

Hochschule für Technik  
Stuttgart

Schellingstrasse 24  
D-70174 Stuttgart

[www.hft-stuttgart.de](http://www.hft-stuttgart.de)  
[jan.cremers@hft-stuttgart.de](mailto:jan.cremers@hft-stuttgart.de)

T +49 (0)711 8926 2620  
F +49 (0)711 8926 2764

# HFT Stuttgart

Zentrum für akustische und  
thermische Bauphysik  
Zentrum für nachhaltige Energietechnik  
Zentrum für Integrale Architektur

## Forschungsprojekt SoFt

Leitfaden zur Errichtung von mehrlagigen Membran-  
konstruktionen für Planer und Entscheidungsträger

Arbeitspaket 4 zum Forschungsprojekt

**Doppelte Membrankonstruktion mit low-e Beschichtung für ein transluzentes  
Dach über dem Neubau eines Sportzentrums in Fürth**

Akronym: SoFt

Förderkennzeichen:	03ET1163A
Autoren des Leitfadens:	Nansi Palla, M.A. Prof. Dr.-Ing. Jan Cremers Dipl.-Phys. Doris Buck (Mitwirkung in den Kapiteln: A.2 / B.12 / C.4.3.2 / C.4.1.2 Unterspannbahn und C.4.3.1) Dipl.-Phys. Daniel Gürlich (Kapitel C.4.3.4)
Stand:	Dezember 2018
Projektpartner:	Stadt Fürth, FAB Architekten, ZAE Bayern, Wacker Ingenieure, F.I.B.U.S. Research Institute

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Vorhaben wird gefördert vom Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie, Förderlinie „EnergiewendeBauen“  
Forschung für energieoptimierte Gebäude und Quartiere.

Einige Inhalte sind der Publikation „Atlas Kunststoffe + Membranen“ von Jan Knippers, Jan Cremers, Markus Gabler und Julian Lienhard (München 2010) entnommen.

Mit freundlicher Genehmigung der DETAIL Business Information GmbH.

<https://shop.detail.de/de/buecher/detail-atlas-1.html?p=2>

# Inhaltsverzeichnis

A.	Ziel des vorliegenden Leitfadens, allgemeine Hinweise	1
A.1	Das begleitende Forschungsprojekt	2
A.2	Allgemeines zum Bauen mit Membranen	4
B.	Projektbeispiele mehrlagige Membranbauten	8
B.1	ZAE Bayern, Hauptdach und Technikum, Würzburg, 2013	11
B.2	Dedmon Athletic Center, Radford/USA, 2009	17
B.3	Dolce Vita Tejo Einkaufszentrum, Amadora/Portugal, 2009	20
B.4	Freizeitzentrum Vitam, Neydens/Frankreich, 2009	24
B.5	Andreas-Peter-und-Paul-Kirche in Maassluis, Niederlande, 2007	27
B.6	Sanierung Olympia-Schwimmhalle, München, 2006	29
B.7	TOM Dortmund, 1978/2004	34
B.8	Kulturzentrum, Puchheim, 1999	39
B.9	BMW-Messepavillon Frankfurt, 1995	43
B.10	Kurklinik Masserberg, 1994	47
B.11	Sportzentrum, Fürth, 2017	50
B.12	Zusammenfassung Teil E Projektbeispiel	61
C.	Durchführung von Bauprojekten mit mehrlagigen Membranen	63
C.1	Bedarfsplanung und Grundlagenermittlung (Lph. 0-1)	64
C.2	Vorplanung und Entwurfsplanung (Lph. 2 und 3)	71
C.2.1.	EXKURS: Entwurfsgrundlagen	90
C.2.1.1.	Mechanisch vorgespannte Membrankonstruktionen	91
C.2.1.2.	Luftgestützte Membrankonstruktionen	98
C.3	Genehmigungsplanung (Lph. 4)	102
C.3.1.	EXKURS: Baulicher Brandschutz	107
C.4	Genehmigungsplanung (Lph. 4)	122
C.4.1.	EXKURS: Membranwerkstoffe - Baumaterialien und Bauprodukte für den Einsatz in mehrlagigen Konstruktionen	127
C.4.1.1.	Oberer Abschluss	129
C.4.1.2.	Mittellagen	138
C.4.1.3.	Innerer Abschluss	146
C.4.1.4.	Luftgestützte Kissenkonstruktionen	147
C.4.2.	EXKURS: Konstruktive Umsetzung	148

C.4.2.1.	Fügung von Membranstreifen oder -felder in der Fläche	149
C.4.2.2.	Randausführung	152
C.4.2.3.	Eckausbildung	153
C.4.2.4.	Hoch- und Tiefpunkte	156
C.4.2.5.	Offene Ränder mit Dachentwässerung	157
C.4.2.6.	Bewegliche vertikale Abschlüsse	160
C.4.2.7.	Randabschluss Dachzwischenraum (Vogelschutz und Belüftung)	161
C.4.2.8.	Durchdringungen der Membranebene	163
C.4.2.9.	Entrauchung, Rauch und Wärmeabzug	164
C.4.2.10.	Maße und Toleranzen	166
C.4.2.11.	Maße und Toleranzen	166
C.4.2.12.	Blitzschutz	167
C.4.3.	EXKURS: Bauphysikalische Grundlagen	168
C.4.3.1.	Wärmeschutz	168
C.4.3.2.	Feuchteschutz	171
C.4.3.3.	Low-E Beschichtungen	173
C.4.3.4.	Tageslichtversorgung	175
C.5	Ausschreibung und Vergabe (Lph. 6 und 7)	178
C.6	Bauausführung und Objektbetreuung (Lph. 8-9)	187
C.7	Zusammenfassung Teil B Leistungsphasen 1-9	193
D.	Wirtschaftlichkeit	193
E.	Literaturverzeichnis	197
F.	Abbildungsverzeichnis	202

## A. Ziel des vorliegenden Leitfadens, allgemeine Hinweise

Dieser Leitfaden soll als Hilfestellung für die Planung und Erstellung von mehrlagigen Membrandächern über geschlossenen Hallen oder Sportstätten dienen. Er stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, daher sollte zusätzliche Literatur hinzugezogen werden, sowie entsprechende Verordnungen, Richtlinien und Normen in der Originalquelle in der aktuellsten Fassung. Die Information in diesem Kompendium wurden mit der gebotenen wissenschaftlichen Sorgfalt zusammengestellt. Dennoch können die Autoren keinerlei Gewährleistung für die Inhalte übernehmen.

Im Nachfolgenden wird zunächst die Ausgangslage für die Erstellung dieses Leitfadens erläutert. Im anschließenden Teil B werden Projektbeispiele gezeigt und im Teil C Grundlagen zum Bauen mit Membranen vermittelt. Die in Kapitel B gezeigten Projekte sind ausgewählte Beispiele ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Teil D beschäftigt sich in begrenztem Umfang mit der Wirtschaftlichkeit von Membranprojekten und Teil E mit den Erfahrungen aus dem Monitoring der Sporthalle in Fürth (siehe Kapitel B.11) mit einem mehrlagigen Membranaufbau.

Trotz der inzwischen insgesamt beträchtlichen Anzahl an realisierten Membranprojekten sind solche Planungsvorhaben für den einzelnen Planer stets eine große Herausforderung und -außer für wenige Spezialisten - auch ein Ausnahmefall im Planungsalltag. Ziel ist es daher, Planern und Bauherren mit diesem Leitfaden eine gewisse Hilfestellung während der Planung zu bieten. Ein weiteres Ziel ist es, Planern mit bereits vorhandenen Erfahrungen

im Membranbau über die aktuellen Möglichkeiten und Potenziale rund um das Bauen mit mehrlagigen Membrandachkonstruktionen zu informieren.

### **Beschränkungen für die Einsetzbarkeit dieses Leitfadens**

Dieser Leitfaden bezieht sich auf Objekte bestehend aus mehrlagigen Membranbauteilen und berücksichtigt nur den deutschen Stand hinsichtlich Normierung und Baurecht.

## **A.1 Das begleitende Forschungsprojekt**

Der Leitfaden entstand im Zuge des Forschungsprojektes ‚SoFt‘ (Verweis siehe einleitend). Dieses planungs- und baubegleitende Forschungsprojekt beschäftigt sich neben den materialspezifischen Themenstellungen aus dem Membranbau heraus auch mit Maßnahmen zur energetischen Betriebsoptimierung von mit Membrandächern überdeckten geschlossenen Sportstätten.

Ziele des Vorhabens sind die systematische Analyse und Entwicklung von baulichen Effizienzmaßnahmen für Sportstätten mit Membrandächern, insbesondere die Weiterentwicklung und Untersuchung innovativer Materialkombinationen von wärmeisolierten, transluzenten Membrandachkonstruktionen. In diesem Kontext wurden auch die baukonstruktiven Details näher beleuchtet, welche mit den entsprechenden Materialkombinationen einhergehen und u.U. auch erhebliche Auswirkungen auf die Architektur haben. Anhand des begleiteten Neubauprojekts der Sporthalle in Fürth (siehe Kapitel B.11) wurden diese Untersuchungen durchgeführt. Mittels Simulationen und einer intensiven Monitoringphase wurde eine detailliert dokumentierte Grundlage zum thermischen und lichtseitigen Verhalten geschaffen und Optimierungspotenziale aufgezeigt.

Neben dem hohen architektonischen Anspruch ist energieoptimiertes Bauen ein wichtiger Bestandteil des Projekts in Fürth. So sollte der Energiebedarf des Gebäudes die Anforderungen der EnEV 2009 um 30% unterschreiten. Ziel ist es außerdem, den Primärenergiebedarf im Vergleich zu anderen Sportbauten deutlich zu reduzieren. Dies wird vor allem mit dem transluzenten Membrandach erreicht, durch das der Bedarf an Kunstlicht auf ein Minimum vermindert werden soll. Das gleichmäßige, blendfreie Licht schafft dabei optimale Spiel- und Trainingsbedingungen. Ein hoher Energiebedarf für die Klimatisierung wird durch den Einsatz von indirekter adiabater Kühlung verhindert.

Auch basierend auf den Erfahrungen während der Planung und Ausführung dieser Sporthalle wurde der vorliegende Planungsleitfaden für zukünftige, energieoptimierte Neubauten erstellt. Des Weiteren soll mit dem Intensivmonitoring von unabhängiger Seite nachgewiesen werden, dass die Zielwerte beim Primärenergiebedarf tatsächlich erreicht werden (siehe dazu Kapitel E).



## A.2 Allgemeines zum Bauen mit Membranen

Der Umgang mit biegeweichen sog. Membranwerkstoffen hat im Hochbau eine lange Tradition, entwickelt sich aber seit inzwischen einigen Jahrzehnten sehr dynamisch weiter, getrieben durch technologische und materialtechnische Innovationsschritte. Seit Jahrtausenden nutzt die Menschheit textile Materialien sowohl für Bekleidungen und technische Innovationen (Windräder etc.) als auch für Behausungen (Überdachungen, Zelte). Einen Abriss der geschichtlichen Entwicklung gibt (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010) als auch (Hoppe, 2007).

Membrandächer oder -konstruktionen rücken seit Mitte des 20. Jhd. in den Bereich der Baukultur vor und werden seit ungefähr dieser Zeit zunehmend auch als Teil der Architektur wahrgenommen und gewürdigt. Zuvor waren derartige Konstruktionen eher als meist temporäre technische Hilfsmittel angesehen, aber weniger oder gar nicht als ‚Baukunst‘. Frei Otto realisierte 1955 mit einem Vierpunktsegel aus Baumwollschwergewebe als Überdachung des Musikpavillons in der Kasseler Karlsau einen wichtigen Meilenstein dieser Entwicklung. Zusammen mit einigen weiteren Zeltbauten entsteht eine neue Architektursprache, die durch wichtige Einzelbauten (z.B. den deutschen Beitrag für die Weltausstellung in Montréal 1967 oder die olympischen Dächer in München 1972) die Nachkriegsarchitektur mit prägt und bildet damit einen Gegensatz zu anderen Monumentalbauten dieser Zeit (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 16f).

Dabei strebte Frei Otto an, Formen bzw. Konstruktionen zu entwickeln, die sich an denen der Natur orientieren, in diese integrieren und in denen Materialien bewusst eingesetzt werden, ohne

jeglichen Prunk. Die Leichtigkeit und Flexibilität des Materials sollte auf eine moderne und tolerante Gesellschaft hinweisen, da sich Menschen und Gebäude gegenseitig formen (Wunderlich, 2015).

Zunächst beschränkte sich die Anwendung von Membranen auf einlagige Überdachungen, meist für nicht beheizte Freiräume oder temporäre Bauwerke als zugbeanspruchte Flächentragwerke. Geschlossene und damit umhüllte Gebäude aus Membranen entstehen erst durch pneumatische Strukturen, die auch ohne weitere Konstruktionsmittel auskommen, was zu weiteren Visionen von abgekoppelten Klimahüllen, wie die von Buckminster Fuller 1950, führt. Eine transparente Membrankonstruktion wird 1970 im Ausstellungspavillon der Firma Fuji auf der Weltausstellung in Osaka präsentiert (von Kenzo Tange, Yoshikatsu Tsuboi und Mamoru Kawaguchi). Diese wird über eine Vielzahl von zusammenhängenden pneumatischen Folienkissen - geformt zu einer Dachkonstruktion - realisiert. Kurze Zeit später wurden die Überdachungen des Olympiageländes in München 1972 als transparentes Seiltragwerk mit Acrylglasplatten fertiggestellt. Weitere bahnbrechende Entwicklungsschritte im Membranbau sind luftdichte textile Materialien. Erst hierdurch wurden pneumatische Strukturen möglich und in der Folge geschlossene und dichte Hüllen. Dies wurde Mitte des 20. Jhd. mittels kunststoffbeschichteter textiler Gewebe erzielt. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 18ff)

Im Laufe der Jahre wird vor allem deutlich, dass Membrankonstruktionen Vorteile im Bereich des Hallenbaus oder von Sportstätten mit sich bringen. Denn die Vorteile der Konstruktion wie geringes Flächengewicht und große Spannweiten bei geringem Materialeinsatz können hierbei bestens ausgeschöpft werden.

Außerdem verteilen sich vergleichsweise hohe Engineering-Kosten auf große Flächen.

Seither hat sich der Membranbau stetig weiterentwickelt. Es wurden Werkstoffe für besondere Anforderungen entwickelt, wie z.B. besondere Transparenz- oder Transluzenzgrade (Knippers, Creemers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 21) und mehrlagige Aufbauten, um die Vorteile von Membranhüllen, ihr geringes Gewicht und ihren geringeren Materialverbrauch auch für klimatisierte Räume nutzen zu können. Hierfür wird im mitteleuropäischen Klima vor allem eine gute Wärmedämmung benötigt. Die seither gebauten Beispiele zeigen die Bestrebungen, Membranhüllen auch als vollwertige Gebäudehüllen zu etablieren (Haase, et al., 2011, S.7 Teil 2).

Darüber hinaus gibt es Bemühungen, Membranhüllen mit weiteren Eigenschaften oder Kombinationen von Eigenschaften auszustatten, wie z.B. gute Wärmedämmeigenschaften in Kombination mit Transluzenz oder Membran-integrierte Fotovoltaik, vielleicht sogar auch transluzent. Dies führt dazu, die Vorteile aber auch Erfordernisse mehrerer Materialien und deren Eigenschaften mittels Überlagerung zu kombinieren und zu mehrlagigen Aufbauten zusammen zu führen.

Für die dauerhafte Funktionstüchtigkeit von Gebäudehüllen sind in jedem Fall auch bauphysikalische Aspekte zu berücksichtigen. Aufgrund der Eigenschaften der im Membranbau verwendeten Materialien und der im Membranbau notwendigen konstruktiven Detaillösungen müssen die bauphysikalischen Aspekte speziell für den Membranbau sorgfältig untersucht werden, insbesondere auch in hygrischer Hinsicht.

Erfahrungen mit gebauten Beispielen von Gebäuden mit Membrandach oder Membran-Gebäudehülle zeigen, dass es immer wieder zu Problemen mit Feuchtigkeit innerhalb und an der Membrankam.

Die unterschiedlichen Ansätze, diese Probleme zu lösen, zeigen auch, dass es an Wissen, Erfahrungen, und Berechnungsmethoden mangelt, um während der Planungsphase den bestmöglichen Systemaufbau und die bestmöglichen Detaillösungen auszuwählen (Haase, et al., 2011).

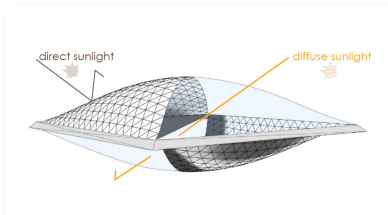
## B. Projektbeispiele mehrlagige Membranbauten



ZAE Bayern, Würzburg, 2013  
Abbildung B8



Dedmon Athletic Center, USA, 2009  
Abbildung B10



Dolce Vita Tejo, Portugal, 2009  
Abbildung B12



Freizeitzentrum Vitam, Frankreich,  
2009 Abbildung B17



Andreas-Peter-und-Paul-Kirche,  
Niederlande, 2007 Abbildung B19



Olympia-Schwimmhalle, München,  
2006 Abbildung B23



*TOM Dortmund, 1978/2004  
Abbildung B29*



*Kulturzentrum, Puchheim, 1999  
Abbildung B34*



*Temporärer BMW-Messepavillon  
Frankfurt, 1995 Abbildung B38*



*Kurklinik Masserberg, 1994  
Abbildung B42*

*Notiz: Die Bildquellen der Praxisbeispiele sind in dem Abbildungsverzeichnis zu entnehmen.*



*Abbildung B1: Sporthalle Fürth, 2017*

Nachfolgend werden einige Gebäudebeispiele mit verschiedenen Konstruktionsweisen vorgestellt. Die Projektauswahl erfolgte über die Mehrlagigkeit der Membranbauteile ungeachtet der bauphysikalischen und baukonstruktiven Funktionalität im Laufe der Nutzung. Als letztes Beispiel wird die Sporthalle Fürth näher beschrieben. Weitere Praxisbeispiele, welche nicht fotografisch abgebildet und auch nicht näher erläutert sind, werden nachfolgend aufgelistet:

- Olympiahalle, München, 2009-2010;  
opaker und gedämmter Membranaufbau unter dem Hauptdach
- Alnwick Garden, Besucherzentrum, Alnwick/ England, 2006;  
teilweise gedämmte Kissenkonstruktion im Holzbau (verschiedene Materialkombination mit Doppelkeder-Profilen)
- La Miroiterie, Lausanne/Schweiz, 2007;  
4-lagige Kissenkonstruktion im Minergie-Standard (PTFE/Glass + 3x ETFE)
- Solar Decathlon Pavillon des Georgia Institute of Technology, USA, 2007;  
ETFE-Kissenkonstruktion, Stabilisierung über Aerogelfüllungen
- Musical Dome, Köln, 1996
- Odate Jukai Dome Park, Akita/Japan, 1997
- Tegut Verbrauchermarkt, 2000;  
Hochpunktedächer aus zwei Lagen PES/PVC und Zwischendämmung
- Storek Varia, Leonberg, 2007;  
doppellagige Membran mit Wärmedämmung

- Technologie- und Medienzentrum Erfurt, 2007
- Parkbad Velbert-Mitte, 2001; mehrlagig mit PES/PVC

## B.1 ZAE Bayern, Hauptdach und Technikum, Würzburg, 2013

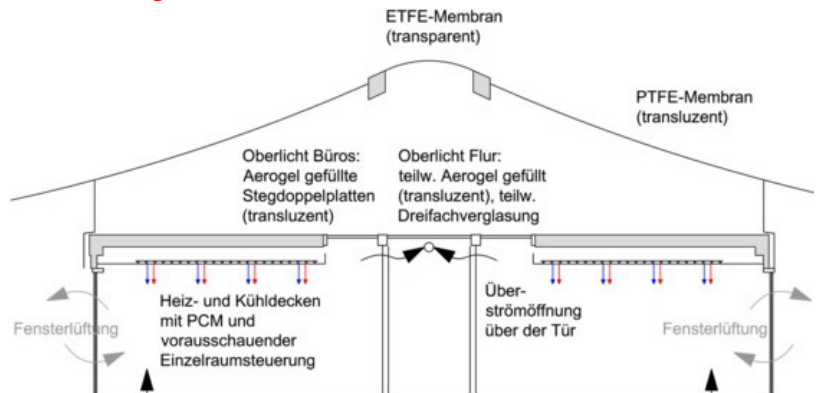


Abbildung B2: Schematischer Querschnitt durch den Dachaufbau des Hauptdaches



Abbildung B3: Außenperspektive ZAE Bayern



Tabelle B1: Projektdaten des Gebäudes ZAE Bayern

Fertigstellung	April, 2013 [1]
Standort	Stadtteil Hubland, Würzburg, Bayern
Nutzung	Energy Efficiency Center, Forschungsinstitut ZAE Bayern
Architekten	Lang Hugger Rampp GmbH Architekten [1]
Tragwerksplanung	SSF Ingenieure AG [1]
Membranbauteil	<p>Hauptdach (in Membranebene nicht gedämmt):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• transparente ETFE-Folie [4]</li> <li>• transluzentes PTFE-beschichtetes Glasfasergewebe [4]</li> </ul>
Aufbau und Beschreibung	<p>Das Hauptdach aus Membran besteht aus der Reihung vier gleicher schalenförmiger Dachflächen mit Verbindungsflächen aus transparenter ETFE-Folie. Der linienförmige Hochpunkt des Daches - in gewisser Weise der First - ist streifenförmig synklastisch gekrümmt und mit einer transparenten ETFE-Folie ausgestattet und belichtet den Innenraum [2]. Ausgebildet wird diese Fläche mittels zweier gebogener Hauptstahlträgern (Vierendeel-Träger) und gebogenen Querträgern (Stahlrohrbögen) [5].</p> <p>Das restliche textile Dach besteht aus einem antiklastisch (2-fach gegenläufig gekrümmt, d.h. hyperbolisch [3]) gekrümmten und transluzenten PTFE-beschichteten Glasfasergewebe [2]. Diese Membranflächen bilden einen Dachrandüberstand und dienen damit im Randbereich auch als Sonnenschutz im Hochsommer [4]. Die Membran (PTFE/Glas) ist an den zwei gebogenen Hauptstahlträgern im „Firstbereich“ eingespannt und punktuell am Membranrand mittels Zugstäben befestigt.</p> <p>Die Membran- bzw. Foliendachhaut überdeckt die thermisch getrennte Gebäudehülle (Decke über 2.OG)</p>

und schafft eine Art klimatische Pufferzone [2] und dient somit als Witterungsschutz für Regen, Wind und Schnee<sup>4</sup>. Bspw. dient der Luftzwischenraum dieser Pufferzone im Winter als vortemperierte Wärmedämmschicht, während im Sommer eine Durchlüftung die Überhitzung vermeidet [4].

Die eigentliche wärmedämmte Ebene bildet die innere horizontale Dachhaut (Decke über 2.OG).

#### **Dach 1-geschossiger Bereich bzw. Technikum (gedämmt):**

- Membrankissen [4]:  
PVC-beschichtetem Polyester  
gewebe / transluzente Glasfaser  
dämmung / PVC-beschichtetem  
Polyestergewebe

In einem Teil des 1-geschossigen Gebäudes dem Technikum befindet sich eine transluzente pneumatisch stabilisierte Membrankissenkonstruktion aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe (als Außen- und Innenmembran). Im Mittelteil befindet sich eine transluzente Wärmedämmung aus Glasfaser (10cm Stärke). Der erreichte U-Wert beträgt  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  und die Tageslichttransmission 3%. Die Randprofile der Membrankissen sind thermisch getrennt. [4]  
Aufbau und Beschreibung

#### **Detaillösungen:**

Der Anschlusspunkt an der aufgehenden Außenwand wird über einen eingespannten Membranlappen realisiert („closure flap“). Dieser Anschluss lässt zu, Bewegungen bzw. Verformungen auszugleichen und trotzdem eine abgeschlossene Hülle auszubilden.

Die Dachentwässerung, wie in der Abbildung über den Schatten sichtbar ist, wird über eine Dachrinne oberhalb der Membran am Hauptfach gewährleistet.

**Besonderes:**

Verschiedene neuartige Membranmaterialien (aus damaliger Sicht) wurden verbaut, u.a. kann die verwendete spezielle TiO<sub>x</sub>-Beschichtung mit einem photokatalytischen Effekt Stickoxide aus der Atmosphäre abbauen und die Oberflächenverschmutzung verringern [2+5] und weiterhin dabei helfen das Tageslicht und das Innenraumklima zu kontrollieren. [4]

**Quellen:**

[1] [www.ediundsepp.de/architektur/zae-bayern-wuerzburg/](http://www.ediundsepp.de/architektur/zae-bayern-wuerzburg/)

[2] [www.enob.info/de/news/news/details/textiles-dach-als-energetisches-sahnehaebchen/](http://www.enob.info/de/news/news/details/textiles-dach-als-energetisches-sahnehaebchen/)

[3] [www.enob.info/de/neubau/projekt/details/energy-efficiency-center-als-technologiereferenz/](http://www.enob.info/de/neubau/projekt/details/energy-efficiency-center-als-technologiereferenz/)

[4] (Lang, Rampp, Thomas, & Ebert, 2014)

[5] [www.energy-efficiency-center.de/](http://www.energy-efficiency-center.de/)



Abbildung B4: Membrankissen des 1-geschossigen Gebäudeteils (Technikum)

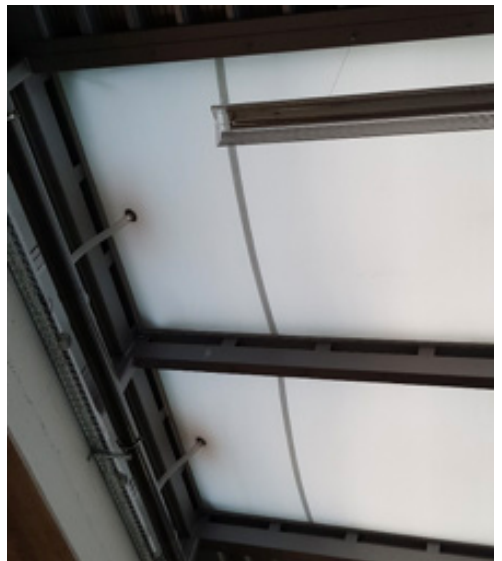


Abbildung B5: Untersicht der transluzenten Decke im Technikum



Abbildung B6: Transparente Firstbögen im Hauptdach



Abbildung B7: Dachzwischenraum ZAE Bayern

## B.2 Dedmon Athletic Center, Radford/USA, 2009

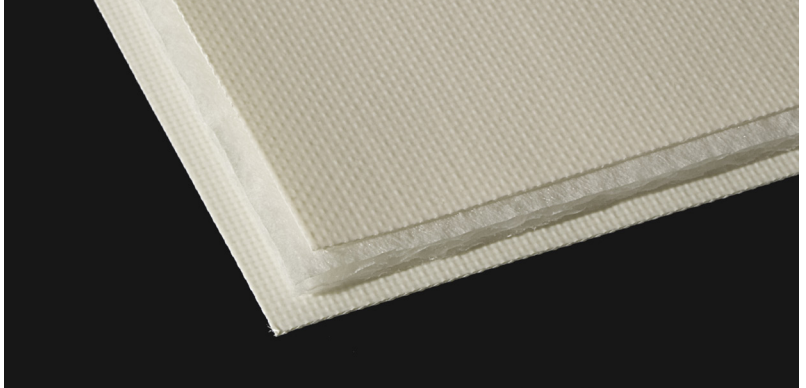


Abbildung B8: PTFE/Glas mit Aerogel-Vlies als Zwischenlage, Produkt ThermalWrap der Fa. Cabot Corporation



Abbildung B9: Dedmon Athletic Center Radford

Tabelle B2: Projektdaten des Sportzentrums Dedmon Athletic Center

Fertigstellung	2009
Standort	Radford, Virginia, USA
Nutzung	Sportzentrum der Universität
Architekten	Moseley Architects, USA
Tragwerksplanung	Stroud, Pence & Associates, USA
Membranbauteil	Sanierung eines 1-lagigen transluzenten Tragluftdachs von 1981 [1+2] zu einem mehrlagigen wärme-gedämmten Membrandach über ein Sportzentrum. Fläche rund 4.800m <sup>2</sup> [2]. <ul style="list-style-type: none"><li>• Aufbau: PTFE-beschichtetes Glasfasergewebe / Aerogel-Polyester-Vlies / PTFE-beschichtetes Glasfasergewebe</li></ul> U-Wert 0,47 W/m <sup>2</sup> K, Lichttransmission 3,5% [1+2]
Aufbau und Beschreibung	

Quellen:

[1] <http://www.cabotcorp.de/solutions/applications/construction/tensile-roofing/project-gallery>

[2] (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 218ff)

[3] <http://www.birdair.com/projects/donald-n-dedmon-center-radford-university>



*Abbildung B10: Dedmon Athletic Center Radford*



## B.3 Dolce Vita Tejo Einkaufszentrum, Amadora/Portugal, 2009

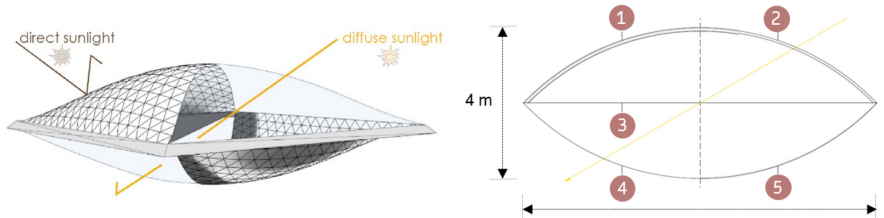


Abbildung B11: Rendering und Querschnitt eines ETFE-Kissen im Dolce Vita Tejo



Abbildung B12: Innenraum Dolce Vita Tejo

Tabelle B3: Projektdaten Einkaufszentrum Dolce Vita Tejo

Fertigstellung	2009 [1]
Standort	Amadora, Lissabon, Portugal [1]
Nutzung	Einkaufszentrum
Architekten	RTKL, London & Promontorio, Lissabon [2]
Tragwerksplanung	Atelier One, London
Membranbauteil	Dachfläche mit 346 ETFE-Kissen (40.000m <sup>2</sup> ) und 108 ETFE-Kissen in der Fassade (>200.000 m <sup>2</sup> ETFE-Folie insgesamt). Seitenlänge der Kissen ca. 10m mit einer Stichhöhe von 4m [1] Die Form stellt eine Neuinterpretation eines Sheddaches dar (nur diffuses Nordlicht, keine Direktstrahlung im Gebäude).
Aufbau und Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aufbau</b> (Bedruckung jeweils in Silber): <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Oberste Folienlagen</b></li> <li>1 - sonnenzugewandt: weiße ETFE-Folie, 2-fach bedruckt zu 100% / weiße ETFE-Folie, 2-fach bedruckt mit 65% Hexagonalraster + 100%</li> <li>2 - sonnenabgewandt: transparente ETFE-Folie / transparente ETFE-Folie, unterseitig Low-E-beschichtet</li> <li><b>Mittlere Folie</b></li> <li>3 - durchgehend: transparente ETFE-Folie</li> <li><b>Untere Folie</b></li> <li>4 - sonnenabgewandt: transparente ETFE-Folie</li> <li>5 - sonnenzugewandt: weiße ETFE-Folie, 2-fach bedruckt mit 65% Hexagonalraster + 100%</li> </ul> </li> </ul>

Bis zu fünf unterschiedliche Folienarten werden in einem Kisselement vereint und bieten eine hohe Tageslichtausbeute bei gleichzeitigem thermischen Komfort. Durch unterschiedliche Bedruckung je nach Himmelsorientierung und Membranebene wird die Tageslichttransmission kontrolliert und die Überhitzung innen minimiert. Dies wird durch ein gezieltes Sonnenschutzsystem in den ETFE Kissen ermöglicht; die der Sonne entgegenstehende Fläche der Oberlage ist zweilagig mit einer jeweiligen Bedruckung und damit nahezu opak. Die entgegengesetzte Fläche der Unterlage ist einlagig jedoch auch doppelt bedruckt. Die Mittellage sowie die Richtung Norden orientieren Flächen der Ober- und Unterlage bestehen aus einer transparenten ETFE Folie, zusätzlich ist die Oberlage zweilagig und hat teilweise eine Low-E Beschichtung auf der Unterseite der zweiten Lage. [1] Außerdem ist das Einkaufszentrum BREEAM zertifiziert, wofür natürliches Licht für die Behaglichkeit eine wichtige Rolle spielte [1].

*Quellen:*

[1] <http://www.detail.de/artikel/dolce-vita-tejo-einkaufszentrum-in-lissabon-mit-dachhuelle-aus-etfe-kissen-3127/>

[2] <http://www.hightex-membrane.de/de/projekte/detail/dolce-vita-shopping-complex/>

[3] (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 256f)

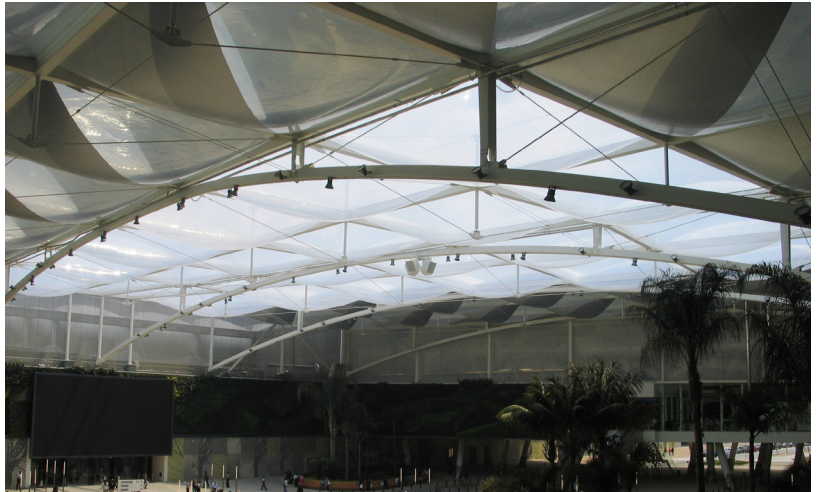
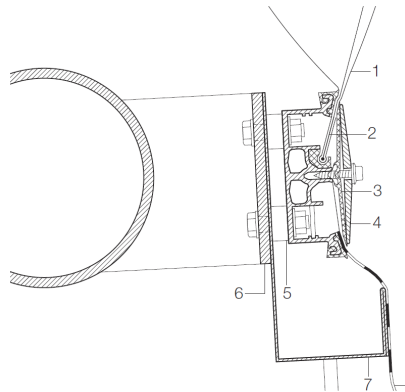


Abbildung B13: Innenraum Dolce Vita Tejo, tags



Abbildung B14: Innenraum Dolce Vita Tejo, nachts

## B.4 Freizeitzentrum Vitam, Neydens/Frankreich, 2009



- 1 ETFE-Kissen luftgestützt  
innere Membran 0,25 mm  
mittlere Membran 0,10 mm  
äußere Membran 0,25 mm
- 2 EPDM-Keder Rundschnur  $\varnothing$  6 mm
- 3 erste Dichtebene: Deckeldichtung EPDM
- 4 Klemmprofil Aluminium  
bestehend aus Basisprofil, Deckelprofil und  
Kederschienen
- 5 EPDM-Block als Abstandhalter

Abbildung B15: Konstruktionsdetail Freizeitzentrum in Neydens



Abbildung B16: Freizeitzentrum in Neydens

Tabelle B4: Angaben zum Freizeitzentrum in Neydens. Quelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 258f)

Fertigstellung	2009
Standort	Neydens, Frankreich
Nutzung	Freizeitzentrum; Schwimmhalle, Wellness-Oase, Sauna, Fitnessclub, Kletterwand, Einkaufs-Galerie, Hotel, Gastronomie
Architekten	L35, Barcelona - Paris Ganz & Müller Architectes Associés, Genf GMA2A Architectes, Paris
Tragwerksplanung	Charpente Concept, Genf
Membranbauteil	Kissenbreite 3,50 m mit bis zu 52 m Länge. Abmessungen Schwimmhalle mit der Membranhülle 120 m x 65 m.
Aufbau und Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftgestützte Membrankissen aus drei Lagen transparenter ETFE-Folie</li> </ul> <p>Zweigelenkig gelagerte Fachwerkbögen aus Brett-schichtholz und dazwischen gelagerte weitere Bögen definieren die Form der Hülle. Die wellige Hülle mit einer s-förmigen Firstlinie wird durch unterschiedliche Stichhöhen der Bögen als auch durch unterschiedliche Abstände zwischen den jeweiligen Auflagerpaaren untereinander erzeugt. Entlang dieser Bögen werden die schlauchartigen Membrankissen außen befestigt. Durch die Folien-Transparenz bildet sich die tragende Holzkonstruktion außen ab.</p>



Abbildung B17: Freizeitzentrum in Neydens innen

## B.5 Andreas-Peter-und-Paul-Kirche in Maassluis, Niederlande, 2007



Abbildung B18: Andreas-Peter-und-Paul-Kirche, außen



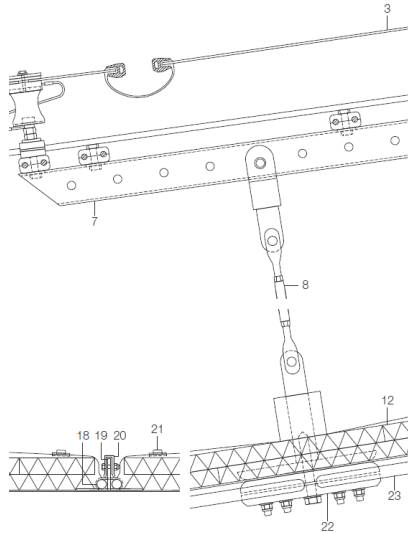
Abbildung B19: Andreas-Peter-und-Paul-Kirche, Innenraum



Tabelle B5: Projektdaten Andreas-Peter-und-Paul-Kirche. Quelle: (Motro, 2013)

Fertigstellung	2007
Standort	Maassluis, Niederlande
Nutzung	Kirche
Architekten	Royal Haskoning Architecten, Rotterdam, Niederlande
Tragwerksplanung	Royal Haskoning, Rotterdam
Membranbauteil	Neubau einer Kirche aus transluzenten Membranschalen und tlw. farbige Polycarbonat-Fassaden.
Aufbau und Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau: Wärme gedämmte, lichtdurchlässige und 2-lagige Membranstruktur aus PVDF-lackiertem und vinylbeschichtetem Polyester gewebe (PVC/PES)</li> </ul> <p>Gebogene dreidimensionaler Stahlfachwerkträger geben die Form für die gespannte Membran vor. Es werden mehrere überlappende Membranschalen (muschelartig) ausgebildet die Hüllfläche der Kirche darstellen. Die Idee war es ein „materialarmes“ Gebäude bei maximaler Raum- und Tageslichtausnutzung zu realisieren.</p> <p>Die innere und äußere Membran sind an den Stahlträgern befestigt. An den Rändern verbinden Membranlappen die beiden Membranen, so dass die Stahlträgerstruktur gänzlich von den Membranen umhüllt ist. Auf der inneren Membran befindet sich eine Wärmedämmschicht. Der 40 cm bis ca. 2 m hohe Luftzwischenraum zwischen den Membranschichten wird über den Membranrand belüftet. Weitere Informationen zu bauphysikalischen Aspekten werden nicht gegeben.</p>

## B.6 Sanierung Olympia-Schwimmhalle, München, 2006



Erläuterungen:

- 3 | Acrylglasplatten, transparent
- 11 | inneres abgehängtes Membrandach PES/PVC, transluzent
- 12 | Polyester-Dämmvlies transluzent, luftdurchströmt
- 13 | Abdichtung ETFE-Folie transparent
- 18 | Belüftung anstelle Dampfsperre
- 21 | Auslassöffnung Belüftung
- 22 | Klemmteller Kleeblatt
- 23 | Kleeblatt-Abhängung
- 25 | Klemmring Aluminium
- 26 | Trichtermanschette PVC mit Tragmembrane verschweißt

Abbildung B20: Dachaufbau Olympia-Schwimmhalle



Abbildung B21: Olympia-Schwimmhalle innen

Tabelle B6: Angaben zur Olympia-Schwimmhalle

Fertigstellung	1972 Erbaut, 2003-2006 Sanierung der gedämmten abgehängten Decke in der Schwimmhalle [1]
Standort	München
Nutzung	Sporthalle und Schwimmhalle
Architekten	Behnisch und Partner mit Jürgen Joedicke, Frei Otto und Ewald Bubner Sanierung durch Auer und Weber, Behnisch und Partner [1]
Tragwerksplanung	Leonhardt, Andrä und Partner (www.lap-consult.com), Sanierung durch Schlaich Bergermann und Partner [1]
Membranbauteil	Bei der Sanierung wurde lediglich die gedämmte Abhängecke in der Schwimmhalle saniert, die obere Deckfläche blieb im Bestand.
Aufbau und Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Deckfläche:</b> Acrylglas mit Abstand auf ein Seilnetz gelagert</li> <li>• <b>Aufbau neuer Abhängecke (v.o.n.u.) [1+2]:</b> ETFE Folie (als Abdichtung die nend) / Polyestervlies 70mm (2x35 cm) mit aktivem Lüftungssystem zur Entlüftung / PVC-beschichtetes Polyestergerewebe</li> </ul> <p>Gesamtlichttransmission ca. 1,5% [2]</p> <p>Die charakteristische Dachform der Schwimmhalle (8.250m<sup>2</sup>) besteht aus zwei Hoch- und Tiefpunkten [1], wie einer typischen Zeltform ähnelnd. Das äußerste mit Acrylglas belegte Seilnetz ist abgehängt und wirkt lastabtragend, von diesem wird auch die innere gedämmte Decke abgehängt und auf Abstand gehalten. Die Anschlusspunkte bilden hier eine Art Kleeblatt-förmige Stoßpunkte. Stabilisiert werden hierbei die untere PVC-Membran mit der aufgelegten Dämmung und der als Abdichtung wirkenden ETFE Folie. [2]</p>

### **Besonderes:**

Die Besonderheit dieser Dachkonstruktion ist die aktive Entfeuchtung (Lüftungssystem) der Dämmebene, wodurch der U-Wert etwas ansteigt. Dies hat den Hintergrund, dass eine dampfdichte Ausführung (d.h. mit einer Dampfsperre) aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten nur mit erheblichem Aufwand zu realisieren wäre und ohne eine Dampfsperre es zu hoher Wasserdampfdiffusion kommen würde. Die Anwendung einer aktiven Entfeuchtung ist auf die Zweifel des Konfektionärs zurückzuführen, da die Vielzahl der Durchstoßungspunkte, die vermutlich Dampfdichtigkeit gefährdet hätte. Daher wurden Membranstege auf die innere Membran angeschweißt, an denen die obere Membran gegen Sog befestigt, die Dämmung eingeklemmt und die Belüftungsrohre platziert wurden. Das perforierte Lüftungsrohr wird mit erwärmter Luft durchströmt, die weiter in die Dämmung geführt wird, die Feuchte aufnimmt und an platzierten Auslassöffnungen aus der Dämmebene austritt. [1]

Die Schwimmhalle zeigt auch ein Beispiel für eine punktförmige Durchstoßung des Membrandaches, eine sogenannte Trichtermanschette. [2]

Bewegungen (bis zu 1,50m) des Daches im Anschlusspunkt Dach/Fassade werden nach der Sanierung mit einem pneumatischen Schlauch, der flexibel eingebaut ist und wärmedämmend wirkt ausgeglichen. Zuvor befand sich hier eine Acrylglas-Schürze. [2]

### **Quellen:**

[1] (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011, S. 11-16)

[2] (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 218f)



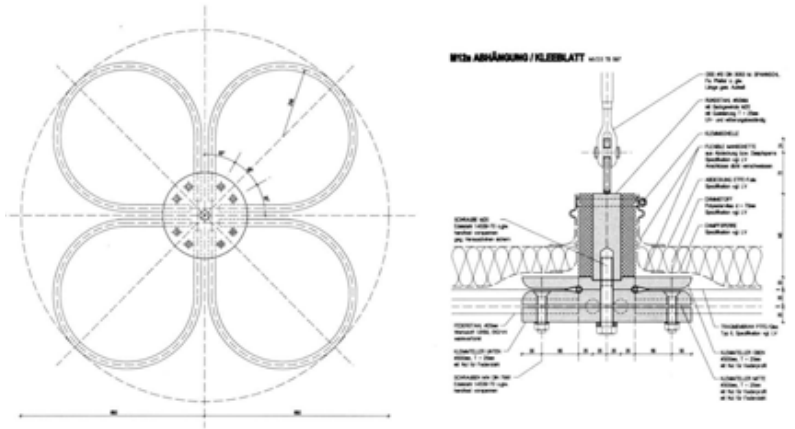


Abbildung B24: Olympia-Schwimmhalle, Befestigungspunkte mittels sog. „Kleeblättern“, Ansicht und Schnitt



Abbildung B25: Aufnahme des Befestigungspunkt mittels sog. „Kleeblättern“

## B.7 TOM Dortmund, 1978/2004

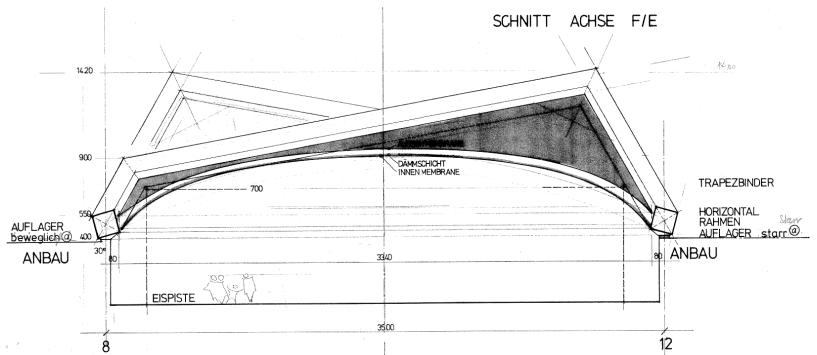


Abbildung B26: Schematischer Schnitt TOM Dortmund



Abbildung B27: TOM Dortmund, alte Fotografie außen

Tabelle B5: Projektdaten Andreas-Peter-und-Paul-Kirche. Quelle: (Motro, 2013)

Baujahr	1978, Sanierung 2004
Standort	Dortmund
Nutzung	Diskotheek (ehemals Eislaufbahn)
Architekten	Firma Planbau, Heiligenhaus
Tragwerksplanung	IPL Ingenieurplanung Leichtbau GmbH, Konstanz
Membranbauteil	Teilsanierung des Membrandaches einer Eislaufhalle.
Aufbau und Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter Aufbau: PTFE-beschichtetes Glasfasergewebe / Luftzwischenraum ca. 60cm / Glasgewebe, Mineralwolle 50mm und Glasgewebe miteinander verstept / PVC-beschichtetes Polyestergewebe</li> <li>• Neuer Aufbau: PVC-beschichtetes Polyestergewebe / PES-Vlies 80mm / PVC-beschichtetes Polyestergewebe (im Bestand)</li> </ul> <p>Im Unterschied zu anderen Gebäuden wurden hier Stahlbetonbinder eingesetzt mit jeweils entgegengesetzten Hochpunkten. Dazwischen spannt der Membranaufbau und bildet je Fläche die zwei Hochpunkte am Membranrand nach.</p> <p>Bereits bei diesem frühen Beispiel war klar, dass mit Kondensat im Membranzwischenraum zu rechnen ist. Daher wurde eine mechanische Entlüftung (und damit auch eine Luftzufuhr) und eine Entwässerung im Membranzwischenraum vorgesehen.</p>

Quelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011, S. 23ff)





Abbildung B28: TOM Dortmund, alte Fotografie innen

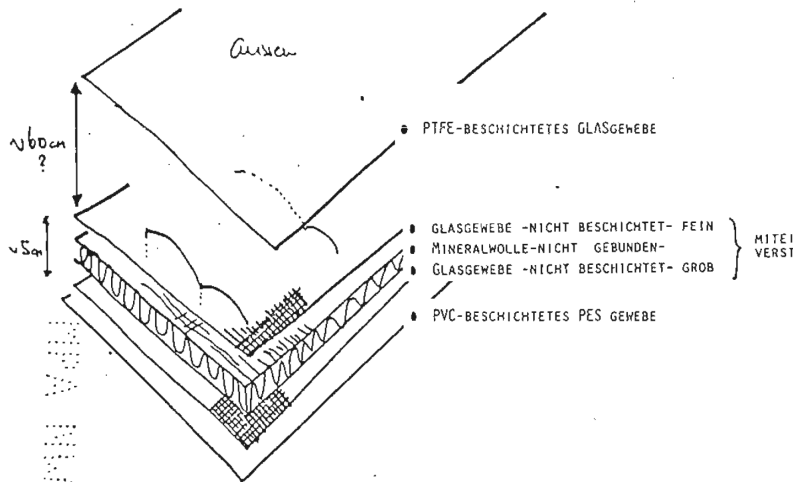


Abbildung B29: TOM Dortmund, Darstellung Membranaufbau

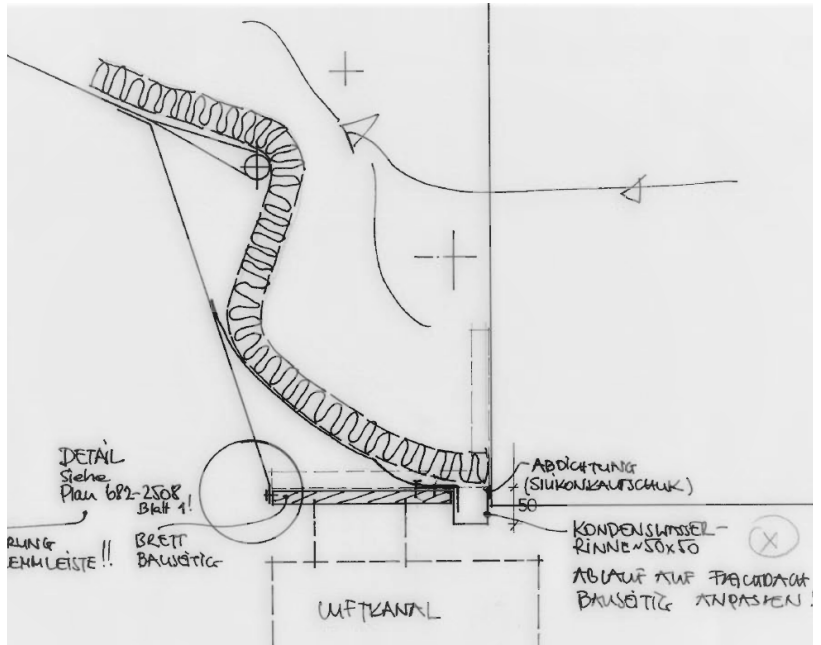


Abbildung B30: TOM Dortmund, Dachranddetail mit Entwässerungskanal

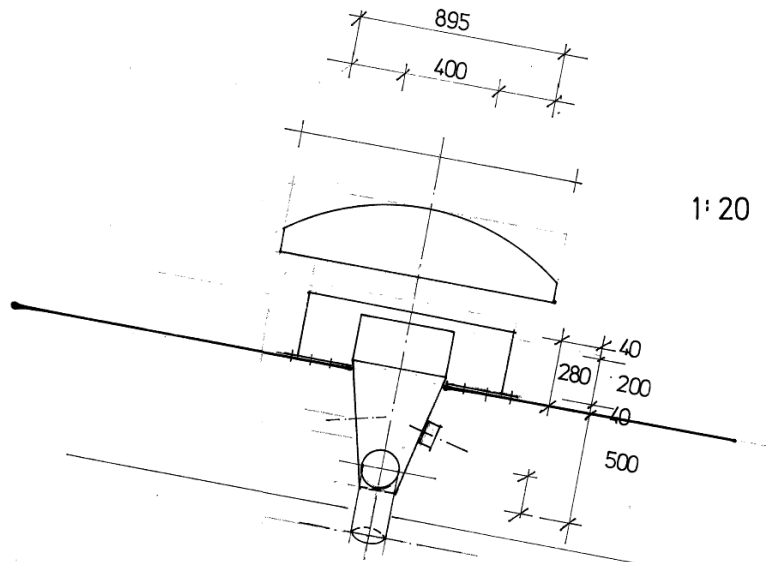


Abbildung B31: TOM Dortmund, Querschnitt Membranaufbau mit Lüfter des Zwischenraumes

## B.8 Kulturzentrum, Puchheim, 1999

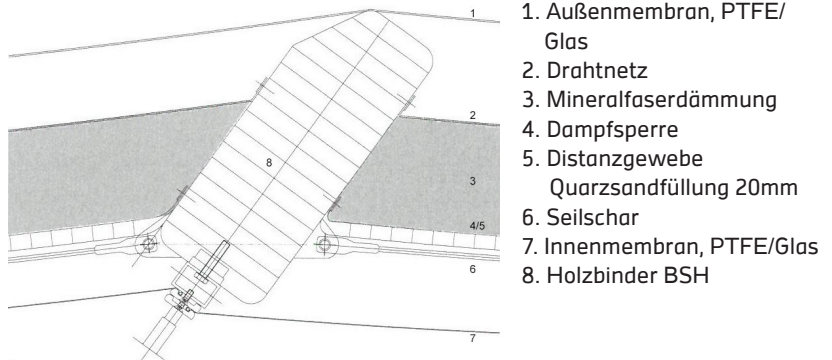


Abbildung B32: Querschnitt durch den Dachaufbau des Kulturzentrums in Puchheim



Abbildung B33: Kulturzentrums Puchheim

### Sonstiges:

Das Membrandach war ursprünglich transluzent geplant. Dies konnte jedoch aufgrund von verschiedenen Gutachten zum Brandschutz, Schallschutz und der thermischen Eigenschaften nicht eingehalten werden. [2]

Baurechtlich waren jedoch trotzdem brandschutz-technische Kompensationsmaßnahmen (zuzstl. Fluchtwege und Primärkonstruktion in F30) nötig, da das Dach nicht in der geforderten Feuer-Festigkeitsklasse F30 ausgeführt werden konnte. [6]

Bei diesem Dachaufbau handelt es sich nach (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011, S. 74) um ein gut detailliertes und wohldurchdachtes Membrandach. Dennoch zu einer weiteren Verbesserung des Dachaufbaus der Einbau einer dampfdiffusionsoffenen Deckfolie auf der Dämmung empfohlen. Diese würde eine Durchnässung der Dämmung durch abtropfendes Wasser sicher verhindern. [5]

### Quellen:

[2] [www.puc-puchheim.de/architektur.html](http://www.puc-puchheim.de/architektur.html)

[3] (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 209 & 217f)

[4] [mayr-ludescher.com/kulturzentrum-buergerhaus-puchheim.html](http://mayr-ludescher.com/kulturzentrum-buergerhaus-puchheim.html)

[5] (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011)

[6] (Hausladen, 2001, S. 132ff)

[7] (Habermann K. J., 2004, S. 166ff)

### Weitere Quellen:

Kulturzentrum. Bürgerhaus Puchheim bei München; Cultural Centre. Civic Centre, Puchheim; Planende Institution: LAI Lanz Architekten und Ingenieure, München (Architekt); Mayr und Ludescher, München (Ingenieur); Siegele, Klaus; *db deutsche bauzeitung*; ISSN: 0721-1902; Jg.: 134, Sonderheft, 2000; Seite 64-67

Herwig O. (2003): *Featherweights*, Prestel, München-Berlin-London-New York



Abbildung B34: Kulturzentrums Puchheim, Luftperspektive



Abbildung B35: Kulturzentrums Puchheim, Innenraum



## B.9 BMW-Messepavillon Frankfurt, 1995

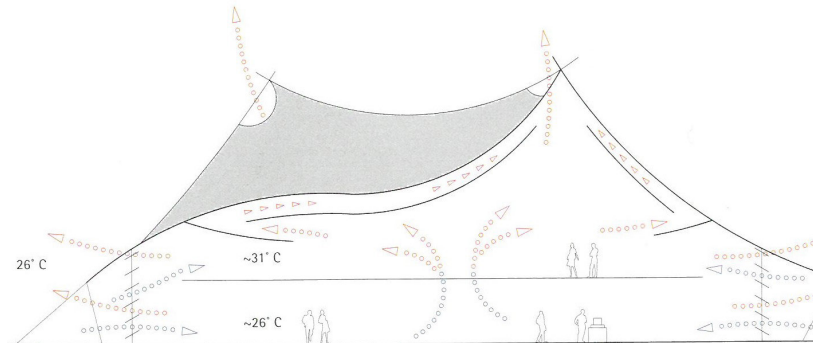


Abbildung B36: Schematischer Schnitt durch den Pavillon mit eingezogenem Solarsegel und Umlenkmembran



Abbildung B37: BMW-Messepavillon in Frankfurt



Tabelle B9: Projektdaten BMW-Messepavillon Frankfurt (Hausladen, 2001, S. 14ff)

Fertigstellung	zur Internationalen Automobilausstellung 1995
Standort	Frankfurt
Nutzung	temporäre Ausstellungsfläche
Architekten	Puchner & Schum, München
Tragwerksplanung	Ingenieurbüro Hausladen, Kirchheim b. München; Prof. G. Hausladen, T. Ebert, L. Langer
Membranbauteil	Asymmetrische Zeltkonstruktion aus fünf innenliegenden 22 m hohen Stahlmasten als Hochpunkte der Membran.
Aufbau und Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau (v.o.n.u.): PVC-beschichtetes Polyestergerewebe / Luftschicht / PVC-beschichtetes Polyestergerewebe (Solarsegel)</li> </ul> <p>Der temporäre Pavillon sollte auch an anderen Standorten aufgestellt werden, wodurch eine mobile Konstruktion gefordert war, die schnell aufzubauen ist und somit die leichte Trennbarkeit der Bauteile forderte.</p> <p>Die an den Stahlmasten bespannte Membran wird an dessen Hochpunkte über augenförmige Seilanspannungen gehalten. Diese Aussparungen dienen zu Belichtung und Belüftung über Glaslamellen. Die Anschlusspunkte zwischen Fassade und Dach wurden über transluzente und doppelagige Fassadenabschlusskissen hergestellt.</p> <p>Über die große Raumhöhe der Zeltkonstruktion stellt sich eine starke Temperaturschichtung ein. Diese wurde nicht als Problem angesehen, solange es bei der Eingeschossigkeit geblieben wäre. Da jedoch eine zweite Ebene eingezogen werden sollte, wäre dort mit einer höheren Temperaturen zu rechnen gewesen. Zusätzliche Lüftungsöffnungen in der Fassade hätten einiges bewirken können, wären aber nicht ausreichend gewesen bei Windstille. Die Lösung bot neben diesem und einer aktiven Abluftanlage das</p>

Einziehen eines Solarsegels unter der Außenmembran als zweite innere Haut Richtung Ost, Süd und West, um die solare Einstrahlung zu begrenzt. Der Luftzwischenraum zwischen den PVC-beschichteten Polyestergeweben erhitzt sich durch Absorption an der äußeren Ebene, ein thermischer Auftrieb entsteht und führt zur Abführung der erwärmten Luft an den Hochpunkten der Zeltkonstruktion. Über weitere Umlenkmembranen sollte dafür gesorgt werden, dass die warme Luft aus der Hallenmitte in den Membranzwischenraum strömt und nicht die kühlere Außenluft angesaugt wird.

Weiterhin hätte die äußere Membran außen mit Wasser benetzt werden sollen, was weiterhin zur Reduzierung der Oberflächentemperaturen geführt hätte (reduzierte sekundäre Wärmestrahlung).

Das innere Solarsegel, die Wasserbenetzung und die mechanische Abluftanlage wurden jedoch aus ästhetischen Gründen nicht umgesetzt, stellen jedoch besonders interessante Konzepte dar und wurden daher hier aufgenommen.

Quelle: (Hausladen, 2001, S. 14ff)

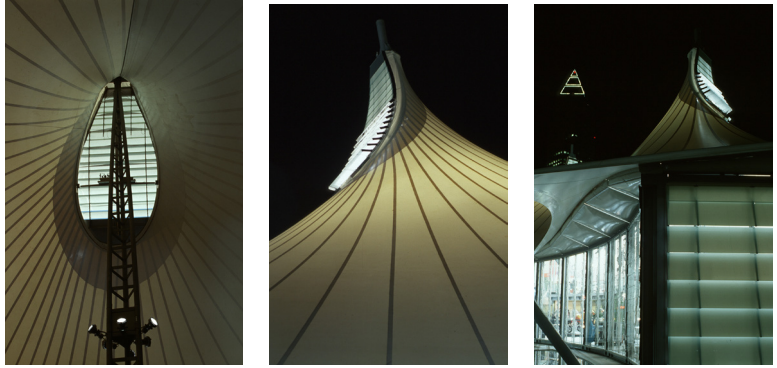


Abbildung B38: BMW-Messepavillon in Frankfurt, augenförmige Seilöffnung und Fassadenkissen

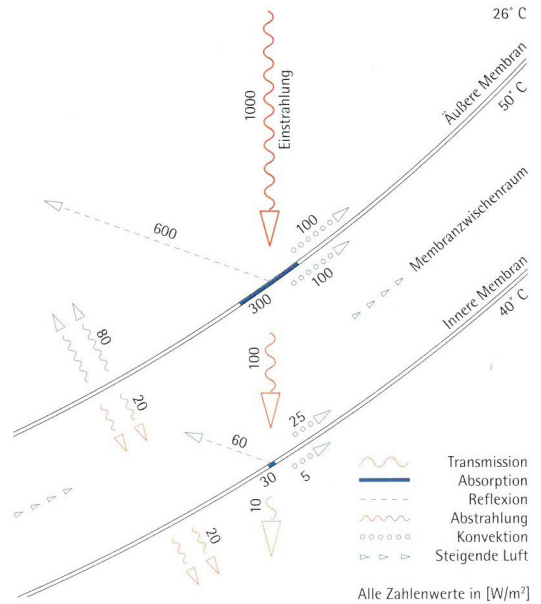


Abbildung B39: BMW-Messepavillon in Frankfurt, schematischer Detailschnitt durch dem Membranaufbau mit Solarsegel (innere Membran)

## B.10 Kurklinik Masserberg, 1994

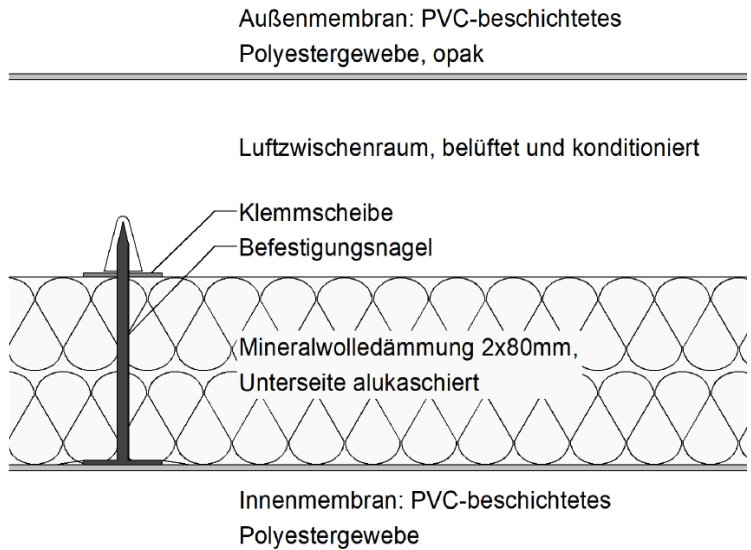


Abbildung B40: Aufbau der Zeltüberdachung Kurklinik Masserberg

Tabelle B10: Angaben zur Kurklinik Masserberg

Baujahr	1994 [2]
Standort	Masserberg
Nutzung	Kurklinik, Membranüberdachung des Freizeitbereichs
Architekten	Architekt Laurens Schneider-Zimmerhackl [2]
Tragwerksplanung	IPL Ingenieurplanung Leichtbau GmbH (Membrane und Primärtragwerk) [2]
Membranbauteil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aufbau (v.o.n.u.):</b> opakes PVC-beschichtetes Polyestergewebe / belüfteter und konditionierter Luftzwischenraum / 2 x 80 mm starke Mineralwolle / gedämmte Membran / PVC-beschichtetes Polyestergewebe (Bereich Schwimmbad und Sporthalle) [2]</li> </ul>
Aufbau und Beschreibung	
	<p>Gesamtfläche 3.300 m<sup>2</sup>, 1.665 m<sup>2</sup> gedämmter Bereich, restliche Fläche einlagiges Membrandach, U-Wert 0,24 W/m<sup>2</sup>K [2]</p> <p>Die Dämmung ist auf der inneren Membran mit speziellen Membrantellern befestigt, diese wurden zunächst auf der Membran geschweißt, ein Nagel daran montiert und nach dem Aufbringen der Dämmung mit weiteren Klemmtellern und Schutzkappen fixiert. [2] Zusätzlich mechanische Lüftung des Membranzwischenraumes im Schwimmbadbereich sowie des Schwimmbades selbst. [2]</p> <p>Der Membranzwischenraum ist am Rand mit einer Membranschürze in Form einer Ziehharmonika abgeschlossen. Teilweise wurde ein Gittergewebe in Membranaussparungen verwendet damit der Zwischenraum natürlich belüftet werden kann. [2] (Haase, Mühlberger, Schmid, &amp; Sobek, 2011) dokumentieren Feuchteschäden im Membrandach mit verschiedenen Ursachen, weisen aber auch darauf hin, dass die ursprünglich geplante dampföffene Deckfolie auf der Wärmedämmung weitere Schäden an der Dämmung hätte verhindern können.</p>



Abbildung B41: Kurklinik Masserberg



Abbildung B42: Kurklinik Masserberg, Ziehharmonika-Schürze

## B.11 Sportzentrum, Fürth, 2017



Abbildung B43: Sporthalle Fürth, Außentribüne

Die Planungen um die Sporthalle in Fürth begannen 2001 mit der Ausschreibung eines Architekturwettbewerbes seitens der Stadt Fürth als Bauherr. Der realisierte Siegerentwurf überzeugte mit der funktionellen Anordnung der verschiedenen Nutzungsbereiche unter einem großen leichten Membrandach. Aus politischen Gründen begann die bauliche Realisierung 2013 in einer vom Bauvolumen kleineren Version gegenüber dem Wettbewerbsentwurf, d.h. ohne das angrenzende Parkhaus, Restaurant, Kegelbahnen, Tanz- und Judosaal, Umkleiden, Büros für das Grünflächenamt und Hausmeisterwohnung, siehe Lageplan (Abbildung B45).

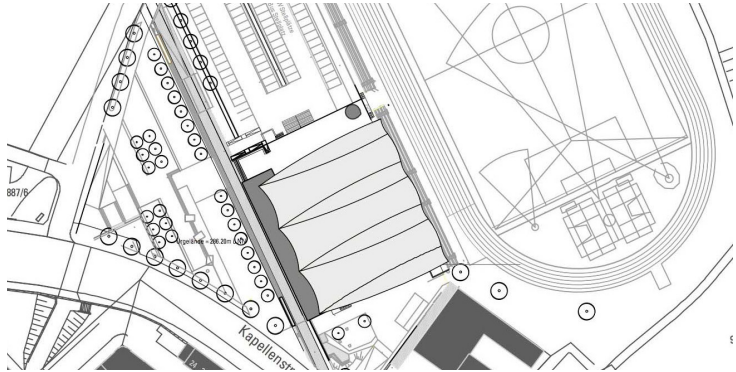


Abbildung B44: Realisierter Lageplan Sportzentrum Fürth mit Bezirkssportanlage

Die Sportstätte beherbergt ein 45 x 27 m großes, zur Hälfte eingegrabenes Sportfeld, das über zwei Trennvorhänge in drei gleichgroße Bereiche unterteilt werden kann. Entlang dieses Sportfeldes, auf der Längsseite Richtung Außensportfeld, schließt innen ein Zuschauerfoyer in der Eingangsebene (Ebene 0) und eine ausfahrbare Tribüne in der Ebene -1 an, sowie eine weitere mit dem Membrandach überspannte Außentribüne in Richtung Außensportfeld (Bezirkssportanlage), siehe Abbildung B46 bis Abbildung B49. Insgesamt können innen ca. 600 Zuschauer Platz finden, wodurch die Versammlungsstättenverordnung greift. Weiterhin werden auf den Ebenen 0 und -1 insgesamt 14 Umkleiden mit WC- und Duschanlagen, Geräteräumen, Abstellräumen und Technikräumen untergebracht.



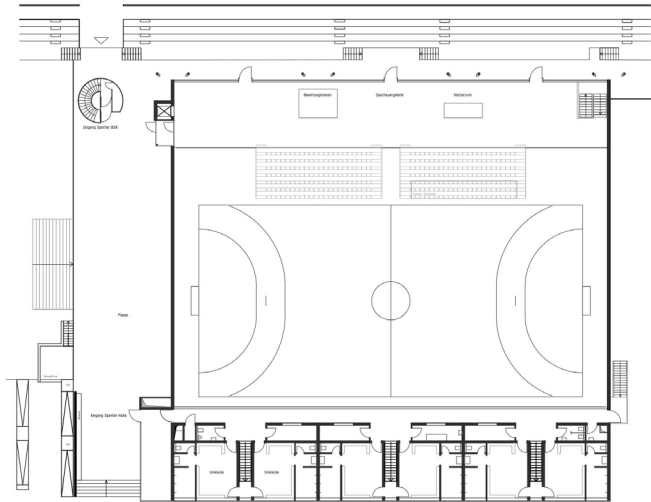


Abbildung B45: Grundriss Ebene 0

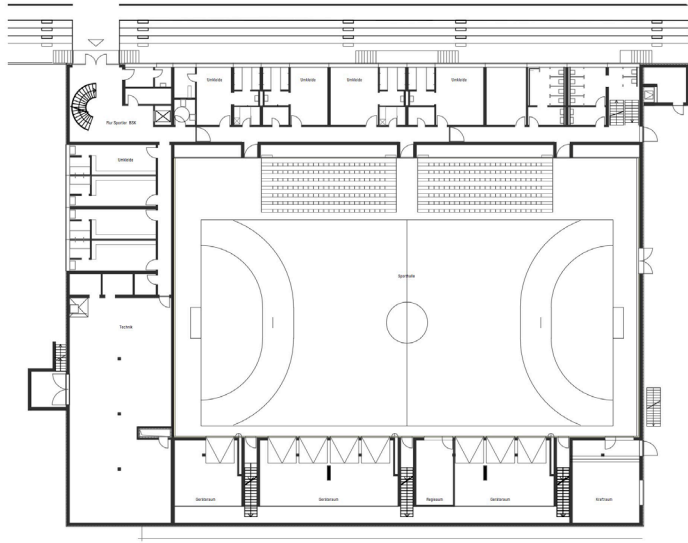


Abbildung B46: Grundriss Ebene -1

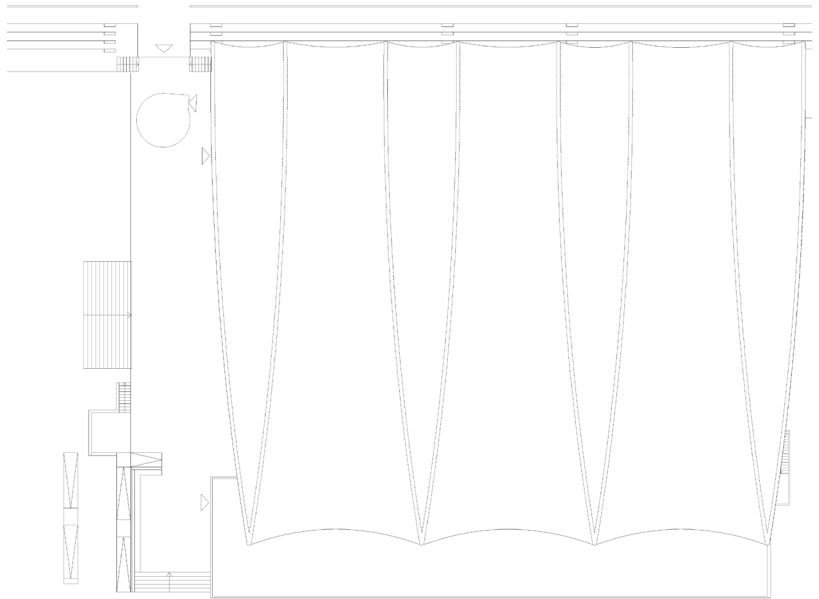


Abbildung B47: Dachaufsicht

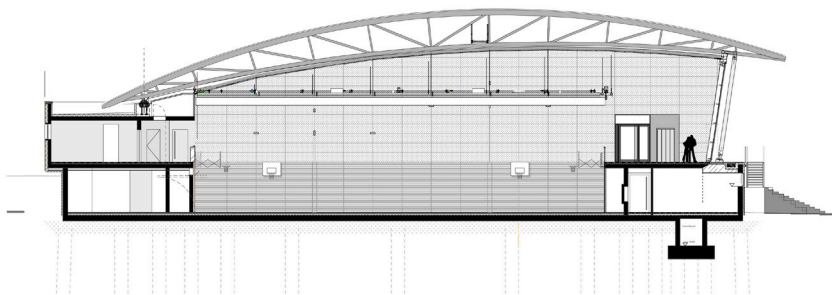


Abbildung B48: Querschnitt durch die Sporthalle und die Nebenräume

Das Sportfeld hat eine Höhe von 11,50 m am Hochpunkt und 8 m an der niedrigsten Stelle und befindet sich in der Ebene -1, alle anderen Räumlichkeiten verteilen sich auf die zwei Ebenen 0 (als Eingangsebene) und -1 (auch als Ausgegebene zu den Außen-sportanlagen).

Das Membrandach überdacht das Sportfeld und den Zuschauerbereich, während sich die Nebenräume in einer Art Nebenraumspange mit Flachdach befinden, über das das Membrandach lediglich auskragt und entwässert. Die Architekten assoziieren die Form des Membrandachs mit einem „Sprinter auf dem Startblock“, während das Membranmaterial selbst an Sportbekleidung erinnert.

Das mehrlagige Membrandach ist konisch geformt und besteht aus einer inneren und äußeren Membran, mit einem variierenden Abstand zueinander von 0,40 bis 1,80 m. Dazwischen liegt mit einem Abstand  $>40$  mm zur Innenmembran die Wärmedämmung mit 40 cm Stärke auf einer Art Seilstruktur, darüber die Unterspannbahn, siehe Abbildung B50 und Abbildung B55.

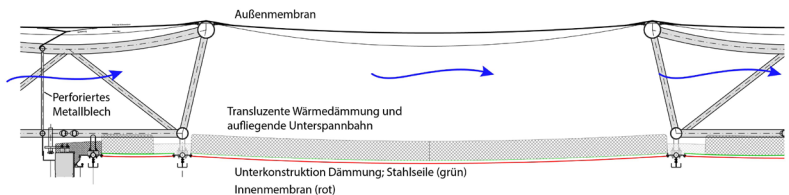


Abbildung B49: Detailschnitt durch die Fachwerkträger und den Membrandachraum

Die Dachform wird von den vier konisch geformten Fachwerkträgern aus Stahl vorgegeben, die auch den Abstand zwischen den beiden Membranen ausbilden, d.h. die Luftschicht im Dachzwischenraum. Dieser Bereich ist über die Giebelseiten als auch über die Längsseiten vollkommen frei belüftet, s. Abbildung B50. Räumlich abgeschlossen werden die Öffnungen mit perforierten Metallblechen, zum Schutz vor Vogelbefall oder ähnlichem.

Die Besonderheit dieser Membrankonstruktion ist neben der gedämmten und mehrlagigen Ausführung vor allem auch die Transluzenz des Dachaufbaus. Daher musste dies bei der Auswahl der Materialien (Membrane, Dämmung und Unterspannbahn) entsprechend berücksichtigt werden. Die Vorteile eines transluzenten Daches liegen in den optimalen Spiel- und Trainingsbedingungen, da gleichmäßig blendfreie Lichtverhältnisse geschaffen werden und der Bedarf an Kunstlicht minimiert wird, wodurch nicht zuletzt auch der Primärenergiebedarf reduziert wird.

Die innere Membranlage war ursprünglich mit einer low-E Beschichtung (Beschichtung mit geringem Emissionsgrad, siehe 0) geplant, wurde jedoch aufgrund der schlechteren Lichttransmission (gegenüber einer Ausführung ohne low-E Beschichtung) nicht realisiert. Über die Projektlaufzeit stand kein geeignetes alternatives Beschichtungsmaterial zur Verfügung. Sollte es jedoch in Zukunft gelingen, eine geeignete transparente low-E Beschichtungen zu entwickeln, die ausreichend Lichtdurchgang erlaubt, wäre dies für eine solche Bauaufgabe durchaus zielführend.



Abbildung B50: Sporthalle Fürth, Außenfassade vom Sportplatz



Abbildung B51: Sporthalle Fürth, Außenfassade mit Membrandach



Abbildung B52: Sporthalle Fürth, Innenraum

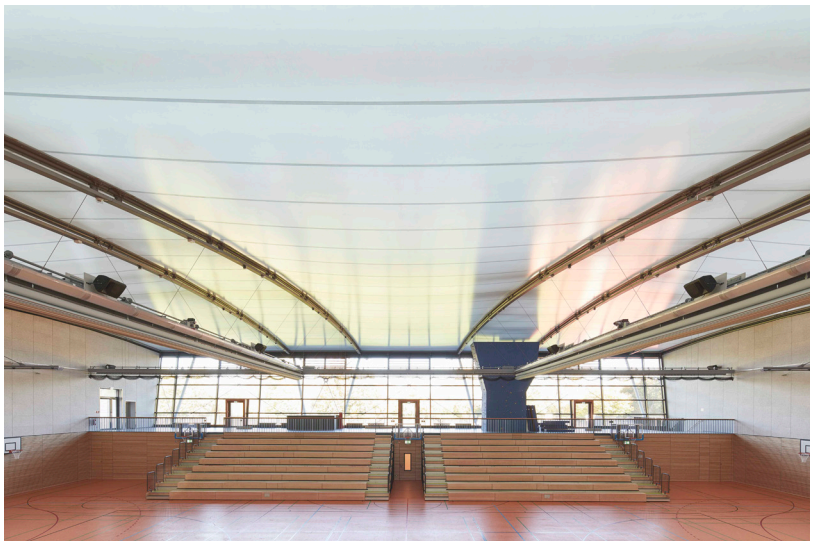


Abbildung B53: Sporthalle Fürth, Innenraum

## Verwendete Membrandachmaterialien in der Sporthalle Fürth

- Außenmembran:  
PVC/PES: Beidseitig PVC- beschichtetes (PVDF/  
PVDF Oberflächenbehandlung) Polyestergewebe  
(PES HT 1100/1670 Dtex), Baustoffklasse 4102-B1  
Fabrikat Precontraint 1202 T2, Fa. Serge Ferrari  
S.A.
- Unterspannbahn:  
Polyethylenterephthalat (PET) Folie, UV-beständig  
und transluzent, Baustoffklasse nach 4101-1 B1  
und B2 bei Kantenbeflammung  
Fabrikat Hostaphan RUF, Fa. Mitsubishi Polyester  
Film GmbH
- Transluzente Wärmedämmung:  
Glasfasergespinnst mit Kunstharz (Glasfaser/Kunst  
harz) 400mm in 4 Lagen mit versetzten Stößen,  
weiß transluzent, Brandverhalten B1  
Fabrikat TIMax GL-PlusF, Fa. Wacotech GmbH &  
Co. KG
- Innenmembran:  
PVC/PES: Beidseitig PVC- beschichtetes (PVDF/  
PVDF Oberflächenbehandlung) Polyestergewebe  
(PES HT 1100 Dtex), Baustoffklasse 4102-B1  
Fabrikat Precontraint 1002 T2, Fa. Serge Ferrari  
S.A.



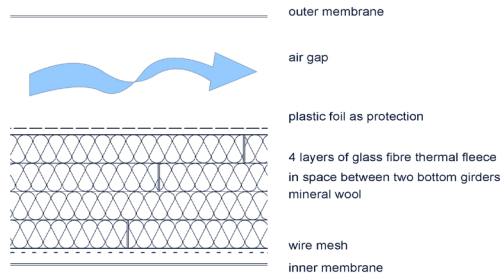


Abbildung B54: Sporthalle Fürth, detaillierter Dachaufbau

## B.12 Zusammenfassung Teil E Projektbei

Informationen wurden hauptsächlich durch (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011) und (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010), sowie tlw. auch von (Habermann K. J., 2004) und über Internetrecherchen zusammengetragen. (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011) geben zudem in der Originalquelle Informationen über eventuelle Problematiken oder Schäden.

Generell dient die dargestellte Auswahl an möglichen mehrlagigen Aufbauten der Vermittlung eines Überblicks in der Breite. Auf eine individuelle Prüfung und Auslegung der Gegebenheiten mit mitwirkenden Fachplanern bei individuellen, neuen Projekten sollte nicht verzichtet werden.

In der Querschnittsbetrachtung fällt auf, dass nahezu alle Membrandächer mit Wärmedämmung belüftet werden, teils durch natürliche oder mechanische Belüftung, teilweise auch mit konditionierter Luft. Bei manchen Dächern wurde die Wärmedämmung allseitig in Folie eingeschweißt, um sie vor Durchfeuchtung zu schützen. Beim neuen Aufbau des abgehängten Membrandachs für die Sanierung der Olympia-Schwimmhalle in München wurde dies zunächst auch so geplant. Doch die ausführende Firma sah sich nicht in der Lage, die Vielzahl von Schweißverbindungen dauerhaft dampfdicht herzustellen. In der realisierten Lösung wird die Wärmedämmschicht selbst mit erwärmter Luft durchströmt, um diese vor Durchfeuchtung zu schützen.

Im Gebäudebetrieb trat bei vielen gebauten Membrandächern Kondensation auf. Teilweise führte dies zu Schäden, teilweise wird die Kondensatbildung bewusst akzeptiert und das Kondenswasser abgeleitet.

Dächer und Gebäudehüllen aus Membranen sind insgesamt immer noch Nischenlösungen. Entsprechend wenig Erfahrungen und vor allem dokumentierte Praxiserfahrungen von mehrlagigen Membrandächern gibt es. An den in (Haase, et al., 2011) vorgestellten Gebäuden zeigt sich, dass in der Planungspraxis mit dem Thema Feuchtigkeit in Membrandächern sehr unterschiedlich umgegangen wird. Entsprechend groß ist die Bandbreite der Betriebserfahrungen mit den Gebäuden von massiven Feuchteschäden bis zu Gebäuden ohne jegliche Probleme. Dabei ist zu beachten, dass nicht dokumentierte Feuchteprobleme nicht zwingend bedeuten, dass keine Probleme mit Feuchtigkeit auftraten. Aus der Tatsache, dass in der Planungspraxis sehr unterschiedlich mit dem Thema Feuchtigkeit in Membrandächern umgegangen wird, lässt sich schließen, dass das Thema schon lange als möglicher Problem- punkt gesehen wird. Die Lösungsansätze scheinen jedoch bisher meist eher auf einem Trial-and-Error-Prinzip zu beruhen, als auf wissenschaftlich fundierten Berechnungen. Es ist daher zu vermuten, dass hier noch weiterer Forschungs- und Informationsbedarf besteht. Weiterhin wurden in den untersuchten Beispielen auch verschiedene Dämmmaterialien verwendet. Verschiedene Ansätze zeigen, wie die Befestigung der Dämmung zwischen den Lagen realisiert werden kann, z.B. auf der Innenmembran oder auf separaten Seilnetzen. Stets müssen vergleichsweise große Bewegungen bei einwirkenden Winddruck und -sog, sowie ggf. Schneelasten auf die Membran berücksichtigt und ggf. ausgeglichen werden.

Nicht dokumentiert ist leider in den meisten Fällen der Umgang mit dem Brandschutz. Daher wird in diesem Leitfaden nachfolgend das Thema Brandschutz genauer analysiert.

## C. Durchführung von Bauprojekten mit mehrlagigen Membranen

Dieser Leitfaden gliedert sich entsprechend der Leistungsphasen (Lph.) der Honorarordnung für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI). Je nach Leistungsphase können hier Empfehlungen und Hinweise - detailliert oder zusammengefasst in Infoboxen - nachvollzogen werden. Abschließend ist ein zusammengefasster Zeitstrahl zu finden, in dem die wichtigsten zu beachtenden Punkte, die den Unterschied zu anderen Bauarten ausmachen, dargestellt sind. In den nachfolgenden Kapiteln werden außerdem bestimmte Grundlagenthemen als Exkurse eingeschoben. Dieser Leitfaden ersetzt jedoch kein intensives Literaturstudium rund um das Thema.

Wird im Nachfolgenden der Begriff ‚Membran‘ oder ‚textile Membran‘ verwendet, sind damit in aller Regel technische textile Gewebe gemeint, die meist beschichtet sind oder als Laminare eingesetzt werden. Der Begriff ‚Folie‘ meint extrudierte Kunststofffolien ohne textile Gewebebasis, meist aber nicht ausschließlich auf Basis des Fluorpolymer-Kunststoffes Ethylen-Tetra-Fluorethylen (ETFE). In der Literatur wird der Begriff ‚Membran‘ oft auch zusammenfassend für beide sehr unterschiedlichen Materialklassen verwendet.

## C.1 Bedarfsplanung und Grundlagenermittlung (Lph. 0-1)

### Kriterien für die Auswahl von Membrankonstruktionen

In den meisten Hochschulen ist das Bauen mit Membranen nicht Teil des Pflicht-Curriculums für Architekturstudierende. Der Umgang mit dem Membranbau bedeutet daher für die meisten Planer, auch mangels eigener Erfahrung eine große Herausforderung. Dies gilt aber in hohem Maße auch für Bauherren und spätere Nutzer von Membranbauten. Eine Besonderheit des Bauens mit Membranen liegt in der besonderen Logik des Umgangs mit vorgespannten biegeweichen Werkstoffen, aus der zwingend Randbedingungen für die Form folgen. Im Unterschied zu anderen Bauweisen kann hier eine „willkürlich“ festgelegte Form nicht umgesetzt werden. Vielmehr führen die Materialeigenschaften und bestimmte durch den Planer gewählte Eckbedingungen (z.B. Fixpunkte, Hoch- und Tiefpunkte, Spannweiten etc.) über einen Iterationsprozess zu einer Gestalt, in der sozusagen Randbedingungen und Form in ein Gleichgewicht gelangen. Diesen besonderen Zusammenhang muss der Planer verstehen, um damit sinnvoll arbeiten zu können. Ggf. ist hier, vor allem für mit dem Membranbau unerfahrene Planer, Hilfestellung durch Experten zwingend.

Planer übernehmen noch vor Beginn der ersten Planungsphase (in der sog. Planungsphase 0) eine wichtige Rolle: Sie müssen moderierend Unterstützung leisten, sodass sich Bauherren einerseits über die Möglichkeit eines Membranbaus bewusst sind, andererseits aber auch über die gestalterischen und konstruktiven Anforderungen bei Membranbauten informiert werden. Seitens der Planer müssen an dieser Stelle die richtigen Fragen gestellt werden, wie z.B.:

- Was wird gestalterisch vom (Membran-)Neubau gefordert? Eignet sich der Formenkanon des Membranbaus für das architektonische Konzept?  
> Auslotung durch Architekten und Unterlegung mit Projektbeispielen, die konstruktiv und funktional durchdrungen werden müssen.
- Ist die Nutzung auf der Grundstücksfläche mit einem Membranbau zu bewältigen?  
> Austausch mit den Tragwerksplanern sinnvoll.
- Würde ggfls. die zulässig mögliche Gebäudehöhe ausreichen?  
> Hierbei sind die besonderen Randbedingungen aus dem Formfindungsprozess zu beachten. Überprüfung im Bebauungsplan.
- Bestehen baurechtlich höhere Anforderungen an Akustik, Brandschutz usw.? Kann ggf. ein mehrlagiger Membranaufbau diesen Anforderungen gerecht werden?  
> Austausch mit einem Bauphysiker und Brandschutzbeauftragten.

Somit sollte in einer frühen Phase geprüft werden, ob Nutzung und Standort für einen Membranbau geeignet erscheinen. So werden beispielsweise Membranbauten dort eingesetzt, wo große Spannweiten überbrückt werden müssen oder große bis sehr große Flächen entstehen, die vielleicht auch noch lichtdurchlässig sein sollen - wie bspw. bei Hallenbauten. Vor allem bei solchen Bauobjekten können die Vorteile des Werkstoffs optimal ausgenutzt werden.

Sinnvoll ist auch, den Kontakt zu anderen Planern zu suchen, die im Idealfall ähnliche Membranprojekte bereits errichtet haben.

Schon auch über kurze Telefonate können wichtige Hinweise oder Erfahrungen wiedergegeben werden.

Die wesentlichsten Vor- und Nachteile von Membranbauten oder -bauteilen sind nachfolgend zusammengestellt und sollten abgewogen werden (evtl. gemeinsam mit der Bauherrschaft), um die Weichen für die weitere Entwurfsplanung zu setzen, siehe Tabelle C1.

Tabelle C1: Mögliche Vor- und Nachteile gegenüber anderen Bauweisen. Quelle: HFT Stuttgart/Palla

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Leichte Bauweise, die zur Ressourcenschonung beitragen kann.</li><li>• Geringer Materialeinsatz auch in Sekundär- und Tertiärtragwerken (geringer Ressourceneinsatz, ggf. wirtschaftlicher Vorteil)</li><li>• Große Spannweiten können realisiert werden.</li><li>• Hoher Vorfertigungsgrad, sehr schneller Baufortschritt möglich.</li><li>• Potenzial zur Signet-haften Gestaltungswirkung.</li><li>• Besondere Gebäudehüll- oder Bauteilformen möglich.</li><li>• Hohe Transparenz mit filigranen Konstruktionsprofilen möglich. Unterstützt tags die natürliche Beleuchtung und schafft nachts über künstliche Hinterleuchtung eine interessante Außenwirkung.</li><li>• Transluzenz trotz guter Wärmedämmfähigkeit möglich (bei mehrlagige Membranaufbauten).</li><li>• Nach Fertigstellung der Tragkonstruktion schnelle Realisierung einer „dichten Hülle“ möglich.</li><li>• Insbesondere bei geforderter Lichtdurchlässigkeit und großen Flächen vergleichsweise sehr wirtschaftliche Lösungen möglich.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Je nach Material noch kein geregelttes Bauprodukt nach Landesbauordnung, gesonderte Zulassungen sind nötig (i.d.R. jedoch bereits tlw. vorhanden).</li><li>• Bei vielen Planern und Fachplanern vergleichsweise wenig eigene Erfahrung verfügbar.</li><li>• Brandverhalten fast ausschließlich B1 (nach DIN 4102), besonderes Brandschutzkonzept nötig.</li><li>• Je nach Entwurf erhöhter Raumbedarf für Konstruktion (doppelte Krümmung mit geeigneten Radien erforderlich).</li><li>• Begrenzter Schallschutz gegen Außenlärm (v.a. wegen sehr geringem Eigengewicht).</li></ul>



## **Klare Definition der Aufgabenstellung**

Das Ergebnis dieser sog. Leistungsphase 0 sollte sein, die Aufgabenstellung klar festzulegen. Wie bei allen Bauaufgaben muss dies auch bei möglichen Membranprojekten genau festgehalten werden: Welche Zielvorstellung wird verfolgt und welche Anforderungen werden an das Objekt gestellt? Dies sollte die ökonomische und funktionale Betrachtung beinhalten und insbesondere auch einen konkreten Flächenbedarf enthalten. Es sollte grob geprüft worden sein, ob dies mit einem Membranbau erfüllbar erscheint. An dieser Stelle sind zur Absicherung ggf. Teile der Leistungsphasen 1 und 2 vorzuziehen (Vorentwurf). In vielen realen Fällen wird dies aber erst im Rahmen der regulären Bearbeitung der Leistungsphase 2 überprüft werden können, z.B. auch im Rahmen eines Planungswettbewerbs.

## **Zusammenstellung möglicher Informationsquellen**

Informationsquellen zu diesem Thema werden nachfolgend empfohlen. Eine erweiterte Literaturliste ist auch unter [formfinder.at](http://formfinder.at) zu finden.

### ***Bücher und Forschungsberichte:***

- Haase, W., Klaus, T., Knubben, E., Mielert, F., Neuhäuser, S., Schmid, F., & Sobek, W. (2011). Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Haase, W., Mühlberger, J., Schmid, F., & Sobek, W. (2011). Beispiele zur konstruktiven Ausführung. Recherchebericht zum Forschungsbericht „Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen“. Univ. Stuttgart, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren -ILEK-, gefördert vom Bun-

desamt für Bauwesen und Raumordnung  
-BBR-, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung -BBSR-, Forschungsinitiative Zukunft Bau,  
Bonn. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. Von <https://www.baufachinformation.de/literatur.jsp?bu=2011109001183>  
abgerufen

Habermann, K. J. (2004). Auswahl internationaler Membranbauten.  
In K.-M. Koch, Bauen mit Membranen (S. 138-243). Mü  
nchen-Berlin-London-New York: Prestel.

Knippers, J., Cremers, J., Gabler, M., & Lienhard, J. (2010). Atlas  
Kunststoffe + Membranen. München: Institut für internati  
onale Architektur-Dokumentation GmbH&Co.KG.

Motro, R. (2013). Flexible Verbundmaterialien in Architektur, Bau  
wesen und Innenarchitektur. Basel: Birkhäuser.

Seidel, M. (2008). Textile Hüllen - Bauen mit biegeweichen Trag  
elementen. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und  
technische Wissenschaften.

Forster, B. & Mollaert M. (2004). European design guide for tensile  
surface structures. TensiNet. Vrije University Brüssel, 354  
Seiten

### **Internet:**

Formfinder Software GmbH. Online verfügbar unter: <http://www.formfinder.at>

TensiNet; Projektdatenbank. Online verfügbar unter: <http://www.tensinet.com/index.php/projects-database/projects>

FormTL Ingenieure für Tragwerk und Leichtbau GmbH. Facharti  
kel, online verfügbar unter <http://www.form-tl.de/media/>

Wunderlich, D. (2015). Frei Otto, 1925 - 2015 / Biografie. Von [www.dieterwunderlich.de](http://www.dieterwunderlich.de): [http://www.dieterwunderlich.de/Frei\\_Otto.htm](http://www.dieterwunderlich.de/Frei_Otto.htm) abgerufen

***Dissertationen:***

Grunwald, G. (2007). Mechanisch vorgespannte, doppelagige Membranmodule in ihrer Anwendung als zweite Gebäudehülle. Dissertation an der Technischen Universität Berlin.

***Normen und Regelwerke:***

Eine Auflistung relevanter Verordnungen, Richtlinien und Normen ist in (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010) wiedergegeben.

## C.2 Vorplanung und Entwurfsplanung (Lph. 2 und 3)

### **Konsultation geeigneter Fachplaner**

Wie bei allen Konstruktionsprinzipien, so hat auch das Bauen mit Membranen bestimmte Gestaltungsprinzipien. Doch im Gegensatz zu anderen wird bei Membranbauten das Tragwerk oder das Konstruktionsprinzip, das die wesentliche Form des gespannten Textils vorgibt, bereits zu einem frühen Zeitpunkt ausgestaltet. Dies bedingt daher eine frühe und enge Zusammenarbeit mit den entsprechenden Fachplanern, zu diesem Zeitpunkt vor allem mit geeigneten (idealerweise im Membranbau erfahrenen) Tragwerksplanern. Diese Zusammenarbeit kann erheblichen Einfluss auf den Entwurf nehmen und sollte nicht nur zugelassen, sondern aktiv angestrebt werden. Ggf. ist auch schon zu einem frühen Zeitpunkt das Hinzuziehen von weiterer Membranbau-Expertise sinnvoll und z.B. über ausführende Firmen verfügbar. Insgesamt sollte das Fachplanerteam früh zusammengestellt werden und die Beteiligten im Idealfall bereits Bauwerke mit Membranen realisiert haben.

### **Entwicklung der Gestaltung**

Die Formfindung im textilen Bauen unterliegt grundsätzlichen Gesetzmäßigkeiten, die sich wie oben beschrieben aus Materialeigenschaften und vorgegebenen Randbedingungen ergeben.

Durch die ersten Skizzenstriche wird bereits in der Vorplanung oder ggfls. während des Wettbewerbs maßgeblich die Form des Membranbauteils als Außenbauteil definiert. Die Form und die konstruktive Ausgestaltung des Membranbauteils folgen dem Prinzip

der Kräfteableitung, wodurch Material effizient eingesetzt werden kann. Grundsätzlich kann bei Membranbauten zwischen mechanisch vorgespannten und luftgestützte Konstruktionen unterschieden werden.

Das Flächenmaterial Membran ist immer zugbeansprucht und kann bei geringem Eigengewicht weit spannen, während es formweich ist, siehe Tabelle C2. Dessen Funktion im Tragwerk ist lastableitend und stabilisierend. Die Form des Flächengebildes wird über weitere Elemente sichergestellt, wie z.B. durch Seile, Gurte, Randeinfassungen, Hoch- und Tiefpunkte, Masten, Träger usw. Im Bereich der Membranflächen ergeben sich aus diesen Randbedingungen die erforderlichen Krümmungen, Hoch-, Tiefpunkte oder Kehlen und Grate. Bei mechanisch vorgespannten Konstruktionen sind die Krümmung antiklastisch (doppelt gegensinnig gekrümmt), bei luftgestützten Konstruktionen sind sie synklastisch (doppelt gleichsinnig gekrümmt), siehe auch C.2.1. Zugkräfte bspw. am Rand der Flächenmembran werden über solche Elemente an andere tragende Elemente weitergegeben. (Schmid, Gerd (a), 2004) Der Exkurs „Entwurfgrundlagen“ gibt nachfolgend einen kleinen Einblick als Starthilfe. Für weitere Informationen sollte unbedingt auf weiterführende Literatur zurückgegriffen werden.

Tabelle C2: Aufgaben des flächigen Membranbauteils und der formbildenden Tragelemente.

Flächenmaterial - Membranbauteil	formbildende Tragelemente
<ul style="list-style-type: none"><li>• vorgespanntes Flächenmaterial</li><li>• Zugbeanspruchung</li><li>• geringes Eigengewicht</li><li>• weit spannend</li><li>• biegeweich</li><li>• tragend und stabilisierend</li><li>• doppelsinnige Krümmung erforderlich</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• alle tragend und stabilisierend</li><li>• zugbeanspruchte Seile (Grat-, Kehl-, Rand-, Abspannseile); biegeweich</li><li>• druckbeanspruchte Masten; formstabil</li><li>• biegebeanspruchte Träger; formstabil</li><li>• Punkt- oder Linienlager</li></ul>

## Planungswerkzeuge

Prinzipiell stehen heute gute digitale Planungshilfen zur Verfügung. Während früher viel in gebauten Arbeitsmodellen - siehe Abbildung C1 - ausprobiert wurde (was nach wie vor sehr empfehlenswert ist), können heute auch 3D-Zeichenprogramme mit wenigen Eingaben zur Formfindung eingesetzt werden. Beispielsweise ist für grobe Näherungen in frühen Planungsphasen die einfach zu bedienende Software „Formfinder“ zu nennen. Neben dem 3-Dimensionalen Zeichenwerkzeug können dort auch Inspirationen zur Form eingeholt werden. Die Software zeigt auch Möglichkeiten zur Ausführung der Anschlusselemente, wie Seile zum Abspannen usw.

Weiterhin gibt es beispielsweise auch ein Plug-In für das 3D-Modellierungsprogramm „Rhinceros“: Rhino-Membrane. Für die eigentliche Formfindung im Rahmen der vertiefenden Planung stehen diverse Spezialwerkzeuge zur Verfügung.

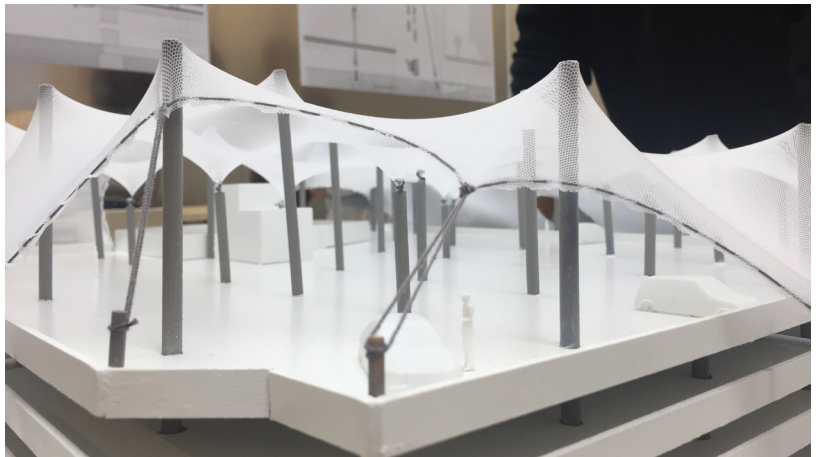


Abbildung C1: Membrandach im Modell, studentisches Projekt

## Planungsablauf

Auf Basis der oben beschriebenen erforderlichen Grundkenntnisse zum Bauen mit Membran entwickelt der Architekt seinen Entwurfsgedanken, dabei arbeitet er mit Arbeitsmodellen oder nutzt digitale Planungswerkzeuge. Dabei entwickelt sich die Form typischerweise in einem Iterationsprozess durch Optimierung von Randbedingungen.

Der Entwurf wird dabei laufend auch in statischer Hinsicht überprüft und angepasst. Die genaue Dimensionierung von Profilquerschnitten und Befestigungslösungen erfolgt meist auf Basis einer weit entwickelten Form. Es ist ratsam, dass der Tragwerksplaner direkt bei der Entwicklung der Grundidee beteiligt ist, also in der Wettbewerbsphase oder bereits am Anfang beauftragt und involviert wird. In dieser Konstellation können Architekt und Tragwerksplaner schon früher sehr eng zusammenarbeiten.

Bei größeren Aufgaben und zu einem fortgeschrittenen Bearbeitungsstand kann ein genaues Modell erstellt werden, das in einem Windkanal untersucht wird. Bei Windkanalmessungen werden die auftretenden Kräfte auf die Membran ermittelt, was dem Tragwerksplaner die Grundlage bietet, tragende Elemente anzupassen und zu dimensionieren. Für die Windkanalmessungen sollten gesonderte Mittel vorgesehen werden.

## Konstruktive Abhängigkeiten, Materialeffizienz und zusätzlicher Flächenbedarf

Besonderes Merkmal des Leichtbaus ist ein effizienter Materialeinsatz, idealerweise gibt es kein Material, das auch nur in Teilen keine Tragwerkswirkung übernimmt. Dies ist die besondere Chance bei zugbeanspruchten Konstruktionen, bei Druck- und v.a. Biege



beanspruchung z.B. jedoch unvermeidlich. Der Entwurfsgedanke sollte daher das Ziel verfolgen, maximale Tragfähigkeit und Steifigkeit bei geringem Materialaufwand zu erreichen.

Gesteuert wird die Effizienz von drei Faktoren; erstens der (gewünschten) Membrangeometrie, zweitens der Anordnung der Tragelemente (angepasst an die Nutzung) und drittens der Querschnittsform und Materialität. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 134)

Membrantragwerke sind sog. leichte Flächentragwerke, deren Tragverhalten von der Krümmung der Fläche abhängt. Zugkräfte werden über das biegeweiche flächige Membranmaterial und die Seile abgeführt, die Druckkräfte an entsprechenden Stellen über Träger oder Stützen. Das heißt, beschäftigt man sich mit der Form des Membranbauteils, ist es wichtig, sich über die Möglichkeiten der Ausbildung solcher Krümmungen und der Ableitung der Kräfte bewusst zu sein.

Gegebenenfalls kann es nötig sein, dass die Zugkräfte seitlich am Gebäude über Abspannungen abgeleitet und im Boden rückverankert werden müssen, siehe Abbildung B22 und Abbildung C2. Die Tragstruktur spannt damit über den Gebäudegrundriss hinaus. Typische vorgespannte Membrankonstruktion benötigen daher ggf. mehr Platz als bspw. ein Biegetragwerk, es muss mehr Grundstücksfläche vorhanden sein und die Befestigungsmöglichkeiten im Boden müssen in Abhängigkeit der konkret vorhandenen Bodenverhältnisse berücksichtigt werden (z.B. Zuganker oder Schwerlastfundamente). In der Innenstadt könnte dies ein kritisches Thema werden und sollte früh abgeklärt werden. Reizt das Raum- und Flächenprogramm die zur Verfügung stehende Grundfläche aus,

sollten Abspannungen nach außen vermieden werden und auf eine andere Ausdetaillierung der Konstruktionspunkte zurückgegriffen werden, was die Form beeinflussen kann



Abbildung C2: Kulturzentrums Puchheim, seitliche Abspannungen

## **Wechselwirkungen Bauphysik, Materialmöglichkeiten und Membranaufbau**

Verursacht durch die Anforderungen der Nutzung und des Standortes, die an den Membranaufbau gestellt werden, kann ggfls. ein mehrlagiger oder mehrschichtiger Aufbau nötig werden. Das Membranmaterial samt deren Beschichtungen muss entsprechend gewählt und der mehrlagige oder -schichtige Aufbau definiert werden. Mögliche Materialien werden im Abschnitt zu Lph. 5 dargestellt. Textile Membran- und Folienmaterialien (bspw. ETFE) werden dabei voneinander unterschieden.

## Licht

Während des Entwurfsprozesses sollte ein grundsätzliches Bewusstsein über eine mögliche Lichtdurchlässigkeit im Membranbau herrschen. Denn die verschiedenen textilen Membranmaterialien bieten die Möglichkeit eine Lichtdurchlässigkeit von bis zu 46 % bei Glasgittergewebe/PTFE-laminiert und bis zu 15 % bei Polyester-gewebe/PVC-beschichtet (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 102) einzustellen und trotzdem eine wasserdichte und weit spannende Hüllfläche herzustellen. Folienmaterialien wie ETFE hingegen können eine bis zu 95 %ige Transparenz vorweisen (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 95). Kommen weitere Schichten hinzu sinkt die Lichtdurchlässigkeit jedoch weiter, wie nachfolgend beschrieben wird.

Umgekehrt ist es extrem anspruchsvoll, den Lichtdurchgang ganz zu unterbinden. In der Praxis ist weniger als 0,1 % Lichttransmission auch bei gedämmten mehrlagigen Aufbauten kaum zu realisieren.

## Wärmedämmung

Mehrlagige Membranbauten haben oft das Ziel, eine thermisch abgeschlossene Hülle im Sinne eines Klima-Abschlusses zwischen Innen und Außen herzustellen, wodurch eine Wärmedämmung als Zwischenschicht nötig wird. Hierfür sind am Markt geeignete lichtdurchlässige Dämmstoffe zu finden, wie bspw. Glasfasergespinnste (siehe Kap. C.4.1.2).

Da Membranflächen in aller Regel doppelte Krümmungen aufweisen und sich zudem unter Einfluss von Wind oder Schnee dynamisch verformen können, muss die Dämmschicht diese Formän

derungen mitmachen können und darf sich dabei auch in der Lage nicht verschieben. Daher müssen die Wärmedämmung oder auch weitere Schichten, wie die Unterspannbahn, stets in geeigneter Weise befestigt werden, bspw. durch eine Schnürung auf der Innenmembran, wenn diese dort aufliegt oder an eine andere Unterkonstruktion. (Schmid, Gerd (b), 2004)

In der Kurklinik Masserberg wurde dieser Punkt beispielsweise über aufgeschweißte Dornteller gelöst, auf denen die Dämmung aufgesteckt wurde, siehe Abbildung C3 und Kapitel B.10.

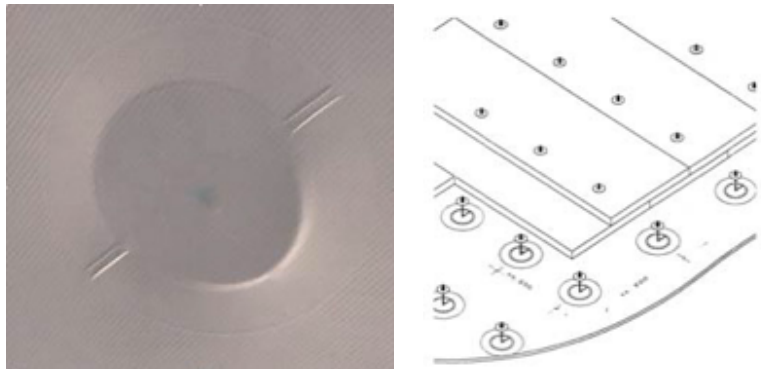


Abbildung C3: Angeschweißte Dornteller auf der Innenmembran, Kurklinik Masserberg

## Kombinationen

Bei Kombinationen von transluzentem Membran- und Wärmedämmmaterial ergibt sich ein mehrlagiger Aufbau, der wärmedämmend wirkt und gleichzeitig Tageslicht hindurchlässt. Dies stellt ein großes Potenzial im gestalterischen Umgang im Innenraum dar und kann auch zu Vorteilen im Energiebedarf führen. Die Gesamtlichttransmission reduziert sich allerdings mit der Anzahl der Materiallagen (je nach Materialstärke und -eigenschaften). Um ein Gefühl

dafür zu bekommen, wie viel Lichttransmission erzielt werden kann, werden in der nachfolgenden Tabelle Beispiele aufgezeigt. Zwischen bestmöglicher Wärmedämmung und maximaler Lichtdurchlässigkeit besteht ein Konflikt. Denn je stärker die Dämmung wird, desto geringer wird deren Lichttransmission und umgekehrt. Das für das Bauprojekt richtige Maß muss mit einem Fachplaner ausgelotet werden, es gibt hier keine allgemeingültige optimale Kompromisslösung.

## Feuchteschutz

Vorweg sollen hier bereits wesentliche Zusammenhänge zum Thema Feuchteschutz im mehrlagigen Konstruktionsaufbau genommen werden. Zu diesem Thema können auch die Kapitel C.4.1.2 und C.4.3.2 im speziellen nachgelesen werden.

Für Standorte in gemäßigten Klimazonen und die meisten Gebäudenutzungen muss i.d.R. der Dampfdiffusionswiderstand in den Einzelschichten eines Hüllaufbaus von Innen nach Außen abnehmen, d.h. konkret am Membranbauteil innenseitig (Abschluss zum Innenraum) ein Abschluss mit hohem Wasserdampfwiderstand vorhanden sein und dampfdichte Abschlüsse hergestellt werden. Dies soll verhindern, dass Feuchtigkeit aus der Raumluft in die Wärmedämmung gelangt. Eine Unterspannbahn auf der Dämmung gewährleistet wiederum, dass die Dämmung nicht von oben her durchfeuchtet wird, bspw. durch horizontalen Regen oder o.ä.. Daher bestehen hier die Anforderungen der Wasserdichtigkeit aber auch der Wasserdampfdurchlässigkeit zur Gewährleistung des Feuchteausgleichs zwischen Dämmung und Hinterlüftung. (Schmid, Gerd (b), 2004)

Tabelle C2: Aufgaben des flächigen Membranbauteils und der formbildenden Tragelemente.

Projekt	Materiallagen	Lichttransmission	U-Wert
Dedmon Athletic Center*	Glas-PTFE Aerogel-PES-Vlies Glas-PTFE Gesamt 5cm	3,5%	0,47 W/m²K
Sanierung Olympia-Schwimmhalle*	Polyestervlies 7cm PES/PVC (innen)	1,5%	0,42 W/m²K
ZAE, Technikum**	PES/PVC Glasfaser 100mm PES/PVC	ca. 3%	1,0 W/m²K
TMZ Erfurt***	Glas/PTFE Glasgespinst 100mm Glas/PTFE	ca. 15-20%	

\* Quelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010)

\*\* Quelle: (Lang, Rampp, Thomas, & Ebert, 2014)

\*\*\* Quelle: (Haase, et al., 2011, S. 15)

Diese Zusammenhänge unterscheiden sich grundsätzlich nicht von anderen Bauweisen, allerdings ergeben sich im Membranbau teilweise andere Bedingungen, z.B. sind weder die gebräuchlichen Materialien noch die Materialfügungen (Schweißen, Kleben) dampfdicht, außerdem sind variierende Flächenneigungen typisch - von sehr steilen Flächenabschnitten zu nahezu horizontalen. Bekannt ist mittlerweile auch, dass das Anfallen von Kondensat in mehrlagigen Membranbauteilen oft nicht verhindert werden kann. In bestimmten Fällen kann Feuchtigkeit in allen Schichtebenen auftreten. Daher ist hier zu empfehlen, darauf zu achten, dass entsprechende Lagen zu einem Tiefpunkt hin entwässert werden können, was wiederum Auswirkungen auf den Konstruktionsaufbau und die Form haben kann.

Über die Auswahl geeigneter Folien, Aufbauten und die richtige Ausführung der Anschlusspunkte kann ein möglicher Schaden durch Kondensation vermieden werden. Dies muss im Rahmen des Planungsprozesses genau untersucht werden, siehe Kapitel C.4.3. Besonders auf eine geeignete Ausführung der Anschlusspunkte ist zu achten, und dass die Materiallagen von innen nach außen immer dampfdiffusionsoffener werden. Durchdringungspunkte sind zu vermeiden.

Über die Hinterlüftung im Zwischenraum kann das Austrocknungsverhalten des Zwischenraums (eben auch der Dämmung) dynamisch beeinflusst werden. Je höher die Luftgeschwindigkeit in diesem Bereich, desto besser (Schmid, Gerd (b), 2004). Steuerbar ist die Geschwindigkeit im Entwurf über den Öffnungsquerschnitt an den Randbereichen, also auch über die Orientierung der Öffnungen zu der Hauptwindrichtung, siehe Abbildung B50. Grundsätzlich ist auch eine mechanische Belüftung möglich. In jedem Fall haben

solche Maßnahmen einen Einfluss auf den konvektiven Wärmeübergang in diesen Zwischenschichten und damit auf den U-Wert des gesamten Aufbaus.

## Schall

Durch die geringe Masse des Membranmaterials kann einer Schallübertragung durch das Hüllbauteil schlecht entgegengewirkt werden - dies kann in beide Richtungen von Bedeutung sein. Daher müssen dem Planer die entsprechenden Anforderungen für die Bauaufgabe bekannt sein, um in Abhängigkeit der Nutzung frühzeitig Kompensationen treffen zu können. Neben einer sorgfältigen Abdichtung aller Fugen kann dies bspw. durch eine weitere schwere Schicht als zusätzliche Mittellage gelingen (z.B. mit Kapillareinlegeplatten aus Polymethylmethacrylat, Polycarbonat-Stegplatten oder durch Sand). Dies hat allerdings einen Einfluss auf die Transluzenz. Siehe auch Praxisbeispiel Kulturzentrum Puchheim Kapitel B.8 oder der Flughafen in Bangkok in (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 277ff).

Ein weiteres Schallthema ist die Anregung der Membranhülle durch Starkregen. Während dies bei vorgespannten Membranstrukturen aus textilen Werkstoffen weitgehend unkritisch ist, wirken ETFE-Kissenkonstruktion wie große Trommeln. Dies kann zu erheblichen Schalleinträgen durch bzw. unter solchen Kissenkonstruktionen führen (> 74 dB), die für den Moment eines Starkregenereignisses viele Nutzungen darunter unmöglich machen (z.B. klassische Konzerte), auch wenn solche Ereignisse (z.B. der Beginn eines Gewitters) oft nur wenige Minuten dauern. Bisher sind keine Maßnahmen bekannt, die diesen Effekt bei Kissenkonstruktionen wirksam und dauerhaft unterbinden. In der Praxis



kann das dazu führen, dass Kissenkonstruktionen für bestimmte Aufgaben de facto nicht in Betracht kommen.

### Sonstiges

Die funktionalen Eigenschaften des Membranaufbaus können weiterhin verbessert werden indem bspw.:

- ein Material mit einer selektiven Beschichtung auf der Membranoberfläche ausgewählt wird,
- eine zusätzliche Lage zur Verbesserung der Schalldämmung integriert wird (wie bereits erwähnt),
- ein Material mit einer modifizierten Oberfläche eingesetzt wird, um das Anschmutzverhalten zu verbessern oder einen photokatalytischen Effekt zu nutzen (z.B. auf Basis von TiO<sub>x</sub>-Schichten)
- eine geeignete Oberflächenfarbe ausgewählt wird, ggf. zusammen mit der richtigen Materialart (Anschmutzverhalten), um eine dauerhaft hohe solare Reflexion sicher zu stellen (Vermeiden von ansteigender solarer Absorption mit entsprechend höherem sekundären Wärmetransport)
- zusätzliche Schichten oder Öffnungsabschnitte eingebracht werden, die Einfluss auf die Belichtung und Belüftung nehmen oder
- auf der Membranoberfläche Photovoltaik verbaut wird.

In der Lph. 3 sollte auch beachtet werden, dass durch die mögliche Verformung der Membranflächen durch Wind, Schnee und Regen z.T. erhebliche Abstände zu anderen Konstruktionselementen eingeplant werden müssen. Wie hoch diese tatsächlich sind, muss errechnet werden. Diese Formänderungen müssen auch in den darunterliegenden Schichten berücksichtigt werden, da die Gefahr besteht, dass die Außenmembran auf bspw. der Dämmung bei Ausdehnung aufliegt. Zwischen der maximal ausgedehnten Außenmembran zum inneren Aufbau im Membranzwischenraum müssen also genügend Abstand vorhanden sein, damit diese sich nicht berühren, d.h. das Gesamtpaket muss entsprechend ausgelegt sein. (Schmid, Gerd (b), 2004)

### **Einschränkungen im Entwurf und konstruktive Abhängigkeiten für den Innenraum**

Bereits in der Vor- und Entwurfsplanung wird klar, dass das besondere Material auch einen besonderen Umgang im Innenausbau erfordert. So können bspw. Unterkonstruktion für einen Trennvorhang, Beleuchtung, Ballfangnetz, Heizung, Ringe, Basketballkörbe usw. nicht beliebig befestigt werden, diese müssen jeweils an Tragachsen geführt und Sonderkonstruktionen aufgebaut werden. In der Sporthalle Fürth wurden z.B. Ausleger befestigt oder Seile von Trägern abgehängt. In anderen Fällen erfordern z.B. Trennwandanschlüsse spezielle Lösungen.

Durchdringungen der Membranhaut sind je nach Konstruktionsprinzip möglich, bringen jedoch einen großen konstruktiven Planungs- und Ausführungsaufwand mit sich und müssen daher genau überdacht werden. Schnell können auch Unterkonstruktionen nötig werden, die eine Detailplanung im 3D-Model erfordert,

da die Geometrie durch die eventuell mehrachsige Krümmung äußerst komplex sein kann. Auch hier sind außerdem die stets vorhandenen Verformungen zu berücksichtigen.

### **Klarheit über erforderliche Zulassungen**

Membranbauweisen und -werkstoffe sind aufgrund der vergleichsweise geringen Marktdurchdringung bislang nicht in den Bauregellisten enthalten und werden daher als nicht allgemein zugelassenes Bauprodukt bzw. Bauweise eingestuft. Es sollte daher klar sein, dass Planer hier derzeit außerhalb von allgemein bauaufsichtlich zugelassenen Konstruktionen tätig sind und mehr Abstimmung nötig ist, um eine nötige, sogenannte ‚Zustimmung im Einzelfall‘ einzuholen oder um vorab andere Nachweise anzufordern. In dieser frühen Phase sollte die Genehmigungsbehörde unbedingt einbezogen werden, um Material und Tragkonstruktion und damit auch den Entwurf festlegen zu können und eine gewisse Planungssicherheit zu erreichen. Zielführend ist es, wenn direkt mit den Entwurfsplänen und den eingeholten Verwendungsnachweisen (siehe Kapitel 0) bei der Genehmigungsbehörde angefragt wird, ob die Unterlagen für eine Erteilung der Baugenehmigung ausreichend sind, ggf. auch, ob überhaupt eine Zustimmung in Einzelfall benötigt wird. Je nach Genehmigungsbehörde könnte vorab eine Rückmeldung erfolgen. Allerdings könnte es auch sein, dass dazu erst bei der Rückmeldung zum Bauantrag eine Stellungnahme erfolgt oder Auflagen benannt werden (also mit der Baugenehmigung).

Ohne einen groben Fahrplan zum Schichtaufbau sind Abstimmungen allerdings wenig zielführend, da sich aus anderen Gegebenheiten und Materialien neue abweichende Anforderungen an

die Konstruktion ergeben können.

Im Kapitel ‚C.3.1 EXKURS: Baulicher Brandschutz‘ wird die Thematik Zulassungen in Bezug auf den baulichen Brandschutz vertieft.

### **Brandschutz und Einholung benötigter Nachweise**

Wie bei allen Bauaufgaben wird auch bei Membranbauten dem vorbeugenden Brandschutz eine besondere Bedeutung beizumessen sein. Der Umgang mit diesem besonders relevanten Themenbereich sollte frühzeitig, im Idealfall bereits in der Entwurfsphase (Lph.3), geklärt werden, da es bei nicht eindeutigen Sachverhalt unter Umständen während späteren Leistungsphasen zu erheblichen zeitlichen Verzögerungen kommen kann. Es sollte Klarheit herrschen, was an Nachweisen oder ggfls. zusätzlichen Prüfungen benötigt wird und diese sollten frühzeitig angefordert werden. Für die gewählten Materialien sollten alle erforderlichen Verwendungsnachweise, wie allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen oder allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse von Firmen eingeholt und auf die Eignung für den angedachten Aufbau geprüft werden. Ebenso sollte auf das Einhalten der Bedingungen, wie sie in den Nachweisen enthalten sind, geachtet werden. Diese Thematik wird im nächsten Kapitel genauer erläutert.

### **Kostenschätzung und Kostenberechnung**

Auch die Kostenplanung wird in dieser Phase zu einem wichtigen Punkt, denn ohne eine gewisse Kostensicherheit kann der Bauherr schlecht über die Ausführung entscheiden. Hier ist eine sorgfältige Bewertung des jeweiligen Einzelfalls unabdingbar. Allgemeine Kostenaussagen, die z.T. unter Planern kursieren, sind mit Vorsicht zu begegnen, da die Datenbasis für diese besondere Bauweise sehr

klein ist und sehr viele Randbedingungen Einfluss nehmen. Eine Möglichkeit zur Steigerung der Kostensicherheit ist sicherlich, entsprechende Firmen anzufragen. Dies empfiehlt sich auch schon, um durch das Einbinden entsprechender Expertise und Erfahrung Kosteneinsparpotenziale erkennen zu können, z.B. durch Verbesserungen von konstruktiven Randbedingungen.

Sicherlich taucht auch die Frage auf, inwieweit sich die Kosten des Membranbaus von anderen („herkömmlicheren“) Bauweisen unterscheiden. Doch auch dieser Punkt ist schwierig pauschal zu beantworten, da:

- andere Konstruktionen ein grundlegend anderes Tragwerksystem beinhalten,
- mit alternativen Bauweisen oft nicht keine analoge Funktionalität erreicht werden kann (z.B. Stützenfreiheit und flächiger Lichteintrag),
- ggfls. ein anderes Gebäudevolumen entsteht oder
- ggfls. andere Bauzeit anfällt.

Kaum kalkulierbar sind ebenso Kosten, die durch den gestalterischen Mehrwert eines Membranbaus entstehen im Vergleich zu anderen Bauweisen.

Sollte beim Planer Kostenerfahrungen zu vergleichbaren Bauten (ohne Membran) bestehen, können diese sicherlich als Basis dienen. Falls nicht, können hierzu anderweitig Vergleichskosten ermittelt werden.

## Zusammenfassung

Tabelle C4: Zusammenfassung der Lph. 1-3

- Eignung der geplanten Nutzung für den Membranbau geprüft, abgewogen und erste Kosten überschlagen. Damit ist die Planungsrichtung mit den Bauherren festgelegt.
- Frühe Einbindung geeigneter Fachplaner.
- Experimentelle und/oder computergestützte Entwicklung der Gestaltung, Form und Tragwerk näherungsweise festgelegt.
- Anforderungen an den mehrlagigen Membranaufbau festgelegt, mögliche Materialien für die Membran, ggfls. den Dämmstoff, Dampfbremse usw. ausfindig gemacht und über deren Verwendungseinschränkungen informiert.
- Kontakt zu Materialherstellern und Konfektionären (Membranbaufirmen) aufgebaut. Informationen zu Materialeigenschaften, Brandverhalten, Konformitätserklärungen und allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen bzw. ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis erhalten.
- Einbindung der Behörden.

**Es ist geklärt welches Membranmaterial verwendet wird und die nötigen Prüfzeugnisse liegen vor und wurden auf Einsetzbarkeit geprüft.**

Infobox - Leistungsphase 1-3

\* *Quelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010)*

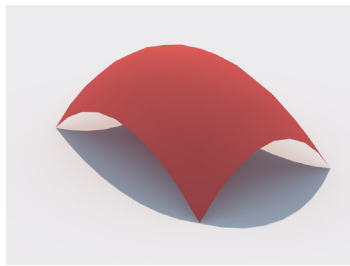
\*\* *Quelle: (Lang, Rampp, Thomas, & Ebert, 2014)*

\*\*\* *Quelle: (Haase, et al., 2011, S. 15)*

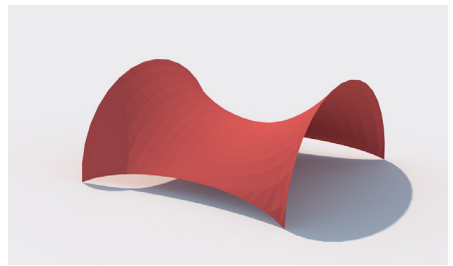
## C.2.1.EXKURS: Entwurfsgrundlagen

Membrankonstruktionen zählen zu den zugbeanspruchten Flächentragwerken und können nur Zug- und Schubkräfte aufnehmen. Der wichtigste Entwurfsgrundsatz beim Bauen mit Membranen ist die zweiachsige Flächenkrümmung, die ein sicheres Abspannen der Membran ermöglicht.

Wird das Material vorgespannt, ist es in der Lage von außen einwirkende Lasten abzutragen. Je nach Art der Vorspannung ergeben sich andere Formprinzipien. Für das Bauwesen interessant sind zum einen mechanisch vorgespannte Membranen, die in antiklastische Formen resultieren, und zum anderen Luft-gestützte (pneumatisch vorgespannte) Membranen, die in synklastische Formen resultieren, siehe Abbildung C4. (Grunwald, 2007, S. 14-15)



synklastisch  
Zwei gleichsinnige Krümmungs-  
richtung.  
Realisierbar über luftgestützte  
Vorspannung.



antiklastisch  
Zwei gegensinnige Krümmungsrichtungen.  
Realisierbar über mechanische  
Vorspannung.

Abbildung C4: Antiklastische und synklastische Formen

Im Nachfolgenden werden Entwurfsgrundlagen zu beiden Vorspannarten gegeben.

## C.2.1.1. Mechanisch vorgespannte Membran konstruktionen

Grundsätzlich ist in Membrankonstruktionen der Kraftfluss ablesbar, so verändert sich auch beim Einwirken von äußeren Lasten die Form der Membranfläche. Es gilt demnach der Grundsatz, dass die Form dem Kraftfluss folgt bzw. entsprechen muss. Entsprechend gilt, dass je größer die Krümmung ist (also je kleiner der Krümmungsradius ist), desto geringer die Vorspannung sein muss. Das Tragverhalten einer mechanisch vorgespannten Membran (antiklastisch gekrümmt) kann gut mit einem Seilnetz erläutert werden und ist von (Grunwald, 2007) wie folgt beschrieben:

„Vereinfacht man das Seilnetz, bleibt das Modell zweier sich kreuzender Seile übrig. An ihm ist das Tragverhalten der Membrane recht einfach zu erläutern. Als biegeweiches Material hängt das Seil unter Eigenlast schlaff nach unten (Abbildung C5 a) und kann nur nach unten gerichtete Kräfte aufnehmen. (Abbildung C5 b) Stellt man jedoch eins der hängenden Seile auf den Kopf, wird das hängende Seil von einem stehenden Seil gekreuzt. (Abbildung C5 c) So kann es nun Kräfte aus unterschiedlichsten Richtungen aufnehmen, auch die nach oben wirkende Kraft (Abbildung C5 d). Das durchhängende Seil wird als Tragseil bezeichnet, es „trägt“ die nach unten wirkende Last ab. Das auf den Kopf gestellte Seil ist das SpanNSEil. Bei Lastwirkung nach oben wird das stehende Seil zum Lastabtrag verwendet und das hängende Seil zum SpanNSEil. Durch diese gegensinnige Seilanordnung erhält das Seiltragwerk eine geometrische Steifigkeit. Nach demselben Prinzip wird die Membran ertüchtigt: Sie erhält Steifigkeit durch eine antiklastische Form.“ (Grunwald, 2007, S. 15)

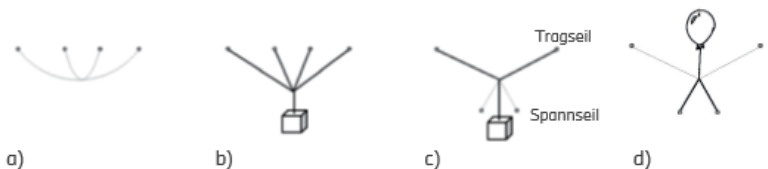


Abbildung C5: Tragverhalten von mechanisch vorgespannten Membranen nach (Grunwald, 2007, S. 15)



Damit allerdings keines der Seile oder im weiteren Sinne später die Membran schlaff durchhängt und gespannt beliebt - denn nur so kann es Kräfte ableiten - wird eine Vorspannung in Form von Zugkräften an den Befestigungspunkten (Seilenden) eingebracht. Wirken äußere Kräfte auf die Seile ein bspw. eine nach unten gerichtete Last (wie der Würfel in der Abbildung C5, b) wird das Spannseil folglich entlastet und das Tragseil zusätzlich gespannt. Aufgrund dieser Gegebenheiten müssen in Membranbauteilen die Lasten richtig bemessen werden, damit auch beim Einwirken von äußeren Gegebenheiten die Vorspannung nie gänzlich abnimmt und das Tragverhalten nicht gefährdet wird. (Grunwald, 2007, S. 15f)

Dies würde sich in Flattern oder gar Umschlagen der Membranfläche äußern und wäre eine erhebliche mechanische Materialbelastung, die schnell auch zu Materialversagen führen kann. Dies ließ sich in der Vergangenheit und lässt sich bis heute immer wieder an Ausführungsbeispielen beobachten, die eben nicht über doppelte Krümmungen und entsprechende Vorspannungen umgesetzt wurden (wie oft bei einfachen Bier- oder Zirkuszelten der Fall). Der oben beschriebene Zusammenhang führt zu anderen Entwurfsmethoden, über die 2D-Skizze hinweg zum experimentellen Modellbau oder dem computergestützten dreidimensionalen Entwerfen. Der wichtigste Entwurfparameter ist dabei die doppelte Flächenkrümmung. Ebene horizontale Flächen sollten stets vermieden werden, da sie theoretisch unendliche Vorspannkräfte erforderlich machen, aber auch, um Wasseransammlungen zu vermeiden.

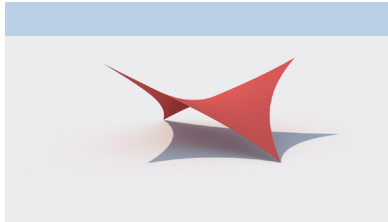
Will man Einfluss auf die Form ausüben, bestehen folgende Möglichkeiten (Grunwald, 2007, S. 18):

- Befestigungspunkte (Masten, Seilabspannungen, Träger)
- Ausgestaltung des Membranrandes (biegeweich oder biegesteif)
- Verlauf der Kett- und Schußrichtung des Gewebes in der Membran (Materialsteifigkeit)
- Justierung der Vorspannung

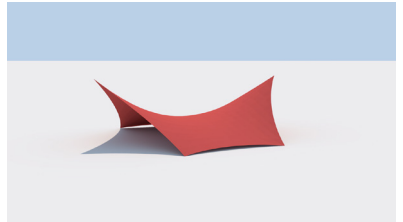
Die Vielfalt der Membrangeometrien lässt sich in vier Grundprinzipien einteilen (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 140), siehe Tabelle C5:

- Sattel- und Segelflächen
- punktgestützten Flächen
- bogengestützte Flächen
- Kehl- und Gratform

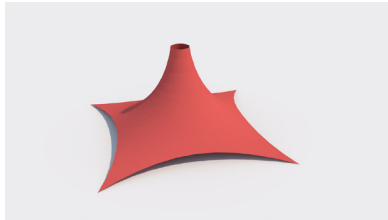
Tabelle C5: Beispiele verschiedener Grundformen



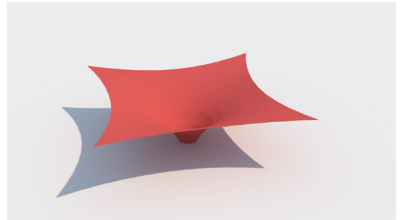
Sattel- bzw. Segelfläche:  
Vierpunktsegel



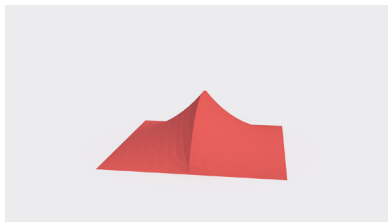
Sattel- bzw. Segelfläche:  
Sechspunktsegel



Punktgestützte Fläche:  
Hochpunktfläche



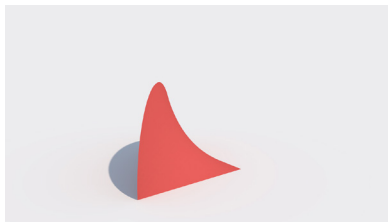
Punktgestützte Fläche:  
Tiefpunktfläche



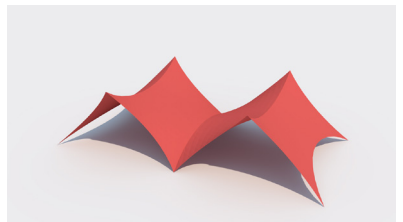
Bogengestützte Fläche



Bogengestützte Fläche:  
Bogenförmig gestützter  
Randbereiche



Bogengestützte Fläche:  
senkrechter bogenförmig gestützter  
Randbereich



Kehl- und Gratform

Diese Grundformen erzeugen durch Addition, Abwandlung oder durch Mischung untereinander weitere Flächenformen, siehe dazu Beispielauswahl in Abbildung C6.



**Addition von Hochpunktflächen**

Amt für Abfallwirtschaft in München (1995-1999)

Architekt: Ackermann und Partner; Tragwerksplaner: Schlaich Bergemann Partner, Bildquelle: Hans Neudecker, Rotis Vorspannung.



**Addierte Kehl und Gratflächen**

Wimbledon

Bildquelle: HighTex GmbH



**Addition von Bögen**

Sporthalle in Fürth (2017)

Architekt: fab Architekten

Bildquelle: : fab Architekten/C.Sauer

Abbildung C6: Gebaute Beispiele zu Formenaddition

Eine weitere Typisierung dieser o.g. Tragsysteme kann auch hinsichtlich der Art ihrer Stützung erfolgen (Seidel, 2008): punktförmig (Hochpunkt-/ Segelflächen), linienförmig (Bogen-/ Wellenflächen) und flächig (pneumatisch gestützte Kissen, Traglufthallen) gestützte Membranflächen. Zu letzterem siehe Kapitel C.2.1.2.

Weiterhin können auch reversibel wandelbare, also veränderliche Membrankonstruktionen gewählt werden, bspw. zum Einsatz als Sonnenschutz. Allerdings sind diese als mehrlagige Ausführung eher ungeeignet, da das Falten beim Verfahren oder Zusammenziehen im Paket nahezu unmöglich wird. Es gibt jedoch einzelne Beispiele für verfahrbare und einziehbare zweilagige Kissenkonstruktionen.

### **Lage von Trägern in mehrlagigen Aufbauten**

Ein weiteres Themenfeld, das auf die Gestaltung einen Einfluss nimmt ist, die Lage und Sichtbarkeit von linienförmigen Tragelementen. In der Sporthalle Fürth liegen die lastabtragenden Träger im Membranaufbau zwischen Außen- und Innenmembran, siehe Abbildung C7. Sie sind daher von außen als auch von innen in der Fläche nicht sichtbar, außer über die Befestigungsschienen der Membranabschnitte, zeichnen sich jedoch in der Dachform ab und treten auch als opake Elemente in der transluzenten Dachfläche in Erscheinung. Je nach Entwurfsgrundsatz gibt es auch andere Optionen. Beispielsweise kann das Tragwerk innenseitig sichtbar sein, oder nach außen gelegt werden, wie in der ‚Buddy Holly Musical Dome‘ in Hamburg (jedoch ohne Wärmedämmung), im Musical Dome in Köln oder bei der Eislaufhalle in München von den Architekten Ackermann und Partner, siehe Abbildung C8.



Abbildung C7: Fachwerkträger mit V-Verstrebung im Dachzwischenraum



a)



b)



c)

Abbildung C8 a-c: Außenliegendes Tragwerk; Außenaufnahme und Detailbilder, Eislaufhalle München (Ackermann und Partner, München)

Die Möglichkeiten im mehrlagigen Aufbau sind in Kapitel C.4 - Ausführungsplanung (Lph. 5) dargestellt.

## C.2.1.2. Luftgestützte Membrankonstruktionen

Bei luftgestützten mehrlagigen Membrankonstruktionen wird in einem umschlossenen Raum entweder ein höherer Druck (Überdruck) oder geringere Druck (Abbildung C12) gegenüber der Umgebung erzeugt, siehe Abbildung C9. Dies führt dazu, dass ein in Membranflächen eingeschlossenes Luftvolumen, das Membrankissen, unter Über- oder Unterdruck gesetzt wird und damit vorgespannt wird. Für die Aufrechterhaltung des Drucks kann Luft in Frage kommen aber auch andere, reine Gase und Schüttungen (Grunwald, 2007, S. 16).

Durch den inneren Über- oder Unterdruck entsteht in dem umschließenden Material eine flächige Zugspannung. Wirkt Last von außen ein, muss der Druck ggf. entsprechend angepasst werden, um Verformungen und einer Änderung der Flächenspannung entgegenzuwirken.

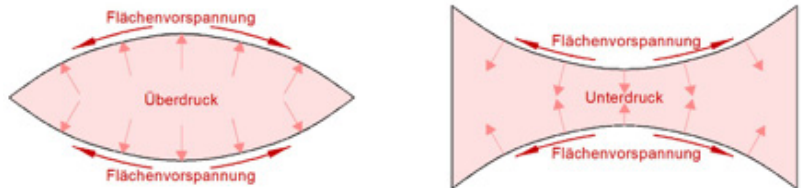


Abbildung C9: Statische Lastabtragung in pneumatisch vorgespannten Kissenkonstruktionen mit Überdruck

Im Bauwesen kann man dieses Prinzip in zweierlei Konstruktionen überführen. Einerseits in elementartige geschlossene ‚Kissengebilde‘ (Abbildung B14 und Abbildung C10) oder andererseits in Traglufthallen (Abbildung C11), wobei bei letzterem der ganze Innenraum umhüllt wird und ein Überdruck erzeugt wird. Ersteres

ist bei mehrlagigen Membranen besonders interessant. Durch Reihung von Kisselementen können diese eine Gebäudehülle oder eine Dachlandschaft ausbilden. Der Form der ‚Kissegebilde‘ sind dabei kaum Grenzen gesetzt. Ebenfalls kann auch ein Großkissen ausgebildet werden und bspw. ein ganzes Atrium überspannen

Besonderheiten im Vergleich zu mechanisch vorgespannten Membranen sind, dass die Randabschlüsse in pneumatischen Kissenkonstruktionen vorwiegend biegesteif sind. D.h. es entstehen keine großen Kräfte über eine Vorspannung, die das restliche Tragwerk ableiten muss. Kissegebilde selbst nehmen auch keine Zugkräfte aus dem Tragwerk auf, sie sind nicht stabilisierend, wie mechanisch vorgespannte Membranen und sind daher als eine Art Eindeckung oder Raumabschluss zu sehen. Lediglich die Spannung aus der Druckdifferenz wird vom Folienmaterial aufgenommen (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 143).



Abbildung C10: Innenhof Bank Bratislava





Abbildung C11: Traglufthallenkonstruktion (München)

Eine weitere Möglichkeit für durch Unterdruck vorgespannte Membrankonstruktionen wurde in der Gedenkstätte in Sachsenhausen realisiert, siehe Abbildung C12. Dort wurde eine Tragkonstruktion aus Stahl errichtet und mit Gitterrosten bekleidet. Diese Konstruktion wurde abschließend mit einer Membran aus PTFE-beschichtetem Glasfasergewebe luftdicht umschlossen und mittels Unterdruck im Konstruktionszwischenraum vorgespannt.

Grundsätzlich ist bei der Anwendung des Tragluftprinzips zu beachten, dass weder die Membranflächen selbst, insbesondere aber nicht die Fügstellen (Schweißnähte etc), luftdicht ausgebildet werden können. Zudem muss sichergestellt werden, dass im abgeschlossenen Zwischenraum kein oder nur sehr begrenzt Kondensat auftritt und sich kein Schmutz oder Staub ablagert. Beide Aspekte haben zur Folge, dass es über die gesamte Lebenszeit der Konstruktion eine kontinuierliche Lufthaltung braucht. über die der

Druck, ggf. zusätzlich auch die Luftfeuchtigkeit im Innenvolumen in engen Grenzen geführt werden kann. Dies erfordert ein entsprechendes Rohrleitungssystem zur Versorgung, wobei hier unterschiedliche Systeme einsetzbar sind, siehe (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 192ff). Weiterhin ist zu beachten, dass das Lufthaltungssystem über die Lebenszeit des Gebäudes einen konstanten Energieeinsatz bedeutet (auch wenn er sehr klein ist), und auch einen Wartungsaufwand. Ggfs. sind Redundanzen einzuplanen.

Mögliche zusätzliche Mittellagen in einer Kissenkonstruktion sind außerdem interessant für die Integration von Photovoltaik oder einer Bedruckung zur Verschattung, siehe Abbildung C16.



Abbildung C12: Unterdruckkonstruktion, Gedenkstätte „Station Z“ in Sachsenhausen

## C.3 Genehmigungplanung (Lph. 4)

### Zusammenstellung benötigter Unterlagen und Nachweise

Zusätzlich zu den üblichen Unterlagen zum Bauantrag werden Nachweise gefordert, die zur Genehmigung seitens der Bauaufsichtsbehörde benötigt werden. Grundsätzlich empfiehlt es sich, hier frühzeitig Informationen darüber einzuholen und die Behörden bereits zur Entwurfsplanung einzubeziehen. Als kritischer Punkt erweist sich dabei immer wieder die Thematik des Brandschutzes, die daher im Nachfolgenden näher beleuchtet wird.

Prinzipiell muss klar sein, dass Membranbauten immer einer besonderen Abstimmung mit der Baurechtsbehörde bedürfen. Im Regelfall kann auch eine Zulassung im Einzelfall von der obersten Baurechtsbehörde nötig sein, sofern keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vorhanden ist. Üblicherweise wird zunächst der Bauantrag gestellt. Mit der Baugenehmigung wird übermittelt, welche Nachweise noch zusätzlich erforderlich sind, damit eine Baufreigabe erfolgen kann. Zwar ist vermutlich schon bekannt, welche zusätzlichen Nachweise nötig sein werden, allerdings können die konkreten Nachweise (herstellerspezifisch) erst übermittelt werden, wenn feststeht, welches konkrete Material eingesetzt wird. Dies ist erst nach der Ausschreibung und Vergabe klar, gerade bei öffentlichen Bauten. D.h. die Zustimmung im Einzelfall (ZiE) kann auch erst beantragt werden, wenn der Auftrag vergeben wurde. Die Anforderungen an das Material richten sich nach der Verwendung und dem Zweck des Gewebes bzw. der Folie, sowie den daraus resultierenden Forderungen des baulichen und anlagentechnischen Brandschutzes.

Nachfolgend wird eine Übersicht gegeben, bei welchen Stellen welche Informationen abgefragt werden und welche Gegenprüfung Planer selbst durchführen sollten.

Tabelle C6: Anlaufstellen und Informationsbeschaffung. Quelle: HFT Stuttgart

Projekt	Wann?	Lichttransmission - Membranbauteil
Planer (z.B. Architekt) selbst	Lph.2-4	Informationen/Nachweise anfordern. Vertiefte eigene Prüfung und Durchsicht der Nachweise. Dokumentation aller Ergebnisse und Nachweise samt Einbaubedingungen. Gegenprüfung, ob alle Aspekte entsprechend der Nachweise eingehalten werden.
Brandschutzgutachter	Lph.2-4	Prüfung und Durchsicht der von den Herstellern ausgehändigten Unterlagen. Brandschutzkonzept anfordern. Maßgebliche Brandszenarien durchsprechen und ggf. Kompensationsmaßnahmen abstimmen.
Feuerwehr	Lph. 3	Bauprojekt vorstellen und Materialanforderungen abklären. Maßgebliche Brandszenarien durchsprechen und ggf. Kompensationsmaßnahmen abstimmen.
Genehmigungsbehörde	Lph. 2 Lph. 4	Benötigte Unterlagen und ggfls. Nachweise erfragen. Spätestens Rückmeldung über zusätzliche Unterlagen nach Stellung des Bauantrag.
Hersteller und Konfektionäre (Membran, Dämmmaterial usw.)	Lph. 3	Zum Bauprojekt informieren/beraten lassen. Aushändigung von Prüfzeugnissen und Nachweisen.

## Zustimmung im Einzelfall (ZiE)

Erst bei Erteilung der ZiE darf das entsprechende Bauteil errichtet werden, sollte diese nötig sein. Allerdings kann diese zunächst auch nur für Einzelteile ausgestellt werden. Beispielsweise kann zunächst die Zustimmung für die äußere (oberste) Membranhaut als provisorisches Dach oder für einen Gebäudeteil (wenn Unterschiede bestehen) ausgestellt werden und die ZiE für die weiteren Aufbauten in einem zweiten Schritt. Dies ist jedoch nur zu empfehlen, wenn Zeitmangel besteht oder es zu Verzögerungen kommen könnte und der Rohbau nicht unnötig der Bewitterung ausgesetzt werden soll. Prinzipiell führt dies zu einem größeren Koordinations- und Kostenaufwand und die Ausführungsfirmen müssen ggfls. eine Unterbrechung umsetzen. Weitere Informationen können dem Kapitel C.3.1 entnommen werden.

Die wesentlichen zusätzlichen Unterlagen für die Beantragung sind

- Prüfzeugnisse und/oder Nachweise der Materialhersteller
- Ergebnisse von Prüfinstituten
- Erklärungen des Brandschutzgutachters bzw. Brandschutzkonzept

ZiE werden auch dann nötig, wenn das Membranbauteil in einer Versammlungsstätte verbaut wird, da durch die Versammlungsstättenverordnung der Länder für diese Fälle noch zusätzliche Anforderungen an die Baustoffklasse gestellt werden. Danach müssen Dächer (auch lichtdurchlässige) also auch Wände und Dämmstoffe aus nichtbrennbaren (A nach DIN 4102-1) Baustoffen

bestehen und dürfen nicht brennend abtropfen. Die meisten Membranwerkstoffe werden jedoch als schwerentflammbar (B1 nach DIN 4102-1) eingestuft. Wenn allerdings ein Membranbauteil entsprechend aller geltenden Vorschriften eingesetzt wird, reichen in der Regel die allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisse oder Zulassungen aus und es wird keine ZiE erforderlich.

### **Zeitplanung**

Sollten ggfls. Brandversuche nötig werden, um den Sachverhalt für eine ZiE einstufen zu können, muss dies zeitlich und finanziell berücksichtigt werden. Je nachdem, wie die Ergebnisse ausfallen, werden Umplanungen nötig. Sinnvoll ist es, sich genau bewusst zu machen, wie das entsprechende Material nach deren Bestimmungen verbaut werden darf und diesen Vorgaben, wenn möglich zu folgen. Abweichungen davon bedingen stets neue Nachweise und evtl. die damit verbundenen Prüfungen in den Laboren.

## Zusammenfassung

### Tabelle C7: Zusammenfassung Lph. 4

- Unterlagen für die Baugenehmigung zusammenstellen
- Brandschutzgutachten muss bereits vorliegen, in dem u.a. die geforderten Baustoffklassen angegeben werden.
- Zulassung im Einzelfall frühestmöglich einholen. Ggfls. bei den Behörden den Zeitrahmen erfragen.

Infobox - Leistungsphase 4

## C.3.1.EXKURS: Baulicher Brandschutz

Spricht man vom Brandschutz, so bedeutet dies Forderungen an

- den baulichen Brandschutz,
- den anlagentechnischen Brandschutz und
- den organisatorischen Brandschutz.  
Die nach Landesbauordnung zu gewährleistenden Schutzziele sind, dass:
- Leben, Gesundheit der Nutzer oder deren natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden,
- der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird,
- bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren, sowie
- wirksame Löscharbeiten möglich sind.

Dies kann über die Vermeidung oder Verzögerung einer Brandausbreitung und über die Gewährleistung der Standsicherheit/Tragfähigkeit der angrenzenden Bauteile bei Brand über einen gewissen zeitlichen Rahmen erfolgen. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 119)



## Wie wird der bauliche Brandschutz geregelt?

Gesetzlich verankert sind die bauaufsichtlichen Brandschutzanforderungen in der jeweiligen Landesbauordnung (LBO) der Länder (§15 und §17-33). Diese Anforderungen werden darin entsprechend der jeweiligen Gebäudeklasse (1-5) festgelegt.

Bei Sonderbauten oder Gebäudeanlagen, wie Versammlungsstätten, Krankenhäuser, Pflegeheime, usw., gelten zu der jeweiligen Landesbauordnung auch die Sonderbauverordnungen und Richtlinien, z.B. die Versammlungsstättenverordnung oder Lüftungsanlagen- Richtlinie.

Das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen ist neben weiterem ein Teil des baulichen Brandschutzes (Schneider, Franssen, & Lebeda, 2008, S. 47-53).

Entsprechend der Landesbauordnungen werden (nach §17 Abs. 1 und 3) Bauprodukte in **geregelt, nicht geregelte und sonstige Bauprodukte eingeteilt**.

**Als geregelte Bauprodukte** werden solche bezeichnet, die den in der **Bauregelliste A Teil 1** genannten technischen Regeln entsprechen oder nicht wesentlich von ihnen abweichen. Dies bedeutet gleichermaßen, dass die Bauprodukte nur verwendet werden dürfen, wenn diese mit den technischen Regeln übereinstimmen, was nachgewiesen werden muss (Deutsches Institut für Bautechnik (a), 2015, S. 5).

Diese einzuhaltenden technischen Regeln für „geregelte Bauprodukte“ werden vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) in der

Bauregelliste bekannt gegeben (nach LBO §17 Abs. 2 festgelegt) und sind damit Gesetzesgrundlage.

**Nicht geregelte Bauprodukte** werden hingegen davon unterschieden, dass sie von den technischen Regeln nach Bauregelliste A Teil 1 wesentlich abweichen oder für diese bislang noch keine anerkannten technischen Bestimmungen oder anerkannten Regeln der Technik vorhanden sind (Deutsches Institut für Bautechnik (a), 2015, S. 5). Daher bedürfen nicht geregelte Bauprodukte besondere Nachweise für ihre Verwendung im Bauwesen (LBO §17 Abs.3), die unter anderem Auskunft über das Brandverhalten geben. Ein solcher Nachweis kann eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ), eine allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) oder eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) (LBO §18-20) sein. Die Nachweise gelten jedoch nur dann, wenn die Bauprodukte aber auch so verwendet werden, wie sie auch geprüft wurden. Wie geprüft wurde, wird in den Nachweisen mit aufgeführt. Entsprechend verhält es sich auch mit nicht geregelten Bauarten (LBO §21).

Prinzipiell gilt im Bauwesen, dass Bauprodukte nur verwendet werden dürfen, wenn eine Übereinstimmung mit den technischen Regeln nach Bauregelliste, der abZ, dem abP oder der ZiE (Nachweis in Abhängigkeit vom Bauprodukt selbst) besteht (LBO §22) und diese auch mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) ausgewiesen sind, oder wenn sie nach den Vorschriften der Europäischen Union (nach §17 Abs. 2 a bis c) das CE-Kennzeichen tragen und in Leistungsstufen bzw. -klassen nach §17 Abs. 7 eingestuft sind.

Nicht geregelte Bauprodukte können aus dieser Regelung auch ausgenommen werden. Diese sind allerdings dann in der **Liste C**.

der Bauregelliste des DIBt dargestellt und sind von untergeordneter Bedeutung (§17 Abs. 3 Satz 2).

Bauprodukte, für die es anerkannte technische Regeln gibt, die aber nicht in der Bauregelliste A enthalten sind, fallen unter die Rubrik **sonstige Bauprodukte**. Für diese sind auch keine Übereinstimmungsnachweise oder Verwendungsnachweise nach Bauordnung nötig, es werden aber die gleichen Materialanforderungen gestellt. (Deutsches Institut für Bautechnik (a), 2015, S. 5). Nachfolgend wird eine Übersicht zur Bauregelliste gegeben.

- **Bauregelliste A Teil 1: geregelte Bauprodukte**

Die Bauregelliste A Teil 1 gibt nicht nur an welche technischen Regeln gelten, sondern auch welcher Art an Verwendungsnachweis (abZ oder abP) nötig ist, wenn von den genannten technischen Regeln abgewichen wird und welche Art an Übereinstimmungsnachweises nötig ist; ÜZ, ÜH oder ÜHP (Deutsches Institut für Bautechnik (a), 2015).

- **Bauregelliste A Teil 2: nicht geregelte Bauprodukte** (exkl. der in Liste C enthaltenen)

Benötigt wird ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) für die dort genannten Bauprodukte und ein Übereinstimmungsnachweis für die Kennzeichnung mit dem Ü-Zeichen vom Hersteller des Bauproduktes. Der Übereinstimmungsnachweis zeigt, dass eine Übereinstimmung zwischen Bauprodukt und Prüfzeugnis besteht. (Deutsches Institut für Bautechnik (a), 2015, S. 5f)

- **Bauregelliste A Teil 3: nicht geregelte Bauarten**

Hierbei gilt das gleiche wie für Teil 2 (abP und Bestätigung des Anwenders über die Übereinstimmung zum Prüfzeugnis), jedoch umfasst dieser Teil die Bauarten, d.h. das Zusammenführen von Bauprodukten. Ein Ü-Zeichen wird bei Bauarten nicht vergeben.

- **Bauregelliste B Teil 1: Bauprodukte nach Bauproduktenverordnung**

In Teil B sind Bauprodukte enthalten, die aufgrund von Vorschriften der EU (Bauproduktenverordnung) in den Verkehr gebracht werden dürfen und eine CE-Kennzeichnung tragen. Für diese Produkte gibt es auch harmonisierte technische Spezifikationen.

- **Bauregelliste B Teil 2: Bauprodukte nach Bauproduktenverordnung, Widersprechen Grundanforderungen nach Bauproduktenverordnung**

„In die Bauregelliste B Teil 2 werden Bauprodukte aufgenommen, die aufgrund der Vorschriften zur Umsetzung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften in Verkehr gebracht werden, die CE-Kennzeichnung tragen und Grundanforderungen nach Artikel 3 Absatz 1 der Bauproduktenverordnung nicht berücksichtigen. Zusätzliche Verwendbarkeitsnachweise sind deshalb erforderlich.“ (Deutsches Institut für Bautechnik (b), 2017). Solche Produkte müssen die CE-Kennzeichnung als auch die Ü-Zeichen tragen. (Deutsches Institut für Bautechnik (a), 2015, S. 6)

• **Liste C: untergeordnete nicht geregelte Bauprodukte**

Hier werden nicht geregelte Bauprodukte aufgenommen, die auch keine Regeln der Technik besitzen. Wesentlich ist, dass sie nur eine untergeordnete Rolle in baurechtlichen Anforderungen spielen. Es werden keine Nachweise oder kein Ü-Zeichen benötigt. Diese Liste macht nur kenntlich welche Bauprodukte unter diese Kategorie fallen.

Weiterhin werden nach LBO §3 Abs. 3 technische Baubestimmungen bekannt gegeben, die einzuhalten sind. Mitunter werden hier die DIN 4102, die das Brandverhalten von Baustoffen und deren Prüfung vorgibt genannt.

**Verwendungsnachweise**

**Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen**, kurz abZ (§18 LBO) werden vom Deutschen Institut für Bautechnik für nicht geregelte Bauprodukte und Bauarten erteilt, die bislang weder auf europäischer noch auf nationaler Ebene in Normen und Vorschriften geregelt werden oder von ihnen wesentlich abweichen. „Sie stellen eine Beurteilung der Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Zulassungsgegenstandes im Hinblick auf die bauaufsichtlichen Anforderungen dar.“ (Deutsches Institut für Bautechnik (c), 2016). Diese Zulassungen besagen somit, dass der zugelassene Gegenstand im Sinne der bautechnischen Anforderungen nach LBO in einem Bauwerk verwendet werden darf. In der Regel sind diese Zulassungen für fünf Jahre gültig, können um weitere fünf Jahre verlängert werden (§18 Abs. 4 LBO) und werden vom DIBt öffentlich bekannt gemacht (§18 Abs. 5 LBO).

Siehe auch Ablauf einer Zulassung unter: <https://www.dibt.de/de/Zulassungen/abZ-Ablauf.html>

**Allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse**, kurz abP (§19 LBO) können ebenfalls für nicht geregelte Bauprodukte und Bauarten erteilt werden jedoch nur, wenn diese „... nicht der Erfüllung erheblicher Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen...“ (§19 Abs.1 LBO) dienen. Welche Bauprodukte dies sind, wird vom DIBt in der Bauregelliste A zusammen den gültigen technischen Regeln (wenn vorhanden) bekannt gemacht. Die Prüfzeugnisse können anerkannte Prüfstellen nach Prüfung ausstellen. Für viele nicht geregelte Bauprodukte sind bereits allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnissen ausgestellt, diese werden i.R. von den Produktherstellern selbst in Auftrag gegeben und sind über einen größeren Zeitraum gültig. Darin wird auf die Verwendungsbestimmungen, die beachtet werden müssen verwiesen, z.B. kann darin vorgegeben werden: „Zu anderen oder gleichen flächigen Baustoffen muss ein Abstand von mehr als 40mm eingehalten werden“.

**Eine Zustimmung im Einzelfall**, kurz ZiE (§20 LBO) wird von der obersten Baurechtsbehörde für nicht geregelte Bauprodukte und Bauarten erteilt und kann auch für mehrere vergleichbare Situationen gelten. Wenn vom Zustimmungsgegenstand jedoch keine Gefahr ausgehen kann und dieser auch der EU-Bauproduktverordnung nicht widerspricht, kann die oberste Baubehörde auch von einer ZiE freisprechen. Wird jedoch eine Zustimmung im Einzelfall bei einem Bauprojekt benötigt, so kann mit einer langen Zulassungszeit gerechnet werden, da ggfls. Prüfungen, für den Beweis der Tauglichkeit, wiederholt werden müssen. Diese Art des Verwendungsnachweises wird dann nötig, wenn für den Zustimmungsgegenstand keine abZ oder kein abP vorhanden ist, wenn wesentlich davon abgewichen wird oder von anderweitigen Verordnungen abgewichen wird. Bei der ZiE handelt es sich um einen Verwendungsnachweis, der besagt, wie der Zustimmungs-

gegenstand verwendet werden darf und welche Eigenschaften vorhanden sein müssen. Die letztendliche Zustimmung gibt die zuständige Baurechtsbehörde im Genehmigungsverfahren. (Regierungspräsidium Baden-Württemberg, 2016)

Neben Planunterlagen, Baubeschreibungen usw. sind selbstverständlich auch bautechnische Nachweise, wie zur Standsicherheit und zum Brandschutz erforderlich. Weiterhin werden auch schriftliche Beurteilungen des Antragsgegenstandes einer anerkannten Prüfstelle notwendig, hier werden in der Regel auch Abbrandversuche o.ä. benötigt. (Landesstelle für Bautechnik, 2012)

Tabelle C8: Verwendungsnachweise in der Übersicht

Verwendungs- nachweis	Ausstel- lung bei?	Wann nötig?
Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ)	Deutsches Institut für Bautech- nik	- für nicht geregeltes Bauprodukt und Bauart - wenn weder auf europäischer noch auf natio- naler Ebene in Normen und Vorschriften geregelt oder wesentliche Abweichungen davon
Allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (abP)	anerkannt- te Prüf- stellen	- für nicht geregeltes Bauprodukt und Bauart und - Zulassungsgegenstand dient nicht der „... Erfül- lung erheblicher Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen...“ (§19 Abs.1 LBO) - Welche Bauprodukte dies sind, wird vom DIBt in der Bauregelliste A zusammen den gültigen technischen Regeln (wenn vorhanden) bekannt gemacht
Zustimmung im Einzelfall	Oberste Bau- rechtsbe- hörde	- für nicht geregeltes Bauprodukt und Bauart, -keine abZ oder kein abP vorhanden oder we- sentliche Abweichungen davon



## **Empfehlung daraus**

Welcher Verwendungsnachweis benötigt wird, ist in der Bauregelliste dargestellt. Im Zweifelsfall sollte frühzeitig über die örtliche Baurechtsbehörde angefragt werden, welche Nachweise benötigt werden, was eine frühzeitige (Lph.3) Klärung des verwendeten Material und der Einbausituation erfordert.

Welcher Verwendungsnachweis benötigt wird, ist in der Bauregelliste dargestellt. Im Zweifelsfall sollte frühzeitig über die örtliche Baurechtsbehörde angefragt werden, welche Nachweise benötigt werden, was eine frühzeitige (Lph.3) Klärung des verwendeten Material und der Einbausituation erfordert.

## **Parallelität der DIN EN 13501 und der DIN 4102**

Die Ermittlung der Baustoffklassen (Brandverhalten) erfolgt nach nationaler Regelung durch die DIN 4102 und auf europäischer Ebene durch die DIN EN 13501. Da die neuere europäische Norm die deutsche nicht abgelöst hat, ergibt sich eine gewisse Parallelität der beiden Normen. Künftig müssen Hersteller ihre Bauprodukte nach europäischem Recht, d.h. der DIN EN 13501 prüfen. (Appel, 2015, S. 40ff)

Grundsätzlich gilt, dass europäische Normen vor nationalen Normen gelten. Es gibt jedoch die Ausnahmen, dass wenn erhebliche Bedenken gegen die Zulassung und deren Tests bestehen, weitergehende Forderungen gestellt werden können.

## Bezug zu Membranbauten

In der Bauregelliste A Teil 1 werden „PVC-beschichtete Polyester-gewebe“ und „Textile Flächengebilde (Planen) für Hallen und Zelte“ unter Kapitel 8 Sonderkonstruktionen aufgeführt (Deutsches Insti-tut für Bautechnik (a), 2015, S. 37). Darin werden die Übereinstim-mungsnachweise mittels eines „Übereinstimmungszertifikat durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle“ (ÜZ) respektive eine „Über-einstimmungserklärung des Herstellers nach vorheriger Prüfung des Bauprodukts durch eine anerkannte Prüfstelle“ (ÜHP) verlangt und bei wesentlicher Abweichung von den technischen Regeln ein Verwendungsnachweis durch eine „allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“. Als technische Regeln werden für beide Bauprodukte die DIN 18204-1 (Raumabschließende Bauteile aus textilen Flä-chengebilden und Folien (Zeltplanen) für Hallen und Zelte – Teil 1: PVC-beschichtetes Polyestergewebe) vorgegeben. Nach DIN 18204-1 muss das Brandverhalten den Baustoffklassen nach DIN 4102-1 entsprechen und nach dieser geprüft werden.

Es gibt jedoch eine Vielzahl von Membranwerkstoffen, die als nicht geregelte Bauprodukte eingeteilt werden, da es für diese bislang keine anerkannten (gesetzlich verankert in der Bauregelliste) technischen Regeln gibt. Daher sind Verwendungsnachweise als allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ), allgemeine bau-aufsichtliche Prüfzeugnisse (abP) oder Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) bei Membranwerkstoffen (als Bauprodukte) oder in Membra-nbauteilen (als Bauart) üblich.

Membranhersteller haben in der Regel bereits ein abP über ihr Pro-dukt erstellen lassen, die, wenn der Gültigkeitszeitraum nicht abge-laufen ist, als Verwendungsnachweis greift - jedoch nur, wenn

auch die darin angegebenen besonderen Bestimmungen eingehalten sind, wie bspw. der Einbau oder die Verwendung, wie bereits erwähnt. Zusätzlich wird auch ein Übereinstimmungsnachweis seitens der Hersteller gefordert. Dieser Nachweis muss besagen, dass Bauprodukt und Verwendungsnachweis übereinstimmen.

Hierbei ist wichtig zu beachten, dass die Einbausituation grundsätzlich einen Einfluss auf das Brandverhalten hat und daher bei der Prüfung (z.B. Prüfungen zur Feststellung des Brandverhaltens für die Verwendungsnachweise) berücksichtigt werden sollte. Ein entsprechender Hinweis ist in der DIN 4102-1 zu finden. Dabei heißt es zur Bestimmung der Baustoffklasse B2 unter Punkt ‚5.2.4.1 Einfluss angrenzender Baustoffe‘:

Der Einfluß angrenzender Baustoffe auf das Brandverhalten wird wie folgt geprüft:

a) (...)

b) Ist zu erwarten, daß Baustoffe in der Praxis in Verbindung mit anderen Baustoffen verwendet werden und diese Verbindung Einfluß auf das Brandverhalten hat, so ist dies bei der Prüfung zu berücksichtigen. Einfluß auf das Brandverhalten können flächige Baustoffe haben, die unmittelbar angrenzen oder in einem Abstand bis 40 mm entfernt sind. Ein Verbund im Sinne dieser Norm besteht nicht bei nur stellenweiser Verbindung.

Daher wird in bestehenden Prüfzeugnissen die Einbausituation - unter Verwendungshinweise - immer mit dargestellt. Eine Übereinstimmung zu diesen Prüfzeugnissen erfolgt nur bei entsprechender Einhaltung auch dieser Verwendungshinweise.

Es ergeben sich folgende mögliche Situationen für ein Membranprojekt:

1. Der gewählte Werkstoff fällt unter ein geregeltes Bauprodukt in der Bauregelliste A Teil 1, z.B. wie o.g. PVC-beschichtetes Poly

estergewebe. Damit bestehen anerkannte technische Regeln, die eingehalten werden müssen. Auf dieser Grundlage muss seitens des Herstellers der Verwendungsnachweis abZ bestehen, worin u.a. die Verwendungshinweise oder die brandtechnische Einstufung Bauprodukt dargelegt sind. Zusätzlich muss der Hersteller diese Zulassung in einer Übereinstimmungserklärung bestätigen.

2. Der gewählte Werkstoff widerspricht wesentlich anerkannten technischen Regeln Bauregelliste A Teil 1 oder der Werkstoff ist nicht in der Bauregelliste A Teil 1 aufgeführt. Weiterhin stellt sich noch die die Fragen, ob es ein untergeordnetes Bauprodukt ist (sonstiges Bauprodukt oder in Liste C). Wenn nicht, wird es nach der Tabelle der Bauregelliste A Teil 2 geregelt und dort entsprechend Bauprodukt gegliedert, z.B. Dächer oder vorgefertigte, nicht-tragende, innere Trennwände oder unter Punkt ,2.10.2 Baustoffe, an die nur Anforderungen an das Brandverhalten gestellt werden und nicht brennbar (...) sind (...)’ (Deutsches Institut für Bautechnik (a), 2015, S. 115). In der dort aufgeführten Tabelle können weiterhin der benötigte Verwendungsnachweis (bei Punkt 2.10.2: abP), das anerkannte Prüfverfahren (bei Punkt 2.10.2: DIN 4102) und die Art des Übereinstimmungsnachweises (bei Punkt 2.10.2: Übereinstimmungserklärung des Herstellers) nachgelesen werden.

3. Wenn das Bauprodukt in seiner Einbausituation nicht mit dem nach Nr. 2 geforderten Verwendungsnachweis (dieses ist ja vermutlich bereits ausgestellt) übereinstimmt, wird eine Zulassung im Einzelfall benötigt. Mittels Gutachter oder auch Abbrandversuchen muss die Eignung nachgewiesen werden und die ZiE beantragt werden.

4. Wenn geregelte Bauprodukte so eingesetzt werden, dass sie

nicht der geforderten Baustoffklasse gemäß LBO oder anderen greifenden Verordnungen entsprechen, wird ebenfalls eine ZIE benötigt. Allerdings muss die Tauglichkeit nachgewiesen werden oder Kompensationsmaßnahmen getroffen werden.

Wenn ein Bauprodukt nach abP oder abZ jedoch als ‚brennend abtropft‘ eingestuft wird, aber nach baurechtlichen Vorschriften nur ‚nicht brennend abtropfend‘ Bauprodukte eingesetzt werden dürfen, kann eine Verwendbarkeit i.d.R. nicht nachgewiesen werden.

### **Materialbezogene Herausforderungen: Verbesserung des Brandverhaltens und Kompensationsmaßnahmen**

Membranen, deren Basismaterial grundsätzlich Kunststoff ist, werden aus Erdöl hergestellt und sind daher brennbar. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 39).

Das Brandverhalten von am Bau gängigen textilen Membranen wird meist in B1 - schwer entflammbar - (nach DIN 4102) eingestuft, besser sind nur mit A2 - nichtbrennbar mit Anteilen von brennbaren Baustoffen - PTFE-beschichtete Glasfasergewebe mit sehr geringem Polymeranteil. Die meisten gängigen Folien werden ebenfalls als B1 eingestuft. Darüber hinaus ist für viele Anwendungsfälle entscheidend, ob das Material bei Brand brennend abtropft, z.B. bei Versammlungsstätten.

Additive können das Brandverhalten etwas positiv verbessern, bilden jedoch giftige Rauchgase bei Brand (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 27). Beispielsweise können Flammschutzmittel entweder in den Kunststoff direkt oder auf der Oberfläche des Membranwerkstoffs selbst aufgebracht werden. Bei Verbund

materialien können weiterhin auch die Massenverhältnisse zwischen Fasern und Beschichtungsmaterial über die Materialstärken angepasst werden, wodurch sich das Brandverhalten entscheidend ändern kann, d.h. Optimierung der Anteile von brennbarem und nicht brennbarem Material bspw. bei PTFE-beschichtetes Glasfasergewebe. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 120)

Sollten gewisse brandschutztechnische Anforderungen innerhalb der Bauprodukte und Werkstoffe nicht eingehalten werden, so können unter Umständen Kompensationsmaßnahmen ergriffen werden. Je nach Fall kann (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 120):

- eine Brandmelde- oder
- eine Sprinkleranlage eingeplant werden oder
- andere ortsfeste Löschanlagen, z.B. Schaumlöschanlagen, Gaslöschanlagen, etc.,
- die Zu- und Abluft kontrolliert werden oder
- der organisatorische Brandschutz verbessert werden, z.B. durch bessere Fluchtoptionen oder einer Beschränkung der gleichzeitigen Nutzer.

## C.4 Genehmigungspannung (Lph. 4)

### Abschluss Tragwerksplanung und Beginn der Detailplanung

Im Vergleich zu anderen Konstruktionsarten im Bauwesen sind zu Beginn der Leistungsphase 5 die wesentlichen Festlegungen (Tragwerkskonzept und Membranmaterial) oft bereits weit vorangetrieben. Durch die Materialwahl werden Zugfestigkeitsspannungen definiert und das Tragwerksquerschnitte danach angepasst, andere Materialeigenschaften können andere Stützweiten oder statische Trägerquerschnitte bedingen, wodurch sich die Form des Membranbauteils grundlegend verändern kann. Eine wesentliche Voraussetzung für das Durchkonstruieren in dieser Lph. ist damit der Abschluss der Tragwerksplanung in wesentlichen Zügen.

Zu Beginn wurde noch in Netzen und Systemlinien gedacht, während jetzt die Auflagerpunkte und Randbereiche entwickelt und detailliert werden. Aus dieser Detailplanung heraus können sich jetzt durchaus noch Veränderungen in den Lastannahmen ergeben. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 140)

In der Lph. 5 werden auch weitere relevante Bauteile entwickelt und abschließend dimensioniert. Die Konfektionierung der Membranflächen wird als letzter Punkt von einer ausführenden Firma oder einem Ingenieur vorgenommen. Anspruchsvolle Planer werden dabei eng eingebunden bleiben müssen, z.B. für die Festlegung der Zuschnitte, da damit die später immer sichtbaren Flächenstöße einhergehen (Nahtverlauf). Dazu gehören aber auch zahlreiche weitere Details, für die oft innerhalb des Membranbaus Lösungen gefunden werden müssen, z.B. Wasserabläufe/Wasserführung, Schneerückhaltung über begangenen Bereichen

des Daches, Lüftungsöffnungen oder RWA-Integrationen, Dachsausstiege, Personensicherungssysteme usw. Diese Themen sind allesamt gestaltungsrelevant.

Einen Unterschied stellen Projekte dar, die in Form einer funktionalen Ausschreibung vergeben werden. Bei dieser Vergabevariante geht die Detailplanung seitens der Planer erstmal nicht besonders tief. Es ist durchaus üblich, dass in dieser Phase lediglich „Leitdetails“ seitens der Planer entwickelt werden. Planer/Fachplaner sollten jedoch eine Grundidee davon haben wie bspw. Membrandurchdringungen oder Randabschlüsse realisiert werden sollen. Die abschließende Detailplanung selbst kann ausgeschrieben und an eine ausführende Firma vergeben werden. Funktionale Ausschreibungen können sinnvoll sein, um ausführenden Firmen die Möglichkeit zu geben, besonders wirtschaftliche Lösungen anzubieten. Dies ist aber gleichzeitig auch das Risiko bzw. die Herausforderung, denn die dann oft sehr unterschiedlichen Lösungsansätze müssen immer noch kompetent bewertet und verglichen werden.

Es können auch Detailpunkte von Planern (Architekt oder Tragwerksplaner) selbst erstellt werden, vor allem wenn ausreichende Erfahrungen bestehen. Die ausführende Firma erstellt auf dieser Grundlage später ihr Angebot und nach Auftragserteilung auch die Werkstattpläne, in denen die Details nochmals konkretisiert werden.

Da jedoch für die Entwicklung der Leitdetails Unterstützung von Vorteil ist, empfiehlt sich daher eine Vorauswahl von möglichen Firmen zu treffen und eine davon eng an der Planung zu beteiligen, falls nicht bereits zu einem früheren Zeitpunkt geschehen. Nicht zuletzt ist eine enge Einbindung einer Fachfirma bei einer Detail



planung für den Planer auch empfehlenswert, um die Kostensicherheit zu erhöhen und Leitdetails dahingehend zu optimieren. Allerdings ist dies auch keine Leistung, die selbstverständlich ist. Denkbar ist auch, eine ausführende Firma ganz offiziell zu einem frühen Zeitpunkt über einen Auftrag einzubinden und schon in der Entwurfs- und Detailplanung eng zusammen zu arbeiten. Eine Möglichkeit, in einem solchen Fall das erforderliche Vertrauen zu sichern, ist der Weg über ein sog. „Open-Book-Verfahren“.

### **Erweiterte Kriterien**

Bei der Planung nicht in den Hintergrund treten sollte die Optimierung der Konstruktion entsprechend den Anforderungen des Nutzers bzw. des Betriebs/Unterhalts: Wo werden Leuchten usw. befestigt und wie kommt man dort ran? Welche Zugänglichkeiten müssen sonst sichergestellt werden? Welche Möblierung wird nötig und kann sie angemessen platziert werden? Wie müssen die Oberflächenbeschaffenheit der Materialien sein (transluzent, opak, usw.), um eine geeignete Nutzung zu ermöglichen und einen guten Komfort zu sichern? Wie kann eine ausreichend hochwertige Wartung sichergestellt werden? Soll es einen Service-Vertrag geben? Wie kann das Alterungsverhalten des verbauten Materials über die Lebenszeit idealerweise zerstörungsfrei und kostengünstig regelmäßig geprüft werden?

### **Entscheidungsgrundlagen bezgl. der Materialwahl**

Bei der Auswahl des richtigen Membranwerkstoffs spielen vor allem folgende Faktoren eine wichtige Rolle und sollten bei der Erwägung berücksichtigt werden: gestalterische Wirkung, Lichttransmission, Brandverhalten, Kosten, Lebensdauer, Langzeitstabi

lität, Anschmutzverhalten und Knickempfindlichkeit.

### **Gestaltungsmöglichkeiten**

Gestalterisch kann über das Durchfärben oder Bedrucken des Beschichtungsmaterials zusätzlich noch Einfluss genommen werden. Bei solchen Maßnahmen sollte allerdings klar sein, dass die optischen Eigenschaften ebenfalls beeinflusst werden.

## Zusammenfassung

Tabelle C9: Zusammenfassung der Lph. 5

- Definieren, welche Anforderungen an den Werkstoff gestellt werden; Transluzenz, Transparenz, U-Wert, akustische Maßnahmen notwendig?
- zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten abwägen
- Entwicklung von Details oder Leitdetails (je nach Ausschreibungsverfahren)
- Ständige Prüfung des Konzeptes auf Funktionalität und Nutzertauglichkeit
- ggfls. Firmenauswahl und Einbindung

Infobox - Leistungsphase 5

Nachfolgend werden Grundlagen in Bezug auf die Themenstellung und besondere Hinweise zur Materialwahl, der konstruktiven Umsetzung und zum bauphysikalischen Hintergrund gegeben.

## C.4.1.EXKURS: Membranwerkstoffe - Baumaterialien und Bauprodukte für den Einsatz in mehrlagigen Konstruktionen

Für den Einsatz in die Gebäudehülle kommen mehrere Membranwerkstoffe, teilweise auch in Kombinationen in Frage. Dabei können je nach Standort und Nutzung verschiedene Schichtaufbauten nötig werden. So kann beispielsweise eine Überdachung zu Regen- oder Sonnenschutz zwecken aus nur einer Membranschicht bestehen. Werden jedoch weitere Anforderungen, wie z.B. an den winterlichen Wärmeschutz (Mindestanforderungen nach der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung) gestellt, werden auch weitere konstruktive Aufbauten im Membranbauteil benötigt. Nachfolgend stehen eben solche mehrlagigen Konstruktionsaufbauten im Vordergrund.

Der Aufbau einer mehrlagigen Membrankonstruktion basiert auf der Addition von Funktionslagen, die verschiedene mechanische als auch bauphysikalische Anforderungen erfüllen, siehe Abbildung C13. Konkret können diese Anforderungen bei Hallenbauten sein:

- Witterungsschutz
- sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz (EnEV)
- Sicht-, Blend- und Sonnenschutz (Tageslichtmenge und -qualität)
- Feuchteschutz
- Belüftung
- Lastabtragung (weite Spannweiten)
- Brandschutz (z.B. auch durch zwingende Anwendung der Versammlungsstätten-Verordnung)

Weiterhin können auch Anforderungen an die Bereitstellung von erneuerbarer Energie hinzukommen. Anhand der Lage in einer Membrankonstruktion werden verschiedene Materialmöglichkeiten nachfolgend aufgezeigt.

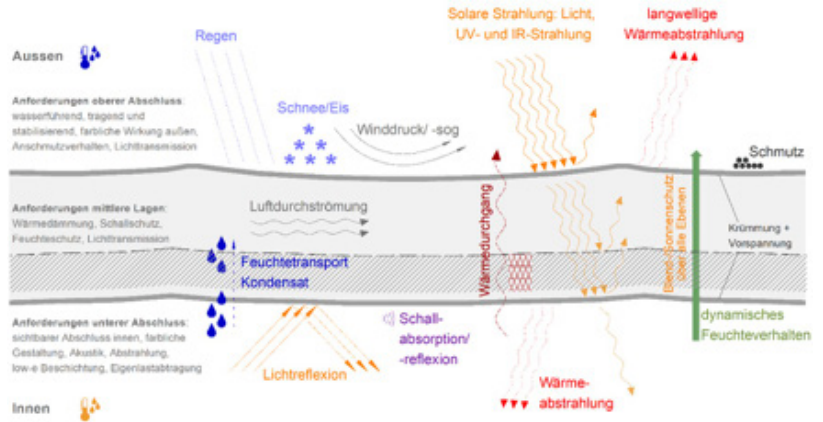


Abbildung C13: Anforderungen und Einflüsse an ein Membranbauteil

## C.4.1.1. Oberer Abschluss

Die oberste Materiallage (wetterzugewandt) übernimmt dabei vorwiegend die Funktion des Schutzes vor Bewitterung, wie vor Regen, Schnee und Windeinflüssen und wirkt zudem lastabtragend (Eigenlast und Schneelast) und stabilisierend. Es wird also eine wasserdichte Materialstruktur benötigt, die in Membrankonstruktionen eben durch dichte technische textile Gewebe oder Folien sichergestellt wird.

### **Textile Membranwerkstoffe**

Textile Membrane bestehen dabei immer aus einem Trägergewebe, das sowohl aus anorganischen als auch aus synthetisch hergestellten organischen Fasern und ggfls. einer Beschichtung aus einem thermoplastischen Kunststoff hergestellt sein kann, siehe Abbildung C14. Weiterhin können aber auch Silikonbeschichtungen aus Harz oder Kautschuk vorkommen. Über das Trägergewebe werden die mechanischen Eigenschaften durch die Webart und das Fadenmaterial definiert, während das Beschichtungsmaterial die Oberflächeneigenschaften und die Dichtigkeit der Hülle vorgibt. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 100f)

Damit nehmen Beschichtungen eine wichtige Rolle als Teil in der Gebäudehülle ein. Auf folgende Eigenschaften haben sie besonderen Einfluss, siehe Abbildung C14:

Trägergewebe	Beschichtungsmaterial
	Beschichtungsmaterial
<p>Mechanische Eigenschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugfestigkeit,</li> <li>• Weitreißfestigkeit,</li> <li>• Bruchdehnung,</li> <li>• Dehnfestigkeit</li> </ul>	<p>Schutz des Gewebes</p> <p>Herstellung der wasserführenden Schicht</p> <p>Beeinflussung der Lebensdauer des Baumaterials</p> <p>Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften (bessere Schubfestigkeit und Weitreißfestigkeit)</p> <p>Verarbeitbarkeit</p> <p>Brandschutz</p> <p>Vorgabe der Fügung von einzelnen Membranen (z.B. Schweißen)</p> <p>Erscheinungsbild und die Gestaltungsmöglichkeiten: Farbgebung durch Einfärbung oder Bedruckung des Beschichtungsmaterials</p> <p>Einfluss auf die optischen Eigenschaften: Lichttransmission, -reflexion, -streuung, Anschmutzverhalten, Emissivität/ Wärmeabstrahlung</p> <p>Kosten</p>

*Prinzipaufbau (Schnittzeichnung) einer textilen Membran und jeweilige Anforderungen an Trägermaterial und Beschichtung*

Gute Übersichten mit Angaben zu Materialeigenschaften und Herstellern finden sich in (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010). Es sollte jedoch stets die aktuelle Marktlage berücksichtigt werden.

Generell gilt, dass nahezu alle nachfolgenden genannten Membranen eine Lebensdauer von 20-25 Jahren besitzen, z.T. sogar deutlich mehr. Auch werden alle gebräuchlichen Membranwerkstoffe in die Baustoffklasse B1 nach DIN 4102 eingestuft, während PTFE-beschichtetes Glasfasergewebe auch A1 erreichen kann.

Weitere Unterscheidungskriterien in den Materialeigenschaften sind mögliche Festigkeiten, Fügbarkeit, Langzeitstabilität, Knick-Schmutzempfindlichkeit, Lichttransmission.



Abbildung C14: Beispiel Glasfasergewebe, links PTFE-beschichtet und rechts silikonbeschichtet



## Polyestergewebe, PVC-beschichtet (kurz PES/PVC):

Dieser preisgünstige Membranwerkstoff wird mit Polyesterfäden (PES) gewebt und anschließend mit PVC (Polyvinylchlorid) beschichtet.

Polyesterfäden alleine sind sehr empfindlich gegen UV-Strahlung mit der Folge von Festigkeitsverlust. Durch eine beidseitige (pigmentierte) Beschichtung vom 0,2-0,4 mm Dicke kann jedoch eine gute UV-Stabilität erreicht werden. (Schmid, Gerd (a), 2004).

PES/PVC besitzt außerdem eine hohe mechanische Festigkeit und Knickbeständigkeit. Durch letztere Eigenschaft kann diese Membran auch bei verfahrenbaren/beweglichen Konstruktionen verwendet werden. Über Versiegelungen aus Acrylat- und Polyvinylidenfluorid-Lacken (PVDF) oder Polyvinylfluorid-Laminaten (PVF) als Finish kann dem wesentlichen Nachteil der schnellen Alterung durch Versprödung dieses Membranmaterials (v.a. bedingt durch ausdiffundierende Weichmacher) entgegenwirkt werden. Zudem wird das Anschmutzverhalten verbessert. Zusätzlich können sog. Low-wick-Beschichtungen der Fasern verhindern, dass die Fasernenden Schmutz und Feuchte aufsaugen und das Flächenbild beeinträchtigen. Verarbeitbar sind PES/PVC Membranen durch Hochfrequenz- und Thermoimpulsschweiß. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 104)

Die Transluzenz wird über die Materialstärke beeinflusst und kann zwischen 5% bis 35% (Hightex GmbH, 2018) liegen.

### Polyestergewebe, PVC-beschichtet (kurz PES/PVC):

THV-Beschichtungen unterscheiden sich zu PVC-Beschichtungen darin, dass eine bessere Witterungsbeständigkeit, Selbstreinigung, eine höhere Lichttransmission und UV-Beständigkeit erreicht werden kann, allerdings bei einem höheren Eigengewicht. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 104)

### Glasfasergewebe, PTFE-beschichtet (Glas/PTFE):

Glas/PTFE Membranen sind besonders hochwertige Materialien in dieser Klasse. Sie weisen eine hohe Langlebigkeit (>25 Jahre) und sehr gute optische Eigenschaften auf. Außerdem kann dieses Material aufgrund des anorganischen Fasermaterials die Baustoffklasse A2 (nicht brennbar) nach DIN 4102 erreichen, wenn der Beschichtungsanteil ausreichend klein ist, alle anderen Materialien erreichen nur B1 (schwer entflammbar). Auch hier hängt die Transluzenz von der Schichtdicke ab, aktuell können 8 % bis ca. 20 % Lichttransmission erreicht werden. Verarbeitbar sind Glas/PTFE Membranen durch Thermoimpulsschweißen. (Hightex GmbH, 2018)

Weiterhin ist Glas/PTFE besonders empfindlich gegen Knicken, was den Transport und die Anwendung in beweglichen Elementen begrenzt. Sehr gute Eigenschaften bestehen in der UV-Beständigkeit und im Anschmutzverhalten (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 102). Vor allem letzteres führt dazu, dass diese Materialklasse bei weißem Farbton eine sehr hohe solare Reflexion im Bereich von Schneeflächen aufweist (> 70%) und diese über die Lebenszeit auch behält. Das ist aufgrund des dadurch sehr begrenzten sekundären Wärmetransports über langweilige Abstrahlung für den sommerlichen Wärmeschutz von großer Bedeutung.

### Polyestergewebe, PVC-beschichtet (kurz PES/PVC):

Silikonbeschichtete Glasfasergewebe weisen folgende Eigenschaften auf (Hightex GmbH, 2018):

- gute UV-Beständigkeit
- geringes Eigengewicht
- lange Lebensdauer (>20 Jahre)
- sehr flexibel und knickbeständig
- Lichttransmission 25-30%

Dadurch ist Glas/Silikon eine interessante Alternative zu anderen Membranen. Allerdings können diese Silikonbeschichteten Glasgewebe nur durch Kleben und/oder Nähen gefügt werden. Ohne zusätzliche Beschichtungen an der Oberfläche ist Glas/Silikon leider auch sehr empfindlich gegenüber Schmutzanhaftung. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 104)

### Glasgittergewebe, PTFE-beschichtet oder PTFE-laminiert:

Glasgittergewebe zeichnen sich optisch dadurch aus, dass sie weitmaschig sind, d.h. es kann durch ihre Maschen sehr viel Licht durchgelassen werden. Die Anwendung des offenen Gittergewebes ist für Fassaden interessant, die keinen Schutz vor Niederschlägen bieten müssen oder auch für Dach-Unterspannungen aus rein optischen Gründen. Durch die offene Struktur werden die angreifenden Windlasten gegenüber geschlossenen Varianten etwas reduziert.

Das Gittergewebe selbst kann auch beschichtet werden, während die Maschen offen bleiben. Interessante Anwendungen dafür sind bspw. Sonnenschutz- oder Akustikmaßnahmen. (Hightex GmbH, 2018)

Durch die Offenmaschigkeit entsteht jedoch eine unebene Oberfläche, die anfällig für Schmutzansammlung ist. Beidseitig laminiert in PTFE-Schälfolie kann ein sehr steifes Glasfaser-Gitterlaminat hergestellt werden, das höchste Festigkeit mit sehr hoher Lichttransmission vereint. Lichttransmission bei 43-46%. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 102-104)

#### PTFE-Gewebe, offen oder beschichtet:

PTFE-Gewebe sind textile Werkstoffe auf Basis von PTFE-Garnen. Sie besitzen eine sehr gute Knickbeständigkeit und können hohe Lichttransmissionen erreichen (20-40%). Sie können durch zusätzliche Beschichtungen auch hohe Luft- und Wasserdichtigkeit erreichen. Diese Membranen eignen sich auch besonders zum Einsatz in wandelbaren Konstruktionen. Verarbeitbar sind diese Membranen durch Nähen oder Thermoimpulsschweißen. (Hightex GmbH, 2018)

Unbeschichtetes PTFE-Gewebe bietet als offenes Material nur unzureichende Regendichtheit, ist außerdem nur über Nähen zu fügen, besitzt jedoch eine sehr gute UV-Stabilität wie auch Knickbeständigkeit. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 102)

## Folien

Als Folienmaterial kommt in der Gebäudehülle bisher auf wenige Ausnahmen ausschließlich der Werkstoff Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE) zur Anwendung. Besondere Vorteile liegen (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 97ff):

- im Anschmutzverhalten,
- der Widerstandsfähig gegen Umwelteinflüsse,
- der langfristigen UV-Stabilität,
- der sehr hohen Lichtdurchlässigkeit und hohen Transmission im UV-Bereich (wichtig für bestimmte Nutzungen),
- der einfachen Fügbarkeit (Schweißbarkeit),
- sehr gutes Alterungsverhalten (vergilbt oder versprödet nicht)
- gutmütiges Tragverhalten (z.B. sehr hohe Weiterreißfestigkeit)

Außerdem kann ETFE, wie textile Membranen auch, durchgefärbt oder bedruckt werden. In Knippers et al. (Atlas Kunststoffe + Membranen, 2010) wird außerdem die maximale Spannweite für luftgestützte Kissen mit 4,50 m angegeben (bei 300 µm Materialdicke und Wind- und Schneelasten entsprechend der mitteleuropäischen Klimazone). Sollen höhere Spannweiten erzielt werden, dann bestehen auch hier noch weitere Möglichkeiten, allerdings

wirkt sich die begrenzte Knickbarkeit beim Falten in Abhängigkeit der Projektgeometrie auf die maximalen Vorfertigungsgrößen aus. Solche überbeanspruchten Knickstellen können später sichtbar sein. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010).

Um verschiedensten Anforderungen (z.B. Sonnenschutz) gerecht zu werden, können ETFE-Folien in Kissenkonstruktionen auch mehrlagig, mit unterschiedlichen Einfärbungen und Bedruckungen eingebracht werden, siehe Abbildung C16. Außerdem wird ETFE in die Baustoffklasse B1 nach DIN 4102 eingestuft.

Aufgrund der sehr hohen Transmissionswerte ist durch den Planer hohes Augenmerk auf den sommerlichen Wärmeschutz zu richten.



Abbildung C15: Festo Atriumüberdachung mit bedruckte ETFE-Folienkissen

## C.4.1.2. Mittellagen

Die Mittellagen, d.h. der Schichtaufbau zwischen dem äußeren und inneren Abschluss, können - wenn vorhanden - beispielsweise aus einer Wärmedämmsicht, einer Lüftungsebene, einer Unter-spannbahn (zum Schutz vor Durchfeuchtung der Wärmedämmung) oder einer Sandfüllung (zur Verbesserung der Schalldämmung) bestehen. Die Funktion dieser Lagen dienen im Wesentlichen der Erfüllung der thermischen oder akustischen Anforderungen und können, außer beim Einsatz einer Sandfüllung, auch transluzent ausgebildet werden.

### Lichtdurchlässige Wärmedämmung

Zur Gewährleistung des winterlichen Wärmeschutzes ist bei Membranbauteilen der Einbau einer Wärmedämmebene unerlässlich, wenn die geforderten U-Werte über mehrlagige Kissenkonstruktionen nicht erreicht werden können. Neben den konventionellen hierfür geeigneten Wärmedämmprodukten werden nachfolgend verschiedene opake bis transluzente Wärmedämmsysteme aufgeführt.

Wird im mehrlagigen Aufbau Wert auf eine Lichtdurchlässigkeit gelegt, sollte beachtet werden, dass die Ausführung der Wärmedämmung sauber und gleichmäßig erfolgt. Der Hintergrund ist, dass gerade durch die Transluzenz eine unschöne Ansicht von innen auf die Membraninnenseite vermieden werden sollte. Ansonsten gilt, wie bei anderen Dämmmaßnahmen auch, die Dämmung am besten in mehreren Lagen und mit versetzten Stößen einzubringen. Im Membranbau hat dies auch den Hintergrund, dass Bewegungen und Krümmungen der Membranfläche aufgenommen werden müssen. Würde das Material nur einlagig verlegt werden, dann

würden sich bei starken Krümmungen offene Stöße über die Höhe des Dämmstoffs ergeben können, was eine Wärmebrückenwirkung hätte.

- **Glasfasergespinnste** sind lichtdurchlässig und lichtstreuend, wodurch Schlagschattenbildung vermieden werden kann. Es ist ein sehr weicher und flexibler Dämmstoff, der in Bahnen aufgerollt werden kann. Eingebaut zwischen klaren Folien ergibt sich bei einer Gespinnststärke von 60 mm eine Lichtdurchlässigkeit von ca. 23% bei einem Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von ca. 1,05 W/m<sup>2</sup>K. Einstufung in die Baustoffklasse B1 - schwer entflammbar nach DIN 4102. (Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V., 2006)



Abbildung C16: Glasfasergespinnst



- **Aerogel-Granulat** wird für den Einbau in ein Bauteil bspw. in Polyester-Stegplatten, Polycarbonat-Stegplatten oder Isolierverglasungen eingesetzt. In beweglichen Bauteilen wie Membrandächern ist es nur begrenzt einsetzbar, da sich das Granulat durch Bewegung (Reibung) verursacht durch Wind-bedingte Formänderungen oder thermische Bewegung „aufreißt“, also durch einen Mahleffekt in immer kleinere Teilchen auflöst. Bei 25 mm Aerogel-Granulat wird 53% Lichtdurchlässigkeit bei einem U-Wert von 0,70 W/m<sup>2</sup>K (WLG 018) erreicht. Das Material wird als nicht brennbar eingestuft. (Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V., 2006)
- Unter der Leitung von Prof. Cremers wurde dieser Dämmstoff dennoch für eine temporäre Dachanwendung als Füllstoff für ETFE-Kissen eingesetzt (Cremers, 2008).



Abbildung C17: Aerogel-Granulat

- **Aerogel-Vlies:** Aerogel als Dämmstoff ist auch in Form eines PES-Vlieses verfügbar, in das das Granulat strukturell eingebunden ist. Verbaut zwischen zwei Membranlagen ist es auch als ein Verbundmaterial erhältlich. Der besonders schlanke Aufbau kann neben wärmedämmend auch transluzent aufgebaut werden, siehe Abbildung B9 in Projektbeispiel B.2. Diese Lösung kann im Verbund auch Brandschutz-technische Vorteile bieten.

- **Polyester-Dämmvlies:** Polyestervlies ist weich und flexibel und besitzt auch gute Akustik-Eigenschaften also auch hohe Schallabsorptionswerte. Verfügbar ist es in Stärken von 20mm bis 200mm mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,041 bis 0,034 W/(mK). Eingestuft wird es als schwer entflammbar nach DIN 4102-1. (J.H. Ziegler GmbH, 2019)



Abbildung C18: Polyester-Dämmvlies

Sonstige transluzente, jedoch nicht flexible Dämmsysteme sind:

- **Cellulosediazetat:** Umweltfreundliches Material aus Zellulose mit 10 bis 60mm Stärke und einer von Wärmeleitfähigkeit von  $0,57 \text{ W}/(\text{mK})$ . Einstufung in B1 nach DIN 4102. (Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V., 2006)

Diese Materialklasse ist aktuell (2018) Untersuchungsgegenstand eines laufenden Forschungsprojekts der HFT Stuttgart.

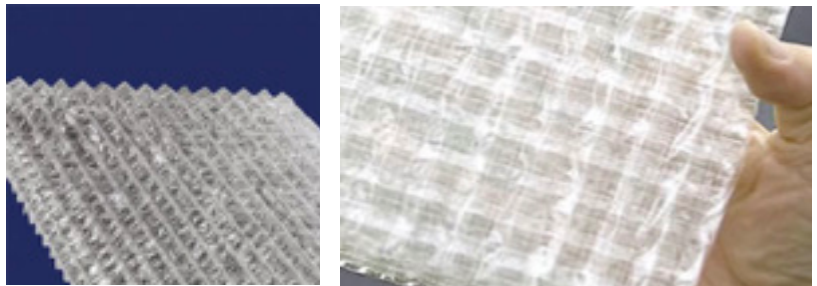


Abbildung C19: Cellulosediazetat

- **Kunststoffwaben:** Diese werden zwischen Einschieben-Sicherheitsglas eingelegt. Bei einer Wabenstärke von 150 mm wird eine Lichttransmission von 83 % erzielt und ein U-Wert von  $0,40 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Einstufung als B1 nach DIN 4201. (Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V., 2006) Auch diese Materialklasse ist aktuell (2018) Untersuchungsgegenstand eines laufenden Forschungsprojekts der HFT Stuttgart.

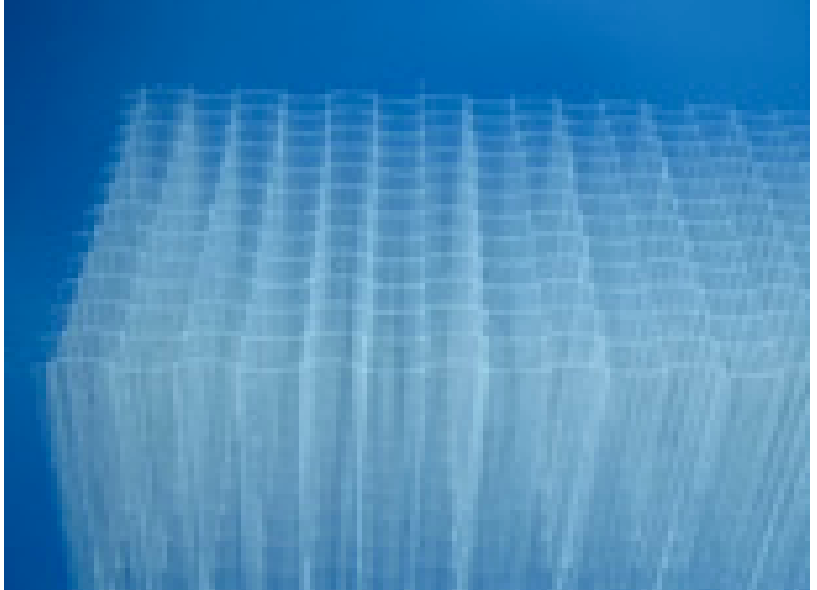


Abbildung C20: Kunststoffwaben

## Maßnahmen zur Vermeidung von Schallübertragung

Wie bereits im Kapitel 0 erwähnt kann durch Erhöhung der Masse im Schichtaufbau die Luftschallübertragung (Schalldämmwirkung) in Grenzen verbessert werden. Dies kann durch den Einbau zusätzlicher Schichten z.B. Sandfüllungen (eingebracht in Abstandsgeweben), Polycarbonat-Platten oder Kapillareinlegeplatten erfolgen.

Weitere Informationen zur Verbesserung der Raumakustik sind im Kapitel C.4.1.3 „Innerer Abschluss“ aufgeführt.

## Unterspannbahn

Um eine Durchfeuchtung der Wärmedämmung zu vermeiden wird eine Unterspannbahn benötigt (siehe auch Kapitel C.2 ‚Wechselwirkungen Bauphysik, Materialmöglichkeiten und Membranaufbau‘). Andererseits muss sie aber auch das Austrocknen von in die Wärmdämmschicht eingedrunenem Wasser ermöglichen. Die Unterspannbahn muss also wasserdicht und diffusionsoffen sein und wie die Dämmung auch lagefixiert werden, in jedem Fall aber diffusionsoffener als die innere Membran. Die einzelnen Bahnen der Unterspannbahn sollten sich überlappen, abgeklebt werden und keine Falten schlagen, um Wasseransammlungen zu vermeiden. An den Rändern und den Befestigungen des inneren Dachaufbaus an den Stahlträgern muss auch die Unterspannbahn sorgfältig lückenlos und ohne Fugen verlegt werden. Ansonsten kann Kondenswasser, das von der äußeren Membran abtropft oder an den Stahlträgern nach unten abläuft, in die Wärmedämmschicht eindringen. Andererseits muss darauf geachtet werden, dass die Unterspannbahn und ihre Befestigung auch bei Bewegungen des Daches nicht unter zu hohe Zugspannungen geraten. Zu beachten ist außerdem die von der Oberlage und dem Standort abhängige zu erwartende UV-Belastung dieser Folienlage.

Auch transparente/transluzente Folien sind verfügbar. Mögliche Materialien sind bspw. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 41ff):

- Polyethylenterephthalat (PET)- Folien: transparent, hoch reißfest
- LD-Polyethylen (PE)-Folien mit PE-Gewebeverstärkung: milchig, weiß (transluzent), preiswert, nicht witterungs-

beständig, nicht UV-beständig, gute Schweißbarkeit, für  
Klebung ungeeignet. LD kommt von low density und spielt  
auf die geringe Dichte zurück, wonach Transluzenz mög-  
lich ist.

- ETFE-Folien: sind prinzipiell auch möglich allerdings sehr  
teuer in der Anschaffung

Weitere Informationen zu diesem Themenbereich werden i  
m Kapitel C.4.3.

### **Hinterlüftung des Zwischenraums**

Die Hinterlüftung im Membranaufbau hat die Aufgabe auftretende  
Feuchtigkeit gut abzuführen und ist daher zumindest in Klimata, in  
denen überwiegend geheizt wird, unbedingt zu empfehlen (siehe  
auch Kapitel C.2 ‚Wechselwirkungen Bauphysik, Materialmöglich-  
keiten und Membranaufbau‘). Um eine natürliche Belüftung ein-  
zustellen sind Öffnungen in dieser Ebene nach außen nötig. Eine  
andere Möglichkeit ist die mechanische Belüftung.

### C.4.1.3. Innerer Abschluss

Die zum Innenraum abschließende Lage kann ebenfalls aus einer textilen Membranlage bestehen, analog zu den Materialmöglichkeiten des oberen Abschlusses in Kapitel C.4.1.1. Funktionen, die von der Innenlage übernommen werden, sind in Abbildung C13 dargestellt.

Die Anschlüsse der Innenmembran müssen so ausgeführt werden, dass sie luftdicht sind und einen Feuchteeintrag in die Dämmung aus dem Innenraum vermeiden.

Auf Ebene der außenliegenden Seite der Innenmembran kann außerdem auch die Befestigung der Dämmung oder anderer Schichten eine Rolle spielen. Ob eine solche Befestigung gerade auch brandschutztechnisch aber auch konstruktiv möglich ist, muss genau geprüft werden. Rein konstruktiv betrachtet gibt es dafür Lösungen, siehe Kapitel 0. Aus feuchtetechnischen Gründen spricht jedenfalls nichts gegen eine Montage bspw. der Dämmung auf der Innenmembran.

#### **Verbesserung der Raumakustik**

Neben den in Kap. C.4.1.2 genannt Schallverbesserungsmöglichkeiten, kann die Raumakustik auf der inneren Ebene durch mikroperforierte transparente Folien verbessert werden (Pudenz, 2004). Solche Folien können unter die innere Membran abgehängt werden, einlagig oder doppelagig, und können gewisse Verbesserungen bringen, die aber oft eher nicht im Verhältnis zum Aufwand stehe

## C.4.1.4. Luftgestützte Kissenkonstruktionen

Als mehrlagige Membranaufbauten kommen auch pneumatische Luftkissen in Frage. Zwei oder mehr Folienlagen werden über Luftdruck auf Abstand gehalten, erzeugen dämmende Luftschichten. In Abbildung C22 sind für die jeweilige Anzahl an Lagen und Wärme­stromrichtungen die erzielbaren Wärmedurchgangskoeffizienten dargestellt.

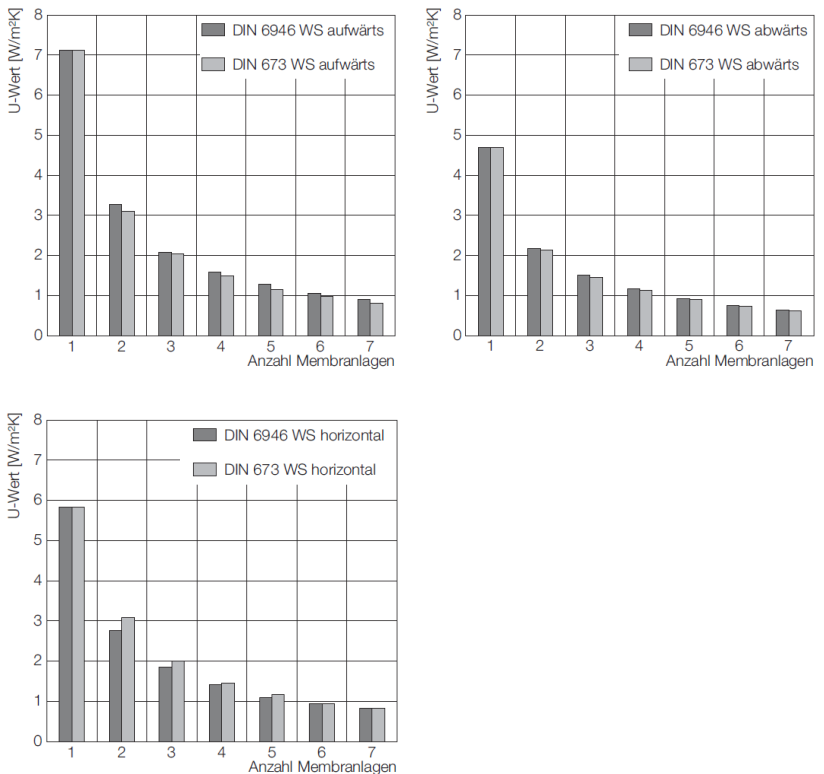


Abbildung C21: Wärmedurchgangskoeffizienten für verschiedene Membranlagen und Wärme­stromrichtungen



Über eine Bedruckung der Folien in beliebigen Druckmustern wird ein starrer Sonnenschutz ermöglicht. Gegenstand eines aktuell laufenden Forschungsprojekts der HFT Stuttgart (FMESG, 2015-2018) ist die Untersuchung eines neuartigen Sonnenschutzkonzepts: Räumlich umgeformte, bedruckte Folien als Mittellage in einem Kissenbau, siehe Abbildung C23. Da der Schwerpunkt des Leitfadens textile Membranen sind, werden luftgeschützte Konstruktionen nicht näher erläutert aber als Möglichkeit aufgezeigt.

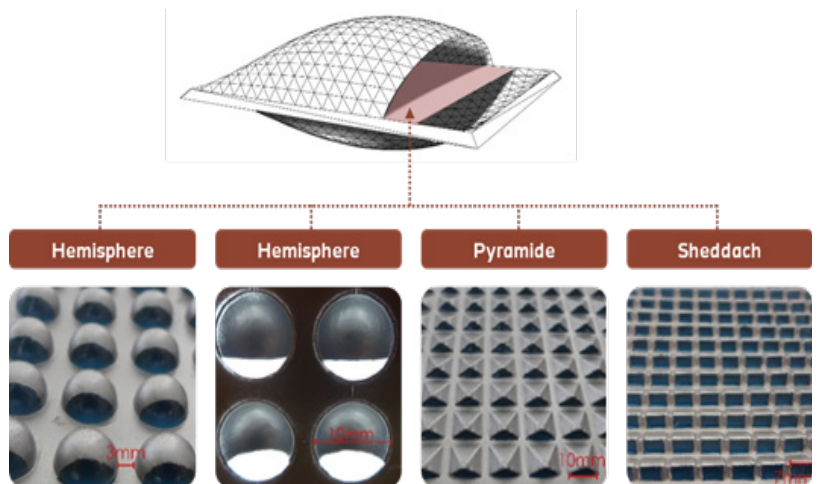


Abbildung C22: Umgeformte und bedruckte Folie als Mittellage im luftgeschützten Kissen als Sonnenschutz

## C.4.2.EXKURS: Konstruktive Umsetzung

Im Rahmen dieses Leitfadens können nur beispielhafte und grundsätzliche Empfehlungen und Hinweise zur konstruktiven Umsetzung gegeben werden. Auf dieser Basis können jedoch zusammen mit den Fachplanern projektbezogen entsprechende Detailanschlüsse ausgestaltet werden.

### C.4.2.1. Fügung von Membranstreifen oder -felder in der Fläche

Grundsätzlich muss zwischen lösbaren (bauseitig) und nicht lösbaren Fügungen (i.d.R. biegeweiche Verbindung, werkseitig) in der Fläche unterschieden werden. Je nach Material kann dies unter den nicht lösbaren eine Naht, Schweißung (Überlappung oder Deckstreifen), Klebung oder eine Kombination daraus sein. Lösbare Verbindungen, wie Klemmplatten-, Kederschienen-, Schlaufen-, Schnürstöße oder Klettverschlüsse werden angewandt, wenn die Flächen zu groß für die Herstellung, den Transport und die Montage sind. Erstere Gruppe wird im Werk vom Konfektionär hergestellt und letztere vor Ort vom Monteur. (Seidel, 2008, S. 73ff)

Schweißbar sind nur Membranen mit Beschichtungen aus einem Thermoplast, wie PVC-PES-Gewebe oder ETFE-Folien. PTFE-Beschichtungen brauchen eine Schweißhilfe (i.d.R. FEP). Silikonbeschichtungen werden geklebt. Genähte Verbindungen müssen zusätzlich vor Ort mit einem angeschweißten Abdeckklappen überdeckt werden, da durch das Nähen das Gewebe perforiert und damit undicht wird. Verbindungsstellen mit geringerer statischer Lastwirkung können mit Schlaufen- und Schnürstöße verbunden werden. Diese können abschließend ebenfalls mit Abdeckklappen überdeckt werden, siehe Abbildung C24. (Seidel, 2008, S. 78ff)

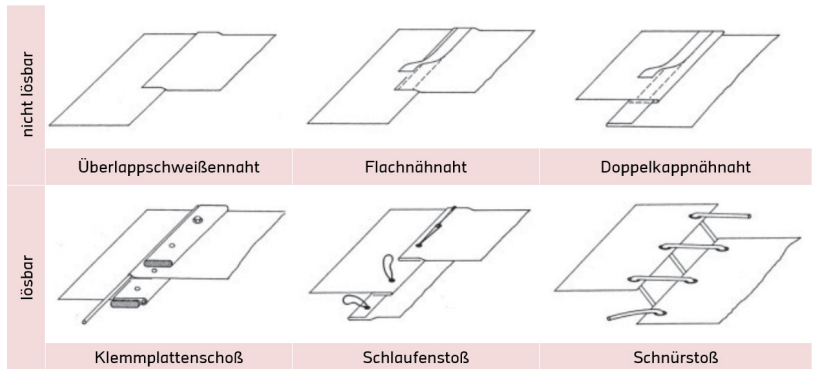


Abbildung C23: Arten der flächigen Fügung von Membranstreifen

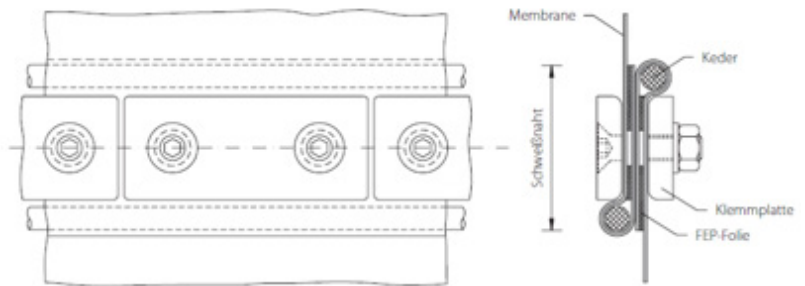


Abbildung C24: Detail eines Klemmplattenstoß

Welche Fügung in Frage kommt, ist von verschiedenen Anforderungen (z.B. wasser- oder dampfdicht), Materialgegebenheiten und Ausgangssituationen, wie Lastanforderungen, Herstellungsbeschränkungen, ist das Material schweißbar oder nicht, muss die Stelle biegeweich sein, Sichtbarkeit usw. abhängig. Diese Anforderungen ergeben sich durch den Entwurf und die statische Konzeption im Vorfeld, entsprechend ergibt sich die passende Fügung an der jeweiligen Stelle und kann im Planungsteam entsprechend festgelegt werden. Ästhetisch gesehen können sich manche Fügearten mehr oder weniger sichtbar abheben. Inwiefern dies an den jeweiligen Stellen gewünscht ist, gilt es zu definieren. Für die letztendliche Detailplanung kann die ausführende Firma (Konfektionär) herangezogen werden.

Hersteller können Flächen in Abhängigkeit vom konkreten Membranmaterial, der Form und den Transport- und Montagebedingungen z.T. sehr große Flächen im Werk vorfertigen, größere Membranflächen werden aus Teilflächen mit den oben genannten Techniken vor Ort gefügt. Die eigentliche Konfektionierung wird erst durch den Konfektionär geleistet, Planer haben allerdings Einflussmöglichkeiten bei der Lage der Nähte und Stöße, da diese später sichtbar sein werden. Dies muss jedoch schon bei der Bemessung und Formfindung berücksichtigt werden, kann also insbesondere nicht mehr kurz vor Baubeginn geändert werden.

Ausbesserungsarbeiten oder Reparaturen können vor Ort auch mit einem Handschweißgerät durchgeführt werden.

Neben den Fügungen von einzelnen Membranstreifen gibt es auch die Fügung an linienförmigen Unterstützungen, wie an Bogenelementen oder an Kehl- oder Gratseilen. Auch hier entstehen Mon

## C.4.2.2. Randausführung

Über biegeweiche und biegesteife Randausbildungen werden Spannungen aufgenommen und die Kräfte in das Haupttragwerk weitergeleitet. „Gestaltungskriterium für die Ausführung ist in erster Linie, wie die Kräfte geführt und in das Primärtragwerk eingeleitet werden.“ (Seidel, 2008, S. 83).

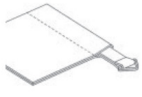


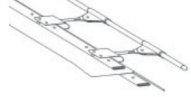
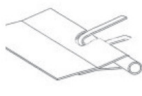
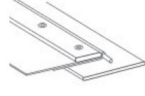
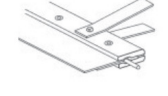
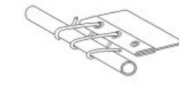
biegeweich				
	Gurtrand	Seilrand	Seilrand mit Gurt	Klemmplattenrand auf Seil montiert
biegesteif				
	Rohrrand	Klemmplattenrand	Klemmplattenrand mit Bügeln auf biegesteifen Randträger	Rohrrand mit Schnürung

Abbildung C25: Beispiele für biegeweiche und biegesteife Ränder



Abbildung C26: Sporthalle Fürth, biegeweicher Randabschluss

### C.4.2.3. Eckausbildung

Eine besondere Bedeutung kommt bei Membrandächern der Ausbildung der Eckbereiche zu. In den Ecken werden die Kräfte aus zwei oder mehreren Randbereichen und der Membran weitergeleitet. Hier ist der Übergang vom spannungslosen zum gespannten Zustand der Bauteile, wodurch der Eckpunkt gegenüber Überspannung und Faltenbildung besonders gefährdet ist (Seidel, 2008, S. 89f).

Die Hauptmembran wird in den Eckbereichen über eine zweite Lage Membran kreisförmig um die Ecke verstärkt. Wie die Eckausbildung gestaltet wird hängt von der Art der Randausbildung ab. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 206)

Nachfolgend werden Projektbeispiele gegeben.



Abbildung C27: Eckdetail mit geschlossener Ecke; Überdachung in Marokko, studentisches Projekt an der HFT Stuttgart



Abbildung C28: Eckdetail; 4-Punkt-Segel-Rimsting



Abbildung C29: Weiteres Eckdetail; 4-Punkt-Segel-Rimsting



Abbildung C30: Sporthalle Fürth Eckausbildung mit Überlappungsmembran



## C.4.2.4. Hoch- und Tiefpunkte

Hoch- und Tiefpunkte entstehen, wenn über Masten oder Abspannungen die Membran entweder hochgedrückt oder heruntergezogen wird. Möglichkeiten der Formbildung sind biegesteife Ringe oder biegeweiche Augen und Rosetten. Hochpunkten müssen über eine zusätzliche Membran oder eine zusätzliche Dachkonstruktion (evtl. auch als Oberlicht) zur Regensicherheit abgedeckt werden. Tiefpunkte hingegen müssen eine Entwässerung vorsehen. Dies kann bspw. über eine integrierte Entwässerung in der Stütze oder im Mast erfolgen. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 210f)



Abbildung C31: Beispiel für einen Hochpunkt mit Rosette rechts und einen Tiefpunkt mit Rosette

### C.4.2.5. Offene Ränder mit Dachentwässerung

An offenen Membranrändern, an denen Regenwasser abgeführt werden muss, müssen eine Aufkantung vorgesehen werden, die das Wasser entlang der Neigung an Tiefpunkte weiterleitet und von da aus in ein Regenwasser-Ableitungssystem. Beispiele dafür sind in den Abbildung C33 bis Abbildung C35 dargestellt. Diese können bspw. als Aufkantung, die das Regenwasser ableitet oder als eine Wulst, die eine Drainage beinhaltet ausgebildet werden. Da diese Beispiele eben eine Aufkantung darstellen, dienen sie auch als Schneefang und vermeiden das Abrutschen von Schnee.



Abbildung C32: Aufgekanteter Membranrand mittels Profileteilen

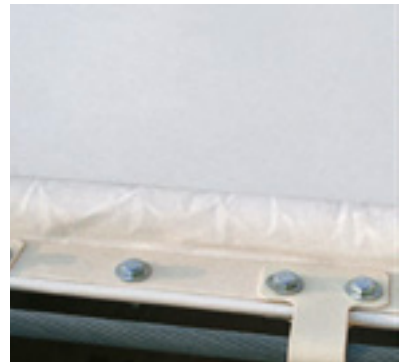


Abbildung C33: Membranrand mit Schaumstoffeinlage





Abbildung C36: Beispiel Fürth: Seilrand mit Schneefang und Drainagerohr



Abbildung C37: Beispiel Fürth: Membranwulst mit Drainage

### C.4.2.6. Bewegliche vertikale Abschlüsse

Formveränderungen durch bspw. eine temporär zusätzliche Schneelast muss für die Vorspannung der Membran berücksichtigt werden. Dies kann zu großen temporären Verformungen führen, die an Anschlüssen zu anderen Bauteilen ausgeglichen werden müssen.

Wie das konstruktiv gelöst werden kann, zeigt das Beispiel Kurklinik Masserberg mit einer ‚Ziehharmonikaschürze‘ aus Membran, die zusätzliches Material für eine Ausdehnung vorsieht, siehe Abbildung B43. Auch Membranfalten mit zusätzlichem Material können vorgesehen werden.

Ein weiteres Beispiel ist in der Olympia-Schwimmhalle zu finden, wo ein pneumatischer Schlauch zwischen Fassade und Dach der Toleranzen bis zu 1,50m ausgleichen soll.



Abbildung C38: Beweglicher Anschluss in der Olympiaschwimmhalle mittels eines ETFE-Schlauchs

### C.4.2.7. Randabschluss Dachzwischenraum (Vogelschutz und Belüftung)

Offene Abschlüsse von Dachzwischenräumen sollten abgeschlossen werden, um einen Vogel- oder Insektenbefall zu vermeiden, die Schäden am Bauteil verursachen können. Wie dies gelöst werden kann, hängt vom Gebäudeentwurf ab. Es sollte allerdings auch berücksichtigt werden, dass die offenen Ränder je nach Konzeption zur Belüftung des Zwischenraumes und zur Abführung von Feuchte dienen können. Ein luftdichtes Verschließen ist daher nicht die Lösung. In Aufbauten, bei denen die Luftzirkulation sogar benötigt ist, um Feuchte aus dem Dachzwischenraum abzuführen, ist ein entsprechend großer Öffnungsanteil besonders wichtig. Damit die zwei Punkte sich nicht gegensätzlich ausschließen, kommt es auf die Öffnungsgröße einer einzelnen Lochung und dem geschlossenen Anteil an. D.h. den Öffnungsquerschnitt klein genug, um Vogel- oder Insektenbefall zu vermeiden, die Anzahl der Öffnungen jedoch groß genug wählen, um genug Luftzirkulierung zuzulassen, oder durch die entsprechende Minimierung des geschlossenen Flächenanteils, bspw. durch Netze. Prinzipielle Möglichkeiten sind:

- Einbau eines Netzes oder Gitters; vollflächig oder nur teilweise entlang der Randabschlusslänge oder -höhe ein gebracht, siehe Abbildung C40. Das Verhältnis zwischen luftdurchlässigem und geschlossenem Flächenanteil ist wichtig und muss je nach Standort mit den dort herrschen den Windverhältnissen ermittelt werden. Bei einer zu großen Maschenweite (o. Perforations grad) ist kein ausreichender Schutz geboten und bei starken Regen oder Schnee besteht zusätzlich die Gefahr vor Durch-

nässung der Dämmung oder inneren Schichten. Bei zu geringen stellt sich ggfls. keine Durchlüftung ein. Jedoch ist auch bei kleinen Maschen nicht gewährleistet, dass absolut kein Regen durch das Netz oder Gitter eindringt. Geneigte Ebenen jedoch können das anfallende Wasser abführen. Eine auskragende Außenmembran über diesen Punkt hinaus, also eine Art Vordach kann zusätzlich Sicherheit bieten, siehe Abbildung C40.

- Der Randabschluss kann auch geschlossen gestaltet werden und die Belüftung anderweitig gewährleistet wird, bspw. mechanisch. Dies wurde in ein paar Beispielen auch bereits so durchgeführt. Allerdings müsste bei einer mechanischen Belüftung der Dachrand luftdicht ausgeführt werden.



Abbildung C39: Abschluss des Zwischenraums der Membrankonstruktion in Fürth mit Lochblech (50% Öffnungsanteil), innen. und außenseitig

## C.4.2.8. Durchdringungen der Membranebene

Prinzipiell sollten Durchdringungen der Membran vermieden werden, da solche Punkte feuchte- und wärmedämmtechnisch Problempunkte darstellen aber auch zusätzliche Kosten mit sich bringen. Kann dies jedoch nicht vermieden werden, sollten diese auf ein Minimum begrenzt werden und deren Anschlusspunkte feuchte- und wärmedämmtechnisch genau betrachtet werden.

Wärmedämmung, Unterspannbahn und Innenmembran müssen lückenlos durchlaufen und angeschlossen werden. Um das Eindringen von Feuchtigkeit durch Konvektion in die Wärmedämmung zu vermeiden, muss der Anschluss der Innenmembran an den Durchdringungspunkt luftdicht ausgeführt werden, was eine tiefgehende Betrachtung bedarf, siehe auch Kapitel C.4.3.2. Möglichkeiten sind bspw. das Einklemmen der Membran und zusätzlich mit Klebeband abdichten.

Ein Beispiel für Durchdringen mit einer Trichtermanschette ist im Praxisbeispiel Olympia-Schwimmhalle aufgeführt, Abbildung B26.

In der Sporthalle Fürth bildet die einzige Durchdringung das Rohr zu Entrauchung bei Brand. Über Rohrmanschetten wird dort die Membran an das Rohr dampfdicht angepresst und über eine Unterbrechung des Metallrohrs mittels eines Membranzwischenteils (das als Rohr fungiert) wird die Wärmeleitung durch das Rohrmaterial unterbrochen und die Wärmebrücke minimiert, siehe Abbildung C41.



## C.4.2.9. Entrauchung, Rauch und Wärmeabzug

Um Rettungswege und Aufenthaltsräume bei Brand raucharm zu halten, werden entsprechende Entrauchungen bei Brand vorgeschrieben. Dies kann generell an den Außenwandflächen oder durch Fensteröffnungsflächen in den nötigen Räumen erfolgen, will man das jedoch nicht, so können auch Öffnungen in der Dachfläche vorgesehen werden. Bei Membrandächern muss dies mit besonderer Vorsicht konstruiert werden. Meist geschieht dies über angeschweißte Membranauslässe, die passgenau die Form wiedergeben und über Manschetten an das Formstück (z.B. Lüftungskanal) abgedichtet werden. Die Schwierigkeit solcher Anschlusspunkte liegt dabei in der optischen Ausgestaltung, der Dichtigkeit und Wärmebrückenfreiheit. Ob jedoch Aufwand und Nutzen gerechtfertigt sind, muss im Einzelfall entschieden werden.

Im Fall der Sporthalle Fürth wurde die Entrauchung aus gestalterischen Gründen in die innere Membranschicht gelegt - durch die Dämmung und Unterspannbahn hindurch, wo bei Brand die Entrauchung in den Luftzwischenraum und über die seitlichen Gitter ins Freie erfolgt. Dadurch ergab sich der Synergieeffekt, dass die Außenmembran als wasserführende Schicht nicht zusätzlich durchbrochen werden musste. Solche Punkte sind dabei oftmals rechnerische und räumliche Herausforderungen, da Membranen und deren Tragwerke i.d.R. doppelt gekrümmt sind.



Abbildung C40: Sporthalle Fürth Innenansicht der Entrauchung links und Auslassrohre im Randabschluss rechts



Abbildung C41: Sporthalle Fürth Detailbild Anschluss um die Entrauchungsrohre

### C.4.2.10. Maße und Toleranzen

Durch die Dehnbarkeit von Membranen können maßliche Toleranzen über die Spannung der Membran ausgeglichen werden. Es kommt zu einer sog. Verrautung des Materials. Auf diese Weise sorgt das Material sozusagen selbst dafür, dass Lasten gleichmäßiger verteilt werden, Lastspitzen (z.B. auch aufgrund von Fertigungs- oder Montageungenauigkeiten) werden bis zu einem gewissen Punkt ausgeglichen. Diese während und nach der Montage erfolgende Dehnung ist typischerweise nach 0,5 bis 1 Jahr weitgehend abgeschlossen. Die Größenordnung dieser Dehnung ist von zahlreichen Faktoren abhängig (Materialart, Kräfte, Geometrie etc), typischerweise liegt sie im niedrigen einstelligen Prozentbereich. Es ist wichtig, dass dies durch Erfahrungen einigermaßen richtig eingeschätzt wird, damit nach Abschluss des Vorgangs noch ausreichend Vorspannung im Material besteht.

### C.4.2.11. Maße und Toleranzen

Auch Membrandachflächen müssen gewartet werden. Um dabei die Personensicherheit zu gewährleisten, sind Sekuranten oder auch andere Sicherheitseinrichtungen auf der obersten Dachfläche zu empfehlen. Außerdem ist die Zugänglichkeit zu planen und zu realisieren. Die Planung der Sekuranten unterscheidet sich dabei nicht von anderen Bauarten. Es müssen entsprechende Befestigungspunkte am Tragwerk vorgegeben sein und im Falle der Durchstoßpunkte der Membranhaut entsprechende Abdichtungsmaßnahmen getroffen werden.

Der Dachzwischenraum muss ebenfalls gewartet werden. Dies kann ggf. z.B. zu einem Wartungssteg durch den Zwischenraum führen.

## C.4.2.12. Blitzschutz

Herkömmlichen Blitzableiter treten besonders bei innenliegendem Dachtragwerk in Membranbauten gestalterisch stark hervor. Evtl. können die Träger in ihren Hochpunkten als Blitzableiter fungieren. Ein Blitzeinschlag würde damit über einen beschädigten Membranlappen an dieser Stelle sichtbar werden und müssten bei einem Wartungsgang entdeckt werden, was anschließend ausgebessert werden kann.

In der Regel muss aber empfohlen werden jedes Objekt mit all seinen Teilen genau zu überprüfen und Maßnahmen zur Ableitung treffen. Folglich können auch Blitzableiter nötig werden, was in der Praxis auch durchaus eingesetzt wird, wenn nicht anderweitige Stahlbauteile die Membranfläche überragen und damit den Hochpunkt darstellen. Weiterhin kommt es auch vor, dass seitliche Klemmplatten am Rand geerdet werden, wenn diese die Hochpunkte darstellen.

## C.4.3. EXKURS: Bauphysikalische Grundlagen

### C.4.3.1. Wärmeschutz

Die Anforderungen an den Wärmeschutz sind gesetzlich in der Energieeinsparverordnung (EnEV) geregelt. Die derzeit aktuelle Energieeinsparverordnung trat am 1.5.2014 in Kraft und beinhaltet bereits ab dem 01. Januar 2016 weitere Verschärfungen; kurz wird sie nachfolgend als EnEV 2016 bezeichnet.

Konkrete Höchstwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) einzelner Bauteile werden für Neubauvorhaben in der EnEV nicht vorgegeben. Stattdessen fordert die EnEV, dass der Jahresprimärenergiebedarf des geplanten Gebäudes denjenigen eines hypothetischen, sogenannten Referenzgebäudes nicht übersteigt. Dieses Referenzgebäude ist ein gedachtes Gebäude, das bezüglich der Größe und Form, sowie dem Standort und der Orientierung dem geplanten Gebäude entspricht. Die Ausstattung der Gebäudehülle und der Anlagentechnik jedoch wird in der EnEV vorgegeben. Für dieses Referenzgebäude wird der Jahresprimärenergiebedarf berechnet. Der Jahresprimärenergiebedarf des geplanten Gebäudes darf den Jahresprimärenergiebedarf des Referenzgebäudes nicht übersteigen.

Der U-Wert bspw. des Membrandaches des zu errichtenden Gebäudes darf auch höher sein als der für das Referenzgebäude anzusetzende U-Wert. Jedoch muss der höhere Wärmeverlust an anderer Stelle im Gebäude ausgeglichen werden. Daher kann man den U-Wert eines Bauteils im Referenzgebäude als Richt- oder Zielwert für den U-Wert des Bauteils im geplanten Gebäude betrachten.

Für Dächer, oberste Geschossdecken, Glasdächer, Dachflächenfenster oder auch Lichtbänder der Referenzgebäude sollen die U-Werte nach Tabelle 1 in Anlage 2 EnEV2016, siehe Tabelle C10 angesetzt werden.

Wird allerdings ein besonders transluzentes Membrandach realisiert ist nicht ganz offensichtlich, welcher Richtwert angesetzt werden sollte, da für das Bauteil ‚transluzente Dächer‘ keine Werte angegeben werden. In diesem Fall kann ein Dach mit geringer Transmission mit einem opaken Dach verglichen werden und ein Dach mit hoher Transmission eventuell mit einem Glasdach. Partielle Membranflächen könnten je nach Orientierung und Neigung auch als Lichtbänder oder Dachflächenfenstern angesetzt werden. Verdeutlicht werden muss jedoch auch, dass vermutlich aufgrund der meist großen Fläche, die ein Membranbauteil einnimmt, höhere U-Werte schwierig an anderen Stellen zu kompensieren sein können. |

n der EnEV werden außerdem auch Höchstwerte des mittleren U-Wertes über alle Bauteile gleicher Art als Richtwert vorgegeben, die bei der konstruktiven Planung berücksichtigt werden können, siehe Tabelle C11.

Tabelle C10: U-Werte von Bauteilen zur Ausführung des Referenzgebäudes.  
Quelle: (EnEV, 2016)

Bauteile	Referenzausführung	
	Raum-Solltemperaturen im Heizfall $\geq 19\text{ °C}$	Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis $< 19\text{ °C}$
Dach, oberste Geschossdecke*	$U = 0,20\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$U = 0,35\text{ W/(m}^2\text{K)}$
Glasdach*	$U_w = 2,70\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$U_w = 2,70\text{ W/(m}^2\text{K)}$
Lichtbänder*	$U_w = 2,40\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$U_w = 2,40\text{ W/(m}^2\text{K)}$
Dachflächenfenster	$U_w = 1,40\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$U_w = 1,90\text{ W/(m}^2\text{K)}$

\*ab dem 01.01.2016 mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren.

Tabelle C11: Geforderte mittlere U-Werte von Außenbauteilen für Nichtwohngebäude nach EnEV 2016. Quelle: (EnEV, 2016) Anlage 2, Tabelle 2

für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016	Höchstwerte der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten	
	Raum-Solltemperaturen im Heizfall $\geq 19\text{ °C}$	Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis $< 19\text{ °C}$
Opake Außenbauteile	$U = 0,28\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$U = 0,50\text{ W/(m}^2\text{K)}$
Transparente Außenbauteile	$U = 1,50\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$U = 2,80\text{ W/(m}^2\text{K)}$
Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	$U = 2,50\text{ W/(m}^2\text{K)}$	$U = 3,10\text{ W/(m}^2\text{K)}$

Der Wärmeschutz für die Sporthalle in Fürth wurde nach der ENEV 2009 berechnet und unterschreitet die Richtwerte der opaken Außenbauteile mit -34 % und die der transparenten Außenbauteile mit um -16 %. Der Primärenergiebedarf wird sogar um -40 % unterschritten.

## C.4.3.2. Feuchteschutz

Wie bereits in Kapitel C.2 ‚Wechselwirkungen Bauphysik, Materialmöglichkeiten und Membranaufbau‘ auf die wesentlichen Zusammenhänge eingegangen wurde, gilt für alle Bauteile gegen Außenluft das Prinzip, dass die Baustoffe von innen nach außen diffusionsoffener werden sollen. Dies gilt vom Innenraum bis zum Außenraum. Falls das Bauteil eine belüftete Luftschicht besitzt, gilt dies bis zu belüfteten Luftschicht. Als Faustregel gilt, dass der  $s_d$ -Wert der Bauteilschichten raumseitig von der Wärmedämmung ca. das 10-fache des  $s_d$ -Wertes der Bauteilschichten außerhalb der Wärmedämmung betragen soll.

Im Falle von Außenbauteilen aus Membranen ist dabei zu beachten, dass die Membranen einen relativ geringen  $s_d$ -Wert besitzen von 9-11m (Schmid, Gerd (b), 2004). Entsprechend sollte die Unterspannbahn, die die Wärmedämmung zum Dachzwischenraum hin abschließt, einen geringen  $s_d$ -Wert von max. 0,2m besitzen. Die üblicherweise als Unterspannbahnen verwendeten Folien besitzen geringere  $s_d$ -Werte. Jedoch bestehen sie bspw. aus Polyethylen (PE), die nicht langzeit-UV-Stabil sind. Als Alternative kann eine sehr dünne Polyesterfolie verwendet werden. Deren  $s_d$ -Wert ist zwar deutlich höher, jedoch so, dass dieser noch akzeptabel ist. Die Wärmedämmung behindert die Wasserdampfdiffusion im Vergleich zur Wasserdampfdiffusion in ruhender Luft, praktisch nicht.

Kritische Stellen an Außenbauteilen mit Wärmedämmung sind alle Stellen, an denen die Wärmedämmung von hoch-wärmeleitfähigen Materialien durchstoßen wird (Wärmebrücken). Je nach Konstruktion des Bauteiles lässt sich dies nicht gänzlich verhindern. Diese Durchstoßpunkte sollten dann auf die notwendige Anzahl und den notwendigen Querschnitt beschränkt werden, z.B. durch einzelne



## Befestigungspunkte anstelle von Befestigungsschienen.

Einzelne punktförmige Wärmebrücken haben auf die Wärmeverluste nur eine geringe Auswirkung und werden bei der Berechnung des Energieverbrauchs nicht berücksichtigt. Regelmäßig vorkommende punktförmige Wärmebrücken werden allerdings bei der Berechnung des U-Wertes des Bauteiles nach DIN 4946 berücksichtigt. In Bezug auf den Feuchteschutz sind jedoch auch einzelne punktförmige Wärmebrücken kritische Stellen. Dort sinkt die Temperatur der raumseitigen Oberfläche des Bauteils bei kühler Witterung am weitesten ab. Dies sind also die Stellen, die am ehesten Kondenswasser-gefährdet sind. Solche Stellen sind auch die Bereiche der Membranbefestigung am Rand.

Dies ist einer der Gründe, warum Durchdringungen der Wärmedämmung, die meist auch Durchdringungen der inneren Membran sind, weitestmöglich vermieden werden sollten. Für die Befestigung der Beleuchtung, Trennvorhängen, Sportgärten usw. sollten so weit wie möglich andere Lösungen gesucht werden.

### C.4.3.3. Low-E Beschichtungen

Transparente low-E Beschichtungen (von engl. low-Emissivity = niedrige Wärmeabstrahlung) kommen heute vor allem in Wärmeschutzverglasungen vor. Dort sind sie im Scheibenzwischenraum hermetisch abgeschlossen und langzeitstabil. Aufgebracht werden sie als Soft-Coating mit Emissionsgraden von  $\epsilon = 0,03$  (Glas Trösch Holding AG (Hrsg.), 2006).

Hard-Coatings hingegen, die sich im Herstellungsprozess unterscheiden, sind dem Raumklima besser aussetzbar, erreichen jedoch schlechtere Emissionsgrade. Verwendet werden solche Beschichtungen bspw. auf Gläsern, die in der Sanierung von Bau- und Denkmälern Anwendung finden.

Mit dem Aufbringen einer solchen Funktionsschicht wird die Emissivität der Oberfläche herabgesetzt, was folglich bedeutet, dass die Wärmeabstrahlung der Oberfläche reduziert wird. Beispielsweise werden bei Verglasungen dadurch die Strahlungswärmeverluste von innen nach außen deutlich minimiert. Während der Heizperiode bedeutet dies, dass die Wärmestrahlung von Innenraum zurückreflektiert und der Heizenergiebedarf reduziert wird. Im Sommer wiederum kann der Wärmeeintrag minimiert werden.

Heute kann eine modifizierte Beschichtung auf verschiedenen Membranmaterialien aufgebracht werden und ist am Markt verfügbar (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 103+110). Beispielsweise wurde am Flughafen in Bangkok 2005 auf die raumseitige Membranoberfläche aus Glasgewebe eine silbrige low-E Beschichtung ( $\epsilon = \text{ca. } 0,4$ ) aufgebracht, die die Abstrahlung auf den darunterliegenden Bereich verringern soll (Meyer, 2009).

Zum damaligen Zeitpunkt bestand jedoch keine Flexibilität in der Farbgestaltung von low-E Beschichtungen, was die Gestaltung einschränkte. Low-E Beschichtungen waren aufgrund der gut reflektierenden Aluminiumpigmente damit silbern schimmernd. (TAG Composites & Carpets, 2009)

Im Zuge des Forschungsvorhabens ‚Verbundprojekt Energieoptimiertes Bauen, F&E: Entwicklung von niedrigemittierenden Beschichtungen in der textilen Architektur‘ ( TAG Composites & Carpets GmbH, 2008) wurden Beschichtungen entwickelt, die auch eine mechanische Stabilität vorweisen, an gute Emissionsgrade ran kommen und zudem eine beliebige Farbwahl ermöglichen (Meyer, 2009). Messungen zeigten, dass nicht low-E-beschichtete Gewebe typischerweise einen Emissionsgrad von  $> 0,9$  aufweisen, während Gewebe mit einer farbflexiblen low-E Beschichtung ca. 0,3 (Entwicklung aus dem o.g. Vorhaben) und Gewebe mit silbrig erscheinendem Farbeindruck jedoch 0,10 erreichen können (Meyer, 2009).

Transparente oder transluzente Beschichtungen sind derzeit am Markt noch nicht verfügbar.

Auch Folien können low-E-beschichtet werden, siehe Projektbeispiel B.3. Allerdings besteht heute noch die Schwierigkeit in der Ausgestaltung der Schutzbeschichtung, was weiterentwickelt wird. Diese Thematik wird bis August 2019 unter anderem von der Hochschule für Technik Stuttgart im Zuge des Forschungsprojektes ‚Energiesparende funktionelle Beschichtungen von Polymermaterialien für die Folienarchitektur‘ (Follow-e2), gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), untersucht.

### C.4.3.4. Tageslichtversorgung

Ein grundsätzlicher Vorteil von Membran- oder Folienkonstruktionen ist, dass der Aufbau transluzent oder auch transparent gestaltet werden kann. Bei ersterem kann mittels des diffus strahlenden Lichts eine angenehm gleichmäßige und blendfreie Innenraumsituation geschaffen werden, die zur Reduktion des Stromverbrauchs beiträgt.

Transparente und wärmegeämmte Aufbauten sind derzeit nur mittels Folienmaterialien ausführbar und müssten hinsichtlich der Überhitzung des Innenraums genauer betrachtet werden bzw. eine zusätzlichen Verschattung als Sonnenschutz vorgesehen werden.

Wie viel Tageslicht letztendlich hindurch gelassen wird, hängt vom Zusammenwirken der einzelnen Materiallagen, -stärken, deren Lichttransmissionseigenschaften und Orientierung ab. Beispiele für erzielbare Transmissionen in einem Gesamtaufbau sind in Kapitel C.2 ‚Vorplanung und Entwurfsplanung (Lph. 2 und 3)‘ aufgeführt. Am Beispiel der Sporthalle Fürth werden nachfolgend mögliche Referenzwerte bzgl. des Einflusses der Verschmutzung, der erzielten Transmissionsgrade und Einsparungen in der Stromversorgung gegeben. Messtechnisch kann nur der Istzustand mit transluzentem Dach erfasst werden. Es existiert keine baugleiche Kopie der Halle mit opakem Dach als Vergleichsobjekt. Daher wurde dies auf Basis von Simulationen und ergänzenden Messungen untersucht.

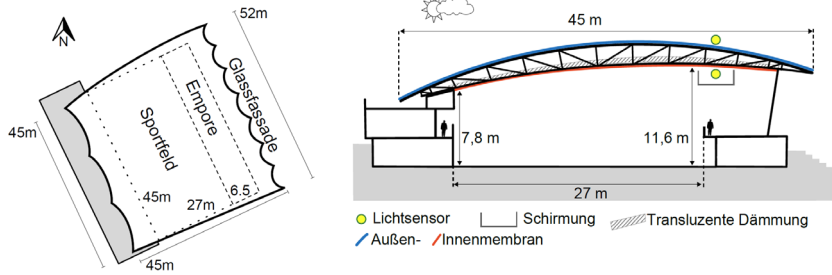


Abbildung C42: (a) Schematische Draufsicht auf die gesamte Halle in Fürth mit Orientierung. Im Westen in grau gefärbt befindet sich ein Anbau mit Holzfassade. (b) Schematische Ansicht aus Süd-Ost. Die Messstellen der Transmissionsbestimmung sind angedeutet. Die rechte Fassade ist transparent ausgeführt

Abbildung C45 (a) zeigt eine schematische Draufsicht mit markierten, relevanten Bereichen und (b) eine Seitenansicht zur besseren Einordnung der Geometrien im Folgenden. Der Lichttransmissionsgrad  $\nu$  gibt das Verhältnis von der inneren zur äußeren Beleuchtungsstärke an. In dem Dachaufbau Fürth wurde ein gesamter Lichttransmissionsgrad von 0,47 % für eine über 2 Jahre schmutzbelastete Gesamtkonstruktion gemessen. Die Messpositionen sind in Abbildung C45 (b) markiert. Dabei trat Verschmutzung sowohl auf der Oberfläche der Außenmembran als auch im Membranzwischenraum auf der Dampfbremse auf. Allein an der Außenmembran erhöhte sich die Transmission von 14,6 auf 18% durch Reinigung.

Dynamische Jahressimulationen der Tageslichtversorgung bei gereinigtem Dachaufbau (0,72 % Lichttransmissionsgrad  $\nu$ ) ergaben folgende Ergebnisse als Auswirkung des Membrandaches (beim Vergleich des Aufbaus Fensterfront + Membran mit nur einer Nord-

### Fensterfront):

- Erhöhung der DA700 bzw. cDA700 von 0 auf 1,5 % bzw. 14,7 auf 37,6 %
- Absenkung des Elektrizitätsbedarfs für Kunstlicht im Feldbereich bei 700 lx von 19,7 auf 13,8 kWhel/m<sup>2</sup>/a (Reduktion 30%).
- Eine angenommene Hüllsituation Fensterfront + Membran mit  $\nu$  des Daches von 3 % liefert eine sehr hohe DA/CDA von 27/ 70 % mit geringem Elektrizitätsbedarfs von 8,2 kWhel/m<sup>2</sup>/a. Ohne Maßnahmen beginnt das Blendungsrisiko bei diesem Wert eine Rolle zu spielen, besonders nahe der Glasfassade auf der Empore.

Zentrale Randbedingungen der Simulationen zur Quantifizierung der Einsparungen waren eine Nutzungszeit von 8 bis 18 Uhr über 365 Tage im Jahr. Durch die geringen Nachtanteile ist diese Annahme zum Vorteil der Tageslichtnutzung. Belegungszeiten mit mehr Nachtanteil verringern den relativen Anteil der Einsparung. Der flächenspezifische Absolutbetrag der Einsparung kann bei Abskalierung mit den jeweiligen Jahresnutzungstagen gegebenenfalls auf andere Gebäude übertragen werden.

Verschiedene Jahres-Kennwerte der Tageslichtnutzung sind in Abbildung C44 für das realisierte Gebäude dargestellt. Durch die lokale Geometrie mit der Empore bildet sich eine besonders inhomogene Verteilung mit einer dunklen Kante unter der Empore heraus.

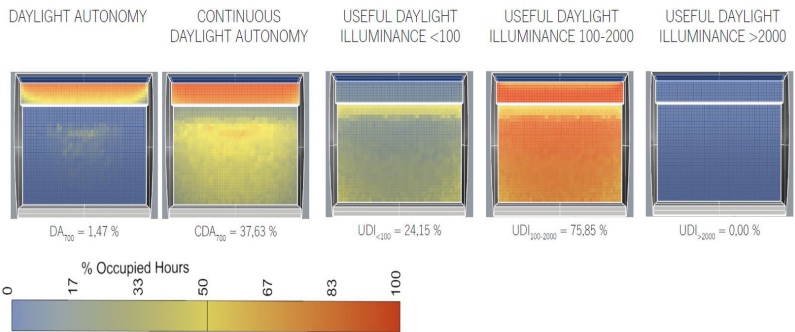


Abbildung C43: Räumliche Verteilung der Tageslichtindikatoren DA, CDA und UDI der ausgeführten Sporthalle in Fürth

## C.5 Ausschreibung und Vergabe (Lph. 6 und 7)

In diesem Abschnitt werden Informationen zu den Themen Ausschreibung und Vergabe gegeben, jedoch keine spezifischen Angaben zu konkreten gesetzlicher Vorgaben oder Regelwerken, wie die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) oder anderes.

### Funktionale oder gewerkeweise Ausschreibung und Ausschreibungsinhalt

Bei einer gewerkeweisen Ausschreibung und Vergabe kann Tragwerk (je nach Situation ganz oder in Teilen) und Membranbau – d.h. die abschließende Membranhülle – in einer Ausschreibung zusammengefasst und vergeben werden. Zwischen diesen beiden Gewerken besteht eine große Abhängigkeit, was eine getrennte Ausschreibung nur bedingt sinnvoll macht und den Koordinationsaufwand erhöhen würde (zusätzliche Schnittstellen minimieren).

Ein anderer Weg ist die Vergabe von Bau- oder Planungs- und Bauleistungen über eine **funktionale Ausschreibung**. Hier werden neben der funktionalen Beschreibung (Leistungsprogramm) nur Leitdetails erstellt und an einen Generalunternehmer oder -übernehmer vergeben. Für öffentliche Auftraggeber ist dies sicher eher ein Ausnahmefall. Dies empfiehlt sich aufgrund der Tatsache, dass viele Planungsbüros auf dem Gebiet des Membranbaus vergleichsweise unerfahren sind. Dadurch besteht ein erhöhtes Risiko und es kann unter Umständen zu einem größeren Koordinationsaufwand kommen, als wenn erfahrene Firmen für die Ausführungsplanung zuständig sind. Dies gibt zudem eine höhere Kostensicherheit. Durch die Verlagerung von Planungsleistung auf Gewinnanteilen auf die Auftragnehmerseite entstehen zwar ggf. höhere Kosten, die aber evtl. durch einen Anreiz zu wirtschaftlicheren Lösungen kompensiert werden können. Von besonderer Bedeutung ist für dieses Verfahren, die Qualitätsstandards ausreichend abzusichern, auch im Hinblick auf die gestalterischen Absichten. Eine Übersicht zu den Unterlagen beider Ausschreibungsvarianten ist in Tabelle C12 dargestellt.



Tabelle C12: Übersicht der Ausschreibungsvarianten. Quelle: Voigt, S. Hochschule Bochum

Gewerkeweise Leistungsbeschreibung	Funktionale Leistungsbeschreibung
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vertragsbedingungen</li><li>• Allgemeine Baubeschreibung</li><li>• Leistungsverzeichnis</li><li>• Koordinations- oder Feinterminplan</li><li>• zeichnerische Darstellung</li><li>• Gutachten (gewerkespezifisch)</li><li>• ggfls. weiteres</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vertragsbedingungen</li><li>• Leistungsprogramm</li><li>• Raumbuch</li><li>• ggf. Schnittstellenliste</li><li>• Rahmen- oder Grobterminplan</li><li>• zeichnerische Darstellungen (Ergebnisse der LPH 2, 3, 4 oder 5, Detailplanung oder Leitdetails)</li><li>• Gutachten</li><li>• stat. Berechnungen</li><li>• ggfls. weiteres</li></ul>

Wird die Detailplanung ebenfalls mitausgeschrieben, würden Planer bei dieser Ausschreibungsvariante Leitdetails, die konstruktiv gestalterischen Grundgedanken festhalten erstellen und mit beilegen. Der Grad der Ausführungsplanung kann relativ offengehalten werden, der Auftragnehmer wird zum späteren Zeitpunkt z.B. Anschlusspunkte erstellen und in Abstimmung vorschlagen.

Neben der Bauausführung kann auch das Einholen der Zustimmung im Einzelfall Ausschreibungsbestandteil sein, wonach der Auftragnehmer für die rechtzeitige Einholung zuständig wäre. Der Zeitpuffer für diese Einholung müsste also nach Vergabe der Leistung und vor Bauausführung eingetaktet werden. Wenn allerdings bei der Ausschreibung kein herstellergenaues Membranprodukt (Regelfall bei öffentlichen Ausschreibungen) ausgeschrieben wird, steht das genaue Produkt jedoch erst nach Vergabe fest. Damit stehen auch erst dann die nötigen Nachweise zu Verfügung.

Die Teilbauleitung für das jeweilige Gewerk bzw. Bauteil sollte möglichst bei der ausführenden Firma liegen und in der Ausschreibung klar formuliert werden. Außerdem kann für die Zeit der Nutzung die Wartung der Bauteile mit ausgeschrieben werden (Servicevertrag).

### **Schnittstellen und Zuständigkeiten während der Ausschreibung**

Architekt, Tragwerksplaner, Bauphysiker, Brandschutzbeauftragter, Elektroplaner, Haustechnikplaner und nicht zuletzt auch der Bauherr sind die wesentlichen Beteiligten an einem Membranbauteil. Wie sonst auch müssen Schnittstellen und Zuständigkeiten klar geregelt sein.

Im Falle einer Leistungsbeschreibung sollte sich, wie bereits erwähnt inhaltlich in den Teil des Tragwerks (KG 361 Dachkonstruktion), der Bedachung - also die Membrandachhaut - und der Dachentwässerung (KG 363 Dachbelege) gliedern [KG=Kostengruppen nach (DIN 276-1:12-2008, S. 15)].

Die Leistungsbeschreibung des Tragwerks erfolgt durch das zuständige Tragwerkplanungsbüro. Die Ausschreibungsgrundlagen für die Bedachung und Entwässerung kann durch das Architekturbüro oder in Teilen durch Fachplaner erfolgen, da Informationen von allen Beteiligten benötigt werden. Nicht auf Anhieb klare Zuständigkeiten bestehen bspw. für die Bauteile Dachlüfter, Sekuranten, Abhängungen für Elektroinstallationen, Personenfangnetze o.ä..

### **Allgemeine Hinweise für den Ausschreibungstext**

Im Folgenden wird der Ausschreibungstext für den Membranbau etwas näher beleuchtet, da dieser wesentlich im Betrachtungswinkel des Themas steht. Die Leistungsbeschreibung für das Membranprodukt selbst sollte mindestens folgende Informationen enthalten, hängt jedoch auch davon ab, wie die technischen Vorbemerkungen ausgestaltet werden:

Im Fließtext: Einbauort/-lage (Bewitterung, usw.), Material und deren Eigenschaften, konstruktionsweise, Befestigungsweise (inklusive aller dafür benötigten Teile und Arbeiten, z.B. auch Zuschnitte und Schweißarbeiten), Abschlussgestaltung, ggfls. Anschluss an Fassaden beschreiben o.ä. und Entwässerung (wenn relevant).

Entwässerung (wenn relevant).

In einer Übersicht kann zusätzlich zusammenfassend werden, unter Angabe der geltenden Norm:

Trägergewebe:	z.B. Glasfaserstoff EC ¾
Beschichtungsart:	z.B. PTFE
Typklasse:	Typ III
Oberflächenbehandlung:	z.B. PVDF-Lackierung
Lichttransmission:	z.B. min. 10 %
Flächengewicht:	z.B. 1.050 g /m <sup>2</sup>
Brandverhalten:	z.B. B1, nicht brennend abtropfend B-s1, d0
Fabrikat:	„Beispiel nennen“ oder gleichwertig
Angebotenes Fabrikat:	(vom Bieter anzugeben)
Mengenangabe:	i.R. in m <sup>2</sup>

Baugerüste, speziell für den Einbau der Membran, können mitausgeschrieben werden oder vom Gerüstbauer erstellt werden.

Bei der membranspezifischen Detailplanung muss außerdem darauf geachtet werden, dass keine herstellereigentlichen Profile oder ähnliches verwendet werden, da bei öffentlichen Auftraggebern die anschließende Ausschreibung und Vergabe produktneutral sein muss.

Nachfolgend werden beispielhaft mögliche Hinweise zur Aufnahme in die Vorbemerkungen der Membranausschreibung aufgeführt, ohne jegliche Gewährleistung, auch in Bezug auf Vollständigkeit.

- **Nachweis über die Eignung des Auftragnehmers (AN):**  
Als Anlage können die Material-/ Konfektionszulassungen seitens AN angefragt werden.
- **Anlagen zur Angebotsstellung:** Als Anlage können die Bieter aufgefordert werden, eine Montagebeschreibung des zu errichtenden Bauteils beizulegen, wodurch der mögliche Bauablauf deutlich wird und der Bauzeitenplan präzisiert werden kann. Weiterhin kann über angeforderte Materialproben (z.B. in A4-Größe) Klarheit über die Materialqualität auf Auftraggeber-Seite geschaffen werden. Bezüglich der Materialqualität kann auch aufgenommen werden, dass es nicht zu unterschiedlichen Verfärbungen in den Membranbahnen kommen darf. Außerdem sollten Prüfzeugnisse oder Zulassungen der Materialien mit aktueller Gültigkeit angefordert werden, die wiederum von Planungsbüro sorgsam gesichtet werden müssen.
- **Vereinbarungen über geforderte Unterlagen und Werkstattpläne (z. T. Ausführungsplanung) während der Planung:**  
Klarheit über benötigte Unterlagen; Welche Unterlagen/ Planungen müssen vom AN erstellt werden? Mögliche Unterlagen sind bspw. Werkstatt-/ Montagepläne, statische Berechnungen, Unterlagen zur Herstellung und zum Transport oder die Zustimmung im Einzelfall. Die Werkstattplanung der Membrane umfasst dabei die Formfindung, den Zuschnitt, die statischen Detailnachweise und die Werkstattzeichnungen an sich.  
Definition des Zeitpunkts der Vorlegung; Wann soll die Pla

nung abgeschlossen sein? Abhängig vom Bauzeitenplan sollte klar sein, wann die Planung abgeschlossen sein muss und wann der AN die benötigten Unterlagen vorzulegen hat, damit die darunter gegliederten Planungsschritte eingetaktet werden können. Der Abstimmungsprozess sollte im Vorfeld stattgefunden haben.

### **Service und Wartungsverträge**

Angebote und Verträge über die Wartung der Membranbauteile und seine Komponenten können bereits in der Ausschreibung mit angehängt und bei Vergabe vereinbart werden. Siehe auch Kapitel C.6.

### **Materialalterung**

Bei geeigneten zur Verfügung stehen Flächen kann die Errichtung einer kleinen Testfläche für das verwendete Membranmaterial in Erwägung gezogen werden. Die frei bewitterte und leicht zugängliche Materialprobe kann die Beurteilung auf zukünftige Materialalterung erleichtern, ohne dass für Prüfungen der verbliebenen Materialfestigkeiten das eigentliche Bauwerk angefasst werden muss. Langfristig ist dies ein interessantes und wichtiges Thema im Membranbau, vor allem für vorgespannte Membrankonstruktionen.

## **Zusammenfassung**

Tabelle C13: Zusammenfassung der Lph. 6 und 7

- Funktionale oder gewerkeweise Ausschreibung möglich
- Klare Schnittstellen für die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen festlegen
- Aktuell gültige Nachweise und Zulassungen mit dem Angebot anfordern.

Infobox - Leistungsphase 6 und 7

## C.6 Bauausführung und Objektbetreuung (Lph. 8-9)

### **Anforderungen bei der Bauausführung – Ausführungsqualität**

Vor Beginn der Fertigung der Membran sollten vom Auftragnehmer alle technischen Angaben auf Vollständigkeit, Stand der Genehmigungen und auf Freigabe zur Fertigung geprüft werden. Ebenfalls sollte der Konfektionär und der planende Ingenieur/Architekten vor Beginn der Fertigung Rücksprache halten, um Übereinstimmung mit evtl. Änderungen zu erhalten. Der Konfektionär unterliegt bei Fertigung einer werkseitigen Güteüberwachung. Mit dieser Qualitätsprüfung weist der Konfektionär nach, dass er die geforderten Werte erreicht und kontinuierlich eingehalten hat. Der Konfektionär hat die in den Plänen angegebenen Massen mit dem Prüfprotokoll der Endkontrolle zu belegen. Dieses Protokoll sollte vor dem Versand dem planenden Ingenieur/Architekt und dem Prüfingenieur vorgelegt werden, der dies zu prüfen hat.

Bei der Montage der Membran besteht außerdem ein gewisses Risiko bezgl. der Überlastung der Membran. Wird diese zu stark vorgespannt, kann es zu einer Überanspruchung kommen und damit einer Schädigung des Materials, was eine deutlich schnellere Alterung zur Folge haben kann (Überdehnung der Gewebe, Beschädigung der Beschichtung mit Mikrorissbildung, höher Feuchteintrag in die Gewebestruktur, ggf. höhere UV-Belastung usw.). Aus diesem Grund ist für die Bauleitung Membranbau-Erfahrung von Bedeutung.

### **Anforderungen bei der Bauausführung – Zeitplanung und Wetter**

Der Einbau von textilen Membranen kann auch während kalter Jahreszeiten erfolgen, allerdings kann dieser nicht ganz abge



geschlossen werden, da temperaturbedingt die Membran nicht abschließend voll gespannt werden kann. Mit Verlängerungsgurten kann die Membran jedoch abgespannt und in Etappen nachgespannt werden. D.h., es entsteht entlang der Spannachsen während dieser Zeit ein offener Spalt, der keine dichte Hülle ermöglicht, aber ggf. mit einem Überdeckungslappen abgedeckt werden kann, siehe Abbildung C45. Andere Gewerke im Innenausbau könnten aus diesem Grund Bedenken haben und erst die Arbeiten anschließen, wenn eine vollständig geschlossene Hülle besteht, d.h. auch die Seitenbereiche des Dachzwischenraums. Am besten werden Membran ab April eingebaut und verspannt.



Abbildung C44: Sporthalle Fürth Spannung der Membran mit Gurten und provisorischer Überdeckklappen

### **Anforderungen bei der Bauausführung – Sicherheit am Bau**

In der Regel werden die zusammengefalteten Membranflächen in Teilen auf Position gebracht und dann zu den Tragachsen hin abgespannt. In diesem Bereich kann z.B. ein Personenfangnetz montiert und die Monteure über zusätzliche Seile gesichert werden. Etappenweise wird die Montage dann fortgeführt. Ist die Montage abgeschlossen, ist die fertige Membran mit entsprechend geeignetem Schuhwerk zu Montage- und Wartungszwecke begehbar.

## Wartung im Betrieb

Die ausführende Firma kann mit der Wartung der Flächen über einen gewissen Zeitraum beauftragt werden, was bereits in den Ausschreibungsunterlagen mit vorgesehen werden kann (Wartungs- /Servicevertrag).

Eine Wartung sollte mindestens einmal im Jahr erfolgen und nach stärkeren Gewittern oder bei Jahreswechsel. Die Wartungsintervalle können allerdings je nach Hersteller variieren. Dabei handelt es sich eher um eine Inspektion, bei der Fehlstellen z.B. an der Membranhaut oder Schäden bspw. durch Feuchte lokalisiert und ggfls. repariert werden, um die Lebensdauer und Funktionstüchtigkeit langfristig zu gewährleisten. Es sollte ebenfalls Ausschau nach größerem Befall von Insekten, oder gar Vögeln gehalten werden.

Alle Flächen sollten daher zugänglich sein und Möglichkeiten zur Personensicherung bieten. Unter Umständen sind dafür gesonderte Einbauten nötig.

Bei pneumatische Konstruktionen müssen zusätzlich die Komponenten für die Lufthaltung gewartet und bspw. Luftfilter ausgetauscht werden. Damit kein Schaden entsteht, muss die Lufthaltung zudem überwacht werden. Dies kann entweder das Facility Management übernehmen oder über eine Fernüberwachung erfolgen. Alle Wartungsgänge und Reparaturmaßnahmen sollten in einem Wartungsbuch dokumentiert werden. Am Ende der Bauausführung sollte eine Art Betriebsanleitung an den Bauherren übergeben werden, worin folgende Informationen wiedergegeben werden:

- Wartungsflächen/-stellen,
- Zugänglichkeit und Absicherung,
- Reinigungsmöglichkeiten,
- Produktdatenblättern und Prüfzeugnissen,
- Wartungsintensive Stellen,
- Wartungsintervalle,
- Werkverträge
- Nutzeraufklärung (z.B. „Begehung der Membranfläche möglichst vermeiden, wenn nicht vermeidbar nur mit entsprechendem Schuhwerk und Bekleidung.“)
- detaillierte Verfahrensanweisung bei Notfällen und Schäden am Dachsystem, z.B. durch Sturm o.ä. (Notfallstrategie) und
- Angaben zur Mess-/Regeltechnik, wenn vorhanden.

## Reinigung

Über die Jahre hinweg sammelt sich auf der Oberseite der Außenmembran Schmutz an, vor allem an Stellen, die nicht regelmäßig von Niederschlägen (Regen und v.a. Schnee) gereinigt werden. Daher sollten vor allem transluzente Aufbauten ggf. zusätzlich gereinigt werden, da sich ansonsten der Lichttransmissionsgrad

verringert, siehe auch C.4.3.4 Tageslichtversorgung. Ein bestimmtes Intervall muss dabei nicht eingehalten werden, eher nach Erfordernis.

Staubanfällig sind wie bei anderen Konstruktionsarten auch alle Zwischenräume. Staub kann sich auf der Unterspannbahn absetzen und ebenfalls die Lichttransmission herabsetzen. Da dieser Aufbau eher nicht begehbar sein wird und eine anderweitige Zugänglichkeit oft auch sonst kaum zu realisieren ist, kann eine Reinigung dieser Bereiche erheblich erschwert sein. Hier ist ggf. eine temporäre und lokale Demontage erforderlich, evtl. auch ein Austausch in großen Zeitintervallen.

### **Zusammenfassung**

Tabelle C14: Zusammenfassung der Lph. 8 und 9

- Auf die Ausführungsqualität achten, Montage kompetent überwachen
- Witterungsabhängig
- Gewährleistung der Sicherheit (Fangnetz oder Sekuranten usw.)
- Übergabe Betriebsanleitung und Wartungsbuch

Infobox - Leistungsphase 8 und 9



## D. Wirtschaftlichkeit

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist stark vom Einzelfall und zahlreichen Aspekten abhängig, z.B.:

- Nutzungsanforderungen
- Lage, Standort
- Form und Materialwahl
- Spannweiten
- Möglicher Vorfertigungsgrad
- Aufwand im Detail, v.a. An- und Abschlüsse
- Montagebedingungen und –aufwand usw.

Diverse Aspekte entziehen sich auch einer direkten und einfachen finanziellen Bewertung (Mehrwert guter Lichtverhältnisse, hohe Gestaltqualität usw.).

Prinzipiell kann aber zwischen verschiedenen benötigten Aufwendungen je nach Phase unterschieden werden.

### **Entstehende Kosten in der Planungsphase (Planungskosten)**

In dieser Phase stellt sich die Frage, ob sich durch die Wahl einer Membrankonstruktion Mehrkosten in der Planung gegenüber anderer Konstruktionsarten ergeben. Grundsätzlich entsteht ein höherer planungstechnischer Aufwand, da es sich um Sonder-

konstruktionen handelt, die ggfls. eine 3D-Planung erfordern und Membranen bislang auch kein geregelttes Bauprodukt sind. Hinzu kommt, dass meist eine Einarbeitung seitens der Planer nötig wird, da überwiegend keine weitreichenden Kenntnisse über die Bauweise bestehen. Ggf. sind neben dem bereits eingebundenen Tragwerksplaner zusätzliche Membrankompetenzen hinzugezogen werden müssen.

Durch den erhöhten konstruktiven Aufwand nimmt entsprechend auch die ingenieurstechnische Planung zu. Allerdings werden Membranen bedingt durch ihre besonderen Materialeigenschaften große Spannweiten realisieren zu können, oft in größeren Hallenprojekten eingesetzt, bei denen der Ingenieursaufwand generell eher höher ist. Grundsätzlich ist festzustellen, dass der wirtschaftliche Vorteil von Membrankonstruktionen mit der Fläche zunimmt, da der Ingenieur-technische Aufwand nicht proportional zur Membranfläche ansteigt.

### **Entstehende Kosten in der Ausführungsphase (Investitionskosten)**

In dieser Phase stellt sich die Frage nach der Höhe Material- und Montagekosten im Vergleich zu anderen Konstruktionsarten. Hier lässt sich an dieser Stelle seriös kein allgemeingültiger Kostenvergleich oder -rahmen angeben, da die Kosten je nach Region, Abnahmemenge, Konstruktionsaufwand und Marktlage stark variieren können. Schwierig ist es auch, vorzeitig Bauherren über zuverlässige Baupreisunterschiede in den Konstruktionsarten zu informieren, ohne weit in die Planung einzusteigen. Die Kostenbetrachtung darf sich jedenfalls nicht auf einen Vergleich der verschiedenen Materialoptionen beschränken, da der m<sup>2</sup>-Preis für das Material für den flächenbezogenen Gesamtpreis am Ende

eher nachrangige Bedeutung hat (außer, es geht um sehr große Flächen).

### **Abwägung zu anderen Bauarten**

Die Entscheidung, ob ein Membranbau umgesetzt werden soll, liegt vor allem beim Bauherrn, der von der Idee des Bauwerkes begeistert oder mindestens überzeugt sein muss. Er kann aufgrund der Außenwirkung des vergleichsweise ungewöhnlichen Gebäudes zusätzliche Aufmerksamkeit generieren und so für seine Stadt oder Firma werben. Zeitgleich kann ein neues außergewöhnliches Gebäude eine Idee – Offenheit, Großzügigkeit und Transparenz – transportieren und zusätzlich identitätsstiftend sein.

### **Entstehende Kosten im Betrieb**

Im Betrieb spielen Wartungs- und Austauschintervalle in den Kosten eine Rolle. Wie in Kapitel C.6 genauer aufgeführt, sollte mindestens einmal im Jahr eine Wartung erfolgen, oder nach Herstellerangaben. Die Kosten dazu können während der Ausschreibung und Vergabe abgefragt werden. Wird außer den oberhalb des Daches meist verwendeten Sekuraten ggfls. auch ein Wartungssteg nötig oder ähnliches an Fassaden, ergeben sich hierfür zusätzliche einmalige Investitionskosten. Die Lebensdauer liegt je nach Membranmaterial zwischen 15 bis deutlich über 25 Jahren (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 102). Da eine lokale Reparatur der Membran möglich ist, wird bei einzelnen Schadstellen unabhängig von der Ursache nicht zwingend ein Austausch ganzer Membranfelder erforderlich. Dies gilt für den Einsatz von beschichteten Geweben wie auch für Folien.



Außerdem kommen bei pneumatischen Kissenkonstruktionen Betriebs- und Wartungskosten für die Lufthaltung hinzu. Da zur Druckhaltung gefilterte und ggfls. auch getrocknete Luft erforderlich ist, stehen auch hier regelmäßige Wartungen an, bei denen auch bspw. Filter ausgetauscht werden müssen. Nach Knippers et al. (2010) wird der jährliche Energiebedarf für die Lufthaltung auf ca. 3-20 kWh/m<sup>2</sup>a Kissenfläche abgeschätzt (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010). Diese große Bandbreite erklärt sich durch sehr unterschiedliche technische Umsetzungsmöglichkeiten, die auch mit verschiedenen Investitionen verbunden sind. Sollte die Lufthaltung fernüberwacht werden und nicht intern geregelt werden, müssen auch dafür Kosten vorgesehen werden.

## E. Literaturverzeichnis

- TAG Composites & Carpets GmbH. (2008). Verbundprojekt Energieoptimiertes Bauen, F&E: Entwicklung von niedrigemittierenden Beschichtungen in der textilen Architektur (Low-e Gewebe). Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Laufzeit 08/2005-07/2008.
- Appel, S. (2015). Brandschutz im Detail, Band 4 - Dächer. Köln: FeuerTrutz Network GmbH.
- Cremers, J. (2008). Transluzente Hochleistungsdämmung aus Silika-Aerogelen für Membranen. DETAIL, Zeitschrift für Architektur + Baudetail(Heft 5-2008), S. 524-530.
- Deutsches Institut für Bautechnik (a). (2015). Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C. Ausgabe 2015/02. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik, vertreten durch den Präsidenten Gerhard Breitschaft.
- Deutsches Institut für Bautechnik (b). (2017). Bauregellisten / Technische Baubestimmungen. Von <https://www.dibt.de/de/Geschaeftsfelder/BRL-TB.html> abgerufen
- Deutsches Institut für Bautechnik (c). (2016). Zulassungsbereiche (abZ). Von [www.dibt.de](http://www.dibt.de): <https://www.dibt.de/de/Service/abZ-Zulassungsbereiche.html> abgerufen
- DIN 276-1:12-2008. (kein Datum). Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH.
- EnEV. (2016). Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013.
- Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V. (2006). Produkte

- und Systeme. Eine Übersicht. Informationsmappe 1. Gundelfingen.
- FMESG. (2015-2018). Funktionalisierte Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden, Teilvorhaben ‚Bauphysikalische und architektonische Konzepte‘. Durchgeführt von der Hochschule für Technik Stuttgart, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Förderprogramm Energieeffizienz im Gebäudebereich und Energieoptimiertes Bauen.
- Foster, B. (2004). Planung und Entwicklung von Details. In K.-M. Koch, Bauen mit Membranen. Der innovative Werkstoff in der Architektur. München u.a. : Prestel Verlag.
- Glas Trösch Holding AG (Hrsg.). (2006). Glas und Praxis. Kompetentes Bauen und Konstruieren mit Glas. Von <https://www.glastroesch.ch/fileadmin/content/ch/pdf/glasundpraxis.pdf> abgerufen
- Grunwald, G. (2007). Mechanisch vorgespannte, doppellagige Membranmodule in ihrer Anwendung als zweite Gebäudehülle. Dissertation an der Technischen Universität Berlin.
- Haase, W., Klaus, T., Knubben, E., Mielert, F., Neuhäuser, S., Schmid, F., & Sobek, W. (2011). Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Haase, W., Klaus, T., Knubben, E., Mielert, F., Neuhäuser, S., Schmid, F., & Sobek, W. (2011). Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen. Mit Anl. 1. Recherchebericht: Beispiele zur konstruktiven Ausführung mehrlagiger gedämmter Membranbauwerken. Anl. 2. Dokumentation: Simulationstool für mehrlagige Aufbauten.
- Haase, W., Mühlberger, J., Schmid, F., & Sobek, W. (2011). Beispiele zur konstruktiven Ausführung. Recherchebericht zum Forschungsbericht „Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen“. Univ. Stuttgart, Institut für Leichtbau, Entwerfen

- und Konstruieren -ILEK-, gefördert vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung -BBR-, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung -BBSR-, Forschungsinitiative Zukunft Bau, Bonn. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. Von <https://www.baufach-information.de/literatur.jsp?bu=2011109001183> abgerufen
- Habermann, K. (2004). Auswahl internationaler Membranbauten. In K.-M. (. Koch, Bauen mit Membranen. Der onnovative Werkstoff in der Architektur (S. 138-243). München u.a.: Prestel Verlag.
- Habermann, K. J. (2004). Auswahl internationaler Membranbauten. In K.-M. Koch, Bauen mit Membranen (S. 138-243). München u.a.: Prestel Verlag.
- Hausladen, G. (2001). Innovative Gebäude-, Technik- und Energie konzepte . München: Oldenburg Industrieverlag GmbH.
- Hightex GmbH. (2018). Hightex; Membranen . Von [www.hightex-membrane.de](http://www.hightex-membrane.de): <https://www.hightex-membrane.de/de/materialien/membranen/> abgerufen
- Hoppe, D. (2007). Freigespannte textile Membrankonstruktionen : geschichtliche, materialtechnische, konstruktive und gegenwärtige Entwicklungen. Wien: Böhlau Verlag.
- J.H. Ziegler GmbH. (2018). Hocheffizienter Dämmstoff – HACO bond®. Von [www.ziegler.eu](http://www.ziegler.eu): <https://www.ziegler.eu/produkte/hacobondr-polyestervlies-daemmstoff/> abgerufen
- Knippers, J., Cremers, J., Gabler, M., & Lienhard, J. (2010). Atlas Kunststoffe + Membranen. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH&Co.KG.
- Landesstelle für Bautechnik. (2012). Die Zustimmung im Einzelfall. Tübingen : Baden-Württemberg, Regierungspräsidium Tübingen, Landesstelle für Bautechnik.

- Lang, W., Rampp, Thomas, & Ebert, H.-P. (2014). The Energy Efficiency Center of the Center for Applied Energy Research Würzburg, Germany. 30th INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE, 16-18 December 2014, CEPT University, Ahmedabad (S. 7). Ahmedabad, Indien: CEPT UNIVERSITY PRESS.
- MESG. (2012). Energieoptimiertes Bauen - Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden (MESG). Dokumentation des Forschungsprojektes. Bearbeitet von Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., Hochschule für Technik Stuttgart, Hochschule für Angewandte Wissenschaften München, Lang Hugger Rampp GmbH Architekten, Hightex GmbH, Roto Frank Bauelemente GmbH, Dörken GmbH & Co.KG: gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- Meyer, F. (Projektinfo 05/09 2009). Low-e Beschichtungen: Softe Hülle für hohe Ansprüche. BINE Informationsdienst, S. 3.
- Motro, R. (. (2013). Flexible Verbundmaterialien in Architektur, Bauwesen und Innenarchitektur. Basel: Birkhäuser.
- Pudenz, J. (2004). Membranmaterialien. In K.-M. Koch, Bauen mit Membranen. Der innovative Werkstoff in der Architektur. München u.a.: Prestel Verlag .
- Regierungspräsidium Baden-Württemberg. (2016). Zustimmung im Einzelfall (ZiE) und vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (vBg). Von [www.rp.baden-wuerttemberg.de](http://www.rp.baden-wuerttemberg.de): <https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpt/Abt2/Ref27/Seiten/Zustimmung-im-Einzelfall.aspx> abgerufen
- Schmid, Gerd (a). (2004). Bauen mit Membranen, Teil 1: Membran- und Folienstoffe. Architektur(Heft 3), S. 58-63.
- Schmid, Gerd (b). (2004). Bauen mit Membranen, Teil 2: Wärme dämmung von Membranen und Folienkonstruktionen.

Architektur(Heft 4), S. 62-66.

- Schneider, U., Franssen, J., & Lebeda, C. (2008). Baulicher Brandschutz. Berlin: Bauwerk Verlag GmbH.
- Seidel, M. (2008). Textile Hüllen - Bauen mit biegeweichen Tragelementen. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften.
- TAG Composites & Carpets. (2009). Low-e Gewebe – softe Hülle für hohe Ansprüche. Pressemitteilung, Techtexsil, Frankfurt, 16. – 18-06.2009.
- Wagner, R. (2005). Kapitel 7b: Seil- und Membrantragwerke. In K. Holschemacher, Entwurfs- und Konstruktionstabellen für Architekten. Berlin: Bauwerk Verlag.
- Wunderlich, D. (2015). Frei Otto, 1925 - 2015 / Biografie. Von [www.dieterwunderlich.de](http://www.dieterwunderlich.de): [http://www.dieterwunderlich.de/Frei\\_Otto.htm](http://www.dieterwunderlich.de/Frei_Otto.htm) abgerufen

## F. Abbildungsverzeichnis

Nach weitgehenden Bemühungen könnten nicht alle Urheber der Abbildungen kontaktiert und um Zustimmung befragt werden. Da es sich jedoch um eine nicht kommerzielle Nutzung handelt und es ein mit Bundesmitteln gefördertes Projekt handelt, haben wir von einer Platzierung des Bildmaterials nicht abgesehen. Bitte kontaktieren Sie die HFT Stuttgart bei Problemstellungen.

- Abbildung B 1: Sporthalle Fürth, 2017. Bildquelle: HFT Stuttgart/D. Gürlich
- Abbildung B 2: Schematischer Querschnitt durch den Dachaufbau des Hauptdaches. Bildquelle: [www.ediundsepp.de](http://www.ediundsepp.de); ©fbta (KIT) nach Lang Hugger Rampp GmbH
- Abbildung B 3: Außenperspektive ZAE Bayern. Bildquelle: Website EnOB, Lang Hugger Rampp GmbH
- Abbildung B 4: Membrankissen des 1-geschossigen Gebäudeteils (Technikum). Bildquelle: Website [energy-efficiency-center.de](http://energy-efficiency-center.de), © ZAE Bayern e.V.
- Abbildung B 5: Untersicht der transluzenten Decke im Technikum. Bildquelle: HFT Stuttgart/H. Marx
- Abbildung B 6: Transparente Firstbögen im Hauptdach. Bildquelle: Website EnOB, © ZAE Bayern
- Abbildung B 7: Dachzwischenraum ZAE Bayern. Bildquelle: J. Cremers
- Abbildung B 8: PTFE/Glas mit Aerogel-Vlies als Zwischenlage, Produkt ThermalWrap der Fa. Cabot Corporation
- Abbildung B 9: Dedmon Athletic Center Radford. (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 221), Originalquelle Birdair, Inc. A Taiyo Kogyo Company, Williamsville.
- Abbildung B 10: Dedmon Athletic Center Radford. Bildquelle: Website Birdair

- Abbildung B 11: Rendering und Querschnitt eines ETFE-Kissen im Dolce Vita Tejo. Bildquelle links: HFT Stuttgart/H. Marx. Bildquelle rechts: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 256)
- Abbildung B 12: Innenraum Dolce Vita Tejo. Bildquelle: Ferndando Guerra FG+SG Architecture by PROMONTORIO ARCHITECTS
- Abbildung B 13: Innenraum Dolce Vita Tejo, tags. Bildquelle: Ferndando Guerra FG+SG Architecture by PROMONTORIO ARCHITECTS
- Abbildung B 14: Innenraum Dolce Vita Tejo, nachts. Bildquelle: Ferndando Guerra FG+SG Architecture by PROMONTORIO ARCHITECTS
- Abbildung B 15: Konstruktionsdetail Freizeitzentrum in Neydens. Bildquelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 258-259); Architekten: L35, Barcelona – Paris; Ganz & Muller Architectes Associés, Genf GM2A Architectes, Paris;  
Tragwerksplanung: Charpente Concept, Genf
- Abbildung B 16: Freizeitzentrum in Neydens. Bildquelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 258-259); Foto: Nicolas Pinzon; Architekten: L35, Barcelona – Paris; Ganz & Muller Architectes Associés, Genf GM2A Architectes, Paris  
Tragwerksplanung: Charpente Concept, Genf
- Abbildung B 17: Freizeitzentrum in Neydens. Bildquelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 258-259); Foto: Nicolas Pinzon; Architekten: L35, Barcelona – Paris; Ganz & Muller Architectes Associés, Genf GM2A Architectes, Paris  
Tragwerksplanung: Charpente Concept, Genf



Abbildung B 18: Andreas-Peter-und-Paul-Kirche, außen. Bildquelle:

Photography: R. Hoekstra

Client: Andreas, Petrus, Paulus Parochie

Architects: Mari Baauw and René Olivier for Royal Haskoning.

Structural engineer: Royal Haskoning

Membrane engineer: Tentech Supplier steel structure De Klerk BV

Supplier membrane: Buitink Technology

Abbildung B 19: Andreas-Peter-und-Paul-Kirche, Innenraum.

Quelle: Photography: R. Hoekstra

Client: Andreas, Petrus, Paulus Parochie

Architects: Mari Baauw and René Olivier for Royal Haskoning. Structural engineer: Royal Haskoning

Membrane engineer: Tentech Supplier steel structure De Klerk BV

Supplier membrane: Buitink Technology

Abbildung B 20: Dachaufbau Olympia-Schwimmhalle.

Bildquelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 219); Vertikalschnitt Membrandecke,

Olympiaschwimmhalle, München (D) Sanierung

2006; Auer + Weber + Assoziierte,

Behnisch Architekten mit Schlaich Bergermann und Partner (Tragwerksplanung)

Abbildung B 21: Olympia-Schwimmhalle außen.

Bildquelle: J. Cremers

Abbildung B 22: Olympia-Schwimmhalle innen.

Bildquelle: J. Cremers

Abbildung B 23: Olympia-Schwimmhalle, Trichtermanschetten.

Bildquelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011)

- Abbildung B 24: Olympia-Schwimmhalle, Befestigungspunkte mittels sog. „Kleeblättern“, Ansicht und Schnitt. Bildquelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011)
- Abbildung B 25: Aufnahme des Befestigungspunkt mittels sog. „Kleeblättern“. Bildquelle: J. Cremers
- Abbildung B 26: Schematischer Schnitt TOM Dortmund. Bildquelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011, S. 25). Originalquelle: formTL GmbH
- Abbildung B 27: TOM Dortmund, alte Fotografie außen. Bildquelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011), Originalquelle: formTL GmbH
- Abbildung B 28: TOM Dortmund, alte Fotografie innen. Bildquelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011), Originalquelle: formTL GmbH
- Abbildung B 29: TOM Dortmund, Membranaufbau Bildquelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011), Originalquelle: formTL GmbH
- Abbildung B 30: TOM Dortmund, Dachranddetail mit Entwässerungskanal. Bildquelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011), Originalquelle: formTL GmbH
- Abbildung B 31: TOM Dortmund, Querschnitt Membranaufbau mit Lüfter des Zwischenraumes. Bildquelle: (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011), Originalquelle: formTL GmbH
- Abbildung B 32: Querschnitt durch den Dachaufbau des Kulturzentrums in Puchheim. Bildquelle: (Habermann K. J., 2004)
- Abbildung B 33: Kulturzentrums Puchheim. Bildquelle: J. Cremers
- Abbildung B 34: Kulturzentrums Puchheim, Luftperspektive. Bildquelle: Google Maps

- Abbildung B 35: Kulturzentrums Puchheim, Innenraum.  
Bildquelle: J. Cremers
- Abbildung B 36: Schematischer Schnitt durch den Pavillon mit ein-  
gezogenem Solarsegel und Umlenkmembran.  
Bildquelle: (Hausladen, 2001, S. 19)
- Abbildung B 37: BMW-Messepavillon in Frankfurt.  
Bildquelle: ILEK Institut für Leichtbau Entwerfen  
und Konstruieren, Universität Stuttgart, Bildarchiv
- Abbildung B 38: BMW-Messepavillon in Frankfurt, augenförmige  
Seilöffnung und Fassadenkissen.  
Bildquelle: ILEK Institut für Leichtbau Entwerfen  
und Konstruieren, Universität Stuttgart, Bildarchiv
- Abbildung B 39: BMW-Messepavillon in Frankfurt, schematischer  
Detailschnitt durch dem Membranaufbau mit Solar  
segel (innere Membran).  
Bildquelle: aus (Hausladen, 2001, S. 19)
- Abbildung B 40: Aufbau der Zeltüberdachung Kurklinik Masser-  
berg. Bildquelle: eigene Darstellung auf Grund-  
lage (Haase, Mühlberger, Schmid, & Sobek,  
2011, S. 42), Originalquelle: Informationen von  
formTL, Radolfzell mittels Diplomarbeit am ILEK;  
Zur Bauphysik und zur Konstruktion von mehrla-  
gigen gedämmten Membranbauwerke;  
Jörg Mühlberger, 2005
- Abbildung B 41: Kurklinik Masserberg. Bildquelle: aus (Haase,  
Mühlberger, Schmid, & Sobek, 2011, S. 38),  
Originalquelle: formTL GmbH
- Abbildung B 42: Kurklinik Masserberg, Ziehharmonika-Schürze.  
Bildquelle: aus (Haase, Mühlberger, Schmid, &  
Sobek, 2011, S. 40), Originalquelle: formTL GmbH

- Abbildung B 43: Sporthalle Fürth, Außentribüne.  
Bildquelle: Ben Van Skyhawk
- Abbildung B 44: Realisierter Lageplan Sportzentrum Fürth mit Bezirkssportanlage. Bildquelle: fab Architekten
- Abbildung B 45: Grundriss Ebene 0. Bildquelle: fab Architekten
- Abbildung B 46: Grundriss Ebene 1. Bildquelle: fab Architekten
- Abbildung B 47: Dachaufsicht. Bildquelle: fab Architekten
- Abbildung B 48: Querschnitt durch die Sporthalle und die Nebenräume. Bildquelle: fab Architekten
- Abbildung B 49: Detailschnitt durch die Fachwerkträger und den Membrandachraum. Bildquelle: fab Architekten
- Abbildung B 50: Sporthalle Fürth, Außenfassade vom Sportplatz.  
Bildquelle: Ben Van Skyhawk
- Abbildung B 51: Sporthalle Fürth, Außenfassade mit Membrandach.  
Bildquelle: Ben Van Skyhawk
- Abbildung B 52: Sporthalle Fürth, Innenraum. Bildquelle: Ben Van Skyhawk
- Abbildung B 53: Sporthalle Fürth, Innenraum. Bildquelle: Ben Van Skyhawk
- Abbildung B 54: Sporthalle Fürth, detaillierter Dachaufbau.  
Bildquelle: fab Architekten
- Abbildung C 1: Membrandach im Modell, studentisches Projekt.  
Bildquelle: HFT Stuttgart/N. Palla
- Abbildung C 2: Kulturzentrums Puchheim, seitliche Abspannungen. Bildquelle: J. Cremers
- Abbildung C 3: Angeschweißte Dornteller auf der Innenmembran, Kurklinik Masserberg. Bildquelle: FormTL GmbH
- Abbildung C 4: Antiklastische und synklastische Formen.  
Bildquelle: HFT Stuttgart/N. Palla auf Basis von formfinder
- Abbildung C 5: Tragverhalten von mechanisch vorgespannten Membranen nach (Grunwald, 2007, S. 15)

- Abbildung C 6: Gebaute Beispiele zu Formenaddition
- Abbildung C 7: Fachwerkträger mit V-Verstrebung im Dachzwischenraum. Bildquelle: HFT Stuttgart/ N. Palla
- Abbildung C 8: Außenliegendes Tragwerk; Außenaufnahme und Detailbilder, Eislaufhalle München (Ackermann und Partner, München). Bildquelle: J. Cremers
- Abbildung C 9: Statische Lastabtragung in pneumatisch vorge-spannten Kissenkonstruktionen mit Überdruck. Bildquelle: HFT Stuttgart/ N. Palla auf Grundlage (Grunwald, 2007, S. 16)
- Abbildung C 10: Innenhof Bank Bratislava. Tragwerksplanung  
Dachkonstruktion: Alfred Rein Ingenieure,  
Stuttgart. Fotos: Alfred Rein
- Abbildung C 11: Traglufthallenkonstruktion (München)  
Foto: Jan Cremers
- Abbildung C 12: Unterdruckkonstruktion, Gedenkstätte „Station Z“  
in Sachsenhausen. Bildquelle: © hg merz
- Abbildung C 13: Anforderungen und Einflüsse an ein Membranbau-  
teil. Quelle: HFT Stuttgart/N. Palla
- Abbildung C 14: Beispiel Glasfasergewebe, links PTFE-beschichtet  
und rechts silikonbeschichtet. Bildquelle: Heyer &  
Miklautsch, Universität Stuttgart
- Abbildung C 15: Festo Atriumüberdachung mit bedruckte ETFE-  
Folienkissen. Bildquelle: © Festo AG & Co. KG,  
alle Rechte vorbehalten
- Abbildung C 16: Glasfasergespinst. Quelle: Wacotech GmbH &  
Co.KG, Bielefeld (aus Knippers, Cremers, Gabler, &  
Lienhard, 2010, S. 112)
- Abbildung C 17: Aerogel-Granulat. Quelle: aus Fachverband  
Transparente Wärmedämmung e.V., 2006

- Abbildung C 18: Polyester-Dämmvlies. Bildquelle: J.H. Ziegler GmbH Fabrikstraße 2 77855 Achern-Oberachern  
Fon: +49 8741 2027-0, Mail: info@ziegler.eu  
www.ziegler.eu
- Abbildung C 19: Cellulosediazetat. Quelle: Isoflex AB (links),  
Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V.  
(rechts)
- Abbildung C 20: Kunststoffwaben. Quelle: WACOTECH GmbH &  
Co. KG, TIMax® CA
- Abbildung C 21: Wärmedurchgangskoeffizienten für verschiedene  
Membranlagen und Wärmestromrichtungen.  
Quelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard,  
2010, S. 216)
- Abbildung C 22: Umgeformte und bedruckte Folie als Mittellage  
im luftgeschützten Kissen als Sonnenschutz.  
Bildquelle: HFT Stuttgart/H. Marx & J. Cremers
- Abbildung C 23: Arten der flächigen Fügung von Membranstreifen.  
Bildquelle: (Seidel, 2008, S. 73)
- Abbildung C 24: Detail eines Klemmplattenstoß. Bildquelle: (Seidel,  
2008, S. 79)
- Abbildung C 25: Beispiele für biegeweiche und biegesteife Ränder.  
Bildquelle: (Seidel, 2008, S. 83)
- Abbildung C 26: Sporthalle Fürth, biegeweicher Randabschluss.  
Bildquelle: HFT Stuttgart/N. Palla
- Abbildung C 27: Eckdetail mit geschlossener Ecke; Überdachung in  
Marokko, studentisches Projekt an der HFT Stutt-  
gart. Bildquelle: J. Cremers
- Abbildung C 28: Eckdetail; 4-Punkt-Segel-Rimsting. Bildquelle: J.  
Cremers
- Abbildung C 29: Weiteres Eckdetail; 4-Punkt-Segel-Rimsting.  
Bildquelle: J. Cremers

- Abbildung C 30: Sporthalle Fürth Eckausbildung mit Überlappungs-  
membran. Bildquelle: HFT Stuttgart/N. Palla
- Abbildung C 31: Beispiel für einen Hochpunkt mit Rosette (links)  
und einen Tiefpunkt mit Rosette (rechts).  
Bildquelle: aus Knippers, Cremers, Gabler, &  
Lienhard, 2010, S. 210), Originalquelle Bild rechts  
Jakob Frick, Stuttgart
- Abbildung C 32: Aufgekanteter Membranrand mittels Profilteilen.  
Quelle: Koch, Klaus-Michael, Rimsting  
(aus Foster, 2004)
- Abbildung C 33: Membranrand mit Schaumstoffeinlage. Quelle:  
Rasch+Bradatsch, Leinfelden-Echterdingen aus  
(Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S.  
203)
- Abbildung C 34: Umgeschlagener Membranrand. Quelle: pro.media/  
smart design (aus Knippers, Cremers, Gabler, &  
Lienhard, 2010, S. 285)
- Abbildung C 35: Beispiel Fürth: Seilrand mit Schneefang und Drai-  
nagerohr. Quelle: Pläne Fa. Max Bögl
- Abbildung C 36: Beispiel Fürth: Seilrand mit Schneefang und Drai-  
nagerohr. Bildquelle: HFT Stuttgart/N. Palla
- Abbildung C 37: Beispiel Fürth: Membranwulst mit Drainage.  
Bildquelle: HFT Stuttgart/N. Palla
- Abbildung C 38: Beweglicher Anschluss in der Olympiaschwimm-  
halle mittels eines ETFE-Schlauchs.  
Quelle: J. Cremers
- Abbildung C 39: Abschluss des Zwischenraums der Membrankon-  
struktion in Fürth mit Lochblech (50% Öffnungsan-  
teil), innen und außenseitig. Quelle: HFT Stuttgart/  
Palla

- Abbildung C 40: Sporthalle Fürth Innenansicht der Entrauchung links und Auslassrohre im Randabschluss rechts. Bildquellen: HFT Stuttgart/N. Palla
- Abbildung C 41: Sporthalle Fürth Detailbild Anschluss um die Entrauchungsrohre. Bildquellen: HFT Stuttgart
- Abbildung C 42: (a) Schematische Draufsicht auf die gesamte Halle in Fürth mit Orientierung. Im Westen in grau gefärbt befindet sich ein Anbau mit Holzfassade. (b) Schematische Ansicht aus Süd-Ost. Die Messstellen der Transmissionsbestimmung sind ange deutet. Die rechte Fassade ist transparent ausgeführt
- Abbildung C 43: Räumliche Verteilung der Tageslichtindikatoren DA, CDA und UDI der ausgeführten Sporthalle in Fürth. Bildquelle: HFT Stuttgart / D. Gürlich
- Abbildung C 44: Sporthalle Fürth Spannung der Membran mit Gurten und provisorischer Überdeckklappen. Bildquelle: HFT Stuttgart/Palla
- Abbildung C 45: Ablaufplanung entsprechend Leistungsphasen bei Bauprojekten mit Membranen. Bildquelle: HFT Stuttgart/N. Palla

#### Tabellenverzeichnis

- Tabelle B1: Projektdaten des Gebäudes ZAE Bayern
- Tabelle B2: Projektdaten des Sportzentrums Dedmon Athletic Center
- Tabelle B3: Projektdaten Einkaufszentrum Dolce Vita Tejo
- Tabelle B4: Angaben zum Freizeitzentrum in Neydens. Quelle: (Knippers, Cremers, Gabler, & Lienhard, 2010, S. 258f)



Tabelle B5:	Projektdateen Andreas-Peter-und-Paul-Kirche. Quelle: (Motro, 2013)
Tabelle B6:	Angaben zur Olympia-Schwimmhalle
Tabelle B7:	Projektdateen TOM Dortmund
Tabelle B8:	Projektdateen des Kulturzentrums Puchheim (Habermann K. J., 2004)
Tabelle B9:	Projektdateen BMW-Messepavillon Frankfurt (Hausladen, 2001, S. 14ff)
Tabelle B10:	Angaben zur Kurklinik Masserberg
Tabelle C1:	Mögliche Vor- und Nachteile gegenüber anderen Bauweisen. Quelle: HFT Stuttgart/Palla
Tabelle C2:	Aufgaben des flächigen Membranbauteils und der formbildenden Tragelemente.
Tabelle C3:	Projektbeispiele für die erzielbare Lichttransmis- sion und den Wärmedurchgangskoeffizienten (U- Wert)
Tabelle C4:	Zusammenfassung der Lph. 1-3
Tabelle C5:	Beispiele verschiedener Grundformen. Bildquelle: HFT Stuttgart/N. Palla auf Basis von formfinder.
Tabelle C6:	Anlaufstellen und Informationsbeschaffung. Quel- le: HFT Stuttgart
Tabelle C7:	Zusammenfassung Lph. 4
Tabelle C8:	Verwendungsnachweise in der Übersicht
Tabelle C9:	Zusammenfassung der Lph. 5
Tabelle C10:	U-Werte von Bauteilen zur Ausführung des Refe- renzgebäudes. Quelle: (EnEV, 2016)
Tabelle C11:	Geforderte mittlere U-Werte von Außenbauteilen für Nichtwohngebäude nach EnEV 2016. Quelle: (EnEV, 2016) Anlage 2, Tabelle 2
Tabelle C12:	Übersicht der Ausschreibungsvarianten. Quelle: Voigt, S. Hochschule Bochum

**Herausgeber:**

Hochschule für Technik Stuttgart  
Schellingstr. 24  
70174 Stuttgart

Dieser Leitfaden wurde mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Dennoch müssen die HFT Stuttgart und die Autoren jede Gewährleistung für die Richtigkeit der in diesem Leitfaden dargestellten Inhalte ausschließen. Rechtliche Ansprüche können aus dem Inhalt dieses Leitfadens nicht abgeleitet werden.