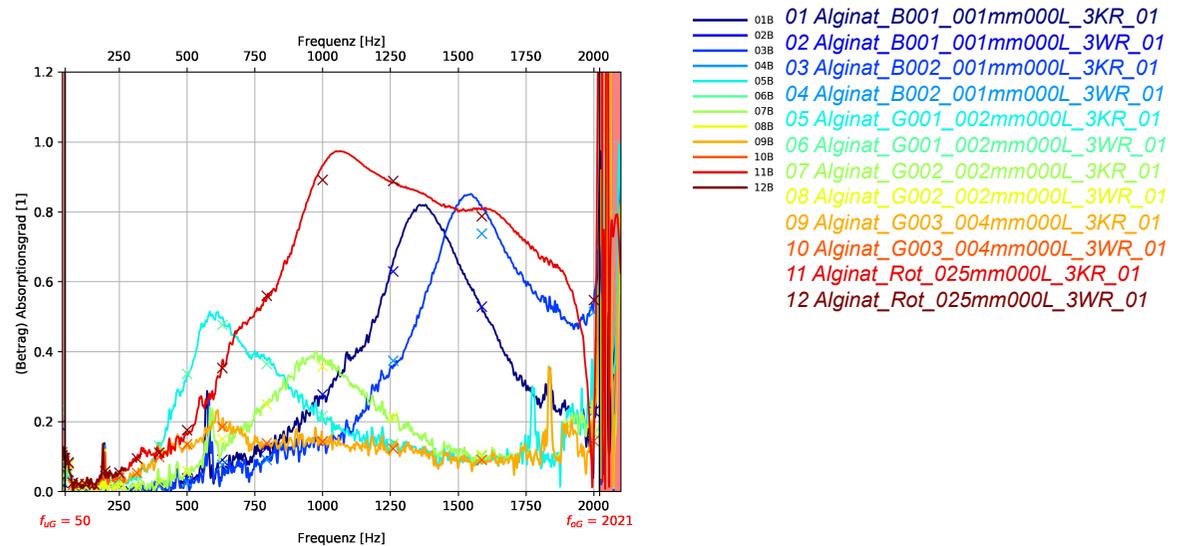
Abb. 205. 09 Alginat\_G003\_004mm000L\_3KR\_01

Die Schallabsorption wird mithilfe des Absorptionsgrades  $\alpha$  angegeben. Dabei bedeutet ein Wert gleich Null, dass keine Absorption stattfindet. Der Schall wird reflektiert. Beträgt  $\alpha$  einen Wert gleich 0,5, werden 50 % der Schallenergie absorbiert und 50 % reflektiert. Bei  $\alpha$  gleich 1 werden 100 % des Schalls absorbiert. Es findet keine Reflektion statt.

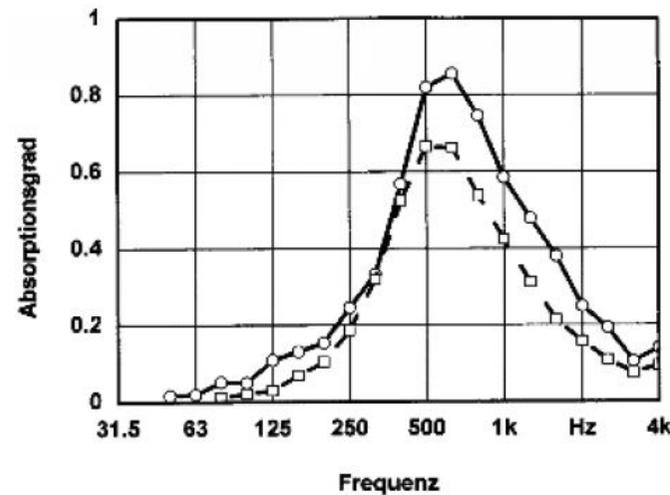
Die Werte auf der nächsten Seite zeigen jeweils den  $\alpha$  Wert bei bestimmten Frequenzen.

Die Grafik *Abb. 206* zeigt, dass die grünen Proben mit Lufteinschlüssen im Frequenzbereich um 500Hz den höchsten Absorptionsgrad aufweisen. Im Vergleich dazu eine Grafik für Mikroperforierte Platten mit Dicke 3 mm. *Abb. 207*

Die Werte weisen ähnliche Eigenschaften wie Mikroperforierten Folienabsorber auf. Der Vorteil der Alginatabsorber liegt in der transparenten Gestaltungsmöglichkeit. Lufteinschlüsse erhöhen die akustische Leistung der Absorber. Weitere Untersuchungen sind zur Zeit am Laufen.



*Abb. 206. Absorptionsgrad Alginatproben*



*Abb. 207. Absorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall eines einfach MPA*

| Eigenschaften | Glattungsfaktor | Rohrabschluss | Kombinationsfrequenz | Kombinationsbreite | Frequenzmarkierung 1 | Frequenzmarkierung 2 |
|---------------|-----------------|---------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
|               | 6               | schallhart    | 370 Hz               | 200 Hz             | 50 Hz                | 2021 Hz              |

| 01 - Alginat_B001_001mm000L_3xR_01 (Kombination) Betrag... |              |              |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 31.50 [Hz]   | 40.00 [Hz]   | 50.00 [Hz]   | 63.00 [Hz]   | 80.00 [Hz]   | 100.00 [Hz]  |
| 0.19   | 0.03         | 0.05         | 0.06         | 0.01         | 0.01         |
| 125.00 [Hz]  | 160.00 [Hz]  | 200.00 [Hz]  | 250.00 [Hz]  | 315.00 [Hz]  | 400.00 [Hz]  |
| 0.01   | 0.01         | 0.03         | 0.01         | 0.01         | 0.02         |
| 500.00 [Hz]  | 630.00 [Hz]  | 800.00 [Hz]  | 1000.00 [Hz] | 1250.00 [Hz] | 1600.00 [Hz] |
| 0.04   | 0.09         | 0.12         | 0.28         | 0.63         | 0.53         |
| 2000.00 [Hz]   | 2500.00 [Hz] | 3150.00 [Hz] | 4000.00 [Hz] | 5000.00 [Hz] | 6300.00 [Hz] |
| 0.23   | nan          |              |              |              |              |

| 02 - Alginat_B002_001mm000L_3xR_01 (Kombination) Betrag... |              |              |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 31.50 [Hz]   | 40.00 [Hz]   | 50.00 [Hz]   | 63.00 [Hz]   | 80.00 [Hz]   | 100.00 [Hz]  |
| 0.07   | 0.1          | 0.09         | 0.08         | 0.02         | 0.02         |
| 125.00 [Hz]  | 160.00 [Hz]  | 200.00 [Hz]  | 250.00 [Hz]  | 315.00 [Hz]  | 400.00 [Hz]  |
| 0.01   | 0.01         | 0.02         | 0.01         | 0.01         | 0.02         |
| 500.00 [Hz]  | 630.00 [Hz]  | 800.00 [Hz]  | 1000.00 [Hz] | 1250.00 [Hz] | 1600.00 [Hz] |
| 0.03   | 0.08         | 0.09         | 0.14         | 0.37         | 0.74         |
| 2000.00 [Hz]   | 2500.00 [Hz] | 3150.00 [Hz] | 4000.00 [Hz] | 5000.00 [Hz] | 6300.00 [Hz] |
| 0.51   | nan          |              |              |              |              |

| 05 - Alginat_G001_002mm000L_3xR_01 (Kombination) Betrag... |              |              |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 31.50 [Hz]   | 40.00 [Hz]   | 50.00 [Hz]   | 63.00 [Hz]   | 80.00 [Hz]   | 100.00 [Hz]  |
| 0.24   | 0.03         | 0.05         | 0.05         | 0.01         | 0.01         |
| 125.00 [Hz]  | 160.00 [Hz]  | 200.00 [Hz]  | 250.00 [Hz]  | 315.00 [Hz]  | 400.00 [Hz]  |
| 0.01   | 0.01         | 0.03         | 0.03         | 0.04         | 0.13         |
| 500.00 [Hz]  | 630.00 [Hz]  | 800.00 [Hz]  | 1000.00 [Hz] | 1250.00 [Hz] | 1600.00 [Hz] |
| 0.34   | 0.48         | 0.36         | 0.22         | 0.14         | 0.1          |
| 2000.00 [Hz]   | 2500.00 [Hz] | 3150.00 [Hz] | 4000.00 [Hz] | 5000.00 [Hz] | 6300.00 [Hz] |
| 0.17   | nan          |              |              |              |              |

| 08 - Alginat_G002_002mm000L_3xR_01 (Kombination) Betrag... |              |              |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 31.50 [Hz]   | 40.00 [Hz]   | 50.00 [Hz]   | 63.00 [Hz]   | 80.00 [Hz]   | 100.00 [Hz]  |
| 0.06   | 0.1          | 0.09         | 0.08         | 0.02         | 0.02         |
| 125.00 [Hz]  | 160.00 [Hz]  | 200.00 [Hz]  | 250.00 [Hz]  | 315.00 [Hz]  | 400.00 [Hz]  |
| 0.01   | 0.01         | 0.02         | 0.01         | 0.01         | 0.03         |
| 500.00 [Hz]  | 630.00 [Hz]  | 800.00 [Hz]  | 1000.00 [Hz] | 1250.00 [Hz] | 1600.00 [Hz] |
| 0.06   | 0.15         | 0.25         | 0.36         | 0.21         | 0.11         |
| 2000.00 [Hz]   | 2500.00 [Hz] | 3150.00 [Hz] | 4000.00 [Hz] | 5000.00 [Hz] | 6300.00 [Hz] |
| 0.18   | nan          |              |              |              |              |

| 09 - Alginat_G003_004mm000L_3xR_01 (Kombination) Betrag... |              |              |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 31.50 [Hz]   | 40.00 [Hz]   | 50.00 [Hz]   | 63.00 [Hz]   | 80.00 [Hz]   | 100.00 [Hz]  |
| 0.04   | 0.11         | 0.1          | 0.08         | 0.02         | 0.02         |
| 125.00 [Hz]  | 160.00 [Hz]  | 200.00 [Hz]  | 250.00 [Hz]  | 315.00 [Hz]  | 400.00 [Hz]  |
| 0.02   | 0.02         | 0.04         | 0.04         | 0.05         | 0.1          |
| 500.00 [Hz]  | 630.00 [Hz]  | 800.00 [Hz]  | 1000.00 [Hz] | 1250.00 [Hz] | 1600.00 [Hz] |
| 0.14   | 0.18         | 0.14         | 0.14         | 0.12         | 0.09         |
| 2000.00 [Hz]   | 2500.00 [Hz] | 3150.00 [Hz] | 4000.00 [Hz] | 5000.00 [Hz] | 6300.00 [Hz] |
| 0.14   | nan          |              |              |              |              |

| 11 - Alginat_Rot_025mm000L_3xR_01 (Kombination) Betrag... |              |              |              |              |              |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 31.50 [Hz]  | 40.00 [Hz]   | 50.00 [Hz]   | 63.00 [Hz]   | 80.00 [Hz]   | 100.00 [Hz]  |
| 0.03  | 0.1          | 0.1          | 0.08         | 0.02         | 0.02         |
| 125.00 [Hz]   | 160.00 [Hz]  | 200.00 [Hz]  | 250.00 [Hz]  | 315.00 [Hz]  | 400.00 [Hz]  |
| 0.02  | 0.02         | 0.06         | 0.05         | 0.1          | 0.11         |
| 500.00 [Hz]   | 630.00 [Hz]  | 800.00 [Hz]  | 1000.00 [Hz] | 1250.00 [Hz] | 1600.00 [Hz] |
| 0.18  | 0.35         | 0.56         | 0.89         | 0.89         | 0.79         |
| 2000.00 [Hz]  | 2500.00 [Hz] | 3150.00 [Hz] | 4000.00 [Hz] | 5000.00 [Hz] | 6300.00 [Hz] |
| 0.55  | nan          |              |              |              |              |



## 3.7 VERSUCHSANALYSE

**H**ervorragend ist, dass das Alginat nicht nur in  $\text{CaCl}_2$  extrudiert werden muss. Ein Besprühen ist genauso möglich. Dies erweitert die Anwendungsgebiete des Alginates enorm. So können Matten, als auch dünne Folien, Membranen oder sogar Luftkissen erstellt werden.

Bei der Herstellung von Matten helfen die Gussformen dem Zusammenziehen deutlich entgegenzuwirken. Zwar sind zu tiefe Formen ungeeignet, aber der Gestaltungsfreiheit sind sonst kaum Grenzen gesetzt. Selbst der Einsatz des Lasercutters erzielt gute Ergebnisse, das Alginat kann problemlos geschnitten werden.

Auch wenn das Alginat keinen Klebeeffekt im herkömmlichen Sinne hat, kann es nichtsdestotrotz zwei Elemente miteinander verbinden, wenn diese völlig mit der Suspension ummantelt werden. Hier liegt jedoch die Schwierigkeit, dass es trotzdem zum Reißen kommen kann, wenn das Alginat ein Objekt nicht genug umschließt. Auch kann der Untergrund auf dem gearbeitet wird hier Einfluss haben. Auf einer glatten und ebenen Flächen kann das Alginat beim Zusammenziehen besser gleiten als auf einer rauen Oberfläche. Eine raue Arbeitsfläche beeinflusst wiederum die Oberflächenstruktur des Alginates.

Somit muss auch auf die äußeren Faktoren geachtet werden.

Das nachträgliche Verbiegen der Alginat-Draht Elemente ist ideal um sonst schwer erhältliche Formen wie die eines Hyperbolischen Paraboloiden zu erstellen.

Ebenso sind auch die aufgeblasenen Elemente mehr als interessant, da sie einmal ausgehärtet ihre Form behalten und keine konstante Luftzufuhr benötigen. Die Formen dieser Luftkissen kann ebenfalls zu einem großen Teil gesteuert werden, leider kamen diese Versuche zu keinem Ergebnis bzgl. eines Alginatrahmens für die Alginatkissen.

Erfreulich ist, dass der Kontakt mit Dominik Hemmer BSc, zustande gekommen ist. In Rahmen seiner Arbeit *Absorberdesign für den tiefen Frequenzbereich* untersuchte er die Alginatfolien auf ihre akustische Wirksamkeit. Dabei stellte er ähnliche Eigenschaften mit Mikroperforierten Folienabsorbieren fest. Weitere Untersuchungen sind noch am Laufen.

Die erhaltenen Ergebnisse dieser Reihe werden im nächsten Kapitel in ein architektonisches Beispiel übertragen.

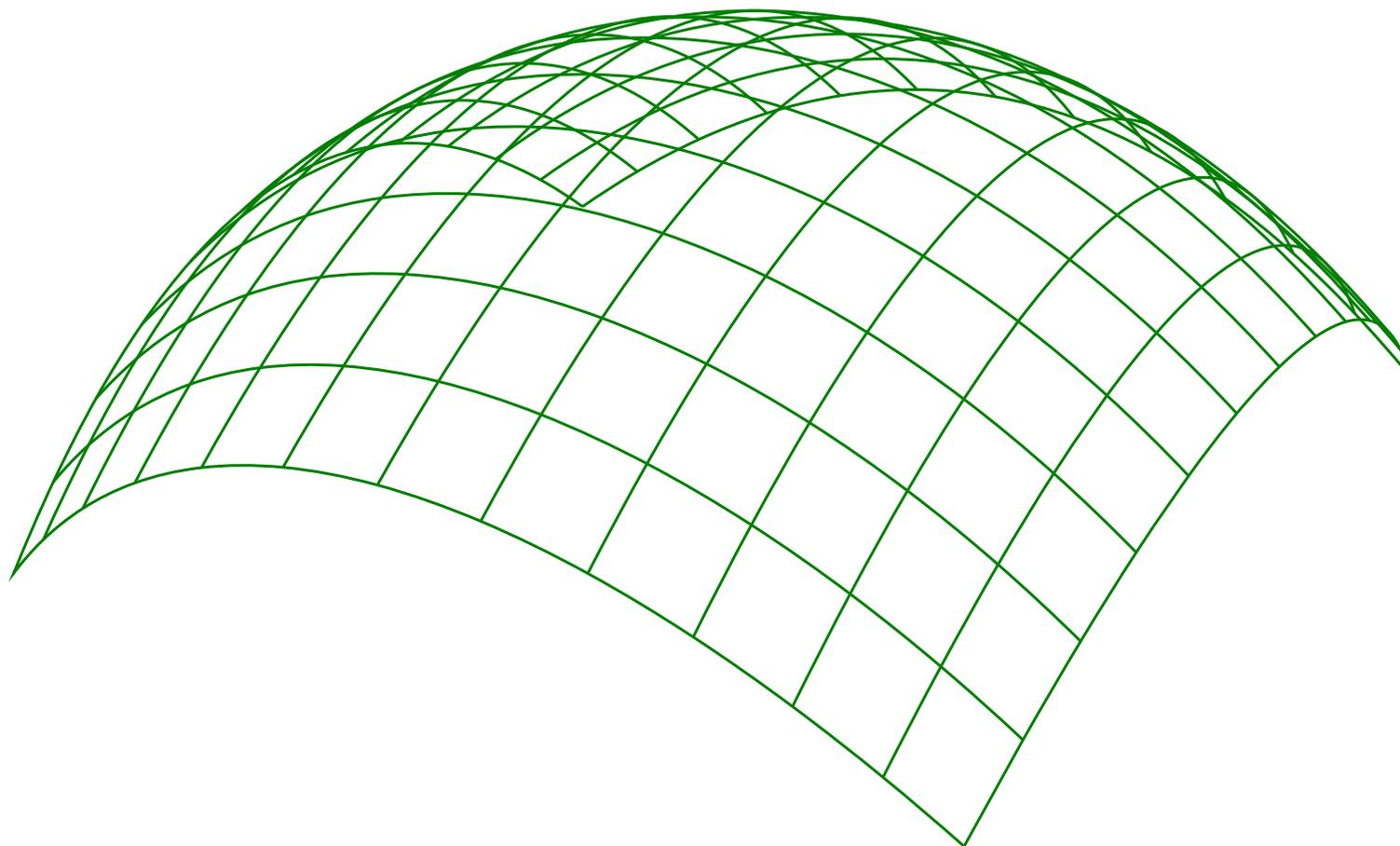


Abb. 208. Grafik, Pavillon

# 3.8

## ARCHITEKTONISCHER ANSATZ

**E**s ergeben sich hier mehrere Vorschläge wie das Alginat in der Architektur Fuß fassen kann.

Die Alginat Bubbles als auch die Alginatschaum Kugeln könnten sogar in diesem Größenmaßstab als Zusatzstoffe im Betonbau eingesetzt werden. Statt herkömmlicher Hohlkörper aus Kunststoff könnten diese durch Alginat-Hohlkörper ersetzt werden.

Vielversprechend sind auch die Akustikwerte welche die Alginatproben erreicht haben. Ein großer Vorteil des Alginats hierbei ist seine transparente Eigenschaft. Lichtdurchlässige Akustiklösungen sind derzeit nur sehr schwach auf dem Markt vertreten. Diverse Akustikfolien, sowie bis jetzt nur ein transparentes Paneel, das AIR-board® acoustic bzw. AIR-board® acoustic quiet von der Design Composite GmbH, sind erhältlich.

AIR-board® Akustik besteht aus mikroperforierten Außenschichten und erreicht eine Schallabsorption bis zu 70 % . Das Problem aber, das Akustikpaneel besteht zu 100 % aus Kunststoff, wie auch die Akustikfolien.<sup>57</sup>

Hier könnte das Alginat als eine biologische, nachhaltige Alternative eingesetzt werden. Das Erstellen von größeren Flächen ist genauso möglich, wie Zuschnitt, Material-dicke,

<sup>57</sup> Vgl. <https://www.design-composite.com/de/akustik>, 20.04.2021

Transparenz und Farbe. Hier hat Alginat definitiv Potenzial welches durch weitere Forschung bis zur Alltagstauglichkeit und Industriereife ausgearbeitet werden kann.

Im Alginatschaumstoff ist ebenfalls sehr großes Potenzial enthalten. Die Dissertationen von Manfred Winter und Thomas Strasser (*TU Graz 1997- 98*) setzten sich intensiv mit den von Ihnen bezeichneten Alginsulat-Verfahren auseinander. In Zusammenarbeit mit dem *VPZ Graz* wurde das Verfahren sogar patentiert.<sup>58</sup> Angedacht war es als Styropor Ersatz in der Baubranche sowie vorrangig in der Verpackungsindustrie.

Der architektonische Vorschlag dieser Arbeit befasst sich mit einem Pavillon aus Alginat Luftkissen, wie sie im *Kapitel 3.6.9* beschrieben sind.

Mithilfe von Rhinoceros und Grasshopper wird ein für diesen Zweck repräsentativer parametrischer Pavillon entworfen. Das geometrische Prinzip basiert auf einer Schiebefläche, die die Grundform des Pavillons bestimmt. In einem Grundgerüst werden dann die aufgeblasenen Luftkissen eingesetzt. Der Rahmen für alle diese Kissen ist gleich. Durch die Menge an Suspension und einge-

blasener Luft kann das Volumen der Membranen jedoch variiert werden.

Ideal wäre ebenfalls ein auf Alginat basierendes Grundgerüst. Dieses kann aber bedenkenlos aus Stahl, Holz, Bambus, Weidengeflecht etc. bestehen. Genauso verhält es sich mit den Rahmen für die einzelnen Luftkissen.

Durch verschieden farbige Luftkissen, oder den Einsatz von LEDs inner- und außerhalb der Kissen kann zusätzlich Spannung erzeugt werden.



<sup>58</sup> Vgl. <https://vpz.at/medien/biopioniere/>, 20.04.2021

Abb. 209. Alginsulat - VPZ Graz

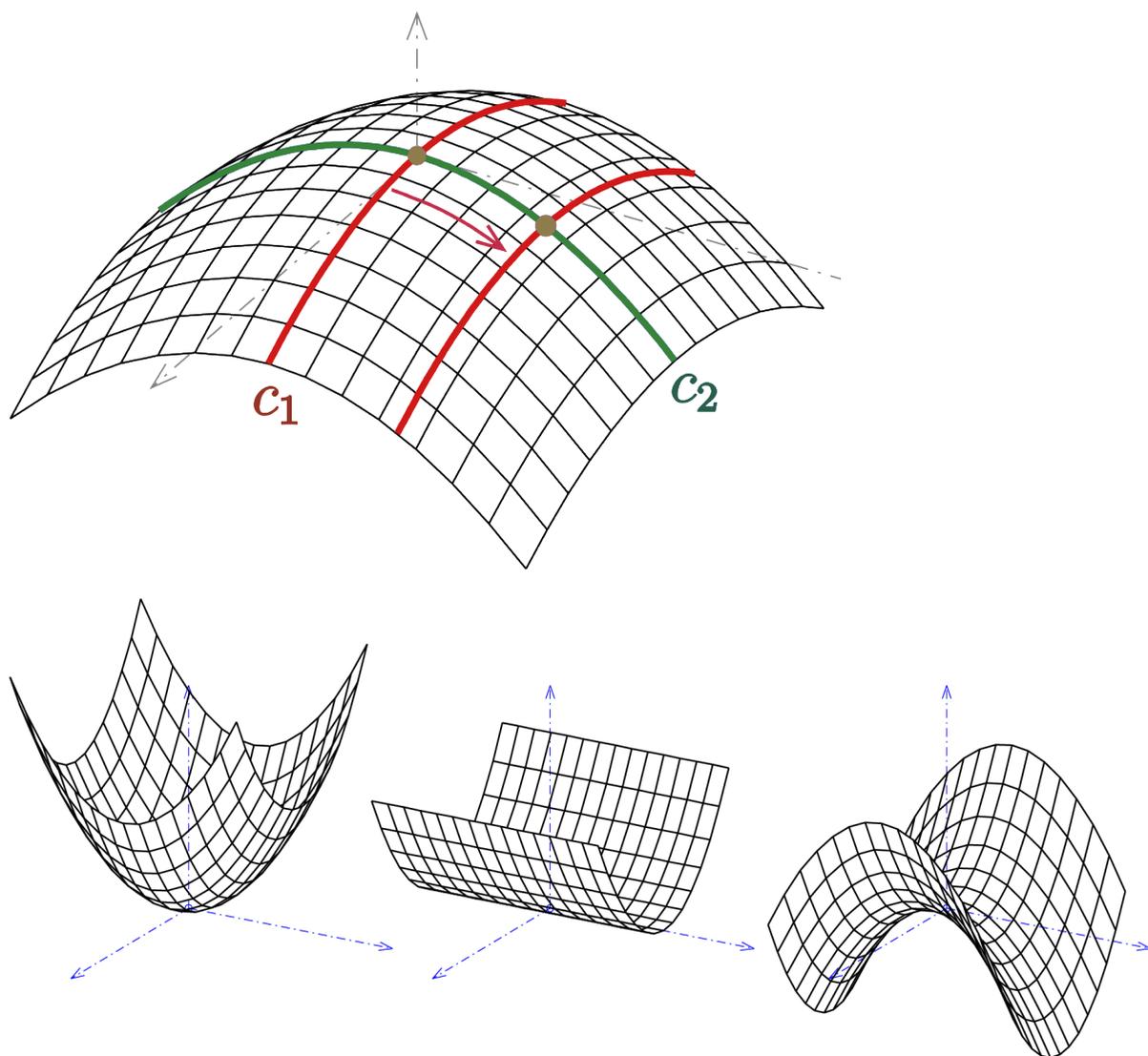


Abb. 210. Grafik Schiebfläche

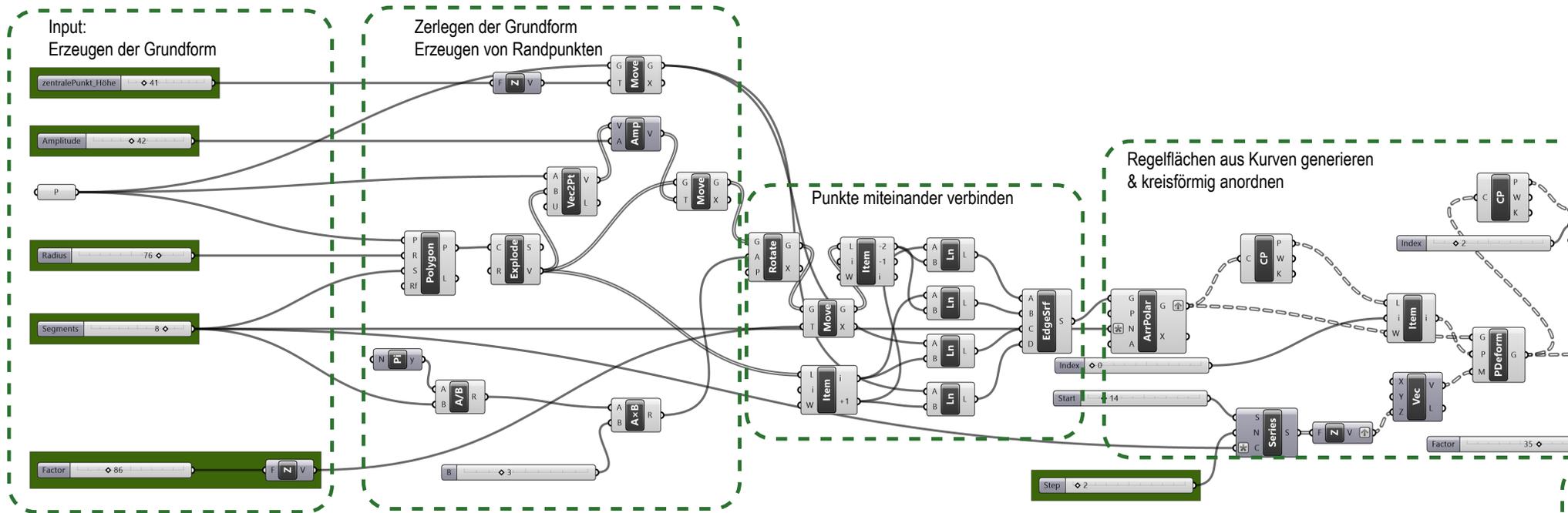


Abb. 211. Grasshopper Skript



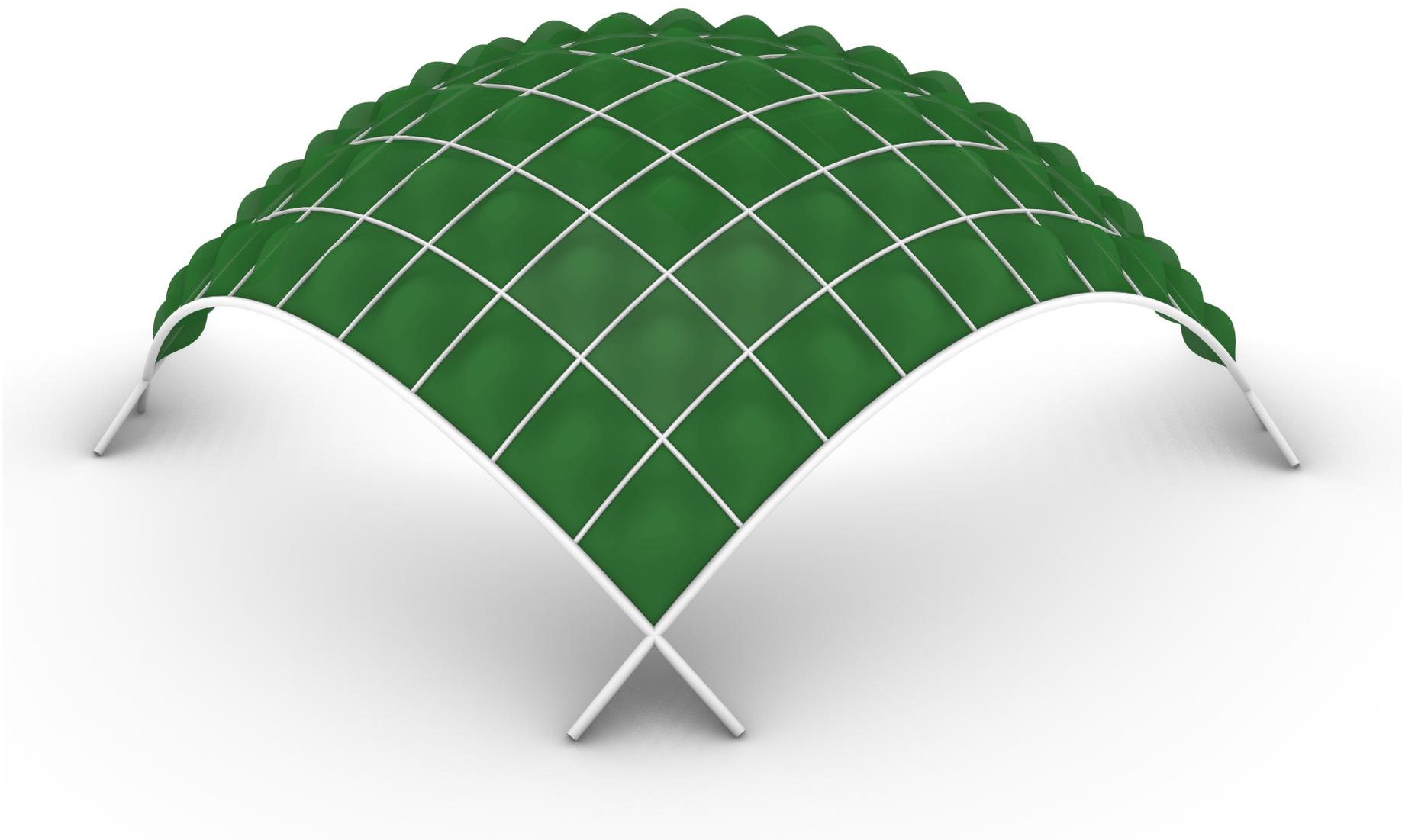


Abb. 212. 3D Modell - Perspektive

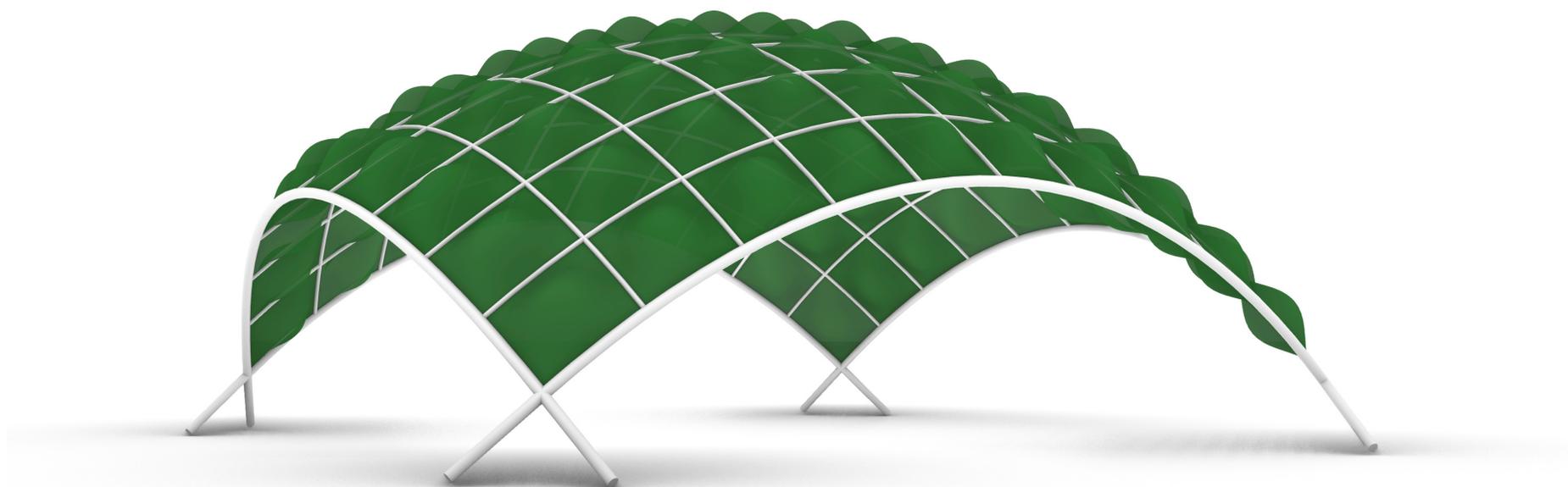


Abb. 213. 3D Modell - Perspektive

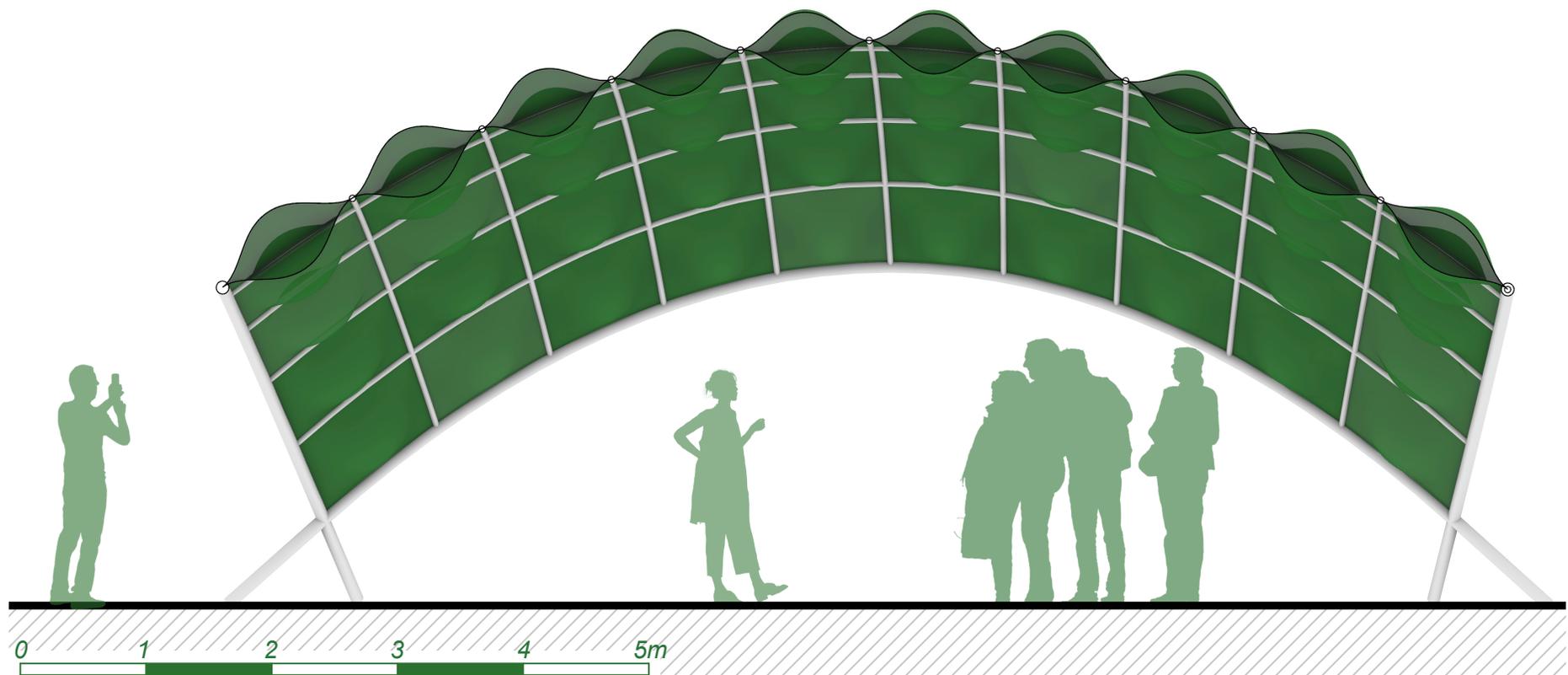


Abb. 214. Schnitt Bubble-Pavillon

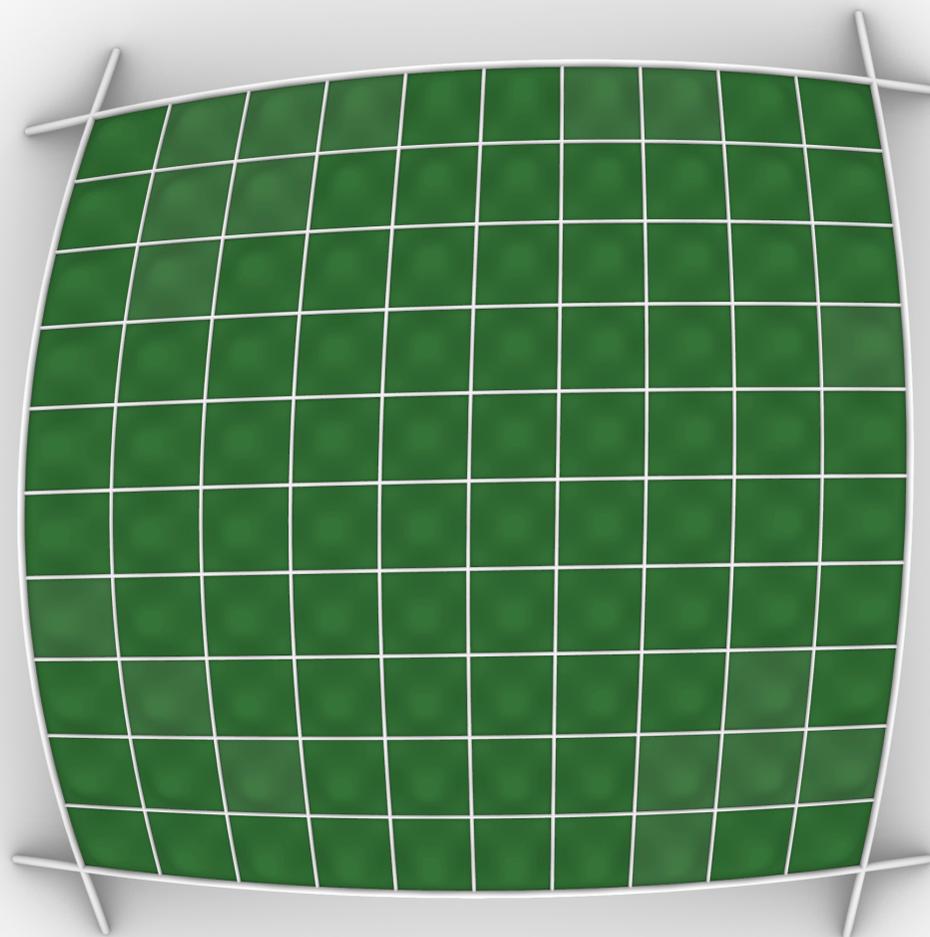


Abb. 215. Draufsicht Bubble-Pavillon



Abb. 216. Alginat & Textil

# 3.9

## ALGINAT VERBUND ELEMENTE

**W**ie beim Textil, so kann auch Alginat im Verbund mit anderen Materialien eingesetzt werden.

Es wird untersucht inwiefern Alginat und Verbundstoff ihre Eigenschaften ändern oder welche Werkstoffe überhaupt geeignet sind. Eigenschaften des Alginates, wie das Zusammenziehen, welche zum Teil störende Faktoren sind, können im Verbund einen durchaus positiven und wünschenswerten Effekt haben.

Was das Alginat nicht in der Lage ist selber zu leisten kann durch den Verbund geschehen. Durch Zugabe von Zusatzstoffen variieren die Eigenschaften des Alginates deutlich und können je nach Einsatzgebiet gesteuert werden. Doch in den folgenden Experimenten geht es vielmehr darum wie das Alginat mit anderen Materialien agiert.

## 3.9.1 ALGINAT & KERAMIK

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- 5 unterschiedliche Alginatgarne
- flüssig Keramik

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Die Alginatgarne werden einzeln in flüssige Keramik getunkt
- Zum Lufttrocknen werden die Garne aufgehängt

### BEOBACHTUNGEN

- Die Keramik trocknet am Garn, jedoch kann sie sich nicht mit dem Alginat verbinden
- Die Keramik kann mühelos vom Garn abgezogen werden

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Damit die Keramik haften bleibt müsste das Garn noch zusätzlich behandelt werden. Zusätzlicher Einsatz von Chemikalien wäre nötig um Haftung zu erzeugen



Abb. 217. Alginatgarne in Keramik getunkt



Abb. 218. AS-04 in Keramik



Abb. 219. AS-02 in Keramik

## 3.9.2 ALGINATÜBERZUG

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-05
- Draht
- CaCl<sub>2</sub>-Bad

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Draht durch Suspension ziehen
- Draht durch CaCl<sub>2</sub>-Bad ziehen

### BEOBACHTUNGEN

- Das Alginat umschließt den Draht
- Der Draht lässt sich mit dem trockenen Alginat weiterhin biegen
- Das Alginat kann vom Draht abgezogen werden

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Das Alginat wirkt hier wie eine schützende Gummischicht wie z.B. bei Elektroka-  
beln

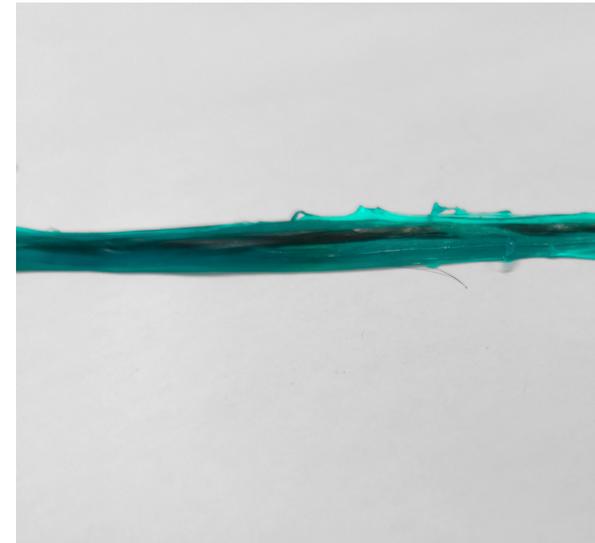


Abb. 220. Draht mit Alginatbeschichtung



Abb. 221. Draht mit Alginatbeschichtung

### 3.9.3 ALGI-LIGHT

#### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02
- Lichtdraht mit LEDs
- $\text{CaCl}_2$  in Sprühflasche

#### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Das Alginat wird flach ausgegossen
- In das Alginat den Lichterdraht hineinlegen sodass er ganz in der Suspension liegt
- Mit  $\text{CaCl}_2$  besprühen
- Wenn trocken Draht an Stromquelle anschließen

#### BEOBACHTUNGEN

- Das Alginat umschließt den Draht
- Der Draht leuchtet wenn an Stromquelle angeschlossen

#### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Es kommt zu keiner thermischen- sondern zu einer chemischen Reaktion, von daher besteht keine Gefahr dass der Draht schmilzt oder die elektrischen Komponenten beschädigt werden



Abb. 222. Alginat mit Leuchtdraht



Abb. 223. Leuchtendes Alginat

## 3.9.4 ALGINAT & STOFF - 01

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-04, AS-
- Textil (Baumwolltuch)
- Spritze
- CaCl<sub>2</sub> in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Textil flach ausbreiten
- Spritze mit Suspension füllen
- Mit der Spritze Muster auf Textil zeichnen
- Mit CaCl<sub>2</sub> besprühen

### BEOBACHTUNGEN

- Einmal getrocknet verbindet sich das Alginat sehr gut mit der Baumwolle
- Beim Trocknen zieht das Alginat den Stoff mit, das aufgezeichnete Muster ist deutlich zu erkennen

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Das Alginat umschließt die feinen Baumwollfasern, somit bleibt es auf dem Stoff haften
- Das Zusammenziehen bewirkt dass der Stoff mitgezogen wird, eine Reliefartige Struktur entsteht

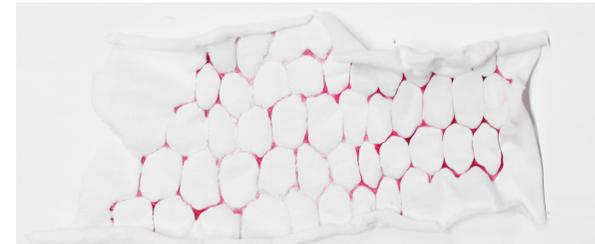


Abb. 224. Alginat & Stoff



Abb. 225. Alginat & Stoff im Detail



Abb. 226. frisches Alginat auf Stoff



Abb. 227. trockenes Alginat auf Stoff

## 3.9.5 ALGINAT & STOFF - 02

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-02
- Finnpappenform aus *Kapitel 3.6.1*
- Textil (Baumwolltuch)
- $\text{CaCl}_2$  in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Das Textil wird flach ausgebreitet
- Die Finnpappenform wird draufgelegt
- Mit der Suspension bestreichen
- Mit  $\text{CaCl}_2$  besprühen
- Wenn trocken in Wasser tauchen und wieder rausholen
- letzten Schritt öfters wiederholen

### BEOBACHTUNGEN

- Wie in *Kapitel 3.9.4* zieht sich der Stoff zusammen
- Im Wasser quillt das Alginat an, das Textil erhält wieder seine Urform
- Beim trocknen zieht es sich wieder zusammen

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Kommt das Alginat mit Wasser in Kontakt, nehmen die Wassermoleküle wieder mehr Platz ein, das Alginat quillt auf
- Dieser Effekt kann beliebig oft wiederholt werden
- Das Alginat wirkt wie ein Aktivator der den Stoff bewegt



Abb. 228. Alginat & Stoff mit  $\text{CaCl}_2$  besprüht



Abb. 229. getrocknetes Alginat & Stoff - Rückseite

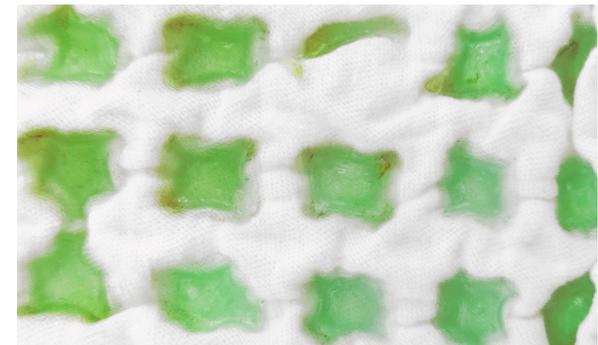


Abb. 230. getrocknetes Alginat & Stoff - Vorderseite

## 3.9.6 ALGINAT IM NETZ

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-05
- **PACKNATUR®** Cellulose Netz
- Spritze mit Nadel
- CaCl<sub>2</sub> in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Das Netz wird flach ausgebreitet und mit der Suspension bestrichen
- Besprühen mit CaCl<sub>2</sub>
- Teils mit der Spritze aufblasen

### BEOBACHTUNGEN

- Das Netz verbindet sich sehr gut mit dem Alginat
- Beim aufblasen entstehen spannende Formen, teils liegt das Netz auf der Alginatoberfläche, teils verläuft es mittig durch aufgeblasene Alginatkugeln
- Zum Teil wird das Netz stark mitgezogen beim Trocknungsprozess
- In Kombination mit dem Alginat wird das Netz sehr hart

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Netz und Alginat steifen sich gegenseitig aus sodass dieses sehr hart wird



Abb. 231. Alginat & Netz

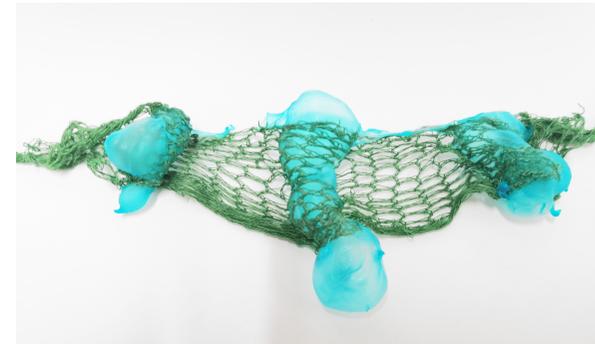


Abb. 232. Alginat & Netz



Abb. 233. Alginat & Netz

## 3.9.7 ALGINATSTÜTZE

### MATERIALEN & VERSUCHSAUFBAU

- AS-04
- Strickmaschine - *Addi Express*
- Wollgarn
- Draht
- Holzrahmen
- Spachtel
- CaCl<sub>2</sub> in Sprühflasche

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Das Wollgarn wird mithilfe der Strickmaschine zu einem Schlauch gestrickt (100 Reihen)
- Schlauch aufspannen im Holzrahmen
- Draht kann in den Schlauch hinzugegeben werden
- Bestreichen mit AS-04 und besprühen danach trocknen lassen (Schritt 2-mal ausführen)
- Aus dem Rahmen befreien

### BEOBACHTUNGEN

- Alginat und Wolle verbinden sich sehr gut
- Nach einmaligen Bestreichen wirkt der Schlauch schon sehr ausgehärtet
- Wenn auch zweite Schicht trocken ist der Schlauch komplett steif und steht von alleine

### AUSWERTUNG / NOTIZEN

- Die Chitosanhaltige Suspension hat einen aussteifenden Charakter auf die Wolle
- Beliebige Formen könnten so fixiert werden



Abb. 234. Addi Express Kingsize



Abb. 235. gestrickter Schlauch



Abb. 236. aufgespannter Schlauch



Abb. 237. Schlauch Detail

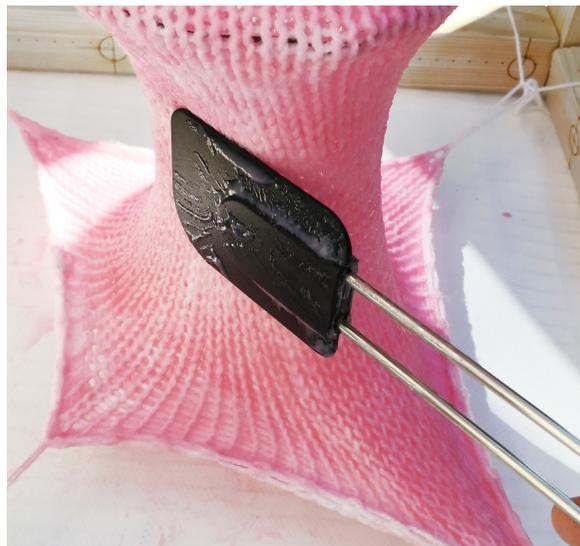


Abb. 239. auftragen von Alginat mit Spachtel



Abb. 241. getrocknete Alginat Verbund Stütze



Abb. 238. Schlauch Detail

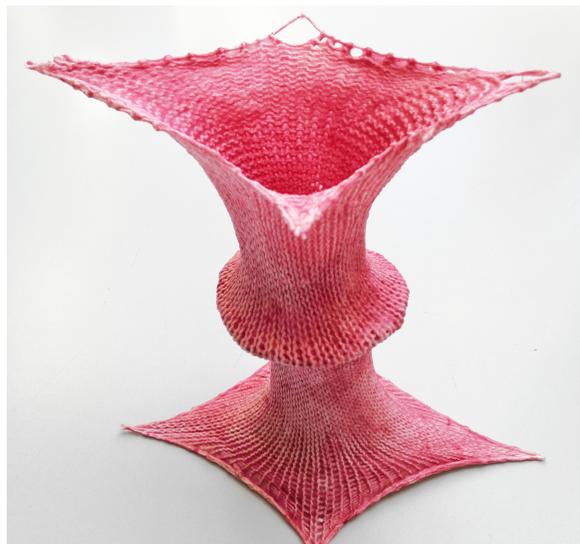


Abb. 240. getrocknete Alginat Verbund Stütze



Abb. 242. getrocknete Alginat Verbund Stütze Detail



## 3.10 **VERSUCHSANALYSE**

**S**elbst im Verbund kann Alginat angewendet werden. Wie bereits erwähnt, hat Alginat nicht die klassische Klebewirkung. Nichtsdestotrotz kann es zum Teil ohne weitere Bearbeitung mit anderen Materialien kombiniert werden.

Die Keramikummantlung hat gezeigt dass diese Art der Verbindung für das Alginat nicht geeignet ist. Hier müsste weiter untersucht werden warum diese Verbindung nicht zu Stande kommt und wie man ihr entgegenkommen kann.

Anders sieht es aus wenn das Alginat als Mantel fungiert. Wir wissen das Alginat andere Materialien umschließen kann. Es findet hier zwar keine Verschmelzung statt, da der chemische Prozess beim Ionenaustausch nur zwischen Alginat und Calcium stattfindet. Jedoch bieten sich Stoffe sehr gut an da hier das Alginat die Möglichkeit hat sich mit jeder einzelnen Faser zu Verbinden.

Spannend ist, das Alginat und das Netz vom VPZ Graz, zusammen ein sehr stabiles Produkt ergeben. So auch die Kombination mit dem Wollschlauch. Zwar wird zu Beginn viel Suspension eingesetzt um den Schlauch zu bestreichen, insgesamt 900g AS-04, am Ende jedoch bringt der getrocknete Schlauch nur 93 Gramm auf die Waage. Eine sehr

leichte aber dennoch stabile Konstruktion. Auch hier kann sicherlich mit dem Wegfall von Glycerin und der Erhöhung von Chitosan die Suspension optimiert werden.

Was in manchen Versuchen einen lästigen Nebeneffekt hatte, kann anders gesehen genau den gewünschten Effekt hervorrufen. Das Alginat als Aktivator. Das Zusammenziehen als gezielter Effekt bzw. Anwendung.

Erneut folgt eine Interpretation, der Anwendung innerhalb der Architektur.

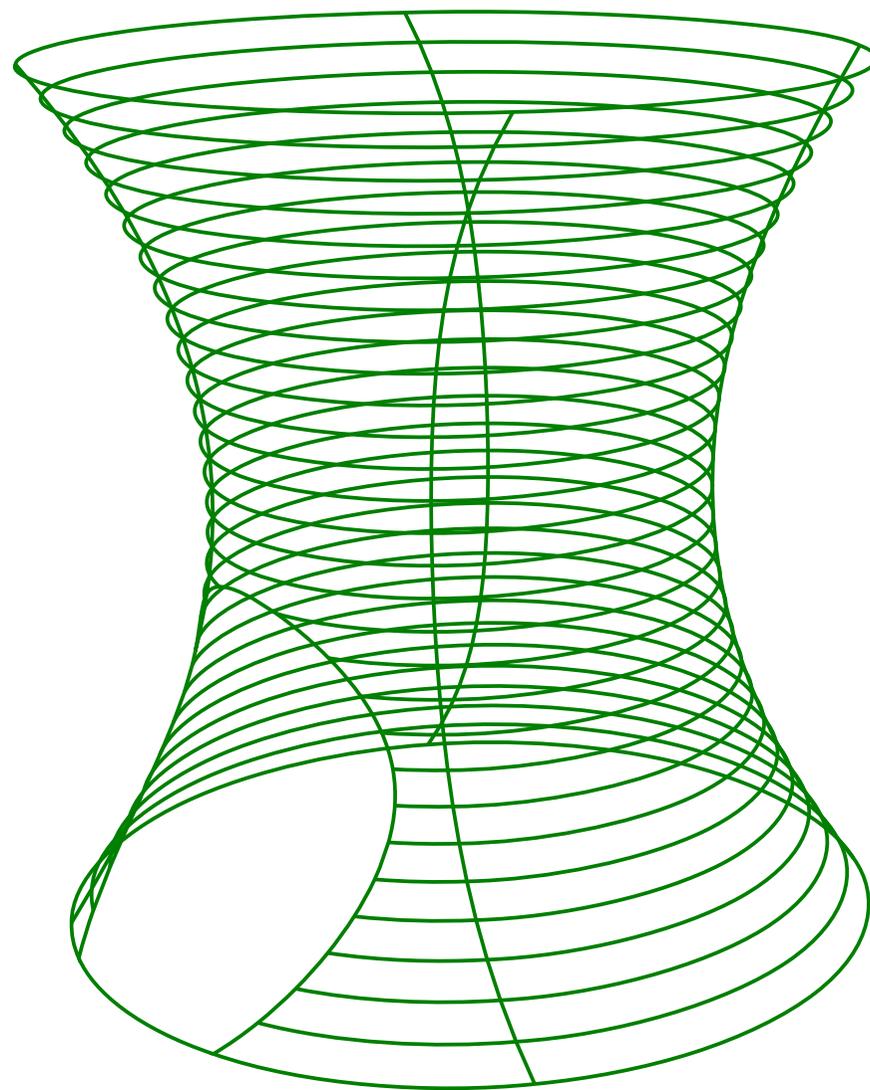


Abb. 243. Grafik - Pavillon

## 3.11 ARCHITEKTONISCHER ANSATZ

Auch in dieser Versuchsreihe wird das Potenzial von Alginat sichtbar. Manche Vermutungen haben sich als richtig erwiesen. Das Zusammenziehen kann durchaus einen positiven Effekt haben und als Aktivator dienen. Andere Versuche werfen weitere Fragen auf und bedürfen weiterer Untersuchungen (Alginat und Keramik).

Anwendungsbereiche lassen sich auch hier finden. So könnte ein Alginatüberzug durchaus eine Alternative zu handelsüblichen Gummiüberzügen bei Stromkabeln etc. darstellen.

Vielversprechend ist dabei das *Kapitel 3.9.6*. In Verbindung mit dem Netz entsteht ein Verbund wie bei Stahlbeton, Druck und Zug werden von den einzelnen Elementen aufgenommen. Außerdem erhalten sie im Verbund eine Steifigkeit die die einzelnen Elemente alleine nicht in der Lage sind auszubilden.

Ähnlich verhält sich das Alginat mit dem gestrickten Schlauch, hier verleiht das Alginat der Wolle Rigidität.

Wie das Beispiel der *KnitCandela* gezeigt hat kann Stoff hervorragend als Schalung dienen. Dieses Prinzip kann auch hier angewendet werden. Idealerweise könnte auch das Textil durch Alginat ersetzt werden. Aus

den vorherigen Versuchen zeigt sich das sich Alginat stricken lassen kann.

Der folgende Vorschlag zeigt erneut ein architektonisches Anwenden in Form eines Verbund Pavillons basierend auf *Kapitel 3.9.7*.

Rhinoceros und Grasshopper bilden wieder die Grundlage für einen parametrischen Entwurf. Um die Verbundfähigkeit des Alginates zu beweisen kann wieder Wolle herangezogen werden. Der Vorteil liegt darin dass der Aufbauprozess des Pavillons leicht, kosten- und ressourcenschonend ist.

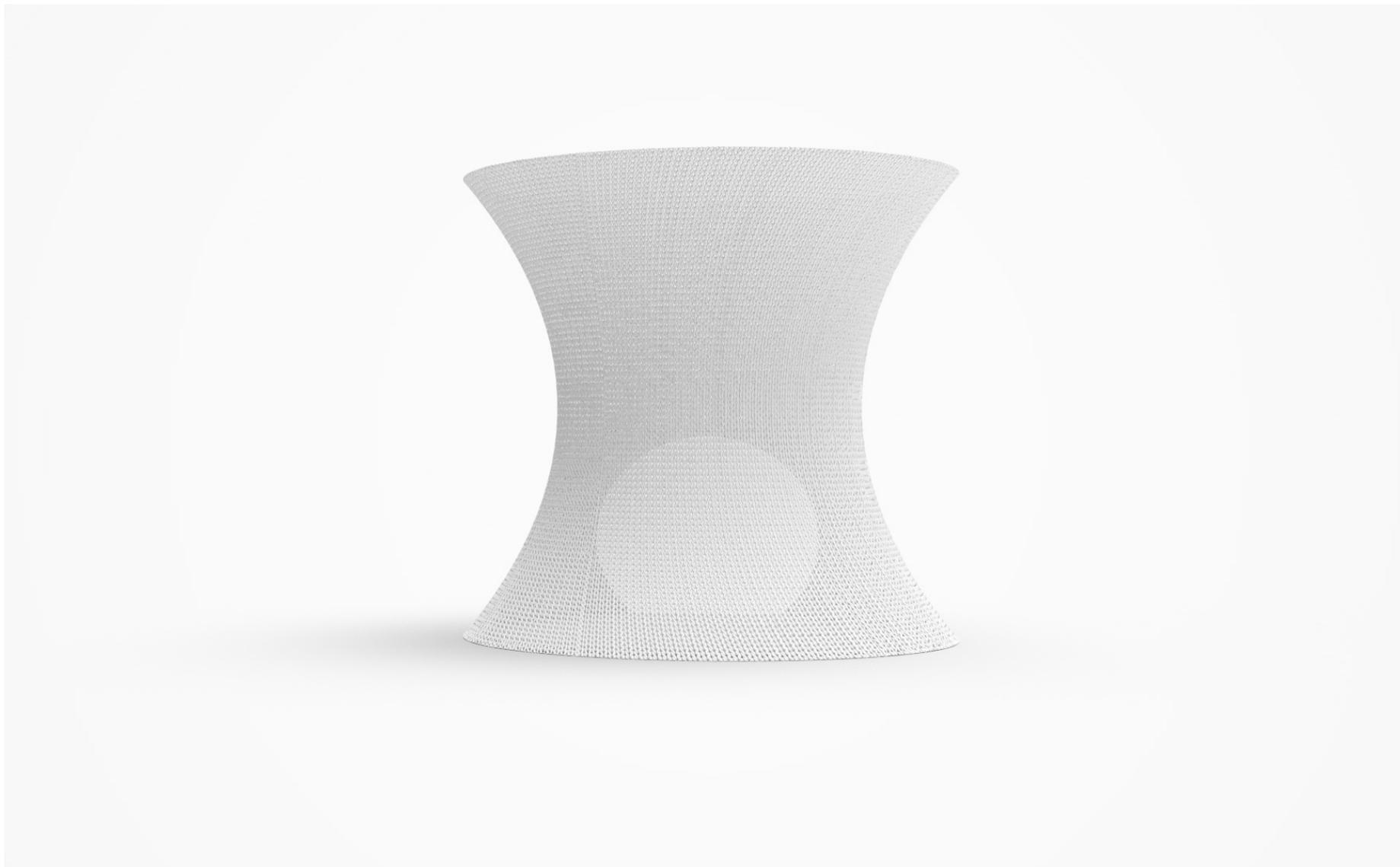


Abb. 244. 3D Modell Strick-Pavillon



Abb. 245. 3D Modell Strick-Pavillon

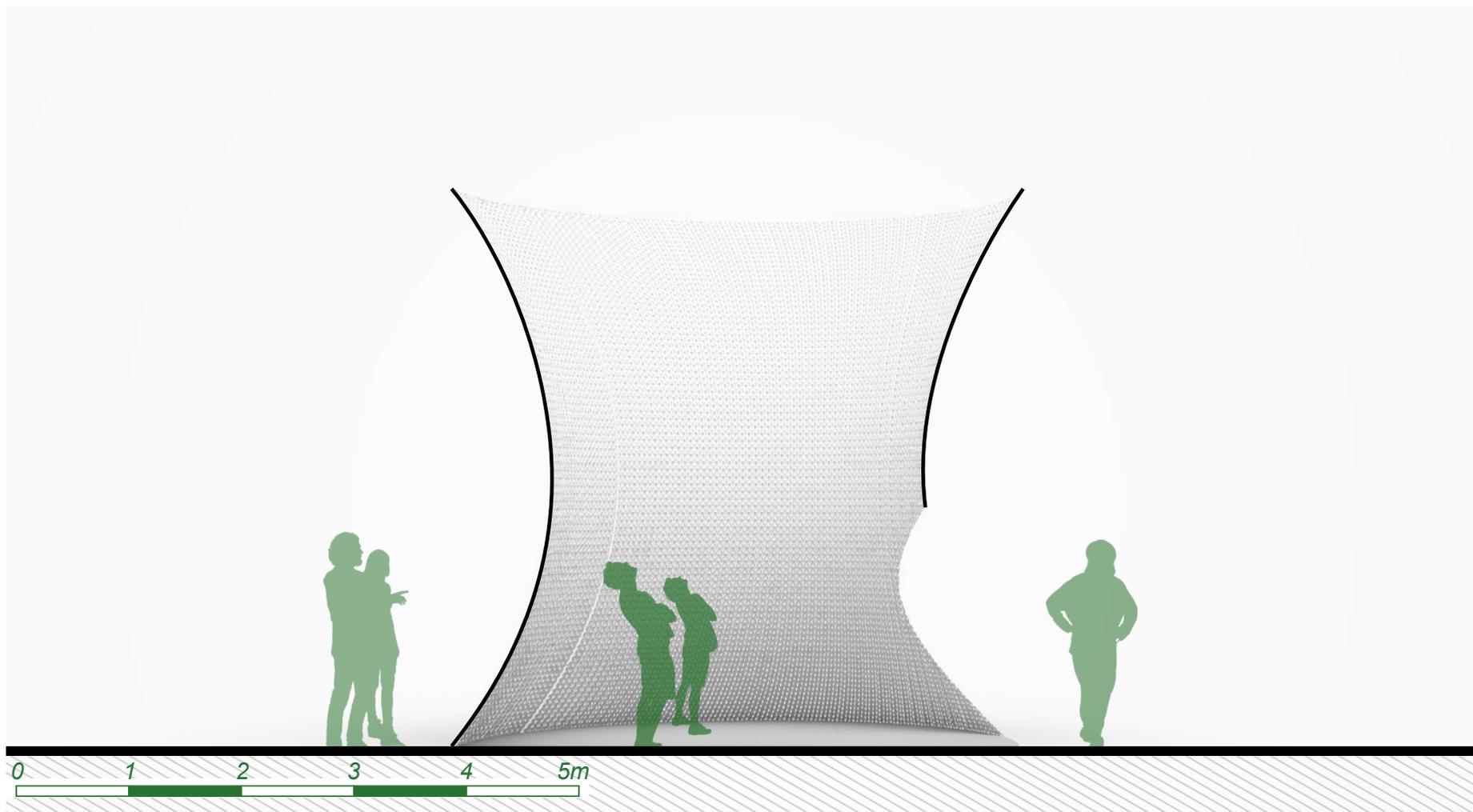


Abb. 246. Schnitt Strick-Pavillon

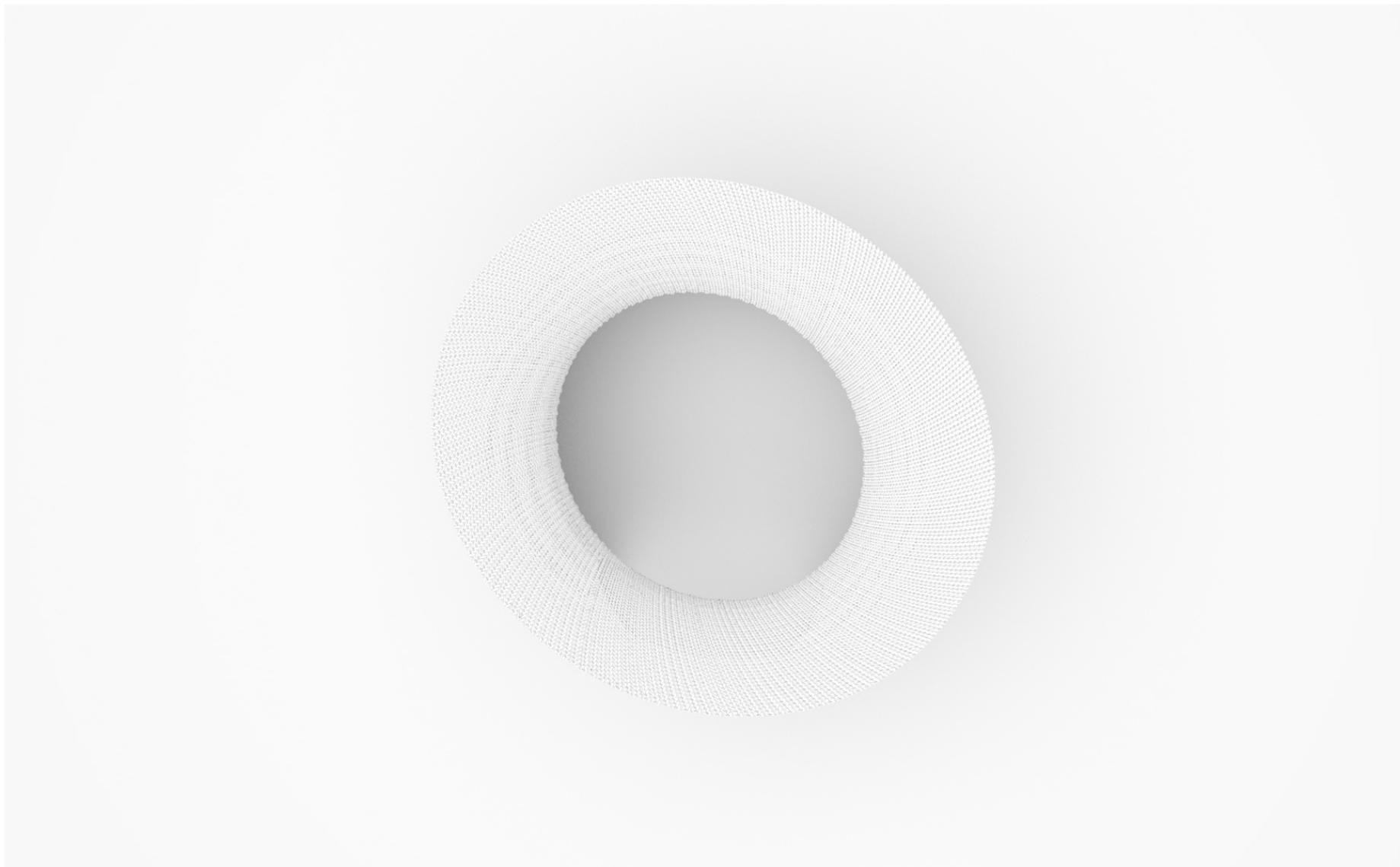
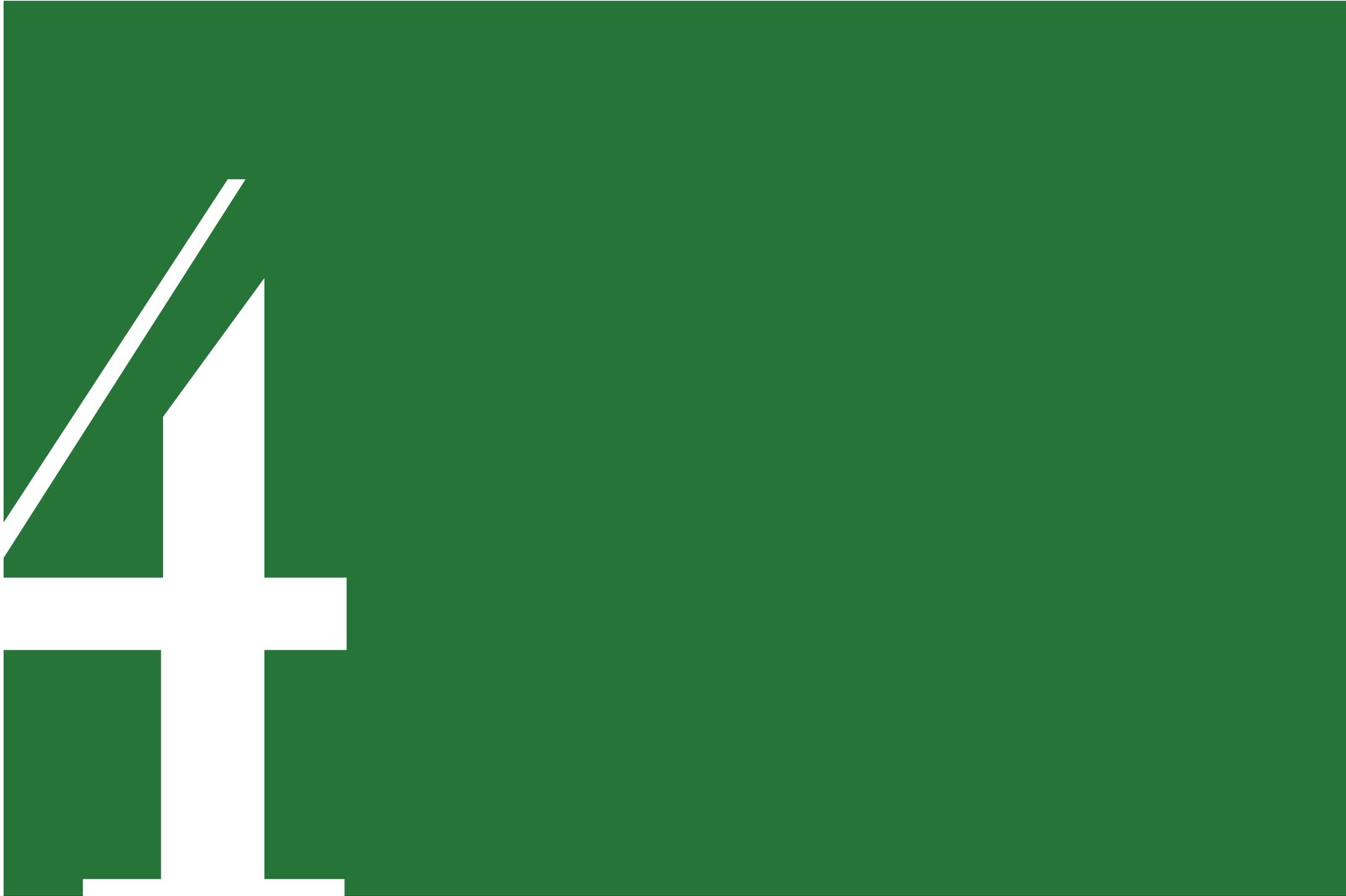


Abb. 247. Draufsicht Strick-Pavillon







ZUSAMMENFASSUNG







Abb. 248. Alginatexperimente

## 4.1

ERKENNTNISSE &  
OPTIMIERUNG

Da es sich hierbei um ein völlig neues Material innerhalb der Architektur handelt, war es wichtig viele Experimente durchzuführen. Einen Überblick zu bekommen was das Material in der Lage ist zu leisten.

Das Alginat kann auf viele Arten und Weisen bearbeitet werden. Das Ansetzen einer Suspension ist der erste Schritt. Dabei ist das *Mischverhältnis* der Basis ein wichtiges Kriterium. Durch das Hinzugeben von *Zusatzstoffen* wird diese Basis erheblich beeinflusst, was Folgen auf das spätere Produkt hat. Die *Zeit* spielt einen nicht unwesentlichen Faktor, die nicht vergessen werden darf. Durch eine Ruhezeit der Suspension, kann schon ein Teil des Wassers verdunsten, oder durch längeres liegen in einem  $\text{CaCl}_2$  Bad erfolgt ein Ionenaustausch auch im Inneren der Suspension schneller.

Weiterhin handelt es sich hierbei um ein Material dass mehrere Arten der Herstellung erlaubt. Sei es durch *Extrusion*, *Guss*, oder *Anstrich*. Wichtig ist nur dass es zu einem Ionenaustausch mit der  $\text{CaCl}_2$ -Lösung kommt. Der Austausch kann in einem *Bad* stattfinden oder durch das *Besprühen* mit der Lösung.

Ein wichtiger Aspekt ist das *Trocknungsverfahren*. Dieses müsste noch optimiert werden

um gleichbleibende und qualitative Produkte zu erhalten. Ein gezielter und konstanter Wasserentzug würde die Fehlerquote missglückter Versuche verringern.

Für die Experimente in dieser Arbeit wurde fertiges Natriumalginat in Pharmaqualität verwendet. Dies hat natürlich zum einen den Vorteil dass Alginatprodukte mit gleicher Qualität hergestellt werden können, zum anderen hat es den Nachteil dass für die Herstellung von Natriumalginat zusätzlich Energie und Rohstoffe verbraucht werden. Außerdem ist das fertige Natriumalginatpulver frei von Zellulose, die an sich keinen negativen Einfluss hat. Vielmehr würde es sich empfehlen Zellulose dazuzugeben um zusätzlich eine gewisse Stabilität zu erhalten.

Somit wäre ein weiterer Optimierungsvorschlag frische Algen zu verwenden, die getrocknet und gemahlen das Industriell aufbereitete Natriumalginatpulver ersetzen können. Das Alginsulat-Verfahren nach Winter und Strasser beschreibt ebenfalls die Verwendung von getrockneten und gemahlenen Algen. Hier besteht dann nur die Schwierigkeit eine gleichbleibende Qualität zu bewerkstelligen.

Das Prinzip des Nassspinnverfahrens mithilfe des 3D-Clay Druckers hat sich als sehr

praktikabel erwiesen, hier ist bedenkenlos ein Transfer in einen größeren Maßstab möglich. Vor allem das Herstellen dünner Fasern für Textilien ist hier denkbar.

Unter kontrollierten Bedingungen ist ein Erstellen von großflächigen Folien und Akustikmembranen ebenfalls möglich. Hier wäre der nächste Schritt, die größtmöglichen Flächen als auch Dicken zu erforschen.

Etwas schwierig erweisen sich die Alginate Bubbles. Hier müsste jede Kugel gleich groß sein, der Ionenaustausch müsste immer identisch ablaufen sodass mit einem Anstich auch die gleiche Menge an Luft hineingepumpt wird ohne dass das Alginate aufplatzt.

Ebenfalls Schwierigkeiten könnte eine Änderung des Maßstabes darstellen. Hier müsste eine dickere Schicht Suspension ausgegossen werden. Der Ionenaustausch sollte weiter vorangeschritten sein, sodass sich auch unter der Oberfläche erstarrte Suspension befindet. Beim Aufblasen muss die Haut eine gewisse Stärke aufweisen, damit sie dem Luftdruck standhalten kann.

Von großer Bedeutung könnte sein, eine Alginate Mischung herzustellen, die einmal ausgehärtet, ihren Zustand nicht mehr ändert (aufquellen bei Wasserkontakt) und somit vor

allem auf Druck beansprucht werden kann. Auch eine Wasserabweisende Beschichtung wäre hier denkbar. Elastische Eigenschaften könnten dann beibehalten werden, sodass ein Einsatz im Außenbereich gewährleistet werden kann.

Die hier durchgeführten Experimente können als Grundlage für weitere Forschung verstanden werden. Um einen Übertrag in die Architektur zu schaffen, sollte vor allem die Frage des Maßstabes geklärt werden.

- Ist es möglich, größere Elemente herzustellen?
- Können verschiedene Querschnitte hergestellt werden?
- Kann eine gleichbleibende Qualität der Produkte sichergestellt werden?

Antworten auf diese Fragen könnten einen Blick in die Zukunft werfen.





Abb. 249. Grafik - Alginat: Blick in die Zukunft

## 4.2

### BLICK IN DIE ZUKUNFT

**A**lgen bzw. Alginat sind keine Unbekannten, vielmehr sind sie fester Bestandteil einiger Industrien und dort auch nicht mehr wegzudenken. Leider hinken die Architektur und die Baubranche diesbezüglich weit hinterher.

Nachhaltigkeit wird zwar ein immer größer werdendes Thema und Teil des Architekturdiskurses. Jedoch sind nachhaltige, ressourcenschonende Materialien eine seltene und vor allem teure Alternative zu herkömmlichen Baustoffen. Aber mit einer steigenden Nachfrage wird auch das Angebot wachsen. Viele Branchen haben diese Trendwende bereits erkannt und schlagen neue Wege ein. Auch die Baubranche muss sich diesen Entwicklungen stellen und neue Lösungsansätze verfolgen.

Diese Arbeit ist erst der Anfang eines solchen Ansatzes. Sie gibt einen ersten Einblick was Alginat ist und welche Qualitäten es mit sich bringt. Das es ein interessantes Material ist steht außer Frage, wie auch der Begriff der Nachhaltigkeit. Der Rohstoff Alge, hat ein enormes Potential und bringt viele Vorteile mit sich. Es geht keine Landfläche für den Anbau verloren, kein zusätzliches Trinkwasser sowie Dünger oder Pestizide werden benötigt. Gleichzeitig filtert sie Toxine aus dem Meer sowie bindet mehr CO<sub>2</sub> aus der Luft

als der klassische Wald. Außerdem sind ihr schnelles Wachstum, die einfache Ernte und Verarbeitung zusätzliche Kriterien die für einen Einsatz innerhalb der Bauindustrie sprechen.

Beim Erstellen der Alginatsuspensionen kann der Einsatz zusätzlicher Chemikalien auf ein Minimum reduziert werden. Auch auf natürliche und nachhaltige Zusatzstoffe kann zurückgegriffen werden. Weiterhin bietet sich die Möglichkeit mit frischen bzw. getrockneten Algen zu arbeiten. Der Einsatz von industriell aufbereiteten Natriumalginat ist nicht notwendig. Dadurch werden Kosten, Energie und Ressourcen reduziert.

Vor allem im Bereich der Kunststoffe kann Alginat eine führende Rolle einnehmen. Strasser und Winter haben mit ihrem Alginsulat-Verfahren gezeigt dass eine Styropor Alternative aus Algen möglich ist. Ihr Verfahren konnte sich leider nicht durchsetzen da 1997 das Bewusstsein für nachhaltige Alternativen noch nicht in dem Maß vorhanden war wie heute.

Allerdings muss bedacht werden, dass es sich hierbei erst um den Anfang handelt, ein experimenteller Ansatz eben. Ein bis dato unbekanntes Produkt in der Architektur. Somit ist die Stellung einer Prognose keine einfa-

che. Gewiss wird es noch seine Zeit brauchen sowie zusätzliche Forschungen um ein marktreifes Produkt zu entwickeln. Geschweige es auf dem Markt zu platzieren und dort zu etablieren.

Zur Zeit liegt der Fokus, Algen in der Architektur betreffend, auf der Energiegewinnung aus Mikroalgen. Photobioreaktoren lassen sich in die Architektur einbinden, wie es das BIQ House in Hamburg vormacht. Ein weiteres Beispiel ist *ecoLogicStudio*. Ein Architektur- und Stadtplanungsbüro, das sich auf Umweltdesign, urbane Autarkie und auf die Integration der Natur in der Architektur spezialisiert hat. Auch hier geht es vorrangig um den Einsatz von Mikroalgen.<sup>59</sup>

Die Beispiele zeigen dass der Einsatz von Algen möglich ist, auch wenn es sich hierbei nicht um Alginat handelt. Aus Algen, Baustoffe zu gewinnen ist nun ein nächster Schritt.

Verwunderlich ist, dass bis jetzt kein Einsatz von Alginat erfolgt ist. Deshalb stellt sich die Frage wieso das noch nicht geschehen ist.

- Liegt es an der schlechten Umsetzbarkeit?
- Fehlt es an technologischem Fortschritt? Sind es wirtschaftliche Gründe?

- Liegt es am fehlenden Interesse der großen Bauindustrie?
- Oder eignet sich Alginat am Ende doch nicht als Baumaterial?

Umso mehr freut es mich dass diese Arbeit schon jetzt einiges bewegt und Steine zum Rollen gebracht hat. Das nächste Kapitel zeigt deutlich dass Nachfrage und Interesse geweckt wurden.

<sup>59</sup> Vgl. <http://www.ecologicstudio.com/v2/index.php>, 20.04.2021



Abb. 250. H.O.R.T.U.S. XL by ecoLogicStudio

ALG.A

ALGAE ARCHITECTURE DESIGN LAB

## 4.3 ALG.A DESIGN LAB

**B**ereits während der Entstehungsphase hat diese Arbeit großen Anklang gefunden. Durch meine Recherche und im Laufe diverser Diskussionen, kamen einige Ideen und Projekte heraus auf die ich hier gerne eingehen würde.

Ein Kontakt in der Recherche Phase war die Direktorin des *Aquariums in Pula*, dr.sc. Milena Mičić. Ihrer Begeisterung für das Thema, folgte ein Angebot einer Dauerausstellung im Aquarium. Nach weiteren Gesprächen, an dieser Stelle nochmal ein großer Dank an Ing. Elizabeta Šamec von der Universität in Zagreb für die Koordination, kam der Kontakt mit *DAI SAI* zusammen, der Istrischen Architektenvereinigung. Auch hier wurde das Potential der Arbeit erkannt sodass sie ihre Räumlichkeiten für eine Ausstellung anboten. Im Zeitraum vom 17.06.2021 bis 02.07.2021 werden die Ergebnisse der Arbeit für ein breites Publikum präsentiert. Weitere Ausstellungen in Zagreb als auch in Graz sind zur Zeit in Planung.

Neben Ausstellungen, sind Konferenzen eine wichtige Plattform für Diskussionen und den Austausch von Ideen. In Belgrad findet in der Zeit vom 23. bis 25. September 2021 die *SmartART* statt. Die zweite internationale Konferenz der Fakultät für angewandte Kunst in Belgrad. Unter dem Motto: „*Angewandte*

*Kunst und Wissenschaft: Erfahrung und Vision*“ wurde eine wissenschaftliche Publikation, mit dem gleichnamigen Titel dieser Arbeit, eingereicht und akzeptiert.

Weiter finden zur Zeit Gespräche mit *Print Kultur*, im Rahmen des neu gestarteten Projektes *StudentsART*, statt. Diese Plattform bietet Studenten der TU Graz die Möglichkeit Arbeiten in Form von Designprodukten zu vermarkten und zu verkaufen. Deshalb liegt bei dieser Zusammenarbeit der Fokus vielmehr auf Produktdesign.

Die große Begeisterung und in kurzer Zeit entstandenen Kooperationen sind überwältigend. Diese positive Resonanz hat mich dazu bewegt mich auch nach dem Abschluss meines Masterstudiums mit dem Thema weiter auseinander zu setzen. Unter dem Namen *Alg.A - Algae.Architecture Design Lab* werden zukünftige Projekte laufen, mit der Intention Algen und Alginat in der Architektur zu etablieren.

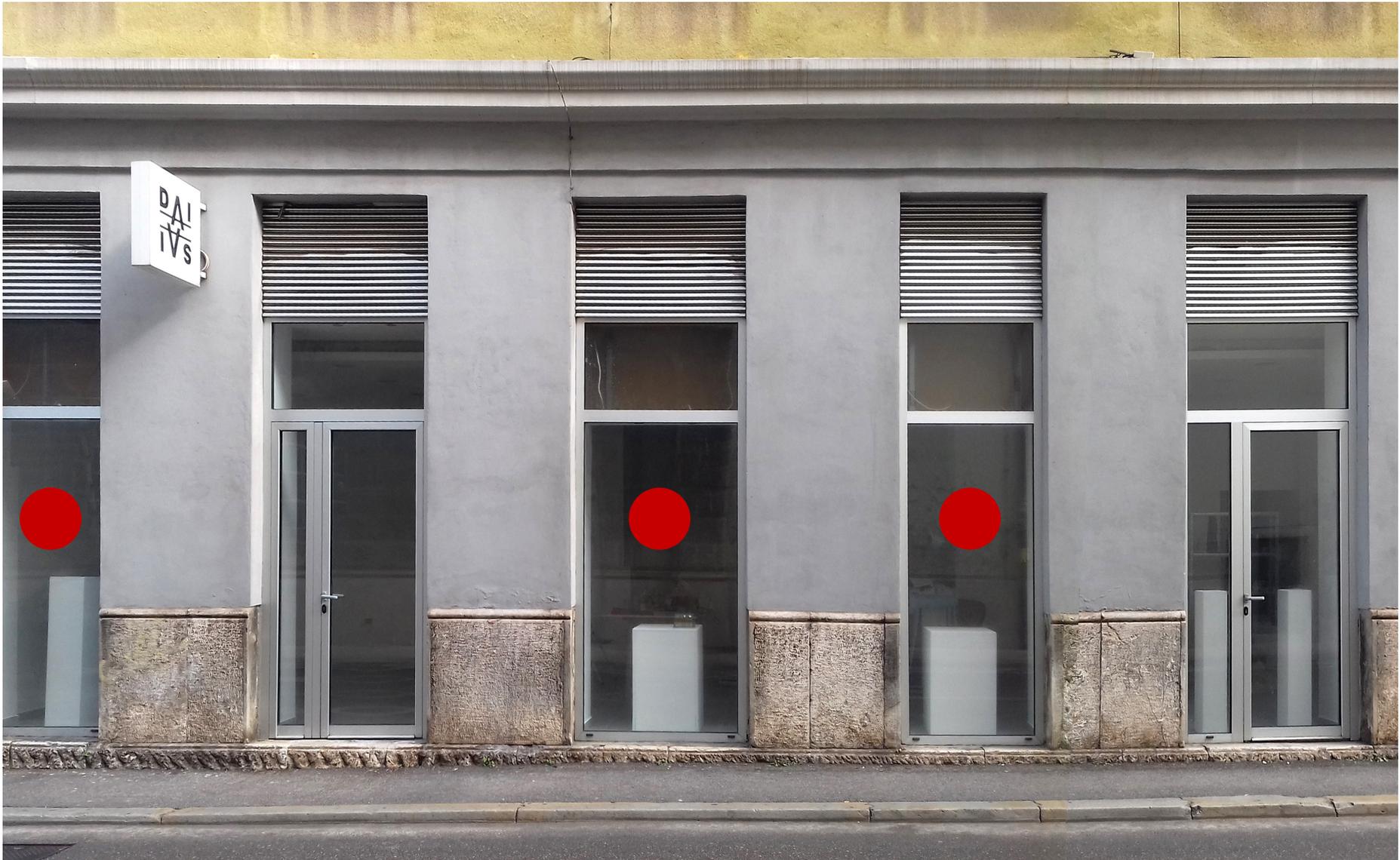


Abb. 251. DAI-SAI Ausstellungsraum in Pula









ANHANG





# 5.1

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Sämtliche Grafiken, Diagramme und sonstige Darstellungen, die im Folgenden keine Quellenangabe enthalten, stammen aus eigener Produktion. Copyright und geistiges Eigentum liegen beim Autor. Abbildungen Stand: 26.04.2021

- Abb. 1. **Blick auf Pula mit Colloseum und Altstadt sowie der Werft „Uljanik“** [https://cdn.urlaubsguru.at/wp-content/uploads/2017/07/shutterstock\\_736045108.jpg](https://cdn.urlaubsguru.at/wp-content/uploads/2017/07/shutterstock_736045108.jpg)
- Abb. 2. **Curtain Wall House - Shigeru Ban - Tokyo 1994-95** <https://www.german-architects.com/images/Projects/55/90/38/96a03403c2d946a7941ee1c9633cd34b/96a03403c2d946a7941ee1c9633cd34b.6e7b65d0.jpg?1505915096>
- Abb. 3. **Grafik Faserherstellung Weltweit** [https://www.textilwirtschaft.de/business/news/weltweite-faserproduktion-faserproduktion-steigt-anteil-von-naturfasern-sinkt-214329019\\_21](https://www.textilwirtschaft.de/business/news/weltweite-faserproduktion-faserproduktion-steigt-anteil-von-naturfasern-sinkt-214329019_21)
- Abb. 4. **Baumwollfeld** <https://www.green-shirts.com/bio-baumwolle>
- Abb. 5. **Hanf** <https://tga.at/a/warum-hanf-ein-guter-daemmstoff-ist>
- Abb. 6. **Rohwolle** [https://www.123rf.com/photo\\_8253981\\_sheepskin-background.html](https://www.123rf.com/photo_8253981_sheepskin-background.html)
- Abb. 7. **Asbest** <https://de.wikipedia.org/wiki/Asbest>
- Abb. 8. **Garn & Zwirn** <https://www.kurzwarenland.de/Naehlexikon/Naehgarn>
- Abb. 9. **Non-Wovens: Filz** <https://cdn.webshopapp.com/shops/88450/files/111116924/filz-tischsets-quadrat-tisch-gras-gruen-meliert.jpg>
- Abb. 10. **Webwaren: Gewebe** [https://svetmetraze.si/uploads/products/extra/56440\\_81529\\_4826-55\\_Da\\_deko-tkanina-bombaz-Canvas.jpg](https://svetmetraze.si/uploads/products/extra/56440_81529_4826-55_Da_deko-tkanina-bombaz-Canvas.jpg)
- Abb. 11. **Maschenware** [https://hkweb2019fe-prod.azureedge.net/Unternehmen/Qualit%C3%A4t/05\\_Perfekte%20Stoffkonstruktion/slider\\_text\\_links\\_1\\_sweatware.jpg](https://hkweb2019fe-prod.azureedge.net/Unternehmen/Qualit%C3%A4t/05_Perfekte%20Stoffkonstruktion/slider_text_links_1_sweatware.jpg)
- Abb. 12. **Maschenware Skizze** <https://de.wikipedia.org/wiki/Maschenware>
- Abb. 13. **Leinwandbindung** <https://www.bemastoffe.de/blog-post/alles-ueber-stoff-weben>
- Abb. 14. **Körperbindung** <https://www.bemastoffe.de/blog-post/alles-ueber-stoff-weben>
- Abb. 15. **Atlasbindung** <https://www.bemastoffe.de/blog-post/alles-ueber-stoff-weben>
- Abb. 16. **Smart Textile** <https://www.suedwesttextil.de/termine/2-anwenderforum-smart-textiles>
- Abb. 17. **Textildruck** [https://lh3.googleusercontent.com/proxy/VY33YbLmYe3tJRO8EC-PYfjip7TFIP26tgXT-FAuskqxCUzL\\_Guxxi8ckSX2XefCvMszk91eUa4jYUzLYZi37aWLzcZO1VtGelw](https://lh3.googleusercontent.com/proxy/VY33YbLmYe3tJRO8EC-PYfjip7TFIP26tgXT-FAuskqxCUzL_Guxxi8ckSX2XefCvMszk91eUa4jYUzLYZi37aWLzcZO1VtGelw)
- Abb. 18. **Prägung** <https://www.konable.com/de/news/2018-07-15-textilveredelung-das-praegt-sich-ein>
- Abb. 19. **Impregnierung** <https://autosattlerei.tv/cabrio-verdeck-impr%C3%A4gnieren.html>
- Abb. 20. **Textil Beton** <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/textilbeton/>
- Abb. 21. **Patric Trauschke, Segmentierte Leichtbetonschale** <http://tudalil.de/wp-content/uploads/2018/01/Architekturwettbewerb2018web.pdf>
- Abb. 22. **Tensegrity Membran Pavillon, Noda, 2012** <https://www.detail.de/artikel/minimalistischer-leichtbau-temporaerer-pavillon-in-noda-9500/>
- Abb. 23. **Modell Membran Konstruktion** [https://www.facebook.com/ARCFly/posts/tensile-structure-model-by-igrekhlitskiyinstagramcomarcfly\\_ft/2502747779753819/](https://www.facebook.com/ARCFly/posts/tensile-structure-model-by-igrekhlitskiyinstagramcomarcfly_ft/2502747779753819/)
- Abb. 24. **Olympiastadion München, Frey Otto, 1972** [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0f/Blick\\_vom\\_Olympiaberg\\_auf\\_das\\_Olympiastadion.jpg/1200px-Blick\\_vom\\_Olympiaberg\\_auf\\_das\\_Olympiastadion.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0f/Blick_vom_Olympiaberg_auf_das_Olympiastadion.jpg/1200px-Blick_vom_Olympiaberg_auf_das_Olympiastadion.jpg)
- Abb. 25. **Digitales Stricken** [https://3dprint.com/wp-content/uploads/2018/10/cover-3d\\_1.jpg](https://3dprint.com/wp-content/uploads/2018/10/cover-3d_1.jpg)
- Abb. 26. **Textilstreifen** [http://architizer-prod.imgix.net/media/mediadata/uploads/1557567470813KnitCandela\\_2.jpg?w=1680&cs=strip&q=60&auto=format,compress](http://architizer-prod.imgix.net/media/mediadata/uploads/1557567470813KnitCandela_2.jpg?w=1680&cs=strip&q=60&auto=format,compress)
- Abb. 27. **Betonierung** [http://architizer-prod.imgix.net/media/mediawdata/uploads/1557567568504KnitCandela\\_7.jpg?w=1680&cs=strip&q=60&auto=format,compress](http://architizer-prod.imgix.net/media/mediawdata/uploads/1557567568504KnitCandela_7.jpg?w=1680&cs=strip&q=60&auto=format,compress)
- Abb. 28. **KnitCandela** [https://cdn.worldarchitecture.org/net/bin.aspx?file=knitcandela\\_0\\_hero.jpg](https://cdn.worldarchitecture.org/net/bin.aspx?file=knitcandela_0_hero.jpg)
- Abb. 29. **ICD/ITKE research Pavillon Work in Progress** <https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions/icd-itke-research-pavilion-2012/>
- Abb. 30. **ICD/ITKE research Pavillon** <https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions/icd-itke-research-pavilion-2012/>
- Abb. 31. **ICD/ITKE research Pavillon** <https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions/icd-itke-research-pavilion-2012/>
- Abb. 32. **Ernesto Neto, Flying Gloup Nave, 1999** <http://www.artnet.de/k%C3%BCnstler/ernesto-neto/7>
- Abb. 33. **Ernesto Neto, Gaja Mother Tree, Zürich 2018** <https://www.detail.de/blog-artikel/raumgewebe-installation-von-ernesto-neto-am-zuerich-hauptbahnhof-32439/>
- Abb. 34. **Ernesto Neto, Madness is part of life, Espace Louis Vuitton Tokyo, 2012** <https://www.espacelouisvuittontokyo.com/en/past/madness/detail>
- Abb. 35. **NET, Rovinj, Kroatien, 2016** <http://www.numen.eu/home/news/>
- Abb. 36. **STRING, Wien, Österreich, 2014** <http://www.numen.eu/home/news/>
- Abb. 37. **TAPE, Des Moines, USA, 2017** <http://www.numen.eu/home/news/>
- Abb. 38. **Extrusion von Alginat** <https://www.designindaba.com/articles/creative-work/students-create-sea-weed-based-yarn-tackle-fashion-industry-pollution>
- Abb. 39. **Gewebebeispiel aus Alginat Garn** <http://www.aaronnesser.com/algikicks>
- Abb. 41. **Einzelteile des Algengarns** <https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/>
- Abb. 40. **AlgiKick Fußsohle** <http://www.aaronnesser.com/algikicks>
- Abb. 42. **AlgiKick- Prototyp Schuh** [https://d1322dsv2x9jaj.cloudfront.net/uploads/partner/company\\_image/838/algiknit\\_2.jpg](https://d1322dsv2x9jaj.cloudfront.net/uploads/partner/company_image/838/algiknit_2.jpg)
- Abb. 43. **Braunalgen** <https://img.welt.de/img/wirtschaft/mobile/144702767/8512502667-ci102l-w1024/Algen-6.jpg>
- Abb. 44. **Einzeller-Mikroalgen** <https://www.mint-engineering.de/de/uber-algen/>
- Abb. 45. **Kolonien-Mikroalgen** <https://www.mint-engineering.de/de/uber-algen/>
- Abb. 46. **Fäden-Mikroalgen** <https://i.pinimg.com/originals/48/13/c7/4813c7b1fd1f75d1bd7afc>

- Abb. 47. **Seetang-Makroalgen** <https://www.mint-engineering.de/de/uber-algen/>
- Abb. 48. **Industrielle Photobioreaktor Anlage** <https://www.derstandard.at/story/2000100659991-rohstoff-mit-potenzial-mit-algen-ein-gruenes-wunder-erlebenps://www.derstandard.at/story/2000100659991-rohstoff-mit-potenzial-mit-algen-ein-gruenes-wunder-erleben>
- Abb. 49. **The Coral : home algae farming** <https://www.tuvie.com/start-home-algae-farming-with-the-coral/>
- Abb. 50. **Tangwald** [https://www.sportdiver.com/sites/sportdiver.com/files/styles/opencv\\_1\\_91x1/public/images/2017/06/kelp1\\_istock-520593426.jpg?itok=bwAn7KyK](https://www.sportdiver.com/sites/sportdiver.com/files/styles/opencv_1_91x1/public/images/2017/06/kelp1_istock-520593426.jpg?itok=bwAn7KyK)
- Abb. 51. **Auszug aus der allgemeinen Klassifikation der Makroalgen sowie daraus gewonnene Produkte**
- Abb. 52. **Grafiken**
- Abb. 53. **Symbolbild Wald**
- Abb. 54. **Symbolbild Tangwald**
- Abb. 55. **Kelp Harvester an der Kalifornischen Küste** [https://www.sciencesource.com/Doc/TR1\\_WA-TERMARKED/5/6/4/e/SS2348971.jpg?d63641983497](https://www.sciencesource.com/Doc/TR1_WA-TERMARKED/5/6/4/e/SS2348971.jpg?d63641983497)
- Abb. 56. **Händische Algenernte in Alaska** [https://ediblealaska.ediblecommunities.com/sites/default/files/images/article/kodiak\\_kelp\\_001.jpg](https://ediblealaska.ediblecommunities.com/sites/default/files/images/article/kodiak_kelp_001.jpg)
- Abb. 57. **Globaler Datensatz von marinen Wäldern aus Braunen Makroalgen** <https://www.nature.com/articles/s41597-020-0459-x>
- Abb. 58. **Acetabularia acetabulum** <https://news.algaeworld.org/acetabularia-acetabulum/>
- Abb. 59. **Padina pavonica** [http://dalibor-andres.from.hr/uw/jas\\_001.htm](http://dalibor-andres.from.hr/uw/jas_001.htm)
- Abb. 60. **Peyssonnelia spp.** <https://www.colapisci.it/scaletta/alga/rosamare/Peyssonneliasquamaria.htm>
- Abb. 61. **Acetabularia acetabulum** <http://pp-telascica.hr/photo-gallery/?lang=en>
- Abb. 62. **Strukturformel Alginsäure** <https://de.wikipedia.org/wiki/Algins%C3%A4ure>
- Abb. 63. **Schematische Darstellung der Natriumalginatgewinnung** [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-6910-9\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-6910-9_2)
- Abb. 64. **Nori Blätter, Sushi** [https://mawdoo3.com/%D8%B7%D8%B1%D9%8A%D9%82%D8%A9\\_%D8%A3%D9%83%D9%84\\_%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%88%D8%B4%D9%8A](https://mawdoo3.com/%D8%B7%D8%B1%D9%8A%D9%82%D8%A9_%D8%A3%D9%83%D9%84_%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%88%D8%B4%D9%8A)
- Abb. 65. **Spirulina, Pulver und Tabletten** <https://www.ugb.de/lebensmittel-im-test/essbare-algen-naehrstoffpower-aus-wasser/>
- Abb. 66. **Loses Verpackungsmaterial von AMAM** <https://www.a-ma-m.com/agarplasticity?lightbox=-dataItem-j0artm2t>
- Abb. 67. **Spirulina in Tabletten & Pulver** <https://www.gaiagoodhealth.com/blog/spirulina-uses-benefits-side-effects/>
- Abb. 68. **Kosmetikprodukte auf Algenbasis** <https://www.gesund-kosmetik.at/Jafra-SPA-Ingwer-Algen-Winter-Set-3er>
- Abb. 69. **BIQ Haus in Hamburg** <https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/tipps/news-produkte-archiv/iba-pilotprojekt-wohngbaeude-mit-bioreaktorfassade-3313855>
- Abb. 70. **Detail Bioreaktorfassade** <https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/tipps/news-produkte-archiv/iba-pilotprojekt-wohngbaeude-mit-bioreaktorfassade-3313855>
- Abb. 71. **Prinzip der Energiegewinnung** <https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/tipps/news-produkte-archiv/iba-pilotprojekt-wohngbaeude-mit-bioreaktorfassade-3313855>
- Abb. 72. **Herstellung von Biobitumen** <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/verfahrenstechnik/algen-entpuppen-hervorragender-strassenasphalt/>
- Abb. 73. **SEA ME RESEARCH** <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/sea-me-collecti-on/>
- Abb. 74. **Textilfärbung mit Algen** <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/sea-me-collection/>
- Abb. 75. **Stuhlgewebe aus Algen** <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/sea-me-collection/>
- Abb. 76. **Garn aus Algen** <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/sea-me-collection/>
- Abb. 77. **Bioplastikschüsseln und Lack aus Algen** <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/sea-me-collection/>
- Abb. 78. **Globaler Anteil an Gebäude- und Bauenergie und Emissionen, 2019 aus dem UN-Bericht: 2020 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector** [https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR\\_FULL%20RE-PORT.pdf](https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20RE-PORT.pdf)
- Abb. 79. **Algen im Labor** <https://www.vecteezy.com/photo/1226667-photobioreactor-in-laboratory-of-algae-fuel>
- Abb. 80. **Alginatketten in Verbindung mit Ca<sup>2+</sup>** <https://kimica-algin.com/products/NaAlgin/>
- Abb. 81. **AS-05**
- Abb. 82. **PH Teststreifen - Reduzierung von 7,0 auf 5,6**
- Abb. 83. **AS-04**
- Abb. 84. **AS-02**
- Abb. 85. **Klumpen in AS-01**
- Abb. 86. **AS-06**
- Abb. 87. **geflochtene Algengarne**
- Abb. 88. **Spritze gefüllt mit Suspension**
- Abb. 89. **Extrudiertes Garn in CaCl<sub>2</sub>-Bad**
- Abb. 90. **Gelartiges Garn**
- Abb. 91. **Extrudiertes Alginat - breitere Öffnung**
- Abb. 92. **Durchgeschnittenes Alginat**
- Abb. 93. **Frisch extrudiertes Alginat**
- Abb. 94. **Alginat nach 24h an der Luft**
- Abb. 95. **Links: Garn geflochten | Rechts: dünner Faden**
- Abb. 96. **geflochtenes Garn nach dem trocknen**
- Abb. 97. **Knoten Test**
- Abb. 98. **Knoten Test**
- Abb. 99. **Knoten Test**
- Abb. 100. **ausgehärtetes Alginat Garn**
- Abb. 101. **ausgehärtetes Alginat Garn**
- Abb. 102. **ausgehärtetes Alginat Garn**
- Abb. 103. **frische & ausgetrocknete Alginatkugel**
- Abb. 104. **frisch extrudiertes Garn**
- Abb. 105. **nach 12h an der Luft**
- Abb. 106. **nach 24h an der Luft**
- Abb. 107. **AS-05 Folie, Brandtest**
- Abb. 108. **AS-05 Garn, Brandtest**
- Abb. 109. **AS-02 Folie, Brandtest**
- Abb. 110. **AS-04 Garn, Brandtest**

- Abb. 111. *frisches AS-03*  
 Abb. 112. *Zusammengezogenes AS-03*  
 Abb. 113. *Alginat in Zugvorrichtung*  
 Abb. 114. *5x5 geflochtenes Garn*  
 Abb. 115. *Alginat auf Ballon*  
 Abb. 116. *Freiform Alginatnetz*  
 Abb. 117. *Freiform Alginatnetz*  
 Abb. 118. *Freiform Alginatnetz*  
 Abb. 119. *Freiform Alginatnetz*  
 Abb. 120. *Alginat Maschen - feucht*  
 Abb. 121. *Algiant Gestrick - feucht*  
 Abb. 122. *Algiant Gestrick - feucht*  
 Abb. 123. *Versuchs Set-Up*  
 Abb. 124. *Alginat Suspension in Zylinder*  
 Abb. 125. *2mm Düsenkopf*  
 Abb. 126. *Extrusion von Garn in CaCl<sub>2</sub>-Bad*  
 Abb. 127. *Extrusion von Garn in CaCl<sub>2</sub>-Bad*  
 Abb. 128. *Aufwickeln des Garns auf Garnrolle*  
 Abb. 129. *Hyperbolischer Paraboloid*  
 Abb. 130. *Hyperbolischer Paraboloid*  
 Abb. 131. *Hyperbolischer Paraboloid Modell*  
 Abb. 132. *Hyperbolischer Paraboloid Modell*  
 Abb. 133. *Flächiges Alginat im Modell*  
 Abb. 134. *Flächiges Alginat im Modell*  
 Abb. 135. *3D Modell*  
 Abb. 136. *Grafik hyperbolischer Paraboloid*  
 Abb. 137. *Grasshopper Skript*  
 Abb. 138. *Parametrisches 3D-Modell - Studien*  
 Abb. 139. *Parametrisches 3D Modell - Studie*  
 Abb. 140. *3D-Modell String-Pavillon*  
 Abb. 141. *3D-Modell String-Pavillon*  
 Abb. 142. *Schnitt String-Pavillon*  
 Abb. 143. *Draufsicht String Pavillon*  
 Abb. 144. *String-Pavillon Modell*  
 Abb. 145. *Detail String-Pavillon Modell*  
 Abb. 146. *String-Pavillon Modell*  
 Abb. 147. *Alginat in Keramikform*  
 Abb. 148. *Gusstafel aus Finnpappe*  
 Abb. 149. *Alginat in Gussform*  
 Abb. 150. *flexible Alginatmatte*  
 Abb. 151. *Positivform aus Finnpappe 3mm*  
 Abb. 152. *Holzrahmen für Keramik*  
 Abb. 153. *Fertige Gussform aus Keramik*  
 Abb. 154. *Alginat in Gussform*  
 Abb. 155. *Fertige Alginatmatte*  
 Abb. 156. *Biigsame Alginatmatte*  
 Abb. 157. *Detail Alginatmatte*  
 Abb. 158. *Gussform*  
 Abb. 159. *Alginat aus Gussform*  
 Abb. 160. *Alginat aus Gussform*  
 Abb. 161. *frisches Alginat & Zahnstocher*  
 Abb. 162. *getrocknetes verformtes Alginat*  
 Abb. 163. *getrocknetes verformtes Alginat*  
 Abb. 164. *Alginatmatte verklebt mit Alginat*  
 Abb. 165. *Alginat Klebekante*  
 Abb. 166. *Alginat Klebekante*  
 Abb. 167. *Metalldraht*  
 Abb. 168. *Metalldraht mit frischem Alginat*  
 Abb. 169. *Metalldraht & Alginat besprüht*  
 Abb. 170. *Alginat & Finnpappe*  
 Abb. 171. *Alginat verformt mit Draht*  
 Abb. 172. *Hyperbolischer Paraboloid befreit vom Draht*  
 Abb. 173. *Hyperbolischer Paraboloid*  
 Abb. 174. *Hyperbolischer Paraboloid, flexibel*  
 Abb. 175. *Freiform aus Draht*  
 Abb. 176. *Freiform aus Draht*  
 Abb. 177. *Aufgeblasenes Alginat*  
 Abb. 178. *Aufgeblasenes Alginat*  
 Abb. 179. *Aufgeblasene Alginat Kugeln*  
 Abb. 180. *Blaue Kugel*  
 Abb. 181. *Grüne Kugel*  
 Abb. 182. *Rote Kugel*  
 Abb. 183. *Aufgeblasenes Alginat in Draht, kombiniert*  
 Abb. 184. *Aufgeblasenes Alginat*  
 Abb. 185. *Alginatrahmen aus AS-04 in Form*  
 Abb. 186. *Alginatrahmen & Füllung*  
 Abb. 187. *Aufgeblasenes 2-Komponenten System*  
 Abb. 188. *Alginatrahmen aus AS-04 in Form*  
 Abb. 189. *Alginatrahmen aus AS-04 trocken*  
 Abb. 190. *Spätzlereibe mit AS-08*  
 Abb. 191. *In CaCl<sub>2</sub> fallendes Alginat*  
 Abb. 192. *Suspension ohne Tensid*  
 Abb. 193. *Suspension mit Tensid*  
 Abb. 194. *Alginatschaum Kugeln*  
 Abb. 195. *Alginatschaum Kugeln*  
 Abb. 196. *Alginat-Folie*  
 Abb. 197. *Alginat-Folie*  
 Abb. 198. *1mm Alginatfolie geschnitten im Lasercutter*

- Abb. 199. 2,5mm Alginatfolie geschnitten im Lasercutter
- Abb. 200. Akustikproben
- Abb. 201. Akustikproben
- Abb. 202. Akustikprobe perforiert
- Abb. 203. 01 Alginat\_B001\_001mm000L\_3KR\_01
- Abb. 204. 05 Alginat\_G001\_002mm000L\_3KR\_01
- Abb. 205. 09 Alginat\_G003\_004mm000L\_3KR\_01
- Abb. 207. Absorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall eines einfach MPA
- Abb. 206. Absorptionsgrad Alginatproben
- Abb. 208. Grafik, Pavillon
- Abb. 209. Alginsulat - VPZ Graz <https://vpz.at/>
- Abb. 210. Grafik Schiebfläche <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Parabol-sf-def.svg>
- Abb. 211. Grasshopper Skript
- Abb. 212. 3D Modell - Perspektive
- Abb. 213. 3D Modell - Perspektive
- Abb. 214. Schnitt Bubble-Pavillon
- Abb. 215. Draufsicht Bubble-Pavillon
- Abb. 216. Alginat & Textil
- Abb. 217. Alginatgarne in Kermik getunkt
- Abb. 218. AS-04 in Keramik
- Abb. 219. AS-02 in Keramik
- Abb. 220. Draht mit Alginatbeschichtung
- Abb. 221. Draht mit Alginatbeschichtung
- Abb. 222. Alginat mit Leuchtdraht
- Abb. 223. Leuchtendes Alginat
- Abb. 224. Alginat & Stoff
- Abb. 225. Alginat & Stoff im Detail
- Abb. 226. frisches Alginat auf Stoff
- Abb. 227. trockenes Alginat auf Stoff
- Abb. 228. Alginat & Stoff mit CaCl<sub>2</sub> besprüht
- Abb. 229. getrocknetes Alginat & Stoff - Rückseite
- Abb. 230. getrocknetes Alginat & Stoff - Vorderseite
- Abb. 231. Alginat & Netz
- Abb. 232. Alginat & Netz
- Abb. 233. Alginat & Netz
- Abb. 234. Addi Express Kingsize
- Abb. 235. gestrickter Schlauch
- Abb. 236. aufgespannter Schlauch
- Abb. 237. Schlauch Detail
- Abb. 238. Schlauch Detail
- Abb. 239. auftragen von Alginat mit Spachtel
- Abb. 240. getrocknete Alginat Verbund Stütze
- Abb. 241. getrocknete Alginat Verbund Stütze
- Abb. 242. getrocknete Alginat Verbund Stütze Detail
- Abb. 243. Grafik - Pavillon
- Abb. 244. 3D Modell Strick-Pavillon
- Abb. 245. 3D Modell Strick-Pavillon
- Abb. 246. Schnitt Strick-Pavillon
- Abb. 247. Draufsicht Strick-Pavillon
- Abb. 248. Alginatexperimente
- Abb. 249. Grafik - Alginat: Blick in die Zukunft
- Abb. 250. H.O.R.T.U.S. XL by ecoLogicStudio <http://www.ecologicstudio.com/v2/project.php?id-cat=7&idsubcat=59&idproj=177>
- Abb. 251. DAI-SAI Ausstellungsraum in Pula

# 5.2

## LITERATURVERZEICHNIS

1. <https://en.wikiarquitectura.com/building/curtain-wall-house/>, 30.03.2021
2. <http://www.aethic.de/sustainable-strategies/ethical-fabrics/>, 30.03.2021
3. Sobek, Werner/Speth, Martin: Von der Faser zum Gewebe. Textile Werkstoffe im Bauwesen, in: deutsche bauzeitung 93,9 (1993), 74-81
4. <https://www.hessnatur.com/magazin/textillexikon/maschenware/> , 31.03.2021
5. Knippers, Jan/ Cremers, Jan, u.a.: Atlas Kunststoffe + Membranen. Werkstoffe und Halbzeuge Formfindung und Konstruktion, München, 2010, 70
6. <https://de.wikipedia.org/wiki/Textilindustrie>, 31.03.2021
7. <https://www.textilforschung.de/uploads/2016-11-14-15-12-22-40-1.pdf>, 31.03.2021
8. <https://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/textilbeton/> , 01.04.2021
9. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Membran>, 01.04.2021
10. Knippers, Jan/ Cremers, Jan, u.a.: Atlas Kunststoffe + Membranen. Werkstoffe und Halbzeuge Formfindung und Konstruktion, München, 2010, 100
11. <https://www.zaha-hadid.com/design/knitcandela/> , 01.04.2021
12. [https://www.wikiwand.com/de/Ernesto\\_Neto](https://www.wikiwand.com/de/Ernesto_Neto), 19.11.2020
13. <https://www.munzinger.de/search/portrait/ernesto+neto/0/28846.html>, 19.11.2020
14. <https://www.designboom.com/tag/ernesto-neto/> 19.11.2020
15. <http://www.numen.eu/info/biography/>, 07.04.2021
16. <https://www.designindaba.com/articles/creative-work/students-create-seaweed-based-yarn-tackle-fashion-industry-pollution>, 19.11.2020
17. <https://www.algiknit.com/>, 20.11.2020
18. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Alge>, 02.12.2020
19. Fott, Bohuslav: Algenkunde, Prag, <sup>2</sup>1967, 15
20. <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/algen-597>, 02.12.2020
21. Guiry, Michael D.: HOW MANY SPECIES OF ALGAE ARE THERE? in: Journal of Phycology 48,5 (2012), 1057–1063
22. [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?tc=accept&species\\_id=w7faaac344fafeb7e](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?tc=accept&species_id=w7faaac344fafeb7e), 02.12.2020
23. <http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e44/44.htm>, 02.12.2020
24. Smetacek, Victor: Die Primärproduktion der marinen Plankton-Algen, in: Spektrum der Wissenschaft, 12(1991), 52
25. N'Yeurt, Antoine de Ramon/Chynoweth, David P. u.a. : Negative carbon via Ocean Afforestation, in: Process Safety and Environmental Protection, 90/6 (2012), 467-474
26. Thrush, Simon F./ Hewitt, Judi E./Gibbs, Max u.a.: Functional Role of Large Organisms in Intertidal Communities: Community Effects and Ecosystem Function. in: Ecosystems 9, (2006), 1029–1040
27. Cardozo, Karina H.M./ Guaratini, Thais/ Barros, Marcelo P. u.a. : Metabolites from algae with economical impact: Comparative Biochemistry and Physiology Part C, in: Toxicology & Pharmacology, 146/1-2, (2007), 60-78
28. <https://www.thefreedictionary.com/kelp>, 08.04.2021

29. [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=80](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=80), 08.04.2021
30. [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=27](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=27). 08.04.2021
31. Raven, John: Blue carbon: past, present and future, with emphasis on macroalgae, in: *Biology Letters*, 14/10, (2018), o.S.
32. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/rotalgen/57573>
33. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/gruenalgen/29572>
34. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/braunalgen/10496>
35. Assis, Jorge/ Fragkopoulou, Eliza/ Frade, Duarte u.a. : A fine-tuned global distribution dataset of marine forests, in: *Scientific Data*, 7,(2020), o.S
36. Prvan, Mosor/ Jakl, Zrinka (Hg.): Priručnik za zaštitu mora i prepoznavanje živog svijeta jadrana, Split, 2016, 60-81
37. Winter, Manfred: Das Alginsulat - Verfahren. Herstellung eines Schaumstoffes aus Braunalgen. Teil A, Diss., TU Graz 1997, 76
38. <https://www.chemie.de/lexikon/Algins%C3%A4ure.html>, 09.04.2021
39. Winter, Manfred: Das Alginsulat - Verfahren. Herstellung eines Schaumstoffes aus Braunalgen. Teil A, Diss., TU Graz 1997, 77
40. Ebd., 81 f.
41. <https://www.zusatzstoffmuseum.de/lexikon-der-zusatzstoffe.html>, 09.04.2021
42. <https://www.geo.de/natur/oekologie/4203-rtkl-algen-was-sie-ueber-algen-wissen-sollten>, 09.04.2021
43. <https://www.planet-wissen.de/natur/pflanzen/algen/algen-in-der-kueche-100.html#Meer-salat>, 09.04.2021
44. <https://materialdistrict.com/article/agar-plasticity-exciting-potential-seaweed-ba-sed-packaging/>, 09.04.2021
45. <https://www.biomaris.com/algen>, 09.04.2021
46. Piker, Levent/ Zenthoefer, Marion u.a.: Algen gegen Krebs. Neue Wirkstoffe braucht die Onkologie, in: *GIT Labor-Fachzeitschrift* 9 ,(2010), 678-680
47. <https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/projekte/bauausstellung-in-der-bauausstellung/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html>, 10.04.2021
48. <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/verfahrenstechnik/algen-entpuppen-her-vorragender-strassenasphalt/>, 08.12.2021
49. <https://www.smartfiber.de/fasern/seacelltm/>, 08.12.2020
50. <https://thepangaia.com/blogs/technologies/seaweed-fiber>, 08.12.2020
51. <https://www.nienkehoogvliet.nl/portfolio/seaweed-research/>, 08.12.2020
52. <https://kimica-algin.com/products/NaAlgin/>, 08.12.2020
53. <https://www.chemie.de/lexikon/Glycerin.html>, 09.12.2020
54. <https://www.chemie.de/lexikon/Chitosan.html>, 09.12.2020
55. <https://www.chemie.de/lexikon/Tenside.html>, 09.12.2020
56. <https://web.archive.org/web/19980526024459/http://www.fibersource.com/f-tutor/tech-pag.htm>, 12.04.2021
57. <https://www.design-composite.com/de/akustik>, 20.04.2021
58. <https://vpz.at/medien/biopioniere/>, 20.04.2021
59. <http://www.ecologicstudio.com/v2/index.php>, 20.04.2021



## 5.3 TABELLENVERZEICHNIS

Sämtliche Grafiken, Diagramme und sonstige Darstellungen, die im Folgenden keine Quellenangabe enthalten, stammen aus eigener Produktion. Copyright und geistiges Eigentum liegen beim Autor.

- Tab. 1. *Faserproduktion Weltweit, 2008 - 2018* <https://textile-network.de/de/Technische-Textilien/Fasern-Garne/Jahresprognose-weltweite-Faserproduktion-2018>
- Tab. 2. *Zusammensetzung von Braunalgen* Winter, Manfred: Das Alginsulat - Verfahren. Herstellung eines Schaumstoffes aus Braunalgen. Teil A, Diss., TU Graz 1997, 76
- Tab. 3. *Algingehalt in Braunalgen* Winter, Manfred: Das Alginsulat - Verfahren. Herstellung eines Schaumstoffes aus Braunalgen. Teil A, Diss., TU Graz 1997, 77
- Tab. 4. *Zusatzstoffe für Basis Alginat Suspension* Strasser, Thomas: Das Alginsulat - Verfahren. Herstellung eines Schaumstoffes aus Braunalgen. Teil B, Diss., TU Graz 1997, 15
- Tab. 5. *Flamm- & Zündtemperaturen diverser Stoffe* <https://www.sto.at/webdocs/>, 26.04.2021
- Tab. 6. *Zugmesswerte*
- Tab. 7. *Vergleichswerte Stahl & Draht* <https://www.seilerei.ch/tragfaehigkeitstabelle-drahtseile.html>, 26.04.2021