

Falten im Leichtbau

In der Architektur ist die wirtschaftliche Spannweite von Tragwerken durch zunehmendes Eigengewicht begrenzt. In der Verkehrstechnik zieht die steigende Masse bewegter Strukturen entsprechend hohen Energieaufwand nach sich. Es sind daher von jeher Leichtbautechniken gesucht worden, die das Eigengewicht von Strukturen kleiner halten. Die Technologie der Faltung vermag hierbei wesentliche Beiträge zu leisten.

Die Spannweite gefalteter Flächen

Der erste Weg der Leichtbautechnik besteht in der Entwicklung leichter Baustoffe, die ein verbessertes Verhältnis von Nutzlast zu Eigengewicht aufweisen. Der zweite Weg liegt in der Entwicklung effizienter Tragwerksformen. Auf beiden Ebenen ist das Prinzip der Faltung wirkungsvoll anwendbar: durch die Faltung flächiger, dünner Materialien wird auf höchst effiziente Weise deren Tragkraft ausgereizt: die statische Höhe, also der wirksame Hebel vergrößert sich drastisch, und zugleich wird der Baustoff als schubresistente Membran genutzt. Man denke nur z.B. auf der Baustoff-Ebene an Trapezbleche oder auf der Tragwerks-Ebene an Faltwerke aus Betonfertigteilen.

Die Wirksamkeit von Leichtbaumaterialien mit verbessertem Verhältnis Nutzlast/Eigengewicht steigt exponentiell mit

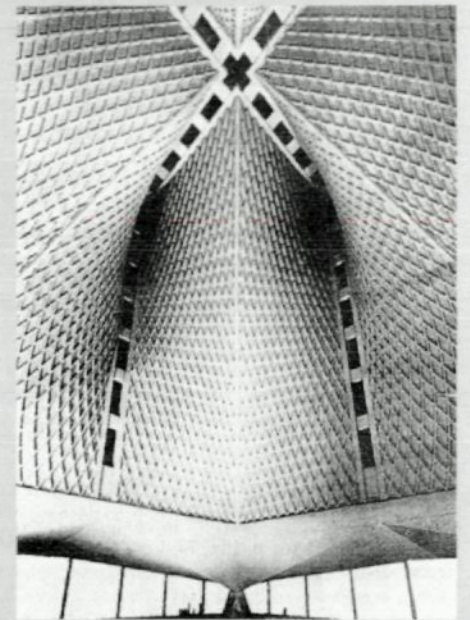
der Spannweite an. Es lohnt sich daher, über die Anwendungsmöglichkeiten der Faltmethode bei der Entwicklung innovativer Leichtbaumaterialien ebenso nachzudenken wie über das Applikationsspektrum von konventionellen Leichtbaustoffen für die Konstruktion von Faltwerken.

Faltwerke lassen sich v.a. für den Bau druckbeanspruchter Flächentragwerke einsetzen. Beim Vergleich der Effizienz von Tragwerksformen gelten jedoch meist zugbeanspruchte Konstruktionen (Membranen, Netze, Tensegrity-Konstruktionen) als die materialsparendste Form der Überbrückung großer Spannweiten. Bei näherem Zusehen zeigt sich, daß die Massen der notwendigen Hilfskonstruktionen (Masten, Druckringe, Fundamente, Massenfundamente für Zuganker) verschwiegen werden. Druckbeansprüche, leichte Flächentragwerke erreichen dagegen ohne Hilfskonstruktionen erstaunlich geringe Flächengewichte. Schon die dünnen Stahlbetonschalen Candelas zeigten in die richtige Richtung. Die Wahl leichter Materialien läßt jedoch noch ganz andere Dimensionen der

Gewichtersparnis zu. Eine immer noch zukunftsweisende Konstruktion ist eine Kuppel des amerikanischen Ingenieurs Le Tourneau aus den fünfziger Jahren, die aus sickerversteiften Aluminiumblechtafeln (Prinzip Faltversteifung!) aufgebaut war und bei 94 m Spannweite $22,0 \text{ kg/m}^2$ erreichte. Unbedingt müssen auch die Konstruktionen Jean Prouvé's aus gefaltetem Blech genannt werden, in deren Tradition die V-förmigen und gewellten Faltwerke Calatravas stehen, die konsequent auch aus faltversteiftem Material, nämlich aus Trapez- und Wellblech bestehen. Wichtige Alternativen in der Materialwahl zeigen Kuppeln von Buckminster-Fuller aus Pappe und transluzentem, faserverstärktem Kunststoff, als deren Fortsetzung sich die diaphanen Faltwerke Renzo Pianos sehen lassen.

Die Grenze des Begriffs Faltwerk scheint allerdings im Falle einer doppelt gekrümmten Schale deutlich überschritten. Jede gekrümmte Fläche läßt sich jedoch polyedrisch darstellen und auch bauen, elementiert in Parallelogramme oder Dreiecke. Dabei

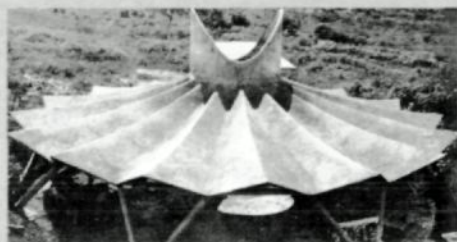
sind die einzelnen Flächen durch Falze oder Faltkanten miteinander verbunden. Zwar läßt sich die gekrümmte Fläche nicht aus einem einzigen, ebenen Stück Material auffalten, wohl aber aus längeren Streifen aneinanderhängender, gefalzter Flächen, die sich zu Schalen zusammensetzen lassen. Also macht es durchaus Sinn, auch polyedrische Schalen als Faltwerke zu verstehen, zumal dies ein neues, vielversprechendes Prinzip der Konstruktion unterstützt, nämlich



den Bau von Schalen aus leichten Paneelen. Wurden bisher Schalen wie auch Faltwerke zu meist aus schwerem Beton gebaut, so könnte dies in Zukunft aus Leichtbau-Paneelen geschehen.

Das Dilemma des Leichtbaus: Strecken und Versteifen

In jeder gewichtsoptimierten Konstruktion wird massives, schweres Material zur Vergrößerung der wirksamen statischen Höhe (abstrakt Widerstandsmoment genannt) im Raume aufgespreizt. Aus einem Stahlbarren wird ein Rohr oder ein H-Träger, aus diesem ein Wabenträger und daraus vielleicht ein Fachwerkbinder. Das grundlegende Dilemma jeder "leichten" Konstruktion



Oben: Kathedrale St. Mary, Pierluigi Nervi
Unten: Kaiser-Aluminium-Kuppel, Buckminster Fuller.

Oben links: HP-Schalen-Faltwerk, Felix Candela
Darunter: Aluminiumblech-Kuppel, G. Le Tourneau.

Oben mitte: Blech-Faltwerk, Jean Prouvé
Daneben: momentenfolgende V-Faltwerksbinder aus Trapezblech, Santiago Calatrava
Darunter: antiprismatisches Tonnen-Faltwerk aus GFK, Renzo Piano



liegt jedoch darin, daß mit der Spreizung des Materials im Raum zugleich - ab einer bestimmten Proportion der Streckung - eine Schwächung des ausgedünnten Querschnitts entsteht, die den Vorteil der Vergrößerung des statischen Hebels aufwiegt oder überwiegt. Der Steg etwa eines in der Mitte (der sog. "Nullzone" oder "neutralen Faser") zu sehr abgemagerten H-Trägers fällt zu beul- und kippanfällig aus, und die Rohre eines überstreckten Fachwerks werden allzu knickanfällig. Das strategische Ziel einer massenoptimierten Konstruktion muß also die Maximierung der Materialspreizung bei gleichzeitiger Minimierung des Steifigkeitsverlustes sein. Materialstreckung und -versteifung müssen also zusammen optimiert werden!

Dies gilt sowohl für die Mikrostruktur eines Tragwerks, d.h. für das Baumaterial, als auch für die Makrostruktur, also die Tragwerksform.

Baustoffoptimierung: Versteifen durch Falten

Auf der Baustoff-Ebene leichter Tragwerkskonstruktionen haben wir uns v.a. mit Rohren und mit Platten zu befassen. In beiden Bereichen können Faltungen eingesetzt werden. Darüber hinaus lassen sich Platten und Rohre, Faltwerke und Skelette zweckmäßig zur wechselseitigen Stabilisierung einsetzen.

Die prinzipielle Schwäche eines konventionellen Rohrs (oder Profils) liegt darin, daß das Versagen durch ein Ausweichen des Querschnitts zustande kommt, wobei die statische Höhe verloren geht. Das Rohr wird punktuell flachgefaltet; Membran-Ver-

formungen treten kaum auf; die notwendigen Verformungsenergien sind folglich gering. Der Querschnitt wird schlecht ausgenutzt, die zulässigen Spannungen sind dementsprechend reduziert. Daher sind leichte Rohrkonstruktionen der Natur - wie z.B. Vogelknochen, Pflanzenstengel oder Gräser - gegen das Ausweichen des Querschnitts ausgesteift: meist sind sie relativ dickwandig oder/und bestehen aus zellulären Strukturen, oder/und sie sind durch Querversteifungen - wie Ringe, Scheiben, Membranen oder Gitterwerke - gegen Querkkräfte versteift.

Die Hauptaufgabe ist also die Aussteifung von Rohr-Querschnitten gegen Querkkräfte. Hierzu gibt es vier Ansätze, die zu sog. Strukturrohren führen, bei denen das Material versteifend aufgefaltet wird:

1. Die Versteifung von Rohren durch deren Konstruktion aus zellulär oder schalenartig gespreizten Leichtbaupaneelen. Für derartige Paneel-Rohre eignen sich prinzipiell alle bekannten Leichtbaupaneele, insbesondere jedoch sickenversteifte Blechpaneele, die abgekantet und zu Rohren gefaltet werden können.
2. Die schalenartige Versteifung eines Rohrs. Verschweißt man ein Rohr aus mindestens drei spindelförmigen, gebogenen Blechen, so müssen die Querkkräfte durch ihre Krümmung versteifte Bleche zerknautschen, um das Widerstandsmoment des Rohrs zu vernichten. Überdies verläuft die Geometrie eines solchen Fusiform-Rohrs momentenfolgend und ist somit gewichtsoptimiert. Weiter können die Blechabschnitte durch V-förmige, gefaltete Bleche versteift werden, die sich im Zentrum des Rohrs gegenseitig abstützen und somit

Ausgesteifte Rohrkonstruktionen der Natur:
Links: Vogelknochen mit Gitterwerk
Unten: Dickwandige Pflanzenstengel (links zellulär, unten gefaltet).

zusätzlich den Kollaps des Rohrs behindern.

3. Die Quer-Versteifung von Rohren durch Sicken. Die Sicken - gewissermaßen Auffaltungen des Materials - können nach innen weisen, wobei man von Beulrohren spricht, oder sie erstrecken sich nach außen, wofür die Bezeichnung Wölbrohr verwendet wird. Noch befinden sich sickenversteifte Rohre im experimentellen Stadium (TFH Berlin, TFH Wildau, Sinustat); die theoretischen Ansätze zur Erklärung ihrer Wirkung sind bisher nur zum Teil empirisch untermauert.

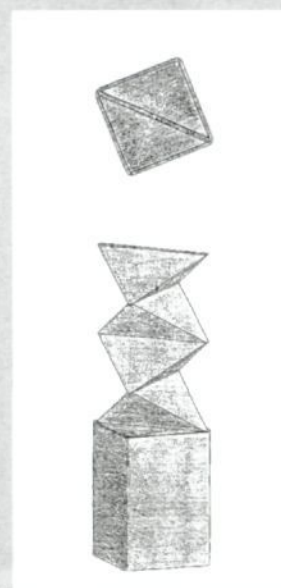
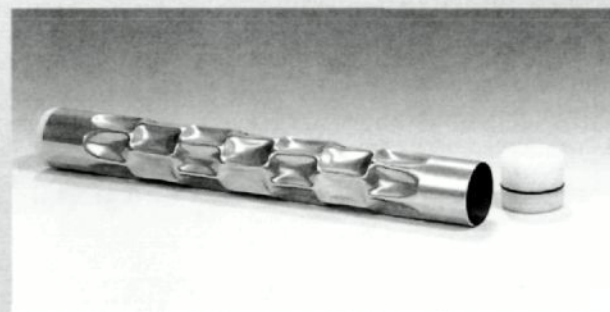
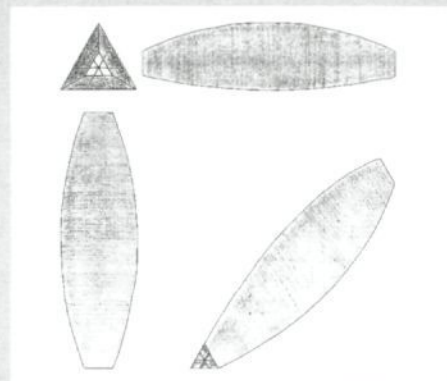
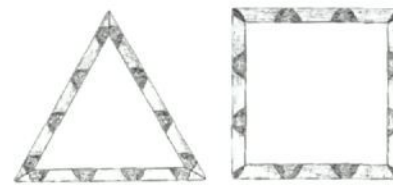
Das morphologische Prinzip der Entstehung von Beulrohren ist ein Faltmechanismus (radial und axial), der unter Druck von außen entsteht. Allerdings tritt

die Faltgeometrie nicht scharfkantig in Erscheinung. Die Herstellung eines Beulrohrs verlangt wie jede Faltung ein Minimum an Energie. Erreicht wird eine meßbare Steigerung der Biegesteifigkeit, die auf eine Erhöhung der Quersteifigkeit schließen läßt.

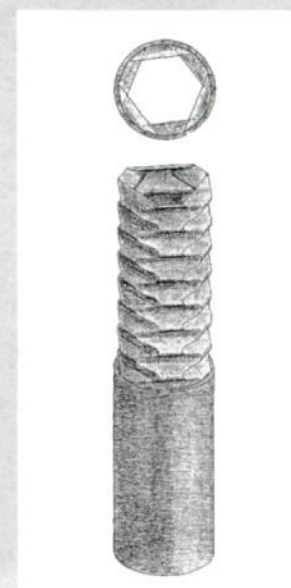
Wird ein solches querversteiftes Rohr in Kombination mit einem in axialer Richtung gänzlich ungeschwächten Hüllrohr eingesetzt, also als Stützkern eines normalen Rohrs, so ist in jedem Fall mit beträchtlichen Festigkeitsgewinnen bei relativ geringen Gewichtszunahmen zu rechnen. Hieraus leitet sich das vierte Prinzip ab:

4. Die Versteifung von Rohren durch Faltrohrkerne. Der Versagensmechanismus eines Rohrs unter axialem Druck weist die Geometrie einer Faltung mit antiprismatischer Geometrie auf. Während sich das Rohr in axialer Richtung verkürzt, wird es quer zur Achse gefaltet, was die Quersteifigkeit stark ansteigen läßt. Setzt man ein solches Rohr in ein normales, prismatisches Hüllrohr ein, so steift es dieses

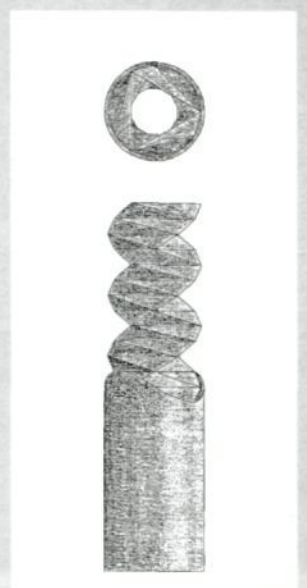
Oben: Paneel-Faltrohre
Mitte: Fusiform Rohr
Unten: Beulrohr
TFH-Wildau
Rechts: Wölbrohr
Zeichnungen: Sinustat.



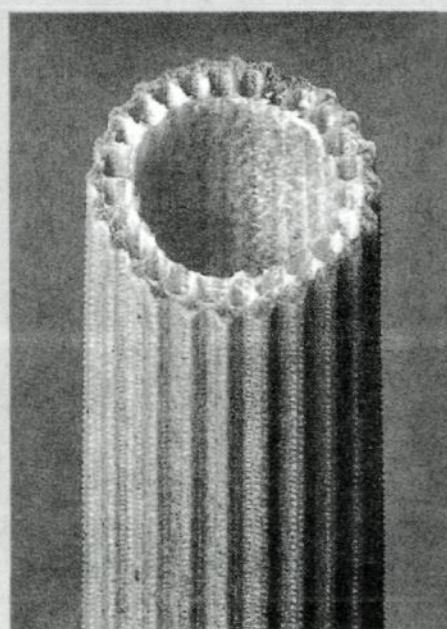
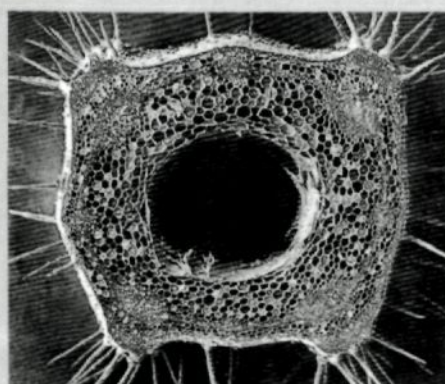
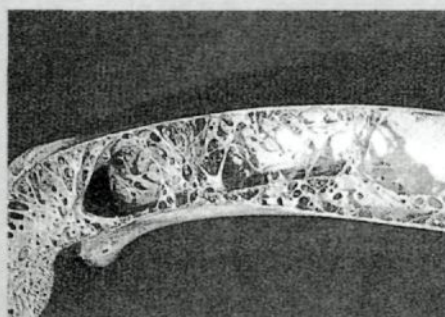
Tetraeder-Faltstützkern mit Hüllrohr, Sinustat.



Gewellter Faltstützkern mit Hüllrohr, Sinustat.



Spiralförmiger Faltstützkern mit Hüllrohr, Sinustat.



bei minimaler Gewichtszunahme sehr effizient aus. Zusätzlich steht der Faltkern zur Abtragung von Normalkräften zur Verfügung, da er durch das Hüllrohr gehalten wird, welches sich bei Kompression des Faltkerns aus geometrischen Gründen aufweiten müßte. Faltkern und Hüllrohr steifen sich also wechselseitig und dynamisch aus. Faltrohrkerne können sowohl eine polyedrisch-scharfkantige als auch eine gewellte Form aufweisen. Die Faltkerne sind aus einfachen Rundrohren durch Walzen produzierbar.

Selbstverständlich sind Strukturrohre aller Art auch aus nicht-metallischen Werkstoffen machbar. Besonders faserbewehrte Kunststoffe bieten sich an, speziell für extrem leichte, radar-durchlässige Konstruktionen (Radome, Masten).

Druckbeanspruchte Flächen-tragwerke, also Faltwerke und polyedrische Schalen aus leichten Paneelen, versprechen neue Dimensionen der Leichtigkeit. Für eine innovative Faltwerksarchitektur ist also jedes mehrachsig ausgesteifte Paneelmaterial relevant, dessen Deckschichten durch leichte Kerne unter Vergrößerung des statischen Hebels auseinander gespreizt sind und das zugleich hohe Schubfestigkeit aufweist. Allerdings hat schon die Anwendung von lediglich einachsig steifen und schubschwachen Trapezblechen zur Aussteifung von Skeletten beträchtliche Gewichtsersparnis-

se im Vergleich zu reinen Skelettkonstruktionen erbracht (Forschungen Baehre, Fischer, Bryan/Davies). Effizienter ist die Verwendung einer einlagigen, schubfesten Blechmembran, die durch U-Profile einachsig aussteift wird; ein HP-Schalen-Faltwerk für einen Flugzeughangar stellt dies unter Beweis (s. Bild).

Das Paradebeispiel für mehrachsig steifes Tafel-Material sind Stressed-Skin-Paneele mit Wabenkernen. Zur Zeit wird eine neue Generation von Leicht-Paneeelen entwickelt, die Faltwerks-, Schalen- und Membran-effekte ausnützt.

Wünschenswert sind Materialien, die Licht durchlassen und ggf. zugleich als Sonnenschutz fungieren. Es wurde daher in letzter Zeit an der Entwicklung von Stegkernpaneelen gearbeitet, die durch gitterartige Lochung der Stege und Deckschichten kontrollierten Lichteinlaß erlauben. Die Stege sind bei verschiedenen Geometrien so ineinander verwoben oder gesteckt,



daß sie mitsamt den Deckschichten zum Versagen gebracht werden müssen. Als Materialien bieten sich Metall und Holz, aber auch Glas an. Die Entwicklung tragender Glaspaneele befindet sich im konzeptuellen Anfangsstadium: Grundlage ist ein Stegkernpaneel, das gläserne Deckschichten nur auf Zug und Druck beansprucht, sowie ein Aluminium-Randprofil zur Überleitung der Kräfte, in das die Glasscheiben eingeklemmt und geklebt sind.

Tragwerksoptimierung: Die Effizienz des Faltens

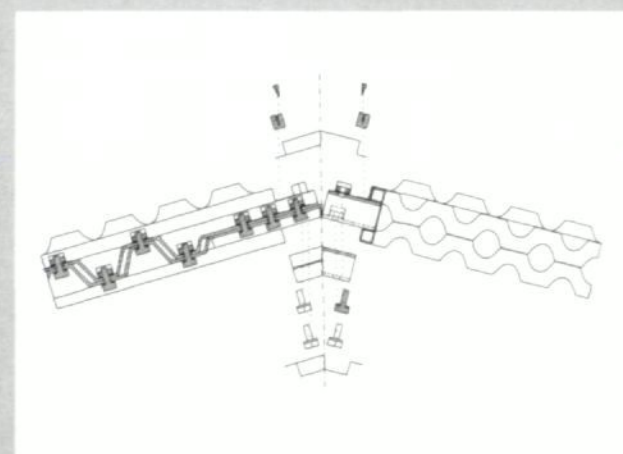
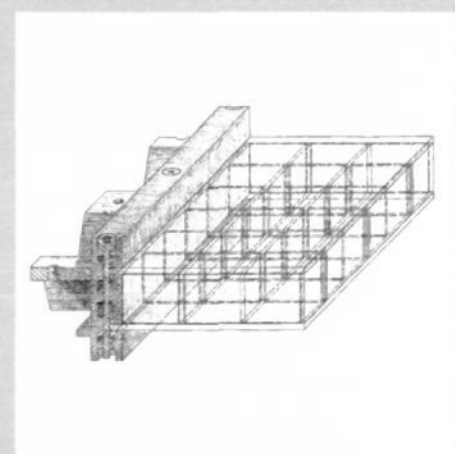
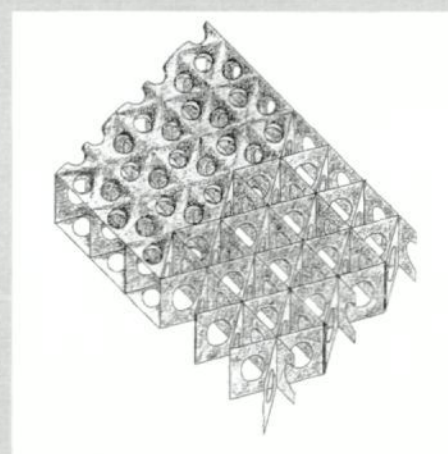
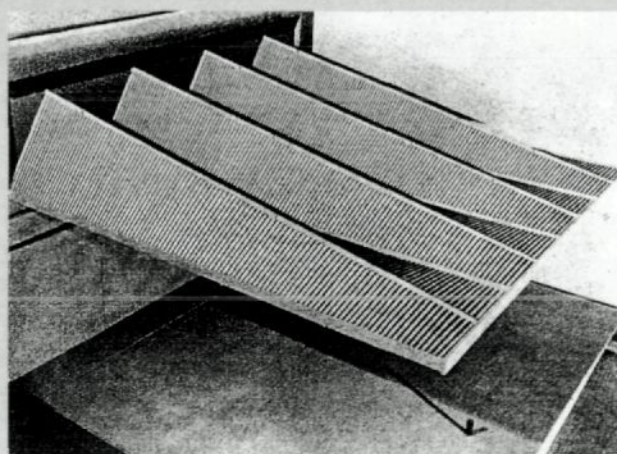
Nun zur Makroebene, zur Tragwerksstruktur: Stark im Raum gespreizte Stabwerke aus sehr schlanken, nur optisch "leichten" Rohren haben den strukturellen Nachteil der Knickempfindlichkeit ihrer Stäbe und der fehlenden Synergie zwischen den Stäben, die sich in der Knickzone nicht wechselseitig halten. Zudem liegt die raumbildende Hülle meist als tote Last auf dem allein tragenden Skelett. Viel höher dagegen ist die Effizienz druckbeanspruchter Flächen-tragwerke, also klassischer Faltwerke oder polyedrischer Schalen. Hier bildet sich zwar im Bereich der Faltkanten eine Art Skelett, da entlang der Falze zwei Platten sich gegenseitig halten und aussteifen. Somit ziehen die steifen Faltkanten einen Großteil der Lasten auf sich. Diese Faltkanten jedoch werden durch die angrenzenden Paneele

über die ganze Länge gehalten und sind dadurch höchst wirksam ausgesteift. Die vorhandenen Querschnitte werden optimal genutzt. So gestattet die "linienförmige, elastische Abstützung über die Stablänge" die Erhöhung der Knicklast eines gelenkig gelagerten Stabes um das 32-fache (!) (s. Büttner, Hampe; S. 40). Darüber hinaus ist jede Faltkante über die dazwischen liegenden Platten mit allen anderen synergetisch verbunden, sodaß nicht das Versagen einiger weniger, isolierter Skelettelemente zum Versagen der gesamten Konstruktion führen kann. Tote Lasten werden fast vollständig vermieden, da raumbildende und wetterabdichtende Flächen-Elemente in die Lastabtragung einbezogen werden.

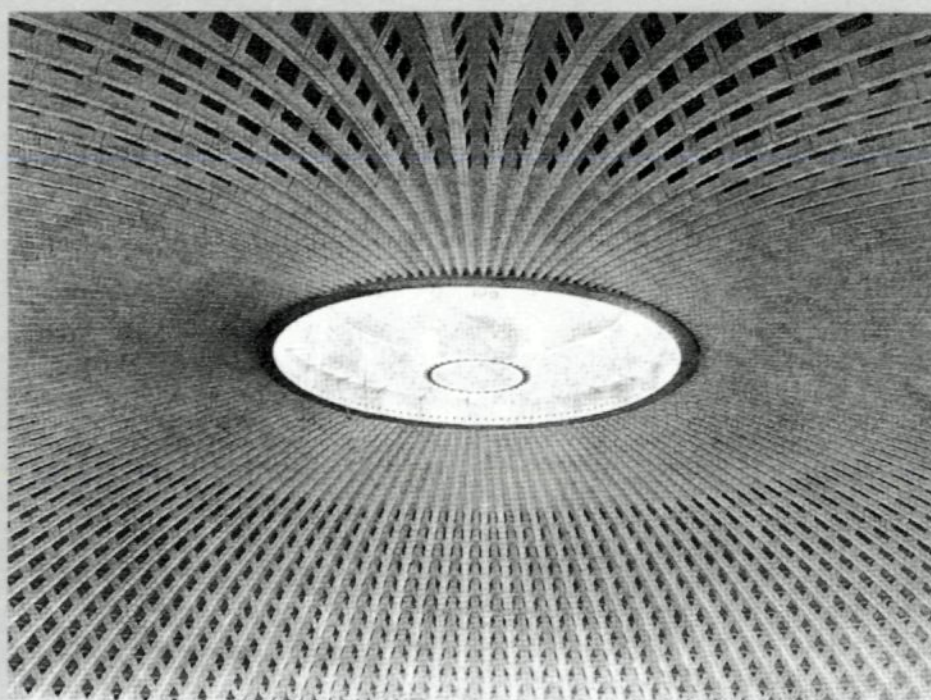
Das technische Grundproblem bei der Konstruktion von Flächentragwerken aus Paneelen ist die Verbindungstechnik. Sie hat Druck-, Zug-, Schub- und Biegekräfte zu übertragen. Vor allem die Aufnahme von Biegekräften darf nicht übersehen werden, da das Versagen eines Faltwerks oder einer polyedrischen Schale immer mit Beulverformungen einhergeht, die durch eine Veränderung der Winkel an den

Links unten: gelochtes Webstegpaneel, Sinustat
Unten: tragendes Glaspaneel mit Randprofil und Webstegen, Sinustat.

Oben: Leichtpaneele, Gyula Sebestyén
Rechts: HP-Schalenfaltwerk, Hangar, Lev Zetlin.



Verbindungs- und Dichttechnik für Paneel-Tragwerke, Sinustat.



Palazzo dello Sport, Roma 1958-1960, Pierluigi Nervi.

Faltkanten eingeleitet wird. Die praktisch notwendige Beulsteifigkeit wird also nur mit biegesteifen Stößen erreicht. Weiter muß der Paneelstoß auch konzentrierte Normalkräfte in Richtung der Faltkante weiterleiten. Es wurde daher eine Verbindungstechnik konzipiert, die die Paneelränder durch normalkraftleitende Profile versteift und die Querkkräfte (Druck, Zug, Schub, Biegung) über Trapezelemente aufnimmt. Die Verbindungstechnik gestattet zugleich die Abdichtung des Bauwerks und die Einbringung von Installationen (Strom, Klima, Feuerschutz).

Allerdings ist ein reines Flächentragwerk nicht die optimale Form der konstruktiven Spreizung von Material im Raum. Man kann sich z.B. eine polyedrische Kuppel durchlöchern und zu rohrartigen Stabelementen aufgefaltet vorstellen. Dadurch kann das Material zu noch größeren Spannweiten gestreckt werden, wobei die Auffaltung Steifigkeitsgewinne erbringt. Die Rohre sollten in stämmigen Proportionen gehalten werden, die die Knickempfindlichkeit praktisch ausschließen. Wir können hier von einer Gitterwerksschale sprechen (im Unterschied zu einem Skelett aus schlanken, knickempfindlichen Stäben). Die Rohrelemente solcher Kuppeln für extreme Spannweiten sind z.B. als begehbare, für Installation und Klima nutzbare, dreieckige Kastenträger denkbar. Es ist kein Zufall, das die bisher vorbildlichsten, eleganten und lichten Faltwerke Nervis häufig gitterwerkartig aufgelöst sind.

Neue Dimensionen der Leichtigkeit und der Spannweite werden wohl in Zukunft durch die konsequente Anwendung von Leichtmaterialien und Leichtstrukturen erschlossen werden, z.B. durch Tensegrity-Stabwerke aus Leichtrohren, ggf. in aussteiferender Kombination mit druckbeanspruchten Flächentragwerken - z.B. aus diaphanen, gitterwerksartigen Lochpaneelen. Möglicherweise tun sich mit neuen Technologien auch neue Bauformen auf, die heutzutage wirtschaftlich noch nicht möglich sind. Gedacht werden darf z.B. an Großhangars, überwölbte Flugzeuglandeplätzen, klimageschützte Freizeitparks und überkuppelte Solarsiedlungen. Mag sein, daß wir vielleicht sogar am Beginn einer neuen „Glashaus-Epoche“, einer Ära des weitgespannten, solaren Leichtbaus stehen...

Hilmar Werner

Faltprinzipien

Falten - ein faszinierendes Prinzip. Buchstäblich vielfältig sind die Formen der Natur, zahlreiche die Anwendungsmöglichkeiten in der Technik. Halbzeuge und Tragwerke, beides läßt sich durch den Mechanismus des Falzens generieren. Während jedoch Bauelemente wie Trapezbleche oder abgekantete Profile aller Art den Baustoffalltag bestimmen, scheint die große Zeit der Faltwerke in der Architektur vorbei zu sein. Bedauerlich, handelt es sich doch um eine effiziente Konstruktionsform von eigenem ästhetischen Reiz.

Faltung ist laut Lexikon: "Biegung, Runzel oder Knick in einer Fläche", die naheliegende Assoziation das Falten von Papier und die gerade Linie als elementare Erscheinungsform einer Falte. Etwas rund Gebogenes bezeichnet man nicht als gefaltet. Dennoch: Biegung läßt sich als eine infinitesimale Reihung von parallelen Faltungen verstehen. Wir schließen also die polygonal angenäherte Biegung in den Begriff der Faltung ein. Auch der scheinbar unvermeidliche gerade Falz kann zur Kurve werden, wenn zwei ebene Flächen erst polygonal, dann infinitesimal in komplementär gebogene Flächen überführt werden.

Insbesondere zu folgenden drei Zwecken bieten sich Faltungen an:

1. Versteifen,
2. Verstauen,
3. Bewegen.

Alles drei illustriert der Insektenflügel: häufig durch Faltung versteift, kann er platzsparend eingefaltet werden und wird meist zum Flug entfaltet und im Flug hin und her gefaltet, weshalb der Schmetterling auch Falter heißt.

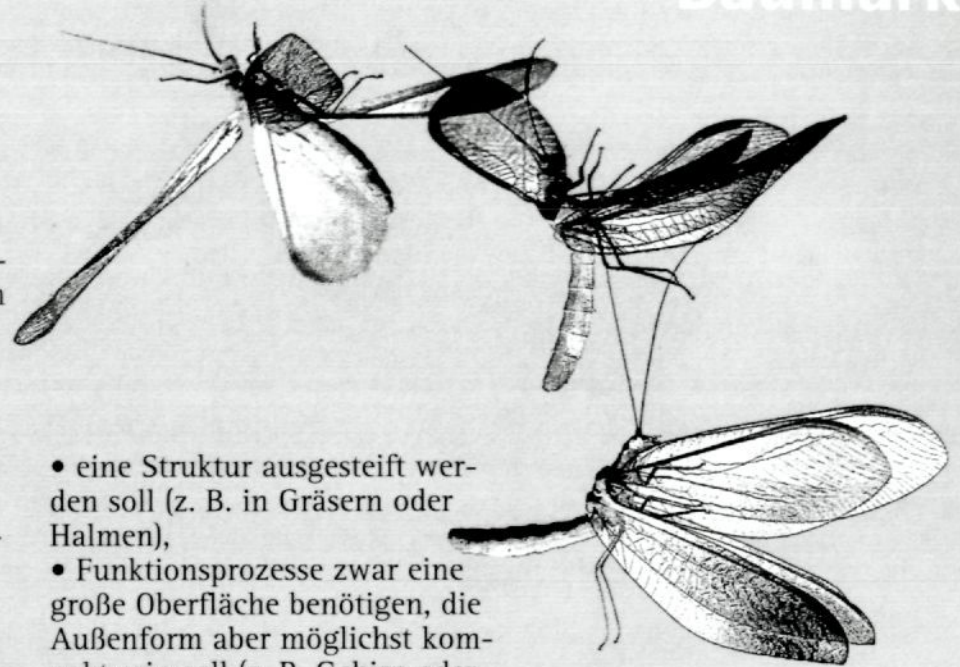
Faltung ist ein universelles Prinzip, da sie einen Grenzbereich zwischen einer kontinuierlichen und diskontinuierlichen Fläche darstellt. Derartige Grenzbereiche treten in vielen Systemen auf, von der Geologie bis zur Architektur.

Geologie

In der Geologie wird die Zusammenstauchung von Gesteinsschichten infolge von Druck als Faltung bezeichnet. Es entstehen durch diese Faltungen unterschiedliche Gesteinsformationen, die sich zu regelrechten Mulden oder Gebirgen aufwerfen können.

Biologie

Faltung ist ein zentrales Motiv in der Biologie - "Evolution" bedeutet Entfaltung. Bei der Gestaltung von Organismen tauchen häufig Faltprinzipien auf, wenn



- eine Struktur ausgesteift werden soll (z. B. in Gräsern oder Halmen),
- Funktionsprozesse zwar eine große Oberfläche benötigen, die Außenform aber möglichst kompakt sein soll (z. B. Gehirn oder Darm) oder großflächige Elemente auf kleinem Raum verstaut werden sollen,
- eine Bewegung eingeleitet werden soll (Kontraktion und Entspannung von Muskeln ist nichts anderes als ein ständiges Zusammenfallen und Entfallen von Strukturen).

Bionik und Ingenieurwissenschaft

Die Bionik als technische Anwendung der Biologie versucht die Faltprinzipien der Natur für technische Systeme nutzbar zu machen. Bei den verschiedenen Faltwerken im Bauwesen werden einfach, polygonal und infinitesimal gefaltete Strukturen verwendet. Letztere kommen von ihrer Gestalt den Schalen nahe.

Auch auf dem Gebiet der Informationsbionik bieten sich Übertragungsmöglichkeiten für biologische Strukturen. Neuronale Netze sollen die informationsverarbeitende Struktur des Gehirns und Nervensystems aus der Biologie in informationstechnische Systeme integrieren. Ziel ist dabei, die Stärken des biologischen Systems zu nutzen, die in der massiv parallelen (gleichzeitigen) Verarbeitung von Reizen und Impulsen sowie in der Verarbeitung hochkomplexer, ineinandergefalteter Prozesse liegen. Es sollen adaptive, d. h. lernfähige Systeme entwickelt werden, die eine vollständig neue Form der Informationsverarbeitung ermöglichen. Dies hat eine gänzlich andere Struktur von Hardware und Programmalgorithmien zur Folge.

Beschreibung komplexer Systeme

Faltung steht paradigmatisch für das neue naturwissenschaftliche Verständnis der Komplexität (lat. complector und complicare für "umfassen, begreifen" und "zusammenfallen", kommen

vom griechischen pleko: "flechten, schlingen, künstlich zusammenfügen"). Hier liegt das generative Prinzip komplexer Systeme, in denen verschiedenste Einflußgrößen zusammenwirken, also gleichsam ineinandergefaltet sind. Bei der Beschreibung komplexer dynamischer Systeme spricht man ganz explizit von "Faltung" der bestimmenden Funktionen. Diese selbst sind wiederum bei realen Systemen häufig nicht linear, sondern auf die eine oder andere Weise gekrümmt, gebrochen - also auf eine spezifische Weise gefaltet. In der Darstellung derartiger Systeme taucht folglich das Bild der Faltung immer wieder auf. Beispielsweise besteht die Koch'sche Flocke als elementarste Visualisierung der Chaostheorie aus unendlich vielen Faltungen. Gleiches gilt für die Mandelbrotmenge (Fraktale), deren Charakteristikum die Selbstähnlichkeit ist. Egal wie stark ein solches Fraktal vergrößert wird, man erhält stets eine Struktur mit immer feineren Faltungen. Ein Fraktal wird von einer Grenzzone umgeben, die sowohl Linien- wie auch Flächeneigenschaften besitzt. Man spricht von einer fraktalen (gebrochenen) Dimension dieses Bereichs. Diese Grenzzone zwischen Bereichen und Zuständen komplexer Systeme sind das Interessengebiet der Katastrophentheorie. Im dreidimensionalen Zustandsdiagramm eines solchen nichtlinearen, diskontinuierlichen Systems erkennt man im kritischen Grenzbereich des plötzlichen Zustandswechsels eine Faltung des Diagramms, die auch als Katastrophe bezeichnet wird.

Die Struktur der Erbsubstanz DNS ist in Form einer Doppelhelix gefaltet. Die Anordnung

der Basen, aus denen dieses Molekül besteht, bildet sowohl die Erbinformation wie die Struktur des Moleküls. Die Faltung wird so zur Informationsstruktur, die zugleich Medium und Information ist. In der Struktur ist die Information sozusagen "eingefaltet".

Architektur und Faltung

Faltung spielt auch in der Architektur eine große Rolle. Neben der konstruktiven Faltung von Bauelementen und -strukturen sind Gebäude auch funktional gefaltet - sei es in Form ihrer beweglichen Elemente oder im energetischen Austauschprozeß mit der Umgebung. Programmatistische Faltung kann demgegenüber als eine Entwurfsstrategie begriffen werden, die Fragen wie Versorgung, Erschließung und funktionale Disposition zu Kernthemen des Entwurfsprozesses macht. Das Gebäude erhält zu Konstruktion und ästhetischer Gestaltung, die im allgemeinen statisch sind, eine dynamische und prozessuale Dimension.

Im Entwurf von Rem Koolhaas für die Bibliothek im Pariser Universitätszentrum Jussieu (117 ARCH⁺, S. 34-45) generieren die Wege innerhalb der Bibliothek und das Fußgängerdeck des Universitätskomplexes, das die Bibliothek durchdringt, die Struktur des Gebäudes. Die Wege sind ineinandergefaltet und bilden unterschiedliche Aktivitätszonen. Es entsteht ein kontinuierliches, über Rampen verbundenes Band der Geschoßebenen, das von seiner Topologie an die Doppelhelix der DNS erinnert.

Geometrische Grundlage solcher Entwürfe sind nicht mehr allein das euklidische System, sondern differentialgeometrische Formen, Attraktoren und Zustandsraumdarstellungen.

Es stellt sich die Frage, inwieweit die architekturaffine Reduktion ein adäquates Entwurfsprinzip in einer ohnehin immer komplexeren Welt ist, da sie eine mehr oder weniger künstliche Ruhe verkörpert. "Gefaltete" Architektur ist dagegen im Sinne der Forschungen des Artificial Life (begreifendes Nachkonstruieren wichtiger organischer Prozesse) "lebendig" generiert. Ähnlich wie biologische Organismen unterliegt sie einer Evolution/Entwicklung - sicherlich nicht nur in konstruktiver Hinsicht.

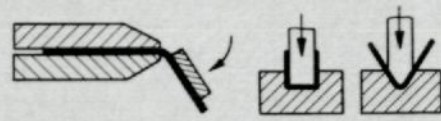
More is not less - Mehr muß nicht weniger sein.

Konstruktive Faltungen

Gefaltete Halbzeuge aus Metall
Ebene Werkstoffe wie Bleche werden erst durch Faltungen stabil. Diese Faltungen können u. a. durch folgende Umformverfahren hergestellt werden:

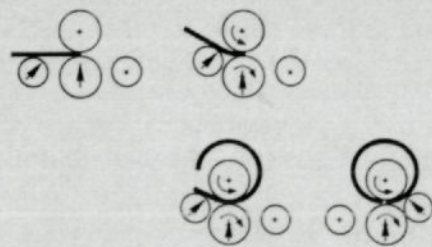
• Abkanten

Das einfachste Verfahren ist das Biegen oder Abkanten: Durch Hebelwirkung wird das Blech entlang einer gradlinigen Kante gefaltet (Schwenkbiegen). Komplexere lineare Faltungen lassen sich durch das Gesenkbiegen erzeugen, bei dem durch eine Biegepresse das Blech in eine Winkelform (Gesenk) gedrückt wird. Vorteile dieser Verfahren sind ihre verhältnismäßig geringen Werkzeugkosten, so daß sie gerade auch für Sonderanfertigungen oder Kleinserien geeignet sind.



• Walzrunden

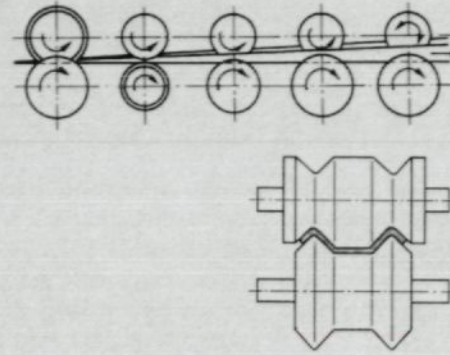
Bei diesem Verfahren werden aus Blechen zylindrische Körper gefertigt. Dazu wird das Blech durch eine Gruppe von drei bis vier gegenüber angeordneten Walzen geführt, die aufgrund ihrer festen Lagerung dem Blech eine bestimmte Rundung aufzwingen. Durch Veränderung der Walzenposition wird der Radius der Blechrundung vorgegeben.



• Walzprofilieren

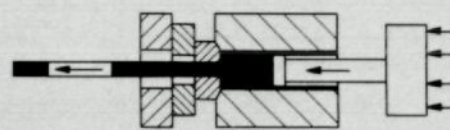
Entscheidend ist hier die Möglichkeit der durchlaufenden Fertigung, damit ist das Walzprofilieren eines der wichtigsten industriellen Verfahren zur Herstellung von Standardprofilen (Trapezbleche, Wellbleche etc.). Das in Rollenform (Coil) angelieferte Blech wird kontinuierlich an mehreren im Baukastenprinzip hintereinander angeordneten rotierenden Walzengruppen entlanggeführt. Im Gegensatz zum Walzrunden liegen die Walzenachsen senkrecht zu den Krümmungsachsen und der Laufrichtung des Blechs. Je nach Komplexität der gewünschten Profilform und Anzahl der Faltungen ändert sich von Walzenpaar zu Walzenpaar der Spalt zwischen Ober- und Unterwalze und

gibt dem Profil immer mehr die endgültige Form. Auch geschlossene Profilformen, wie sie bei geschweißten Rohren erforderlich sind, können mit diesem Verfahren hergestellt werden. Wegen der speziellen Walzengeometrien für jede Profilform ist dieses Verfahren nur bei größeren Stückzahlen wirtschaftlich.



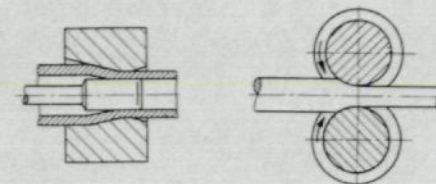
• Strangpressen

Grundwerkstoff dieses Verfahrens sind keine Bleche sondern Metallblöcke, die mit hohen Druckkräften durch eine Matrix aus Werkzeugstahl gedrückt werden. Es entstehen lange Metallstangen, deren Profilform das Negativ der Matrix darstellen. Vorteil dieses Verfahrens ist, daß auch komplexe geschlossene Profilquerschnitte mit Rundungen, Faltungen etc. hergestellt werden können. Insbesondere Aluminium-Werkstoffe sind wegen ihrer Weichheit für das Strangpressen geeignet.



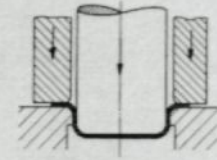
• Ziehen

Beim Ziehen wird eine Metallstange durch eine Öffnung des Zieheisens gezogen, deren Maße der gewünschten Profilgestalt entsprechen. Die notwendige Kraft für diesen Umformvorgang wird auf der Werkstückauslaufseite aufgebracht. Durch das Einbringen eines festen Stopfens in die Werkstückstange können Hohlprofile gezogen werden. Statt durch ein feststehendes Zieheisen ist es auch möglich, die Öffnung durch zwei oder mehr Walzen zu bilden (Walzziehen). Auf diese Weise kann einem runden Profil oder Rohr ein rechteckiger Querschnitt gegeben werden.



• Tiefziehen

Das Blech wird bei diesem Zugdruckumformverfahren unter großem Druck über eine Form (Werkzeug) gezogen, wodurch es sich bei gleichbleibender Materialdicke plastisch verformt.



Ergebnis dieses Prozesses ist ein dreidimensionaler Körper, der noch feinbearbeitet werden muß. Typische Tiefziehteile sind Konservendosen und Autokarosserieteile, aber auch Fassadenelemente können auf diese Weise produziert werden. Bei kleinen Stückzahlen sind die Kosten hoch.

Aufgrund der Breite der Herstellungsverfahren gibt es eine große Auswahl von Profilblechen und Sonderanfertigungen. Die Materialien reichen von Stahl mit oder ohne Verzinkung bis zu Zink, Kupfer, Aluminium, unbehandelt oder mit unterschiedlichen Beschichtungen. Trapezblechprofile mit ihren charakteristischen Faltungen bieten zahlreiche Hersteller an. Zu den Standarderzeugnissen des Metallhandels gehören auch Kassettenprofile und Sandwichelemente. Neben tragenden Wand, Dach- und Deckenkonstruktionen werden diese Standardprofile sowohl für Unterkonstruktionen als auch für Fassadenverkleidungen eingesetzt. Eine Reihe speziell gestalteter Profile - beschichtet, gelocht, gemustert, gesickt etc. - sind heute auch Rohmaterial für Designobjekte.

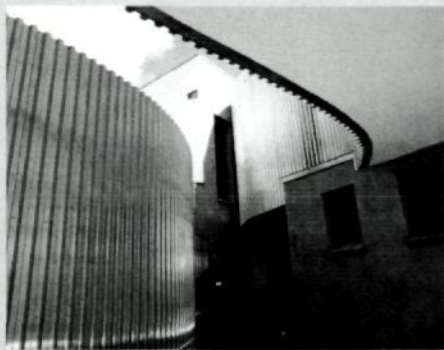
Durch die Anwendung der CNC-Technik in der Blechbearbeitung sind Sonderanfertigungen mit flexiblen Abmessungen oder besonderen Profilgeometrien einfacher zu fertigen, weil die Profilgeometrie aus den CAD-Zeichnungen in die CNC-unterstützte Werkzeugherstellung für die Rollform- oder Tiefziehmaschinen übernommen werden kann.

Systeme für raumbildende Bauelemente

Nachdem über Jahre Baustoffe wie Wellblech oder Welleternit in der Architektur eher verpönt waren und Blechprofile fast nur im Industriebau eingesetzt wurden, scheint sich jetzt eine Art Renaissance gefalteter oder gewellter Bauelemente abzuzeichnen.

An der Heinz-Galinski-Schule von Zvi Hecker in Berlin gibt es mehrere gekrümmte Fassaden, die ihrerseits mit Trapezblechen als gefalteten Elementen abgeschlossen werden. Auch in der Congrexpo-Halle von Rem Koolhaas in Lille finden gewellte Baustoffe vielfältige Anwendung. Teile der Fassade wie auch die Decke des Kongreßsaales sind mit Welltafeln verkleidet. Hier wird mit dem "ordinären" Charakter der Welltafeln gespielt, einem Material, das eher an temporären Bauten oder einer Industriehalle am Stadtrand vermutet wird.

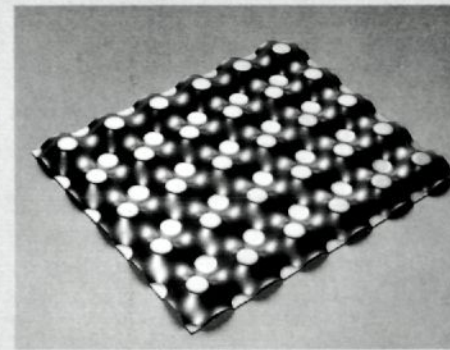
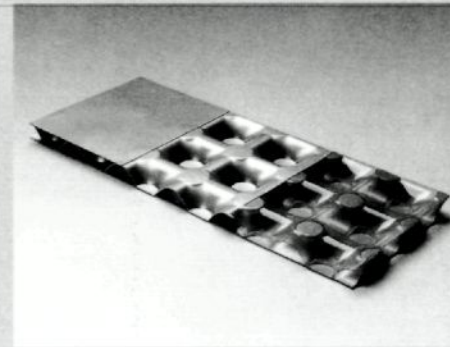
'Gewellte Metallschlangen' an der jüdischen Grundschule, Architekt: Zvi Hecker.



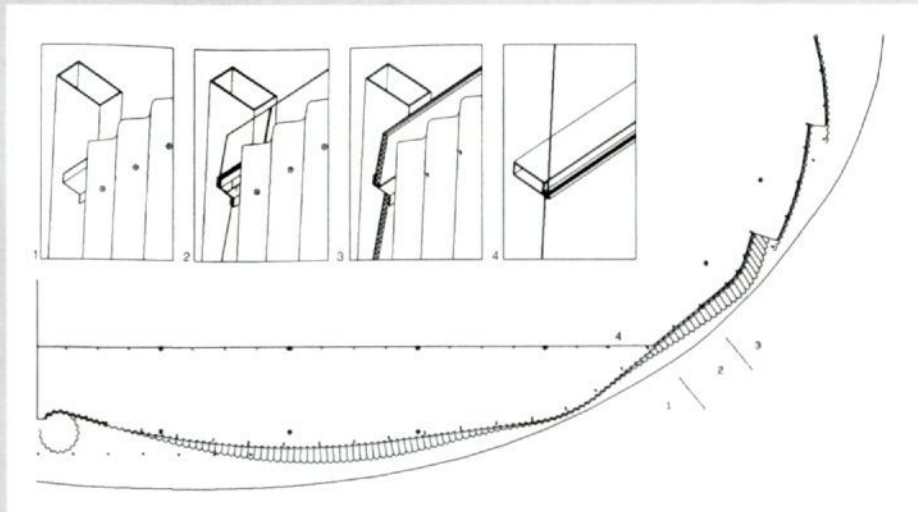
Leichte Sicken-Paneele Sinustat Systembau

Die Sickenpaneele für konstruktive und energietechnische Zwecke sind mittels einer durchgehenden, schalenartigen Krümmung ausgesteift. Nach dem Prinzip des formgebenden Lastfalls werden Minimalflächengeometrien gebildet, die sich optimal dem Kraftfluß anpassen. Die Sickenanordnung wird sowohl auf orthogonalen wie auf trigonalen Grundrastern entwickelt. Dabei stehen zahlreiche Geometrien zur Verfügung. Für die mehrachsige Aussteifung der Paneele werden zwei Grundprinzipien genutzt: Erstens werden Sicken-Paneele so zusammengefügt, daß die Sicken der einen Lage die Schwächelinien der jeweils anderen aussteifen. Zweitens sind auf den Paneelen Sicken so angeordnet, daß gerade, knickbare Schwächelinien vermieden werden. Die Einzelpaneele sind zu mehrlagigen Paneelen von stark wachsender Steifigkeit kombinierbar. Füllmaterialien aller Art (v.a. Kunststoff- und Metall-Schäume oder Beton) werden für weitere Aussteifung verwendet. Für energietechnische Anwendungen (wie z.B. Absorber- und/oder Kollektor-Fassaden, Kollektor-Platinen, Absorberstapel, Klimadecken, Hypokaustenböden) wurden Varianten entwickelt, die die verwinkelte Führung eines Wärmeträgers zwischen zwei Paneellagen gestatten.

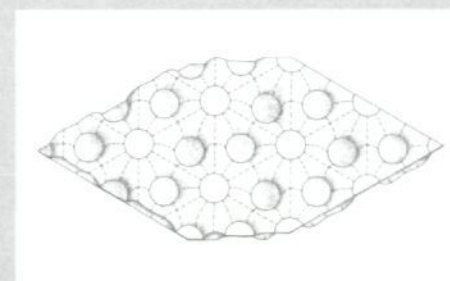
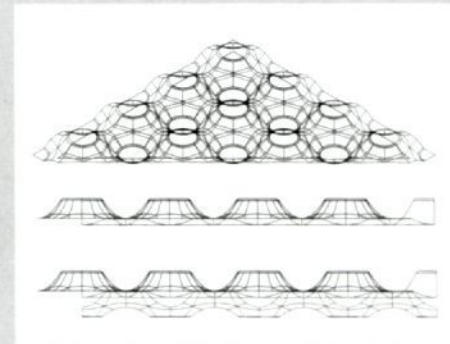
Als Material bietet sich Edelstahlblech an. Naheliegender ist auch die Fertigung transluzenter Paneele aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, die den Bau leichter und lichter Faltwerke und Polyeder-Schalen gestatten. Eine geeignete Verbindungs- und Dichtungstechnik ist entwickelt. Für lichtdurchlässige, lichtdämpfende und lichtlenkende Eindeckungen können weitspannende Paneele auch aus Thermoplasten gefertigt werden. Die Paneele werden derzeit in Zusammenarbeit mit Herstellern, Planern, Anwendern und wissenschaftlichen Einrichtungen entwickelt. Elemente aus der Vorserienfertigung sind auf Anfrage in gewünschten Geometrien und Dimensionen erhältlich.



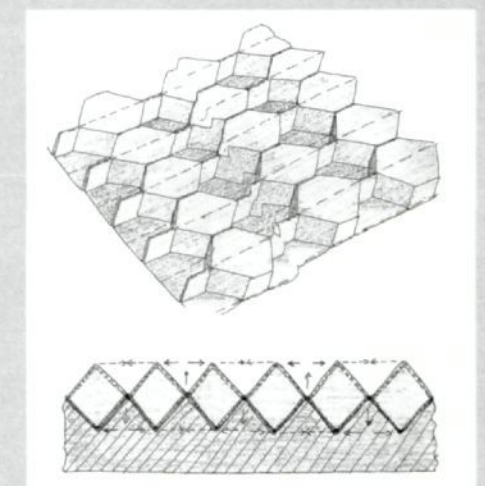
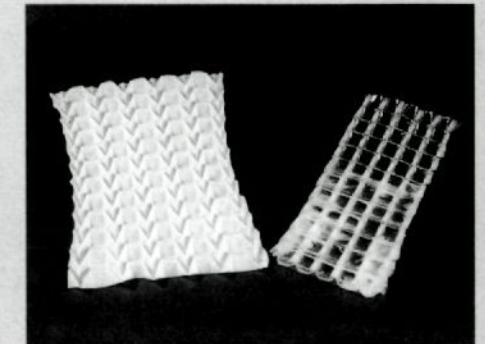
Faltkern- und Streckzieh-Falt-Paneele. Sinustat Systembau
Die traditionelle Herstellung von Wabenkernen für Leichtbaupaneele und transparente Wärmedämmung ist aufwendig. Sinustat macht den Versuch, die Herstellung durch Falttechnologie zu vereinfachen. Das Verfahren beruht auf einer Vorstrukturierung durch geeignete Verfahren sowie einer Auffaltung, die durch die Vorstrukturierung gelenkt ist. Die Herstellung kann kontinuierlich vom laufenden Band erfolgen. Dabei sind verschiedene Geometrien (hexagonal, gewellt, eng, weit) möglich. Das Ergebnis sind in sich biege- und druckfeste Kerne (im Unterschied zu Wabenkernen), die durch Aufbringen von Deckschichten weiter versteifbar sind. Insbesondere für die Herstellung von TWD aus Thermoplasten können beliebig feine und lange Kapillaren erzeugt werden. Stellt man Streckzieh-Faltkerne aus transluzentem, faserverstärktem Kunststoff her, so entstehen in Verbindung mit entsprechenden Deckschichten hochfeste Leichtbaupaneele mit hervorragenden Wärmedämmeigenschaften, die für leichte Flächentragwerke (Faltwerke, polyedrische Schalen, stehend und hängend) geeignet sind. Für die Serienproduktion der Paneele wird zur Zeit nach Partnern gesucht.



Die Fassade der Ausstellungshalle der Congrexpo in Lille besteht aus transluzenten Wellskobalit Tafeln, die auf Stahlträger montiert wurden. Durch die horizontale Wellenbewegung und die leichte Schrägstellung der Fassade wird der Eindruck eines Vorhangs erzeugt.



Von oben nach unten: Doppellagiges Paneel aus wechselseitig sich versteifenden Paneelen, orthogonales Raster; Zweiseitiges Sicken-Paneel, Zweilagiges, wärmeträgerführendes Paneel für energietechnische Anwendungen, auch in aussteifender Kombination mit einer dritten Lage; Doppellagiges Paneel aus wechselseitig sich versteifenden Paneelen, trigonales Raster.

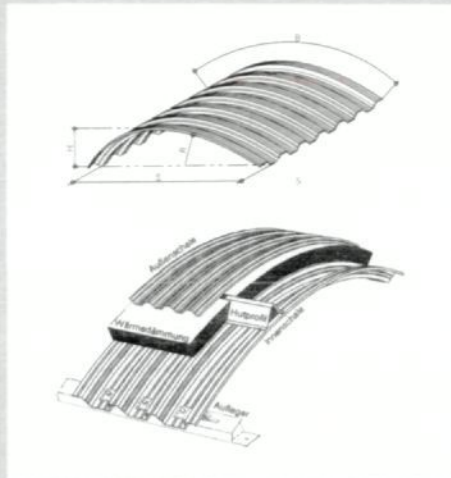


Oben: Rippenfaltkern
Darunter: Streck-Falt-Wabenkern für transluzentes, hochisolierendes Leichtbaupaneel mit Tragwerks-, Lichttechnik- und Energiemanagementfunktion.

Wand- und Deckenbausysteme Hoesch Siegerlandwerke GmbH Neben den üblichen Trapez- und Kassettenprofilen als Halbzeugen bietet Hoesch verschiedene Spezial- und Komplettsysteme an. Darunter das Dachsystem isodach, das als Sandwichdach aus zwei Stahlprofilschalen mit einem Isolierkern aus PU-Hartschaum besteht. Vergleichbare Sandwichelemente mit Isolierschicht für die Wandverkleidung werden unter dem Namen isowand und isodach integral vertrieben. Dabei besitzt isodach integral eine mikroprofilerte Außenschale und verdeckte Befestigungselemente. Als Spezialsysteme werden von Hoesch das Trapezprofil TRP 200 und das Bogendach angeboten. Das verzinkte Stahlblech der TRP 200 besitzt gegenüber üblichen Trapezblechen eine höhere Streckgrenze ($> 350 \text{ N/mm}^2$), wodurch die Elemente Spannweiten bis zu

Rechts: ein- bzw. zweischaliges Rundbogendach. Von oben nach unten: Trapezprofil TRP 200; verdeckte Befestigungen der Systeme isodach- und isowand-integral.

10 m erreichen können. Auch das Bogendach ist für die freitragende Überdeckung größerer Spannweiten (bis zu 20 m) konzipiert. Die Dachelemente aus gekrümmten Trapezblechen werden entsprechend Gebäudeentwurf, Spannweite, Bogenradius und Belastung rechnergestützt ausgewählt, zusammengestellt und fertig auf der Baustelle montiert. Es kann einschalig oder zweischalig mit Isolierung ausgeführt und mit den anderen Bausystemen kombiniert werden. Alle Bausysteme sind in verschiedenen Farben ab Werk lieferbar, zusammen mit Befestigungselementen und Zubehör.



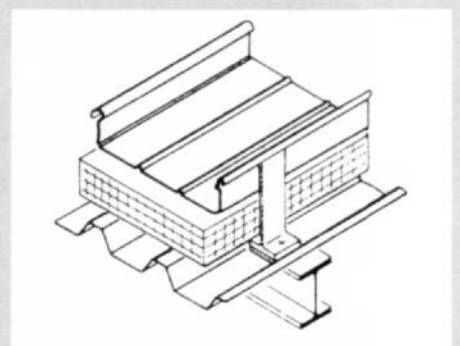
Fassadenpaneele Gartner & Co.

Gartner fertigt Fassadenprofile in Anpassung an den speziellen Bedarf und die Gestaltungswünsche des Kunden. Grundmaterialien dieser "maßgeschneiderten" Fassadenelemente sind Bleche aus Aluminium, Stahl und Edelstahl rostfrei sowie Glas als Außenschale für Brüstungselemente. Bei der Konstruktion eines Panels können folgende spezielle Anforderungen berücksichtigt werden: Wärmeschutz, Schallschutz, Feuerhemmung und Durchschußhemmung, auch kombiniert. Als Verfahren für die Oberflächenbehandlung stehen Anodisieren, Eloxieren sowie Pulverbeschichten zur Verfügung.

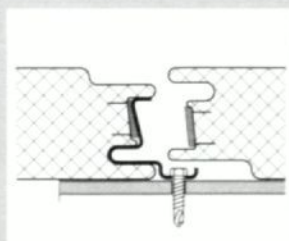
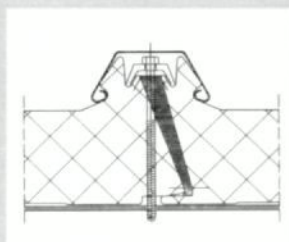
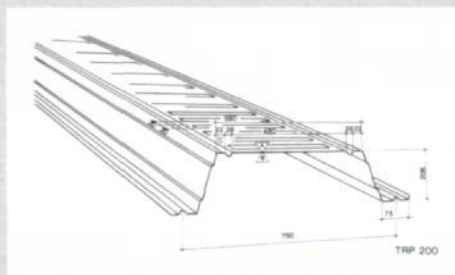
Fassadensystem RP-ISO-hermetic 60
RP-Technik GmbH Mannesmann
Das RP-System ist ein Programm von rechteckigen Stahlziehprofilen für den Bau von Innenwänden, Fassaden und Verglasungen. Die Trennung der Kalt-Warmbereiche einschließlich Bohrschrauben wird mit dem neuen Fassadensystem RP-ISO-hermetic 60 realisiert. Es ist ein System für die Trocken-/ Druckverglasung wärmegeämmter großflächiger Fassaden. Die Riegel können entweder über eine montagefreundliche Schiebe-/Steckverbindung mit patentierten Riegelhaltern oder über eine Schweißung mit den Pfosten verbunden werden. Durchlaufende Innendichtungen mit Entwässerungsrillen als zweite wasserführende Ebene decken die Stahlprofile zur Kaltseite hermetisch ab. Glas- oder Füllelemente werden durch stabile multifunktionale Glasträger aufgenommen. Für die Konzeption von Fassaden mit dem RP-System gibt es jetzt das PC-Programm RP-Tools CA. Über Menüs können alle Darstellungen und Listen einschließlich der Verschnittoptimierung aus der grafisch erfaßten Konstruktion generiert werden. Eine Neuerfassung wiederkehrender Konstruk-

tionen ist nicht erforderlich. Durch die automatische Zuordnung der erforderlichen Systembauteile zu der gewünschten Konstruktion wird eine falsche Profil- oder Zubehörauswahl verhindert.

Bausysteme KAL-ZIP und KAL-BAU. Hoogovens Aluminium KAL-ZIP Dachtafeln und KAL-BAU Trapez- und Wellprofile werden aus Aluminium gefertigt. Beidseitig mit einer Oxidschicht plattiert weisen sie hohe Wetterbeständigkeit und Dauerhaftigkeit auf. Die Oberflächen sind farbig lackiert oder stucco-deßiniert, letzteres gibt ihnen ein typisches "Aluminium-Finish". Wegen des geringen Gewichts (ca. 7 kg/m^2 inkl. Wärmedämmung) sind große Spannweiten oder gering dimensionierte Unterkonstruktionen möglich, was bei der Sanierung bestehender Dächer wichtig sein kann.



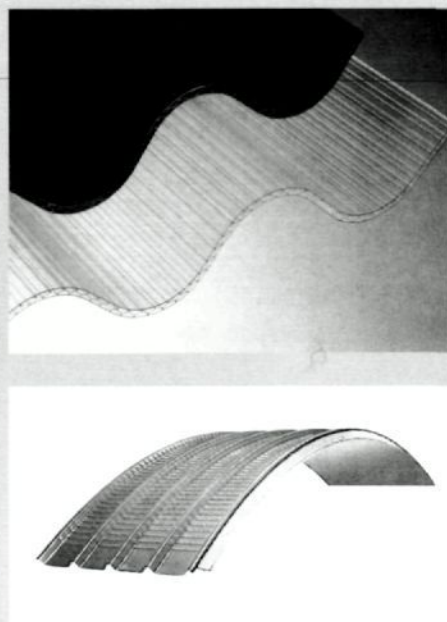
KAL-BAU-Profile sind typische Profiltafeln, die mit Trapez- oder Wellstruktur geliefert werden. Ein reichhaltiges Systemzubehör und eine knickgerundete Ausführung bieten viele Gestaltungsmöglichkeiten. Die Fassade der Rimowa-Kofferfabrik in Köln von Gattermann und Schosig ist mit KAL-BAU Tafeln hergestellt. Durch die Profilrippenstruktur erinnert sie an die Rimowa-Koffer. KAL-ZIP-Profiltafeln (Zipper: engl. Reißverschluß) wurden aus dem Prinzip des Stehfalzdachs entwickelt. Sie besitzen an den Rändern runde Profilierungen, die wie Klipse wirken und ein Zusammenstecken der Tafeln ermöglichen.



Nach dem Verlegen werden diese Klipse mit einer kleinen fahrbaren Maschine fest verbördelt, ähnlich wie ein Reißverschluss.

Dachflächensystem Batirocdkh Dachflächensysteme GmbH
Das Dachflächensystem Angula besteht aus doppelschaligen V-Trägern mit standardisiertem Querschnitt, die über Versteifungen miteinander verbunden sind. Die V-Elemente werden nach Maß aus Stahl gefertigt und besitzen eine Längsneigung von 5%. Der Freiraum zwischen den V-Trägern wird je nach Entwurf mit transluzenten oder geschlossenen Dachbändern gedeckt. Das Rastermaß beträgt dabei 3 bis 5,5 m. Als Zubehör erhältlich sind Rauchabzugsklappen, die an der Oberseite der V-Elemente angebracht werden. V-Träger und geschlossene Dachbänder sind durch eine 100 mm dicke Schicht aus Mineralwolle bereits ab Werk wärmedämmend. Die Elemente sind in vielen Farben erhältlich. Das selbsttragende System besitzt ein Eigengewicht von 24 bis 36 kg/m² und ist für Spannweiten bis zu 25 m geeignet. Daher findet es insbesondere im Hallenbau Anwendung.

Thermonda-Kunststoffplatten Polyù Italiana
Die Platten haben einen dreischichtigen Aufbau: Zwei Polycarbonat-Schichten sind durch eine wabenförmige Faltung miteinander verbunden. Die doppelwandige Struktur gewährleistet eine Schallminimierung und gute Wärmeisolation. Durch die Werkstoffeigenschaften des Polycarbonats und dessen besondere Verarbeitung sind die Platten sehr stabil und trotzdem extrem leicht. Thermonda wird in flachen oder gewellten Platten geliefert. Es kann als transluzentes Material eingesetzt werden oder ist opak in den Farben rot und grau lieferbar.



bei einem Eigengewicht von 35 kg/m². Der Krümmungsradius der Elemente beträgt 3,30 m. Die Wasserdichtigkeit eines Elycop-Daches wird über 15 Jahre garantiert.

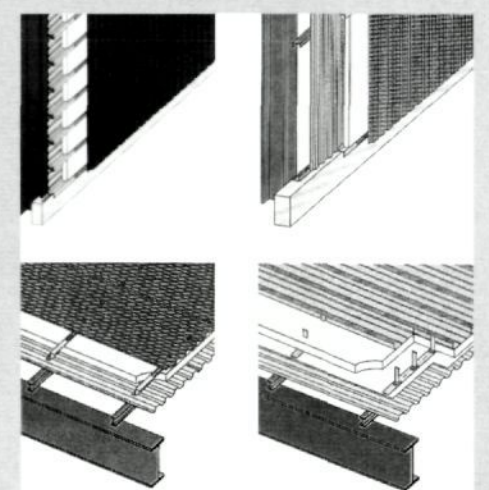
MSH-Profilsystem Mannesmannrohr GmbH
Mannesmann-Stahlbau-Hohlprofile (MSH) werden je nach Abmessung und Werkstoff durch Warmumformung aus geschweißten oder nahtlosen Rohren hergestellt. Ausgangsmaterial für die geschweißten Rohre ist Warmband (warmes Stahlband), das durch ein mehrgerüstiges Formwalzwerk zum Schlitzrohr gefaltet wird. Im Hochfrequenz-Schweißteil werden die Bandkanten auf Schweißtemperatur erwärmt und durch Druckwalzen miteinander verschweißt. Das so entstandene längsgeschweißte Rohr wird erhitzt und im Streckreduzierwalzwerk durch Mehrrollengerüste auf den gewünschten Durchmesser verkleinert und zum Hohlprofil umgeformt. Die nahtlosen MSH-Profile werden entweder im Stopfenwalzverfahren oder im Rohrkontinuum-Walzverfahren hergestellt und zu Hohlprofilen umgeformt.

Hauptanwendungsgebiete in der Architektur sind sichtbare Stützen oder Rahmenkonstruktionen für Lichtbänder, Fensterwände, Wandelemente und Wandskelette. Außerdem werden sie als Stützen, Unterzüge, Rahmen und Fachwerkträger im Industrie- und Hallenbau eingesetzt. Die verästelten Baumstützen im neuen Terminal des Flughafens Stuttgart von Gerkan, Marg und Partner sind mit MSH-Profilen ausgeführt worden.

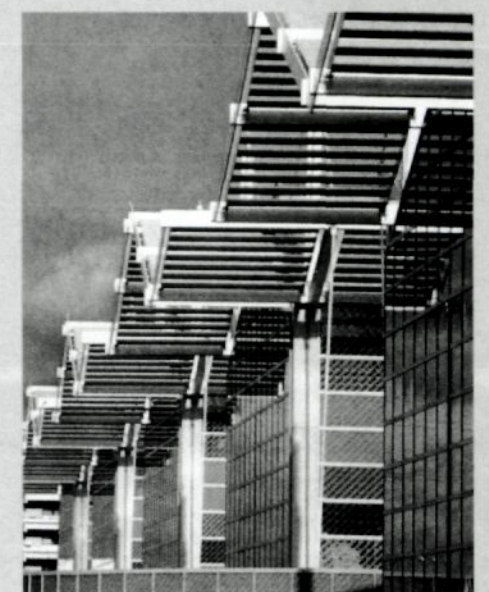


Hallenbau und Verbundbauweisen aus Stahl Donges Stahlbau
Die Tennishallen der Typenreihe Hellux besitzen ein doppelschaliges Trapezblechdach. Es weist in seiner Grundform mehrere Faltungen auf, um großflächige Lichtbänder aufnehmen zu können. Diese Form wirkt sich darüber hinaus positiv auf die Raumakustik aus. Zusammen mit einer Deckenverkleidung aus Nadelholz dämpft sie die in einer Tennishalle üblichen Geräusche.

Von l. o. nach r. u.:
Stahlkassettenwand,
Trapezblechwand, -
Aluminiumstehfalzdach,
Trapezblechdach.



Brise soleil aus gefalteten Aluminiumprofilen Caradon Naco SpA
Diese Sonnenblenden werden durch Walzrunden und Vernieten von Aluminiumprofilen hergestellt und durch eine Kernfüllung aus Aluminium ausgesteift. Dadurch ist es möglich, jede gewünschte Abmessung in Einzelanfertigung zu erzeugen. Über einen optionalen Stangentrieb können die Lamellen elektrisch verstellt werden. Ein Anwendungsbeispiel ist das Munich Order Center von Helmut Jahn, dessen Vordächer mit Naco Lamellen ausgestattet sind.



Dachflächensystem Elycop Brianza Plastica SpA
Elycop ist ein gekrümmtes Sandwichelement, das die Vorteile von Stahl- und Aluminiumblech verbindet. Auf der dem Wetter zugewandten Außenseite befindet sich ein witterungsbeständiges Aluminiumblech, das durch Rippen und Sicken versteift wird. Die dem Gebäudeinneren zugewandte Unterseite des Panels besteht aus Stahlblech. Dazwischen ist eine Isolierschicht aus PU-Hartschaum. Durch die konsequente Nutzung von Falzprinzipien besitzt ein Element von 2,5 m Spannweite eine Tragfähigkeit von 200 kg/m².



Funktionale Faltungen

Funktionale Faltungen unterstützen die dynamische Wandlung von Räumen und Zuständen. Sie bewirken

- Platzersparnis durch Zusammenfallen von Elementen,
- Beweglichkeit einzelner Elemente,
- Steuerung von Austauschprozessen.

Platzsparende Faltungen

Das erste Ziel wird in einer großen Zahl alltäglicher Produkte realisiert:

Die Tastatur des IBM ThinkPad 701, eines von Richard Sapper entworfenen Computer-Notebooks (127 ARCH⁺, S. 96), faltet sich beim Aufklappen des Geräts so auseinander, daß man trotz der geringen Grundfläche des Geräts mit normalgroßen Tasten arbeiten kann.

Kompakt beim Transport sind auch Falträder. Sie sind wesentlich trickreicher aufgebaut als konventionelle Klappräder, da sie sich in Längsrichtung zusammenlegen lassen. Es bleibt ein handliches Paket übrig, das sich komfortabler als normale Fahrräder in U- und S-Bahn mitnehmen läßt. Mit dem Faltrad wird ein Verkehrsmittel für Städte entworfen, das die Lücke zwischen dem Öffentlichen Nahverkehr und dem Individualverkehr schließt.

Ähnlich ist die Lösung für das Transportproblem von Satelliten: Aufgrund der engen Zylindergeometrie der Nutzlastbereiche von Raketen und Space

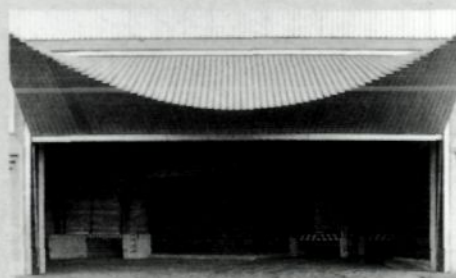
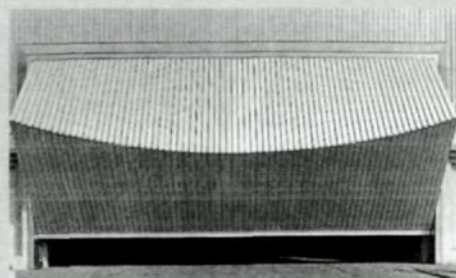
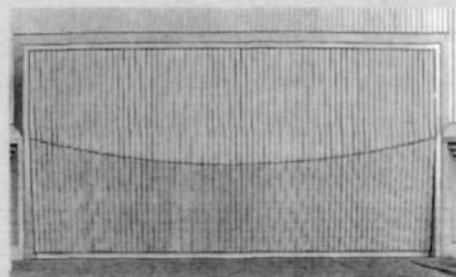
Shuttles müssen Satelliten beim Start sehr kompakt sein. Auf ihrer Umlaufbahn benötigen sie jedoch großflächige Antennen und Solarpaneele, um ihre Funktion zu erfüllen. Im Bereich der Satellitentechnik hat sich zur Lösung dieses Problems eine regelrechte Wissenschaft des Faltens entwickelt.

Im Gegensatz dazu ist der Einsatz von Falttüren eher bodenständig, sie falten sich im geöffneten Zustand zur Seite und benötigen im geöffneten Zustand nur wenig Aufstelltiefe.

Bewegliche Faltungen

Funktionale Faltungen kann man als Gelenk ansehen, sie ermöglichen Bewegungen und erlauben dadurch dynamische Falt- und Entfaltprozesse in natürlichen und technischen Systemen:

Ein Faltenbalg, wie er in Übergängen von Zügen, Gelenkbussen und Fluggastbrücken eingesetzt wird, besteht aus einer mehrfach zu einem Tor gefalteten Kunststoffmembran. Aufgabe der Konstruktion ist es,



Für ein Industriegebäude der Firma Ernsting in Coesfeld entwarf Santiago Calatrava vier unterschiedliche Aluminiumfasaden. In der Westfassade befinden sich drei Tore, die nach oben gefaltet werden. 'Der horizontale Knick' verläuft in der Mitte der Tore in einem leichten Bogen nach unten. Die geöffneten Tore bilden geschwungene Vordächer.

bei wechselnden Abständen der angrenzenden Fahrzeuge immer einen vollständigen Abschluß des bedeckten Übergangs zu gewährleisten.

Auch der Antrieb von Bewegungen kann durch Faltprozesse erfolgen. Nahezu alle Bewegungsvorgänge in der Natur haben in weitestem Sinne mit Faltungen zu tun, da die Natur keine kontinuierlichen Drehachsen und Lagerungen konstruiert. Entsprechend müssen Bewegungen durch periodische Vorgänge erzeugt werden, die sich durch das Zusammenspiel von Muskeln und Sehnen erzeugen lassen. Die Nutzung dieses Prinzips führt zu technischen Antrieben neuer Art. Die Mechatronik, die aus der Verbindung von mechanischen und elektronischen Technologien entstanden ist, entwickelt Systeme, die wie biologische Bewegungssysteme aus Sensoren, Regelungen und Aktuatoren zusammengesetzt sind. Ein Ziel dabei ist es, möglichst schnelle und flexible Antriebe und Roboter zu konstruieren - in der Fachliteratur wird von "technischen Muskeln" gesprochen. Die Anwendungsmöglichkeiten solcher Stellmotoren in einer wandelbaren Architektur sind noch ungeahnt, aber in der Gebäudewartung werden sie bereits in Servicerobotern für Rohrreinigung, Schornsteine und Schächte eingesetzt.

Metabolistische Faltungen

Faltungen unterstützen Austauschprozesse auf vielfältige Weise. Ganz elementar treten Faltungen auf, wenn Austauschprozesse möglichst große Flächen benötigen, da auf dem Wege der Faltung das Austauschorgan wesentlich kompakter gestaltet werden kann. Neben dem Darm

als klassischem Beispiel für eine metabolistische Faltung gibt es technische Austauschsysteme, die nach analogen Prinzipien arbeiten. Plattenwärmetauscher bestehen aus profilierten Metallplatten, zwischen denen die beiden Medien zirkulieren. Wichtig ist dabei die Profilierung der Platten, die die Steifigkeit der Bleche erhöht, die wirksame Fläche vergrößert und bereits bei niedriger Strömungsgeschwindigkeit hohe Turbulenz erzeugt. Angewandt werden solche Systeme unter anderem auch als Wärmerückgewinnung in Klima- und Lüftungsanlagen. Neue Topologien für Wärmetauscher sind Beul- und Faltrohre (s. S. 82 ff.). Aufgrund ihrer Geometrie besitzen sie eine sehr große Oberfläche auf geringer Länge. Wird ein Falt- oder Beulrohr in einen Zylinder eingebaut, erhält man einen einfachen Wärmetauscher hoher Effizienz.

Denkbar wäre auch, Gebäude mit wandelbarer Oberfläche zu entwickeln. Im Winter könnten sie ihre Oberfläche möglichst klein halten, um Wärmeverluste zu minimieren. In Sommernächten hingegen würde man ihre Oberfläche maximieren, um von einer möglichst großen Kühlwirkung profitieren zu können. Dies erfordert flexibel anpaßbare Strukturen, die bislang noch weit von der Marktreife entfernt sind. Hier können die Errungenschaften der Mechatronik und der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Smart Materials ein Anwendungsfeld finden.



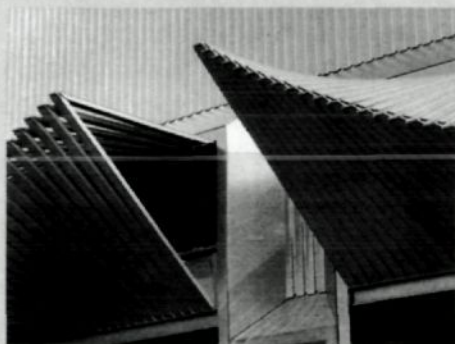
Rechts: Interne Holzfasaden, Herzog & de Meuron.



Fassaden aus Holzfasaden, Hôtel des Thermes, Jean Nouvel, Emmanuel Cattani et Associés.



Fassade aus Metallfasaden, Schützenmattstraße, Basel, Architekten Herzog & de Meuron.



Bewegliche Elemente an Gebäuden

An Gebäuden gibt es eine Vielzahl beweglicher Elemente, die dem Gebäude sowohl funktional wie symbolisch eine dynamische Dimension verleihen. Viele dieser Elemente nutzen Faltungsprinzipien: Trennwände, Fenster, Türen, Läden, Vordächer, Klappen können faltbar gestaltet werden.

Ein Beispiel sind die Tore von Santiago Calatrava für die Halle der Firma Ernsting in Coesfeld. Sie bestehen aus einzelnen Profilen, die entlang eines Bogens angeschnitten und in den Schnitten wie ein menschliches Knie mit Gelenken versehen wurden. Öffnet man das Tor, falten sich die Torprofile wegen der verschoben angebrachten Gelenke entlang einer bogenförmigen Linie. Im voll geöffneten Zustand bilden die Tore ein dreidimensional gekrümmtes Vordach. Santiago Calatrava hat in seiner Dissertation "Zur Faltbarkeit von Fachwerken" weitere Möglich-



keiten gezeigt, wie Dächer oder Tore faltbar konstruiert werden können.

Mit einer anderen Motivation verwendet Jean Nouvel an der Fassade des Hôtel des Thermes in Dax eine Außenhaut aus Falteklappläden. Durch die geschlossenen Läden verschwindet das Gebäude visuell hinter einer uniformen Wand von Lamellen. Wenn die Läden geöffnet werden, beginnt die Fassade sich dynamisch zu verändern, und die Nutzung des Gebäudes wird sichtbar.

Auch Beispiele von Herzog & de Meuron und anderen Architekten zeigen, daß der Fensterladen in neuer Form als Vorhang-

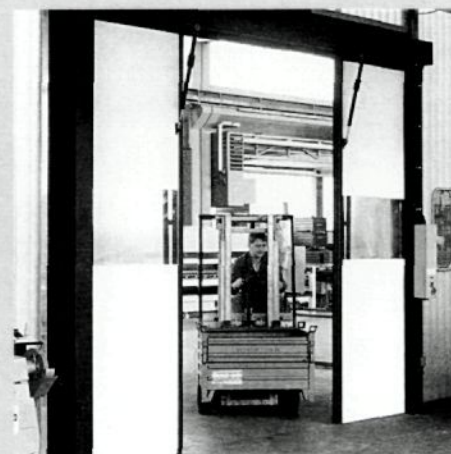
Oben: Horizontal faltbarer Sonnenschutz, Lycée d'Orléans-la-Source, Architekten: Andrault und Parat mit Jean Prouvé.

fassade Teil einer anspruchsvollen Architektur sein kann. Der Fensterladen als Vorhang macht die Fassade zu einer Bühne, die sich jeden Moment durch die zufälligen Aktivitäten der Nutzer ändern kann.

Aufrollbare Tore

Butzbach Industrietore GmbH

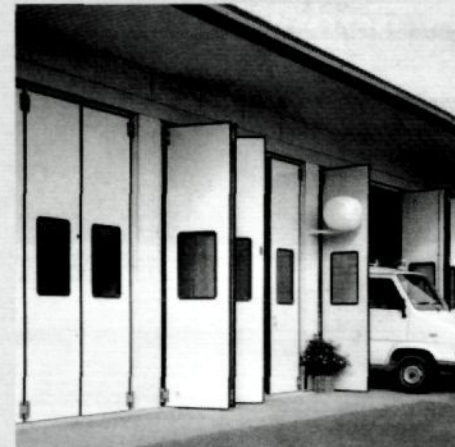
Für häufig genutzte Tore in Industriehallen, die schnell wieder geschlossen werden sollen, wurde das schnellaufende Rolltor Novosprint entwickelt. Zwei Torhälften öffnen sich ohne Schwenkbewegung direkt zur Seite. Die doppelwandigen Türflügel bestehen aus einem PVC-beschichteten Polyestergewebe mit 25 mm Luftpolster zur Wärme- und Schalldämmung. Zum Öffnen werden sie in der Rahmenkonstruktion auf Rollen gewickelt. Sie nehmen dadurch im geöffneten Zustand eine minimale Fläche ein, die deutlich kleiner ist als bei jedem anderen Torsystem. Aufgrund des zweigeteilten Wegs und des speziell entwickelten Hydraulikantriebs öffnen sich Novosprint-Tore mit 2 m/s und schließen mit 1,5 m/s. Nur bei der Schließbewegung wird Strom verbraucht. Eine elektronische Steuerung gewährleistet zusammen mit einem patentierten Einklemmschutz das sichere Funktionieren des Tores. Zur Sicherheit der Benutzer ist in Augenhöhe ein Klarsichtfeld angebracht. Novosprint-Tore sind bis zu einer Abmessung von 4,5 m x 4,5 m erhältlich.



Falttore

Hörmann KG

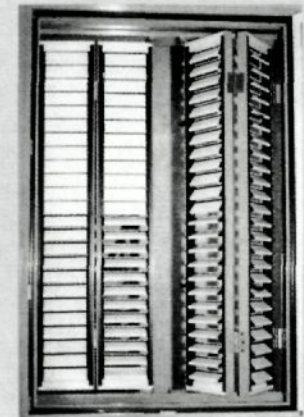
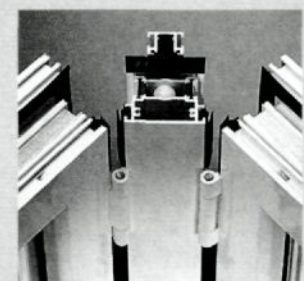
Falttore empfehlen sich für breite Hallenöffnungen mit begrenzter Durchfahrtfrequenz. Sie besitzen bis zu zwölf Flügel, die gelenkig verbunden sind und durch Schienen geführt zu einem Paket zusammengefaltet werden. Hörmann liefert Falttore in vielen Varianten bis zu 14 m Breite aus Stahl und Aluminium, mit Gummi-Klemmschutz oder Schlagleiste zwischen den Flügeln. Die einzelnen Flügelemente können mit Fenstern, Schlupftür und Isolierkernen ausgestattet werden. Im Programm sind auch die erforderlichen Einfassungsrahmen und Bautenabschlüsse. Als Spezialprodukt bietet Hörmann nach innen öffnende Feuerwehrralattore an, die im geschlossenen Zustand unter Federspannung stehen, so daß sie im Alarmfall nach Entriegelung schnell und selbsttätig öffnen. Beim Schließen muß entsprechend die Federkraft aufgebracht werden.



Falttören für Fassaden und Raumteiler. Solarlux GmbH

Solarlux bietet Falтанlagen aus Holz und Aluminium für Balkonverglasungen, Wintergärten, Geschäftseingänge und Raumteiler an. Die erhältlichen Systeme bauen auf Profilen von 35 mm bis 75 mm Dicke auf, die entsprechend der Wärmeschutzverordnung thermisch getrennt ausgeführt werden. Auf Basis dieser Grundprofile lassen sich in eine Faltwand alle Arten von Fenster- und Türelementen integrieren: Schiebetüren, Parallel-Schiebe-Kipp-Türen, Drehkippenfenster und Festverglasungen. Es entsteht eine funktionale Fassade, die vom Benutzer individuell zu öffnen und zu schließen ist. Er kann durch die Faltsysteme im Sommer die Fassade vollständig öffnen und den Innenraum in den Außenraum überfließen lassen. Aufgrund der Faltprinzipien benötigen die Fassadenelemente im geöffneten Zustand verhältnismäßig wenig Platz: 10 m Fassade lassen sich auf ein 50 cm dickes Paket zusammen-

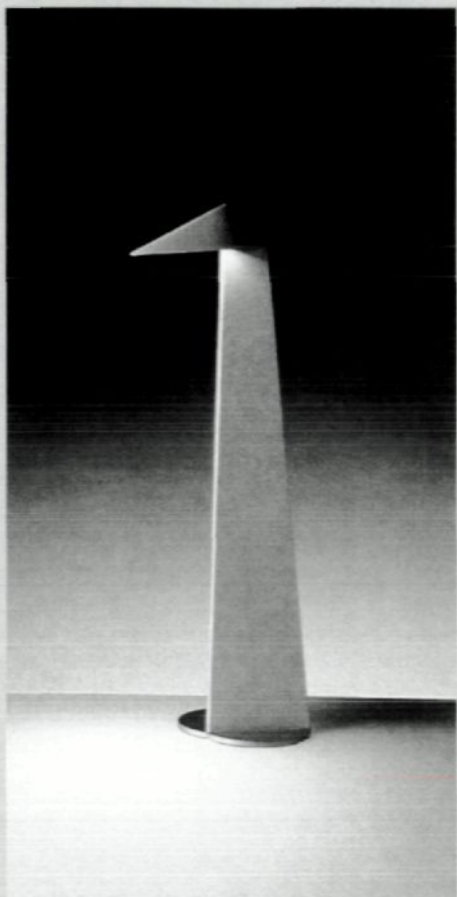
sammenfalten. Im Winter funktioniert das Faltsystem wie jede andere Fassade als Trennung und Wärmeisolierung. Neu ist das Schiebefaltsystem SL-UNIX, das über jeden Winkel geschoben und gefaltet werden kann.



Falt-/Klappläden

Zaglauer Metallbau

Zaglauer bietet eine Kombination aus faltbarem Fensterladen und klappbaren Sonnenschutzlamellen an. Die Sonnenschutzlamellen sind innerhalb des Faltladenelements aus Aluminiumstrangpreßprofilen angeordnet. Damit bieten sich dem Benutzer eine Vielzahl von Einstellmöglichkeiten für die Stellung des Ladens und damit eine individuelle Steuerung der Belichtung des Raumes. Von außen haben die Läden ein technisches Aussehen, das durch das matte Aluminium und die beweglichen Elemente unterstützt wird.



Oben: 'Big Birdie' von Jean-Marc da Costa für Serien Raumleuchten entworfen, beruht auf der Faltung eines Stahlblechs. Durch das Knicken entstehen der Hohlraum für die Niedervolt-Halogenglühlampe wie auch der Schirm. Alle weiteren Bauteile werden gesteckt und mit einer einzigen Schraube befestigt. Rechts: Für One Off entwarf Ron Arad eine Reihe von Stahl-Sitzgelegenheiten: 'London Papardelle', daneben: 'Up Like a Bear'. Unten rechts: Zeitschriftenständer aus perforiertem Edelstahl, Hersteller: Dürkop.

Faltobjekte

Seit in den 20er Jahren Stahlrohrmöbel in die Wohnstuben eingezogen waren, hat avantgardistisches Design sich immer wieder um neue Materialien oder Materialverwendung in neuem Kontext bemüht.

Edelstahlbleche und Papier bzw. Pappe demonstrieren besonders anschaulich, daß Form-

bildung mit Faltung beginnt. Ob Möbel, Alltagsgegenstände oder Verpackungen, das 'Bauprinzip der Natur' führt auch im Objekt-design zu effizienten und originellen Lösungen.

Die primäre Unterscheidung zwischen konstruktiver und funktionaler Faltung wird hier noch von den spezifischen Gebrauchsfunktionen des Gegenstands überlagert bzw. muß diesen zusätzlichen Anforderungen genügen. Analog zur Bautechnik dient Faltung von Blech und Papier der konstruktiven Versteifung extrem dünnwandigen Ma-

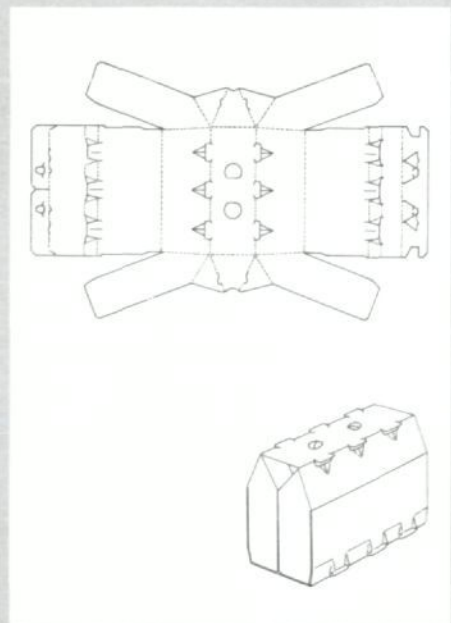
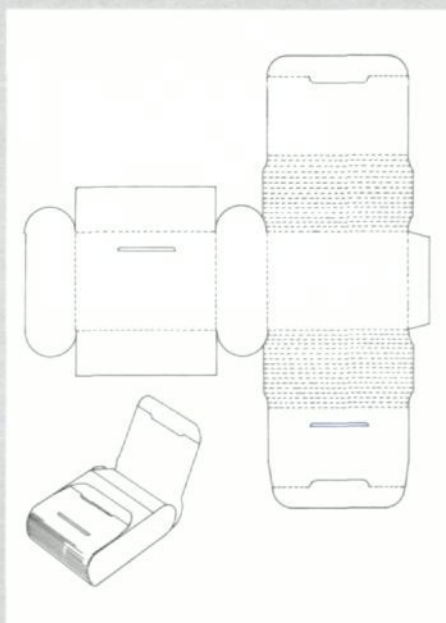
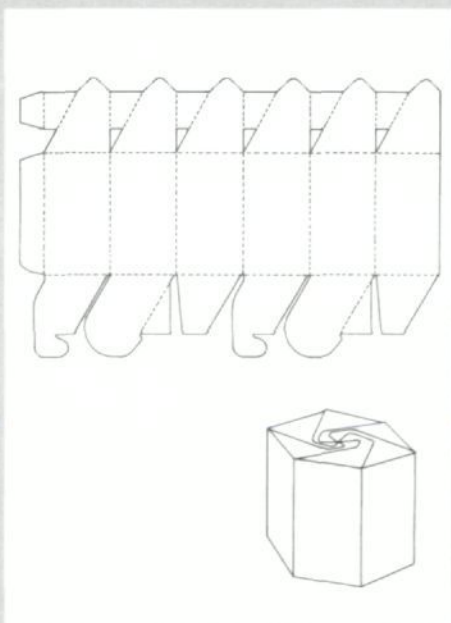
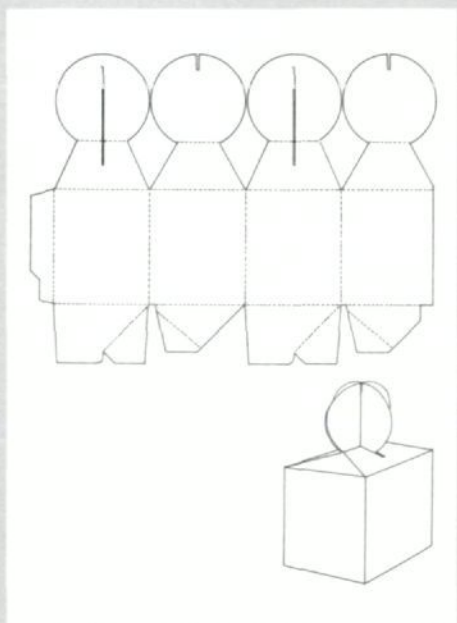
terials, um leichte und zugleich hoch belastbare Konstruktionen zu bilden.

Sessel oder Liegen aus gefaltetem Blech sind in ihrer Funktion so revolutionär wie seiner Zeit der Freischwinger. Sie sind mechanisch nicht starr, sondern wie biologische Formen von federnder, elastischer Stabilität, die sich der jeweiligen Belastungssituation anpaßt. Denkbar ist hier auch die Verwendung von faserverstärkten Kunststoffen.

Die Technik des Papierfaltens geht auf das japanische Origami zurück. Die hohe Kunstfertigkeit

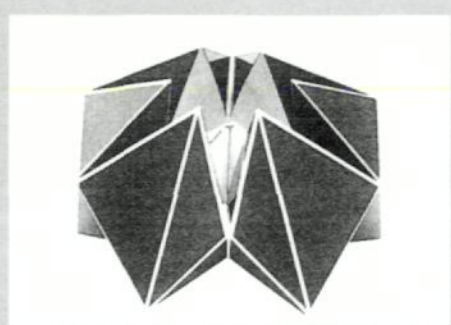
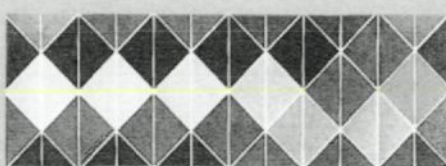


Die Koffer der Firma Rimowa werden in verschiedenen Materialien angeboten: ABS-Kunststoff, Vulkan-Fiber oder Aluminium-Legierung. Allen gemeinsam ist 'die Rille'.



Oben: Klassische Beispiele für gefaltete Verpackungen aus Karton. Die Schnittmuster werden im Computer generiert und dienen zur CNC-Steuerung der Produktion (Spirit). Rechts: IsoAxisÆ ist eine Art Kaleidozyklus, der zuerst ein ebenes Gitter-

netz von gleichschenkligen Dreiecken ist. Faltet man es entlang der Linien, kann es zu einem dreidimensionalen Ring geformt werden. Dieser Ring kann durch sein Zentrum gedreht werden, so daß sich, je nach Drehung, fünf verschiedene Formen ergeben.



besteht darin, aus einem einzigen Stück quadratischen Papiers ohne Einschneiden oder Kleben die ganze Formenvielfalt der Natur nachzufalten. Was früher spielerischer Entspannung und symbolischer Ausdrucksweise diente, wird heute unter anderem für den Einsatz in der Luft- und Raumfahrttechnik experimentell erforscht. Die immense Belastbarkeit gefalteten Papiers wurde bereits in den Faltkursen des Dessauer Bauhauses für materialgerechtes Design nachgewiesen.

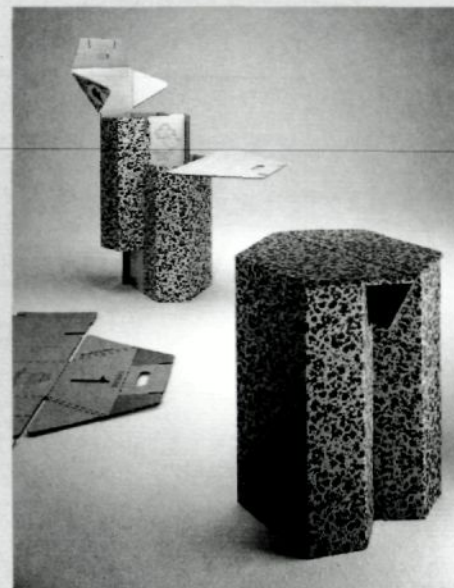
Aus Pappe hergestellte Möbel sind in doppelter Weise gefaltet: durch die Verwendung von sich selbst versteifender Pappe in der so einfachen wie wirkungsvollen Konstruktion beidseitig mit einer dünnen Deckschicht kaschierter Wellpappe, und durch die eigentliche Formfaltung. Pappmöbel sind Möbel im ursprünglichen Wortsinn, d.h. in hohem Maße mobil, einfach zu transportieren und leicht auf- und abzubauen.

Ein weiterer Pluspunkt ist ihre ökologische Sparsamkeit: Sie können aus recyceltem Altpapier hergestellt werden und sind selbst problemlos zu entsorgen.

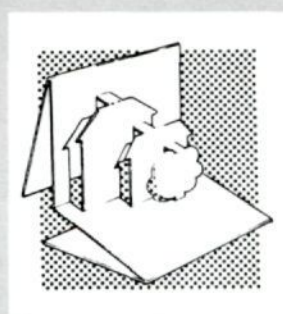
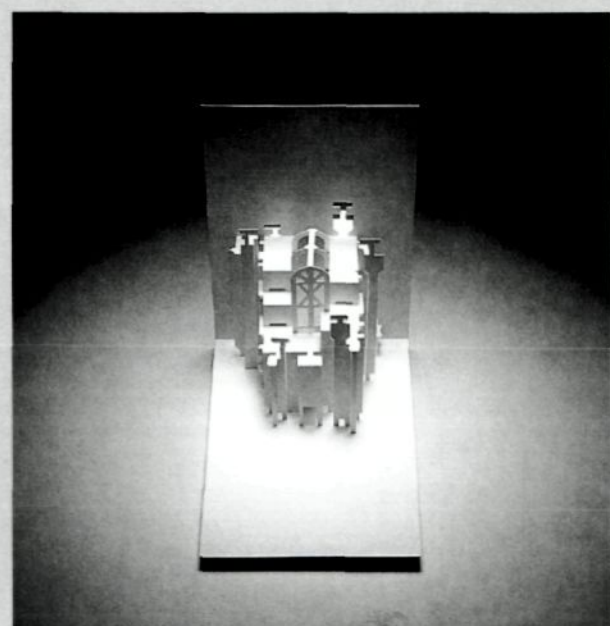
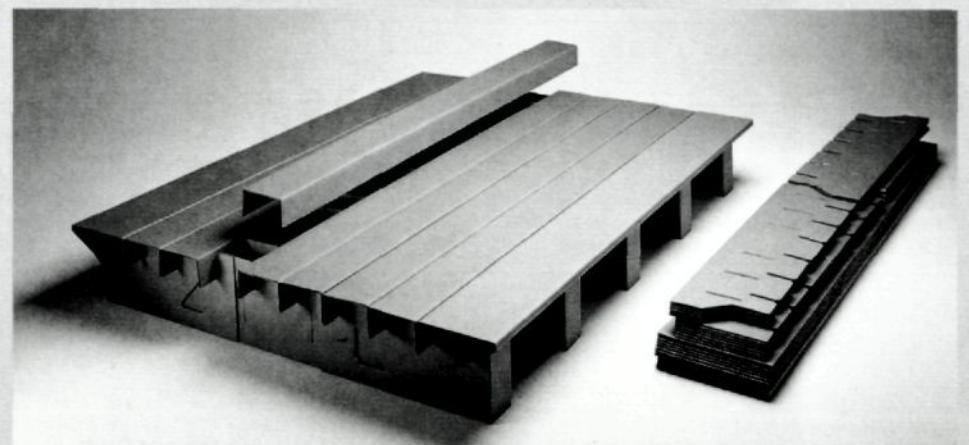
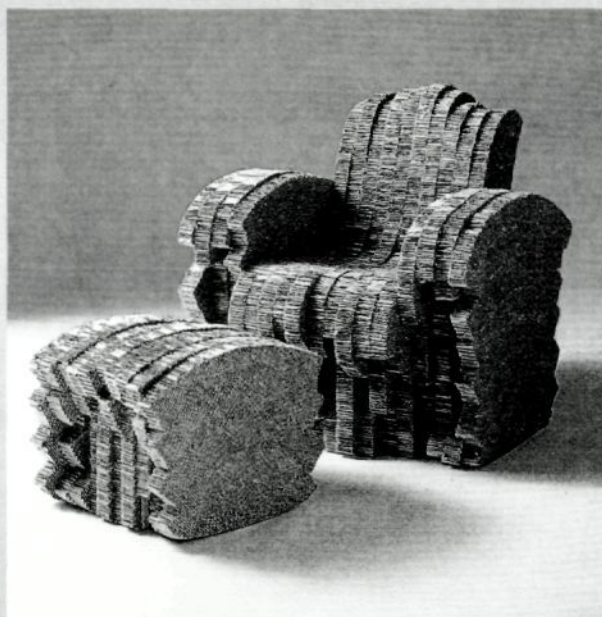
Dieselben Kriterien gelten auch für gefaltete Verpackungen aus Karton: ökologische Verträglichkeit, Leichtigkeit und Stabilität. Karton beschwert den Warentransport nur unwesentlich mit weiterem Gewicht; die Form der Verpackung läßt sich gleichermaßen für den Inhalt wie für die Stapelbarkeit maßschneidern. Sowohl das berühmte Beispiel des Eierkartons als auch Glasverpackungen zeigen die Eignung von Faltverpackungen für zerbrechliche und schwerere Inhalte. Die Schnittmuster können wie Papier bedruckt werden.



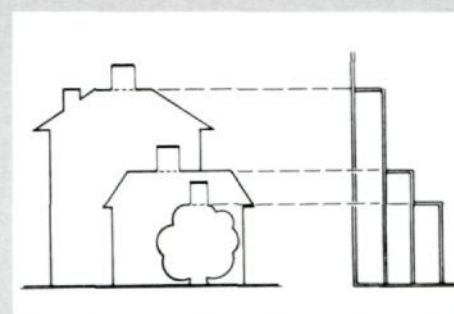
Markantes Zeichen des Schweizer Pavillon auf der EXPO 92 in Sevilla war der von Vincent Mangeat geplante 38 m hohe Papierturm.



'Little Beaver' heißt der von Frank Gehry entworfene Sessel mit Hocker aus Wellkarton. Der 'touch' des Provisorischen, Unfertigen täuscht, in 'Little Beaver' sitzt man außerordentlich bequem. Hersteller: Vitra

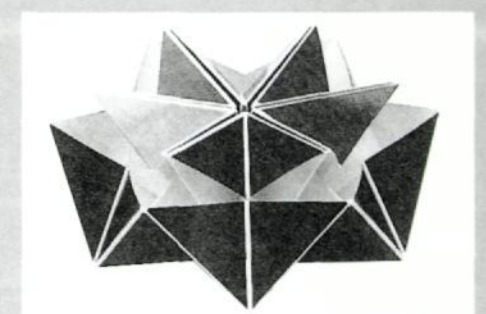
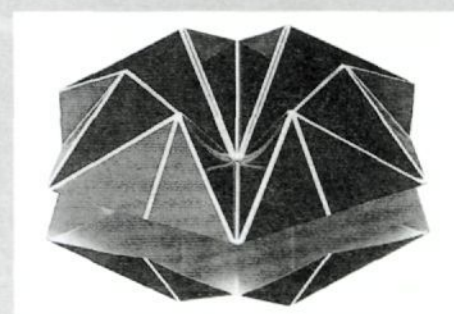
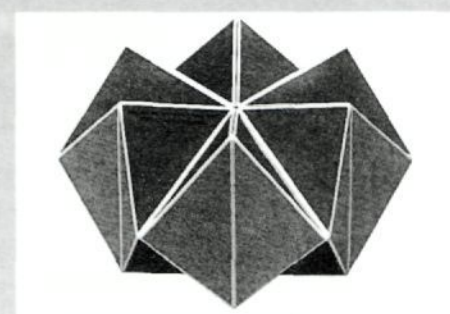


Links und oben: Die Architekturkarten von Räder wurden von Mashiro Chatani entwickelt. Klappt man die Karte auf, so werden die sich überlappenden inneren Kartonlagen von kleinen Verbindungsriegeln nach oben gezogen. Ein drei-



dimensionales Motiv entsteht: Hier das Lloyds Gebäude von Richard Rogers.

Oben: Die Wellpappenmöbel von Stange Design sind Bausätze. Das wohl bekannteste Möbel ist der Falthocker. Diese Faltkonstruktion aus zwei Steckteilen ist mit bis zu 1000 kg belastbar! Die Kollektion umfaßt mittlerweile ca. 30 Produkte: Hier abgebildet ein Tisch und ein Bett.



Gegenüber der konstruktiven Aussteifung eines homogenen Materials durch Kaltverformung liegt das Grundprinzip funktionaler Faltung in der Beweglichkeit der Falten gegeneinander. Funktionale Faltungen arbeiten daher in der Regel mit Gelenken, Scharnieren oder Bändern. Der Unterschied zwischen Klappen und Falten ist lediglich eine Frage der Anzahl der hintereinander geschalteten gelenkigen Verbindungen. Aufklappen ist immer auch eine Entfaltung und paralleles Zusammenfallen ein Zuklappen.

Die immer wieder überraschende, exzessive Entfaltung eines Chippendale Möbels demon-

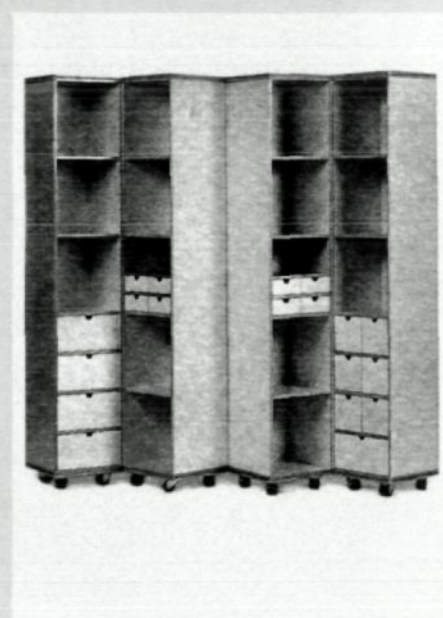
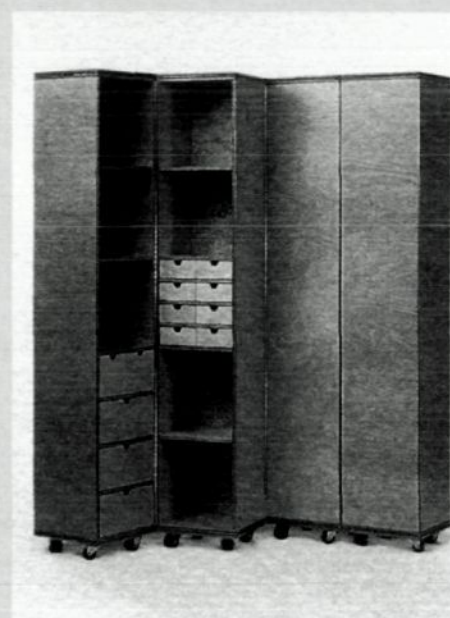
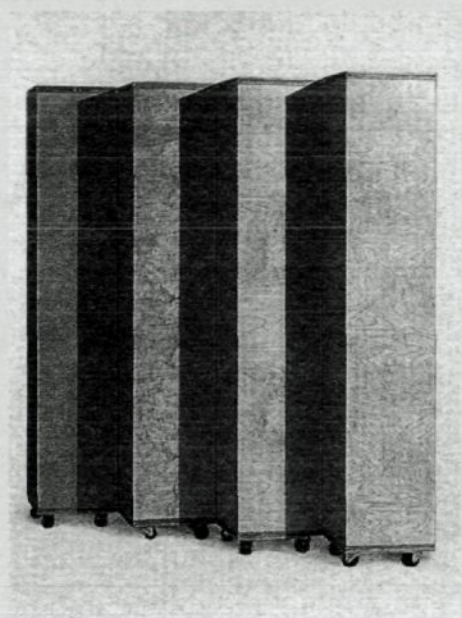
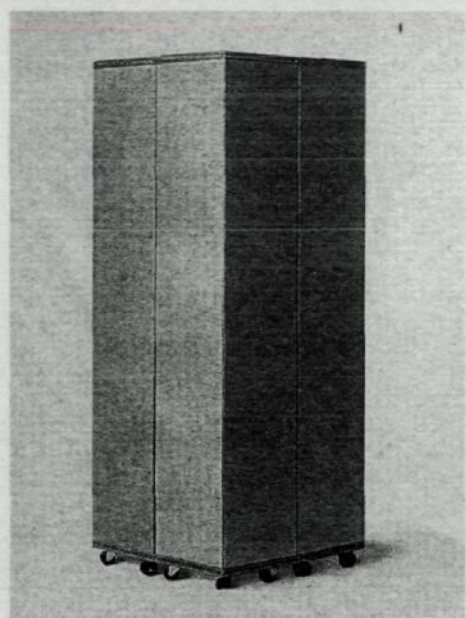
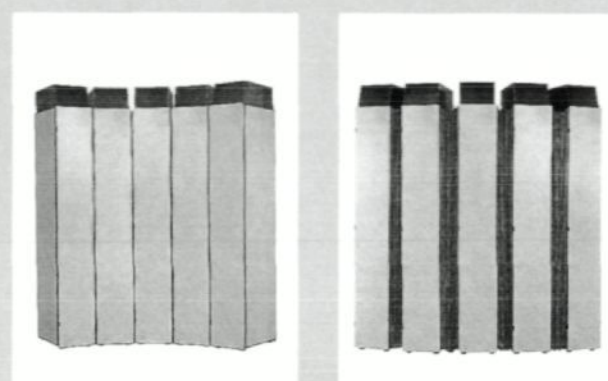
striert diesen Zusammenhang. Ebenso die Faltschirme und der Möbelklapperatismus, für deren Raumökonomie und Mehrfachnutzbarkeit die 20er und 30er Jahre Leidenschaft hatten.

Neben dem Aspekt der Platzersparnis liegt das eigentliche Potential funktionaler Faltungen in der Möglichkeit programmatischer Veränderung von Räumen. Der Paravent als einfachste und wohl älteste Form der Raumuntergliederung ist gewissermaßen der Prototyp für die temporär veränderliche Verbindung von funktionaler und programmatischer Faltung. Nach seinem Beispiel gefaltete Möbel verlieren den Charakter des solitären Ob-

jekts und stellen als Rauminstallation eine Beziehung zur Architektur her. Flexible Ausstellungs- und Büromöbelsysteme zeigen die Bandbreite möglicher Veränderungen, von einfachen Längsauffaltungen, Übereck-

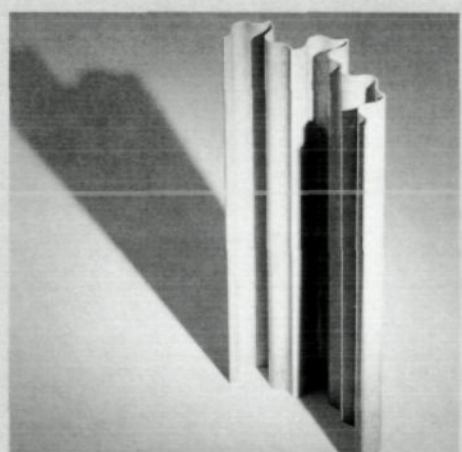
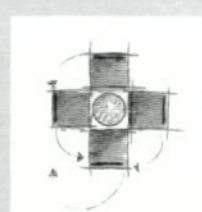
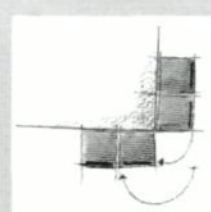
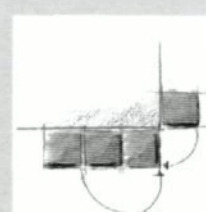
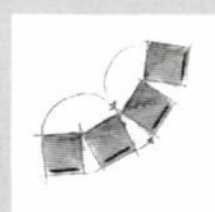
Gruppierungen bis zu Raumim-Rauminstallationen wie die zum Kreis gefaltete mobile Hausbibliothek (1939) von Friedrich Kiesler.

Der 'Waggon-Lit' von Detlef Meyer-Voggenreiter ist ein aus fünf Holzcontainern bestehender Schrank. Verbunden mit Faltenbälgen, wie zwischen Eisenbahn-Personenwaggons, können die einzelnen Container leicht gekrümmt aufgestellt werden.

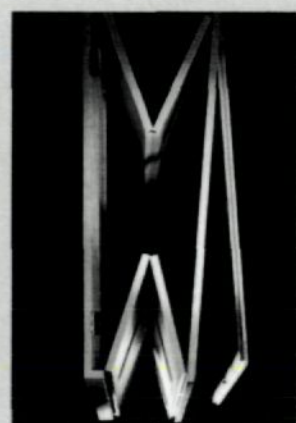
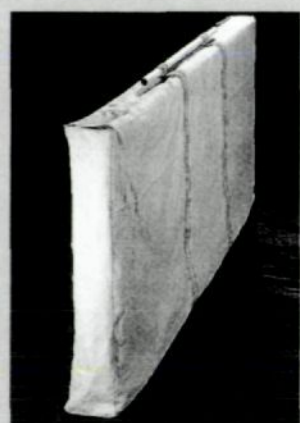


Oben: 'Meta' (Design: Peter Rohde, Produktion: Ebenberger) ist ein türloses Schranksystem auf Rollen. Es besteht aus vier Elementen, die im Kranz- und Sockelbereich mit Seilen miteinander verschlüsselt sind. Durch die Seilüberschneidung entstehen Drehpunkte, so daß jedes Element um 360° gedreht werden kann.

Rechts: 'Screen' ist aus flexibel verbundenen Schichtholzelementen. Design: Ray und Charles Eames, Vitra

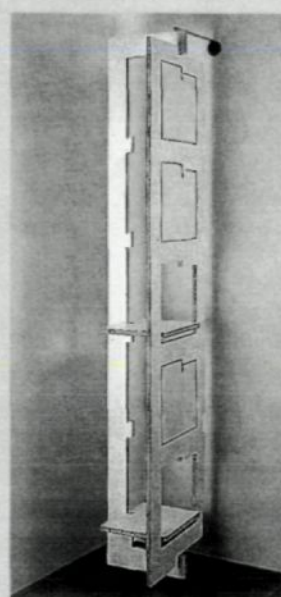
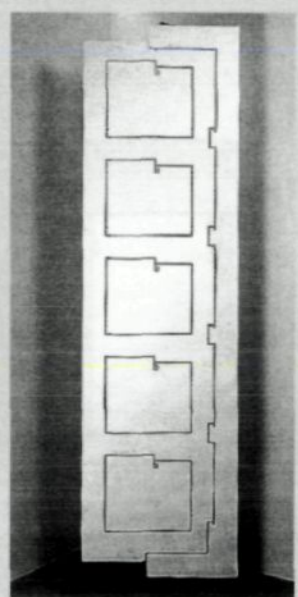


Der Paravent ist Teil der von Rena Dumas entworfenen Pippa-Kollektion für Hermès.



'New Tramp' heißt der für Nils Holger Moormann entwickelte Faltschrank von Franz Polzhofer. Mit einem Fach-

boden und einer Kleiderstange ausgestattet, ist der 35 kg 'schwere' Schrank leicht zu transportieren.



Das von Calvi Merlini Moya für Driade entworfene Regal 'Solingo' wird aus einer 63 x 38 x 223 m großen MDF-Platte geschnitten. Fünf 'Regalböden' können einzeln ausgeklappt und auf dem ebenfalls aus der Platte gefalteten Holm gelagert werden. Befestigt wird das Regal sowohl an der Wand als auch auf dem Boden, so daß gedreht werden kann.

Verbindung ergeben sich aus dem Ziehharmonika- und dem Scherengitterprinzip. In beiden Fällen ist das Gelenk selbst als bewegliche Faltung ausgebildet. Entsprechend vielfältig sind auch die Funktionen, die sie erfüllen können.

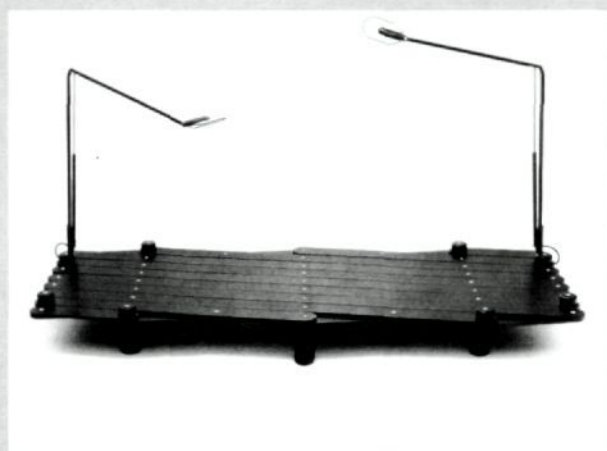
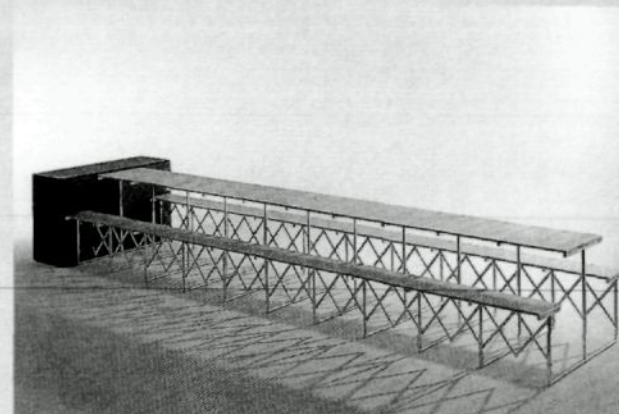
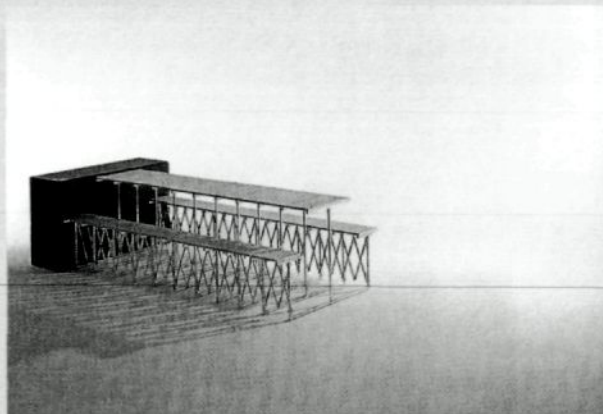
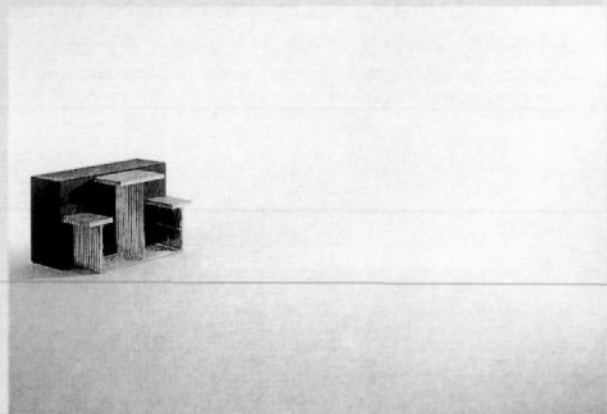
Die Ziehharmonika steuert bei Musikinstrumenten den Luftstrom, dient bei der Balgenkamera zur Entfernungsregulierung und fungiert beim Faltenbalg (s. S. 90) als Puffer, der im

Verhältnis von seiner gestauchten zur voll ausgedehnten Länge auch Krümmungen überbrücken kann.

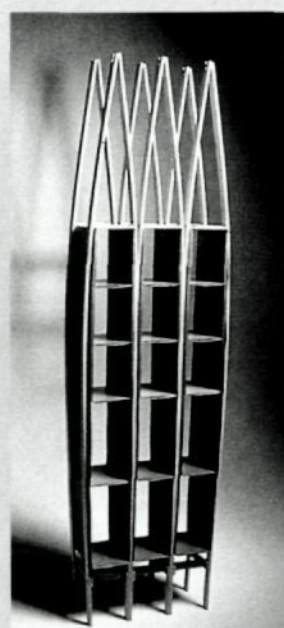
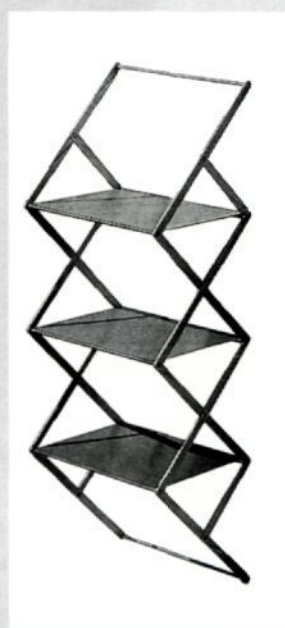
Das Scherengitterprinzip verbindet konstruktive Stabilität mit Beweglichkeit. Es basiert auf der spiegelsymmetrischen Verdoppelung der einfachen Faltung gelenkig miteinander verbundener Metallbänder, wobei die Überkreuzungen zwischen den beiden Faltungen selbst als Gelenk ausgebildet sein müssen.

Die Beweglichkeit aller Verbindungspunkte bewirkt die vollständige Zusammenfaltbarkeit des Scherengitters in beiden Bewegungsrichtungen. Aufgrund seiner konstruktiven Stabilität kann das Scherengitter, horizontal wie vertikal eingesetzt, die Überbrückung von Entfernungen mit tragender Funktion kombinieren oder als Hebelarm dienen.

Unten: 'Tabula Rasa' von Uwe Fischer und Klaus-Achim Heine (Ginbände) ist ein Tisch mit zwei Sitzbänken. Durch einen Handgriff können alle drei Elemente bis auf 5 Meter Länge ausgezogen werden. Vitra.



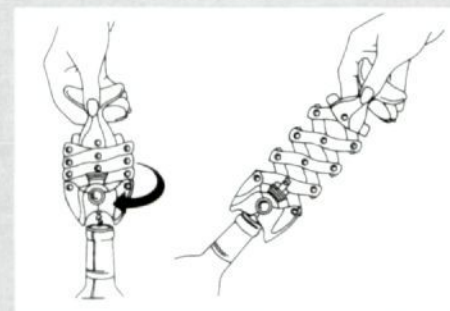
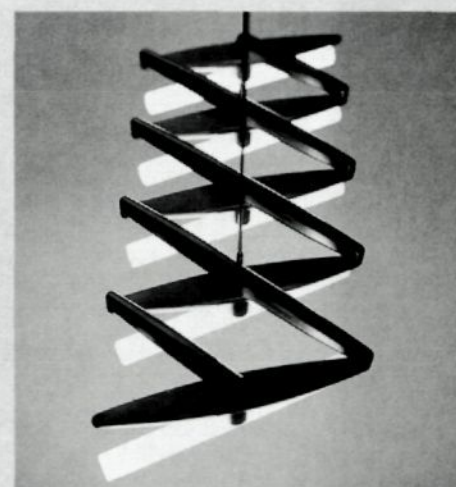
Links: Das 'Scherenbett' von Kurt Thut ist Bett und Sofa: Im ausgezogenen Zustand ist es mit 180 x 200 cm groß genug zum Schlafen, zusammengeschoben und mit beiden Matratzen übereinander hat es bequeme Sitzhöhe.



'Armonica' von Paolo Ulian für Bieffeplast entwickelt, wird im zusammengefalteten Zustand einfach auf den Boden gelegt, hochgezogen und an dem mitgelieferten Wandhaken befestigt.

Das Bücherregal DMD 03 von Jurgen Bey und Jan Konings ist mehrfach gefaltet: Die Regalböden bestehen aus Wellpappe, die Sperrholzlatten sind oben miteinander befestigt und durch die Regalböden unten ausgeweitet, so daß eine Art Scherengitter entsteht, und schließlich können die Regalböden zusammengeklappt werden.

Der Servierwagen 'Gastone' von Kartell ist Teil einer Reihe von faltbaren Beistellwagen, die alle auf dem Scherengitter-Prinzip beruhen.



Oben: Die Scherengitterleuchte 'Take Five' von Ginbade (Hersteller: Serien Raumleuchten) leuchtet jeden ausziehbaren Tisch gleichmäßig aus (s. 127 ARCH+, S. 93). Darunter: Der 'Lazyfish' von Bocchanal ist kein fauler Fisch, sondern ein nützlicher Korkenzieher, der wenig Kraft zum Ent-

korken erfordert. Links: 'Umbrella Chair' von Gaetano Pesce (Hersteller: Zerodisegno) ist nicht Schirm und Stuhl in einem, sondern eher Spazierstock und Stuhl. Der Name hat dennoch seine Richtigkeit, da sich der Stuhl nach dem Schirmprinzip entfaltet.

Literatur zum Baumarkt

Büttner, Hampe: Bauwerk, Tragwerk, Tragstruktur; Berlin (Ernst & Sohn) 1985

E. R. Bryan, J. M. Davies: Manual of Stressed Skin Diaphragm Design; London 1992

Yves Coineau, Biruta Kresling: Erfindungen der Natur; Nürnberg (Tessloff) 1989

P. Desideri: Pier Luigi Nervi; Zürich (Artemis Studiopaperback) 1982

Heinrich Hertel: Struktur - Form - Bewegung; Mainz (Krausskopf) 1963

G. Spur, Th. Stöferle: Handbuch der Fertigungstechnik - Band 2 Umformen; München (Hanser) 1983-85 (3 Teilbände)

Benoît Mandelbrot: Die fraktale Geometrie der Natur; Basel (Birkhäuser) 1987

David Peak, Michael Frame: Komplexität - Das gezähmte Chaos; Basel (Birkhäuser) 1995

Martin Pfeiffer: Architektonische Gestaltungsmöglichkeiten mit flächenbildenden Metallbauteilen in Außenwänden von Geschosßbauten; Frankfurt am Main (Peter Lang) 1995

Tim Poston, Ian Stewart: Catastrophe Theory and its Application; London (Pitman) 1978

Raul Rojas: Theorie der neuronalen Netze; Berlin (Springer) 1993

Peter Sulzer (Hrsg.): Jean Prouve - Meister der Metallumformung, arcus 15; Köln (R. Müller) 1991

E. W. Zerbst: Bionik - Biologische Funktionsprinzipien und ihre Anwendungen; Stuttgart (Teubner) 1987

Hersteller

Bautechnik S. 82-91

Batiroc/dkh Dachflächensysteme GmbH

Mainzer Straße 116
66117 Saarbrücken
Fon 0681-926360
Fax 0681-9263636

Brianza Plastica SpA
Via Rivera n.50
I-20048 Carate Brianza
Fon 0039-362-902601

Butzbach Industrietore GmbH
Weiherstraße 16
89293 Kellmünz
Fon 08337-9010
Fax 08337-90149

Caradon Naco s. r. l.
Pflittner Industrievertretungen
Hermann-Röger-Straße 34
75433 Maulbronn
Fon 07043-6320
Fax 07043-5184

Donges Stahlbau GmbH
Mainzer Straße 55
64293 Darmstadt
Fon 06151-889221
Fax 06151-889219

Hörmann KG Verkaufsgesellschaft
Postfach 1261
33792 Steinhagen
Fon 05204-9150
Fax 05204-915277

Hoesch Siegerlandwerke GmbH
Geisweider Straße 13
57078 Siegen
Fon 0271-8012956
Fax 0271-8012930

Hoogovens Aluminium Bausysteme GmbH
Postfach 100331
56033 Koblenz
Fon 0261-8910
Fax 0261-82038

Josef Gartner & Co.
Postfach 2040
89421 Gundelfingen
Fon 09073-840
Fax 09073-842100

Mannesmannrohr GmbH (MSH-Profile)
Verkaufsbereich VHQ-P
Wiesenstraße 36
45473 Mülheim an der Ruhr
Fon 0208-4580
Fax 0208-4581940

RP-Technik GmbH Mannesmann
Postfach 1362
58733 Wickede
Fon 02377-9250
Fax 02377-925237

Sinustat Systembau
Berlepschstraße 4
14165 Berlin
Fon 030-8157781
Fax 030-84570517

Solarlux
Aluminium Systeme GmbH
Postfach 1134
49135 Bissendorf
Fon 05402-4000
Fax 05402-400200

TFH Berlin
Prof. Dr. F. Mirtsch
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Fon 030-45042218
Fax 030-45042284

TFH Wildau
Prof. Dr. U. Hellwig
Bahnhofstraße 1
15742 Wildau
Fon 03375-507170
Fax 03375-507127

Vicarb Deutschland GmbH
Carl-Zeiss-Straße 36
55129 Mainz
Fon 06131-508025
Fax 06131-592715

Zaglauer Stahl- und Anlagenbau GmbH
Stetten 8
84494 Niedertaufkirchen
Fon 08635-273
Fax 08635-1243

Faltobjekte S. 92-95

Bacchanal Ltd.
P.O. Box 3076
GB - Quinton, Birmingham

DMD
Parkweg 14
NL - 2271 AJ Voorburg
Fon 0031 - 70 - 386 40 38
Fax 0031 - 70 - 387 30 75

Driade spa
Via Padana Inferiore 12
I - 29012 Fossadello di Caorso
Fon 0039 - 523 - 81 86 50
Fax 0039 - 523 - 82 26 28

Dürkop Import GmbH
Niendorfer Weg 11
D - 22453 Hamburg
Fon 040 - 557 77 30
Fax 040 - 55 77 73 48

Ebenberger GmbH
Piaristengasse 1
A - 1080 Wien
Fon 0043 - 1 - 406 94 89
Fax 0043 - 1 - 406 96 73

Hartmut Räder GmbH & Co. KG
Kornharpener Straße 126
D - 44791 Bochum
Fon 0234 - 95 98 70
Fax 0234 - 59 45 19

Hermès GmbH
Marsstraße 26
D - 80335 München
Fon 089 - 552 15 30
Fax 089 - 550 42 23

Kartell spa
Via delle Industrie 1
I - 20082 Noviglio
Fon 0039 - 2 - 90 01 21
Fax 0039 - 2 - 90 09 12 12

Nils Holger Moormann GmbH
Kirchplatz
D - 83229 Aschau i.Ch.
Fon 08052 - 40 01
Fax 08052 - 43 93

Pentagon GmbH
Dreieichstraße 39
D - 60594 Frankfurt
Fon 069 - 62 96 40
Fax 069 - 62 65 73

Rimowa Kofferfabrik GmbH
Mathias-Brüggen-Straße 118
D - 50829 Köln
Fon 0221 - 956 41 70
Fax 0221 - 956 41 74

Serien Raumleuchten GmbH
Hainhäuser Straße 3-7
D - 63110 Rodgau
Fon 06106 - 134 80
Fax 06106 - 188 04

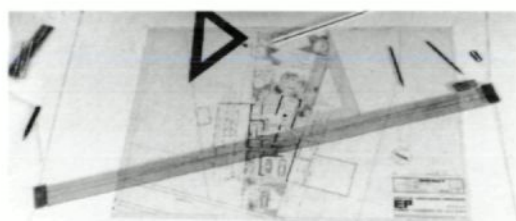
Spirit-Communication & Design GmbH
Hein-Janssen-Straße 14-18
D - 52070 Aachen
Fon 0241 - 50 50 75
Fax 0241 - 51 35 94

Stange Design OHG
Ringbahnstraße 16-20
D - 12099 Berlin
Fon 030 - 752 02 60
Fax 030 - 752 09 20

Vitra GmbH
Charles-Eames-Straße 2
D - 79576 Weil am Rhein
Fon 07621 - 70 20
Fax 07621 - 70 22 42

Walter Thut AG
CH - 5103 Möriken/Wildegg
Fon 0041 - 64 - 53 12 84
Fax 0041 - 64 - 53 11 10

Zerodisegno - Quattrocchio srl
Via Isonzo, 51
I - 15100 Alessandria
Fon 0039 - 131 - 44 53 61
Fax 0039 - 131 - 687 45



ARCHITEKT INFORMIERT

Die Ruchay Zeichenschiene 4 R (entwickelt von Architekt Klaus Ruchay), ist eine exakt parallel verlaufende Zeichenschiene, welche über Kugellager an einer Seilführung geführt wird. Winkeleinstellung ist möglich. Lieferbar sind 5 Serienlängen von 600 - 2000 mm und 8 Serienmodelle für jeden Bedarf.

RUCHAY Zeichentechnik 50829 Köln Günther-Plückow-Str.6
Tel. (0221) 593031 Fax (0221) 593032