



# Viele Funktionen, ein Material, ein Prozess

Moritz Mungenast entwirft recyclebare Gebäudefassaden. In seiner Forschungspromotion untersuchte der Architekt, wie sich die traditionelle Bauweise durch 3D-gedruckte Fassaden vereinfachen und verbessern lässt.

*Short version*

## Many Features, One Material, One Process

E

Up until now, the role of digitalization in architecture has been confined to the design process. However, the development of ever-better 3D printers that can produce increasingly large components in full scale is opening up a new area of potential. Dr. Moritz Mungenast has been conducting systematic research in this field as part of his doctoral project entitled “3D Printed Future Facade.” A research fellow at the Associate Professorship of Architectural Design and Building Envelope at TUM, he has been investigating the possibilities for additive manufacturing that 3D printing is offering for the first time. Specifically, he has devised functional geometries and trialed the functional integration of 3D-printed facade elements. He has tested the optical, thermal, and structural properties of an element created by way of a prototype and subjected it to a long-term test at TUM’s solar station. This revealed the possibilities that exist for meeting complex technical and design requirements on an individualized basis using only a single material and a single process. □



---

#### Dr. Moritz Mungenast

---

Dr. Moritz Mungenast, Jahrgang 1974, studierte Architektur in Kaiserslautern, Lausanne und Barcelona, bevor er 2003 an der TUM sein Diplom machte. Er war u. a. für Auer Weber in München sowie für Shigeru Ban in Paris tätig. 2009 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Gebäudelehre und Produktentwicklung der TUM, seit 2010 am Lehrstuhl für Entwerfen und Gebäudehülle sowie am Lehrstuhl Emerging Technologies. 2014 initiierte und leitete er die Forschungsinitiative „3d-printed envelopes“ parallel zu seiner 2019 abgeschlossenen Promotion. 2018 war er Mitgründer des Start-ups 3F Studio.

---

#### Was ist die Grundidee Ihres Forschungsprojektes?

Die Ausgangsfrage lautet: Kann man mittels 3D-Druck eine leistungsfähige und funktionsintegrierte Fassade herstellen, die obendrein recyclebar ist? Am Beispiel der Fassade zeige ich erweiterte Möglichkeiten des 3D-Drucks für eine 1:1-Anwendung in der Architektur auf. Ein Schwerpunkt liegt auf der Integration verschiedener Funktionen in die gedruckte Fassade. Daraus ergeben sich weitere Fragestellungen. Etwa: Wie werden bewegliche Teile gestaltet? Wie sieht beispielsweise eine 3D-gedruckte Tür aus, die sich an eine Freiform anpassen kann? Da es um Architektur geht, spielen neben technischen Gesichtspunkten auch gestalterische eine zentrale Rolle.

#### Welche Teilaspekte waren zu bearbeiten?

Meine Überlegung war: Wie kann eine Fassade aussehen, die Möglichkeiten des Computational Design und des 3D-Drucks optimal verbindet? Bei gleicher Leistungsfähigkeit soll das Bauen vereinfacht und die digitale Kette zwischen Entwurf und Fertigung geschlossen werden. Das setzt voraus, neue Geometrien zur Erfüllung der Funktionen, sogenannte Funktionsgeometrien, zu entwickeln. Aus einem Blumenstrauß neuer Möglichkeiten galt es diejenigen auszuwählen, die geeignet sind, Teil eines Fassadenelements zu sein. Zunächst wurden einzelne Aspekte wie Dämmung, Sonnenschutz, Belüftung, akustische Streuung und Beweglichkeit, etwa einer Tür, prototypisch per 3D-Druck untersucht. Nach Auswertung der Ergebnisse wurden diese Funktionen in einem funktionsintegrierten Bauteil zusammengeführt. Auch dieses wurde anschließend überprüft und optimiert.

### Was bedeutet Funktionsintegration?

Normalerweise ist eine Fassade aus Elementen zusammengesetzt. Da gibt es das Fenster, ein geschlossenes Paneel übernimmt die Dämmung, ein weiteres Element dient dem Sonnenschutz, ein anderes Bauteil stellt die Belüftung sicher und so fort. Im Zusammenwirken dieser Einzelkomponenten werden Funktionen erfüllt. Hier ist die Idee, mittels einer leistungsfähigen Geometrie Funktionen zu integrieren. Der gewünschte Komfort, beispielsweise Dämmung, Belichtung, Eigenverschattung und Belüftung, wird mit einem einzigen Element aus einem Material erreicht, das in einem Prozessschritt hergestellt wird und komplett recyclebar ist.

### Was kann eine 3D-gedruckte Fassade, was konventionelle Fassaden nicht können?

Sie soll zunächst einmal all das leisten, was herkömmliche Fassaden auch können. Doch lässt sie sich besser individuell an unterschiedliche Orte und ihre Besonderheiten anpassen. Dann bietet sie einen zirkulären Materialkreislauf. Das bedeutet, die Fassade wird wieder zur Fassade, was im konventionellen Bauen längst nicht erreicht ist. Zudem bietet sie eine große Varianz an Gestaltungsmöglichkeiten.

### Welche Probleme mussten Sie lösen, um zum Ziel zu gelangen?

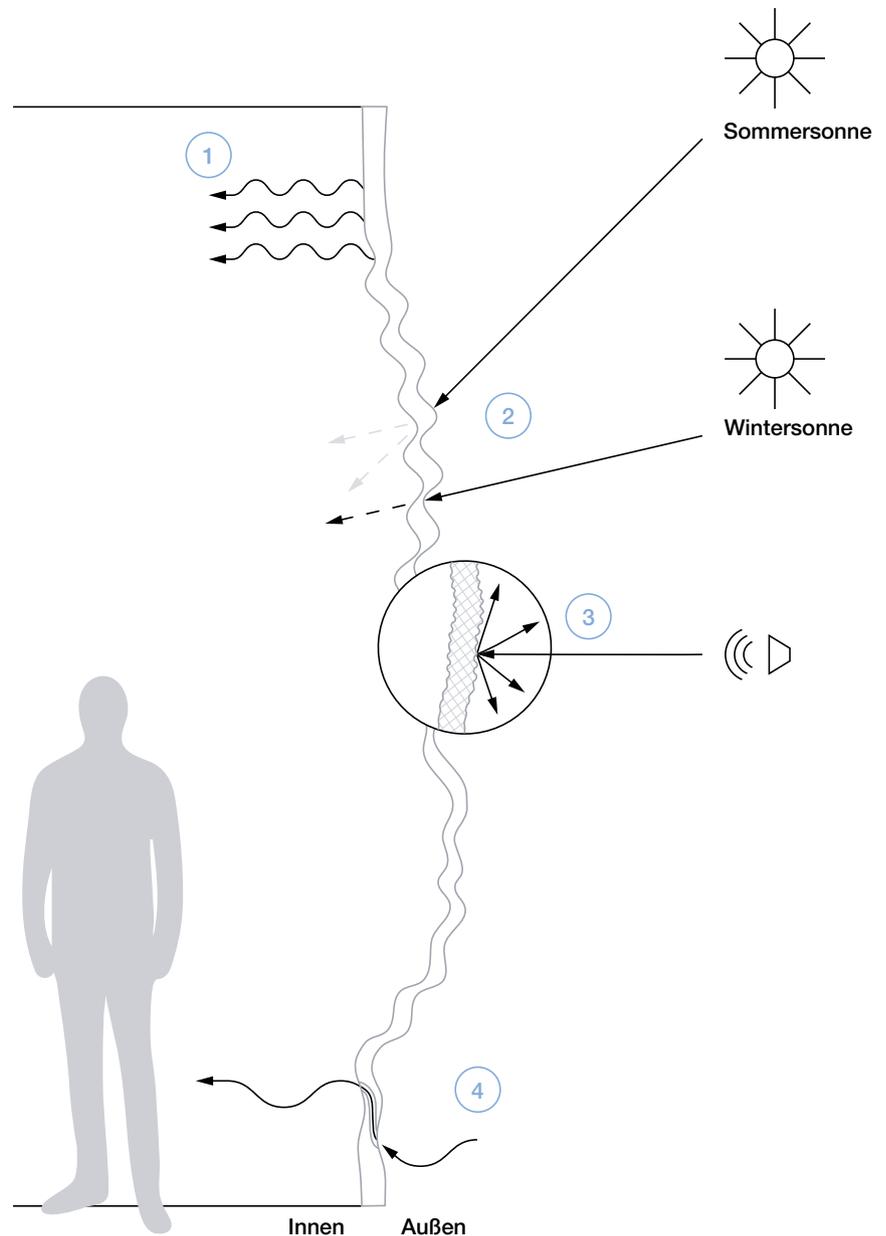
Zunächst musste geklärt werden, welche Funktionen sich sinnvollerweise mit dem 3D-Drucker realisieren lassen, welche Parameter informieren die Funktionsgeometrie und wie lassen sie sich zusammen in einem Bauteil herstellen. Dies habe ich in Lehrformaten mit Studenten untersucht. Danach ist die größte Herausforderung noch immer die Umsetzung, die Produktion der Geometrien mit Kunststoff im Maßstab 1:1. Dieser Prozess steht am Anfang. Die 3D-Drucker sind noch nicht so prozesssicher, dass man nur auf den Knopf drücken muss, um ein gleichbleibendes Ergebnis zu erlangen. Das Anschmelzen des Materials, das Drucken und Abkühlen – das sind hochsensible Parameter, die man kontrollieren muss. Hinzu kommt der zeitliche Aspekt: Noch dauert das Drucken sehr lange. Bereits in den Folgeprojekten sind jedoch Toleranzen deutlich besser geworden und die Druckdauer ist wesentlich kürzer. Die Technik entwickelt sich extrem schnell weiter. ▶



**3D-Druck eines Fassadenelements** (ca. 80 x 90cm) mit einem Großformat Delta Drucker im Technischen Zentrum der Fakultät für Architektur der TUM.

**Integration verschiedener Funktionen und Eigenschaften** in eine gedruckte, aus einem Material bestehende Fassade. Dr. Moritz Mungenast entwarf komplett neue, sogenannte Funktionsgeometrien, um Funktionen wie Sonnenschutz oder Dämmung zu realisieren.

- 1 Dämmung
- 2 Sonnenschutz
- 3 Akustische Streuung
- 4 Belüftung

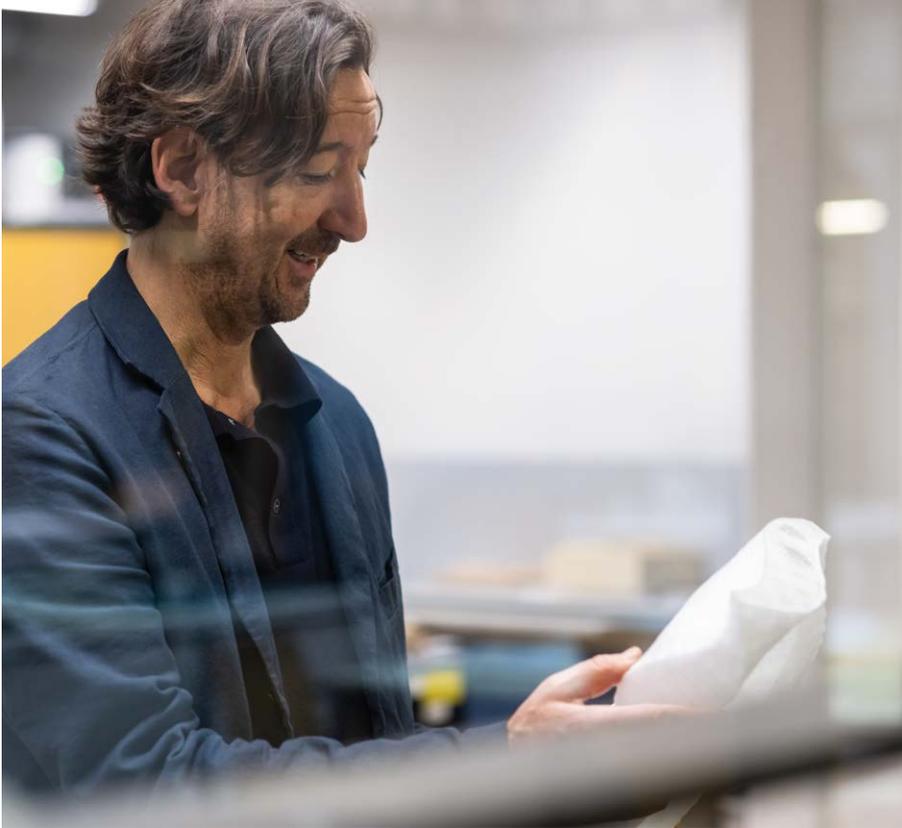


### Wie fand die Festlegung auf bestimmte Geometrien statt?

Da gibt es verschiedene Auswahlkriterien: Ist eine Geometrie druckbar? Gibt es ein geeignetes Material? Es ist ein iterativer Prozess: Verschiedene Varianten wurden ausgedruckt, getestet und weiter optimiert. Bei dieser Art von Architektur geht es um Research by Design. Man kommt nur durch Ausprobieren weiter. Valide Resultate erreicht man durch den Übergang zum Originalmaßstab. Schließlich wird der Standort mit seinem Sonnenverlauf simuliert, was entscheidende Auswirkungen auf die Geometrien hat, etwa was die Eigenverschattung angeht.

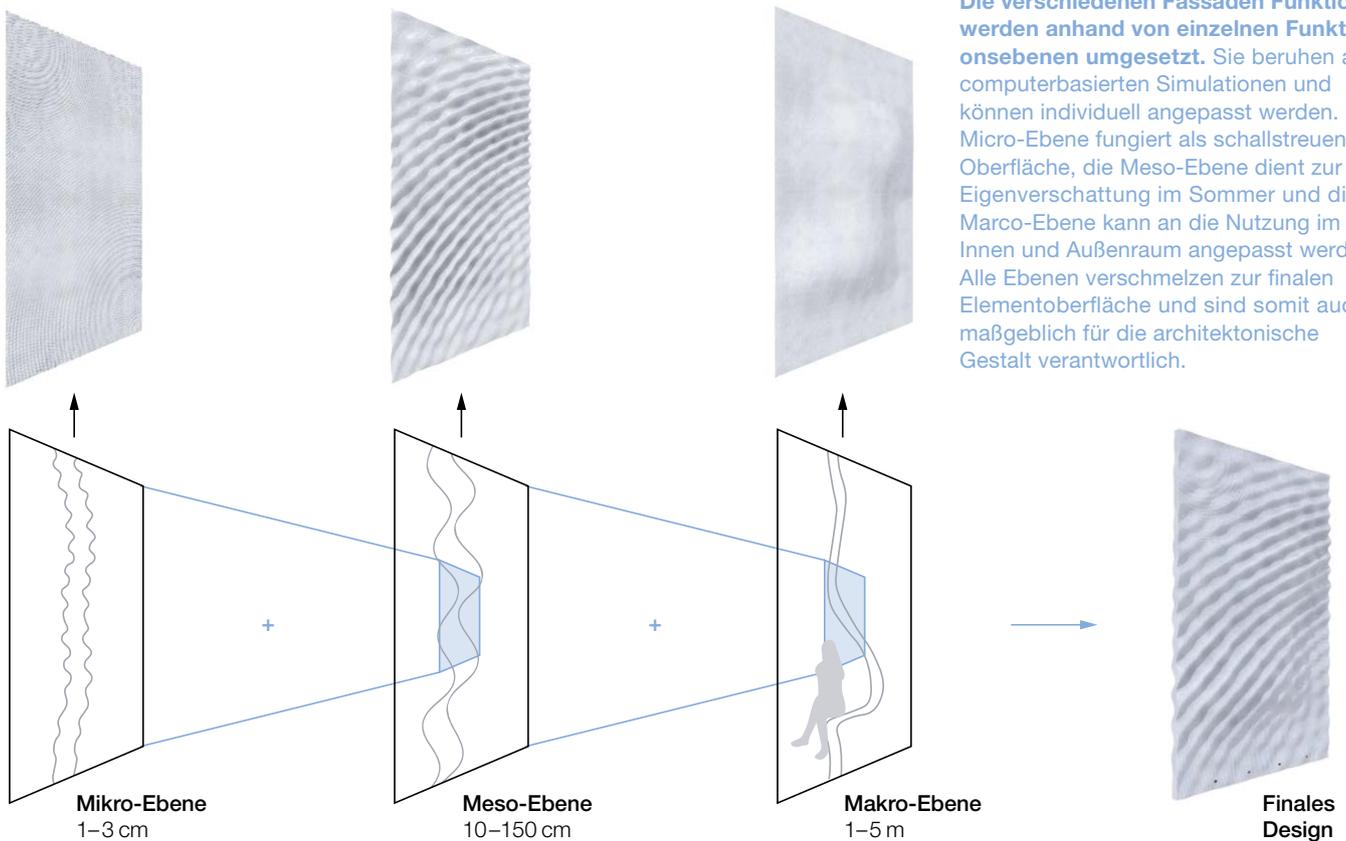
### Was folgt daraus für die Architektur?

Bislang arbeiten wir mit mehr oder minder starren Konstruktionssystemen, die wir für verschiedene Bauaufgaben und Standorte anwenden. Dies führt dazu, dass man sich oft mit Kompromisslösungen begnügen muss. Man nutzt Systeme und Module, die überall mehr oder minder gut passen. Computational Design erlaubt es uns, passgenaue und komplexe Lösungen für spezielle Anforderungen und den speziellen Ort zu entwickeln und sie mittels additiver Fertigung effektiv umzusetzen. ▶



„Die Entwicklung neuer Materialien sowie eines geschlossenen Materialkreislaufs für eine transparente oder lichtdurchlässige Fassade oder Gebäudehülle bietet großes Potenzial.“

Moritz Mungenast



Die verschiedenen Fassaden Funktionen werden anhand von einzelnen Funktionsebenen umgesetzt. Sie beruhen auf computerbasierten Simulationen und können individuell angepasst werden. Die Micro-Ebene fungiert als schallstreuende Oberfläche, die Meso-Ebene dient zur Eigenverschattung im Sommer und die Makro-Ebene kann an die Nutzung im Innen und Außenraum angepasst werden. Alle Ebenen verschmelzen zur finalen Elementoberfläche und sind somit auch maßgeblich für die architektonische Gestalt verantwortlich.

### Was sind Ihre nächsten Schritte?

Die übergreifende Motivation ist, einen Beitrag für die zukünftigen globalen Bauaufgaben zu leisten. Für Gebäudekonstruktionen gibt es bereits Lösungen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz, aber bei lichtdurchlässigen Fassaden sind wir noch am Anfang. Die Aufgabe, neue Materialien sowie einen geschlossenen Materialkreislauf für eine transparente oder lichtdurchlässige Fassade oder Gebäudehülle zu entwickeln, bietet ein großes Potenzial. Um die Idee weiterzuentwickeln, haben wir die Firma 3F Studio gegründet. Wir haben gerade eine Anwendungsstudie abgeschlossen für eine 3D-gedruckte, funktionsintegrierte 250 Quadratmeter große Fassade, die im industriellen Maßstab produziert werden kann.

### Welches Material nutzen Sie?

Ziel ist es, vom herkömmlichen Kunststoff wegzukommen. In Zukunft möchten wir auf jeden Fall mit biobasierten nachwachsenden Rohstoffen arbeiten. Der ölbasierte Kunststoff PET war der Startpunkt. Derzeit verwenden wir recycelten Kunststoff, zum Beispiel aus Wasserflaschen. Künftig möchten wir Algen oder auch Chitin in den 3D-Druck und in das Baugewerbe überführen. Diese Materialien sind transluzent und leichter als Glas. Wir suchen nach geeigneten Wegen, um transparenten Biokunststoff herzustellen. Wir werden das mit unseren Materialpartnern weiterentwickeln.

■ *Thomas Edelmann*

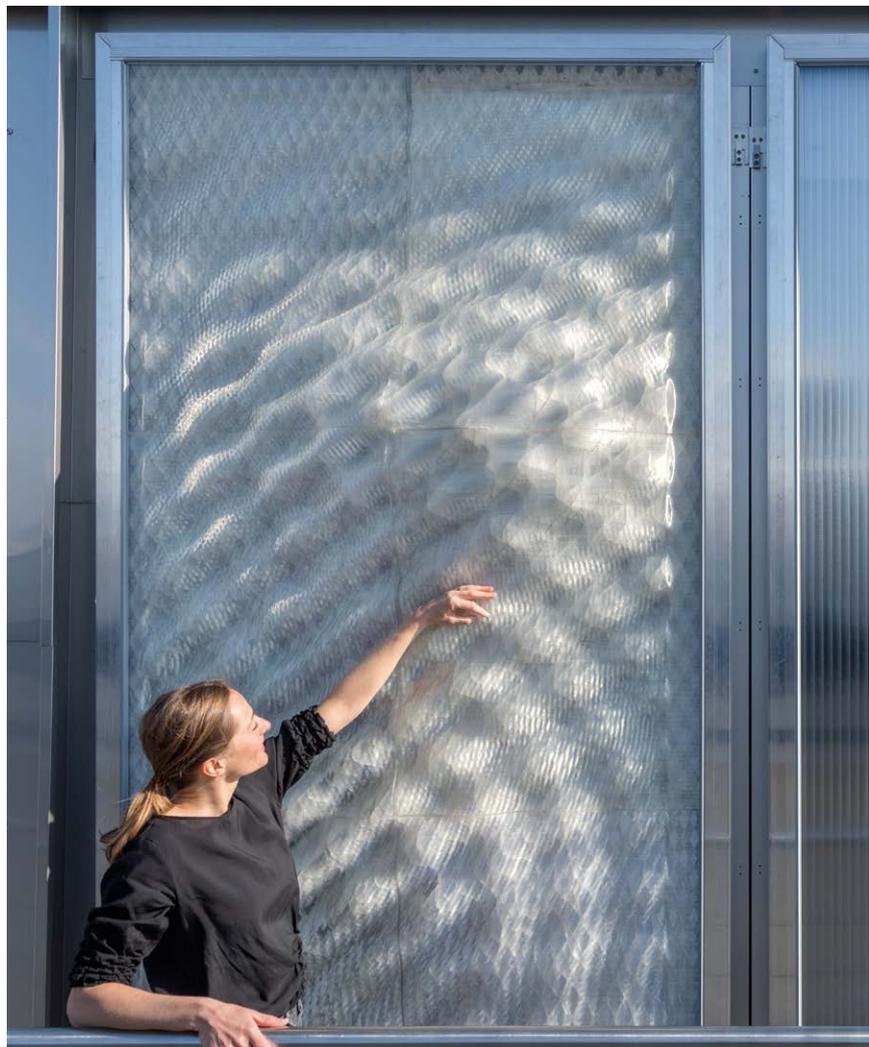
**Weltweit erster Prototyp einer 3D-gedruckten, multifunktionalen und transluzenten Fassade.** Testinstallation auf der Solarstation der TUM für experimentelle Vergleichstests und Untersuchung des Langzeitverhaltens durch verschiedene Witterungseinflüsse.

1

Schritt zur Produktion einer 3D-gedruckten Fassade

> 8

Schritte benötigt die Produktion einer Elementfassade



1

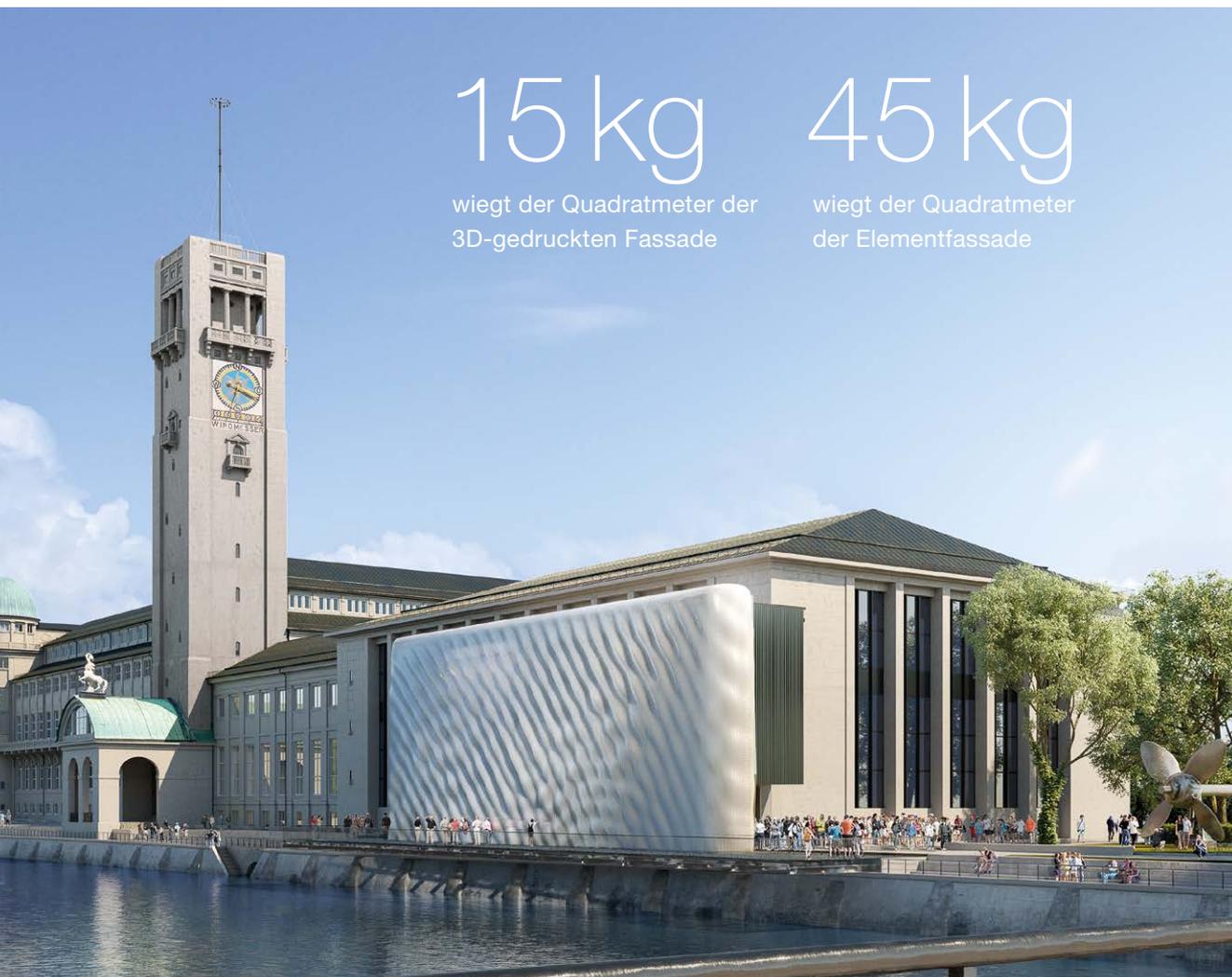
Material für 3D-gedruckte  
Fassade benötigt

&gt; 6

Einzelmaterialien für  
Elementfassade benötigt

#### Anwendungsstudie für eine 3D-gedruckte funktionsintegrierte Fassade im industriellen Maßstab

Ein bisher einmaliges Projekt: Diese 750 Quadratmeter große, 3D-gedruckte Fassade wurde für einen Interimseingang des Deutschen Museums, das gerade generalsaniert wird, entworfen. Das TUM Spin-off 3F Studio erarbeitete das Design auf Grundlage der Forschungsarbeit von Moritz Mungenast. Die multifunktionale und lichtdurchlässige Fassade besteht aus recyclebarem Material. Die zelluläre Struktur der Fassadenelemente aus dem 3D-Drucker sorgt für Stabilität, ihre luftgefüllten Hohlräume dienen zugleich der optimalen Dämmung. Wölbungen spenden im Sommer Schatten. 3F Studio wurde gegründet von Mungenast, Oliver Tessin und Luc Morroni und hat sich auf 3D-gedruckte Architektur und Gestaltung spezialisiert.



15 kg

wiegt der Quadratmeter der  
3D-gedruckten Fassade

45 kg

wiegt der Quadratmeter  
der Elementfassade