

# Essay

## Essay

---

**Organische Architektur**

**Pilzmyzel und Flachs als Materialien  
für die ökologische Bauwende**

Organic Architecture

Fungus mycelium and flax as materials  
for the ecological building transition

**Lars Klaaßen**

# Organische Architektur Pilzmyzel und Flachs als Materialien für die ökologische Bauwende

Lars Klaaßen

»Organisch bauen bedeutet, sich hochlogische Lösungen aus der Natur zum Vorbild zu nehmen«, so Hinrich Baller, dessen Bauten diesem Stil zugeschrieben werden, im Jahr 2003.<sup>1</sup> Das Quadrat, führte der Berliner Architekt weiter aus, sei oft kein hinreichendes Grundmuster. In diesem Sinne war mit Organischer Architektur eine spezifische Formensprache gemeint, die durchaus auch in Beton, Stahl und Glas ausgeführt sein konnte. Dies galt über Epochen der modernen Baugeschichte hinweg. Mittlerweile haben wir viele andere Möglichkeiten. Der Begriff lässt sich wortwörtlich substantziell erweitern und neu definieren: Organische Architektur bedeutet nicht bloß, sich an organischen Formen zu orientieren, im besten Fall *ist* sie organisch.

Eine solche Bauwende ist dringend geboten: Der Gebäude- und Bausektor, laut den Vereinten Nationen für 37 Prozent der globalen Emissionen verantwortlich, ist bei Weitem der größte Emittent von Treibhausgasen.<sup>2</sup> Insbesondere die Herstellung und Verwendung von Materialien wie Zement, Stahl und Aluminium verursachen einen erheblichen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Fortschritte macht die Reduzierung der *betriebsbedingten* Kohlenstoffemissionen von Gebäuden, die sich aus Heizung, Kühlung und Beleuchtung ergeben. Prognosen deuten darauf hin, dass diese Emissionen in den kommenden Jahrzehnten von 75 auf 50 Prozent sinken werden. Lösungen zur Minderung der *verbauten* Kohlenstoffemissionen von Gebäuden hinken jedoch hinterher.

Holz und Lehm sind in dieser Hinsicht zwar schon seit Langem vorbildlich, bislang aber Nischenprodukte geblieben. Bezüglich ihrer Verfügbarkeit sowie ihrer statischen Eigenschaften erweisen sie sich außerdem als limitiert. Doch die Palette der biologischen Baustoffe ist mittlerweile breiter geworden. Beispiele von Pavillons und selbst Brücken zeigen, auf welche Stoffe wir künftig ebenfalls bauen können: Myzel – das schnell wachsende Wurzelwerk von Pilzen, ein feines Geflecht aus fadenförmigen Zellen – und Flachs eröffnen neue architektonische Möglichkeiten. Klimaneutral und ressourcenschonend. Ein reines »Zurück zur Natur«

1 Die Schöpfung steht Modell, in: *Süddeutsche Zeitung* vom 13. Juni 2003, S. V2/2.  
2 <https://www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future> (27.10.2023).

# Organic Architecture Fungus mycelium and flax as materials for the ecological building transition

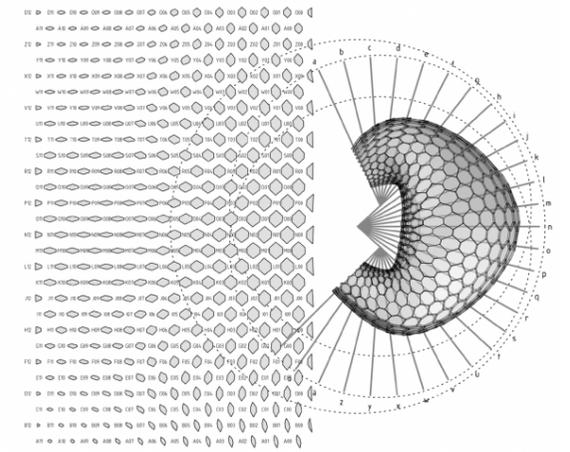
Lars Klaaßen

'Building organically means taking highly logical solutions from nature as a model,' said Hinrich Baller, whose buildings are attributed to this style, back in 2003.<sup>1</sup> The Berlin architect attested that the square was often not a sufficient basic pattern. In this sense, organic architecture meant a specific design language that could also be made of concrete, steel, and glass. This was true across many eras of modern building history. We now have many other options. The term can be substantially expanded literally and redefined: Organic architecture does not just mean being based on organic forms; the best-case scenario is that it *is* organic.

A construction transition like this is urgently required. The building and construction sector, responsible for 37 per cent of global emissions according to the United Nations, is by far the largest emitter of greenhouse gases.<sup>2</sup> The production and use of materials such as cement, steel, and aluminium in particular cause a significant carbon footprint. Progress is being made in reducing *operational* carbon emissions from buildings resulting from heating, cooling, and lighting. Projections suggest that these emissions will fall from 75 to 50 per cent in the coming decades. However, solutions to reduce *built-in* carbon emissions from buildings are lagging behind.

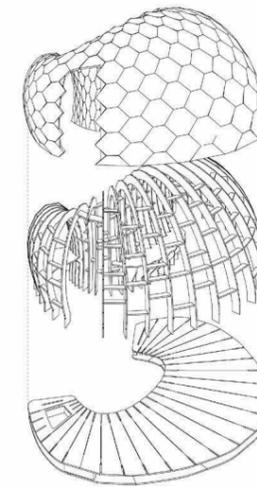
Although timber and clay have long been exemplary in this regard, they have so far remained niche products. They also prove limited in terms of their availability and static properties. Yet the range of biological building materials has now become broader. Examples of pavilions and even bridges demonstrate what materials we can also build with in the future: mycelium – the fast-growing root system of fungus and a fine network of thread-like cells – and flax open up new architectural possibilities. They are climate-neutral and save resources. This does not simply mean 'back to nature', as new findings from science and digitalisation also play a significant role here.

1 Die Schöpfung steht Modell ('Creation is the Model'), in *Süddeutsche Zeitung*, 13 June 2003, p. V2/2.  
2 <https://www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future> (27 October 2023).

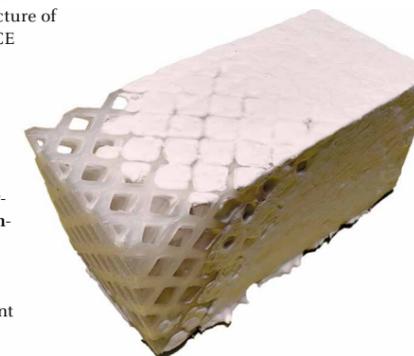


Strukturdiagramm  
Skulptur und Paneele  
Structural diagram of  
sculpture and panels

Die Holz-Pilz-Skulptur MY-CO SPACE während der Ausstellung *tinyBE · living in a sculpture* im Frankfurter Metzlerpark 2021.  
The timber fungus MY-CO SPACE sculpture during the 'tinyBE · living in a sculpture' exhibition in Frankfurt's Metzlerpark 2021.



Der schichtweise Aufbau des MY-CO SPACE  
The layered structure of the MY-CO SPACE



Verbundbauteil aus 3D-gedrucktem Biopolymer-Poly lactid und Pilz-Pflanzen-Komposit.  
Composite component made of 3D printed biopolymer poly lactide and a fungus-plant composite.

Neben den konstruktiven Aspekten sollte der Pavillon einem großen Publikum bekannt und die Kohabitation mit Pilzen körperlich erfahrbar werden. Er kann in Schlaf-, Lese- und Arbeitsbereiche unterteilt werden.  
In addition to the construction aspects, the pavilion should be known to a large audience and co-habitation with fungus should be physically experienced. It can be divided into sleeping, reading, and work areas.

bedeutet dies nicht, denn auch neue Erkenntnisse aus der Wissenschaft und Digitalisierung haben daran einen beträchtlichen Anteil.

Einen großen Bogen schlägt dabei Vera Meyer: von der Beschaffenheit bestimmter Pilzarten über deren Weiterverarbeitung, ihre Eigenschaften als Baustoffe bis hin zur architektonischen Formgebung mit erkennbar organischer Note. Die Biotechnologin leitet das Fachgebiet Angewandte und Molekulare Mikrobiologie an der TU Berlin, erforscht mit ihrem Team seit mehr als 20 Jahren Pilzmyzelien. Auch als Künstlerin befasst sie sich mit dem Material. Alle diese Aspekte sind in das Projekt MY-CO SPACE<sup>3</sup> eingeflossen, an dem Meyer prägend beteiligt war. Es handelt sich im Ergebnis um eine bewohnbare Skulptur von rund 20 Quadratmeter Grundfläche, deren tragende Holzkonstruktion mit 330 Pilzpaneelen überdacht wurde. Da ausnahmslos aus organischen Materialien geschaffen, ist MY-CO SPACE vollständig biologisch abbaubar.

»Diese künstlerisch-wissenschaftliche Fallstudie haben wir vorgestellt, um die Diskussion über eine künftige Anwendung von Verbundwerkstoffen auf Pilzbasis im Bauwesen zu fördern«, so Meyer. »Wir stehen zwar noch vor großen Herausforderungen bei der Entwicklung von Verfahren für die großtechnische Produktion und der Gestaltung von Materialeigenschaften wie Witterungsbeständigkeit und Feuerfestigkeit«, räumt die Biotechnologin ein. Doch mit der Skulptur sei das interdisziplinäre Berliner SciArt-Kollektiv MY-CO-X schon ein gutes Stück weitergekommen, etwa dank wertvoller Einblicke in das komplexe Zusammenspiel von Material, Prozess und Geometrie.

Eine weitere Erkenntnis: »Bei der Arbeit mit biobasierten Materialien ist es ebenso wichtig, einen entsprechenden digitalen Arbeitsablauf in Betracht zu ziehen, der das Design mit der Analyse verbindet« sagt Sven Pfeiffer. »Dadurch lassen sich sowohl strukturelle Belastungen als auch Materialeigenschaften simulieren, um das Verhalten zu verstehen.« 2019 hatten der Professor für Digitales Entwerfen, Planen und Bauen an der Hochschule Bochum und Vera Meyer sich kennengelernt. Seitdem arbeiten sie in Sachen Pilz zusammen.

<sup>3</sup> MY-CO SPACE ist ein Gemeinschaftswerk des interdisziplinären Berliner SciArt-Kollektivs MY-CO-X, unterstützt von der Technischen Universität Berlin, der Universität der Künste Berlin, der Berlin University Alliance, der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde sowie von tinyBE. Unter anderem sind Vera Meyer und Sven Pfeiffer Mitglieder des SciArt-Kollektivs MY-CO-X. <https://www.tu.berlin/ub/ueber-uns/kontakt/oeffentlichkeitsarbeit/my-co-space> (27.10.2023).

Vera Meyer covers a wide range of topics, from the nature of certain types of fungus to their further processing and their properties as building materials right through to architectural design with a discernible organic touch. The biotechnologist is head of the Department of Applied and Molecular Microbiology at the TU Berlin and has been researching fungal mycelia with her team for more than 20 years. She also works with the material as an artist. All of these aspects were incorporated into the MY-CO SPACE<sup>3</sup> project, in which Meyer played a key role. The result is a habitable sculpture with a surface area measuring around 20 square metres and the supporting timber structure covered with 330 fungal panels. Because it is made exclusively from organic materials, MY-CO SPACE is completely biodegradable.

‘We presented this artistic-scientific case study to promote discussion about the future application of fungus-based composite materials in construction,’ says Meyer. ‘We still face major challenges in developing processes for large-scale production and designing material properties such as weather and fire resistance,’ admits the biotechnologist. However, the Berlin-based interdisciplinary SciArt collective MY-CO-X has already made good progress with the sculpture thanks to valuable insights into the complex interplay of material, process, and geometry.

‘When working with bio-based materials, it is equally important to consider an appropriate digital workflow that combines design with analysis,’ says Sven Pfeiffer, providing another insight. ‘This makes it possible to simulate both structural loads and material properties in order to understand behaviour.’ The professor for Digital Design, Planning, and Building at Bochum University and Vera Meyer met in 2019 and have been working together on fungal matters ever since.

<sup>3</sup> MY-CO SPACE is a joint effort by the Berlin-based interdisciplinary SciArt collective MY-CO-X, supported by the Technical University of Berlin, the Berlin University of the Arts, the Berlin University Alliance, the Eberswalde University for Sustainable Development, and tinyBE. Vera Meyer and Sven Pfeiffer are members of the SciArt collective MY-CO-X, among others. <https://www.tu.berlin/ub/ueber-uns/kontakt/oeffentlichkeitsarbeit/my-co-space> (27 October 2023).

NEWood ist ein vollständig biobasierter Ersatz für Holz und Holzwerkstoffe und wird nach einem Kreislaufwirtschaftsmodell hergestellt. NEWood is a completely bio-based replacement for timber and timber-based materials and is manufactured according to a circular economic model.



NEWood für das Projekt Tropical House in Batam, Indonesien. NEWood for the Tropical House project in Batam, Indonesia.



Das Kollektiv MY-CO-X entwarf MY-CO SPACE für die Open-Air-Ausstellung *tinyBE · living in a sculpture*, die 2021 erstmals acht bewohnbare Skulpturen von internationalen Kunstschaffenden im Frankfurter Metzlerpark und an Standorten in Darmstadt und Wiesbaden zeigte. Die temporäre Bewohnbarkeit – nicht nur tagsüber, sondern ebenso bei Übernachtungen – war Teil des Gesamtkonzepts. Auch Meyer hat im MY-CO SPACE eine Nacht verbracht und dabei sogleich die Dämmwerte des Pilzmyzels verifiziert: »Die Außentemperatur betrug rund zehn Grad Celsius, drinnen war es warm.« Seitdem stand die Skulptur bereits an mehreren Orten. Von Januar bis Oktober 2024 ist MY-CO SPACE Gast in der Berlinischen Galerie. Für Meyer zeigt sich auch dank solcher Auftritte in der Öffentlichkeit, dass die Akzeptanz des Baustoffs Pilz in der Öffentlichkeit in den vergangenen Jahren enorm zugenommen hat.

MY-CO BUILD, ein weiteres transdisziplinäres Forschungsprojekt des Kollektivs MY-CO-X, ist seit 2021 und noch 2024 als Ausstellung im Futurium Lab vertreten.<sup>4</sup> Im Zentrum stehen Pilze und biotechnologisch gewonnene pilzbasierte Biomaterialien, die als Baustoffe für eine nachhaltige Architektur der Zukunft erforscht werden.

Ein großer Vorteil des Myzels als Baustoff ist seine Verfügbarkeit. Pilze wachsen auf pflanzlichen Substraten, das können zum Beispiel Reste aus der Agrar- und Forstwirtschaft sein, und bilden daraus Humus. »Wir unterbrechen diesen Prozess, um daraus Verbundstoffe herzustellen«, erläutert Meyer. »Diese Verbundstoffe können auch in Formen aus anderen Materialien hineinwachsen, etwa vorgefertigte 3D-Gitterstützen, in deren Kernen sie der Dämmung oder Stabilisierung dienen.« Auch separate Betonteile ließen sich damit bereits stabil verbinden. Solche Kombinationen können den künftigen Bedarf an Beton deutlich senken. Mit Blick auf Umnutzung und Kreislaufwirtschaft erweitern sie die Einsatzmöglichkeiten recycelter Betonteile aus dem Bestand.

»Ein weiterer Pluspunkt des Baustoffs Myzel ist, wie bei Beton, seine freie Formbarkeit«, sagt Pfeiffer. So könne man im 3D-Druck einzelne Elemente Schicht für Schicht aufbauen, statt wie bei herkömmlichen Verfahren, etwa Fräsen, Material abzutragen. »Dadurch ergibt sich bei der Herstellung eine enorme Flexibilität beim Design, sowohl bei Prototypen als auch für die Serienfertigung.« Der nächste Schritt bestehe nun darin, die bisherigen Erfahrungen aus dem kleinen Maßstab für die industrielle Produktion zu skalieren.

<sup>4</sup> <https://futurium.de/de/futurium-lab>, <https://futurium.de/de/my-co-build> (27.10.2023).

The MY-CO-X collective designed MY-CO SPACE for the open-air ‘tinyBE · living in a sculpture’ exhibition, which presented eight habitable sculptures designed by international artists at Frankfurt’s Metzlerpark and at locations in Darmstadt and Wiesbaden for the first time in 2021. Temporary habitability – not only during the day but also during overnight stays – was part of the overall concept. Meyer also spent a night in the MY-CO SPACE and immediately verified the insulation values of the fungus mycelium: ‘The outside temperature was around ten degrees Celsius, and it was warm inside.’ The sculpture has been in several locations since then. MY-CO SPACE will be a guest at the Berlinische Galerie from January to October 2024. For Meyer, it is also thanks to such public appearances that: The public’s acceptance of fungus as a building material has increased enormously in recent years.

MY-CO BUILD, another transdisciplinary research project by the MY-CO-X collective, has maintained an exhibition in the Futurium Lab since 2021 and will continue in 2024.<sup>4</sup> The focus is on fungi and biotechnologically obtained fungus-based biomaterials that are being researched as building materials for the sustainable architecture of the future.

A major advantage of mycelium as a building material is its availability. Fungi grow on plant substrates, for example, residues from agriculture and forestry, and form humus from them. ‘We interrupt this process to produce composites,’ explains Meyer. ‘These composites can also grow into shapes made of other materials, such as pre-fabricated 3D lattice supports, in whose cores they serve as insulation or stabilisation.’ Separate concrete parts can also be connected in a stable manner. Combinations like this can significantly reduce the future need for concrete. With a view to repurposing and the circular economy, they are expanding the possible uses of recycled concrete parts from existing buildings.

‘Another advantage of mycelium as a building material is its ability to be freely formed, as with concrete,’ says Pfeiffer. In 3D printing, individual elements can be built up layer by layer instead of removing material as with conventional processes such as milling. ‘This results in enormous flexibility in design during production, both for prototypes and for series production.’ The next step is now to scale the previous experiences from small scale to industrial production.

<sup>4</sup> <https://futurium.de/de/futurium-lab>, <https://futurium.de/de/my-co-build> (27 October 2023).

Die Vielfalt der Möglichkeiten basiert nicht zuletzt auf der Vielfalt des Materials. »Es gibt rund sechs Millionen Pilzarten«, sagt Meyer. »Unsere Umwelt besteht aus Flora, Fauna und Funga!« Die Frage lautet: Welche Pilzart eignet sich für welche Anwendung am besten? Hinzu kommt die Kombination mit anderen Materialien. Mit welchen pflanzlichen Abfällen »füttert« man den Pilz? Ein aktueller Favorit für den Einsatz am Bau ist der Zunderschwamm. Er ist besonders fest, leicht und wasserabweisend. »Wir sollten diskutieren, wie wir die Eigenschaften von Pilzmyzel weiter verbessern können, auch mit gentechnischen Instrumenten«, betont die Biotechnologin. Sie ist sich sicher, dass sich bis 2030 ein erstes Demonstratorhaus aus Myzel realisieren lässt und in zehn Jahren die ersten Menschen in Pilzhäusern wohnen, so wie wir heute Holzhäuser kennen. Auch die Entsorgung dieses Materials ist ökologisch unbedenklich, es ist vollständig biologisch abbaubar. Am besten ist die Klimabilanz, wenn sowohl die verwendeten Pilze wie ihr »Futter«, die pflanzlichen Abfälle, aus der Region kommen.

Auch ökonomisch rechnet sich Pilz: Eine Untersuchung an der Kansas State University hat ergeben, dass der Bau eines Hauses aus Myzel günstiger sein kann als ein vergleichbares Gebäude aus Beton.<sup>5</sup> Der Baustoff Pilz ist der Studie zufolge zwar weniger lange haltbar als die mineralische Alternative, bleibt aber dennoch unter finanziellen Gesichtspunkten konkurrenzfähig. Dies gelte auch im Vergleich mit Holz.

Leichte Bausteine, die man wachsen lassen kann, sind natürlich eine gute Sache. Aber da ist noch die Frage mit der Statik, denn Myzel weist nicht die Festigkeit von Beton oder Stahl auf. Wie weit man bei intelligentem Design mit dem Baustoff Pilz gehen kann, zeigten Dirk E. Hebel, Leiter des Fachgebiets Nachhaltiges Bauen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), mit seinem Team sowie die Block Research Group der ETH Zürich bereits 2017 bei der Seoul Biennale of Architecture and Urbanism. Unter dem Titel *Beyond Mining – Urban Growth* präsentierten sie dort ihren MycoTree, eine Struktur aus Pilzmyzelium und Bambus. »Deren Geometrie haben wir mit Methoden grafischer Statik optimiert, um lediglich Druckkräfte in das Material einzuleiten«, erläutert Hebel. Die Belastbarkeit des myzeliumgebundenen Baustoffs sei zwar geringer als bei metallischen oder mineralischen Materialien. »Doch durch gezielte Gestaltung der geometrischen Form und des Kräfteflusses ließ sich dieser Nachteil beim MycoTree ausgleichen.«

<sup>5</sup> Eliyasu Yahaya Osman: Economic assessment of mycelia-based composite in the built environment, Kansas State University, Manhattan (Kansas) 2023, S. 3.

The variety of possibilities is based not least on the variety of materials. ‘There are around six million species of fungi,’ says Meyer. ‘Our environment consists of flora, fauna, and funga!’ The question is: Which type of fungi is best suited for which application? There is also the possibility of combination with other materials. What plant waste do you ‘feed’ the fungus with? The tinder fungus is a current favourite for use in construction. It is particularly strong, light, and water-repellent. ‘We should discuss how we can further improve the properties of fungus mycelium, including with genetic engineering tools,’ emphasises the biotechnologist. She is sure that a first demo building made of mycelium can be built by 2030 and that the first people will be living in fungi houses in ten years, just as we know timber houses today. Disposing of this material is also ecologically harmless; it is completely biodegradable. The climate balance is best when both the fungi used and their ‘feed’, the plant waste, come from the region.

Fungi also pay off economically. A study at Kansas State University has shown that constructing a building made of mycelium can be cheaper than a comparable building made of concrete.<sup>5</sup> According to the study, fungi as a building material is less durable than the mineral alternative, but still remains competitive from a financial perspective. This also applies in comparison with timber.

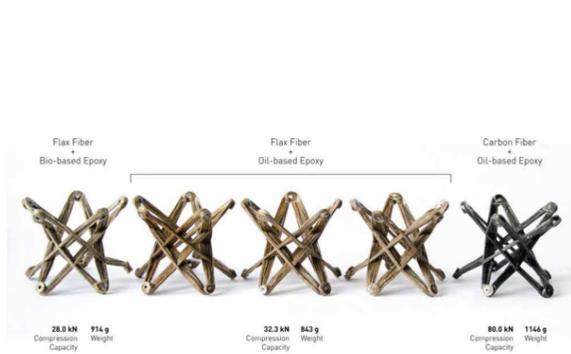
Of course, lightweight building blocks that we can grow are a good thing. However, there is still the question of structure because mycelium does not have the strength of concrete or steel. Dirk E. Hebel, head of the Sustainable Construction department at Karlsruhe Institute of Technology (KIT), and his team worked together with the Block Research Group at ETH Zurich to demonstrate how far you can go with intelligent design using fungi as a building material at the Seoul Biennale of Architecture and Urbanism 2017. Under the title ‘Beyond Mining – Urban Growth’, the researchers presented their MycoTree structure made of fungal mycelium and bamboo. ‘We optimised its geometry using graphic statics methods in order to only introduce compressive forces into the material,’ explains Hebel. The resilience of the mycelium-bound building material is lower than that of metallic or mineral materials. ‘Yet this disadvantage of the MycoTree could be compensated for through targeted design of the geometric shape and the flow of forces.’

<sup>5</sup> Eliyasu Yahaya Osman, ‘Economic assessment of mycelia-based composite in the built environment’, Kansas State University, Manhattan (Kansas), 2023, p. 3.

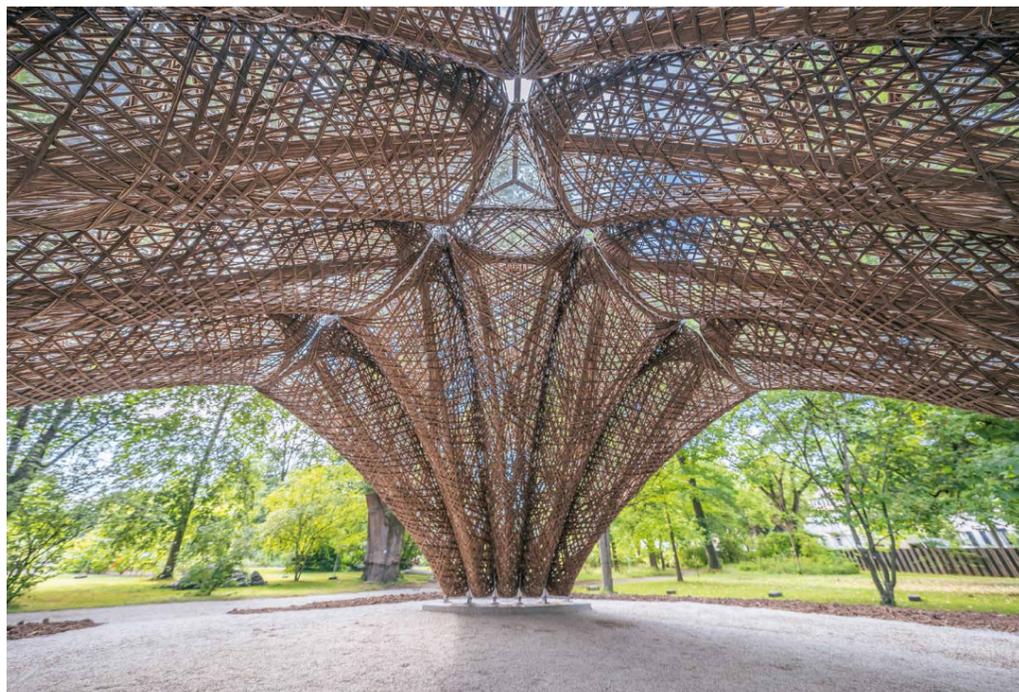


Roboterassistierte Fertigung eines Flachsfaser-Bauelements. The robot-assisted production of a flax fibre component.

Aufbau des Flachs-Pavillons im Botanischen Garten Freiburg. The structure of the flax pavilion in the Freiburg Botanical Garden.



Muster für Materialkombinationen, Gewicht und Druckfestigkeit. Patterns for material combinations, weights, and compressive strength.



Die Filigranität der konstruktiven Flachsfaser-Elemente erinnert sowohl an traditionelle Flechtwerke als auch an biologische Strukturen. The filigree of the structural flax fibre elements is reminiscent of both traditional wickerwork and biological structures.

Dieses Projekt sei sehr speziell gewesen, so Hebel, der sich mit Blick auf den Baustoff Pilz mittlerweile einem ganz anderen Aspekt zugewandt hat: »Bevor wir uns der sehr komplexen Frage widmen, wie Myzel Beton ersetzen kann, geht es zunächst an eine Anwendung, bei der die Anforderungen klar umrissen sind.« Der Fokus seines Teams am KIT liegt mit NEWood nun auf einem Werkstoff aus Myzel als Ersatz für Pressspan- und OSB-Platten. In bislang herkömmlichen Produkten dieser Art sind zu rund zehn Prozent synthetische Kleber enthalten. Deren Herstellung und Entsorgung haben eine miserable Ökobilanz. Das synthetische und das biologische Material darin lassen sich nicht mehr trennen, die Platten sich lediglich verbrennen, eine Weiterverwertung des darin enthaltenen Holzes ist nicht möglich.

»Wir entwickeln aus Pilzmyzel biologischen Kleber, der kompostiert werden kann«, sagt Hebel. »Das gesamte Material für eine Platte wird schnell und heiß gepresst, hat eine knochenähnliche Struktur, und man kann ihn zurechtschneiden.« Der Plattenwerkstoff lässt sich zudem so dünn pressen, dass er biegsam wird. Wie beim MycoTree spielen auch hierbei Zug und Druck eine relevante Rolle. Die technische Seite ist prinzipiell gelöst, das Team skaliert das Verfahren nun vom Labor- auf den industriellen Maßstab. Dabei stehen auch die Kosten im Raum, für das Ziel der breiten Anwendung ein grundlegender Aspekt. NEWood gewann 2022 den DGNB-Nachhaltigkeitswettbewerb in der Kategorie »Forschung«.

Während beim MycoTree Pilz mit Bambus kombiniert wurde, um eine tragende Konstruktion zu realisieren, setzen andere ohne Pilz auf Faserpflanzen. Ein herausragendes Beispiel hierfür ist der livMatS-Pavillon im Botanischen Garten Freiburg, der für den DAM Preis 2024 nominiert worden ist.<sup>6</sup>

Die Flachsfasern als strukturelle Komponenten des livMatS-Pavillons sind ein altbekanntes Material, aber aus einem anderen Bereich: Über Jahrtausende wurden sie für die Herstellung von Leinwand und Kleidungsstücken verwendet, bis die Baumwolle sie ab dem 18. Jahrhundert ersetzte. »Die mechanischen Eigenschaften dieser Naturfasern sind mit Glasfasern zwar nicht ganz vergleichbar, aber ausreichend für tragende Funktionen«, erläutert Jan Knippers, Direktor des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart, der für die Tragkonstruktion des Pavillons verantwortlich war. Die ökologischen Pluspunkte der Pflanze: Im Gegensatz zu Glas- oder Kohlestofffasern sowie vielen

<sup>6</sup> Siehe: livMatS Pavillon, Botanischer Garten der Universität Freiburg, in: Architekturführer Deutschland 2024, S. 117.

The project was very special, says Hebel, who is now devoting his time to a completely different aspect of fungus as a building material: 'Before we address the very complex question of how mycelium can replace concrete, we must first look at an application in which the requirements are clearly defined.' With NEWood, his team at KIT are now focused on a material made from mycelium as a replacement for press boards and OSB panels. Around ten per cent of conventional products of this type contain synthetic adhesives. Their production and disposal have a dismal environmental footprint. The synthetic and biological material contained within them can no longer be separated. The panels can only be burned, and the timber they contain cannot be recycled.

'We are developing biological glue from fungus mycelium that can be composted,' says Hebel. 'The entire material for a panel is hot pressed quickly, has a bone-like structure, and can be cut to size.' The panel material can also be pressed so thin that it becomes flexible. As with MycoTree, tension and pressure also play a significant role. The technical side has been solved in principle; the team is now scaling the process from laboratory to industrial scale. Costs are also an issue – a fundamental aspect for the goal of widespread use. NEWood won the 'Research' category of the DGNB Sustainability Challenge in 2022.

While MycoTree combines fungi with bamboo to create a load-bearing structure, other structures rely on fibre plants without fungi. An outstanding example of this is the livMatS Pavilion in Freiburg's Botanical Garden, which has been nominated for the DAM Preis 2024.<sup>6</sup>

The flax fibre structural components of the livMatS Pavilion are a well-known material, but from a different area. They were used for thousands of years to make linen fabrics and clothing until cotton replaced them in the eighteenth century. 'The mechanical properties of these natural fibres are not quite comparable to glass fibres, but they are sufficient for load-bearing functions,' explains Jan Knippers, head of the Institute for Building Structures and Structural Design at the University of Stuttgart, who was responsible for the pavilion's supporting structure. There are ecological advantages here. Unlike glass or carbon fibres and many other natural fibres, flax fibres are regionally available in Central Europe, and flax grows back in annual harvest cycles, significantly faster than timber.

<sup>6</sup> See: livMatS Pavillon, Botanischer Garten der Universität Freiburg, in: Architekturführer Deutschland 2024, p. 117.

anderen Naturfasern sind Flachsfasern in Mitteleuropa regional verfügbar. Flachs wächst in jährlichen Erntezyklen nach, also deutlich schneller als Holz.

»Faserverbundwerkstoffe weisen ein hervorragendes Verhältnis von Festigkeit und Gewicht auf«, sagt Knippers. »Insbesondere in Kombination von Naturfasern mit einem effizienten, leichten Design können wir den ökologischen Fußabdruck von Gebäuden deutlich reduzieren.« Wenn überhaupt, spielte für die Forschung im Bauwesen lange lediglich der Einsatz synthetisch hergestellter Faserverbundwerkstoffe eine Rolle. Planung und Fertigung durch computerbasierte Entwurfs-, Simulations- und Fertigungsmethoden waren darauf ausgelegt. Das Team an der Universität Stuttgart entwickelte ein neues additives Wickelverfahren, bei dem ein Roboter die Faserbündel präzise auf einen rotierenden Wickelrahmen ablegt. »Die Naturfasern mit ihrer biologischen Variabilität stellten beim livMatS-Pavillon eine Herausforderung dar«, so Knippers. »Den computerbasierten Entwurf, die robotische Fertigung sowie die Maschinensteuerung mussten wir darauf anpassen.« Auch bei diesem Projekt lautet das Ziel, künftig zu einer großmaßstäblichen Anwendung zu kommen.

Dass die Fasern eine tragende Rolle am Bau spielen können, belegen Projekte der BioMat, einer Ausgründung der Universität Stuttgart. Das Unternehmen wirkt unter anderem am EU-Projekt Smart Circular Bridge<sup>7</sup> mit: Die erste von insgesamt drei geplanten Brücken wurde 2022 auf der internationalen Gartenbauausstellung Floriade im niederländischen Almere eröffnet. Das Bauwerk hat eine Spannweite von 15 Metern. »Rund 3,2 Tonnen Flachsfasern sind darin verbaut, kombiniert mit Polyesterharz, das zu einem Viertel auf Biomasse basiert«, erläutert BioMat-Gründerin Hanaa Dahy. »Bei den kommenden Brücken lautet das Ziel, diesen Anteil auf deutlich über die Hälfte zu erhöhen.«

Die Brücke wurde als ein Element in einem Arbeitsgang hergestellt. Eine Negativform des Brückenelements legte man dafür zunächst mit Matten aus Flachsfasern aus. Darauf wurden mit Flachsmatten umhüllte Blöcke aus Polyurethanschaum eng nebeneinander positioniert. »Der Stuttgarter Hersteller FibR hat das gesamte Paket nochmals in Flachsmatten

<sup>7</sup> Die Technische Universität Eindhoven leitet das Projekt, die Katholische Universität Löwen verantwortet die Entwicklung des Materials. <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/smart-circular-bridge-scb-for-pedestrians-and-cyclists-in-a-circular-built-environment/> (31.10.2023).

‘Fibre composite materials have an excellent strength-to-weight ratio,’ says Knippers. ‘When natural fibres are combined with an efficient, lightweight design in particular, we can significantly reduce the ecological footprint of buildings.’ For a long time, if at all, only the use of synthetically produced fibre composite materials played a role in research in construction. Planning and production using computer-based design, simulation, and production methods were designed for this. The team at the University of Stuttgart developed a new additive winding process in which a robot places the fibre bundles precisely on a rotating winding frame. ‘The biological variability of the natural fibres presented a challenge with the livMatS Pavilion,’ says Knippers. ‘We had to adapt the computer-based design, the robotic production, and the machine control system.’ The goal for this project is also to achieve large-scale application in the future.

Projects from BioMat, a spin-off from the University of Stuttgart, demonstrate that fibres can play a key role in construction. Among other things, the company is involved in the EU Smart Circular Bridge<sup>7</sup> project. The first of its three planned bridges opened in 2022 at the International Horticultural Exhibition Floriade in Almere, the Netherlands. The structure has a span of 15 metres. ‘Around 3.2 tonnes of flax fibres are built into it and combined with polyester resin, a quarter of which is based on biomass,’ explains BioMat founder Hanaa Dahy. ‘The goal for the upcoming bridges is to increase this proportion to well over half.’

The bridge was manufactured as a single element in one operation. A negative form of the bridge element was first lined with mats made of flax fibres. Blocks of polyurethane foam covered with flax mats were then positioned closely next to one another. ‘The Stuttgart manufacturer FibR wrapped the entire package again in flax mats and encased it in a vacuum bag,’ explains Dahy. ‘Sucking out the air created negative pressure, which allowed the polymer to flow in a controlled manner and fill all the cavities.’ After the polymer had hardened, the bridge element was finished.

<sup>7</sup> Eindhoven University of Technology is leading the project, and the Catholic University of Leuven is responsible for developing the material. <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/smart-circular-bridge-scb-for-pedestrians-and-cyclists-in-a-circular-built-environment/> (31 October 2023).

EU-Projekt Smart Circular Bridge: Die erste von insgesamt drei geplanten Brücken wurde 2022 auf der internationalen Gartenbauausstellung Floriade im niederländischen Almere eröffnet.

The Smart Circular Bridge EU project: The first of a total of three planned bridges opened in 2022 at the International Horticultural Exhibition Floriade in Almere, the Netherlands.



Die Brücke besteht aus mit Flachsfasern umhüllten Polyurethanblöcken, das Gelände aus nach einer neuen Methode gewickelten Flachsbündeln.

The bridge consists of polyurethane blocks covered with flax fibres; the railing is made of flax bundles wrapped using a new method.

eingewickelt und mit einem Vakuumsack umhüllt«, so Dahy. »Durch das Absaugen der Luft entstand Unterdruck, wodurch das Polymer kontrolliert einfließen und alle Hohlräume füllen konnte.« Nach dem Aushärten des Polymers war das Brückenelement fertig.

Neue Wege gingen die Beteiligten auch bei der Herstellung von Bauteilen aus Bioverbundwerkstoffen. So hat FibR das Brückengeländer robotergestützt mithilfe einer neuen Wickeltechnik angefertigt. »Mit dieser Methode haben wir dreieckig vernetzte Naturfaserbündel aus Flachs geschaffen und sie auf beiden Seiten über auskragende Querversteifungen mit dem Hauptträger der Brücke verbunden«, sagt Projektarchitektin Dahy, die die Brücke entworfen und städtebaulich integriert hat. »Diese Leichtigkeit und Feinheit des Designs unterstreicht die ästhetischen und technischen Möglichkeiten von Bioverbundwerkstoffen und Naturfasern.«

Smart Circular Bridge zielt darauf ab, den EU-Markt zu erschließen. Im Forschungsprogramm des Projekts soll zudem die Frage beantwortet werden, welchen Weg die Brücken am Ende ihrer Lebensdauer gehen. Ökologisch wäre es unproblematisch, die Bauwerke zu verbrennen. Interessanter sind die Möglichkeiten, sie mechanisch, chemisch oder biologisch zu recyceln: Das Material lässt sich fein schreddern und anschließend als Füllstoff etwa anstelle von Calciumcarbonat in neuen Polyester-Kompositprodukten verwenden. Alternativ kann man die Grundbausteine des Polymers auf chemischen Wegen wie zum Beispiel Pyrolyse wiedergewinnen und als Basismaterial zur Herstellung chemischer Produkte weiterverwenden.<sup>8</sup> Auch biologisches Recycling wird untersucht – hier schließt sich der Kreis: mithilfe von Pilzen. Im Unterschied zu den anderen Verfahren liegt der Fokus allerdings bislang stark auf der Grundlagenforschung.

Viele Fragen sind noch offen. Doch das Know-how für den Einsatz der Baustoffe Pilz und Flachs ist vorhanden, die Brücken zum organischen Bauen stehen. Zeit, weiter zu gehen.

<sup>8</sup> Bei der Pyrolyse wird das geschredderte Material auf 360 bis 500 Grad Celsius erhitzt. Mit diesem Verfahren lassen sich unter anderem Motoröle für die Schifffahrt gewinnen.

This team also broke new ground in the production of components made from bio-composites. For example, FibR manufactured the bridge railing with robot assistance using a new winding technology. 'Using this method, we created triangularly networked natural fibre bundles made of flax and connected them to the main beam of the bridge on both sides via cantilevered cross reinforcements,' says project architect Dahy, who designed the bridge and integrated it into the location. 'The lightness and refinement of the design underline the aesthetic and technical possibilities of bio-composites and natural fibres.'

Smart Circular Bridge aims to open up the EU market. The project's research programme also aims to answer the question of what happens to the bridges at the end of their service life. From an ecological point of view, it would not be problematic to burn the structures, but the options for recycling it mechanically, chemically, or biologically are more interesting. The material can be finely shredded and then used as a filler, for example, instead of calcium carbonate in new polyester composite products. Alternatively, the basic building blocks of the polymer can be recovered by chemical means such as pyrolysis and used as a base material for the production of chemical products.<sup>8</sup> Biological recycling is also being investigated – and this is where the circle closes: with the help of fungi. Unlike the other methods, the focus here is still largely on fundamental research.

There are still many open questions, but the expertise necessary for the use of fungi and flax as building materials is available and the bridges to organic building are there. It's time to move on.

<sup>8</sup> During pyrolysis, the shredded material is heated to 360 to 500 degrees Celsius. This process can be used to obtain motor oils for shipping, among other things.



Der MycoTree ist eine Struktur aus Pilzmyzel und Bambus. Seoul Biennale of Architecture and Urbanism 2017. The MycoTree is a structure made of fungus mycelium and bamboo. Seoul Biennale of Architecture and Urbanism 2017.