

## Roboter

Bei der auf der Cebit '98 vorgestellten Generation von neuen Robotern steht dynamische Programmierung und das Lernen von Verhaltensmustern im Vordergrund. Die verschiedenen kleinen Plattformen enthalten anfangs nur einfachste Programmierungen. Nach dem Vorbild kindlicher Organismen werden überlebenswichtige Verhaltensfunktionen auf verschiedene Art und Weise gelernt, verfeinert und angewendet. Bei den Maschinen kann in gewisser Weise 'Verhalten' beobachtet werden.

Während ein Teil der vorgestellten Maschinen ausschließlich zu Forschungszwecken entwickelt werden, steht bei anderen ihr Einsatz als sogenannte Serviceroboter im Vordergrund.

Diese Entwicklungen zielen darauf ab, in von Menschen bewohnten Umgebungen einfache Aufgaben zu übernehmen. Um diese effizient zu erledigen, benötigen die Roboter ein hohes Maß an Flexibilität und die Fähigkeit, sich an veränderte Bedingungen während ihrer gesamten Lebensdauer anzupassen. Genau dies kann erfolgreich mit dem erwähnten 'Verhaltens'-Paradigma erreicht werden.

### Scheibenreinigungssystem

#### Fraunhofer Institut Magdeburg

Für die Eingangshalle der Messe Leipzig erprobt das Fraunhofer Institut Magdeburg einen besonderen Serviceroboter für die Scheibenreinigung. Die Arbeitssituation für menschliches Reinigungspersonal wird auf dem tonnenförmigen Glasdach gegenüber herkömmlichen Fassaden besonders durch das unmittelbare Über der glatten Außenhaut liegende Tragwerk erschwert. Der graduell von 0° bis circa 70° ansteigende Neigungswinkel der Flächen sowie die eingeschränkte Zugänglichkeit des Hallendaches über Tag während Messebetriebes tun ein übriges um eine wirtschaftliche Lösung für die Reinigung der großen Glasflächen zu verhindern. Deswegen wurden nach Fertigstellung der Halle sehr schlanke seilgeführte Roboter entwickelt, die den schmalen Zwischenraum von etwa 30 cm zwischen Längsriegeln und Glas zur Auf- und Abfahrt in Hallenquerrichtung nutzen. Die Roboter verfügen über eine jeweils eigene autonome Steuerung für die Reinigungsfahrt innerhalb der einzelnen Querfelder, welche auf eine Vielzahl von Sensoren am Gerät reagiert. Die Fahrt in Hallenlängsrichtung regelt eine

zentrale Steuerungseinheit im Firstpunkt, welche mit den Einzelrobotern in ständigem Austausch stehen. Die Glasreinigung erfolgt über mehrere Bürstenteller und -walzen unter dem Fahrzeugboden. Der Reinigungsroboter wird über Schläuche mit Wasser gespeist.

Der mittlere Feldbereich wird in konstanter Breite mit Hilfe der Walzen vorgereinigt. Für eine vollständige Reinigung müssen die verschiebbar gelagerten Bürstenteller die Einzelaufhängungspunkte der Verglasung präzise umfahren können. Dabei müssen jedoch zum Teil erhebliche Baulöcher ausgeglichen werden. Hierfür ist eine genaue Positionsbestimmung notwendig, die der Roboter einerseits absolut über GPS, durch Berechnung der Differenzen in den Seillängen sowie mit Hilfe spezieller seitlicher Teleskopfühler relativ zum Tragwerk vornimmt. Positionskorrekturen kann der Roboter in Ausnutzung der Schwerkraft über die eingebauten Seilwinden erreichen. Die schwenkbaren Bodenrollen dienen lediglich einem konstanten Glasabstand. Für eine vollständige Reinigung des etwa 25.000 qm großen Hallendaches benötigen die Roboter nur ca. 2 Wochen im Zweischichtbetrieb und sparen damit ca. 4 Wochen gegenüber konventionell-manueller Scheibenreinigung. Das Wasser wird mit dem Regenwasser gesammelt, aufbereitet und im Rahmen eines Grauwassernutzungsprogrammes wiederverwendet. Die Roboter können durch das transparente Dach während Messebesuchen gut von unten beim Putzen beobachtet werden.

### Mobile Roboter

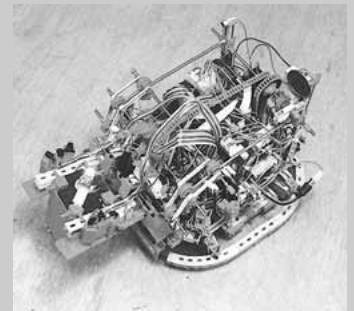
#### GMD Systementwurfstechnik

In einem mehrjährigem Projekt entwickelt das Institut für Systementwurfstechnik an der Universität Bielefeld eine dynamische Programmiermethode für autonom-kollektives Verhalten von Robotern. In Aufgabenbereichen mit nur schlecht vorher-sagbaren oder sich verändernden Bedingungen können dynamische mobile Systeme im Gegensatz zu starr programmierten Einheiten auch unter ungünstigen Bedingungen ihr Ziel erreichen. Das im Testgehege zu beobachtende komplexe Verhalten der verschiedenen kleinen Gefährte aus Fischer-Technik wird modular aus einzelnen verträglichen Reiz/Reaktionsbausteinen zusammengefügt. Über eine Vielzahl eingebauter Sensoren und Aktuatoren kommunizieren die Agenten sowohl mit ihrer Umgebung als auch untereinander. Sie erkennen, erklimmen oder vermeiden je nach Neigung künstliche Hügel oder fahren gelegentlich im Konvoi.

Einige Exemplare sind mit Greifarmen ausgerüstet. Bei Fahrten durch vorher unbekanntes Gelände können sie Spuren legen, anhand derer eine kontrollierte gemeinsame Geländeerkundung durch Gruppen von mehreren Robotern möglich wird. Die Teilnehmer einer solchen Expedition erhalten auf Anfrage von einem ebenfalls aus Fischer-Technik hergestellten automatischen Magazin kleine Leuchttürme mit einer an ihrer



Oben: Scheibenreinigungsroboter beim Putzen auf der neuen Messe Leipzig. Rechts: Innenleben mit geöffnetem Gehäuse, daneben: Gerät für senkrechte Fassaden



Spitze montierten Lichtquelle. Die Türme werden in einer bestimmten Distanz zum Ursprungsort aufgestellt, der Roboter kehrt um, holt einen neuen Turm, bringt diesen entlang der Kette der schon aufgestellten Türme bis zum letzten Glied und beginnt dort von neuem mit der Erkundung. Die so erstellten Spuren werden gemeinschaftlich durch die Roboter auf- oder wieder ab- oder umgebaut.

## Serviceteam Ariadne

**GMD Systementwurfstechnik**  
Im Rahmen des Projektes 'Ariadne' werden Teams autonomer und intelligenter Roboter entwickelt, die in Gebäuden effizient Botengänge planen und erledigen können. Die Roboter können ihre Umgebung wahrnehmen, auf Veränderungen reagieren sowie zielgerichtet mit Menschen kommunizieren und zusammenarbeiten. Sie können Türen und Aufzüge steuern, Türschilder lesen und Transponder abfragen. Um Zeit und Energievorgaben zu erfüllen, müssen sie in der Lage sein, die nachgefragten Aufgaben in der Gruppe zu verteilen.

Neben 'Primärinformationen' über Laser, Kamera und Sensoren greifen die Kleinfahrzeuge bei ihrer Arbeit auch auf 'Sekundärinformationen' wie Arbeitsplatzverteilung oder Lagepläne zu. Diese Informationen werden zu Navigation und Planung verwendet und gegebenenfalls korrigiert an die Datenbank zurückgegeben (zum Beispiel neue Türschilder). Durch 'Belohnungsverhalten' stimulieren die Roboter im Rahmen einer 'bilateralen' Zusammenarbeit mit dem Menschen Wartungsarbeiten und andere Bedürfnisse. Tagsüber erfüllen die Roboter in einem ersten Entwicklungsszenario Transportaufgaben wie Post, Kaffee oder Essenverteilung, während nachts ein Patrouillendienst für das Gebäude eingerichtet wird. Die Aufgaben können nach einem geregelten Zeitplan oder auf Internet-Anfrage erfolgen. In solchen Fällen muß man sich die Aufgabenstellung wie bei einem Taxiunternehmen mit einzelnen Fahrern und einer koordinierenden Leitzentrale vorstellen. Die zweistufige Steuerungsarchitektur beruht auf Fuzzy Logik und teilt sich auf in eine niedrige Ausführungs- sowie eine höhere Planungsebene.



## Schlangenroboter Snake

**GMD Systementwurfstechnik**  
'Snake' besteht aus identischen Sektionen, von denen bis zu 15 zusammengesteckt werden. Ein Kopf am vorderen Ende trägt je nach Anwendung unterschiedliche Sensoren und Aktuatoren. In jeder Sektion steuert ein eigener Prozessor die Bewegung der Gummigelenke und überwacht den Zustand aller Sensoren. Alle Prozessoren sind über einen seriellen Bus mit einem zentralen Steuerrechner verbunden, der die Bewegungsabläufe koordiniert. Die Steuerung beruht auf einem neuentwickelten dynamischen 'Scheduling'-Verfahren

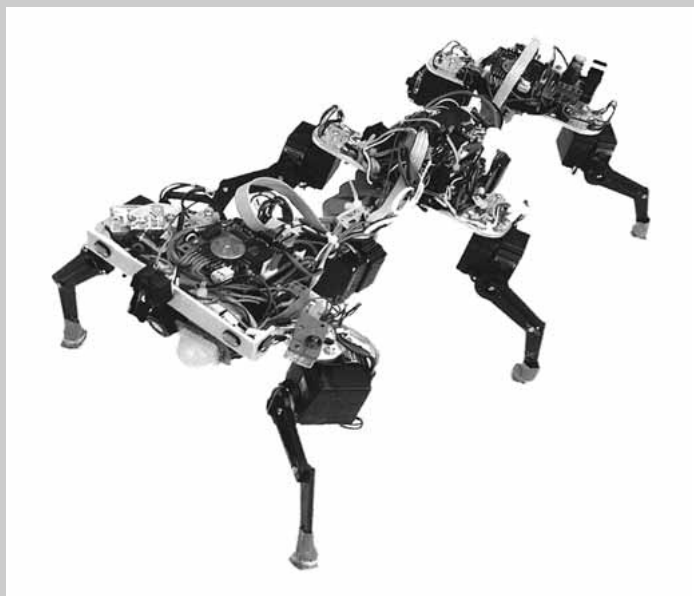


welches erlaubt, die benötigten Ressourcen erst zu Laufzeit einzubzw. umzuplanen. Damit kann die Schlange sich auch nochbewegen, wenn eine Sektion an einem Hindernis verklemmt ist. Die dreidimensionalen Bewegungen der Schlange können auf einer graphischen Oberfläche zunächst interaktiv erprobt und dann in die Ablaufprogramme für die Realzeitsteuerung umgesetzt werden.

## Laufkäfer Sir Arthur

**GMD Systementwicklungstechnik**  
Mit dem sechsbeinigen Roboter Sir Arthur soll die Anwendung der 'Reinforcement Learning'-Methode demonstriert werden. Die Plattform besteht aus 16 handelsüblichen Stellmotoren aus dem Modellbau.

Damit können das Schwingen und Drehen der sechs Beine sowie für jedes der zwei Gelenke zwei Freiheitsgrade erzeugt werden. Die Gelenke erlauben es der Maschine, ihren Kopf zu heben, um sich relativ zur Lichtquelle zu orientieren. Die Vorwärtsbewegung auf der sechsbeinigen Maschine wird erzielt, indem drei Beine nach vorne geschwungen werden und gleichzeitig eine Drehbewegung auf den drei anderen Beinen durchgeführt wird. Sir Arthur ist in drei Segmente aufgeteilt. Jedes Segment enthält zwei Beine. Die Segmente sind durch zwei kontrollierbare Gelenke miteinander verbunden. Die Gelenke erlauben es dem Roboter, die Vorder- und Hinterteile zu heben und zu drehen, wodurch 3D-Bewegungen möglich werden.



## Radroboter Kurt

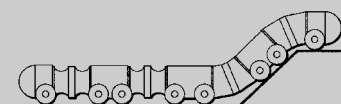
**GMD Institut für angewandte Informationstechnik**

Mit diesem Prototyp einer künstlichen Kanalratte können schnurlos Reparaturen in Abwasserkanälen durchgeführt werden. Die Arbeitsplattform 'Kurt' ist mit einem Satz unterschiedlich großer, teilweise angetriebener Räder zur lenkbaren Fahrt im Kanalnetz ausgestattet. Sie prüft das System auf Risse und Schäden. Aufgefundene Fehler im Netz sollen beschadigungsfrei ohne Fernsteuerung gemeldet, repariert bzw. abgedichtet werden.

## Kanalschlange Makro

**GMD Institut für angewandte Informationstechnik**

Als Weiterentwicklung der schnurlosen eingliedrigen mobilen Plattform stellt 'Makro' eine mehrsegmentige Plattform zur autonom operierenden Rohrüberwachung dar. Der Prototyp soll zum Projektschluß 1999 bei der Videoinspektion eines realen, grob gereinigten Kanals bei Trockenwetter einsetzbar sein. Thomas Kaup



Oben: Roboter 'Kurt' bei Kanalfahrt, darunter Mehrsegmentfahrgestell bei Überwinden eines Absatzes. Unten: Entwurf mehrsegmentige Plattform 'Makro'.



# Typologie mehrschaliger Hüllen aus Glas

Werner Lang

Mehrschalige, transparente Glasfassadensysteme sind Hüllkonstruktionen von Gebäuden, bei denen vor bzw. hinter der eigentlichen Außenhaut eine zweite, gläserne Schicht angebracht ist, um funktionale Anforderungen und bauphysikalische Eigenschaften wie Wärmeschutz, Sonnenschutz, Schallschutz zu verbessern oder einen natürlichen Luftwechsel zu ermöglichen. Die Entwicklung einer Typologie zur Einteilung der verschiedenen Fassadensysteme ist eine wichtige Grundlage für die Erörterung der konstruktionsspezifischen Merkmale und deren Bedeutung für die Funktionsweise der unterschiedlichen Fassadenvarianten.

## Einteilungskriterien

Eine erste Einteilung und Zuordnung wird entsprechend der Bedeutung der konstruktiven Merkmale für die Funktion der Fassade in drei Ebenen vorgenommen.

### I. Position

Unterscheidung im Hinblick auf die Anordnung der Doppelschale in Relation zum konstruktiven Aufbau der Außenwand:

- innerhalb der Außenwandkonstruktion
- in Teilbereichen der Fassade vorgelagert
- Doppelschale erstreckt sich über die gesamte Außenwandkonstruktion.

### II. Lage der Lüftungsöffnungen

Unterscheidung im Hinblick auf die Anordnung von Lüftungsöffnungen in der inneren und äußeren Schale:

- in beiden Schalen
- in der inneren Schale
- keine Lüftungsöffnung.

Durch dieses konstruktive Merkmal wird eine der wesentlichen Funktionen der Gebäudehülle, der Luftaustausch, gesteuert.

### III. Segmentierung

Unterscheidung im Hinblick auf die Unterteilung des Fassadenzwischenraums:

- nicht unterteilt
- unterteilt.

Die Unterteilung des Fassadenzwischenraums (Segmentierung) bestimmt wesentliche funktionale Eigenschaften, wie Brand- und Schallschutz sowie das Strömungsverhalten der Luft im Fassadenzwischenraum.

## Ausführungsvarianten

Die Lage der beiden Verglasungsebenen in Relation zur Außenwand hat weitreichenden Einfluß auf funktionale und vor allem gestalterische Eigenschaften der Fassade. In bezug auf dieses Kriterium lassen sich doppelschalige Glasfassadensysteme in folgende Kategorien einteilen:

### I. Doppelfenster innerhalb der Außenwandkonstruktion

Hierzu gehören Fenstersysteme in Lochfassaden, die sich nur über einen Teilbereich der Außenwand erstrecken. Die Lastabtragung erfolgt in den meisten Fällen über die massive Außenwand, weshalb die Anordnung und Größe von Wandöffnungen von den statischen Verhältnissen abhängt. Fenstervarianten mit zwei hintereinander angeordneten Glasschalen sind Vorfenster, Kastenfenster, Abluftfenster und Verbundfenster.



### II. Doppelschale in Teilbereichen der Außenwand vorgelagert

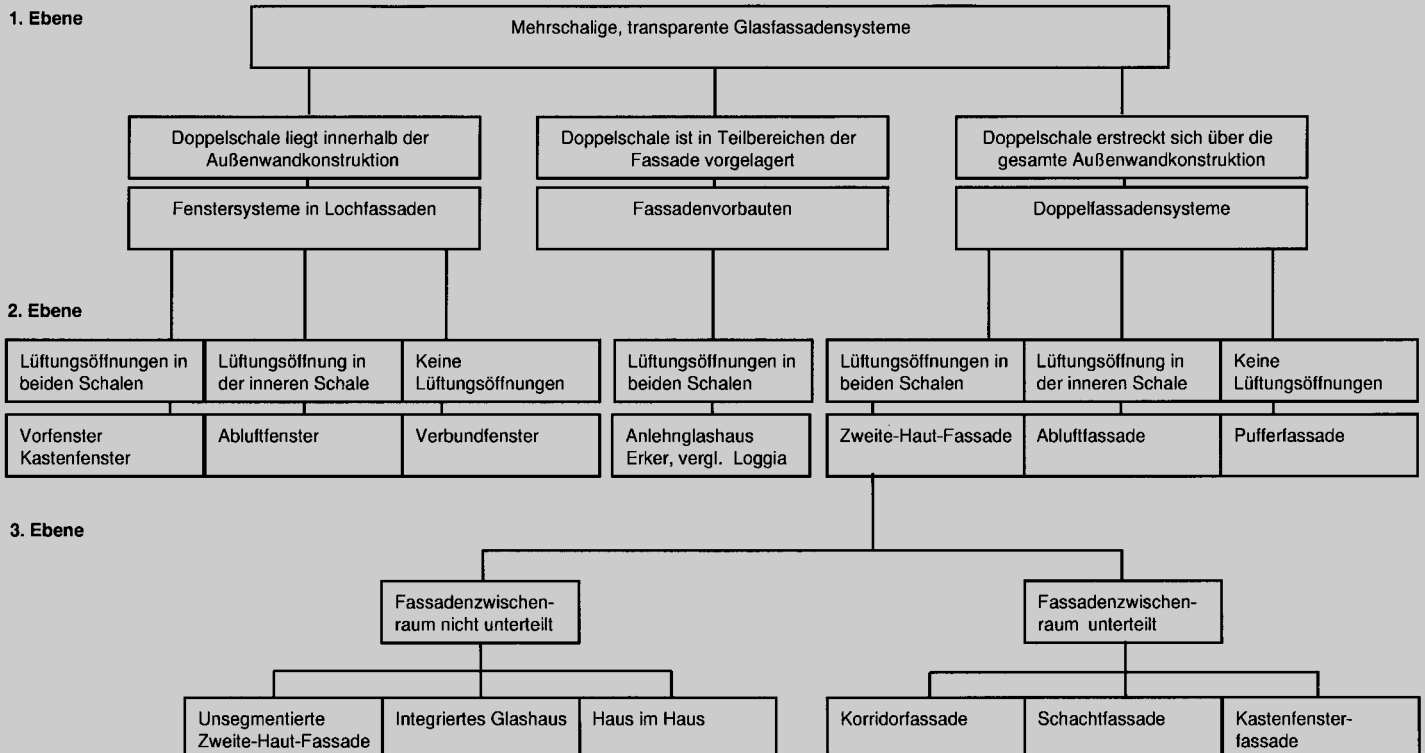
Wesentliches Merkmal von Fassadenverbauten ist die Anordnung einer zweiten Glashülle in einem größeren Abstand vor der eigentlichen Außenwand. Hierdurch entsteht ein Zwischentemperaturbereich, der eine temporäre Nutzung zuläßt. Die eigentliche Außenwand bleibt in der Regel als Gebäudeabschluß erkennbar. Zu diesem Fassadentyp sind Anlehnglashäuser, Erker und verglaste Loggien zu zählen.

### III. Doppelschale über gesamte Außenwandkonstruktion

Bei dieser Fassadenvariante befindet sich vor oder hinter der eigentlichen Glasfassade eine zweite Verglasungsebene. Diese mehrschalige Konstruktion wird allgemein als 'Doppelfassade' bezeichnet, ohne daß damit bestimmte funktionalen Eigenschaften verknüpft werden können.

Zu Doppelfassaden gehören Zweite-Haut-Fassaden, Abluftfassaden sowie Pufferfassaden. Obwohl sie sich gestalterisch stark ähneln können, unterscheiden sie sich in den Möglichkeiten der natürlichen Lüftung.

Verglaste Loggia eines Wohngebäudes in La Coruna, Spanien

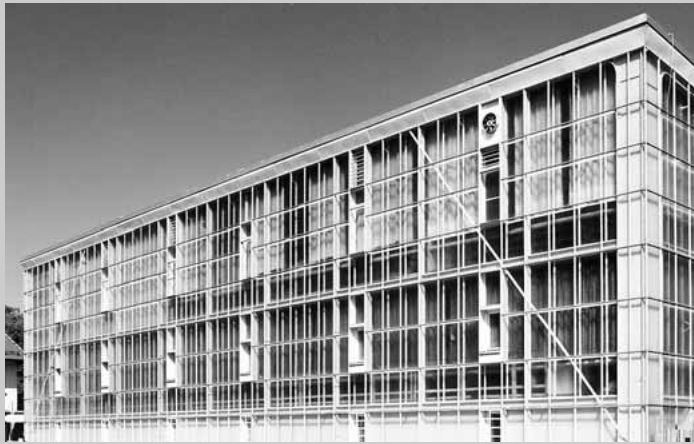




Rechts: Abluftfassade  
Lloyds Bürogebäude,  
London. Richard Rogers



Rechts: Pufferfassade,  
Steiff-Fabrik in Gingen/  
Brenz, 1903. Detail



Oben: unsegmentierte  
Zweite-Haut-Fassade,  
Wohn-/ Geschäftshaus,  
Steidle, Ansicht; rechts:  
Blick in Zwischenraum



Links: Korridorfassade  
Verwaltungsgebäude Oli-  
vetti, Ivrea (Italien). Figi-  
ni et Pollini, Milano 1940

Unten: Zweite-Haut-Fas-  
sade mit regelbarer Hin-  
terlüftung, Bayrische  
Vereinsbank Stuttgart.  
Behnisch + Partner.



Links: Schachtfassade,  
Telekom-Verwaltung,  
Köln

## Fenstersysteme in Lochfassaden

### Lüftungsöffnungen in beiden Schalen

**Vorfenster:** Zur Verbesserung des Wärmeschutzes in der kalten Jahreszeit wird vor einen einfach verglasten Rahmen ein zweiter gesetzt, der meist flächenbündig mit der Außenseite der Wandkonstruktion abschließt. Nach außen aufschlagend und häufig nur mit einer Drahtschlaufe befestigt, ist das Vorfenster eine sehr einfache baukonstruktive Lösung, die Wärmeschutzeigenschaften des Fensters den klimatischen Bedingungen anzupassen. Charakteristisch ist dabei ihre jahreszeitenabhängige Veränderbarkeit, tageszeitenabhängige Temperaturschwankungen werden nicht berücksichtigt. Das Vorfenster ist seit Anfang des 18. Jahrhunderts gebräuchlich und noch heute bei zahlreichen Bauten in Mitteleuropa, in den historischen Zentren, aber besonders auch im ländlichen Raum zu finden.<sup>1</sup>

**Kastenfenster, Doppelfenster** bestehen aus zwei hintereinander eingebauten, beweglichen Fensterflügeln, meist mit Einfachverglasung im Abstand von ca. 10 - 20 cm. Prinzipiell kann zwischen Doppelfenstern mit feststehendem Mittelpfosten und Kastenfenstern ohne Mittelpfosten unterschieden werden. Beim Zargen-Doppelfenster lassen sich, konstruktiv bedingt, die äußeren Fensterflügel nur nach außen öffnen. Bei Winddruck werden sie in den Rahmen gepreßt, wodurch sich die Dichtigkeit erhöht. Außerdem erlaubt diese einfache Konstruktion die Verwendung schlanker Rahmenprofile, was zu einem filigranen Erscheinungsbild führt. Das aufwendiger konstruierte Kastenfenster ist langlebiger und läßt sich besser handhaben, da sämtliche Fensterflügel nach innen aufschlagen. Durch separate Öffnungs- oder Kippflügel lassen sich Wärme- und Schallschutzeigenschaften sowie Luftwechselrate den im Tagesverlauf variierenden Außenbedingungen auf einfache Weise anpassen.

### Lüftungsöffnungen in der inneren Schale

**Abluftfenster** verknüpfen die gewöhnlichen Funktionen des Fensters mit den Aufgaben der Klimatechnik, indem die verbrauchte Abluft des Raums über den Scheibenzwischenraum des Doppelfensters abgezogen wird. Zur Vermeidung von Transmissionswärmeverlusten ist die äußere Verglasung in der Regel mit Isolierglas ausgeführt. Die Durchströmung des Scheibenzwischenraums mit vorgewärmter Raumluft erhöht die Oberflächentemperatur der inneren Scheibe, wodurch gerade in der kalten Jahreszeit eine deutliche Komfortverbesserung in Fensternähe erreicht wird. Der Scheibenzwischenraum dient zugleich der Aufnahme des Sonnenschutzes, der witterungsunabhängig auch bei hohen Windgeschwindigkeiten heruntergefahren werden kann. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Abluftfensters liegt darin, daß aufgrund der Durchströmung des Scheibenzwischenraums die Strahlungswärmegewinne unmittelbar abgeführt und die Kühllasten im Rauminneren gering gehalten werden können. Diesen Vorteilen steht gegenüber, daß zur Durchströmung des Scheibenzwischenraums mechanische Antriebsenergie benötigt wird, was in der Regel zu erhöhten Investitions- und Betriebskosten im Vergleich zu Gebäuden ohne raumlufttechnische Anlagen führt.

### Ohne Lüftungsöffnungen innerhalb der Schalen

**Verbundfenster** bestehen aus zwei hintereinanderliegenden Fensterrahmen, die ohne Abstand direkt miteinander verbunden werden, wobei sich die Flügel zu Reinigungszwecken voneinander lösen lassen. Im Gegensatz zum Kastenfenster gibt es keine Möglichkeit, den Fensteraufbau den sich im Jahres- und Tageszeitenverlauf ändernden Außenbedingungen anzupassen. Der Scheibenzwischenraum ist, ähnlich wie bei Isolierverglasungen, lüftungstechnisch nicht wirksam.

## Fassadenvorbauten

### Lüftungsöffnungen in beiden Schalen

Doppelschalige Glasfassaden, deren äußere Glashaut sich nur über Teilbereiche der Außenwand erstreckt, haben in der Regel sowohl in der äußeren als auch in der inneren Schale Lüftungsöffnungen, die einen natürlichen Luftaustausch gewährleisten. Hierzu gehören folgende Fassadentypen:

**Anlehnglashaus:** Der eigentlichen Außenwand wird eine einfache Glashaut in einem größeren Abstand vorgelagert, wodurch ein Zwischentemperaturbereich entsteht, der eine Vielfalt von Nutzungen zuläßt. Diese Zone dient als thermischer Puffer, als Luftschleuse, zur Vorwärmung der Zuluft, aber auch der direkten Nutzung von Solarenergie. Ein weiteres, wesentliches Merkmal ist die Wechselwirkung zwischen transparenter Hülle, der Luft im Fassadenzwischenraum und dem dahinterliegenden Mauerwerk - soweit vorhanden. Anders als vollständig verglaste mehrschalige Konstruktionen ist dieses System in der Lage, durch die Speicherwirkung der massiven Außenwand die im Tagesverlauf entstehenden Temperaturminima und -maxima zu reduzieren und zeitlich verzögert Wärme an die angrenzenden Räume abzugeben.<sup>2</sup>

**Erker, verglaste Loggien** sind - ähnlich wie Anlehnglashäuser - Zwischentemperaturbereiche. Mit den Fensteröffnungen in der äußeren Hülle ist eine gute Abstimmung der Fassadenfunktionen wie Luftaustausch, winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz sowie Schallschutz möglich. Erker und verglaste Loggien werden im Regelfall in direktem Zusammenhang mit dem dahinterliegenden Raum angeordnet und bilden wärme-, lüftungs- und schalltechnisch eine Einheit. In dieser geschoßweisen Trennung liegt der Hauptunterschied gegenüber dem Anlehnglashaus, welches sich über mehrere Geschosse erstrecken kann und andere Eigenschaften im Hinblick auf Schall- und Brandschutz sowie Luftwechsel aufweist.

## Doppelfassaden

### Lüftungsöffnungen in beiden Schalen

**Zweite-Haut-Fassaden (ZHF):** Wesentliches Merkmal ist die Anordnung einer zweiten, in der Regel nichttragenden Schale vor der eigentlichen Außenhaut, ohne daß die natürliche Lüftung unterbunden wird. Verglichen mit einschaligen Fassaden besitzen diese Fassaden meist verbesserte Schall- sowie Wärmeschutzeigenschaften und ermöglichen eine natürliche Lüftung auch bei hohen Windgeschwindigkeiten.<sup>3</sup> Neben Schacht-, Korridor- und Kastenfensterfassaden gehören auch Fassaden in diese Kategorie, bei denen die zweite Schale in größerem Abstand angeordnet ist, wie bei integrierten Glashäusern oder beim Haus-im-Haus-Prinzip.

### Lüftungsöffnungen in der inneren Schale

**Abluftfassaden:** Analog zum Abluftfenster durchströmt erwärmte Raumluft den Fassadenzwischenraum, die zur Klimazentrale zurückgeführt wird.<sup>4</sup> Damit übernimmt die Außenhaut nicht nur Funktionen wie Wetterschutz, Wärmeschutz und Tageslichtversorgung, sondern ist als luftführender Kanal Teil der klimatischen Anlage. Die äußere Fassade wird zur Minimierung von Transmissionswärmeverlusten in der Regel in Isolierglas-technik ausgeführt. Abluftfassaden werden vor allem dann eingesetzt, wenn der Einsatz herkömmlicher Fassaden mit zu öffnenden Fensterelementen wegen Schall- und Schadstoffemissionen oder hoher Windlasten ausgeschlossen ist.

### Ohne Lüftungsöffnungen in beiden Schalen

**Pufferfassaden:** Eine vorgehängte zweite Glashaut schirmt das Gebäudeinnere ab, ohne Einbußen im Bereich der Tageslichtnutzung hinnehmen zu müssen. Erhöhter Wärmeschutz, aber auch andere Umwelteinflüsse, wie z.B. Straßenlärm, bedingen ihre Anwendung. In der Regel ist der Fassadenzwischenraum lüftungstechnisch eine in sich geschlossene Einheit, die keinen Luftwechsel zuläßt. Der Luftaustausch erfolgt über separate, kastenartige Fensterelemente, die in die Pufferfassade eingebaut sind.

## Unterteilung des Fassadenzwischenraums

Die Segmentierung des Fassadenzwischenraums bei doppelschaligen Glasfassaden ist vor allem bei Zweite-Haut-Fassaden näher zu betrachten, da sie eine sehr große Bandbreite mit recht verschiedenen funktionalen Eigenschaften aufweisen. Prinzipiell lassen sie sich in die zwei Hauptgruppen ohne Unterteilung und mit Unterteilung des Fassadenzwischenraums unterscheiden.

### Ohne Unterteilung des Fassadenzwischenraums

Es ergeben sich folgende Eigenschaften:

- Schall kann sich im Fassadenzwischenraum ungehindert ausbreiten, was zu Beeinträchtigungen in den angrenzenden Räumen führen kann.
- Feuer und Rauch können sich ähnlich wie Schall ungehindert im Fassadenzwischenraum ausbreiten.
- In Abhängigkeit von der vertikalen Ausdehnung kann sich ein deutliches Temperaturgefälle vom höchsten zum niedrigsten Punkt des Scheibenzwischenraums ausbilden, was unter Ausnutzung des thermischen Auftriebs zur verstärkten Durchlüftung des Fassadenzwischenraums im Sommer genutzt werden kann. Andererseits führt dies bei fehlender Durchlüftung sehr schnell zu hohen Lufttemperaturen im oberen Bereich und hat entsprechende Auswirkungen auf angrenzende Räume. Vorteilhaft ist jedoch die einfache Steuerbarkeit von Luftwechselrate und Pufferwirkung der Fassade, da die Anordnung von Lüftungsklappen am Fußpunkt und an der Traufe der Fassade ausreicht, um den Querschnitt von Zu- und Abluftöffnungen zu variieren.

*Unsegmentierte Zweite-Haut-Fassaden* unterscheiden sich vom integrierten Glashaus und Haus-im-Haus-Prinzip lediglich durch die Größe und Anordnung des Fassadenzwischenraums, wobei Zweite-Haut-Fassaden aufgrund des geringen Fassadenzwischenraums normalerweise keine intensive Nutzung zulassen.

*Integriertes Glashaus (Atrium):* Es besitzt ähnliche Eigenschaften wie das Anlehnglashaus, ist jedoch in der Regel von zwei bis vier Gebäudeflügeln umschlossen. Zwischen Glashaus und umgebenden Wandflächen entsteht eine intensive Wechselwirkung. Häufig wird diese Variante auch als 'Glasatrium' oder 'Klimahalle' bezeichnet. Aufgrund der solaren Gewinne und der Transmissionswärmeverluste der angrenzenden Gebäudefassaden stellt sich ganzjährig eine gegenüber der Außenluft erhöhte Raumlufttemperatur ein. Dies erweitert nicht nur die Nutzungsmöglichkeiten des Raums, sondern reduziert auch die bautechnischen Anforderungen an die angrenzenden Fassadenteile deutlich. Außerdem kann dieser Bereich in Abhängigkeit vom Grad der Bepflanzung des Raumvolumens klimatische Aufgaben wie Schadstoffreduktion, Sauerstoffanreicherung und Raumluftbefeuchtung übernehmen.<sup>5</sup>

*Haus-im-Haus-Prinzip:* Eine Glashaut umschließt als zweite Hülle das Gebäude vollständig. Durch die direkte Nutzung der Solarenergie wird die Umgebungstemperatur innenliegender Gebäudeteile erhöht, während Transmissions- und Lüftungswärmeverluste reduziert werden. Der größte Vorzug liegt in der vielfältig nutzbaren Zwischentemperaturzone. Innerhalb der Hülle kann die Luft frei zirkulieren, so daß auch weniger besonnte Bereiche deutlich erhöhte Temperaturen gegenüber der Außenluft erreichen. Bei Anordnung von Lüftungsöffnungen im oberen und unteren Fassadenbereich kann bei Überhitzungsgefahr erwärmte Luft nach oben entweichen und aufgrund des Sogeffekts kühlere Luft in Bodennähe nachströmen.

### Mit Unterteilung des Fassadenzwischenraums

Gemeinsames Merkmal dieser Fassadensysteme ist die Beeinflussung der funktionalen Fassadeneigenschaften, je nachdem, ob der Fassadenzwischenraum in horizontaler, vertikaler oder in beiden Richtungen unterteilt ist.

*Korridorfassade:* Der Fassadenzwischenraum ist durch horizontal verlaufende Stege unterteilt, wobei entweder mehrere Geschosse zusammengefaßt sein können oder das Fassadensystem geschoßweise getrennt sein kann.

- Mehrere Geschosse zusammengefaßt: Ähnlich wie bei unsegmentierten Zweite-Haut-Fassaden und integrierten Glashäusern sind die bereits angesprochenen

Teilaspekte wie Hitzestau, Brandschutz und Akustik besonders zu beachten.

#### • Geschoßweise Unterteilung:

Die Unterteilung des Fassadenzwischenraums erfolgt im Boden- und Deckenbereich des angrenzenden Raums. Die Zuluft strömt in der Regel im unteren Bereich des jeweiligen Geschosses ein, die Abluft verläßt den Fassadenkorridor im oberen Bereich. Die Gefahr der Durchmischung von ausströmender Abluft und einströmender Zuluft kann durch einen seitlichen Versatz der Lüftungsöffnungen oder einen ausreichenden vertikalen Abstand der Ein- und Ausströmöffnungen vermieden werden.

Der baukonstruktive Aufwand von Korridorfassaden ist gegenüber der unsegmentierten Zweite-Haut-Fassade nur geringfügig größer, gleichzeitig können aber eine Reihe von bauphysikalischen Problemen deutlich reduziert oder vollständig vermieden werden (Brand- und Schallschutz). Durch die Integration von regelbaren Lüftungsklappen kann die Pufferwirkung der Fassade gesteuert werden, was jedoch im Vergleich zu unsegmentierten Fassaden aufgrund der notwendigen Anzahl von Lüftungsöffnungen einen größeren konstruktiven Aufwand erfordert.

*Schachtfassade:* Der Fassadenzwischenraum ist so aufgeteilt, daß sich schachtförmige Fassadenbereiche mit geschlossener Innenschale und kastenfensterartige Fassadenbereiche mit Öffnungsflügeln auf der Fassadeninnenseite abwechseln. Der konstruktive Aufbau stellt somit eine Kombination aus unsegmentierter Zweite-Haut-Fassade im Schachtbereich und Kastenfensterfassade im Öffnungsflügelbereich dar. Der wesentliche Vorzug von Schachtfassaden besteht darin, daß der Luftwechsel der anliegenden Räume durch natürliche Prinzipien unterstützt wird (Unterdruckbildung infolge thermischen Auftriebs). Die Zufuhr von Außenluft erfolgt im unteren Bereich des Kastenfensters, wo auch die Öffnungsflügel zum angrenzenden Raum angeordnet sind. Die Abluftöffnungen befinden sich im oberen Bereich der seitlichen Trennwand zum Fassadenschacht, der aufgrund des Thermosyphoneffekts unter leichtem Unterdruck steht. Hierdurch wird die verbrauchte Luft abgesaugt und gleichzeitig die Zufuhr von Außenluft begünstigt. In geringem Umfang gibt es auch hier brandschutztechnische Probleme, die Gefahr der Durchmischung von Zu- und Abluft bei ungünstigen Witterungsverhältnissen sowie das Problem der internen Schallübertragung.

## Baufokus

*Kastenfensterfassaden* sind der baukonstruktiv aufwendigste Typ der Doppelfassade, da sowohl eine geschoßweise, horizontale als auch eine schachtartige Trennung des Fassadenzwischenraums erfolgt. Ähnlich dem traditionellen Kastenfenster bildet das einzelne Fassadenelement eine in sich geschlossene Einheit. Jede dieser Einheiten hat eigene Zu- und Abluftöffnungen, wobei die Gefahr eines Kurzschlusses der Zu- und Abluftströme übereinanderliegender Segmente, ähnlich wie bei der Korridorfassade, durch diagonal versetzte Lüftungsöffnungen verringert werden kann. Die wichtigsten Vorzüge liegen in der Vermeidung von bauphysikalischen Problemen wie Brand- und Schallschutz, da die Positionierung der vertikalen und horizontalen Trennelemente in der Regel auf den dahinterliegenden Raum, und damit auf den Nutzer ausgerichtet ist. Im Gegensatz zu unsegmentierten Zweite-Haut-Fassaden und Schachtfassaden ist die Durchströmung des Fassadenzwischenraums aufgrund des thermischen Auftriebs sehr eingeschränkt, weshalb zur Vermeidung von Überhitzungsproblemen auf ausreichend dimensionierte Lüftungsöffnungen geachtet werden muß.



## Weitere Unterscheidungsmerkmale

### Verglasung

Hier ergeben sich folgende Kombinationsmöglichkeiten, die funktional zum Teil sehr unterschiedliche Eigenschaften besitzen:

- Einfachverglasung außen und innen findet sich in der Regel bei Winterfenstern, Kastenfenstern und Pufferfassaden.
- Einfachverglasung außen, Isolierverglasung innen: Die Lage der thermischen Trennebene auf der Innenseite der Doppelfassade erlaubt die Durchströmung des Fassadenzwischenraums mit Außenluft, ohne erhöhte Transmissionswärmeverluste in Kauf nehmen zu müssen. Dieser Aufbau findet sich in der Regel bei allen Varianten der Zweite-Haut-Fassaden.
- Isolierverglasung außen, Einfachverglasung innen: Die thermische Trennebene liegt auf der Außenseite der Doppelfassade, um bei einer mechanischen Hinterlüftung des Fassadenzwischenraums mit erwärmter Raumluft die Transmissionswärmeverluste bei niedrigen Außentemperaturen gering zu halten. Dieser Fassadenaufbau findet sich bei Abluftfassaden.
- Isolierverglasung außen und innen: Diese Sonderform kann in Abhängigkeit von der Steuerbarkeit des Luftwechsels als Kombination von Pufferfassade, Abluftfassade und Zweite-Haut-Fassade angesehen werden. Konstruktiv aufwendig, kombiniert dieser Fassadenaufbau die Vorteile eines hohen Wärmedurchgangswiderstands mit der Durchströmung des Scheibenzwischenraums mit Außenluft und hohem Schallschutz.

### Abstand der Schalen

Dieses Kriterium ist für technische Aspekte wie Konstruktion, Montage und Reinigung relevant und bestimmt entscheidend die Nutzungsmöglichkeiten des Fassadenzwischenraums. Doppelfassaden wie Puffer- und Abluftfassaden haben in der Regel einen Schalenabstand bis zu 60 cm. Bei Zweite-Haut-Fassaden kann der Schalenabstand deutlich darüber liegen, wenn eine temporäre oder permanente Nutzung ermöglicht werden soll.

### Steuerung des Luftwechsels bei Zweite-Haut-Fassaden

Im Gegensatz zu Abluft- und Pufferfassaden besteht bei Zweite-Haut-Fassaden die Möglichkeit des unmittelbaren Luftaustauschs zwischen innen und außen. Der Energieverbrauch eines Gebäudes ist dabei sehr eng mit der Art und den Steuerungsmöglichkeiten des Luftaustauschs verknüpft.

- Zweite-Haut-Fassaden mit geschlossener Außenhaut bilden eine Sonderform, bei der die Zuluft mechanisch über ein Lüftungssystem in den Scheibenzwischenraum eingeblasen wird (z.B. wenn das Gebäude an schadstoff- und/ oder schallemissionsreichen Hauptverkehrsadern liegt).
- Zweite-Haut-Fassaden mit Dauerhinterlüftung stellen baukonstruktiv gesehen die geringsten Anforderungen, da weder auf hohe Fugendichtigkeit der Außenschale geachtet noch aufwendige Klappen- und Steuerungsmechanismen in die Fassade integriert werden müssen. Gegenüber einer regulierbaren Hinterlüftung lassen sich allerdings kaum Energiespareffekte erzielen. Zudem wird der Schallschutz gegenüber einschaligen Fassadensystemen nur geringfügig verbessert.
- Zweite-Haut-Fassaden mit regulierbarer Hinterlüftung bieten die Möglichkeit, den Fassadenzwischenraum temporär von der Außenluft abzuschließen, wodurch - ähnlich einer Pufferfassade - ein nicht hinterlüfteter Bereich mit guten Wärmeschutzeigenschaften entsteht. Durch die geschlossenen Zu- und Abluftöffnungen wird auch der Schallschutz erhöht, was allerdings aufgrund des unterbundenen Luftaustauschs während der Betriebszeiten des Gebäudes nur kurzfristig möglich sein wird.<sup>6</sup>

### Lage der Zu- und Abluftöffnungen bei Zweite-Haut-Fassaden

Die Anordnung der Lüftungsöffnungen in der äußeren Schale ist abhängig von der Segmentierung des Fassadenzwischenraums. Einerseits muß eine optimale Durchströmung des Fassadenzwischenraums gewährleistet, andererseits das Durchmischen von Zu- und Abluft vermieden werden. Folgende Anordnungsvarianten sind möglich:

- Lüftungsöffnungen übereinander, diagonal versetzt: Diese Anordnung findet man vor allem bei Korridor- und Kastenfensterfassaden, bei denen Zu- und Abluftöffnungen auf derselben Höhe liegen. Der diagonal angeordnete Versatz zweier im Verbund wirkender Fassadenfelder dient der Trennung von Zu- und Abluft, wobei an der Außenhaut

des Gebäudes eine geringfügige Durchmischung nicht vollständig auszuschließen ist.

- Lüftungsöffnungen übereinander, mit Abstand, sind in Anwendungsbereich und Funktionsweise ähnlich dem diagonalem Versatz. Aufgrund der Anordnung der Öffnungen ist jedes Fassadenfeld eine lüftungstechnisch unabhängige Einheit, wodurch sich Rauntrennwände an jedem Fassadenpfosten anschließen lassen (Flexibilität in der Raumeinteilung).
- Schachtsystem mit Zu- und Abluftöffnungen in räumlich getrennten Bereichen. Die Zuluft strömt in jedem Geschoß in der unteren Zone des Kastenfensters ein, die Abluft wird im oberen Bereich in den Abluftschacht geführt und kann auf Dachhöhe ausströmen. Dieses System verbindet Vorteile der Kastenfensterfassade (Unterbindung von Schallübertragung und Ausbreiten von Rauch innerhalb des Fassadenzwischenraums) mit lüftungstechnischen Vorteilen, da der thermisch bedingte Auftrieb durch Sonneneinstrahlung gefördert wird.
- Äußere Fassadenschale vollflächig zu öffnen: Das vollflächige Öffnen der äußeren Glashaut, wie bei Glaslamellenfassaden, erlaubt eine sehr effiziente Durchströmung des Fassadenzwischenraums, wodurch im Sommer unerwünschte Wärmegewinne rasch abgeführt werden können. Durch die verstellbaren Glaslamellen läßt sich die Windströmung in gewissem Umfang steuern bzw. drosseln. Im Vergleich zu Zweite-Haut-Fassaden mit durchgehenden Glasscheiben weisen diese Fassaden jedoch eine höhere Fugendichtigkeit auf und sind daher bei hohen Windgeschwindigkeiten problematisch.

## Zusammenfassung

Doppelschalige Fassadensysteme verfügen in Abhängigkeit von ihrer konstruktiven Ausbildung über viele funktionale Eigenschaften, die ihren Einsatz vorteilhaft erscheinen lassen:

- Sie ermöglichen natürliche Lüftung bei hohen Windlasten;
- sie vermeiden durch die natürliche Lüftung unter Einflußnahme des Nutzers das Sick-Building-Syndrom;
- sie erhöhen den Komfort aufgrund höherer Oberflächentemperaturen der inneren Fassadenoberfläche bei kalter Witterung;
- sie verbessern den Energiehaushalt durch die Nachtauskühlung von Gebäuden mit exponierten Speichermassen;
- sie bieten günstigen Einsatz und Schutz der Verschattungs-

einrichtungen;

- sie verbessern den Schallschutz an emissionsreichen Standorten. Diesen Argumenten werden häufig Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit dem Hinweis auf die mangelnde 'Rentabilität' der zweiten Schale entgegengehalten. Eine Betrachtungsweise, welche Rentabilität allein an Investitionskosten orientiert, ist hierbei irreführend. Es sollten Nutzerzufriedenheit und Einsparmöglichkeiten bei den (viel kurzlebigeren) RLT-Anlagen und Heizungssystemen einbezogen werden. Aufgrund der großen Vielfalt ist in jedem Einzelfall eine genaue Definition des funktionalen Anforderungsprofils unabdingbar. Die Fassade ist hierbei nicht als isoliertes Subsystem, sondern Teil des gesamten Gebäudes in seiner Wechselwirkung von Benutzern, Gebäudetechnik, baulicher Konstruktion und Energiehaushalt zu sehen.

### Anmerkungen

Der vorliegende Text gibt den ersten Teil einer laufenden Dissertation am Lehrstuhl Thomas Herzog, TU München, zum Thema Doppelfassaden wieder.

1 Erste Hinweise auf diese Konstruktionsart gehen auf Schriften zur Baukonstruktion aus dem Jahr 1691 zurück (Davilers: Cours d'Architecture), wobei im deutschen Sprachraum erste Zeugnisse aus den Jahren 1725 und 1730 stammen. Siehe: Lietz, Sabine: Das Fenster des Barock, München-Berlin 1982, S. 123.

2 Eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema Zwischentemperaturbereich und Gebäudehüllen findet sich in: Herzog, Thomas; Natterer, Julius (Hrsg.): Gebäudehüllen aus Glas und Holz. Maßnahmen zur energiebewußten Erweiterung von Wohnhäusern., Lausanne 1986.

3 In Abhängigkeit von Standort und Gebäudeausführung kann davon ausgegangen werden, daß bei

Verwaltungsbauten die Laufzeiten mechanischer Belüftungsanlagen bei der Ermöglichung natürlicher Lüftung auf 35% der Betriebszeit des Gebäudes reduziert werden können. Siehe: Werkbericht 12. Gebäudetechnik für die Zukunft - "weniger ist mehr", HL-Technik AG, München 1994, S. 39-53.

4 Erste Hinweise auf Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten mehrschaliger luftdurchströmter Glaswände finden sich bereits 1929 in Le Corbusiers Aufsatz "Die Technik als Grundlage des Lyrismus eröffnet eine neue Epoche in der Architektur". In: Le Corbusier 1929 - Feststellungen zu Architektur und Städtebau. Bauwelt Fundamente 12, Braunschweig 1987, S. 70ff.

5 Ein Überblick zu Möglichkeiten der Luftverbesserung durch interne Bepflanzung findet sich in: Daniels, Klaus: Technologie des ökologischen Bauens, Basel u.a. 1995, S. 194-197.

6 Nach Angaben des Ingenieurbüros Drees & Sommer verbessert sich der Schallschutz bei permanent hinterlüfteten Fassaden um etwa 5 - 10 dB, bei regulierbarer Hinterlüftung um 20 - 30 dB. Während bei einer hinterlüfteten Zweite-Haut-Fassade kaum Energiespareffekte zu erwarten sind, ergibt sich bei regulierbarer Hinterlüftung eine Verbesserung des Wärmeschutzes um 30 - 50%; siehe: Österle, Eberhard: Doppelschalige Fassaden, ein Konzept der Zukunft? In: DAB 9/94, S. 1397-1400.

## Bürohochhaus mit hybrider Lüftung

Nach verschiedensten Untersuchungen zu Standortalternativen auf dem Messegelände Hannover beauftragte die Deutsche Messe AG die Architekten Thomas Herzog + Partner, München, mit dem Bau eines Erweiterungsgebäudes für ihre Verwaltung. Erwartet wurden hohe Arbeitsplatzqualität und innovativer Einsatz von Umweltenergie.

### Das Gebäude

Das Baugrundstück liegt unmittelbar hinter dem Messeeingang Nord. Die beengte Grundstückssituation lieferte den Anlaß für ein hohes Gebäude: Einem 67 m hohen Büroturm mit quadratischem Grundriß (24 x 24 m) sind auf einem Grundstück von 40 auf 40 m im Nordosten und Südwesten zwei Kerne von 70 bzw. 85 m Höhe angelagert. Sie stehen unmittelbar neben dem Verwaltungsgebäude und den angrenzenden Messehallen. Diametral gegenüberliegende, außen angeordnete Fluchtwege erlauben vergleichsweise geringe Brandschutzauflagen für die Nutzungseinheiten von je 400 qm pro Etage.

Oberhalb der dreigeschossigen, zurückgesetzten Eingangshalle mit Vorfahrt, enthält das Gebäude 14 Bürogeschosse, eine Vorstandsetage und die sogenannte "Hermes-Lounge", sowie ein Technik-Geschoß auf Ebene -1. Die Geschosse des bestehenden Verwaltungsbaus sind durch Übergänge angebunden. Die einzelnen Bürogeschosse können individuell unterschiedlich aufgeteilt werden: je Geschosß lassen sich 15 - 20 Arbeitsplätze mit Fassadenanschluß als Großraum-, Kombi-, oder Zellenbüro realisieren. Dabei wird die

Mittelzone als Gemeinschaftsfläche genutzt. Die komplett verglaste Eingangshalle könnte im Zuge einer möglichen Neugestaltung des Messe-Eingangs Nord die Haupterschließung der Messeverwaltung darstellen. Räumlich orientiert sich das Gebäude über die Diagonale vom Nordeingang in Richtung auf einen der drei "Grünfinger" - hier mit Informations- und Pressezentrum - des Messegeländes.

Das Tragwerk, ein Stahlbetonskelett aus 30 cm dicken Ortbetondecken auf 16 Stützen im Abstand von 6,20 m bzw. 7,20 m, wird durch die Stahlbetonkerne ausgesteift. Die Büroetagen umhüllt eine Doppelfassade, welche innen aus Holz und Glas mit integrierter Brüstungskanal und außen aus Stahl und Glas in Pfosten-Riegel-Bauweise konstruiert ist. Die hier gewählten horizontal durchlaufenden Abschnitte wirken sich einerseits günstig auf das Strahlungsmilieu des umhüllten Innenraumes aus, andererseits ermöglichen sie die geschoßhohe Verglasung, bieten Raum für wind- und wettergeschützten einfachen Sonnenschutz und bergen die horizontale Brandüberschlagschürze. In den begehbaren Wartungsgängen sind ohne Beeinträchtigung der Büronutzung die äußeren Stützen angeordnet.

### Thermisches Konzept

Beheizung und Kühlung beruhen auf thermischer Aktivierung der Gebäudemassen. Die massiven Geschoßdecken dienen als Speicher für das im Verbundestrich verlegte Heiz- und Kühlsystem. Es wird erwartet, daß interne Wärmequellen wie Personen, Geräte und Leuchten weitgehend ausreichen werden, um das Gebäude zu beheizen. Zur Erzeugung der darüber hinaus erforderlichen Wärme ist ein

gasbetriebenes Blockheizkraftwerk mit Absorptionskältemaschine geplant. Ein Gas-Brennwertkessel zur Spitzenlastabdeckung und Sicherstellung der Betriebssicherheit der Energieerzeugungsträger kommt zusätzlich zum Einsatz.

### Lüftung

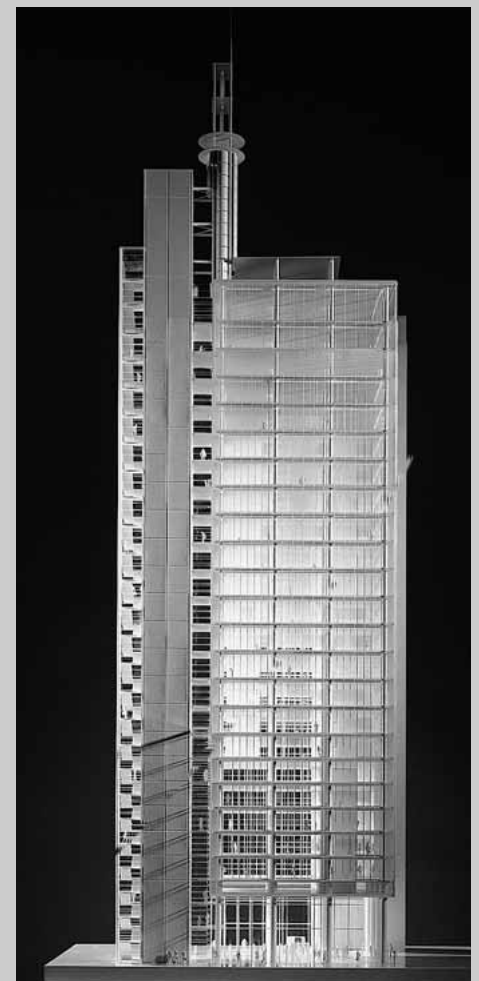
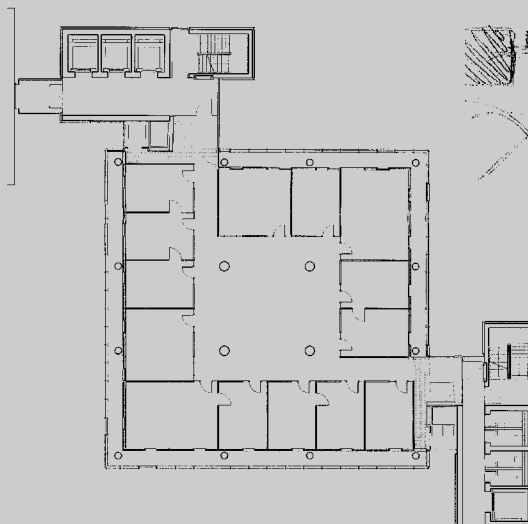
Die horizontalen Abschnitte dienen als luftführendes System mit hohen Luftvolumenströmen und niedrigen Luftgeschwindigkeiten. Die Büroräume werden vom Fassadenzwischenraum aus durch Schiebetüren belüftet. Zusätzlich ist im Brüstungsbereich ein Luftauslaß integriert, der die Lüftungsfunktion bei geschlossenem Fenster übernimmt. Individuelle Bedienbarkeit und Automatik des Gebäudelüftungssystems sind mechanisch so gekoppelt, daß bei manuell geöffnetem Fenster Lüftungswärmeverluste vermieden werden.

Die Abluft wird mit Hilfe eines zentralen Kanal- und Schachtsystems über einen Rotationswärmetauscher aus dem Gebäude geführt. Durch Vorwärmen der Außenluft über diesen Wär-

## Baufokus

metauscher wird aus der Abluft bis zu 85% ihres Energiegehaltes wiedergewonnen. Geschoßweise Regelung der Zu- und Abluft erfolgt durch elektrisch betriebene Volumenstromregler. Im Prinzip handelt es sich um ein hybrides Lüftungssystem in zweierlei Hinsicht: Einerseits kommt lokal das mechanische, in die Fassade integrierte Zuluftsystem nur ergänzend zur natürlichen, durch den Nutzer individuell in Menge und Temperatur regelbaren Fensterlüftung zur Wirkung. Andererseits wird die natürliche Durchlüftung auch im übergeordneten Maßstab lediglich durch das mechanische System ergänzt. Auf dieser Ebene wird die Basislüftung rein durch Naturkräfte, also durch die inneren Aufwindkräfte des hohen Gebäudes, sowie durch die zu erwartende Windanströmung am Schachtkopf und dessen entsprechender Ausformung (Venturi-Effekt) erzeugt. Insgesamt soll ein minimaler Einsatz von Primärenergie erreicht werden.

Unten: Städtebauliche Eingangssituation Messe; rechts: Modellfoto; unten links: Grundriß Normalgeschoß





## Firmenportrait

**Gebrüder Kufferath Düren – GKD**  
1925 wurde GKD zur Herstellung von Metallgeweben für neue technische Anwendungen gegründet. Aufgrund einer Vereinbarung innerhalb der Industriellen-Familie welche schon seit 1782 unter der Firmierung 'Andreas Kufferath' Metallsiebe für die Papierindustrie produziert, sollte die Neugründung Josef Kufferaths, des Großvaters der heutigen Geschäftsführer Ingo und Dr. Stephan Kufferath-Kassner, dem alteingesessenen Betrieb nicht auf eigenem Feld Konkurrenz machen. So war die neue Gesellschaft von Gründung an stets auf die Erschließung neuer Bereiche außerhalb des Dürener Standardgeschäftes festgelegt und der Zwang zur Innovation der Unternehmung einbeschrieben. Im Strukturwandel von der Schwer- zu Feinindustrie und

Verfahrenstechnik war die Produktion durch vielfältige Ansätze flexibel und konnte in der Technologie schnell an neue Bedingungen angepasst werden. In den ersten Jahrzehnten der Firma ergaben sich neue Möglichkeiten für den Einsatz von Geweben zunächst für Filter und Siebe bei großchemischen Industrieverfahren und im Bergbau. Die zunehmende Automatisierung erforderte ab ca. 1968 immer neue Varianten sogenannter Prozeßbänder, den Förderbändern in industriellen Prozessen. Diese wurden zunächst für den Ofen- und Trocknerbau hergestellt. Metallgewebe, insbesondere aus Edelstahl, kam durch ihre Beständigkeit und Hygiene-Erfordernisse auch bei der Lebensmittelverarbeitung, eine Schlüsselrolle zu. Dennoch werden auch bei GKD Gewebe für die Nahrungsmittelverarbeitung zum Teil mit der gleichen Technologie aus Kunst

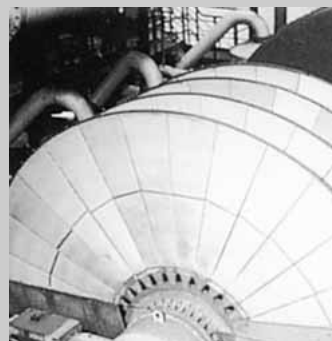
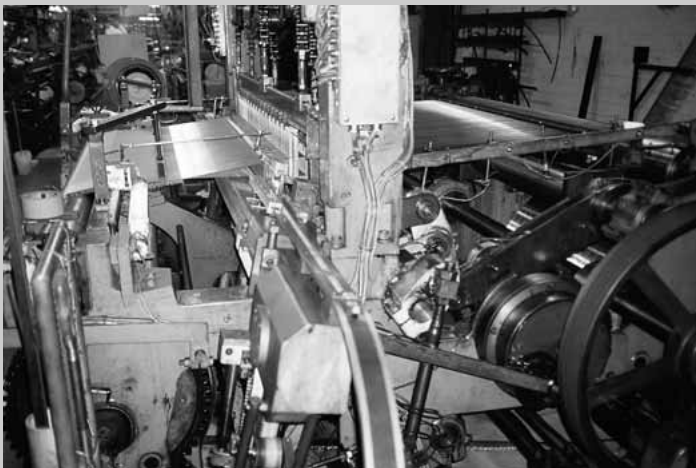
stoffen hergestellt. Durch Übernahme der 'Dürener Metalltuch KG' 1983 hat sich die Firma stark vergrößert und im Angebot diversifiziert.

Als Ende der achtziger Jahre die Absatzmärkte für technische Gewebe im Osteuropa zusammenbrachen, hat die Geschäftsführung erneut begonnen, konsequent nach neuen Einsatzmöglichkeiten für Metallgewebe zu suchen. Aus diesen Anstrengungen hat sich in den letzten Jahren neben modernen Anwendungen in der Sieb- und Filtertechnik wie der medizinischen Blutfiltration oder der umwelttechnologischen Filtertechnik, sowie den Prozeßbändern der am stärksten dynamische dritte Geschäftsbereich 'Architektur und Design' mit einem hohen Anteil am Firmenumsatz von derzeit weltweit ca. 90 Millionen DM entwickelt.

### Technologie

Bei aller Verschiedenartigkeit im Einsatz sind die technischen Voraussetzungen für die Herstellung der Gewebe stets gleich. Kette und Schußdraht werden auf mechanischen Webstühlen in gleichbleibender Präzision miteinander

verwoben. Hierfür werden von einer bis zu 8 m langen Drahtspule tausende Kettfäden in mehreren einzeln aufgespulten Scharen parallel durch Riete geführt und beim Weben mit einer Walzenführung abwechselnd über oder unter die Schußstrecke angehoben oder abgesenkt. Mit automatischen Schusseintragsverfahren werden die Querdrähte – bereits fertig abgelängt oder endlos von der Spule – eingeschossen. Bei der 'Hardware', den Webstühlen extrem unterschiedlicher Größe, handelt es sich bei Gebrüder Kufferath meist um gußeiserne Webrahmen aller Baujahre mit je nach Bedarf anpaßbarer Mechanik aus Stangen, Führungen und Preßluftantrieben. Mit den erforderlichen Wellen, Spannvorrichtungen und Spulen für Reservekettdrähte verbreitet dieser Teil der Technik in den architektonisch anspruchslosen Hallen die Atmosphäre einer ganzen Batterie laufender Dampfmaschinen. Auf der anderen Seite steht bei GKD als 'Software' eine differenzierte Steuertechnik in Kombination mit hochpräzisen Stellmotoren, welche auf Basis branchenüblicher Lösungen im Hause



Oben: Technisches Metallgewebe ist in Kettrichtung biegsam, in Schussrichtung steif. Links: Schlammmentwässerungsanlage aus dem Bergbau.

Oben: Einfädeln der Kettdrähte in Riet. Unten: Feinwebstuhl mit automatisiertem Schusseintragsystem im Vordergrund und Fachbildung.

Rechts: Zur Vermeidung von Verwirbelungen in einem Flugzeugtriebwerk eingesetztes Metallfeinewebe für Luft- und Raumfahrttechnik.



selbst entscheidend weiterentwickelt und verfeinert wird.

Angesichts der Widerstandsfähigkeit des verarbeiteten Materials (Edelstahlstränge bis zu 10 mm Durchmesser) kommen für Webkamm und Riete enorme Anpreßdrücke von bis zu 10 t zum tragen. Durch den Markt für technische Gewebe wird extreme Präzision gefordert, welche trotz der entsprechenden Kräfte und Verformungen erreicht werden kann. Das Spektrum der angebotenen Webdichten reicht von Architekturgeweben mit nahezu fingerdicken Schußdrähten in Lieferformaten von 8 m x 100 m als Rollenware bis zu feinsten Schutzhüllen mit Drahtstärken von 0,02 mm beispielsweise für die Explosionskammern von Airbags aus der Fahrzeugindustrie.

Diese feinen Gewebe mit 1200 Webfäden pro cm werden bei GKD parallel zu den Kettfäden in ca. 10 mm breite Streifen geschnitten, mit welchen dann bei den Fahrzeugzulieferern die Explosionskammern der Airbags umwickelt werden. Die feinen Gewebe halten beim blitzschnellen Füllvorgang des Prallsacks die in der Luft enthaltenen Partikel zurück, um Verletzungen von Sack und Passagieren beim Aufprall auszuschließen. Nur extreme Präzision in der Gewebeherstellung erlaubt innerhalb des feinen Gewebes die Festlegung von Schnittbereichen, denn würde der Trennschnitt den schmalen Bereich von ca. 1/1000 mm zwischen zwei Kettfäden verfehlen, entstünden feine Abschnitte vom Kettfaden und damit auch als Folge der Explosion hinter dem Sieb eine Quelle heißer, beschleunigter Partikel.

## Materialanmutung

Mit dem neuen Einsatzfeld Architektur-Metallgewebe hat GKD Anfang der 90er Jahre erneut einen komplett neuen Markt erschlossen. Dabei spielte wiederum die Fähigkeit des Managements eine entscheidende Rolle, über die direkten technischen Anforderungen hinaus, bis damals noch nicht verwertete Materialqualitäten des eigenen Produktes einzuschätzen und bewerten zu können. Der Kontakt zur Architektur entstand durch einen Fachartikel über die Bibliothèque Nationale de France für welche Perrault nach einem, semitransparenten Fassadenmaterial aus Drahtgewebe in ungewöhnlich großen Abmessungen suchte.

Es wurde unmittelbar ein Termin in Paris vereinbart und daraufhin gemeinsam intensiv an der Verwirklichung der von Perrault gewünschten Materialeigenschaften gearbeitet. Dominique Perrault bringt mit den Metallgeweben eine grundsätzlich neue Qualität in die Architektur. Während für Transparenz in der Baukonstruktion bislang nur Glas verwendet wurde und semitransparente Strukturen seit Jahrhunderten meist durch mehr oder weniger viele Löcher in opaken Materialien erzeugt wurden (zuletzt in der omnipräsenten Lochblechmode seit Ende der achtziger Jahre), erlauben Metallgewebe das fast unkontrollierbare Zusammenspiel vieler gekrümmter, lichtreflektierender Metalloberflächen in mehreren hintereinanderliegenden räumlichen Schichten in kleinstem Maßstab über bislang unbekannte homogene Bauteildimensionen. Maschenweite und Drahtdicke,

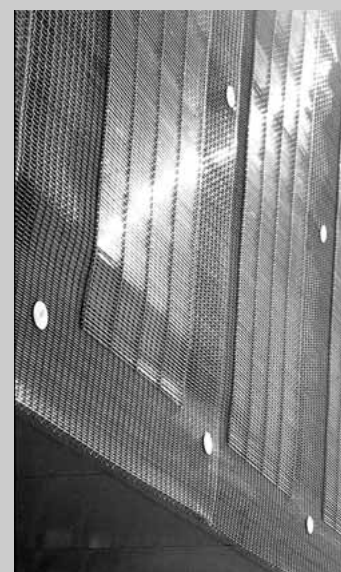
Biegung und Oberflächen lassen sich durch die ausgereifte industrielle Webtechnik genau festlegen und kontrollieren. Das Material ist zugleich extrem robust und geschmeidig und kann durch alle bekannten Heft-, Näh- und Fügetechniken aus Textil- und Stahlindustrie verknüpft werden.

Das entscheidende bei den Arbeiten Perraults ist jedoch die Frage der Dimension. Seine Arbeitsweise erlaubt es, Architektur und Material eigenständig zur Geltung kommen zu lassen, Mikro- und Makroebene wirken gleichzeitig. Besonders interessant sind dabei für Perrault die nicht kalkulierbaren Eigenschaften, die durch dieses Zusammenwirken der Maßstabebenen erst entstehen. Interferenzen, Lichtbrechung und Moirées erinnern an Doppelspaltexperimente aus der Physik. Perraults zwei neue Berliner Stadien sind beide vollständig mit Metallgeweben verkleidet



und erzeugen von weitem die Illusion spiegelnder Wasseroberflächen in einer baumbestandenen ParkLandschaft. Auf den spiralförmigen Zugangswegen zu den Zuschauerebenen wird bei der Annäherung gleichzeitig die Gebäudestruktur und die Mikrostruktur der gewebten Oberfläche erkennbar.

In einem aktuellen Projekt für eine Sportarena in Barcelona entwickeln GKD und Perrault gegenwärtig eine transparente Überdachung aus Metallgewebe auf einem leichten Flächentragwerk als Seilnetzkonstruktion nach dem Prinzip des Münchener Olympiastadions. Bei dieser Arbeit geht es Perrault um die Natürlichkeit der Hülle als widerstandsfähiges und beständiges, gleichzeitiges flexibles Material. Wie bei einer Pflanze soll das Gewebe an unterschiedlichen Orten der Hülle unterschiedlichen Funktionen genügen und gleichzeitig ein einheitliches Erscheinungsbild erzeugen. Während das Gewebe auf Eingangsebene Zugangskontrolle und Einbruchschutz leistet, soll es auf den oberen Gebäudeebenen Brüstung und Geländer bilden und im Bereich des Daches Sonnenschutz gewährleisten.

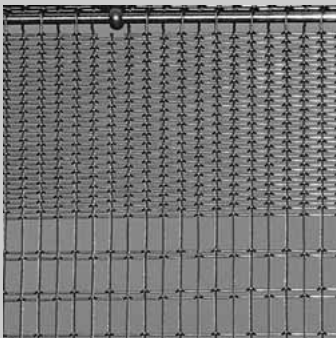


Radsporthalle Berlin, links: Transparenz und Moirée, Reflexion und Geschmeidigkeit, oben: Relief und Brillanz des Metallgewebes am selben Ort zu gleicher Stunde.



## Physikalische Eigenschaften

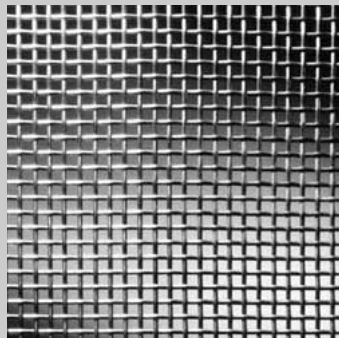
Der für Architektur-Metallgewebe eingesetzte Edelstahl erreicht seine Korrosions- und Witterungsbeständigkeit durch eine hauchdünnen Passivschicht, die durch die Verbindung des Chromgehaltes im Stahl mit dem Sauerstoff in der Luft entsteht. Sie bildet sich auf der glatten, metallisch sauberen Oberfläche, wehrt aggressive Substanzen ab und schützt das Material vor Beschädigung. Nach Beschädigungen bildet sich die Schicht in Bruchteilen von Sekunden aus der Matrix des Stahls heraus neu. Bei den Architektur-Metallgeweben werden vor allem Chrom-Nickel-Stähle und in Küstennähe oder belasteter Industriatmosphäre Chrom-Nickel-Molybdän-Stahl verwendet. Das Material eignet sich für den Einsatz als schalldämmende, nichtbrennbare Wandbespannung und als Deckenabhängung. Durch die Gewebestruktur wird der Schall gebrochen, an dahinterliegende Schichten weitergeleitet und von ihnen absorbiert. Durch die ausschließliche Verwendung von Edelstahl läßt sich das Material problemlos recyceln und zu 100% wiederverwenden.



## Gewebearten

Metallgewebe werden aus gezogenen Drähten gewebt. Das Weben führt bereits zu interessanten Drahtverformungen, die Einfluß auf die Wirkung der Metall-Gewebsoberflächen nehmen. Die Wahl des Musters bestimmt im wesentlichen die Struktur der Oberflächen und ihre optische Wirkung. Für ein Gewebe muß jeweils mindestens eine Schar Webdrähte räumlich verformt werden. Am einfachsten wird dies durch Verwendung von flexiblen Drahtseilen in einer Richtung erreicht. Bei GKD werden jedoch auch Gewebe mit Seilen in zwei Richtungen oder ganz aus starren Drähten hergestellt. Bei steifen Schußdrähten und einem erwünschten geraden Verlauf der Kette werden verformte bzw. ausgeklinkte Schußdrähte verwendet. Durch Variation der Materialart zwischen Seil und Drähten unterschiedlicher Stärken sowie durch rhythmische Anordnung der Kettfäden können projektbezogen einzelne Materialqualitäten herausgearbeitet werden.

Neben den technischen Geweben erzeugt GKD für Architektur und Design auch einzelne Sonderprodukte wie beispielsweise Spiralgeflecht aus flexibel durch Stangen verbundenen Stahlwickelbändern.



Links: Gewebearten von oben: 'Sambesi', 'Omega' mit vorgekröpftem Schußdraht, offen und semitransparent, oben: 'Luna', darunter: 'Ocean' für Wandverkleidungen, Projektionsflächen.

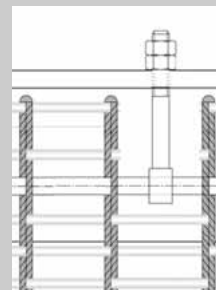
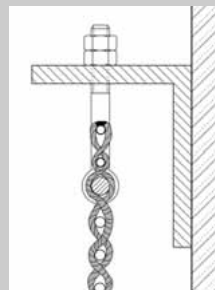
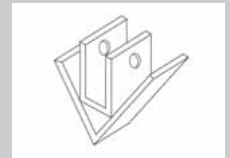
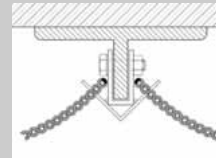
## Befestigungstechnik

Aus der Bibliothèque de France und späteren Projekten haben sich durch enge Zusammenarbeit von GKD mit den Architekten eine Reihe von Standardbefestigungspunkten für Gewebe bei Innen- und Außenanwendung entwickelt. Für Brüstungen und Füllungen erlauben Rahmenklemmbefestigungen ebene oder bei aufrechtem Einsatz und vertikalen Schußdrähten auch gekrümmte Montage. Freihängen der Einsatz der Gewebe führt bei horizontalen Schußdrähten zu ebenen vertikalen oder einfachgekrümmten Flächen im Kettenlinienprofil. Durch die hohe Gewebepräzision sind bei regelmäßiger

Aufhängung auch ohne Justiermöglichkeiten gleichmäßige Reihungen möglich. Eine Reihe starrer wie justierbarer Standardbefestigungen erlauben vereinfachte Demontage der Gewebe zu Reinigungs- und Revisionszwecken. Diese Befestigungslösungen sind besonders für den Einsatz als Verkleidungen oder für abgehängte Decken geeignet. Neben den angebotenen Standardlösungen werden Spezialbefestigungen projektbezogen gemeinsam mit einem firmeneigenen Planungsteam entwickelt und dann auf Funktionsfähigkeit und Realisierbarkeit geprüft.

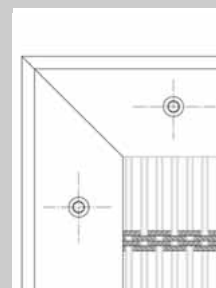
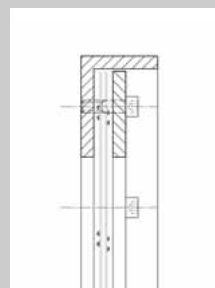
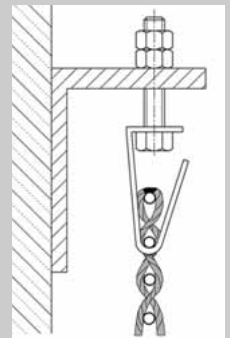
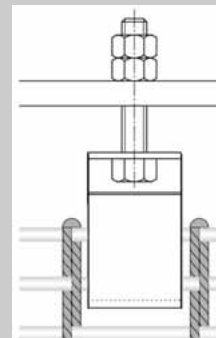
Thomas Kaup

Rechts: Für die bogenförmigen Deckenabhängungen der Bibliothek Edelstahlhaken auf T-Profil zur Deckenmontage und Einhängen.



Links: Gewebefestigung mit Rundstange. Anstelle der Schußdrähte wird am Geweberand eine Stange in das Fach eingeschoben. Das Gewebe kann mit Augenschrauben auf der Unterkonstruktion verspannt werden.

Rechts: Gewebefestigung mit Edelstahlhaken. In die Maschen des Gewebes werden Edelstahlhaken eingehängt, die jeweils mit Mutter und Kontermutter befestigt werden, justiert werden und gespannt werden können.



Links: Gewebefestigung in einer Rahmenkonstruktion. Das Gewebe wird in einen Rahmen aus Winkelprofilen eingelegt und mit Flachmaterial rundherum gesichert. Konstruktion eignet sich für Brüstungen, Sonnenschutz, etc.

