



5. JULI 2022

ZUB ESTHER

EINFÜHRUNG IN DIE HYGROTHERMISCHE SIMULATION

Dipl.-Phys. Raimund Käser & Dipl.-Ing. Wilhelm Liese M.SC.
ZUB SYSTEMS



Inhalt

1. Einleitung.....	4
2. Einführung in den Feuchteschutz.....	5
2.1 ZUB ESTHER® – Fähigkeiten und Grenzen.....	6
2.2 Nachweismethoden	7
2.2.1 Konstruktionen ohne rechnerischen Tauwassernachweis (Nachweisfreie Konstruktionen). 7	
2.2.2 Periodenbilanzverfahren zur Berechnung von Diffusionsvorgängen (Glaser-Verfahren)	7
2.2.3 Hygrothermische Simulation.....	8
3.0 Klimabedingter Feuchteschutz.....	10
3.1 Einleitung.....	10
3.2 DIN 4108-2 – Mindestwärmeschutz.....	13
3.3 DIN 4108-3 - Klimabedingter Feuchteschutz.....	14
3.4 DIN EN ISO 13788 - Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen	14
3.5 WTA-Merkblätter	14
4. Hygrothermische Simulation.....	15
4.1 Arbeiten mit ZUB Esther®	15
4.1.1 Projektdaten.....	15
4.1.2 Gebäude	16
4.1.3 Außenklima.....	21
4.1.4 Innenklima	24
4.1.5 Projektbericht.....	25
4.2 Bauteil.....	26
4.2.1 Bauteiltyp	26
4.2.3 Übergänge	28
4.2.4 Aufbau	32
4.2.5 Bauteilbericht	34
4.2.6 Ergebnisse.....	34
4.3 Variante anlegen	40
4.4 Neues Bauteil anlegen.....	40
5. Ausgabe: Bericht.....	40
FAQs	43
Warum gibt es keine Verknüpfung mehr zur ZUB Helena Datenbank	43
Warum können keine Projektdateien aus ZUB Esther 5.2 geöffnet werden?.....	43
Warum kann in ZUB ESTHER kein eigener Baustoff angelegt werden?.....	43
Warum werden in ZUB ESTHER viele Folien mit mindestens 1mm Dicke eingegeben?	44

Warum werden in der Baustoffdatenbank von ZUB ESTHER teilweise keine lambda-Werte angezeigt?	45
Kann man mit ZUB Esther ein projektspezifisches Innenklima für den gesamten Betrachtungszeitraum ansetzen?	45
Kann eine Verschattung eines Flachdaches (Holzbauweise) berücksichtigt werden?	46
Erfüllt ZUB Esther alle Anforderungen, die in DIN EN 15026 beschrieben werden?	46
Übersicht der relevanten Normen und Verordnungen	47
Literaturverzeichnis	48

Die vorliegenden Unterlagen wurden nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt zusammengestellt. Da Fehler jedoch nie auszuschließen sind, kann keine Gewähr für Vollständigkeit und Richtigkeit der Angaben übernommen werden. Insbesondere die Fortschreibung technischer Bestimmungen und Normen sowie deren Auslegung bedarf der eigenständigen und kritischen Prüfung und Diskussion der Beispiele anhand der aktuellen Regeln der Technik. Grundlage für reale Projekte müssen eigene Planungen und Berechnungen gemäß den jeweils geltenden rechtlichen Bestimmungen sein. Eine Haftung des Verfassers dieser Unterlagen für unsachgemäße, unvollständige oder falsche Angaben und aller daraus entstehenden Schäden wird grundsätzlich ausgeschlossen.

Das Urheberrecht liegt ausschließlich bei den Autoren. Eine Weiterverwendung der Unterlagen oder Teile der Unterlagen z. B. als Seminarunterlage oder Kopiervorlage für andere Fortbildungsveranstaltungen ist ebenso wie die Einspeicherung in elektronische Medien ohne ausdrückliche Zustimmung nicht gestattet!

Kassel, 2022

1. Einleitung

Die Software ZUB ESTHER® dient zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport in eindimensionalen mehrschichtigen Bauteilen. Bei der Anwendung des Programms geht es um die Prüfung des klimabedingten Feuchteschutzes mittels hygrothermischer Simulation.

ZUB ESTHER® ist ein Programm auf Basis des WUFI® Rechenkerns und wurde speziell für den baupraktischen Nachweis entwickelt. ZUB ESTHER® verfügt über eine Benutzeroberfläche, mit der Sie schnell ein Projekt erstellen, Parameter für numerische Experimente ändern und die Ergebnisse in grafischer Form betrachten können. Als Randbedingungen dienen meteorologische Daten (Temperatur, relative Luftfeuchte, Regen/Schlagregen, Strahlung) und Raumklimadaten (Temperatur, relative Luftfeuchte), da diese in der Bauphysik die geeigneten Parameter zur Beschreibung der Verhältnisse an der Oberfläche eines Außenbauteils sind. Das Programm ist nur für Bauteilnachweise bei wohn- oder wohnähnlichen Nutzungen anwendbar. Andere Nutzungen wie z.B. Kühl- und Kälteräume, Schwimmbäder oder gewerbliche bzw. industrielle Nutzungen können mit ZUB ESTHER® nicht abgebildet werden.

Um die Software ZUB ESTHER® nutzen zu können, ist die Kenntnis der DIN 4108-3 sowie die entsprechenden WTA-Richtlinien für eine erfolgreiche Bearbeitung notwendig.

Ziel des Verfahrens ist es, potenziell schädliche Wassergehalte in Baustoffen bzw. Baukonstruktionen zu vermeiden. Diese treten insbesondere dann auf, wenn Wasser von außen durch Regen einwirkt, sich Feuchtigkeit in der Konstruktion durch fehlende Luftdichtheit bildet oder herstellungsbedingt sich noch Rest-Feuchtigkeit in der Konstruktion befindet. Unzulässig hohe Wassergehalte können durch einen funktionssicheren Konstruktionsaufbau vermieden werden.

Konstruktionen können die Anforderungen an den Feuchteschutz einhalten, wenn die Schichtenfolge der Konstruktion sowie die Schichtdicken und die verwendeten Materialien sinnvoll aufeinander abgestimmt werden. ZUB ESTHER® unterstützt Sie bei der Planung der Baukonstruktion, indem Wärme- und Feuchtetransportvorgänge über einen bestimmten Zeitraum simuliert werden, so dass die notwendigen Maßnahmen zur Einhaltung der Anforderung an den Feuchteschutz ermittelt werden können.

Mit ZUB ESTHER® steht Ihnen ein baupraktisches Werkzeug zur einfachen Bestimmung und Berechnung des dynamischen Feuchteverhaltens von Bauteilen zur Verfügung. Ideal zur Sanierung von Altbauten und zur Weiterentwicklung von Konstruktionen im Neubau.

2. Einführung in den Feuchteschutz

Der Feuchteschutz wird schon seit langer Zeit in den Ingenieurwissenschaften diskutiert (z.B. im Handbuch des bürgerlichen und ländlichen Hochbauhandwerks (Leipzig, 1865) gibt es bereits Hinweise zum Feuchteschutz).

Bei der Planung ist es von zentraler Bedeutung, das Bauwerk vor Wasser (bzw. Feuchtigkeit) zu schützen um bauliche, energetische oder hygienische Mängel zu vermeiden.

In Deutschland werden die Anforderungen an den Wärme-, Feuchte- und Mindestwärmeschutz in der Normenreihe DIN 4108 behandelt.

Die DIN 4108-3 **Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung** legt Anforderungen sowie

Berechnungsverfahren fest und gibt Hinweise für die Planung und Ausführung zum klimabedingten Feuchteschutz in Gebäude. DIN 4108-3 gilt für Aufenthaltsräume. Nebenräume, die zu Aufenthaltsräumen gehören, werden im Sinne dieser Norm wie Aufenthaltsräume behandelt.

Die Ziele des klimabedingten Feuchteschutzes nach DIN 4108-3 sind:

- Schutz der Konstruktion durch Schlagregen;
- Vermeidung kritischer Luftfeuchten an Bauteiloberflächen (mit Verweis auf DIN 4108-2);
- Vermeidung von Tauwasserbildung im Inneren der Konstruktion.

DIN 4108-3 legt zudem ein Verfahren fest für die

- Berechnung der Wasserdampf-Diffusion zur Ermittlung von Tauwasser- und Verdunstungsmengen;

Darüber hinaus gibt die DIN 4108-3 Hinweise zur Luftdichtheit von Konstruktionen sowie Berechnungs- und Ausführungshinweise zur Vermeidung von Wärmebrücken.

Die Einwirkung von Tauwasser aus der Raumluft (durch z.B. Diffusion bzw. Konvektion) unter winterlichen Bedingungen sowie die Einwirkung von Schlagregen auf die Baukonstruktion sollte so begrenzt werden, dass Schäden vermieden werden. Aufgrund von Durchfeuchtung von Baustoffen oder Bauteilen können u.a. folgende Probleme bzw. Schäden auftreten:

- ungesundes Raumklima durch Schimmelpilzbefall,
- eine Durchfeuchtung der Wärmedämmung führt zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit und damit Verminderung der Dämmwirkung,



Abbildung 1: Handbuch des bürgerlichen und ländlichen Hochbauhandwerks (Leipzig, 1865)

- Schäden durch Frosteinwirkung (Ausblühungen durch Salze),
- Gefährdung der Standsicherheit der Konstruktion durch Fäulnis, Verrottung und Korrosion.

Feuchtebedingte Schäden führen zudem zu einer Minderung des Wertes und der Lebensdauer des Gebäudes.

2.1 ZUB ESTHER® – Fähigkeiten und Grenzen

ZUB ESTHER® ist ein Computerprogramm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in mehrschichtigen Bauteilen auf Basis des Programms WUFI® des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (Holzkirchen). Dieses Programm wurde durch Vergleiche mit experimentellen Ergebnissen vielfach validiert. ZUB ESTHER® eignet sich beispielsweise zur Bestimmung

- der Austrocknungszeit von Baufeuchten,
- der Tauwassergefahr in Bauteilen,
- des Einflusses von Schlagregen auf Außenbauteile,
- der Auswirkungen von Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen,
- des hygrothermischen Verhaltens von Dach- und Wandkonstruktionen.

ZUB ESTHER® rechnet nur eindimensionale Vorgänge. Situationen, die nicht in hinreichender Näherung auf eindimensionale Verhältnisse zurückführbar sind, lassen sich damit nicht behandeln (z.B. geometrische Wärmebrücken, aufsteigende Feuchte etc.). Einige Transportphänomene werden vernachlässigt, daher können z.B. Luftströmungen im Bauteil, Aufnahme drückenden Grundwassers etc. nicht berechnet werden. Die gegenseitigen Einflüsse von Salz- und Wassertransport werden nicht berücksichtigt. Weitere Informationen zu den Grenzen der Anwendung können der Hilfe in ZUB ESTHER® entnommen werden.

2.2 Nachweismethoden

Für den Nachweis des Feuchteschutzes stehen nach DIN 4108-3 verschiedene Methoden zur Verfügung.

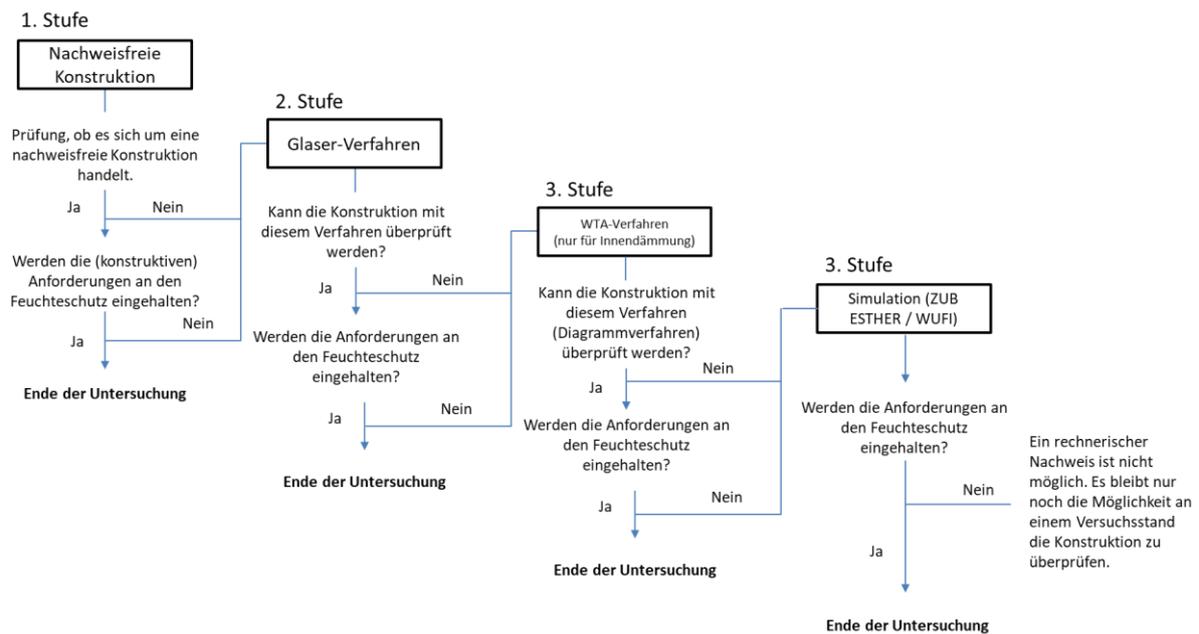


Abbildung 2: Nachweismethoden des Feuchteschutzes (Quelle: Wilhelm Liese).

Dieses Handbuch legt den Schwerpunkt auf die 4. Stufe (Simulation mit ZUB Esther).

2.2.1 Konstruktionen ohne rechnerischen Tauwassernachweis (Nachweisfreie Konstruktionen)

In DIN 4108-3 sind in Abschnitt 5.3 zunächst Bauteile bzw. Konstruktionen aufgeführt, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist, sofern die Bauteile über einen ausreichenden Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 verfügen und die Bauteile und Bauteilanschlüsse gemäß DIN 4108-7 luftdicht ausgeführt sind. Z.B. gehören Bodenplatten mit Perimeterdämmung und Bauwerksabdichtungen zu den nachweisfreien Konstruktionen, sofern der Anteil der raumseitigen Schichten am Gesamtwärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte nicht mehr als 20% beträgt.

2.2.2 Periodenbilanzverfahren zur Berechnung von Diffusionsvorgängen (Glaser-Verfahren)

Das Periodenbilanzverfahren ermittelt näherungsweise die Feuchtigkeitsanreicherung durch Wasserdampf-Diffusion in Bauteilen. Weitere Feuchtetransportprozesse z.B. durch Dampfkonvektion oder kapillare und sorptive Prozesse werden hierbei nicht bewertet. Bei diesem Verfahren wird von standardisierten Block-Klima-Randbedingungen ausgegangen.

Im Winter herrscht aufgrund des Temperaturunterschieds zwischen innen und außen ein Dampfdruckgefälle. Zwischen dem Innenraum eines beheizten Gebäudes und der Außenluft kann es dann aufgrund der unterschiedlichen Wasserdampfdiffusionswiderstände der Materialschichten bei bestimmten Konstruktionsschichten zur Tauwasserbildung kommen.

Bei dem Verfahren wird nun geprüft, ob die während der Kondensations- oder Tauperiode durch Diffusion erzeugte Tauwassermenge in der Konstruktion während der Verdunstungsperiode wieder vollständig austrocknen kann. Es ist zu beachten, dass die errechneten Tauwasser- und Verdunstungsmengen aufgrund der gesetzten Randbedingungen in der Praxis so kaum vorkommen. Deshalb ist auch die Höhe der Tauwassermenge kein Hinweis für die Qualität einer Konstruktion. Entscheidend ist in diesem Verfahren nur die Feststellung, ob die errechnete Tauwassermenge wieder vollständig austrocknet oder nicht.

Das Periodenbilanzverfahren (Glaser-Verfahren) ist nach DIN 4108-3 nicht anwendbar bei

- Konstruktionen von unbeheizten oder gekühlten Räumen;
- Konstruktionen die einer hohen Feuchtelast ausgesetzt sind (z.B. Schwimmbäder, Käsereien);
- erdberührten Bauteilen;
- Bauteile zu unbeheizten Nebenräumen (sowie Kellerräume)
- Dachkonstruktionen mit Plattenbelägen und Holzrosten;
- Dachbegrünung /-bekiesung;
- einschalige innengedämmte (Dämmung mit $R > 1,0\text{m}^2\text{K/W}$) Außenwände mit ausgeprägten sorptiven Eigenschaften;
- gedämmte, nicht belüftete Holzdachkonstruktionen mit Metaldachdeckung
- gedämmte, nicht belüftete Holzdachkonstruktionen mit Abdichtung auf Schalung oder Beplankung ohne Hinterlüftung der Abdichtungs- / Deckunterlage.
- Berechnung des natürlichen Austrocknungsverhaltens (Abgabe von Rohbaufeuchte oder Aufnahme von Niederschlagswasser).

Das Periodenbilanzverfahren (Glaser-Verfahren) ist nur eingeschränkt anwendbar bei

- Dachkonstruktionen die überwiegend verschattet sind;
- Dachkonstruktionen die eine sehr helle Oberfläche aufweisen;
- Bauteile mit einer Innen- oder Außenschicht mit s_d -Wert $> 2\text{m}$
- Innengedämmte Konstruktionen mit einem s_d -Wert $> 2\text{m}$.

Das Periodenbilanzverfahren ist nur als ein Hilfsmittel für den Nachweis des klimabedingten Feuchteschutzes gedacht. Das Verfahren berücksichtigt nicht die realen, physikalischen Vorgänge.

Neben dem rechnerischen Nachweis muss auch die Abdichtung (Schlagregenschutz, luftdichte Konstruktion nach DIN 4108-7) von Bauwerken beachtet werden, da sich nur mit einer ganzheitlichen, feuchtetechnischen Strategie die Anforderungen an den Feuchteschutz gewährleistet werden können.

2.2.3 Hygrothermische Simulation

Mit Hilfe einer hygrothermischen Simulation ist es möglich, die Feuchteanreicherung in einer Konstruktion im Laufe eines bestimmten Zeitraums (mehrere Jahre) annähernd zu bestimmen. Eine hygrothermische Simulation berücksichtigt u.a. das Außen- und Innenklima (stundenweise), Wärmeströme durch Bauteile und Wärmespeicherung von Baustoffen; Dampfdiffusion in Bauteilen, sowie kapillare und sorptive Transportvorgänge und erlaubt

damit eine umfassendere und zuverlässige Beurteilung der Feuchteverhältnisse in Bauteilen. In DIN 4108-3 wird empfohlen, bei Bauteilen, die nicht im Anwendungsbereich des Periodenbilanz-Verfahrens liegen, eine Beurteilung mit Hilfe hygrothermischer Simulationen vorzunehmen.

Für die Beurteilung sind geeignete Materialkennwerte notwendig, die neben den für das Glaser-Verfahren benötigten Daten auch die Feuchtespeicherung, den Flüssigtransport und die Feuchteabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit oder Wasserdampfdiffusionswiderstand beinhalten. Da die hygrothermischen Mechanismen auch durch den Tagesgang des Außenklimas beeinflusst werden, sind zudem repräsentative Klimadatensätze notwendig (in mind. stündlicher Auflösung). Die Klimadatensätze sollten neben der Temperatur auch die Luftfeuchte, die Sonnenstrahlung, Wind, Niederschlag und atmosphärische Gegenstrahlung enthalten. Des Weiteren werden Daten zum Raumklima benötigt.

In diesem Handbuch werden die Grundlagen der hygrothermischen Simulation erläutert sowie der Umgang mit der Software ZUB Esther erklärt.

3.0 Klimabedingter Feuchteschutz

3.1 Einleitung

Bei der Planung eines Gebäudes bzw. bei der Planung einer Gebäudesanierung spielt der Schutz des Bauwerks vor Wasser eine zentrale Rolle. Auf der konstruktiven Seite sind verschiedene Normen zu beachten (z.B. DIN 18531: Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen oder DIN 4095: Baugrund Dränung zum Schutz baulicher Anlagen). Des Weiteren gilt für die bauphysikalische Bewertung hinsichtlich des klimabedingten Feuchteschutzes die bauaufsichtlich eingeführte Norm **DIN 4108-3**. In diesem Zusammenhang wird auch auf DIN 4108-7 (Luftdichtheit von Gebäuden) verwiesen, da nur so ein ganzheitlicher Wärme- und Feuchteschutz sichergestellt werden kann.

Feuchteschutz und Wärmeschutz können nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, da ein mangelhafter Feuchteschutz den Wärmeschutz reduziert hingegen ein unzureichender Wärmeschutz zu Schäden durch Feuchtigkeit führen kann.



Abbildung 3: Ziele der DIN 4108 (Abb.: Wilhelm Liese)

Ziel des klimabedingten Feuchteschutzes ist es, eine unzulässige Feuchteanreicherung in der Konstruktion zu verhindern. Ein unzureichender Feuchteschutz bildet die Grundlage für bauliche, energetische und hygienische Mängel.

Feuchtigkeit kann von innen (z.B. durch Wasserdampfdiffusion) oder von außen (z.B. infolge von Schlagregen) auf die Bauteile der Konstruktion einwirken. Die Anforderungen an den klimabedingten Feuchteschutz sind in DIN 4108-3 festgelegt.

DIN 4108-3 gilt nicht für Bauwerksabdichtungen. DIN 4108-3 gilt für Aufenthaltsräume. Nebenräume, die zu Aufenthaltsräumen gehören, werden im Sinne dieser Norm wie Aufenthaltsräume behandelt.

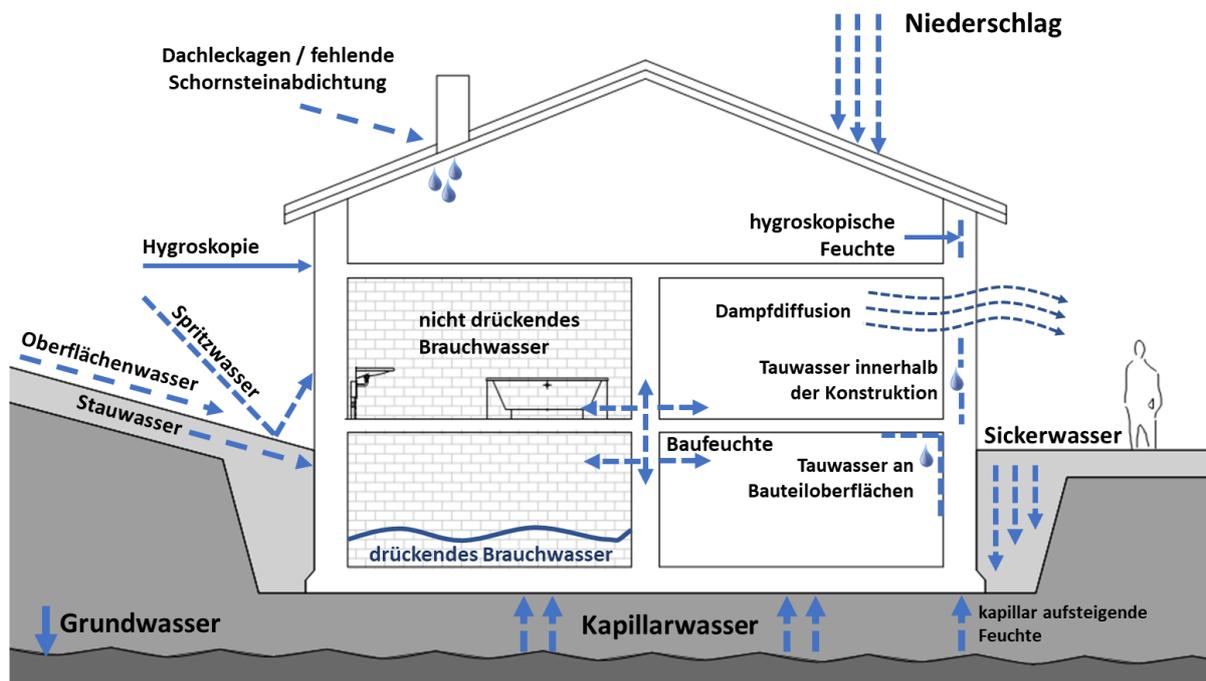


Abbildung 4: Möglichen Feuchtequellen die auf die Konstruktion einwirken können (Quelle: Wilhelm Liese)

Von Innen kann die Konstruktion durch

- nicht drückendes Brauchwasser (z.B. in Küchen und Bädern),
- Wasserdampf (z.B. Duschen, Kochen),
- Kondenswasser (Tauwasser) sowie
- Baufeuchte

mit Feuchtigkeit beansprucht werden.

Von außen kann die Konstruktion durch

- Niederschlag,
- Schlagregen,
- Spritzwasser,
- Oberflächenwasser (nicht drückendes Wasser),
- Stauwasser (drückendes Wasser),
- Grundwasser,
- Sickerwasser,
- eindringendes Wasser durch Leckagen,
- Kapillarwasser,
- Wasserdampf (Umkehrdiffusion im Sommer)

mit Feuchtigkeit belastet werden.

Daher sind die zentralen Aufgaben der DIN 4108-3

- Schutz der Konstruktion gegen Schlagregen,
- Schutz der Konstruktion vor Tauwasser auf der Bauteiloberfläche (raumseitig),
- Schutz vor Tauwasser in der Konstruktion,
- Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Tauwasser- und Verdunstungsmasse,
- Schutz der Konstruktion vor Schlagregen,
- Hinweise zur Luftdichtheit von Wänden und Dächern,
- Grundlagen für wärme- und feuchteschutztechnischen Berechnungen,
- Feuchteschutzbemessung durch hygrothermische Simulation.

In genutzten Aufenthaltsräumen wird der Luft ständig Feuchte zugeführt. In der folgenden Tabelle werden typische Feuchtequellen bzw. Feuchteabgaben aufgeführt.

Tabelle 1: Typische Feuchtequellen in Wohnungen (Quelle: DIN-Fachbericht DIN 4108-8: 2010-09)

Feuchtequelle		Feuchteabgabe	
Mensch	Überwiegend nicht aktiv oder leichte Aktivität, je Person	50 g/h	1200 g/d ^a
Pflanzen	Repräsentativer Mittelwert für verschiedene Zimmerpflanzen, je Stück, Mix von verschiedenen Zimmerpflanzen	2 g/h ^f	50 g/d ^f
Küche	Kochvorgänge	700 g/h – 1000 g/h	
	Geschirrspüler (Geschirr abgekühlt)	100 g/h	
	Spülen unter fließendem Wasser (50°C)	300 g/h	
	Spülen im Spülbecken (50°C)	140 g/h	
Bad	Wannenbad	ca. 700 g/h	ca. 300 g/Bad ^b
	Duschen	ca. 2600 g/h	ca. 300g/ Dusche ^c
	Abtrocknen	etwa 70 g/Vorgang	
Wäschetrocknen^e	5 kg geschleudert	2500 g/Waschmaschine	
Haustiere	Aquarium (90% abgedeckt, 26°C)	6 g/(h·m ²) ^d	150 g/(d·m ²) ^d
	Katze	10 g/h	250 g/d ^a
	Hund (mittelgroß, 20 kg)	40 g/h	950 g/d ^a
<p>a Anwesenheit 24 h/d. b 20 min Wannenbad und Abtrocknen. c 5 min Dusche und Abtrocknen. d Bezogen auf die Grundfläche des Aquariums. e Trocknen der Wäsche im Raum. f Es handelt sich um repräsentative Mittelwerte für verschiedene typische Zimmerpflanzen. Messungen haben eine Feuchtefreisetzung im Bereich von 0,6 g/h bis 4,4 g/h je Zimmerpflanze ergeben. Die Feuchtefreisetzung von Zimmerpflanzen korrespondiert in sehr guter Näherung mit der Gießwassermenge.</p>			

Die Raumluftfeuchte wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Anzahl der Bewohner, die Wohnungsgröße und die Art der Wohnungsnutzung (z.B. freies Wäschetrocknen, viele Pflanzen, Haustiere, usw.).

Diese nutzungsbedingte Feuchte muss durch Lüftung abgeführt werden (siehe auch notwendiger Luftwechsel zum Feuchteschutz → DIN 1946-6).

3.2 DIN 4108-2 – Mindestwärmeschutz

DIN 4108-2 legt Mindestanforderung an die Wärmedämmung von Bauteilen sowie im Bereich von Wärmebrücken in der Gebäudehülle fest. Der Mindestwärmeschutz beschreibt den wärmeschutztechnischen Mindeststandard, der an jeder Stelle der raumumschließenden Bauteile raumseitig, bei ausreichender Beheizung und Lüftung, zur Sicherstellung eines hygienischen Raumklimas vorhanden sein muss. Somit soll bei einer „üblichen Nutzung“ (wohnraumübliche Verhältnisse → siehe Randbedingungen in DIN 4108-2) sichergestellt werden, dass eine Tauwasserfreiheit und Schimmelpilzfreiheit an Innenoberflächen von thermisch relevanten Bauteilen an jeder Stelle der Konstruktion gegeben ist.

Es ist hinreichend bekannt, dass der Energiebedarf eines Gebäudes, ein hygienisches Raumklima und die thermische Behaglichkeit, von der Wärmedämmung der raumumschließenden Bauteile (Außenbauteile, Innenbauteile zu unbeheizten oder niedrig beheizten Räumen) abhängt. Des Weiteren spielen Wärmebrücken, die Luftdichtheit der Gebäudehülle sowie die Lüftung der Räume eine wesentliche Rolle.

DIN 4108-2 legt die Mindestanforderungen an die Wärmedämmung von Bauteilen sowie im Bereich von Wärmebrücken in der Gebäudehülle von Hochbauten fest. Die Anforderungen gelten für:

- Räume, die gemäß ihrer Bestimmung auf übliche Innentemperaturen ($\geq 19\text{ °C}$) beheizt werden;
- Räume, die gemäß ihrer Bestimmung auf niedrige Innentemperaturen ($\geq 12\text{ °C}$ und $< 19\text{ °C}$) beheizt werden;
- Räume, die über einen Raumverbund durch die vorgenannten Räume beheizt werden.

Die **Anforderungen an Wärmebrücken** gelten nicht für Räume, die gemäß Ihrer Bestimmung auf niedrige Innentemperaturen ($\geq 12\text{ °C}$ und $< 19\text{ °C}$) beheizt werden.

Um das Risiko der Schimmelbildung zu verringern, sind die folgenden angegebenen Anforderungen einzuhalten:

- Temperaturfaktor $f_{Rsi} \geq 0,70$ [-]
- Oberflächentemperatur $\geq 12,6\text{ °C}$

Der Nachweis erfolgt über eine Wärmebrückenberechnung nach DIN EN ISO 10211 mit den Randbedingungen der DIN 4108-2.

Die in DIN 4108-2 angegebenen Anforderungen ($f_{Rsi} \geq 0,7$ / $\geq 12,6\text{ °C}$) sind einzuhalten. Der angegebenen Anforderungswert gilt für gleichmäßig beheizte und ausreichend gelüftete Räume sowie die Gewährleistung einer weitgehend ungehinderte Luftzirkulation an den Außenwandoberflächen.

Die Einhaltung dieser Anforderungen kann mit der **Wärmebrücken-Software ZUB Argos** überprüft werden.

3.3 DIN 4108-3 - Klimabedingter Feuchteschutz

DIN 4108-3 beschreibt Berechnungsverfahren zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchten (zur Vermeidung von Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung) und zur Vermeidung von unzulässigen Feuchteerhöhungen bzw. Tauwasserausfall innerhalb der Konstruktion. Die Anforderung beim klimabedingten Feuchteschutz ist, dass Bauteile durch Tauwasser bzw. durch eine unzulässige Feuchtsammlung innerhalb der Konstruktion nicht geschädigt werden.

Wie bereits erläutert kann der Nachweis des Feuchteschutzes auf verschiedene Arten geführt werden (siehe Abschnitt 2.2 Nachweismethoden).

Im Abschnitt **4. Hygrothermische Simulation** wird die Simulation nach WTA mit der Software ZUB Esther beschrieben.

3.4 DIN EN ISO 13788 - Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen

Die DIN EN ISO 13788 widmet sich ebenfalls der Vermeidung von kritischer Oberflächenfeuchte zur Vermeidung von Tauwasserausfall bzw. Schimmelpilzbildung. Des Weiteren legt die Norm vereinfachte Verfahren fest, zur Bewertung von Tauwasserbildung im Inneren des Bauteils. Dabei wird die Annahme zugrunde gelegt, dass der Feuchtetransport nur durch Dampfdiffusion erfolgt. Bei diesem Berechnungsverfahren werden monatliche Klimadaten in Ansatz gebracht. Bei der Berechnung der Tauwasserbildung im Bauteilinneren wird vorausgesetzt, dass die gesamte Rohbaufeuchte ausgetrocknet ist. Das Verfahren nach DIN EN ISO 13788 berücksichtigt nicht:

- Änderungen der Materialeigenschaften (z.B. Wärmeleitfähigkeit), wenn der Feuchtegehalt klimabedingt schwankt;
- Kapillare Leitung der Baustoffe (das Verhalten von Flüssigkeiten, die in Kontakt mit Kapillaren entstehen);
- Konvektion aus dem Gebäudeinneren in die Konstruktion (durch Spalten und / oder Lufträumen);
- Hygroskopisches Verhalten von Baustoffen.

3.5 WTA-Merkblätter

Die WTA-Merkblätter geben einen Überblick über die Grundlagen der rechnerischen Untersuchungsmethoden. Die Merkblattreihe enthält grundsätzliche Informationen zu Simulationsrechnungen des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports sowie Randbedingungen für die Berechnung. Des Weiteren werden Kriterien für die Beurteilung der Simulationsergebnisse formuliert. Es stehen u.a. folgende Merkblätter zur Verfügung:

- 6-1-01/D: Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen
- 6-2-14/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse
- 6-8-16/D: Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen - Vereinfachte Nachweise und Simulation

4. Hygrothermische Simulation

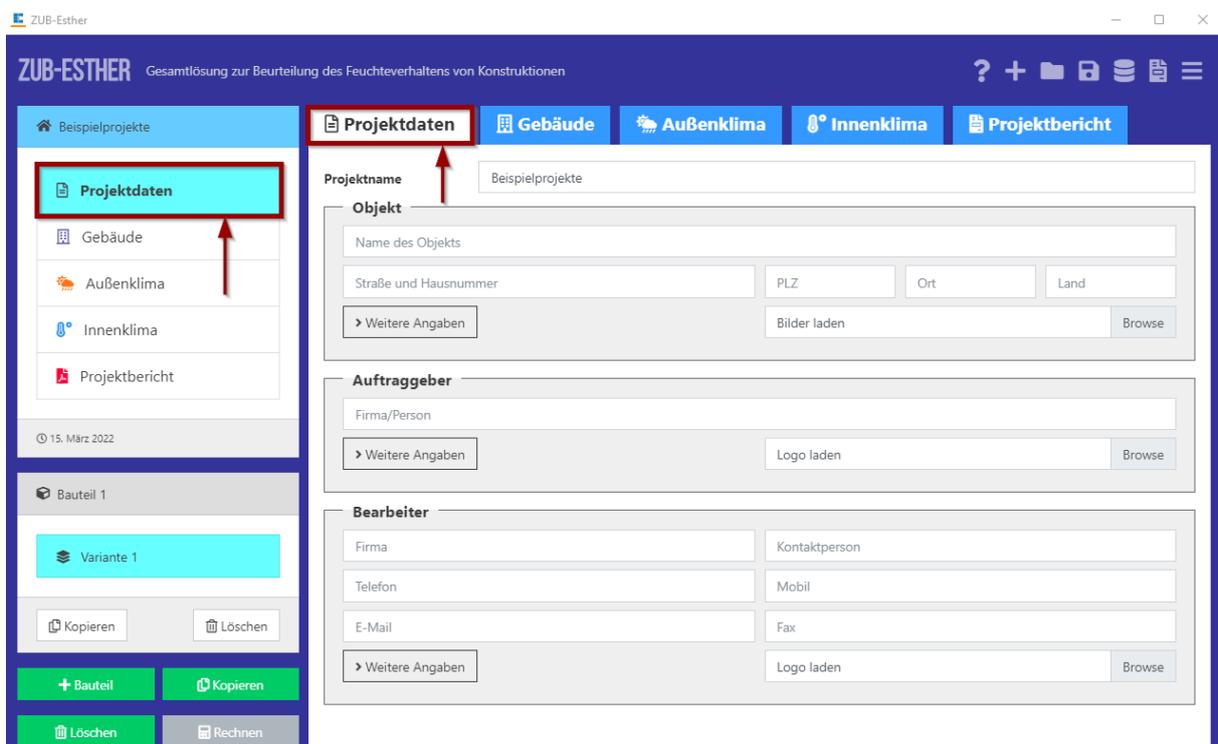
4.1 Arbeiten mit ZUB Esther®

Erläuterung der allgemeinen Programmfunktionen

	Über dieses Symbol erhalten Sie Informationen über ZUB ESTHER® oder gelangen in die umfangreiche Hilfe des Programms
	Über dieses Symbol können Sie ein neues Projekt anlegen.
	Über dieses Symbol können Sie ein vorhandenes Projekt öffnen.
	Über dieses Symbol können Sie das Projekt speichern.
	Über dieses Symbol gelangen Sie in die Baustoff- und Konstruktionsdatenbank.
	Über dieses Symbol können Sie nach der Simulation einen Bericht ausgeben.
	Über dieses Symbol gelangen Sie zu den Programmeinstellungen.

4.1.1 Projektdaten

Wird ein neues Projekt angelegt, können zunächst allgemeine Projektdaten (Angaben zum Objekt, zum Auftraggeber und zum Bearbeiter) in ZUB ESTHER® eingegeben werden.



The screenshot shows the ZUB-ESTHER software interface. The main window is titled 'ZUB-ESTHER Gesamtlösung zur Beurteilung des Feuchteverhaltens von Konstruktionen'. The interface is divided into several sections. On the left, there is a sidebar with navigation options: 'Beispielprojekte', 'Projektdaten', 'Gebäude', 'Außenklima', 'Innenklima', and 'Projektbericht'. The 'Projektdaten' section is currently active and highlighted. The main area displays the 'Projektdaten' form, which is divided into three main sections: 'Objekt', 'Auftraggeber', and 'Bearbeiter'. Each section contains input fields and a 'Weitere Angaben' button. The 'Objekt' section includes fields for 'Projektname', 'Objekt', 'Name des Objekts', 'Straße und Hausnummer', 'PLZ', 'Ort', and 'Land'. The 'Auftraggeber' section includes fields for 'Firma/Person' and 'Logo laden'. The 'Bearbeiter' section includes fields for 'Firma', 'Kontaktperson', 'Telefon', 'Mobil', 'E-Mail', and 'Fax'. There are also 'Bilder laden' and 'Logo laden' buttons with 'Browse' options. The interface is in German and includes a sidebar with navigation options like 'Beispielprojekte', 'Projektdaten', 'Gebäude', 'Außenklima', 'Innenklima', and 'Projektbericht'.

Über die Schaltflächen **WEITERE ANGABEN** können weitere Informationen als freie Texteingabe in ZUB ESTHER® hinterlegt werden. Des Weiteren können über die Schaltfläche **BROWSE** in den Abschnitten **OBJEKT**, **AUFTRAGGEBER** und **BEARBEITER** Bilder und/ oder Firmenlogos in das Projekt geladen werden.

4.1.2 Gebäude

In diesem Programmabschnitt wird zunächst festgelegt, ob es sich um ein kleines Gebäude (Höhe bis 10m) oder um ein hohes Gebäude handelt. Die Gebäudehöhe ist für die Bewertung des Schlagregens notwendig.

Die Schlagregenkoeffizienten dienen zur Abschätzung der Schlagregenbelastung des Bauteils. Die Regenbelastung einer Mauer wird vom Schlagregen bestimmt, nicht vom Normalregen.

Aus der Außenklimadatei werden die Daten zu Normalregen, mittlerer Windgeschwindigkeit¹ und -richtung verwendet, um den Schlagregenkoeffizient zu bestimmen.

Als nächstes werden Angaben zur **Bauqualität** getätigt. Diese Angabe wird für die Festlegung des Luftdurchlässigkeitskoeffizienten benötigt. Durch Luftkonvektion kann Feuchtigkeit in ein Bauteil gelangen. Dies betrifft auch Konstruktionen, die nach dem Stand der Technik luftdicht ausgeführt werden. Durch kleine Leckagen kann Feuchtigkeit in das Bauteil eintreten. Beim Nachweis des Feuchteschutzes mit Hilfe einer hygrothermischen Simulation sind diese konvektiven Feuchteinträge grundsätzlich zu berücksichtigen.



Bauqualität

DIN 4108-3 Anhang D mit Prüfung $\leq 3 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$			
	Luftdichtheit q_{50}	80	$\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$
	Höhe der Luftsäule	0	m
	Überdruck durch Lüftungsanlage	0	Pa

Erfolgt eine Luftdichtheitsprüfung, oder genauer gesagt wird bei einer Prüfung ein Messergebnis von $q_{50} \leq 3 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ erzielt, wird ein reduzierter Luftdurchlässigkeitskoeffizient (der Feuchteleckagen) in Ansatz gebracht. In allen anderen Fällen muss in ZUB ESTHER® die Auswahl „DIN 4108-3 Anhang D ohne Prüfung“ verwendet werden.

¹ Mittlere Windgeschwindigkeit (gemessen in freiem Gelände in einer Höhe von 10 m).

² Der q_{50} -Wert beschreibt die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei 50 Pascal, bezogen auf die innere Hüllfläche des Gebäudes.

Die Höhe der **Luftsäule** entspricht der Höhe des zusammenhängenden inneren beheizten Luftraums.

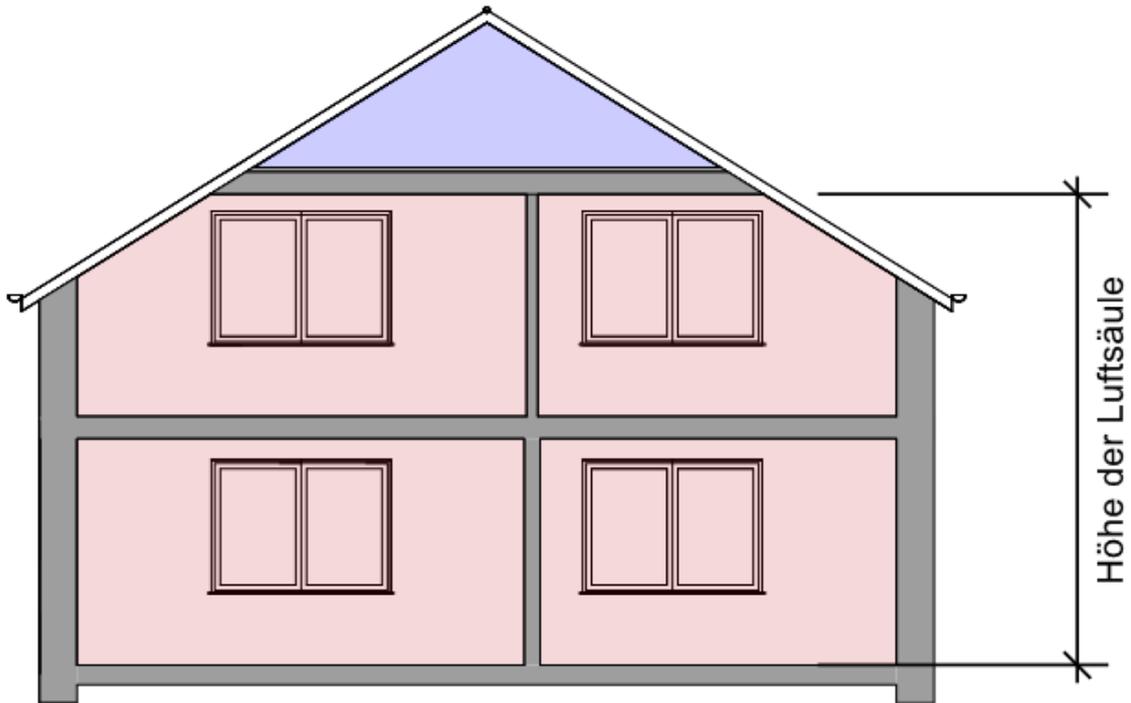


Abbildung 5: Beispiel für die Höhe der Luftsäule an einem Einfamilienhaus -kein offenes Treppenhaus zum unbeheizten Dachboden. (Quelle: Wilhelm Liese)

Des Weiteren kann ein (mechanischer) **Überdruck**, der durch eine Lüftungsanlage erzeugt wird, an dieser Stelle berücksichtigt werden. Die Angabe hat Einfluss auf die Berechnung der Luftinfiltration.

Der hier eingegebene Wert (in Pa) wird konstant auf die Druckdifferenz zwischen Innen und Außen angesetzt.

Als nächstes wird die **Feuchtelast** (raumseitig) festgelegt.

Raumluftfeuchte



Feuchtelast normal + 5% (Bemessung DIN 4108-3)



Das Raumklima wird insbesondere durch das Nutzerverhalten (z.B. Lüftungsverhalten, Feuchteproduktion) und durch haustechnische Anlagen bestimmt.

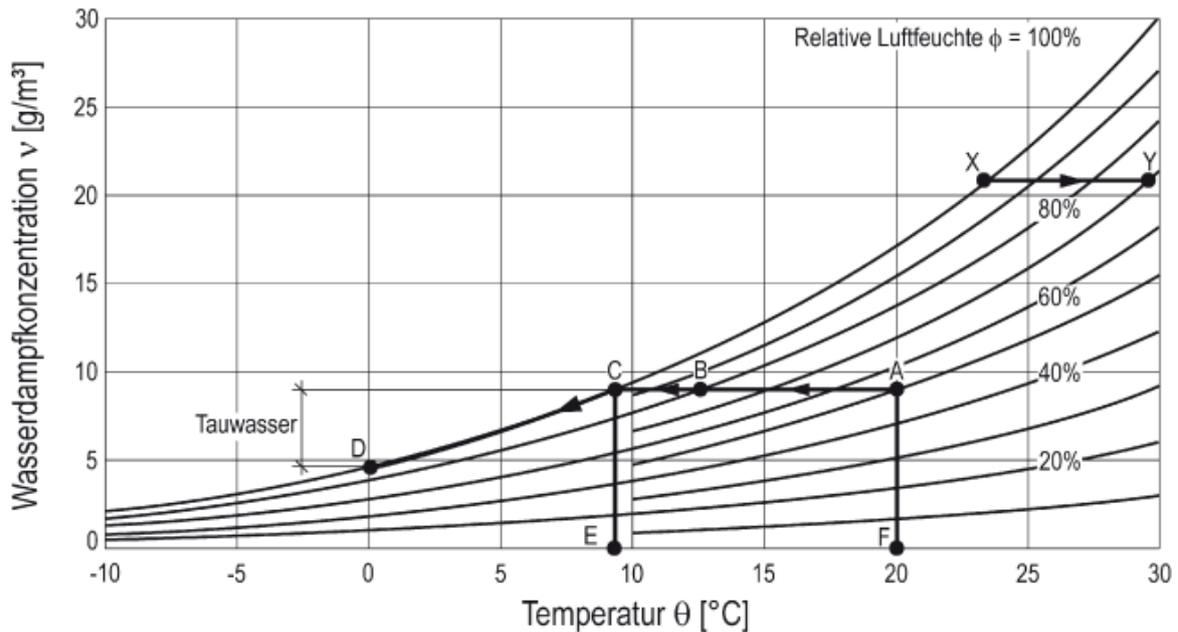


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Wasserdampfkonzentration in der Luft, der Temperatur und der relativen Luftfeuchte (Quelle: Lehrbuch der Bauphysik (Wiesbaden, 2013))

Messungen in Wohnungen (Künzel, 1997) zeigen, dass die monatliche Feuchtelast im Raum (Differenz zwischen dem Wassergehalt der Luft innen und außen) fast linear mit der Außenlufttemperatur abnimmt. Dies ist auf die stärkere Fensterlüftung in den wärmeren Jahreszeiten zurückzuführen. Die Größe der Feuchtelast Winter (bei 0°C) bewegt sich je nach Nutzergewohnheiten und Dichtheit des Gebäudes etwa zwischen 2 g/m³ und 6 g/m³.

Bei normaler Feuchtelast (4 g/m³) resultiert bei durchschnittlichen deutschen Außenklimaverhältnissen der in Bild 7 dargestellte Verlauf von Raumlufttemperatur und -feuchte. Diese Verläufe sind repräsentativ für die Verhältnisse in Wohnräumen einschließlich Küche und Bad. Sie beinhalten bereits einen gewissen Sicherheitszuschlag vor allem wenn Räume mit geringer Feuchtelast, wie z.B. Büro oder Schlafräume betrachtet werden. Deshalb ist ihr Einsatz zweckmäßig, wenn zum Innenklima keine genaueren Angaben oder Messwerte vorliegen.

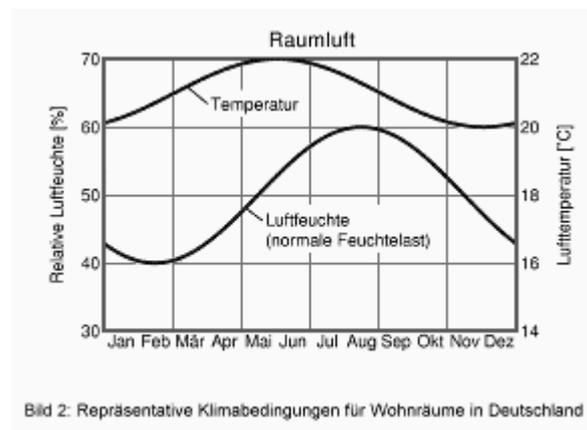


Bild 2: Repräsentative Klimabedingungen für Wohnräume in Deutschland

Für die hygrothermische Simulation wird daher das Innenklima mit normaler Feuchtelast (gemäß DIN EN 15026: 2007-07) + 5% (Sicherheitsreserve) gemäß DIN 4108-3 bzw. WTA-Merkblatt 6-2 empfohlen. Alternativ kann in Abhängigkeit der Nutzung des Gebäudes auch das Innenklima nach DIN 4108-3 mit hoher Feuchtelast angesetzt werden.

Im nächsten Schritt muss die **Gebäudehöhe** festgelegt werden.

Gebäudehöhe

 m

Diese Angabe ist für die Bewertung des Schlagregens notwendig. Die Regenlast auf senkrechten Oberflächen wird durch den Schlagregen bestimmt, im Wesentlichen also durch die Normalregen-Rate, die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung. Das Bauteil kann dann, je nach kapillarer Aufnahmefähigkeit der äußeren Materialien, einen Teil des auftreffenden Schlagregens aufsaugen.

Bei einer hygrothermischen Simulation ist der Schlagregen, der auf vertikale Fassaden auftrifft, die ausschlaggebende Art von Regen. Da in der Regel keine gemessenen Schlagregendaten zur Verfügung stehen, muss der Schlagregen aus anderen in der Klimadatei enthaltenen Daten geschätzt werden.

Im Abschnitt **BAUTEILE** kann die Auswahl **STANDARD**, **GRÜNDACH** oder **KIESDACH** ausgewählt werden.

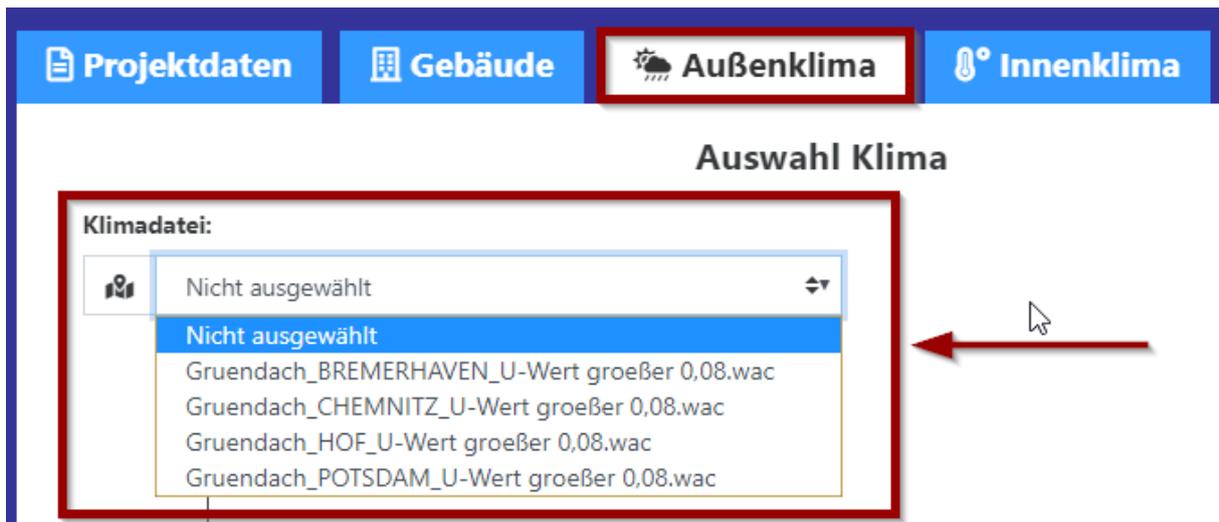
Bauteile

Standard Gründach Kiesdach

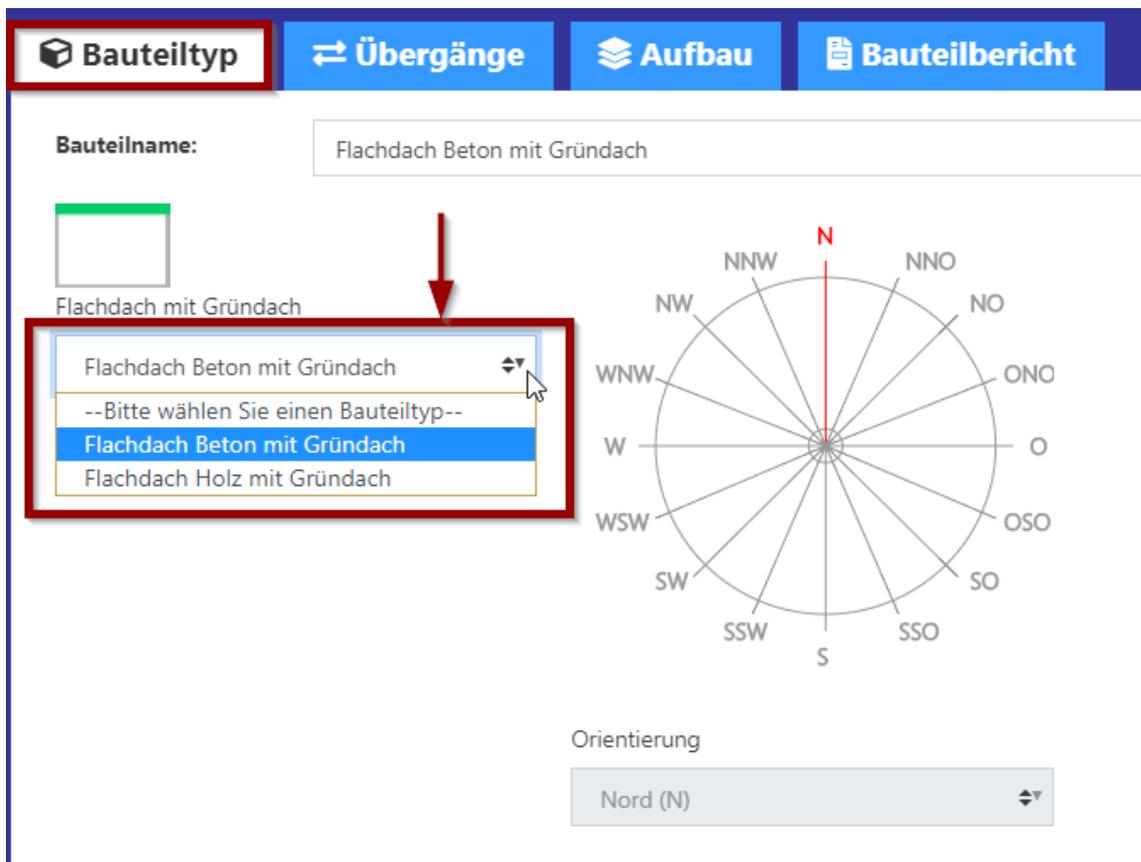
i Beachten Sie, dass eine Änderung des Bauteils hier die Einstellungen für Bauteiltyp, Übergänge verändert und bei Aufbau zurücksetzt.

Grün- bzw. Kiesdächer werden in ZUB ESTHER® gesondert behandelt. Es ist erforderlich eine eigene Projektdatei nur für den Nachweis eines Grün- oder Kiesdaches anzulegen. In der Menüoberfläche GEBÄUDE ist im Abschnitt BAUTEILE **STANDARD** voreingestellt.

Bei einer Untersuchung von Grün- bzw. Kiesdächern ist diese Auswahl dann auf Grün- oder Kiesdach zu stellen. **Damit ist in dieser Projektdatei nur noch der Nachweis für ein Grün- oder Kiesdach für alle Bauteile und deren Varianten möglich**, da in den folgenden Menüs nur noch die Einstellungen für Grün- oder Kiesdächer dargestellt werden. In der Menüoberfläche AUßENKLIMA stehen speziell präparierte Klimadateien für Grün- oder Kiesdach zur Auswahl. Zu diesen speziellen Klimadateien werden zusätzliche Informationen zu Niederschlag, Jahresmitteltemperatur und Solarstrahlungsgewinne dargestellt, um dies dann für das konkrete Bauvorhaben zuordnen zu können.



Mit der Anwahl einer solchen Klimadatei ist es weiter nicht erforderlich, eine Kiesschicht oder eine Substratschicht und den entsprechenden Feuchteintrag durch Regen in dieser Schicht abzubilden. Das Dach ist nur bis einschließlich Abdichtungsebene im Menü **AUFBAU** darzustellen. Im Menü **BAUTEILTYP** ist nur die Wahl **FLACHDACH BETON MIT GRÜNDACH** oder **FLACHDACH HOLZ MIT GRÜNDACH** zu treffen. Im Menü **ÜBERGÄNGE** ist kein Eintrag oder Auswahl erforderlich.



4.1.3 Außenklima

Auf die Gebäudehülle wirken die äußeren Klimaverhältnisse ein. Diese werden durch Außenlufttemperatur, Strahlung (kurzwellig und langwellig), Außenluftfeuchte, Wind und Schlagregenbeanspruchung bestimmt. ZUB ESTHER® benötigt für die Simulation bzw. für jeden Zeitschritt Klimadaten. Diese Klimadaten müssen folgende Informationen enthalten:

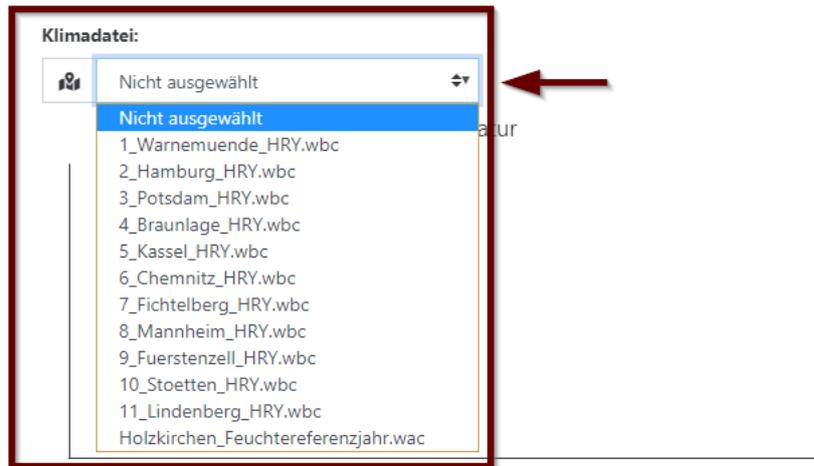
- die senkrecht auf die Außenoberfläche treffende **Regenmenge** in [Ltr/m²h];
Bei der Bestimmung dieser Regenmenge müssen Neigung und Orientierung der Fläche berücksichtigt werden.
- die senkrecht auf die Außenoberfläche treffende **Sonnenstrahlung** in [W/m²];
Bei der Bestimmung dieser Strahlungsmenge müssen Neigung und Orientierung der Fläche berücksichtigt werden.
- die **Temperatur der Außenluft** [°C];
- die **relative Feuchte der Außenluft** [-] (0...1);
Die relative Feuchte ist definiert als das Verhältnis des aktuellen Wasserdampfpartialdruckes in der Luft zu dem der aktuellen Lufttemperatur entsprechenden Sättigungsdampfdruck. Sie wird als Verhältniszahl ausgedrückt 72% = 0,72 [-].
- den **Luftdruck** [hPa];
Da der Luftdruck allerdings nur einen geringen Einfluss auf die Berechnung hat, genügt es auch, ihn lediglich als Mittelwert über den Berechnungszeitraum anzugeben.

In ZUB ESTHER® stehen die hygrothermischen Referenzjahre (HRY) nach IBP-Bericht HTB-021/2016 sowie ein Feuchtereferenzjahr für Holzkirchen zur Verfügung.

In ZUB ESTHER® sind aktuell 11 Klimadateien mit Feuchtereferenzjahren HRY repräsentativ für die Klimaregionen Deutschland hinterlegt, sowie eine Klimadatei Holzkirchen (Feuchtereferenzjahr). Die Klimadatei *HOLZKIRCHEN_FEUCHTEREFERENZJAHR* stellt einen besonderen Klimastandort dar, da Holzkirchen sehr viel Niederschläge über den Jahresverlauf aufweist (bei hohen Strahlungsdaten sowie tiefen Temperaturen).

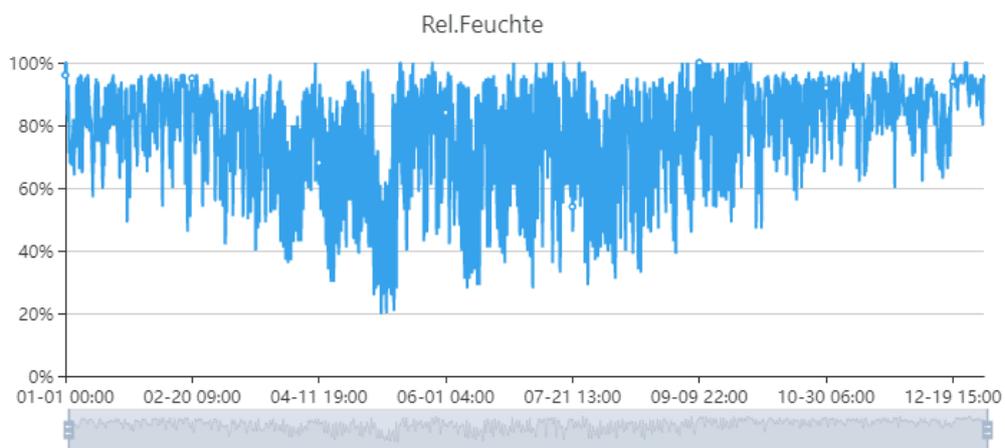
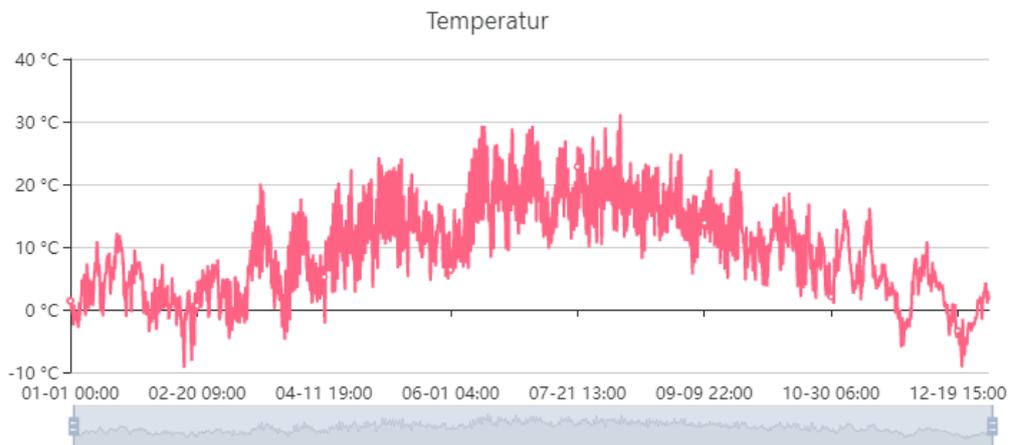
In der Registerkarte **AUßENKLIMA** können die Klimadateien ausgewählt werden.

Auswahl Klima



Sobald Sie eine Klimadatei ausgewählt haben, werden die Jahresverläufe von Temperatur und relativer Feuchte graphisch dargestellt. Die Kurve zeigt jeweils die aus der Klimadatei gelesenen Daten.

Hinweis: Weitere Klimadaten speziell für Grün- und Kiesdächer werden nur angezeigt, wenn im Abschnitt GEBÄUDE in der Zeile BAUTEILE von STANDARD auf GRÜNDACH bzw. KIESDACH umgestellt wird (weitere Informationen finden Sie im Abschnitt 4.1.2 Gebäude).



Durch Betätigung des grünen Buttons (Sonnen-/Regensymbol) werden die Strahlungssumme und Schlagregensumme über alle Orientierungen angezeigt.

Klimaanalyse

Strahlungs- und Schlagregensumme der gewählten Klimadatei auf eine Wandfläche in allen Orientierungen und abhängig von der eingestellten Neigung

Klimadatei:

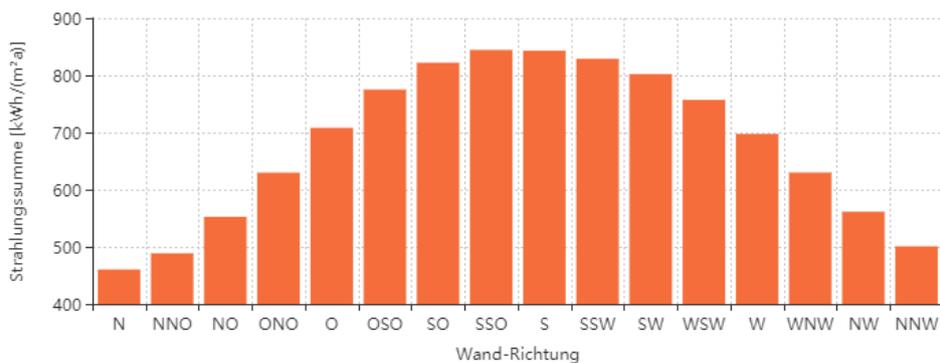


Wand-Neigung (ist nicht die Neigung

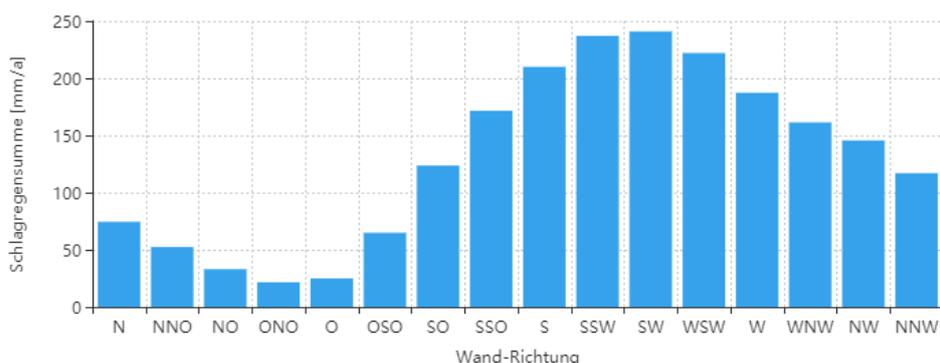
des zu untersuchenden Bauteils)

90°

Strahlungssumme



Schlagregensumme

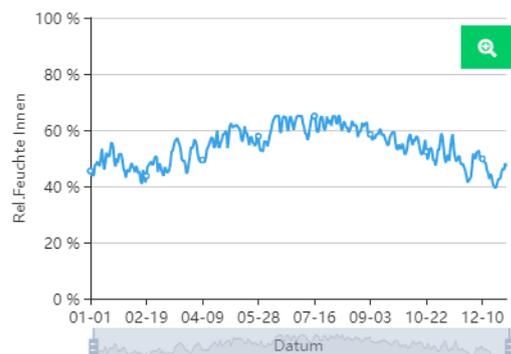
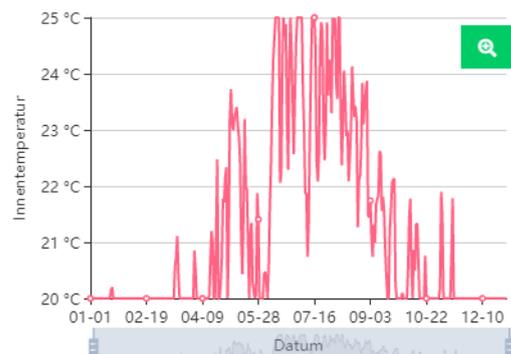
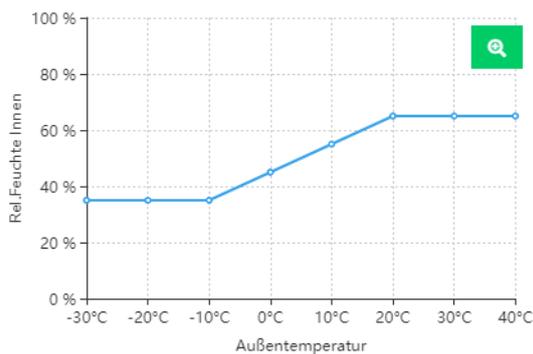
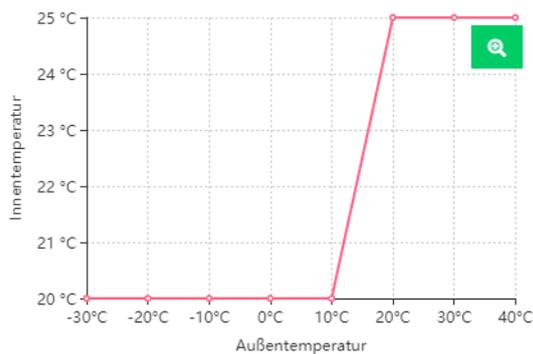


Über das Drop-Down-Menü WAND-NEIGUNG (IST NICHT DIE NEIGUNG DES UNTERSUCHENDEN BAUTEILS) kann eine Neigung ausgewählt werden.

Bei einer Neigung $< 90^\circ$ wird kein Schlagregen ermittelt, da z.B. Dachkonstruktionen (mit einer Neigung $< 90^\circ$) regen- bzw. wasserdicht sein müssen. Die Funktion dient im Wesentlichen zur Klärung, welche Orientierung die Hauptregenseite ist.

4.1.4 Innenklima

In der Registerkarte Innenklima werden verschiedenen Grafiken angezeigt. In der Grafik links oben wird die Abhängigkeit der Innentemperatur von der Außentemperatur dargestellt (siehe Berechnungsvorschrift DIN 4108-3 Anhang D). In der Grafik darunter wird die Relative-Feuchte raumseitig, ebenfalls in Abhängigkeit von der Außentemperatur, angezeigt.



Mittels dieser Vorgaben werden die Grafiken auf der rechten Seite zu Innentemperatur und relativer Luftfeuchte raumseitig aus den Klimadatensätzen berechnet.

Die Grafiken dienen nur zur Information. Ein Eingreifen auf diese Daten ist nicht vorgesehen. In ZUB ESTHER® ist der Import eigener Klimadatensätze oder eine Bearbeitung der Klimadaten nicht vorgesehen.

4.1.5 Projektbericht

In dieser Registerkarte können Sie einen Vortext und eine Zusammenfassung der Simulation als freie Texteingabe vornehmen.

Vortext

B I

Die dynamische feuchteschutztechnische Berechnung der (Platzhalter) –aus Projekt wird mit Hilfe des Programms ESTHER 1D Version X der ZUB Systems GmbH Kassel durchgeführt (Verfahren nach DIN EN 15026 mit WUFI-Kernel des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik Holzkirchen). Weiter werden die Kriterien nach DIN 4108-3 (2018-10) Anhang D sowie WTA 6-2 bzw. 6-8 berücksichtigt.

Zusammenfassung

B I

4.2 Bauteil

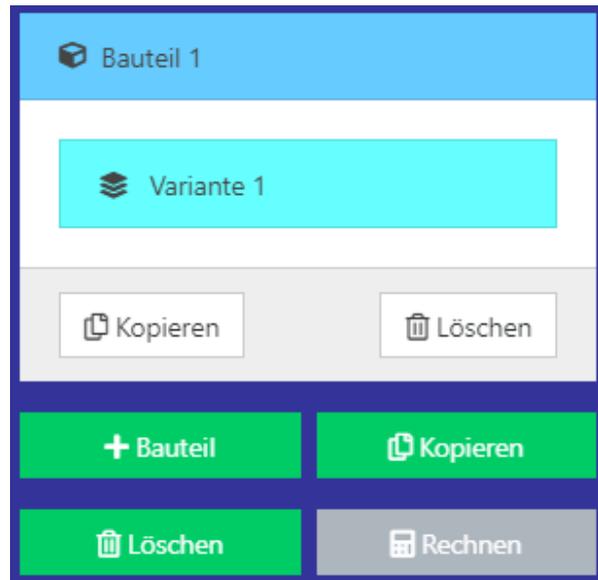
Als nächstes kann die zu bewertende Konstruktion eingegeben werden. Beim Programmstart ist immer ein Bauteil und eine Variante angelegt. Durch die Schaltfläche **+ BAUTEIL** kann eine neue Konstruktion angelegt werden. Durch Betätigen der Schaltfläche **KOPIEREN** kann eine Konstruktion (inkl. angelegter Varianten) kopiert werden. Durch Drücken der Schaltfläche **LÖSCHEN**, kann die Konstruktion (inkl. angelegter Varianten) gelöscht werden.

Wenn Sie eine Variante einer Konstruktion anlegen möchten (um z.B. zu prüfen, ob diese Konstruktion auch mit einer anderen Dampfbremse funktioniert), betätigen Sie die Schaltfläche **KOPIEREN** (hell-graue Schaltfläche mit schwarzer Schrift). Es wird dann diese Variante kopiert. Diese Kopie können Sie anschließend im Schichtaufbau ändern/bearbeiten. Eine Variante ist ein Bauteil mit einem geänderten Schichtaufbau aber ansonsten der gleiche Bauteiltyp mit den gleichen Randbedingungen.

Um die erste Konstruktion anzulegen, gehen Sie auf die Schaltfläche **VARIANTE 1**.

4.2.1 Bauteiltyp

In der Registerkarte **BAUTEILTYP** wird zunächst die Art des Bauteils festgelegt. Nachdem der Bauteiltyp festgelegt wurde (hier Außenwand mit Innendämmung), erscheint unterhalb des Symbols ein Drop-Down-Menü über welches weitere Spezifikationen festgelegt werden können.



Bauteilname:

Außenwand massiv Innendämmung



Steildach



Außenwand mit Außendämmung



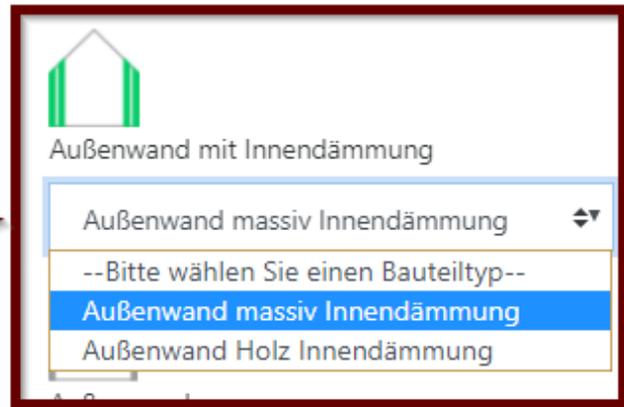
Oberste Geschossdecke



Flachdach



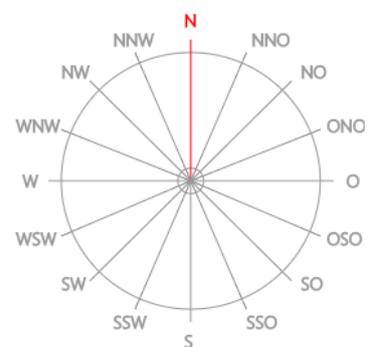
Terrasse



Mit dieser Auswahl werden automatisch bestimmte Vorgaben im Register ÜBERGÄNGE wie Wärmeübergangskoeffizienten, Verschattung, explizite Strahlungsbilanz, Schlagregeneinfluss sowie im Register AUFBAU die Optionen für Feuchtequellen vorgegeben.

Des Weiteren wird die **Orientierung** des Bauteils festgelegt. Die Orientierung wird über den Bauteiltyp empfohlen, kann aber geändert werden. Für Fassaden sollte jeweils eine Berechnung auf der Schlagregenseite und eine Berechnung auf der strahlungsarmen Nordseite durchgeführt werden. Bei Steildächern sollte ebenfalls die Nordseite gewählt werden.

Sie können aus 16 zur Auswahl stehenden Himmelsrichtungen auswählen: Nord, Nord-Nord-Ost, Nord-Ost, Ost, Süd-Ost, Süd, Süd-West, West, Nord-West, usw. Wählen Sie die entsprechende Ausrichtung über das Drop-Down-Menü aus.



Für eine Beurteilung einer Außenwandkonstruktion ist die Orientierung der maximalen Schlagregenbelastung und zusätzlich die Nordseite für die minimale solare Einstrahlung anzusetzen.

4.2.3 Übergänge

Zunächst können durch Setzen des Häkchens bei **DIN 4108-3 RANDBEDINGUNGEN** die Randbedingungen nach DIN 4108-3 **Anhang D** verwendet werden.

Wird das Häkchen nicht gesetzt, werden die Randbedingungen des Programms WUFI® verwendet.

Diese Auswahl beeinflusst die in der rechten Abbildung dargestellten Kennwerte. Diese sind:

DIN 4108-3 Randbedingungen

Außenoberfläche

Wärmeübergangswiderstand	0,0588	m ² K/W
Wärmeübergangskoeffizient	17	W/m ² K
Strahlungsanteil		
Wärmeübergangskoeffizient	4,5	W/m ² K
Konvektionsanteil		
Wärmeübergangskoeffizient	12,5	W/m ² K

- **Wärmeübergangswiderstand**

Der Wärmeübergangswiderstand ergibt sich aus dem Wärmeübergangskoeffizient durch Konvektion und dem Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung nach folgender Gleichung:

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r}$$

mit

h_c der Wärmeübergangskoeffizient durch Konvektion

h_r der Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung

- **Wärmeübergangskoeffizient**

Der Wärmeübergangskoeffizient durch Konvektion und langwellige Strahlung hängen von den lokalen Strömungsverhältnissen ab. Für deutsche Klimaverhältnisse ist im Normalfall 17 W/(m²·K) anzusetzen.

- **Strahlungsanteil Wärmeübergangskoeffizient / Konvektionsanteil Wärmeübergangskoeffizient**

Die Werte für die Wärmeübergangskoeffizienten werden in Abhängigkeit vom Bauteiltyp (in der Registerkarte BAUTEILTYP) an dieser Stelle im Programm angezeigt.

Im nächsten Schritt werden die Farbe und das Material der äußeren Oberfläche/ Bekleidung ausgewählt.

Farbe / Material

DIN 4108-3 grau, mittlerer Farbton



Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl

0,6

Mit dieser Auswahl werden die Koeffizienten für die kurzwellige Strahlungsabsorption und für die langwellige Strahlungsemission festgelegt. Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl bestimmt den Anteil der (kurzwelligen) Gesamtstrahlung, der von dem Bauteil absorbiert wird.

Es können u.a. die Strahlungsabsorptionsgrade gemäß DIN 4108-3 (Tabelle D.2) ausgewählt werden.

Die langwellige Strahlungsemissionszahl wird nur bei geneigten bzw. horizontalen Bauteile (gegen Außenluft) angezeigt. Die langwellige Strahlungsemissionszahl beschreibt die Intensität der (langwelligen) Strahlungsemission (Wärmeverlust durch Abstrahlung).

Im nächsten Abschnitt können Angaben zum terrestrischen kurzwelligen Reflexionsgrad getätigt werden.

Terrestrischer kurzw. Reflexionsgrad

Standardwert	↕	0,2
--------------	---	-----

Der **terrestrischen kurzwelliger Reflexionsgrad** gibt an, welcher Anteil der kurzwelligen Globalstrahlung von der terrestrischen Umgebung reflektiert wird. Die Angabe dient der Strahlungsumrechnung auf geneigte Flächen.

Des Weiteren besteht in ZUB ESTHER® die Möglichkeit eine explizite Strahlungsbilanz durchzuführen. Je nach Bauteiltyp steht die Option **explizite Strahlungsbilanz** mit bereits hinterlegten Vorgabewerten zur Verfügung.

Explizite Strahlungsbilanz

Terrestrischer langwelliger Emissionsgrad	0,9
Terrestrischer langwelliger Reflexionsgrad	0,100

Der **terrestrischer langwelliger Emissionsgrad** gibt den effektiven Emissionsgrad der terrestrischen Umgebung an und ermöglicht so die thermische Eigenemission der Umgebung zu berechnen.

Der **terrestrischer langwelliger Reflexionsgrad** gibt den effektiven Reflexionsgrad der terrestrischen Umgebung an und erlaubt den von der Umgebung reflektierten Anteil der atmosphärischen Gegenstrahlung zu berechnen.

Die Option **REGENWASSERABSORPTION RECHNEN** ist vom Bauteiltyp abhängig. Die Option ist frei anwählbar oder abschaltbar, wenn es die konkrete Situation der zu untersuchenden Konstruktion erfordert.



Regenwasserabsorption rechnen

Anhaftender Anteil des Regens

70

%

Wird die Regenwasserabsorption berücksichtigt, wird ein Regenabminderungsfaktor in Ansatz gebracht. Dabei wird davon ausgegangen, dass auf die Bauteiloberfläche auftreffendes Regenwasser sofort wegspritzt und damit für den kapillaren Saugvorgang nicht mehr zur Verfügung steht. Für eine normale Wand verwendet ZUB ESTHER® den für die meisten Fälle geeigneten Wert von 0,7 (= 70%). Für waagerechte Flächen ist der Regenabminderungsfaktor in der Regel gleich 1, da wegspritzendes Regenwasser wieder auf die Oberfläche zurückfällt. Wenn die Fassade gegen Regen geschützt ist und keine Regenwasserabsorption stattfinden soll, kann die Option ausgeschaltet werden (durch Entfernen des Häkchens). ZUB ESTHER® berechnet die auf das Bauteil treffende Regenlast aus den Daten der gewählten Klimadatei.

ZUB ESTHER® bestimmt den Regenabminderungsfaktor automatisch aus der Neigung und dem Bauteiltyp.

Hinweis: Da die meisten Bauteiloberflächen - mit Ausnahme von Sichtmauerwerk und Natursteinfassaden - eine nur mäßige kapillare Wasseraufnahmefähigkeit besitzen, können sie ohnehin nicht das ganze angebotene Wasser aufsaugen. In diesen Fällen ist eine genaue Kenntnis der quantitativen Regenbelastung gar nicht so wesentlich (während die Regendauer durchaus von Bedeutung ist). Eine Schätzung des Regenabminderungsfaktors und der positionsspezifischen Schlagregenkoeffizienten sind ausreichend.

Der Wärmeübergangswiderstand und der Wärmeübergangskoeffizient werden von ZUB ESTHER® automatisch festgelegt.

Innenoberfläche

Wärmeübergangswiderstand	0,125	m ² K/W
Wärmeübergangskoeffizient	8	W/m ² K

Nähere Informationen zum Wärmeübergangswiderstand bzw. zum Wärmeübergangskoeffizient finden Sie in DIN 4108-3, Anhang D.

Im Abschnitt Verschattung kann, bei Flach- und Terrassendächern die Verschattung nach WTA 6-8 (Tabelle 3) ausgewählt werden.

Verschattung

Werte nach WTA 6-8 Tab. 3

- keine Verschattung
- Vertikale
- Horizontal (u.a. Terrassenbelag)
- Horizontal (aufgeständerte PV-Module)

Diese Anzeige ist nur sichtbar, wenn als Bauteil Flach- und Terrassendächer ausgewählt wurde.

Bei unbelüfteten Flachdächern mit Abdichtung ist nach WTA-Merkblatt 8-8 Abschnitt 6.1.2 ggf. die Verschattung durch andere Bauteile und nebenstehende Gebäude zu berücksichtigen. Bewegliche Gegenstände wie Möbel und Sonnenschirme werden nicht berücksichtigt.

In Tabelle 3 werden Vorschläge effektiver Strahlungsparameter für die hygrothermische Simulation, d.h. sogenannte Abminderungsfaktoren sowohl für den kurzwelligen Absorptionsgrad als auch den langwelligen Emissionsgrad aufgeführt.

Es wird hierbei auch differenziert nach vertikaler Verschattung z.B. durch Häuser, Bäume, Balkonbrüstung, Attika sowie Verschattung durch aufgeständerte PV-Module und horizontale Verschattung z.B. über dem Terrassenbelag.

4.2.4 Aufbau

In der Registerkarte **AUFBAU** kann die Konstruktion eingegeben werden.

Versionname: Innendämmung (Sichtmauerwerk)

Außen Innen

Nr.	Schichtname	Dicke [m]	Farbe	Material	Quellen	Aktionen
-----	-------------	-----------	-------	----------	---------	----------

Neigung: 90°

Suche nach Konstruktionen | + Weitere Schicht | von außen nach innen

Je nach gewähltem Bauteiltyp, kann die Neigung eingegeben werden oder wie in diesem Beispiel (Innendämmung einer monolithischen Wand mit Sichtmauerwerk), gibt ZUB ESTHER® die Neigung vor.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit eine Konstruktion über die Schaltfläche **SUCHE NACH KONSTRUKTIONEN** in das Programm zu laden. Um eine Bauteilschicht anzulegen, betätigen Sie die Schaltfläche **WEITERE SCHICHT**.

In dem Programmfenster **MATERIAL** können Sie über die Schaltfläche **SUCHE IN DER DATENBANK** einen Baustoff für die erste Schicht der Konstruktion auswählen.

Material

Name: Neue Schicht

Suche in der Datenbank

Grundkennwerte

Farbe:

Rohdichte [kg/m³]: 0

Hygrothermische Funktionen

Feuchtespeicherfunktion

Bild | Tabelle

In der Baustoffdatenbank stehen Ihnen ca. 500 Baustoffe zur Verfügung. Für die hygrothermische Simulation sind neben den allgemeinen Kenndaten (wie z.B. spezifische Wärmekapazität, Rohdichte, usw.) auch weitere Kennwerte notwendig (z.B. Porosität, Feuchtespeicherfunktion, usw.). Diese können in der Registerkarte **WEITERE KENNWERTE (ESTHER)** angesehen werden.

Kenndaten erweiterte Daten weitere Kennwerte (Esther) verfügbare Dicken Katalogzuweisung

Wärmeleitfähigkeit (für WUFI) λ_{10} [W/(mK)] 0,13

Porosität [m³/m³] 0,52

Bezugsfeuchtegehalt [kg/m³] 85,6

Freie Wassersättigung [kg/m³] 395,0

Wasseraufnahmekoeffizient [kg/m³] 0,0015

Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Feuchte [%/M.-%] 1,5

Wärmeleitfähigkeitszuschlag, Temp. [W/(mK)] 0,0002

Typische Baufeuchte [kg/m³] 85,6

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ (WUFI) 144,0

Baustoffkennwerte

- Feuchtespeicherfunktion
- Flüssigtransportkoeffizient, Saugen
- Flüssigtransportkoeffizient, Weiterverteilung
- Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig
- Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, feuchteabhängig
- Wärmeleitfähigkeit, temperaturabhängig
- Enthalpie, temperaturabhängig

Funktionswerte werden generiert

Datenquelle: Gemessen

rel. Feuchte []	Wassergehalt [kg/m ³]
0	0
0,5	49,8
0,65	58
0,8	85,6
0,93	119
0,95	137
0,99	215
0,995	248
0,999	313
0,9995	333
0,9999	365
1	395

Nachdem Sie einen Baustoff ausgewählt haben, bestätigen Sie die Eingabe mit **AUSWÄHLEN**. Der Baustoff wird nun in die Registerkarte **MATERIAL** übernommen. Hier haben Sie erneut alle erweiterten Kenndaten im Überblick. Bestätigen Sie die Auswahl mit **OK**.

Die erste Bauteilschicht ist nun angelegt. Geben Sie in der Spalte **DICKE** die Materialdicke (in m) an.

Bauteiltyp Übergänge Aufbau Bauteilbericht

Versionname Innendämmung (Sichtmauerwerk)

Außen Innen

Nr.	Schichtname	Dicke [m]	Farbe	Material	Quellen	Aktionen
1	Vollziegel, alt	0,42			+	

Neigung 90 °

Suche nach Konstruktionen + Weitere Schicht von außen nach innen

Wiederholen Sie den Vorgang für alle weiteren Schichten.

Wenn eine Schicht ausgetauscht werden soll, betätigen Sie die Schaltfläche in der Spalte Material.

Nr.	Schichtname	Dicke [m]	Farbe	Material	Quellen	Aktionen
1	Vollziegel, alt	0,42				

Über die Schaltfläche  kann zudem eine Schicht kopiert werden. Soll eine Schicht gelöscht werden, betätigen Sie die Schaltfläche .

Mit direkter Anwahl einer Schicht über die linke Maustaste kann diese Schicht auch einfach im Schichtaufbau an eine andere Stelle verschoben werden.

Über das Symbol **+** können Feuchtequellen bei der Simulation berücksichtigt werden. In dem Programmfenster **QUELLEN** können Sie Lage und Eigenschaften der einzelnen Quellen festlegen, die Sie zur aktuellen Schicht hinzugefügt haben.

Näher Informationen zu diesem Thema finden Sie in der Hilfe von ZUB ESTHER® im Abschnitt **DIALOG: HYGROTHERMISCHE QUELLEN BEARBEITEN**.

4.2.5 Bauteilbericht

In dieser Registerkarte können Sie eigene Texte für den Bericht einfügen. Für das Textfeld **GESAMTWASSERGEHALT** steht Ihnen ein Textbaustein zur Verfügung.

 Bauteiltyp
 Übergänge
 Aufbau
 Bauteilbericht
 Ergebnisse

Gesamtwassergehalt

B I

Folgende Hinweise sind entsprechend WTA-Merkblatt 6-8 zu beachten:
 Es darf zu keiner kontinuierlichen Auffeuchtung des Bauteils kommen. Nach einer Einschwingphase müssen Feuchteeintrag und Trocknung im Jahresgang ausgeglichen sein. Der eingeschwungene Zustand gilt als erreicht, wenn der Wassergehalt einen Grenzwert anstrebt. Als Richtwert für die Beurteilung wird eine jährliche Wassergehaltsänderung der maßgebenden Schicht von weniger als 1 % bezogen auf den Vorjahreswassergehalt empfohlen. Weitere Hinweise bzgl. Holzfeuchten und Luftdurchlässigkeit sind zu beachten.

Einzelwassergehalt

B I

4.2.6 Ergebnisse

4.2.6.1 Auswertung der Ergebnisse

Für die Beurteilung der Ergebnisse einer hygrothermischen Simulation bedarf es Grundlagenwissen im Bereich des klimabedingten Feuchteschutzes. Grundsätzlich ist zu prüfen, dass in der Konstruktion der Wassergehalt insgesamt nicht ansteigt bzw. über den für ein bestimmtes Material zulässigen Grenze liegt.

Daher wird zunächst die Feuchtebilanz des gesamten Bauteils (siehe Abschnitt Gesamtwassergehalt) und anschließend die Einzelwassergehalte der jeweiligen Materialschichten bewertet.

4.2.6.2 Info Berechnung

Nachdem die Simulation durchgeführt wurde, können die Ergebnisse in der Registerkarte **ERGEBNISSE** angesehen werden.

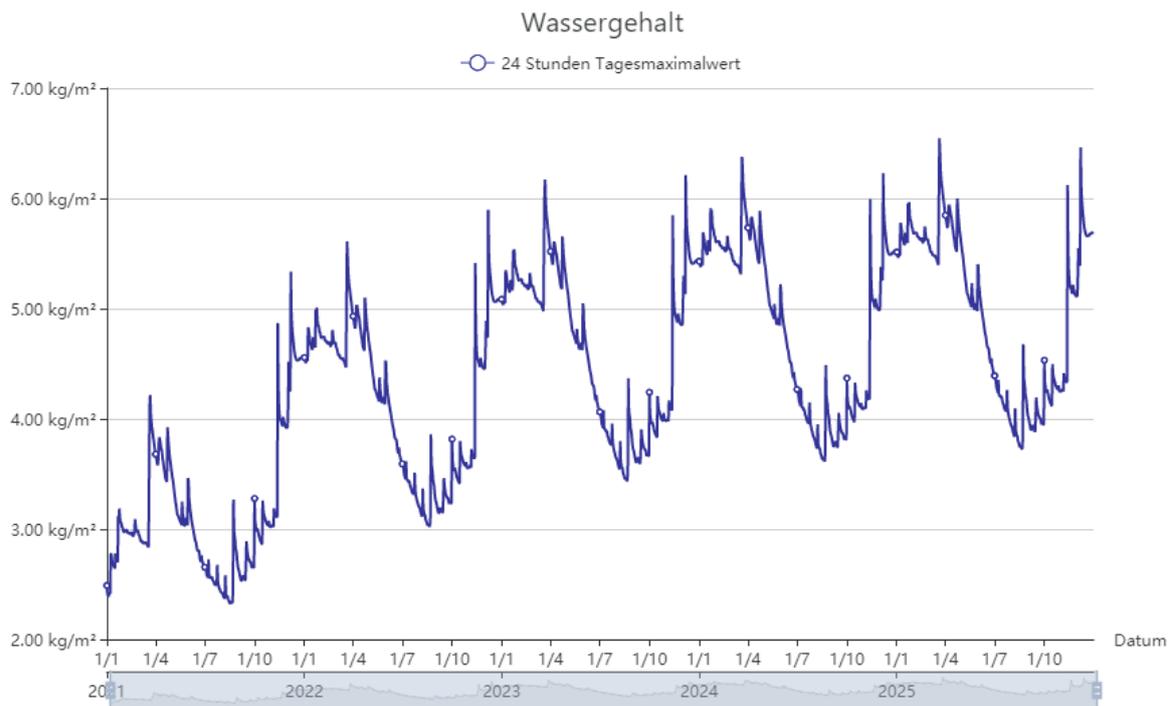
In der Registerkarte **INFO BERECHNUNG** werden Ihnen allgemeine Informationen zum Rechenverlauf, zur numerischen Qualitätsprüfung, usw. angezeigt. Es werden die Wärme- wie auch die Feuchteströme außen und innen über den Rechenzeitraum angezeigt. Die Menge der Feuchtequellen, d.h. über Schlagregen- oder Luftinfiltration wird dargestellt. Eine Kontrolle sind auch die Bilanzen des Gesamtwassergehaltes und der Feuchtetransporte. Idealerweise sind diese Bilanzen identisch. Bei größeren Abweichungen sollte der Schichtaufbau geprüft werden.

Bauteil	Info Berechnung	Gesamtwassergehalt	Einzelwassergehalte
Rechenverlauf: Datum und Zeit der Berechnung : 10.6.2022 Beginn und Ende der Berechnung: 1.1.2022 / 31.12.2026 Anzahl der Konvergenzfehler : 0 Anzahl der Regenaufnahmefehler : 0 Anzahl der Divergenz : 0			
Numerische Qualitätsprüfung: Integral der Ströme linke Seite diffusiv (außen) [kg/m ²]: -3.335e+0 Integral der Ströme linke Seite kapillar (außen) [kg/m ²]: 1.144e+0 Integral der Ströme rechte Seite diffusiv (innen) [kg/m ²]: -1.815e+0 Integral der Ströme rechte Seite kapillar (innen) [kg/m ²]: 1.987e-7			
Bilanz Änderung Gesamtwassergehalt [kg/m ²]: -0.373 Bilanz Feuchtetransport und Feuchtequellen [kg/m ²]: -0.375			
Zeitintegral der Ströme: Wärmestrom linke Seite (außen) [MJ/m ²]: -802.847 Wärmestrom rechte Seite (innen) [MJ/m ²]: -803.389 Feuchtestrom linke Seite (außen) [kg/m ²]: -2.185 Feuchtestrom rechte Seite (innen) [kg/m ²]: -1.814			
Feuchtequellen [kg/m²]: 0.000			

4.2.6.3 Gesamtwassergehalt

In der Grafik **GESAMTWASSERGEHALT** wird Ihnen die Entwicklung des Wassergehalts im gesamten Bauteil über den Simulationszeitraum dargestellt. Eine erste Bewertung der Konstruktion sollte grundsätzlich anhand des Gesamtwassergehaltes erfolgen. Anhand dieser Grafik können Sie erkennen, ob im Bauteil während Simulationszeitraums eine Feuchtezu- oder -abnahme stattfindet.

In diesem Beispiel steigt der Gesamtwassergehalt über den betrachteten Zeitraum (mehrere Jahre) an. Eine genauere Untersuchung der Konstruktion bzw. der Eingabeparameter wäre in diesem Fall erforderlich.



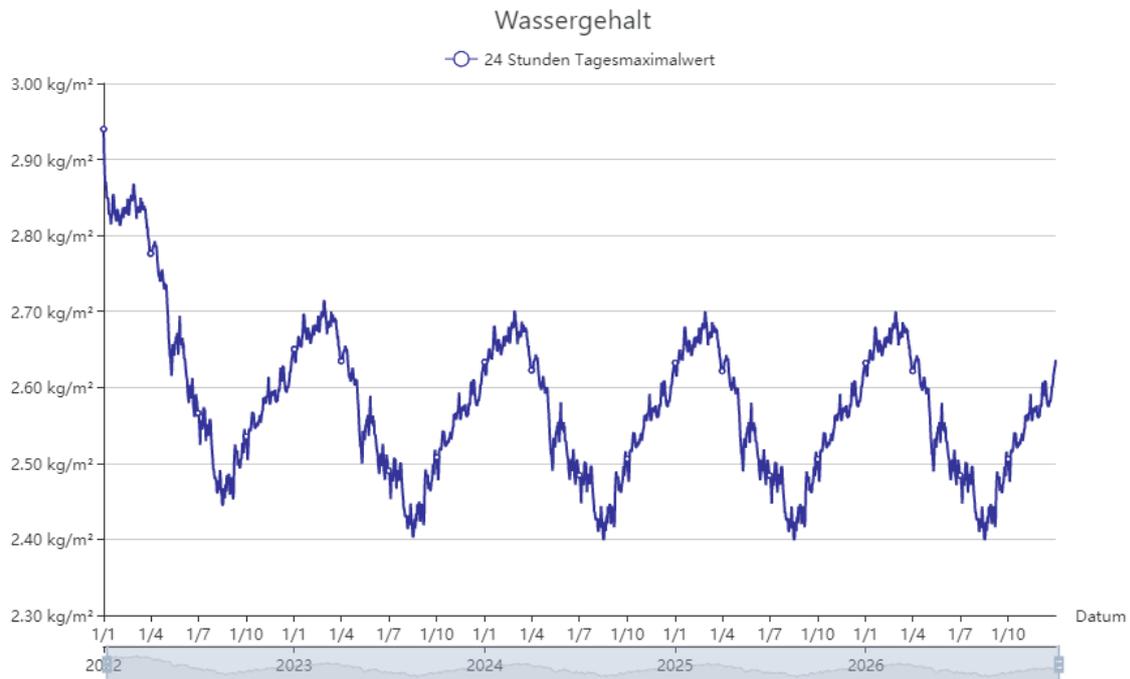
Ein Grund für den Anstieg könnte darin liegen, dass die Simulation mit einem zu niedrig angenommenen Anfangswassergehalt z.B. eines bestimmten Mauerwerks gestartet wurde. Sollte dies der Fall sein, versucht die Berechnung zuerst den Ausgleichsfeuchtegehalt einzustellen. Deshalb sollte der Berechnungszeitraum mind. 4 Jahre betragen, um solche Einschwingvorgänge zu berücksichtigen.

Hinweis: In ZUB ESTHER® wird als Anfangswassergehalt der Materialien der Feuchtegehalt bei 80% rel. Anfangsfeuchte und 20°C Anfangstemperatur verwendet.

Ein Anstieg des Gesamtwassergehaltes könnte aber auch durch den Bauteilaufbau verursacht werden, wodurch es zu einer dauerhaften Anreicherung von Feuchte in der Konstruktion kommen kann. In diesem Fall sind Schäden durch Pilzbefall, Korrosion oder Frostschäden nicht auszuschließen.

Fazit: Wenn der Gesamtwassergehalt ständig ansteigt und der Simulationszeitraum ausreichend lang ist, erfüllt die Konstruktion nicht die Anforderungen an den klimabedingten Feuchteschutz. Der Wassergehalt der einzelnen Schichten braucht in diesem Fall nicht mehr ausgewertet zu werden.

Bleibt jedoch der Gesamtwassergehalt (abgesehen von jahreszeitlichen periodischen Schwankungen) über den Betrachtungszeitraum konstant oder fällt periodisch ab, befindet sich die Konstruktion in einem „eingeschwungenen Zustand“ oder trocknet weiter aus.



Zusätzlich sind dann auch die Wassergehalte der einzelnen Materialien zu prüfen. Hier sind insbesondere die Dämmstoffe und Holz- oder Holzwerkstoffe zu betrachten. In ZUB ESTHER® werden für verschieden Materialien wie Holz, Holzwerkstoffe und Dämmstoffe Grenzwerte angegeben.

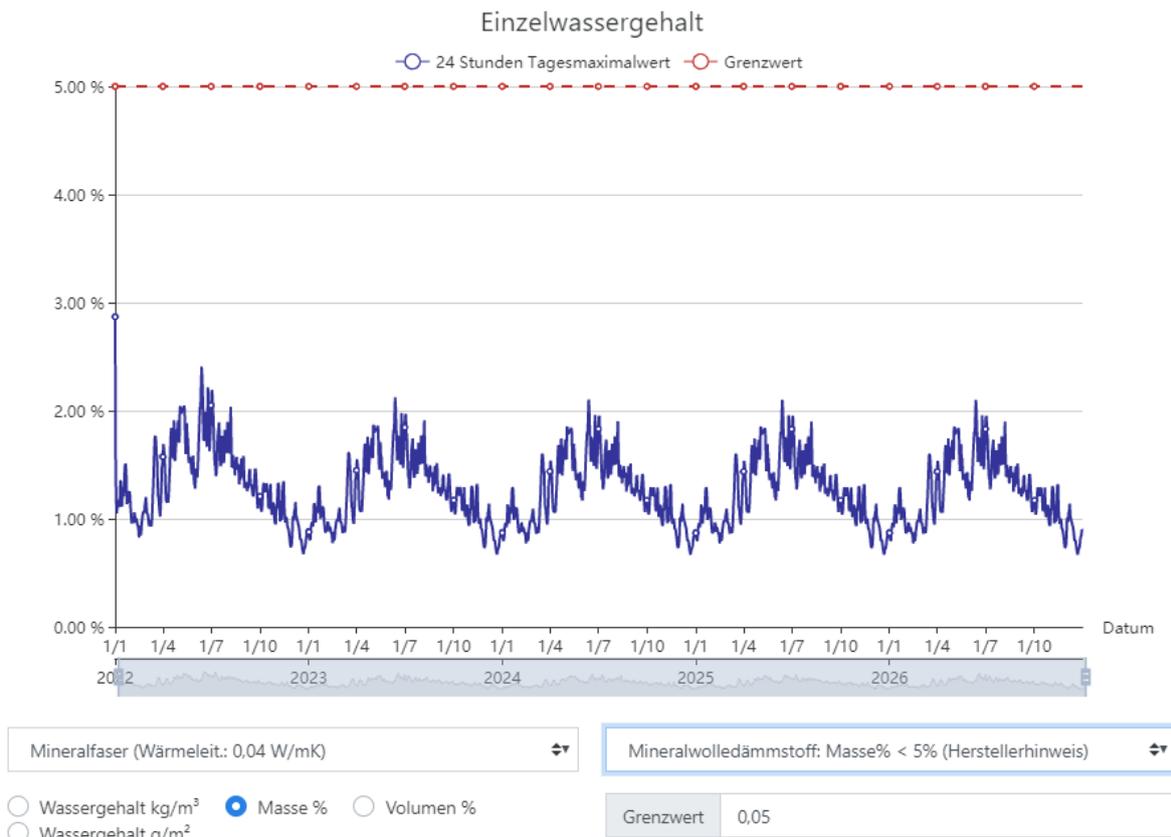
In diesem Beispiel sehen wir in den ersten Jahren einen Rückgang des Gesamtwassergehaltes. Diese Abnahme könnte darauf zurückzuführen sein, dass die relative Anfangsfeuchte etwas zu hoch gewählt wurde und dass die Konstruktion zunächst etwas austrocknet, bevor Sie sich schließlich einpendelt (also ein Gleichgewichtszustand erreicht wird).

Hinweis: Ein Gleichgewichtszustand gilt als erreicht, wenn sich der Wassergehalt des Bauteils am Ende eines Jahres jeweils um weniger als 1% bezogen auf den Vorjahreswassergehalt verändert. Nach spätestens 10 Jahren sollte im Regelfall der Gleichgewichtszustand erreicht sein.

Sinkt der Gesamtwassergehalt der Konstruktion über den Betrachtungszeitraum, bedeutet dies ein Austrocknen der Konstruktion.

4.2.6.4 Einzelwassergehalte

Zunächst gilt auch hier, dass in den einzelnen Schichten nicht eine permanente Feuchtezunahme erfolgt.



Ein steigender Wassergehalt in einzelnen Schichten kann, trotz gleichbleibendem Gesamtwassergehalt, durch eine Umverteilung der Feucht in der Konstruktion stattfinden. Wie auch schon in der Auswertung des Gesamtwassergehaltes, sollte auch in den einzelnen Schichten ein eingeschwungener Zustand erkennbar sein. Neben dem zeitlichen Verlauf des Wassergehalts ist nun auch die absolut enthaltene Wassermenge im Material von Bedeutung. Bei Baustoffen, die sich im kalten Bereich der Konstruktion befinden (wie z.B. bei Innendämmung), kann es bei hohen Feuchtemengen zu Frostschäden kommen.

Bei Holzkonstruktionen ist darauf zu achten, dass ein Wassergehalt von 20 M.-%, bzw. bei Holzwerkstoffen (Nutzungsklasse 2) von 18 M.-%, nicht über einen längeren Zeitraum überschritten wird (siehe WTA-Merkblatt 6-8).

Weitere Hinweise zu typischen baupraktischen Feuchten finden Sie in der DIN 4108-4, Tabelle 3. Die dort beschriebenen Ausgleichsfeuchtegehalte stellen aber keine Grenzwerte dar. Auch hohe Wassermengen im Dämmstoff sollten vermieden werden, da dies die Wärmeleitung erhöht und somit die wärmedämmende Wirkung verringert.

Hinweis: Bei Schaumkunststoffen (Polystyrol-Dämmstoffen) können die Grenzwerte bei 2 Vol.-%, bei Mineralwolle nach Herstellerhinweisen bei ca. 5 M.-% festgelegt werden.

Bis etwa 2 Vol.-% Feuchtegehalt ist nur ein geringer Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit bei Schaumkunststoffen feststellbar. In DIN 4108-4 (Ausgabe 1985) wird für Mineralwolle zwar ein prakt. Feuchtegehalt von 1,5 Masse% bzw. in aktueller DIN EN ISO 10456 ein Wert von 0 Vol.-% als praktischer Feuchtegehalt genannt, aber die rechnerisch ermittelten Werte von 2-3 Masse% liegen aufgrund der rechentechnischen Grundlagen im Bereich des prakt.

Feuchtegehalts. Aufgrund des Berechnungsverfahrens mit einer internen Feuchtespeicherfunktion, wird bei der Ermittlung des Feuchtegehalts deshalb bei Mineralwolle oder Schaumkunststoffen immer ein zu hoher Feuchtegehalt (absolut) errechnet.

Über das linke Drop-Down-Menü könne Sie die einzelnen Schichten der Konstruktion auswählen, um die Einzelwassergehalte der jeweiligen Schichten zu prüfen.

Vollziegel, alt

Wassergehalt kg/m³ Masse % Volumen %
 Wassergehalt g/m²

Auch können Sie sich den Wassergehalt in verschiedenen Einheiten (Wassergehalt in kg/m³, Wassergehalt in g/m², usw.) anzeigen lassen.

Über das rechte Drop-Down-Menü können Sie sich Grenzwerte für bestimmte Schichten Anzeigen lassen.

Kein Grenzwert

Kein Grenzwert
Freie Eingabe
Holz: Masse% < 20% (10mm außen)
Holz: Masse% < 20% (Ganze Materialschicht)
Holzwerkstoff: Masse% < 18%
Mineralwollgedämmstoff: Masse% < 5% (Herstellerhinweis)
Mineralwollgedämmstoff Standard: Tauwassermenge < 200g/m² (10mm außen)
Mineralwollgedämmstoff Hersteller: Tauwasser < Freie Sättigung g/m² (1mm außen)
Holzwolle-/faserdämmstoff: Masse% < 15% (DIN 4108-4 Ausgleichsfeuchte)
Gipsfaserplatte: Masse% < 2%
Schaumkunststoff: Volumen% < 2%

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit keinen Grenzwert anzeigen zu lassen oder über eine freie Eingabe diesen selbst festzulegen.

Sind die in der Drop-Down-Liste angezeigten Grenzwerte ausgegraut (also nicht anwählbar), sind diese Grenzwerte für die Art der Einheit nicht relevant. Wenn sich also der Grenzwert auf Masse% bezieht, muss die Anzeige auch auf Masseprozent eingestellt werden.

Holzfaserdämmplatte (WLG 040)

Holzwolle-/faserdämmstoff: Masse% < 15% (DIN 4108-4 Ausg)

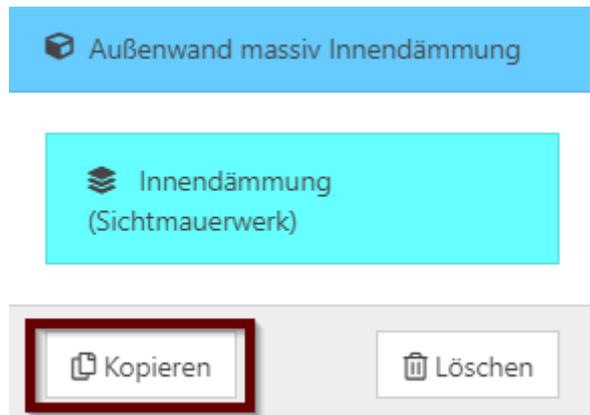
Wassergehalt kg/m³ Masse % Volumen %
 Wassergehalt g/m²

Werden die Grenzwerte eingehalten und befindet sich der Wassergehalt der einzelnen Schichten in einem eingeschwungenen Zustand, ist der Nachweis des konstruktiven

Feuchteschutzes erbracht (sofern die Mindestanforderungen nach DIN 4108-2 (Oberflächentemperatur und Luftdichtheit) eingehalten werden.

4.3 Variante anlegen

Wenn Sie ein Variante der Konstruktion anlegen möchten, betätigen Sie die Schaltfläche **VARIANTE KOPIEREN**. Es wird eine Kopie der Ausgangsvariante angelegt. Diese kann nun bearbeitet werden.



4.4 Neues Bauteil anlegen

Über die Schaltfläche **BAUTEIL** kann eine weitere Konstruktion eingegeben werden.



5. Ausgabe: Bericht

Über die Schaltfläche **BERICHT** kann das Programmfenster **AUSGABE-KONFIGURATION** geöffnet werden.



In Programmfenster **AUSGABE-KONFIGURATION** bestimmen Sie den Umfang der Ausgabe durch Setzen der entsprechenden Häkchen bei den einzelnen Ausgabeabschnitten.

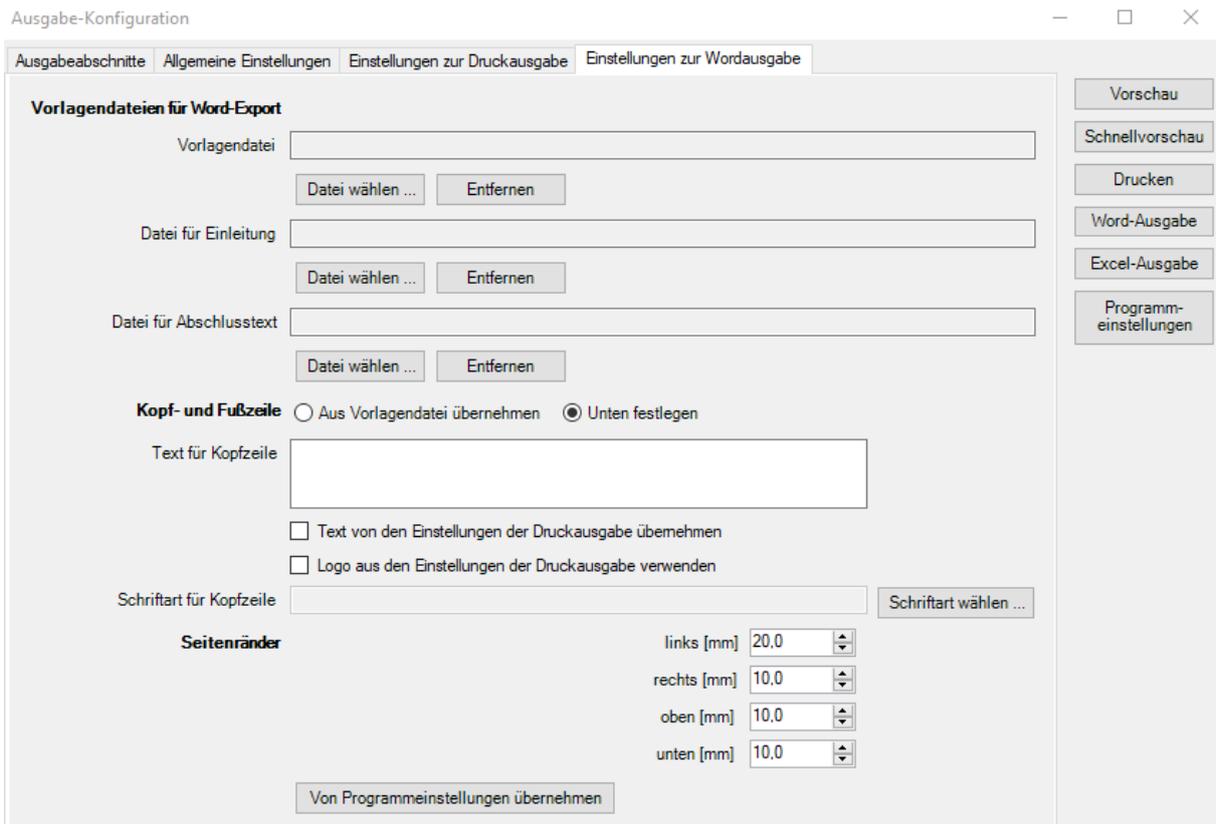


Für die Ausgabe können Sie zudem in der Registerkarte **ALLGEMEINE EINSTELLUNGEN** verschiedene Layout-Einstellungen vornehmen. Folgende Einstellungen sind z.B. konfigurierbar:

- **Ausgabe mit Kopf- und Fußzeile**
Das Layout der Kopfzeile kann in der Registerkarte EINSTELLUNGEN ZUR DRUCKAUSGABE bzw. EINSTELLUNGEN ZUR WORDAUSGABE angepasst werden.
- **Seitenzahlen beginnen bei**
Hier kann eine benutzerdefinierte Startseitenzahl angegeben werden, etwa wenn Teile der Projekt-Dokumentation aus anderen Quellen kommen sollen.

In der Registerkarte EINSTELLUNGEN ZUR Druckausgabe kann u.a. ein Text für die Kopfzeile eingegeben werden. Des Weiteren können Sie ein Logo für die Kopfzeile in den Bericht einfügen.

In der Registerkarte EINSTELLUNGEN ZUR WORD-AUSGABE können u.a. folgende Einstellungen vorgenommen werden:



Vorlagendatei: Möglichkeit zur Verwendung einer eigenen Vorlagendatei für die Wordausgabe. Über die Schaltfläche DATEI WÄHLEN... kann die Vorlagendatei geladen werden.

Datei für Einleitung: Ein z.B. mit Word erstellter Einleitungstext kann der Word-Ausgabe über DATEI WÄHLEN... hinzugefügt werden.

Datei für Abschlusstext: Ein z.B. mit Word erstellter Abschlusstext kann der Word-Ausgabe über DATEI WÄHLEN... hinzugefügt werden.

Kopf- und Fußzeile: Eingabe einer Kopfzeile (z.B. Name, Anschrift des Bearbeiters, Titel der Projekt-Dokumentation, usw.).

Seitenränder: Layout-Option - Abstand des Textes vom Seitenrand.

Anschließend können Sie über VORSCHAU (oder in etwas geringere Auflösung über SCHNELLVORSCHAU) den Bericht erzeugen und anschließend als pdf-Datei speichern.

Alternativ können Sie auch über die Schaltfläche DRUCKEN den Bericht direkt ausdrucken.

Des Weiteren kann in ZUB ESTHER® direkt eine **Word-Datei** erzeugt werden. Die Datei wird direkt im aktuellen docx-Format von Microsoft Word (ab Version Office 2007 das Standard-Format) erzeugt. Für das Erzeugen der Word-Datei selbst ist keine Installation von Microsoft Word erforderlich. Allerdings kann die so erzeugte Datei nur mit Microsoft Word vernünftig angezeigt und bearbeitet werden.

FAQs

Warum gibt es keine Verknüpfung mehr zur ZUB Helena Datenbank

In ZUB ESTHER 6.0 wird eine eigene Datenbank verwendet. Schon in der Vorgängerversion von ZUB ESTHER sollten nur die -Baustoffe aus den WUFI-Katalogen verwendet werden, da nur diese Baustoffe die erforderlichen feuchtedynamischen Kennwerte enthielten.

Auch sind unterschiedliche lambda-Werte bei der GEG-Berechnung und der hygrothermischen Simulation notwendig (GEG-Berechnung: Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit / hygrothermische Simulation: lambda-Wert bei 10° C ohne Feuchtezuschlag).

Warum können keine Projektdateien aus ZUB Esther 5.2 geöffnet werden?

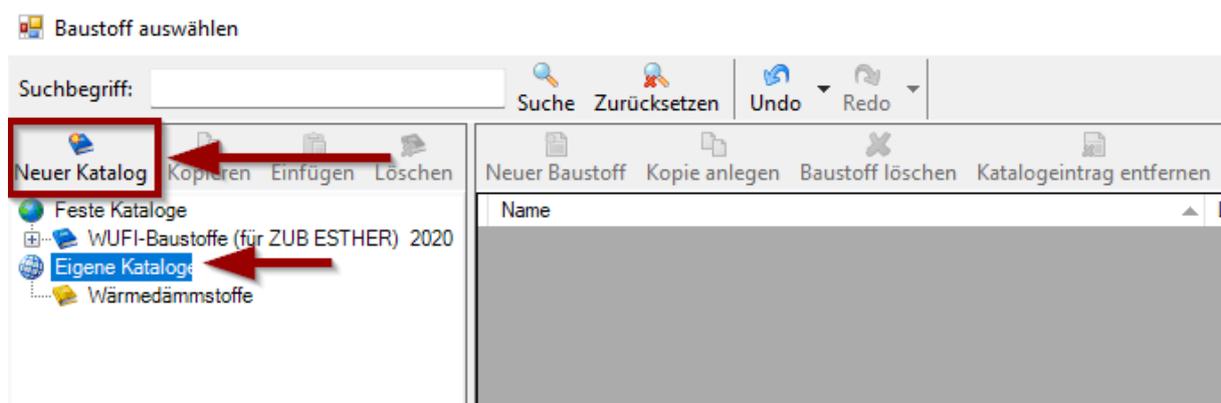
Ein Import von Projektdateien, die mit ZUB ESTHER 5.2. erstellt wurden, ist aufgrund der technisch grundlegend geänderten Struktur und den teilweise geänderten Programminhalten (Webbasiert Chromium) zu der alten abgespeckten WUFI-Version (Delphi-Code > 10 Jahre) nicht möglich.

Warum kann in ZUB ESTHER kein eigener Baustoff angelegt werden?

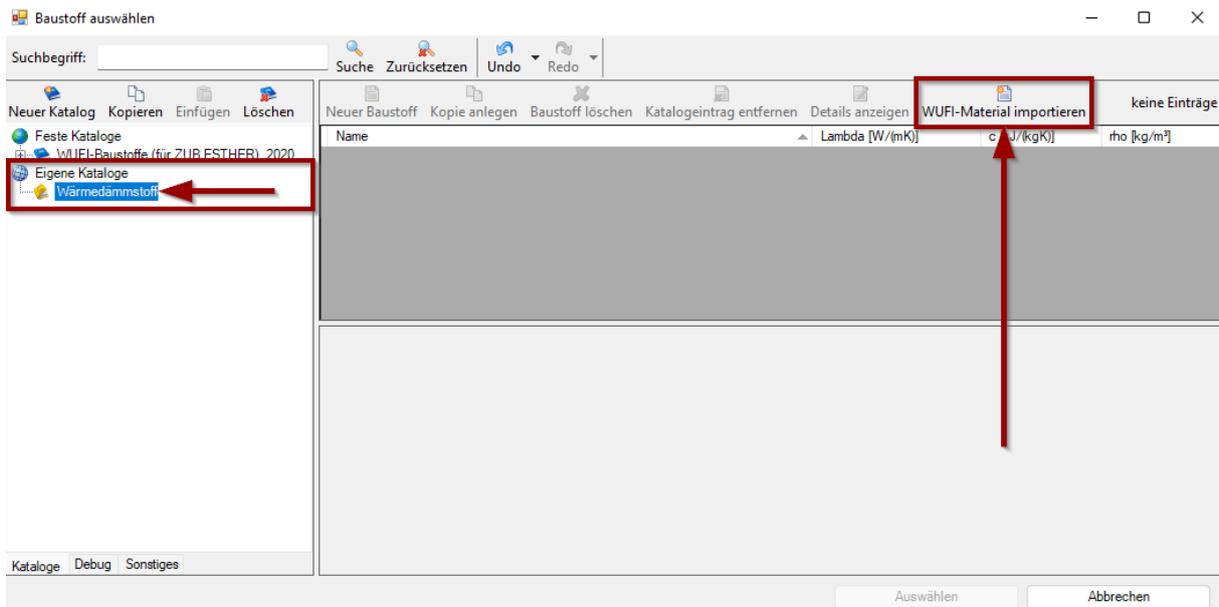
Aufgrund der komplexen Material-Kennwerten, die für die hygrothermische Simulation notwendig sind, ist es in ZUB ESTHER nicht möglich einen eigenen Baustoff anzulegen.

In der aktuellen Version von ZUB ESTHER besteht daher die Möglichkeit WUFI-Materialien bzw. Baustoffe von Herstellern (die in einem für ZUB ESTHER bzw. WUFI lesbaren Datensatz zur Verfügung stehen) zu importieren.

Gehen Sie dazu in der Baustoffdatenbank auf **EIGENE KATALOGE** und legen Sie über die Schaltfläche **NEUER KATALOG** einen Katalog an.



Anschließend können Sie über die Schaltfläche **WUFI-MATERIAL IMPORTIEREN** den Datensatz (also die xml-Datei) öffnen.



Warum werden in ZUB ESTHER viele Folien mit mindestens 1mm Dicke eingegeben?

Einleitung

Folien übernehmen u.U. innerhalb einer Konstruktion verschiedene Aufgaben, wie z.B. zur Sicherstellung der Wind-, Regen- und Wasserdichtheit, zum Oberflächenschutz usw. Im Zusammenhang mit den hygrothermischen Simulationen sind besonders hierbei Abdichtungsbahnen, Unterdeckbahnen, Dampfbremsen und Dampfsperren von Interesse.

Hintergrund

Eine Folie wird in der Regel wenige Hundertstel bis einige Millimeter dick sein. Da jede Schicht aus einigen Gitterelementen bestehen sollte, ergeben sich so äußerst kleine Elemente. Aus numerischen Gründen sollten aneinandergrenzende Elemente keinen zu großen Dickenunterschied aufweisen. Die Gitterelemente der angrenzenden Schichten müssten daher kontinuierlich kleiner werden, um einen akzeptablen 'Anschluss' zu erreichen. Dies führt insgesamt zu einer Erhöhung von Gitterelementen, die die Simulation verlangsamen.

Umsetzung in ZUB ESTHER

In ZUB ESTHER wird deshalb in der Datenbank für viele Folien, deren Dicken üblicherweise kleiner sind als 1 mm, diese dann im Schichtaufbau mit 1mm als 'effektive Dicke' eingefügt. Dabei wurden die anderen Materialkennwerte so angepasst, dass sich die richtigen Wärmeströme und Dampfdiffusionsströme einstellen. Die Kennwerte der meisten Folien in der mitgelieferten ZUB ESTHER-Datenbank sind bereits so umgerechnet, dass die Folien mit 1 mm Dicke in den Bauteilaufbau einzufügen sind. Beachten Sie dazu die entsprechenden Hinweise bei den Materialien.

Ein weiterer Vorteil dieser 'effektiven' Folie ist auch die leichtere Erkennbarkeit in der grafischen Darstellung des Bauteilaufbaus.

Warum werden in der Baustoffdatenbank von ZUB ESTHER teilweise keine lambda-Werte angezeigt?

In der Baustoffdatenbank von ZUB ESTHER werden teilweise λ -Werte (lambda-Werte) von 0 W/(m·K) angezeigt.

Hintergrund:

In ZUB ESTHER 6.0 wird eine eigene Datenbank verwendet. Schon in der Vorgängerversion von ZUB ESTHER 5.2 sollten nur die Baustoffe aus den WUFI-Katalogen verwendet werden, da nur diese Baustoffe die erforderlichen feuchtdynamischen Kennwerte enthalten.

Auch sind unterschiedliche lambda-Werte bei der GEG-Berechnung und der hydrothermischen Simulation notwendig (GEG-Berechnung: Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit / hydrothermische Simulation: lambda-Wert bei 10° C ohne Feuchtezuschlag).

Die Angabe in der Spalte „Lambda [W/(m·K)]“ kann daher ignoriert werden. Die Angaben in den Registerkarten „Kenndaten“ und „Weitere Kennwerte ESTHER“ sind für die hydrothermische Simulation relevant.

The screenshot shows the 'Baustoff auswählen' (Select material) window. At the top, there is a search bar and a toolbar with 'Suche Zurücksetzen', 'Undo', and 'Redo'. Below the toolbar is a list of catalogs: 'Neuer Katalog', 'Kopieren', 'Einfügen', 'Löschen', 'Feste Katalog', 'WUFI-Baustoffe (für ZUB ESTHER) 2020', 'Eigene Kataloge', and 'Wärmedämmstoffe'. The main table displays a list of materials with columns for 'Name', 'Lambda [W/(mK)]', 'c [kJ/(kgK)]', and 'rho [kg/m³]'. A red box highlights the 'Lambda' column, showing values of 0 for most materials and 0.13 for others. Below the table, there are tabs for 'Kenndaten', 'erweiterte Daten', 'weitere Kennwerte (Esther)', 'verfügbare Dicken', and 'Katalogzuweisung'. The 'Kenndaten' tab is active, showing the following properties for 'Adolf Würth, WÜTOP DB 2':

Name	Adolf Würth, WÜTOP DB 2
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]	0.0
spezifische Wärmekapazität c [kJ/(kgK)]	2.3
Rohdichte ρ [kg/m³]	130.0
<input type="checkbox"/> vorgegebener sd-Wert	
μ (minimal)	6.020
μ (maximal)	6.020
<input type="checkbox"/> Luftschicht	
Baustofftyp	Folie, Abdichtung

A red box highlights a warning message: 'Hinweis: Wärmeleitfähigkeit für WUFI-Verfahren (ZUB ESTHER) liegt vor. $\lambda_{10} = 2.3$ W/(mK)'. Red arrows point from the 'Hinweis' box to the 'Kenndaten' tab and the 'Lambda' column in the table.

Kann man mit ZUB Esther ein projektspezifisches Innenklima für den gesamten Betrachtungszeitraum ansetzen?

Können so z.B. Berechnungen von Außenbauteilen einer Schwimmhalle (o.ä.) durchgeführt werden?

Nein. ZUB Esther ist auf die Bewertung von Wohnraumklimata o.ä. beschränkt. Innenraum-Sonderklimata wie Schwimmhallen, Kühlräume etc. können über das Hauptprogramm WUFI berücksichtigt werden. Hierbei können auch eigene Klimadatenätze mit Temperatur- und Feuchteprofilen verwendet werden.

Kann eine Verschattung eines Flachdaches (Holzbauweise) berücksichtigt werden?

Nach WTA Merkblatt 6-8 "Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen ..." Tabelle 3 wird für Verschattungen, sofern keine genaue Information über die Verschattungssituation vorliegt,

- bei vertikaler Verschattung z.B. durch Häuser, Bäume, Balkonbrüstung, Attika für den effektiven kurzwelligigen Absorptionsgrad $= 0,35 * a_{\text{Abdichtung}}$ und langwelligem Emissionsgrad $= 1 * \epsilon_{\text{Abdichtung}}$
- bei Verschattung durch aufgeständerte PV-Module für den effektiven kurzwelligigen Absorptionsgrad $= 0,30 * a_{\text{Abdichtung}}$ und langwelligem Emissionsgrad $= 0,50 * \epsilon_{\text{Abdichtung}}$
- bei horizontaler Verschattung z.B. durch Terrassenbelag für den effektiven kurzwelligigen Absorptionsgrad $= 0,35 * a_{\text{Belag}}$ und langwelligem Emissionsgrad $= 1 * \epsilon_{\text{Abdichtung}}$

vorgeschlagen.

In ZUB ESTHER können bei Flachdächern verschiedene Verschattungsoptionen gewählt werden.

Erfüllt ZUB Esther alle Anforderungen, die in DIN EN 15026 beschrieben werden?

Die numerischen Anforderungen nach DIN EN 15026 werden von ZUB Esther erfüllt (ZUB Esther verwendet den Rechenkern des Fraunhofer Instituts (Rechenkern-WUFI)). Es gibt Einschränkungen bei der Auswahl und Bearbeitung von Klimadaten. Auch sind keine benutzerdefinierten Eingaben bei den Randbedingungen (Strahlungsdaten...) möglich. Einschränkungen betreffen die Eingabe von Quellen und Senken. Es sind nur Feuchtequellen über Infiltration und Schlagregenanteil möglich.

Übersicht der relevanten Normen und Verordnungen

DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2:
Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

DIN 4108-3:2018-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3:
Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für
Planung und Ausführung

DIN 4108-4: 2020-11: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme-
und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

DIN-Fachbericht 4108-8:2010-09 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 8:
Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden

DIN 4108-7:2011-01 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7:
Luftdichtheit von Gebäuden - Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen
sowie -beispiele

DIN EN ISO 13788: 2013-05: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und
Baulementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer
Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren

Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse - Referat 6 Bauphysik/Bauchemie /
WTA Merkblatt 6-2-14/D. Deutsche Fassung. Stand Dezember 2014

Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden - Referat 6 Bauphysik / WTA Merkblatt 6-4-
16/D. Deutsche Fassung. Stand Oktober 2016

Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer
Berechnungsverfahren - Referat 6 Bauphysik / WTA Merkblatt 6-5-14/D. Deutsche Fassung.
Stand April 2014

WTA 6-8 Luftdichtheit im Bestand. Teil 1: Grundlagen der Planung - Referat 6 Bauphysik /
WTA Merkblatt 6-9-15/D. Deutsche Fassung. Stand November 2015

Luftdichtheit im Bestand. Teil 2: Detailplanung und Ausführung - Referat 6 Bauphysik / WTA
Merkblatt 6-10-15/D. Deutsche Fassung. Stand November 2015

Luftdichtheit im Bestand. Teil 3: Messung der Luftdichtheit - Referat 6 Bauphysik / WTA
Merkblatt 6-11-15/D. Deutsche Fassung. Stand Dezember 2015

Literaturverzeichnis

Fraunhofer-Institut für Bauphysik. (2021). *Leitlinien für die Auswertung verschiedener Konstruktionen*.
Von www.wufi.de abgerufen

Häupl, P., & u.a. (2013). *Lehrbuch der Bauphysik, 7. Auflage*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.

Künzel, H. (1997). Raumlufteuchteverhältnisse in Wohnräumen. *IBP-Mitteilung 24, Nr. 314*.