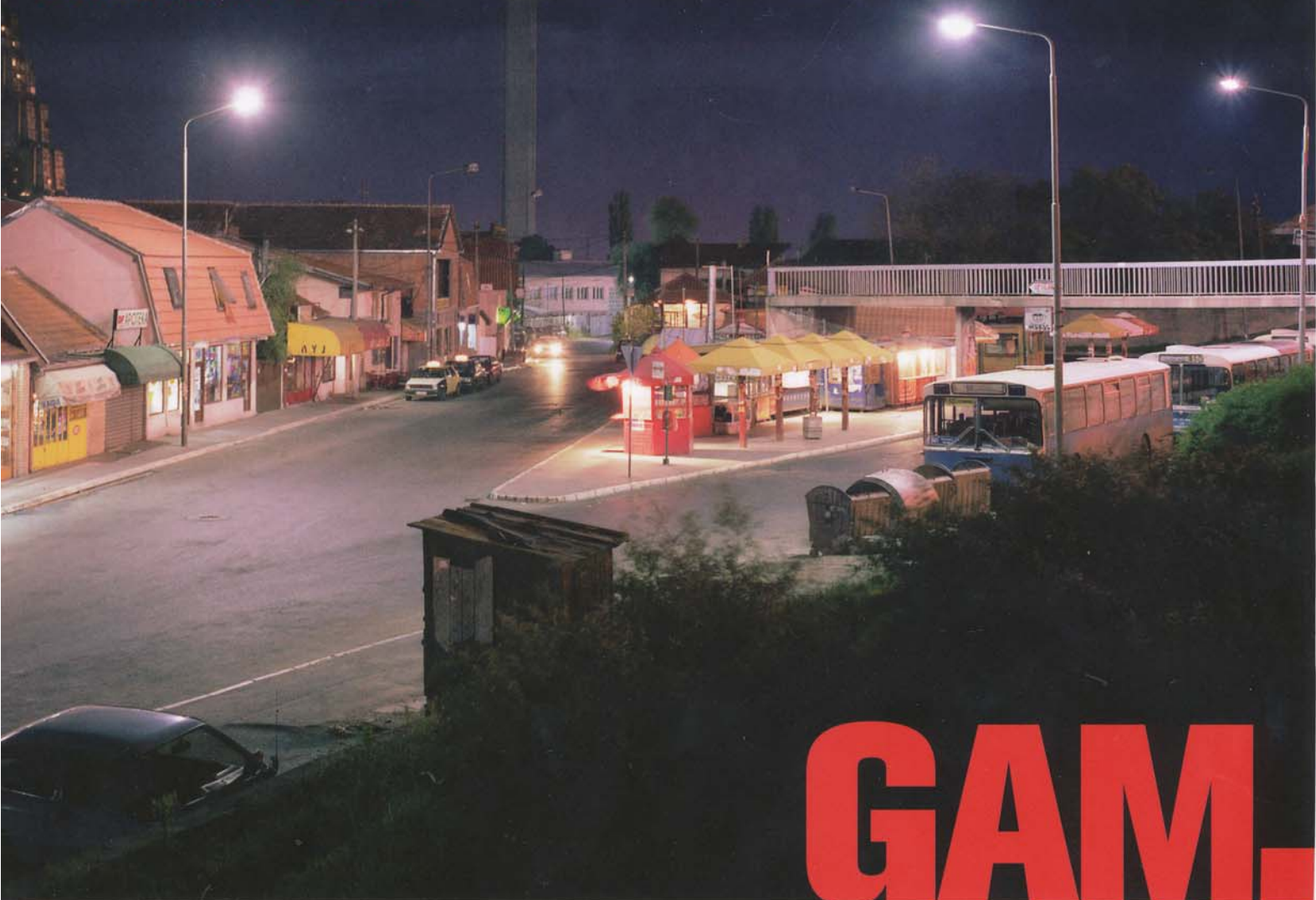


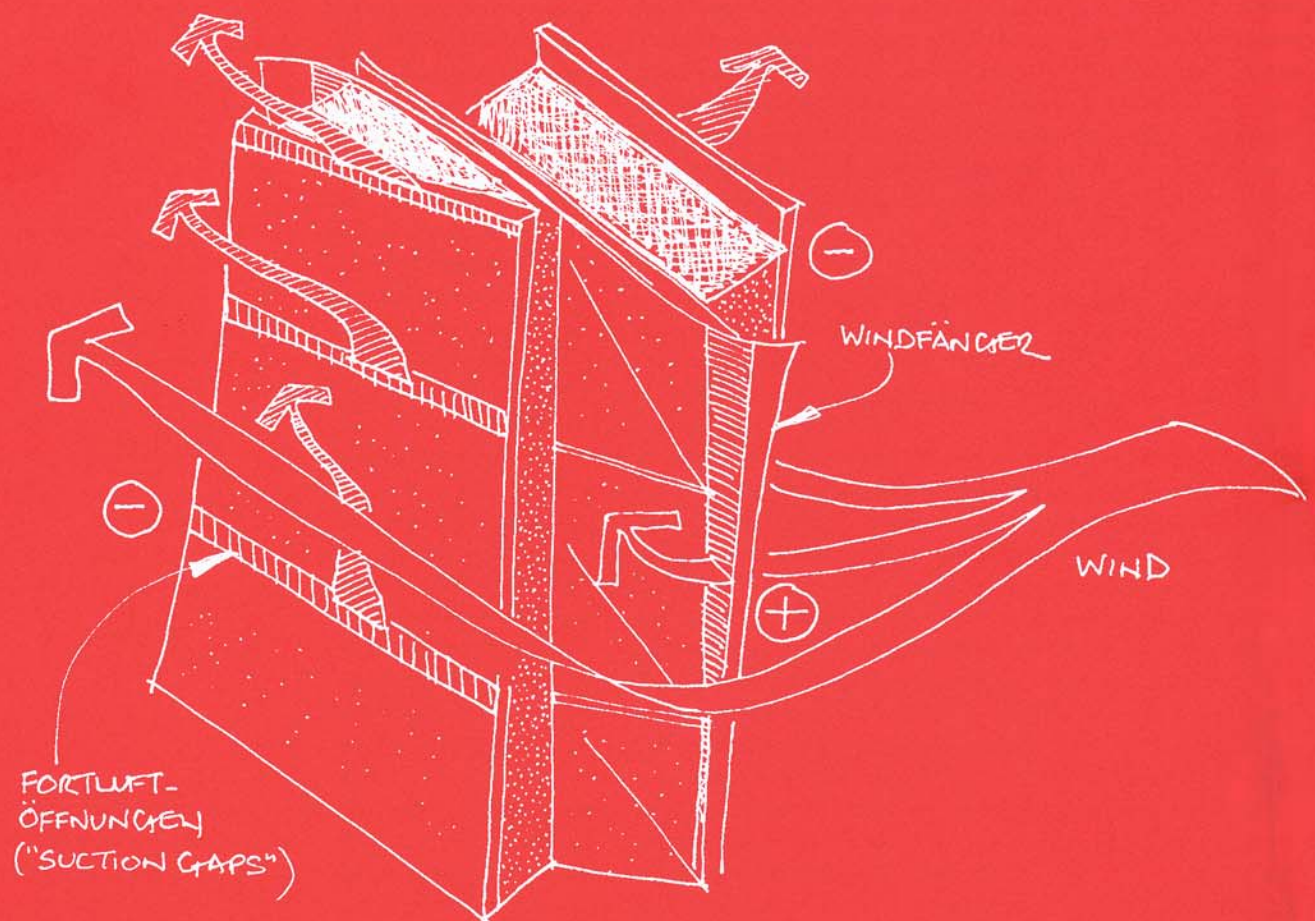


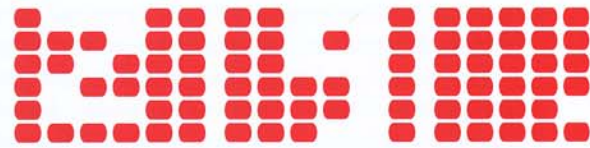
Design Science in Architecture



GAM.

GRAZ ARCHITECTURE MAGAZINE 02





Form follows Energy

Form follows Energy. Um die gesellschaftlichen Ziele im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung unserer Umwelt zu erreichen, wissen wir, dass die Energieeffizienz und Ökologie eines jeden Gebäudes heute ganz oben auf der Agenda aller Planenden stehen (müssen). Man könnte meinen, dass das Einbeziehen der Aspekte von Ökologie und Energieperformance zu ganz neuen Formen in der Architektur führen müsste. Dies ist aber bis heute kaum der Fall. Abgesehen von einigen wenigen Beispielen, entstehen in der Regel die in der allgemeinen architektonischen Fachwelt eher verpönten „Öko-Häuser“ – meist Einfamilienhäuser mit einer zusammenhangslosen Kombination von Holzelementen,

In our efforts to achieve societal goals with regard to sustainable development, it would seem that strategies for achieving energy efficiency in the built environment must or at least should be one of the key drivers in the design of our buildings. One might even think that the inclusion of these aspects would inevitably lead to a radically new architectural language. This is however as of yet not the case. Leaving aside a few exceptions, the majority of buildings with an “Eco-Label” have been single family homes with an unconnected composition of wood

dicker Wärmedämmung, Sonnenkollektoren und einem aufgesetzten Wintergarten. Oder es wird behauptet, dass die Überlegungen zur Ökologie und Energieeffizienz im Entwurf so gut versteckt sind, dass man davon (architektonisch) nichts mehr merkt. Auf der anderen Seite sind Fragmente einer neuen architektonischen Formsprache in den letzten zehn Jahren schon entstanden, die mit Aspekten der Energieeffizienz zu tun haben; man denke nur an Atrien, Wintergärten, Doppelfassaden, fassadenintegrierte PV-Module, sichtbare Lüftungstürme und Kamine, Lichtschwerter u. ä.

Bevor man sich zur Beziehung zwischen Form und Energie in der Architektur hinwendet, muss man zunächst über den Begriff „Form“ und seine Verwendung im architektonischen Diskurs nachdenken. Der Begriff wird zum einen verwendet, wenn es um das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes im Allgemeinen geht und die architektonischen Elemente und Ausdrucksmittel, die dieses bestimmen; also im Sinne einer Formsprache. In diesem Beitrag wird der Begriff „*Formsprache*“ hierfür verwendet. Der Begriff wird zum anderen verwendet, wenn es um die äußere Gestalt/Figur bzw. den Umriss eines Gebäudes geht. Hierfür wird in diesem Beitrag der Begriff „*Form*“ verwendet.

Gibt es eine Beziehung zwischen der architektonischen *Formsprache* und der Energieeffizienz eines Gebäudes? Auf welchen Strategien eines Entwurfs beruht die Energieeffizienz? Welche von diesen Strategien finden einen architektonischen Ausdruck und welche bleiben architektonisch nicht wahrnehmbar?

Gibt es eine Beziehung zwischen der *Form* und der Energieeffizienz eines Bauwerks? Wenn ja, wie ausgeprägt ist sie? Wächst der Einfluss von Aspekten der Energieeffizienz in der *Formfindung* der heutigen Architektur? Wieso gibt es so wenige gebaute Beispiele, bei denen die *Form* des Gebäudes von Aspekten der Energieeffizienz abgeleitet ist?

Führt das Einbeziehen von Überlegungen zur Energieeffizienz und Nachhaltigkeit zwangsläufig zu einer neuen *Formsprache*? Oder sogar zu neuen *Formen*? Oder ist es denkbar, die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit eines Gebäudes unabhängig von seiner Architekturstilrichtung und ohne Auswirkungen auf den gewollten architektonischen Eindruck so zu optimieren, dass die o. a. gesellschaftlichen Ziele trotzdem erreicht werden können?

Tendenzen. Mit der Entwicklung von gebäudetechnischen Systemen wie beispielsweise Klimatisierung, künstliche Beleuchtung und Aufzüge wurde der Anbruch der modernen Architektur erst möglich. Diese Entwicklung hat letztendlich dazu beigetragen, dass zeitgenössische Gebäude – im Unterschied zu denen in der traditionellen Architektur – überall auf der Welt relativ ähnlich aussehen und deren Architektur wenig auf ihr klimatisches Umfeld reagiert. Durch den im späten 20. Jahrhundert hauptsächlich in Europa entstandenen Trend zur sogenannten Niedrigenergie-Architektur mit Maßnahmen wie Sonnenschutzelemente, Wärmedämmung, thermische Speichermasse etc. konnte der Energiebedarf von Gebäuden und die Dimensionierung (Größe) der technischen Anlagen reduziert werden. Die *Formsprache* und die *Formen* der Gebäude haben sich jedoch in den wenigsten

elements, thick thermal insulation, solar collectors and a poorly integrated winter garden, which have in turn been much derided in the discerning architectural community. In the design of other building types it is sometimes maintained that the strategies for obtaining sustainable and energy efficient solutions are so well integrated into the architectural concepts that they are architecturally “invisible”. On the other hand, fragments of a new architectural language, which derives from aspects related to energy efficiency and sustainability have emerged within the last 10 years; atria, winter gardens, double skin façades, PV modules integrated into building skins, visible ventilation chimneys, light shelves etc.

Before turning to a discussion of the relationship between form and energy in architecture, perhaps we should first clarify the meaning of the word “form” and its various usages in architectural discourse. The term “form” is used on the one hand, to describe the appearance of a building in general and the architectural elements and means of expression used to determine this. In this article, the term *form language* will be used, when referring to form in this sense. When the form of a building in terms of its physical shape is referred to, the term *form* will be used.

Is there a relationship between the architectural *form language* of a building and its energy efficiency? To which strategies do energy efficient buildings owe their energy efficiency? Which of these strategies are architecturally expressed and which remain, in architectural terms, imperceptible?

Is there a relationship between the *form* of a building structure and its energy efficiency? If so, how pronounced is this relationship? Are issues related to building energy performance exerting a greater influence in the *form finding* process in contemporary architecture? Why are there so few examples of built buildings, where the *form* of the building structure has been derived from such considerations?

Does the inclusion of strategies to improve the energy efficiency and sustainability of buildings inevitably lead to a new architectural vocabulary, a new specific *form language* of energy efficient sustainable architecture? Or maybe even to new building *forms*? Or is it conceivable, that the energy efficiency and sustainability of a building can be optimised and the societal goals outlined above achieved, independent of the architectural style and without exerting an influence on the intended architectural result.

Trends. The development of modern architecture was greatly accelerated by advances in mechanical and electrical building systems such as air conditioning, artificial lighting and elevators. Ultimately this development has meant that much contemporary architecture all over the world appears very similar and climatic context exerts little influence on design, compared to traditional architecture. The trend towards so-called low energy architecture which emerged in Europe in the late 20th century with solar control elements, increased insulation, thermal storage etc. enabled the reduction of energy use and the size of HVAC systems in buildings. The *form language* and especially the *form* of the buildings were however in most cases little influenced by these developments.

Ausgehend von den Begriffen „*Formsprache*“ und „*Form*“, so wie sie einleitend definiert wurden, soll nun untersucht werden, inwieweit Aspekte der Energieeffizienz in der heutigen Architektur Einfluss nehmen können.

Die Beziehung zwischen *Formsprache* und Energieeffizienz.

Aspekte zur Maximierung der Energieperformance eines Gebäudes können die architektonische *Formsprache* auf ganz verschiedene Weise beeinflussen. Anhand von Projekten, die ich in den letzten Jahren als beratender Ingenieur begleitet habe, soll dies veranschaulicht werden.

Die 21 Büroetagen des **GSW-Hochhauses** in Berlin (Abb. 2) können mittels einer 70 m hohen solarthermischen Abluftfassade trotz der innenstädtischen Lage natürlich gelüftet werden. Eine doppelschalige Fassade ohne vertikale oder horizontale Abschottungen im Zwischenraum bewirkt eine natürliche Entlüftung der Büroetagen mittels Konvektion.

Das Flugdach als oberer Abschluss der doppelschaligen Fassade ist hinsichtlich des aufgrund seiner Form hervorgerufenen Venturi-Effekts zur Erzeugung einer Sogwirkung so optimiert, dass auch der Wind zur natürlichen Lüftung der Büros beiträgt. Im Fassadenzwischenraum vertikal angeordnete farbige Lamellen bilden einen quasi außen liegenden Sonnenschutz und die unterschiedlichen Stellungen dieser Lamellen – je nach Nutzerwahl, Uhrzeit, Lichtverhältnissen etc. – erzeugen ein sich ständig wechselndes und sehr lebendiges Fassadenbild. Dass diese drei Elemente wichtige Ausdrucksmittel in der Erzeugung des äußeren Erscheinungsbildes dieses Gebäudes sind, dürfte unumstritten sein.

Anlässlich der EXPO 2000 in Hannover wollte das Unternehmen **Duales System** ihre Firmenphilosophie eines geschlossenen ökologischen Kreislaufes mit einem Pavillon zum Ausdruck bringen, welcher trotz der erwarteten hohen Besucherzahl und der hohen ausstellungsbedingten internen Lasten ohne mechanische Kühlung auskommt. Der Pavillon (Abb. 3) sollte zudem demontierbar und nach der EXPO auf einem anderen Standort wieder aufbaubar sein. Somit war eine thermisch schwere Bauweise im konventionellen Sinne ausgeschlossen. Der Entwurf reagierte darauf mit thermischer Masse, die sich leicht transportieren lässt. Wassertanks wurden in die Ausstellungsrampen integriert. Diese konnten beim Abbau leicht wieder entleert werden. Zudem konnte auch die thermische Masse aktiviert werden, in dem nachts die Fassade mit Wasser besprüht und somit mittels Verdunstung gekühlt wurde.

Dank der energetischen Hochleistung der doppelschaligen Klimafassade des **Hauptverwaltungsgebäudes der Braun AG** in Kronberg konnte auf eine konventionelle Heizung verzichtet werden. Das Klimakonzept sieht vor, dass ein Netz von Kapillarrohrmatten, das in einer dünnen Putzschicht auf der Unterseite der Rohbetondecken angebracht wird, das einzige System zur Temperierung der Büroräume darstellt. Durch dieses strömt im Winter warmes, im Sommer kühles Wasser. Die Tatsache, dass ein modernes transparentes Bürogebäude durch eine solche „sanfte“ Technologie optimal temperiert werden kann, liegt an der energetischen Performance der Gebäudehaut.

Eine zusätzliche äußere Schicht wurde um das U-förmige Gebäude gewickelt. In der Mitte des U-förmigen Grundrisses entsteht so ein zentrales

Taking the terms *form language* and *form* as defined above as our starting point, I will now look at how aspects related to sustainability, particularly from a building energy performance point of view, have influenced some contemporary architecture.

The relationship between *form language* and energy efficiency.

Strategies which maximise the energy performance of a building can influence the architectural form language in a variety of different ways. Referring to projects on which I have collaborated on as a consulting engineer in recent years, I will attempt to illustrate some of these.

The 21 office floors of the **GSW-Tower** in Berlin are naturally ventilated despite its urban location on a busy street intersection in Berlin by means of a 70 m high solar thermal convection façade (Fig. 2). A double skin façade

without any vertical or horizontal compartmentalization within the cavity provides natural exhaust of the offices used air by means of convection.

The form of the “flying roof” construction at the top of the double skin construction was optimised to create a so-called venturi-effect at the top of the thermal flue, so that in addition to the thermal convection forces operating in the flue, wind forces are also harnessed to suck air out of the flue and aid the natural ventilation of the offices. The coloured blinds located in the cavity of the double skin façade provide quasi external solar shading and the constantly changing positions of the blinds in the individual

Führt das Einbeziehen von Überlegungen zur Energieeffizienz und Nachhaltigkeit zwangsläufig zu einer neuen *Formsprache*? Oder sogar zu neuen *Formen*?

Does the inclusion of strategies to improve the energy efficiency and sustainability of buildings inevitably lead to a new architectural vocabulary, a new specific *form language* of energy efficient sustainable architecture? Or maybe even to new building *forms*?

façade modules due to user preferences, time of day and external lighting levels etc. provide for a very lively impression of the façade for passers-by. The double façade, the solar shading devices and the roof construction are important architectural elements which strongly influence the external appearance of the building.

For the EXPO 2000 in Hanover the cooperation **Duales System** wanted to erect a pavilion, in which overheating could be avoided without resorting to conventional air conditioning, in line with their corporate philosophy of a closed ecological loop. The anticipated large number of visitors in the summer months and the high internal loads due to the exhibition lighting and machines together with the wish that the pavilion (Fig. 3) could

Atrium (Abb. 4). Die äußere Schicht in Form des Atriumdaches wird mit einer Luftkissenkonstruktion gebildet. An den äußeren Seiten des Baukörpers geht die Außenschicht in eine doppelschalige Fassade über, welche mittels horizontalen und vertikalen Abschottungen innerhalb des Zwischenraumes in Kastenfenster unterteilt wird (Abb. 5).

Die Außenhaut des Gebäudes wird automatisch gesteuert. In Abhängigkeit vom Außenklima wird die Porosität der Außenhaut bestimmt. Der Sonnenschutz im Fassadenzwischenraum wird in Abhängigkeit von der Intensität der Sonnenstrahlung betätigt. Auch die Beleuchtung wird in Abhängigkeit von den äußeren Lichtverhältnissen automatisch gesteuert. Die Büros werden über manuell operierte schmale opake Lüftungsklappen natürlich gelüftet (Abb. 6).

Durch das Konzept konnte nicht nur der Energiebedarf erheblich gesenkt und die Behaglichkeit der Nutzer wesentlich verbessert werden, sondern

auch die Wirtschaftlichkeit der doppelschaligen Fassade konnte in einen durchaus vertretbaren Bereich gerückt werden, da ein komplettes Gebäudesystem – die konventionelle Heizungsanlage – aufgrund der thermodynamischen Effektivität der Fassade entfallen konnte.

Die *Form* des Gebäudes der **Universitätsbibliothek in Adlershof, Berlin** wurde entwickelt mit dem Ziel, einen tief geplanten Lesesaal natürlich zu belichten und belüften (Abb. 7). Für die natürliche Entlüftung und die Belichtung des Lesesaales mit Nordlicht wurden spezielle Dachaufbauten konzipiert.

Dient die Oberfläche eines Gebäudes zur Energieproduktion, kann dieser Aspekt auch zum Ausdrucksmittel

seiner Architektur werden. Bei einem Entwurf für die **Oper in Guangzhou** wurde die Interaktion der auftreffenden solaren Strahlung mit der Gebäudehaut analysiert, um den Grad der Durchlässigkeit der Haut je nach Ausrichtung und Anstellwinkel zu optimieren (Abb. 8). Die Haut wird zusammengesetzt aus photovoltaischen Modulen, die mehr oder weniger transparent sind und der Erzeugung von elektrischer Energie dienen. In Abhängigkeit von der Intensität der jährlichen solaren Strahlung wurde die Dichte der PV-Zellen optimiert, sodass die Transparenz der einzelnen

be dismantled after the EXPO and rebuilt somewhere else, provided quite a challenge. Conventional thermal mass in the form of a heavyweight building structure was obviously not an option. The design responds to this challenge with the provision of thermal mass, which can be easily transported. Water tanks, which can be emptied and re-filled after re-construction were integrated into the spiralling exhibition ramp. Spray nozzles incorporated into the façade allowed the water to be sprayed from the façade at night and cooled via evaporation. The thermal mass could thus also be activated and cool energy “regenerated”.

The thermal effectiveness of the high-performance double skin façade of the **Braun Headquarters Building** in Kronberg, Germany allowed a conventional heating system to be dispensed with. A network of capillary tubing integrated into a thin plaster layer on the underside of the concrete slab, fed with warm water in cold weather and cool water in warm weather, is the only system needed to provide comfortable internal conditions in the offices. The fact, that a modern transparent office building can be optimally conditioned with such minimal technology is attributable to the energy performance of the building skin.

An additional external skin is wrapped around the entire building. In the middle of the U-formed building plan a central atrium is formed via a PTFE foil cushion roof construction (Fig. 4). A second glass skin with horizontal separations in the cavity at each floor and vertical separations at each façade planning module is employed on the external façades (Fig. 5).

The external skin of the building is automatically controlled. The opening area of the skin is varied according to external conditions. The solar control blinds in the façade cavity are automatically adjusted depending on the degree of incident solar radiation. Artificial lighting is automatically adjusted depending on external light intensity. The offices are naturally ventilated via manually operated narrow opaque ventilation elements (Fig. 6).

The concept not only reduced building energy consumption and offered improved comfort for the buildings users but also proved that the economical feasibility of double skin façades could be much improved compared to built buildings using these concepts to date. The effectiveness of the high-performance double-skin façade allowed whole building systems, in this case the conventional heating system and the mechanical ventilation of the external offices to be completely dispensed with, and thus led to considerable capital cost savings on the buildings mechanical services.

The *form* of the new **University Library Building in Adlershof, Berlin** was developed with the goal of creating a deep plan reading room which could be naturally lit and naturally ventilated (Fig. 7). Special rooftop elements were developed which aid natural ventilation and day-lighting of the reading room.

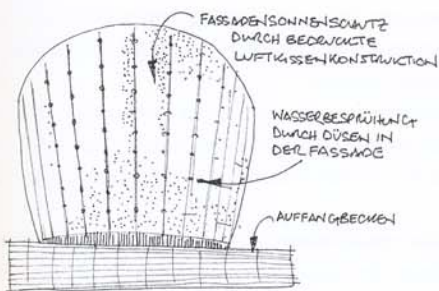
If the external surface of a building structure is used to generate energy, this too can provide a means of architectural expression. For the design of a new **opera house in Guangzhou** the interaction of incident solar radiation with the building skin was analysed, to determine the optimum degree of transparency of the various modules in the building skin, depending on their position within the skin; orientation and tilt angle (Fig. 8). The glass skin

Ausgehend von den Begriffen „Formsprache“ und „Form“, so wie sie einleitend definiert wurden, soll nun untersucht werden, inwieweit Aspekte der Energieeffizienz in der heutigen Architektur Einfluss nehmen können.

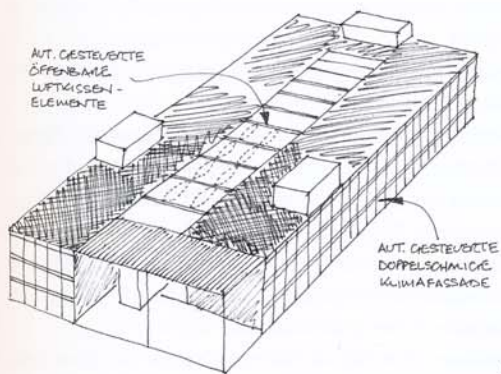
Taking the terms *form language* and *form* as defined above as our starting point, I will now look at how aspects related to sustainability, particularly from a building energy performance point of view, have influenced some contemporary architecture.



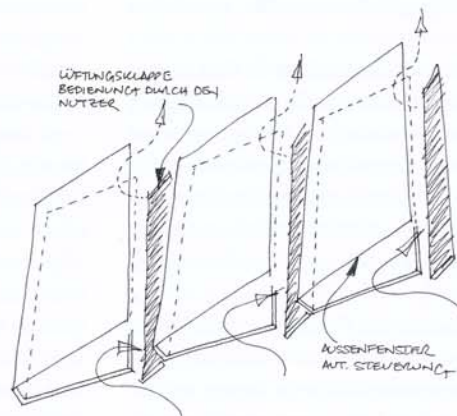
2



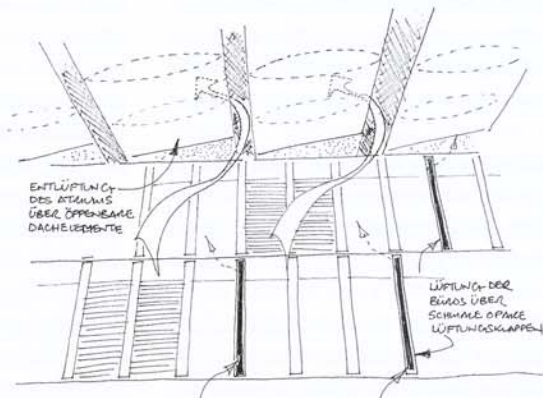
3



4



5



6

Module unterschiedlich ausfällt. Dadurch entsteht eine Art Textur in der Gebäudehaut.

Die Beziehung zwischen Form und Energieeffizienz. Ein viel verwendeter Indikator für die Energieeffizienz einer Gebäudeform ist die Kompaktheit. Diese wird oft über das sogenannte A/V-Verhältnis gemessen. Hier ist das Verhältnis der Außenfläche eines Baukörpers zu dem von ihm eingeschlossenen Volumen gemeint. Je höher das Verhältnis ist, desto größer ist der Wärmeaustausch zwischen innen und außen. Dieser Aspekt muss jedoch im Zusammenhang mit weiteren Faktoren gesehen werden:

- die **Gebäudetiefe** hat einen entscheidenden Einfluss auf die Möglichkeiten der natürlichen Lüftung und Belichtung;
- je nach **Orientierung** und Materialität der Gebäudeoberflächen kann sogar eine positive Energiebilanz für ein Gebäude erzielt werden (durch passive und aktive Energiegewinnung);
- je besser die **energetische Effizienz der Gebäudehaut**, desto weniger wichtig die Orientierung;
- die **aerodynamische Effizienz** der Gebäudeform hat ebenfalls Konsequenzen für seine natürliche Lüftung, aber auch für die Wärmeverluste des Gebäudes;
- und auch die **thermische Zonierung** des Baukörpers hat einen entscheidenden Einfluss auf die Energieeffizienz der gewählten Gebäudeform.

Beim Entwurf für das **Sunbelt Management Bürogebäude in San Diego**, Kalifornien wurde die Form des Gebäudes aus der Berücksichtigung der Interaktion solarer Strahlung mit der Gebäudehülle direkt abgeleitet (Abb. 9). Durch das Verbinden eines ovalen Grundrisses mit einem kreisförmigen Dach wurde die Neigung der Fassade in Bezug auf die Himmelsrichtung so optimiert, dass die solaren Lasten erheblich reduziert werden konnten, verglichen mit einer konventionellen vertikalen Fassade in einem Gebäude auf dem gleichen Standort.

Ein ähnlicher Ansatz wurde für das Atriumdach des Gebäudes der **Infineon Asia Pacific Headquarters in Singapur** verwendet (Abb. 10). Aufgrund des Standorts am Äquator wäre eine horizontale Fläche in Bezug auf die solare Strahlung sehr ungünstig. Um die solare Last zu reduzieren, wurde die horizontale Fläche des Atriumdaches in Nord und Süd ausgerichtete vertikale Flächen aufgelöst. Durch die Dachform konnten zudem Volumina geschaffen werden, worin sich eine Warmluftschicht unterhalb der Dachhaut bilden kann, ohne dass sich diese negativ auf das Raumklima in den angrenzenden Büros auswirkt.

Bei dem **Niedrigenergiehaus in Berlin Marzahn** wurde die Gebäudeform von Überlegungen zur Minimierung des Heizwärmeenergieverbrauches abgeleitet (Abb. 11). Das Gebäude hat eine große gekrümmte Südfassade mit hohem Glasanteil. Die Nordfassade ist kleiner mit einem geringen Anteil an Glas (Abb. 12).

Das Gebäude wurde in 3 thermische Zonen zerlegt; die Wohnräume auf der Südseite, eine unbeheizte Pufferzone auf der Nordseite, worin sich die

incorporates photovoltaic cells, which help to shade the internal public areas and at the same time generate electricity for use within the building. The degree of transparency of the individual modules depends on the annual solar intensity for the particular position of the module concerned, which gives a texture to the appearance of the building skin.

The relationship between form and energy efficiency. The degree of compactness of a given building form is often used to judge the energy efficiency of a building design and can be measured by what is known as the A/V factor, i.e. the relationship of the external surface of a building structure to its enclosed volume. The higher this factor is, the greater the heat exchange between interior and exterior. This indicator needs however to be considered in connection with the following further aspects:

- the **building depth** exerts an important influence on the possibilities of natural ventilation and day-lighting;
- depending on the **orientation** and construction of the building surfaces it is possible to balance energy gains and losses and even achieve a positive energy balance for a given building (by means of passive and active energy sources);
- the more effective the **thermodynamic performance of the building skin** – the less important the orientation becomes in determining heat loss and gain;
- the **aerodynamic performance** of the building skin has consequences for the natural ventilation of the building and its heat loss in cold weather;
- the **thermal zoning** of the building structure also plays an important role in the energy efficiency of the chosen building form.

For the design of the **Sunbelt Management office building in San Diego**, California the form of the building was directly derived from consideration of the interaction of incident solar radiation with the building envelope (Fig. 9). By connecting an oval floor plan with a circular roof the slope of the building façade was optimised with regard to its orientation, so that the cooling load could be considerably reduced compared to a building with conventional vertical façades in the same location.

A similar approach was used for the atrium roof of the **Infineon Asia Pacific Headquarters Building in Singapore** (Fig. 10). On account of its location, near to the equator, a horizontal surface would have been very unfavourable in terms of solar heat gains. To reduce the solar load, the horizontal area of the atrium roof was broken up into vertical surfaces which face north and south. In addition, the design allowed spaces to be created underneath the roof surface, in which a warm air layer can form without negatively impinging on the environmental conditions of the adjacent offices on the top floor.

The building form of the **Low Energy Apartment Building in Berlin Marzahn** on the other hand resulted primarily from considerations toward minimising the heating energy demand in winter (Fig. 11). The building has a large curved south facing façade with a high proportion of glass, while both the façade area and the glass proportion on the north are minimised (Fig. 12).

Bereiche, die mechanisch gelüfteten Bäder. Die auskragenden Balkone auf der Südseite bieten einen effektiven sommerlichen Sonnenschutz.

Bei dem Entwurf für die neue **Hauptverwaltung der Europäischen Zentralbank in Frankfurt** wurde die Gebäudeform durch Überlegungen zur Maximierung der Energieperformance und optimalen natürlichen Lüftung des Hochhauses stark beeinflusst (Abb. 1, 13). Zwei Türme mit einer optimalen Orientierung (Nord-Süd) wurden auf dem Standort platziert, wobei der erste Turm die Südfassade des zweiten vor der Sonne schützen sollte. Dann wurde eine zweite Haut um die zwei Türme gewickelt, sodass ein zentrales Atrium zwischen den Türmen und doppelschalige Fassaden auf den äußeren Seiten der Türme entstanden. Die Form und Konstruktion der Gebäude wurden dann so optimiert, dass sowohl Wind- als auch Sonnenenergie als direkte Antriebskräfte für eine kontrollierte wirksame natürliche Lüftung der Büroräume eingesetzt werden. Die Fassaden des Atriums sind so konstruiert, dass sie als „Windfänger“ fungieren, um den Wind in das Atrium hinein zu lenken. Die Form der sogenannten „suction gaps“ (Unterdruckspalten) in der doppelschaligen Außenfassade der Bürotürme wurde so konzipiert, dass die verbrauchte Luft – unabhängig von der vorherrschenden Windrichtung – aus den Büroräumen herausgesaugt wird. Nutzungen wurden aus den Büroetagen in das Atrium hinein verlagert; Meetingräume, Pausenzonen, Brücken, Aufzüge etc., um das Verhältnis zwischen Brutto- und Nettoflächen auf den Büroebenen zu verbessern. Das dynamisch geformte Atrium verbindet und vernetzt die zwei Bürotürme miteinander und verbessert die Kommunikation innerhalb des Gebäudekomplexes, sodass eine wahrhafte vertikale Stadt entstehen kann. Tageslichtreflektoren im oberen Bereich des Atriums lenken das Tageslicht in das Atrium hinab und sorgen für eine gleichmäßige Verteilung des Lichtes im Atrium und in den anschließenden Büroräumen.

Wenn es eine Beziehung zwischen Gebäudeform und Energieperformance gibt, kann man folgern, dass es eine Beziehung zwischen der Form eines Gebäudes und dem Außenklima dessen Standorts geben sollte.

If a relationship between building form and energy performance exists, it follows that there should also be a relationship between the form of a building and the climate of the region in which it is located.

der und verbessert die Kommunikation innerhalb des Gebäudekomplexes, sodass eine wahrhafte vertikale Stadt entstehen kann. Tageslichtreflektoren im oberen Bereich des Atriums lenken das Tageslicht in das Atrium hinab und sorgen für eine gleichmäßige Verteilung des Lichtes im Atrium und in den anschließenden Büroräumen.

Während die o. a. Maßnahmen zur Maximierung der energetischen Effizienz wesentliche architektonische Elemente des Entwurfs darstellen, bleiben die sogenannte Bauteilaktivierung der freiliegenden Betondecken und die Nutzung von geothermischer Energie durch Energiepfähle, welche in den Gebäudefundamenten integriert sind, architektonisch unbemerkt.

The building is structured in 3 thermal zones; the living rooms on the south side, an unheated buffer zone on the north, in which staircases and lifts are located, and the rooms requiring the highest internal temperatures, the mechanically ventilated bathrooms, in the middle. The projecting balconies on the south side provide effective shading in summer.

The form of the new **Headquarters Building for the European Central Bank in Frankfurt** was strongly influenced by considerations toward maximising the building energy performance and natural ventilation of its offices (Figs. 1, 13). Two (in building energy performance terms) optimally oriented towers with their main façades facing north/south were placed on the site; positioned so that an effective shading of the first tower is provided by the second. An additional skin was then wrapped around the two towers to create a central atrium and double-skin façades on the external sides of the towers. The form and construction of the buildings were then optimised, to employ wind, thermal and solar power to provide controlled natural ventilation of the offices. The atrium façades are designed to act as wind scoops to channel wind into the atrium. In the external façades of the office towers the negative pressure at the specially designed “suction gaps” ensures that waste air is constantly drawn out of the building independent of the prevailing wind direction. Functional areas such as meeting rooms, recreation zones, communication bridges, lifts etc. were moved out of the office towers and into the atrium, in order to improve the net to gross floor area ratio in the office towers. The dynamically formed atrium connects the two towers and improves communication within the building complex, so that a living vertical city is created. Daylight reflectors located at high level direct daylight deep into the atrium and ensure an even distribution of light within the atrium and on the adjoining office floors.

While the energy performance strategies described above represent important architectural elements of the building complex, the systems employed to activate the building thermal mass in the concrete slabs and the use of geothermal energy via the activation of the concrete foundation piles remain architecturally invisible. The proposed concept would make this building the first truly naturally ventilated modern skyscraper. All contemporary “naturally ventilated” high rise buildings of this height are in fact also provided with mechanical ventilation systems which are used in extreme weather conditions. This is however wasteful, as the systems thus provided need to be dimensioned for the worst case and are the same systems that would be provided in a sealed mechanically ventilated building with all the attendant disadvantages of increased capital costs and space required for shafts and plant rooms. The savings potential in maintenance and electrical energy costs is significant, particularly as the systems also tend to be used by the occupants at times when they were not designed to be.

Form, Climate and Energy. If a relationship between building form and energy performance exists, it follows that there should also be a relationship between the form of a building and the climate of the region in which it is located. The architecture of the buildings described above in California, Singapore and Germany would certainly have been radically different, had they been located in a different climatic region. Likewise the texture **35**

Mit dem im Wettbewerb vorgeschlagenen Klimakonzept könnte der Komplex den ersten wirklich natürlich gelüfteten Wolkenkratzer der heutigen Zeit beinhalten. Sämtliche zeitgenössische „natürlich gelüftete“ Hochhäuser in dieser Höhe sind bei extremen Wetterbedingungen auf die installierten mechanischen Lüftungsanlagen angewiesen. Die Installation von solchen Anlagen ist jedoch bei genauer Betrachtung eigentlich verschwenderisch, da diese Systeme für den „Worst Case“ ausgelegt werden müssen und somit die gleichen Systeme darstellen, die bei einem hermetisch abgeschlossenen mechanisch gelüfteten Gebäude vorgesehen würden – mit all den Nachteilen in Bezug auf Investitionskosten und Platz für Zentralen und Schächte, die damit einhergehen. Die verbundenen Energie-, Betriebs- und Wartungskosten sind auch nicht zu vernachlässigen, insbesondere deswegen, weil die Anlagen häufig in der Praxis auch zu Zeiten genutzt werden, in denen deren Verwendung eigentlich nicht erforderlich wäre.

Form, Außenklima und Energie. Wenn es eine Beziehung zwischen Gebäudeform und Energieperformance gibt, kann man folgern, dass es eine Beziehung zwischen der Form eines Gebäudes und dem Außenklima dessen Standorts geben sollte. Die o. a. Gebäude in Kalifornien, Singapur und Deutschland hätten jedenfalls ganz anders ausgesehen, hätte man die jeweiligen Standorte untereinander ausgetauscht. Auch die Textur der Gebäudehaut des Operngebäudes in China (Abb. 8) würde in anderen Regionen ganz unterschiedlich ausfallen.

Form, Nutzung und Energie. Bei den o. a. Gebäudeentwürfen spielte die vorgesehene Nutzung im Entwurfsprozess eine wichtige Rolle. In den Betrachtungen zum Thema der Beziehung zwischen Form und Energieeffizienz sollte jedoch das Thema der Nutzung auch neu bedacht werden, insbesondere vor dem Hintergrund der ökologischen Sinnfälligkeit einer nutzungsneutralen Architektur. Im Sinne einer Adaptabilität bzw. Flexibilität von Gebäuden, die in ökologischer Hinsicht ja anzustreben sein muss, scheint eine Nutzungsneutralität in der Architektur ebenfalls erstrebenswert zu sein. Das Thema der Nutzungsneutralität wirft jedoch Fragen auf. Besteht nicht ein gewisser Widerspruch zwischen dem Vorsehen von Flexibilität/Adaptabilität in einem Gebäudeentwurf, das letztendlich zu seiner Nachhaltigkeit beiträgt, und der Tatsache, dass ein „gut“ entworfenes Gebäude eigentlich auf die spezifischen Eigenschaften der Bauaufgabe eingehen müsste? Entsteht nicht der Kompromiss – je spezifischer die Lösung für eine bestimmte Bauaufgabe, desto weniger flexibel/adaptibel ist das Gebäude? Je flexibler/adaptibler das Gebäude, desto weniger gut ist die Lösung für die spezifische jetzt angedachte Nutzung geeignet? Führt Nutzungsneutralität nicht zu Monotonie? Sollten Gebäude nicht Identitäten haben, die auf ihre Nutzung hinweisen? Auch in energetischer Hinsicht werden Fragen aufgeworfen, die ähnlichen Charakter haben; beispielsweise bei der Nutzung von passiven solaren Gewinnen, die in einem Bürogebäude anders zu behandeln sind als in einem Wohngebäude, da zum einen die klimatischen Bedürfnisse von Menschen in einem Wohnhaus aufgrund der Nutzungszeiten, Kleidung und anderen Aspekten grundlegend anders sind als in einem Bürohaus und

zum anderen die internen Wärmeabgaben durch Maschinen etc. sich

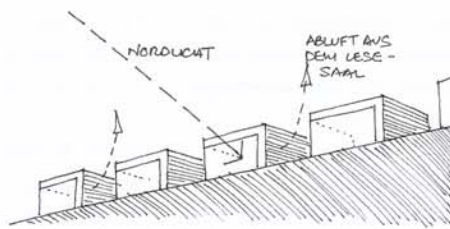
developed in the building skin of the opera house for Guangzhou in China (Fig. 8) would have turned out quite differently in another region.

Form, Building Usage and Energy. The buildings' intended use played an important part in the design process of the building designs described above. When considering the relationship between form and energy efficiency however, the whole issue of building use needs perhaps to be reconsidered, especially against the background of the possible ecological significance of "Usage-Neutral-Architecture", i.e. buildings which are essentially neutral with regards to their possible usages and are thus very flexible and/or adaptable. The issue of flexibility/ adaptability is an important element in sustainable building design. So "Usage-Neutral-Architecture" would also seem to be worth striving for in a sustainability context. The concept of

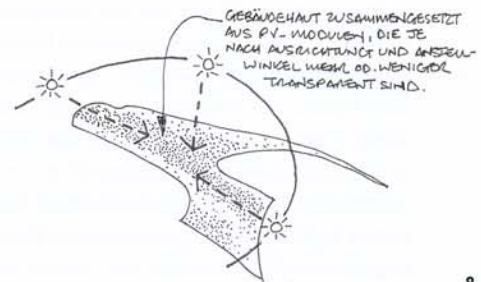
"Usage-Neutral-Architecture" however throws up some awkward questions. Is there not a certain contradiction between providing flexibility and adaptability in a building design, which can ultimately provide an important contribution to the sustainability of the building and the notion that one should address the specific characteristics of the design problem as closely as possible in every "well-designed" building? A certain compromise seems to present itself; the more specific the solution for a particular building, the less flexible/adaptable the building is likely to be. The more flexible and adaptable the design, the less the building can respond to the specific problem posed by the intended use of the building. Does "Usage-Neu-

In den Betrachtungen zum Thema der Beziehung zwischen Form und Energieeffizienz sollte jedoch das Thema der Nutzung auch neu bedacht werden, insbesondere vor dem Hintergrund der ökologischen Sinnfälligkeit einer nutzungsneutralen Architektur. When considering the relationship between form and energy efficiency however, the whole issue of building use needs perhaps to be reconsidered, especially against the background of the possible ecological significance of "Usage-Neutral-Architecture", [...]

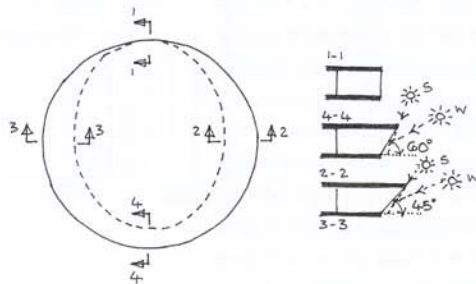
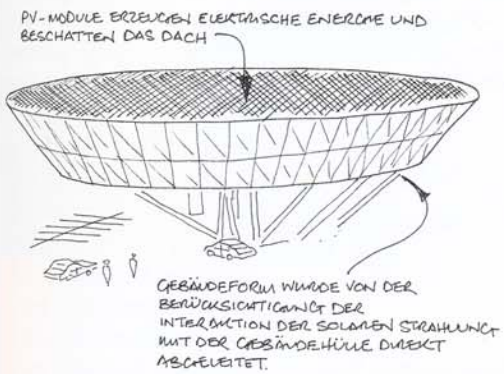
tral-Architecture" lead to monotony? Should buildings not possess an identity which relates to their use? Similar questions pose themselves in an energy efficiency context; for example the treatment of passive solar gains needs to be considered differently, depending on whether we are dealing with an apartment or an office building. The required internal conditions of the users will be different on account of the fact that their clothing and the times of the day when they use the building are different. The internal gains due to machines and lighting vary also depending on the building usage. If too much



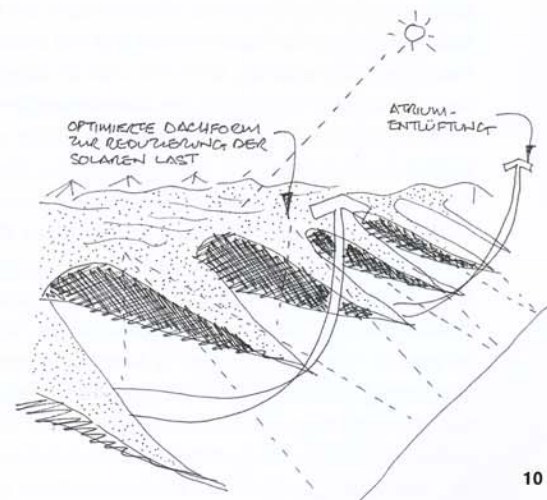
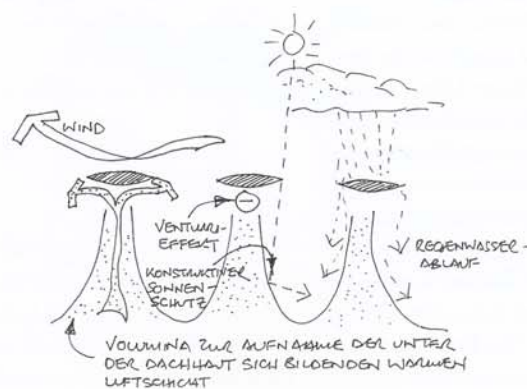
7



8



9



10

auch wesentlich unterscheiden. Wenn man zuviel Überkapazität im Sinne der Flexibilität bzw. Adaptabilität in einem Gebäudeentwurf vorsieht, kann dies auch zu einer Verschwendung von Herstellungs- und Betriebsenergie führen, falls das Potenzial nie oder selten ausgeschöpft wird.

Form, Städtebau und Energie. Das Verhältnis zwischen *Form* und Energie in Bezug auf ein einzelnes Gebäude ist komplex. Die Beziehung zwischen *Form* und Energie im städtebaulichen Sinne ist noch komplexer und viel weniger untersucht worden. Die Performance einer Zusammenstellung von – in Bezug auf ihre Energieeffizienz optimierten – einzelnen Objekten in einem städtebaulichen Ensemble kann weit schlechter ausfallen, als man denken würde – ausgehend von den Leistungen der einzelnen Objekte. Das Frage der Beziehung zwischen *Form* und Energie im Städtebau ist aufgrund der komplexen Interaktionen und Zusammenwirkungen in klimatischer und energetischer Sicht ein Thema für sich. Aspekte wie die gegenseitige Beeinflussung der Gebäude hinsichtlich passiver solarer Gewinne und Tageslichtnutzung sind genauso Themen wie die Erhöhung der Bebauungsdichte zur Vermeidung von „Urban Sprawl“ und die Berücksichtigung von Phänomenen wie dem Wärmeinseleffekt.

Schlussfolgerungen. Dass Strategien zur Optimierung der Energieeffizienz architektonischer Natur sein können, dürfte unumstritten sein. Daraus folgt, dass es eine *Formsprache* der energieeffizienten Architektur geben kann. Fragmente einer solchen *Formsprache* bestehen bereits. Die Klärung der Frage der tatsächlichen Effizienz der in den letzten Jahren verschiedenen umgesetzten Maßnahmen zur Maximierung der Energieperformance von Gebäuden (Energieverbrauch in Herstellung und Betrieb) bedarf einer gründlichen Forschung, die es in den nächsten Jahren mit größter Präzision zu betreiben gilt. In einem weiteren Schritt gilt es zu klären, auf welchen Strategien des jeweiligen Entwurfs die Energieeffizienz beruht und dann zu unterscheiden zwischen den Elementen, die sich architektonisch ausdrücken und denen, die keinen erkennbaren Einfluss auf die Architektur gewonnen haben. Durch eine solche Analyse kann der Frage nachgegangen werden, inwieweit Überlegungen zur Energieeffizienz zu einer neuen *Formsprache* führen können und wie diese aussehen kann.

Die Beziehung zwischen der *Form* und der Energieeffizienz eines Gebäudes und die Frage des Grades der Ausprägung derer sind komplexer. In ähnlicher Weise, wie Klimatisierung in den 1950er und 1960er Jahren amerikanische Architekten vom Zwang befreit hat, Gebäude hinsichtlich deren *Form* und Konstruktion so zu entwerfen, dass eine übermäßige Überhitzung im Sommer vermieden wird, haben in gewisser Weise hochtechnologische, hocheffiziente Fassaden in den 1990er Jahren europäische Architekten im *Formfindungsprozess* eine ähnliche Freiheit ermöglicht. Aufgrund hocheffizienter Gebäudehüllen ist der Einfluss der *Form* des Bauwerks weniger ausgeprägt. Die aus der ersten in Amerika losgetretenen Entwicklung entstandenen Probleme sind längst hinreichend bekannt. Die Frage, die sich nun stellt, ist inwieweit die neuere europäische Entwicklung ebenfalls eine Gefahr in sich birgt. Hocheffiziente Gebäudehüllen haben ihren Preis, sowohl

excess capacity is provided in a building design in order to make the design flexible and/or adaptable, this can lead to energy waste in construction and operation, if the potential capacity is never or rarely used.

Form, Urban Design and Energy. The relationship between *form* and energy when considering a solitary building is complex. The relationship between *form* and energy in an urban design context is much more complex and less extensively researched. The combined performance of a composition of buildings, each of which may have been optimised with regards to its energy performance as a solitary object, can turn out to be less than expected. The relationship between *form* and energy in urban design is due to the complex climatic interactions between the buildings a subject in itself. Issues such as the mutual shading of the buildings with regard to passive solar gains and daylight use, increasing density to avoid urban sprawl and phenomena such as the heat island effect need to be carefully considered.

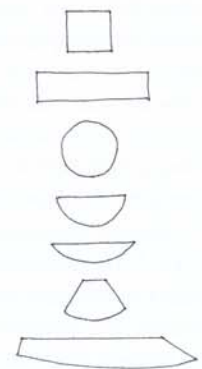
Conclusions. Strategies to optimise the energy performance of buildings can be architectural in nature and have far reaching consequences for the appearance of buildings. It must follow then that the emergence of a specific *form language* related to energy efficient architecture is a real possibility. Fragments of a *form language* have already begun to appear. The issue of how efficient the various measures are, which have been implemented to

maximise the energy performance of buildings in recent years, needs to be researched in depth in the coming years. The next step would be to clarify which design strategies have led to energy efficiency and to differentiate between those strategies which are architectural in nature and those which have not exerted a perceptible influence on the building's architecture. The analysis of a wide spectrum of energy efficient buildings could yield answers to the question of whether there is a specific *form language* related to energy efficiency.

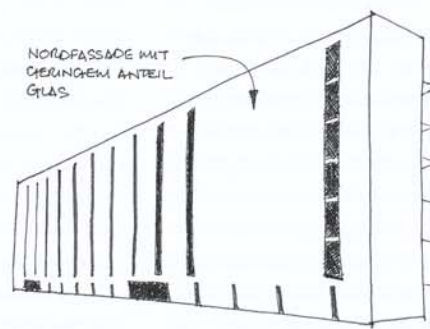
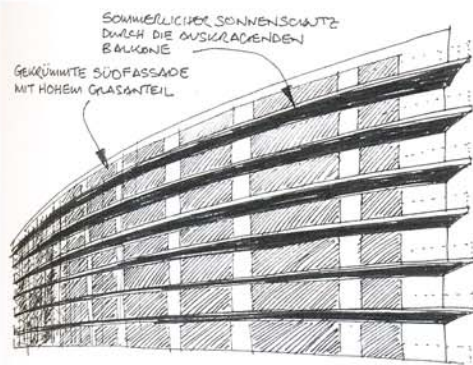
Die Beziehung zwischen *Form* und Energie im städtebaulichen Sinne ist noch komplexer und viel weniger untersucht worden.

The relationship between *Form* and Energy in an urban design context is much more complex and less extensively researched.

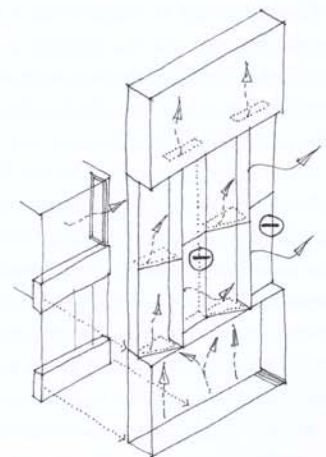
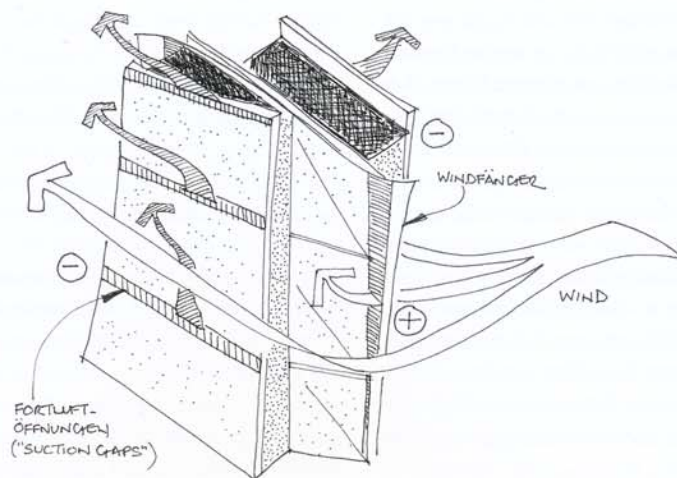
The relationship between the *form* of a building and its energy efficiency is more complex. In a similar way to the way that air conditioning freed American architects in the 50s and 60s from the need to optimise the form and construction of buildings to avoid overheating in summer, highly efficient façade technology has given European architects in the 90s a similar freedom regarding the form finding process in building design. Highly efficient building envelopes make the influence of the building *form* less pronounced.



11



12



13

im ökologischen Sinne hinsichtlich derer Herstellungsenergie. Auffallend ist ebenfalls die Tatsache, dass die Frage der sogenannten eingebauten grauen Energie in den Ländern, in denen solche hocheffiziente Fassaden verwendet worden sind, viel weniger erforscht und behandelt wird als das Thema der Energieeffizienz im Betrieb. Dieser Aspekt könnte jedenfalls eine Teilerklärung dafür liefern, warum es noch so wenige gebaute Beispiele von Gebäuden gibt, bei denen die *Form* von Strategien zur Optimierung der Energieeffizienz abgeleitet ist. Hinsichtlich der Beziehung zwischen Energie und *Form* eines Baukörpers besteht ebenfalls enormer Bedarf in der Forschung. Gebäude*form* kann dabei zum einen optimiert werden, um den Energiebedarf des Gebäudes zu minimieren oder aber zum anderen, um die von der Gebäudeoberfläche vorgenommene Energieproduktion zu maximieren. Diese Themen bilden den Schwerpunkt der Forschung am Institut für Gebäude und Energie an der Technischen Universität Graz.

In den Betrachtungen zum Thema der Beziehung zwischen *Form* und Energieeffizienz sollte das Thema der Nutzung neu bedacht werden, insbesondere vor dem Hintergrund der ökologischen Sinnfälligkeit einer nutzungsneutralen Architektur. Im Städtebau bleibt die Frage weiterhin offen, ob Hochhäuser eine Rolle in der nachhaltigen Entwicklung von Städten spielen können. Die städtebauliche Herausforderung der Zukunft muss es sein, möglichst viel Nutzfläche im städtischen Bereich mit einer möglichst heterogenen Mischung der Nutzungen zu erzeugen. Und dabei möglichst attraktive Gebäude, Plätze und Straßenräume zu schaffen. Die Integration heterogener Mischnutzungen in flexible Hochhausstrukturen könnte eine Maßnahme sein.

Wie werden die Gebäude der Zukunft aussehen; wird es eine Rückkehr zu einer *Form*findung, welche dem klimatischen Umfeld mehr Rechnung trägt? Wird es die Gebäudetechnik, so wie wir sie heute kennen, noch geben? Die Energiefrage ist zweifellos *das* größte Problem, dem wir heute gegenüber stehen. Der Anteil des Weltenergieverbrauches, welcher auf Gebäude **direkt** zurückzuführen ist, beträgt ca. 50 %. Berücksichtigt man noch den Anteil, welchen Gebäude in den restlichen 50 % (Verkehr und Industrie) indirekt verursachen, ist der Gesamtanteil weit höher. Die Herausforderung, die unserer Gesellschaft bevorsteht, ist enorm und stellt zugleich eine enorme Chance für die Architektur dar. Das Einbeziehen von Überlegungen zur Energieeffizienz und Nachhaltigkeit wird zwangsläufig zu neuen *Formen* und zu einer neuen *Formsprache* in der Architektur von morgen führen. Ich begreife energieeffiziente Architektur als Triade aus minimiertem Energieverbrauch, optimalem Raumklima und architektonischer Qualität. Dass die Anforderungen bezüglich der Wirtschaftlichkeit und Funktionalität erfüllt werden müssen, ist selbstredend. Die Ästhetik, die architektonische Qualität, die Schönheit unserer Gebäude muss eine notwendige Komponente jeder Art der energieeffizienten bzw. ökologischen Architektur sein. Eine wirklich nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft ist mit einer Verminderung der architektonischen Qualität unserer Bauwerke nicht vereinbar. Das Thema darf nicht als Problem begriffen werden, das zu einer Einschränkung der gestalterischen Freiheit führt, sondern vielmehr als Herausforderung, die zu einer neuen architektonischen Qualität führen kann.

This aspect might provide a partial explanation for the fact that there are so few contemporary built buildings, whereby the building *form* has been derived from strategies relating to energy efficiency. The problems which arose from the first development, which started in the U.S., are now well known. The question is whether this recent development in Europe also carries a hidden danger. Highly efficient skins are bought at a cost; both in capital cost terms but also in terms of grey energy. Such high technology façades appear to be used more extensively in those countries where energy use during building operation tends to have a higher priority in research and practice than the issue of grey energy consumed during building construction. An in-depth research into the relationship between *form* and the energy efficiency of building structures is needed. The *form* of a building can be optimised to reduce the energy consumed by the building but also to maximise the energy generated by the buildings' surface. These issues constitute the main focus of our research at the Institute for Buildings and Energy at the University of Technology in Graz.

While considering the relationship between *form* and energy efficiency the issue of the proposed use of the building needs to be rethought, especially against the background of the possible ecological significance of a "Usage-Neutral-Architecture". In urban design, the issue of what role high rise buildings can play in the sustainable development of our cities remains largely unresolved. The urban design challenge of tomorrow must be to provide as much net floor area in our urban centres as possible with a heterogeneous mixture of uses and attractive buildings, squares and streets. The integration of heterogonous mixed use areas in flexible high rise structures may provide a way to help achieve these aims.

What will the buildings of the future look like? Will we witness a return to a *form*-finding process, which takes greater consideration of the climatic environment into which a building is integrated? Will the mechanical systems, as we know them today, become totally obsolete? The energy issue is without doubt *the* greatest problem facing humanity today. The proportion of energy use **directly** attributable to buildings is approximately 50 %. If the proportion, which is indirectly attributable to buildings in the remaining sectors (transport and industry) is also considered, then the total impact of buildings on world energy consumption is higher still. The challenge facing humanity is formidable but at the same time presents a huge opportunity for the building design professions. The embracement of sustainability and energy efficiency issues in building design will lead inevitably to new building *forms* and to a new *form language* in the architecture of tomorrow. I believe that energy efficient architecture is a triad, combining minimised energy consumption and optimal internal environmental conditions with architectural quality. That the requirements related to economic efficiency and functionality also need to be fulfilled goes without saying. The aesthetics, the architectural quality, the beauty of our buildings is a vital component of any architecture, which claims to be ecological or sustainable. A loss in the quality of our built environment has no place in a truly sustainable development of our society. The embracement of these issues in building design should not be seen as a problem, which constrains creative freedom, but as a challenge, which can lead to a new architectural quality.

Die Klima- und Energiekonzepte sämtlicher Projekte, die im Beitrag vorkommen, wurden von Prof. Brian Cody im Rahmen seiner Tätigkeit als Associate Director von Arup konzipiert.

Abbildungen

Sämtliche Diagramme © Brian Cody.

- 1, 13 Lüftungskonzept, EZB Frankfurt. Projekt: Neubau Hauptverwaltung für die Europäische Zentralbank, Frankfurt. Architekten: Coop Himmelb(l)au
- 2 GSW-Hochhaus, Berlin. Projekt: GSW-Hauptverwaltung, Berlin. Architekten: Sauerbruch Hutton Architekten.
- 3 Duales System Pavillon, EXPO 2000, Hannover. Projekt: Duales System Pavillon, EXPO 2000, Hannover. Architekten: Atelier Brückner.
- 4 Hauptverwaltung Braun AG, Kronberg. Projekt: Hauptverwaltung Braun AG, Kronberg. Architekten: Schneider + Schumacher Architekten.
- 5 Wirkungsweise der doppelschaligen Klimafassade, Hauptverwaltung Braun AG. Projekt: Hauptverwaltung Braun AG, Kronberg. Architekten: Schneider + Schumacher Architekten.
- 6 Natürliche Lüftung der Büros, hier ein Blick auf das Atriumdach und die Innenfassade. Projekt: Hauptverwaltung Braun AG, Kronberg. Architekten: Schneider + Schumacher Architekten.
- 7 Universitätsbibliothek in Adlershof, Berlin. Projekt: Universitätsbibliothek, Berlin-Adlershof. Architekten: Gössler Architekten.
- 8 Analyse der Gebäudehaut, Guangzhou Oper. Projekt: Opera House Guangzhou, China. Architekten: Coop Himmelb(l)au.
- 9 Formfindung, Sunbelt Management Office Building. Projekt: Sunbelt Management Office Building, San Diego, USA. Architekten: Schneider + Schumacher Architekten.
- 10 Formfindung, Atriumdach, Hauptverwaltung Infineon, Singapur. Projekt: Infineon Asia Pacific Headquarters, Singapur. Architekten: TEC PMC GmbH.
- 11 Formfindung, Niedrigenergiehaus, Berlin Marzahn. Projekt: Niedrigenergiehaus Marzahn, Berlin. Architekten: Assmann Salomon und Scheidt.
- 12 Hauptfassaden des Niedrigenergiehauses, Berlin Marzahn. Projekt: Niedrigenergiehaus Marzahn, Berlin. Architekten: Assmann Salomon und Scheidt.

Bibliografie

- Banham, Reyner: Architecture of the Well-tempered Environment. University of Chicago Press.
- Cody, Brian: Form Follows Energy. – In: Proceedings of the SOLAR 2003 Conference, Austin, Texas, USA, June 2003.
- Cody, Brian: Sonnenfalle. – In: AIT 12/1998 (Spezial Intelligente Architektur).
- Cody, Brian: Neubau der Braun Hauptverwaltung in Kronberg. – In: Beratende Ingenieure, März 2001.
- Cody, Brian: Gespreiztes Gefieder. – In: Gebäudetechnik, November 2000.
- Cody, Brian: Energiekonzepte. – In: Das Architekten-Magazin 7–8/2000.
- Cody, Brian: Neue Hauptverwaltung für die europäische Zentralbank in Frankfurt. – In: Grazer Architektur Magazin, GAM, Mai 2004.
- Field, A.: Edificio a basso consumo. – In: Costruire Impianti, April 2003.
- Hawkes, Dean; Forster, Wayne: Marzahn Low-Energy Apartment Building. – In: Architecture, Engineering and Environment, 2002.

The environmental and energy concepts for all projects which are presented in this paper were conceived and developed by Professor Brian Cody in his role as Associate Director of Arup.

Figures

All sketches © Brian Cody.

- 1, 13 Ventilation concept, ECB Frankfurt. Project: European Central Bank New Headquarters, Frankfurt, Germany. Architect: Coop Himmelb(l)au.
- 2 GSW Tower, Berlin. Project: GSW Tower, Berlin, Germany. Architect: Sauerbruch Hutton Architects.
- 3 Duales System Pavilion, EXPO 2000 Hanover. Project: Duales System Pavilion, EXPO 2000, Hanover, Germany. Architect: Atelier Brueckner.
- 4 Braun AG Headquarters Building, Kronberg. Project: Braun AG Headquarters Building, Kronberg, Germany. Architect: Schneider + Schumacher Architects.
- 5 Operation of the double-skin façade, Braun AG Headquarters Building. Project: Braun AG Headquarters Building, Kronberg, Germany. Architect: Schneider + Schumacher Architects.
- 6 Natural ventilation of the offices; view of the internal façade and atrium roof from the atrium. Project: Braun AG Headquarters Building, Kronberg, Germany. Architect: Schneider + Schumacher Architects.
- 7 University Library in Adlershof, Berlin. Project: University Library Building, Adlershof, Berlin, Germany. Architect: Goessler Architects.
- 8 Analysis of the building skin, Guangzhou Opera House. Project: Opera House Guangzhou, China. Architect: Coop Himmelb(l)au.
- 9 Form finding, Sunbelt Management Office Building. Project: Sunbelt Management Office Building, San Diego, USA. Architect: Schneider + Schumacher Architects.
- 10 Form finding for the atrium roof, Infineon Asia Pacific Headquarters Building, Singapore. Project: Infineon Asia Pacific Headquarters, Singapore. Architect: TEC PMC GmbH.
- 11 Form finding, Low Energy Apartment Building, Berlin Marzahn. Project: Low Energy Apartment Building, Marzahn, Berlin, Germany. Architect: Assmann Salomon und Scheidt.
- 12 Main façades, Low Energy Apartment Building, Berlin Marzahn. Project: Low Energy Apartment Building, Marzahn, Berlin, Germany. Architect: Assmann Salomon und Scheidt.

Bibliography

- Banham, Reyner: Architecture of the Well-tempered Environment. University of Chicago Press.
- Cody, Brian: Form Follows Energy. – In: Proceedings of the SOLAR 2003 Conference, Austin, Texas, USA, June 2003.
- Cody, Brian: Sonnenfalle. – In: AIT 12/1998 (Spezial Intelligente Architektur).
- Cody, Brian: Neubau der Braun Hauptverwaltung in Kronberg. – In: Beratende Ingenieure, March 2001.
- Cody, Brian: Gespreiztes Gefieder. – In: Gebäudetechnik, November 2000.
- Cody, Brian: Energiekonzepte. – In: Das Architekten-Magazin 7–8/2000.
- Cody, Brian: Neue Hauptverwaltung für die europäische Zentralbank in Frankfurt. – In: Graz Architecture Magazine, GAM, May 2004.
- Field, A.: Edificio a basso consumo. – In: Costruire Impianti, April 2003.
- Hawkes, Dean; Forster, Wayne: Marzahn Low-Energy Apartment Building. – In: Architecture, Engineering and Environment, 2002.