

TAUBERT und RUHE GmbH

BERATUNGSBÜRO FÜR AKUSTIK UND THERMISCHE BAUPHYSIK

BERATENDE INGENIEURE VBI

Schallschutzprüfstelle DIN 4109, VMPA-SPG-136-97-SH

Mess-Stelle nach §§ 26, 28 BImSchG

3. Ausfertigung
2010085gta001/BR/sr

**Bauphysikalisches Gutachten
Projekt-Nr. 2010085**

Betrifft:

Realschule Garstedt
Gymnastikraum
Aurikelstieg 13
22850 Norderstedt

- Bauphysikalische Untersuchungen hinsichtlich
von Durchfeuchtungen bzw. des Wärme-
schutzes einzelner Bauteile -

Auftraggeber:

Stadt Norderstedt
Rathausallee 50
22846 Norderstedt

Datum des Gutachtens: 2010-05-03

Bickbargen 151 25469 Halstenbek Telefon 04101 5 17 79 - 0 Telefax 04101 5 17 79 - 10
E-Mail: email@taubertundruhe.de Internet: www.taubertundruhe.de

Unsere Ausarbeitungen sind nur im Rahmen des erteilten Auftrages für das darin bezeichnete Objekt bestimmt.
Jede anderweitige Verwertung sowie Mitteilung oder Weitergabe an Dritte - sei es vollständig oder in Auszügen - bedarf unserer
vorherigen schriftlichen Zustimmung.

Amtsgericht Pinneberg HRB 1953 - Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Carsten Ruhe, Dipl.-Ing. Ulrich Taubert

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Aufgabenstellung	3
2	Grundlagen	3
3	Bauphysikalische Situation	5
4	Bauphysikalische Anforderungen	7
4.1	Winterlicher Wärmeschutz nach DIN 4108-2 (Mindestwärmeschutz)	7
4.2	Winterlicher Wärmeschutz nach EnEV 2009	9
4.3	Tauwasserschutz	11
4.4	Luftdichtheit nach DIN 4108 und EnEV	13
5	Bauphysikalische Untersuchungen und erforderliche Maßnahmen	14
6	Zusammenfassung	19

Anlagen	Nr.
Grundriss, Fotos Gymnastikraum, Umkleide Damen	1.1 bis 1.6
Berechnung der Wärmedurchlasswiderstände R und Wärmedurchgangskoeffizienten U	
bisheriger Dachaufbau Gymnastikraum	2.1
Dach Schwimmbad	2.2.
neuer Dachaufbau Gymnastikraum, $d_{WD} = 100 \text{ mm}$	2.3.1
neuer Dachaufbau Gymnastikraum mit $U \leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	2.3.2
Prinzipskizzen	
bisheriger Übergang Dach Gymnastikraum zum Schwimmhallendach	3.1
vorzusehender Anschluss Dach Gymnastikraum an Dach Schwimmhalle	3.2

Bearbeitung: Claudia Brockmann, Klaus Focke

1 Aufgabenstellung

Beim Dach des Gymnastikraumes der Realschule Garstedt traten starke Durchfeuchtungen und Verrottungen auf, sodass das gesamte Dach erneuert werden muss. Die Ursachen sollen ermittelt werden, um den Aufbau der neu zu erstellenden Dachkonstruktion bzw. weitergehende Maßnahmen festlegen zu können.

2 Grundlagen

Vom Auftraggeber wurden Planzeichnungen (Grundriss, Schnitt) sowie ein Schema der Lüftungsanlage mit Stand vom 12.12.1985 zur Verfügung gestellt. Zur Begutachtung wurden folgende Normen und Regelwerke sowie Literatur herangezogen:

DIN 4108

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden

Teil 1 Größen und Einheiten
Ausgabe August 1981

Teil 2 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
Ausgabe Juli 2003

Teil 3 Klimabedingter Feuchteschutz,
Anforderungen, Berechnungsverfahren
und Hinweise für Planung und Ausführung
Ausgabe Juli 2001
und Berichtigung 1

Ausgabe April 2002

- Teil 4 Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
Vornorm Juni 2007
- Teil 7 Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen
Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
Ausgabe August 2001
- Teil 10 Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe
Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe
Ausgabe Juni 2008

Beiblatt 2 zu DIN 4108

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
Wärmebrücken, Planungs- und Ausführungsbeispiele
Ausgabe März 2006

DIN EN ISO 6946

Bauteile,
Wärmedurchlasswiderstand und
Wärmedurchgangskoeffizient
Berechnungsverfahren
Ausgabe April 2008

EnEV 2009

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz
und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden
(Energieeinsparverordnung - EnEV)
vom 29. April 2009
in Kraft getreten am 01. Oktober 2009

Eichler, Arndt

Bautechnischer Bau- und Feuchtigkeitsschutz
VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1989

3 Bauphysikalische Situation

Das Gebäude der Realschule Garstedt wurde als Massivbau aus Mauerwerkswänden errichtet, einige Innenwände sowie die Außenwände außenseitig weisen eine Klinkervormauerung auf. Die Dächer sind als Leichtdächer ausgeführt. Die ursprüngliche Dämmebene befand sich auf der Abhangdecke. Das Dach des Schwimmbades erhielt vor einigen Jahren eine Dämmung von 10 cm expandiertem Polystyrol oberhalb der Holztragschale, welche bislang nur als Tragschale für die Dachabdichtung diente. Die genauen Aufbauten sind unter Punkt 5 bzw. in den Anlagen ersichtlich.

Die einzelnen Räume weisen recht unterschiedliche raumklimatische Bedingungen auf. Zum Zeitpunkt der Baubegehung am 23. März 2010, ca. 9:00 bis 11:30 Uhr, wurden folgende Raumlufttemperaturen sowie relative Luftfeuchten festgestellt:

Raum	Raumlufttemperatur ϑ_{Li} in °C	relative Raumluftfeuchte φ_{Li} in %	Wasserdampfgehalt der Luft w in g/m ³
Gymnastikraum	17,5	72,3	11
Umkleide Damen	22,0	60,0	12
Dusche Herren	25,0	52,4	12
Dusche Damen	25,0	48,0	11
Schwimmhalle	29,7	46,5	14

Die Außenluftbedingungen betragen $\vartheta_{La} = 8 - 10$ °C und $\varphi_a = 75 - 60$ % r. F., die mittlere Windgeschwindigkeit betrug ca. 5 m/s (Angaben Wetterstation FH-Bergedorf).

Gemäß vorliegenden Planunterlagen (Schema der Lüftungsanlage) wird die Lüftungsanlage mit einer Abluftmenge von 9850 m³/h und die Zuluftanlage mit insgesamt 9000 m³/h betrieben. Das heißt, der für Schwimmhallen vorzusehende Unterdruck ist gemäß Planung vorhanden. Diese Forderung soll sicherstellen, dass die sehr hohen Wassermengen in der (sehr) warmen Luft nicht in die Nachbarräume „gedrückt“ werden.

Das Dach der Schwimmhalle zeigt keine Schäden. Dagegen wurden starke Durchfeuchtungen an der Holztragschale sowie den Holzbindern und auch den Stahlträgern des Gymnastikraumes festgestellt, siehe Anlagen 1.2 bis 1.4. Das Dach über dem Gymnastikraum weist ca. 20 Dachhauben auf, die zur Be- und Entlüftung des Kaltdachraumes dienen. Die große Lüfterhaube, die im Dach über dem bisherigen Schrank für Gymnastikgeräte vorhanden ist, war gemäß Angabe eines technischen Mitarbeiters vor Öffnung der Decke geschlossen und somit nicht funktionsfähig in Betrieb.

Etwa folgender Dachaufbau war über dem Gymnastikraum vorhanden (von innen nach außen):

Holzbekleidung	-
Mineralfaser-Dämmung, mit Aluminium-Folie (lückenhaft) kaschiert, Dampfsperre nicht verklebt bzw. am Rand nicht angedichtet	ca. 60 mm
Kaltdachraum / Fachwerkbinder, Stahlträger, belüftet	ca. 600 mm
Holztragschale	ca. 24 mm
Dachabdichtung: Evalon-Dachdichtungsbahn	ca. 2 mm

Außer im Gymnastikraum wurde im Umkleideraum Damen eine starke Durchfeuchtung der Holztragschale sowie zum Teil auch der Mineralfaser-Dämmplatten vorgefunden, siehe Anlagen 1.5 und 1.6. Hier ist als Dampfbremse eine PE-Folie vorhanden, die aber ebenfalls weder an den Stößen verklebt noch an den massiven Bauteilen angedichtet wurde. Im Bereich der geöffneten Dachfläche war eine Lüfterhaube vorhanden. Der Kaltdachraum wies hier aber lediglich eine Höhe von ca. 100 mm auf.

Ablaufspuren von Wasser aus der Decke sind auch in anderen Dusch- bzw. Umkleideräumen feststellbar. Bauteilöffnungen wurden dort nicht vorgenommen.

4 Bauphysikalische Anforderungen

4.1 Winterlicher Wärmeschutz nach DIN 4108-2 (Mindestwärmeschutz)

Der Wärmeschutz und die Energieeinsparung umfassen alle Maßnahmen zur Verringerung der Wärmeübertragung durch die Umfassungsflächen des Gebäudes und durch die Trennflächen von Räumen unterschiedlicher Temperaturen. Durch Mindestanforderungen an den Wärmeschutz der Bauteile im Winter in Verbindung mit DIN 4108-3 werden ein hygienisches Raumklima sowie ein dauerhafter Schutz der Baukonstruktion gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen sichergestellt. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Räume entsprechend ihrer Nutzung ausreichend beheizt und belüftet werden. Der Wärmeschutz hat bei Gebäuden Bedeutung für die Gesundheit der Bewohner durch ein hygienisches Raumklima, den Schutz der Baukonstruktion vor kli-

mabedingten Feuchteeinwirkungen und deren Folgeschäden, einen geringeren Energieverbrauch bei Heizung und gegebenenfalls Kühlung sowie die Herstellungs- und Bewirtschaftungskosten.

In DIN 4108-2, Abschnitt 4.2, werden wärmeschutztechnische Maßnahmen bei der Planung von Gebäuden beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass der Energiebedarf eines Gebäudes für die Beheizung und ein hygienisches Raumklima erheblich von der Wärmedämmung der raumumschließenden Bauteile, insbesondere der Außenbauteile, der Vermeidung von Wärmebrücken, der Luftdichtheit der äußeren Umfassungsflächen, der Lüftung sowie von der Gebäudeform und -gliederung beeinflusst wird. Rohrleitungen für die Wasserversorgung, Wasserentsorgung und Heizung sollten nicht in Außenwänden liegen. Bei Wasser- und Heizleitungen ergibt sich sonst die Gefahr des Einfrierens.

DIN 4108-2 enthält Mindestanforderungen an die Wärmedämmung von Bauteilen und bei Wärmebrücken in der Gebäudehülle sowie wärmeschutztechnische Hinweise für die Planung und Ausführung von Aufenthaltsräumen in Hochbauten, die ihrer Bestimmung nach auf übliche Innentemperaturen ($\vartheta_{Li} \geq 19 \text{ °C}$) beheizt werden. Die Einhaltung der Anforderungen gemäß Abschnitt 5.2.1 bzw. Tabelle 3 bei Massivbauteilen und Abschnitt 5.2.2 bei leichten Bauteilen stellt den Mindestwärmeschutz für flächige Bauteile sowie für Gebäudekanten und Ähnliches dar und

... muss an jeder Stelle vorhanden sein. Hierzu gehören unter anderem auch Nischen unter Fenstern, Brüstungen von Fensterbauteilen, Fensterstürze, Wandbereiche auf der Außenseite von Heizkörpern und Rohrleitungen, ... (Abschnitt 5.3.1, DIN 4108-2)

Im Bereich von Wärmebrücken gelten zusätzliche Anforderungen gemäß Abschnitt 6, DIN 4108-2. Siehe hierzu Abschnitt 4.4 dieses Gutachtens.

Umbauten bzw. Sanierungen bestehender Gebäude, insbesondere auch der Einbau neuer Fenster, führen oft wegen höherer Luftdichtigkeit zu einem deutlich geringeren Luftaustausch der Raumluft mit der Außenluft, so dass im Winter die relative Raumluftfeuchte deutlich höhere Werte als vor der Sanierung annehmen kann. So können Schwachstellen in der Gebäudehülle, wie zum Beispiel dünne Außenwände ohne zusätzliche Dämmung, die bisher unter Umständen zu keinem Tauwasserausfall oder Schimmelbefall geführt haben, bei geänderten Randbedingungen durchaus relevant werden.

Bei Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen ($12^{\circ}\text{C} \geq \vartheta, < 19^{\circ}\text{C}$) gelten dieselben Anforderungswerte an die Wärmedurchlasswiderstände wie bei normal beheizten Gebäuden, mit Ausnahme der Außenwände. Hierfür gilt $R \geq 0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{KW}$.

4.2 Winterlicher Wärmeschutz nach EnEV 2009

Anforderungen an Außenbauteile beheizter Gebäude ergeben sich aus der Energieeinsparverordnung 2009, sobald gewisse Veränderungen an diesen Bauteilen erfolgen. Diese Bedingungen sind in Anlage 3 zu EnEV 2009 angegeben. So ergeben sich Anforderungen bei Änderung von Außenbauteilen bestehender Gebäude (auszugsweise),

soweit bei Steildächern Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen sowie Decken und Wände (einschließlich Dachschrägen), die beheizte oder gekühlte Räume nach oben gegen die Außenluft abgrenzen,

a) ersetzt, erstmalig eingebaut

oder in der Weise erneuert werden, dass

b) die Dachhaut bzw. außenseitige oder Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut werden,

c) innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen aufgebracht oder erneuert werden,

d) Dämmschichten eingebaut werden,

e) *zusätzliche Bekleidungen oder Dämmschichten an Wänden zum unbeheizten Dachraum eingebaut werden, sind für die betroffenen Bauteile die Anforderungen nach Tabelle 1, Zeile 4a, einzuhalten, ...* (Abschnitt 4.1, Anlage 3, EnEV)

soweit bei beheizten oder gekühlten Räumen Flachdächer

- a) *ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert werden, dass*
- b) *die Dachhaut bzw. außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut werden,*
- c) *innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen aufgebracht oder erneuert werden,*
- d) *Dämmschichten eingebaut werden, ...* (Abschnitt 4.2, Anlage 3, EnEV)

Tabelle 1, Anlage 3, EnEV sind die einzuhaltenden Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max} zu entnehmen, hier gilt:

Zeile	Bauteil	Maßnahme nach	$U_{max}^{1)}$ in $W/(m^2 \cdot K)$	
			Gebäude nach §1 Abs. 1 Nr. 1	Gebäude nach §1 Abs. 1 Nr. 2
	1	2	3	4
4a	Decken, Dächer und Dachschrägen	Nr. 4.1	0,24	0,35
b	Flachdächer	Nr. 4.2	0,20	0,35

1) Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils unter Berücksichtigung der neuen und der vorhandenen Bauteilschichten; für die Berechnung opaker Bauteile ist DIN EN ISO 6946:1996-11 zu verwenden

Für Gebäude mit normalen Innentemperaturen ($\vartheta_{Li} \geq 19 \text{ °C}$) gelten die Anforderungen gemäß Spalte 3, für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen ($12 \text{ °C} < \vartheta_{Li} < 19 \text{ °C}$) die Werte der Spalte 4.

In § 9, EnEV 2009 wird aufgeführt, dass kein Nachweis zu führen ist, wenn

die Fläche der geänderten Bauteile nicht mehr als 10 vom Hundert der gesamten jeweiligen Bauteilfläche des Gebäudes betrifft.

Die zu erneuernde Dachfläche über dem Gymnastikraum umfasst weniger als 10 % bezogen auf die gesamte Dachfläche. Aus diesem Grunde besteht keine Anforderung an den Wärmedurchgangskoeffizienten U gemäß EnEV. Aus energetischen Gründen bzw. zur Senkung der Betriebskosten ist die Einhaltung des Wärmedurchgangskoeffizienten aber zu empfehlen.

4.3 Tauwasserschutz / Wärmebrücken

DIN 4108-3 gibt ein Nachweisverfahren zur Vermeidung von Tauwasserausfall auf Innenoberflächen ebener Bauteile ohne Wärmebrücken an. Dabei wird in Abhängigkeit von den vorhandenen Raum- und Außenlufttemperaturen, der Raumluftfeuchte und damit der Taupunkttemperatur der Raumluft sowie den Wärmeübergangswiderständen (je nach „Belüftung“ der Oberflächen) ein Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstandes R_{\min} ermittelt, bei dessen Einhaltung Tauwasserfreiheit sichergestellt wird. Dabei wird von einer Außenlufttemperatur von $\vartheta_{Le} = -5 \text{ °C}$ und einem raumseitigen Wärmeübergangswiderstand von $R_{Si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ausgegangen. Für die Dächer ergibt sich gemäß Gleichung A.12 in DIN 4108-3 ein erforderlicher Wärmedurchlasswiderstand von:

$$R_{\min} = 0,29 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \text{ siehe Anlage 2.1}$$

Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen, die durch Erhöhung der Stofffeuchte von Bau- und Wärmedämmstoffen zu Materialschädigungen oder zu Beeinträchtigungen der Funktionssicherheit führt, ist zu vermeiden. Sie gilt als

unschädlich, wenn die wesentlichen Anforderungen wie z. B. Wärmeschutz und Standsicherheit sichergestellt sind. Dies wird in der Regel erreicht, wenn die nachfolgend aufgeführten Bedingungen erfüllt sind.

- a) Die Baustoffe, die mit dem Tauwasser in Berührung kommen dürfen nicht geschädigt werden (z. B. durch Pilzbefall)
- b) Das während der Tauperiode im Inneren des Bauteiles anfallende Wasser muss während der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgegeben werden.
- c) Bei Wandkonstruktionen darf eine flächenbezogene Tauwassermasse $m_{W,T}$ von insgesamt $1,0 \text{ kg/m}^2$ nicht überschritten werden.
- d) Tritt Tauwasser an Berührungsflächen mit einer kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Schicht auf, so darf eine flächenbezogene Tauwassermasse $m_{W,T}$ von $0,5 \text{ kg/m}^2$ nicht überschritten werden.
- e) Bei Holz ist eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehaltes u_m um mehr als 5 %, bei Holzwerkstoffen um mehr als 3 % unzulässig (Holzwolle-Leichtbauplatten und Mehrschicht-Leichtbauplatten nach DIN 1101 sind hiervon ausgenommen.)

DIN 4108-3 gibt bestimmte Aufbauten von Außenbauteilen mit Bedingungen an, für die kein rechnerischer Nachweis der Tauwasserfreiheit im Inneren der Bauteile erforderlich ist.

Im Bereich von Wärmebrücken gelten gemäß Abschnitt 6, DIN 4108-2, zusätzliche Anforderungen an die raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall. Dabei muss der Nachweis geführt werden, dass die raumseitigen Oberflächentemperaturen jeweils bei $\vartheta_{oi} \geq 12,6 \text{ °C}$ liegen (bei Normklimabedingungen: 20 °C, 50 % r. F.).

4.4 Luftdichtheit nach DIN 4108 und Energieeinsparverordnung

Nach DIN 4108-2 ist bei Fugen in der wärmeübertragenden Umfassungsfläche des Gebäudes, insbesondere auch bei durchgehenden Fugen zwischen Fertigteilen oder zwischen Ausfachungen und dem Tragwerk dafür Sorge zu tragen, dass diese Fugen nach dem Stand der Technik dauerhaft luftundurchlässig abgedichtet sind. Aus einzelnen Teilen zusammengesetzte Bauteile oder Bauteilschichten müssen unter Beachtung von DIN 4108-7 luftdicht ausgeführt sein.

Nach der Energieeinsparverordnung sind zu errichtende Gebäude so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend dem Stand der Technik abgedichtet ist. Dabei muss die Fugendurchlässigkeit außen liegender Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster folgenden Anforderungen genügen:

Anzahl der Vollgeschosse des Gebäudes	Klasse der Fugendurchlässigkeit nach DIN EN 12 207 - 1 : 2000-06
bis zu 2	2
mehr als 2	3

Wird eine Überprüfung der Anforderungen durchgeführt, so darf der nach DIN EN 13 829:2001-02 bei einer Druckdifferenz zwischen Innen und Außen von 50 Pa gemessene Volumenstrom - bezogen auf das beheizte Luftvolumen - bei Gebäuden

- ohne raumluftechnische Anlagen 3 h^{-1} und
- mit raumluftechnischen Anlagen $1,5 \text{ h}^{-1}$

nicht überschreiten.

Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt ist. Werden dazu andere Lüftungseinrichtungen als Fenster verwendet, müssen diese in der Gebäudehülle einstellbar und leicht regulierbar sein. Im geschlossenen Zustand müssen sie den Anforderungen an die o. g. Fugendurchlässigkeit genügen. Soweit in anderen Rechtsvorschriften Anforderungen an die Lüftung gestellt werden, bleiben diese Vorschriften unberührt. Regulierung und Einstellvorrichtungen sind nicht erforderlich, wenn als Lüftungseinrichtungen selbsttätig regelnde Außenluftdurchlässe unter Verwendung einer geeigneten Führungsgröße eingesetzt werden.

5 Bauphysikalische Untersuchungen und Maßnahmen

Anlage 2.1 zeigt die Berechnung der Dampfdiffusion für den Aufbau, der über dem Gymnastikraum vorhanden war (prinzipielle Ausführung, genaue Angaben zu den Dicken bzw. Eigenschaften wie Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht sind nicht bekannt). Unter Berücksichtigung einer funktionierenden

Dampfsperre (Aluminium-Folie) ergibt sich kein Tauwasserausfall im Innern des Bauteils (unterhalb der Holzschalung), weder für den ungünstigen Fall ohne Belüftung des Kaltdachraumes als auch für den in dampfdiffusionstechnischer Hinsicht günstigeren Fall, dass der Kaltdachraum nach außen hin be- und entlüftet wird.

Da die Undichtigkeiten der Dampfsperre (keine Verklebung der einzelnen Bahnen bzw. kein Andichten umlaufend an den Wänden) von uns nach Ausbau der Schichten nicht eingeschätzt werden können, kann über die genaue Menge des Dampfdiffusionsstroms keine Aussage getroffen werden. Aufgrund der großen Menge an Dachlüftern und der eher geringen Luftfeuchtigkeit im Gymnastikraum lässt sich aber vermuten, dass die aus dem Gymnastikraum einströmende Luft nicht die (hauptsächliche) Ursache für die starke Durchfeuchtung der Dachkonstruktion ist. Die Wirksamkeit der Belüftung hängt allerdings auch von den vorhandenen Windverhältnissen ab.

Das Schwimmhallendach erhielt in der Vergangenheit eine Dämmung oberhalb der Holztragschale, siehe Anlage 2.2. Gemäß Angabe des technischen Bearbeiters für die Schule wurde eine 100 mm dicke Polystyrol-Dämmschicht aufgebracht, als Dampfsperre wurde eine PE-Folie mit einer äquivalenten Luftschichtdicke von $s_d = 100 \text{ m}$ angenommen. Diese Maßnahme bewirkt, dass dort der Dachraum, welcher bisher als Kaltdachraum vorhanden war, eher die Klimabedingungen des Innenraumes aufweist. Diese Maßnahme bewirkt, dass dort der Dachraum, welcher bisher als Kaltdachraum vorhanden war, eher die Klimabedingungen des Innenraumes aufweist. Das Dach wurde also in diesem Bereich zu einem Warmdach umgebaut. Offene Verbindungen vom Dachhohlraum nach außen bestehen hier nicht.

In den Nachbarräumen (Duschen, Außenturngeräte, wie auch Umkleiden) ist der Dachraum wie beim Gymnastikraum nach außen nicht gedämmt, d. h. hier herrscht im Kaltdachraum eher Außenklima. Somit ergibt sich ein starkes Dampfdruckgefälle vom Warmdachraum über dem Schwimmbad zum Kaltdachraum der Dächer der benachbarten Räume, siehe Anlage 3.1. Dies gilt in geringerem Maße auch zwischen den Duschen und den Räumen mit geringerer absoluter Feuchte, wie z. B. Umkleide oder auch Gymnastikraum.

Bei der Prüfung mit den Rauchprüfröhrchen konnten nur geringfügige Luftbewegungen - diese in dem Gymnastikraum sowie auch in umgekehrter Richtung - festgestellt werden. Nach Augenschein ergeben sich im Gymnastikraum im Allgemeinen nur geringe Fugen über der Trennwand zu den Nachbarräumen. Aufgrund der vorhandenen Dachlüfter entstand im Kaltdachraum aber ein großer Unterdruck, der ein Ansaugen von Luft aus den Nachbarräumen, so auch aus der Schwimmhalle bewirkte. Zum Zeitpunkt der Ortsbegehung war dieser Effekt nur noch sehr abgeschwächt vorhanden, da Luft aus dem gesamten Gymnastikraum und somit auch durch die Fugen der Fenster nachströmt. Dadurch war die horizontale Luftströmung nicht mehr gut zu erkennen.

Vor dem Entfernen der Bekleidung und der Wärmedämmung war ein deutlich größerer Temperaturunterschied und somit Dampfdruckgefälle vorhanden (Schwimmbad 30 °C und 46 % Feuchte, Gymnastikraum: Außenlufttemperaturen im Kaltdachraum). Zum Tag der Ortsbesichtigung war im Gymnastikraum eine Temperatur von ca. 17 °C vorhanden. Das heißt vor Ausbau der Unterdecke im Gymnastikraum war ein deutlich stärkerer Eintrag von Luft aus der Schwimmhalle vorhanden. Im Bereich über dem Geräteschrank im Gymnastikraum waren keine (offenen) Dachlüfter vorhanden. Daher war die Luftbewegung in diesen Kaltdachraum hinein deutlich geringer (außerdem aufgrund der gewissen Luftdichtheit zum Raum hin), die Dachkonstruktion zeigte deutlich geringere Durchfeuchtungen als der Gymnastikraum, siehe Foto 5 in Anlage 1.4.

Der Anschluss der Trennwand vom Umkleideraum Damen zum benachbarten Raum (auch Umkleide) wies deutlich mehr Undichtigkeiten auf, siehe Anlage 1.6. So kann hier die Konvektion noch ungehinderter erfolgen. Dies wurde auch mittels Rauchprüfröhrchen nachgewiesen. Zum Zeitpunkt der Prüfung erfolgte ein Lufteintrag aus Richtung Schwimmbad.

Um den Lufttransport bzw. Feuchtetransport (insbesondere aufgrund von Konvektion durch die oberen Trennwandbereiche) möglichst zu minimieren, sollte der neue Dachaufbau ebenfalls mit einer Wärmedämmschicht oberhalb der Tragschale (evtl. als Stahltrapezblech geplant) vorgesehen werden. Beim Anschluss einer Stahltrapezprofiltragschale an die Trennwände ist allerdings zu beachten, dass der Anschluss über ein Winkelblech möglichst dampfdicht ausgeführt werden muss. Die Verwendung von plattenförmigen Elementen, wie z. B. OSB-Platten, ist u. U. vorzuziehen.

Anlage 2.3.1 zeigt beispielhaft die Dampfdiffusionsberechnung für den neuen Dachaufbau mit angenommen 100 mm Polystyrolämmung und einer Dampfsperre aus PE-Folie. Es ergeben sich folgende Tauwasser- bzw. Verdunstungswassermengen:

Tauwassermenge:	$m_{w,T} = 5,7 \text{ g/m}^2$
Verdunstungswassermenge:	$m_{w,V} = 109,5 \text{ g/m}^2$

Die sich ergebende Tauwassermenge ist unkritisch und kann in der Verdunstungsperiode (Sommer) wieder austrocknen. Bei Verwendung einer Dampfsperre mit einer äquivalenten Luftschichtdicke $s_d \geq 100 \text{ m}$ wird bei nichtbelüfteten Dächern mit Dachabdichtung gemäß DIN 4108-3 kein dampfdiffusionstechnischer Nachweis gefordert, wenn der Wärmedurchlasswiderstand der

Bauteilschichten unterhalb der Dampfsperre höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands beträgt. Je nach gewählter Unterdecke (Akustikdecke) ist ggf. Abstimmung mit uns erforderlich.

Anlage 2.3.2 zeigt die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U und der Dampfdiffusionsberechnung für ein Dach, das den Anforderungswert nach EnEV 2009 für Flachdächer einhält ($d_{WD} \geq 180$ mm bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 0,035$ W/(m·K); $d_{WD} \geq 200$ mm bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 0,040$ W/(m·K)). Nicht berücksichtigt wurde eine Akustikdecke (nach DIN 18041 bestehen Anforderungen an die Nachhallzeit). Die Tauwassermenge ergibt sich in einer ähnlichen Größe wie mit 100 mm Dämmschicht.

Wie unter Abschnitt 4.2 beschrieben, ergibt sich aufgrund des geringen Flächenanteils der zu sanierenden Dachfläche keine Anforderung gemäß EnEV 2009, aus energetischen Gründen ist aber eine größtmögliche Dämmschichtdicke ($d_{WD} \leq 200$ mm) zu empfehlen. Ggf. ist aber eine Dämmstärke von 180 oder 200 mm aufgrund der vorhandenen Attikahöhe o. Ä. nicht ausführbar.

Dachlüfter sind bei Warmdächern nicht erforderlich bzw. auch nicht sinnvoll. Hierdurch wird die Anzahl der Durchdringungen der Dachabdichtung und somit die Gefahr von Undichtigkeiten deutlich gemindert.

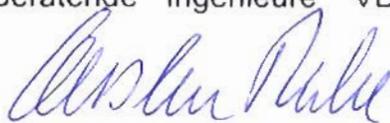
Für den Anschluss von Trennwänden zwischen Räumen mit unterschiedlichen Raumklimabedingungen ans Dach ist etwa die Ausführung gemäß Skizze in Anlage 3.2 auszuführen. Für den Anschluss an die Trennwände wie auch Außenwände ist gemäß anerkannten Regeln der Technik ein luftdichter An-

schluss zu schaffen, dabei ist die Dampfsperffolie an das Mauerwerk zu führen, zu verkleben und zu verwahren. Da die genaue Situation an den Attiken nicht bekannt ist, sollte eine Detaillierung nach Öffnen der Attika von Seiten eines Architekten erfolgen. Dieses Detail kann dann von uns geprüft werden.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden bauphysikalischen Begutachtung werden unter Zugrundelegung von Untersuchungen vor Ort die Ursachen für die starken Durchfeuchtungen der Dachkonstruktionen angegeben. Darauf aufbauend werden Maßnahmen zur Vermeidung zukünftiger Durchfeuchtungen erarbeitet. Hierzu ist die Dachkonstruktion generell zu verändern, so dass die Dämmschicht analog dem Schwimmbadbereich oberhalb der bisherigen bzw. zukünftigen Tragschale und damit der Trennwände liegt. Des Weiteren ist die Luftkonvektion zwischen Räumen durch Anschluss der Dampfsperre an die Trennwände zu mindern.

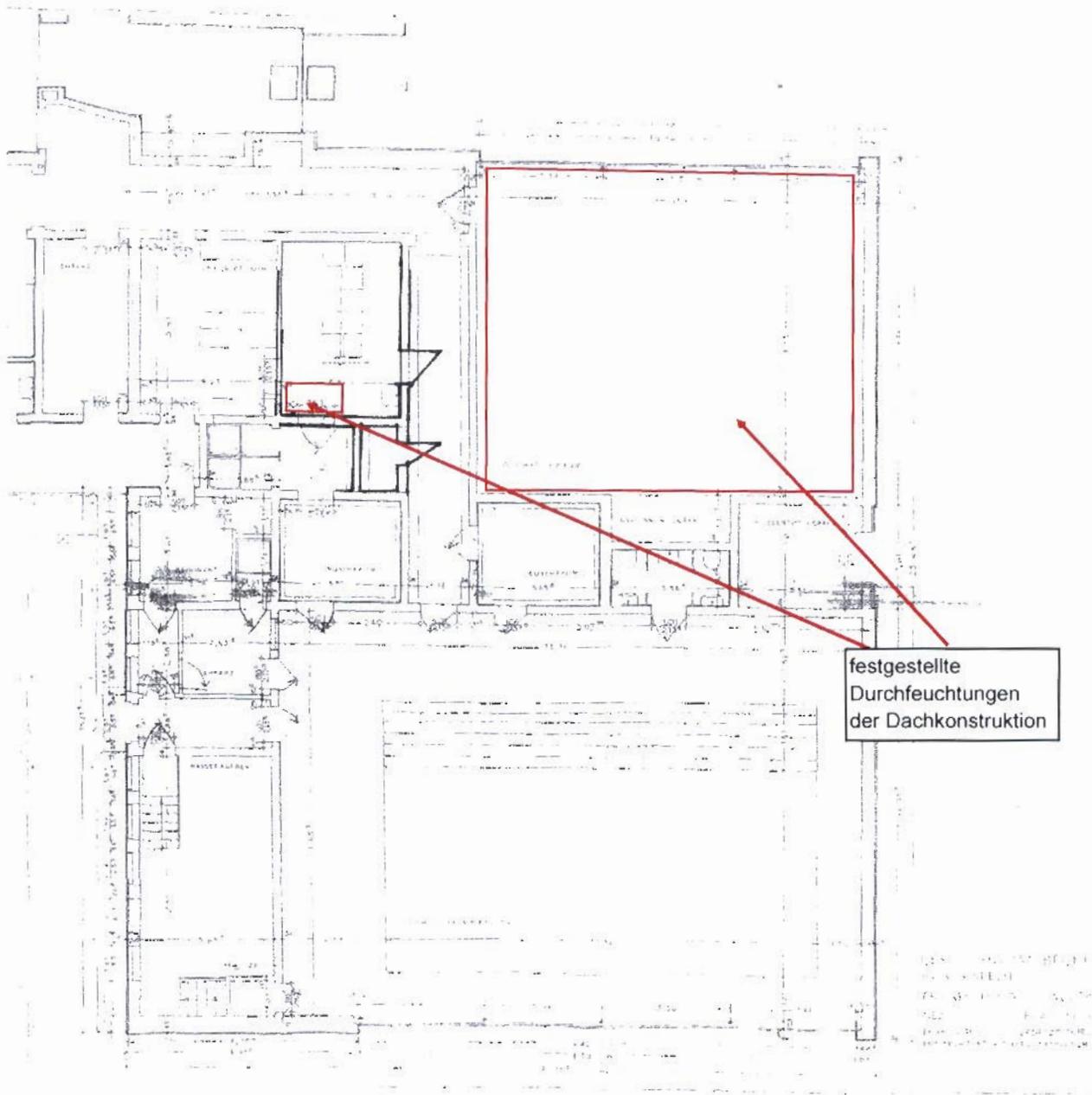
TAUBERT und RUHE GmbH
Beratungsbüro für Akustik
und Thermische Bauphysik
Beratende Ingenieure VBI



Dipl.-Ing. Carsten Ruhe

4fach





Grundrissausschnitt Erdgeschoss



Foto 1: Dach im Gymnastikraum,
durchfeuchtete Holzkonstruktion, Reste der Dampfsperre



Foto 2: Dach Gymnastikraum: Dachrand an Außenwand
Durchfeuchtete Holzkonstruktion, gerostete Stahlträger



Foto 3: Dach Gymnastikraum,
Entlüftungshauben



Foto 4: Dach von oben,
rechts: Schwimmbad, links hinten: Gymnastikraum



Foto 5: Dach über Gymnastikraum,
sowie über bisherigem Geräteschrank



Foto 6: Umkleide Damen:
durchfeuchtete MF-Dämmung, Dampfbremsfolie nicht gedichtet



Foto 7: Umkleide Damen, Kaldachraum:
stark durchfeuchtete Holzkonstruktion



Foto 7: Umkleide Damen, Kaltdachraum:
Trennwandanschluss

Bauteilberechnungen

Projekt: Realschule Garstedt

Bauteil: Dach (Da1) – bisheriges Dach Gymnastikraum

Bauteiltyp "Decke gegen die Außenluft"

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,10$ m²K/W

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	[kg/m ²]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
R_{si}					0,100
01 Nadelholz	1,00	600	6,0	0,130	0,077
02 Luftschicht ruhend	2,00	1	0,0	-	0,160
03 Aluminiumfolie $\geq 0,05$ mm	0,01	2700	0,1	-	-
04 Mineralwolle MW 040, II	6,00	30	1,8	0,040	1,500
05 Luftschicht schwach belüf.	20,00	1	0,2	-	0,160
06 Holzschalung 24 mm	2,40	600	14,4	0,130	0,185
07 EVALON V Dachbahn	0,22	-	1,7	-	-
R_{se}					0,100
d = 31,63 G = 24,2 $R_T = 2,28$					

schwach belüftete Luftschicht = "Luftschicht schwach belüf." (5), $A_V = 500$ mm²

$\Rightarrow R = (1500-500)/1000 \cdot 2,082 + (500-500)/1000 \cdot 1,737 = 2,08$ m²K/W (EN ISO 6946:2008, Gl.2)

Hinweis: Für den Diffusionsnachweis empfehlen wir die Verwendung einer "ruhenden Luftschicht"

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,438$ W/m²K (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2:2003

Dachdecke. Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse < 100 kg/m² nach 5.2.2.

$R \quad 2,08 \geq 1,75 \quad [m^2K/W]$ erfüllt die Anforderungen

Temperaturverlauf und Diffusionsberechnung

Bauteil: Dach (Da1) – bisheriges Dach Gymnastikraum

Klimabedingungen Normklimadaten DIN 4108

Tauperiode 1440 Stunden	Außenklima	-10,0 °C	$\varphi = 80$ %
	Innenklima	20,0 °C	$\varphi = 50$ %
Verdunstungsperiode 2160 Stunden	Außenklima	12,0 °C	$\varphi = 70$ %
	Innenklima	12,0 °C	$\varphi = 70$ %
Temperatur der Dachoberfläche		20,0 °C	

Grenzschichttemperaturen und Sättigungsdampfdrücke

von innen vor der Schichtgrenze	Tauperiode		Verdunstungsperiode	
	T _{gr} [°C]	p _s [Pa]	T _{gr} [°C]	p _s [Pa]
Raumluft	20,0	2340	12,0	1403
1 Nadelholz	18,7	2158	12,4	1441
2 Luftschicht ruhend	17,7	2027	12,6	1460
3 Aluminiumfolie >= 0,05mm	15,6	1773	13,2	1518
4 Mineralwolle MW 040, II	15,6	1773	13,2	1518
5 Luftschicht schwach belüf.	-4,1	433	18,7	2158
6 Holzschalung 24 mm	-6,3	359	19,3	2241
7 EVALON V Dachbahn	-8,7	291	20,0	2340
	-8,7	291	20,0	2340
Außenluft	-10,0	260	12,0	1403

Diffusionswiderstände

Schicht	μ _{min} [-]	μ _{max} [-]	μ _{min} *s [m]	μ _{max} *s [m]	s _d [m]
1 Nadelholz	40	40	0,40	0,40	0,40
2 Luftschicht ruhend	1	1	0,02	0,02	0,02
3 Aluminiumfolie >= 0,05mm	-	-	1500,00	1500,00	1500,00
4 Mineralwolle MW 040, II	1	1	0,06	0,06	0,06
5 Luftschicht schwach belüf.	1	1	0,20	0,20	0,20
6 Holzschalung 24 mm	40	40	0,96	0,96	0,96
7 EVALON V Dachbahn	-	-	14,40	21,60	<- 21,60

				Σ μ*s =	1523,24

Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3:2001

Vermeidung kritischer Feuchte auf Innenoberflächen (A.5)

R_{min} = 0,29 < 2,08 m²K/W = R_{vorh.} in Ordnung nach DIN 4108-3, A.12

Mindest-Wärmedurchlasswiderstand R_{min} = R_{si} * ((θ_i - θ_e) / (θ_i - θ_s)) - (R_{si} + R_{se})

Gl. A.12 mit R_{si} / R_{se} = 0.25 / 0.04 m²K/W und θ_i / θ_e = 20 / -5 °C nach DIN 4108-2 Abs.6.2

Die Taupunkttemperatur der Raumluft (20,0°C 50%) beträgt θ_s = 9,3 °C (DIN 4108-3, Tab A.2)

Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen (A.2)

Keine Tauwasserbildung im Bauteil.

Diffusionsstromdichte = 0,000 g/m²h

Bauteilberechnungen

Projekt: Realschule Garstedt
 Bauteil: Dach (Da2) – Dach über Schwimmbad

Bauteiltyp "Dachdecke"
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ²]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
R_{si}					0,100
01 Nadelholz	1,00	600	6,0	0,130	0,077
02 Mineralwolle MW 040, II	4,00	30	1,2	0,040	1,000
03 Luftschicht ruhend	20,00	1	0,0	-	0,160
04 Holzschalung 24 mm	2,40	600	14,4	0,130	0,185
05 PE-Folie $\geq 0,1\text{mm}$	0,02	1000	0,2	-	-
06 EPS 035, II	10,00	30	3,0	0,035	2,857
07 EVALON V Dachbahn	0,22	-	1,7	-	-
R_{se}					0,040
$d =$					37,64
$G =$			26,5	$R_T =$	
4,42					

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,226 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2:2003

Dachdecke. Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse $< 100 \text{ kg/m}^2$ nach 5.2.2.

$R = 4,28 \geq 1,75 \text{ [m}^2\text{K/W]}$ erfüllt die Anforderungen

Temperaturverlauf und Diffusionsberechnung

Bauteil: Dach (Da2) – Dach über Schwimmbad

Klimabedingungen Schwimmbad 30°C

Tauperiode 1440 Stunden	Außenklima	-10,0 °C	$\varphi = 80 \%$
	Innenklima	30,0 °C	$\varphi = 50 \%$
Verdunstungsperiode 2160 Stunden	Außenklima	12,0 °C	$\varphi = 70 \%$
	Innenklima	30,0 °C	$\varphi = 50 \%$
Temperatur der Dachoberfläche		20,0 °C	

Grenzschichttemperaturen und Sättigungsdampfdrücke

von innen vor der Schichtgrenze	Tauperiode		Verdunstungsperiode	
	T _{gr} [°C]	P _s [Pa]	T _{gr} [°C]	P _s [Pa]
Raumluft	30,0	4244	30,0	4244
1 Nadelholz	29,1	4030	29,0	4196
2 Mineralwolle MW 040, II	28,4	3871	29,6	4148
3 Luftschicht ruhend	19,3	2241	27,3	3631
4 Holzschalung 24 mm	17,9	2052	26,9	3544
5 PE-Folie >= 0,1mm	16,2	1841	26,5	3463
6 EPS 035, II	16,0	1841	26,5	3463
7 EVALON V Dachbahn	-9,6	269	20,0	2340
	-9,6	269	20,0	2340
Außenluft	-10,0	260	12,0	1403

Diffusionswiderstände

Schicht	H _{min} [-]	H _{max} [-]	H _{min} *s [m]	H _{max} *s [m]	s _d [m]
1 Nadelholz	40	40	0,40	0,40	0,40
2 Mineralwolle MW 040, II	1	1	0,04	0,04	0,04
3 Luftschicht ruhend	1	1	0,20	0,20	0,20
4 Holzschalung 24 mm	40	40	0,96	0,96	0,96
5 PE-Folie >= 0,1mm	-	-	100,00	100,00	100,00
6 EPS 035, II	20	100	2,00	10,00	-> 2,00
7 EVALON V Dachbahn	-	-	14,40	21,60	<- 21,60
					Σ μ*s = 125,20

Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3:2001

Vermeidung kritischer Feuchte auf Innenoberflächen (A.5)

R_{min} = 3.62 < 4,28 m²K/W = R_{vorh.} in Ordnung nach DIN 4108-3, A.12

Mindest-Wärmedurchlasswiderstand R_{min} = R_{si} * ((θ_i - θ_e) / (θ_i - θ_s)) - (R_{si} + R_{se})

Gl. A.12 mit R_{si} / R_{se} = 0.25 / 0.04 m²K/W und θ_i / θ_e = 20 / -5 °C nach DIN 4108-2 Abs.6.2

Die Taupunkttemperatur der Raumluft (30,0°C 50%) beträgt θ_s = 18,4 °C (DIN 4108-3, Tab A.2)

Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen (A.2)

Tauwasserbildung im Bauteil

Taubene vor Schicht "PE-Folie >= 0,1mm"

$$m_{W,T} = 1440 * \left(\frac{2122 - 1841}{1,60} - \frac{1841 - 269}{102,00} \right) / 1500 = 153,8 \text{ g/m}^2 \text{ Tauwasser}$$

$$m_{W,V} = 2160 * \left(\frac{3463 - 2122}{1,60} + \frac{3463 - 2340}{102,00} \right) / 1500 = 1222,8 \text{ g/m}^2 \text{ Verdunstung}$$

Taubene vor Schicht "EVALON V Dachbahn"

$$m_{W,T} = 1440 * \left(\frac{1841 - 269}{102,00} - \frac{269 - 208}{21,60} \right) / 1500 = 12,1 \text{ g/m}^2 \text{ Tauwasser}$$

$$m_{W,V} = 2160 * \left(\frac{2340 - 3463}{102,00} + \frac{2340 - 982}{21,60} \right) / 1500 = 74,7 \text{ g/m}^2 \text{ Verdunstung}$$

Die Tauwasserbildung im Bauteil ist im Sinne von DIN 4108-3 unschädlich, da m_{W,T} < zul m_{W,T} und m_{W,V} > m_{W,T}.

Bauteilberechnungen

Projekt: Realschule Garstedt
 Bauteil: Dach (Da3) – neues Dach über Gymnastikraum

Bauteiltyp "Dachdecke"
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ²]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
R_{si}					0,100
01 Holzschalung 24 mm	2,40	600	14,4	0,130	0,185
02 PE-Folie $\geq 0,1\text{mm}$	0,02	1000	0,2	-	-
03 EPS 035, II	10,00	30	3,0	0,035	2,857
04 EVALON V Dachbahn	0,22	-	1,7	-	-
R_{se}					0,040
d =		12,64	G =	19,3	$R_T =$ 3,18

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,314 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2:2003

Dachdecke. Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse < 100 kg/m² nach 5.2.2.

R 3,04 \geq 1,75 [m²K/W] erfüllt die Anforderungen

Temperaturverlauf und Diffusionsberechnung

Bauteil: Dach (Da3-1)

Klimabedingungen Normklima DIN 4108

Tauperiode 1440 Stunden	Außenklima	-10,0 °C	$\varphi =$ 80 %
	Innenklima	20,0 °C	$\varphi =$ 50 %
Verdunstungsperiode 2160 Stunden	Außenklima	12,0 °C	$\varphi =$ 70 %
	Innenklima	12,0 °C	$\varphi =$ 70 %
Temperatur der Dachoberfläche		20,0 °C	

Grenzschichttemperaturen und Sättigungsdampfdrücke

von innen vor der Schichtgrenze	Tauperiode		Verdunstungsperiode	
	T_{gr} [°C]	p_s [Pa]	T_{gr} [°C]	p_s [Pa]
Raumluft	20,0	2340	12,0	1403
1 Holzschalung 24 mm	19,1	2212	12,3	1431
2 PE-Folie $\geq 0,1\text{mm}$	17,3	1976	12,7	1470
3 EPS 035, II	17,3	1976	12,7	1470
4 EVALON V Dachbahn	-9,6	269	20,0	2340
	-9,6	269	20,0	2340
Außenluft	-10,0	260	12,0	1403

Diffusionswiderstände

Schicht	μ_{min} [-]	μ_{max} [-]	$\mu_{min} \cdot s$ [m]	$\mu_{max} \cdot s$ [m]	s_d [m]
1 Holzschalung 24 mm	40	40	0,96	0,96	0,96
2 PE-Folie $\geq 0,1mm$	-	-	100,00	100,00	100,00
3 EPS 035, II	20	100	2,00	10,00	-> 2,00
4 EVALON V Dachbahn	-	-	14,40	21,60	<- 21,60
				$\Sigma \mu \cdot s =$	124,56

Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3:2001

Vermeidung kritischer Feuchte auf Innenoberflächen (A.5)

$R_{min} = 0,29 < 3,04 \text{ m}^2\text{K/W} = R_{vorth.}$ in Ordnung nach DIN 4108-3, A.12

Mindest-Wärmedurchlasswiderstand $R_{min} = R_{si} \cdot ((\theta_i - \theta_e) / (\theta_i - \theta_s)) - (R_{si} + R_{se})$

Gl. A.12 mit $R_{si} / R_{se} = 0,25 / 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $\theta_i / \theta_e = 20 / -5 \text{ °C}$ nach DIN 4108-2 Abs.6.2

Die Taupunkttemperatur der Raumluft (20,0°C 50%) beträgt $\theta_s = 9,3 \text{ °C}$ (DIN 4108-3, Tab A.2)

Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen (A.2)

Taubene vor Schicht "EVALON V Dachbahn"

$$m_{W,T} = 1440 \cdot \left(\frac{1170 - 269}{102,96} - \frac{269 - 208}{21,60} \right) / 1500 = 5,7 \text{ g/m}^2 \text{ Tauwasser}$$

$$m_{W,V} = 2160 \cdot \left(\frac{2340 - 982}{102,96} + \frac{2340 - 982}{21,60} \right) / 1500 = 109,5 \text{ g/m}^2 \text{ Verdunstung}$$

Die Tauwasserbildung im Bauteil ist im Sinne von DIN 4108-3 unschädlich, da

$m_{W,T} < \text{zul } m_{W,T}$ und $m_{W,V} > m_{W,T}$

Mindest- s_d -Wert einer innenliegenden Dampfsperre für eine tauwasserfreie Konstruktion:

$$s_{d,erf} = s_{de} \cdot (p_i - p_e) / (p_{sw} - p_e) - s_{di} - s_{de} = 21,60 \cdot (1170 - 208) / (269 - 208) - 102,96 - 21,60 = 216,1 \text{ m}$$

Bauteilberechnungen

Projekt: Realschule Garstedt

Bauteil: Dach (Da3-2) – neues Dach über Gymnastikraum, $U \leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Bauteiltyp "Dachdecke"

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{Si} = 0,10$ und $R_{Se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ²]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
R_{Si}					0,100
01 Holzschalung 24 mm	2,40	600	14,4	0,130	0,185
02 PE-Folie $\geq 0,1\text{mm}$	0,02	1000	0,2	-	-
03 EPS 035, II	18,00	30	5,4	0,035	5,143
04 EVALON V Dachbahn	0,22	-	1,7	-	-
R_{Se}					0,040
$d = 20,64$ $G = 21,7$ $R_T = 5,47$					

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,183 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2:2003

Dachdecke. Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse $< 100 \text{ kg}/\text{m}^2$ nach 5.2.2.

$R = 5,33 \geq 1,75 \text{ [m}^2\text{K}/\text{W}]$ erfüllt die Anforderungen

Temperaturverlauf und Diffusionsberechnung

Bauteil: Dach (Da3-2)

Klimabedingungen Normklima DIN 4108

Tauperiode 1440 Stunden	Außenklima	-10,0 °C	$\varphi = 80 \%$
	Innenklima	20,0 °C	$\varphi = 50 \%$
Verdunstungsperiode 2160 Stunden	Außenklima	12,0 °C	$\varphi = 70 \%$
	Innenklima	12,0 °C	$\varphi = 70 \%$
Temperatur der Dachoberfläche		20,0 °C	

Grenzschichttemperaturen und Sättigungsdampfdrücke

von innen vor der Schichtgrenze	Tauperiode		Verdunstungsperiode	
	T_{gr} [°C]	p_s [Pa]	T_{gr} [°C]	p_s [Pa]
Raumluft	20,0	2340	12,0	1403
1 Holzschalung 24 mm	19,5	2268	12,1	1413
2 PE-Folie $\geq 0,1\text{mm}$	18,4	2119	12,4	1441
3 EPS 035, II	18,4	2119	12,4	1441
4 EVALON V Dachbahn	-9,8	264	20,0	2340
Außenluft	-9,8	264	20,0	2340
	-10,0	260	12,0	1403

Diffusionswiderstände

Schicht	μ_{min} [-]	μ_{max} [-]	$\mu_{min} \cdot s$ [m]	$\mu_{max} \cdot s$ [m]	s_d [m]
1 Holzschalung 24 mm	40	40	0,96	0,96	0,96
2 PE-Folie $\geq 0,1mm$	-	-	100,00	100,00	100,00
3 EPS 035, II	20	100	3,60	18,00	-> 3,60
4 EVALON V Dachbahn	-	-	14,40	21,60	<- 21,60
				$\Sigma \mu \cdot s =$	126,16

Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3:2001

Vermeidung kritischer Feuchte auf Innenoberflächen (A.5)

$R_{min} = 0,29 < 5,33 \text{ m}^2\text{K/W} = R_{vorh.}$ in Ordnung nach DIN 4108-3, A.12

Mindest-Wärmedurchlasswiderstand $R_{min} = R_{si} \cdot ((\theta_i - \theta_e) / (\theta_i - \theta_s)) - (R_{sj} + R_{se})$

Gl. A.12 mit $R_{si} / R_{se} = 0,25 / 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $\theta_i / \theta_e = 20 / -5 \text{ °C}$ nach DIN 4108-2 Abs.6.2

Die Taupunkttemperatur der Raumluft (20,0°C 50%) beträgt $\theta_s = 9,3 \text{ °C}$ (DIN 4108-3, Tab A.2)

Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen (A.2)

Taubene vor Schicht "EVALON V Dachbahn"

$$m_{W,T} = 1440 \cdot \left(\frac{1170 - 264}{104,56} - \frac{264 - 208}{21,60} \right) / 1500 = 5,8 \text{ g/m}^2 \text{ Tauwasser}$$

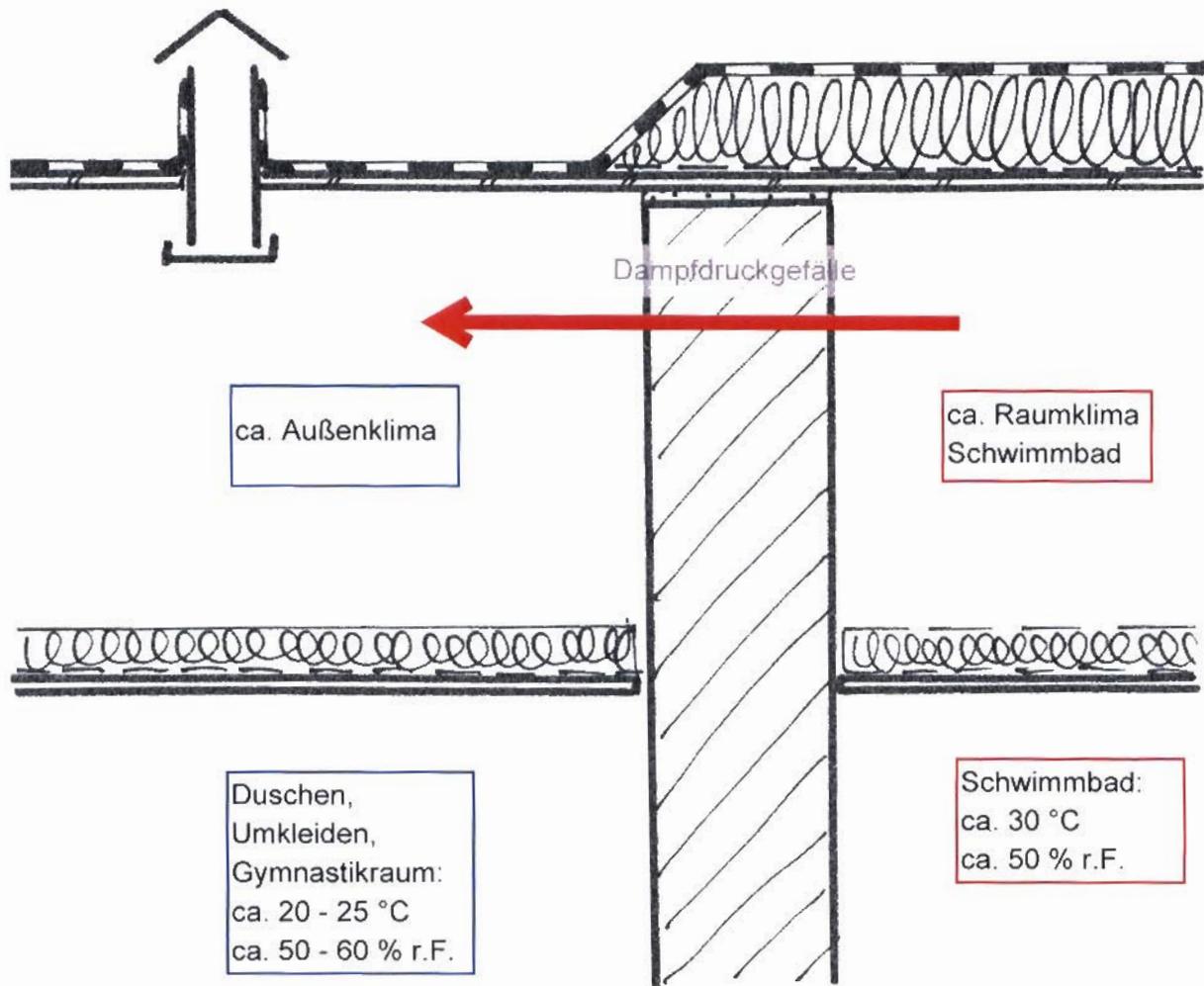
$$m_{W,V} = 2160 \cdot \left(\frac{2340 - 982}{104,56} + \frac{2340 - 982}{21,60} \right) / 1500 = 109,2 \text{ g/m}^2 \text{ Verdunstung}$$

Die Tauwasserbildung im Bauteil ist im Sinne von DIN 4108-3 unschädlich, da

$$m_{W,T} < \text{zul } m_{W,T} \text{ und } m_{W,V} > m_{W,T}$$

Mindest- s_d -Wert einer innenliegenden Dampfsperre für eine tauwasserfreie Konstruktion:

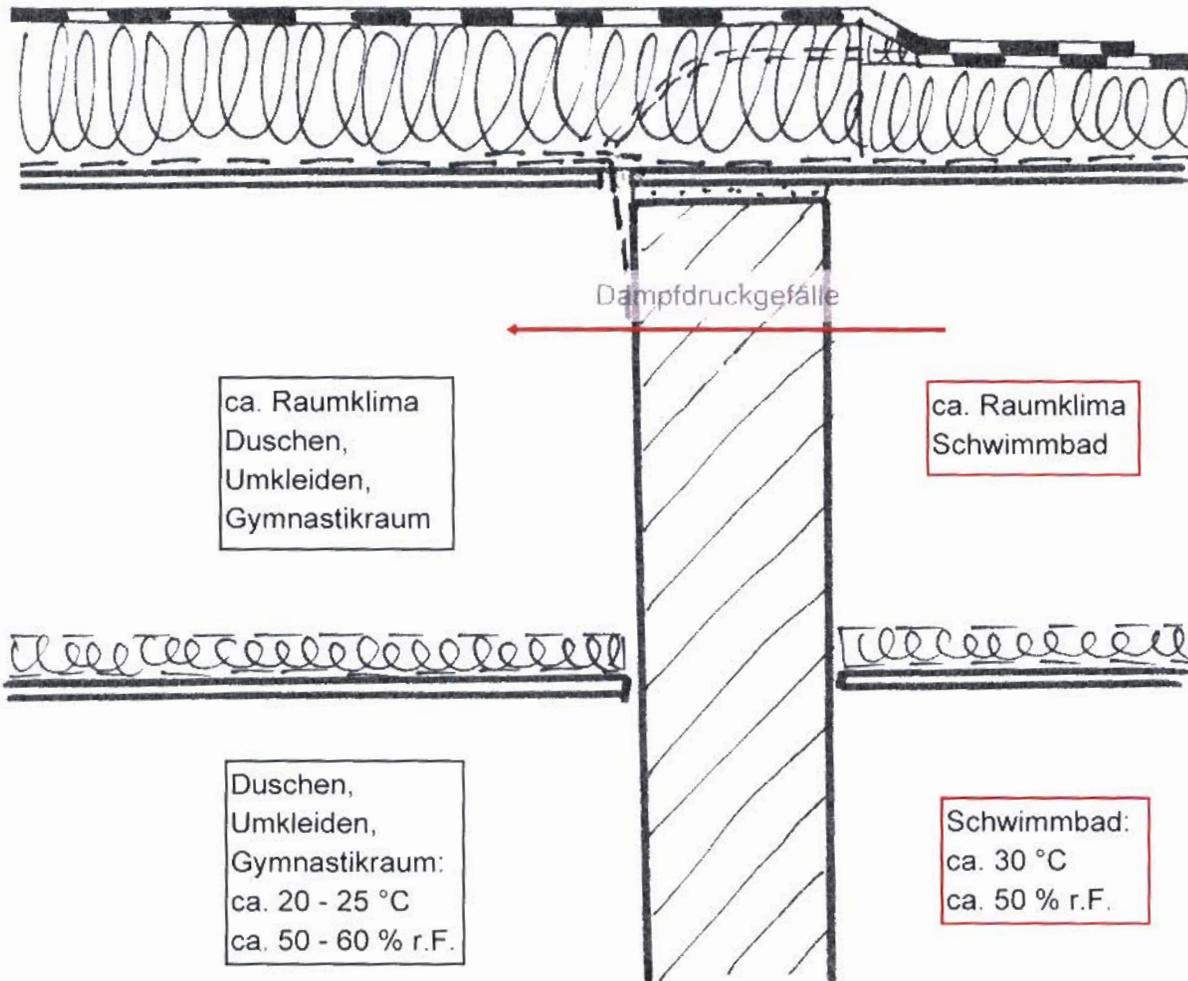
$$s_{d,erf} = s_{de} \cdot (p_i - p_e) / (p_{sw} - p_e) - s_{di} - s_{de} = 21,60 \cdot (1170 - 208) / (264 - 208) - 104,56 - 21,60 = 244,9 \text{ m}$$



Prinzipskizze

Anschluss Dach Gymnastikraum o. ä. /
Dach Schwimmbad / Trennwand
(bisherige Situation)

neuer Dachaufbau,
Dampfsperre an Mauerwerk führen,
Dampfsperren überlappen



Prinzipskizze

Anschluss Dach Gymnastikraum o. ä. /
Dach Schwimmbad / Trennwand
(nach der Sanierung)