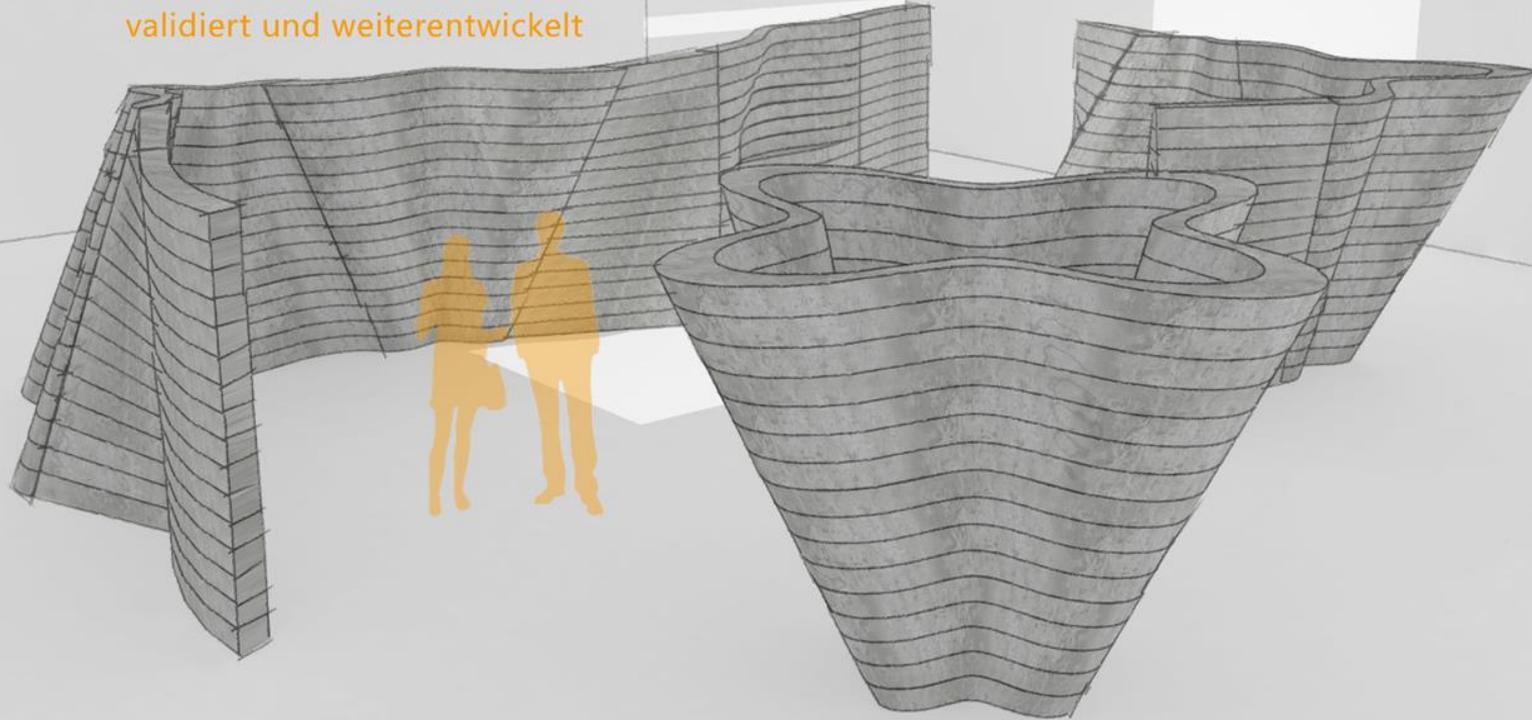


# SCHICHTBETON PAVILLON

validiert und weiterentwickelt



# Inhalt

- **Zusammenfassung Machbarkeitsanalyse**
- **Überblick Beton 3-D Druck**
- **Anpassung Entwurf**
  - Anpassung Form
  - Formoptimierung
  - Anpassung für 3-D-Druck
- **Technische Lösungen**
  - Druckablauf und Nessting
  - Mobile Anwendung
  - Feste Anwendung
- **Fazit**

# Zusammenfassung Machbarkeitsanalyse

1. Materialbeschaffung
2. Herstellung
3. Nachhaltigkeit
4. Wirtschaftlichkeit

# Machbarkeitsanalyse

## 1. Materialbeschaffung:

- Die Materialbeschaffung ist allgemein problematisch,
- Der Rückbau ganzer Platten wird in der Regel nicht vorgenommen,
- Ein Rückbau von Plattenbauten ist in der Region (Norddeutschland) eingeschränkt möglich und zudem sehr aufwendig,
- hoher finanzielle Kosten und hoher Energieverbrauch,
- hoher zeitlicher Aufwand beim Bau.

# Machbarkeitsanalyse

## 2. Herstellung:

- Abmessungen der Platten mit 6x3m zu groß,
- Tische der angefragten Firmen nur 4x2 m, Entwurfsanpassung erforderlich,
- Platten extrem schwer: 2,7 T bei 4x2 m,
- Handling der Platten für die Unternehmen kaum kalkulierbar, lange Rüstzeiten.

# Machbarkeitsanalyse

## 3. Nachhaltigkeit:

Wasserschneiden verbraucht große Mengen an Ressourcen:

Leistung: ungefähr 30-35 kW Pumpe + 5-10 kW Antrieb CNC etc. = 35-45 kW

Wasserverbrauch: ungefähr 220 l

Abrasiv Verbrauch: ungefähr 22 kg

230.000 l -> 230 m<sup>3</sup> Wasser

23.000 kg Abrasiv -> 23 Tonnen

36.500-47.000 kWh -> 366 g (CO<sub>2</sub>) x 36.500-47.000 kWh = 13,4-17,2 T CO<sub>2</sub>

# Machbarkeitsanalyse

## 3. Nachhaltigkeit:

zum Vergleich:

Masse des Entwurfs: 40 T

80-190 l x 40T = 3,2 m<sup>3</sup> - 7,6 m<sup>3</sup> Wasser

855,5 kWh/T x 40 T = 34.220 kWh

394 kG (CO<sup>2</sup>) /T x 40 T = 15,76 T CO<sup>2</sup>

# Machbarkeitsanalyse

## 4. Wirtschaftlichkeit:

Schnittlänge: 660,44 m

Schnittdauer: 95 min./m

-> 1.045 h

Kosten Maschinenstunde: 150-180€ (ohne Rüstzeiten)

155.000-190.000 € (ohne Rüstzeiten)

Zusätzlich würden noch Kosten für das Material, den Transport,

gegebenenfalls eine Trag/Verbindungsstruktur und die Montage anfallen

# Ableitung aus Mockup

- Schneiden der Platten ist der größte Aufwand
- Genaue Fertigung notwendig, besonders bei den Verbindungen



# Ein alternatives Fertigungsverfahren für den möglichen Bau eines Pavillons

- 3D-Betondruck
- das Erstellen aus Mauersteinen
- Massivholz
- mobiles Wasserstrahlschneiden
- sowie Schalungs-Nesting

Am ergiebigsten erwies sich hierbei die erste Alternative: das Erstellen der Bauteile durch den 3D-Betondruck. Dieser wurde für weitere Untersuchungen und als Fertigungsverfahren für das Erstellen des Pavillons herangezogen.

# 3D-Betondruck bietet aus architektonischer Sicht diverse Vorteile

- Umsetzung von Architekturprojekten beliebiger Komplexität,
- Reduktion von Industrieabfällen / Nachhaltigkeit,
- Weniger Baulärm, Staub und Dreck,
- Reduktion von Energie- und Arbeitskosten,
- Höhere Sicherheit / weniger Arbeitsunfälle.

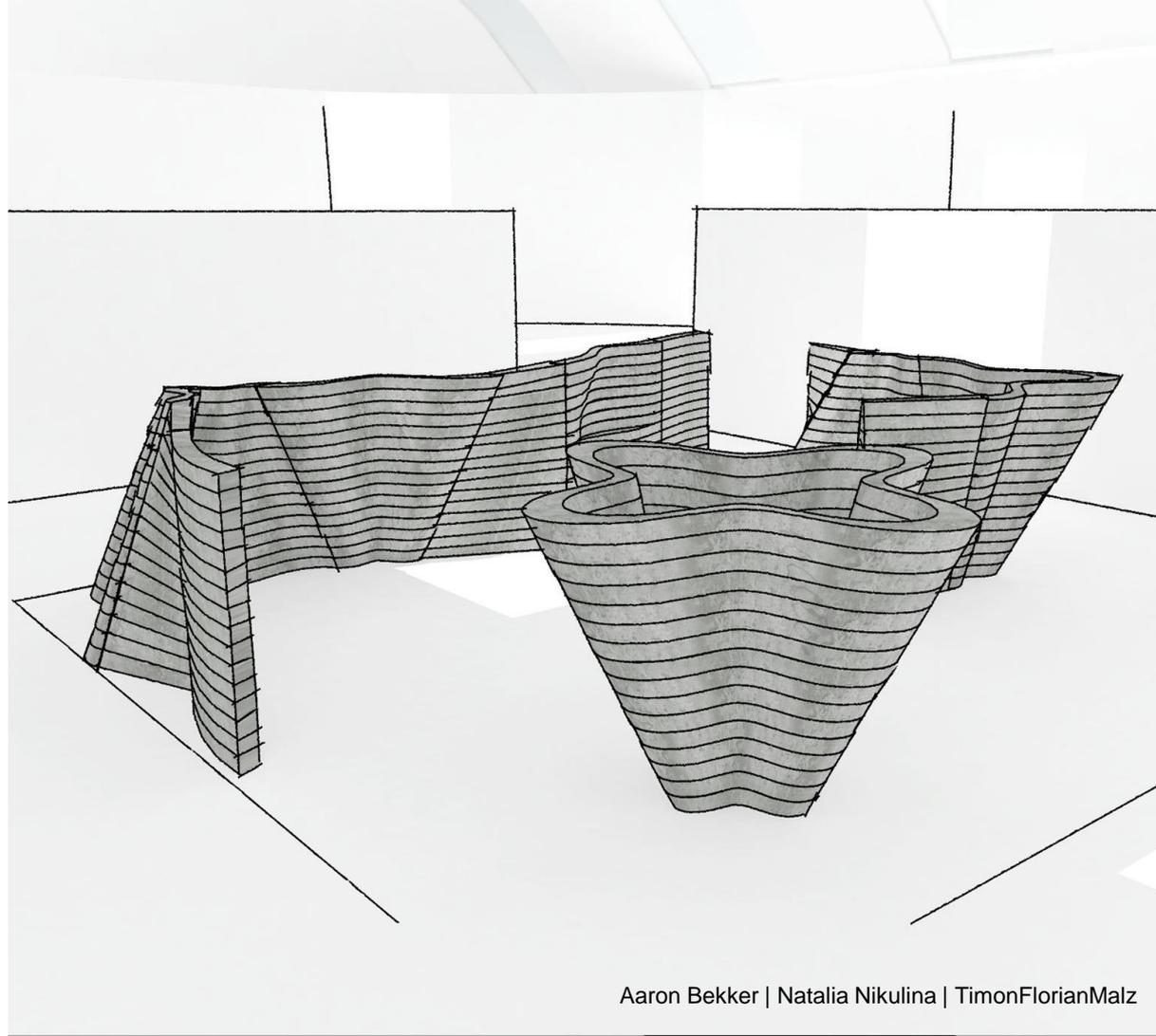
# Verfahren von 3D-Betondruck

- Pulverbrettverfahren,
- Nassspritzverfahren,
- **Extrusionsverfahren**



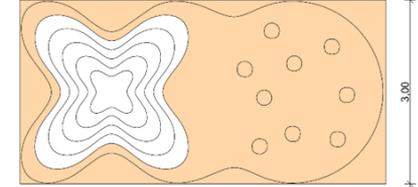
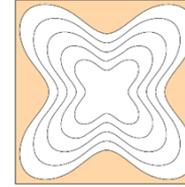
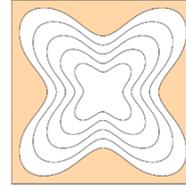
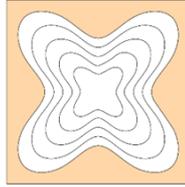
# Anpassung Form

- Entfernen der Deckplatte
- Platte drucken nicht sinnvoll,
- Entfall der Stütze und Tisch



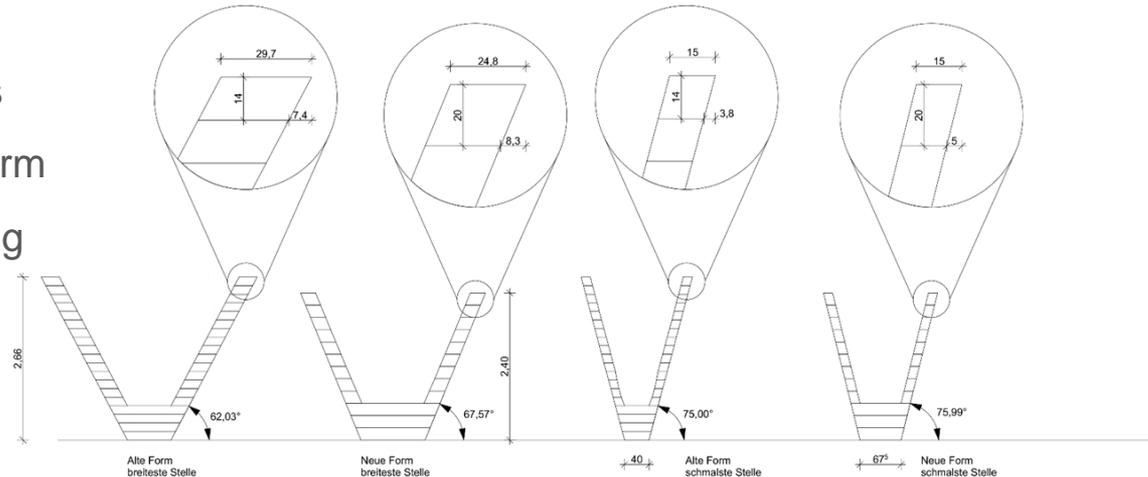
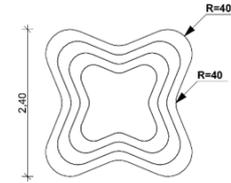
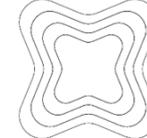
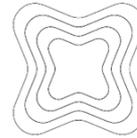
# Anpassung Form

Alte Form



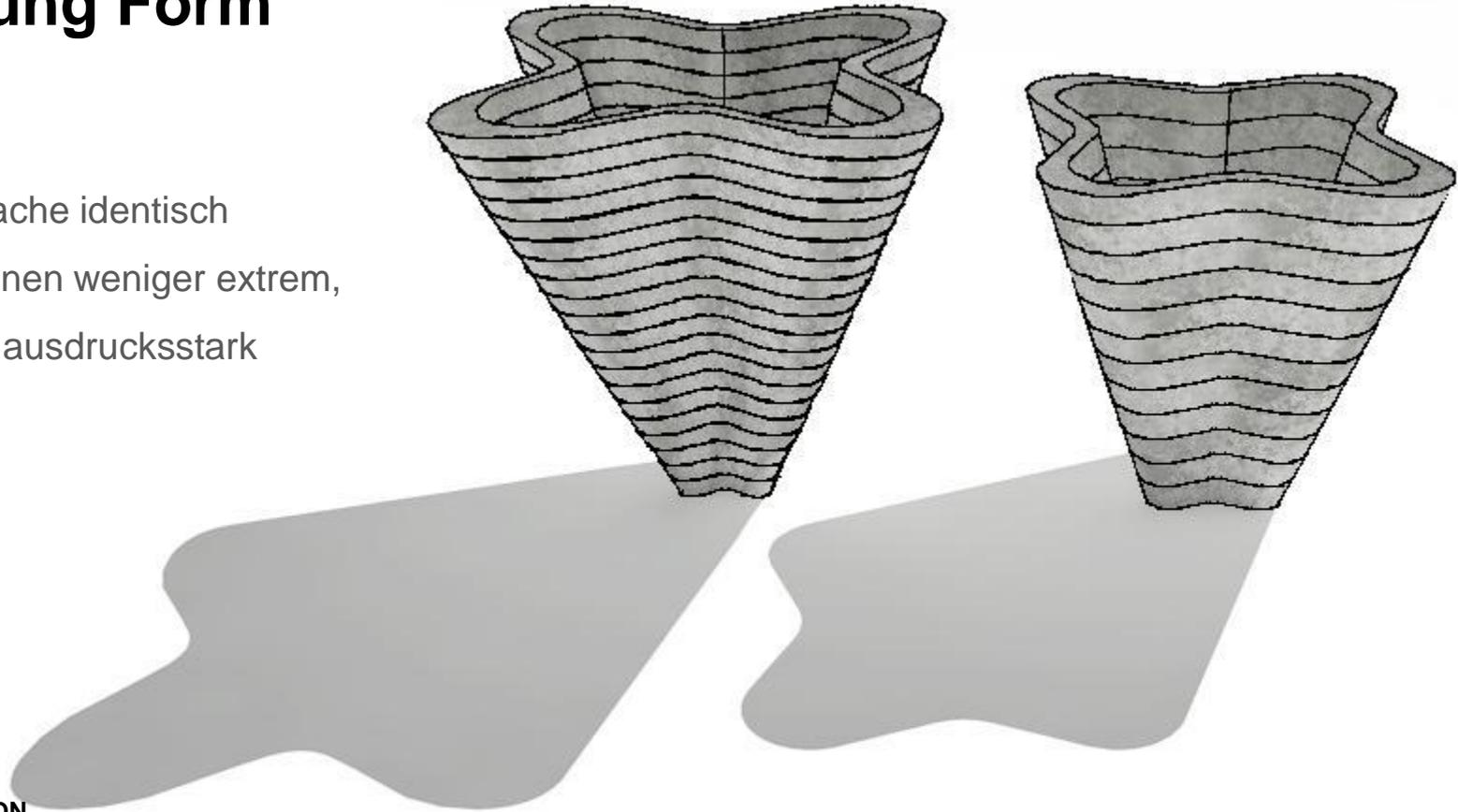
- Einsparung des Randes durch Drucken
- 0,54 m<sup>3</sup> Ersparnis durch Form,  
1,9 m<sup>3</sup> durch fehlenden Verschnitt
- Reduktion auf 3 Platten-12 Steine
- Vereinfachung der Form:  
Radius 40 cm, keine Splines
- Verkleinerung der Gesamtform
- Verringerung der Auskrägung
- Gleichmäßiger Querschnitt

Neue Form



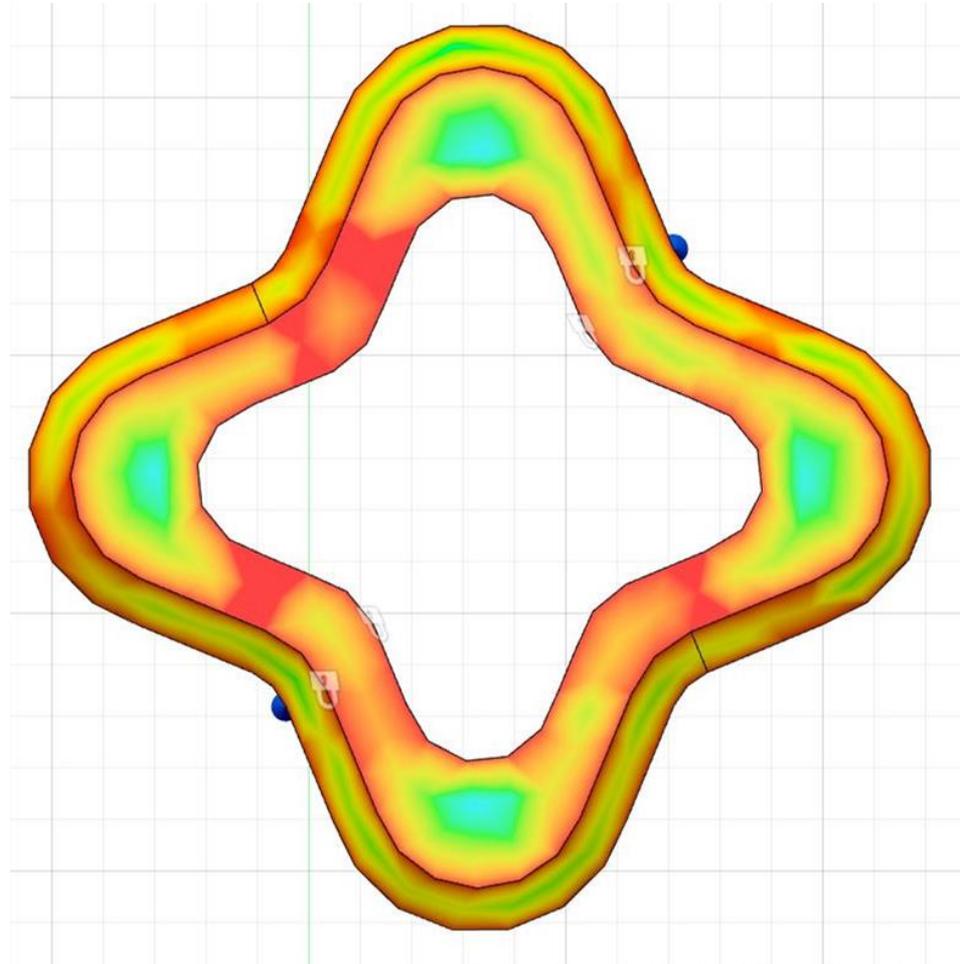
# Anpassung Form

- Formsprache identisch
- Proportionen weniger extrem, dennoch ausdrucksstark



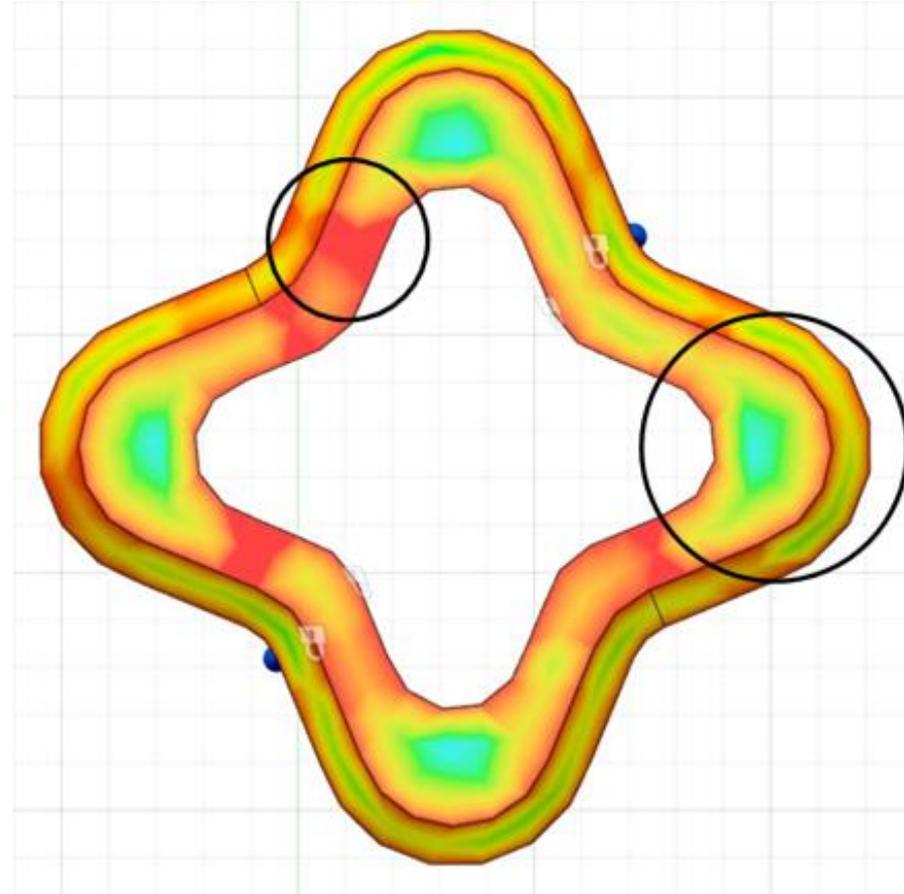
# Formoptimierung

- Formoptimierung mittels Simulation, Autodesk Fusion 360
- Simulation kann nicht direkt umgesetzt werden, dient lediglich als Orientierung
- Ausgangswerte der Simulation von Anwendung abhängig
- Form der Steine und somit Tragfähigkeit veränderlich
- Form der Aussparungen durch 3D-Druck nicht herstellbar



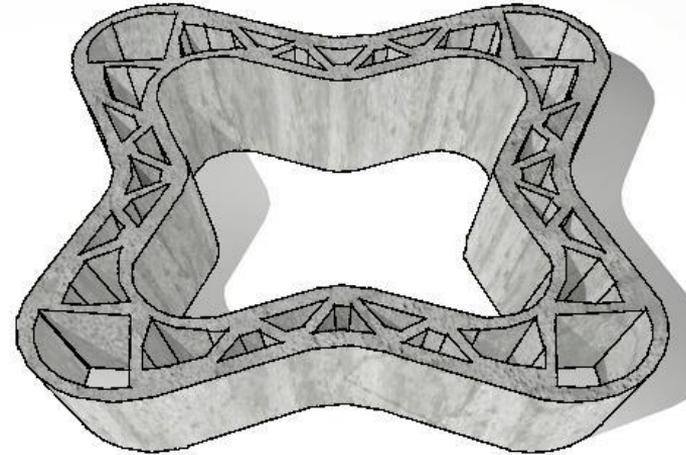
# Formoptimierung

Erkenntnis: in den großen Bögen kann mehr Material eingespart werden, am dringendsten wird es in der Mitte der geraden Stege benötigt



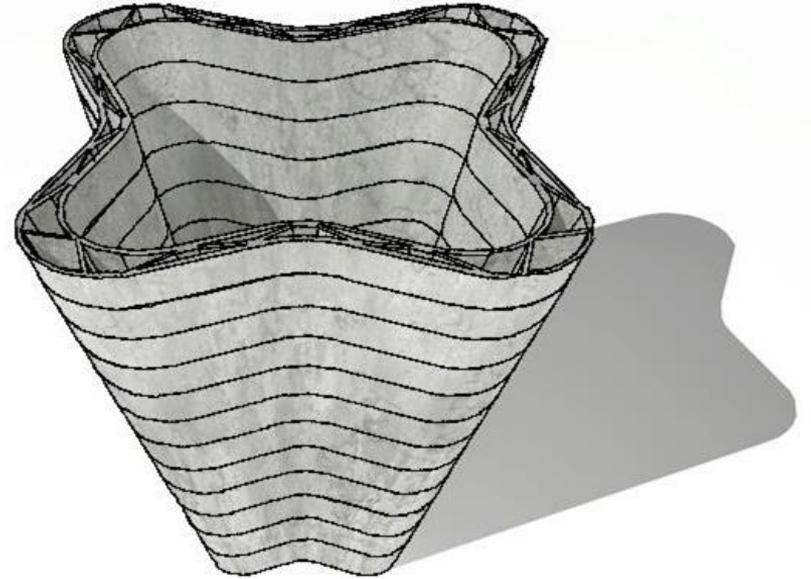
# Anpassung für 3D-Drucker

- Bei Extrusionstechnik werden Bahnen aus Beton gelegt
- unsere Formteile müssen aus diesen Bahnen aufgebaut sein
- Innere und äußere Fläche der Form müssen erstellt werden, um Gestaltung umzusetzen
- verbunden werden sie durch Rippen
- Rippen liegen als Verstärkung in der Mitte der Stege, in den großen Bögen sind die Abstände vergrößert



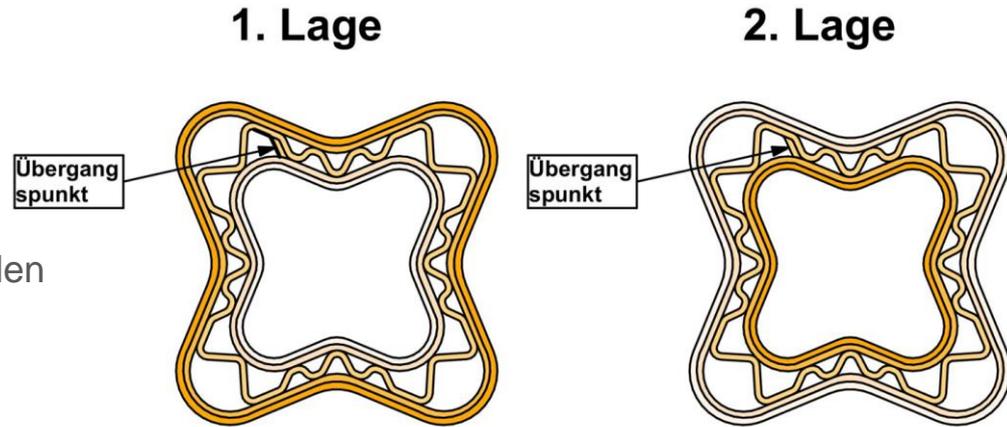
# Anpassung für 3D-Drucker

- Bei Extrusionstechnik werden Bahnen aus Beton gelegt
- unsere Formteile müssen aus diesen Bahnen aufgebaut sein
- Innere und äußere Fläche der Form müssen erstellt werden, um Gestaltung umzusetzen
- verbunden werden sie durch Rippen
- Rippen liegen als Verstärkung in der Mitte der Stege, in den großen Bögen sind die Abstände vergrößert



# Druckablauf

- Gedruckt wird 2 cm breit und 0,5 cm stark
- Auskragungswinkel von  $\sim 22,5^\circ$
- Zuerst wird die Äußere Wand des ersten Formteils gedruckt
- anschließende die Rippen, durch einen Übergabepunkt muss nicht abgesetzt werden
- als letztes wird die innere Wand gedruckt
- Drucken von außen nach innen soll eine möglichst gute Verbindung zwischen Außenwänden und Rippen ermöglichen
- um Absetz- und Startpunkte zu vermeiden wechseln wir nach einer Schicht die Druckrichtung von innen nach außen



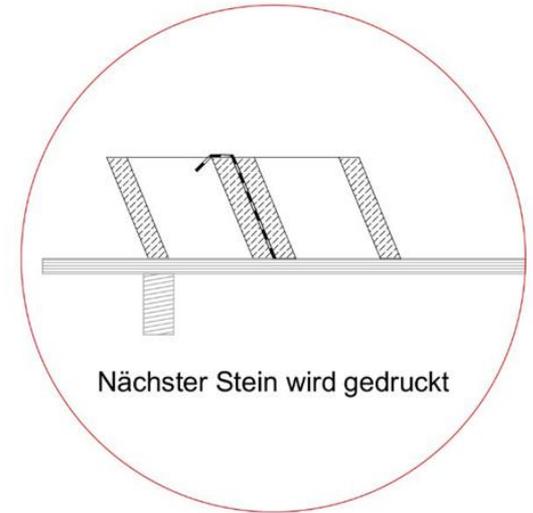
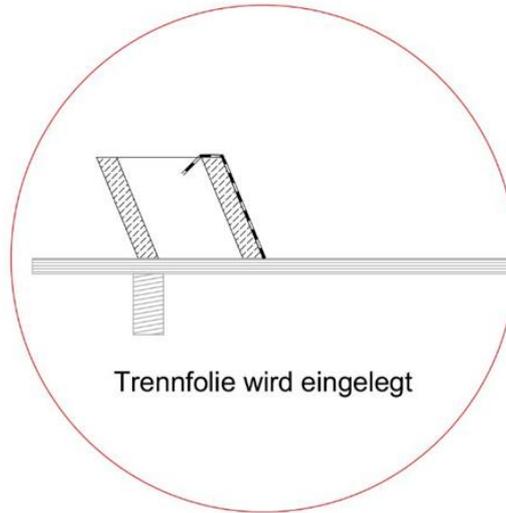
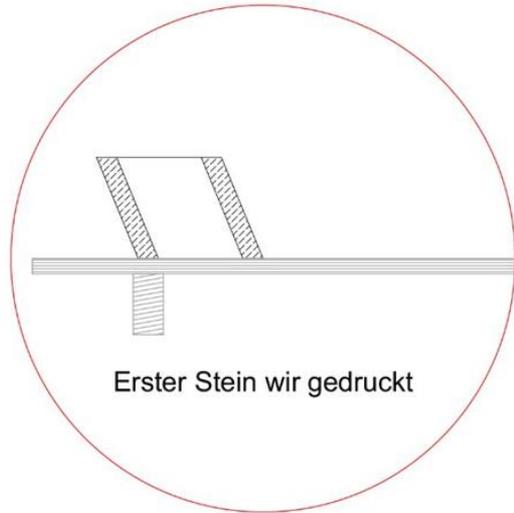
# Nesting

- Holzkonstruktion für späteren Transport und Lagerung als Druckplatte
- äußeres Formteil wird gedruckt
- Trennung erforderlich, um Verbindung mit nächstem Formteil zu verhindern
- Möglichkeiten: Sand, aufgespritztes Trennmittel, Folie
- Sand: - ungenau
- Trennmittel: - Trockenzeit Formteil, nicht Nachhaltig, anschließende Trennung
- Folie: - Faltenbildung durch doppelt gekrümmte Fläche



# Nesting

- Trennung erforderlich, um Verbindung mit nächstem Formteil zu verhindern
- Möglichkeiten: Sand, aufgespritztes Trennmittel, Folie
- wir entscheiden uns für die Folie: Krümmung durch abwicklung vermeiden, dicke Folie



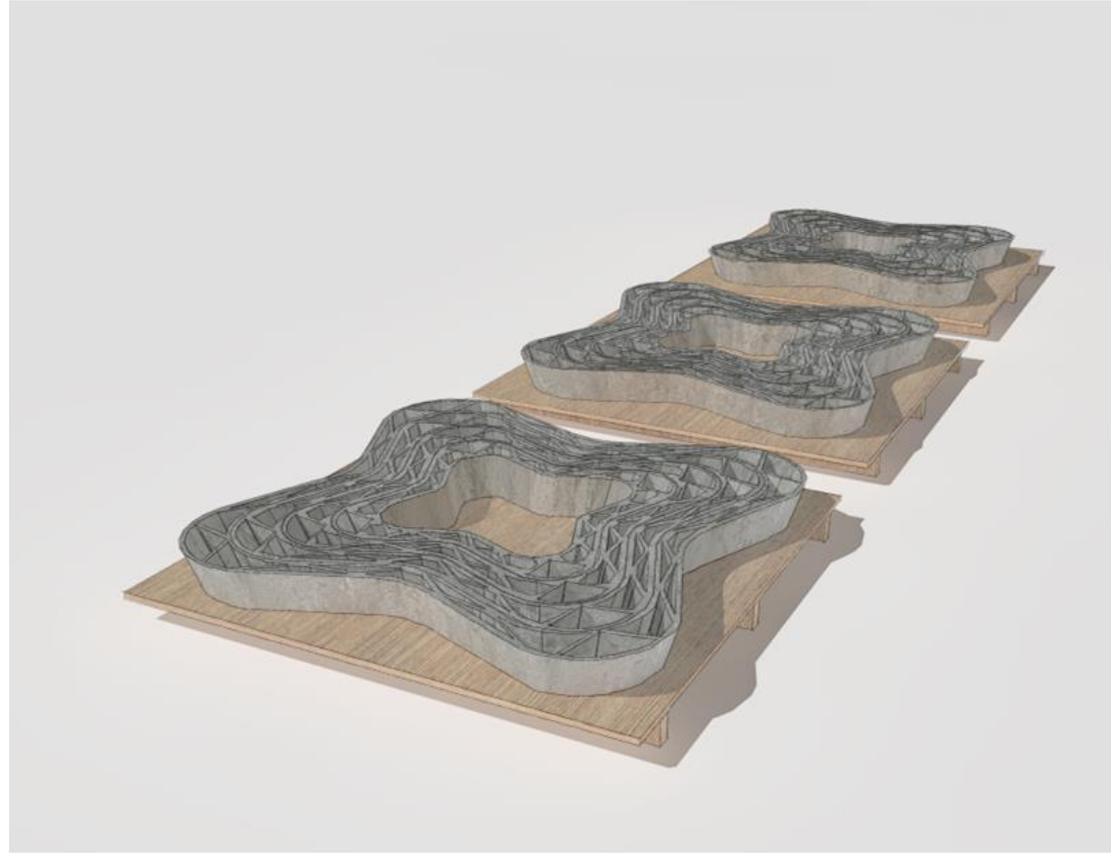
# Nesting

- Nach Druckvorgang über Holzkonstruktion lagerbar
- Nach Trocknungsphase stapelbar
- einfache Lagerung und Transport



# Nesting

- Nach Druckvorgang über Holzkonstruktion lagerbar
- Nach Trocknungsphase stapelbar
- einfache Lagerung und Transport



# Nesting

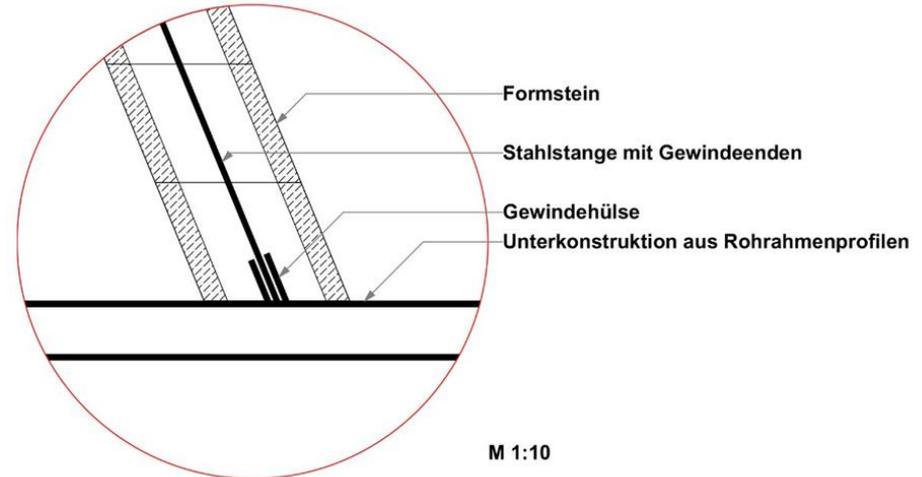
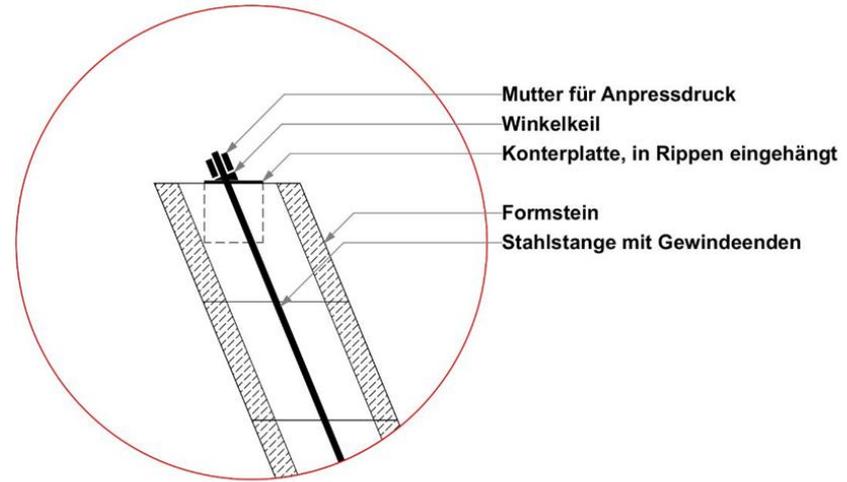
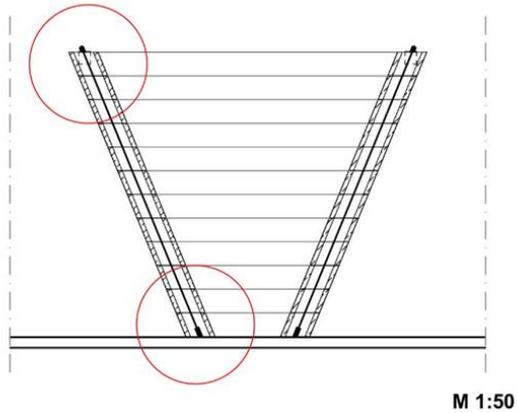
- Nach Druckvorgang über Holzkonstruktion lagerbar
- Nach Trocknungsphase stapelbar
- einfache Lagerung und Transport



# Mobile Anwendung

- Stahlunterkonstruktion zur Verankerung notwendig
- Gewindehülsen winklig auf Unterkonstruktion
- Formteile werden gestapelt

# Mobile Anwendung



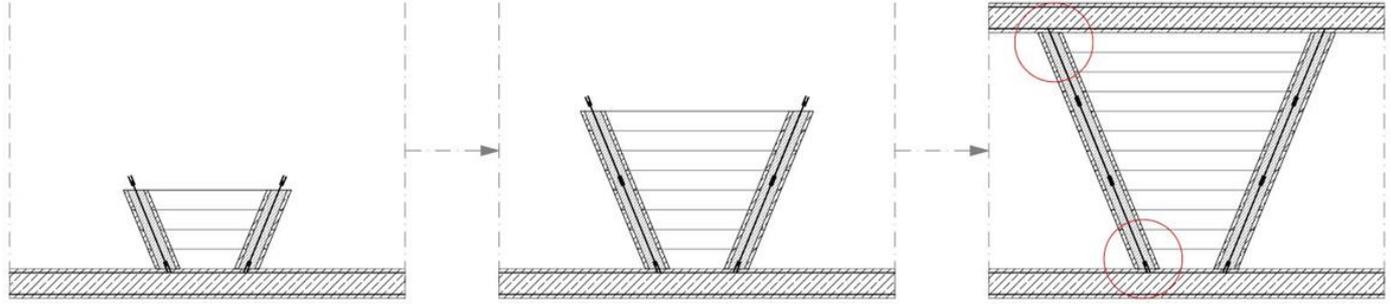
# Mobile Anwendung

- Stahlstangen mit Gewinden durch die Formteile geführt und Hülsen geschraubt
- Konterplatte wird über Stahlstangen geführt und über die Rippen formschlüssig mit Konstruktion verbunden
- über eine Mutter wird Konterplatte auf die Konstruktion geschraubt
- auf diese Weise kann der Pavillon einfach auf- und abgebaut werden, ist gut lagerbar und kann so immer wieder verwendet werden

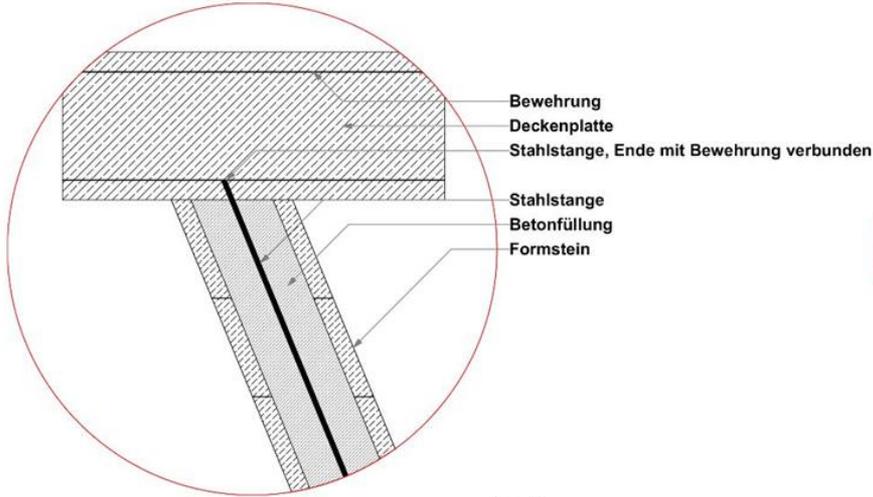
# Feste Anwendung

- Gewindehülsen werden mit Armierung der unteren Platte verbunden und ragen aus dieser heraus
- die Formteile werden über die Hülsen gestapelt
- Nach vier Formteilen wird eine Stahlstange mit Gewinden an den Enden in die Hülsen geschraubt
- die Hohlräume werden mit Beton verfüllt, dieser wird verdichtet

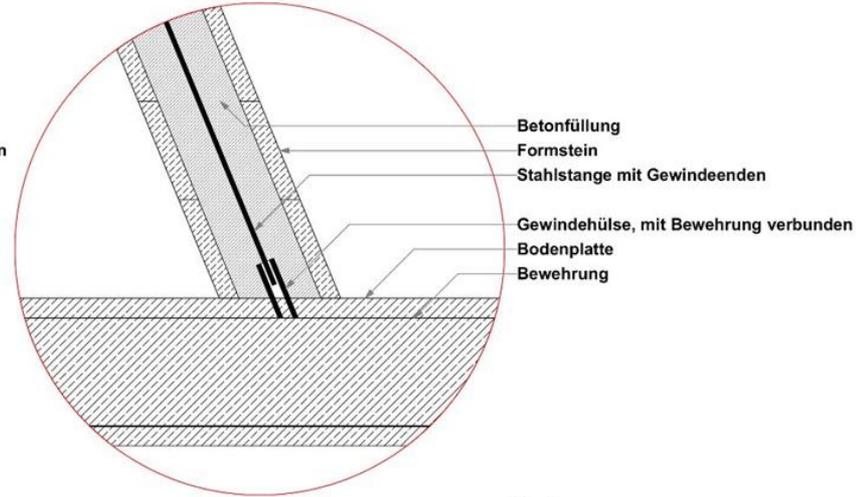
# Feste Anwendung



M 1:50



M 1:10



M 1:10

# Feste Anwendung

- nach Trocknungsphase wird auf das freistehenden Ende der Stahlstange eine weitere Gewindehülse geschraubt, der Vorgang wird wiederholt
- die letzte Stahlstange wird mit Armierung der oberen Decke verbunden
- Anarbeitung der Schalung der oberen Decke kann im Vorraus anhand des Schlusssteines erfolgen
- einfache Methode, um auch sehr Komplexe Formen in die Tragwerkskonstruktion von Gebäuden zu integrieren

# Fazit

- Nach Machbarkeitsanalyse versucht, Methode auszuwählen, bei der möglichst viele Elemente des ursprünglichen Entwurfs erhalten bleiben
- Durch den Beton 3D-Druck lassen sich die Formsprache und das Nesting besonders gut erhalten
- Die Wiederverwendung von Rohstoffen lässt sich hierbei leider nicht umsetzen
- Die Nachhaltigkeit in Bezug auf Emissionen und Energie nur geringfügig besser
- Dafür ist dieses Verfahren deutlich ökonomischer und schneller als herkömmliche Verfahren
- Verfahren bietet schnelle, günstige und einfache Methode um komplexe, doppelt gekrümmte tragende Wände und Stützen herzustellen

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**