

# ARCHITEKTUR & DESIGN



€ 8,72,- ERSCHENUNGSORT PERCHTOLDSDORF, VERLAGSPOSTAMT 2380 PERCHTOLDSDORF, P. b. b. 02Z03056

zehnjahre **architektur**  
FACHMAGAZIN

HEFT 3 - APRIL 2004

BEHF · Lord Norman Foster · Christian Heiss · Anke Landsberg,  
Dorothee Spitz · Meckler & Partner, Ralph Flum ·  
Office Kersten Geers, David Van Severen · Fritz Schwaighofer,  
Manfred Wehdorn · Dustin A. Tusnovics ·

EDV: Entwerfen ohne 6B · Designer-Portale ·



# Bauen mit Membranen

## TEIL 1: MEMBRAN- UND FOLIENWERKSTOFFE

Membrankonstruktionen sind dauerhaft auf Zug vorgespannte Flächentragwerke, in der Regel weitspannend, von sehr geringem Eigengewicht, formweich und haben eine sehr niedrige Eigenfrequenz. Oftmals ist Wind die bemessungsrelevante Belastung.

Alle Membranbauten basieren auf dem geometrischen Grundprinzip der doppelsinnigen Krümmung – es ermöglicht angreifende Kräfte durch reine Zugbeanspruchung des flächebildenden Materials abzutragen. Am Rand der Flächen werden die Zugkräfte auf andere Tragwerksteile übertragen: In Form von wiederum auf Zug beanspruchbaren Bauteilen wie Grat- und Kehlseilen, Randseilen oder Abspannseilen – oder in Form von Druck auf Masten oder Biegung auf Träger, weshalb Membranbauten den hybriden Tragwerken zugeordnet werden müssen. Im Gegensatz zu anderen Bauweisen hat das Flächenmaterial von Membranbauten allerdings eine tragende und stabilisierende Funktion.

Die Zeit der Membranbauten begann etwa Mitte des 19. Jahrhunderts, als die festen Zirkusunterkünfte mobilen Chapiteaus wichen. Walter Bird in USA und Frei Otto zusammen mit dem Großkonfektionär Peter Stromeyer in Konstanz entwickelten die Formsprache der 2-achsig gekrümmten Membranen: das 4-Punkt-Segel, die Buckelmembrane, die bogengestützte Membrane, die Traglufthalle oder etwa das Membrankissen.

Anfänglich wurden die Flächen mit wasserdicht imprägnierter Baumwolle bespannt. Später mit Verbundwerkstoffen wie beschichteten Kunst-

fasergeweben und beschichteten Glasgeweben und heute auch mit Kunststoffmembranen und Folien aus nur einem Werkstoff wie ETFE-Folien, ePTFE-Geweben im Außeneinsatz oder unbeschichteten Glasgeweben und Stretch im Innenraum. Lediglich die Temperaturverträglichkeit der einzelnen (Kunst-)Stoffe limitiert die Varianz, mit der aus Fasern, Webart, Beschichtung, Finish und Fügeverfahren spannbare Membranen hergestellt werden können.

Im Folgenden eine Auswahl an gängigen Werkstoffen, die heute im Bereich der Membrankonstruktionen Verwendung finden.

### PVC-Polyestergewebe (PES/PVC)

Aus Polyesterfilamenten (endlose Kunstfaser), welche in der Regel nur wenige hunderstel Millimeter dick sind, werden parallele oder gedrehte Faserbündel (Faden) hergestellt und auf Webstühlen zu Polyestergewebe verwoben, wobei der Kettfaden endlos und straff gespannt liegt, und der Schussfaden zwischen die geöffneten Kettlagen „geschossen“ wird. Beim Lagewechsel der Kettfäden erfährt der Schussfaden die typische Wellenform. Je nach Spannungsverhältnis der Kett- und Schussfäden beim Weben und späteren Beschichten prägt sich ein dem fertig beschichteten Gewebe elastisches asymmetrisches Dehnverhalten (orthogonal anisotrop) ein, welches durch die Dehneigenschaften der Fasern, ihrer Verdrehung und Low-Wick-Ausrüstung sowie der Schubfestigkeit der Beschichtung und des Finishes noch weiter differenziert wird und meist sogar von Charge zu Charge variiert.

Gewebemuster siehe Seite gegenüber:

1	Artex Akustik Lichtgewebe
2–3	Expo'02 PES/PVC-Farbproben
4	Ferrari Précontraint silbergrau
5	Ferrari Battylite
6	Conti Vitroflex
7	Gore Tenara
8	Aluminisiertes PP-Gewebe
9	Interglas Flamline
10	Laminierendes Glasgewebe
11	Laminierendes Glasgitter
12	Nowoflon ET-bedruckt
13	PES/PVC Typ VII
14	Mehler Haku Polymar bedruckt
15	Polymade
16	Powerstretch
17	PVDF-Lichtgewebe
18	Seaman Gelb
19	Sikatec Silikon-Glasgewebe
20	Stamoid-Netz
21	Stamoid Bac Lit Eco
22	Verseidag 18059 aufgehellt
23	Verseidag Glasgitterlaminat
24	Verseidag PES/PVC-Schattengewebe

Dabei gilt, dass die Dehnung weder linear noch in beide Richtungen gleich erfolgt, und dass die Spannungen beider Faserrichtungen sich gegenseitig beeinflussen.

Geradezu typisch sind Spannmethoden, bei denen die Kettrichtung des Membranbauwerks festgehalten wird und nur durch Dehnung der Schussrichtung Spannung auch in die Kettrichtung induziert wird. Dies liegt daran, dass sich bei der Dehnung in Schussrichtung die im spannungslosen Zustand stark ondulierten Schussfäden strecken und dabei den bis dato gerader liegenden Kettfäden eine Ondulierung aufprägen, wodurch die Membrane in Kettrichtung verkürzt wird und sich Spannung in Kettrichtung aufbaut.

Da ungeschützte Polyesterfäden dramatische Festigkeitsverluste unter UV-Exposition erfahren (35% nach 1 Jahr, 50% nach 2 Jahren), müssen Polyestergewebe vor UV-Strahlung geschützt werden. Am gängigsten sind beidseitige PVC-Weich-Beschichtungen mit 0,2 bis 0,4 mm Materialauftrag im Bereich des exponierten Kettfaden-Rückens. Weil der UV-Schutz auf zusätzlichen Lichtschutzpigmenten basiert, zeigen pigmentlose PVC-Klar-Beschichtungen kaum UV-Schutzwirkung.

Da PVC selber ein Hartkunststoff ist, der erst durch Zugabe von bis zu 40% flüchtigem Weichmacher leicht plastifizierbar und elastisch wird, haben PVC-Weich-Beschichtungen die

### Gewebeschnitte 300%

*PES/PVC Typ VII mit modifizierter Panamabindung*

*PES/PVC Typ V mit Panamabindung 2/2*

*PES/PVC-Gelege mit Tedlarlaminat und Schwarzstrich*

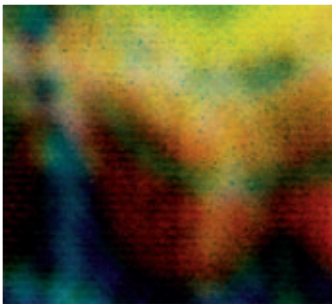
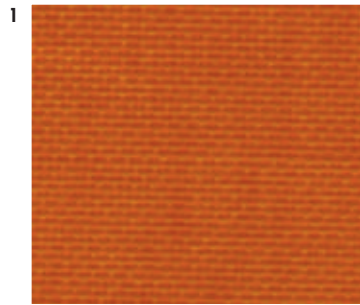
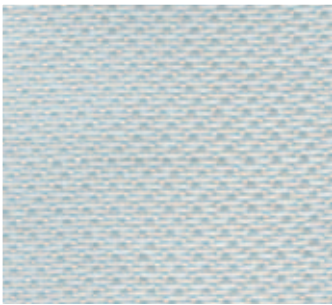
*PTFE-Glasgewebe Typ 18089 in Panamabindung*

*Fluorfolienlaminierendes Glasgewebe*

*Fluorfolienlaminierendes Glasgittergewebe Typ B 18901 in Panamabindung*

*ETFE-Folie 200 my in weiß*



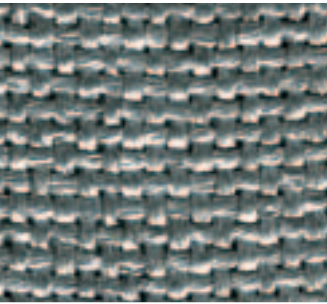
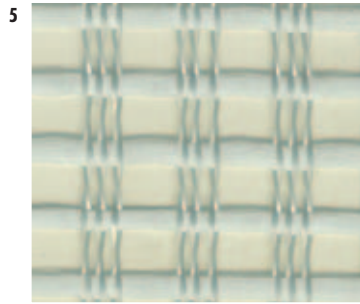
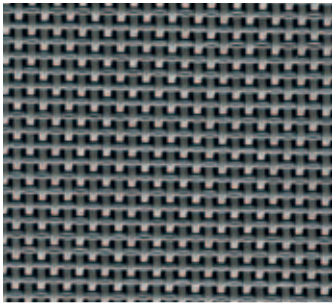


1

2

3

4

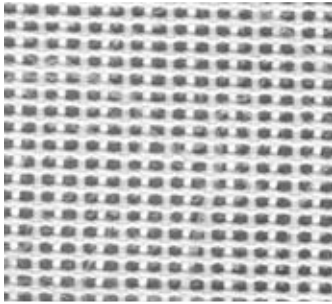
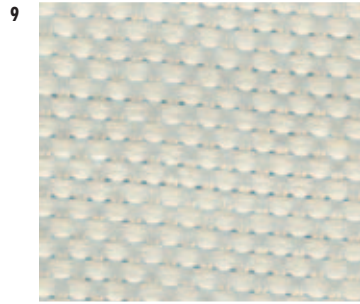


5

6

7

8

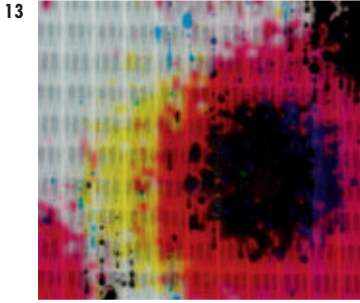


9

10

11

12



13

14

15

16

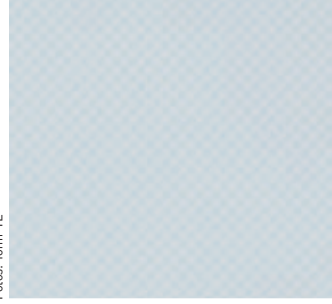


17

18

19

20



21

22

23

24

Fotos: form TL



1



3



2

Fotos: Archiv IPL



4

Fotos: Atelier Ratz GmbH

## PVC-Polyestergewebe (PES/PVC)

*K/S: Verhalten in Kett- bzw. Schussrichtung, Rk: Reißkraft des Gewebes in der Fläche  
Wrk: Weiterreißkraft, Maß für die Resttragfähigkeit des verletzten Gewebes*

### Mehler Haku Polymar

*Qualität 8964-FR-008: PES-Schussraschel mit PVC-Beschichtung mit Acryllackfinish und Bedruckung, Rk K/S 950/900 N/5cm, Wrk K/S 200/150 N, Bruchdehnung K/S 20/20%, 45% Lichtdurchlass, B1 nach DIN 4102*

### Stamoid-Netz

*Qualität F460: offenes PES-Gittergewebe mit PVC-Beschichtung für Großbildreklamen, Airbrush + Siebdruck, Rk K/S 1000/900 gr/m<sup>2</sup>, Wrk K/S 150/100 N, Bruchdehnung K/S 15/18%, max. 260 cm breit, 460 gr/m<sup>2</sup>, 0,48 mm, nur in Weiß, B1*

### Ferrari Batyline

*Qualität 7420-5521: offenes Gittergewebe aus PVC-beschichteten PES-Fäden in Leinenbindung, Rk K/S 2300/2000 N/5 cm, Wrk K/S 350/350 N, HF + Heißluft, 180 cm breit, große Farbauswahl, 560 gr/m<sup>2</sup>, B1*

### Ferrari Alumesch 371:

*offenes PES-Gittergewebe mit PVC-Beschichtung und Alufarbfinit, 180 cm breit, Bespannung der Türme und Riegel Expo'02*

### Stamoid Back Lit Eco

*Qualität F4695: Transluzent, hinterleuchtbar, für Airbrush, Siebdruck oder farbige*

*Klebefolien, Rk K/S 3000/2800 N/5 cm, Wrk K/S 350/300 N, Bruchdehnung K/S 19/25%, Acryllackfinish, HF + Heißluft, max. 260 cm breit, 680 gr/m<sup>2</sup>, 0,55 mm, B1*

### Seaman in Gelb:

*Polyestergelege in verschiedenen Gewebestärken von Typ I bis Typ IV mit PVC-Beschichtung und Finish aus farbloser oder farbiger Tedlarfolie, HF-verschweißbar mit Nahtvorbereitung, B1*

### Verseidag Schattengewebe:

*Offenes PES-Gittergewebe mit PVC-Beschichtung, Einsatz bei den Schattendächer Expo'92 Sevilla, wird ab 10.000 m<sup>2</sup> in 450 cm Breite objektspezifisch produziert*

### Ferrari Typ V

*Qualität 1313 précontraint: Polyestergewebe mit diversen Lackfinishes, hier in Silbergrau 5% Transluzenz bei Weiß Typ 1302, Rk K/S 8000/7000 N/5 cm, Wrk K/S 1200/1100 N, HF-verschweißbar mit/ohne Nahtvorbereitung, 180 cm breit, 1.350 gr/m<sup>2</sup>, 1,02 mm dick, 10 Jahre Materialgarantie, B1*

### Verseidag Typ V

*Qualität B29923: PES-Gewebe in Panama 3/3-Bindung mit PVC-Beschichtung und diversen Lackfinishes, Rk K/S 9800/8300 N/5 cm, Wrk K/S 1800/1600 N, HF-verschweißbar mit/ohne Nahtvorbereitung 1.550 gr/m<sup>2</sup>, 250 cm breit, B1*

*Verseidag Typ VII Qualität B14703 Polyestergewebe in modifizierter Panamabindung, Rk K/S 20.000/19.000 N/5 cm, Wrk K/S 3000/3000 N/5 cm, 3000 gr/m<sup>2</sup>, 3 mm dicke Gewebeentwicklung für die Verbunddeponie Bielefeld Herford, ab 5.000 m<sup>2</sup> in 200 cm verfügbar, benötigt eine Kombinaht aus mehreren HF+Nähnähten*



Foto: Grafik Atelier Hermann



Fotos: Archiv IPL

1–2 Expo02, Schweiz

3–4 BMW-Pavillon IAA2003

5 Guthrie-Pavillon in Malaysia

6–7 Nouvelle DestiNation in Biel/CH

### Glasgewebe, PTFE-Glasgewebe und Silikon-Glasgewebe

#### Interglas Flamline:

Unbeschichtetes Glasgewebe mit 280 gr/m<sup>2</sup>, Rk K/S 2800/1300 N/5 cm, 167 cm und 185 breit, grau, weiß, grau, schwarz, Sonderfarben möglich, Nähnähte mit Teflonfaden, A2 nach DIN 4102, eingesetzt bei den Messepavillons von DC auf der IAA'97, '99, '2001

#### Interglas Atex 2000 TL:

Glasgewebe aus EC7-Garn in Leinwandbindung mit Silikonbeschichtung, ca. 200 cm breit, Silikon-Klebeschweißung, A2.

#### Sikatec:

Glasgewebe mit Silikonbeschichtung, 430 gr/m<sup>2</sup>, 0,9 mm, eingesetzt beim atmenden Pneu Nouvelle DestiNation Expo'02.

#### Verseidag B18901:

Glasgittergewebe aus EC9-Garn in Panamabindung mit auflaminierten Fluorfolien und 4x4-mm-Fenstern, ca. 50%–65% Transluzenz, Rk K/S 4500/4000 N/5 cm, 140 cm breit, A2

#### Verseidag 18089:

Glasgewebe aus EC3-Garn in Leinwandbindung mit PTFE-Beschichtung, Rk K/S 5800/5800 N/5 cm, Wrk K/S 500/500 N, 1050 gr/m<sup>2</sup>, 470 cm breit, B1 bei 12° Transluzenz, A2 bei 8% Transluzenz

#### Glasgitterlaminat 1x1 von Flontex:

Glasgittergewebe aus EC9-Garn in Panamabindung 2/2 mit auflaminierten Fluorfolien und 1x1-mm-Fenstern, produziert für Guthrie Pavillon in Kuala Lumpur, Rk K/S 6500/5000 N/5 cm, 1350 gr/m<sup>2</sup>, 1,1 mm dick, 138 cm breit.

#### Polymade OMG 9K:

Gewebe aus EC9-Garn in Leinenbindung mit Fluorpolymer-Beschichtung, Rk K/S 9000/7000 N/5 cm, Wrk K/S 850/900 N, 880 gr/m<sup>2</sup>, 0,95 mm, 200 cm breit, B1/A2 je nach Beschichtungsstärke

#### Contitech Vitroflex:

Glasgewebe mit Synthesekautschuk, ca. 2 kg/m<sup>2</sup> bei 3 mm Materialstärke, Klebe- und Nähnähte, angewendet beim Airquarium von Festo in Esslingen



Foto: Andreas Keller

DC IAA 2003



Foto: Archiv IPL

Smart

Tendenz, im Laufe der Jahre zu verspröden und Mikrorisse zu bilden, wodurch gleichermaßen die Weiterreißfestigkeit und Faserfestigkeit abnimmt. Dem wird bei hochwertigen PES/PVC-Geweben mit einem Finish vorgebeugt, welches gleichzeitig die Schmutzempfindlichkeit verbessert.

Für die Beschichtung von Polyestergerewebe mit PVC-Masse (mit Beimischungen gegen Pilzbefall, UV, Entflammbarkeit...) dominieren derzeit drei Herstellverfahren:

1. die Beschichtung von Polyestergerewebe im Streichverfahren (Verfahren von Verseidag, Mehler Haku und Heywinkel)
2. die Beschichtung von in Schussrichtung vorgespanntem Polyestergerewebe (Verfahren Précontraint von Ferrari)
3. das Aufstreichen von flüssiger PVC-Paste auf ein Gelege aus lagestabilisierten Polyesterfasern (Verfahren von Seaman USA).

**Verfahren 1** erzeugt dehnweiche Gewebe mit stark abweichenden Dehnungen in Kette und Schuss. Sie sind fehlerverzeihend und gutmütig gegenüber Singularitäten. Sie müssen in Schussrichtung deutlich kompensiert werden und benötigen gut nachspannbare Befestigungsdetails.

**Verfahren 2** erzeugt etwas steifere Gewebe, da die Fäden in Kett- und Schussrichtung gleichmäßiger onduliert sind und deshalb mit gleicher PVC-Beschichtungsmasse höhere Beschichtungstärken über dem Fadenrücken herstellen lassen.

**Verfahren 3** erzeugt dehnbare Gewebe, da die Fäden eben liegen und die Elastizität des Gewebes direkt von den eingesetzten Fasern abhängt.

Für das Finish stehen heute zwei bewährte Verfahren zu Verfügung: Lackieren und Laminieren. Beide beeinflussen die Eigenschaften der

fertigen Membrane stärker als alle anderen Schichten.

Das **Lackieren** mit Acryllacken und mehr oder weniger flourhaltigen Lacken verhindert, solange Sie nicht abgewittert sind, den Schmutzeintrag in das Weich-PVC der Beschichtung und dessen Weichmacheraustrag. Bei Acryllacken von 3–8 my Schichtdicke dauert dies etwa 1–2 Jahre, bei PVDF-Lacken mit 10 my Schichtdicke etwa 3–6 Jahre. Die derzeit hochwertigste Flächenverbindung mit Hochfrequenz verschweißt acryllackbehandelte PES/PVC-Membranen ohne Vorbehandlung. Bei PVDF-Lack-behandelten PES/PVC-Membranen muss ebenso wie bei Tedlar-laminierten PES/PVC-Geweben das PVC im Nahtbereich vorsichtig freigelegt werden, damit haltbare Schweißnähte entstehen.

**Laminieren:** Im Gegensatz zu einem Finish mit Lacken, welche das Gewebe nicht versteifen, erschwert eine auflaminierte Folie die Winkelverschieblichkeit des Gewebes, welches damit schwerer zu verarbeiten wird. Die daraus gefertigten Zelte wirken kantig, bleiben aber länger ansehnlich.

Aus PES/PVC-Gewebe lassen sich insbesondere demontable und leicht spannbare, preisgünstige und wasserunempfindliche Hüllen für hiesige Klimate herstellen, die wegen des vorrätigen Materials nur geringe Dispositionszeiten benötigen. Die Standardfarbe ist Weiß, Farbigeit ist noch immer eine Randerscheinung. Ausnahmen bilden die leichtgewichtigen Stamoid-Gewebe von Forbo, die heute in die Firma Ferrari eingegliedert ist und die mit farbigen 25-my-Tedlarfolien laminierten PES/PVC-Gewebe von Firma Seaman.

**Varianten sind** die Aramidgewebe mit PVC-Beschichtung (Einsatz: Erstbespannung des wandelbaren Dachs in Montreal).

### Glasgewebe, PTFE-Glasgewebe und Silikon-Glasgewebe

PTFE-beschichtete Glasgewebe: Die Stärke liegt in der vollständigen UV-Unempfindlichkeit der tragenden Glasfaser, die Schwäche in der Knickempfindlichkeit und dem Festigkeitsverlust bei Kontakt mit Feuchte. Bedingt durch die schichtweise Aufsinterung von PTFE-Partikeln entsteht eine kraterartig zerklüftete Oberfläche, die üblicherweise mit einem Finish aus FEP egalisiert wird. So behandelte PTFE-Glasgewebe haben ein hervorragendes Schmutzabweisverhalten, so dass Zelte aus diesen – allerdings sehr teuren – Werkstoffkombinationen auch noch nach Jahren hochwertig aussehen. Der Einsatzschwerpunkt liegt in heißen Ländern, insbesondere im Nahen Osten. Im Gegensatz zu PES/PVC können auf Glasgewebe Beschichtungen mit Werkstoffen aufgebracht werden, welche erst bei hohen Temperaturen plastifizieren. Vorrangig ist dies PTFE mit einer Schmelztemperatur von 327° Celsius. In sechs bis zehn Durchgängen wird das Glasgewebe in eine PTFE-Dispersion getaucht und im Heizofen aufgetrocknet. Dabei entsteht ein schubsteifes und hartes Gewebe, das sich nur bei Temperaturen über +5° Celsius zerstörungsfrei und langsam spannen lässt. PTFE-Glasgewebe muss deshalb in der Konfektion, beim Verpacken, Transportieren und Montieren vorsichtig behandelt werden, denn Gewebeknicke zeichnen sich als Weißbrüche, die in erster Linie optisch stören, dauerhaft ab. Das muss aller Erfahrung nach allerdings nicht mit signifikanten Festigkeitsverlusten verbunden sein. Wegen des schwierigen Handlings werden PTFE-Glasgewebe nicht bei demontierbaren Bauten eingesetzt.

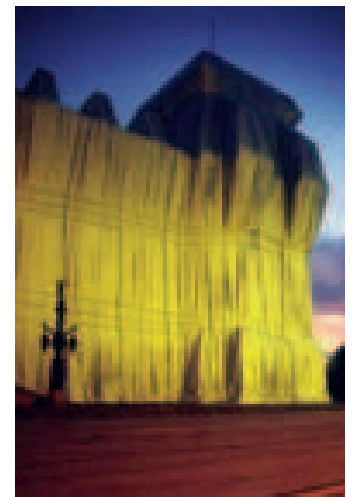
Im Gegensatz zu PES/PVC-Gewebe sind die chargenweisen Abweichungen im Dehnverhalten wesentlich größer. Im Gegensatz zu PES/PVC-Geweben erreichen PTFE-Glasgewebe je nach

**ePTFE-Gewebe***Tenara Typ 1**Gore Tenara Typ 1 3T40 aus ePTFE-Gewebe mit PVDF-Finish, ca. 19 bzw. 38% Transluzenz, Rk 3000/2900 N/5 cm, Wrf 818/854 N, Dauerknickbeständig, ca. 150 cm breit, B1**Tenara Typ 2**Gore Tenara Typ 2 4T20 aus ePTFE-Gewebe mit PVDF-Finish, 19 bzw. 38% Transluzenz, Rk 4200/4000 N/5 cm, Wrf 925/925 N, Dauerknickbeständig, ca. 150 cm breit, B1***Powerstretch***Stretch**Procedes Beitex Powerstretch 8991, Gewirk aus 80% Polyamid und 20% Spandex, ca. 175 gr/m<sup>2</sup>, t=0,7 mm, ca. 210 cm breit, dehnt allseitig 10%, B1 ausrüstbar SCAN, Farben: weiß, grau, blau*

Foto: Gisela Stromeyer

**Gisela Stromeyer, Denver 2003****ETFE-Folie***ETFE klar**Nowolflon ET 6235 transparent ca. 95% Transluzenz, 100–250 my,**ETFE weiß**Nowolflon ET 6235 weiß, ca. 50% Transluzenz, 100–250 my, kein UV-Durchgang**ETFE bedruckt**Nowolflon ET 6235 Basis ETFE klar***PP-Gewebe***Schilgen-Filtergewebe aus Polypropylen in Leinwandbindung, flammhemmend dotiert, aluminisiert, rapider Festigkeitsverlust unter UV-Exposition, Nähnähte PES/PVC-Gewebeverstärkt. Materialeinsatz Reichstag 1995: ca. 100.000 m<sup>2</sup>.*

Fotos: Archiv IPL

**Festo****Reichstag Berlin**

Anteil an PTFE-Masse auch eine A2-Klassifizierung nach DIN 4102 und werden mit einer Kombination aus Heiz- und Kühlbalken verschweißt.

**Varianten sind:** Glasgewebe mit Flour-Folienlaminiierung (Guthrie-Pavillon in Malaysia) – Glasgewebe mit Silikonbeschichtung – (Nouvelle DestiNation in Biel) – Glasgewebe mit Synthesekautschuk (Airquarium) – Glasgewebe mit Flourpolymerbeschichtung (in der Erprobung) – Glasgewebe ohne Beschichtung (für Raumakustik + Innensegel)

**ePTFE-Gewebe**

Gewebe aus expandierten PTFE-Garnen sind atmungsaktiv und nahezu unbegrenzt faltbar. Deshalb bietet, trotz hoher Preise, dieses Material bei wandelbaren Konstruktionen mit extremer Faltung die meisten Vorteile.

Seit 2003 hat der Hersteller Gore auch wasser-

und luftdicht ausgerüstetes Gewebe im Programm. Die Standardfarbe ist weiß, vereinzelt ist auch blaues Material verfügbar.


**ETFE-Folie**

ETFE-Folien werden aus den Copolymeren Etylen + Tetrafluorethylen im Breitschlitzextruder hergestellt, erreichen B1 nach DIN 4102, sind thermisch mit dem Heizbalken verschweißbar, bedruckbar und verspiegelbar. Die UV-durchlässigen Besspannungen der Cylebowl, von Edengarden, der Allianzarena, Festo, Masoala Regenwaldhaus und der projektierten Cargolifter-Tropenhalle bestehen aus ETFE-Folienkissen von 0,1 bis 0,25 mm Folienstärke.

Die Folien sind lichtdurchlässiger als Glas. Bei einer Bruchlast von 500 bis 600 N/5 cm und ausgeprägter Fließneigung (600% Bruchdehnung) ist der planerische Spielraum im elastischen Bereich der Folie auf wenige Meter

Spannweite eingeschränkt. Bewährt haben sich 2–3-lagige Kissenkonstruktionen (zum Teil mit integrierter pneumatischer Verschattung), da hier Luft das Nachspannen anstelle von aufwändigen federartigen Nachspannmechaniken übernimmt (wurde im Einzelfall bei 1-lagigen ETFE-Membranen bereits realisiert).

**Powerstretch**

Im Innenbereich für kleine und größere freie Formen eignet sich nähbares Stretch. Das Material enthält neben der dehnfähigen Wirkart auch noch hochelastische Fasern. Im Gegensatz zu allen Geweben und Gelegen ist dieses Material sehr gutmütig und kann am Originalrahmen zugeschnitten und mit Reißverschlüssen leicht montiert werden. 

DI ARCHITEKT GERD SCHMID,  
GESCHÄFTSFÜHRER formTL GMBH, RADOLFZELL