

HEFT 4 - MAI 2004

Minimal - Genial

€ 8,72,- ERSCHENUNGSORT PERUCHTHOLDSDORF, VERLAGSPOSTAMT 2380 PERUCHTHOLDSDORF, P. B. 0.Z0303056

architektur

FACHMAGAZIN

HEFT 4 - MAI 2004

www.architektur-online.com

Minimal - Genial



Werner Aisslinger · Wolfgang Brunbauer ·
 Herzog_Hrabal Architekten · Ernst Karl · PAUAT-Architekten ·
 Christian A. Pichler und Ferdinand Reiter · Manuela Skorka ·
 U.M.A.-Architekten ·



EDV: EliteCAD Architektur Version 10 · Architektur-Portale I ·

Bauen mit Membranen

TEIL 2: WÄRMEDÄMMUNG VON MEMBRANEN UND FOLIENKONSTRUKTIONEN

Früher wurden Membranbauten vorrangig zum Schutz vor Sonne, Regen und Wind gebaut – und meist 1-lagig ausgeführt. In zunehmendem Maß entstehen heute Sporthallen, Musicalbauten, Montagehallen und Hallenbäder, deren Dächer und Fassaden aus mehrlagigen und sogar wärmegeprägten Membranen und Folien bestehen. In diesem Kapitel über die Bauphysik von Membranen geht es deshalb um den Wärme- und Feuchteschutz nach DIN 4108, der eine Schlüsselstellung beim Bau mehrlagiger funktionstüchtiger Membranhüllen einnimmt. Wichtigstes Kriterium ist die Regensicherheit; diese ist vorrangig eine geometrische und konstruktive Aufgabe. Bauphysikalisch interessieren den Membranplaner besonders die Luftdichtheit der Innenhaut, die Dampfdiffusion und die Tauwasserbildung in und auf den Schichten des Daches.

Ein wärmegeprägtes Membrandach kann mit einem steilen Kaltdach verglichen werden. Beide Hüllen haben die Aufgabe, Wind, Außenlärm, Regen und natürlich sommerliche Wärme abzuhalten – damit sich ein trockener, zugfreier und wohltemperierter Innenraum einstellen kann. Es ist bekannt, dass Schwimmbäder in der Ausführung zu den bauphysikalischen Herausforderungen bei der Detaillierung und der Bauausführung zählen. Denn bei kleinster Unachtsamkeit in der Hüllenausbildung wird die warme und feuchte Innenluft einen Weg nach draußen finden, dabei in der Wärmedämmung stecken bleiben und diese bis zur Unbrauchbarkeit durchfeuchten. Mit diesen Schwierigkeiten kämpfen sowohl konventionelle Dächer als auch Membranbauten – für beide gelten dieselben Normen und dieselbe Bauphysik. Da konstruktions- und materialbedingt aber vieles anders ist, hier ein Leitfaden für wärmegeprägten Membranbauten. Als Beispiele dienen die Kurklinik Masserberg in Thüringen und das im Februar-Heft vorgestellte Parkbad Velbert.

Dämmung, Unterspannbahn und Hinterlüftung

Die Dämmung muss sicher gegen Feuchtigkeit geschützt werden, egal ob diese von innen oder von außen kommt. Eine raumseitige Luftsperrung (BLAU dünn) mit hohem Widerstand gegen Wasserdampf muss deshalb verhindern, dass Raumluftfeuchte von innen in die Wärmedämmung eindringen kann. Die Wärmedämmung wird von einer Unterspannbahn (GRÜN gestrichelt) gegen Feuchte aus Flugschnee, horizontalem Regen und auf der Unterseite der Außenhaut ausfallen-

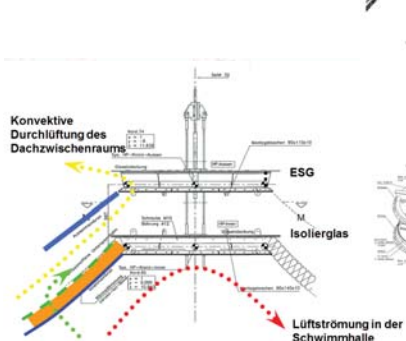


King Saud Aziz Sporthalle in Jeddah 1981 (2-schalig), Kurklinik in Masserberg 1994 (2-schalig + 160 mm WD), Gaudi Musical in Köln 1996 (2-schalig + 160 mm WD), Buddy Holly Musical in Hamburg 1995 (2-schalig), Parkbad Velbert 2002 (2-schalig + 240 mm WD).



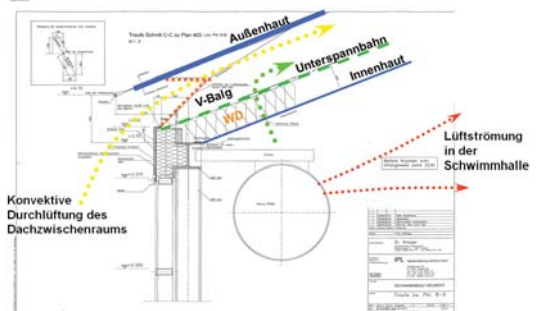
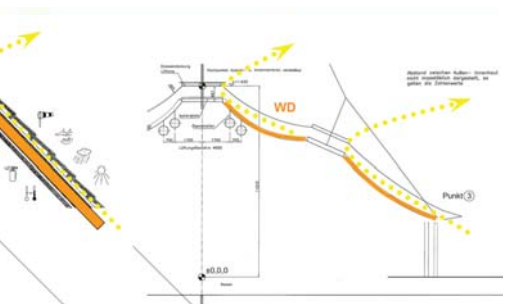
Cargolifter Luftschiffwerft in Brand/Berlin 2000 (2x2-lagig)

Ziegel-Steidach – Membrandach
Parkbad Velbert, GELB Hinterlüftung,
ORANGE Wärmedämmung.



Parkbad Velbert, Dachaufbau am Hochpunkt.

Parkbad Velbert, Dachaufbau



des Kondensat geschützt. Damit diese Feuchte nicht in die Wärmedämmung eindringen kann, muss die Unterspannbahn wasserfest und wasserdicht sein. Außerdem sollte die Unterspannbahn so verlegt werden, dass aufliegende Tropfen zum Rand hin abfließen können. Bauphysikalische Simulationen der vorgestellten mehrlagigen Dächer zeigen, dass je nach Witterung Kondensat an beliebiger Stelle anfallen kann: an der Unterseite der Außenhaut, in der Wärmedämmung oder zwischen Innenhaut und Wärmedämmung. Bei der konstruktiven Durchbildung sollte deshalb jede Lage eigenständig zu den tiefer liegenden Rändern zwangsentwässert werden.

Damit die Dämmung stets trocken und funktionstüchtig bleibt, darf die Unterspannbahn den Feuchteausgleich zwischen Dämmung und Hinterlüftung nicht stören. Sie muss deshalb möglichst wasserdampfdurchlässig sein. Solange kurzfristig mehr Kondensat aus der Wärmedämmung ausdiffundiert und über die Hinterlüftung abgetrocknet wird, ist alles in Ordnung. Werden hohe Durchströmgeschwindigkeiten im Dachzwischenraum provoziert, ist ausreichend Außenluft zum Abführen ausdiffundierender Feuchtigkeit vorhanden. Beim Parkbad Velbert strömt umlaufend frische Außenluft mit 0,5 m pro Sekunde über die Traufe ein und an den Hochpunkten mit 3–5 m pro Sekunde wieder aus. Prinzipiell gilt beim Aufbau von wärmegeprägten Hüllen (Kälteräume sind von der Betrachtung ausgenommen), dass nach außen hin der Dampfdiffusionswiderstand der eingebauten Schichten abnehmen muss, damit weniger Wasserdampf

vom Innenraum in die Dämmung eindringen kann, als später nach außen wieder ablüftet.

Sd-Wert

Eine leicht handhabbare Kennzahl für den Widerstand, den eine Schicht dem Wasserdampf bietet, ist der Sd-Wert: Er gibt an, wie dick eine vergleichbare Luftschicht ist, die dem Wasserdampf denselben Widerstand entgegensetzt. Sie ist das Produkt von Schichtdicke und der materialspezifischen Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl m_y (BLAU markiert). Alufolien (ORANGE umrahmt) etwa gelten ab 0,05 mm und einem Sd-Wert von 1,5 km als praktisch dampfdicht. Holzfaserplatten und Gipskartonplatten mit einem Sd-Wert von 10 bis 20 cm gelten als diffusionsoffen. Folien und mit Kunststoff beschichtete Gewebe liegen dazwischen. Mit PVC-Paste bestrichenes Polyestergerewebe, also das klassische Membranbaumaterial in Europa, ist wesentlich dampfdichter als gesintertes PTFE-Glasgewebe. Die Konstruktionsregel für Kaltdächer nach DIN 4108 lautet: Der Sd-Wert der Dampfbremse muss größer als 2 m sein (also zum Beispiel eine 20 mm dicke Spanplatte), der Sd-Wert der Unterspannbahn kleiner als 15 cm (ORANGE umrahmt) und gilt in Verbindung mit einer Hinterlüftung über der Unterspannbahn. Bei Membrandächern ist die Innenmembrane der Dampfbremse in der Funktion gleichzusetzen, auch wenn der Sd-Wert der Membrane mit wenigen Metern eher niedrig liegt. Man muss deshalb davon ausgehen, dass bei Membranbauten ein unerwünschter Feuchtetransport vom Innenraum in die Dämmung stattfindet, weshalb die Unterspannbahn

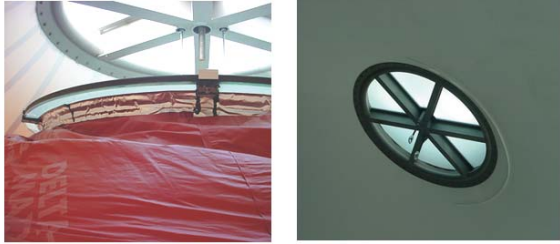
| Quelle: formTL Sd-Wert-Tabelle (z.T. basierend auf Einzelmessungen bei 23° und 97% rF) | Wirksame Schichtdicke s [m] | Wasserdampf- diffusions- widerstands- zahl m_y [-] | Wasserdampf- diffusionsäquivalente Luftschichtdicke Sd-Wert [m] = s x m_y | Wasserdampf- durch- lässigkeit [grid] |
|--|-----------------------------------|--|--|--|
| Alufolie | ab 0,05 mm | | >1500 = praktisch dampfdicht | 0 |
| B1 Normalbeton | 250 mm | 150 | 37 | 1 |
| PES/PVC Typ III | 0,9 mm | 12000 | 11 | 4 |
| PES/PVC Typ III | 0,8 mm | 13000 | 10 | 4 |
| PES/PVC Typ II | 0,6 mm | 16000 | 9 | 4 |
| PTFE-Glasgewebe Typ IV | 0,9 mm | 9000 | 8 | 5 |
| PTFE-Glasgewebe Typ III | 0,6 mm | 8000 | 5 | 8 |
| Styroporplatte | 100 mm | 30 | 3 | 15 |
| PTFE-Glasgewebe Typ II | 0,4 mm | 4700 | 2 | 23 |
| Spanplatte | 20 mm | 100 | 2 | 100 |
| Gipskarton, Holzfaserplatten | 20 mm | 10-20 | 0,1-0,2 = praktisch diffusionsoffen | 200 |
| PP-Folie | 0,1 mm | 1.000 | 0,1 | 400 |
| Mineralfolle, Faserdämmstoffe | 100 mm | 1 | 0,1 | 400 |
| Diffusionsoffene Unterspannbahn | - | - | 0,02-0,15 | 300-2000 |

Sd-Wert-Tabelle.

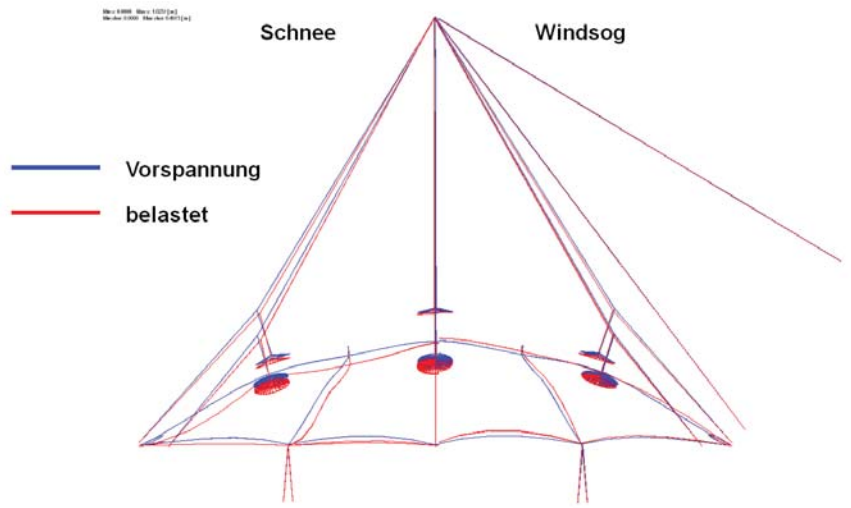
| Quelle: formTL Partialdruck- Tabelle | Wasserdampf- sättigungsdruck [Pa] = 1 N/qm | Partialdruck bei 90% Luftfeuchte Innen | Partialdruck bei 50% Luftfeuchte Außen |
|---|--|--|--|
| -20° | 103 | 93 | 51 |
| -10° | 260 | 234 | 130 |
| +0° | 611 | 550 | 305 |
| +10° | 1.228 | 1.105 | 614 |
| +20° | 2.340 | 2.106 | 1.170 |
| +30° | 4.244 | 3.820 | 2.122 |

Beispielrechnung für ein Schwimmbad:
 30° Innen bei 90% Luftfeuchte = 3.820 Pa Partialdruck
 -10° Außen bei 50% Luftfeuchte = 130 Pa Partialdruck
 Delta = 3690 Pa = 3,7 kN/m² Partialdruckdifferenz

Partialdrucktabelle.



Fotos: © Koch Membranen (2)



Parkbad Velbert, Membranverformung unter Wind- und Schneelast.

Parkbad Velbert, Blick auf die Laschen am Hochpunkt.

besonders diffusionsoffen sein muss. Derzeit sind Unterspannbahnen in B2-Qualität mit einem Sd-Wert von nur 2 cm verfügbar und in B1-Qualitäten mit Sd-Werten von 15 cm – hier gilt: Je kleiner der Wert, desto besser.

Fugen

Durch Fugen in der raumseitigen Dampfbremse tritt Wasserdampf von innen in die Wärmedämmung ein. Und zwar um so mehr, je größer die Wasserdampfdruckdifferenz auf beiden Seiten der Dampfbremse ist. Der Wasserdampfdruck ist dabei linear zur Luftfeuchte und exponentiell zur Temperatur. Da durch eine 1 Meter lange und 1 mm breite Fuge bereits bei 1 Pascal Wasserdampfdruck-Unterschied 17 Gramm Wasserdampfmasse pro Stunde in die Dämmung

dringen und nur 1 Gramm pro Stunde durch eine diffusionsoffene Unterspannbahn mit einem Sd-Wert von guten 25 cm an eine Hinterlüftung abgegeben werden können, ist leicht vorstellbar, was 3.690 Pascal wie im Rechenbeispiel anstellen. Sofern sich die Fuge nicht zusetzt oder sich auf der Dämmstoffseite kein entsprechender Wasserdampfdruck aufbaut, wird literweise Wasserdampfmasse in die Dämmung eindringen und diese bis zum Bauschaden durchfeuchten. Somit wird deutlich, dass eine Dampfsperrschicht, im Falle des Membrandachs ist das die Innenmembrane, unter keinen Umständen mechanisch durchdrungen werden darf!

Durchdringungen können vermieden werden, wenn wie beim Parkbad Velbert die Befesti-

gungsglaschen für die Wärmedämmung mittels Hochfrequenz auf die Innenhaut aufgeschweißt werden und die Wärmedämmung von oben mit Seilen aufgeschnürt wird.

Bei der Kurklinik Masserberg wurden Teller mit Dornen in aufgeschweißte Taschen eingeschoben und die Wärmedämmung aufgespießt.

Lagefixierung

Da sich Membranbauten unter Wind- und Schneelasten deutlich verformen, insbesondere die Außenhaut und in gedämpfter Weise auch die Innenhaut, muss die Wärmedämmung auf der Innenmembrane lagefixiert werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sie abrutscht, was dann zu lokalen Wärmebrücken führt. Da in der



Parkbad Velbert Durchlichtbild
mit WD-Streifen.



Foto: © Koch Membranen

Dämmstoffmuster.

Vergangenheit vereinzelt Dorne abbrechen und die Zwischenräume nur erschwert revisionierbar waren, hat sich die Schnürmethode durchgesetzt. Gleiches gilt für die Unterspannbahn. Auch sie muss auf der Innenmembrane bzw. Wärmedämmung lagefixiert werden. Sie wird schindel-förmig überlappend unter Beachtung der Kondensatwasser-Abflussrichtung und gegen eventuelle Unterwinde abhebegesichert eingebaut.

Tauwasserbildung

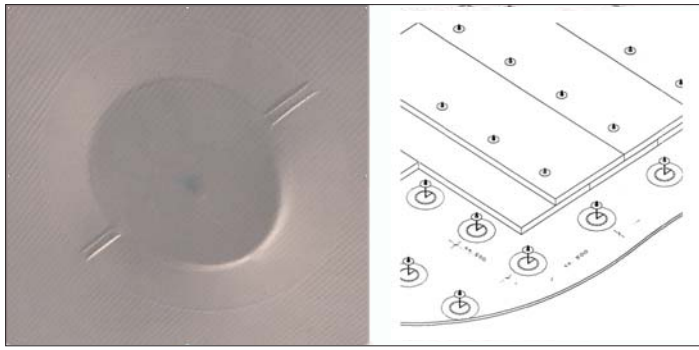
Die DIN 4108 schließt eine Tauwasserbildung im Inneren von Dachkonstruktionen nicht aus und nennt erlaubte Grenzen. So darf die Wassereinspeicherung in der Tauperiode bei kapillar nicht aufnahmefähigen Schichten einen halben Liter/m² nicht überschreiten, damit diese Feuchte in der

Verdunstungsperiode wieder abtrocknet. Da Kunststoffe nur sehr wenig Wasser aufnehmen können, fällt sofort Feuchte aus. Wärmedämmung, die für den Einsatz in Membrandächern geeignet ist, muss deshalb feuchteunempfindlich, pilzfest und unverrottbar sein. Damit die Wärmedämmung hohlraum- und faltenfrei auf der Innenmembrane aufliegt, muss sie denselben Bahnzuschnitt wie die Innenmembrane erhalten. Das geht im Werk besonders einfach und erhöht die spätere Einbaugeschwindigkeit. Auch die Unterspannbahn kann so vorkonfektioniert werden. Am gutmütigsten zum Wärmedämmen sind gekrempelte und elastische Vlieswerkstoffe aus Polyester, die auch unter leichter Bewegung ihre innere Struktur behalten und nach einer Belastung wieder die ursprüngli-

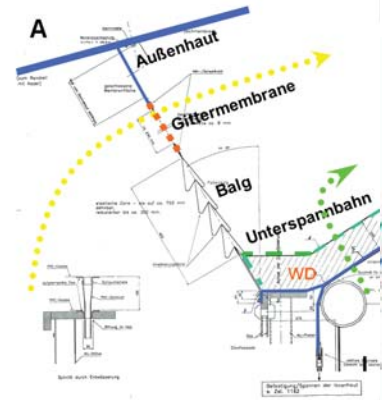
che Form annehmen. Es gibt diese als Rollenware oder in halbsteifen Platten, die mit der Stichsäge oder einem langen Messer nach Schablone zugeschnitten werden können. Bei geringer Dicke sind sie sogar transluzent durchscheinend. Die ersten Membrandächer wurden noch mit Mineralwolle gedämmt. Aufgrund der geringen Strukturstabilität wurde die Mineralwolle inzwischen vollständig von dauerelastischer Kunststoffdämmung abgelöst.

Traufausbildung

Eine der wichtigsten und spannendsten Aufgaben für den Membranplaner ist die Detaillierung der Lüftungsöffnungen und die Übergänge zwischen Innen- und Außenhaut, denn bei Schnee und Winddruck senkt sich die Hülle ab,



Kurklinik Masserberg, Befestigung der Wärmedämmung
Schweißabdruck der Dorn-teller-Tasche;
Wärmedämmung, stoßversetzt eingebaut; Innenmembrane.



Kurklinik Masserberg, Traufdetail.

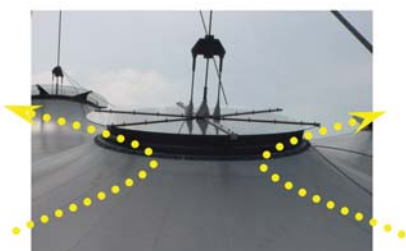
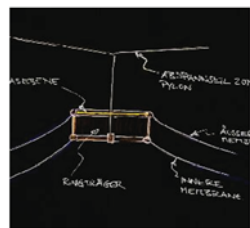
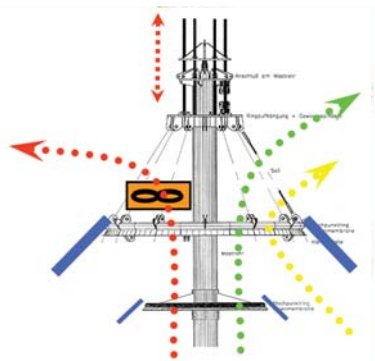
insbesondere in Feldmitte und an den Seilrändern; bei Windsog hebt sich die Membrane an. Die rechnerischen Verformungen der Außenmembrane beim Parkbad Velbert sind an den Membranrändern 15 cm nach oben und 20 cm nach unten, in Feldmitte sogar 60 cm nach oben bzw. 90 cm nach unten. Deshalb wurden beide Membranen auf bis zu 100 cm Abstand konstruiert. Dann kann sich die Außenhaut unter Schnee nicht auf der Dämmung abstützen und Lasten an die dafür nicht bemessene Innenhaut abgeben. Außerdem werden so lokale Zonen ohne Hinterlüftung und dadurch ausgelöste Eisbildung vermieden.

Am Beispiel der beiden Bäderbauten gibt es zwei Möglichkeiten, die großen Verformungen der Außenhaut mit starren Fassaden in Einklang zu bringen. Bei Masserberg wurde entlang der Traufe ein mehrlagiger Faltenbalg mit Gummizug ausgebildet, in den über weite Strecken Gittergewebe (Foto und Zeichnung ORANGE markiert) als Einströmöffnung für die Hinterlüftung eingeschweißt ist. Beim Parkbad Velbert (Grafik zu Beginn des Artikels) wurde entlang der Traufe ein v-förmiger Knick ausgebildet (ORANGE gestrichelt), der nach innen mit Gummibändern verspannt ist und der sich bei Windsog streckt und bei Winddruck oder Schnee stärker faltet.

Trends

Die Tabelle der rechnerisch in der ungestörten Fläche erzielbaren Wärmedämmwerte in $W/m^2 K$ zeigt die Entwicklung vom einlagigen Schlumberger Research Center in Cambridge aus dem Jahr 1983 mit einem U-Wert von $5,7 W/m^2K$ bis zum Parkbad Velbert aus dem Jahr 2002 mit einem U-Wert von $0,16 W/m^2K$. Der Grad der Wärmedämmung kann heute bedarfsgerecht ausgewählt werden.

DI ARCHITEKT GERD SCHMID,
GESCHÄFTSFÜHRER formTL GMBH, RADOLFZELL
www.form-tl.de



Kurklinik Masserberg, Ventilator unterstützte Hinterlüftung
Parkbad Velbert, Konvektive Hinterlüftung: An Stelle von Ventilatoren sind Oberlichter, mit denen die Schwimmbaddecke natürlich ausgeleuchtet wird.

| Aufbau | Quelle: formTL U-Wert-Bemessung | U-Wert [W/m^2K] | Transluzenz PES/PVC + PFTE/Glas Membrane etc. | Transluzenz Folie + laminierte Glasgewebe |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------|---|---|
| 2-lagig + 240mm WD040 | | 0,16 | 0 % | |
| 2-lagig + 160mm WD040 | | 0,21 | | |
| 2-lagig + 80mm WD040 | | 0,24 | 0-2 % | 10 % (bei Glasflies-WD) |
| 2+2 Lagen | | 1,5 | 0-6 % | 0-96 % |
| 3 Lagen | | 1,9 | 0-12 % | 0-97 % |
| 2 Lagen | | 2,9 | 0-25 % | 0-98 % |
| 1 Lage | | 5,7 | 0-50 % | 0-99 % |

U-Wert-Tabelle

Merkblock

- Innenhaut nicht perforieren
- Dämmung trocken halten
- Unterspannbahnen mit kleinem Sd-Wert einbauen
- Dämmung und Unterspannbahn lagegesichert einbauen
- Alle Ebenen separat nach außen entwässern
- Zwischenraum gut lüften
- Membranverformungen unter äußeren Lasten bei der Detaillierung beachten