

Von der CargoLifter–Werfthalle zu Tropical Islands – Konstruktion, Herstellung und Montage der neuen ETFE-Folienkissen-Eindeckung

W. Rudolf-Wittrn, B. Stimpfle, S. Blümel, H. Pasternak

Zusammenfassung Die weltweit größten, jemals gebauten ETFE-Folienkissen bringen heute auf einer Fläche von rd. 20.000 m² das wichtige UV-Licht in das Projekt „Tropical Islands“. Bei der Erarbeitung dieses Sondervorschlages galt es, nicht nur eine funktionierende konstruktive Lösung zu erarbeiten, sondern auch die Fertigungsmöglichkeiten sowie die Montierbarkeit ausreichend zu berücksichtigen. Die theoretische Detailausbildung hatte diesen Aspekten Rechnung zu tragen. Zusätzlich wurde die Realisierbarkeit durch umfangreiche Feldversuche abgesichert. 56 ETFE-Folienkissen mit Einzelgrößen von z.T. über 400 m² waren zu fertigen. Die Montage erfolgte zum größten Teil durch geschulte Industriekletterer, die in Seilen hängend das sensible Material zu händeln hatten. Aufgrund der statisch „weichen“ Konstruktion wurde ein ausgeklügeltes, computergesteuertes Stützluftsystem mit mehrfacher Redundanz entwickelt und installiert.

From CargoLifter Airship Hangar to Tropical Islands – construction, manufacture and erection of the new ETFE-foil cushions

Abstract Today, the largest ETFE-foil cushions ever built world wide, form the 20.000 m² window area, which brings the essential UV-light into the project „Tropical Islands“. Working on this alternative proposal meant not only to develop a workable constructive solution but to take into account the manufacturing process as well as the erection procedure. All the details have been developed under consideration of these demands. Beside that the details have been checked by extensive experiments. 56 ETFE – foil cushions, some of them with single sizes of more than 400 m², had to be manufactured. The erection process required mainly special abseilers, which had to do the erection of this delicate material hanging

in ropes. Due to the soft structure a high sophisticated computerized air supporting system has been developed and installed.

1 Einleitung

In [1] wurde ausführlich die technische Konzeption der neuen ETFE Folienkisseneindeckung für Tropical Islands beschrieben. Der nachfolgende Aufsatz befasst sich mit der Umsetzung dieser Konzeption, den Konstruktionsdetails, der Herstellung und der Montage.

2 Konstruktionsdetails

Die Anforderungen an die Ausbildung der Detailpunkte wurden im Wesentlichen durch die Montage ohne Kran in luftiger Höhe definiert. Daher sollten alle Elemente möglichst kleinformig und leicht sein und von zwei Mann bewegt werden können. Arbeiten am Bogenbinder und den Aussteifungen wären nur unter großem Aufwand möglich gewesen; daher mussten alle Anschlussdetails an den bestehenden Stahllaschen anschließen. Die Detailarbeiten in der Höhe mussten minimiert werden: Aus diesem Grund wurden die seilgestützten Kissen in möglichst große Kissen unterteilt. Darüber hinaus sollten die Rand- und Kehlseile der Außenmembran wieder verwendet werden und die Montage sollte auch bei Betrieb in der Halle möglich sein. Die bestehende Innenmembran wurde daher als Montageplattform verwendet und die Kissen mussten auch bei geschlossener Innenmembran montierbar sein.

Somit war der Witterungsschutz auch während der gesamten Bauphase gewährleistet. Durch Absenken der Innenmembran wird es möglich auch die Randbereiche zu begehen.

Die gesamte Konstruktion besteht im wesentlichen aus den vier folgenden Detailpunkten:

- Anschluss an den Bogenbinder und an den First
- Anschluss an das Kehlseil
- Kissenstoß
- Anschluss an das Randseil

2.1 Anschluss an den Bogenbinder und an den First

Am Bogenbinder schließt das Kissendach an den bestehenden Anschlusslaschen an (Bild 1). Die Anschlusslaschen haben einen Abstand von 2,36 m. Zwischen diesen Anschlusslaschen ist das Folienkissen an einem durchgehenden Z-Profil angeklemt.

Der Anschluss der oberen und der unteren Seile erfolgt direkt im Bereich der Anschlusslaschen an den Bogenbinder. Die Folienspannung zwischen den Anschlusspunkten wird über das Z-Profil abgetragen.

Wolfgang Rudolf-Wittrn

CENO TEC GmbH
Am Eggenkamp 14
48268 Greven

Dipl.-Ing. Bernd Stimpfle

form TL GmbH
Kapellenweg 2b
78315 Radolfzell

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Blümel

CL MAP GmbH
Haydnstraße 7
80336 München

Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Pasternak

Lehrstuhl für Stahl- und Holzbau
BTU Cottbus
K.-Wachsmann-Allee 2
03046 Cottbus

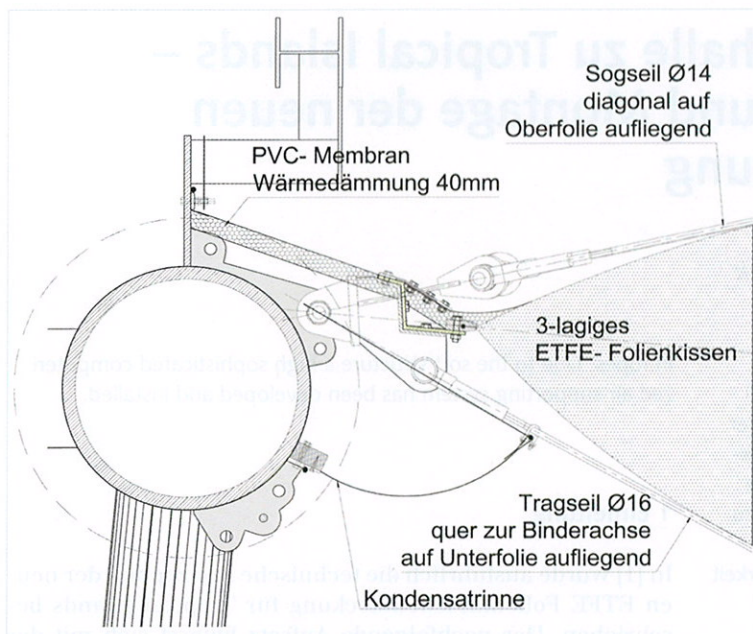


Bild 1. Detail Binderanschluss
Fig. 1. Girder connection detail

2.2 Anschluss an das Kehlseil

Im Kehlbereich schließen die beiden Seilscharen mit Seilklemmen an das Kehlseil an (Bild 2). An den Seilklemmen hängt die wärmedämmte Regenrinne, die das Dachwasser abführt. Die Fassung der Folienkissen erfolgt linear analog zum Randdetail. Rechts und links bildet ein gekantetes L-Profil die Anschlusslinie für die Kissen.

Unter der Rinne ist eine Kondensatrinne befestigt, um anfallendes Tauwasser und eventuell anfallendes Fehlwasser sicher abzuleiten.

Unter Windlast dehnt sich das Kehlseil um ca. 500 mm. Daher sind die Einzelteile nicht in Längsrichtung miteinander verbunden. Am Rinnenende sorgt eine GFK-Nase für eine dachziegelartige Überlappung

2.3 Anschluss an das Randseil

Am Randseil werden die Aluminiumklemmleisten mit Edelstahlbügeln gefasst und auf das Randseil gehängt (Bild 3). Im Bereich des Kehlseilanschlusses und am Binderfußpunkt erhalten die Kissen einen kreisrunden Ausschnitt, der kraftschlüssig wie ein Seil die Folienspannung abträgt.

2.4 Ausbildung des Kissenstoßes

Das Großkissen ist insgesamt 14 Einzelkissen unterteilt. An den Stößen sind die Kissen mit Klemmleisten gehalten. Die Klemmleisten der beiden Kissen sind in diesem Stoßbereich mit Flachmaterial verbunden (Bild 4). Über der Klemmung liegt eine wärmedämmte Dichtschürze. Unter der Klemmleiste ist eine Kondensatrinne angeschlossen. Die Klemmprofile sind in Längsrichtung nicht kraftschlüssig verbunden um ein Dehnen des Stoßes zu ermöglichen. Die Lage des Kissenstoßes ist v-förmig angeordnet, um in den flachen Bereichen ein Entwässern der Kehle sicherzustellen.

2.5 Detailausbildung der ETFE-Kissen

An den Zuschnitt der Folienkissen wurden die folgenden Anforderungen gestellt: Die Materialausnutzung sollte optimiert werden, d.h. wenig Verschnitt und möglichst breite parallele Bahnen. Für eine optimierte Fertigung sollte der Nahtverlauf möglichst gerade sein (Bild 5). Der rechnerisch erforderliche Kissenstich hat sich nicht aus der Dehnung der Kissen allein ergeben. Es musste zusätzlich noch etwa 2 bis 3% Material zugegeben werden, so dass die Materiallänge dem Kissenstich entspricht.

Die Kissen sind mit 8 mm breiten Nähten verschweißt, die in der Durchsicht kaum wahrnehmbar sind. Im Randbereich (Bild 6) ist ein vorgefertigter Kederstreifen aufgesetzt, an dem die Klemmprofile die Kissen fassen.

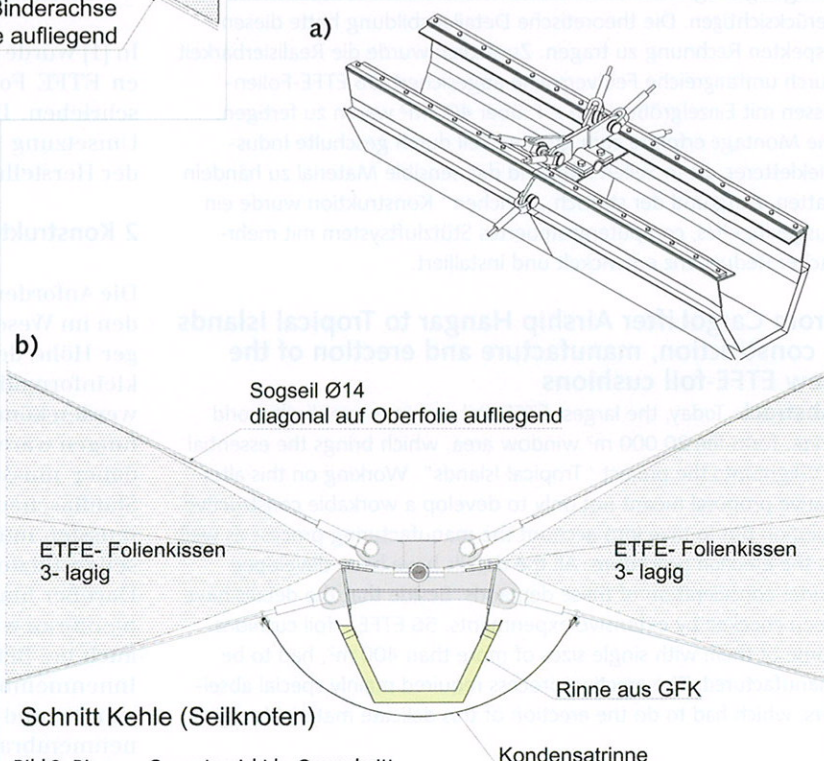


Bild 2. Rinne a- Gesamtansicht b- Querschnitt
Fig. 2. Gutter a-general view b- cross section

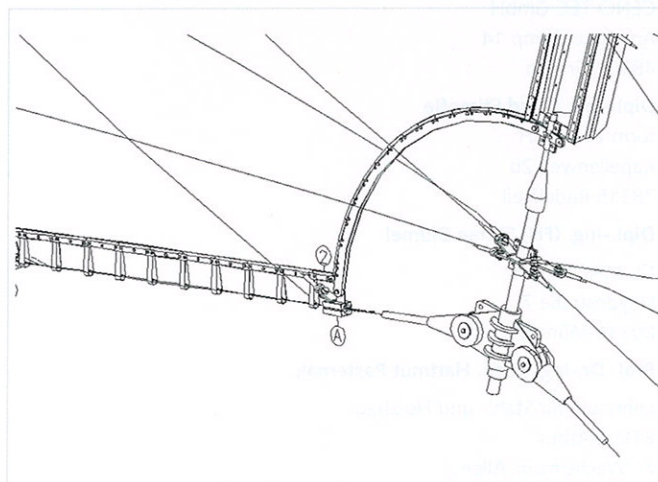


Bild 3. Anschluss Kehlseil-Randseil
Fig. 3. Central node valley and border cable

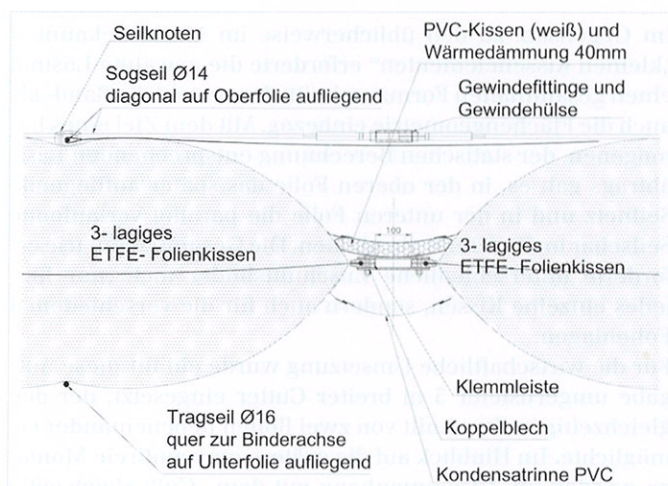


Bild 4. Stoßdetail
Fig. 4. Cushion joint detail

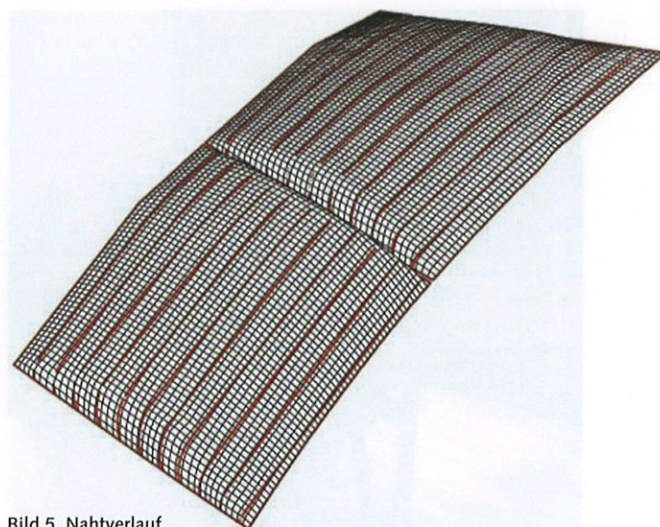


Bild 5. Nahtverlauf
Fig. 5. Seam layout

3 Herstellung und Transport

3.1 Kissen

Gemeinhin bezeichnet man die Konfektionsbetriebe, die sich mit textiler Architektur beschäftigen, als „Schwergewebekonfektionäre“. Dieses ist auf den stetigen Umgang mit hochfesten beschichteten Geweben (Polyester/PVC bzw. Glas/PTFE) zurückzuführen, deren Gewicht in der Regel 1,2 – 1,5 kg/m² beträgt. Die Verarbeitungstechnologien und die Montagetechniken sind seit Jahren bekannt und bewährt. Bei der Verwendung von ETFE-Folie mit einem Gewicht von nur ca. rd. 175 g/m² für z.B. 100 µ starke Folien bzw. rd. 350 g/m² für 200 µ starke Folien ergeben sich vollkommen neue Anforderungen für die Verarbeitung, die Konstruktionsdetails und die Montagetechnik. Dies gilt umso mehr, wenn – wie im vorliegenden Fall – eine Lösung mit sehr großen Kissen-elementen erarbeitet wird. Wohl aus diesem Grunde wurden bis dato im Markt auch nur ETFE-Folien-Konstruktionen mit „überschaubaren“ Kissen-größen angeboten, bei denen die einzelnen Kissen mit umlaufenden, aussteifenden Rahmenkonstruktionen versehen sind. Hierdurch werden sowohl das Handling wie auch das Risiko im Umgang mit diesem sehr sensiblen Material in Grenzen gehalten.

Die Idee, die Kissen als quasi lastverzehrende Federelemente zu nutzen, ließ die Kissen-elemente in iterativen Entwicklungsschritten immer größer werden. Die konstruktiven Vorteile für das Bauprojekt (insbesondere bessere Lichtausbeute, Vermeidung von Kältebrücken, verbesserter U-Wert und letztlich Vermeidung der Verstärkung der Stahlkonstruktion) wurden im vorangegangenen Aufsatz detailliert besprochen.

Ein wesentliches Kriterium bei der Entscheidungsfindung zur gewählten Konzeption war der jeweilige Abgleich der erarbeiteten Teillösungen mit der konfektions- und montagetechnischen Umsetzbarkeit.

Im Vorfeld der Konfektion wurden umfangreiche Tests und Prüfungen durchgeführt. Hierbei galt es zunächst einmal, das Handling der dreidimensionalen Großkissen, die Montierbarkeit und das Zusammenwirken mit den erarbeiteten Details inklusive der Seillagen zu prüfen. Zu diesem Zweck

Schnitt C-C

M 1:1

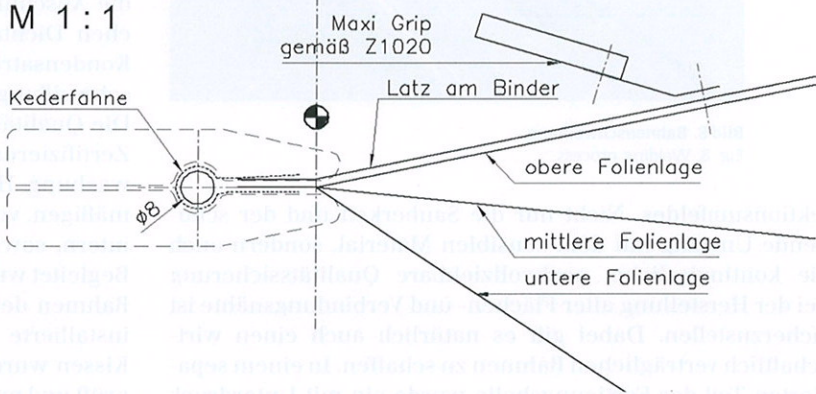


Bild 6. Randdetail
Fig. 6. Border detail

wurde ein Versuchsfeld in der Größe von 10 x 10 [m], etwa einem Viertel eines Kissens entsprechend, gebaut (Bild 7). Dieses hatte im Dauertest alle erdenklichen Szenarien zu durchlaufen, ehe die Fertigung freigegeben wurde. Die Herstellung der ca. 16 x 27 [m] großen Einzelkissen stellt außer-gewöhnliche Anforderungen an die Ausgestaltung des Kon-



Bild 7. Versuchsfeld
Fig. 7. Mock-up



Bild 8. Bahnenschweißung
Fig. 8. Welding process

fektionsumfeldes. Nicht nur die Sauberkeit und der schonende Umgang mit dem sensiblen Material, sondern auch die kontinuierliche, nachvollziehbare Qualitätssicherung bei der Herstellung aller Flächen- und Verbindungsnahte ist sicherzustellen. Dabei gilt es natürlich auch einen wirtschaftlich verträglichen Rahmen zu schaffen. In einem separierten Teil der Fertigungshalle wurde ein mit Unterdruck versehener Fertigungstisch in Kissengröße erstellt. Weiterhin wurden speziell für dieses Projekt neue Maschinen entwickelt, die in einem kontinuierlichen, computergestützten Schweißverfahren die notwendige Nahtqualität sicherstellten. Als Vorgabe aus den statischen Werten galt es, im Nahtbereich Festigkeiten von mindestens 82 % der Materialfestigkeit zu übertragen. Durch eine ausgeklügelte neu entwickelte Schweißtechnologie konnte dieses Ziel mit einer durchschnittlichen Festigkeit von >90 % (bei Normaltemperatur) in allen Proben – vor allem auch während der laufenden Fertigung – gesichert nachgewiesen werden.

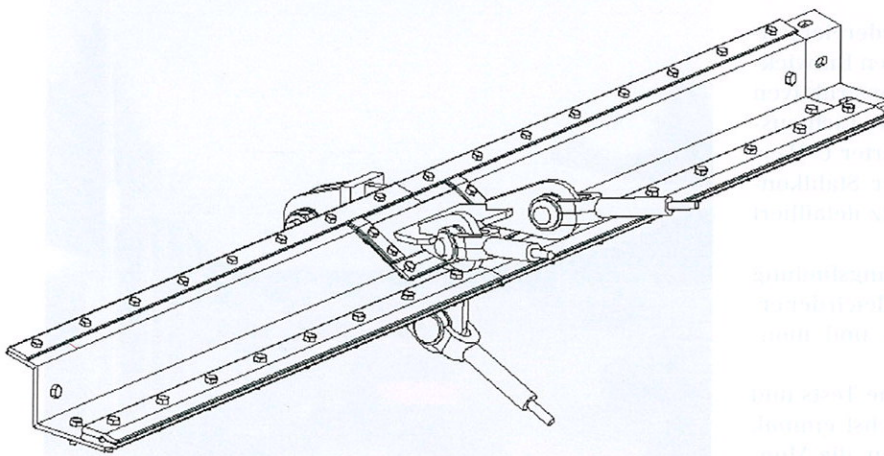


Bild 9. Stahl-Z-Profil
Fig. 9. Steel – Z – profiles

Im Gegensatz zu den üblicherweise im Markt bekannten „kleinen Kissenelementen“ erforderte die gewählte Lösung einen gesamthaften Formzuschnitt, der sowohl die Rand- als auch die Flächengeometrie einbezog. Mit dem Ziel eines homogenen, der statischen Berechnung entsprechenden Lastabtrags galt es, in der oberen Folie das später aufliegende Seilnetz und in der unteren Folie die parallel verlaufende Seilschar im Zuschnitt abzubilden. Die Gesamtgeometrie erforderte unterschiedliche Zuschnittsbilder nicht nur für jedes einzelne Kissen, sondern auch für die verschiedenen Folienlagen.

Für die wirtschaftliche Umsetzung wurde ein für diese Aufgabe umgerüsteter 3 m breiter Cutter eingesetzt, der den gleichzeitigen Zuschnitt von zwei Rollen nebeneinander ermöglichte. Im Hinblick auf die spätere einwandfreie Montage wurden im Zusammenhang mit dem „Cut“ gleichzeitig Markierungen aufgebracht, die sowohl die Lage der Zuschnitte, als auch die Lage der Seile und Seilnetze anzeigte. Zunächst wurden die einzelnen Bahnen der drei Folienflächen geschweißt (Bild 8). Im weiteren Schritt waren sodann die Anschlusslätze für die oberen Dämmkissen, die seitlichen Dichtanschlüsse sowie die unterhalb angeordneten Kondensatrinnen aufzubringen, bevor die Kissenrandschweißung mit eingelegtem Keder erfolgte.

Die Qualitätssicherung erfolgte analog der im Rahmen der Zertifizierung nach ISO 9001 installierten Eigenüberwachung. Hierzu wurden u. a. von jedem Nahtbild in regelmäßigen, vorgegebenen Abständen Proben entnommen und intern, sowie zum Teil extern, getestet und dokumentiert. Begleitet wurde die Fertigung darüber hinaus durch eine, im Rahmen der parallel erwirkten Zustimmung im Einzelfall, installierte Fremdüberwachung. Die Passgenauigkeit der Kissen wurde jeweils durch eine Schlussvermessung überprüft und protokolliert. Insgesamt konnte nach entsprechender Vorlaufzeit in drei Schichten täglich ein komplettes Kissen produziert werden.

3.2 Transport

Der Transport zur Baustelle im ca. 550 km entfernten Brand erfolgte in einzelnen, weich ausgepolsterten Transportkisten. Die ETFE-Folien-Kissen wurden von vornherein so gefaltet und mit einer tragfähigen Membranhülle versehen, dass sie mit der installierten Kranbahn direkt aus der Verpackungskiste gehoben und zum Einbauort geliftet werden konnten.

3.3 Seile und Stahlprofile

Parallel zur Konfektion der Kissen waren die Seile herzustellen und vor Ort für die Montage vorzubereiten. Es galt ein Seilsystem zu wählen, dass sowohl der erwarteten Chlorbelastung im Inneren der Halle, als auch den Anforderungen an die Homogenität der Oberfläche entsprach. Ursprünglich war angedacht, die Seile, die im direkten Kontakt mit der ETFE-Folie sind, mit einem Kunststoffmantel zu versehen. Aus der Erfahrung der Vergangenheit heraus hat sich jedoch gezeigt, dass bei möglichen Beschädigungen einer Ummantelung eindringende Feuchtigkeit zu Korrosionsschäden führen kann. Gewählt wurden letztlich Stalum-Seile. Es handelt sich hierbei um Stahlseile, deren einzelne Litzen mit ei-



Bild 10. Vormontage und Montage der Rinnenteile
Fig. 10. Preassembly and assembly of central gutter

nem homogenen Alu-Mantel versehen sind. Dieses führt zu einer absolut homogenen Oberfläche. Zu berücksichtigen ist allerdings der Alu-Abrieb, der zu Verschmutzungen der ETFE-Oberfläche führen kann.

Um nicht durch falsches Handling und Transport die Homogenität der Oberfläche zu gefährden, wurden die Seile – insbesondere für das obere Seilnetz – vor Ort zu den einzelnen, kissengroßen Seilnetzen vorkonfektioniert.

Die erforderlichen Stahlteile (Bild 9), die mit einer ebenfalls extra auf die erwartete Chlorbelastung abgestimmten ZINGA-Beschichtung versehen wurden, waren ebenfalls rechtzeitig für die Vormontage vor Ort anzuliefern. Als Befestigungselemente für die ETFE-Kissen wurden spezielle Aluminiumprofile eingesetzt. Diese hatten zum einen die hohen Ansprüche an die Zugfestigkeit zu erfüllen. Weiterhin musste durch die Einzellänge der Profile sichergestellt sein, dass sie – insbesondere entlang der Verbindungslinie zwischen zwei ET-

FE-Kissen – die Verformung aus äußeren Lasten aufnehmen kann.

Die Entwässerung der Kissenfelder erfolgt durch eine gedämmte GFK-Rinne (Bild 2a, Bild 10). An die ca. 2,36 m langen Einzelteile mussten vor Ort Stahlteile montiert werden, die zur Befestigung mit dem Kehlseil sowie zur Anbindung der Stahlseile und Kissenrandklemmung dienten.

Es ist zu erwähnen, dass zwischen Vertragsunterzeichnung und Montagebeginn lediglich ein Zeitkorridor von drei Monaten zur Verfügung stand. Innerhalb dieser Zeit war nicht nur die Konfektion/Herstellung der Materialien zu bewerkstelligen sondern auch die statische Berechnung inklusive aller Konstruktionszeichnungen. Insgesamt wurden rd. 60.000 m² ETFE-Folie, 16 km Spezialseile Ø 14 und 16 mm, 80 t Stahl, 9 km Spezialaluminiumprofile sowie 600 m Rinnenteile in einer Länge von jeweils 2,36 m und einem Einzelgewicht von rd. 25 kg verarbeitet und eingebaut. Hinzu kommt der Materialeinsatz der Stützluftversorgung.

3.4 Luftsteuerungssystem

Die Stützluftversorgung entwickelte sich im Zusammenhang mit den statischen und bauphysikalischen Anforderungen als ein äußerst komplexes System. Ist üblicherweise bei ETFE – Kissenkonstruktionen nur die Aufgabe der Stützluftversorgung mit entsprechender Redundanz sowie eine Luftkonditionierung zu erfüllen, galt es hier zusätzlichen Aufgaben gerecht zu werden. Wie bereits in [1] dargestellt, stellt die gewählte Lösung eine weiche, elastische Konzeption dar, die in Abhängigkeit von äußeren Lasten ihre Form verändert. Hinzu kommt, dass für die Stabilisierung des Systems die Sicherstellung eines Mindestdruckes erforderlich ist. Vergleichbar trägt bei den bisher bekannten kleineren Kissenkonstruktionen der Rahmen, so dass der Ausfall eines Kissens oder gar einer Kissengruppe keinerlei statische Fragen aufwirft. Für das Projekt Tropical Islands galt es, deutlich erhöhte Anforderungen an die Sicherheit und Steuerung des Gesamtsystems zu erfüllen (Bild 11).

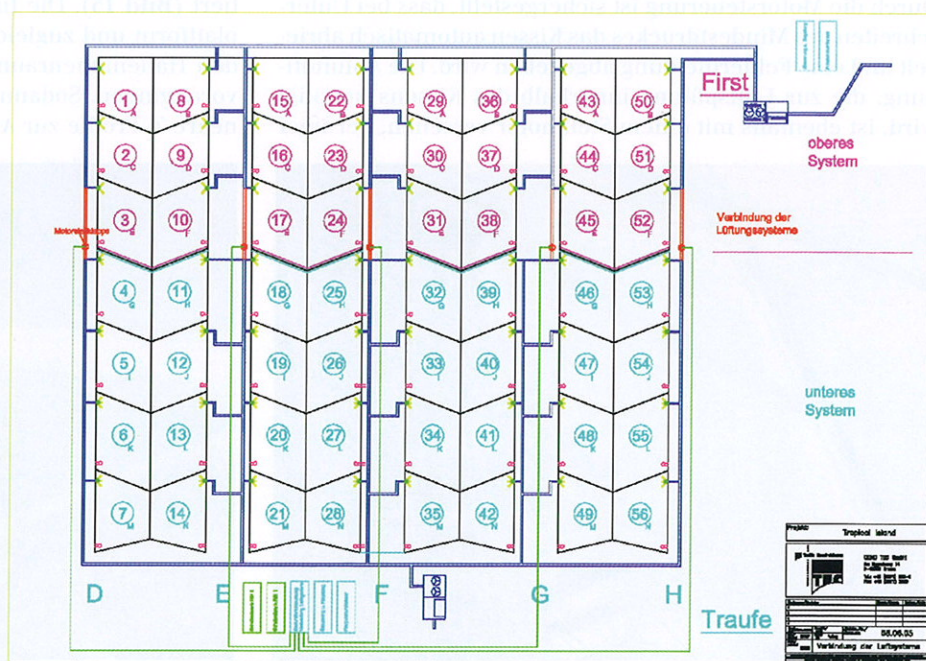


Bild 11. Luftleitungssystem
Fig. 11. System of air supply

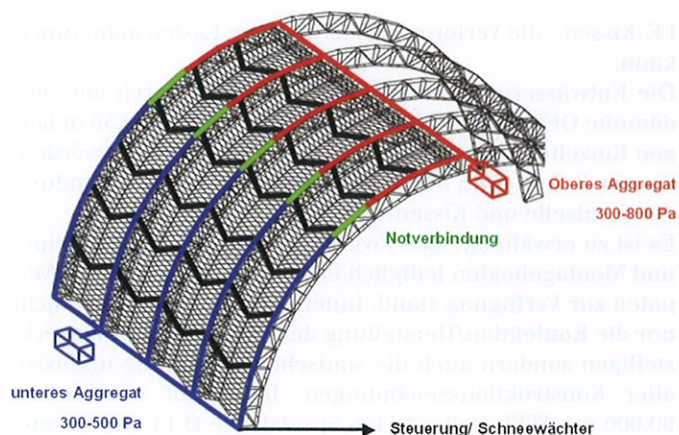


Bild 12. Steuerung
Fig. 12. Controlling air supply

Mögliche Schneelast im Bereich der oberen sechs Kissen je Feld sowie dynamische Windlast im Bereich der unteren acht Kissen je Feld erforderten eine Trennung der Stützluftversorgung mit jeweils geänderten Features. Ausgehend von einem Nenndruck von 300 Pa ist in den oberen Kissen der Druck bei möglicher Schneelast, gesteuert durch Schneewächter, in Stufen auf 800 Pa zu erhöhen. Ist dies der Fall, muss in den unteren Kissen – um eine zu große Differenzbelastung zu verhindern – der Nenndruck auf 500 Pa erhöht werden. Weiterhin ist in den unteren Kissen durch die Art der Luftzuführung und -abführung sicherzustellen, dass im Falle auftretender starker Windböen Luft schnell entweichen kann. Das hat zu deutlich größeren Querschnitten sowohl für die Luftzufuhr als auch in allen Zuleitungen geführt. Weiterhin war die ursprünglich geplante automatische Rückschlagsicherung motorisch zu betreiben.

Insgesamt entstand ein äußerst komplexes, computer-gesteuertes Lüftungssystem mit verschiedenen Stufen der Redundanz (Bild 12). Jedes einzelne Kissen wird durch Motorsteuerung mit der gewünschten Luftmenge versehen. Durch die Motorsteuerung ist sichergestellt, dass bei Unterschreiten des Mindestdruckes das Kissen automatisch abriegelt und eine Fehlermeldung abgegeben wird. Die Abluftöffnung, die zur Luftspülung innerhalb des Kissens benötigt wird, ist ebenfalls mit einem Stellmotor versehen, der über

den Computer individuell auf die gewünschte Spülrates eingestellt werden kann.

Das Aggregat für die oberen Kissenreihen ist im First der Halle in einer Höhe von ca. 100 m positioniert. Die Stützluftversorgung der unteren Kissen erfolgt durch ein separates Aggregat, welches auf der Galerie in Höhe von ca. + 12,00 m installiert ist. Dieses Aggregat übernimmt, da es leichter erreichbar ist, auch für die obere Versorgung die Host-Funktion. Obschon beide Aggregate mit einer unabhängigen Notstromversorgung versehen sind, wurde zusätzlich eine ebenfalls steuerbare Verbindung beider Stützluftsysteme geschaffen, so dass im äußersten Notfall ein Aggregat allein die Stützluftversorgung übernehmen kann. Bei der Dimensionierung der Aggregate wurde dies im Vorfeld bereits berücksichtigt.

4 Montage

4.1 Kissen und Seile

150 m abgewinkelte Länge; Montagehöhe bis 107 m; Steilbereiche bis 90°; klimatische Sonderverhältnisse, die sich aus der baulichen Situation in einer relativ ebenen Landschaft ergeben; Außenwitterung; ein separates Innenklima: Das waren die Randbedingungen unter denen die Montage durchzuführen war. Grundsätzlich sind das keine außergewöhnlichen Rahmenbedingungen, aber erschwerend kommt das Handling mit dem sensiblen ETFE – Material hinzu, das erstmals in diesen Kissengrößen zu montieren war.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass fast alle Kissen aufgrund der geometrischen Form der Halle aus Seilen heraus zu montieren waren (Bild 13). Zur besseren Erreichbarkeit der jeweiligen Montageorte konnten die bauseits vorhandenen äußeren Befahranlagen (Bild 14) genutzt werden. Für den Materialtransport wurde in den jeweiligen Feldbereichen ein gesondertes „Liftsystem“ mit Motorsteuerung und weitere Befahranlagen installiert.

Zunächst wurde die Außenmembrane zerstörend demonstert (Bild 15). Die Innenmembrane verblieb als Montageplattform und zugleich aber auch als Witterungsschutz für den Halleninnenraum in dem parallel die Ausbauarbeiten vorangingen. Sodann wurden umlaufend die Stahlteile (lineare Z-Profile zur Aufnahme der Kissen mit Seilanschlag-

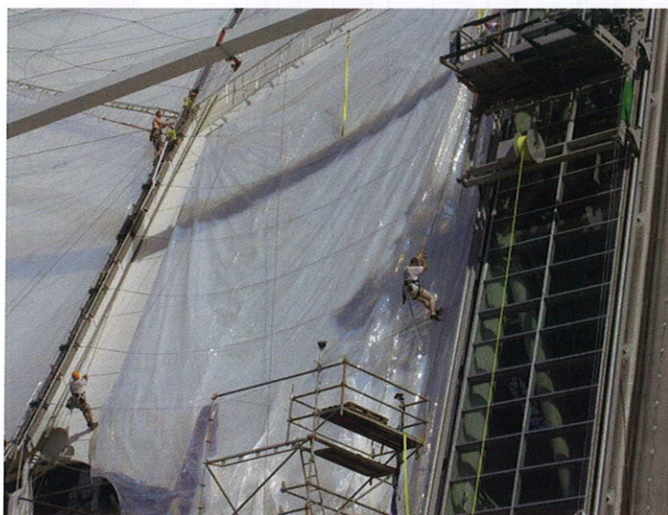


Bild 13. Kissenmontage aus Seilen
Fig. 13. Erection with feet off the ground



Bild 14. Befahranlagen
Bild 14. Moveable scaffoldings



Bild 15. Demontage Außenmembrane
Fig. 15. Dismantling of outer membrane



Bild 16. Montage Rinne
Fig. 16. Assembly of gutterparts

punkten) montiert; anschließend die untere Seilschar. In Vorbereitung der weiteren Arbeiten wurden bereits vor der Kissenmontage umlaufend die späteren Dämmkissen sowie die Kondensrinnen eingebaut. Ein nächster Schritt war es, das belassene Kehlseil durch spezielle Montagehilfsseile in Sollposition zu heben und dort die Rinnenteile vorzumontieren, die im Kehlbereich den mittleren Kissenstoß ausbilden. Für die ersten Elemente konnte die verbliebene Innenmembrane als Plattform genutzt werden. In den Steilbereichen gestaltete sich das Handling mit den ca. 200 kg schweren Rinnenelementen erheblich schwieriger (Bild 16).

Die Kissenelemente selbst wurden mittels Lift aus der Transportverpackung entnommen, eingehoben und beginnend von den Ecken aus mit den Spezial-Aluprofilen auf die vormontierten Z-Profile geschraubt (Bild 17). Dabei war mit äußerster Vorsicht vorzugehen, um Beschädigungen für die ETFE-Kissen auszuschließen. Der jeweils untere Rand zum nächsten Kissenstoß wurde mit Aluminiumprofilen ausgeführt, die durch Verbindungselemente mit dem nächsten Kissenrand, also dem oberen Kissenrand des folgenden Kissens verbunden wurden.

Aus Sicherheitsgründen ist das gesamte System so konstruiert, dass jedes Kissen einzeln ausgetauscht werden kann (Bild 18). Alle Elemente, wie z.B. Dämmmembrane, Kondensrinne, oberes Seilnetz etc. sind entlang der Verbindungslinie zwischen zwei Kissen lösbar miteinander verbunden.



Bild 17. Kissenmontage
Fig. 17. Erection of cushions



Bild 18. Verbindung zum nächsten Kissen
Fig. 18. Connection line to next cushion



Bild 19. Montage der Luftversorgung
Fig. 19. Assembling of air supporting system

4.2 Stützluftsystem

Parallel zur Kissenmontage erfolgte die Montage des Stützluftsystems (Bild 19). Diese gestaltete sich als äußerst schwierig, weil die einzelnen Teile zunächst durch ein im Halleninneren installiertes temporäres Liftsystem zur Plattform im First gehoben und von dort durch ausgebildete Höhenkletterer über Seile weitere 8 m hoch zum Einbauort zu

bringen waren. Erschwerend kam hinzu, dass durch die oben genannte Komplexität des Systems z.B. für den Einbau der Motoren sowie der für die Computersteuerung notwendigen Verkabelungen, die Anschlussbereiche zu den Kissen mehrfach „erklettert“ werden mussten.

Nach Einbau der Kissen erfolgte dann jeweils der Anschluss an die Luftversorgung wobei während der Montagezeit zu-



Bild 20. Montage oberes Seilnetz
Fig. 20. Erection of upper rope net

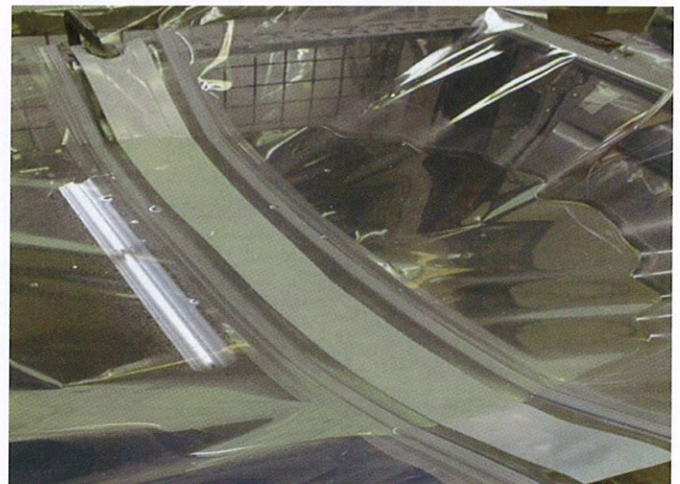


Bild 21. Dichtungen
Fig.21. Closing flaps and sealing



Bild 22. Fassadenanschluss
Fig. 22. Closing membrane to glass façade

nächst nur mit reduziertem Druck gefahren wurde. Im nächsten Schritt erfolgte dann die Montage des oberen Seilnetzes (Bild 20). Zur Sicherstellung der gewollten Geometrie sind sodann das obere wie auch das untere Seilnetz auf die richtige Lage hin zu kontrollieren und ggfs. nachzurichten. Hierzu waren – wie oben bereits beschrieben – Markierungspunkte auf die Folie aufgebracht worden. Erst nach Abschluss dieser Arbeiten kann dann – jeweils getrennt im unteren und oberen Luftsystem und jeweils paarweise – der Nenndruck aufgebracht werden. Dies jedoch nicht, bevor die zuvor montierten Kehlhilfsseile, die zur Vormontage der Rinne dienten, demontiert wurden.

Nach Abschluss dieser Arbeiten wurde das obere und untere Dichtsystem erstellt (Bild 4, Bild 21). Wie beschrieben wurden bereits im Werk Aufnahmelaschen aus gesondert entwickelten flexiblen ETFE-Profilen an die Kissen angeschweißt. In diese Profile werden an der Baustelle die Dämmkissen sowie die Kondensrinnen eingehakt. Die Dichtigkeit dieses Systems wurde im Rahmen der Entwicklung dieser Detaillösung im Werk ausreichend überprüft. Die Verwendung einer derartigen Anschlusstechnologie war erforderlich um auch in diesem Bereich einen lösbaren Anschluss zu haben. In den Aufgabenbereich der Abdichtung gehörte auch der Einbau der Kondensrinnen.

Als abschließende Arbeit wird je Feld der untere Traufabschluss, d.h., der Abschluss zwischen der ETFE-Kissenkonstruktion und der darunter liegenden Glasfassade durch ein entsprechend geformtes Membranteil wieder hergestellt (Bild 22). Ursprünglich sah die Planung auch hier vertikale ETFE-Kissen vor. Bedingt durch die Gefahr von Schmutzabla-

gerung in diesem Bereich, wurde die Entscheidung für eine normale Membrane getroffen.

Erst nach Fertigstellung eines jeden Feldes, also dem Einbau der 14 Kissen mit Seilen und Seilnetz, Sicherstellung der Stützluftversorgung, Herstellung der Dichtungsebenen nebst Dämmung und abschließender Kontrolle, erfolgt der Rückbau der bis dato als Montageplattform dienenden Innenmembrane.

Der Rückbau sollte nicht unterschätzt werden. Immerhin gilt es – frei schwebend in Höhen bis zu 100 m – eine ca. 5.000 m² große Membranfläche zurückzubauen. Das Gewicht einer Einzelfeldmembrane beträgt einschließlich der Stahlteile und Seile ca. 10.000 kg. Innerhalb dieser Aktion war sicherzustellen, dass unter diesen Bereichen erbrachte Leistungen nicht durch z.B. aus großer Höhe herunterfallende Teile beschädigt werden. Erschwerend kam hinzu, dass zum Zeitpunkt der Demontage Tropical Islands bereits eröffnet

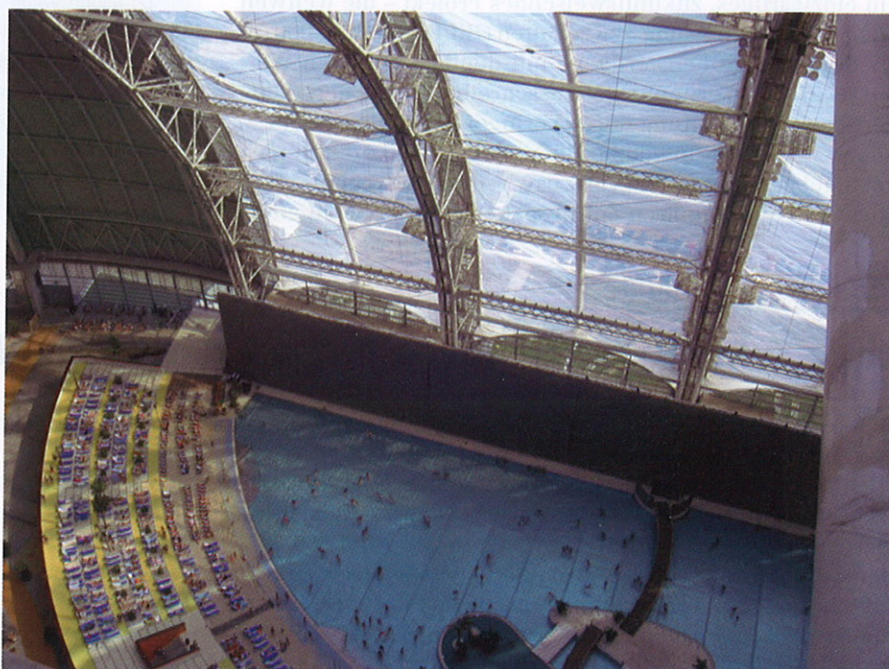


Bild 23. Tropical Islands a- von innen, b – von außen
Fig. 23. Tropical Islands a- from inside b- from outside

hatte. Obgleich zur Sicherheit bei allen „Innenarbeiten“ der darunter liegende Bereich großzügig abgesperrt wurde, erfolgt der Rückbau der Innenmembrane zum Personenschutz in den Nachtstunden.

5 Schluss

Die Umsetzung des beschriebenen Konzeptes stellte höchste Anforderung an Alle an der Planung, Herstellung und der Umsetzung vor Ort Beteiligten. Die Größe und Komplexität des Projektes brachte naturgemäß einige Ablaufstörungen mit sich. Insgesamt ist es jedoch gelungen, durch permanentes Abgleichen des Leistungsolls mit höchsten Qualitätsansprüchen und einer ausgefeilten Sicherheitsphilosophie, ein einzigartiges, zukunftsweisendes Projekt – die weltweit erste Großkissenlösung – zu schaffen (Bild 25). Rd. 20.000 m² UV-durchlässige Fensterfläche mit deutlich besseren Werten als in der ursprünglichen Ausschreibung gefordert (10 % geringere Verschattung durch geringeren Profilanteil; 45 % höherem U-Wert; mögliche Energieeinsparung durch ausgeklügelte Lüftungssteuerung usw.) sind das Ergebnis einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit aller Beteiligten.

Produkte und Märkte

Gute Zukunftsperspektiven für den klassischen Mauerwerksbau

Über aktuelle Tendenzen im Mauerwerksbau informierten die Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e. V. (DGfM) und das Institut für Massivbau der TU Darmstadt während des Deutschen Mauerwerkskongresses 2005 in Darmstadt. Praxisnahe Vorträge zeigten den rund 200 Teilnehmern dabei Vorteile und Zukunftsperspektiven auf. Im Mittelpunkt der Veranstaltung, die speziell für Architekten, Planer und Unternehmer konzipiert wurde, standen die grundlegenden Veränderungen, die sich durch die Entwicklung neuer Baustoffe und Bauweisen, aber auch durch veränderte Rahmen- und Marktbedingungen im Mauerwerksbau vollzogen haben.

„Wie kaum ein anderer Bereich im Bau“, so Dr. Ronald Rast, Geschäftsführer der DGfM in Berlin, „hat sich der Mauerwerksbau in den letzten Jahren signifikant weiterentwickelt. Daraus resultieren neue Anforderungen an alle, die mit Planung und Ausführung von Mauerwerk befasst sind.“

Entsprechend bot der Kongress ein umfassendes Spektrum zu theoretischen, praxisbezogenen und politischen Themen. Wichtiger Schwerpunkt war dabei der Einsatz von Mauerwerk bei Neubauten sowie bei Gebäuden im Bestand. So stellte Ministerialdirektor Robert Scholl, Leiter der Zentralabteilung Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin, Perspektiven für das Bauen im Zeichen des demographischen Wandels vor. Dipl.-Ing. Ulrich Zink, Vorstandsvorsitzender des Bundesarbeitskreises Altbauerneuerung, entwickelte am Beispiel eines konkreten Bauvorhabens eine Gebäudediagnose und Entscheidungskriterien für Ersatzneubauten. Kosten- und energieoptimierte Erlebnishäuser präsentierte Professor Georg Sahner von der Fachhochschule Augsburg und nahm dabei Bezug auf die neuerdings besonders in Ballungsgebieten zu beob-

Am Bau Beteiligte

Bauherr:	Tropical Islands, Krausnick
Generalplaner:	CL MAP GmbH, München
Gesamtausführung der ETFE-Folienkissen:	CENO TEC GmbH, Greven mit:
– Tragwerks- und Werkstattplanung:	form TL GmbH, Radolfzell
– Bauphysik:	Dr.-Ing. Mahler, Dipl.-Ing. Bucher, Remscheid
– Prüfung-/Fremdüberwachung:	SKZ, Würzburg
– Montage:	Montageservice S. Lenk, Halbergmoos
Prüfingenieur:	Prof. Pasternak, Braunschweig

Literatur

- [1] Blümel S. u. a.: Von der CargoLifter-Werfthalle zu Tropical Islands – Entwurf. Bauingenieur 80(2005) 461–469
- [2] Rudolf-Wittrich W.: Tropical Islands- Implementation of the New ETFE Film Cushion Roofing, Structural Membranes 2005, Textile Composites and Inflatable Structures II, CIMNE Barcelona
- [3] Stimpfle B.: From the CargoLifter to the Tropical Islands Building Physics, Structural Analysis and Realisation of the New ETFE Roof, Structural Membranes 2005, Textile Composites and Inflatable Structures II, CIMNE Barcelona

achtenden moderaten Anstiegsraten im mehrgeschossigen Wohnungsbau.

Durch neue nationale und europäische Vorgaben für energieeffizientes Bauen ist künftig mit einer verstärkten Nutzung des klassischen Mauerwerks gegenüber Glas-Stahl-Verbund-Konstruktionen zu rechnen. Diese ökologischen sowie die ökonomischen Potentiale von Mauerwerk waren Thema des Vortrags von Professor Dr. Carl-Alexander Graubner, Institut für Massivbau der TU Darmstadt.

Gleich zwei Beiträge beschäftigten sich mit den Zukunftsperspektiven des Mauerwerksbaus: Professor Dr. Konrad Zilch, der den Lehrstuhl für Massivbau an der TU München inne hat, zeigte moderne Entwicklungen und Trends im Produktbereich auf. Professor Dr. Thomas Jocher, Direktor des Instituts Wohnen und Entwerfen der Universität Stuttgart, stellte Beispiele moderner Mauerwerks-Architektur vor.

Daneben wurden in zwei Workshops die Entwicklungen in der Mauerwerksnormung beziehungsweise die aktuellen Normungstrends im Schallschutz diskutiert. Der Workshop „Ausführung“ befasste sich mit der CE-Kennzeichnung sowie mit der Umsetzung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Beide Arbeitskreise boten außerdem Hinweise zu juristischen Fragestellungen und rundeten damit das Spektrum ab. Weitere Informationen: wwdgm.de / www.c-a-graubner.de

Sämtliche Kongress-Ergebnisse sind in einem Tagungsband zusammengefasst, der als Sonderausgabe der Zeitschrift „Mauerwerk“ erschienen ist. Das 100seitige Kompendium kann zum Preis von 22 € bestellt werden bei: Dipl.-Ing. Thomas Kranzler, TU Darmstadt, Institut für Massivbau Petersenstraße 12, 64287 Darmstadt, kranzler@massivbau.tu-darmstadt.de