



DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Geschlossener Gehbelag auf Flachdächern in Stahlbetonbauweise

Sealed top layers on flat roofs of
reinforced concrete ceilings

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn Andreas Kolbitsch

und als verantwortlich mitwirkendem Assistenten

Dipl.Päd. Dipl.-Ing. Dr.techn Sinan Korjenic

am

Institut für Hochbau und Technologie - E206

Forschungsbereich Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

Eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Martin Mörixbauer

E610 - 9726201

Johann Strauß Gasse 9

1040 Wien

Wien, im April 2013

.....
Martin Mörixbauer

VORWORT

Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kolbitsch und Herrn Dipl.Päd. Dipl.-Ing. Dr.techn. Sinan Korjenic möchte ich für eine gute und konstruktive Betreuung dieser Diplomarbeit danken. Herrn Ing. Wolfgang Hubner möchte ich für seine wertvollen Hinweise danken.

Meiner Familie und meiner Partnerin gilt großer Dank für die stete Unterstützung und die enorme Geduld, die mir entgegen gebracht wurde. Die Chance, mein Studium trotz widriger Voraussetzungen letztendlich doch abschließen zu können, war und ist für mich von unbezahlbarem Wert.

Meinen Freunden und Studienkollegen danke ich für ihren Zuspruch und Rückhalt.

Ich möchte an dieser Stelle all jenen, die vom Studium berufsbedingt pausieren oder es vielleicht bereits abgebrochen haben, aber noch Hoffnung hegen es eines Tages abzuschließen, Mut zusprechen, ihr Ziel weiter zu verfolgen.

KURZFASSUNG

Diese Arbeit befasst sich mit geschlossenen Gehbelägen auf Flachdächern in Stahlbetonbauweise, im Sinne von im Mörtelbett verlegten plattenförmigen Nuttschichten mit geschlossenen Fugen. Gängige Aufbauten von Terrassen, wie beispielsweise Betonplatten im Kiesbett, aufgeständerte Plattenbeläge oder Holzroste, sind durch ihre diffusionsoffene Bauweise über der Abdichtung gekennzeichnet.

Untersucht wird im Rahmen dieser Arbeit, wie sich geschlossene Gehbeläge auf Flachdächern verhalten und ob diese grundsätzlich mit den Anforderungen der geltenden Normung vereinbar sind.

Aufgrund fehlender österreichischer Normung hinsichtlich geschlossener Beläge für Außenbereiche, werden für die einzelnen Elemente des Aufbaus Informationen aus Literatur, Richtlinien und Herstellerangaben angeführt. Ausgehend davon werden für vier Aufbauten stationäre und instationäre Berechnungen durchgeführt.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die stationäre Berechnung die Anforderungen der geltenden Ö-Normen erfüllt. Durch die instationäre Berechnung wird deutlich, dass ein geschlossener Belag ungünstige Auswirkungen auf den Aufbau hat. Im Gegensatz zu „offenen“ Terrassenaufbauten behindern geschlossene Beläge den Abfluss von auftretendem Oberflächenwasser, speichern durch ihre Porosität Feuchtigkeit, bilden eine Barriere für die erforderliche Dampfdiffusion und erschweren die Austrocknung der oberen Belagsschichten.

ABSTRACT

This thesis deals with sealed top layers on flat roofs of reinforced concrete ceilings in terms of mortar bedded tiles or flags with tight joints. Current constructional systems of terraces, like boards in gravel bed, elevated boards or timber grating are each identified by high water vapor permeability above the sealing.

Within the scope of this thesis, the behavior of sealed top layers on flat roofings is studied and the question if national requirements can be eased.

Due to missing national standardisation, regarding sealed top layers for outlying floors, the construction elements are specified by means of descriptive literature, standard guidelines and manufacturers instructions. Based on this data, four terrace mountings are calculated in steady and unsteady state with different software.

The outcome is that steady calculation can meet the demands of the effective national engineering standards. The unsteady calculation reveals the adverse effects of a sealed top layer on the present mountings. Compared to current terrace mountings sealed top layers restrain the free drain of rainwater and desiccation, store moisture through its porosity and develop a barrier for the occurring vapor diffusion.

INHALT

1 EINLEITUNG.....	3
2 GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG FLACHGENEIGTER DÄCHER.....	4
2.1 Der horizontale Gebäudeabschluss.....	4
2.1.1 Historische Aufbauten und Konstruktionen	8
2.2 Gegenwärtiger Stand der Technik.....	12
2.2.1 Begriffsbestimmungen der Elemente eines Flachdachs	13
2.2.2 Gängige Systeme und Aufbauten in Stahlbetonbauweise.....	16
3 SPEZIFISCHE MÄNGEL VON BEGEHBAREN FLACHDÄCHERN.....	22
3.1 Abgrenzung der Begriffe Baumangel und Bauschaden	22
3.2 Differenzierung von Baumängeln.....	23
3.2.1 Planungsmängel.....	23
3.2.2 Ausführungsmängel.....	25
3.2.3 Materialmängel	25
4 AUFBAUTEN FÜR STAHLBETONDECKEN IM NEUBAU.....	27
4.1 Bauphysikalische Grundlagen, Anforderungen laut Norm	27
4.1.1 Wärmeschutz	27
4.1.2 Feuchteschutz.....	35
4.2 Geschlossener Gehbelag bei Flachdächern	49
4.2.1 Überblick der auftretenden Beanspruchungen	49
4.2.2 Elemente von geschlossenen Gehbelägen.....	51
4.2.3 Auswirkungen des geschlossenen Gehbelags auf den Aufbau	62
4.3 Mögliche Aufbauten mit geschlossenem Gehbelag	65
4.3.1 Fliesenbelag im Dünnbett auf Zementestrich, Kiesbettdrainage.....	66
4.3.2 Fliesenbelag im Dünnbett auf Zementestrich, Drainmatte.....	67
4.3.3 Plattenbelag im Mörtelbett auf Einkornmörtel.....	68
4.3.4 Plattenbelag auf Kleber/Fixiermasse, Drainmatte	69
4.4 Stationäre Berechnung	70
4.4.1 Programm ArchiPhysik.....	70
4.4.2 Eingabewerte	70
4.4.3 Ergebnis der Berechnung	71
4.4.4 Interpretation der Ergebnisse	72

4.5 Instationäre Berechnung durch numerische Simulation	77
4.5.1 Programm WUFI Pro	78
4.5.2 Eingabewerte	78
4.5.3 Ergebnis der Berechnung	80
4.6 Zusammenfassung	94
5 ANHANG	96
5.3 Literaturverzeichnis	96
5.3.1 Normen und Richtlinien	96
5.3.2 Bücher, Zeitschriften	98
5.3.3 Artikel	99
5.4 Abbildungsverzeichnis	101
5.5 Tabellenverzeichnis	103
5.1 ArchiPhysik Datenblätter	104
5.1.1 Aufbau 1	105
5.1.2 Aufbau 2	110
5.1.3 Aufbau 3	115
5.1.4 Aufbau 4	120
5.2 WUFI Datenblätter	124
5.2.1 Aufbau 1	125
5.2.2 Aufbau 2	127
5.2.3 Aufbau 3	129
5.2.4 Aufbau 4	131
5.2.4 Regen, Solarstrahlung, Temperatur, relative Luftfeuchte	133

1 Einleitung

Flach geneigte Dachkonstruktionen und Steildächer stehen im Hochbau gleichberechtigt nebeneinander. Sie werden, je nach baulichen Erfordernissen und Bauherrnwünschen ausgeführt und bieten unterschiedliche Vorteile.

Im Wohnbau lässt sich ein Trend zur Erweiterung der Wohnfläche um angeschlossene Freiflächen feststellen. Gemeinschaftlich oder ausschließlich privat genutzt, finden diese Freiflächen verstärkt Einzug in das gegenwärtige Baugeschehen. Abgesehen von vorgelagerten Konstruktionen wie Loggien und Balkonen, entstehen auch durch Flachdächer potentielle Freiflächen.

Demzufolge bietet das Flachdach, im Gegensatz zu geneigten Dachkonstruktionen, die Möglichkeit, seine Fläche als Dachterrasse zu nutzen.

Ein Flachdach zählt hinsichtlich bauphysikalischer Vorgängen und bautechnischer Ausführung zu den komplexesten Bauteilen im Hochbau. Es ist höchsten Beanspruchungen durch Temperatur, Strahlung, chemische und mechanische Vorgänge und nicht zuletzt Feuchtigkeit ausgesetzt. Bewährte Konstruktionen für Oberflächen genutzter Flachdächer sind in der Regel aufgeständerte Platten, Holzroste oder im Kiesbett verlegte Betonplatten. Neben diesen offenen Oberflächen werden in den letzten Jahren vermehrt geschlossene Oberflächen nachgefragt, deren Charakteristik, im Mörtelbett verlegte Plattenwerkstoffe mit geschlossenen Fugen sind.

Im Rahmen dieser Arbeit sind geschlossene Gehbeläge auf Flachdächern in Stahlbetonbauweise in materialspezifischer und bauphysikalischer Hinsicht zu untersuchen. In Ermangelung einer diesbezüglichen Norm, werden entsprechende Informationen aus Richtlinien und Herstellerangaben verwendet und in Form von unterschiedlichen Aufbauten einer Berechnung unterzogen. Stationäre und instationäre Berechnung sollen Problembereiche und zugleich Möglichkeiten zur Realisierung derartiger Beläge aufzeigen.

2 Geschichtliche Entwicklung flachgeneigter Dächer

2.1 Der horizontale Gebäudeabschluss

Ein horizontaler Gebäudeabschluss ist bereits seit Jahrhunderten in den verschiedensten Regionen mit unterschiedlichen Kulturen und klimatischen Bedingungen gängige Baupraxis. Die zur Verfügung stehenden Baumaterialien waren durch die in der jeweiligen Region vorkommenden Ressourcen beschränkt. Dementsprechend vielfältig sind die heute überlieferten Konstruktionen, wenngleich sie alle den Baustoff Holz als gemeinsamen Nenner aufweisen. Die weiteste Verbreitung fanden flache Dächer in Regionen mit heißem und eher trockenem Klima [39]. Ausnahmen bilden flach gedeckte Häuser in nördlichen Breitengraden, deren auf dem Dach liegende Schneedecke eine natürliche Wärmedämmung bildet und dadurch im kalten Klima einen entscheidenden Vorteil gegenüber einem Steildach hat.

Heutzutage ist man durch die große Vielfalt der im Bauwesen eingesetzten Materialien verleitet über diese archetypischen Konstruktionen von primitiven Bauten zu sprechen. Bei genauerer Betrachtung jedoch, zeugen die damaligen Flachdächer hinsichtlich Aufbereitung der Baustoffe und handwerklichem Konstruieren mit einfachsten Mitteln von großem Know-How und Ideenreichtum.

So wurden bereits vor rund 8000 Jahren in Zentralanatolien ganze Städte mit Flachdächern gebaut [38]. In Tibet, Kaschmir, Südamerika und der Region um den Kaukasus war das Flachdach ebenfalls die übliche Art der Bedachung von Gebäuden. Dabei erfüllte das ebene und flache Dach meist mehr Aufgaben als nur für einen Raumabschluss und für den Schutz vor der Witterung zu sorgen. Es wurde als Nutz- und Verkehrsfläche, als zusätzliche Wohnfläche, als Lagerplatz und als potenzielle Erweiterungsfläche für Aufstockungen verstanden.

Erst nach Jahrhunderten hat diese Art der flachen Dachkonstruktion begonnen, sich in Mittel- und Nordeuropa zu entwickeln. Dies ist sicherlich auch darin

begründet, dass in dieser Region vermehrt Niederschläge vorkommen und das Schrägdach aufgrund seines Gefälles anfallende Feuchtigkeit rascher ableiten konnte. Darüber hinaus war in eher feuchtem Klima reichlich an Baumaterial Holz vorhanden und ermöglichte, im Gegensatz zu trockenen Regionen mit kargem Holzvorkommen, aufwendigere Dachstuhlkonstruktionen.

Erst als die Renaissance mit ihren klaren, einfachen Strukturen die gotischen Spitzbögen und Strebebögen ablöste, entstand zunehmend der Wunsch nach einem horizontalen Gebäudeabschluss [39].

Vereinzelt werden Repräsentativbauten mit flachen Dächern wie zum Beispiel den hängende Garten in der Idealstadt Pienza von Papst Pius dem 2. (1462) oder die zehnstufige Terrassenkonstruktion auf der Isola Bella am Lago Maggiore (1630) gebaut. Wenig später findet die Verbreitung Richtung Norden über die Alpen statt, jedoch ist all diesen prunkvollen Terrassen und Dachgärten der außerordentlich hohe Aufwand für Abdichtung, Dämmung und Entwässerung mit teuren Materialien gemein.

Erst der Dresdner Bau- und Kommerzienrat Paul Jacob Marperger fordert in seinem 1722 verfassten Traktat das flache Dach für die Allgemeinheit, weniger wegen des Prestiges, sondern mehr für praktische Zwecke. So schrieb er über die von ihm bezeichneten *Altanen*:

„Was Altanen seyn / wird niemand so reschtlich unbekannt seyn / nemlich solche zu oberst der Häuser / Schlösser und Paläste angelegte und unbedeckte Plätze (...) auf welche man / vornehmlich zur lieblichen Sommerzeit seine Ergötzung bey angenehmen Abend-Stunden in freyer Lufft haben / und (...) gar bis ins freye Feld sehen / und an daselbst aufgesetzten Orangerien / oder andern Scherben-Gewächsen seine Lust haben kann (...)“

In seinen Ausführungen erwähnt er bereits jene Vorteile von benutzbaren Flachdächern, die 200 Jahre später zur Zeit der frühen Moderne, in angeregten Diskussionen der Bauwelt das Flachdach nach und nach etablieren.

Einen wesentlichen Schritt zur technologischen Weiterentwicklung, und demzufolge zur weiteren Verbreitung, stellt die Verfügbarkeit von Bitumen als Nebenprodukt der aufkommenden Erdölverarbeitung dar. Dieses neue Produkt eignete sich hervorragend als Abdichtungsmaterial und ermöglichte erstmals ökonomisch vernünftige Konstruktionen herzustellen.

Die wohl wichtigste Entwicklung im europäischen Raum war die des sogenannten Holzzementdachs durch den schlesischen Böttchermeister Samuel Häusler. Diese preiswerte und, im Vergleich zu reinen Holzdächern, brandbeständigere Konstruktion setzte sich vor allem bei Nebengebäuden in Großstädten durch [39]. Parallel dazu rückt der Dachgarten in den Fokus der Planer. Carl Rabitz, Maurermeister aus Berlin, verfasst 1867 eine Werbeschrift für „Naturdächer von vulkanischem Cement“ im Hinblick auf die gärtnerische Nutzung und Gestaltung von Flachdächern.

In den USA fand als erstes die großflächige Verbreitung des horizontalen Gebäudeabschluss statt. Die außerordentlich gute Wirtschaftslage und die Folgen des Großbrandes in Chicago im Jahr 1871, bei dem rund 18000 Häuser beschädigt wurden, führten zu einem enormen Bedarf an neuen oder erweiterten Gebäuden. Die Stadt dehnte sich infolgedessen rasant aus und erstmals wurden aus ökonomischen und auch brandschutztechnischen Gründen mehrheitlich Flachdächer realisiert. Dieser horizontale Gebäudeabschluss ist bei den frühen Hochhäusern, deren Fassaden sich am Klassizismus orientieren, nicht nur ästhetisch gewünscht, sondern bietet darüber hinaus ausreichend Platz für die nun aufkommenden haustechnischen Installationen [39].

Das Holzzementdach bleibt bis um 1920 dominierend, wenngleich der neue Baustoff Beton bereits seine Verwendung findet. Zunächst gerne von Architekten als Material für eine neue Formensprache verwendet, wird die Holzkonstruktion immer häufiger vom Eisenbeton als Tragkonstruktion abgelöst. In weiterer Folge setzt eine Sensibilisierung im Hinblick auf bauphysikalische Probleme wie Wärmedämmung, Wärmebrücken und Tauwasser ein und Abdichtungsmaterialien unterliegen einer steten Weiterentwicklung. Die Entwässerung erfolgt nicht mehr ausschließlich nach außen, sondern vereinzelt auch nach innen. Es entstand eine große Vielfalt an Materialien, Bauweisen und Meinungen zu baupraktischen

Lösungsansätzen, die teilweise auch als Unsicherheit interpretiert werden konnte und 1927, als eine der ersten Richtlinien zum Bau von Flachdächern, in der Frankfurter Norm für Kleinwohnungsbauten mündete.

Aufbruchsstimmung und Wirtschaftswachstum nach dem 2. Weltkrieg ermöglichen der flachen Dachkonstruktion einen starken Zuspruch. Der zum Teil hastige Wiederaufbau kann allerdings seine technischen Mängel nicht lange verbergen und erinnert an den fast vergessenen Dächerstreit. Die stete technologische Verbesserung sowie das große Engagement der Planer die Möglichkeiten von horizontalen Freiflächen bestmöglich zu nutzen, führte in den 1990er Jahren dazu, dass Steil- und Flachdach gleichberechtigt nebeneinander bestehen und je nach Anforderung realisiert wurden.

2.1.1 Historische Aufbauten und Konstruktionen

Flachdachkonstruktion im Jemen, um 1750:

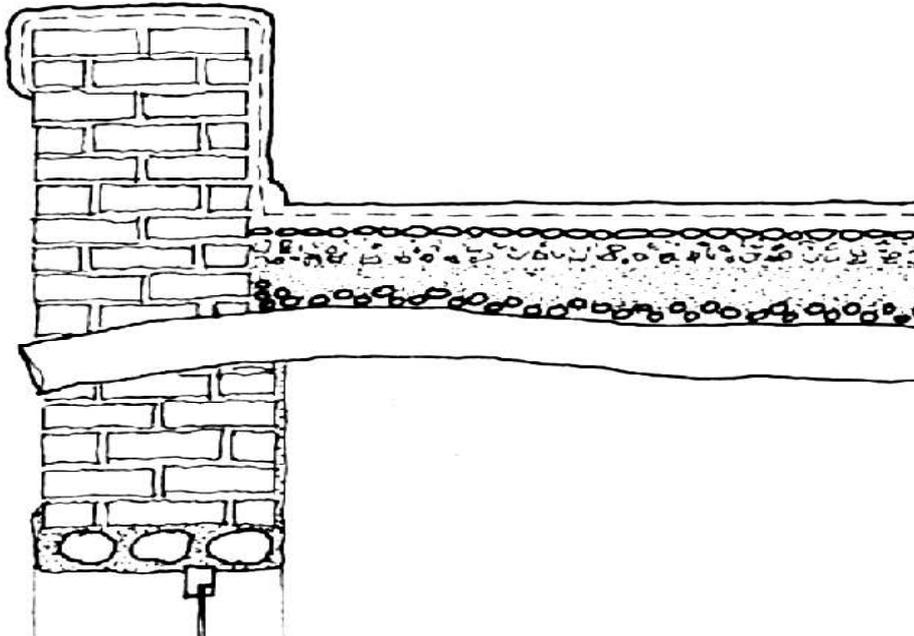


Abb. 1: Dachaufbau mit Qadath-Oberfläche nach dem Einstreichen mit heißem Öl, auf Flusssieseln, 5cm Trockenschüttung, 10cm Lehm, Knüppelholzlage und Rundhölzer als Deckenbalken. [43]

Holzzementdach um 1850:

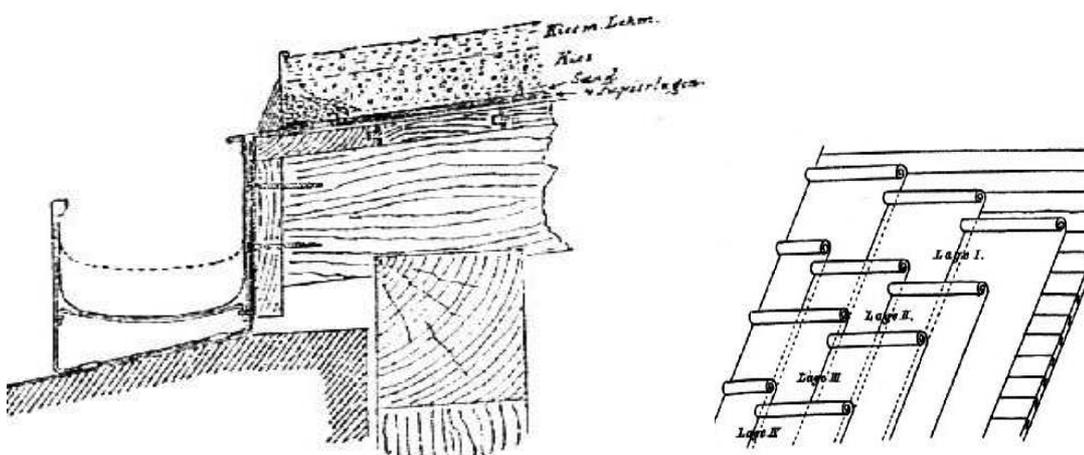


Abb. 2: Holzzementdach - Dachrandausbildung und Lage der Abdichtungsbahnen gemäß [39]

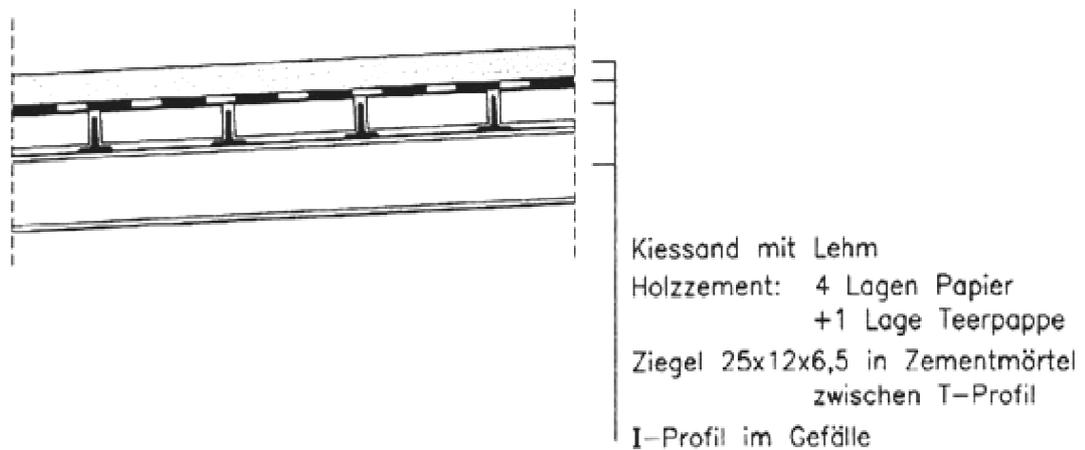
Kiesdach um 1882:

Abb. 3: Dachaufbau eines Repräsentationsgebäudes [27]

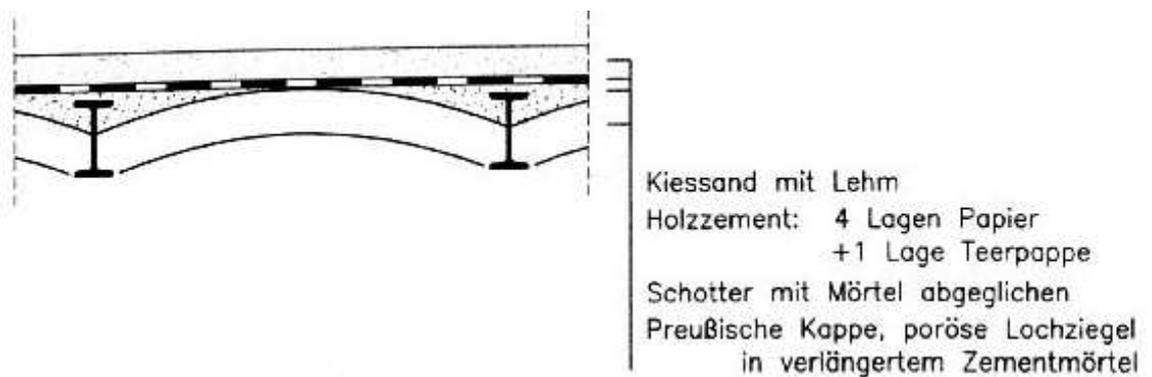


Abb. 4: Dachaufbau eines Fabrikgebäudes [27]

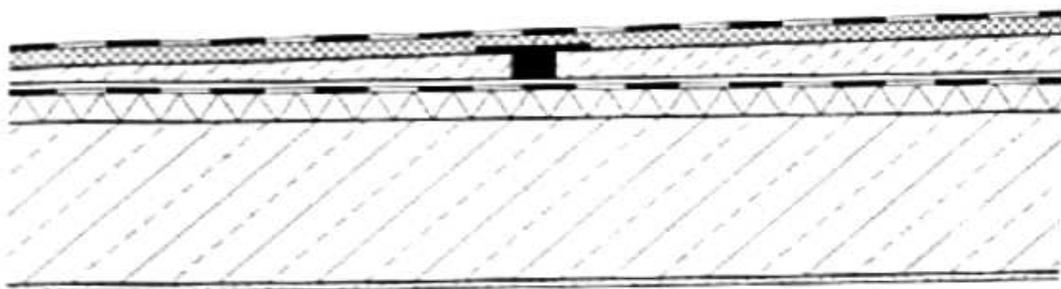
Flachdach der Meisterhäuser in Dessau 1926:

Abb. 5: Dachaufbau [43]

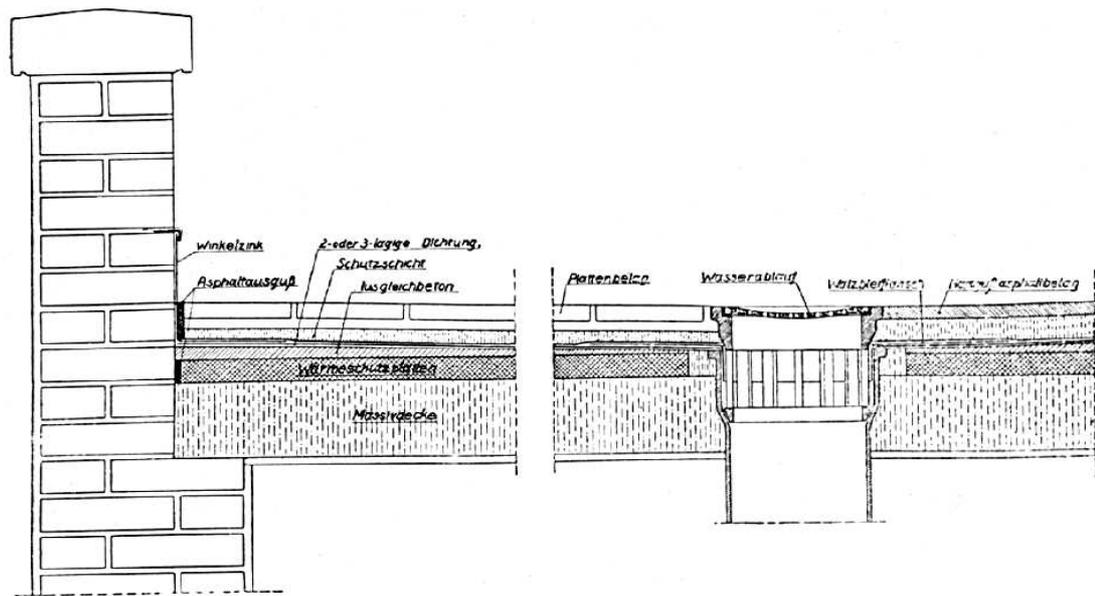
begehbares Flachdach 1930:

Abb. 6: begehbares Flachdach mit Innenentwässerung [40]

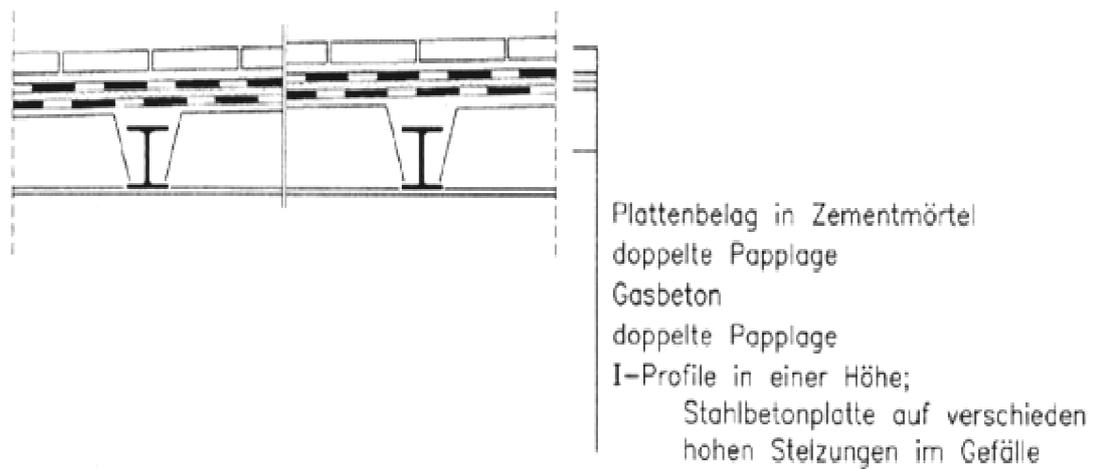
Flachdach, 1933/1934:

Abb. 7: begehbares Flachdach [27]

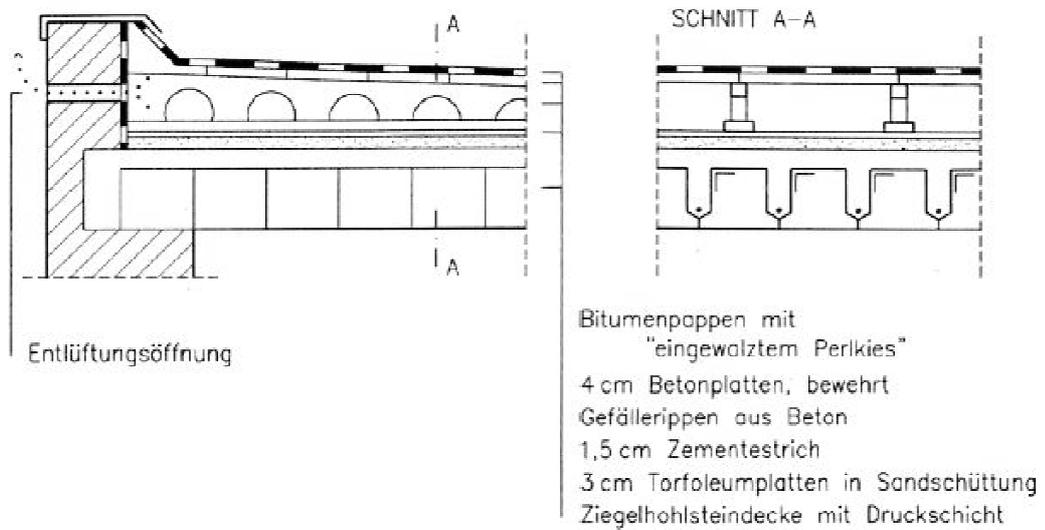


Abb. 8: nicht begehbare Flachdach [27]

Dachausbildung Farnsworth House, von Frank Lloyd Wright, 1950:

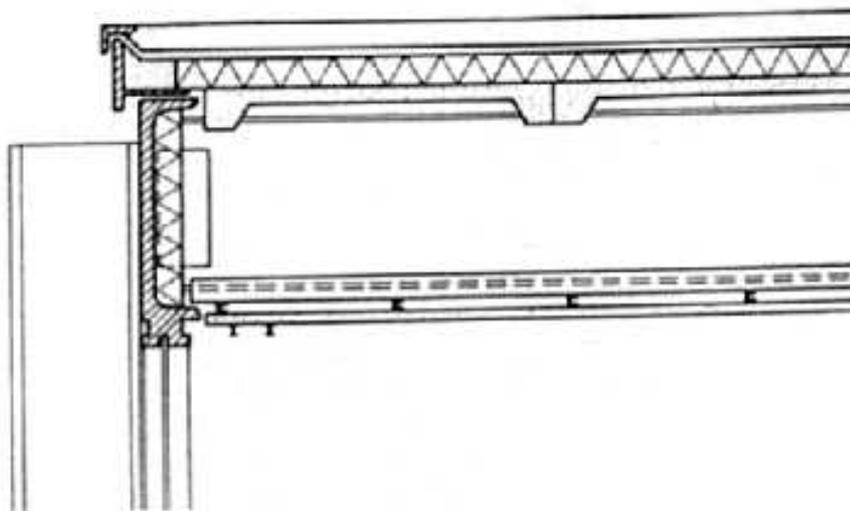


Abb. 9: Dachkonstruktion in Stahlbauweise [39]

2.2 Gegenwärtiger Stand der Technik

Flachdächer erhalten anstelle einer Dachdeckung eine Dachabdichtung. Dachflächen mit einer Neigung von maximal 5° werden üblicherweise als Flachdächer bezeichnet. Sie sind für alle Dachformen möglich und schränken weder die Art der darunterliegenden Tragkonstruktion, noch die dafür verwendeten Materialien ein.

Das Flachdach wird in vielen Bereichen des Bauwesens verwendet. Die Komplexität im Zusammenspiel von Tragkonstruktion, Aufbau der darüber liegenden Schichten, Innenraumnutzung und Außenklima wird bei der Verwendung im Wohnbau am deutlichsten.

Grundsätzlich ist zwischen Flachdächern mit und ohne vorgesehener Nutzung zu unterscheiden, da eine Nutzung die auftretenden Beanspruchungen und demzufolge das Schadensrisiko wesentlich erhöht. Während nicht genutzte Dachflächen mittlerweile als beständige und dauerhafte Konstruktionen gelten, deren Beanspruchungsfaktoren in Art und Größe hinreichend bekannt sind, ist dies bei genutzten Dächern weniger leicht festzuhalten. Wie in Deutschland wird in der neu erschienenen ÖNORM B 3691 zwischen unterschiedlichen Anwendungskategorien unterschieden, um die geplante Verwendung und ihre Anforderungen besser aufeinander abzustimmen.

2.2.1 Begriffsbestimmungen der Elemente eines Flachdachs

Abdichtung: Die Abdichtung schützt die darunter liegende Dachkonstruktion vor dem Eindringen von Feuchtigkeit und ist im Gegensatz zur Dachdeckung wasserdicht. Sie wird heutzutage aus unterschiedlichen Materialien wie Bitumen oder Kunststoff hergestellt und wird aus bahnenförmigen oder flüssigen Abdichtungsstoffen in entsprechend gründlicher Verarbeitung flächig aufgebracht.

Anschluss: Ein Anschluss bezeichnet die fachmännische Verbindung von zwei, oder mehreren, aufeinander treffender Bauteile, ohne Verlust der jeweiligen statischen und bauphysikalischen Funktionen. In der Bauausführung haben die sogenannten *Anschlussdetails* große Bedeutung und werden daher planlich dargestellt.

Auflast: Eine Schicht wird als Auflast bezeichnet, wenn ihre Funktion primär die Lagesicherung und die Sicherung gegen Windsog ist. Sie kann, analog zum Oberflächenschutz, auch vor mechanischer Beschädigung sowie klimatischen Einflüssen schützen.

Ausgleichsschicht: Als Ausgleich von Unterschieden in der Ebenheit, Neigung oder Höhe wird im Aufbau von Bauteilen, mit dem Einbringen von gebundenen oder ungebundenen Baustoffen eine neue Oberfläche geschaffen. Im Flachdachaufbau wird unter Ausgleichsschicht meist eine Trennlage unter der aufzubringenden Schicht bezeichnet, die Schutz vor rauem Untergrund, mechanischen und chemischen Einflüssen bieten soll.

Dampfdruckausgleichsschicht: Bei fester Verklebung der Abdichtung mit Stahlbeton, muss gewährleistet sein, dass die Restfeuchtigkeit aus dem Beton abgeführt werden kann. Ähnliches trifft auch zu, wenn während dem Einbau von Wärmedämmungen Feuchtigkeit in Form von Niederschlägen auftritt. In beiden Fällen ist unter der Abdichtung eine Dampfdruckausgleichsschicht vorzusehen.

Dampfbremse: Siehe *Dampfsperre*.

Dampfsperre: Diese Schicht ist eine Barriere für Wasserdampfdiffusion zwischen Innenklima und Baukonstruktion. Charakterisiert wird ihre Wirkung durch den

sogenannten s_d -Wert, auch „diffusionsäquivalente Luftschichtdicke“ bezeichnet. In unterschiedlichen Quellen werden Materialien mit $0,5 \text{ m} < s_d\text{-Wert} < 1500 \text{ m}$ als Dampfbremse und jene mit $s_d\text{-Wert} \geq 1500 \text{ m}$ als Dampfsperre bezeichnet.

Dichtstoff: Dichtstoffe bzw. Dichtmittel werden zum Abdichten von kleinflächigen Bereichen wie Fugen und Spalten verwendet. Sie müssen in der Regel dauerelastisch sein.

Drainageschicht: Eine Drainageschicht befindet sich im Dachaufbau über der Abdichtung und dient dem Sammeln, drucklosen und raschen Ableiten von anfallender Feuchtigkeit durch beispielsweise Niederschlag.

Filtervlies: Diese flächig über der extrudierten Wärmedämmung liegende Schicht, soll das Einschlämmen von Feinkornanteilen bei Sickerungsvorgängen von Wasser verhindern.

Gefälle: Das für die rasche Ableitung von anfallendem Wasser erforderliche Gefälle kann entweder bereits in der Tragkonstruktion berücksichtigt werden, oder wird durch Gefälleschichten im Aufbau realisiert. Gefälleausgleichsschichten aus Normalbeton oder keilförmige Wärmedämmplatten eignen sich dazu am besten.

Haftbrücke: Dient als Vorbereitung für die folgende Schicht und wird beispielsweise vor der Verklebung von Abdichtungen zur Staubbinding und als Verbesserung des Klebeverbundes aufgebracht.

Oberflächenschutz: Als Oberflächenschutz wird beim Flachdach eine Schüttung oder eine Membran bezeichnet, die das darunter befindliche Material vor schädlichen mechanischen Einwirkungen oder klimatischen Einflüssen schützen soll.

Trennschicht: Als Trennschicht wird beim Flachdach eine dünne, meist aus Kunststoff gefertigte, Schicht bezeichnet, die die Aufgabe hat, zwei unterschiedliche Schichten voneinander zu trennen. Ihre Aufgabe besteht darin, schädliche Einflüsse wie Spannungen und Bewegungen zu reduzieren.

Wärmedämmung: Dem heutigen Stand der Technik entsprechend, werden, je nach Art, Aufbau und Anforderung, unterschiedliche Wärmedämmungen

verwendet. Ihre Verarbeitung und Kombination mit angrenzenden Schichten unterliegt produktspezifischen Regeln, die, nicht zuletzt wegen der hohen Wärmeschutzanforderung an Flachdächer, wesentlichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der gesamten Konstruktion haben.

Verbindungsmittel: Verbindungsmittel dienen zur temporären oder dauerhaften Verbindung von zwei oder mehreren Gegenständen. Sie stehen im direkten Kontakt mit den zu verbindenden Objekten und übertragen die dabei auftretenden Kräfte. Im Bauwesen gängige Verbindungsmittel sind Bolzen, Dübel, Nägel, Klammern, Schrauben, Klebebänder und Klebstoffe.

Voranstrich: Bei der Verklebung der Abdichtung mit Oberflächen aus Beton ist zur Bindung von Staub sowie zum Porenverschluss ein Voranstrich auf Bitumenbasis erforderlich. Voranstriche sind aber auch bei verzinkten Stahlblechen als Korrosionsschutz und bei kunststoffbeschichteten Stahlblechen als Haftgrund für Bitumenschweißbahnen erforderlich.

Nutzschicht: Als Nutzschicht wird die oberste Schicht im Aufbau bezeichnet, die begehbar und belastbar sein muss.

2.2.2 Gängige Systeme und Aufbauten in Stahlbetonbauweise

Die Entwicklung bis zum gegenwärtigen Stand der Technik kennt grundsätzlich zwei unterschiedliche Bauarten von Flachdächern. Der Unterschied liegt, neben einer Vielzahl von aufeinander abzustimmenden Materialien und unterschiedlichen Tragschichten, in der bauphysikalischen Funktionsweise des gesamten Aufbaus.

„Als Tragschicht wird die flächige tragende Dachkonstruktion bezeichnet, die auf dem Primärtragwerk aufliegt. Die Tragschicht besteht in der Regel aus Stahlbeton, Holz, Metall oder Glas. Neben der notwendigen tragenden Funktion kann sie je nach Konstruktion auch die Aufgabe der Abdichtung, der Wärmedämmung, des Schall- und des Brandschutzes übernehmen.“ [39]

Die früheren, bauphysikalisch unkorrekten Bezeichnungen „Warmdach“ bzw. „Kaltdach“ kennzeichneten den Unterschied der bauphysikalischen Systeme nur unzureichend, sind jedoch immer noch weit verbreitet [36].

Kurz beschrieben, bildet das „Warmdach“ mit einer an der Außenseite der Wärmedämmung aufgetragenen Abdichtung einen einschaligen Verbund aus mehreren Schichten, während beim „Kaltdach“ Wärmedämmung und Abdichtung durch eine, mit Außenluft durchströmte, Luftschicht entkoppelt sind und daher eine zweischalige Konstruktion bilden.

Aus diesen beiden grundsätzlichen Arten von Flachdächern haben sich im Laufe der Zeit Varianten entwickelt. In [8] sind Anforderungen an Materialauswahl und Konstruktion für dem Stand der Technik entsprechenden Flachdachaufbauten angeführt. Auf die gängigsten ein- und zweischaligen Flachdachaufbauten auf Stahlbetonkonstruktion wird im Folgenden kurz eingegangen, wobei, dem Kontext dieser Arbeit folgend, jene in Leichtbauweise, wie beispielsweise Stahl-Holz- oder Trapezblechkonstruktion, nicht dargestellt werden.

2.3.3.1 Nicht belüftete, einschalige Dächer

Eine, je nach Unterkonstruktion, unterschiedliche, relativ aufwendige und komplexe Abfolge von Schichten sorgt für einen bauphysikalisch funktionstüchtigen Aufbau. Die beiden bauphysikalischen Faustregeln für mehrschichtige Bauteile

1. der Wärmedurchlasswiderstand in der Gesamtkonstruktion soll in Richtung von warmer zu kalter Seite hin zunehmen und
2. der Wasserdampf-Diffusionswiderstand in gleicher Richtung abnehmen,

lassen sich oft nur durch Verwendung einzelner, die bauphysikalische Funktion korrigierenden, Schichten einwandfrei umsetzen.

In der Vergangenheit haben mangelnde Fachkenntnis und Verarbeitungsfehler häufig zu Bauschäden geführt und, nicht ganz zu Unrecht, Vorbehalte gegen einschalige Flachdächer erzeugt. Gegenwärtig sind Materialien und Ausführungstechniken jedoch ausgereift genug, um einwandfreie Flachdächer in dieser Konstruktionsweise herstellen zu können.

a) Warmdach:

Dieser bereits im Abschnitt 2.3.4 erwähnte Dachaufbau ist weit verbreitet und ist durch eine direkt über der Wärmedämmung liegende Abdichtung gekennzeichnet. Dem zuvor erwähnten bauphysikalischen Grundsatz folgend ist dafür zu sorgen, dass Wasserdampf nicht unmittelbar bis unter die verklebte Abdichtung diffundieren kann. Entsprechend zu dimensionierende Dampfsperren verhindern ein Anreichern der Dachkonstruktion mit Feuchtigkeit, die im Falle des Warmdachs nicht nach oben entweichen kann. Die Wärmedämmung ist zu bemessen und auf die geplante Nutzung bzw. die zu erwartende Belastung auszulegen. Kiesschüttungen bieten der Abdichtung einen äußerst wirksamen Oberflächenschutz bei gleichzeitiger Lagesicherung gegen Windsog.

b) Umkehrdach:

Im Gegensatz zum Warmdach, befindet sich beim Umkehrdach die Abdichtung unter der Wärmedämmung, wodurch die Abdichtung durch die ohnehin erforderliche Wärmedämmung vor schädlichen Einwirkungen von

außen geschützt wird. Demzufolge sind spezielle extrudierte Dämmstoffe zu verwenden, die keine Feuchtigkeit aufnehmen und anfallendes Wasser durch Fugen rasch auf die darunterliegende Abdichtung ableiten. Eine Dampfsperre kann bei dieser Konstruktion entfallen. Diese Konstruktionsart bietet einen besseren Schutz der Abdichtung als das Warmdach, erfordert allerdings durch das Unterströmen der Dämmung mit Wasser im Allgemeinen um 10% höhere Dämmstoffstärken [38]. Der gute Schutz der Abdichtung erlaubt es, alle üblichen Dachbahnen zu verwenden, jedoch sollte auf einen Trennlage nicht verzichtet werden. Eine Kombination von Dämmplatten mit Stufen- oder Hakenfalz mit ergänzenden Maßnahmen zur Lagesicherung wie Vliese und Beschwerungsschichten verhindert das Aufschwimmen der Wärmedämmung und bietet Schutz vor UV-Strahlung und Windsog. Speziell bei der Ausbildung von begehbaren Belägen ist auf die Diffusionsoffenheit über der Abdichtung zu achten. Untersuchungen haben gezeigt, dass Umkehrdächer mit Nutzschichten nicht zu empfehlen sind, da die Wärmeleitfähigkeit extrudierter Wärmedämmung unter permanenter Durchfeuchtung stark zunimmt. Dadurch ändert sich das thermische Verhalten der Konstruktion und den bei der Planung erfüllten Anforderungen an die Gebäudehülle kann nicht mehr Rechnung getragen werden.

c) Duo-Dach und Plus-Dach:

Das Duo-Dach stellt eine Kombination aus Warm- und Umkehrdach dar, bei der in den konventionellen Warmdachaufbau über der Abdichtung eine extrudierte Dämmschicht mit aufgelegtem Filtervlies eingefügt wird. Da dieser Aufbau die zuvor erwähnte bauphysikalische Grundregel der Wasserdampf-Diffusionsoffenheit nicht erfüllt, ist bei diesem Aufbau stets nachzuweisen, dass sich unter der Abdichtung (dampfdichte Schicht) kein Kondenswasser bildet. Als optimales Verhältnis der Wärmedurchlasswiderstände von unterer zu oberer Dämmschicht hat sich ein Drittel zu zwei Drittel erwiesen. Dabei ist der Feuchtigkeitsausfall unter der Abdichtung, selbst bei raumseitig unwirksamer Dampfbremse, gering genug, um die Eigenschaften der unteren Wärmedämmung nicht nachteilig zu beeinflussen [38]. Dennoch sollte auf eine raumseitige Dampfbremse

nicht verzichtet werden. Oberflächenschutz und Sicherung gegen Windsog gestalten sich analog zum Umkehrdach.

Das „Plus-Dach“ ist in Schichtaufbau und Funktionsweise grundsätzlich ident zum Duo-Dach und wird daher nicht ausführlicher dargestellt. Sein Name stammt aus der Vorgangsweise bei der Ertüchtigung von alten Warmdächern, deren bauphysikalische Eigenschaften durch Anbringung einer extrudierten Dämmung (Plus-Dämmung) samt Oberflächenschutz über der bestehenden oder erneuerten Abdichtung erheblich verbessert werden.

d) Kompaktdach:

Das sogenannte Kompaktdach ist eine Variante des konventionellen Warmdachs, bei der auf die notwendigerweise ebene Betonoberfläche eine dampfdichte Wärmedämmung (Schaumglas) derart in Heißbitumen eingegossen wird, dass ein dampfdichter Verbund entsteht und somit auf einen Dampfsperre verzichtet werden kann [36]. Durch den Verguß der Plattenfugen und den Verbund von zwei dampfdichten Materialien ist dieses Dach außerordentlich wasserdicht. Darüber hinaus ist bei vollflächiger Verklebung der Abdichtung mit diesem Glasschaum-Bitumen-Verbund die Unterläufigkeit praktisch aus-geschlossen. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der hohen Druckfestigkeit von Schaumglas und dem damit einhergehenden Schutz der Dachhaut.

2.3.3.2 Belüftete, zweischalige Dächer

Wie bereits im Abschnitt 2.3.4 einleitend erwähnt, ist beim sogenannten Kaltdach die Dachabdichtung durch eine angehobene und mit Außenluft unterströmten Schale von der Wärmedämmung getrennt.

Je nach Konstruktion der unteren Tragschicht spielen unterschiedliche bauphysikalische Kenngrößen eine verschieden große Rolle. Stahlbetondecken als untere Schale, und somit gleichzeitig Tragkonstruktion, von zweischaligen Flachdächern haben, gegenüber den hier nicht dargestellten Leichtkonstruktionen, den Vorteil, dass sie sich winddicht, für normale Beanspruchungen ausreichend dampfdicht, brandbeständig und wärmespeichernd verhalten. In Abbildung 10 wird der prinzipielle Aufbau mit unterschiedlichen Außenschalen dargestellt.

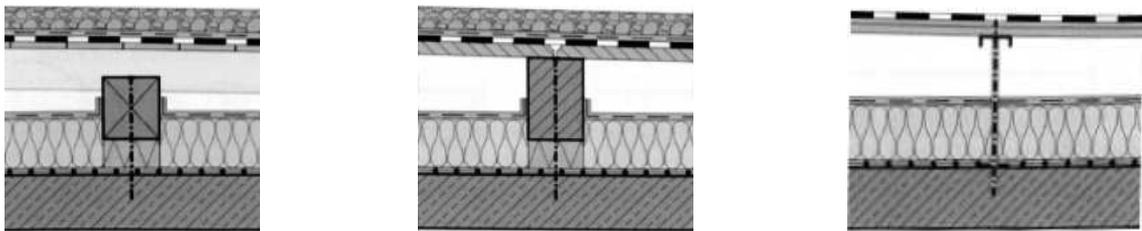


Abb. 10: Belüftete Dachaufbauten auf Stahlbetonplatte mit unterschiedlichen Außenschalen gemäß [38]

Die gängigste Außenschale ist eine auf Holzbalken genagelte einzöllige Holzschalung, mit Trennschicht und Abdichtung unter einer Kiesschüttung als Oberflächenschutz. Vor dem Hintergrund der späteren Untersuchung von geschlossenen Gehbelägen bietet diese Unterkonstruktion jedoch keine ausreichende Steifigkeit. Die Wärmedämmung muss diffusionsoffen sein und wird keinen Druckkräften von der Außenschale ausgesetzt. Daher wird meist Mineralwolle verwendet. Sie wird, analog zum Schrägdach, oberseitig durch eine diffusionsoffene Unterdachbahn vor Wind und Feuchtigkeit geschützt und sollte im Bereich von Durchdringungen Wärmebrücken vermeiden. Eine Dampfsperre unter der Wärmedämmung ist bei massiven Tragschichten in der Regel nicht erforderlich.

Grundgedanken bei der Entwicklung der zweischaligen Dächer waren

- die Trennung von der thermisch stark belasteten Außenschicht von der empfindlichen Abdichtung und
- die Reduzierung von schädlichem Kondenswasser im Aufbau durch Belüftung unmittelbar vor der dampfdichten Dachhaut.

Beide Ideen lassen sich konstruktiv gut umsetzen und funktionieren einwandfrei. In der Realität kommt es jedoch immer wieder vor, dass die Grundüberlegungen nicht ausreichend umgesetzt werden können und daher das zweischalige Dach seine Wirkung verfehlt.

Hauptproblem ist dabei weniger die Entkopplung der Abdichtungsebene von der Wärmedämmung bzw. der Tragschicht, sondern vielmehr die Realisierung einer funktionierenden Durchlüftung.

Im Gegensatz zum Steildach, stellt sich beim hinterlüfteten Flachdach fast keine Thermik ein. Daher können „in einem durchlüfteten Dachraum Luftbewegungen nur durch Windeinwirkung, Druckdifferenzen an Dachkanten (Staudruck und Windsog) und temperaturbedingten Überdruck in der Belüftungsebene bewirkt werden.“ [38]

Die wesentlichen Gründe einer mangelhaften Belüftung sind:

- zu geringe Höhe der Hinterlüftungsebene
- zu geringe Belüftung durch mangelhafte Zu- und Abluftöffnungen oder temporäre Verstopfung durch Flugschnee oder Schmutz
- Hindernisse in der Hinterlüftungsebene
- Ungünstige Führung der planmäßigen Hinterlüftung durch verwinkelte Grundrisse
- Lüftungsöffnungen in windgeschützter Lage wie beispielsweise bei bodennaher Bebauung in engen Innenhöfen und
- zu stark strukturierte Dachfläche

3 Spezifische Mängel von begehbaren Flachdächern

3.1 Abgrenzung der Begriffe Baumangel und Bauschaden

Baumängel entstehen während der Bauzeit, z.B. durch mangelnden Wärmeschutz, mangelnde statische Festigkeit, falsche Baustoffe und dergleichen. Baumängel können somit sowohl durch unsachgemäße Bauausführung als auch durch Einsparungen von Kosten und Qualitätserfordernissen verursacht werden [25].

Bauschäden entstehen nach der Fertigstellung von Gebäuden auch infolge äußerer Einflüsse wie z.B. vernachlässigte Instandhaltung (Reparaturrückstau), Wasserschäden, Brandschäden und Schädlingsbefall. Bauschäden können auch als Folge nicht untersuchter und nicht beseitigter Baumängel auftreten [25].

Der 1. Österreichische Bauschadensbericht vom Jahr 2005 untersuchte unter anderem das Spannungsfeld von Bauschäden im Hochbau und deren Ursachen und kam zum Ergebnis, dass Bauteile die mit Wasser in Kontakt kommen, in etwa 50% der durch Schäden betroffenen Bauteile ausmachen. Alleine auf die Bauteilgruppe Balkone, Dächer und Terrassen entfielen rund 25% aller Schadensfälle [26].

Flachdächer, die Wind und Wetter ausgesetzt sind, gehören daher zu sehr stark beanspruchten Bauteilen im Hochbau und bergen daher ein erhöhtes Risiko von Schäden.

3.2 Differenzierung von Baumängeln

3.2.1 Planungsmängel

Planungsmängel sind in erster Linie vom Planer verursacht „... und entstehen durch eine nicht Berücksichtigung bauphysikalischer, konstruktiver und materialspezifischer Erfordernisse, sowie Fehleinschätzung der Nutzungsanforderungen“ [27].

Eine Planungstätigkeit setzt voraus, für eine spezielle Bauaufgabe die jeweils erforderlichen und sinnvollen bautechnischen Maßnahmen zu treffen. Durch Nicht-Beachtung der jeweiligen Gegebenheiten und den daraus resultierenden Erfordernissen sowie durch die sture Verwendung sogenannter *Regelaufbauten*, sind Planungsmängel so gut wie vorprogrammiert. Regelaufbauten sind grundsätzlich eine gute und wertvolle Hilfestellung bei der Planung von Aufbauten, jedoch stellt ein zweidimensionaler Querschnitt durch die wesentlichen Bauteile noch keine vollständige Planung der Gebäudehülle dar. Neben der bauphysikalischen Planung ist auch die Verträglichkeit dieser „Querschnitte“ mit den angrenzenden Bauteilen zu prüfen. Wird dieser konstruktiven Planungsaufgabe keine Aufmerksamkeit geschenkt, treten die daraus entstehenden Ungereimtheiten spätestens auf der Baustelle zu Tage und stellen die ausführende Firma vor unvorhergesehene Probleme.

In der in diesem Abschnitt bereits zitierten Richtlinie für Flachdachsanierung sind folgende Planungsmängel aufgelistet:

- Güteanforderungen an den Untergrund werden nicht beachtet. Dieser muss formstabil sein und somit frei von zu großen Verformungen bzw. Rissen.
- Keine oder unzureichend bemessene Dampfsperre oder –bremse. Die aufgrund der jeweiligen Nutzung zu erwartende Wasserdampfbelastung muss richtig beurteilt werden, um eine mit der Zeit steigende Feuchtigkeitsansammlung im Bauteil zu verhindern. Es gilt zu beurteilen, ob

ein Bauteil und seine Anschlüsse diffusionsoffen oder absolut luftdicht geplant werden und infolgedessen welche Materialien (Stichwort: Diffusionswiderstand) zur Verwendung kommen.

- Ungenügende oder nicht ausreichende Dicke der Wärmedämmung. Die Dicke der Wärmedämmung ist nicht nur für den mindesterforderlichen U-Wert zu bemessen, sondern auch für die Vermeidung von Kondensat an den inneren Oberflächen der Bauteile. Ein wesentlich zu beachtender Faktor bei Kondensat- und Schimmelbildung ist die der geplanten Raumnutzung entsprechende Luftfeuchtigkeit.
- Unzulässige Wärmebrücken. Durch Fugen in der Wärmedämmung oder zu Anschlüssen bzw. Durchdringungen entstehen Wärmebrücken.
- Fehlendes oder zu geringes Gefälle. Gemäß ÖN B 3691 ist im gesamten Dachbereich ein Mindestgefälle von 1,8% notwendig, um auftretendes Wasser abzuführen. Bei Verschneidungen von Dämmplatten ist besonders auf das Mindestgefälle zu achten, da sich an der Schnittkante ein kleineres Gefälle ergeben kann als in den jeweiligen Flächen. Darüber hinaus ist es zu empfehlen grundsätzlich ein größeres Gefälle zu planen, da Bau- und Materialtoleranzen der Dachelemente zu einer Verminderung des resultierenden Gefälles führen können.
- Wasserabläufe, die nicht an den Tiefpunkten angeordnet sind.
- Fehlende Dachrandaufkantungen
- Unzureichende Anschlusshöhen bei Wand- und Türanschlüssen.
- Dehn- und Bewegungsfugen sind nicht ausreichend dimensioniert.
- Zu geringer Abstand von Dachdurchdringungen untereinander und zu anderen Bauteilen.
- Fehlende Schutzmaßnahmen gegenüber mechanischen Einwirkungen.
- Vorgabe ungeeigneter Schichtenkombinationen und Materialien.

3.2.2 Ausführungsmängel

Ausführungsmängel sind hauptsächlich vom ausführenden Gewerk verursacht und lassen sich gemäß IFB-Richtlinie für Flachdachsanierung wie folgt zusammenfassen:

- Herstellung des Dachaufbaus ohne genaues Befolgen der anerkannten Regeln der Technik und den Verarbeitungsvorschriften der Materialhersteller.
- Güteanforderungen an den Untergrund werden nicht beachtet. Der Untergrund muss gemäß [8] frei von Verunreinigungen sein.
- Kein luftdichter Anschluss von Dampfsperren untereinander bzw. an Dachränder und Durchdringungen.
- Unzulässige Wärmebrücken durch nachlässige Verarbeitung der Wärmedämmung.
- Fehlerhafte Befestigung der Abdichtungshochzüge bei Wandanschlüssen.
- Ungenügende Trocknungsphase von feuchten Bauteilen vor deren Einbau .
- Missachtung der für die Verlegung erforderlichen Mindest- und Maximaltemperatur von Abdichtungsmaterialien.
- Mangelnde Qualifikation bzw. Fortbildung der Handwerker.

3.2.3 Materialmängel

Materialmängel sind Fehler im Baustoff oder Baumaterial, die bereits vor der Verarbeitung gegeben sind und deren Auswirkungen meistens erst zu einem späteren Zeitpunkt erkennbar werden. Sie entstehen, wie bei jedem anderen Produkt auch, durch Produktionsfehler, Transportschäden oder falsche

Lagerungsbedingungen und haben, im Sinne von unerwünschten Funktionsstörungen, meist negative Konsequenzen auf den gesamten Bauteil.

Grundsätzlich hätte der verarbeitende Handwerker die Möglichkeit eventuelle Materialmängel zu erkennen, jedoch sind beispielsweise bei großflächigen Bahnen Risse oder Löcher in der Größenordnung von wenigen Millimetern sehr schwer zu erkennen. Eine etwaige Inhomogenität hinsichtlich physikalischer Eigenschaften kann mit freiem Auge auch bei intensivster Prüfung nicht erkannt werden.

Beispiele für Materialmängel sind, wie in der IFB Richtlinie für Flachdachsanierung beschrieben, wie folgt aufgelistet:

- Irreversible Formänderung geschäumter Wärmedämmplatten:
- Unzureichende Witterungs- und UV-Beständigkeit bei frei bewitterten Abdichtungen.
- Unzureichende Beständigkeit der Abdichtung unter Auflast.
- Unzureichende biologische Beständigkeit der Abdichtung.
- Unzureichende Temperaturbeständigkeit der Abdichtung oder Wärmedämmung.
- Korrosion von Metallbauteilen und Befestigungsmitteln.

4 Aufbauten für Stahlbetondecken im Neubau

4.1 Bauphysikalische Grundlagen, Anforderungen laut Norm

Die theoretischen Zusammenhänge der Themenbereiche Wärme- und Feuchteschutz sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

4.1.1 Wärmeschutz

„Der Wärmeschutz im Hochbau umfasst Maßnahmen zur Verringerung der Wärmeübertragung durch die Umfassungsflächen eines Gebäudes und durch die Trennflächen von Räumen unterschiedlicher Temperaturen.“ [34]

Wärme ist eine Form von Energie und Temperatur ist das Maß für den Wärmezustand eines begrenzten Volumens. Wird Wärme einem Gebäude, Raum oder Bauteil zu- oder abgeführt, ändert sich dementsprechend seine Temperatur. Diese Zustandsänderung ist jedoch auch von den im betrachteten Volumen vorkommenden Materialien, beispielsweise den Materialien von Außenbauteilen eines Raumes, abhängig. Aufgrund von Temperaturdifferenzen treten in Richtung des Temperaturgefälles Wärmebewegungen auf, die in festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen unterschiedlich erfolgen.

Der Transport von Wärmeenergie durch Bauteile ist für die Bauphysik von großer Bedeutung und steht in direktem Zusammenhang mit der thermischen Behaglichkeit eines Menschen in Räumen, den Energiekosten eines Gebäudes, der Dauerhaftigkeit von Baukonstruktionen und nicht zuletzt mit dem Umweltschutz hinsichtlich knapper Ressourcen und dem Ausstoß von Schadstoffen durch fossile Verbrennung.

4.1.1.1 Arten der Wärmeübertragung

Wärmeübertragung findet nur dann statt, wenn eine Temperaturdifferenz vorliegt. Sie erfolgt in Richtung des Temperaturgefälles und ist in einer der drei anschließend angeführten Arten möglich.

a) Wärmestrahlung:

Jeder Gegenstand emittiert elektromagnetische Strahlung, die hauptsächlich durch seine Temperatur beeinflusst wird. Trifft diese Temperaturstrahlung, meist auch als Wärmestrahlung bezeichnet, in Form von unterschiedlichen Wellenlängen, auf einen Körper, wird sie reflektiert, absorbiert oder durchgelassen. Die im Bauwesen vorkommenden Baustoffe weisen unterschiedliche Absorptions- und Reflexionseigenschaften auf. Glas beispielsweise, besitzt in Abhängigkeit der Wellenlänge der eintreffenden Strahlung verschieden große Durchlässigkeit. Dadurch entsteht der sogenannte Treibhauseffekt, indem Glas bei sichtbarem Licht und kurzwelliger Strahlung eine hohe, bei langwelliger Strahlung jedoch nur eine kleine Durchlässigkeit besitzt.

b) Wärmeleitung:

In festen Stoffen findet die Wärmeübertragung durch Wärmeleitung statt, indem die Wärmeenergie zwischen den benachbarten Molekülen ausgetauscht wird. Wärmeleitfähigkeit von Stoffen ist abhängig von der physikalischen Struktur, dem Wassergehalt und der Temperatur und kann nur experimentell bestimmt werden.

c) Konvektion:

Wärmeübertragung durch Wärmemitführung kann nur in bewegten Medien wie Gasen oder Flüssigkeiten stattfinden und ist somit an einen Stofftransport gekoppelt. Dieser Transport kann frei, durch örtliche Temperatur- oder Dichteunterschiede, oder mechanisch erzwungen, durch Pumpen oder Windeinwirkung, stattfinden. Ein Wärmeaustausch von Gasen oder Flüssigkeiten und einer festen Oberfläche wird *Wärmeübergang* bezeichnet und findet in der Bauphysik immer an der Innen- und Außenseite des Trennbauteils statt.

4.1.1.2 Wärmedurchgang durch ebene, opake Bauteile gemäß EN ISO 6946

Opake Bauteile, wie gemauerte oder betonierte Wände und Dächer, sind, im Gegensatz zu transparenten Bauteilen, lichtundurchlässig und aus einer oder mehreren Schichten aufgebaut. Werden die im Aufbau enthaltenen Schichten als homogen angenommen und Randanschlüsse und Wärmebrücken ausgeblendet, liegt im Bauteil ein eindimensionaler Wärmestrom vor, dessen maßgebende Größen Materialeigenschaften und Geometrie sind [31].

Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeit und Rohdichte aus [31]

Art	Stoff	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]
metallisch	Kupfer	8960	394,00
	Stahl	7900	52,00
	Aluminium	2777	238,00
kristallin	Granit	2750	2,90
	Marmor	2600	2,80
amorph	Hartgummi	1150	0,16
	Bitumen	1000	0,16
anisotrop	Eiche	690	0,16 - 0,30
	Tanne	450	0,12 - 0,26

Der Wärmedurchlasswiderstand einer thermisch homogenen Schicht ergibt sich demzufolge aus:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

mit: d ... Dicke einer Schicht in m

λ ... Nennwert der Wärmeleitfähigkeit in W/mK

Der Wärmedurchlasswiderstand des gesamten Bauteils ergibt sich aus der Summe der einzelnen homogenen Schichten.

$$R_t = \sum_1^n \frac{d_n}{\lambda_n} \quad \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

mit: R_t ... Wärmedurchlasswiderstand in $m^2 K/W$...

Der Wärmedurchgang durch ebene opake Bauteile senkrecht zu thermisch homogenen Schichten berücksichtigt den inneren und äußeren Wärmeübergangswiderstand und ergibt sich zu:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

mit: R_{si} ... innerer Wärmeübergangswiderstand in $m^2 K/W$

R_{se} ... äußerer Wärmeübergangswiderstand in $m^2 K/W$

R_n ... Wärmedurchlasswiderstand jeder Schicht in $m^2 K/W$

Für nicht ebene Oberflächen oder spezielle Randbedingungen sind Wärmeübergangswiderstände gemäß ÖNORM EN ISO 6946, Anhang A zu berechnen. Für ebene Oberflächen ohne besondere Randbedingungen gelten die Werte in nachfolgender Tabelle.

Tabelle 2: Konventionelle Wärmeübergangswiderstände gemäß [13]

Wärmeübergangswiderstand [$m^2 K/W$]	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{si}	0,1	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

„Der Wärmedurchgangskoeffizient (kurz: U-Wert) kennzeichnet den Wärmestrom, der bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin durch eine Bauteilfläche von 1 m^2 fließt. Der U-Wert dient somit als Maß für die ‚Wärmedurchlässigkeit‘ eines Bauteils, wobei ein kleiner U-Wert wärmetechnisch als günstig einzustufen ist.“ [34]

Nachdem der Wärmedurchgang durch das Bauteil bestimmt wurde, kann der U-Wert folgendermaßen bestimmt werden:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Die den Wärmestrom q verursachenden Temperaturen θ_i und θ_e lassen sich mit dem U-Wert wie folgt anschreiben:

$$q = U * (\theta_i - \theta_e) \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

mit: θ_i ... Innentemperatur in °C
 θ_e ... Außentemperatur in °C

Besteht in einem Bauteil eine oder mehrere Schichten aus unterschiedlichen Materialien mit bekannten Teilflächen (beispielsweise Holzsparren mit Zwischendämmung in gleicher Stärke), so ergibt sich der mittlere U-Wert zu:

$$U_m = \frac{\sum(U_i * A_i)}{\sum A_i} \quad \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

In nicht allen Bauteilen sind die einzelnen Schichten von der Innen- bis zur Außenoberfläche vollflächig miteinander verbunden. Bei einer innenseitigen Vorsatzschale oder einer Sparrenzwischendämmung mit geringerer Höhe als die benachbarten Träger befinden sich ruhende Luftschichten im Aufbau. Belüftete Luftschichten, wie beispielsweise bei Außenwänden mit vorgehängten Fassaden oder Kaltdächern, sind Bestandteil von hinterlüfteten Bauteilen und somit ebenfalls eine Schicht des thermisch wirksamen Aufbaus. Der Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten ist in Abhängigkeit von der Luftbewegung zu ermitteln.

Bemessungswerte von Wärmeübergangswiderständen von Luftschichten und Kriterien zur Einteilung in ruhende, schwach oder stark belüftete Luftschichten sind ÖNORM EN ISO 6946, Abschnitt 5.3 zu entnehmen. Gelten die darin definierten Bedingungen der Anwendbarkeit nicht, ist der

Wärmedurchlasswiderstand von belüfteten und unbelüfteten Lufträumen gemäß Anhang B zu ermitteln.

Bei konventionellen Kaltdächern liegt eine schwach belüftete Luftschicht vor, da der geforderte Belüftungsquerschnitt von 600 mm^2 je m^2 Dachfläche der Forderung gemäß [13] von 500 mm^2 bis 15000 mm^2 entspricht.

4.1.1.3 Wärmebrücken

„Als Wärmebrücken werden örtlich begrenzte Stellen bezeichnet, die im Vergleich zu den angrenzenden Bauteilbereichen eine höhere Wärmestromdichte aufweisen. Ihr physikalisches Merkmal ist, dass die Wärmestromlinien an dieser Stelle nicht mehr eindimensional, also parallel zueinander verlaufen, sondern verzerrt, d.h. divergent oder konvergent sind. Diese örtlich erhöhte Wärmestromdichte verursacht nicht nur einen zusätzlichen Wärmeverlust im Vergleich zum ungestörten Bauteil, sondern reduziert auch in dem betreffenden Bereich die Oberflächentemperatur des Bauteils.“ [31]

Bei einem angenommenen Temperaturgefälle auf beiden Seiten eines ebenen, homogenen Bauteils ändern Wärmestromlinien ihren parallelen Verlauf, „[...] wenn entweder Stoffe unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit nebeneinander angeordnet sind, oder wenn Bauteile von der Plattenform abweichen, beispielsweise an der Anschlussstelle zweier senkrecht aufeinander stehender Bauteile.“ [31]

Grundsätzlich unterscheidet man folgende Arten:

- Konstruktive und stoffbedingte Wärmebrücken
- Geometrische Wärmebrücken
- Konvektive Wärmebrücken

Erstere ergeben sich infolge einer Änderung der Wärmeleitfähigkeit benachbarter Materialien innerhalb einer oder mehreren Bauteilschichten mit linienförmiger oder punktförmiger Ausdehnung. Zweitere ergeben sich durch Winkel und Ecken in der Bauteilgeometrie, die zur Folge haben, dass, vergleichbar zu einer Kühlrippe, eine größere wärmeabgebende Fläche einer

kleineren wärmeaufnehmenden Fläche Wärme entzieht. Letztere zeichnet sich durch einen Wärmetransport von beispielsweise Luftströmungen durch Bauteilfugen aus.

Die Auswirkungen der verminderten Oberflächentemperatur an der Innenseite sind:

- erhöhtes Risiko von Tauwasserbildung durch Unterschreitung der Taupunkttemperatur
- erhöhtes Risiko von Schimmelpilzwachstum durch erhöhte relative Luftfeuchte und Kapillarkondensation
- verstärkte Staubablagerungen und Verfärbung der Oberfläche durch verstärkte Wasserdampfaufnahme der oberflächennahen Schichten

Beispiele zur Vermeidung von Wärmebrücken sowie ihre richtige Konstruktion sind in entsprechenden Wärmebrückenkatalogen zusammengestellt.

4.1.1.4 Anforderungen gemäß Ö-Norm

In nachstehender Tabelle sind auszugsweise mindesterforderliche U-Werte für Bauteile gemäß OIB Richtlinie 6 aufgelistet.

Zur besseren Übersicht ist die Anforderung von Flachdächern grau hinterlegt und jene Bauteile die grundsätzlich für Anschlüsse mit Flachdächern in Frage kommen, wurden nicht hinterlegt. Daraus erkennt man, dass bei potenziellen Anschlüssen Bauteile mit sehr unterschiedlichen U-Werten zusammengeführt werden müssen. Das Thema Wärmebrücken ist folglich ein wesentlicher Aspekt der Planungsaufgabe von Architekten und Ingenieuren.

Entsprechende Anforderungen sind in ON B 8110-2 und OIB RL 6 angeführt und werden an dieser Stelle nicht weiter erwähnt.

Tabelle 3: Mindestforderliche U-Werte gemäß [4]

Bauteil			U-Wert [W/m ² K]
1	Wände	gegen Außenluft	0,35
6	Wände	gegen andere Bauwerke (Grundst.- bzw. Bauplatzgrenze)	0,50
7	Wände	kleinflächig, gegen Außenluft (OIB RL 6, Punkt 10.2)	0,70
9	Fenster, Fenstertüren	jeweils in Wohngebäuden gegen Außenluft	1,40
11	transparente Bauteile	vertikal gegen Außenluft	1,70
14	Dachflächenfenster	gegen Außenluft	1,70
15	Türen	unverglast, gegen Außenluft	1,70
16	Türen	unverglast, gegen unbeheizte Gebäudeteile	2,50
19	Decken und Dachschrägen	gegen Außenluft und Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	0,20
20	Decken	gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
22	Decken	innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	k.A.

4.1.2 Feuchteschutz

4.1.2.1 Feuchtegehalt

Wasserdampfgehalt der Luft

Luft im Allgemeinen ist ein Gemisch aus verschiedenen Gasen, das, in Abhängigkeit von der Temperatur, unterschiedlich viel Wasser in gasförmigem Zustand aufnehmen kann. Die Aufnahmefähigkeit ist allerdings nicht unbegrenzt, sondern steigt mit der Temperatur bis zum maximalen Wassergehalt, dem *Sättigungsgehalt* c_s , an. Überschreitet der Wasserdampfgehalt der Luft den Sättigungsgehalt, tritt der Überschuss in Form von feinen Tröpfchen oder Nebel in Erscheinung [31].

Tabelle 4: Wasserdampfgehalt c_s der Luft im Sättigungszustand in Abhängigkeit der Lufttemperatur gemäß [31]

Temperatur θ_L [°C]	Wassergehalt c_s [g/m ³]	Temperatur θ_L [°C]	Wassergehalt c_s [g/m ³]
10	2,1	16	13,6
8	2,5	18	15,4
6	3	20	17,3
4	3,5	22	19,4
2	4,1	24	21,8
0	4,8	26	24,4
2	5,6	28	27,2
4	6,4	30	30,3
6	7,3	32	33,8
8	8,3	34	37,6
10	9,4	36	41,7
12	10,7	38	46,3
14	12,1	40	51,2

Die Masse des Wasserdampfes in der Luft erzeugt den sogenannten *Wasserdampf-Teildruck* p . Er ist abhängig von Temperatur und relativer Luftfeuchte und erreicht sein Maximum in gesättigter Luft. Entsprechend folgender Gleichung kann er mit relativer *Luftfeuchte* φ und dem

WasserdampfSättigungsdruck p_s der jeweils vorhandenen Temperatur ermittelt werden.

$$p = \varphi * p_s \quad [Pa]$$

φ ...relative Luftfeuchte in %

p_s ...Wasserdampfsättigungsdruck bei der Temperatur θ

Relative Luftfeuchte

In den meisten Fällen ist der Wasserdampfgehalt der Luft geringer als deren Sättigungsgehalt, also dem maximalen Wassergehalt in der Luft. Ein beliebiger Wassergehalt c in der Luft, bezogen auf ihre Sättigungsmenge c_s , wird als relative Luftfeuchte φ bezeichnet.

$$\varphi = \frac{c}{c_s} * 100 \quad [\%]$$

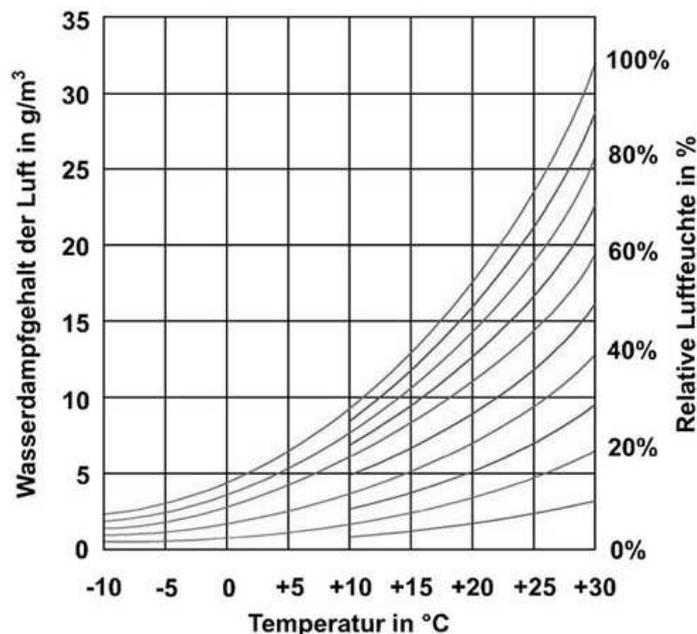


Abb. 11: Wasserdampfgehalt von Luft als Funktion der Temperatur (Carrier-Diagramm) aus [31]

Wie aus dem Carrier-Diagramm ersichtlich, kommt es bei der Erwärmung von ungesättigter Luft zu einem Abfall der relativen Feuchtigkeit, sofern dem

betrachteten Volumen von außen kein Wasserdampf zugeführt wird. Der Zusammenhang von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit gilt auch in umgekehrter Richtung und ist in weiterer Folge für die Tauwasserbildung von großer Bedeutung.

Tauwasserbildung

Wird die Temperatur von einer ungesättigten Luftmenge geändert, ändert sich auch das Verhältnis der tatsächlichen Wasserdampfmenge zur maximal möglichen Wasserdampfmenge der betrachteten Luftmenge. Wird Luft also immer weiter abgekühlt, erreicht die relative Luftfeuchte zuerst einen Wert von 100% und danach wird der mit fortschreitender Abkühlung wachsende Überschuss an Wasser als Nebel ausgeschieden. Der durch die Abkühlung entstandene Überschuss kann nicht mehr in gasförmigem Zustand gehalten werden, sondern ändert seinen Aggregatzustand und kondensiert zu Wasser.

Dieser Vorgang tritt vor allem an Oberflächen in Erscheinung, deren Temperatur kleiner ist als die Raumtemperatur wie z.B.: an Wohnungsfenstern im Winter, an Brillengläsern bei Betreten eines deutlich wärmeren Raumes oder an Wärmebrücken in einem Bauteil. Wie letztes Beispiel vermuten lässt, kann Tauwasser also auch in Bauteilen auftreten.

Taupunkttemperatur

„Die Temperatur, bei der sich Tauwasser niederschlägt, ist die *Tautemperatur* θ_s der Luft (auch ‚Taupunkttemperatur‘ oder ‚Taupunkt‘ genannt). [...]. Die Tautemperatur liegt um so (sic) näher bei der Lufttemperatur, je höher die relative Luftfeuchte ist.“ [35]. Eine oberflächige Tauwasserbildung an einem Objekt tritt also genau dann auf, wenn die Oberflächentemperatur dieses Objekts kleiner ist als die Lufttemperatur.

Das Auftreten von Tauwasser auf raumseitigen Bauteiloberflächen ist jedoch nicht immer vergleichbar mit dem Auftreten von Tauwasser an Glasflächen, da raumseitig sehr oft feinporige, saugfähige Materialien verwendet werden. Durch diese Materialien wird die Feuchteanreicherung erhöht und somit auch das Risiko von Schimmelbefall. Dem kann mit der Forderung der Ö-Norm, im Winter

die raumseitigen Oberflächentemperaturen von Außenbauteilen nicht unter einen bestimmten Wert fallen zu lassen, entgegengesteuert werden. Näheres dazu siehe Abschnitt 4.1.2.3.

4.1.2.2 Feuchtetransport

Diffusion

Als Diffusion wird „das Wandern sehr kleiner Teilchen (Atome, Ionen, kleine Moleküle), verursacht durch die thermische Eigenbeweglichkeit (Brown'sche Molekularbewegung) dieser Teilchen.“ [31] bezeichnet. Bei Bereichen mit unterschiedlicher Konzentration dieser Teilchen findet ein Massestrom in Richtung des Gefälles statt und sorgt somit für einen Ausgleich von Konzentrationsunterschieden.

Wasserdampfdiffusion ist also ein Feuchtetransport, bei dem Wassermoleküle in gasförmigem Zustand aufgrund von Konzentrationsunterschieden und unabhängig von mechanischen Kräften oder Luftströmungen auch durch feste, porige Stoffe wandern. Eine für bautechnische Anwendungen relevante Einflussgröße ist die *Diffusionswiderstandszahl* μ , die angibt um welchen Faktor ein Baustoff dampfdichter ist als Luft. Dieser Wert liegt zwischen $1 \leq \mu \leq \infty$, wobei Luft mit $\mu = 1$ die kleinste mögliche Behinderung darstellt. Mit der *Baustoffschichtdicke* d kann die *diffusionsäquivalente Luftschichtdicke* s_d als Maß für die Dichtigkeit eines Baustoffs gegen diffundierende Wassermoleküle angegeben werden:

$$s_d = \mu * d \quad [m]$$

d ... Baustoffschichtdicke in m

μ ... Diffusionswiderstandszahl

Luftströmung (Konvektion)

Luftbewegungen werden von Druckunterschieden ausgelöst, die beispielsweise vom Wind oder von Temperaturunterschieden verursacht werden. Wird von solchen Luftströmungen Wasserdampf mitgeführt, entstehen Feuchtetransporte

die jene der Diffusion um Zehnerpotenzen übersteigen [31]. Im Bauwesen relevante Luftströmungen sind

- Strömungen in Luftschichten von hinterlüfteten Bauteilen der Gebäudehülle und
- Fugenspaltströmungen in Fugen zwischen Bau- und Einbauteilen.

Strömungen in stark geneigten hinterlüfteten Außenbauteilen werden von Lufttemperatur, von vom Wind verursachten Staudruckunterschieden, der Größe von Ein- und Austrittsöffnungen und der Höhe der Luftsäule beeinflusst. Beim hinterlüfteten Flachdach hingegen liegt meist eine sehr flach geneigte bis horizontal liegende Luftschicht vor, in der sich praktisch keine Thermik entwickeln kann. Daher ist neben ausreichend dimensionierten Zu- und Abluftöffnungen und nicht zu langen Strömungswegen auf eine möglichst gute Anströmung durch Wind zu achten [35].

Fugenspaltströmungen sind im Gegensatz zur Hinterlüftung von Bauteilen unerwünschte Luftströmungen. Analog zu einer Leckage verursachen sie wegen der vorliegenden Dampfdruckunterschiede von Raum- und Außenklima einen erheblichen Luftdurchzug, der in der Regel an oder in Bauteilen zu starker Kondensation führt.

Kapillartransport

Kapillartransport spielt im Bauwesen eine große Rolle und tritt bei direktem Kontakt von benetzbaren und feinporigen Baustoffen mit flüssigem Wasser auf. Die Oberflächenstruktur dieser Baustoffe ist durch die Öffnungen ihrer Poren gekennzeichnet, die abhängig von ihrer Form und Größe wie Kapillaren wirken können. Sind in einem Baustoff durchgängige, haarfeine, röhrenartige Poren vorhanden, wird durch die Kapillarität das Verhalten von auftretendem Wasser derart beeinflusst, dass der an den Seitenwandungen der Poren erzeugte Kapillardruck das Wasser in die Poren hineinzieht.

Die dadurch stattfindende Wasseraufnahme nimmt mit zunehmender Eindringtieft jedoch ab und lässt sich gemäß [22] mit Saugversuchen in Abhängigkeit von Zeit und dem sogenannten *Wasseraufnahmekoeffizient* W_w

beschreiben. Nachfolgend sind einige Baustoffe und deren Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen zusammengestellt.

Tabelle 5: Wasseraufnahmekoeffizient unterschiedlicher Baustoffe aus [31]

Baustoff	Wasseraufnahmekoeffizient W_w [$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}^{0,5}$]
Klinker	0,5 bis 5
Kalksandstein	2,5 bis 10
Zementbeton	0,1 bis 1,0
Porenbeton	2,0 bis 8,0
Gips, Gipsmörtel	20 bis 70
Kalkzementputz	0,4 bis 4,0
Zementputz	0,1 bis 2,0

Verdunstung

Die Verdunstung von Wasser beschreibt den Übergang von flüssigem zu gasförmigem Wasser und ist somit das Gegenteil der Kondensation. Laut österreichischer Normung kann in einem Bauteil in der Tauperiode Kondensat entstehen, sofern es die Baustoffe nicht schädigt und in der Verdunstungsperiode wieder vollständig entweichen kann. Beeinflusst wird die Verdunstung durch die Oberflächentemperatur, die relative Luftfeuchte der Umgebung und einer eventuell vorhandenen Luftbewegung, wie dies beispielsweise gemäß bei der hinterlüfteten Außenschale von Kaltdächer gefordert wird.

Osmose

Das Prinzip des elektrokinetischen Wassertransports, wie beispielsweise bei der Messung von Wasserbewegungen in Böden herangezogen, kann durch Versuche nachgewiesen werden und wird anhand einer Analogie zum Darcy'schen Gesetz vereinfacht beschrieben. Versuche dieses Prinzip durch ein Anlegen von Spannungen in Bauteilen zur Entfeuchtung heranzuziehen sind jedoch sehr umstritten und werden im Rahmen dieser Arbeit daher nicht weiter erwähnt.

Berechnung des Feuchtetransports mit dem Glaser-Verfahren

Glaser hatte bereits im Jahr 1959 ein graphisches Verfahren veröffentlicht, bei dem der Verlauf des Wasserdampfteildrucks durch ein Bauteil mit mehreren Schichten ermittelt werden kann. Demzufolge verläuft dieser bei stationärer Diffusion linear, wenn

- die einzelnen Schichten entsprechend ihrer äquivalenten Luftschichtdicke dargestellt werden,
- der Diffusionsstrom senkrecht zu den Bauteilebenen verläuft und
- die Wasserdampfteildrücke p_i und p_e an den beiden Begrenzungsflächen des Bauteils bekannt sind.

Dieses Verfahren wurde erst 1981 in der deutschen Norm übernommen und stellt seitdem eine oft verwendete und sehr nützliche Hilfe zur rechnerischen Beurteilung von Bauteilen hinsichtlich Wasserdampfkondensation dar.

Auch in der Ö-Norm wird auf dieses Verfahren verwiesen. Für die in der Norm angestrebte Innenluftbedingung und der jeweiligen Außenlufttemperatur, die die höchste Wasserdampf-Teildruckdifferenz ergibt, wird zuerst festgestellt, ob im Bauteilinneren Kondensat auftritt. Dazu werden Temperatur- und Wasserdampfsättigungsdruckverlauf, praktischerweise mit dem Beiblatt 1 der Norm, ermittelt.

Der Ablauf der Berechnung der Kondensation im Inneren von Bauteilen gliedert sich gemäß ON B 8110-2, Abschnitt 8 in folgende Schritte:

1. Zuerst sind die Temperaturen an den Grenzflächen der im Wärmestrom hintereinander liegenden Bauteilschichten gemäß Abschnitt 8.1.1 zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass Schichten, deren Wärmedurchlasswiderstand größer als $0,25 \text{ m}^2\text{k/W}$ ist, in Teilschichten mit $R_{t,i} \leq 0,25 \text{ m}^2\text{k/W}$ zu unterteilen sind.

$$\theta_{s,e} = \theta_e + R_{s,e} * U * (\theta_i - \theta_e) \quad [^\circ\text{C}]$$

$$\theta_{s,i} = \theta_i - R_{s,i} * U * (\theta_i - \theta_e) \quad [^\circ\text{C}]$$

θ_e ... zutreffende Außenlufttemperatur in $^\circ\text{C}$

θ_s ... jeweilige Oberflächentemperatur des Bauteils in $^\circ\text{C}$

R_s ... jeweiliger Wärmeübergangswiderstand in $\text{m}^2\text{K/W}$

$$\theta_m = \theta_i - (\theta_i - \theta_e) * U * \left(R_{s,i} + \sum_{j=1}^m R_{t,j} \right) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

θ_m ... Temperatur nach der m – ten Bauteilschicht

$R_{t,j} = d_j / \lambda_j$... Wärmedurchlasswiderstand der j – ten Bauteil –
schicht in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

2. Aus den Temperaturen kann mit den nachstehenden Formeln gemäß Abschnitt 8.1.2 der Wasserdampf-Sättigungsdruck p_{sat} bestimmt werden. Bei der graphischen Darstellung sind nicht die geometrischen Dicken der Schichten, sondern deren äquivalente Luftschichtdicke s_d zu verwenden.

$$p_{sat} = 610,5 * e^{\frac{17,269 * \theta}{237,3 + \theta}} \quad [\text{Pa}] \quad \text{wenn } \theta \geq 0^{\circ}\text{C}$$

$$p_{sat} = 610,5 * e^{\frac{21,875 * \theta}{265,5 + \theta}} \quad [\text{Pa}] \quad \text{wenn } \theta < 0^{\circ}\text{C}$$

3. Die Berechnung der Wasserdampf-Teildrücke p_m an den Grenzflächen erfolgt gemäß Abschnitt 8.1.3, wobei der Teildruck an keiner Stelle größer sein darf als der Sättigungsdruck und daher die Bedingung $p_m \leq p_{sat}$ an jeder Stelle erfüllt sein muss. In der graphischen Darstellung verläuft somit der Teildruck tangential an der Kurve des Wasserdampf-Sättigungsdrucks.

$$p_m = p_i - (p_i - p_e) * \left(\frac{\sum_{j=1}^m s_{d,j}}{\sum_{j=1}^n s_{d,j}} \right) \quad [\text{Pa}]$$

p_i ... Wasserdampf – Teildruck der Innenluft

p_e ... Wasserdampf – Teildruck der Außenluft

p_m ... Dampfdruck nach der m – ten Bauteilschicht

n ... Anzahl aller Bauteilschichten

m ... Anzahl bis einschließlich der betrachteten Schicht

mit:

$s_{d,j} = \mu_j * d_j$... wasserdampfdiffusionsäquivalente Luft –
schichtdicke der j – ten Bauteilschicht in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

μ_j ... Diffusionswiderstandszahl der Schicht

d_j ... Dicke der Schicht

4. Sofern Kondensat im Bauteilinneren auftritt, ist gemäß ON B 8110-2, Abschnitt 8.2 und ON EN ISO 13788, Abschnitt 6.4.6 - 6.4.8 die maximal akkumulierte Wassermenge für alle Tauwassermengen $g_c > 0$ wie folgt zu bestimmen:

$$M_{a,max} = \sum_{JAHR} g_c$$

5. Schlussendlich kann die Beurteilung des Bauteils erfolgen und in drei, vom Grad der Durchfeuchtung abhängigen, Szenarien unterteilt werden. Näheres dazu wird in Abschnitt 4.1.2.4 erläutert.

4.1.2.3 Anforderungen gemäß ÖNORM B 8110-2

„Diese Ö-Norm ist für die bauphysikalische Planung und für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit bestehender Gebäude bezüglich der Feuchtigkeitsbeanspruchung aus dem Gebäudeinneren anzuwenden“ [12]. Neben Regelungen wann der Nachweis der Kondensation im Bauteil bzw. der Nachweis für die Vermeidung von Oberflächenkondensation entfallen darf, sind Hinweise über die Innenluftbedingungen von verschiedenen Raumwidmungen angegeben.

Für Bauteile zwischen Räumen, deren widmungsgemäße Nutzung unterschiedliche Klimabedingungen hinsichtlich Lufttemperatur und relativer Feuchtigkeit erwarten lassen, sind zwei Nachweise zu führen:

1. Vermeidung von Kondenswasser an der inneren Oberfläche des Trennbauteils
2. Vermeidung von Wasserdampfkondensation im Inneren des Trennbauteils

Diese Bedingungen lassen sich durch ausreichende Wärmedämmung an der Außenseite sowie durch einen innenseitig luftdichten Abschluss von Bauteilen erfüllen. Sie sind in hohem Maß von den, der geplanten Widmung entsprechenden, Innen- und, den geographisch gegebenen,

Außenluftbedingungen abhängig, welche demzufolge der Bemessung zu Grunde zu legen sind.

Thermische und hygrische Kennwerte

Der thermische Kennwert der Wärmeleitfähigkeit λ für den betrachteten Baustoff entspricht den jeweiligen Werten aus [14], [24] oder Herstellerangaben. Der hygrische Kennwert der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ wird im Rahmen dieser Arbeit der [18] oder Herstellerangaben entnommen.

Zur Beurteilung von Einflüssen des Feuchtigkeitsgehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit wird auf die Angaben in [9] verwiesen.

Klimabedingungen

Innenluftbedingungen werden durch die Raumwidmung festgelegt und sind, wie eingangs erwähnt, bei der Bemessung zu berücksichtigen. Für Wohnungen oder Räume ähnlicher Nutzung wird gemäß ON B 8110-2, Abschnitt 6 folgendes Innenluftklima zu Grunde gelegt:

1. Lufttemperatur 20 °C
2. Für die relative Luftfeuchte wird unterschieden zwischen
 - i. Vermeidung von Kondenswasserbildung:
65% bei Außentemperaturen von 0°C bis 10°C mit einer Änderung, gemäß ON B 8110-2, Abschnitt 6.1, je Zu- oder Abnahme um 1 K.
 - ii. Vermeidung des Risikos der Schimmelbildung:
55% bei Außenlufttemperaturen von 0°C bis 5°C mit einer Änderung, gemäß ON B 8110-2, Abschnitt 6.1, je Zu- oder Abnahme um 1 K.

Im entsprechenden Abschnitt dieser Norm wird in Anmerkung 3 empfohlen, dass durch Maßnahmen zur Austrocknung der Baufeuchte, Möglichkeiten zum Luftaustausch und Information der Wohnungsnutzer vorgenannte Innenluftbedingungen eingehalten werden sollen. Näheres dazu ON B 8110-2, Beiblatt 4.

Nachdem die Innenluftbedingungen festgelegt wurden, kann man gemäß ON B 8110-2, Abschnitt 6.2 die Außenluftbedingungen für jeden beliebigen Ort anhand seiner Seehöhe und der Einteilung in sieben Regionen mit unterschiedlichen Temperaturgradienten sowie einer relativen Luftfeuchtigkeit von 75% bis 80% angeben. Der Berechnung der Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur werden Koeffizienten aus ON B 8110-2, Tabelle 2 und die jeweilige Seehöhe zu Grunde gelegt:

$$\theta = a + b * H \quad \text{in } ^\circ\text{C}$$

a, b ... *Regressionskoeffizienten*

H ... *Seehöhe in 100 m*

Werte für die tiefsten jährlichen Tagesmittel der Außenlufttemperatur sind in ON B 8110-2, Tabelle 3 angegeben.

Berechnung zur Vermeidung von Kondensat an der inneren Bauteiloberfläche

„Um Kondenswasserbildung zu vermeiden bzw. im Hinblick auf das Risiko von Schimmelbildung an der inneren Oberfläche, ist der Wärmeschutz der Außenbauteile so zu bemessen, dass die inneren (sic) Oberflächentemperatur nicht unter die Sättigungstemperatur bzw. die 80% relativer Feuchtigkeit der Innenluft entsprechende Temperatur absinkt. Die Bemessung erfolgt mit dem in ÖNORM EN ISO 13788 festgelegten Temperaturfaktor“ [12].

Der für die raumseitige Oberfläche kleinste zulässige Temperaturfaktor, bezeichnet als Bemessungs-Temperaturfaktor, ergibt sich mit der kleinsten zulässigen raumseitigen Oberflächentemperatur wie folgt:

$$f_{R_{si},min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad [-]$$

θ_i ... *raumseitige Lufttemperatur*

θ_e ... *außenseitige Lufttemperatur*

$\theta_{si,min}$... *kleinste zulässige raumseitige Oberflächentemperatur*

Diese hier verwendete mindesterforderliche Oberflächentemperatur $\theta_{si, min}$ ergibt sich für die Bemessung zur Vermeidung von Oberflächenkondensat als

Taupunkttemperatur der Innenluft und zur Bemessung im Hinblick auf das Risiko von Schimmelbildung als die Temperatur, auf die die Innenluft abgekühlt 80% relative Luftfeuchte erreicht.

Die entsprechenden Werte der zulässigen Temperatur für beide Bemessungsszenarien sind in übersichtlicher Form in ON B 8110-2, Tabelle A1 zusammengestellt. Für den Fall von 20 °C Innenlufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit zwischen 40 % und 70 % kann $f_{R_{si, min}}$ ON B 8110-2, Bild 2 bis 4 entnommen werden.

Mit der mindesterforderlichen raumseitigen Oberflächentemperatur können auch Aussagen über den erforderlichen Wärmeschutz von ebenflächigen Bauteilen ohne Wärmebrücken gemacht werden. Gemäß ON B 8110-2, Abschnitt 7.2 gilt demnach:

$$U_{max} = \frac{\theta_i - \theta_{si, min}}{R_{si} * (\theta_i - \theta_e)} \quad [W/m^2K]$$

U_{max} ... höchstzulässiger Wärmedurchgangskoeffizient

R_{si} ... Wärmeübergang an raumseitigen Oberflächen

$$R_{min} = \frac{1}{U_{max}} - (R_{si} + R_{se}) \quad [m^2K/W]$$

R_{min} ... mindesterforderlicher Wärmedurchlasswiderstand

R_{si} ... Wärmeübergang an raumseitigen Oberflächen

R_{se} ... Wärmeübergang an außenseitigen Oberflächen

Die oben verwendeten Wärmeübergangswiderstände sind folgender Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 6: Wärmeübergangswiderstände an der Oberfläche nach [12]

	Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W]
Wärmeübergang an außenseitigen Oberflächen R_{se}	0,04
Wärmeübergang an raumseitigen Oberflächen R_{si}	
an Glas und Rahmen	0,13
an anderen raumseitigen Oberflächen	0,25

In Kapitel XX dieser Arbeit wurde bereits erwähnt, dass Verschneidungen von Außenbauteilen in Form von Ecken, Durchdringungen und inhomogene Bauteilkonstruktionen Wärmebrücken darstellen können. In solchen Fällen lässt sich die Oberflächentemperatur nicht mehr einfach berechnen, da diese ortsabhängig wird und nur mehr mit numerischer Simulation bestimmt werden kann.

Es ist zu unterscheiden, ob die Innentemperatur der die Wärmebrücke umgebenden Luft konstant oder unterschiedlich groß ist. Für den Fall konstanter Innentemperatur kann der geringste auftretende Wert von f_{Rsi}^* für eine Reihe von Baukonstruktionen aus Wärmebrückenkatalogen entnommen werden.

Laut ON B 8110-2, Abschnitt 7.2.2 bleibt eine Konstruktion frei von Oberflächenkondensat, sofern gilt:

$$f_{Rsi}^* \geq f_{Rsi,min} \quad [-]$$

Für den Fall des Norm-Innenraumklimas nach [12] muss für die beiden Bemessungsszenarien Vermeidung von Oberflächenkondensat bzw. Vermeidung von Risiko der Schimmelbildung gelten:

$$f_{Rsi}^* \geq 0,71 \quad \text{bzw.} \quad f_{Rsi}^* \geq 0,69$$

Für den Fall von 20 °C Innenlufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit zwischen 40 % und 70 % kann $f_{Rsi,min}$ wiederum ON B 8110-2, Bild 2 und 4 entnommen werden.

Berechnung zur Vermeidung von Kondensat im Bauteilinneren

Nach der zuvor erwähnten Berechnung, ob im Bauteilinneren Kondensation auftritt, gibt es gemäß ON B 8110-2, Abschnitt 8.3 drei, vom Grad der Durchfeuchtung, abhängige Kriterien zur Beurteilung:

1. Es tritt an keiner Stelle am Bauteil Kondenswasser auf.
2. An mindestens einer Grenzfläche im Bauteil tritt Kondenswasser auf, das in der Verdunstungsperiode jedoch verdunsten soll. Dafür ist zu prüfen:

- i. Ob die auftretende Menge in der betroffenen Schicht gespeichert werden kann. Für nicht oder schlecht kapillar aufnahmefähige Materialien gilt: $M_{a,max} \leq 0,5 \text{ kg/m}^2$
 - ii. Ob durch die Erhöhung des Feuchtegehalts der betroffenen Schicht, die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des gesamten Bauteils weniger als 10% beträgt.
 - iii. Ob durch die Erhöhung des Feuchtegehalts eine Schädigung der betroffenen Baustoffe auftreten kann (Korrosion, Pilzbefall, Frostzerstörung oder ähnliches).
3. Kondenswasser tritt an mindestens einer Stelle auf und kann, aufgrund unzureichender Verdunstung in den Sommermonaten, zu fortschreitender Durchfeuchtung und Schäden führen.

Bauteile für die kein Nachweis erforderlich ist

Ergänzend zu obenstehenden Bestimmungen werden in ON B 8110-2, Abschnitt 10, Angaben gemacht, für welche Konstruktionen unter Einhaltung der definierten Innen- und Außenluftbedingungen ein diffusionstechnischer Nachweis entfallen kann. An dieser Stelle werden jedoch nur jene angeführt, die dem Thema dieser Arbeit entsprechen.

1. Warmdächer, wenn die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke der unter der Dämmschicht liegenden Schichten $\mu * d \geq 90 \text{ m}$ ist.
2. Umkehrdächer aus extrudiertem Polystyrol.

4.2 Geschlossener Gehbelag bei Flachdächern

Im Rahmen dieser Arbeit wird unter einem geschlossenem Gehbelag eine im Mörtelbett verlegte Nuttschicht aus Plattenwerkstoffen mit verfüllten Zwischenfugen verstanden.

Die zur Modellbildung verwendeten Plattenwerkstoffe werden auf keramische Produkte und Natursteinerzeugnisse beschränkt.

4.2.1 Überblick der auftretenden Beanspruchungen

Flachdächer im Allgemeinen sind der Witterung ungeschützt ausgesetzt und müssen daher höchsten Beanspruchungen widerstehen. Während bei ungenützten Flachdächern die oberste Lage meist als Schutzschicht ausgebildet wurde, ist bei Terrassen mit Gehbelägen die oberste Schicht eine Nuttschicht und dient nicht vorrangig zum Schutz der Abdichtung oder der Dämmung. Das bedeutet, dass die oberste Schicht im Aufbau den auftretenden Beanspruchungen voll ausgesetzt ist und zugleich den Anforderungen an eine dauerhafte Nuttschicht gerecht werden muss.

Im Folgenden seien zur Veranschaulichung der Situation von Gehbelägen die wichtigsten Beanspruchungen kurz aufgelistet.

- Feuchtigkeit: Wasser aus Niederschlägen, Reinigungsarbeiten und auftretendem Tauwasser sammelt sich unmittelbar auf dem Belag und dringt, sofern es nicht schnellstmöglich abgeleitet werden kann, in die Schichten über der Abdichtung ein.
- Frost: Bei kalten Temperaturen kann das im Aufbau befindliche Wasser gefrieren und beschädigt, auf Grund des dabei entstehenden hohen Gefrierdrucks und der mehrfachen Frost-Tau-Wechsel, nahezu alle durchfeuchteten Schichten.
- Temperaturdehnungen: Durch die exponierte Lage der Terrasse ist sie, über ein Kalenderjahr betrachtet, Temperaturen von bis zu + 80°C im

Sommer und rund - 20°C im Winter ausgesetzt. Diese, oder spontane Temperaturänderungen durch beispielsweise Sommergewitter, führen zu unterschiedlich großen Dehnungen zwischen den Schichten im Aufbau und müssen vom Belag aufgenommen werden.

- Mechanische und chemische Beanspruchung: Durch die Nutzung und dem Einfluss der Umwelt wird der Belag als oberste Schicht einer Terrasse zuerst beansprucht und hat demzufolge Abrieb, Hagel, Eis, Schmutz, Staub, Abgasen, chemischen Reinigungsmitteln, UV-Strahlung und dergleichen standzuhalten.

Um diesen und weiteren Beanspruchungen gerecht zu werden, sind in den jeweiligen Materialnormen entsprechende Anforderungen formuliert.

4.2.2 Elemente von geschlossenen Gehbelägen

4.2.2.1 Belag

Geschlossene Fußbodenbeläge werden hauptsächlich aus Gründen der komfortableren Nutzung der jeweiligen Freifläche, als auch zum Schutz der darunter befindlichen Unterbauschichten aufgebracht. Sie stehen physikalisch, chemisch und funktionell in Wechselwirkung mit den im Aufbau befindlichen Schichten und sind demzufolge aufeinander abzustimmen.

Die Auswahl des Belags hinsichtlich Farbe und Kantenlänge spielt für seine Dauerhaftigkeit eine große Rolle. Wie in [39] angeführt, heizen sich Oberflächen von Flachdächern mit dunklen Farben wesentlich stärker auf als solche mit hellen Farben. Gleichzeitig können großformatige Elemente die auftretenden Temperaturspannungen weniger gut über die Fugen ableiten wie Formate mit einer Seitenlänge kleiner als 30cm. Im kalten Klima mit Außentemperaturen um den Gefrierpunkt, sind Beläge im Freien ausnahmslos frostbeständig herzustellen. Dabei ist die Wasseraufnahme des jeweiligen Belagmaterials von entscheidender Bedeutung. Hinsichtlich Entwässerung fordert [8] in Abschnitt 5.8, unabhängig vom verwendeten Belagsmaterial, dass bei Terrassen die Entwässerung auch in der Belagsoberfläche sichergestellt sein muss.

Welcher Plattenbelag auch immer zur Anwendung kommt, die jeweilige Oberfläche muss für allgemein zugängliche Bereiche gemäß [2] auch rutschhemmend sein. In Deutschland wird das auch für private Bereiche gefordert. Hier gibt beispielsweise die deutsche Normung drei Gruppen vor, die die Neigung angeben, ab der Prüfpersonen nur mehr unsicher gehen konnten. Bodenbeläge, die einer dieser Gruppe zugeordnet werden können, besitzen dadurch ein bestimmtes Maß an Rutschhemmung. Praktisch wird die geforderte Rutschhemmung mit einer genügend großen Rauigkeit der Oberfläche erreicht. Aus diesem Grund sind gemäß der deutschen Normung polierte oder allzu fein geschliffene Oberflächen zu vermeiden.

Gegenwärtig existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen Belagsmaterialien, von denen keramische Beläge und Natursteinbeläge für eine nähere Betrachtung in dieser Arbeit ausgewählt wurden. Kunststeinbeläge sind für den Außenbereich

aufgrund ihrer hohen Wärmeausdehnung und Feuchtigkeitsempfindlichkeit im Allgemeinen nur bedingt geeignet [53].

Keramische Fliesen und Platten werden in [21] nach Ihrem Herstellungsverfahren und Ihrer Wasseraufnahme in Gruppen eingeteilt, die jedoch keine Aussagen über den Verwendungszweck machen.

Mit keramischen Fliesen und Platten, die laut [15] frostbeständig sind, lässt sich jedoch für mitteleuropäische Klimabedingungen nicht immer ein dauerhaft frostbeständiger Gehbelag herstellen.

In den [32] werden Hinweise gegeben, die das Risiko von Frostschäden minimieren. Die Materialauswahl betreffend, sind das:

- Dicke: ≥ 10 mm
- Seitenlänge ≤ 30 cm
- Wasseraufnahme: ≤ 3 Gewichtsprozent
- Nach Möglichkeit unglasierte Oberfläche
- Nach Möglichkeit stranggepresste Herstellungsart
- Nach Möglichkeit helle Farbe

Ein zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit aktuelles Normprojekt für die ON B 3407 beschäftigt sich mit Anforderungen und Prüfung von keramischen Fliesen, Platten und deren Verlegematerialien wie z.B.: Ausgleichmassen, Grundierungen, Alternativabdichtungen, Mörtel und Klebstoffe für Fliesen und Platten und Fugenmaterialien.

Neben keramischen Belägen sind Natursteinbeläge eine weitere, wenngleich kostspieligere, Variante. Frostbeständig sind Tiefengesteine wie beispielsweise Granit, Syenit oder Diorit sowie manche Ergussgesteine wie beispielsweise Porphyry und Diabas [30].

Gemäß [16] ist eine Fliese ein „glattes, quadratisches oder rechtwinkliges Stück aus Naturstein in Standardgröße, üblicherweise ≤ 610 mm, das durch Schneiden oder Spalten mit einer Nenndicke ≤ 12 mm hergestellt wird“. Eine Bodenplatte hingegen, ist gemäß [17] ein „flaches Stück aus Naturstein, das durch Schneiden oder Spalten mit einer Nenndicke > 12 mm hergestellt wird. Eine Bodenplatte wird mit Mörtel, Klebstoffen oder anderen Befestigungselementen an einem Bauwerk befestigt.“

Mindestdicken für Bodenbeläge im Außenbereich sind in [10] geregelt:

Tabelle 7: Mindestdicken für Bodenbeläge im Außenbereich gemäß [10]

Verlegung		Naturstein und Kunststein	Fugen
Mindestdicken			Mindestbreite
Mörtel	Mörtelgruppe 3, Drainage		Mörtel
	2 cm	1 cm	4 mm
Klebemörtel	0,5 cm bis 1,0 cm	1 cm	4 mm
Kies- und Splittbett		Platten Mindestgröße 0,09 m ²	
	5 cm	2,5 cm	
Abstand-halter			offen
	1 cm	3 cm	5 mm

4.2.2.2 Fugenmörtel

Für die Verwendung jeglicher Mörtel auf Zementbasis kann keine Tausalzverträglichkeit erreicht werden. Bei Anforderung an die Barrierefreiheit, darf gemäß [5] die Höhendifferenz zwischen Belagsoberfläche und Verfugung nicht größer als 0,5 cm sein. [20] unterscheidet zwischen zementgebundenem Fugenmörtel und Reaktionsharz-Fugenmörtel und trifft eine weitere Unterteilung nach zusätzlichen Kenndaten in folgende Klassen:

Tabelle 8: Klassifizierung und Bezeichnung von Fugenmörtel gemäß [20]

Symbol		Beschreibung
Mörtelart	Mörtelklasse	
CG	1	Normaler zementhaltiger Fugenmörtel
CG	2W	Verbesserter zementhaltiger Fugenmörtel mit verringerter Wasseraufnahme
CG	2A	Verbesserter zementhaltiger Fugenmörtel mit hoher Abriebbeständigkeit
CG	2WA	Verbesserter zementhaltiger Fugenmörtel mit hoher Abriebbeständigkeit und verringerter Wasseraufnahme
RG		Reaktionsharz-Fugenmörtel

4.2.2.3 Mörtelbett und Kleber

In [10] wird Mörtel in Abhängigkeit vom Verwendungszweck in verschiedene Gruppen eingeteilt. Für die Verlegung von Bodenbelägen, Stufen und dergleichen im Außenbereich sind Mörtel der Gruppe 3 mit einer Mindestdruckfestigkeit von 8 N/mm² zu verwenden.

Wie auch für Fugenmörtel gilt, dass jegliche Mörtel oder Kleber auf Zementbasis absolut unverträglich mit Tausalz sind.

Mörtelbett und Kleber müssen die Differenzen der aus Längenänderungen von Belag und Lastverteilungsschicht resultierenden Spannungen aufnehmen können. Maßgebend sind Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter oder auch quasi-spontane Abkühlungen durch Sommergewitter, bei denen die Belagsoberfläche um bis zu 40K abkühlen kann [30].

Je größer die Abmessungen der betrachteten Terrasse sind, desto größer werden auf Grund von folgendem Zusammenhang die entsprechenden Längenänderungen:

$$\Delta l = l_0 + \alpha_t * \Delta T \quad \text{in [mm]}$$

l_0 ... Einbaulänge

ΔT ... Temperaturunterschied

α_t ... spezifischer Wärmeausdehnungskoeffizient

Mörtelschichten für den Außenbereich müssen frostbeständig sein. Die Verwendung von kalkarmen Zementen ist von Vorteil, da ungebundener Kalk durch Feuchtigkeitseinwirkung gelöst wird, durch die Kapillaren der Konstruktion wandert und nach Reaktion mit der Kohlensäure der Luft in Form von wasserunlöslichen Ausblühungen an der Belagsoberfläche auftritt.

Dieser Kapillarwanderung ist insbesondere bei Verwendung von Natursteinbelägen erhöhtes Augenmerk zu schenken und gegebenenfalls durch den Einsatz von Portlandpuzzolanzement oder durch Zusatz von Trassmehl entgegenzuwirken.

Bei der Verlegung im Außenbereich ist darauf zu achten, dass zwischen Belag und Mörtelbett möglichst keine Hohlräume verbleiben. Analog wird in der deutschen Normung beschrieben, dass im Außenbereich eine weitgehend

vollflächige Bettung des keramischen Belags erforderlich ist. Ein Verfahren, welches diesem Ziel entgegenkommt, jedoch nur mit erhöhtem Aufwand realisierbar ist, ist das *Buttering-Floating-Verfahren*.

Gemäß [6] sind bei Verlegung von dichten Belägen, also mit einer Wasseraufnahme $\leq 3\%$, kunststoffmodifizierte Klebemörtel zu verwenden.

Dickbettmörtel:

Dickbettmörtel sind gemäß Abschnitt 5.3.3.2.1 in [6] mit einer Dicke von 10 mm bis 30 mm aufzubringen. Bei auf der Baustelle hergestelltem Dickbettmörtel sollte reines Leitungswasser verwendet werden. Von Vorteil sind fertige Trockenmischungen, denen nur mehr die angegebene Wassermenge beigemischt werden muss. Fertige Transportmörtel sind hingegen nicht zu empfehlen.

Dünn- und Mittelbettmörtel:

Je nach Unebenheiten im Verlegeuntergrund kann ein Dünn- oder Mittelbettmörtel verwendet werden. Die Verlegung im Mittelbett stellt eine Variante aus Dünn- und Dickbettverlegung dar und sollte mit einer Stärke von 5-10 mm ausgeführt werden. Bei Verwendung eines Dünnbettmörtels oder Dünnbettklebstoffes ist das Verlegebett mit einer Dicke bis zu 5 mm auszuführen. Falls vertraglich nicht anders vorgeschrieben, ist jedenfalls das Floatingverfahren anzuwenden. Da im Außenbereich ein zu langes Abbinden des Mörtels aus mehreren Gründen von Nachteil ist, kann speziell im Dünnbettverfahren durch entsprechende Zusätze ein rasch begehbare Belag hergestellt werden.

Fließbettmörtel:

Das zeitaufwendige und damit kostspielige *Buttering-Floating-Verfahren* kann bei der Verwendung von Fließbettmörtel entfallen, da dabei ebenfalls eine vollsattete Verlegung gewährleistet werden kann. Der Fließbettmörtel wird im entsprechenden Mischungsverhältnis in einer plastischen und fast gießfähigen Konsistenz auf den Verlegeuntergrund aufgebracht und der Fußbodenbelag eingeschwommen und verschoben.

4.2.2.4 Verlegeuntergrund bzw. Lastverteilungsschicht

Der Untergrund des Bodenbelages dient gleichzeitig als Lastverteilungsschicht zur gleichmäßigen Abtragung der auftretenden Belastungen aus der Nutzung. Aus diesem Grund ist dieser auf die statischen Erfordernisse abzustimmen und muss sämtliche Anforderungen an einen Untergrund für geschlossene Beläge erfüllen.

Da im Rahmen dieser Arbeit Flachdachkonstruktionen auf Stahlbetondecken im Wohnbau untersucht werden, spielen zusätzlich thermische und schalltechnische Anforderungen eine bedeutende Rolle. Um diesen Anforderungen genügen zu können, werden bei dieser Arbeit ausschließlich schwimmend verlegte Estriche bzw. Lastverteilungsschichten betrachtet.

Zementestrich:

Für Außenbereiche empfiehlt sich die Verwendung von kalkarmen Zement wie beispielsweise Hochofenzement. Um Schwindvorgänge im Estrich möglichst gering zu halten, sollte für die Herstellung von Zementestrichmörtel nicht mehr als die mindesterforderliche Menge Zement verwendet werden [37].

[7] gilt laut Ihrem Anwendungsbereich nur für die Verwendung in Innenräumen. In Ermangelung von entsprechenden Regelwerken für die Verlegung von Estrichen im Außenbereich werden in Tabelle 4.2.2.4 jedoch die geforderten Mindestdicken von (Normungsinstitut, 2007) als Richtwerte angeführt.

Gesteinskörnungen für Estriche im Außenbereich gemäß deutscher Normung müssen frei von organischen und quellfähigen Stoffen sein, dürfen keine Schwefelverbindungen enthalten und das Erhärten nicht nachteilig beeinflussen und müssen ausreichend widerstandsfähig gegen Frost-Tau-Wechsel sein [37]. Ihre Form sollte möglichst gedrunken sein und ihre Festigkeit muss größer sein als jene, die für den fertigen Estrich gefordert ist.

Die Kornzusammensetzung muss ein möglichst dichtes Gefüge bilden und Hohlräume bestmöglich reduzieren. Dadurch ist für den Mörtel nur die Mindestmenge an Zementschlämmen erforderlich und das unerwünschte Schwinden reduziert sich auf ein Minimum [37].

Tabelle 9: Minstdicken schwimmend verlegter Zementestriche auf Dämmschichten über 25mm Dicke und Trennlage aus [7]

Estrichart und nationale Bezeichnung	Estrichdicken auf Dämmschichten über 25 mm Dicke	
	Flächenlast $\leq 2 \text{ kN/m}^2$ Einzellast $\leq 1 \text{ kN}$	Flächenlast $\leq 3 \text{ kN/m}^2$ Einzellast $\leq 2 \text{ kN}$
Zementestrich E 225	50 mm	65 mm
Zementestrich E 300	45 mm	55 mm
Zementestrich E 225 F	45 mm	55 mm
Kunstharzmodifizierter Zementestrich	35 mm	50 mm

In [37] sind die häufigsten Planungs- und Ausführungsfehler von Estrichen im Außenbereich wie folgt angeführt:

1. zu geringe Dicke
2. unterschiedliche Dicke für Gefälle
3. ungünstiger w/z-Wert oder Körnung des Zuschlags

Daraus werden für die Entwicklung von möglichen Aufbauten mit geschlossenem Gehbelag folgende Grundsätze abgeleitet:

1. Minstdicke von 50 mm
2. Konstante Dicke des Estrichs und Ausbildung des erforderlichen Gefälles in der Tragkonstruktion oder in der Wärmedämmung
3. Verwendung von fertigen Werksmischungen, die auf der Baustelle nach Angabe des Herstellers angerührt und rasch verarbeitet werden.

4.2.2.5 Vertikal und horizontal wirksame Flächendrainage

[11] und [23] definieren eine Drainschicht als eine „Schicht, die infolge ihres Hohlraumvolumens das Überschusswasser aufnimmt und zu den Entwässerungseinrichtungen führt“. Obwohl diese Norm ihre Anwendung zur Planung von begrünten Dachflächen findet, wird im Rahmen dieser Arbeit aus Mangel an entsprechenden Normen für geschlossenen Gehbeläge im Außenbereich auf Abschnitt 6.7.3 verwiesen: „Unter im Mörtelbett verlegten Belägen sind Drainageschichten anzuordnen.“

Drainageschichten sind auch gemäß ON B 3691 Abschnitt 5.8, eine zulässige Möglichkeit, um Rigole zu entwässern. Mehr noch scheinen sie, im ohnehin beengten Anschlussbereich von Abdichtungen vor Türdurchführungen, praktikabler in der Ausführung, als Stichkanäle oder direkte Anschlüsse an die Entwässerungsleitung. Dies hat für den Schichtaufbau von Dachterrassen deswegen Bedeutung, da Rigole vor Dachausstiegen immer zwingend vorgeschrieben sind, wenn die Regelanschlusshöhe der Abdichtung im Türbereich von mindestens 10 cm verringert werden soll.

Durch den Wunsch vieler Bauherren, vor allem aber durch die Vorgaben der ON B 1600 Abschnitt 5.7, von barrierefreien Türschwellen zu Außenbereichen, bekommt die Frage der Entwässerung von Rigolen, durch beispielsweise Flächendrainagen, daher eine besondere Bedeutung.

Abgesehen von Rigolrinnen und deren Entwässerung, besteht auch die Notwendigkeit das auf der Oberfläche der Terrasse anfallende Niederschlagswasser horizontal und vertikal möglichst rasch abzuleiten. Um zu verhindern, dass sich Wasseransammlungen schädlich auf die Abdichtung sowie die darüber liegenden Schichten auswirken, sollte eine flächenhaft wirksame Drainage vorgesehen werden. Auch in der deutschen Normung wird explizit gefordert, dass Drainagen auf der Abdichtung erforderlich sind, wenn der durch die Belagsschichten verzögerte Wasserabfluss zu Schäden führen kann.

In Tabelle 12 sind Regelungen der ON B 3691 hinsichtlich Anschlusshöhen von Abdichtungshochzügen an aufgehende Bauteile, Türen und Durchführungen

über 200 cm² angeführt. Im Anhang B dieser Norm sind zum besseren Verständnis Details zu An- und Abschlüssen schematisch dargestellt.

Tabelle 10: Zusammenstellung der Anschlusshöhen von Abdichtungen gemäß [8]

Beschreibung		Regelfall	Erhöhte Anforderung	
Regelanschlusshöhen		Wand: ≥ 15 cm Tür: ≥ 10 cm	Wand: ≥ 20 cm Tür: ≥ 15 cm	
Zulässige Verringerung der Anschlusshöhe gemäß ON B 3691 durch jeweilige Maßnahme	Spritzwasserschutz durch Überdachung, allseitiger Überstand mind. 50% der Vordachhöhe	- 5 cm	- 8 cm	
	Rigole gemäß ON B 3691, Abschnitt 5.8, mit freiem Querschnitt des Rostes 50%	Rigolbreite ≥ 12 cm	- 50 % der Rinnentiefe	- 50 % der Rinnentiefe, in schneereichen Gebieten beheizt
		Rigolbreite ≥ 24 cm	- 100 % der Rinnentiefe	- 100 % der Rinnentiefe, in schneereichen Gebieten beheizt
Anschlusshöhe an aufgehende Wände und Durchdringungen größer 200 cm ² Querschnittsfläche	Anschluss mit Vordach, ohne Rigol	≥ 10 cm	≥ 12 cm	
	Anschluss mit Rigol, Breite ≥ 12 cm bis 24 cm	≥ 7 cm	≥ 10 cm	
	Anschluss mit Rigol, Breite ≥ 24 cm	≥ 5 cm	≥ 7 cm	
Anschlusshöhe an Türelemente	Anschluss mit Vordach, ohne Rigol	≥ 5 cm	≥ 7 cm	
	Anschluss mit Rigol, Breite ≥ 12 cm bis 24 cm	≥ 3 cm	≥ 5 cm	
	Anschluss mit Rigol, Breite ≥ 24 cm	≥ 1 cm	≥ 3 cm	

Für eine flächenwirksame Drainage kommt eine Vielzahl von möglichen Materialien und Konstruktionen in Frage.

In [33] wird das Wasserleitvermögen bewertet und demzufolge Empfehlungen für Materialien und deren Schichtdicke gegeben. In Ergänzung zu den Ergebnissen der erwähnten Studie eignen sich nachfolgend angeführte Flächendrainagen:

a) Drainage aus Kies oder Splitt

Die wohl konventionellste Methode besteht aus einer verdichteten und verfestigten Schicht Kies bzw. Splitt. Diese Schicht wird zum Schutz der darunter liegenden Abdichtung bzw. Wärmedämmung auf eine Trennlage gemäß ON B 3691, Abschnitt 4.5 aufgebracht. Über der Drainage verhindert eine Filterschicht gemäß ON B 2209-2, Abschnitt 5.2.12 das Eindringen von Zementschlämmen beim Estricheinbau oder sonstiger Feinanteile.

Nach [33] ist das Wasserableitvermögen umso besser, je größer das Korn und je dicker die Schichtdicke der Drainage ist. Für die Verwendung unter geschlossenen Gehbelägen ist bei dieser Art der Drainage jedenfalls eine Lastverteilungsschicht anzuordnen.

b) Einkornmörtel

Auch für eine Drainage aus Einkornmörtel gilt je größer das Korn und je dicker die Schicht, umso besser die Wirkung der Drainage, wobei hier ein wesentlicher Anteil der Hohlräume durch das Bindemittel geschlossen oder verkleinert wird und daher die Leistung insgesamt deutlich schlechter ist als ohne Bindemittel [33]. Der Vorteil dieser Drainage besteht darin, dass sie zugleich auch als lastverteilende Schicht unter geschlossenen Plattenbelägen verwendet werden kann.

c) Industriell gefertigte Kunststoffmatten

Dabei handelt es sich um Zwischenschichten aus widerstandsfähigem und belastbarem Kunststoff mit enorm hohem Hohlraumanteil und unterschiedlicher Dicke. Sie weisen nicht in alle Richtungen konstantes Wasserableitvermögen auf und werden daher den jeweiligen Zu- und Abflussbedingungen angepasst verlegt. Ihre Leistungsfähigkeit ist abhängig von der Fließrichtung und von der Größe des durchströmten Hohlraumes, also der Dicke der Matte. Für die Verwendung von geschlossenen Gehbelägen ist hier wieder eine lastverteilende Schicht vorzusehen.

Zusammenfassend wird in [33] festgehalten, dass Drainagematten das beste Wasserableitvermögen besitzen, da diese das größte Hohlraumvolumen

aufweisen, kapillARBrechend wirken und nicht so leicht Feinanteile aufnehmen wie Drainagen mit kleineren Hohlräumen.

Vor dem Hintergrund eines sehr starken Wasserandrangs durch das mögliche Zusammenspiel von ungünstigen Faktoren wie

- wetterseitiger Lage,
- regionales Starkregenereignis,
- zusätzlicher Zufluss durch Fassaden- oder Dachwasser

liegt bei barrierefreien Türanschlüssen zu nicht überdachten Außenbereichen die Priorität in einer möglichst raschen Abfuhr des anfallenden Wassers im Bereich der Türschwelle.

4.2.2.6 Trennlage

In ON B 2232, Abschnitt 5.2.13 wird für Trennlagen unter Estrichen gefordert, dass sie eine Verbindung zum Untergrund dauerhaft unterbinden; darüber hinaus müssen sie wasserbeständig sein.

Für Trennlagen zwischen Mörtelbett und Untergrund müssen gemäß ON B 7213, Abschnitt 5 gelten:

- Die Trennung der beiden Schichten muss dauerhaft sein.
- Material: Folien aus Polyethylen oder einem Material mit möglichst gleicher Reiß- und Dehnfähigkeit.
- Materialdicke: $\geq 0,1$ mm
- Ist mit Trennlagen eine Gleitebene herzustellen, sind zwei Lagen zu verwenden.

Für die Trennlage unter der Drainage zum Schutz der Abdichtung, oder der Dämmung bei Umkehrdächern, vor mechanischer Beanspruchung und Einschlämmung von Feinanteilen, gilt die ON B 3691, Abschnitt 4.5.

4.2.3 Auswirkungen des geschlossenen Gehbelags auf den Aufbau

Unter einem geschlossenen Gehbelag ist, im Rahmen dieser Arbeit, eine im Mörtelbett verlegte Nuttschicht aus plattenförmigen Produkten mit verfugten Zwischenräumen zu verstehen. Die Auswahl an möglichen Plattenwerkstoffen wurde auf Naturstein und keramische Produkte beschränkt.

4.2.3.1 Gegenüberstellung der Diffusionskennwerte von losen bzw. offenen Belägen mit geschlossenen Belägen

Zum Vergleich des Diffusionswiderstandes von offenen mit geschlossenen Aufbauten können die Widerstände der einzelnen Elemente über der Abdichtung gegenübergestellt werden. In Tabelle 13 werden diese Werte für ein konventionelles Umkehrdach sowie für ein in dieser Arbeit relevantes Flachdach mit geschlossenem Gehbelag aufgelistet.

Die Elemente des offenen Aufbaus sind um ein Vielfaches diffusionsoffener als jene des geschlossenen Aufbaus. Der beim offenen Aufbau nach außen hin stark abnehmende Diffusionswiderstand wird durch die offenen Fugen zwischen den Betonplatten zusätzlich verkleinert. Dadurch kann Feuchtigkeit leicht eindringen, jedoch auch wieder sehr leicht ausdiffundieren.

Besonders hohe Diffusionswiderstände besitzen keramische Bodenbeläge sowie die PE-Folie. Beim geschlossenen Aufbau wird die abdichtende Wirkung der ohnehin eher diffusionsdichten Nuttschicht durch die Verfugung zusätzlich verstärkt. Diese mehr oder weniger dichte Nuttschicht verhindert zwar ein zu schnelles Eindringen von Feuchtigkeit, jedoch erschwert sie auch den Wiederaustritt durch Verdampfen.

Tabelle 11: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen μ gängiger Baustoffe für Flachdachaufbauten

Baustoff		Diffusions - widerstandszahl μ	Quelle
Elemente offener Aufbauten	Betonplatte	100	ON EN 12524
	Kiesschüttung	50	ON EN 12524
	Filtervlies	2	Annahme
	XPS	150	ON EN 12524
Elemente geschlossener Aufbauten	keramische Fliesen	1.000.000	ON EN 12524
	Natursteinplatten	< 10.000	ON EN 12524
	Fugenmörtel	20	Annahme
	Mörtelbett	20	ON EN 12524
	Kunstharzmörtel	50	Annahme
	Zementestrich	35	ON B 8110-7
	Einkornmörtel	5	Annahme
	Filtervlies	2	Annahme
	PE-Folie	100.000	A-Null
	Drainagematte	1	Annahme
Abdichtung, Wärmedämmung, Dampfsperre	EPDM	6.000	ON EN 12524
	bitum. Abdichtung	50.000	ON EN 12524
	XPS-30	150	ON EN 12524
	EPS-30	60	ON EN 12524
	bitum. Dampfsperre	400.000	A-Null
	Villas ALGV-45	375.000	A-Null

4.2.3.2 Auswirkung auf den Feuchtehaushalt über der Abdichtung

Die Auswirkungen eines geschlossenen Gehbelags sind ein verkleinerter Wassereintrag von oben und eine verringerte Diffusion durch relativ dichte Plattenbeläge.

Im Mörtelbett verlegte Gehbeläge sind gemäß ON L 1131, Abschnitt 6.7.3 nur über Drainageschichten anzuordnen. Eine Drainage wiederum wird nur direkt über der Abdichtung sinnvoll eingesetzt. Ist diese Abdichtung, wie in diversen Normen gefordert, im Gefälle, wird anfallende Feuchtigkeit rasch abgeleitet und auf der Abdichtung bildet sich kein Wasserrückstau.

Auch wenn über der Drainage liegende Schichten wie Estrich, Mörtelbett und Beläge durch ihren feinporigen Aufbau möglicherweise noch mit Wasser gesättigt sind, so ist jedoch die Drainage auf Grund ihrer kapillarbrechenden Eigenschaft und ihres großen Hohlraumvolumens nicht gesättigt, sondern relativ trocken.

Die Drainage begünstigt somit durch ihre Eigenschaft Feuchtigkeit schlecht zu speichern, die Austrocknung benachbarter, oberflächennaher Schichten.

Wären Schichten aus mineralischen Baustoffen, beispielsweise Estrich, direkt auf der Abdichtung ausgeführt, könnte die im feinporigen, mineralischen Gefüge gespeicherte Feuchtigkeit im Bereich der Grenzfläche zur Abdichtung nur langsam entweichen. Neben der kapillar wirksamen Feinporigkeit wäre an der Abdichtung ausgetretenes Wasser durch die direkte Auflage im horizontalen Abfluss behindert.

Ohne Drainage würde sich schließlich Feuchtigkeit über einen längeren Zeitraum unmittelbar auf der Abdichtung befinden. Das erhöht die Beanspruchung der Abdichtung enorm und sollte jedenfalls vermieden werden.

Zudem behindern dichte Oberflächenschichten die Diffusion vorhandener, in den Poren gespeicherter Feuchte, sowie Feuchtigkeit die durch den Aufbau nach außen diffundiert.

4.3 Mögliche Aufbauten mit geschlossenem Gehbelag

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 4.2.2 angeführten Materialien für geschlossene Gehbeläge von genutzten Flachdächern und der in Kapitel 4.2.3 angestellten Überlegungen, werden im Folgenden mögliche Aufbauten in Materialauswahl und Schichtstärke konkretisiert. Die jeweiligen Angaben beziehen sich, soweit vorhanden, auf Vorgaben aktueller Ö-Normen. Sofern keine normative Regelung existiert, wurde auf Herstellerangaben Bezug genommen.

Darüber hinaus wird auf die bauphysikalische Funktion ein besonderes Augenmerk gelegt. Bevor in Kapitel 4.4 die hier entwickelten Aufbauten einer detaillierten wärme- und feuchtetechnischen Simulation unterzogen werden, erfolgt an dieser Stelle eine einfache Berechnung mit dem Programm ArchiPhysik 10, wie sie beispielsweise für eine bauphysikalische Einreichung der Baubehörde vorgelegt werden muss. Dabei werden

- U-Wert,
- Luftschalldämmmaß,
- Trittschalldämmmaß,
- Kondensation und Verdunstung

nachgewiesen. Entsprechende Datenblätter der jeweiligen Nachweise sind dem Anhang zu entnehmen.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das für die Entwässerung erforderliche Gefälle durch die Tragkonstruktion oder entsprechender Gefälleschichten direkt über der Stahlbetondecke gewährleistet wird. Dies ermöglicht die Planung konstanter Schichtendicken und stellt die erforderliche Entwässerung der Abdichtungsebene wie auch an der Oberfläche der Nuttschicht gemäß ON B 3691 Abschnitt 5.8 sicher. Zudem sei vermerkt, dass von aufgeständerten Konstruktionen bzw. Konstruktionen auf Stelzlagern Abstand genommen wird, da eine Ausführung von Gehbelägen aus keramischen oder mineralischen Materialien mit geschlossenen Fugen auf derartigen Systemen dem Verfasser nicht einwandfrei möglich erscheint.

4.3.1 Fliesenbelag im Dünnbett auf Zementestrich, Kiesbettdrainage

Im ersten gewählten Aufbau werden als Gehbelag Fliesen im Dünnbett vorgesehen, der auf einer Lastverteilungsschicht aus Zementestrich aufgebracht wird. Bis auf den geschlossenen Gehbelag weist diese Konstruktion einen konventionellen Schichtaufbau auf. Im Unterschied zu gängigen Aufbauten, liegen in diesem Fall jedoch über der Drainage relativ dampfdichte Schichten, die die Diffusion von Feuchtigkeit erschweren. Somit wird im Zuge einer wärme- und feuchtetechnischen Simulation zu prüfen sein, ob sich im Aufbau aufgrund unzureichender Diffusion Feuchtigkeit anreichert.

Unter Berücksichtigung gültiger Normen, ergibt sich für den geplanten Flachdachaufbau folgende Schichtfolge:

1,0	cm	Fliesenbelag
1,0	cm	Dünnbettmörtel (gem. ON B 2207)
5,0	cm	Zementestrich
0,02	cm	Trennlage (PE-Folie) (gem. ON B 2232, Abschnitt 5.3.3.1.1 und 5.3.3.1.2)
5,0	cm	Kiesbettdrainage
0,5	cm	Schutzschicht (gem. ON B 3691) Geotextil mit 500g/m ² oder Gummigranulatmatte $d \geq 0,6$ cm
$\leq 1,0$	cm	bitum. Abdichtung (gem. ON B 3691, Tabelle)
18,0	cm	EPS Wärmedämmung
0,4	cm	Dampfsperre (gem. ON B 3691) Bei Gefälledämmung: Bitumendampfsperrbahn E-ALGV-4, E-KV-4, E-KV-5 gem. ON B 3666 oder kaltselbstklebend gem. ON B 3691)
20,0	cm	Stahlbetondecke mit Gefälle (gem. ON B 3691, Tab. 3)

4.3.2 Fliesenbelag im Dünnbett auf Zementestrich, Drainmatte

Im zweiten gewählten Aufbau wird die konventionelle Drainage eines Kies- oder Splittbett durch eine industriell gefertigte Drainmatte ersetzt. Laut Herstellern besitzen diese Drainagematten bei entsprechender Verlegung eine vielfach höhere Entwässerungswirkung [33] als Kiesbettdrainagen und wirken zudem kapillARBrechend.

Inwiefern sich diese Art der Entwässerung auf den Feuchtigkeitshaushalt der Konstruktion auswirkt wird zu prüfen sein.

Unter Berücksichtigung gültiger Normen, ergibt sich für den geplanten Flachdachaufbau folgende Schichtfolge:

1,0	cm	Fliesenbelag
1,0	cm	Dünnbettmörtel (gem. ON B 2207)
5,0	cm	Zementestrich
0,02	cm	Trennlage (PE-Folie) (gem. ON B 2232, Abschnitt 5.3.3.1.1 und 5.3.3.1.2)
1,6	cm	Drainagematte 16mm (z.B. AquaDrain)
0,5	cm	Trennlage (gem. ON B 3691) PE-Folie, Geotextil mit 500g/m ² oder Gummigranulatmatte $d \geq 0,6$ cm
≤ 1,0	cm	bitum. Abdichtung (gem. ON B 3691, Tabelle 7)
18,0	cm	EPS Wärmedämmung
0,02	cm	Dampfsperre Bei Gefälledämmung: Bitumendampfsperrbahn E-ALGV-4, E-KV-4, E-KV-5 gem. ON B 3666 oder kaltselbstklebend gem. ON B 3691)
20,0	cm	Stahlbetondecke im Gefälle (gem. ON B 3691, Tab. 3)

4.3.3 Plattenbelag im Mörtelbett auf Einkornmörtel

Im dritten gewählten Aufbau kommt ein Plattenbelag im Mörtelbett zur Anwendung. Als Lastverteilungsschicht wird in diesem Fall Einkornmörtel verwendet, der den Vorteil einer offenporigen Struktur besitzt. Somit wirkt sich die Lastverteilungsschicht bereits positiv auf Entwässerung und Dampfdiffusion aus. Auf eine Drainage wird hier verzichtet, um die Wirkung des Einkornmörtels besser beobachten zu können.

Im Unterschied zur zweiten Konstruktion ist hier die Auswirkung des Einkornmörtels auf den Feuchtigkeitshaushalt zu untersuchen.

Unter Berücksichtigung gültiger Normen, ergibt sich für den geplanten Flachdachaufbau folgende Schichtfolge:

2,0	cm	Natursteinbelag
1,0	cm	Kleber bzw. Fixiermasse
5,0	cm	Einkornmörtel
0,5	cm	Schutzschicht (gem. ON B 3691) Geotextil mit 500g/m ² oder Gummigranulatmatte $d \geq 0,6$ cm
$\leq 1,0$	cm	bitum. Abdichtung (gem. ON B 3691, Tabelle 7)
18,0	cm	EPS Wärmedämmung
0,02	cm	Dampfsperre (Villox ALGV 45) Bei Gefälledämmung: Bitumendampfsperrbahn E-ALGV-4, E-KV-4, E-KV-5 gem. ON B 3666 oder kaltselbstklebend gem. ON B 3691)
20,0	cm	Stahlbetondecke im Gefälle (gem. ON B 3691, Tab. 3)

4.3.4 Plattenbelag auf Kleber/Fixiermasse, Drainmatte

Bei Bauvorhaben mit Dachterrassen ist häufig eine geringe Aufbauhöhe der Flachdachaufbauten gefordert. Geringe Konstruktionshöhen der innenliegenden Fußbodenaufbauten, große Höhenunterschiede im Flachdachaufbau durch zu lange Entwässerungsstrecken bei einem geforderten Mindestgefälle und die Forderung nach möglichst barrierefreien Schwellen zwischen Innen- und Außenbereichen lassen sich in Summe nur in Ausnahmefällen verwirklichen.

Unter Berücksichtigung gültiger Normen, ergibt sich für den geplanten Flachdachaufbau folgende Schichtfolge:

3,0	cm	Natursteinbelag
0,5	cm	Kleber bzw. Fixiermasse
3,0	cm	Drainmörtel (z.B. MorTec)
0,8	cm	Drainagematte 8mm (z.B. AquaDrain)
0,5	cm	Trennlage (gem. ON B 3691) PE-Folie, Geotextil mit 500g/m ² oder Gummigranulatmatte $d \geq 0,6$ cm
0,4	cm	EPDM Abdichtung (2-lagig gem. ON B 3691, Tabelle 7)
18,0	cm	EPS Wärmedämmung
0,02	cm	Dampfsperre (Villox ALGV 45) Bei Gefälledämmung: Bitumendampfsperrbahn E-ALGV-4, E-KV-4, E-KV-5 gem. ON B 3666 oder kaltselbstklebend gem. ON B 3691)
20,0	cm	Stahlbetondecke im Gefälle (gem. ON B 3691, Tab. 3)

4.4 Stationäre Berechnung

4.4.1 Programm ArchiPhysik

Verwendet wird das Programm ArchiPhysik 10 der Firma A-NULL Bauphysik GmbH. Es dient zum Nachweis von Wärme-, Feuchte- und Schallschutz und ermöglicht durch umfangreiche Funktionen, Formulare, Datenbanken und CAD-Schnittstellen und die bauphysikalische Berechnung von Gebäuden hinsichtlich Energieeffizienz und Ökologie. Grundlage der Berechnung bildet die österreichische und europäische Normung.

Im Rahmen dieser Arbeit wird mit diesem Programm für die in Kapitel 4.3 angeführten Aufbauten der Nachweis von Wärme-, Feuchte- und Schallschutz geführt. Von einer Betrachtung ganzer Gebäude wird abgesehen. In diesem Sinne konzentrieren sich die nachstehenden Ausführungen auf den Programmbereich „Bauteile“, der zum Erstellen, Berechnen und Auswerten von Aufbauten dient.

4.4.2 Eingabewerte

Nachdem in einer übergeordneten Programmebene Zuweisungen für Klima und Normung getätigt wurden, wird das nachzuweisende Bauteil definiert. In unterschiedlichen „Karteiblättern“ können unter anderem U-Wert, Dampfdiffusion und Schall näher betrachtet und bearbeitet werden.

Das zu Grunde gelegte Innenklima wird mit $T_i = 20 \text{ °C}$ und $\varphi_i = 65 \text{ %}$, das Außenklima mit $T_e = -8 \text{ °C}$ und $\varphi_e = 80 \text{ %}$ angegeben.

Der Schichtaufbau kann dabei sehr schnell durch Zuweisung von einzelnen Materialien der sehr umfassenden Materialbibliothek und Angabe der jeweiligen Schichtstärke konkretisiert werden. Der schichtweise Bauteilaufbau besteht grundsätzlich aus aneinandergefügten Schichten mit konstanter Dicke und einheitlichen Eigenschaften.

4.4.3 Ergebnis der Berechnung

Die Ergebnisse der Berechnung mit ArchiPhysik 10 sind, in der vom Programm ausgegebenen Form, im Anhang zusammengestellt. Relevante Zahlenwerte werden vom Verfasser durch einfache, farbliche Markierungen hervorgehoben.

Wärmeschutz

Die U-Wert Berechnung erfolgt gemäß der europäischen Norm [13]. Schon während der Erstellung des Aufbaus wird der aktuelle U-Wert angezeigt. Die Auswirkung von Veränderungen der Schichtzusammenstellung ist somit unmittelbar erkennbar und ermöglicht ein sehr schnelles Planen von Aufbauten. Analog verhält es sich mit Dampfdiffusion, Luft- und Trittschall. Die Ergebnisse werden in direkt mit den Vorgaben der jeweiligen Ö-Norm vergleichbaren Zahlenwerten ausgegeben.

Flachdächer müssen gemäß [4] einen mindesterforderlichen U-Wert von 0,2 [W/m²K] aufweisen.

Feuchteschutz

Die Berechnung der Dampfdiffusion erfolgt gemäß der europäischen Norm [19] und gliedert sich in ArchiPhysik 10 in

- Kondensation und Austrocknung
- Oberflächenkondensation und Schimmelrisiko.

Das Ergebnis von Kondensation und Austrocknung wird im Gegensatz zur U-Wert Berechnung nicht durch eine Einzahlangabe ausgegeben, sondern durch eine beschreibende Beurteilung bewertet. Die Kondensation wird dazu monatsweise berechnet und ab dem Monat, indem zum ersten mal Kondensat auftritt, wird untersucht ob dieses wieder austrocknen kann.

„Unabhängig vom mittleren Dampfdruckverlauf über das Jahr hinweg kann der Bauteil auf Oberflächenkondensat und Schimmelrisiko für ein spezielles Innenklima untersucht werden“ [28]. Davon wird jedoch im Zuge dieser Arbeit abgesehen.

Schallschutz

Die Anforderungen an Schallschutz, gemäß ÖNORM B 8115-2: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, von begehbaren Flachdächern hängen unter anderem vom maßgeblichen Außenlärmpegel ab. Für die mindesterforderliche Trittschalldämmung ist zu unterscheiden, ob die Terrasse allgemein zugänglich oder Bestandteil der darunter befindlichen Nutzungseinheit ist.

4.4.4 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse genügen den Anforderungen der Ö-Norm und sind mit diesen direkt vergleichbar. Dies erleichtert die Nachweisführung enorm und ermöglicht ein effizientes Arbeiten im Zuge von bauphysikalischen Berechnungen der Gebäudehülle. Die Ausgabe von Ergebnissen in Echtzeit kommt einem raschen und intuitiven Arbeiten sehr entgegen und stellt ein permanentes Feedback zu getätigten Eingaben sicher.

Die stationären Randbedingungen bilden die Realität jedoch nur in vereinfachter Weise ab und können die alltäglichen Beanspruchungen von Bauteilen nur bedingt simulieren.

Ergebnisausgabebeispiel Aufbau 2:

Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt													
Bauteilbezeichnung Terrasse - Fliesen, Zementestrich, Dampfsperre VILLAS Bauteiltyp Außendecke		Objekt Flachdach mit geschlossenem Gefälle Auftraggeber/Bauherr		Verfasser der Unterlagen 									
Bauteil Nr. AD 2		Bauteiltypkürzel AD		Geschäftszahl									
GRUNDWERTE			WÄRMESCHUTZ			WASSERDAMPFDIFFUSION							
d	r	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	P _s	μ	s	d	P _{th}	Kondensations-ebene
[m]		[kg/m ²]	[kJ/kg K]	[W/m K]	[m ² K/W]	°C	°C	[Pa]	[-]	[m]	[Pa]		
berücksichtigen				α _a 25,000	1/α _a 0,040	t _a -8,00	ϕ _a 80 %	532				425	1
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	2.000,0	40,00	1,000	0,020	-7,79		539				427	2
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0500	1.800,0	90,00	1,080	0,045	-7,47		542	150	3,00		428	3
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0002	1.500,0	0,30	0,792	0,001	-7,46		550	100,000	20,00		436	4
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	640,0	6,40	0,000	0,170	-7,17		560	2	0,02		436	5
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0160	1,2	0,02	1,003	0,133	-6,56		582	1	0,02		436	6
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0050	120,0	0,60	1,260	0,200	-6,44		586	2	0,01		436	7
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	1.200,0	12,00	1,260	0,170	-6,14		597	40,500	405,00		597	8
<input checked="" type="checkbox"/>	0,1800	25,0	4,50	1,450	0,036	18,95		2.147	80	14,40		606	9
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0038	1.000,0	3,80	0,000	0,170	19,06		2.158	375,000	1.425,00		1.468	10
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2.400,0	480,00	1,116	2,300	19,49		2.203	100	20,00			
Σd			Σm'	α _i	1/α _i	t _{oi} 19,4		2.203		ΣR		1.480	
0,495			637,6	10,000	0,100	t _i 20,0		2.336		1.889,95		Φ: 63 %	
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,18 [W/(m²K)]													
SCHALLSCHUTZ:			KONDENSATION:			WÄRMESPEICHERUNG:							
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	65 [dB]	Menge:	0,0000	0,0000	[kg/m ² a]	Speicherw. Masse	m _{w,B,A}	314,8	2,5	205,2	1,3	[kg/m ²]
Bew. Standard-Trittschallpegel	L _{nT,w}	46 [dB]	Dauer:	2.160,0	1.359,8	[-]	N-Speichervermögen	S _{w,a}	23,96	0,19	31,24	0,19	[W/(m ² K)]
Der Bauteil Terrasse - Fliesen auf Zementestrich und Drainmatte ist geeignet. Kondensation tritt auf. Kondensat verdunstet vollständig in der Verdunstungsperiode.							Amplitudendämpfung		208,9	486,1		[-]	
Kondensation kleiner als 0,2 l/m ²							Phasenverschiebung		8,0	4,9		[h]	

Abb. 13: ArchiPhysik10 Ergebnisblatt von Aufbau 2

Ergebnisausgabebeispiel Aufbau 4:

Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt														
Bau teil bezeichnung Terrasse - Naturstein, Klebemörtel, Flächdach mit geschlossenem Gefälle Auftraggeber/Bauherr		Objekt Auftraggeber/Bauherr		Verfasser der Unterlagen ACNOLL										
Bau teiltyp Außendecke		Bau teiltypkürzel AD		Geschäfts zähl										
Bau teil Nr. AD 4														
GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION		Kondensations-ebene								
d [m]	r	m'	c	λ [W/m K]	$R = d/\lambda$ [m ² K/W]	t °C	t _p °C	P _s [Pa]	μ [-]	s d [m]	P _{th} [Pa]			
berücksichtigen				α_a	$1/\alpha_a$	t _a		φ_a 80 %				1	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0300	2.800,0	84,00	1,000	0,009	-7,79	-1,49	539	200	6,00	430	2	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0050	2.000,0	10,00	1,080	0,004	-7,74	-1,46	540	20	0,10	430	3	3	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0300	2.200,0	66,00	1,080	0,013	-7,72	-1,44	541	30	0,90	430	4	4	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	640,0	6,40	0,000	0,059	-7,65	-1,39	543	2	0,02	430	5	5	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0060	1,2	0,01	1,003	0,071	-7,35	-1,16	564	1	0,01	430	6	6	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0002	1.100,0	0,22	0,792	0,250	-6,91	-0,83	569	100.000	20,00	445	7	7	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0030	1.150,0	3,45	1,000	0,250	-6,85	-0,78	572	1	0,00	445	8	8	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,1800	25,0	4,50	1,450	0,036	18,92	18,60	2.142	80	14,40	455	9	9	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0038	1.000,0	3,80	0,000	0,170	19,03	18,89	2.154	375.000	1.425,00	1.466	10	10	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2.400,0	480,00	1,116	2,300	19,48	19,03	2.200	100	20,00				
Σd						t _{bi}				ΣR	1.480			
0,468						t _i					φ^* 63 %			
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,18 [W/(m ² K)]														
SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:										
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Menge:	Verdunstung	Kondensat	Verdunstung	Periode	24 Stunden	12 Stunden						
65 [dB]		0,0000	0,0000	0,0000	[kg/m ² a]		innen	außen	innen	außen				
Bew. Standard-Trittschallpegel L _{nT,w}	46 [dB]	Dauer:	0,0	0,0	[-]		Speicherw. Masse m _{w,B,A}	205,2	159,8	[kg/m ²]				
							N-Speichervermögen S _{w,a}	23,96	12,35	[W/(m ² K)]				
							Amplitudendämpfung	2·10,8	499,2	[-]				
							Phasenverschiebung	8,6	5,5	[h]				
Der Bauteil Terrasse - Natursteinbelag auf Klebemörtel und Drainmatte ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.														

Abb. 15: ArchiPhysik10 Ergebnisblatt von Aufbau 4

4.5 Instationäre Berechnung durch numerische Simulation

Zur numerischen Simulation der in Kapitel 4.3 angeführten Aufbauten standen grundsätzlich 2 unterschiedliche Programme zur Auswahl. WUFI und DELPHIN sind in Deutschland entwickelte Computerprogramme, die durch gekoppelte instationäre Wärme- und Feuchteberechnungen die Vorgänge in Bauteilen realitätsnah abbilden können.

In [41] wird gezeigt, dass Unterschiede von Berechnungsergebnissen nicht in erster Linie von der verwendeten Software, sondern vielmehr durch die Anwendung derselben Programme durch unterschiedliche Anwender hervorgerufen werden. Dieser Umstand führte zu einem Vergleich der vorliegenden Software, mit dem Ziel eine für den Benutzer anwendungsfreundliche Auswahl zu treffen.

Demnach wurde nach einer kurzen Einarbeitungsphase in beide Programme anhand von, für den Verfasser relevanten, Beurteilungskriterien ein Programm zur weiteren Bearbeitung ausgewählt. Folgende Tabelle zeigt die Zusammenstellung der Kriterien zur Auswahl.

Tabelle 12: Kriterien zur Auswahl einer Software für die Simulation

Auswahlkriterien	WUFI	DELPHIN
Materialdatenbank	+	-
Klimadatenbank	+	~
Handling, Benutzeroberfläche	+	~
Berechnungsgeschwindigkeit	+	~
Berechnungsgenauigkeit	~	+
Benutzer Support	+	-
Ergebnisdarstellung	+	+

4.5.1 Programm WUFI Pro

Das Programm wurde vom deutschen Fraunhofer Institut, Abteilung Bauphysik entwickelt und die Bezeichnung WUFI steht für „Wärme und Feuchte instationär“. Neben der instationären, also zeitlich veränderlichen, Betrachtung des wärme- und feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen, wird WUFI auch zur Bestimmung der Austrocknungszeit von Baufeuchte verwendet.

Die Kenntnis dieser Zustände ist erforderlich, da dauerhafte Feuchtebelastung schädlichen Einfluss auf die Funktion eines Bauteils und seiner Baustoffe ausübt. Im Gegensatz zur stationären Berechnung wird durch WUFI auch die Abhängigkeit der Baustoffeigenschaften wie beispielsweise Wärmeleitfähigkeit, Flüssigwassertransport und Dampfdiffusion vom Feuchtegehalt der Konstruktion berücksichtigt.

Dieser Umstand verändert das Bauteilverhalten wesentlich und stellt mit einer detaillierten Berücksichtigung von Innen- und Außenklima ein umfassendes Tool zur Beurteilung von Konstruktionen unter realitätsnahen Randbedingungen dar. In [42] wurde durch den Vergleich von Simulationsergebnissen mit Messdaten von tatsächlich realisierten Bauwerken festgestellt, dass WUFI das reale Bauteilverhalten sinnvoll abbildet.

4.5.2 Eingabewerte

Dem Programm wird eine Vielzahl an Eingabedaten zu Grunde gelegt, die als Berechnungsparameter dienen und die zu simulierende „Situation“ möglichst wirklichkeitsgetreu abbilden.

Aufgrund der in [41] erwähnten Einflüsse von Anwendern auf Berechnungsergebnisse, werden die Eingabedaten im Anhang angeführt. Dies soll zu einer besseren Nachvollziehbarkeit führen und zugleich einen etwaigen Vergleich mit ähnlichen Simulationen ermöglichen. WUFI bietet dazu die Option, Eingabedaten thematisch und tabellarisch übersichtlich darzustellen.

Neben den standardisierten und üblichen Eingabewerten für Materialien, Orientierung, Anfangs- und Klimabedingungen wird an dieser Stelle auf benutzerdefinierte Daten eingegangen.

Materialdaten

Die Materialdatenbank von WUFI enthält eine Vielzahl an gängigen Materialien, für welche neben Grundkennwerten auch hygrothermische Funktionen vorliegen. Für manche dem Schichtaufbau entsprechende Materialien sind diese Eigenschaften nicht vollständig bekannt.

Fehlende Kennwerte werden mit jenen von [18], Herstellerangaben oder Annahmen ergänzt, um der Software die Berücksichtigung realer Transportvorgänge von flüssigem Wasser und Wasserdampf in porösen Baustoffen zu ermöglichen. In Fällen von fehlenden Parametern werden sie durch jene von artgleichen Baustoffen ergänzt. Bei nicht in der Datenbank angegebenen Materialien werden artgleiche Materialien angenommen, um den Schichtaufbauten von Kapitel 4.3 Rechnung zu tragen. Alle Abweichungen wurden in runder Klammer nach der entsprechenden Schichtbezeichnung erwähnt.

Regenabsorptionszahl

Im Programm kann durch die Angabe einer „Regenabsorptionszahl“ der Anteil des für Oberflächenabsorption zur Verfügung stehenden Niederschlagswasser abgeschätzt werden. WUFI empfiehlt für die Modellierung von Außenwänden eine Regenabsorptionszahl von 0,7 und für Flachdächer 1,0 anzugeben.

Um bei keramischen Belägen und Natursteinplatten die kapillare Wasseraufnahme zu verringern, wird die Oberfläche derartiger Beläge in der Regel beschichtet oder imprägniert. Derartige Beschichtungen können in WUFI jedoch nicht ausgewählt werden. Aus diesem Grund wird versucht, die in der Realität am Material vorhandene hydrophobe Oberfläche, durch Reduktion der Regenabsorptionszahl abzubilden.

In einem, vom Produkthersteller aus Wettbewerbsgründen nicht veröffentlichtem jedoch dem Verfasser vorliegendem, Produkt-Gutachten sowie aus Datenblättern geht hervor, dass derartige Imprägnierungen der Oberfläche die Wasseraufnahme

um rund 90% herabsetzen und gleichzeitig die Dampfdiffusionswiderstandszahl kaum erhöhen.

Um diesen Eigenschaften in die Simulation mit einzubeziehen, wurde anstatt der von WUFI empfohlenen Regenabsorptionszahl von 1,0 für die Variantenbildung der Aufbauten ein Bereich zwischen 0,3 bis 0,7 zu Grunde gelegt. Diese Annahme berücksichtigt bereits den Umstand, dass die elastische Verformung der plattenförmigen Nuttschicht eine potentielle Schwachstelle darstellt.

Luftwechsel Drainagematte

Luftschichten in Flachdächern erfahren einen sehr schwachen Luftwechsel. Faktoren wie Anordnung der Belüftungsöffnungen zueinander, Luftschichtdicke, Exposition der Öffnungen am Bauwerk spielen eine wesentliche Rolle.

Bei den verwendeten Drainagematten handelt es sich um industriell gefertigte Kunststoffmatten, die ihre hervorragende Wirkung unter anderem durch einen sehr hohen Anteil des freien Luftquerschnitts an der Schichtdicke erzielen.

In den Berechnungen wird infolgedessen ein minimaler Luftwechsel im Bereich von 1,0 bis 3,0 angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass ein, mit der Außenluft verbundener, freier Luftquerschnitt jedenfalls nicht ruht.

4.5.3 Ergebnis der Berechnung

Die Ergebnisse einer numerischen Simulation sind im Gegensatz zu jenen einer stationären Berechnung keine Einzahl-Werte, sondern erfordern eine Interpretation. Der Schwerpunkt der Bewertung liegt dabei auf dem Feuchtehaushalt der gewählten Konstruktionen. Diese Bewertung ist neben bauphysikalischen Aspekten des Feuchteschutzes auch deswegen sinnvoll, da bei plattenförmigen Belägen im Außenbereich, das Abplatzen der Nuttschicht vom Mörtelbett durch Frost-Tau-Wechsel ein wesentliches Schadensbild darstellt.

Im Zuge dieser Arbeit wird ein Bauteil als geeignet bewertet, wenn sich sein Gesamtwassergehalt sowie der Wassergehalt jeder einzelnen Schicht nach dem Simulationszeitraum verringert und somit keine Anreicherung mit Feuchtigkeit

geschieht. Die diesbezügliche Untersuchung von Folienmaterialien erübrigt sich durch ihre vernachlässigbare Wasseraufnahme. Jahreszeitliche Schwankungen im Berechnungszeitraum sind dem Klima entsprechend nicht zu vermeiden und entsprechen realen Vorgängen. Aus Gründen der besseren Übersicht und Lesbarkeit der Grafiken wurde für den Berechnungszeitraum 1 Jahr gewählt.

Die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Zustandslinien veranschaulicht das Bauteilverhalten im Betrachtungszeitraum. Bei allen Aufbauten zeigt sich die sehr hohe Temperaturdifferenz an der Außenoberfläche von rund +70°C im Sommer bis rund -10°C im Winter. Relative Luftfeuchte und Wassergehalt hingegen verlaufen wie zu erwarten war je nach Konstruktion unterschiedlich.

Die dargestellten Ergebnisse sind als Resultat einer empirischen Variation von relevanten Eingangsparametern zu verstehen. Wenn der Aufbau als nicht geeignet bewertet wird, konnte im Verlauf der Variation von Eingangsparametern keine Lösung gefunden werden. Ein geeigneter Aufbau wurde analog durch die Variation von Parametern entwickelt.

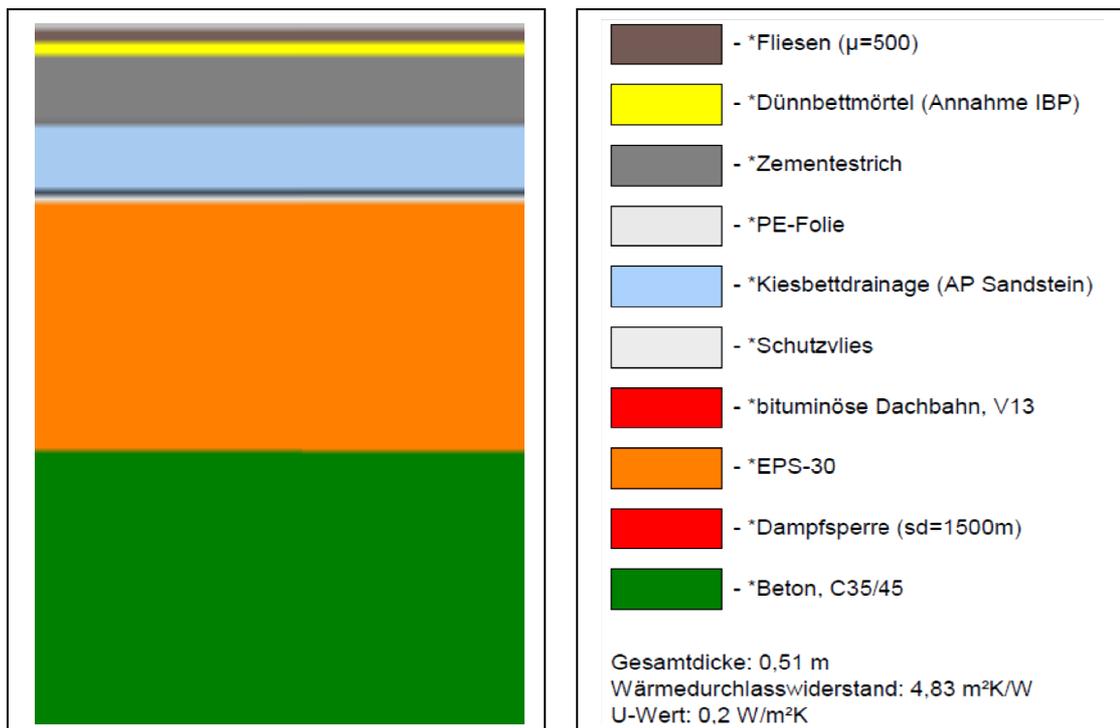
Aufbau 1 – nicht geeignet:

Abb. 16: Schematische Darstellung aus WUFI von Aufbau 1

Der Gesamtwassergehalt nimmt über den Betrachtungszeitraum ab und erreicht etwa Anfang Juni (240 Tage nach Simulationsstart) sein Minimum. Danach steigt der Wassergehalt wieder an, bleibt jedoch mit Ablauf der Berechnungsperiode unter dem Anfangsgehalt.

In sämtlichen porösen Belagselementen steigt der Wassergehalt durch die diffusionshemmende Wirkung der Fliesen deutlich an. Der Belag kann daher nicht wieder Austrocknen und wird durch die hohe Feuchtigkeit stark beansprucht. Während in Fliesen und Mörtelbett starke Schwankungen vorliegen, steigt der Wassergehalt im Estrich nahezu kontinuierlich an.

Das Ergebnis der Filmausgabe zeigt hohe Schwankungen des Wassergehaltes der äußeren Belagsschichten infolge Niederschlag und Luftfeuchte der Außenluft. Im Estrich ist eine erhöhte Feuchtigkeit festzustellen. Dies ist einerseits auf seine Speicherwirkung und den Einfluss von Fliesenbelag und PE-Folie als beidseitige Feuchtebarrieren zu erklären. Wie im Anhang ersichtlich, reichert sich in der Wärmedämmung über das Jahr Feuchtigkeit an. In der Stahlbeton-Decke findet im Betrachtungszeitraum eine erwünschte Austrocknung statt.

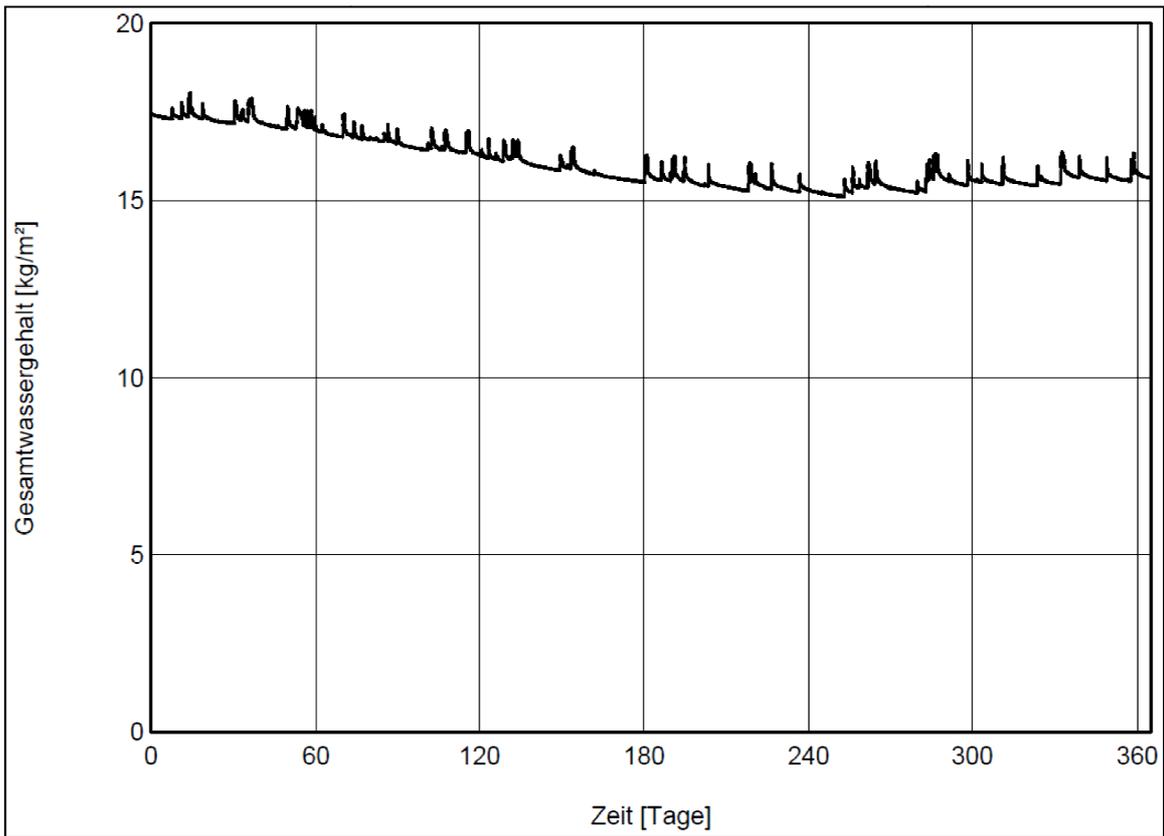


Abb. 17: Gesamtwassergehalt von Aufbau 1

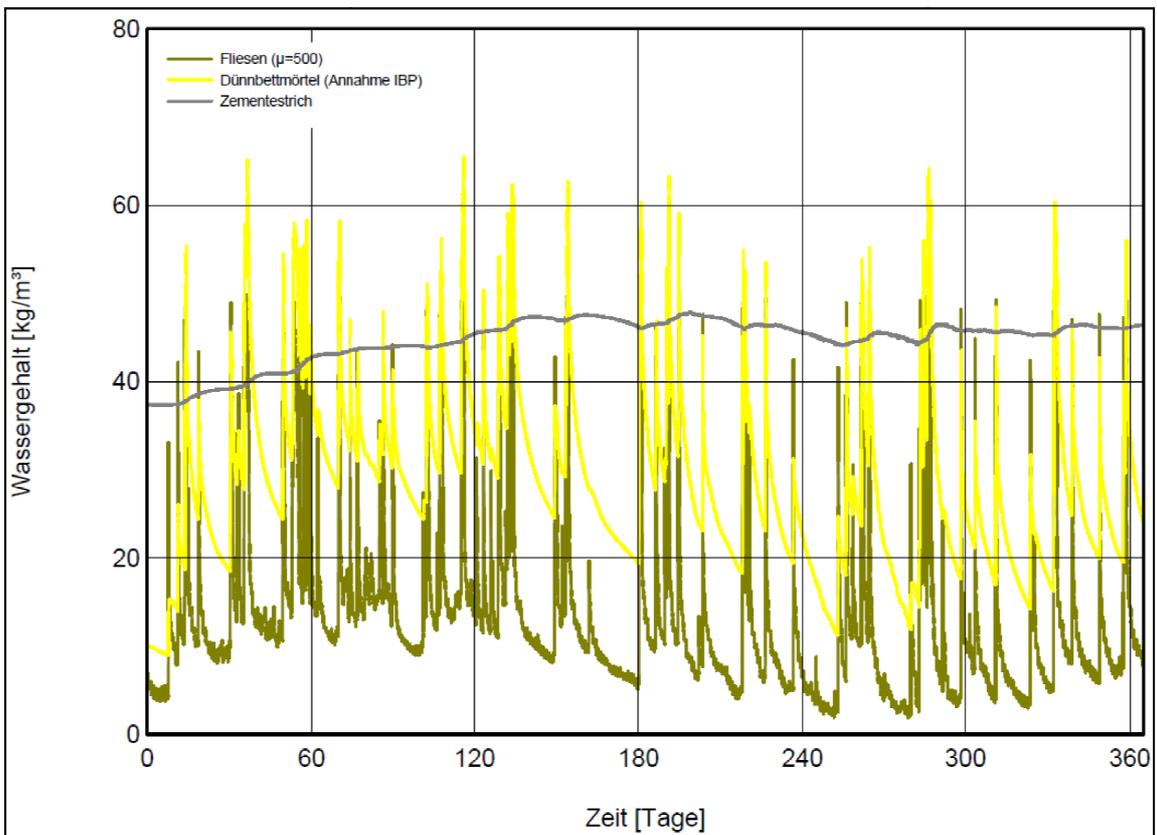


Abb. 18: Wassergehalt der Belagselemente von Aufbau 1

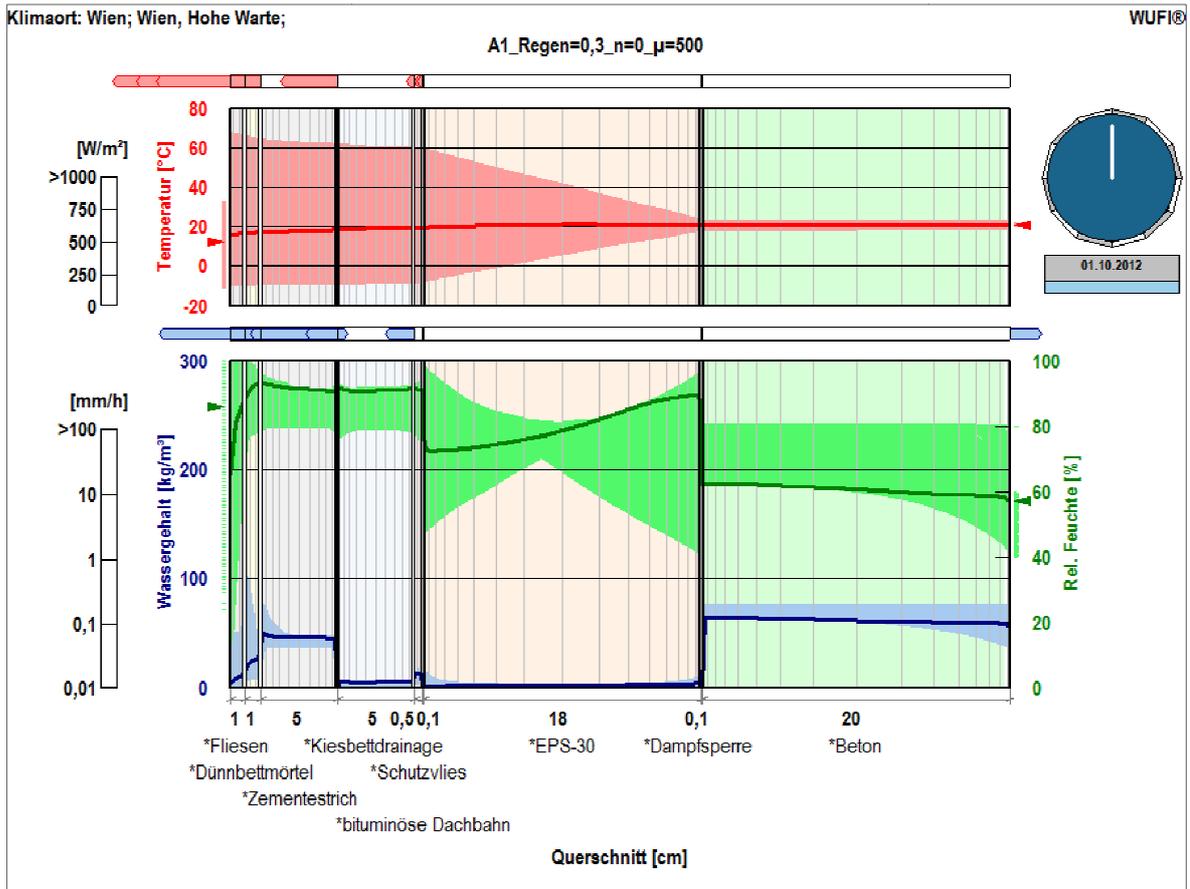


Abb. 19: Verlauf von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Wassergehalt in Aufbau 1

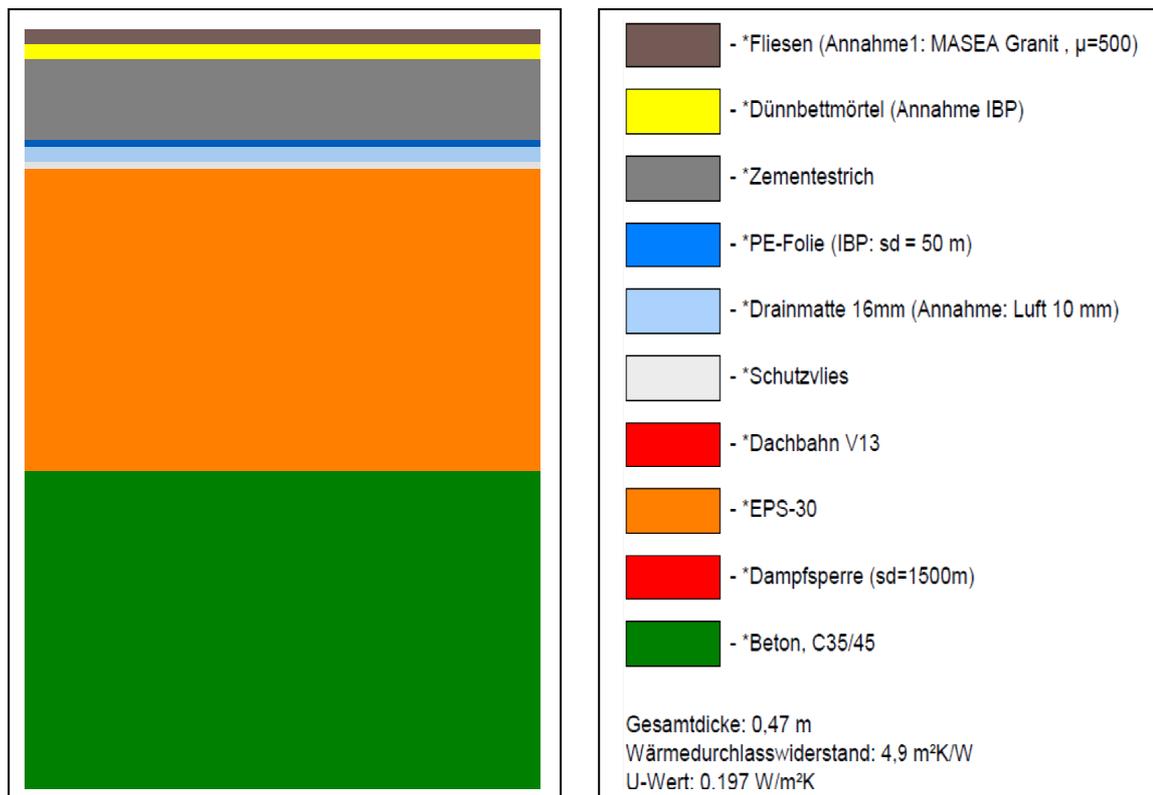
Aufbau 2 – nicht geeignet

Abb. 20: Schematische Darstellung aus WUFI von Aufbau 2

Der Gesamtwassergehalt nimmt über den Betrachtungszeitraum ab und erreicht zwischen Juni und August sein Minimum. Der spätere Wiederanstieg ist geringer als bei Aufbau 1 und bleibt mit Ablauf der Berechnungsperiode deutlich unter dem Anfangswert.

Ähnlich wie bei Aufbau 1 steigt der Wassergehalt durch die diffusionshemmende Wirkung der Fliesen in sämtlichen porösen Belagselementen deutlich an. Der Belag kann daher nicht wieder Austrocknen und wird durch die hohe Feuchtigkeit stark beansprucht. Während in Fliesen und Mörtelbett starke Schwankungen vorliegen, steigt der Wassergehalt im Estrich nahezu kontinuierlich an.

Das Ergebnis der Filmausgabe zeigt hohe Schwankungen des Wassergehaltes der äußeren Belagsschichten infolge Niederschlag und Luftfeuchte der Außenluft. Im Estrich ist eine erhöhte Feuchtigkeit festzustellen. Im Gegensatz zu Aufbau 1 ist der Wassergehalt der Drainageschicht praktisch gleich Null. Wie im Anhang ersichtlich, reichert sich in der Wärmedämmung über das Jahr Feuchtigkeit an. In der Stahlbeton-Decke findet im Betrachtungszeitraum eine erwünschte Austrocknung statt.

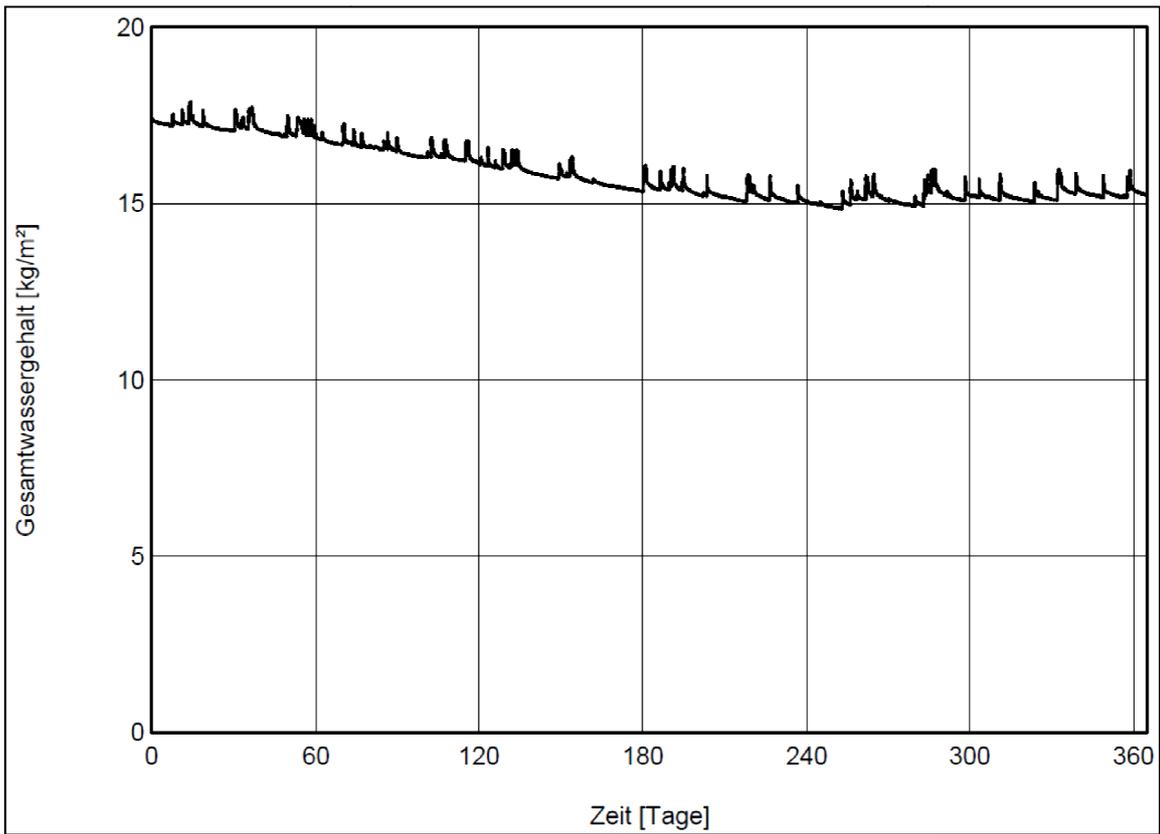


Abb. 21: Gesamtwassergehalt von Aufbau 2

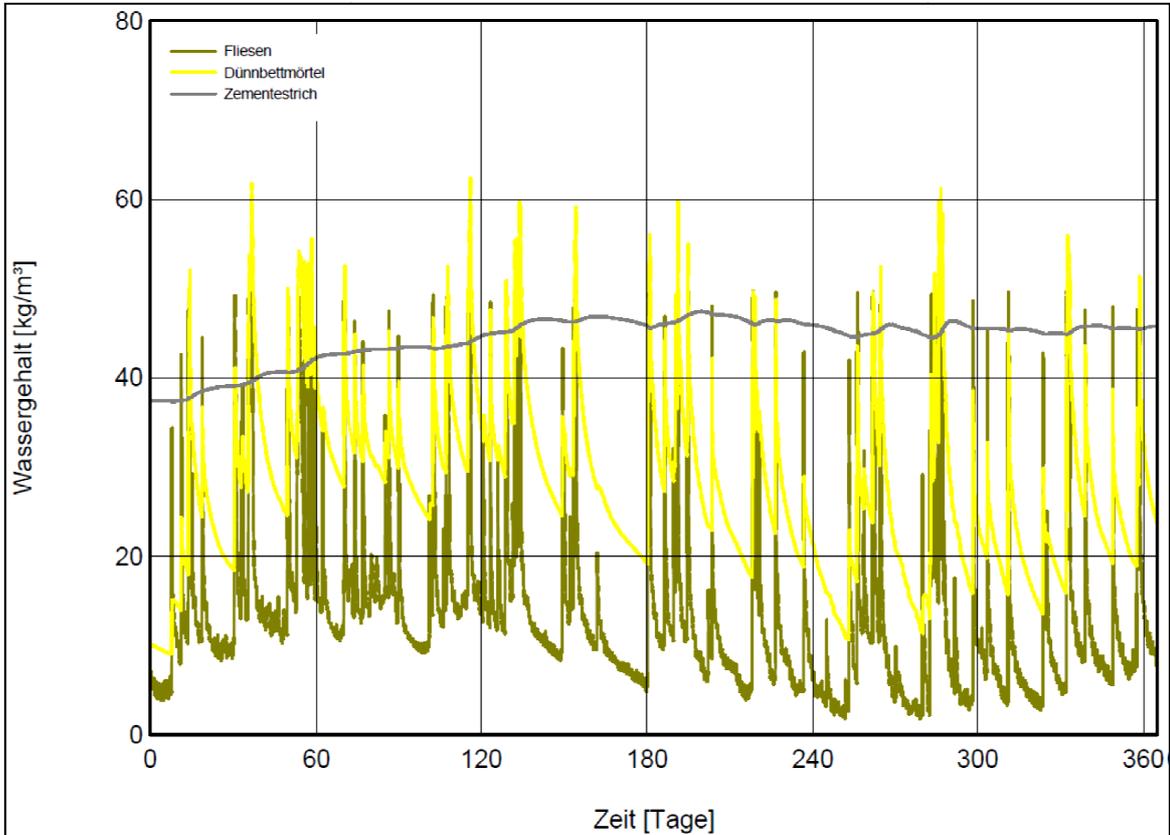


Abb. 22: Wassergehalt der Belagselemente von Aufbau 2

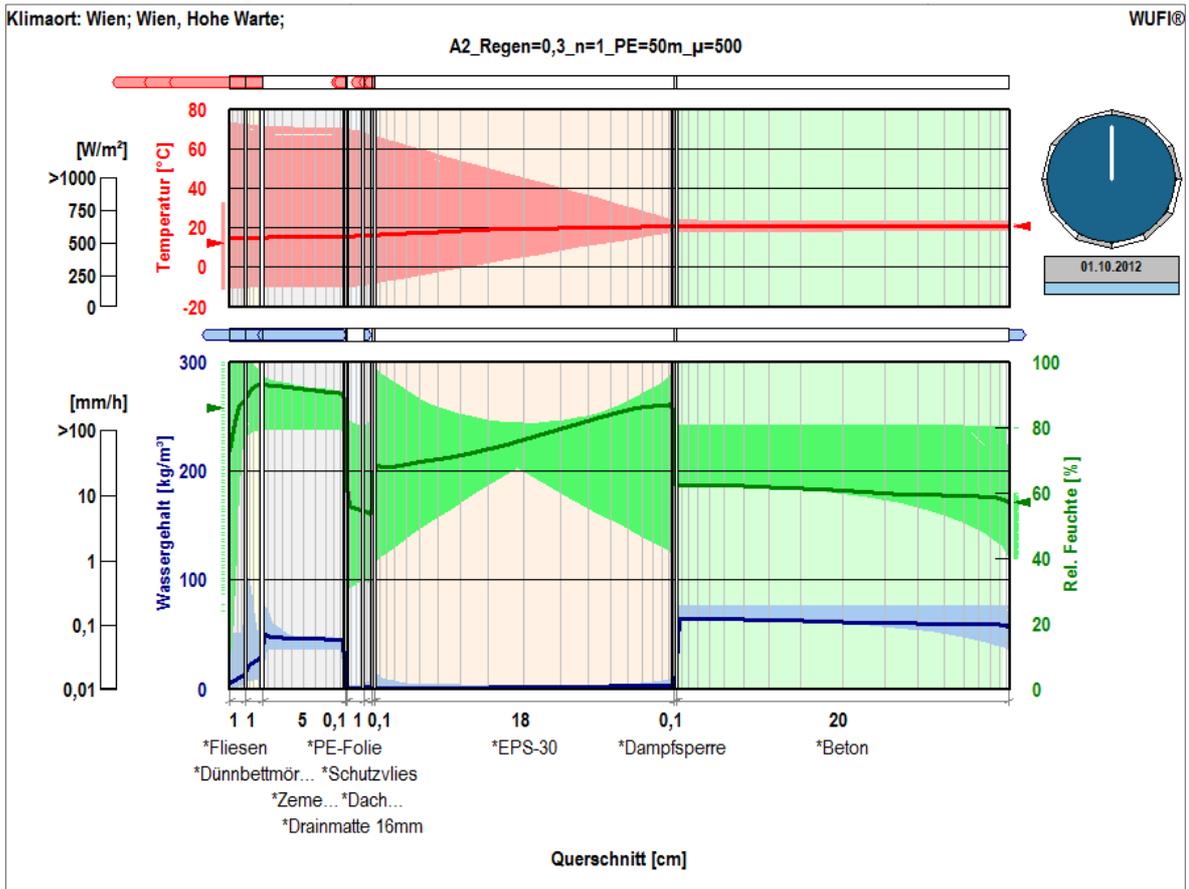


Abb. 23: Verlauf von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Wassergehalt in Aufbau 2

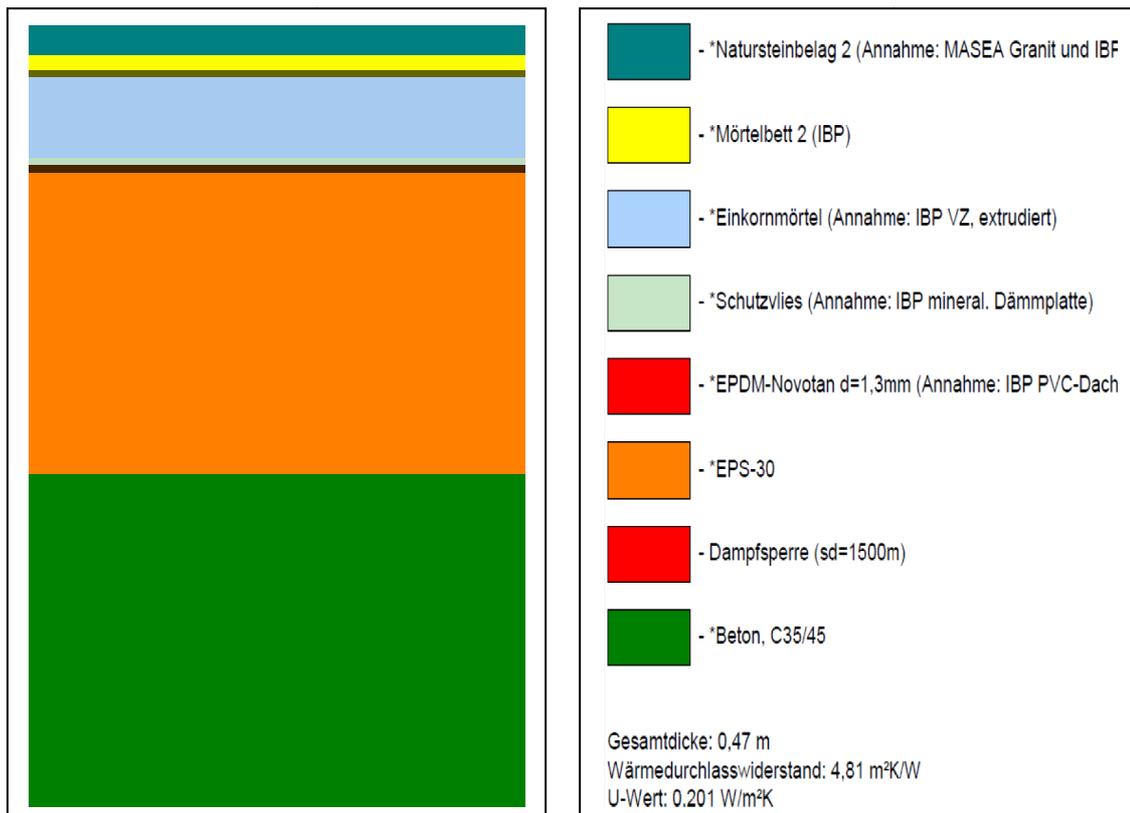
Aufbau 3 – wenig geeignet

Abb. 24: Schematische Darstellung aus WUFI von Aufbau 3

Der Gesamtwassergehalt nimmt bis in die Sommermonate deutlich ab und steigt danach nur marginal an.

Im Gegensatz zu Aufbau 1 oder Aufbau 2 speichern Belag und Einkornmörtel wesentlich weniger Feuchtigkeit. Der Wassergehalt von Natursteinbelag und Mörtel steigt bis etwa Februar und März deutlich an, um danach stark abzufallen. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Amplituden des Natursteinbelags kleiner ausfallen als jene des Fliesenbelags.

Das Ergebnis der Filmausgabe zeigt auch bei Aufbau 3 hohe Schwankungen des Wassergehaltes der äußeren Belagsschichten infolge Niederschlag und Luftfeuchte der Außenluft. Im Gegensatz zu Zementestrich ist der Wassergehalt des Einkornmörtels deutlich geringer. In der Wärmedämmung ist kaum eine Änderung des Wassergehalts erkennbar, jedoch ist aus den Ergebnissen im Anhang ersichtlich, dass sich über das Jahr Feuchtigkeit anreichert. In der Stahlbeton-Decke findet im Betrachtungszeitraum eine erwünschte Austrocknung statt.

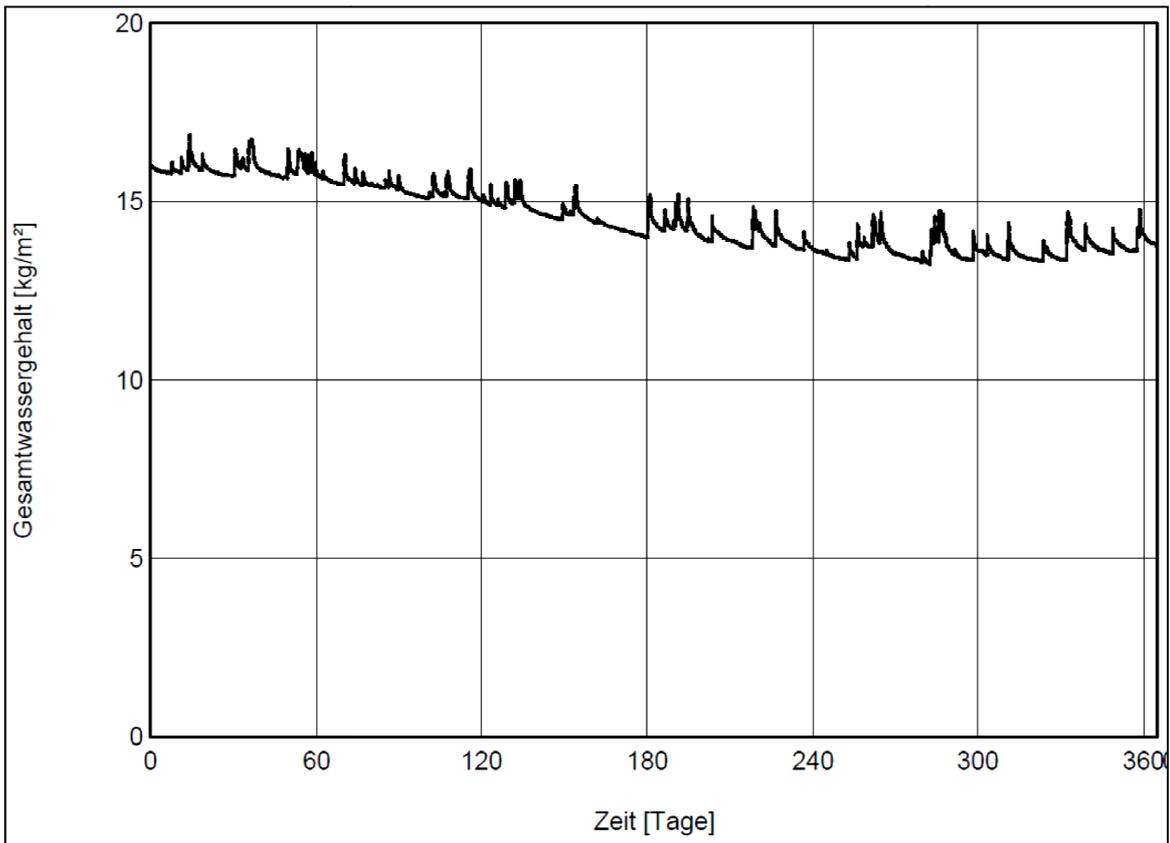


Abb. 25: Gesamtwassergehalt von Aufbau 3

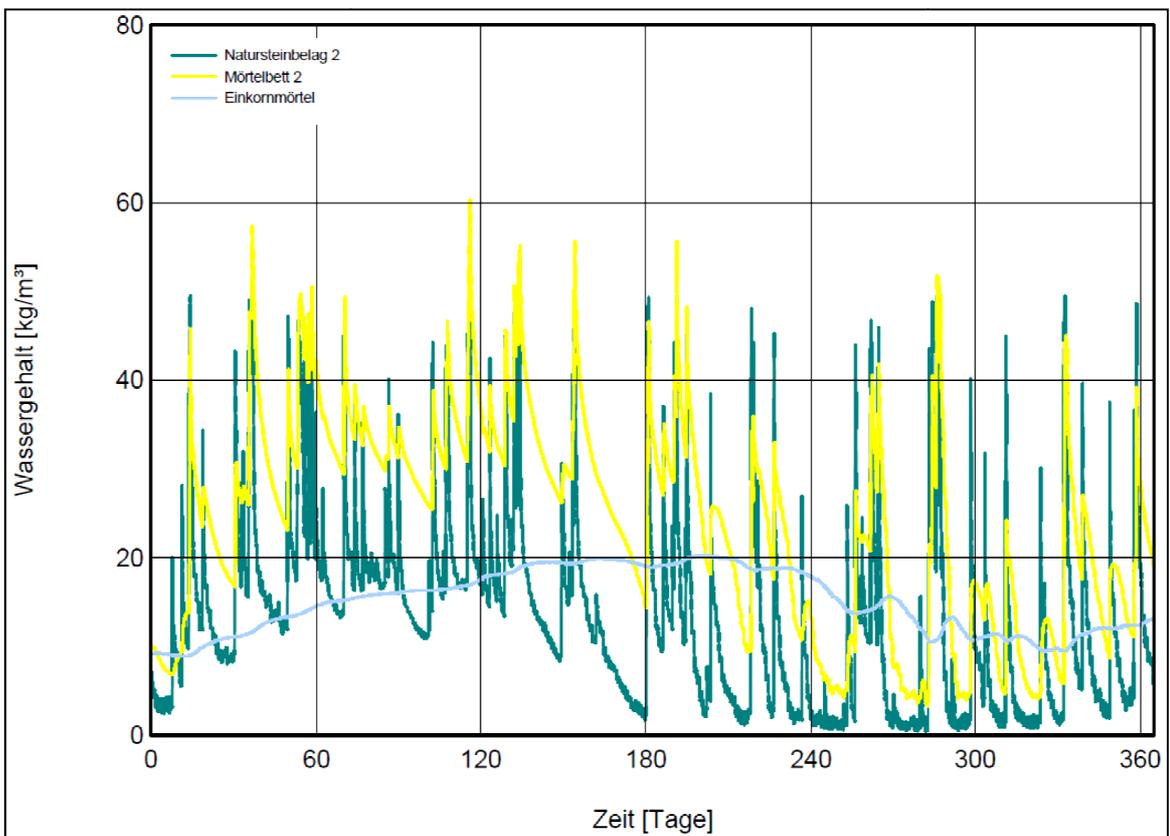


Abb. 26: Wassergehalt der Belagselemente von Aufbau 3

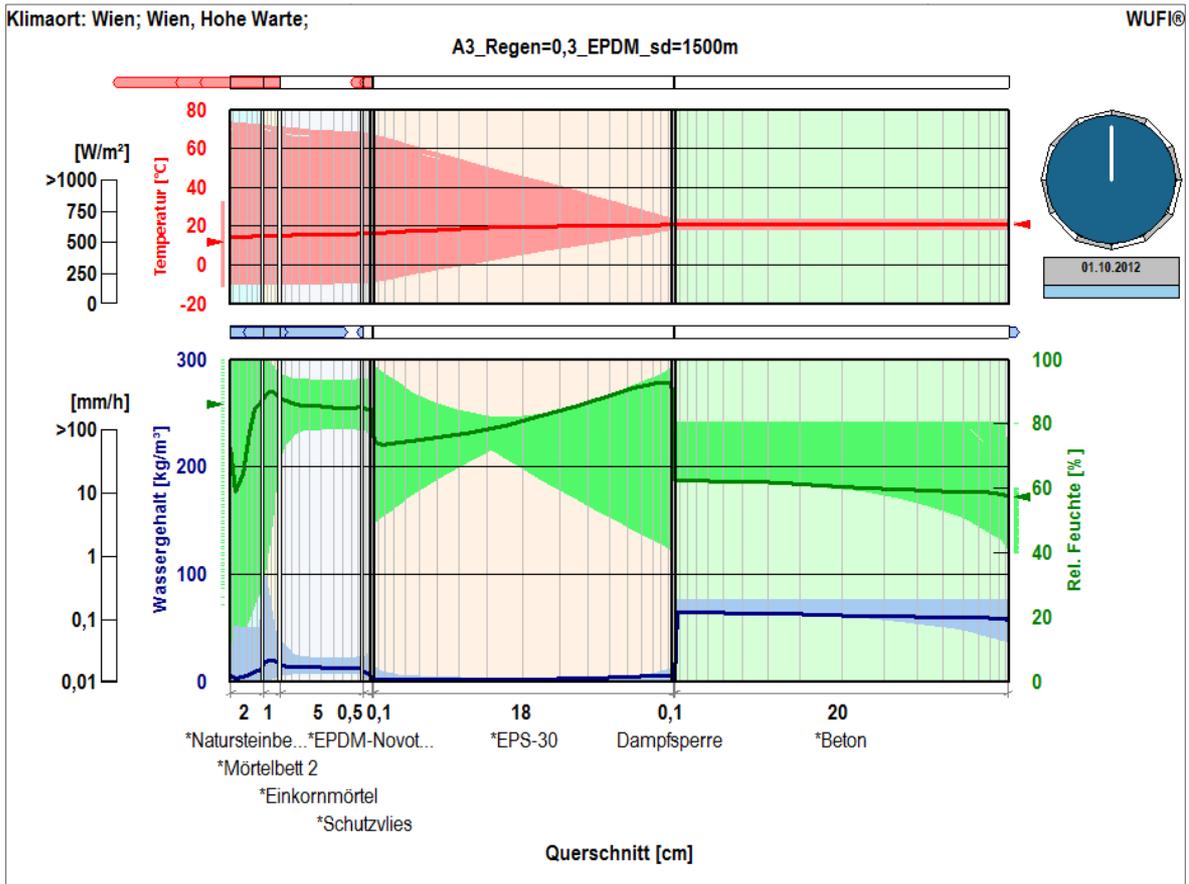


Abb. 27: Verlauf von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Wassergehalt in Aufbau 3

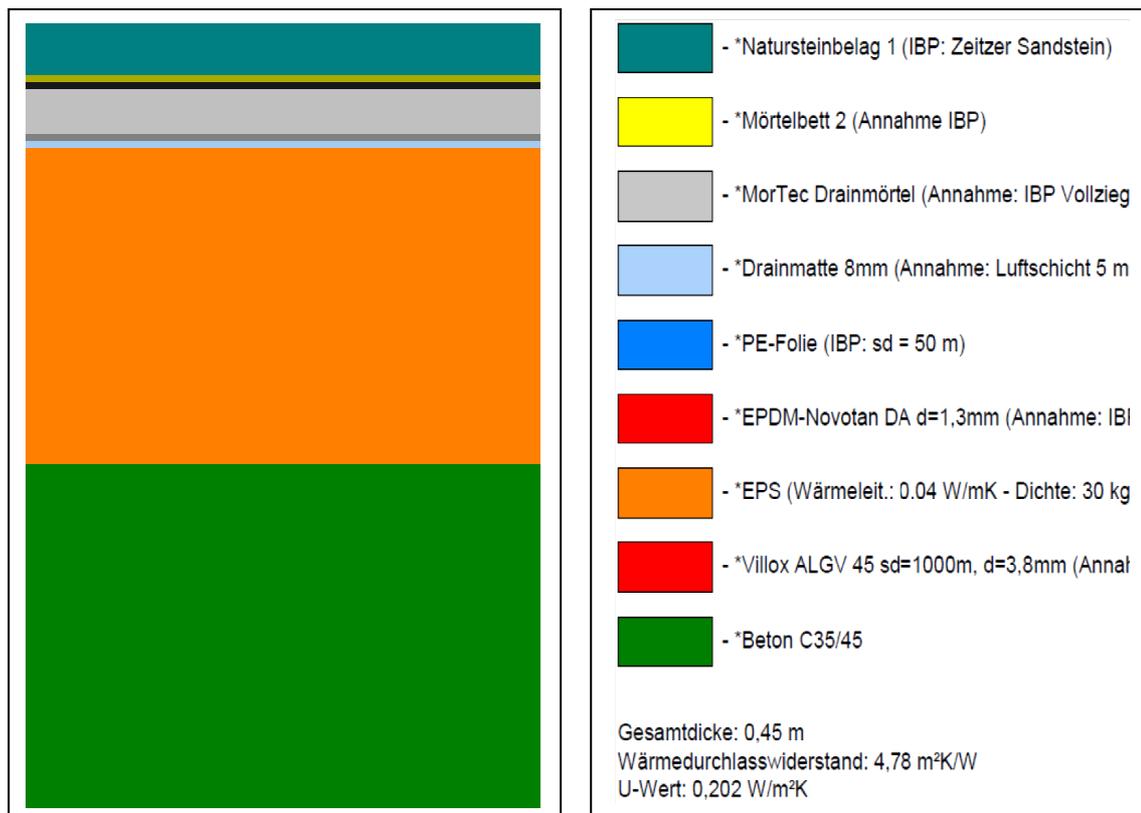
Aufbau 4 – geeignet

Abb. 28: Schematische Darstellung aus WUFI von Aufbau 4

Der Gesamtwassergehalt nimmt bis Anfang Juni deutlich ab und steigt danach nur unwesentlich an. Die Amplituden sind zudem kleiner als bei Aufbau 3.

Der Wassergehalt von Natursteinbelag 1 fällt geringer aus als jener von Natursteinbelag 2. Alle Belagselemente weisen einen steigenden Wassergehalt bis etwa Anfang Mai auf, trocknen jedoch danach gut aus. Nach dem Betrachtungszeitraum hat der gesamte Belag einen geringeren Wassergehalt als zu Beginn der Simulation. Durch das vorteilhafte Belagsmaterial sinken zudem die Amplituden der Belagsschichten.

Das Ergebnis der Filmausgabe zeigt bei Aufbau 4 nur im Natursteinbelag hohe Schwankungen des Wassergehaltes. Wie auch bei Aufbau 3 weist der Wassergehalt des Einkornmörtels nur geringe Schwankungen auf. Aus den Ergebnissen im Anhang ist erstmals eine Austrocknung von Wärmedämmung und Stahlbetondecke festzustellen.

Dieser Aufbau erweist sich im Vergleich zu Aufbau 1, 2 und 3 als geeignet, da die Feuchteanreicherung gering ist und eine Austrocknung aller Schichten stattfindet.

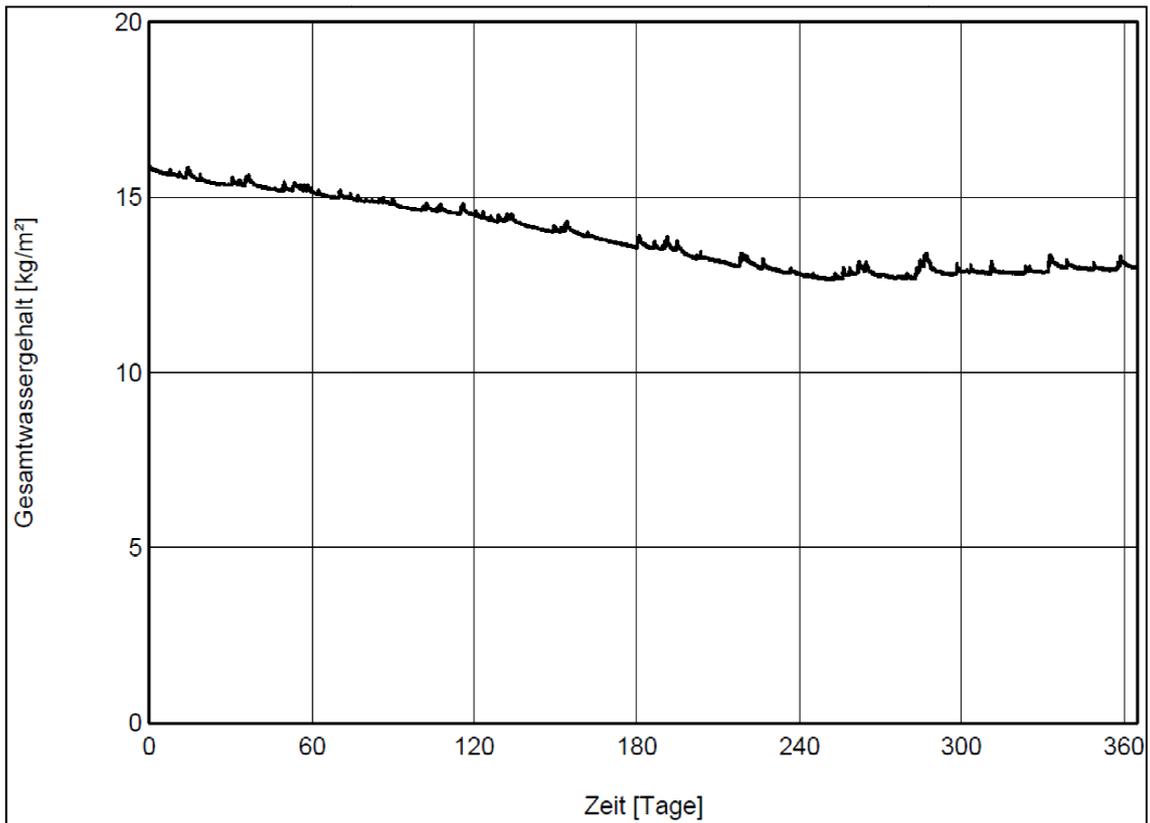


Abb. 29: Gesamtwassergehalt von Aufbau 4

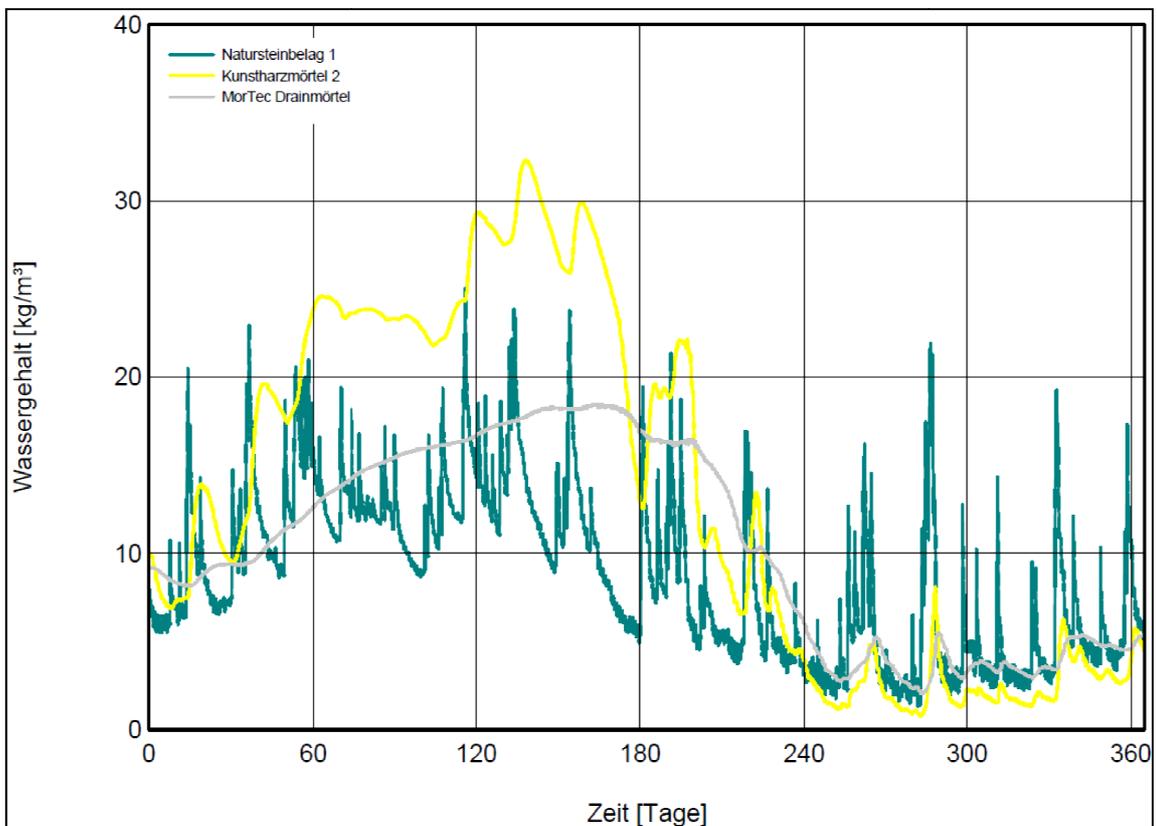


Abb. 30: Wassergehalt der Belagselemente von Aufbau 4

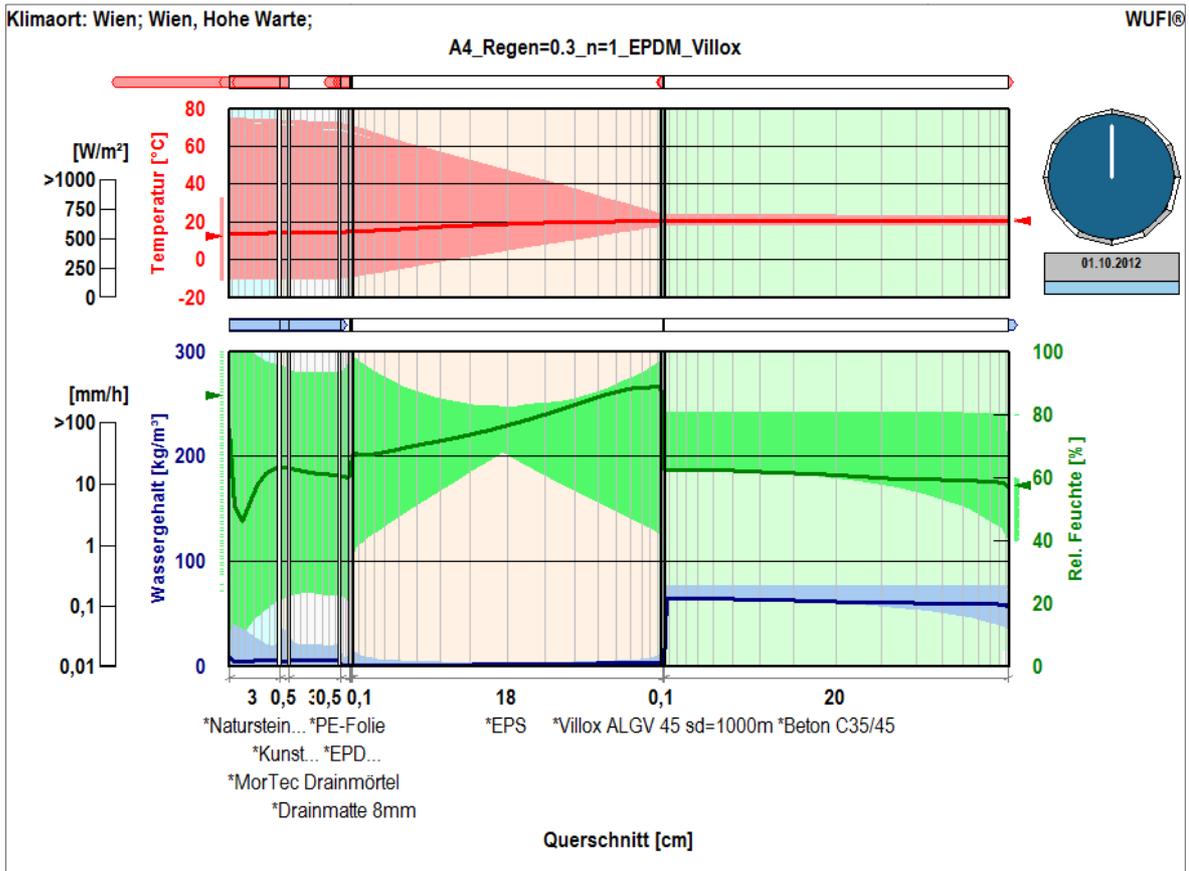


Abb. 31: Verlauf von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Wassergehalt in Aufbau 4

4.6 Zusammenfassung

Flachdächer sind bereits seit Jahrtausenden eine gängige Form des oberen Raumabschlusses. Neben dem Schutz vor Witterung hatte diese Konstruktion seit jeher unterschiedliche Funktionen zu erfüllen – zusätzliche Wohnfläche, Lagerfläche, potentielle Erweiterungsfläche oder auch Verkehrsweg. Dies macht das Flachdach zu einem sehr flexiblen und auch hoch beanspruchten Bauteil.

Seit Aufkommen einer wirtschaftlichen und zuverlässigen Form der Feuchtigkeitsabdichtung durch das Nebenprodukt Bitumen, hat sich der horizontale Gebäudeabschluss rasant weiterentwickelt und stellte eine ökonomische und zudem brandbeständigere Alternative zum Steildach dar.

Die gegenwärtige Entwicklung zeigt, dass in dicht bebautem Gebiet diese Konstruktionsweise auch durch ihr Potential überzeugt, zusätzliche Wohnfläche zu schaffen ohne dabei bereits genutzten Wohnraum zu beanspruchen.

Vor dem Hintergrund einer stetigen Weiterentwicklung der Baukultur und seiner technischen Ausführungen werden im Zuge dieser Arbeit geschlossene Gehbeläge auf Flachdächern untersucht. Diese im Mörtelbett verlegten Plattenwerkstoffe stellen, im Gegensatz zu gängigen Aufbauten, eine Barriere für Wassertransport und Dampfdiffusion dar und speichern zudem durch Ihre porösen Materialien Feuchtigkeit.

Vor dem Hintergrund bauphysikalischer Berechnungen werden Grundlagen von Wärme- und Feuchteschutz gemäß geltender Normen dargelegt und das Thema geschlossener Gehbelag konkretisiert. Entsprechende Ö-Normen sucht man für geschlossene Gehbeläge auf Flachdächern jedoch vergeblich. So werden verfügbare Informationen aus deutscher Norm und Herstellerangaben gesammelt und 4 mögliche Aufbauten angeführt.

Bei stationärer Berechnung dieser Aufbauten können alle erforderlichen bauphysikalischen Nachweise erbracht werden. Durch die instationäre

Berechnung mit WUFI wird das gekoppelte wärme- und feuchtetechnische Verhalten simuliert. Dabei ergeben sich für 3 von 4 Aufbauten Probleme durch starke Wasseranreicherung in den der Außenluft zugewandten Belagsschichten oder der Wärmedämmung. Nur ein Aufbau weist in allen Schichten einen sinkenden Wassergehalt auf und wird daher als geeignet beurteilt.

Der Ausblick auf eventuell zukünftige Aktivitäten zu diesem Thema gestaltet sich vielseitig.

In Österreich sind Herstellerangaben bis dato meist die einzige, wenn auch dürftige Informationsquelle zu diesen Baukonstruktionen. Eine Norm bzw. Richtlinie für materialspezifische Regelungen und eine entsprechende Auswahl an geprüften Konstruktionsarten von geschlossenen Gehbelägen auf Flachdächern ist zweifelsohne erforderlich. Die kürzlich erschienene ON B 3691 – Planung und Ausführung von Dachabdichtungen, bündelt für Flachdächer relevante Vorgaben, die davor in unterschiedlichen Normen angeführt waren. Dabei finden erstmals Nutzungskategorien, Wartung und Instandhaltung von Flachdächern Berücksichtigung. Darüber hinaus werden Regelungen für barrierefreie An- und Abschlüsse von Abdichtungen, im Vergleich zu bisher geltenden Standards, verbessert.

Um zukünftig rechenunterstützte Vorhersagen für Bauteile noch weiter zu verbessern, könnten entsprechende Programme zur numerischen Simulation, dem Anwender eine größere Auswahl an Eingabedaten zur Verfügung stellen.

Versuche zur Dauerhaftigkeit geschlossener Beläge hinsichtlich Frost-Tau-Wechsel können konkrete Erkenntnisse in Bezug auf den Verbund zwischen Belag und Mörtelschicht zeigen.

5 Anhang

5.3 Literaturverzeichnis

5.3.1 Normen und Richtlinien

- [1] **OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz.** Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.
- [2] **OIB-Richtlinie 4: Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit.** Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.
- [3] **OIB-Richtlinie 5: Schallschutz.** Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.
- [4] **OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz.** Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.
- [5] **ÖNORM B 1600: Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2012.
- [6] **ÖNORM B 2207: Fliesen-, Platten- und Mosaiklegearbeiten - Werkvertragsnorm.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2007.
- [7] **ÖNORM B 2232: Estricharbeiten - Werkvertragsnorm.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2007.
- [8] **ÖNORM B 3691: Planung und Ausführung von Dachabdichtungen.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2012.
- [9] **ÖNORM B 6015-2: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät – Teil 2: Ermittlung des Nennwertes und des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit für homogene Baustoffe.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2009.
- [10] **ÖNORM B 7213: Steinmetz- und Kunststeinarbeiten - Verfahrensnorm.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2003.
- [11] **ÖNORM B 7220: Dächer mit Abdichtungen - Verfahrensnorm.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2002.

- [12] **ÖNORM B 8110-2: 2003-07-01: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2003.
- [13] **ÖNORM EN ISO 6946: Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2008.
- [14] **ÖNORM EN ISO 10456: Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2010.
- [15] **ÖNORM EN 10545: Keramische Fliesen und Platten – Teil 12: Bestimmung der Frostbeständigkeit.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 1997.
- [16] **ÖNORM EN 12057: Natursteinprodukte - Fliesen, Anforderungen.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2005.
- [17] **ÖNORM EN 12058: Natursteinprodukte - Bodenplatten und Stufenbeläge.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2005.
- [18] **ÖNORM EN 12524: Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2000.
- [19] **ÖNORM EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2002.
- [20] **ÖNORM EN 13888: Fugenmörtel für Fliesen und Platten - Anforderungen, Konformitätsbewertung, Klassifikation und Bezeichnung.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2009.
- [21] **ÖNORM EN 14411: Keramische Fliesen und Platten - Definitionen, Klassifizierung, Eigenschaften, Konformitätsbewertung und Kennzeichnung.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2012.
- [22] **ÖNORM EN ISO 15148: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen.** Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2003

- [23] **ÖNORM L 1131: Gartengestaltung und Landschaftsbeu - Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken - Anforderungen an Planung, Ausführung und Erhaltung.** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2010.
- [24] **ON V 31: Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen** Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2001.

5.3.2 Bücher, Zeitschriften

- [25] **Artl Joachim.** Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnbau [Buch]. - Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2005.
- [26] **Balak M., Hubner W., Rosenberger R., Steinbrecher M.** 3. Österreichischer Bauschadensbericht - Abdichtungen im Hochbau [Buch]. - Wien : ofi-Institut für Bauschadensforschung, 2009.
- [27] **Balak M., Hubner W. und Kalwoda F.** IBF-Richtlinie Flachdachsanierung [Buch]. - Wien : ofi Institut für Bauschadensforschung und Institut für Flachdachbau und Bauwerksabdichtung, 2006.
- [28] **Battisti K., Somogyvary B.** ArchiPhysik 10 - Bauphysikalische Berechnungen für energieeffiziente Gebäude = ArchiPhysik Handbuch. - Juni 2012.
- [29] **Bläsi W.** Bauphysik [Buch]. - Haan-Gruiten : Verlag Europa Lehrmittel, 2011.
- [30] **Borgmeier A., Braunreiter H.** Bautechnik für Fliesen-, Platten- und Mosaikleger [Buch]. - Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
- [31] **Fischer H., Freymuth H. und Häupl P.** Lehrbuch der Bauphysik [Buch]. - Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 2008.
- [32] **Fliesenverband Österreichischer** Merkblatt 5 - Frostbeständige Verlegung [Buch]. - [s.l.] : Österreichischer Fliesenverband, 2010.
- [33] **Gutjahr GmbH** Funktionsfähigkeit von Drainageschichten von Balkom und Terrassenbelägen [Bericht]. - Bickenbach : Gutjahr GmbH, 2004.
- [34] **Liersch K. und Langer N.** Bauphysik kompakt, Wärme-Feuchte-Schall [Buch]. - Berlin : Bauwerk Verlag GmbH, 2011.

- [35] **Lohmeyer G., Post M. und Bergmann H.** Praktische Bauphysik [Buch]. - Wiesbaden : Vieweg + Teubner Verlag, 2010.
- [36] **Neumann D., Hestermann U. und Rongen L.** Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 2 [Buch]. - Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 2008.
- [37] **Öttel-Präkel H., Leustenring E. und Präkelt W.** Balkone und Terrassen [Buch]. - Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, 2010.
- [38] **Pech A., Hubner W., Zach F.** Flachdach [Buch]. - Wien : Springer-Verlag/Wien, 2011. - Bd. Band 9.
- [39] **Sedlbauer et al.** Flachdach Atlas [Buch]. - München : Birkhäuser Basel, 2010.
- [40] **Wasmuth et al.** Wasmuths Lexikon der Baukunst, Zweiter Band [Buch]. - Berlin : Ernst Wasmuth A.G., 1930, S. 483.

5.3.3 Artikel

- [41] **Bednar T., Dreyer J.** Die Genauigkeit von Simulationsprogrammen für den Wärme- und Feuchtehaushalt von Bauteilen [Artikel] // WTA-Schriftenreihe, Heft 18, Praktische Beurteilung des Feuchteverhaltens von Bauteilen durch moderne Rechenverfahren, Hrsg. KünzelHartwig Michael. - 1999. - S.97-106.
- [42] **Franke L., Deckelmann G.** Der Feuchtehaushalt von Wärmedämmverbundsystemen mit keramischen Belägen - Vergleich zwischen Messung und rechnerischer Vorhersage [Artikel] // WTA-Schriftenreihe, Heft 18, Praktische Beurteilung des Feuchteverhaltens von Bauteilen durch moderne Rechenverfahren, Hrsg. Künzel Hartwig Michael. - 1999. - S. 39-50.
- [43] **Klessing J.M.** Das traditionelle Flachdach im Jemen am Beispiel der Sanierung der „Samsarat al-Mansurah“ in Sana // DETAIL, Heft 5, Flache Dächer, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München – 1997. – S. 698-702

5.3.4 Internet

- [44] *Austrian Standards plus*. Austrian Standards plus GmbH. [3. April 2013.]
<https://www.astandis.at/lesesaal>
- [45] *Bauder*. Paul Bauder GmbH & Co. KG. [3. April 2013.]
<http://www.bauder.at>
- [46] *Bauklimatik-dresden.de*. Bauklimatik-dresden. [3. April 2013.]
<http://bauklimatik-dresden.de/delphin/documentation.php>
- [47] *Baunetzwissen*. BauNetz Media GmbH. [3. April 2013.]
<http://www.baunetzwissen.de/index.html>
- [48] *Coverit*. Coverit Flachdachabdichtungstechnik GmbH. [3. April 2013.]
<http://www.coverit.at>
- [49] *Energiesparhaus.at*. [3. April 2013.]
<http://www.energiesparhaus.at/denkwerkstatt>
- [50] *Fliesenverband*. Österreichischer Fliesenverband. [3. April 2013.]
<http://www.fliesenverband.at>
- [51] *Gutjahr*. Gutjahr GmbH. [3. April 2013.]
<http://www.gutjahr.com/balkone-terrassen-und-aussentreppen>
- [52] *Nullbarriere.de*. [3. April 2013.]
<http://nullbarriere.de/gutjahr-balkon-terrasse.htm>
- [53] *PCI*. PCI. [3. April 2013.]
<http://www.pci.at/download/fachaufsatz-zur-sache.html>
- [54] *Quarzolith*. Quarzolith. [3. April 2013.]
<http://www.quarzolith.at/produkte/estriche/zementestriche>
- [55] *Villas*. Villas Austria GmbH. [3. April 2013.]
<http://www.villas.at>
- [56] *Wufi-Forum*. Fraunhofer Institut für Bauphysik. [3. April 2013.]
<http://www.wufi-forum.com>
- [57] *Wufi-Wiki*. [3. April 2013.]
<http://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php5/Hauptseite>

5.4 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 2: Dachaufbau mit Qadath-Oberfläche nach dem Einstreichen mit heißem Öl, auf Flusskieseln, 5 cm Trockenschüttung, 10 cm Lehm, Knüppelholzlage und Rundhölzer als Deckenbalken [43]
- Abb. 2: Holzzementdach - Dachrandausbildung und Lage der Abdichtungsbahnen [39]
- Abb. 3: Dachaufbau eines Repräsentationsgebäudes [27]
- Abb. 4: Dachaufbau eines Fabrikgebäudes [27]
- Abb. 5: Dachaufbau [43]
- Abb. 6: begehbare Flachdach mit Innenentwässerung [40]
- Abb. 7: begehbare Flachdach [27]
- Abb. 8: nicht begehbare Flachdach [27]
- Abb. 9: Dachkonstruktion in Stahlbauweise [39]
- Abb. 10: Belüftete Dachaufbauten auf Stahlbetonplatte mit unterschiedlichen Außenschalen gemäß [38]
- Abb. 11: Wasserdampfgehalt von Luft als Funktion der Temperatur (Carrier-Diagramm) aus [31]
- Abb. 12: ArchiPhysik10 Ergebnisblatt von Aufbau 1
- Abb. 13: ArchiPhysik10 Ergebnisblatt von Aufbau 2
- Abb. 14: ArchiPhysik10 Ergebnisblatt von Aufbau 3
- Abb. 15: ArchiPhysik10 Ergebnisblatt von Aufbau 4
- Abb. 16: Schematische Darstellung aus WUFI von Aufbau 1
- Abb. 17: Gesamtwassergehalt von Aufbau 1
- Abb. 18: Wassergehalt der Belagselemente von Aufbau 1

- Abb. 19: Verlauf von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Wassergehalt in Aufbau 1
- Abb. 20: Schematische Darstellung aus WUFI von Aufbau 2
- Abb. 21: Gesamtwassergehalt von Aufbau 2
- Abb. 22: Wassergehalt der Belagselemente von Aufbau 2
- Abb. 23: Verlauf von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Wassergehalt in Aufbau 2
- Abb. 24: Schematische Darstellung aus WUFI von Aufbau 3
- Abb. 25: Gesamtwassergehalt von Aufbau 3
- Abb. 26: Wassergehalt der Belagselemente von Aufbau 3
- Abb. 27: Verlauf von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Wassergehalt in Aufbau 3
- Abb. 28: Schematische Darstellung aus WUFI von Aufbau 4
- Abb. 29: Gesamtwassergehalt von Aufbau 4
- Abb. 30: Wassergehalt der Belagselemente von Aufbau 4
- Abb. 31: Verlauf von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Wassergehalt in Aufbau 4

5.5 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeit und Rohdichte [31]
- Tabelle 2: Konventionelle Wärmeübergangswiderstände [13]
- Tabelle 3: Mindestforderliche U-Werte gemäß [4]
- Tabelle 4: Wasserdampfgehalt c_s der Luft im Sättigungszustand in Abhängigkeit der Lufttemperatur [31]
- Tabelle 5: Wasseraufnahmekoeffizient unterschiedlicher Baustoffe aus [31]
- Tabelle 6: Wärmeübergangswiderstände an der Oberfläche nach [12]
- Tabelle 7: Mindestdicken für Bodenbeläge im Außenbereich gemäß [10]
- Tabelle 8: Klassifizierung und Bezeichnung von Fugenmörtel gemäß [20]
- Tabelle 9: Mindestdicken schwimmend verlegter Zementestriche auf Dämmschichten über 25mm Dicke und Trennlage aus [7]
- Tabelle 10: Zusammenstellung der Anschlusshöhen von Abdichtungen gem. [8]
- Tabelle 11: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen μ gängiger Baustoffe für Flachdachaufbauten
- Tabelle 12: Kriterien zur Auswahl einer Software für die Simulation

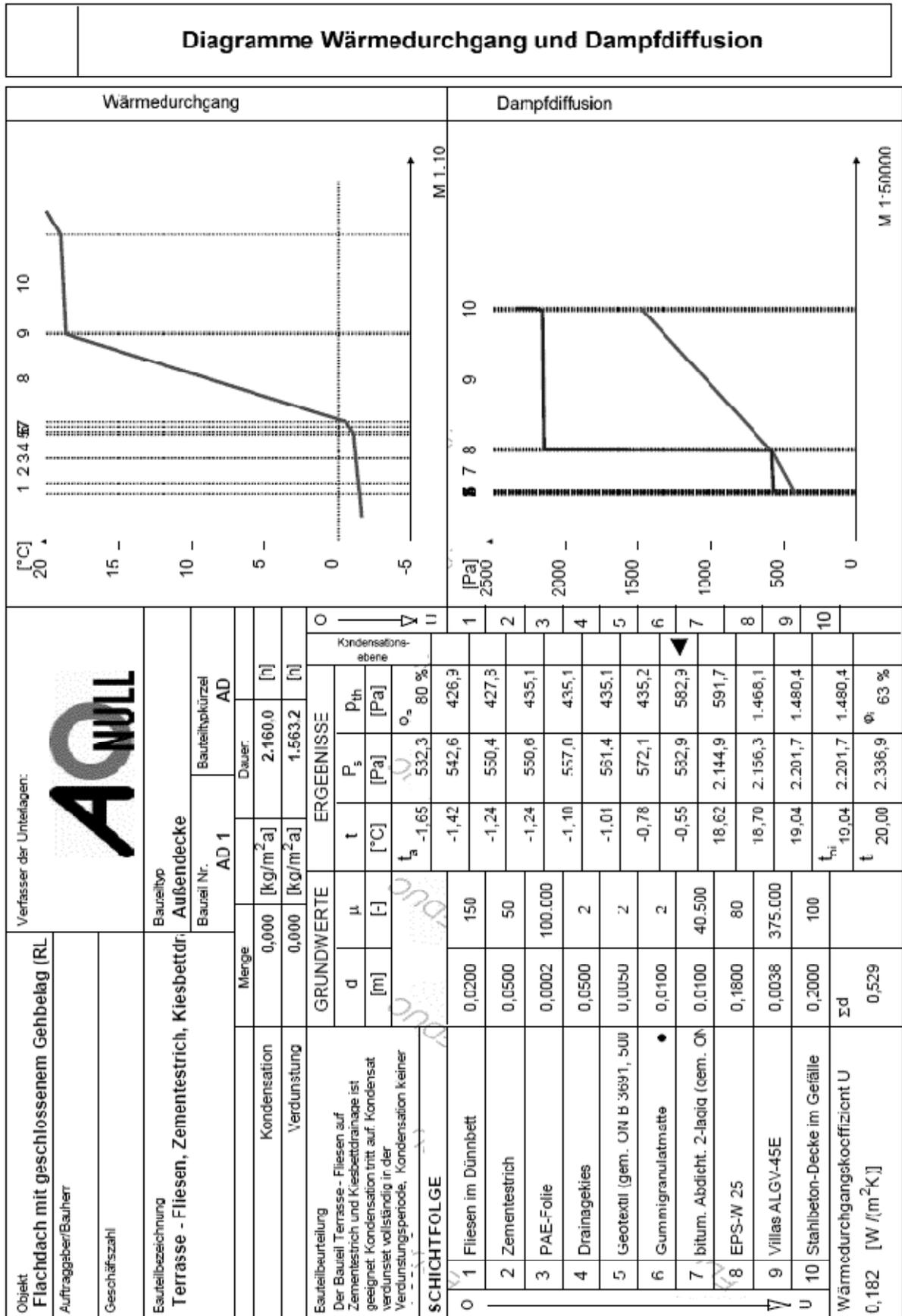
5.1 ArchiPhysik Datenblätter

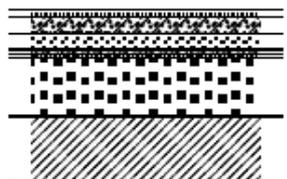
Die den Berechnungen von ArchiPhysik 10 zugehörigen Datenblätter sind nachfolgend zusammengestellt.

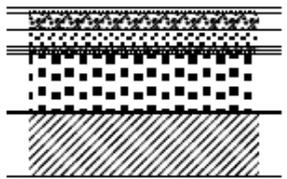
Sie sind entsprechend der in Kapitel 4.3 angeführten Reihenfolge aufgelistet und dienen zur Vervollständigung und Veranschaulichung der in Kapitel 4.4.3 erwähnten Ergebnisse.

5.1.1 Aufbau 1

Nachweis des Wärmeschutzes <small>OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</small> U-Wert von opaken Bauteilen								
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6)		Verfasser der Unterlagen <div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;"> AO NULL </div>						
Auftraggeber								
Bauteilbezeichnung Terrasse - Fliesen, Zementestrich, Kiesbettdrainage		Bauteil Nr. AD 1						
Bauteiltyp Außendecke		AD						
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		0,18 [W/(m²K)]						
		erforderlich 0,20 [W/(m²K)]	U M 1:20					
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
Nr.	Baustoffschichten von außen nach innen Bezeichnung	ID kurz	berücksichtigen <input checked="" type="checkbox"/>	d	λ	R = d/λ	ρ * d	
				Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/m K]	Durchlassw. [m²K/W]	Dichte [kg/m³]	Flächengewicht [kg/m²]
1	Fliesen im Dünnbett	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	1,000	0,020	2.000,0	40,0
2	Zementestrich	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0500	1,110	0,045	1.800,0	90,0
3	PAE-Folie	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0002	0,230	0,001	1.500,0	0,3
4	Drainagekies	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0500	1,400	0,036	1.800,0	90,0
5	Geotextil (gem. ON B 3691, 500 g/m²)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0050	0,200	0,025	120,0	0,6
6	Gummigranulatmatte ● bauboo	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	0,170	0,059	640,0	6,4
7	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	0,170	0,059	1.200,0	12,0
8	EPS-W 25	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1800	0,036	5,000	25,0	4,5
9	Villas ALGV-45E	Villas	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0038	0,170	0,022	1.000,0	3,8
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2,300	0,087	2.400,0	480,0
Dicke des Bauteils				0,529				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								727,6
Summe der Wärmedurchlasswiderstände $\sum R_t$						5,354	[m²K/W]	
					R_{si}, R_{se}			
					Koeffizient	Widerstand		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand innen					10,000	0,100		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand außen					25,000	0,040		
Summe der Wärmeübergangswiderstände $R_{si} + R_{se}$					0,140		[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$					5,494		[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T$					0,182		[W/(m²K)]	



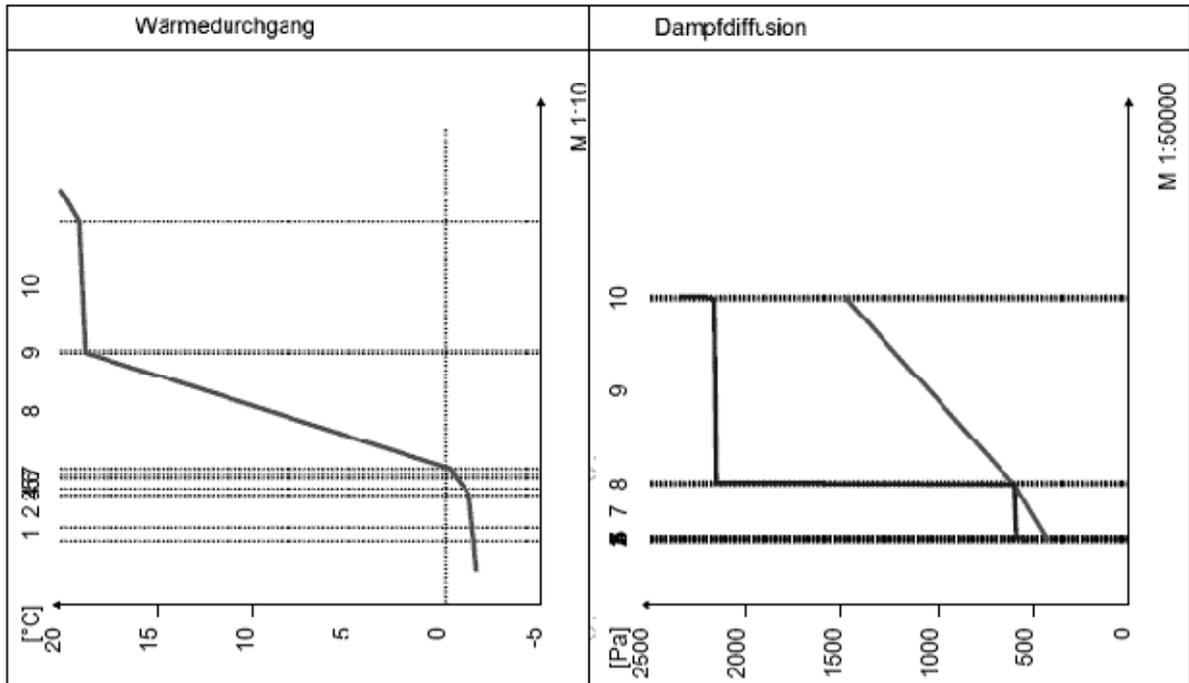
<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Schallschutzes</h2> <p style="text-align: center;">ÖNORM B 8115-4:2003 09 01</p> <h3 style="text-align: center;">Luftschall von opaken Bauteilen</h3>							
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6) Auftraggeber				Verfasser der Unterlagen 			
Bauteilbezeichnung Terrasse - Fliesen, Zementestrich, Kiesbettdrainage			Bauteil Nr. AD 1				
Bauteiltyp Außendecke			AD				
bewertetes Schalldämm-Maß R_w			65 [dB]				
erforderlich			43 [dB]	U		M 1:20	
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
	Baustoffschichten	Typ	d	ρ	$\rho \cdot d$	E_{dyn}	s'
	von außen nach innen		Dicke	Dichte	Flächengewicht	dyn. E-Modul	dyn. Steifigkeit
Nr	Bezeichnung		[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ³]
1	Fliesen im Dünnbett	V	0,0200	2.000,0	40,00		
2	Zementestrich	V	0,0500	1.800,0	90,00		
3	PAE-Folie		0,0002	1.500,0	0,30		
4	Drainagekies		0,0500	1.800,0	90,00		
5	Geotextil (gem. ON B 3691, 500 g/m ²)		0,0050	120,0	0,60		
6	Gummigranulatmatte	● DS	0,0100	640,0	6,40	0,50	50,00
7	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691, Tak)		0,0100	1.200,0	12,00		
8	EPS-W 25	DS	0,1800	25,0	4,50	14,00	77,78
9	Villas ALGV-45E		0,0038	1.000,0	3,80		
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle	M	0,2000	2.400,0	480,00		
Dicke des Bauteils			0,529				
Flächenbezogene Masse m' des Bauteils					620,90		[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m_1' der biegesteifen Schale					480,00		[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m_2' der biegeweichen Schale					130,00		[kg/m ²]
gemäß ÖNORM B 8115-1:2003 und gemäß ON EN 12354-2:2000			Massivdecke mit schwimmendem Estrich				
Resonanzfrequenz f_0			ÖN B 8115-4, Tabelle 4, Zeile 4		77,4		[Hz]
Veränderung des bewert. Schalldämm-Maßes ΔR_w			ÖN B 8115-4:2003, Tabelle 5		4,5		[dB]
bewert. Schalldämm-Maß der Masseschicht			$R_w = 32,4 \cdot \log m_1' - 26$		60,9		[dB]
Gesamtes bewert. Schalldämm-Maß			$R_{w,ges} = R_w + \Delta R_w$		65,4		[dB]

<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Schallschutzes</h2> <p style="text-align: center;">ÖNORM B 8115-4:2003 09 01</p> <h3 style="text-align: center;">Trittschall von opaken Bauteilen</h3>									
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6) Auftraggeber				Verfasser der Unterlagen 					
Bauteilbezeichnung Terrasse - Fliesen, Zementestrich, Kiesbettdrainage			Bauteil Nr. AD 1						
Bauteiltyp Außendecke			AD						
bewert. Norm-Trittschallpegel			$L_{n,w}$					42 [dB]	
bewerteter Standard-Trittschallpegel			$L'_{nT,w}$					46 [dB]	
			erforderlich		48 [dB]		U	M 1:20	
Konstruktionsaufbau und Berechnung									
Baustoffschichten		Typ	d	ρ	$\rho \cdot d$	E_{dyn}	s'		
von außen nach innen			Dicke	Dichte	Flächengewicht	dyn. E-Modul	dyn. Steifigkeit		
Nr	Bezeichnung		[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ³]		
1	Fliesen im Dünnbett	V	0,0200	2.000,0	40,00				
2	Zementestrich	V	0,0500	1.800,0	90,00				
3	PAE-Folie		0,0002	1.500,0	0,30				
4	Drainagekies		0,0500	1.800,0	90,00				
5	Geotextil (gem. ON B 3691, 500 g/m ²)		0,0050	120,0	0,60				
6	Gummigranulatmatte	●	DS	0,0100	640,0	6,40	0,50	50,00	
7	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691, Tafel)		0,0100	1.200,0	12,00				
8	EPS-W 25		DS	0,1800	25,0	4,50	14,00	77,78	
9	Villas ALGV-45E		0,0038	1.000,0	3,80				
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle		M	0,2000	2.400,0	480,00			
Dicke des Bauteils			0,529						
Flächenbezogene Masse m' des Bauteils					620,90	[kg/m ²]			
Flächenbezogene Masse m' der biegesteifen Schale					m_1'	480,00	[kg/m ²]		
Flächenbezogene Masse m' der biegeweichen Schale					m_2'	130,00	[kg/m ²]		
mittlere flächenbez. Masse der flankierenden Bauteile m'					200,00	[kg/m ²]			
Volumen des Empfangsraums - Referenzraum					25,00	[m ³]			
gemäß ÖNORM B 8115-1 und gemäß ÖN EN 12354-2:2000		Massivdecke mit schwimmendem Estrich							
bewert. Norm-Trittschallp. der Rohdecke		$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \cdot \log(m_1')$				70,2	[dB]		
Trittschall -Verbesserungsmaß ΔL_w		Bild 19/20 - ÖNORM B 8115-4:2003				28,0	[dB]		
bewert. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$		$L_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w$				42,2	[dB]		
bewert. Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$		$L'_{n,w} = L_{nT,w,eq} - \Delta L_w + K$				45,2	[dB]		
bewert. Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$		$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \lg V + 14,9$				46,1	[dB]		

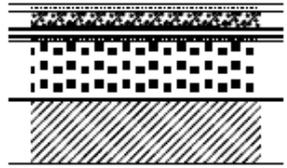
5.1.2 Aufbau 2

Nachweis des Wärmeschutzes OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010) U-Wert von opaken Bauteilen								
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6) Auftraggeber				Verfasser der Unterlagen <div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;"> AO NULL </div>				
Bauteilbezeichnung Terrasse - Fliesen, Zementestrich, Drainmatte Dampfsperre VILLAS				Bauteil Nr. AD 2				
Bauteiltyp Außendecke				AD				
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert				0,18 [W/(m²K)]				
				erforderlich 0,20 [W/(m²K)]		U		M 1:20
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
Nr.	Baustoffschichten von außen nach innen Bezeichnung	ID kurz	berücksichtigen	d	λ	R = d/λ	ρ * d	
				Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/m K]	Durchlassw. [m²K/W]	Dichte [kg/m³]	Flächengewicht [kg/m²]
1	Fliesen im Dünnbett	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	1,000	0,020	2.000,0	40,0
2	Zementestrich	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0500	1,110	0,045	1.800,0	90,0
3	PAE-Folie	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0002	0,230	0,001	1.500,0	0,3
4	Gummigranulatmatte	bauboo	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	0,170	0,059	640,0	6,4
5	Drainmatte (Luft stehend, 16 < d <= 20mm)	bauboo	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0160	0,133	0,120	1,2	0,0
6	Geotextil (gem. ON B 3691, 500 g/m²)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0050	0,200	0,025	120,0	0,6
7	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	0,170	0,059	1.200,0	12,0
8	EPS-W 25	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1800	0,036	5,000	25,0	4,5
9	Villas ALGV-45E	Villas	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0038	0,170	0,022	1.000,0	3,8
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2,300	0,087	2.400,0	480,0
Dicke des Bauteils				0,495				
Flächenbezogene Masse des Bauteils				637,6				
Summe der Wärmedurchlasswiderstände $\sum R_t$						5,438		[m²K/W]
						R_{si}, R_{se}		
						Koeffizient		Widerstand
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand innen				10,000		0,100		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand außen				25,000		0,040		
Summe der Wärmeübergangswiderstände				$R_{si} + R_{se}$		0,140		[m²K/W]
Wärmedurchgangswiderstand				$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$		5,578		[m²K/W]
Wärmedurchgangskoeffizient				$U = 1/R_T$		0,179		[W/(m²K)]

Diagramme Wärmedurchgang und Dampfdiffusion



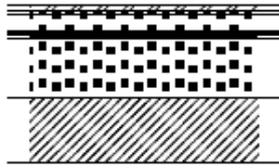
Verfasser der Unterlagen: AQ NULL		Bautilbezeichnung Terrasse - Fliesen, Zementestrich, Drainmatte		Bautiltyp Außendecke	
Objekt Fleischdach mit geschlossenem Gehbelag [RL]		Auftraggeber/Bauherr		Bautilnummer AD 2	
Geschäftsanzahl		Menge:		Dauer:	
		Kondensationsrate 0,000 [kg/m²a]		2.160,0 [h]	
		Verdunstung 0,000 [kg/m²a]		1.359,8 [h]	
Bautilbeurteilung Der Bauteil Terrasse - Fliesen auf Zementestrich und Drainmatte ist gesichert. Kondensation tritt auf. Kondensat verdunstet vollständig in der Verdunstungsperiode. Kondensationsrate als 0,0 kg/m ²		ERGEBNISSE			
SCHICHTFOLGE		GRUNDWERTE		Kondensations-ebene	
0	1	d [m]	t [°C]	P _s [Pa]	P _{tn} [Pa]
1	2	μ [-]	t _a [-1,65]	φ _s 532,3	φ _s 80 %
2	3	150	-1,42	542,4	427,0
3	4	50	-1,25	550,2	428,0
4	5	100.000	-1,25	550,3	436,0
5	6	2	-1,02	560,6	436,0
6	7	1	-0,57	582,1	436,0
7	8	2	-0,48	586,7	436,0
8	9	40.500	-0,25	597,6	597,6
9	10	80	18,64	2.147,7	606,3
10	U	375.000	18,72	2.158,9	1.168,3
U	Σd	100	19,05	2.203,6	1.480,4
Wärmedurchgangskoeffizient U		t _{ni} 19,05		t _{ni} 19,05	
0,179 [W/(m ² K)]		t _{se} 20,00		t _{se} 20,00	
		φ _s 63 %		φ _s 63 %	

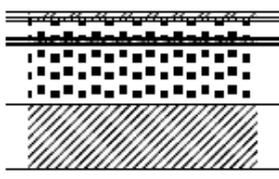
Nachweis des Schallschutzes ÖNORM B 8115-4:2003 09 01							
Luftschall von opaken Bauteilen							
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6)				Verfasser der Unterlagen			
Auftraggeber							
Bauteilbezeichnung Terrasse - Fliesen, Zementestrich, Drainmatte Dampfsperre VILLAS			Bauteil Nr. AD 2				
Bauteiltyp Außendecke			AD				
bewertetes Schalldämm-Maß R_w			65 [dB]				
erforderlich			43 [dB]		U M 1:20		
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
	Baustoffschichten	Typ	d	ρ	$\rho \cdot d$	E_{dyn}	s'
	von außen nach innen		Dicke	Dichte	Flächengewicht	dyn. E-Modul	dyn. Steifigkeit
Nr	Bezeichnung		[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ³]
1	Fliesen im Dünnbett	V	0,0200	2.000,0	40,00		
2	Zementestrich	V	0,0500	1.800,0	90,00		
3	PAE-Folie		0,0002	1.500,0	0,30		
4	Gummigranulatmatte	● DS	0,0100	640,0	6,40	0,50	50,00
5	Drainmatte (Luft stehend, 16 < d <= 20 mm)		0,0160	1,2	0,02		
6	Geotextil (gem. ON B 3691, 500 g/m ²)		0,0050	120,0	0,60		
7	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691, Tak)		0,0100	1.200,0	12,00		
8	EPS-W 25	DS	0,1800	25,0	4,50	14,00	77,78
9	Villas ALGV-45E		0,0038	1.000,0	3,80		
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle	M	0,2000	2.400,0	480,00		
Dicke des Bauteils			0,495				
Flächenbezogene Masse m' des Bauteils					620,90		[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m' der biegesteifen Schale					m_1'	480,00	[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m' der biegeweichen Schale					m_2'	130,00	[kg/m ²]
gemäß ÖNORM B 8115-1:2003 und gemäß ON EN 12354-2:2000				Massivdecke mit schwimmendem Estrich			
Resonanzfrequenz f_0			ÖN B 8115-4, Tabelle 4, Zeile 4		77,4		[Hz]
Veränderung des bewert. Schalldämm-Maßes ΔR_w			ÖN B 8115-4:2003, Tabelle 5		4,5		[dB]
bewert. Schalldämm-Maß der Masseschicht			$R_w = 32,4 \cdot \log m_1' - 26$		60,9		[dB]
Gesamtes bewert. Schalldämm-Maß			$R_{w,ges} = R_w + \Delta R_w$		65,4		[dB]

<h2 style="margin: 0;">Nachweis des Schallschutzes</h2> <p style="margin: 0;">ÖNORM B 8115-4:2003 09 01</p> <h3 style="margin: 0;">Trittschall von opaken Bauteilen</h3>							
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6) Auftraggeber				Verfasser der Unterlagen 			
Bauteilbezeichnung Terrasse - Fliesen, Zementestrich, Drainmatte Dampfsperre VILLAS				Bauteil Nr. AD 2		O 	
Bauteiltyp Außendecke				AD		U M 1:20	
bewert. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ 42 [dB]				42 [dB]			
bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$							
erforderlich				48 [dB]			
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
Baustoffschichten		Typ	d	ρ	$\rho \cdot d$	E_{dyn}	s'
von außen nach innen			Dicke	Dichte	Flächengewicht	dyn. E-Modul	dyn. Steifigkeit
Nr	Bezeichnung		[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ³]
1	Fliesen im Dünnbett	V	0,0200	2.000,0	40,00		
2	Zementestrich	V	0,0500	1.800,0	90,00		
3	PAE-Folie		0,0002	1.500,0	0,30		
4	Gummigranulatmatte	● DS	0,0100	640,0	6,40	0,50	50,00
5	Drainmatte (Luft stehend, 16 < d <= 20 mm)		0,0160	1,2	0,02		
6	Geotextil (gem. ON B 3691, 500 g/m ²)		0,0050	120,0	0,60		
7	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691, Tak)		0,0100	1.200,0	12,00		
8	EPS-W 25	DS	0,1800	25,0	4,50	14,00	77,78
9	Villas ALGV-45E		0,0038	1.000,0	3,80		
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle	M	0,2000	2.400,0	480,00		
Dicke des Bauteils			0,495				
Flächenbezogene Masse m' des Bauteils					620,90	[kg/m ²]	
Flächenbezogene Masse m' der biegesteifen Schale					m_1'	480,00	[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m' der biegeweichen Schale					m_2'	130,00	[kg/m ²]
mittlere flächenbez. Masse der flankierenden Bauteile m'					200,00	[kg/m ²]	
Volumen des Empfangsraums - Referenzraum					25,00	[m ³]	
gemäß ÖNORM B 8115-1 und gemäß ÖN EN 12354-2:2000		Massivdecke mit schwimmendem Estrich					
bewert. Norm-Trittschallp. der Rohdecke		$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \cdot \log(m'_1)$				70,2	[dB]
Trittschall -Verbesserungsmaß ΔL_w		Bild 19/20 - ÖNORM B 8115-4:2003				28,0	[dB]
bewert. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$		$L_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w$				42,2	[dB]
bewert. Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$		$L'_{n,w} = L_{nT,w,eq} - \Delta L_w + K$				45,2	[dB]
bewert. Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$		$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \lg V + 14,9$				46,1	[dB]

5.1.3 Aufbau 3

Nachweis des Wärmeschutzes OIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010) U-Wert von opaken Bauteilen							
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6) Auftraggeber				Verfasser der Unterlagen <div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;"> A O NULL </div>			
Bauteilbezeichnung Terrasse - Naturstein, EK-Mörtel			Bauteil Nr. AD 3				
Bauteiltyp Außendecke			AD				
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert			0,18 [W/(m²K)]				
			erforderlich 0,20 [W/(m²K)]	U	M 1:20		
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
Nr	Baustoffschichten von außen nach innen Bezeichnung	ID kurz	berücksichtigen	d	λ	R = d/λ	ρ * d
				Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/m K]	Durchlassw. [m²K/W]	Dichte [kg/m³]
1	Naturstein Platten	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	3,500	0,006	2.800,0 56,0
2	Mörtelbett	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	2,300	0,004	2.200,0 22,0
3	Einkommörtel (Annahme: Mörtelbett)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0500	2,300	0,022	2.200,0 110,0
4	Filtervlies	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0050	0,200	0,025	120,0 0,6
5	Gummigranulatmatte	bauboo	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	0,170	0,059	640,0 6,4
6	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	0,170	0,059	1.200,0 12,0
7	EPS-W 25	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1800	0,036	5,000	25,0 4,5
8	Villas ALGV-45E	Villas	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0038	0,170	0,022	1.000,0 3,8
9	Stahlbeton-Decke im Gefälle	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2,300	0,087	2.400,0 480,0
Dicke des Bauteils				0,489			
Flächenbezogene Masse des Bauteils							695,3
Summe der Wärmedurchlasswiderstände $\sum R_t$					5,284	[m²K/W]	
				R_{si}, R_{se}			
				Koeffizient	Widerstand		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand		innen		10,000	0,100		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand		außen		25,000	0,040		
Summe der Wärmeübergangswiderstände $R_{si} + R_{se}$				0,140		[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$				5,424		[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T$				0,184		[W/(m²K)]	

Nachweis des Schallschutzes ÖNORM B 8115-4:2003 09 01 Luftschall von opaken Bauteilen							
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6)				Verfasser der Unterlagen AO NULL			
Auftraggeber							
Bauteilbezeichnung Terrasse - Naturstein, EK-Mörtel			Bauteil Nr. AD 3				
Bauteiltyp Außendecke			AD				
bewertetes Schalldämm-Maß R_w			65 [dB]		U M 1:20		
erforderlich			43 [dB]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
	Baustoffschichten	Typ	d	ρ	$\rho \cdot d$	E_{dyn}	s'
	von außen nach innen		Dicke	Dichte	Flächengewicht	dyn. E-Modul	dyn. Steifigkeit
Nr	Bezeichnung		[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ³]
1	Naturstein Platten	V	0,0200	2.800,0	56,00		
2	Mörtelbett	V	0,0100	2.200,0	22,00		
3	Einkornmörtel (Annahme: Mörtelbett)	V	0,0500	2.200,0	110,00		
4	Filtervlies		0,0050	120,0	0,60		
5	Gummigranulatmatte	DS	0,0100	640,0	6,40	0,50	50,00
6	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691,Tak		0,0100	1.200,0	12,00		
7	EPS-W 25	DS	0,1800	25,0	4,50	14,00	77,78
8	Villas ALGV-45E		0,0038	1.000,0	3,80		
9	Stahlbeton-Decke im Gefälle	M	0,2000	2.400,0	480,00		
Dicke des Bauteils			0,489				
Flächenbezogene Masse m' des Bauteils					678,90		[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m' der biegesteifen Schale m_1'					480,00		[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m' der biegeweichen Schale m_2'					188,00		[kg/m ²]
gemäß ÖNORM B 8115-1:2003 und gemäß ON EN 12354-2:2000				Massivdecke mit schwimmendem Estrich			
Resonanzfrequenz f_0			ÖN B 8115-4, Tabelle 4, Zeile 4		64,4		[Hz]
Veränderung des bewert. Schalldämm-Maßes ΔR_w			ÖN B 8115-4:2003, Tabelle 5		4,5		[dB]
bewert. Schalldämm-Maß der Masseschicht			$R_w = 32,4 \cdot \log m_1' - 26$		60,9		[dB]
Gesamtes bewert. Schalldämm-Maß			$R_{w,ges} = R_w + \Delta R_w$		65,4		[dB]

Nachweis des Schallschutzes							
ÖNORM B 8115-4:2003 09 01							
Trittschall von opaken Bauteilen							
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6)				Verfasser der Unterlagen			
Auftraggeber							
Bauteilbezeichnung Terrasse - Naturstein, EK-Mörtel			Bauteil Nr. AD 3				
Bauteiltyp Außendecke			AD				
bewert. Norm-Trittschallpegel			$L_{n,w}$ 40 [dB]				
bewerteter Standard-Trittschallpegel			$L'_{nT,w}$ 44 [dB]				
			erforderlich 48 [dB]		U M 1:20		
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
Baustoffschichten		Typ	d	ρ	$\rho \cdot d$	E_{dyn}	s'
von außen nach innen			Dicke	Dichte	Flächengewicht	dyn. E-Modul	dyn. Steifigkeit
Nr.	Bezeichnung		[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ³]
1	Naturstein Platten	V	0,0200	2.800,0	56,00		
2	Mörtelbett	V	0,0100	2.200,0	22,00		
3	Einkommörtel (Annahme: Mörtelbett)	V	0,0500	2.200,0	110,00		
4	Filtervlies		0,0050	120,0	0,60		
5	Gummigranulatmatte	DS	0,0100	640,0	6,40	0,50	50,00
6	bitum. Abdicht. 2-lagig (gem. ON B 3691, Tak		0,0100	1.200,0	12,00		
7	EPS-W 25	DS	0,1800	25,0	4,50	14,00	77,78
8	Villas ALGV-45E		0,0038	1.000,0	3,80		
9	Stahlbeton-Decke im Gefälle	M	0,2000	2.400,0	480,00		
Dicke des Bauteils			0,489				
Flächenbezogene Masse m' des Bauteils					678,90 [kg/m ²]		
Flächenbezogene Masse m' der biegesteifen Schale					m_1' 480,00 [kg/m ²]		
Flächenbezogene Masse m' der biegeweichen Schale					m_2' 188,00 [kg/m ²]		
mittlere flächenbez. Masse der flankierenden Bauteile m'					200,00 [kg/m ²]		
Volumen des Empfangsraums - Referenzraum					25,00 [m ³]		
gemäß ÖNORM B 8115-1 und gemäß ÖN EN 12354-2:2000		Massivdecke mit schwimmendem Estrich					
bewert. Norm-Trittschallp. der Rohdecke		$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \cdot \log(m_1')$				70,2 [dB]	
Trittschall -Verbesserungsmaß ΔL_w		Bild 19/20 - ÖNORM B 8115-4:2003				30,0 [dB]	
bewert. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$		$L_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w$				40,2 [dB]	
bewert. Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$		$L'_{n,w} = L_{nT,w,eq} - \Delta L_w + K$				43,2 [dB]	
bewert. Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$		$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \lg V + 14,9$				44,1 [dB]	

5.1.4 Aufbau 4

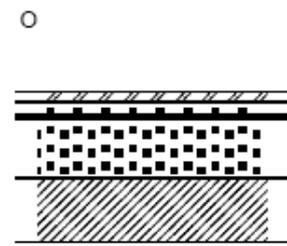
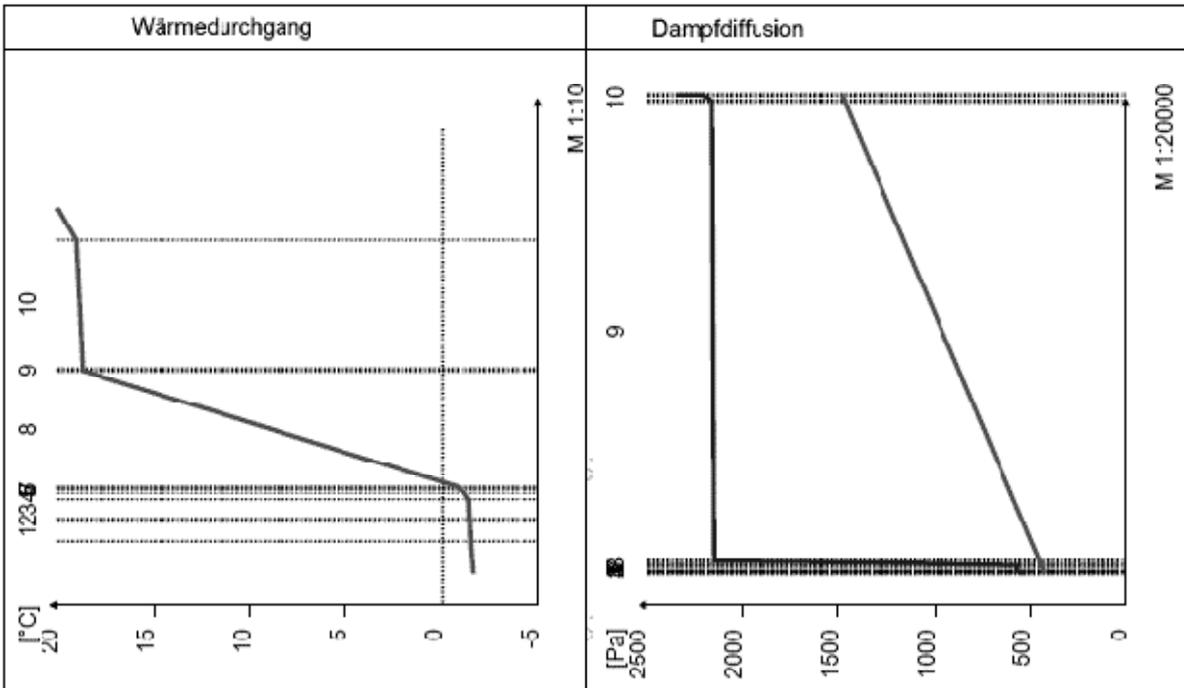
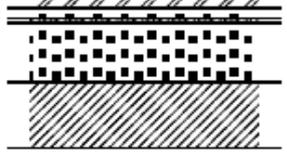
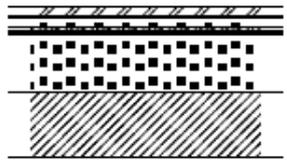
<h2 style="margin: 0;">Nachweis des Wärmeschutzes</h2> <p style="margin: 0;">ÖIB Richtlinie 6:2011 (ON 2010)</p> <h3 style="margin: 0;">U-Wert von opaken Bauteilen</h3>								
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6) Auftraggeber				Verfasser der Unterlagen <div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;"> A O NULL </div>				
Bauteilbezeichnung Terrasse - Naturstein, Klebemörtel, EK-Mörtel, Drainmatt				Bauteil Nr. AD 4				
Bauteiltyp Außendecke				AD				
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert				0,18 [W/(m²K)]				
				erforderlich 0,20 [W/(m²K)]		U	M 1:20	
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
Nr.	Baustoffschichten von außen nach innen Bezeichnung	ID kurz	berücksichtigen	d	λ	R = d/λ	ρ * d	
				Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/m K]	Durchlassw. [m²K/W]	Dichte [kg/m³]	Flächengewicht [kg/m²]
1	Naturstein Platten	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0300	3,500	0,009	2.800,0	84,0
2	Klebemörtel	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0050	1,400	0,004	2.000,0	10,0
3	MorTec (kunstharzgeb. EK-Mörtel)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0300	2,300	0,013	2.200,0	66,0
4	Gummigranulatmatte	bauboo	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	0,170	0,059	640,0	6,4
5	Drainmatte 8mm (Luft steh.6 < d <= 10mm)	bauboo	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0060	0,071	0,085	1,2	0,0
6	PE - Folie (gem. ON B 3691)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0002	0,250	0,001	1.100,0	0,2
7	EPDM (Ethylenpropyldien , monomer)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0030	0,250	0,012	1.150,0	3,4
8	EPS-W 25	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1800	0,036	5,000	25,0	4,5
9	Villas ALGV-45E	Villas	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0038	0,170	0,022	1.000,0	3,8
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle (20cm)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2,300	0,087	2.400,0	480,0
Dicke des Bauteils				0,468				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								658,3
Summe der Wärmedurchlasswiderstände $\sum R_t$						5,292	[m²K/W]	
					R_{si}, R_{se}			
					Koeffizient	Widerstand		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand innen				10,000		0,100		
Wärmeübergangskoeffizient/widerstand außen				25,000		0,040		
Summe der Wärmeübergangswiderstände $R_{si} + R_{se}$					0,140		[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$					5,432		[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T$					0,184		[W/(m²K)]	

Diagramme Wärmedurchgang und Dampfdiffusion



Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL)	Verfasser der Unterlagen: AQ NULL		Bauteiltyp Außendecke		Bauteiltypkürzel AD
Auftraggeber/Bauherr			AD 4		AD
Geschäftszahl					
Bauteilbezeichnung Terrasse - Naturstein, Klebemörtel, EK-Mörtel					
Menge:	0,000 [kg/m ² a]	Dauer:		0,0 [h]	
Kondensation					0,0 [h]
Verdunstung					
Bauteilbeurteilung Der Bauteil Terrasse - Natursteinbelag auf Klebemörtel und Drainmatte ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.					
GRUNDWERTE	μ	t [°C]	P_s [Pa]	P_{th} [Pa]	Φ_s %
d [m]	-	t_a	532,3	430,8	80
SCHICHTFOLGE					
O	1	2	3	4	5
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12
U	10	9	8	7	6
V	8	9	10	11	12</

<h2 style="text-align: center;">Nachweis des Schallschutzes</h2> <p style="text-align: center;">ÖNORM B 8115-4:2003 09 01</p> <h3 style="text-align: center;">Luftschall von opaken Bauteilen</h3>							
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6) Auftraggeber				Verfasser der Unterlagen 			
Bauteilbezeichnung Terrasse - Naturstein, Klebemörtel, EK-Mörtel, Drainmatt				Bauteil Nr. AD 4			
Bauteiltyp Außendecke				AD			
bewertetes Schalldämm-Maß R_w				65 [dB]			
erforderlich				43 [dB]		U M 1:20	
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
	Baustoffschichten	Typ	d	ρ	$\rho * d$	E_{dyn}	s'
	von außen nach innen		Dicke	Dichte	Flächengewicht	dyn. E-Modul	dyn. Steifigkeit
Nr	Bezeichnung		[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ³]
1	Naturstein Platten	V	0,0300	2.800,0	84,00		
2	Klebemörtel	V	0,0050	2.000,0	10,00		
3	MorTec (kunstharzgeb. EK-Mörtel)	V	0,0300	2.200,0	66,00		
4	Gummigranulatmatte	DS	0,0100	640,0	6,40	0,70	70,00
5	Drainmatte 8mm (Luft steh. 6 < d <= 10 mm)		0,0060	1,2	0,01		
6	PE - Folie (gem. ON B 3691)		0,0002	1.100,0	0,22		
7	EPDM (Ethylenpropylen diene, monomer)		0,0030	1.150,0	3,45		
8	EPS-W 25	DS	0,1800	25,0	4,50	14,00	77,78
9	Villas ALGV-45E		0,0038	1.000,0	3,80		
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle (20cm)	M	0,2000	2.400,0	480,00		
Dicke des Bauteils			0,468				
Flächenbezogene Masse m' des Bauteils					650,90		[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m' der biegesteifen Schale m_1'					480,00		[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m' der biegeweichen Schale m_2'					160,00		[kg/m ²]
gemäß ÖNORM B 8115-1:2003 und gemäß ON EN 12354-2:2000				Massivdecke mit schwimmendem Estrich			
Resonanzfrequenz f_0				ÖN B 8115-4, Tabelle 4, Zeile 4	76,8		[Hz]
Veränderung des bewert. Schalldämm-Maßes ΔR_w				ÖN B 8115-4:2003, Tabelle 5	4,5		[dB]
bewert. Schalldämm-Maß der Masseschicht				$R_w = 32,4 * \log m_1' - 26$	60,9		[dB]
Gesamtes bewert. Schalldämm-Maß				$R_{w,ges} = R_w + \Delta R_w$	65,4		[dB]

Nachweis des Schallschutzes							
ÖNORM B 8115-4:2003 09 01							
Trittschall von opaken Bauteilen							
Objekt Flachdach mit geschlossenem Gehbelag (RL 6)				Verfasser der Unterlagen			
Auftraggeber							
Bauteilbezeichnung Terrasse - Naturstein, Klebemörtel, EK-Mörtel, Drainmatt				Bauteil Nr. AD 4			
Bauteiltyp Außendecke				AD			
bewert. Norm-Trittschallpegel				$L_{n,w}$			
bewerteter Standard-Trittschallpegel				$L'_{nT,w}$		46 [dB]	
erforderlich						48 [dB]	
				U		M 1:20	
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
Baustoffschichten		Typ	d	ρ	$\rho \cdot d$	E_{dyn}	s'
von außen nach innen			Dicke	Dichte	Flächengewicht	dyn. E-Modul	dyn. Steifigkeit
Nr	Bezeichnung		[m]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ³]
1	Naturstein Platten	V	0,0300	2.800,0	84,00		
2	Klebemörtel	V	0,0050	2.000,0	10,00		
3	MorTec (kunstharzgeb. EK-Mörtel)	V	0,0300	2.200,0	66,00		
4	Gummigranulatmatte	DS	0,0100	640,0	6,40	0,70	70,00
5	Drainmatte 8mm (Luft steh.6 < d <= 10 mm)		0,0060	1,2	0,01		
6	PE - Folie (gem. ON B 3691)		0,0002	1.100,0	0,22		
7	EPDM (Ethylenpropylen, monomer)		0,0030	1.150,0	3,45		
8	EPS-W 25	DS	0,1800	25,0	4,50	14,00	77,78
9	Villas ALGV-45E		0,0038	1.000,0	3,80		
10	Stahlbeton-Decke im Gefälle (20cm)	M	0,2000	2.400,0	480,00		
Dicke des Bauteils			0,468				
Flächenbezogene Masse m' des Bauteils					650,90	[kg/m ²]	
Flächenbezogene Masse m' der biegesteifen Schale					m_1'	480,00	[kg/m ²]
Flächenbezogene Masse m' der biegeweichen Schale					m_2'	160,00	[kg/m ²]
mittlere flächenbez. Masse der flankierenden Bauteile m'					200,00	[kg/m ²]	
Volumen des Empfangsraums - Referenzraum					25,00	[m ³]	
gemäß ÖNORM B 8115-1 und gemäß ÖN EN 12354-2:2000				Massivdecke mit schwimmendem Estrich			
bewert. Norm-Trittschallp. der Rohdecke			$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \cdot \log(m_1')$			70,2	[dB]
Trittschall -Verbesserungsmaß ΔL_w			Bild 19/20 - ÖNORM B 8115-4:2003			28,0	[dB]
bewert. Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$			$L_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w$			42,2	[dB]
bewert. Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$			$L'_{n,w} = L_{nT,w,eq} - \Delta L_w + K$			45,2	[dB]
bewert. Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$			$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \lg V + 14,9$			46,1	[dB]

5.2 WUFI Datenblätter

Das numerische Simulationsprogramm WUFI Pro 5.3 stellt im Anschluss von Bauteilberechnungen eine Vielzahl von Ausgabemöglichkeiten der Ergebnisse zur Verfügung. Da die gesammelten Resultate den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden, werden neben den in Kapitel 4.5.3 dargestellten Ergebnissen folgende Datenblätter angeführt:

1. Eingabedaten der Berechnung
2. Ergebnisgrafiken für
 - a) Regen
 - b) solare Strahlung
 - c) Temperatur von Außen- und Innenluft
 - d) relative Feuchte von Außen- und Innenluft

5.2.1 Aufbau 1

Randbedingungen

Außen (linke Seite)

Klimaort: Wien; Wien, Hohe Warte
Orientierung / Neigung: Süd / 2 °

Innen (rechte Seite)

Innenklima: WTA-Merkblatt 6-2-01/D
Raumklimabedingungen, normale Feuchtelast

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen (linke Seite)

Bezeichnung	Bemerkung	Einheit	Wert
Wärmeübergangskoeffizient - beinhaltet langwelligen Strahlungsanteil	Dach	[W/m²K]	19,011 ja
Sd-Wert		[m]	0
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	Dunkel	[-]	0,80
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Dunkel	[-]	0,90
Anhaftender Anteil des Regens		[-]	0,3
Explizite Strahlungsbilanz			nein

Innen (rechte Seite)

Bezeichnung	Bemerkung	Einheit	Wert
Wärmeübergangskoeffizient	Dach	[W/m²K]	8,0
Sd-Wert	Keine Beschichtung	[m]	----

Quellen, Senken

*Kiesbett drainage (AP Sandstein)

Bezeichnung	Typ		
Quelle1	<i>Luftwechselquelle</i>		
	Ganze Schicht		
	Mischung mit Luft von linker Seite		
	Luftwechsel	[1/h]	0

Ergebnisse der letzten Rechnung

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	22.03.2013 19:47:34
Rechenzeit	0 min,20 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2011 / 01.10.2012
Anzahl der Konvergenzfehler	0

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	4,06 -3,24
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	2,38 0,27
Bilanz 1	[kg/m ²]	-1,83
Bilanz 2	[kg/m ²]	-1,83

Wassergehalt [kg/m³]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	17,49	15,62	15,11	18,03

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
*Fliesen ($\mu=500$)	7,30	8,33	1,91	50,18
*Dünnbettmörtel (Annahme IBP)	10,00	23,90	8,95	65,49
*Zementestrich	37,40	46,38	37,32	47,78
*PE-Folie	0,44	0,55	0,41	0,55
*Kiesbettdrainage (AP Sandstein)	2,00	4,86	1,98	4,86
*Schutzvlies	4,50	12,97	4,23	15,37
*bituminöse Dachbahn, V13	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS-30	1,79	1,97	1,76	1,97
*Dampfsperre (sd=1500m)	0,00	0,00	0,00	0,00
*Beton, C35/45	75,00	61,59	60,81	75,00

Zeitintegral der Ströme

Wärmestrom, linke Seite	[MJ/m ²]	-26,69
Wärmestrom, rechte Seite	[MJ/m ²]	-26,78
Wärmequellen	[MJ/m ²]	0,0
Feuchteströme, linke Seite	[kg/m ²]	0,82
Feuchteströme, rechte Seite	[kg/m ²]	2,68
Feuchtequellen	[kg/m ²]	0,0
Nicht aufgenommene Feuchtequellen	[kg/m ²]	0,0

5.2.2 Aufbau 2

Randbedingungen

Außen (linke Seite)

Klimaort: Wien; Wien, Hohe Warte
Orientierung / Neigung: Süd / 2 °

Innen (rechte Seite)

Innenklima: WTA-Merkblatt 6-2-01/D
Raumklimabedingungen, normale Feuchtelast

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen (linke Seite)

Bezeichnung	Bemerkung	Einheit	Wert
Wärmeübergangskoeffizient - beinhaltet langwelligen Strahlungsanteil	Dach	[W/m ² K]	19,011 ja
Sd-Wert		[m]	0
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	Dunkel	[-]	0,80
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Dunkel	[-]	0,90
Anhaftender Anteil des Regens		[-]	0,3
Explizite Strahlungsbilanz			nein

Innen (rechte Seite)

Bezeichnung	Bemerkung	Einheit	Wert
Wärmeübergangskoeffizient	Dach	[W/m ² K]	8,0
Sd-Wert	Keine Beschichtung	[m]	----

Quellen, Senken

*Drainmatte 16mm (Annahme: Luft 10 mm)

Bezeichnung	Typ		
Quelle1	<i>Luftwechselquelle</i>		
	Ganze Schicht		
	Mischung mit Luft von linker Seite		
	Luftwechsel	[1/h]	1

Ergebnisse der letzten Rechnung

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	22.03.2013 21:18:04
Rechenzeit	0 min, 19 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2011 / 01.10.2012
Anzahl der Konvergenzfehler	0

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	4,55 -3,84
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	2,37 0,28
Bilanz 1	[kg/m ²]	-2,13
Bilanz 2	[kg/m ²]	-2,14

Wassergehalt [kg/m³]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	17,41	15,24	14,86	17,89

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
*Fliesen (Annahme1: MASEA Granit)	7,30	8,65	1,83	49,93
*Dünnbettmörtel (Annahme IBP)	10,00	23,54	9,06	62,38
*Zementestrich	37,40	45,75	37,36	47,43
*PE-Folie (IBP: sd = 50 m)	0,00	0,00	0,00	0,00
*Drainmatte 16mm (Annahme: Luft 1)	1,88	0,59	0,24	1,93
*Schutzvlies	4,50	2,31	1,32	5,08
*Dachbahn V13	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS-30	1,79	1,65	1,65	1,79
*Dampfsperre (sd=1500m)	0,00	0,00	0,00	0,00
*Beton, C35/45	75,00	61,59	60,80	75,00

Zeitintegral der Ströme

Wärmestrom, linke Seite	[MJ/m ²]	-26,04
Wärmestrom, rechte Seite	[MJ/m ²]	-26,53
Wärmequellen	[MJ/m ²]	-0,66
Feuchteströme, linke Seite	[kg/m ²]	0,7
Feuchteströme, rechte Seite	[kg/m ²]	2,68
Feuchtequellen	[kg/m ²]	-0,192
Nicht aufgenommene Feuchtequellen	[kg/m ²]	0,0

5.2.3 Aufbau 3

Randbedingungen

Außen (linke Seite)

Klimaort: Wien; Wien, Hohe Warte
Orientierung / Neigung: Süd / 2 °

Innen (rechte Seite)

Innenklima: WTA-Merkblatt 6-2-01/D
Raumklimabedingungen, normale Feuchtelast

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen (linke Seite)

Bezeichnung	Bemerkung	Einheit	Wert
Wärmeübergangskoeffizient - beinhaltet langwelligen Strahlungsanteil	Dach	[W/m ² K]	19 ja
Sd-Wert		[m]	0
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	Dunkel	[-]	0,80
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Dunkel	[-]	0,90
Anhaftender Anteil des Regens		[-]	0,3
Explizite Strahlungsbilanz			nein

Innen (rechte Seite)

Bezeichnung	Bemerkung	Einheit	Wert
Wärmeübergangskoeffizient	Dach	[W/m ² K]	8
Sd-Wert	Keine Beschichtung	[m]	----

Ergebnisse der letzten Rechnung

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	22.03.2013 22:08:51
Rechenzeit	0 min,21 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2011 / 01.10.2012
Anzahl der Konvergenzfehler	0

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	13,84 -13,44
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	2,38 0,28
Bilanz 1	[kg/m ²]	-2,26
Bilanz 2	[kg/m ²]	-2,26

Wassergehalt [kg/m³]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	16,05	13,76	13,23	16,87

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
*Natursteinbelag 2 (Annahme: MASE)	7,30	6,28	0,50	49,59
*Mörtelbett 2 (IBP)	10,00	19,04	3,27	60,32
*Einkornmörtel (Annahme: IBP VZ, e)	9,20	13,16	8,94	20,31
*Schutzvlies (Annahme: IBP mineral.)	4,50	8,05	4,33	22,86
*EPDM-Novotan d=1,3mm (Annahme)	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS-30	1,79	2,41	1,75	2,41
Dampfsperre (sd=1500m)	0,00	0,00	0,00	0,00
*Beton, C35/45	75,00	61,56	60,77	75,00

Zeitintegral der Ströme

Wärmestrom, linke Seite	[MJ/m ²]	-26,5
Wärmestrom, rechte Seite	[MJ/m ²]	-27,01
Wärmequellen	[MJ/m ²]	0,0
Feuchteströme, linke Seite	[kg/m ²]	0,39
Feuchteströme, rechte Seite	[kg/m ²]	2,69
Feuchtequellen	[kg/m ²]	0,0
Nicht aufgenommene Feuchtequellen	[kg/m ²]	0,0

5.2.4 Aufbau 4

Randbedingungen

Außen (linke Seite)

Klimaort: Wien; Wien, Hohe Warte
 Orientierung / Neigung: Süd / 2 °

Innen (rechte Seite)

Innenklima: WTA-Merkblatt 6-2-01/D
 Raumklimabedingungen, normale Feuchtelast

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen (linke Seite)

Bezeichnung	Bemerkung	Einheit	Wert
Wärmeübergangskoeffizient - beinhaltet langwelligen Strahlungsanteil	Dach	[W/m ² K]	19 ja
Sd-Wert		[m]	0
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	Dunkel	[-]	0,80
Langwellige Strahlungsemissionszahl	Dunkel	[-]	0,90
Anhaftender Anteil des Regens		[-]	0,3
Explizite Strahlungsbilanz			nein

Innen (rechte Seite)

Bezeichnung	Bemerkung	Einheit	Wert
Wärmeübergangskoeffizient	Dach	[W/m ² K]	8
Sd-Wert	Keine Beschichtung	[m]	----

Quellen, Senken

*Drainmatte 8mm (Annahme: Luftschicht 5 mm)

Bezeichnung	Typ		
Quelle1	Luftwechselquelle		
	Ganze Schicht		
	Mischung mit Luft von rechter Seite		
	Luftwechsel	[1/h]	1

Ergebnisse der letzten Rechnung

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	24.03.2013 21:58:33
Rechenzeit	0 min,23 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2011 / 01.10.2012
Anzahl der Konvergenzfehler	4

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	6,84 -6,95
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	2,37 0,29
Bilanz 1	[kg/m ²]	-2,88
Bilanz 2	[kg/m ²]	-2,89

Wassergehalt [kg/m³]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	15,9	12,98	12,65	15,9

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
*Natursteinbelag 1 (IBP: Zeitzer Sand)	8,00	5,21	1,32	25,05
*Mörtelbett 2 (Annahme IBP)	10,00	4,56	0,80	32,28
*MorTec Drainmörtel (Annahme: IBP)	9,20	5,39	2,09	18,46
*Drainmatte 8mm (Annahme: Luftschicht)	1,88	0,72	0,14	6,37
*PE-Folie (IBP: sd = 50 m)	0,00	0,00	0,00	0,01
*EPDM-Novotan DA d=1,3mm (Annahme: IBP)	0,00	0,00	0,00	0,00
*EPS (Wärmeleit.: 0.04 W/mK - Dichtung)	1,79	1,77	1,77	1,82
*Villox ALGV 45 sd=1000m, d=3,8mm	0,00	0,00	0,00	0,00
*Beton C35/45	75,00	61,60	60,78	75,00

Zeitintegral der Ströme

Wärmestrom, linke Seite	[MJ/m ²]	-26,54
Wärmestrom, rechte Seite	[MJ/m ²]	-26,49
Wärmequellen	[MJ/m ²]	0,23
Feuchteströme, linke Seite	[kg/m ²]	-0,12
Feuchteströme, rechte Seite	[kg/m ²]	2,68
Feuchtequellen	[kg/m ²]	-0,126
Nicht aufgenommene Feuchtequellen	[kg/m ²]	0,0

5.2.4 Regen, Solarstrahlung, Temperatur, relative Luftfeuchte

