

## ***liv*Mats Pavillon im Botanischen Garten der Universität Freiburg**

Das Bauschaffen hat sich im letzten Jahrhundert zu einer der materialintensivsten und umweltschädlichsten menschlichen Aktivitäten entwickelt. Der *liv*MatS Pavillon im Botanischen Garten der Universität Freiburg zeigt eine nachhaltige, ressourceneffiziente Alternative zu konventionellen Bauweisen auf und ist daher ein wichtiger Meilenstein in Richtung Nachhaltigkeit in der Architektur. Er stellt das erste Gebäude dar, dessen tragende Struktur ausschließlich aus robotisch gewickelten Flachsfasern besteht, einem Material, das natürlich, erneuerbar, biologisch abbaubar und regional verfügbar ist.



Der Pavillon wurde durch die innovative Verknüpfung von Naturwerkstoffen und modernsten digitalen Technologien ermöglicht und ist das Ergebnis der erfolgreichen Zusammenarbeit eines interdisziplinären Teams von Architekten\*innen und Ingenieuren\*innen des Masterstudiengangs ITECH am Exzellenzcluster "Integrative Computational Design and Construction for Architecture (IntCDC)" der Universität Stuttgart und Biologen\*innen des Exzellenzclusters "Living, Adaptive and Energy-autonomous Material Systems (*liv*MatS)" an der Universität Freiburg.

Der bioinspirierte Pavillon verdeutlicht anschaulich, wie integrative Co-Design-Methoden, durch die geometrische, materielle, strukturelle, produktionstechnische, ökologische und ästhetische Anforderungen schon in einem sehr frühen Stadium eines Projekts berücksichtigt werden, in Verbindung mit modernsten robotergestützten Fertigungstechniken und Untersuchungen zu natürlichen Werkstoffen eine einzigartige Architektur schaffen, die zugleich umweltfreundlich und gestalterisch ausdrucksstark ist. Das charakteristische, filigrane Erscheinungsbild der konstruktiven Elemente aus Flachsfasern erinnert sowohl an traditionelle Flechtwerke als auch an biologische Strukturen.

Der *liv*MatS-Pavillon wird für die nächsten 5 Jahre als Veranstaltungsort für Angebote der Universität Freiburg, insbesondere des Exzellenzclusters "Living, Adaptive and Energy-autonomous Material Systems (*liv*MatS)", eingesetzt, die den Botanischen Garten im Rahmen des Konzepts „Learning from Nature in Nature“ als Forschungs- und Lehrereinrichtung nutzt.

## Naturfasermaterialien

Voraussetzung für eine nachhaltige gebaute Umwelt ist sowohl die Entwicklung neuer ressourceneffizienter Ansätze für Entwurf und Konstruktion als auch die Forschung zum Einsatz natürlich nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen.

Faserverbundwerkstoffe weisen ein hervorragendes Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht auf und diese Eigenschaft bietet eine ausgezeichnete Basis für die Entwicklung innovativer, materialeffizienter Leichtbaustrukturen. Kohlenstoff- und glasfaserverstärkte Verbundwerkstoffe sind in Bereichen wie der Luft- und Raumfahrttechnik, dem Maschinenbau und der Automobilindustrie bereits weit verbreitet. Auch die Bedeutung von Naturfasern als nachhaltige Alternative hat in diesen Bereichen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. In der Bauindustrie hingegen werden diese Materialien bis heute kaum berücksichtigt. In den vergangenen zwei Jahren hat das Team von Architekten\*innen und Ingenieuren\*innen des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung (ICD) und des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart das Potenzial von Naturfasern, insbesondere Flachfasern, als vielversprechende und nachhaltige Alternative zu synthetisch hergestellten Fasern im Bauwesen eingehend untersucht.

Die tragenden Elemente des *livMatS*-Pavillons sind aus Flachfasern hergestellt. Diese Fasern wurden seit Jahrtausenden für die Herstellung von Leinengeweben und Kleidungsstücken genutzt, bis sie ab dem 18. Jahrhundert durch Baumwolle ersetzt wurden. Sie sind in ihren mechanischen Eigenschaften mit synthetischen Glasfasern vergleichbar; sie bieten eine ähnliche spezifische Steifigkeit, aber mit einer viel geringeren grauen Energie. Im Gegensatz zu Glas- oder Kohlestofffasern, als auch zu zahlreichen andere Naturfasern, sind Flachfasern in Mitteleuropa regional verfügbar und wachsen in jährlichen Erntezyklen. Sie sind vollständig erneuerbar, biologisch abbaubar und bieten daher eine hervorragende Grundlage für die Entwicklung innovativer, ressourcenschonender Bauanwendungen. Sie haben das Potenzial, insbesondere in Kombination mit effizientem Leichtbau, den ökologischen Fußabdruck von Gebäuden deutlich zu reduzieren.

## Bionische Untersuchungen

Die Biologie ist in vielen Disziplinen ein inspirierendes Vorbild. Besonders für die Architektur ist sie aufgrund ihres effektiven, effizienten und ressourcenschonenden Einsatzes von Energie und Material besonders beeindruckend. So bestehen beispielsweise die meisten tragenden Systeme in der Natur aus Faserverbänden. Diese sind in der Regel hochgradig ausdifferenziert; die Orientierung, Richtung und Dichte der Faserstrukturen sind genau auf die lokal auftretenden Kräfte abgestimmt. Material wird nur dort eingesetzt, wo es benötigt wird, und nicht verschwendet.

Der *livMatS*-Pavillon führt die langjährige Forschungsarbeit der Universitäten Freiburg und Stuttgart weiter, die gemeinsam untersuchen, inwiefern diese Prinzipien aus der Natur in die Architektur übertragen werden können.

Als Inspiration für den *livMats* Pavillon dienen der Saguaro-Kaktus (*Carnegia gigantea*) und der Feigenkaktus (*Opuntia* sp.), die sich durch ihre besondere Holzstruktur auszeichnen. Der Saguaro-Kaktus verfügt über einen zylinderförmigen Holzkörper, der innen hohl und dadurch besonders leicht ist. Es besteht aus einer netzartigen Struktur, die dem Holzkörper zusätzlich eine besondere Stabilität verleiht und dadurch entsteht, dass die einzelnen Elemente miteinander verwachsen. Das Gewebe der abgeflachten Seitentriebe des Feigenkaktus durchziehen ebenfalls netzartige Holzfaserbündel, die in Schichten angeordnet und miteinander verbunden sind. Hierdurch zeichnet sich auch das Gewebe des Feigenkaktus durch eine besonders hohe Belastbarkeit aus. Durch die Abstraktion dieser Netzstrukturen konnten die mechanischen Eigenschaften der vernetzten Faserstrukturen auf die Leichtbau-Tragelemente des Pavillons übertragen werden.

**Biologische Vorbilder: Baumförmige Kakteen  
(z.B. Saguaro Kaktus) und strauchige Kakteen  
(z.B. Opuntien & Cyliandropuntien)...**



**...und deren Leichtbau-Holzstruktur**

**Integratives Design und robotische Fertigung**

Das Projekt baut auf über 10 Jahre Forschung zum Bauen mit Faserverbundkonstruktionen auf. Die bisherige Forschung konzentrierte sich auf den Einsatz von synthetisch hergestellten Faserverbundwerkstoffen im Bauwesen, z.B. Glas- und Kohlenstofffasern, und deren Planung und Fertigung durch modernste computerbasierten Entwurfs-, Simulations- und Fertigungsmethoden. Der livMatS-Pavillon erweitert diese Forschung im Hinblick auf eine nachhaltigere Bauweise mit Flachsfasern und untersucht den Einsatz dieser Naturfasern in einer großmaßstäblichen Anwendung.

Die tragenden Bauelemente werden mit einem von ICD und ITKE entwickelten kernlosen Wickelverfahren aus Flachsfasern hergestellt. Bei diesem additiven Fertigungsverfahren werden Faserbündel von einem Roboter präzise auf einen Wickelrahmen gelegt. So können die Orientierung, Ausrichtung und Dichte der Fasern wie beim biologischen Vorbild gezielt gesteuert und architektonisch ausgebildet werden, wodurch die konstruktiven Anforderungen an das Bauteil passgenaue Berücksichtigung finden. Die geplante Bauteilform stellt sich durch das Zusammenspiel der Fasern innerhalb des Wickelrahmens von alleine ein, ohne dass ein zusätzlicher Formenbau oder Kern erforderlich ist. Bei dieser Fertigungsmethode fällt weder Abfall noch Verschnitt an und für alle geometrisch unterschiedlichen Elemente kann derselbe modulare Wickelrahmen verwendet werden. Dies führt im Vergleich zu konventionellen Bauweisen zu einer ausgezeichneten Materialeffizienz bei hoher Tragfähigkeit.

Die Naturfasern und ihre biologische Variabilität stellten die Forschenden vor neue Herausforderungen insbesondere in Hinblick auf den computerbasierten Entwurf, die Arbeitsabläufe der robotischen Fertigung sowie die Maschinensteuerung. Diese Co-Design Prozesse wurden ursprünglich für synthetische, homogene Materialien entwickelt und mussten nun an die Materialeigenschaften der Flachsfasern angepasst werden. Die Anpassung des integrativen computerbasierten Modells ermöglichte es, die heterogenen Materialeigenschaften von Naturwerkstoffen in Entwurf und Planung der einzelnen Komponenten sowie der Gesamtstruktur einzubeziehen. Die speziellen Eigenschaften der Naturfasern bedingten zudem die Neukonfiguration des robotischen Herstellungsverfahrens.

**Abstraktion der Biologische Vorbilder und Übertragung in bioinspirierte technische Materialsysteme für die Architektur**

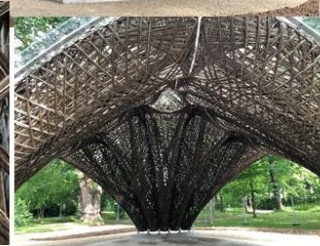


**Biologische Vorbilder:**  
Netzstrukturen in Leichtbau-Holzkörpern entstehen durch Verwachsung

Abstraktion und Umsetzung in technisch realisierbare Produktionsweisen:



Wickeln (coreless winding) statt Verwachsung zur Herstellung vernetzter Leichtbau-Materialsysteme für die Architektur



Verwendung von Flachsfasern und Sisalschnüren im bioinspirierten Tragwerksystem:  
Nachwachsende, gut recycelbare Rohstoffe  
→ bessere Ökobilanz

Da der *livMatS*-Pavillon im Botanischen Garten Umwelteinflüssen direkt ausgesetzt ist und Naturfasern generell anfälliger als synthetische Fasern auf solche Umwelteinflüsse sind, wurde der Pavillon mit einer wasserdichten Haut aus Polycarbonat eingedeckt, die nicht nur die Besucher vor Wetter schützt, sondern auch die Faserkomponenten vor direkter UV-Strahlung und Feuchtigkeit durch Regen oder Schnee.

**Demonstrator in nachhaltiger Bauweise**

Die tragende Struktur des *livMatS*-Pavillons besteht aus 15 Flachsfaserelementen, die ausschließlich aus endlos gesponnenen Naturfasern in einem robotergestützten, kernlosen Faserwickelprozess vorgefertigt wurden. Die Elemente variieren in ihrer Gesamtlänge zwischen 4,50 bis 5,50 m und wiegen im Durchschnitt nur 105 kg. Die gesamte Faserkonstruktion wiegt bei einer Gesamtfläche von 46 m<sup>2</sup> nur ca. 1.5 t und ist für die vollen Schnee- und Windlasten der gültigen Bauvorschriften ausgelegt.

Die Forschung am computerbasierten Entwurf, der robotischen Fertigung und dem neuen Materialsystem wurde im Kontext des ITECH (Integrative Technologies and Architectural Design Research) Masterprogramms von einem interdisziplinären Team von ITECH-Studierenden und ICD/ITKE-Forscherinnen und Forschern entwickelt und durch eine Prototypen-Vorserie der Naturfaserbauteile validiert. Hieraus konnten die endgültigen Konstruktions- und Fertigungsdaten abgeleitet werden, die an den Industriepartner des Projekts, die FibR GmbH Stuttgart, zur Produktion der 15 Faserelemente übergeben wurden.

Der Pavillon fügt sich auf natürliche Weise in die Umgebung des Botanischen Gartens in Freiburg ein und zelebriert die Möglichkeiten der räumlichen und strukturellen Artikulation natürlicher Materialien, die von den Besuchern des Gartens und den Nutzern des Gebäudes als unverwechselbarer Raum mit einem neuartigen und zugleich authentischen, architektonischen Ausdruck erlebt werden. Er eröffnet einen Ausblick auf eine futuristische wie auch zukunftssichere Bauweise und dient der Universität Freiburg als Veranstaltungsort für die Angebote des Exzellenzclusters *livMatS*. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden dort in Führungen oder Workshops der Öffentlichkeit ihre Arbeit präsentieren und damit die Forschung des Clusters anschaulich vermitteln.

Das Projekt setzt eine Reihe erfolgreicher, experimenteller und hochinnovativer Gebäudedemonstratoren fort, die von dem interdisziplinären Team aus Forschenden und

Studierenden von ICD/ITKE der Universität Stuttgart entworfen und realisiert wurden. Es vertieft die erfolgreiche Zusammenarbeit der Exzellenzcluster *livMatS* an der Universität Freiburg und IntCDC an der Universität Stuttgart weiter. IntCDC verfolgt das Ziel, das Planen und Bauen durch digitale Technologien neu zu denken, um so die ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Herausforderungen der gebauten Umwelt zu adressieren. Die Vision von *livMatS* ist es, Natur und Technik zu verbinden, um zukunftsweisende Umwelt- und Energietechnologien zu entwickeln. Durch seine Beschaffenheit bietet der Pavillon selbst Anknüpfungspunkte, um Ähnlichkeiten und Unterschiede von biologischen und technischen Materialien zu verdeutlichen und aufzuzeigen, welche Möglichkeiten sich durch Bioinspiration in der Architektur aber auch in anderen Bereichen der Technik ergeben.

### ***livMatS* Pavillon im Botanischen Garten der Universität Freiburg**

The *livMatS* Pavillon is a joint project of the Clusters of Excellence ***livMatS (Living, Adaptive and Energy-autonomous Materials Systems)***, University of Freiburg: Prof. Thomas Speck (Plant Biomechanics Group Freiburg & Botanischer Garten) & Prof. Jürgen Rühle (IMTEK, Chemie & Physik von Grenzflächen) and **IntCDC (Integrative Computational Design and Construction for Architecture)**, University of Stuttgart: Prof. Achim Menges (ICD Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung) & Prof. Jan Knippers (ITK Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen)

**Wissenschaftliche Entwicklung und Projektleitung:** Marta Gil Pérez, Serban Bodea, Niccolò Dambrosio, Bas Rongen, Christoph Zechmeister

Projektleitung: Katja Rinderspacher, Marta Gil Pérez, Monika Göbel

**Konzeptentwicklung, Systementwicklung, Prototypenfertigung:** 2018-2020: Talal Ammouri, Vanessa Costalonga Martins, Sacha Joseph Cutajar, Edith Anahi Gonzalez San Martin, Yanan Guo, James Hayward, Silvana Herrera, Jeongwoo Jang, Nicolas Kubail Kalousdian, Simon Jacob Lut, Eda Özdemir, Gabriel Rihaczek, Anke Kristina Schramm, Lasath Ryan Siriwardena, Vaia Tsiokou, Christo van der Hoven, Shu Chuan Yao // 2018-2019: Karen Andrea Antorveza Paez, Okan Basnak, Guillaume Caussarieu, Zhetao Dong, Kurt Drachenberg, Roxana Fiorella Guillen Hurtado, Ridvan Kahraman, Dilara Karademir, Laura Kieseewetter, Grzegorz Łochnicki, Francesco Milano, Yue Qi, Hooman Salyani, Nasim Sehat, Tim Stark, Zi Jie, Jake Tan, Irina Voineag

**Fassadenentwicklung:** Tim Stark mit Unterstützung von: Okan Basnak, Yanan Guo, Axel Körner // Studierende: Matthew Johnson, Daniel Locatelli, Francesca Maisto, Mahdieh Hadian Rasanani, Lorin Samija, Anand Shah, Lena Strobel, Max Zorn

**FibR GmbH, Stuttgart:** Moritz Dörstelmann, Ondrej Kyjaneck, Philipp Essers, Philipp Gülke mit Unterstützung von: with support of: Erik Zanetti, Elpiza Kolo, Prateek Bajpai, Hooman Salyani, Jamiel Abubaker, Julian Fial, Sergio Maggiulli, Mansour Ba, Christo van der Hoven

**Projektunterstützung:** Deutsche Bundesstiftung Umwelt & Exolon Group GmbH