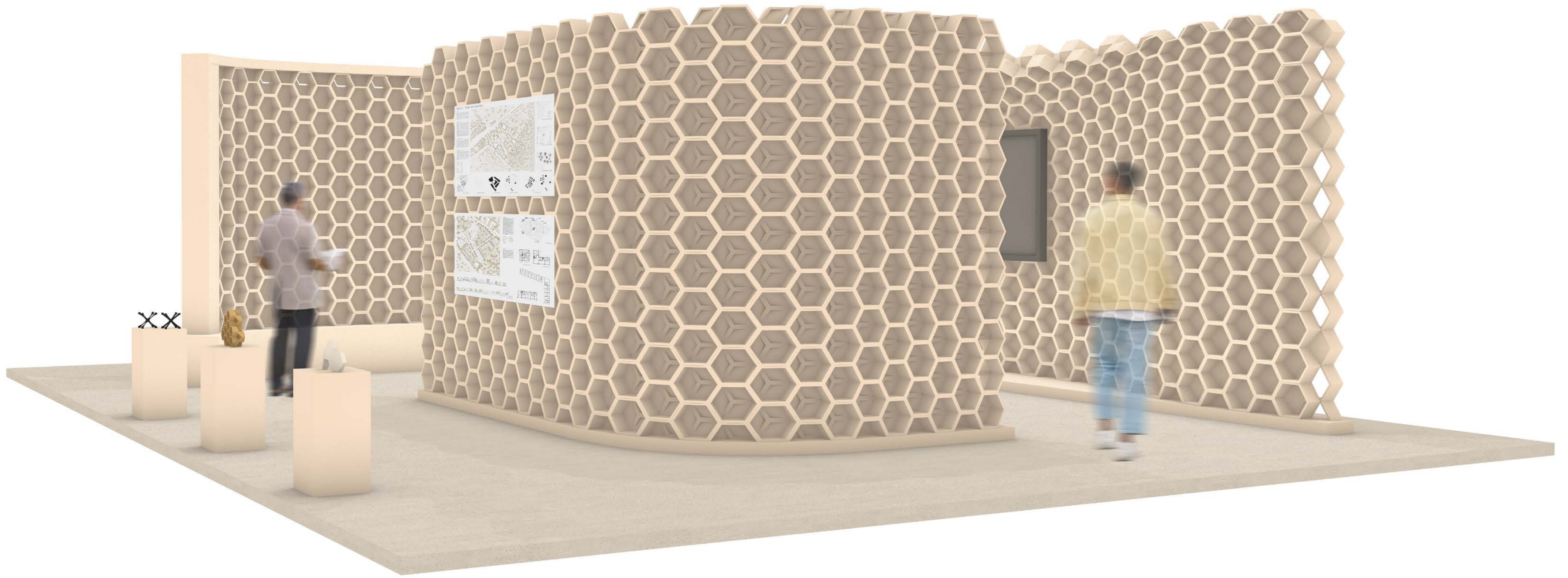
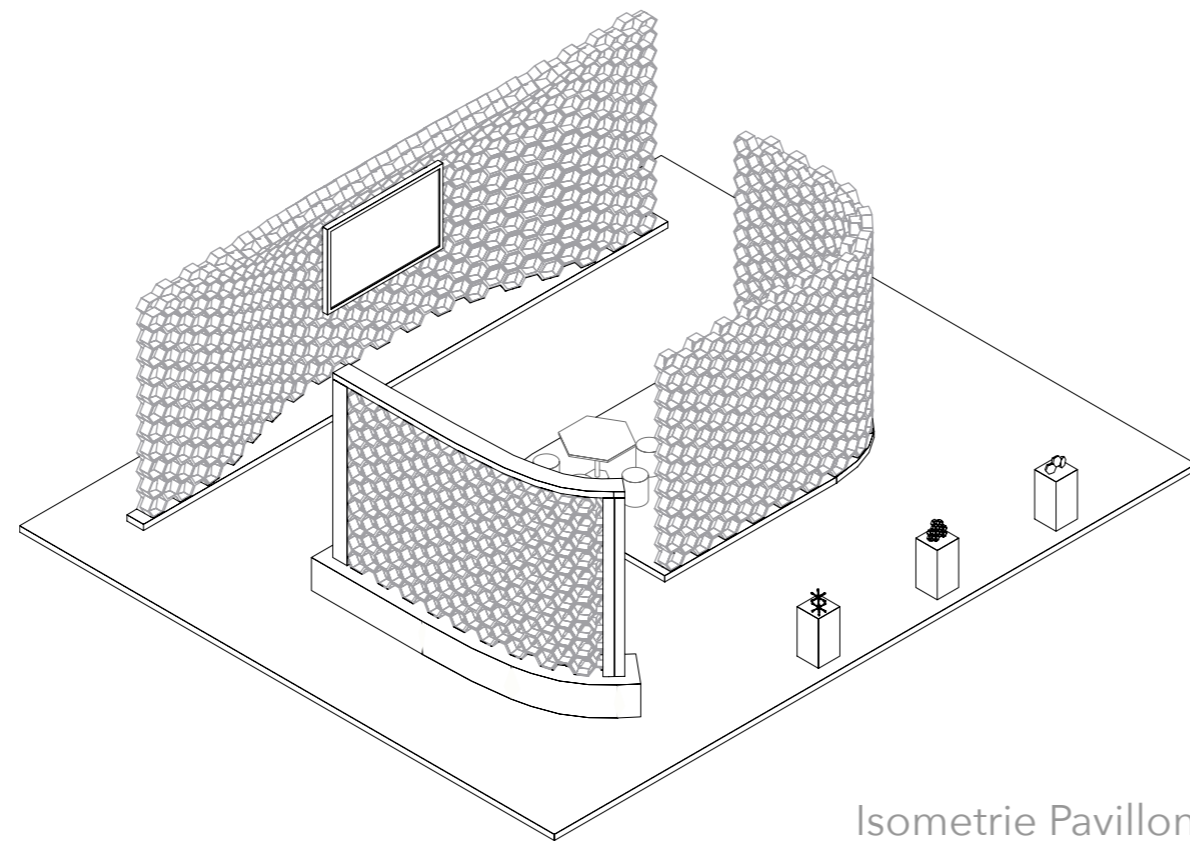


von Anna Glück und Vincent Villnow



**Einführung**

Der Anspruch eines klimaneutralen Gebäudebestandes und damit die wachsende Bedeutung der Nachhaltigkeit und der Energiebedarfsreduzierung der technischen Gebäudeausstattung fordern nach neuen, innovativen Lösungen fernab etablierter Bautechniken. Dieses Projekt behandelt die passive Innenraumluft-Kühlung auf Grundlage der Verdunstungskühlung. Das Fassadensystem entwickelt traditionelle Methoden aus dem Nahen Osten weiter und vermag so einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Architektur des 21. Jahrhunderts zu leisten. Seine Anwendung findet der Prototyp des Systems vor allem in warmen, ariden Regionen, da die dortigen klimatischen Bedingungen die beste Leistung des Systems bewirken und sich aufgrund simpler Wandaufbauten dem Grundsatz des „Einfachen Bauens“ bedient werden kann. Im weiteren Entwicklungsprozess ist es denkbar das Konzept auf Konstruktionen für das mitteleuropäische Klima zu übertragen.

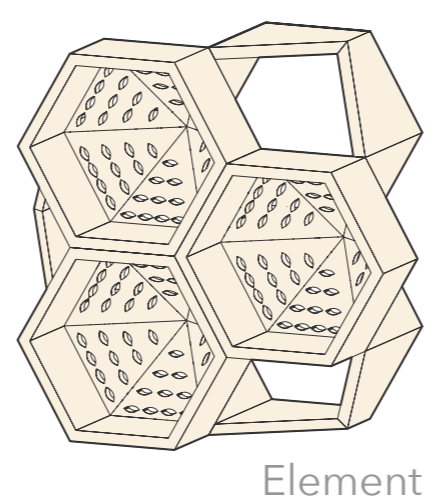


Isometrie Pavillon

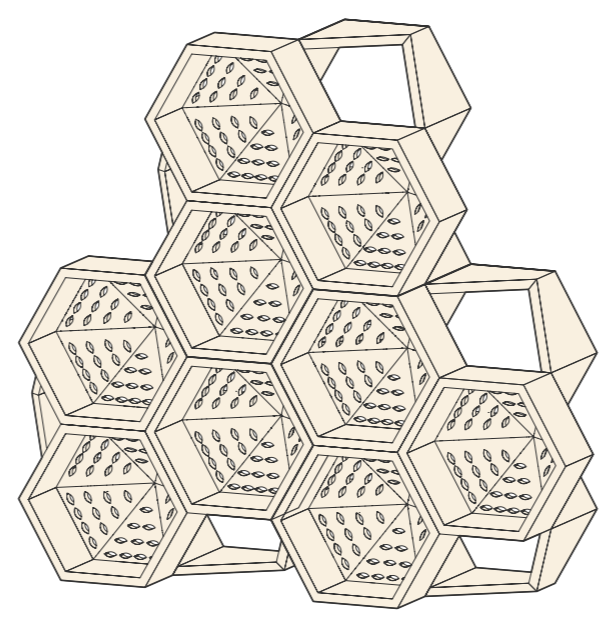


**Konzept**

Entwickelt wurde eine elementierte Fassade, welche durch perforierte Flächen einen Luftzug von außen nach innen ermöglicht. Mit Keramik wurde ein Material für die Elemente gewählt, welches eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit hat, eine gute Stabilität aufweist und als nachhaltig einzustufen ist. Durch einfaches Stapeln der Elemente ohne Verbindungsmittel sind die Fassaden mit geringem Zeitaufwand herzustellen. Die Formgebung und Anpassungsfähigkeit der Elemente ermöglicht die Herstellung verschieden geformter Fassaden.



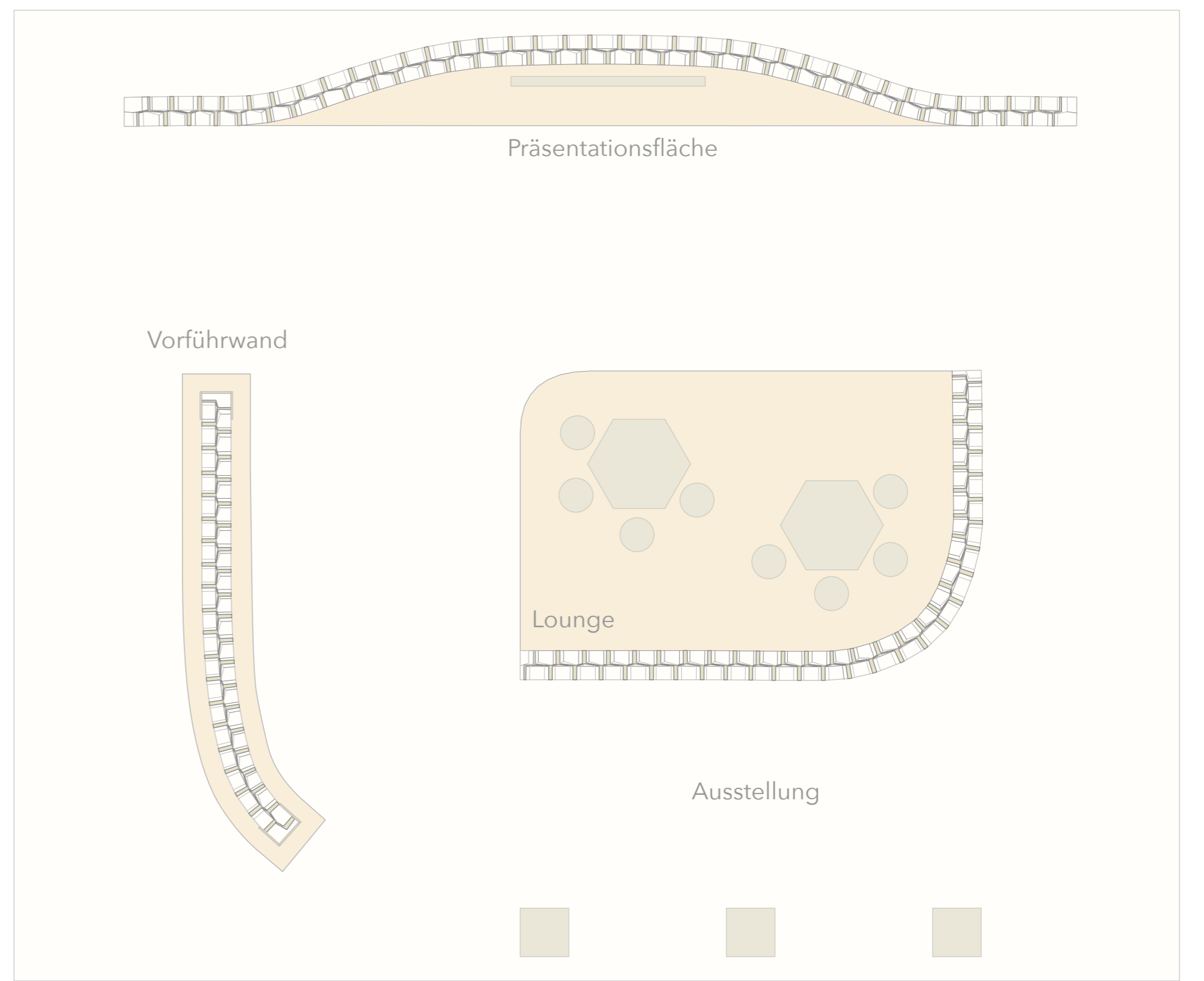
Element



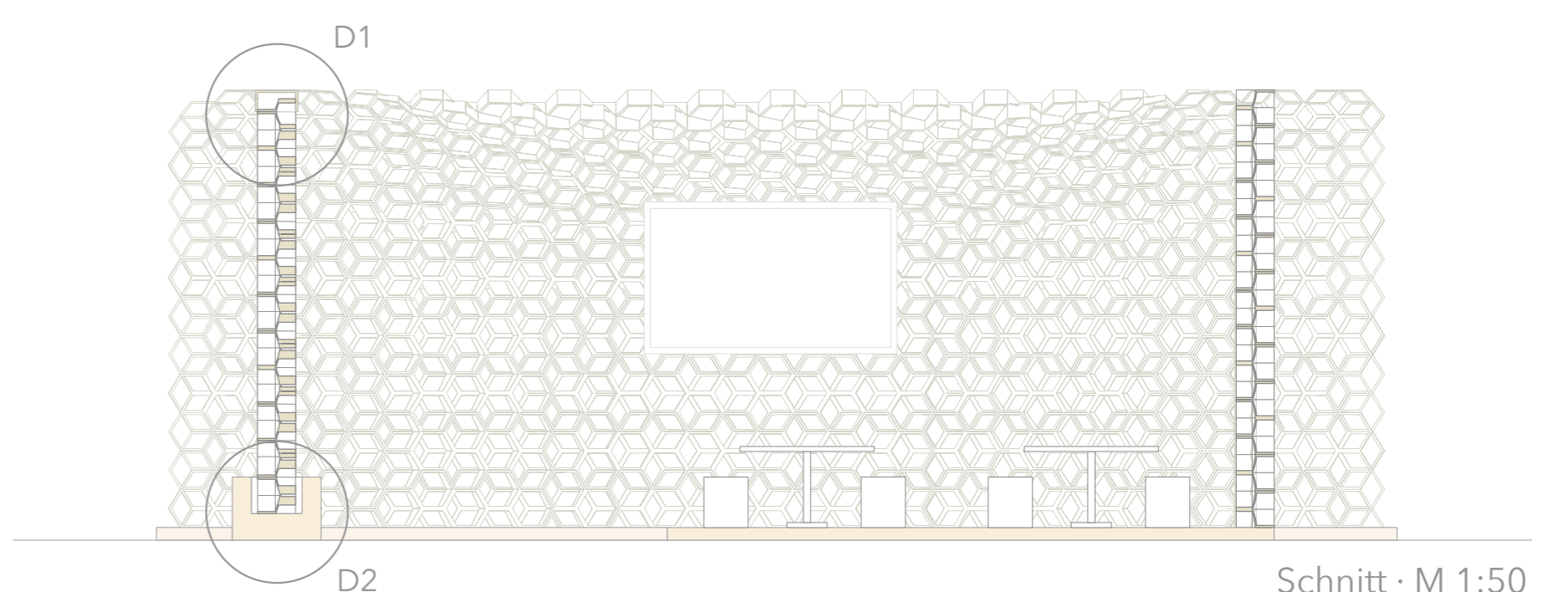
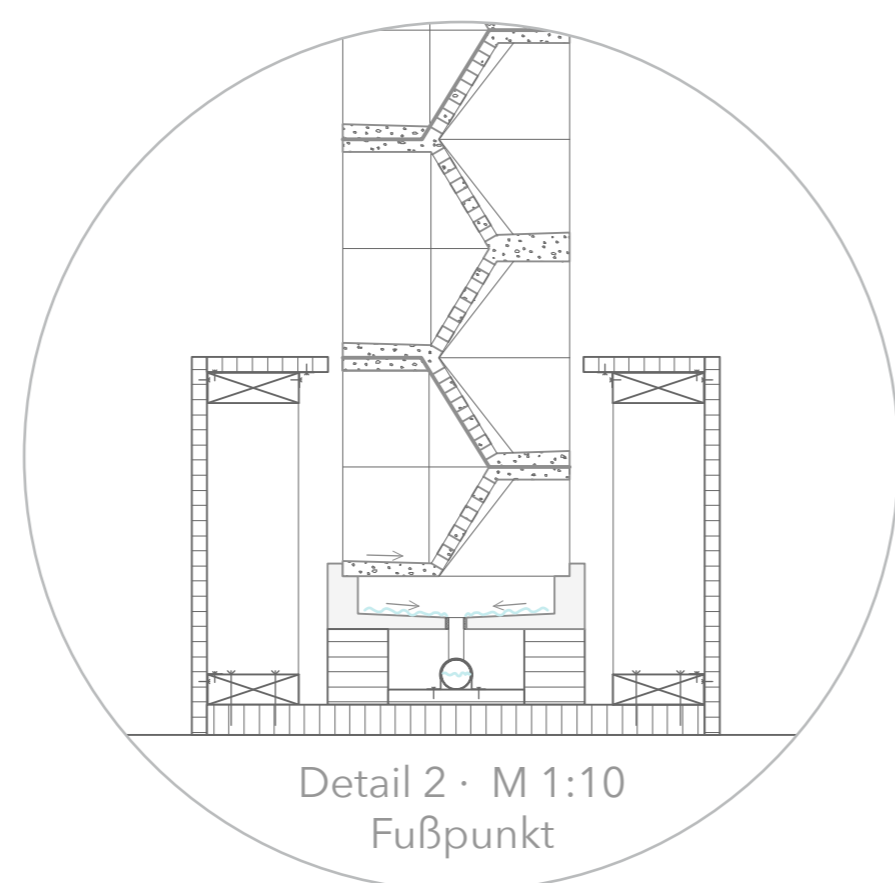
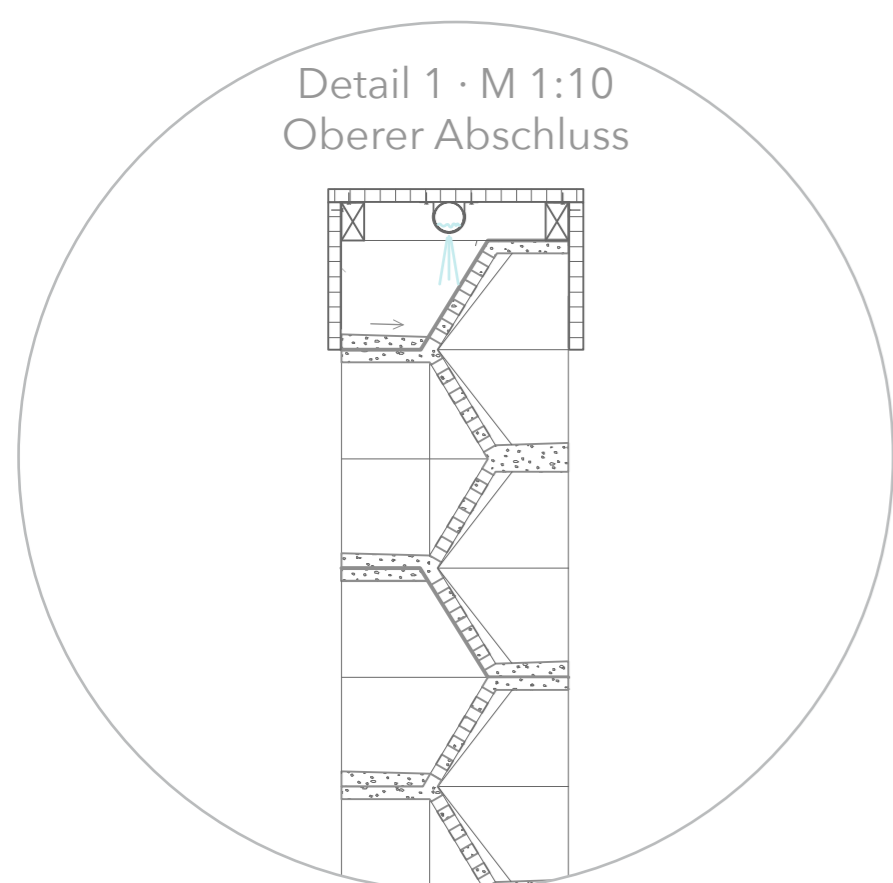
Stapelung

**Formfindung und parametrischer Ansatz**

Die grundlegende Form des Entwurfs ist das Hexagon, da es Stabilität und Modularität durch seine Formgebung besonders gut umsetzen kann. Aus sechs extrudierten Hexagonen und verbindenden Flächen entsteht ein Element. Die Elemente können auf jede beliebige - überwiegend senkrechte - Fläche projiziert werden und bilden so eine Fassade. Leichte Überhänge und Biegungen sind bis zu einem bestimmten Maß umsetzbar. Für die Fertigung mittels 3D-Tondruck ist die Druckunterseite jedes Elements planar zu gestalten oder gegebenenfalls eine universell einsetzbare Schalung zu entwickeln. Durchmesser und Tiefe der Elemente und die Neigung der inneren Flächen können je nach Druckverfahren, Einbausituation und gestalterischen Ansprüchen parametrisch angepasst werden.



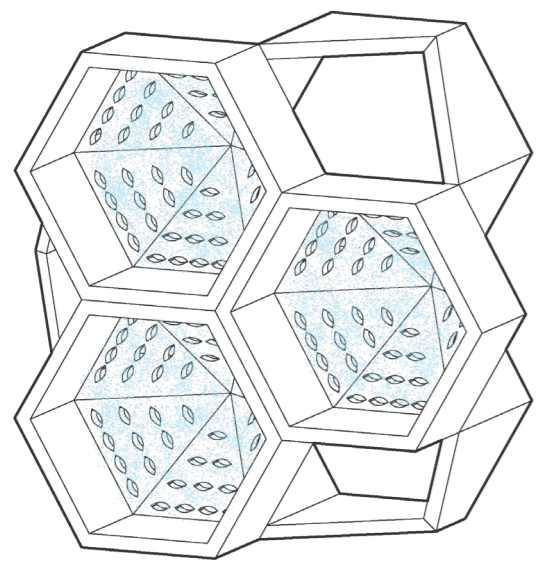
Grundriss · M 1:50



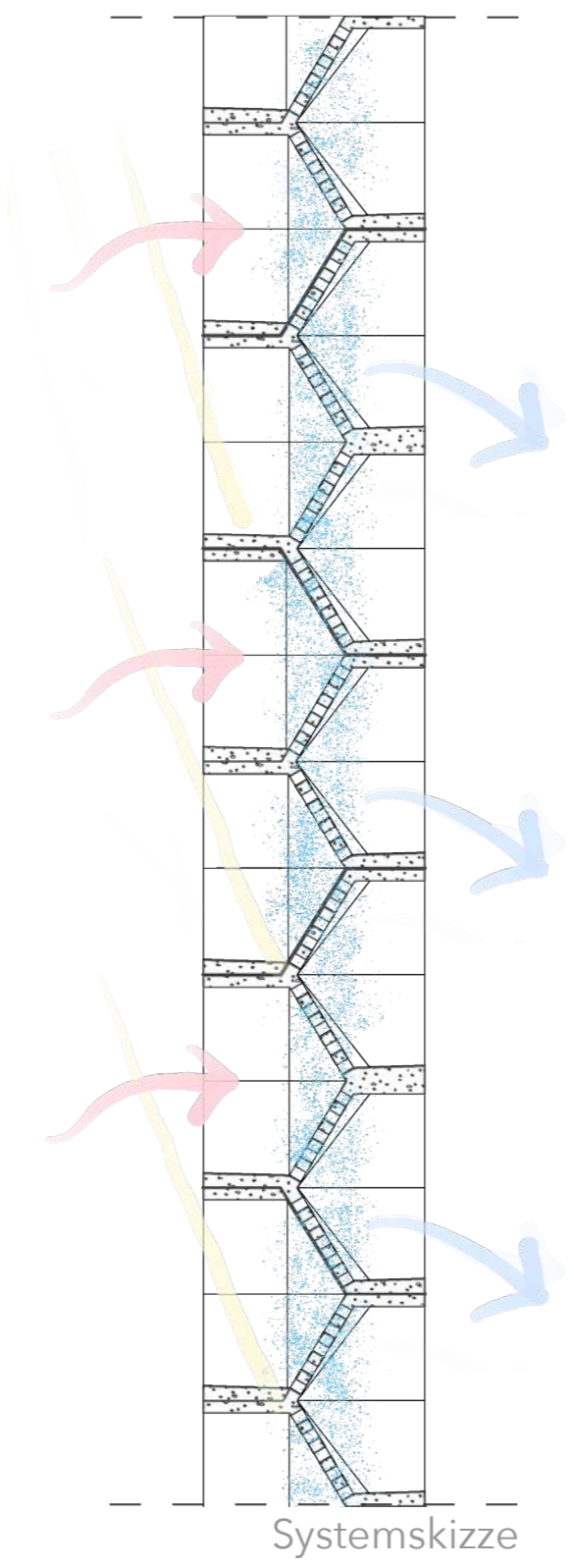
Schnitt · M 1:50

**Bauphysikalisches Prinzip**

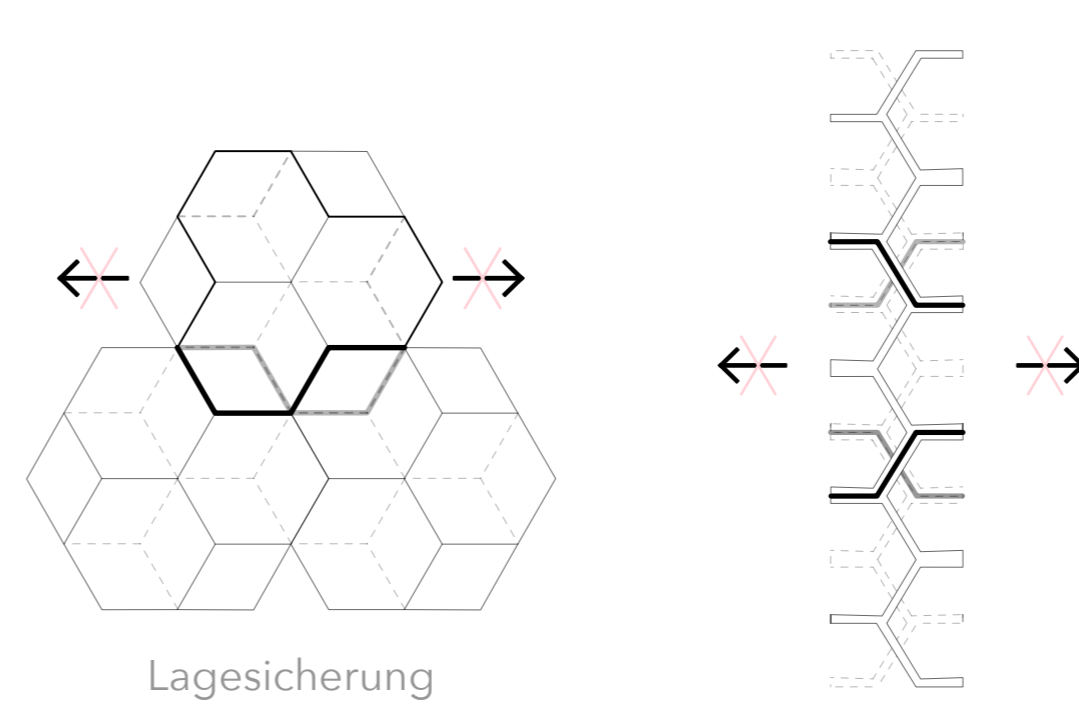
Luft, die an befeuchteten Materialien vorbei zieht, kühlt ab, da bei Verdunstung von Feuchtigkeit der Umgebungsluft Energie entzogen wird. Dieses Prinzip macht sich der Entwurf zunutze und versucht durch die Beachtung unterschiedlichster Aspekte in seiner formalen Ausbildung die Effizienz und Praktikabilität auf ein Maximum zu steigern. Die verbindenden Flächen im Inneren des Elements werden mit einer Perforierung versehen. Auf diese Weise wird ein Durchfluss des Wassers im System generiert. Zusammen mit der Kapillarwirkung des Materials ist es so möglich alle Elemente gleichmäßig zu befeuchten. Die Anordnung der feuchten Ebene mittig im Element verhindert die direkte Sonnenbestrahlung und damit ein verfrühtes Austrocknen der Elemente.



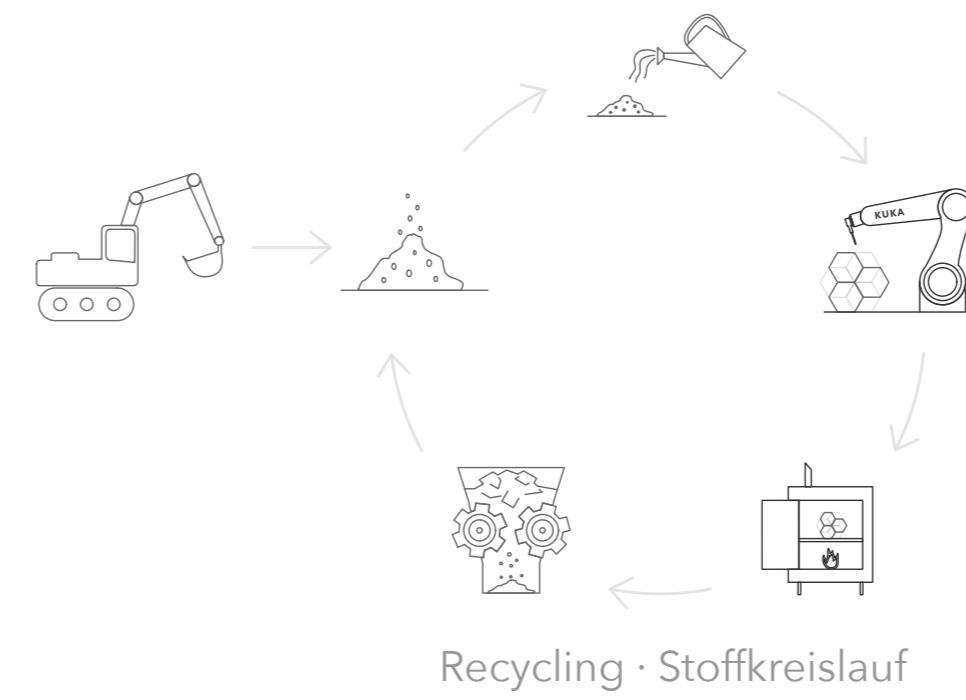
Perforierung · Wasserführung



Systemskizze



Lagesicherung



Recycling · Stoffkreislauf

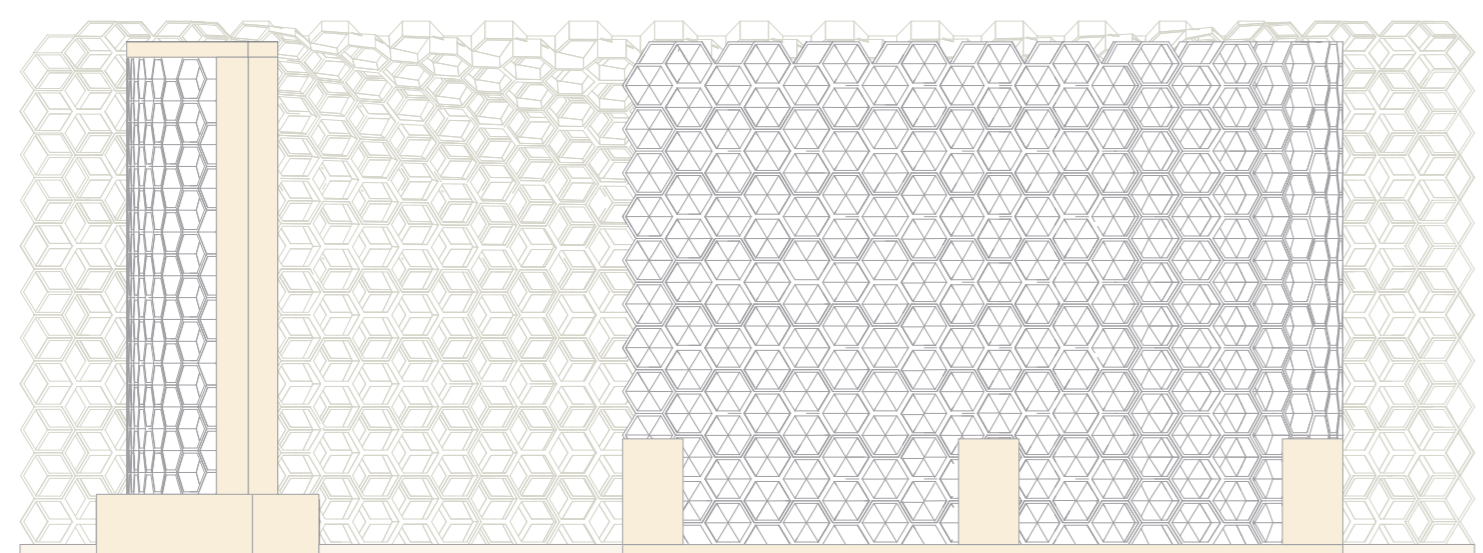
**Tragsystem, Konstruktion und Modularität**

Die Elemente werden ohne weitere Hilfsmittel gestapelt. Die Eigenlast in Verbindung mit der Form der Elemente führt zu einer Unverschieblichkeit der Elemente in der horizontalen Ebene.

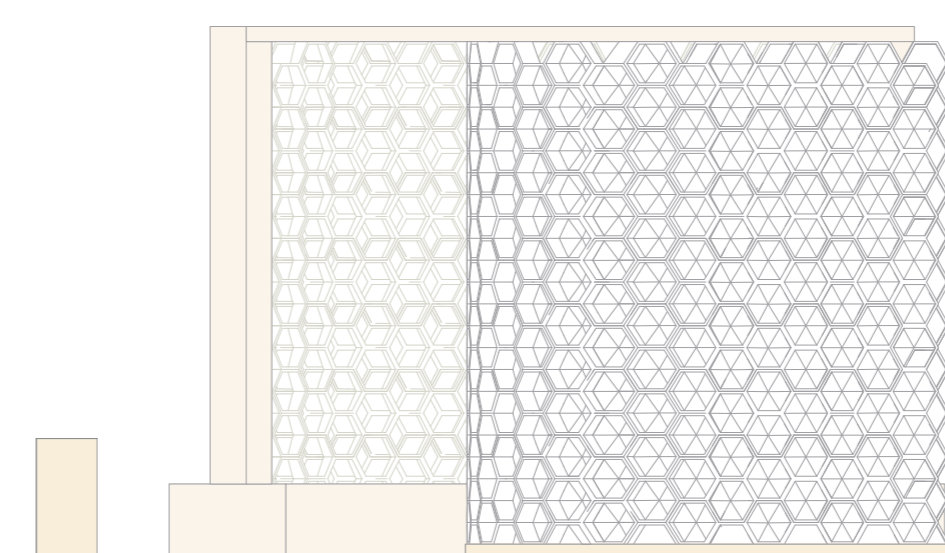
Für die Befeuchtung der Elemente ist es notwendig ein Pumpensystem in die Planung zu integrieren. Dafür wird eine Umrahmung angeordnet, die die Schlauchführung, Wasserverteilung und Wasseransammlung im unteren Bereich konstruktiv und technisch löst (siehe Detail 1/2). Wird das System als Teil einer Fassade eingesetzt kann die Umrahmung gegebenenfalls entfallen, wenn der Einsatzbereich so ausgeführt wird, dass alle notwendigen Funktionselemente verbaut werden können.

**Materialien und Nachhaltigkeit**

Die Elemente bestehen aus 3D-gedruckter Tonmasse. Zum Zwecke der Maximierung der Wasseraufnahmefähigkeit der Fassade wird dieser nicht bis zu Sinterung gebrannt. Dieses Vorgehen ermöglicht es zudem die Elemente in Gänze zu recyceln und somit dem Stoffkreislauf wieder zuzuführen. Da es keine mechanischen oder chemischen Verbindungsmittel bedarf, ist keine aufwendige Trennung von Materialien erforderlich. Neben der Materialwahl ist auch die Minimierung des notwendigen Energiebedarfs für die Gebäudekühlung einer der nachhaltigen Aspekte des Entwurfskonzeptes.



Ansicht I · M1:50



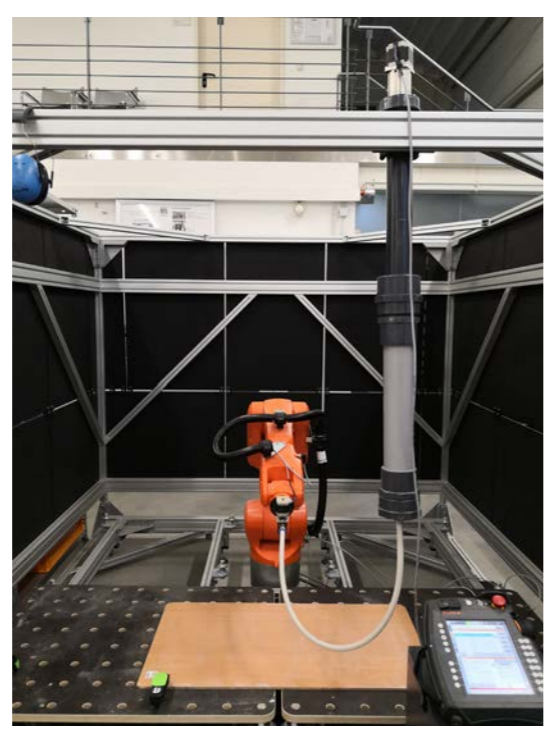
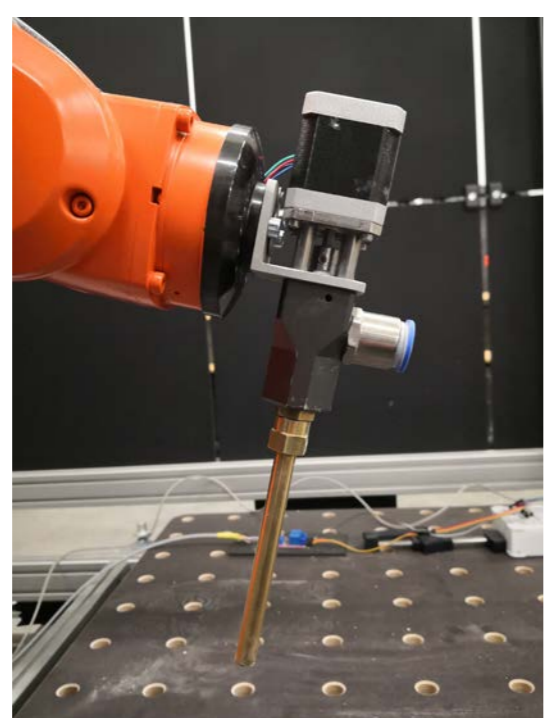
Ansicht II · M1:50

**Digitale Fertigung mittels Kuka 6-Achs-Roboter im 3D-Druck-Verfahren**

Die Elemente werden im 3D-Tondruck gefertigt. Durch diese Art der Fertigung kann jedes Einzelement individuell ausgebildet werden ohne einem zeitintensiven Herstellungsprozess zu unterliegen. Im CAD-Programm Rhino/Grasshopper und dem Firmeneigenen Plug-In „Kuka“ wird eine Druckdatei erzeugt, welche eine Vielzahl von Druckinformationen wie beispielsweise Druckpfade, Geschwindigkeiten und Schichthöhen beinhaltet.

Für die Extrusion des Tons wird an der Roboterspitze ein Extrusionswerkzeug – in diesem Fall mit einem Durchmesser von 6mm – verbaut (siehe Bild 1). Dieses ist über einen Schlauch mit einer Kartusche mit motorgesteuerter Kolbenpresse verbunden, welche mit dem Druckmaterial befüllt ist (siehe Bild 2).

Die erstellte Druckdatei wird auf die Steuereinheit geladen und per Touchpad gestartet. Der Roboter fährt nun die vorgegebenen Pfade ab und extrudiert gleichzeitig die Tonmasse. Je nach Druckergebnis können während des Druckprozesses die Motorgeschwindigkeiten angepasst und somit die extrudierte Menge an Ton gesteuert werden.



**Erfahrungen bei der Fertigung mit dem Kuka 6-Achs-Roboter**

- 1 Luftblasen im Druckmaterial führen zu Lücken im extrudierten Material. Daher ist es wichtig beim Befüllen der Kartusche die Tonmasse möglichst gut zu verdichten. Im Druckprozess sieht man die Luftblasen im Schlauch und hat die Möglichkeit die Roboterbewegung kurz zu stoppen bis die Luftblase weg ist und wieder Material extrudiert wird.
- 2 Der hohe Druck in der Kartusche erfordert, dass die Tonmasse sehr weich ist. Diese extreme Pastosität führt zu Absacken des Materials und Rissen in Eckbereichen was zu unsauberen Druckergebnissen oder gar zum Einsturz führt. Die Elemente mit der angedachten Perforierung können mit der weichen Tonmasse nicht gedruckt werden, denn durch die geschwungenen Auskragungen neigen die Schichten stark dazu abzusacken. Für optimale Ergebnisse sollte eine Druckstation genutzt werden, bei welcher das Druckmaterial direkt über ein unmittelbar mit der Presse verbundenes Extrusionswerkzeug aufgebracht wird, da bei dieser Verfahrensweise größere Materialfestigkeiten möglich sind.
- 3 Liegen viele Pfade direkt übereinander und werden immer auf die gleiche Weise abgefahren kommt es zu Sollbruchstellen, obwohl der Ton zu Anfang den Anschein einer homogenen Masse macht. Die Pfade sollten schichtenweise über Kreuz geführt werden um mehr Zusammenhalt im Material zu generieren.

