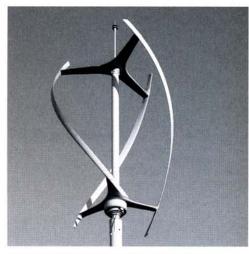


Architektur in Bewegung – Dynamische Komponenten und Baute Michael Schumacher Oliver Schaeffer Michael-Marcus V



Luft in Bewegung, Windturbine, quietrevolution

## 2.1 Architektur, Bewegung und Energie

Brian Cody

Bewegung ist der natürliche Zustand aller Dinge. Die Welt besteht aus sich bewegenden und miteinander kollidierenden Atomen. Wirken keine Kräfte von außen auf ein in Bewegung befindliches Objekt ein, setzt sich dessen Bewegung für immer fort. Photonen liefern das zum Lesen dieses Buches notwendige Licht in Lichtgeschwindigkeit und den Leser umgibt ein Fluid, dessen Teilchen in ständiger Bewegung sind. Ebenso ist auf molekularer Ebene die Gesamtheit der Inhalte des Raumes in Bewegung. Je höher die Temperatur eines Objektes, desto schneller die Bewegung der Atome, desto höher der Energieinhalt. Das Fachgebiet der Thermodynamik beschäftigt sich in erster Linie mit der Bewegung von Wärmeenergie, ist jedoch im Endeffekt nichts weniger als die Wissenschaft der Veränderung. Denn jede Veränderung in unserem Universum führt zu einer Zunahme von Entropie, so der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Entropie wiederum ist die einzige Größe in der Naturwissenschaft, welche nicht nur die Zeit, sondern die Richtung der Zeit berücksichtigt. Ohne Bewegung aber gibt es keine Veränderung, Veränderung ist notwendig und impliziert Bewegung und somit Energie.

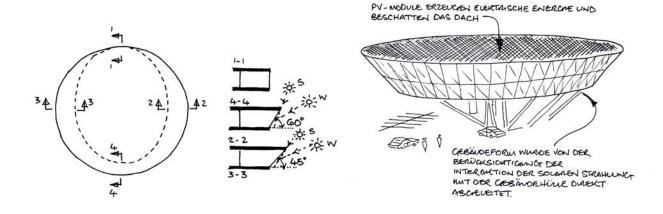
Das Verhältnis zwischen dem Nutzen eines Prozesses und der Quantität (und Qualität) der dadurch induzierten Energieströme wird als Energieeffizienz bezeichnet. Es gibt mindestens vier Gründe, weshalb wir die Energieeffizienz in unserer Gesellschaft dringend und in beträchtlichem Maß erhöhen müssen: die sich abzeichnende Erschöpfung der fossilen Energieressourcen, die Notwendigkeit der drasti-

schen Reduzierung der durch die Verbrennung von fossilen Stoffen verursachten ökologischen Probleme, die Notwendigkeit der massiven Eindämmung des Klimawandels und die immer häufiger auftretenden geopolitischen Probleme, die sich aus der Unsicherheit der zukünftigen Energieversorgung ergeben. Der Weltenergiebedarf kann dabei in drei übergeordnete Kategorien eingeteilt werden: Gebäude, Verkehr und Industrie. Die ersten beiden Kategorien sind für schätzungsweise 75% des weltweiten Gesamtenergiebedarfs verantwortlich und werden durch Architektur und Städtebau direkt beeinflusst. Neben dem Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energieguellen ist das zentrale Thema zur Lösung der genannten Probleme die Maximierung der Energieeffizienz. Was aber ist Energieeffizienz im Gebäudekontext? Dieser Begriff ist heute in aller Munde, wird jedoch häufig fundamental missverstanden, missbraucht und mit Begriffen wie "Energiebedarf" und "Energieverbrauch" verwechselt. Die Maximierung der Energieeffizienz ist mehr als die Minimierung des Energieverbrauchs. Energieeffizienz impliziert Leistung, sie ist das Verhältnis zwischen Output (Nutzen) und Input (Ressourcen). Derzeit gültige Instrumente zur Regulierung der Energieeffizienz von Gebäuden behandeln jedoch nur den Energiebedarf und nicht die tatsächliche Energieeffizienz. Am Institut für Gebäude und Energie der Technischen Universität Graz haben wir die BEEP-Methode entwickelt, mit der die tatsächliche Energieeffizienz eines Gebäudes festgestellt werden kann, so dass verschiedene Entwurfsoptionen in

dieser Hinsicht miteinander verglichen werden können. Der berechnete BEEP-Wert, ein Indikator für die gesamte Building Energy and Environmental Performance eines Gebäudes, berücksichtigt den wechselseitigen Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Raumklima. Ergebnisse von Fallbeispielen, die mit dieser Methode untersucht wurden, zeigen eindeutig, dass niedriger Energieverbrauch nicht mit einer hohen Energieeffizienz gleichgesetzt werden kann.

Auch über dieses grundlegende Missverständnis hinaus wird die Frage der Energieeffizienz im Gebäudesektor meist von einem sehr engen Blickwinkel betrachtet. Es ist wichtig zu erkennen, dass es bei der Betrachtung der Energieeffizienz eines Gebäudes um mehr als die Senkung des Heizenergieverbrauchs geht! Es geht um die Gesamtperformance einschließlich Kühlung, Beleuchtung und Lüftung, und dies geht auch über die Betriebsphase eines Gebäudes hinaus. Der energetische Aufwand der Herstellung und Entsorgung muss berücksichtigt werden und ebenso muss die Betrachtung von Energieeffizienz über die Gebäudeebene hinaus in die Stadtplanung eingehen. Die Betrachtung des Gesamtsystems ("Whole Systems Thinking") ist erforderlich, wenn wir weitere Fehlentwicklungen vermeiden wollen. Geht man durch eine Stadt wie Hongkong mit offenen Augen, erlebt man eine Visualisierung der im Gebäude- und Verkehrssektor vorhandenen Energieströme und deren Bewegung. Während die gebäudetechnischen Leitungen in den meisten europäischen Gebäuden über abgehängten Decken oder in Instal-

В



Herleitung der Gebäudeform aus der Bewegung der Sonne, Sunbelt Management Bürogebäude, Brian Cody und schneider+schumacher architekten, San Diego, Kalifornien, 2001 - 2002

lationsböden versteckt werden, liegen sie in Hongkong häufig vor den Fassaden und frei unter den Geschossdecken, so dass die Bewegung der Fluide in den Rohrsystemen zur Wasserversorgung und vor allem Kühlung von Gebäuden leicht nachvollzogen werden kann: neben den Gehwegen auf Straßenniveau Trafostationen, die Mittelspannung in Niederspannung umwandeln, eine Ebene höher Lüftungszentralen hinter Außenluftansauggittern versteckt, auf den Dächern aufgereiht eine Vielzahl von Technikzentralen, die vor allem der Lüftung und Kühlung der Gebäude dienen. Entsprechend sind auch Verkehrsströme von Autos, Straßenbahnen, U-Bahnen, Bussen und Personen auf mehreren Ebenen gleichzeitig wahrnehmbar. Welche Beziehungen bestehen zwischen Architektur, Bewegung und Energie? Bewegung hat mit Zeit zu tun, sie heißt im physikalischen Sinne eine Ortsveränderung mit der Zeit.

Das Bewusstsein für den Faktor "Zeit" ist auch bei der Planung eines Gebäudes äußerst wichtig. Plant man ein Gebäude an einem Ort, plant man ebenfalls, ob bewusst oder nicht, die vielen eingehenden und auskommenden Stoff- und Energieströme über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes in nicht unerheblichem Maße mit ein. Die Zeit kann man insofern als die vierte Dimension eines Gebäudes sehen. Die Beziehungen zwischen Architektur, Bewegung und Energie lassen sich auf den folgenden vier Ebenen betrachten:

Auf der ersten Ebene gibt es in Gebäude integrierte Energieversorgungssysteme, die allesamt mit Bewegung zu tun haben. Wahrscheinlich stellen gebäudeintegrierte Windturbinen das offensichtlichste Beispiel hierfür dar. Gerade die Bewegung und die damit einhergehenden Lärmemissionen und Vibrationen sind allerdings einer der wesentlichen Gründe, warum die Integration solcher Anlagen in Gebäude bisher wenig gelungen ist.

Auf einer zweiten Ebene liegen die gebäudetechnischen Systeme, in welchen der Energieverbrauch von Gebäuden letztendlich erfolgt: Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung usw. Bei manchen von ihnen wird die Bewegung stärker als bei anderen wahrgenommen, und meistens in unangenehmer Weise, beispielsweise als die zu starke Luftbewegung durch eine Klimatisierungsanlage.

Bewegungen, die die Energieeffizienz eines Gebäudes erhöhen, stellen die dritte Ebene dar und bergen interessante architektonische Möglichkeiten. Die Bewegung der Erde um die Sonne kann man sich zunutze machen, um die Energieeffizienz eines Gebäudes zu maximieren. Für ein Niedrigenergie-Wohngebäude in Berlin-Marzahn haben wir im Vorfeld des eigentlichen Architekturentwurfsprozesses eine Studie zur optimalen Gebäudeform aus energetischer Sicht durchgeführt, welche die Generierung der Form wesentlich beeinflusste. Beim späteren Entwurf für das Sunbelt Management Bürogebäude in San Diego, Kalifornien, wurde die Form des Gebäudes direkt aus der Interaktion solarer Strahlung mit der Gebäudehülle abgeleitet. Ein ähnlicher Ansatz wurde für das Atriumdach des Gebäudes des Infineon Asia Pacific Headquarters in Singapur verwendet. Dient die Oberfläche eines Gebäudes zur

Energieproduktion, kann dieser Aspekt auch zum Ausdrucksmittel seiner gesamten Architektur werden. Bei dem Entwurf für das neue Opernhaus in Guangzhou wurde die Interaktion der auftreffenden solaren Strahlung mit der Gebäudehülle analysiert, um den Grad der Durchlässigkeit der Hülle je nach Ausrichtung und Anstellwinkel zu optimieren. Die Hülle wird aus photovoltaischen Modulen zusammengesetzt, die mehr oder weniger transparent sind. In Abhängigkeit von der Intensität der jährlichen solaren Strahlung wurde die Dichte der Photovoltaik-Zellen optimiert, mit der Folge, dass die Transparenz der einzelnen Module unterschiedlich ausfällt. Dadurch entsteht eine Art Textur in der Gebäudehül-

Nicht zuletzt können sich bewegende Teile eines Gebäudes dessen Energieeffizienz erhöhen. Das Klimakonzept für den Cyclebowl auf der EXPO 2000 in Hannover, mit leicht transportabler thermischer Speichermasse in Form von Wassertanks, welche in die Ausstellungsrampen integriert wurden, sowie Regenerierung ihrer Speicherfähigkeit durch ein in die Fassade integriertes Verdunstungskühlungssystem, war nicht nur die treibende Kraft im Entwurfsprozess, sondern wurde auch zu einem wesentlichen Teil des Ausstellungskonzeptes und brachte die Firmenphilosophie des geschlossenen ökologischen Kreislaufs zum Ausdruck.

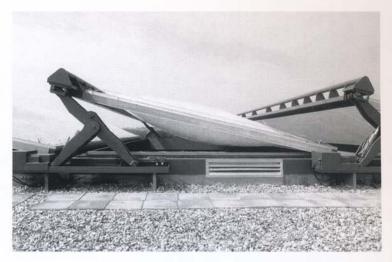
Ein Gebäude, und speziell die Gebäudehülle, fungiert als Filter zwischen außen und innen. Die Hülle kann als starres (ohne Bewegung) oder dynamisches Filtersystem (mit Bewegung) konzipiert wer-



BRAUN Hauptverwaltung, schneider+schumacher architekten, Kronberg im Taunus, 2000

В



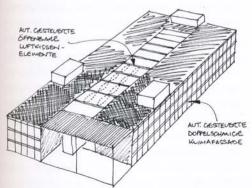


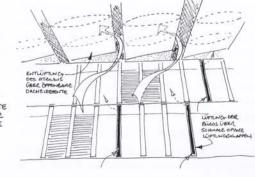
BRAUN Hauptverwaltung, bewegliche Dachoberlichter des Atriums

den, wobei das letzere in den meisten Fällen energetisch vorzuziehen ist. Das Gebäude der BRAUN-Hauptverwaltung in Kronberg im Taunus war das erste Bürogebäude mit einer doppelschaligen Fassade, bei dem die Fassade in ihrer energetischen Performance so effizient konzipiert wurde, dass ganze Gebäudetechniksysteme eingespart werden konnten. Es stellt somit eines der wenigen doppelschaligen Gebäude dar, die sich sowohl ökonomisch als auch energetisch innerhalb eines akzeptablen Zeitraums amortisiert haben. Mit der automatischen Öffnung der äußeren Hülle bei einer bestimmten Außenluftkondition erlebt man eine Metamorphose des äußeren Erscheinungsbildes von einer glatten Glasoptik in eine expressive architektonische Form-

sprache. Fast zehn Jahre später haben wir dieses Konzept mit den gleichen Architekten beim Neubau eines Büro- und Laborgebäudes im österreichischen Wels, das sich bei Redaktionsschluss dieses Buches im Bau befand, weiterentwickelt. Hier ermöglicht ein einfaches Trommelelement in der Fassade durch dessen Drehung die Einstellung von verschiedenen Lüftungsszenarien; beispielsweise findet eine Vorerwärmung der Außenluft im Winter im Fassadenzwischenraum statt, während im Sommer die Luft ohne diesen Aufheizeffekt in die Büroräume nachströmt. Das größte Potenzial für Energieeffizienzsteigerung bei vielen Gebäudetypen liegt in den Bereichen der mechanischen Lüftung und der Belichtung; nicht zuletzt deshalb, weil hierfür hochwertige Energie in

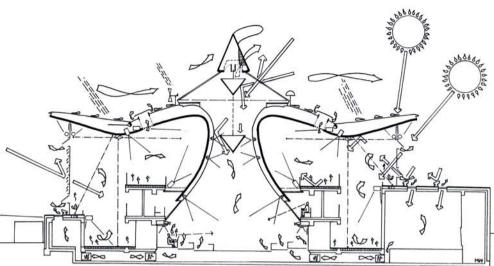
der Form von Strom verwendet wird, bei der Lüftung auch deshalb, weil hier das größte Potenzial zur Einsparung von Herstellungsenergie besteht. Bei dem Entwurf für die neue Hauptverwaltung der Europäischen Zentralbank in Frankfurt am Main wurde die Gebäudeform durch Überlegungen zur Maximierung der Energieperformance und optimalen natürlichen Lüftung der Gebäude stark beeinflusst. Zwei optimal orientierte Türme wurden auf dem Standort platziert, wobei der erste Turm die Südfassade des zweiten vor der Sonne schützt. Dann wurde eine zweite Haut um die beiden Türme gewickelt, so dass ein zentrales Atrium zwischen den Türmen sowie doppelschalige Fassaden an den äußeren Seiten der Türme entstanden. Form und Konstruktion der Gebäude wurden





BRAUN Hauptverwaltung, Konzeptskizzen





National Assembly for Wales, Rogers Stirk Harbour + Partner mit BDSP, Cardiff, 2005

dann so optimiert, dass sowohl Wind- als auch Sonnenenergie als direkte Antriebskräfte für eine kontrollierte, wirksame natürliche Lüftung der Büroräume genutzt werden. Die Fassaden des Atriums fungieren als Windfänger, um den Wind in das Atrium hinein zu lenken. Die Form der sogenannten "suction gaps" in der doppelschaligen Außenfassade der Bürotürme wurde so konzipiert, dass die verbrauchte Luft - unabhängig von der vorherrschenden Windrichtung - aus den Büroräumen herausgesaugt wird. Nutzungen wie Brücken und Aufzüge, aber auch Meetingräume und Pausenzonen konnten aus den Büroetagen in das Atrium hinein verlagert werden, so dass auf diese Weise das Verhältnis zwischen Brutto- und Nettoflächen auf den Büroebenen verbessert werden konnte.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes haben wir diese Ideen in jüngster Zeit weiterentwickelt und die technische Machbarkeit solcher Konzepte für Hochhäuser nachgewiesen. Folgende Vorteile können sich dadurch ergeben: höhere Energieeffizienz im Betrieb, Senkung des Verbrauchs grauer Energie (Lüftungsanlagen, Technikräume, Schächte), geringere Gefahr von Sick Building Syndrome, Einsparungen sowohl bei den Betriebskosten (Energie-, Instandhaltungs- und Betriebskosten) als auch bei den Kapitalkosten (System, Technikräume, Schächte). Diese Konzepte erfordern, wie die Skizzen zeigen, neue Konfigurationen der Gebäudegrundrissfiguren und Schnitte.

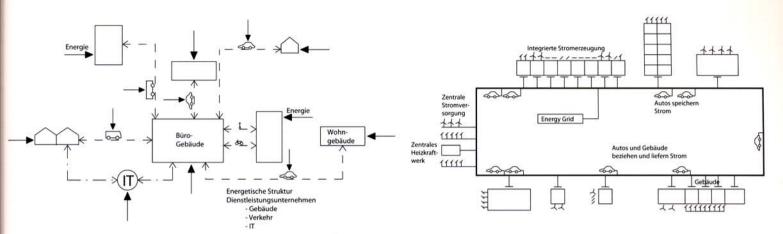
Für ein Museumsprojekt auf der Insel La Réunion haben wir eine Form entwickelt, die sich an traditionelle Hofstrukturen anlehnt und diese mit einer "Big Roof"-Konstruktion überdacht. Sie spendet Schatten für die darunterliegenden Pavillons und erzeugt Warmwasser durch integrierte Warmwasserkollektoren, welche die Wärme für den Betrieb einer Absorptionskältemaschine liefert. Durch die Geometrie der Konstruktion wird sichergestellt, dass lediglich diffuses Tageslicht durchgelassen, direktes Licht aber abgehalten wird. Kühlelemente im Dachbereich der Pavillons kühlen die Luft, die anschließend aufgrund der Schwerkraft in Schläuchen, die in regelmäßigen Abständen in den Ausstellungspavillons vertikal abgehängt sind, herunterfällt und in Bodennähe in die Räume einströmt. Die im oberen Bereich der Räume aufgewärmte Luft wird von dieser von unten nachströmenden kühleren Luft verdrängt, so dass eine natürliche Luftzirkulation ohne Ventilatoren entsteht.

Im Rahmen des Forschungsprojekts "Sporthalle der Zukunft" für den Ort Puconci in Slowenien haben wir im Vorfeld des nachgeschalteten Architektenwettbewerbs eine Studie für eine Dreifach-Sporthalle entwickelt. Das Forschungsprojekt beschäftigte sich mit der energetischen Konzeption eines Pilotprojektes, welches durch seinen richtungweisenden Charakter neue Möglichkeiten für einen energieeffizienten Sportstättenbau aufzeigen soll. Die Entwicklung erfolgte mittels eines analytischen Prozesses der

Optimierung eines virtuellen Modells. Aus Untersuchungen des Modells durch dynamisch-thermische Simulationen, Tageslichtsimulationen und CFD-Simulationen entstanden neue Systeme der natürlichen Lüftung und Belichtung, so dass nicht nur eine hohe energetische Performance erreicht, sondern auch neuartige Gestaltungsmöglichkeiten aufgezeigt wurden.

Gebäude verursachen auch noch eine andere Art der Bewegung, nämlich Verkehrsströme zwischen ihnen. Auf dieser Metaebene spielen sich subtilere Beziehungen zwischen Bewegung und Energie auf der einen und Architektur und Städtebau auf der anderen Seite ab. Die Konfiguration und Gestaltung urbaner Agglomerationen legt zu einem nicht unbeträchtlichen Anteil die Art und Menge dieser Ströme fest. Wir arbeiten in der Forschung an Konzepten einer räumlichen, dreidimensional begriffenen Stadtplanung, welche durch erhöhte urbane Dichte und Mischung von Nutzungstypen die Reduzierung oder Vermeidung von Verkehr als ein Ziel von vielen verfolgt. Zirkulations- und Bewegungsflächen bleiben dabei nicht auf die Erdgeschossebene beschränkt, und auch öffentliche Räume und Gärten auf verschiedenen Höhenebenen führen zu neuen Qualitäten von Urbanität und Freizeit.

Bei künftigen Stadtplanungen gilt es mögliche Synergien durch die Vernetzung von Gebäude- und Verkehrssystemen auszuloten. In einem Projekt an der Adriaküste haben wir ein umfassendes Energiekon-



Energetische Struktur eines Dienstleistungsunternehmens

Energieverbund aus Gebäuden und Fahrzeugen

zept für ein CO<sub>2</sub>-neutrales Entwicklungsgebiet auf einer Halbinsel mit einer ca. 100 ha großen Fläche entwickelt. Wir schlagen ein integriertes Netzwerk, ein Energy Grid, aus Gebäuden und Fahrzeugen vor. Das Verkehrssystem besteht aus Elektroautos, die mit durch erneuerbare Energie aufladbaren Batterien betrieben werden. Eine Kombination aus zentralen Anlagen und dezentralen, gebäudeintegrierten Systemen beliefert den Energieverbund mit erneuerbarer Energie. Sowohl die Gebäude als auch die Fahrzeuge beziehen Energie aus dem Netz und können Energie in das Netz einspeisen.

Das Potenzial zur Erhöhung der Energieeffizienz mittels Konzepten für nutzungsoffene Raumstrukturen, die an verschiedene Nutzungen während der Lebenszeit eines Gebäudes angepasst werden können, ist enorm. Die Entwicklung nutzungsoffener Architekturkonzepte und anpassungsfähiger Gebäudekonzepte wird eine wichtige Aufgabe der Zukunft sein. In der Konsequenz führen diese Überlegungen über Architektur und Städtebau hinaus. In einem Forschungsprojekt über den Zusammenhang zwischen verschiedenen Teleworking-Formen und der Gesamtenergieeffizienz der Gesellschaft untersuchen wir eine Neustrukturierung der physischen und virtuellen Infrastruktur der Gesellschaft (Gebäude, Verkehrs- und IT-Systeme), um das Potenzial zur gesellschaftlichen Gesamtenergieeffizienzsteigerung auszuloten. Nicht die energetischen Strukturen von Gebäuden oder Städten, sondern diejenigen von typischen Dienstleistungsunternehmen werden abgebildet, welche dann wiederum aus Gebäuden, Verkehrswegen und IT-Netzen bestehen. Die Analyse der energetischen Strukturen unserer Gesellschaft zeigt, dass Architektur und Städtebau in der Tat eine dominierende Rolle hierin spielen und daher ein enormes Potenzial zur Veränderung enthalten, dass jedoch alle bisher konzipierten und realisierten Maßnahmen keinen wirklich bedeuteten Beitrag zur Gesamtlösung der anstehenden Probleme ausmachen. Wir müssen im Grunde ganz anders vorgehen, grundlegende strukturelle Änderungen vornehmen, die physischen und virtuellen Strukturen unserer Gesellschaft neu bzw. umstrukturieren. Das energetische Potenzial, das sich durch die neuen Möglichkeiten der Kommunikation und des Arbeitens auftut, muss in der physischen Infrastruktur unserer Gesellschaft konsequent berücksichtigt werden. Utopisch erscheinende Strukturen sind denkbar: eine Stadt als dreidimensionale Gitterstruktur mit Räumen, die kurzfristig gemietet und genutzt werden. Treffen und die dafür genutzten Verkehrswege werden über GPS-ähnliche Systeme koordiniert. Ein digitales Steuerungssystem stellt sicher, dass alle Gebäude zu einem Höchstgrad ausgenutzt werden. Gebäude sind höchst adaptive Strukturen, die sich in Echtzeit den notwendigen Anforderungen anpassen. Man lebt für einen bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Punkt, bevor man sich zum nächsten fortbewegt. Man besitzt nur das Minimum, nutzt jedoch so viel

wie man will. Die Existenz des Menschen als Sammler (wohl aber nicht als Jäger) ist endlich vorbei. Auch solche Überlegungen resultieren aus den Beziehungen zwischen Architektur, Bewegung und Energie.

Alle im Text genannten Forschungsprojekte wurden vom Autor und seinem Team am Institut für Gebäude und Energie an der Technischen Universität Graz durchgeführt. Die Energiekonzepte für die im Text beschriebenen Projekte in der Praxis wurden vom Autor und seinem Team bei Arup in Zusammenarbeit mit den folgenden Architekten entwickelt: Coop Himmelblau (Guangzhou, La Réunion, Giza, Frankfurt am Main, Shenzen), schneider+schumacher architekten (Kronberg, San Diego, Wels), Ortner & Ortner (Duisburg, Montenegro), Carsten Roth (Wien), Assmann Salomon und Scheidt (Berlin), Atelier Brückner (Hannover), TEC PMC (Singapur).