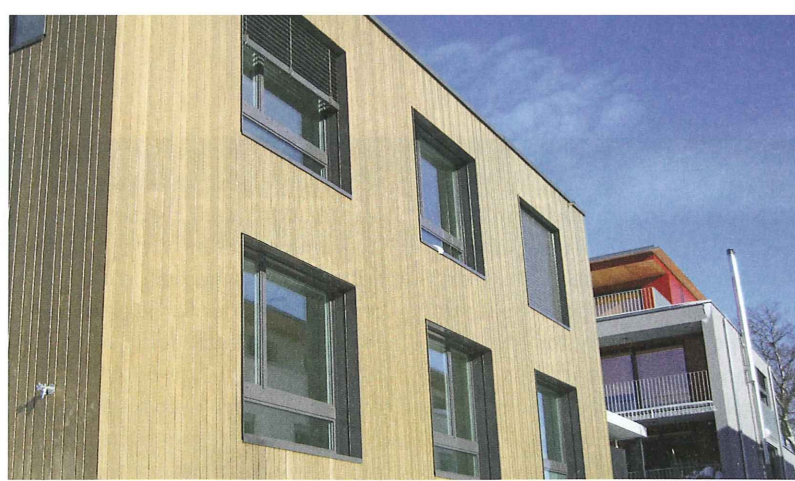


Bei unbelüfteten Flachdächern, deren Tragkonstruktion in der Wärmedämmschicht liegt, ist Vorsicht geboten.
Abbildungen: zVg



Flachdachkonstruktionen erfreuen sich grosser Beliebtheit. Dabei werden **slanke, energieeffiziente und oftmals auch begehbare Konstruktionen (z. B. Loggias) gewünscht. Dies führt dazu, dass vermehrt im Holzbau unbelüftete Flachdächer zum Einsatz kommen, deren Tragkonstruktion in der Wärmedämmschicht liegt. Solche aussen dampfdichten Konstruktionen sind aber aus bauphysikalischer Sicht nicht unproblematisch und die Schadensfälle an solchen Konstruktionen häufen sich. Der erste Teil der zweiteiligen Artikelserie soll die bauphysikalischen Hintergründe erklären und zeigen wo die Fallstricke liegen.**

Flachdächer im Holzbau – eine Konstruktion mit Tücken

Flachdächer gehören zu den am meisten beanspruchten Bauteilen einer Gebäudehülle. Daher sollte diesem Bauteil besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Daniel Kehl, Heinz Weber, BFH Architektur, Holz und Bau, Biel

Eine gute Übersicht über verschiedene Flachdachkonstruktionen im Holzbau liefert das GHS-Merkblatt (ehemals SVDW) «Feuchteschutz bei Flachdächern in Holzbauweise» (vgl. Abb. 1a–d). Prinzipiell unterscheidet man zwischen belüfteten und nicht belüfteten Flachdächern. Bei den nicht belüfteten Flachdachkonstruktionen ist zudem die Lage der Dämmung entscheidend. Entweder liegt sie vollständig oberhalb der Tragkonstruktion oder sie ist zwischen den Sparren eingebaut. Je nach Konstruktionsweise sind die

Aufbauten bauphysikalisch einfach (Abb. 1a) bis kritisch (Abb. 1d).

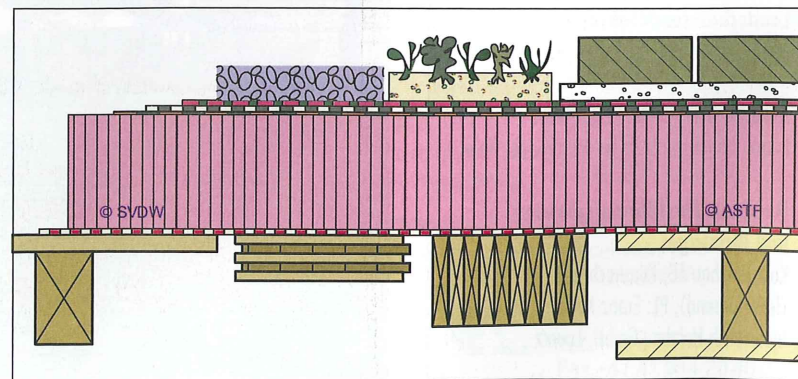
So baut man sicher

Wer auf der sicheren Seite bauen will, sollte sich für den Aufbau aus der Abbildung 1a entscheiden. Diese Konstruktion vereint gleich

Vier verschiedene Grundaufbauten von Flachdachkonstruktionen im Holzbau (Abb. 1a–d):

Abb. 1a: nicht belüftete Konstruktion mit der Wärmedämmung auf der Tragkonstruktion.

Quelle: GHS-Merkblatt



mehrere Vorteile miteinander: Sie kann gut vorgefertigt oder auf der Baustelle hergestellt werden und die Tragkonstruktion befindet sich im trockenen und ist somit in der gesamten Nutzungszeit nicht feuchtegefährdet. Ausserdem liegen mehrere schützende Schichten oberhalb der Tragkonstruktion. Wenn die obere Abdichtungsbahn mal beschädigt sein sollte, läuft das Wasser nicht direkt in die Konstruktion, sondern wird unterhalb der Wärmedämmung auf der Bauzeitabdichtung «abgefangen». Dies setzt aber auch an dieser Stelle eine saubere Ausführung der Abdichtung voraus. Manko dieser Konstruktion: Die Aufbauhöhe ist bei heutigen Dämmstandards recht hoch.

Belüftung muss sichergestellt sein

Auch der Aufbau wie in Abbildung 1b (belüftete Konstruktion) zählt zu den Konstruktionen, die unter folgenden Bedingungen gut funktionieren können. Dieses Flachdach kann diffusionsoffen geplant werden. Allerdings muss die Belüftung sichergestellt werden. Dabei gibt die SIA 271 «Abdichtungen im Hochbau» zwei bewährte Vorgaben:

- Der Belüftungsquerschnitt muss mindestens 1/150 der Dachfläche bzw. eine Mindesthöhe des Durchlüftungsraums von 100 mm aufweisen.
- Die Durchlüftungsschicht muss Zu- und Abluftöffnungen aufweisen, deren freier Luftdurchtritt mindestens 50 % des erforderlichen Durchlüftungsquerschnittes beträgt.

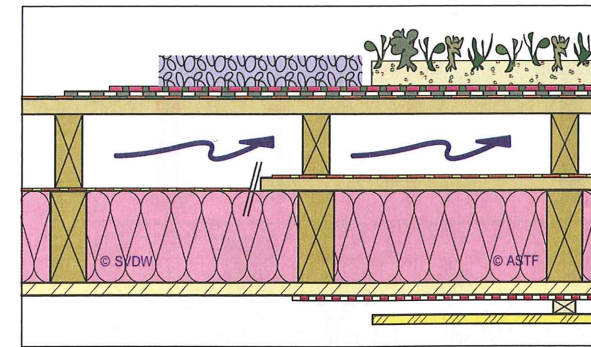


Abb. 1b: belüftete Konstruktion.

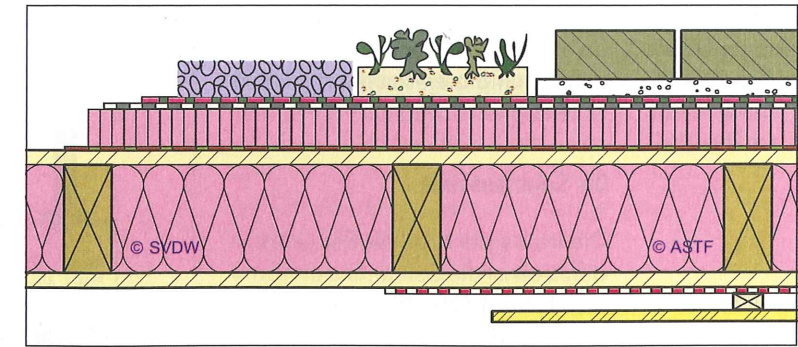


Abb. 1c: nicht belüftete Konstruktion mit der Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion, mit Zusatzdämmung.

Während der Belüftungsquerschnitt noch relativ einfach hergestellt werden kann, ist es bei einer komplexen Dachgeometrie nicht immer einfach, die Öffnungen zu planen und zu realisieren. Besonders im Türschwellenbereich oder bei Lichtkuppeln ist dies oft schwierig und aufwendig. Gibt es Bereiche, die gut und welche, die nicht gut belüftet werden, ist es hilfreich die Konstruktion in der Belüftungsschicht entweder mit Kreuzlattung auszuführen oder punktuell aufzuständern, sodass auch die Luft querverteilt wird.

Bauphysikalisch anspruchsvoll

Widmet man sich den beiden nicht belüfteten Flachdachaufbauten, bei denen die Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion (vgl. Abb. 1c und 1d) liegt, wird die Bauphysik komplexer. Man muss die solare Ein- und Abstrahlung inkl. Verschattung, Dachbegrünung, Luftundichtheiten, Aussen- und Innenraumklima usw. berücksichtigen (vgl. Abb. 2).

Was sagen aktuelle Regelwerke?

Die Komplexität solcher Aufbauten wird auch aus der Norm SIA 271 ersichtlich. Nach dieser Norm muss für nicht belüftete Flachdächer, bei denen die Tragkonstruktionen in der Dämmschicht liegen, unter Punkt 2.2.5.5 ein feuchtetechnischer Nachweis mit einem «validierten, dynamischen Feuchtigkeitsrechenmodell» erbracht werden. Dazu zählt unter anderem das Simulationsprogramm WUFI vom Fraunhofer Institut für Bauphysik, das die erwähnten Einflüsse berücksichtigt.

Das sogenannte «Glaserverfahren» nach SIA 180 ist für solche Konstruktionen als Nachweisverfahren somit nicht geeignet, da es die erwähnten Randbedingungen nicht erfasst. Wer also ein solches Dach baut, kommt um eine hygrothermische Simulation nicht umhin. Dazu bedarf es eines erfahrenen Bauphysikers, der sich mit der Bedienung der Bauphysik-Programme auskennt. Als Hilfe für Bauphysiker wird durch die Autoren und weitere Experten aus dem deutschsprachigen Raum derzeit an einem Merkblatt gearbeitet, wie aussen dampfdichte Konstruktionen im Holzbau simuliert und ausgewertet werden können. Es wird 2012 erscheinen.

Bauphysikalische Zusammenhänge

Aus bauphysikalischer Sicht handelt es sich bei «nicht belüfteten Dachkonstruktionen mit der Tragkonstruktion innerhalb der Dämmschicht» um eine nach aussen dampfdichte Konstruktion. Versucht man auf der Innenseite eine Dampfsperre mit einem hohen s-Wert von z. B. über 100 m (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke) einzubauen, ist dies fahrlässig, da bei Dachkonstruktionen immer damit zu rechnen ist, dass es zu unplanmässigen

Feuchteinträgen beispielsweise durch Undichtheiten (Konvektion) kommt. Die eingedrungene Feuchte kann dann durch die dichte Konstruktion nicht mehr austrocknen und die obere Dreischichtplatte feuchtet über Jahre auf (vgl. Abb. 3). Solche Undichtheiten können in der Simulation über Luftdichtheitsklassen berücksichtigt werden. Hier wurde zunächst mit der Luftdichtheitsklasse C gerechnet, was einer Gebäudedichtheit von $q_{50} = 5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (Volumenstrom bezogen auf die Gebäudehüllfläche) entspricht. Bei Einfamilienhäusern entspricht dies etwa einem n_{50} -Wert von ebenfalls 5 h^{-1} , ein konservativer Ansatz.

Erst wenn die Innenseite diffusionsoffener wird, gibt es ein gewisses Rücktrocknungsvermögen im Sommer, sodass auch die konvektiven Feuchteinträge zum Innenraum austrocknen können. Dies wird auch als Umkehrdiffusion bezeichnet. Das grösste Austrocknungspotential liefern dabei feuchtevariable Dampfbremsen wie beispielsweise die Intello von Proclima, die Vario KM Duplex von Isover oder vergleichbare Produkte.

Die Feuchte, die im Winter also durch Diffusion und übliche Luftundichtheiten in die Konstruktion eindringt, muss im Sommer wieder

Abb. 1d: nicht belüftete Konstruktion mit der Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion.

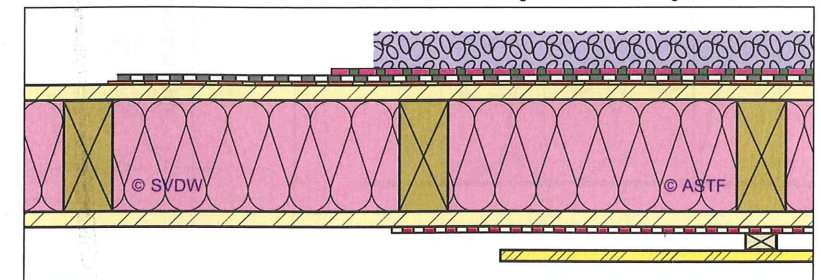


Abb. 2: Bauphysikalische Einflüsse auf ein Flachdach.
Quelle: Informationsdienst Holz

in den Innenraum zurücktrocknen. Dabei sind zu hohe Widerstände durch Dampfbremsen auf der Innenseite folglich schädlich.

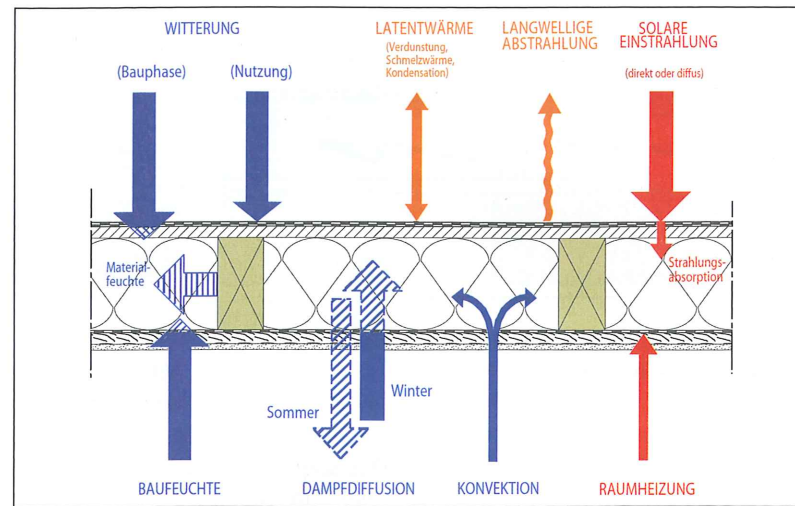
Die Schattenseiten

Die treibende Kraft für die Umkehrdiffusion ist die Sonne. Sie erwärmt die äussere Oberfläche des Flachdachs und erzeugt im Sommer einen Dampfdruck zum Innenraum und sorgt für eine Austrocknung nach innen. Wird das Flachdach allerdings bekiest, begrünt, verschattet oder eine helle Abdichtungsbahn eingesetzt, wird die treibende Kraft reduziert und das Dach trocknet im Sommer möglicherweise nicht ausreichend aus (vgl. Abb. 4).

Der Aufbau wie in Abbildung 1d hat also seine Tücken und reagiert auf leichte Änderungen sehr empfindlich. Nur wenn sichergestellt ist, dass die Oberfläche der Dachhaut ausreichend erwärmt wird, funktioniert dieser Aufbau unter den gegebenen Randbedingungen. Ausserdem weist diese Konstruktion nur eine Abdichtungsebene auf und enthält auch hier keine Sicherheiten.

Die Zusatzdämmung hilft

Die Dreischichtplatte befindet sich in der bisherigen Betrachtung ganz auf der kalten Seite (vgl. Abb. 1d). Bringt man nun eine Zusatzdämmung von mind. 60 mm auf, wird die Platte weiter in den warmen



Bereich verlagert (vgl. Abb. 1c). Dadurch reduziert sich die relative Holzfeuchte der 3-S-Platte. Dies funktioniert dann auch bei verschatteten und begrüntem Konstruktionen bei Einsatz feuchtevariabler Dampfbremsen auf der Innenseite (vgl. Abb. 4, orange Kurve). Aber auch die weit verbreiteten verleimten Hohlkastenelemente funktionieren unter bestimmten Bedingungen. Allerdings muss hier die Luftdichtheit sichergestellt werden. Erst bei der Luftdichtheitsklasse B ($q_{50} = 3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) bleibt die Konstruktion trocken (vgl. Abb. 5). Ohne Prüfung der Luftdichtheit mittels Blower Door und eine ausführlichen Leakageortung am Flachdach sollten solche Konstruktionen daher nicht ausgeführt werden. Das GHS-Merkblatt gibt für solche Aufbauten ausserdem vor, dass Installationen nur warmseitig

der Luftdichtheitsebene zu führen und Durchdringungen nicht zulässig sind.

Es muss erwähnt werden, dass die bisherigen Berechnungen für das Klima von Zürich gelten. Dieses ist weitestgehend auf das Mittelland mit ähnlichem Klima übertragbar. Für kältere Standorte gelten die bisherigen Aussagen aber nicht. Hier muss evtl. die Zusatzdämmung erhöht neu simuliert werden.

Unliebsame Nebeneffekte

Die verleimten Hohlkastenelemente haben noch einen unangenehmen Nebeneffekt. Im Winter wird die obere Holzwerkstoffplatte feucht, während die innere Platte trocken ist. Im Sommer ist dies genau umgekehrt (vgl. Abb. 5). Durch das

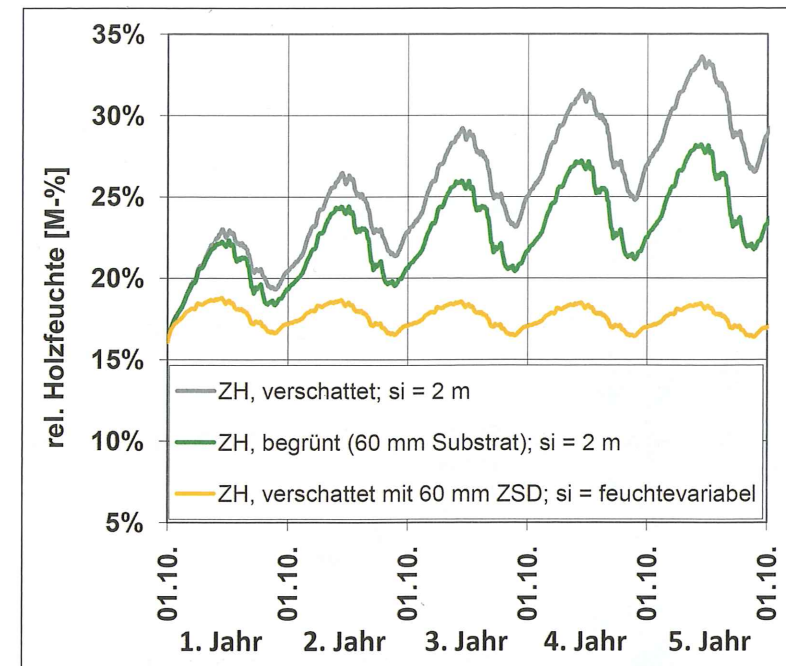


Abb. 4: Aufbau gemäss Abb. 1d wie in Abb. 3 aber mit Verschattung bzw. Begrünung (graue und grüne Kurve). Durch die Verschattung bzw. Begrünung trocknet die Konstruktion nicht ausreichend aus und die Holzfeuchte der aussenliegenden Dreischichtplatte steigt an. Beim Wechsel zu Aufbau wie 1c (orange Kurve) durch Einsatz einer feuchtevariablen Dampfbremse und einer 60-mm-Zusatzdämmung oberhalb der Dreischichtplatte bleibt die Konstruktion trocken (Randbedingungen der Simulation ansonsten wie bei Abb. 3).

Quell- und Schwindverhalten der beiden Platten kommt es zu einer Aufwölbung des gesamten Dachs. Dieser Effekt ist bei verschiedenen Schadensfällen bereits aufgetreten. Daher sollte der Einsatz von verleimten Hohlkästen vermieden werden bzw. gut überlegt sein. Dies führt regelmässig zum Konflikt zwischen Tragwerksplanung und Bauphysik. Während der Tragwerksplaner die verleimten Platten statisch mitansetzt, um möglichst grosse Spannweiten zu überbrücken, stellt der Bauphysiker die entgegenge-

setzten Feuchteschwankungen der Platten mit dem oben beschriebenen Effekt fest. Letzteres kann über einen richtig gewählten Aufbau allerdings reduziert werden.

Fazit

Im Holzbau sind unterschiedliche Flachdachkonstruktionen möglich. Sie sind je nach Aufbau aus bauphysikalischer Sicht unterschiedlich in ihrer Komplexität. Solange die Tragkonstruktion im Trockenen liegt (Aufbau Abb. 1a) entspricht dies üb-

Neuer Weiterbildungsstudiengang «CAS Bauphysik im Holzbau»

Die Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau (BFH-AHB), Biel, bietet das Certificate of Advanced Studies (CAS) Bauphysik im Holzbau als berufsbegleitende Weiterbildung an und bringt Berufsleute aus der Architektur, dem Bauingenieurwesen sowie dem Holzbau auf den neusten Stand in bauphysikalischen und energetischen Themengebieten. Die Weiterbildung startet am 22. September 2011 in Biel und dauert ein halbes Jahr. Ausschreibung und Studienführer unter www.ahb.bfh.ch/wb → CAS.

Abb. 3: Einfaches Flachdach nach Aufbau Abb. 1d mit äusserer Abdichtung ($s_e = 200 \text{ m}$). Während die Holzfeuchte der oberen Dreischichtplatte bei der dampfdichten Konstruktion ($s_i = 100 \text{ m}$) stetig steigt, sinkt sie bei der leichten bzw. feuchtevariablen Dampfbremse. (Randbedingungen der Simulation: Luftdichtheitsklasse C, zwei Geschosse, Klima Zürich, unverschattet, Absorptionszahl aussen: 0,6).

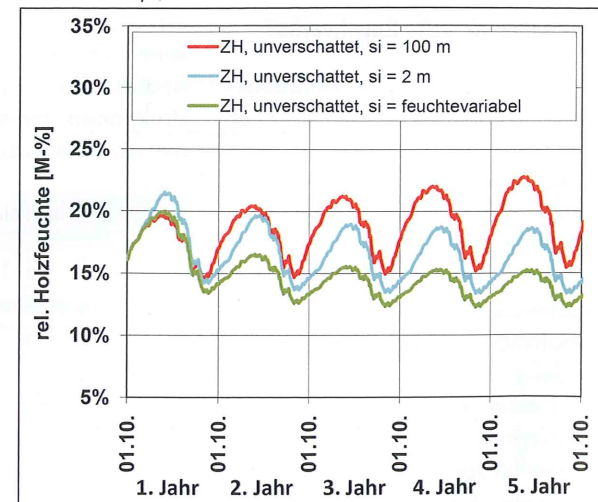
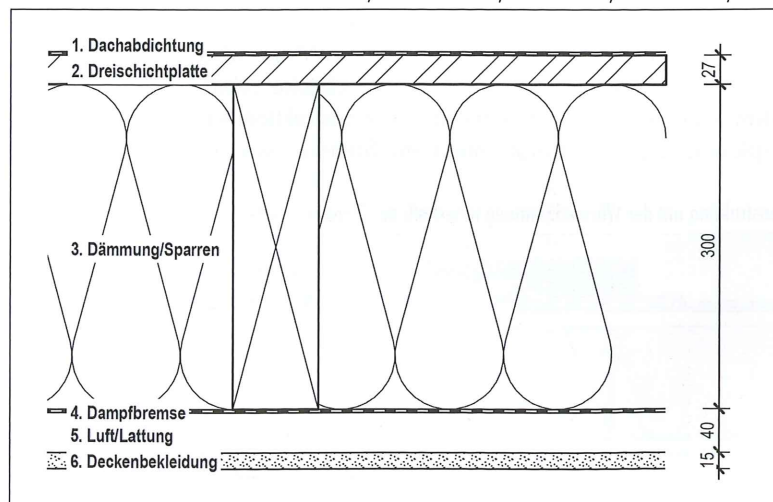


Abb. 5: Aufbau wie Abb. 1c mit Hohlkastenkonstruktion aus Dreischichtplatten. Die rel. Holzfeuchte der oberen Dreischichtplatte schwankt zwischen 17,5 und 20 M-%. Hingegen schwankt die untere zwischen 10,5 und 13 M-%. Durch die entgegengesetzten Schwankungen und die daraus resultierenden Quell- und Schwindmasse kann es zur Aufwölbung der gesamten Dachkonstruktion kommen. Dies ist konstruktiv zu beachten.

