

Faltungen und Origami

D

Das Prinzip des Faltens ist allgegenwärtig und findet sich in Natur, Alltag, Design sowie in der Technik in einem großen Variantenreichtum. In der Natur wird es sowohl als optimiertes Leichtbauprinzip für immobile, tragende Strukturen als auch für wandelbare oder flexible Konstruktionen eingesetzt. So sind beispielsweise Palmblätter aufgrund ihrer Struktur aus in Längsrichtung verlaufenden – longitudinal – verlaufenden Falten steife aber zugleich auch nachgiebige und veränderbare sowie sehr robuste Gebilde. Marienkäfer können ihre empfindlichen Flügel schützen, indem sie diese unter die Deckschalen einfallen. Im Alltag begegnen uns Faltstrukturen zum Beispiel als Faltenbälge an Zügen und Bussen. Faltkartons nutzen die Wandelbarkeit des Faltprinzips und lassen sich von einem flächigen in einen voluminösen Zustand überführen. Auch im Ingenieurwesen gibt es Faltungen. In der Bautechnik stellen Wellbleche, Trapezbleche und Spundwandprofile gefaltete Halbzeuge dar, im Fahrzeugbau werden Cabriodächer ein- und ausgefaltet und die Medizintechnik entwickelt Implantate wie Stents, die in den menschlichen Körper eingeführt werden und sich am endgültigen Bestimmungsort auffalten.



*Bild 1: Entfaltete Hainbuchenblätter im Frühjahr.
Foto: Martin Trautz*

*Bild 2: Spornschildkröte mit Panzer als Facettenbeziehungswise Punktfaltung.
Foto: Nico Beiert*

*Bild 3: St. Paulus in Neuss aus dem Jahre 1969 (Polonyí, Schaller).
Foto: Susanne Hoffmann*

*Bild 4: Colouredome, geodätische Kuppel, RWTH Aachen, 2002 (Hachul, Führer).
Foto: Lehrstuhl für Tragkonstruktionen*

Prinzipien für Konstruktionen in Architektur und Ingenieurwesen

Faltungen in der Architektur

In der Architektur findet das Prinzip des Faltens Anwendung bei weit gespannten Tragwerken, temporären Bauten und bei Fasadenelementen. Bis in die 80er Jahre des letzten Jahrhunderts wurden zahlreiche großmaßstäbliche Faltwerke aus Beton realisiert. Die geodätischen Kuppeln des Architekten Buckminster Fuller (1895-1983) waren große, aus Kunststoffelementen oder aus Metallblechen zusammengesetzte facettierte Kuppeln, deren Geometrie auf Archimedischen Körpern beruhten und als Raumfaltwerke bezeichnet werden. In der zeitgenössischen Architektur findet dieses Leichtbauprinzip leider nur noch selten – manchmal noch in der Messe- oder Ausstellungsarchitektur – Verwendung. Da in Zukunft angesichts sich zusehends verknappender Ressourcen dem Thema materialsparender Konstruktionen eine zentrale Bedeutung zukommen wird, lohnt sich die intensive Auseinandersetzung mit dem Strukturformprinzip der Faltung umso mehr.



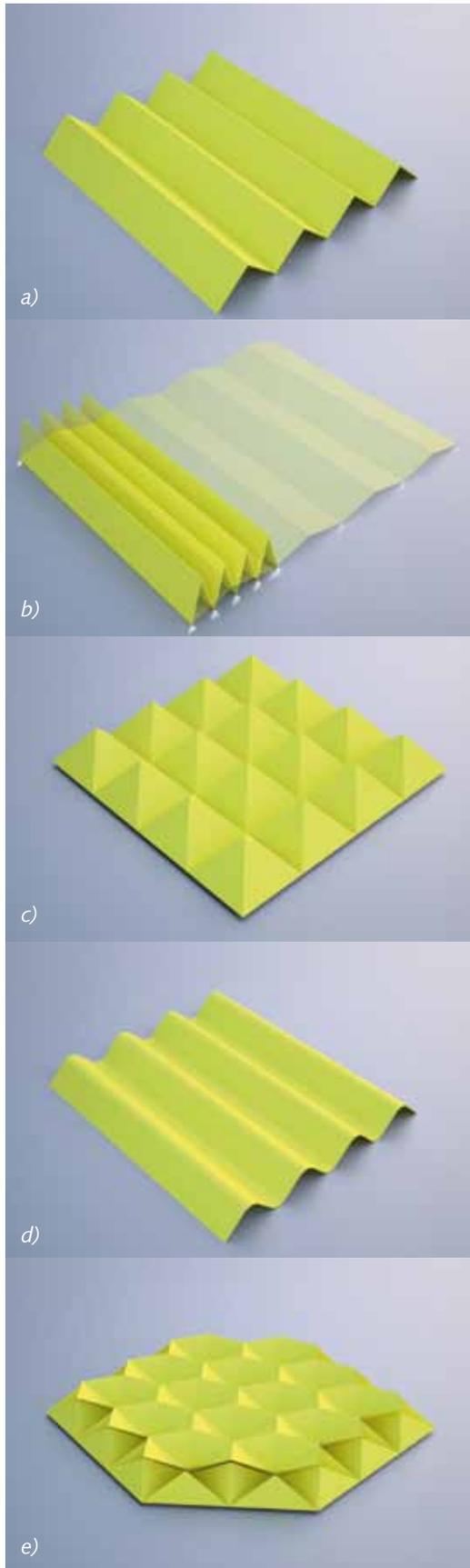


Bild 5:

- a) Starre
- b) und wandelbare Faltungen
- c) facettierte Faltung (Pyramiden)
- d) ondulierte Faltungen
- e) zweilagige Punktfaltung (Sechseckpyramiden/Johnsohnsche Körper).

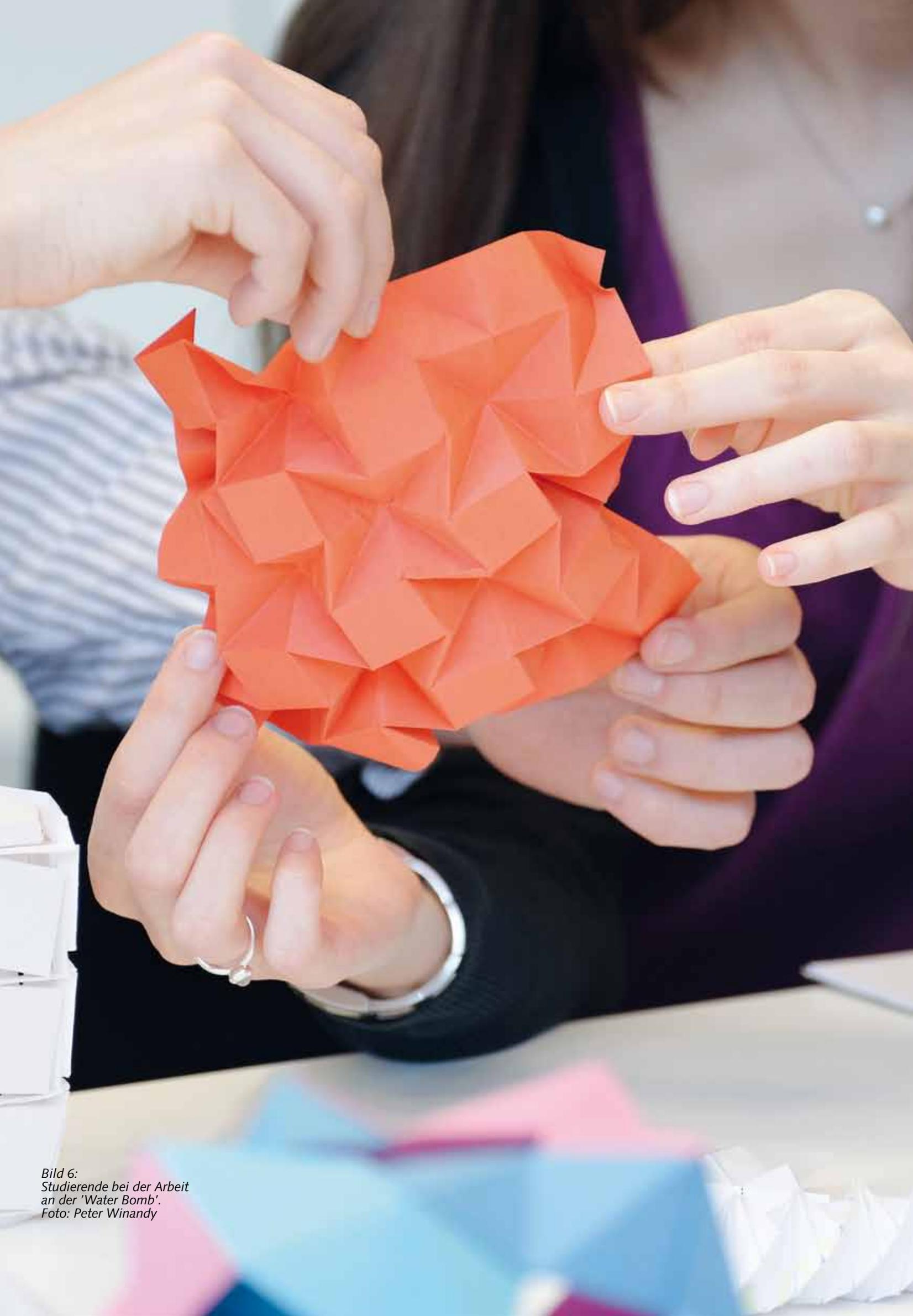
Faltkategorien

In der umfangreichen Literatur und in den Online-Informationen zur japanischen Papierfaltkunst Origami gibt es eine fast unüberschaubare Auswahl an Falanleitungen zu figürlichen und abstrakten Faltobjekten. In keiner dieser Quellen wird jedoch eine passende Kategorisierung von Faltungen vorgenommen. Um Faltprinzipien für architektonische und technische Anwendungen nutzbar zu machen, sind jedoch mindestens folgende Kategorien zu unterscheiden: starre und wandelbare Faltungen, longitudinale und facettierte Faltungen sowie diskrete und ondulierte Faltungen, siehe Bild 5 a) bis e). Darüber hinaus können geometrische und topologische Merkmale wie beispielsweise Faltungstiefe, Faltungsfrequenz, Regelmäßigkeit oder Mehrlagigkeit unterschieden werden.

Origami

Neben den alltäglichen Beispielen von gefalteten Objekten ist die Jahrhunderte alte, zweckfreie Papierfaltkunst Origami eine Inspirationsquelle für Faltstrukturen jeglicher Art. Der japanische Begriff Origami bezeichnet übersetzt schlicht das Falten von Papier. Das klassische Origami beruht auf strengen Regeln und Vorschriften. Faltfiguren werden aus nur einem einzigen quadratischen Blatt Papier und ausschließlich durch Falten – ohne Schneiden und wieder Zusammenfügen oder gar durch Kleben – geschaffen. Diese strenge Vorgehensweise ist für bautechnische oder maschinenbautechnische Anwendungen in vielen Fällen zu restriktiv, für textiltchnische Anwendungen hingegen kann sie von besonderem Interesse sein. Aus dem klassischen Origami haben sich darüber hinaus weitere Arten entwickelt, die ein hohes Potenzial für den Einsatz in der Architektur und im Ingenieurwesen beinhalten.

Tessellation Origami: Diese Faltstrukturen beruhen auf sich wiederholenden Faltpatternen. Die meisten dieser Faltobjekte sind flach und unter anderem für dekorative Zwecke einsetzbar. Es gibt jedoch auch Tessellation Origamimuster, in denen mit einfachen, sich wiederholenden Basismustern dreidimensionale Strukturen und Raumfaltwerke geformt werden. Als Beispiele seien die so genannte 'Water Bomb' oder der 'Magic Ball' genannt. Der Magic Ball setzt sich aus einer Kombination von Longitudinalfaltungen und facettierten Faltungen zusammen und besitzt mehrere Freiheitsgrade, die eine Verformung von einem flachen, breiten Zylinder über eine Kugel bis hin zu einem schlanken, hohen Zylinder zulassen. Das bekannteste Tessellation-Faltmuster wurde von dem japanischen Astrophysiker Koryo Miura entwickelt und ist bekannt als „Miura-Ori“ Muster (= Miura-Faltung). Diese Faltstruktur zeichnet sich durch eine starke Kompaktierung in die beiden Flächendimensionen aus und einen vergleichsweise einfachen Entfaltungsvorgang.



*Bild 6:
Studierende bei der Arbeit
an der 'Water Bomb'.
Foto: Peter Winandy*



Bild 7:
Diskussion über die Einsatzmöglichkeiten von Faltstrukturen.
Foto: Peter Winandy

12

Origami Hypare: Mit nur sehr wenigen Faltschritten entstehen aus einem ebenen Papier geometrisch bestimmte, dreidimensionale Hypare. Dieses Faltmuster funktioniert sowohl mit dem klassischen Quadrat als auch mit allen übrigen regelmäßigen Flächen. Es besteht ebenfalls aus einer Kombination von Longitudinalfaltungen und – im Mittelpunkt – aus einem facettierten Faltungselement.

Modulares Origami: Diese Tendenz im Origami beruht auf dem Prinzip, mehrere gleiche Module zu einer Raumstruktur zusammenzusetzen. Die Formenvielfalt reicht von Platonischen Grundkörpern wie Würfeln oder Tetraeder bis hin zu Archimedischen Körpern und komplexen modifizierten Polyedern. Diese Herangehensweise hat den Vor-

teil, dass die Gesamtform immer auf vergleichsweise einfachen geometrischen Grundformen beruht wie zum Beispiel ein auf gleichseitigen Dreiecken basierendes Modul, aus dem sich eine tetraederähnliche Raumstruktur zusammensetzen lässt. Modulares Origami scheint eine für Anwendungen in der Architektur und im Bauwesen prädestinierte Kategorie zu sein, da sie aus wenigen unterschiedlichen Modulen mit fast gleichen Fügungsstellen durch Variation der im Modul eingeschlossenen Winkel die Generierung einer Vielzahl verschiedener Formen möglich macht. Darüber hinaus gestattet es die modulare Bauweise, bestehende Objekte auf einfachste Weise an wechselnde Anforderungen hinsichtlich Erweiterung oder Umbau anzupassen. Die meisten modularen Origami-Objekte bilden

grundsätzlich starre Faltstrukturen, es sind jedoch auch hier in Abhängigkeit von der Anzahl der räumlichen Verbindungen wandelbare Konstruktionen denkbar und möglich.

Einsatzmöglichkeiten

Da Faltungen bei ingenieurtechnischen Aufgabenstellungen im Gegensatz zu Papier nie eine vernachlässigbare Dicke annehmen können, reichen für die Konzeption einer wandelbaren Faltung geometrische Betrachtungen am Origami-Objekt nicht aus, auch dann, wenn sie nur ein einziges Mal von einem eingefalteten in einen ausgefalteten Zustand oder umgekehrt übergehen soll. Die gelenkigen Faltkanten führen während des Faltvorganges zum Teil sehr komplizierte Bewegungen aus und müssen unter anderem so durchgebil-

det werden, dass sie nicht nur Drehbewegungen, sondern auch Verschiebungen zulassen. Je nach Anwendung einer wandelbaren Faltung im mikrotechnischen Maßstab – wie etwa in der Medizin – oder im mittleren beziehungsweise größeren Maßstab, wie im Maschinenbau oder in der Architektur, erwachsen daraus komplexe Frage- und Problemstellungen an die Ingenieur- und Materialwissenschaften sowie an die Informatik und Simulationstechnik.

Aber auch bei starren Faltungen sind noch zahlreiche Fragen zur Anwendbarkeit, zur Leistungsfähigkeit und zur konstruktiven Durchbildung zu beantworten. So stellen hier ebenso die Faltkanten, wenn sie gleichzeitig Fügungsstellen sind, eine technische Herausforderung dar.



Die heute verfügbaren computergrafischen, materialtechnischen und analytischen Möglichkeiten sind mehr als ausreichend, um die geometrische wie technische Komplexität von Faltungen zum Thema einer breiten Forschungskampagne in Architektur und Ingenieurwesen zu machen, um dieses bisher noch weitgehend unbearbeitete Feld für die Wissenschaft und damit auch für die Praxis zu erschließen. Einen Anfang stellt das aus Mitteln der Exzellenzinitiative finanzierte, multidisziplinäre Projekt „Fold-In-Folding Innovations: Basics, Design, Applications, Visions“ dar. Dieser vielschichtigen Thematik haben sich zehn Institute, Lehrstühle und Lehrgebiete von sieben Fakultäten der RWTH angenommen. Hieraus sind seit Beginn des Projektes im Sommer 2010 mehrere interdisziplinäre

Forschungsk Kooperationen hervorgegangen, so dass in Zukunft mit interessanten Ergebnissen aus dem Gebiet der Faltungen gerechnet werden kann.

Autoren:
 Dipl.-Ing. Susanne Hoffmann ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen.
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz ist Inhaber des Lehrstuhls für Tragkonstruktionen.

*Bild 8: Faltvorgang "Magic Ball".
 Quelle: Susanne Hoffmann*

Bild 9: Faltmuster und Modelle zum Modulare Origami.

