

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 143 (2017)
Heft: 7-8: Mein Haus ist mein Kraftwerk

Artikel: Altruist
Autor: Czaja, Wojciech / Egger, Nina / John, Viola
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-737337>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ACTIVE ENERGY BUILDING VADUZ (LI)

Altruist

Sieht so die Zukunft aus? Weil Architekten zu Forschern wurden und ein Gebäude zum selbstlosen Energieversorger, entstanden allerlei technische Neuerungen. Das Wohnhaus ist ein Ideenpool für künftige Energiesysteme.

Text: Wojciech Czaja, Nina Egger, Viola John

Viele Jahre vergehen für Planung und Bau, getragen von Akteuren, die man nicht unbedingt erwarten würde: Im Zentrum von Vaduz entsteht derzeit das Active Energy Building von Falkeis Architects – Anton Falkeis und Cornelia Falkeis-Senn und einem Team von Forschern, Entwicklern, Schlossern, Maschinenbauern, Robotikern und vielen mehr. Das Gebäude setzt sich aus zwölf Wohneinheiten zusammen und produziert mehr erneuerbare Energie für Heizung und Kühlung, als es selbst verbraucht. Dabei versorgt es gleichzeitig sich selbst und bildet einen Versorgungsknoten für die Nachbargebäude. Das Energiekonzept des Gebäudes basiert einerseits auf bewährten Prinzipien und Systemen, beispielsweise Geothermie zur Bereitstellung von Wärmeenergie sowie Photovoltaikzellen für Strom. Andererseits sind einige der eingebauten Technologiekomponenten eigens für dieses Gebäude entwickelte Prototypen, deren Anwendung für zukünftige Energiesysteme als Vorlage dienen kann, etwa jene für die Klimaregulierung.

Gebaut wird im Energy Cluster

Das Areal, auf dem das Bauwerk errichtet ist, beinhaltet Wohn- und Bürogebäude, Grünanlagen und überbaute Tiefgaragen. Hier soll durch die ausschliessliche Verwendung von erneuerbaren Energiequellen sowie durch die Verknüpfung mit einem Pumpspeicherwerk und E-Mobility die CO₂-Bilanz künftig auf vorbildlich

niedrigem Niveau gehalten werden. Das Active Energy Building steht im Verbund mit den anderen Gebäuden des Areals und bildet mit ihnen einen sogenannten Energy Cluster (S. 33). Der Vorteil: Die dezentrale Energieversorgung kann innerhalb dieses Netzwerks besser genutzt werden als von einem Einzelobjekt. Denn je nach Nutzung der Wohn- und Büroräume entstehen zu unterschiedlichen Tageszeiten Energiebedarfsspitzen. In Summe sind sich die Energieverbräuche auf dem Areal am Vormittag und Abend dadurch viel ähnlicher, als dies im Einzelfall für Wohngebäude oder Büros zutrifft, wo sich der Bedarf im Tagesverlauf von tiefen Tälern zu hohen Spitzen und wieder talwärts schwingt.

Bewährte Systeme weisen den Weg zu Innovationen in der Energietechnik

Für die Nutzung von Geothermie wird dem Erdreich an zwei Stellen Wärme entnommen bzw. zugeführt. Einmal mit einer Entnahmetiefe von 13 m und einer Förderleistung von 900 l/min, im anderen Fall mit einer Entnahmetiefe von 15 m und einer Förderleistung von 1800 l/min. Die Verteilung der thermischen Energie im Cluster erfolgt je nach Aktivität der Nutzungen.

Für die Bereitstellung von PV-Strom sind die schmale Südseite und das gesamte Dach als aktive Flächen ausgebildet. Um bei jedem Sonnenstand für einen maximalen Energieertrag zu sorgen, spielt die ideale Ausrichtung der PV-Zellen zur Sonne eine grosse Rolle. Daher wurden die energiegewinnenden Elemente so konzipiert, dass sie sich mit dem Sonnenstand mitdrehen (vgl. Abb. S. 5). Die Photovoltaikflügel wurden speziell für dieses Projekt entwickelt. Die Solarzellen selbst sind zwar weitläufig erhältlich, doch für die Konstruktion der gebäudeintegrierten, dreiachsigen Nachführung wurde das Planungsteam um Robotikingenieure und Maschinenbauer erweitert.

Für die Klimaregulierung an der Ost- und Westseite des Gebäudes wurden in Zusammenarbeit mit Forschern der Hochschule Luzern spezielle Fassadenmodule mit Latentwärmespeicher entwickelt (Abb. S. 34). Die Tests und Simulationen mit den mit einem Phase-Change-Material (PCM, Kasten S. 35) auf Paraffinbasis gefüllten Flügelementen nahmen fast drei Jahre in



Architektur
falkeis.architects_vienna.
vaduz, Wien und Vaduz

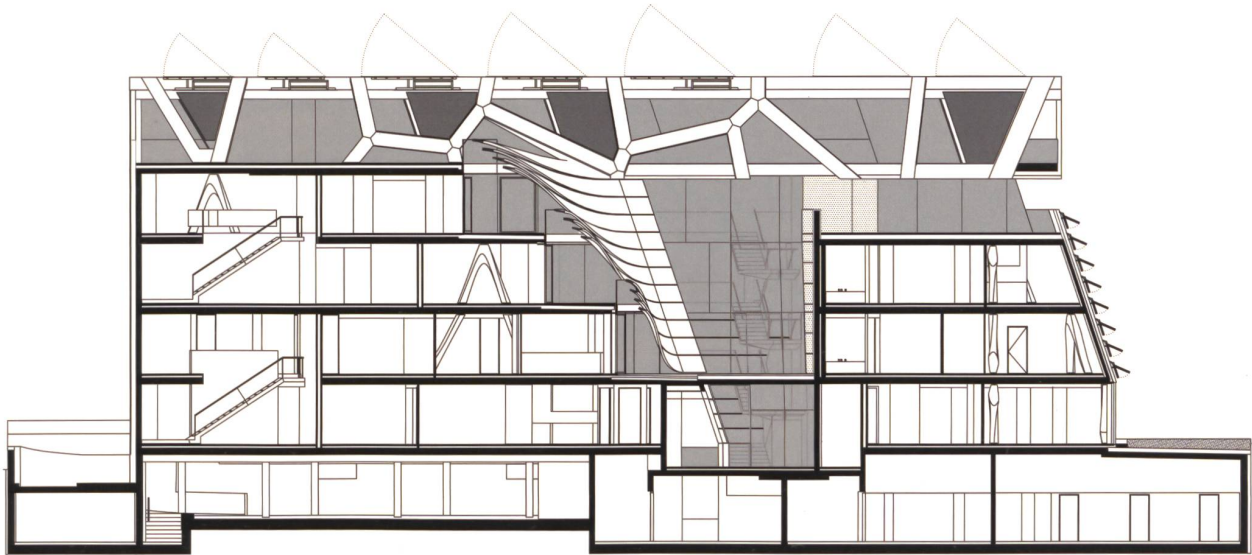
Tragwerksplanung
Bollinger-Grohmann-
Schneider, Wien
Hanno Konrad Anstalt,
Schaan (LI) Hoch & Gassner,
Triesen (LI)

HLKS-Planung
A. Vogt, Vaduz
Brian Cody, Graz

Forschungspartner
Hochschule Luzern,
Dr. Fischer und Team

Maschinenbau
Wössner Engineering,
Balzers (LI)

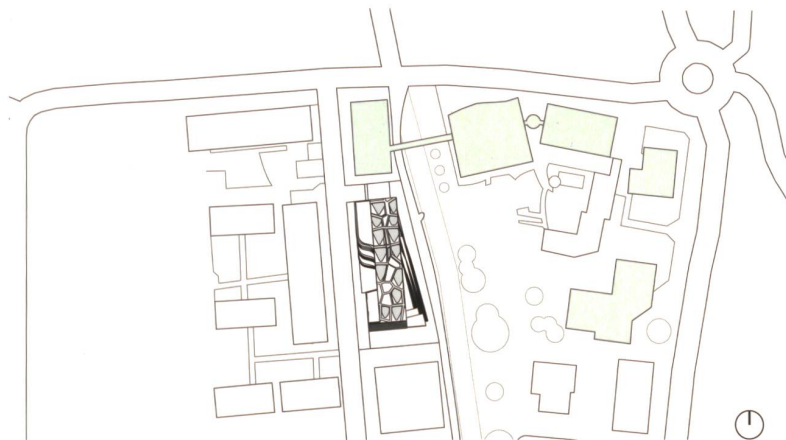
Bauphysik
BDT IB Bauphysik,
Frastanz (AT)



Längsschnitt, Mst. 1:300: Die Form des Wohngebäudes ist stark geprägt vom Energiekonzept. Es gibt einen Canyon, der in das Gebäude hineinschneidet, und auf der Ost-, Südost- und Südwestseite eine Terrassierung, um die Aussetzungsflächen der Fassade zur Sonne zu optimieren. Dadurch werden alle Gebäudeteile bis in die Tiefe mit Tageslicht versorgt.



Grundriss, Mst. 1:500



Lageplan im Mst. 1:2000: Die grün markierten Gebäude stehen im Verbund mit dem Active Energy Building. In ihrem Zentrum befindet sich ein begrünter Hof.

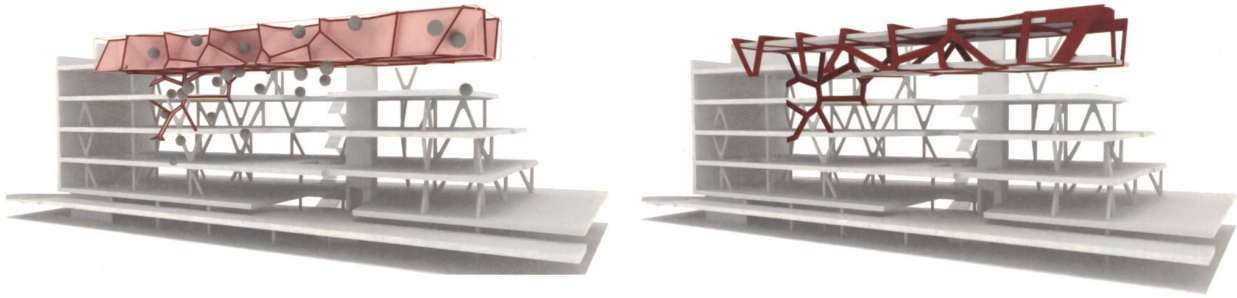
Standort und Klima

Der Standort des Active Energy Building ist in Vaduz, zwischen Gebirge und Rhein, auf 455.2 m ü.M. gelegen. Dort herrscht ein mildes Klima, auf das der Föhn aus dem Süden einwirkt.

Dank Sommertemperaturen zwischen 20 und 28 °C und Wintertemperaturen selten unter -15 °C, sind Kühl- und Heizbedarf in Liechtenstein geringer auszuliegen als zum Beispiel im rauen und kalten Jura.

Trotz teilweiser Verschattung durch die umliegenden Berge und bei mittelmässiger Solarstrahlung von 1110 kWh/m²a (vgl. Säntis 1260 kWh/m²a) eignet sich das Areal für Photovoltaik zur elektrischen Energiegewinnung.

Das Gelände ist zudem für Erdsonden geeignet. Ein geologisches Gutachten und Probebohrungen zeigten im Wesentlichen alluviale Ablagerungen des Rheins, als Oberschicht feinkörnige Überschwemmungssedimente und unter der Deckschicht auch Ablagerungen des Schuttfächers unterlagert von Rheinschotter. Das Projekt liegt im Gebiet nutzbarer Grundwasservorkommen des Rheinschotter. Dieser ist in der Regel gut bis sehr gut durchlässig ($1 \cdot 10^{-4}$ bis $1 \cdot 10^{-3}$ m/s). Der Mittlere Grundwasserstand liegt mit 452.7 m ü.M. zweieinhalb Meter unter dem Strassenniveau. • ne



Mithilfe des **Voronoi-Algorithmus** wird eine Raumstruktur erzeugt, die organischen Zellen ähnelt. Dabei bestimmen die «Kerne» durch ihre Position die Grösse der eigenen sowie die der umgebenden Zellen.

Anspruch. Die Recherche gestaltete sich schwierig, denn die meisten PCM-Hersteller am Markt rieten von dieser noch kaum erforschten Technologie ab. Nachdem sich keine Partner aus der Industrie gefunden hatten, musste die erforderliche Kompetenz für Forschung, Entwicklung und Umsetzung von falkeis.architects selbst aufgebaut werden.

Als Vorbild dient die Natur

Um die im obersten Geschoss angebrachte Energie- und Klimatechnik aufzunehmen, entwickelten die Planer ein Tragwerk aus Stahl, das sie auf das Gebäude setzten. Die Konstruktion umspannt das Dachgeschoss sowie Teile der Ostfassade und ermöglicht zudem die elf Meter lange, südseitige Auskragung des Attikageschosses.

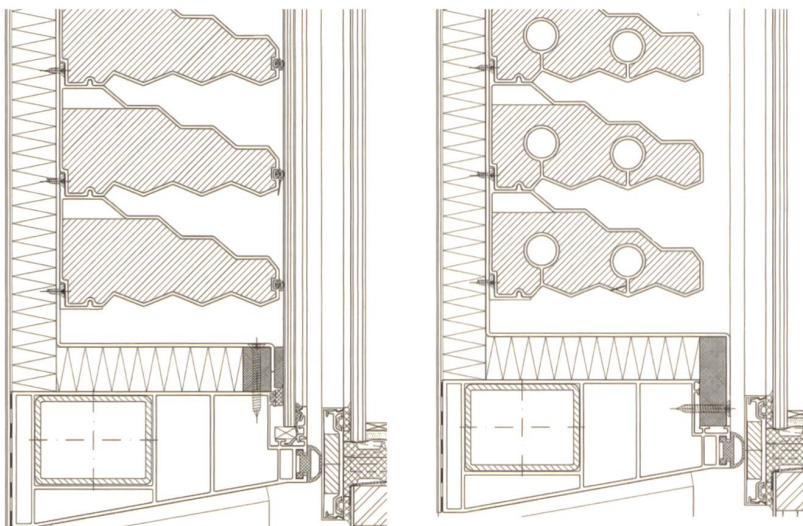
Die Stahlstruktur basiert auf einem Vorbild aus der Natur: dem Voronoi, das organischen Zellen ähnelt. Zum Beispiel bestehen die Flügel einer Libelle aus einer solchen Struktur aus einzelnen Feldern, die so zusammengesetzt sind, dass sie bei geringem Gewicht eine sehr hohe Stabilität aufweisen. Nur so kann die Libelle

fliegen. Als Voronoi-Algorithmus bezeichnet man eine Zerlegung des Raumes in bestimmte Regionen. Jede Region wird durch genau ein Zentrum bestimmt und umfasst alle Punkte des Raumes, die näher am Zentrum der Region liegen als an jedem anderen Zentrum.

Die Voronoi-Tragstruktur besteht aus einzelnen zusammengeschweissten Blechträgern. Hierzu wurden die Einzelteile entweder über Kopfplatten mit Schraubverbindungen gefügt oder an ihren Flanschen mit V-Nähten zusammengeschweisst. Alle Träger weisen eine gleichbleibende Höhe von 80 cm auf, bei variabler Neigung der Stege von bis zu 42°. Sie sind im Stahlbetonverbund mit der Gebäudehülle verschnitten. Die Dach- und Fassadenelemente sind über Metalllaschen untereinander verbunden.

Wie Blütenköpfe drehen sich die PV-Elemente zur Sonne

In die polygonalen Felder der Voronoi-Struktur fügen sich Fenster, Oberlichter und alle beweglichen Elemente ein. Darunter sind mehrere Arten von PV- und



Die **Heizflügel** sind mit einer Glasplatte abgeschlossen, die die Rippen vor Wärmeverlust schützt.

In den **Kühlflügel** eingebaute Rohre ermöglichen eine gleichmässige Vereisung.



Der am Mock-up montierte PV-Flügel lieferte **2.9 Mal mehr Ertrag**, als es es fix aufgestellte Zellen geschafft hätten.



Die komplexe Voronoi-Stahlstruktur aus lasergeschnittenen Blechen wurde in Teilen im Werk vormontiert. Der Brandschutz wird durch Ausfachungen aus Beton sowie Verkleidungen mit Brandschutzplatten sichergestellt.

PCM-Modulen. An der Lamellenfassade im Süden und auf den Balkonelementen im Osten sind polykristalline Zellen installiert, die zusammen 11 kWp liefern. Elf mit monokristallinen Modulen ausgestattete Oberlichter kommen auf 5,4 kWp. Der Grossteil des PV-Ertrags kommt aber von 13 dreiaxsig nachgeführten Photovoltaikflügeln mit Flächen von bis zu 12 m², die in der Voronoi-Struktur des Dachs untergebracht sind. Sie folgen, ähnlich den Blütenköpfen von Blumen, während des Tages dem Sonnenverlauf.

Mit einem seit 2014 installierten Mock-up konnten Forscher der HSLU einen Ertragsfaktor von 2,9 nachweisen. Die 34,79-kWp-Anlage wird somit den jährlichen Solarertrag einer gleich grossen, fix montierten Solaranlage nahezu verdreifachen. Damit soll das gesamte Areal mit Solarstrom versorgt werden können. Überschüsse, die nicht genutzt werden, nimmt die Kraftwerks AG ab.

Die Klimaregulierung funktioniert phasenweise verschoben

Sieben mit einem Phase Change Material (PCM) als Latentwärmespeicher ausgestattete Klimaflügel sind an der Ost- und Westseite des Gebäudes in die polygonalen Zwischenräume der Voronoi-Struktur eingepasst. In ihrer Ruheposition liegen die Flügel flach in der Tragstruktur und dienen dem Schutz vor sommerlicher Überwärmung. Mit von Solarstrom betriebenen Spindelmotoren, die die Flügel bis zu 110° aufklappen und dem Himmel beziehungsweise der Sonne entgegenstrecken, wird das Potenzial des Phase Change Materials maximal ausgeschöpft.

Die vier Heizflügel (Abb. S. 34) befinden sich an der Westfassade des Gebäudes und klappen in den Morgenstunden auf, während das darin enthaltene PCM noch fest ist. Dank der Ausrichtung zur Sonne wird das Paraffin im Material erhitzt und verflüssigt sich bei einer Temperatur von 32 °C. Sobald das geschmolzene PCM am Ende des Tages den maximalen Wärmeeintrag erreicht hat, schliessen sich die Flügel automatisch und docken mittels eines Ventils an das Lüftungssystem an. Über einen Wärmelufttaucher wird die freigegebene Energiemenge an das Haus abgegeben. Die PCM-Flügel decken rund 10 % der gesamten Heizlast ab.

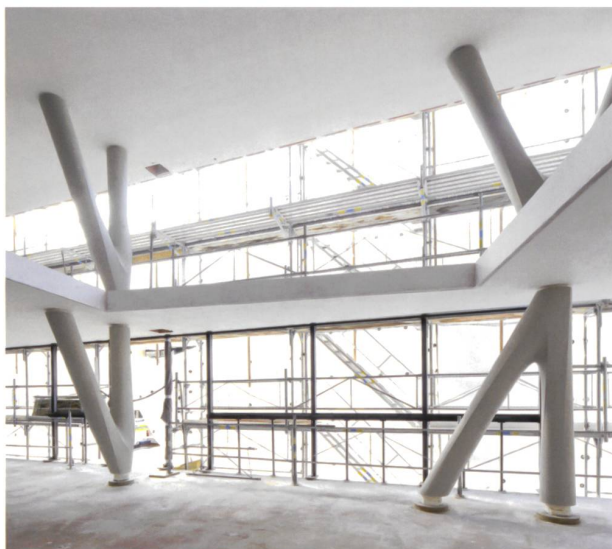
Genau umgekehrt verhält es sich bei den drei ostseitigen Kühlflügeln. Diese liegen untertags plan in der Fassade und klappen sich nachts auf, wenn das Material aufgrund der absorbierten Gebäudewärme vollständig geschmolzen ist. In den Nachtstunden wird die überschüssige Energie abgestrahlt. Bei 21 °C verfestigt sich das Paraffin und erstarrt. Noch vor Sonnenaufgang klappen die abgekühlten und erstarrten PCM-Module wieder ein und tragen zur Kühlung der zweigeschossigen Attikawohnung bei. Auf diese Weise können 16 % der Gesamtkühllast des Hauses eingespart werden.

Sowohl bei den Heiz- als auch bei den Kühlflügeln handelt es sich um polygonale Carbonfaserrahmen, die mit waagrecht montierten Aluminiumlamellen bestückt sind. Der Querschnitt der stranggepressten Lamellen erinnert an jenen von Flugzeugflügeln: Die Wölbung kann sich leicht verformen und nimmt auf diese Weise die zehnpromtente Volumenänderung auf, die das darin enthaltene Paraffin zwischen flüssigem und festem Zustand aufweist.

Phase Change Materials

Klassische, sogenannte sensible Wärmespeicher wie etwa Wasser, Kältemittel, Erdsonden und massive Bauteile nehmen oft viel Speichervolumen in Anspruch und sind so meist teuer und schwierig zu verbauen. Im Gegensatz dazu sind sogenannte latente Speichermedien weitaus effizienter (vgl. TEC21 47/2015, «Thermische Energiespeicher»). Durch den Übertritt von einem Aggregatzustand in den anderen – meist kommen latente Speicher an der Grenze von fest zu flüssig zum Einsatz – kann die bis zu zehnfache Energiemenge gespeichert werden. Aufgrund des Aggregatswechsels werden diese Stoffe als Phase Change Materials (PCM) bezeichnet.

Zu den bekanntesten PCM zählen Alkohole, Carbonsäuren, Salzhydrate, Paraffine und natürlich Wasser im Bereich des Gefrierpunkts. Für PCM am Gebäude eignen sich vor allem Salzhydrate und Paraffine. Salzlösungen haben eine Speicherkapazität von 70 bis 120 kWh/m³, allerdings sind die Salzkristalle meist sehr aggressiv und kristallisieren bei extremer Überhitzung irreversibel aus. Paraffine sind material- und auch umweltfreundlicher, kommen mit 30 bis 60 kWh/m³ im Idealfall aber gerademal auf die halbe Speicherdichte. • Wojciech Czaja



Die rechte Stütze im unteren Geschoss ist die auf den Kopf gestellte Variante der linken. Die Stütze darüber wurde mit einer zweiten Schalung erstellt.

Bei der Konstruktion zählt die digitale Innovation

Für das Tragwerk des Gebäudes kamen zwei verschiedene Stützenmodelle zum Einsatz: eine gleichschenklige symmetrische Betonfreiformstütze sowie ein asymmetrisches Modell mit einem diagonalen und einem vertikalen Schenkel (Abb. oben). Durch die mal A-, mal V-förmige Verbauung verdoppelt sich das Repertoire auf insgesamt vier Varianten.

Die genaue Position jeder einzelnen A- und V-Stütze wurde in einem iterativen digitalen Berechnungsverfahren, gesteuert durch einen genetischen Algorithmus, so lange optimiert, bis eine Synthese aus minimalem Materialeinsatz und maximalem Sonneneintrag über die Ost-, Süd- und Westfassaden erreicht war (Kasten oben).

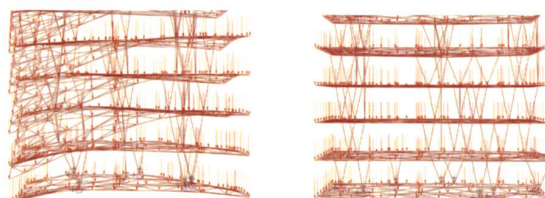
Die Stützen verbinden sich untereinander zu komplexen Baumgebilden mit Verästelungen und Verzweigungen. Mit jeder Etage nimmt nicht nur die abzutragende Eigen- und Nutzlast ab, sondern auch die Zahl der dafür verantwortlichen Stützen. Die Spannweiten zwischen den Fuss- beziehungsweise Kopfpunkten betragen bis zu 12 m.

Die Freiformgeometrie mit der gedrehten Naht verleiht den Säulen ein weiches, organisches Erscheinungsbild. Zu verdanken ist die hohe Zeichnungsfähigkeit des Materials dem selbstverdichtenden High-Performance-Beton (HP-Beton) mit hohem Quarzanteil, harter Gesteinskörnung und beigemischten Polypropylenfasern (PP-Fasern). Entwickelt wurde die Betonrezeptur namens «alphapact P080» in Kooperation mit Holcim Schweiz.

Für den ungleichmässigen Querschnitt der Stütze wurde eine dreiteilige Gussform als Schalung entwickelt, die auf Basis der 3-D-Daten aus Epoxidharz

Digitaler Entwurf

Zur digitalen Erfassung und Vernetzung der Gebäudedaten wurde ein BIM-Modell (Building Information Modelling) in Autodesk Revit erstellt. Rhinoceros und Grasshopper wurden als Software für die Generierung der gesamten Tragstruktur eingesetzt. Um Änderungen des Gebäudemodells in Echtzeit anzeigen zu können, wurde ein Finite-Element-Plug-in namens Karamba3D verwendet, das veränderte Rahmenbedingungen automatisch berücksichtigt. Die Tragwerksbemessung wurde mittels Dlubal RFEM durchgeführt. • (vj)



gegossen wurde und keinerlei Hinterschnidungen enthält. Eingeschweisste und einbetonierte Anker- und Anschlussplatten mit integrierten Messpunkten erleichterten nicht nur die Montage vor Ort, sondern sorgten auch dafür, dass die geringe Bautoleranz von zwei Millimetern sogar noch unterschritten werden konnte.

Ein interessantes Experiment

Das Active Energy Building ist zweifellos interessant hinsichtlich seiner technischen Funktionen und Entstehungsgeschichte. Seine Erstellung erforderte einen hohen planerischen und bautechnischen Aufwand, was nur durch die finanzielle Unterstützung der Bauherren möglich wurde, die als Forschungsmäzene wirkten.

Das Ehepaar Marxer, das den Auftrag für das Bauwerk erteilte, appellierte an den Erfindungsreichtum der Architekten und bot ihnen die Chance, die Grenzen des technisch Möglichen auszureizen. Das Active Energy Building ist nicht als klassisches Architekturprojekt zu verstehen, sondern als ein Experiment, das zur Architektur- und Wohnbauforschung beiträgt. Nach dem Bezug des neuen Gebäudes wird über einen Zeitraum von zwei Jahren ein externes Monitoring zur weiteren Optimierung der Energieproduktion und -einsparung eingesetzt werden. Schon jetzt gibt es dank dem Active Energy Building einige neue Patente für Bauelemente. Es bleibt spannend und abzuwarten, wie sich die Forschungsergebnisse zukünftig auf die Baubranche auswirken werden. •

Wojciech Czaja, DI, Architektur-Journalist, Gastprofessor an der Universität für Angewandte Kunst in Wien, office@czaja.at
Nina Egger, Redaktorin Gebäudetechnik
Dr. Viola John, Redaktorin Konstruktion/nachhaltiges Bauen