

Mockups und Anschauungsmaterial

Interaktive Lehrformate für NZEB
in Neubau und Bestand

DELIVERABLE D3.11

Autoren: Rainer Pfluger, Johannes Seibert

Ort, Datum: Innsbruck, 19.12.2025



Co-funded by the
European Union

“Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.”

Projektnummer: 101167494

Impressum:

Herausgeberin: Österreichische Energieagentur, Austrian Energy Agency | Mariahilfer Straße 136, 1150 Wien

Telefon: +43 512 507-63602, office@energyagency.at, energyagency.at

Verantwortlich für den Inhalt: DI Franz Angerer | Projektmanager: Dr. Elisabeth Sibille

Die Vervielfältigung ist nur in Auszügen und unter genauer Angabe der Quelle gestattet.

Die Universität Innsbruck hat die Inhalte dieser Publikation mit großer Sorgfalt recherchiert und dokumentiert. Dennoch können wir keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernehmen.

Austrian Energy Agency | Ort der Veröffentlichung und Produktion: Wien

Document information:

Grant agreement	101167494
Project title	Achieving Zero Emission Building Stock with Viable Educational Programs
Project acronym	AchieVE-ZEB
Project coordinator	Austrian Energy Agency
Project duration	1. October 2024 – 30. August 2027
Related work package	WP 3
Related task(s)	T3.2.3
Lead organisation	University of Innsbruck
Contributing partner(s)	Passive House Institute GmbH
Lead authors	Austrian Energy Agency
Contributing author(s)	PHI Austria GmbH
Reviewer(s)	Energy Agency Steiermark GmbH
Due date	Gebäudeenergieberater Ingenieure Handwerker – Bundesverband E.V.
Publication date	Energie Agentur Steiermark
Dissemination level	Rainer Pfluger

List of Acronyms and Abbreviations:

Term	Description
AU, ZU, FO, AB	Außenluft, Zuluft, Fortluft, Abluft
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer (synthetischer Gummi, Elastomer)
EPS, XPS, PET	Expanded Polystyrene, Extruded Polystyrene, Polyethylene Terephthalate
HEA	Herstellungsenergieaufwand
ZEB, WDVS, OSB	Zero Emission Building, Wärmedämmverbundsystem, Oriented Strand Board
IFC	Industry Foundation Classes

Zusammenfassung

Für die Planung und Errichtung von Zero Emission Buildings bzw. für die Sanierung von Bestandsgebäuden ist umfangreiches Fach- und Detailwissen aus unterschiedlichsten Disziplinen erforderlich. Die Gesamthematik kann in die Bereiche Gebäudehülle und Gebäudetechnik aufgeteilt werden. Für jeden dieser Bereiche sind Kompetenzen in Bezug auf Planung, Ausführung und Qualitätskontrolle bis hin zur Energieberatung zu erwerben. In AchieVE-ZEB werden hierfür Universitätsvorlesungen, Übungen sowie Aus- und Weiterbildungen u. A. für Architekten, Bauingenieure, Fachplaner und qualifizierte Fachhandwerker (weiter-)entwickelt.

Neben der klassischen Ausbildung mit Fachvorträgen und Skripten sowie schriftlichen Übungen sind gerade im Baubereich auch Anschauungsmaterialien und Aufbauten im Maßstab 1:1, sogenannte Mockups sehr nützlich, weil sie viele der Themen im wahrsten Sinne des Wortes „begreifbar“ machen.

Anschauungsmaterial und (Teilmodelle) können bereits durch ihre 3D-Form, Haptik, Materialität, Farbe, Textur, Gewicht, Beschriftung etc. einen authentischen Eindruck von Materialien, Bauelementen, Bauteilen und Konstruktion geben.

Darüber hinaus können montierbare bzw. demontierbare Baugruppen auch Montageabläufe „begreifbar“ machen.

In letzter Konsequenz können mit Funktionsmustern und Übungs- bzw. Versuchsständen sogar komplexe Abläufe, Funktionen oder Messungen demonstriert werden.

Die im Projekt gesammelten Ideen für derartige Anschauungsmaterialien und Mockups wurden nach Ihrer Funktion, Einsatzmöglichkeit inklusive der didaktischen Methoden aufgeschlüsselt, thematisch sortiert und so für die Integration in die klassische Lehre aufbereitet.

Die Sammlung besteht teils aus Ideen und Aufbauten die von den Projektpartnern entwickelt und teilweise realisiert wurden, stellt aber auch andere bereits veröffentlichte Materialien und Konzepte auf einheitliche und systematische Weise zusammen. So sind sie für alle Bildungsanbieter leicht verfügbar und können häufig mit relativ geringem Zeit- und Materialaufwand selbst erstellt werden.

Größe (und damit Platzbedarf), Gewicht, Transportfähigkeit, Kosten, Langlebigkeit können jeweils entscheidend für den jeweiligen Einsatz in der Ausbildung sein. Je nachdem ob die Ausbildung ortsnah zu Lehrmittelsammlungen durchgeführt werden können oder Vorträge an weit entfernten Kursorten mit aufwändiger Anreise gehalten werden sollen, sind die ein- oder anderen Materialien zu bevorzugen bzw. schließen auch einige aus praktischen Gesichtspunkten aus. In dieser Sammlung wurde (bis auf einige Ausnahmen) der Vorzug auf handlichere Materialien und Funktionsmuster gelegt, um diese möglichst universell einsetzbar zu machen. Einige Exponate und Mockups können aber auch fix in Kursräumen installiert werden, wenn diese nicht anderweitig oder flexibel genutzt werden müssen.

Letztendlich stellt aber nicht nur die Erstellung der Lehrmaterialien, sondern auch die sorgfältige Vorbereitung der Lehrveranstaltung unter Zuhilfenahme dieser Materialien einen nicht zu vernachlässigen Aufwand dar. Auch dieser soll mit dem vorliegenden Dokument minimiert werden.

Inhalt

Zusammenfassung	6
Von der Materialprobe zum Funktions-Mockup	7
Übersicht und didaktische Einordnung	9
Konzept-Dokumentation der Materialproben, Mockups und Videos	12
Materialproben und Anschauungsmaterial	12
Dämmstoffmuster	12
Verarbeitung von Zellulosedämmung	15
Einblasdämmung	15
Aufblasdämmung (offene Verarbeitung)	16
Platten- oder Mattenverarbeitung	16
Sprühdämmung	16
Schüttdämmung	16
Dämmstoffdübel für Wärmedämmverbundsystem	17
WDVS-Dübel-Montage in der Sanierung ohne Klebstoff	18
Befestigungselemente für Wärmedämmverbundsystem	18
Musterkoffer für Wärmedämmverbundsystem-Zubehör	19
Luftdichtheitsmaterialien	20
Verschattungselemente	21
Verglasungen	21
Passive Überströmer im Türblatt mit Schalldämmfunktion	22
Passive Überströmer in der Türzarge	23
Passive Überströmer in der Absenkichtung	24
Versuchsaufbauten und Experimente	25
Versuchsaufbau mit Temperaturmessung/-Erführung	25
Zellulose-Einblasvorgang	26
Coanda-Effekt – Nebelvisualisierung	26
Schalldämpfer als Anschauungsmodelle und Funktionsmuster	29
3D-Modelle und 1:1 Aufbauten	30
Dämmung für Warmwasser-Leitungen	30
Wärme gedämmte Befestigung von Warmwasser-Leitungen	31
Wärmebrückenfreier Anschluss raumhoher Verglasungen bei Balkonen	32
Bodenplatten-Dämmelemente als verlorene Schalung unter der Bodenplatte	33

Fenstereinbau – Unterschiedliche Vorwandmontagearten	34
Fenstereinbau – Position von Verschattungssystemen	34
Fenstereinbau – Schrittweise Sanierung	36
Laminar-Flow: Lüftungsverteilung für die Zuluft in der Sanierung.....	38
Kanallösungen für die Sanierung.....	39
Aktive Überströmer im Türblatt oder in der Wand.....	41
Vergleich unterschiedlicher Luftkanäle	42
Vergleich Dämmungen für Luftkanäle	43
Vergleich Dämmungen Warmwasserleitungen	45
Vergleich Dämmungen – gedämmte Rohrschellen warmwasserführender Rohrleitungen.....	46
Vergleich Dämmungen – gedämmte Armaturen warmwasserführender Rohrleitungen	47
Luft-Ein- und Auslässe für hohe Volumenströme	49
Vergleich Wandaufbauten Holzbau	50
Vergleich Innendämmkonstruktionen	51
Lösungen für Anschlussstellen in schrittweise durchgeführten Sanierungen.....	52
Luftdichtheit-Visualisierung bei serieller Sanierung.....	53
3D-Modelle in Sketchfab oder 3D-PDF	54
Wärmebrücken-Visualisierung mit COMSOL-Apps.....	54
Mockups	55
IR-Kamera Modellgebäude	55
Luftdichtheit: Drucktest und Nebelvisualisierung am Modell.....	57
Duschwasser-Wärmerückgewinnung: Funktionsmockup für die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser	67
Wandintegrierte Lüftung: Mockup für die wandintegrierte Lüftung in der Sanierung	72
Komfortlüftung - Lüftungswagen mit Wohnungslüftung.....	77
Komfortlüftung – Tischmodell Wärmerückgewinnung	85
Energieeffiziente Beleuchtungssteuerung mit DALI	87
PV-Demonstrator Experimentierset für PV-Anlagen	91
Anhang	98
Anhang 1: Vergleich Wandaufbauten Holzbau.....	98
Anhang 2: Vergleich Wandaufbauten Innendämmung	102
Anhang 3: Fenster und Fensteranschluss unten.....	104
Anhang 4: Fensteranschluss oben mit Verschattungsvarianten.....	111
Anhang 5: Fensteranschluss seitlich.....	120

Abbildungsverzeichnis.....	125
Tabellenverzeichnis	128

Von der Materialprobe zum Funktions-Mockup

Energieeffizientes Bauen und Sanieren in seiner Komplexität und Interdisziplinarität zu vermitteln bedarf neuer Lehr- und Lernformate, die – jeweils adaptiert auf die Lernenden und die Lerninhalte – flexibel eingesetzt werden können. Neben theoretischem Fach- und Planungswissen sind auch baupraktische, auf Material oder Gebäudetechnik bezogene Themen zu vermitteln, welche allein mittels Fachvorträgen oder Manuskripten nur unzureichend gelehrt werden können. Allein aufgrund der dritten Dimension von Bauteilen, Konstruktionen oder Anlagen im Bauwesen können Lehrmaterialien in Form von Mockups, Funktionsmustern oder Anschauungsmaterial eine wertvolle Ergänzung zum klassischen Unterricht darstellen. In diesem Dokument wird eine Sammlung vorgestellt, die möglichst in unterschiedlichen Formaten Verwendung finden kann. Nachfolgend soll das gesamte Spektrum vom einfachen Anschauungsmaterial bis zum komplexen funktionalen Mockup aufgezeigt werden:

1. **Materialproben:** Materialien die im energieeffizienten Bauen bzw. für Sanierungen, z. B. als Außen- oder Innendämmung Verwendung finden. Dabei reicht die Palette von festen Dämmstoffen bis zu Einblas- und Schüttdämmstoffen, aber auch Materialien für die Luftdichtheit (wie z. B. Klebebänder und EPDM-Dichtungen etc.) und Verglasungen (Gläser und Beschichtungen). Solche Materialien können im Unterricht von den Kursteilnehmerinnen durchgereicht werden – allein der haptische Effekt (Gefühl für Textur, Gewicht, mechanische Eigenschaften etc.) kann bereits didaktisch genutzt werden. Darüber hinaus können an solchen einfachen Proben aber auch Messungen und Versuche durchgeführt werden. In jedem Fall sollte man bei der Vorbereitung solcher Proben auf Größe/Gewicht achten. Aus Platz- und Transportgründen, aber auch um die Proben einfach von Hand zu Hand weitergeben zu können, sollten die Zuschnitte oder Mengen zwar so groß wie nötig aber so klein wie möglich gewählt werden. Es sind auch immer die notwendigen Lagerflächen und Transportmöglichkeiten mit zu bedenken. Kleinere Proben können übersichtlich strukturiert in Transportkoffern verpackt und mit den notwendigen Begleitinformationen versehen werden.
2. **Materialkombinationen und Bauelement(gruppen):** Etwas komplexer als reine Materialien sind deren Kombination und oder Verarbeitung zu Bauteilen und Baugruppen. Zusätzlich zu den stofflichen Eigenschaften erkennt man daraus auch noch den Verbund bzw. die Montage bzw. Verarbeitung. So können z. B. Schichtaufbauten über abgeschrägte Abstufung erkennbar gemacht werden, Schnitte gewähren Einblick in das Bauteilinnere. Komplexere Bauteilgruppen ermöglichen die Veranschaulichung von Montageabläufen und Befestigungsmethoden. Fensterecken zeigen sowohl Ansichten als auch Schnitte im dreidimensionalen Modell und geben so leicht verständlich Einblick in die wesentlichen Elemente sowie deren Anordnung und Funktionen.
3. **Mockups:** Unter einem Mockup wird allgemein ein Demonstrationsaufbau im Maßstab 1:1 oder in maßstäblicher Verkleinerung verstanden, welcher zwar häufig nur einen Ausschnitt, diesen aber in realistischer Form und Materialität realisiert. Im Bauwesen haben Mockups lange Tradition in der Planungsvisualisierung, lange bevor 3D-Visualisierungen und Renderings Einzug gehalten haben. So haben das Architekturmodell und Detailmodell bis hin zu Material-Mockups bis heute ihre Bedeutung behalten, weil sie eben Materialien, Farben

und Texturen originalgetreu wiedergeben. Sie werden heute jedoch zusätzlich durch digitale Modelle ergänzt. So können z. B. 3D-Konstruktionen zu 3D-PDFs ohne aufwändige Softwareinstallation von den Lernenden mit dem Standard-PDF-Viewer aus allen Richtungen betrachtet werden. Beides hat auch im Bereich der Ausbildung und Lehre seine Berechtigung, auch darauf wird in diesem Dokument jeweils näher eingegangen. Neben der reinen Funktion als Anschauungsmodell können Mockups aber auch Montageabläufe und Verfahren maßstabsgerecht vermitteln.

4. **Technische Modelle** und Funktions-Mockups: Diese Modelle werden verwendet, um technische Aspekte wie Luftdichtheit, Lichtführung, Lüftung, Wärmerückgewinnung etc. zu veranschaulichen und erlauben auch, Messungen und Experimente daran durchzuführen. Häufig sind diese Art von Modellen komplexer aber auch mit höherem Platz- und Transportaufwand verbunden. In manchen Fällen kann die Funktion aber auch bei maßstäblicher Verkleinerung aufrechterhalten werden. Häufig ist deren Einsatz aber mit höherem Zeitaufwand für Vorbereitung und Versuchsdurchführung einzuplanen. Daher wird an einigen Stellen als Alternative zur „Live-Vorführung“ ein aufgezeichnetes Video vom Mockup und der Versuchsdurchführung und Auswertung angeboten.
5. **Living Lab**: Die zweit-höchste Stufe in Bezug auf die realitätsgetreue Abbildung ist das sog. Living Lab, welches Funktionen und Ausführungsdetails im realen Einsatz zeigt. So könnte z. B. eine Lüftungsanlage einen Kursraum mit Frischluft versorgen, andererseits könnte der Seminarraum als Living-Lab für Lüftungsexperimente (Strömungsvisualisierung mit Nebel, Volumenstrommessungen etc.) verwendet werden. Da die Raumsituation je nach Kursanbieter sehr individuell unterschiedlich ausfällt soll in diesem Rahmen nicht weiter darauf eingegangen werden. Jedoch kann eine fixe Installation von Exponaten und Mockups in Kursräumen viele Vorteile bieten, weil die Vor- und Nachbereitungszeit für Auf- und Abbau sowie das Problem der Lagerung wegfällt. Bei wechselnden oder auswärtigen Kursräumen ist dies natürlich nicht möglich. Daher liegt der Schwerpunkt in diesem Dokument eher auf leicht transportablen bzw. mobilen Lösungen.
6. **Exkursionen**: Gegenüber Mockups und Living Lab ist die höchste Stufe im Sinne der Praxisnähe ein Baustellenbesuch (Neubau oder Sanierung). Hierbei kann nicht nur das fertige Produkt, sondern das Entstehen – optimaler Weise in unterschiedlichen Bauphasen – gezeigt und vor Ort von Handwerkern, Bauleitung und Planern erläutert werden. Damit können nicht nur Bauabläufe und Verfahren sondern auch Erfahrungen aus erster Hand gelehrt werden. Da solche Exkursionen nur mit viel Glück in Bezug auf den Lehrplan zum richtigen Zeitpunkt in die Kurse eingebaut und organisiert werden können, wird in diesem Dokument nur sporadisch auf einzelne Bauphasen und Baustellenabläufe verwiesen die ggf. mittels einer Exkursion auf der Baustelle vermittelt werden könnten. Auch wenn viele dieser Abläufe und Zwischenstufen am fertigen Gebäude bzw. der abgeschlossenen Sanierung nicht mehr erkennbar sind, können doch auch Exkursionen zu Vorzeigeprojekten sehr lehrreich sein. Durch ihren hohen zeitlichen Aufwand für An- und Abreise sowie Organisation und Vorbereitung stellen Exkursionen aber eher die Ausnahme als die Regel dar. Aber auch hier gilt das Gleiche wie für Funktions-Mockups: Videoaufzeichnungen von bereits abgeschlossenen Exkursionen können bedarfsgerecht in die Lehrveranstaltung eingebaut werden, praktisch ohne Vorbereitungs Aufwand und im Blended-Learning Format.

Übersicht und didaktische Einordnung

Folgende Mindmap soll eine thematische Übersicht zum energieeffizienten Bauen und Sanieren zum ZEB geben. Dabei wurde primär nach Themen betreffend der Gebäudehülle bzw. der Gebäudetechnik unterschieden. Jedem Detailthema wurden dann ein oder mehrere Möglichkeiten für Anschauungsmaterial, Materialproben, Mockups oder Videos zugeordnet. Dabei können einzelne Mockups bzw. Materialproben auch thematisch mehrfach eingesetzt werden, sogar übergreifend zwischen Themen der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik. Die Mindmap erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit und könnte noch nach den Projektphasen Planung, Ausführung und Betrieb unterschieden werden.

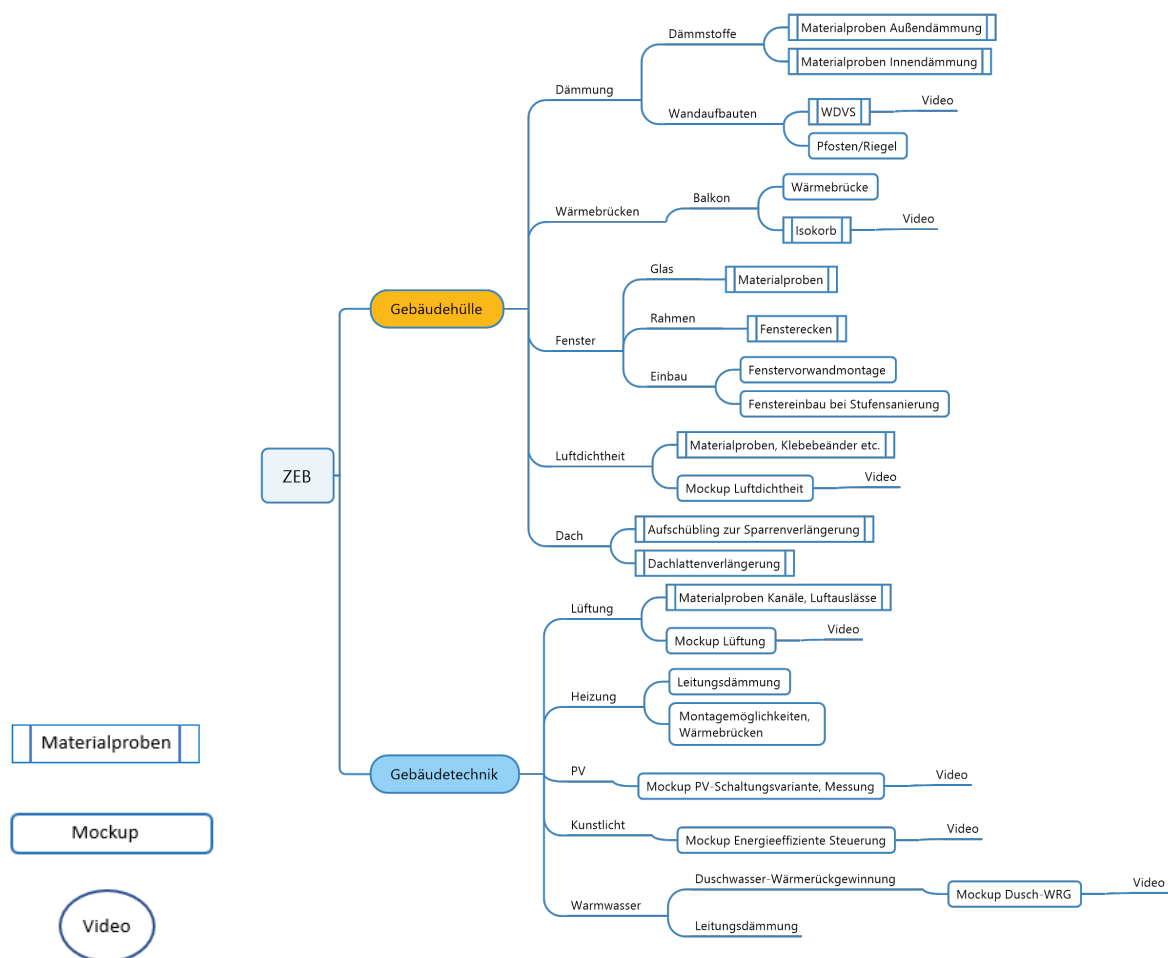


Figure 1 : Themenspezifische Mindmap zum energieeffizienten und nachhaltigen Bauen und Sanieren mit Einordnung möglicher Lehrmaterialien (Materialproben, Mockups und Videos) ohne Anspruch auf Vollständigkeit

In der Gesamtheit bestünde eine solche Mindmap aus einer vollständigen Ontologie aus der Umsetzung des IFC-Formats (Definition nach BuidlingSmart). Eine systematische Einordnung aller Lehrmaterialien in einen (halb)automatischen Kurskonfigurator mit angeschlossenen Datenbanken könnte die Zusammenstellung und Auswahl deutlich erleichtern und beschleunigen. Allerdings gibt es bislang hierfür keine einheitliche Vorgabe bzw. Datenstruktur. Daher wurde mit folgender Tabelle

versucht, die wichtigsten Metainformationen für solche Lehrmaterialien (Educational Resource) zusammenzustellen, welche für eine solche Automatisierung (zumindest teilweise) erforderlich wäre. Auf diese Weise könnten je nach didaktischen Vorlieben unterschiedliche Lehrmaterialien für die Erläuterung und Veranschaulichung der gleichen Thematik wahlweise herangezogen werden. Im Rahmen des Projektes wurde versucht einen möglichst für alle Kursmaterialien und Lehreinheiten einheitlichen Metadatensatz zu vereinbaren, dieser Prozess war jedoch zum Zeitpunkt des Uploads dieses Deliverables noch nicht abgeschlossen, die folgende Tabelle stellt daher nur einen Vorschlag bzw. Entwurf dar und wird im Projektverlauf noch harmonisiert.

Neben allgemeingültigen Metainformationen, welche in der Literatur zur Didaktik genannt werden, wurde die Tabelle noch um Bau-spezifische Elemente und Informationen ergänzt, die die Zusammenstellung themenspezifischer Kurse erleichtern. Die Informationen Klimazone, Neubau/Sanierung und Bauweise erlaubt die einfachere themenspezifische Filterung, wenn spezialisierte Kurse (z. B. ausschließlich zur Sanierung oder speziell zum Thema Bauen in den Tropen etc.) angeboten werden sollen. Von besonderer Bedeutung sind aber die Informationen zu Eingangs- und Ausgangs-Kompetenzen. Sie erlauben die Einschätzung welches Vorwissen und Kompetenzen für die Nutzung der Lernressourcen erforderlich sind, damit diese didaktisch fundiert eingesetzt werden können. Häufig ist beispielsweise bauphysikalisches Grundwissen erforderlich oder empfehlenswert.

Table 1: Metadaten für Kursmaterial (EduResource) am Beispiel eines Mockups für die Demonstration von Luftdichtheitsmaßnahmen

Bezeichnung	Mockup Luftdichtheit
ID	8461044_1
Datum der Erstellung	29.11.2024
Datum letztes Update	12.12.2025
Autor	Rainer Pfluger
Copyright	University of Innsbruck
LinkCF	Quote, Reference, URI
Sprache	de
Land	A, D
Klimazone	kühl gemäßigt
Neubau/Sanierung	Neubau und Sanierung
Bauweise	Alle Bauweisen
Art der EduResource	Content Object
Type der EduResource	Mockup
Eingangsvoraussetzung Kompetenz vorher	Grundlagen Luftdichtheit, Bauphysik
Lernziel Kompetenzoutput	Drucktest (Durchführung u. Auswertung), Leckagesuche, Detailausführung luftdichte Anschlüsse
Themenzugehörigkeit in der Ontologie Energieeffizientes Bauen	Luftdichtheit/Materialien, Qualitätssicherung

Konzept-Dokumentation der Materialproben, Mockups und Videos

Materialproben und Anschauungsmaterial

Dämmstoffmuster

Zur Dämmung von Außenwänden, Dächern, obersten Geschossdecken oder Bodenplatten bzw. Kellerdecken sind viele verschiedene Materialien verfügbar. Diese haben unterschiedliche Vor- und Nachteile und Einsatzbereiche bzw. Eignungen.

Um einen guten Vergleich der Materialien herzustellen, können auf einem Tisch oder einer ähnlichen horizontalen Flächen Materialmuster dargestellt werden. Hierdurch können haptische Eigenschaften wie das Gewicht, Oberflächenbeschaffenheit oder auch die Härte empfunden werden.

Um die Materialproben in unterschiedlichen Veranstaltungs- bzw. Kursräumen nutzen zu können wurden diese in transparente Probenschachteln verpackt, welche sich in kleinen Transportkoffern unterbringen lassen.



Figure 2 (Quelle: UIBK) Probekoffer mit Probenschachteln, welche mit QR-Codes zum Einscannen versehen wurden

An den Materialien kann zum besseren Vergleich der Kennwerte ein Schild bzw. Aufkleber angebracht werden, auf dem die wichtigsten Kenndaten und Einsatzbereiche dargestellt sind. Allerdings hat sich gezeigt, dass die Fülle der Informationen gerade bei kleineren Proben zu viel Platz in Anspruch nimmt. Darüber hinaus können auch Videos zur Verarbeitung sowie ggf. weiterführende Datenblätter oder Links zu Datenbanken für Kursteilnehmer wertvolle Zusatzinformationen liefern. Daher wurden für alle Materialproben QR-Codes mit Links erzeugt, welche als kleine Aufkleber auf die Probenverpackungen aufgeklebt wurden. Die KursteilnehmerInnen können diese mit dem Smartphone scannen und werden direkt zur entsprechenden Homepage weitergeführt:

<https://www.uibk.ac.at/de/fz-nachhaltiges-bauen/lehre-aus-und-weiterbildung/achieve-zeblernressourcen/>

Da jeder QR-Code mit einer eigenen ID (Hashtag) versehen wurde, wird auf dem Smartphone direkt die ausgewählte Materialprobe angezeigt. Nachfolgende Abbildung zeigt die Ansicht am Smartphone am Beispiel von Schafwolle.



Wärmeleitfähigkeit 0,035 bis 0,045 W/mK

Dichte 20 bis 30 kg/m³

Diffusionswiderstand 1 bis 2

Einfach zu verarbeiten, auch ohne Schutzkleidung

Resistent gegen Schimmel

Teurer als andere Dämmstoffe,

Anfällig für Motten

Video zur Verarbeitung



Figure 3 (Quelle: UIBK) Screenshot (exemplarisch für das Material Schafwolle) für die Anzeige am Smartphone nach Aufruf des QR-Code-Links

Um die einseitige Anzeige eines Smartphone-Screens nicht zu übersteigen, wurden die direkt angezeigten Informationen auf folgende Haupt-Eigenschaften beschränkt:

Table 2: Informationen und Links zu den Materialproben nach Aufruf des QR-code Links

Materialbezeichnung
Foto der Materialprobe
Wärmeleitfähigkeit bzw. Wärmeleitfähigkeitsbereich (Bemessungswert) in W/(mK)
Dichte in kg/m ³
Diffusionswiderstand (dimensionslos)
Verarbeitung
Materialeigenschaften bzw. Besonderheiten
Video zur Verarbeitung bzw. alternativ Link zu Datenblättern bzw. Datenbankeinträgen

Als weitere nützliche Zusatzinformationen könnten folgende Eigenschaften und Beschreibungen sinnvoll sein:

- Material-Kategorie (Rolle, Matte, Platte, etc.) bzw. Eignung als Einblasdämmung bzw. Schüttdämmung
- Spezifische Wärmespeicherkapazität in J/(kg*K)
- Graue Energie (Herstellungsenergieaufwand, HEA)
- Recyclingprodukt bzw. Recyclingfähigkeit oder Möglichkeiten für Reuse
- Brandverhalten (europäische Klassifizierung)
- Kostenkategorie
- Sonstige Besonderheiten

Lernziel:

Durch das Ertasten sollen Nutzer der Muster erleben, wie unterschiedlich Dämmstoffe sein können. Durch die zusätzlichen Informationen soll das Wissen über die Materialien und dessen Vor- und Nachteile erweitert werden. Ziel ist zudem die Erkenntnis, dass viele sehr unterschiedliche Materialien am Markt verfügbar sind, die sich für unterschiedliche Situationen eignen.

Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt, die Materialsammlung besteht derzeit aus 24 Materialproben und wird laufend ergänzt und erweitert.

Beispiele:

- Expandiertes Polystyrol (EPS) (Platten bzw. Schüttdämmung)
- Extrudiertes Polystyrol (XPS) (Platten)
- Polyurethan (Platten)
- Mineralfaser (Platten bzw. Einblasdämmung)
- Glasfaser (Matten)
- Holzweichfaser (Platten)
- Zellulose (siehe Einblasdämmung, auch als Platten)
- Stroh (Ballen oder Einblasdämmung)
- Flachs (Matten)
- Hanf (Matten oder Platten)
- Schafwolle (Matten, Platten, Filze, Vliese, Einblasdämmung oder als lose Schafwolle)
- Kork (Platten (Expandierter Kork), Granulat (lose Schüttung), Einblasdämmung)
- Glasschaum (Platten, Granulat (Schüttdämmung), Einblasdämmung)
- Resol-Hartschaum (Platten)

- Vakuüm-Dämmplatten (in diffusionsdichten Folien oder Edelstahl), als VIP-Element
- Recycelte Materialien (z. B. PET-Matten oder Vliese, Holzfasern, Kork, Zellulose, Textilfasern, Schaumstoffe, Recycling-Gummi, Recycling-Mineralwolle)
- Sonstige Spezialmaterialien z. B. für Innendämmung (kapillaraktive Dämmstoffe wie z. B. Calciumsilikat, Mineralschaumplatten, Zellulose in Plattenform, Perlitedämmplatten, Schilfrohrplatten)

Verarbeitung:

Neben den genannten Eigenschaften und Materialdaten ist aus didaktischer Sicht auch die Unterscheidung der Verarbeitung von Bedeutung. Nachfolgend sollen daher die häufigsten Verfahren erläutert und in Videos gezeigt werden. Zellulose nimmt hier eine Sonderstellung ein, weil sie auf unterschiedlichste Weise verarbeitet werden kann. Ansonsten unterscheidet man Einblasdämmstoffe, Aufblasdämmstoffe bzw. Schüttungen, Platten- bzw. Mattenverarbeitung, sowie Sprühdämmung.

Nachfolgend werden die wesentlichen Verarbeitungshinweise für Dämmstoffe und Wärmedämm-Verbundsysteme erläutert. Zusätzlich finden sich für alle Dämmstoffproben jeweils passende Verarbeitungsvideos auf der genannten Homepage.

Verarbeitung von Zellulosedämmung

Zellulose-Einblasdämmung wird sowohl im Neubau als auch in der Altbaumodernisierung verwendet. Dabei kommt Zellulose aus recyceltem Zeitungspapier zum Einsatz, dafür gibt es spezielle Verarbeitungsmaschinen:

Video: Verarbeitung, Brandschutz: <https://www.youtube.com/watch?v=IM1qpTKEGsw>

Einblasdämmung

Lehrvideos:

Einblasen in Hohlräume: https://www.youtube.com/watch?v=GS_mJznTZrE

Korrekte Verdichtung bei senkrechtem Verbau ca. 45 bis 55 kg/m³, Setzmaßprüfung: <https://www.youtube.com/watch?v=IM1qpTKEGsw>

Verfahren: Zelluloseflocken werden mithilfe spezieller Einblasmaschinen in Hohlräume eingeblasen.

Anwendung in Neu- und Altbau:

Neubau: In Holzrahmen- oder Holzständerbauweise wird Zellulose in die Wand-, Decken- oder Dachkonstruktionen eingeblasen.

Altbausanierung: Hohlräume in bestehenden Wänden, Decken oder Dächern können nachträglich mit Zellulose gefüllt werden.

Vorteile: Lückenlose Dämmung, da die Zellulose sich gut anpasst, schnelle Verarbeitung.

Typische Einsatzbereiche: Zwischensparrendämmung, Hohlraumdämmung in Wänden oder Decken.

Aufblasdämmung (offene Verarbeitung)

Lehrvideos: <https://www.youtube.com/watch?v=IM1qpTKEGsw>

Verfahren: Zellulose wird lose auf horizontalen Flächen verteilt, z. B. auf Dachböden oder obersten Geschossdecken. Mit einem Laser-Nivelliergerät (Rotationslaser, Bau-Laser) wird die Höhen (Dämmstärke) der aufgetragenen Schicht kontrolliert.

Anwendung: Besonders geeignet für ungenutzte Dachböden, bei denen keine Hohlräume gefüllt werden müssen.

Vorteile: Einfache und schnelle Verarbeitung, nachträgliche Dämmung ohne großen baulichen Aufwand.

Typische Einsatzbereiche: Dämmung von obersten Geschossdecken.

Platten- oder Mattenverarbeitung

Verfahren: Zellulose wird in Form von Dämmplatten oder -matten verarbeitet, die industriell vorgefertigt werden.

Anwendung: Direktes Einlegen oder Befestigen in Wand-, Decken- oder Dachkonstruktionen.

Vorteile: Einfache Handhabung, insbesondere bei kleineren Flächen, kein spezielles Einblasgerät erforderlich.

Typische Einsatzbereiche: Innen- und Außendämmung von Wänden, Zwischensparrendämmung.

Sprühdämmung

Lehrvideo:

x-FLOC

<https://youtu.be/pfTF1w1E-FY?list=PL0FB3733CEB15B01B>

Verfahren: Zellulose wird mit Wasser oder einem Kleber vermischt und auf die zu dämmende Fläche aufgesprüht. Anschließend wird die unregelmäßige Oberfläche mit einem rotierenden Spezialwerkzeug eben abgezogen.

Anwendung: Besonders geeignet für unregelmäßige oder schwer zugängliche Flächen.

Vorteile: Gute Haftung an komplexen Oberflächen, fugenlose Dämmung.

Typische Einsatzbereiche: Innenwände oder Dachschrägen.

Schüttdämmung

Lehrvideo:

DIY-Verfahren

<https://www.youtube.com/watch?v=IM1qpTKEGsw><https://www.youtube.com/watch?v=IM1qpTKEGs>
[w](#)

Verfahren: Zellulose wird lose in Hohlräume oder auf Flächen geschüttet.

Anwendung: Für horizontale Flächen oder schwer zugängliche Hohlräume.

Vorteile: Einfache Verarbeitung ohne Maschinen.

Typische Einsatzbereiche: Dämmung von Decken oder Böden.

Dämmstoffdübel für Wärmedämmverbundsystem

Zur Dämmung von Außenwänden stellen Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) ein wirtschaftliches, thermisch gutes und bewährtes System dar. Seit der ersten Systeme haben sich die Konstruktionsweisen weiterentwickelt. Besonders die verwendeten Dämmstoffdübel der Wärmedämmverbundsysteme wurden stark verbessert. Zudem sind mittlerweile auch rückbaufähige Systeme verfügbar.

Um bei der Vielfalt an Konstruktionen einen guten Vergleich der unterschiedlichen Konstruktionen herzustellen, können Materialmuster zur Veranschaulichung dienen. Dämmstoffdübel dienen in den Systemen dazu, die Dämmung an der statisch tragenden Wandkonstruktion zu befestigen. Sie stellen damit eine potentielle Wärmebrücke dar. Allerdings sind bereits viele Komponenten verfügbar, die sogar nahezu wärmebrückenfrei umgesetzt werden konnten. Um hier die Funktionsweisen und Unterschiede zu veranschaulichen, können Materialmuster verwendet werden. An den Komponenten sollten zum besseren Vergleich der Kennwerte jeweils ein Schild bzw. Aufkleber angebracht werden, auf dem die wichtigsten Kenndaten und Einsatzbereiche dargestellt sind.

Folgende Eigenschaften sollten enthalten sein:

- Name
- Punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient (c-Wert $W/(mK)$)
- Schätzung des Kostenbereichs
- Einsatzbereich (Dämmstoffdicke)
- Sonstige Besonderheiten

Lernziel:

Durch das Anschauen der Muster, können die unterschiedlichen Funktionsweisen und Eigenschaften veranschaulicht werden. Durch die zusätzlichen Informationen soll das Wissen über die Materialien und dessen Vor- und Nachteile erweitert werden. Ziel ist zudem die Erkenntnis, dass mehrere Dübel-Varianten am Markt verfügbar sind, die eine wärmebrückenfreie Montage eines Wärmedämmverbundsystems ermöglichen, teilweise auch ohne die Verwendung von Dübel-Abdeckkappen.

Beispiele:

- Konventioneller Dämmstoffdübel mit Schraube aus rostfreiem Stahl
- Einschlagdübel aus glasfaserverstärktem Kunststoff
- Korkenförmige Dämmstoffdübel für die versenkte Montage
- Korkenförmige Dämmstoffdübel, mit denen ein Toleranzausgleich möglich ist

WDVS-Dübel-Montage in der Sanierung ohne Klebstoff

Normalerweise werden WDVS-Systeme in der Sanierung sowohl geklebt als auch gedübelt. Reine Verklebung wie im Neubau ist häufig nicht möglich, wenn die Zugfestigkeit des Altputzes nicht ausreicht. Daher wird in der Sanierung fast immer zur mechanischen Sicherung auch gedübelt. Der Klebemörtel (aufgebracht als Ringwulst oder vollflächig) dient dann zur Vermeidung von konvektiver Hinterströmung. In Bezug auf die Entsorgung ist ein derartiger Materialverbund aufwändig und teuer, weil nicht sortenrein. Daher wurden Systeme mit Spezialdübeln entwickelt, welche die Montage von WDVS auch ohne Klebstoff ermöglichen.

Lehrvideo:

Fa. Fröwis, Stellfuchs: <https://www.froewis.com/wp-content/uploads/Stellfuchs-Anwendung-de.mp4>

Fa. Sto, Circonik: <https://www.youtube.com/watch?v=dgj-rFVjDxQ&t=31s>

Anschauungsmaterial: Unterschiedliche Dübel und Montagematerial um deren Funktion besser verstehen zu können

Lernziel:

Kennenlernen und verstehen innovativer Montagelösungen zur Aufbringung von WDVS ohne Klebstoff. Wichtig ist die korrekte Verarbeitung und Dübelpositionierung sowie die Vermeidung von Konvektion hinter den Platten mittels Mineralwolle-Streifen

Beispiele:

- Befestigungssystem STELLFUCHS (Fa. Fröwis), Fassadenunebenheiten bis zu 70 mm ausgleichen, Schallschutz um bis zu 6 dB verbessern, rückbaubar und sortenrein trennen
- StoFix Circonik und StoTherm-System ohne Klebemörtel

Befestigungselemente für Wärmedämmverbundsystem

Ähnlich wie Dämmstoffdübel stellen auch andere Befestigungselemente für Wärmedämmverbundsysteme wichtige Komponenten für den Wärmeverlust durch Außenwandbauteile dar. Im Gegensatz zu Dämmstoffdübeln können sie verschiedenste Aufgaben erfüllen, wie beispielsweise die Befestigung einer Außenlampe oder Steckdose.

Um die Vielfalt an Aufgaben und Konstruktionen darzustellen und ihre thermischen Eigenschaften zu vergleichen, können Materialmuster verwendet werden. An den Komponenten sollten zum besseren Vergleich der Kennwerte jeweils ein Schild bzw. Aufkleber angebracht werden, auf dem die wichtigsten Kenndaten und Einsatzbereiche dargestellt sind.

Folgende Eigenschaften sollten enthalten sein:

- Name
- Funktion/Einsatzbereich
- Punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient in $[W/(mK)]$
- Schätzung des Kostenbereichs
- Einsatzbereich (Dämmstoffdicke)
- Sonstige Besonderheiten

Lernziel:

Durch das Anschauen der Muster, können die unterschiedlichen Funktionsweisen und Eigenschaften veranschaulicht werden. Durch die zusätzlichen Informationen soll das Wissen über die Komponenten und dessen Vor- und Nachteile erweitert werden. Ziel ist zudem die Erkenntnis, dass viele Anbauteile Lösungen zur Befestigung am Markt bereits verfügbar sind.

Beispiele:

- Dämmstoffdübel zur Befestigung von Fassadenbegrünung (bspw. EJOT ISObar)
- Steckdosen-Konsolen
- Befestigungselemente für bspw. Absturzsicherungen

Musterkoffer für Wärmedämmverbundsystem-Zubehör

WDVS-Systeme stellen wie der Name "System" bereits andeutet nicht nur die Dämmschicht dar, sondern das gesamte System aus Klebemörtel, Dämmstoff, Düble und Anschluss-Systeme (z. B. Kantenschutz, Eckprofile, Anputzleisten, dauerelastische Anschlussfugen etc.



Figure 4 (Quelle: UIBK) Musterkoffer für WDVS-Zubehör

Folgende Informationen sollten zu den Anschauungselemente mitgeliefert werden:

- Name
- Funktion/Einsatzbereich
- Verarbeitung (Z.B. Bei Sockelprofilen auch den Y-Wert)
- Sonstige Besonderheiten

Lernziel:

Wärmedämmverbundsysteme sind inzwischen ausgereifte Gesamtsysteme, welche über Jahrzehnte bauschadensfrei genutzt werden können. Voraussetzung ist aber nicht nur die fachgerechte Verarbeitung in der Fläche, sondern insbesondere auch die korrekte Ausführung der Anschlussdetails (z. B. Fensteranschluss etc.). Mit diesem Anschauungsmaterial soll eine Einführung in die zahlreichen

Zubehörteile von WDVS-Systemen gegeben werden, um auch diese Anschlüsse schadensfrei planen und ausführen zu können.

Beispiele:

- STO
- Caparol
- Knauf
- Weber
- Rockwool
- Remmers

Luftdichtheitsmaterialien

Luftdichtheitskonzepte sind eine wesentliche Voraussetzung für dauerhafte Gebäudeluftdichtheit, und damit primär eine Planungsaufgabe. Bei der Ausführung werden aber qualifizierte Luftdichtheitsprodukte benötigt, die ihre Aufgabe langzeitstabil erfüllen. Das Wissen über deren Eigenschaften und Anwendungsbereiche ist daher auch für die Planung und Ausschreibung von Bedeutung. Anschauungsmaterial kann hier eine wertvolle Hilfe darstellen. Viele dieser Produkte können auch bei den praktischen Übungen und Tests zur Luftdichtheit (siehe Mockup) eingesetzt werden.



Figure 5 (Quelle: UIBK) Muster für Luftdichtheitszubehör: Kabeldurchführungen (links), Folienmaterialproben (rechts)

Als Anschauungsmaterial kann u. a. gezeigt werden:

- Luftdichtheitsfolien (Flächenabdichtungen)
- Klebebänder
- Kabel- und Rohrmanschetten (selbstklebend)
- Spray- oder Brush-Membranen
- Folienschläuche mit Mineralwolle gefüllt
- EPDM-Dichtungen

Lernziel:

Dauerhafte und qualitätsgeprüfte Luftdichtheitsprodukte sind die Voraussetzung für die langlebige Umsetzung von hochwertigen Luftdichtheitskonzepten für Neubau und Sanierung. Die Anschauungsmaterialien solcher Produkte können Eigenschaften, Anwendung und Produktvielfalt demonstrieren

Beispiele:

- ROTHO BLAAS
- Eisedicht

- Saint-Gobain ISOVER G+H AG
- Pro clima MOLL bauökologische Produkte GmbH

Verschattungselemente

Um Wärmebrücken im Bereich von Verschattungselementen wie Raffstores oder Rollläden zu reduzieren, sind verschiedene gedämmte Elemente verfügbar, die als Einhausung der Verschattung dienen.

Um die Funktionsweise dieser Elemente und ihre thermischen Eigenschaften darzustellen, können Materialmuster verwendet werden. Für die Veranschaulichung ist es nicht notwendig, ganze Verschattungskästen zu verwenden. Ein schmaler Ausschnitt (Querschnitt von ca. 5 cm bis 20 cm) ist völlig ausreichend. An den Komponenten sollten zum besseren Vergleich der Kennwerte jeweils ein Schild bzw. Aufkleber angebracht werden, auf dem die wichtigsten Kenndaten und Einsatzbereiche dargestellt sind. Wichtig für den realen Wärmeverlust der Elemente ist deren Befestigung. Daher ist es sinnvoll, auch Angaben zur Befestigung der Kästen zu machen.

Folgende Eigenschaften sollten enthalten sein:

- Name
- Raffstore oder Rollläden
- Y -Wert Fenstereinbau $W/(mK)$ inkl. Befestigungselemente des Kastens
- Befestigungsmöglichkeiten
- Schätzung des Kostenbereichs
- Einsatzbereich (Dämmstoffdicke)
- Maximale Verschattungslänge
- Sonstige Besonderheiten

Lernziel:

Durch das Anschauen der Muster, können die unterschiedlichen Funktionsweisen und Eigenschaften veranschaulicht werden. Durch die zusätzlichen Informationen soll das Wissen über die Komponenten und dessen Vor- und Nachteile erweitert werden. Ziel ist zudem die Erkenntnis, dass für die Montage von Verschattungen bereits Lösungen am Markt verfügbar sind.

Beispiele:

- Rollladenkasten aus Dämm-Material
- Jalousiekasten mit Dämmung innenseitig
- Jalousiekasten aus Dämm-Material
- Jalousiekasten mit Vakuum-Dämmung innenseitig

Verglasungen

Die Einheit aus Verglasungen und deren Verbund über die Abstandshalter kann anschaulich mit Hilfe von kleinformatigen Verglasungsproben, z. B. 15x15 cm oder mittels angeschnittenen Glasecken gezeigt werden. Deren Herstellung ist mit einigem Aufwand verbunden, weil die Glaskanten zur Vermeidung von Verletzungen rund geschliffen werden müssen. Viele Hersteller bieten solche Glasecken aber bereits als Anschauungsmaterial an.

Kleinformatige geschlossene Verglasungsproben bieten dagegen höhere Robustheit und den Vorteil, dass sie z. B. mit einem Spektrometer auch auf ihre licht- und strahlungstechnischen Eigenschaften überprüft werden können.

An den Komponenten sollten zum besseren Vergleich der Kennwerte jeweils ein Schild bzw. Aufkleber angebracht werden, auf dem die wichtigsten Kenndaten und Einsatzbereiche dargestellt sind.

- Folgende Eigenschaften sollten enthalten sein:
- Name/Zertifikat
- Klimazone
- Verglasungs-U-Wert U_g
- Gesamtenergiedurchlassgrad g
- Sichtbare Transmission τ_{vis}
- Zusammensetzung: Scheibendicken und Scheibenzwischenräume von außen nach innen durch "/" getrennt, sowie die Lage der Beschichtung mit ":" also z. B. 4:/14/4/14/:4
- Füllgas und Füllmenge, z. B. Ar 90 %
- Scheibenzwischenraum SZR in mm
- Art und Material des Randverbundes
- Gesamtdicke in mm
- Sonstige Besonderheiten (z. B. Thermisch vorgespanntes Glas etc.)

Lernziel:

Die Glasauswahl für ein Bauvorhaben stellt einen wichtigen Planungsschritt dar, der sich sehr stark auf den Komfort, die Energiebilanz und die Kosten auswirkt. Sowohl die thermischen als auch die lichttechnischen Eigenschaften sind von besonderer Bedeutung. Anhand von Materialproben können bereits durch Begutachtung einige lichttechnische Eigenschaften erkannt werden, darüber hinaus kann das Lernziel (Verständnis für die Licht- und Strahlungsphysikalischen Eigenschaften von Verglasungen) vermittelt werden.

Beispiele:

- Guardian
- Saint-Gobain
- EAGON

Passive Überströmer im Türblatt mit Schalldämmfunktion

In der Lüftungstechnik wird das Konzept der Kaskadenlüftung so umgesetzt, dass die Zuluft über geeignete Überströmöffnungen in benachbarte Räume überströmt bis sie schließlich in den Ablufträumen von einem Abluftventil (Unterdruck) abgesaugt wird. Um diese Überströmung auch bei geschlossenen Türen zu ermöglichen, gibt es unterschiedliche Lösungen. Baulich am einfachsten umzusetzen ist die Überströmung unter dem oder im Türblatt, insbesondere in der Sanierung, weil keine Wandöffnungen eingebracht werden müssen. Überströmung unter dem Türblatt durch einen einfachen Spalt weist leider schlechten Luftschallschutz auf, und der Lichtaus- bzw. Eintritt wird ebenfalls häufig bemängelt. Erfolgt die Überströmung im Türblatt mit einer gewissen Umlenkung, so kann sowohl der Licht- als auch der Schalldurchtritt etwas gemildert werden, insbesondere wenn die Wandungen der Umlenkung mit Absorbermaterial ausgekleidet werden. Eine innovative Methode der Schalldämmung im Türblatt wird mittels der Integration eines Helmholz-Resonators erreicht. Dieser Resonator ist besonders effektiv bei der Resonanzfrequenz. Der Resonator besteht aus einem Hohlraum (Resonanzkammer) und einer Öffnung (Hals), also einem schmalen Kanal oder einer Öffnung, durch die Luft in den Hohlraum hinein- und herausströmen kann. Die Luft wird also in Schwingungen versetzt und die Schallenergie im Bereich der Resonanzfrequenz maximal dissipiert.

Diese Helmholzresonatoren können seitlich in Türblätter integriert werden, welche Schlitzförmige Ein- und Austrittsöffnungen (gegenüberliegend versetzt) aufweisen. Die Resonatoren werden dabei an den Lufthohlraum (Überströmkanal) seitlich angeschlossen.



Figure 6 (Quelle: UIBK) Schallgedämmte Überströmer im Türblatt (Fa. VanAir, CAN)

Als Anschauungsmaterial kann gezeigt werden:

- Türblattausschnitte mit Ein- bzw. Austrittsöffnung
- Helmholzresonator

Lernziel:

Funktion, Aufbau und Materialien innovativer schallgeschützter Überströmöffnungen im Türblatt

Beispiele:

- Fa. VanAir (Ca) (mit Helmholzresonator und Schallabsorber, Eintritt links, Austritt rechts)
- Fa. Feco (D) Schallgedämmte Überströmelemente für Trennwandsysteme

Passive Überströmer in der Türzarge

Neben passiven Überströmern im Türblatt einer Zimmertür, können als Überströmer auch Kanäle in der Türzarge verwendet werden. Ziel ist wie bei anderen passiven Überströmern das Konzept der Kaskadenlüftung so umzusetzen, dass die Zuluft über geeignete Überströmöffnungen in benachbarte Räume überströmt bis sie schließlich in den Ablufträumen von einem Abluftventil (Unterdruck) abgesaugt wird. Die Überströmung geschieht durch einen schmalen Hohlraum zwischen der Wand und der Türzarge. In diesem Bereich können auch verschiedene Materialien zum Schallschutz zur Anwendung kommen.

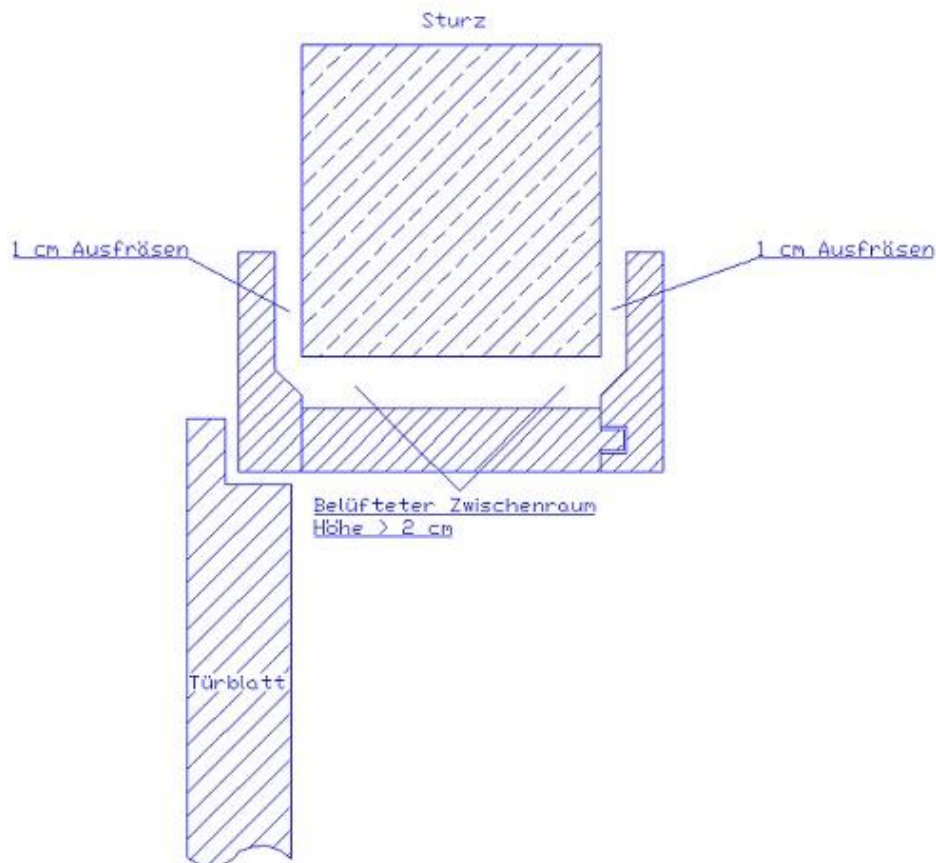


Figure 7 (Quelle: Fa. Ebök, Tübingen) Türsturz mit Überströmer durch Ausfräsen einer Holzarge

Als Anschauungsmaterial kann gezeigt werden:

- Ausschnitt aus einem 3D-Modell eines Türzargen-Überströmers
- Physisches Modell eines Türzargen-Überströmers

Lernziel:

Funktion, Aufbau und Materialien schallgeschützter Überströmöffnungen in der Türzarge

Passive Überströmer in der Absenkichtung

Neben passiven Überströmer im Türblatt oder der Türzarge einer Zimmertür, können als Überströmer auch spezielle Absenkichtungen an der Unterseite einer Zimmertür zur Anwendung kommen. Bei diesen speziellen Dichtungen entsteht beim Absenken der Dichtung ein Luftkanal von einer Seite in die Tür hinein nach oben, über die Dichtung und wieder auf die andere Seite nach unten. Mit dieser Lösung lassen sich ähnliche Luftströme realisieren wie ohne diese Dichtung, der Schallschutz ist allerdings deutlich besser.



Figure 8 (Quelle: ASSA ABLOY (Schweiz), Absenkichtung für Holz- und Metall-Türen bei gleichzeitigem Luftdurchlass mit erhöhter Schalldämmung)

Als Anschauungsmaterial kann gezeigt werden:

- Ausschnitt aus einem 3D-Modell eines Türblatts mit Überström-Absenkichtung
- Physisches Modell eines Türblatts mit Überström-Absenkichtung

Lernziel:

Funktion, Aufbau und Materialien schallgeschützter Überströmöffnungen in Türblättern

Beispiele:

- Planet ASSA ABLOY Planet MinE-F/S (<https://products.planet.ag/de/produktkatalog/planet-t611078-p371745-planet-mine-f-s>) (Zugriff 07.08.2025 JMS)

Versuchsaufbauten und Experimente

Versuchsaufbau mit Temperaturmessung/-Erführung

Die Dämmwirkung unterschiedlicher Materialien soll anhand von Thermographien mittels einer Infrarotkamera veranschaulicht werden.

Versuchsaufbau

Unterschiedliche Materialien werden auf einer Heizplatte platziert. Es sollten nur Materialien verwendet werden, die für den Einsatz bei Temperaturen über ca. 100 °C geeignet sind.

Die Heizplatte wird eingeschaltet und die Unterseite der Dämmstoffmuster erhitzt sich. Dann kann auf der Oberseite einerseits mit der Hand nachgeföhlt werden, wie weit sich die Oberfläche aufheizt, andererseits kann auch die Oberflächentemperatur durch eine Infrarot-Kamera beobachtet und durch

selbige oder ein Infrarotthermometer bestimmt werden. Dabei müssen die Dämmstoffmuster natürlich alle die gleiche Dämmstärke aufweisen, um sie vergleichen zu können.

Zusätzlich sollen für alle Materialien Informationen zu folgenden Eigenschaften angegeben werden:

- Materialname
- Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit in $W/(mK)$
- Dichte in kg/m^3
- Spezifische Wärmespeicherkapazität in $J/(kg \cdot K)$

Lernziel:

Durch den Aufbau sollen Nutzer unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten erfühlen und erleben können. Es wird deutlich, welche Materialien niedrige oder höhere Wärmeleitfähigkeiten aufweisen.

Zusätzlich kann auch die Haptik der unterschiedlichen Materialien erfühlt werden.

Zellulose-Einblasvorgang

Zur Demonstration des Einblasvorganges von Zellulosedämmung könnte ein Hohlraum erstellt werden der an der Vorder- oder Oberseite mit einer Plexiglasplatte abgedeckt ist. Dann können die Kursteilnehmer beim Verfüllen zusehen und man kann kontrollieren ob die Verfüllung Lückenlos und ohne Setzung funktioniert hat.



Figure 9 Mit Hilfe eines Kastens der mit einer Plexiglasplatte abgedeckt ist, kann der Einblasvorgang beobachtet und kontrolliert werden

Coanda-Effekt – Nebelvisualisierung

In der Lüftungstechnik wird der sog. Coanda-Effekt (Anlegen der Luftströmung an Oberflächen) häufig für die zugfreie Zuluft einbringung genutzt. Die Luft wird dabei mittels einer Weitwurfdüse ca. 15 cm unter dem Deckenspiegel eingeblasen. Die Luft strömt dann (durch einen Wirbel zwischen Decke und Weitwurfdüse) an die Decke und bleibt dann weiter an der Decke bis sie sich gleichmäßig im Raum verteilt. Damit ist eine zugfreie Lufteinbringung möglich, auch wenn die Luft mit leichter Untertemperatur in den Raum eingebracht wird. Damit spart man sich lange Kanalstücke an die gegenüberliegende Raumseite, wie das bei der Verwendung von Tellerventilen oder Bodenauslässen notwendig wäre.

Um diesen Effekt, der auf Henri Coanda zurückgeht, zu demonstrieren, sind unterschiedliche Experimente geeignet. So kann der Effekt z. B. mit einem Tischtennisball, der in einem Luftstrahl "hängt" demonstriert werden. Die Strömung löst sich nicht vom Ball ab, sondern umrundet ihn fast völlig ohne Ablösung. Ein weiteres Experiment kann mit einer Flasche und einem dahinter aufgestellten Teelicht erfolgen. Bläst man von vorne auf die Flasche so kann man die Flamme hinter

der Flasche auslöschten, weil sich die Luft an der Flaschenwand anlegt und um die Flasche herum auf die Kerzenflamme gelenkt wird.



Figure 10 (Quelle: *experimentis: Physik für Alle*) Ausblasen einer Kerzenflamme durch Anblasen einer Glasflasche

Für den Einsatz dieses Effekts in der Lüftungstechnik sind jedoch einige Fehlermöglichkeiten zu beachten, die mit Hilfe von Nebelvideos visualisiert werden können. Eine Disco-Nebelmaschine erzeugt Nebel, die der Zuluft der Lüftungsanlage beigemischt werden kann. Tritt die Luft dann in den Raum ein, kann anhand der Nebelspur deren Ausbreitung beobachtet werden. Besonders gut sichtbar wird die Nebelausbreitung mit frontaler Beleuchtung über einen Baustrahler und einer rückseitigen schwarzen Fläche (z. B. Schwarze Decke oder Pappe) zur Kontrastanhebung. Videoaufzeichnungen und zeitlich versetzt aufgenommene Einzelbilder vermitteln dann einen sehr guten Eindruck der Strömungsausbreitung.



Figure 11 (Quelle: UIBK) Strömungsvisualisierung des Zuluftinlasses in einem Klassenraum mit Nebel

Im Unterricht kann dieses Experiment bei vorhandener Lüftungsanlage direkt gezeigt werden. Wenn der Lufteinlass als Freistrahler in den Raum eintritt, kann bei Untertemperatur dessen Absinken beobachtet werden. In diesem Fall könnten Zugerscheinungen die Personen im Raum belästigen. Bringt man ein großes Brett über dem Auslass (Abstand ca. 15 cm) an, kann der Coanda-Effekt beobachtet werden (Strömung legt sich am Brett an).

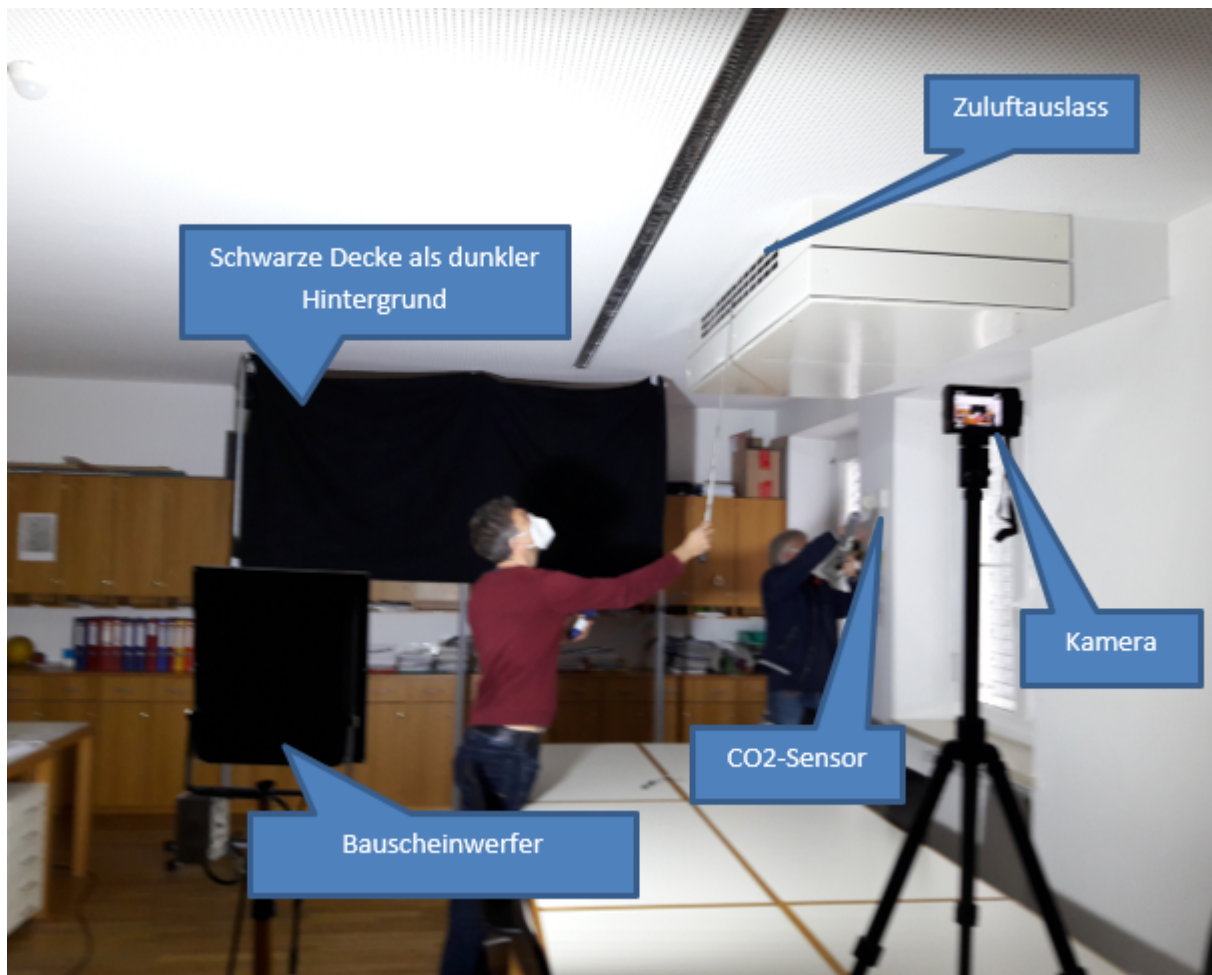


Figure 12 (Quelle: UIBK) Strömungsvisualisierung des Zulufteinlasses in einem Klassenraum mit Nebel

Lernziel:

Lernziel ist einerseits den Coanda-Effekt sowie seine Anwendung in der Lüftungstechnik zu veranschaulichen. Andererseits sollten auch die Herausforderungen und Fehlerquellen gezeigt werden, die bei falscher Planung zu Problemen führen können.

Beispiele für Fehlerquellen:

- Zuluftauslass zu weit von der Decke entfernt: Strömung legt sich nicht an der Decke an und sinkt ab
- Unterzüge, Balken oder Beleuchtungskörper quer zur Strömungsrichtung lenken die Strömung nach unten ab, es kommt zu Zegerscheinungen in den Bereichen darunter
- Die Decke über dem Zuluftauslass ist als perforierte Lochdecke (Akustikdecke) ausgeführt. Damit kann sich kein Unterdruck aufbauen und die Strömung legt sich nicht an der Decke an. Abhilfe: Abkleben der Löcher im Bereich um die Luftausströmung

Material für die Versuchsdurchführung

- Nebelmaschine
- Verlängerungsschlauch
- Schwarze Decke oder Karton
- Bauscheinwerfer mit LED (um thermischen Auftrieb der Luft am heißen Strahler zu verhindern)
- Digitalkamera oder Handy für die Videoaufzeichnung

Schalldämpfer als Anschauungsmodelle und Funktionsmuster

In der Lüftungstechnik werden Schalldämpfer für den Schallschutz vor Geräteschall und/oder Telefoneschall eingesetzt. Diese bestehen normalerweise aus einem perforierten Innenrohr sowie einem koaxialen geschlossenen Außenrohr. Im Zwischenraum ist ein Schallabsorber verbaut (Schaum- oder Fasermaterial), welches für eine Dissipation der Schallenergie nach dem Eindringen durch die innere Perforation sorgt. Damit wird der Schalldurchgang in Längsrichtung minimiert (Einfügeschalldämpfung = Differenz der Schallleistungspegel vor und nach dem Schalldämpfer in Dezibel)

Als Anschauungsmaterial können natürlich gesamte Schalldämpfer unterschiedlicher Form und Hersteller gezeigt werden, allerdings sind diese vollmaßstäblich relativ sperrig. Außerdem ermöglichen sie keinen Einblick in das Innere. Hier können angeschnittene Schalldämpfer lehrreich sein. Die einzelnen Schichten können dabei entweder durch gestuften Anschnitt oder durch einen (ggf. durch Plexiglas abgedeckten) Querschnitt gezeigt werden. Diese kleineren Ausschnitte sind auch weniger sperrig und leichter zu transportieren bzw. zu lagern. Allerdings sind damit dann keine Messungen oder Experimente möglich. Daher wird hierfür ein eigenes Funktionsmodell vorgeschlagen. Wie nachfolgend skizziert, kann ein Flexschalldämpfer im 180°-Bogen gekrümmt werden. Kombiniert man diesen mit zwei geraden Rohrstücken und einem 90°-Krümmer, so kann ein Sprechtest in das Rohr hinein durch den Schalldämpfer zurück an das Ohr durchgeführt werden. Um den Vergleich mit einem Kanalsystem ohne Schalldämpfer zu haben, kann die Kanalschleife aus Wickelfalzrohr und drei Krümmern (also ohne Schalldämpfer) nochmals zusammengebaut werden und im Vergleich angeboten werden.

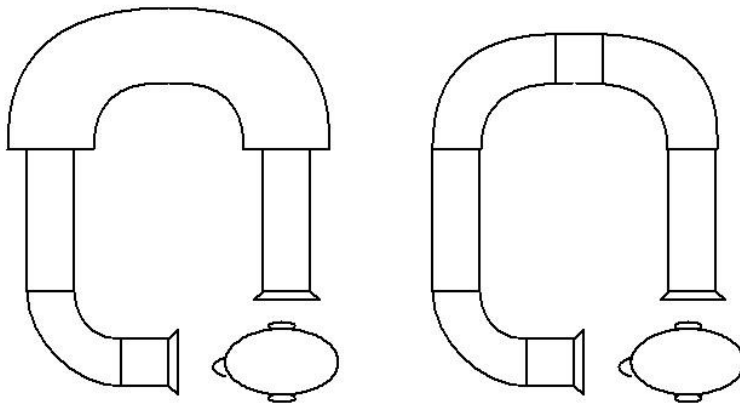


Figure 13 (Quelle: UIBK) Prinzipskizze eines Versuchsaufbaus zum Testen von Schalldämpfern

Folgende Produktgruppen sollten gezeigt werden:

- Rundschalldämpfer mit starrem Außenrohr (hohes Gewicht und damit besserer Luftschallschutz nach außen)
- Flexschalldämpfer mit flexiblem Innen- und Außenrohr (Vorteil: kann als Krümmer verlegt werden und hat damit bessere Einfügedämpfung als ein gerader Schalldämpfer, Nachteil: schlechterer Außenschallschutz)
- Rechteck- bzw. Flachschalldämpfer (Vorteil: geringere Aufbauhöhe, d.h. Geringere Deckenabhängung notwendig, Nachteil: Je nach Produkt ggf. etwas geringere Einfügedämpfung)

Lernziel:

Funktion, Aufbau und Materialien unterschiedlicher Schalldämpfer sollen identifiziert werden. Verwendet man das skizzierte Funktionsmuster, kann sogar ein Vergleichstest mit dem eigenen Ohr durchgeführt werden. Es soll gezeigt werden, dass Lüftungskanäle ohne Schalldämpfer praktisch keine Einfügedämpfung aufweisen, selbst wenn mehrfache Umlenkung durch Formstücke erfolgt.

Beispiele:

- Lindab
- Swegon
- Renson
- FläktGroup
- TROX
- BerlinerLuft. Technik GmbH (Auch Kulissenschalldämpfer und Sonderanfertigung)
- Pichler Lufttechnik GmbH&Co KG (Z-Schalldämpfer)

3D-Modelle und 1:1 Aufbauten

Dämmung für Warmwasser-Leitungen

Zur Verringerung der Wärmeverluste durch Warmwasser-Leitungen wie beispielsweise für Dusch-Warmwasser oder Heizleitungen sind Dämmschalen bzw. Dämmröhren aus verschiedenen Materialien verfügbar. Die thermischen, ökonomischen und sonstige Eigenschaften dieser Materialien sind teilweise sehr unterschiedlich. Daher können Materialmuster verwendet werden, um die haptischen Unterschiede darzustellen. Zum besseren Vergleich der Kennwerte sollten an den Produktmustern jeweils ein Schild bzw. Aufkleber angebracht werden, auf dem die wichtigsten Kenndaten und Einsatzbereiche dargestellt sind.

Für Dämmschalen sollten folgende Eigenschaften enthalten sein:

- Produkt-Name
- Material
- Wärmeleitfähigkeit bei selber Temperatur in $W/(mK)$
- Wärmeverlust für zwei Rohr- und Dämmdicken in $W/(mK)$
- Schätzung des Kostenbereichs
- Maximal verfügbare Dämmstoffdicke (eventuell als Tabelle)
- Brandschutzeigenschaften
- Sonstige Besonderheiten

Zur besseren Einordnung der unterschiedlichen thermischen Eigenschaften und deren Relevanz kann neben den Eigenschaften der Dämmschalen bzw. -Röhren auch der wirtschaftlich vertretbare Preis für verschiedene Randbedingungen ausgegeben werden.

Hierfür wird unter Verwendung aktueller Randbedingungen (Finanzierungskosten & Energiekosten) eine ökonomische Berechnung durchgeführt. Da die Wärmeverluste auch von der Umgebungstemperatur abhängig sind, ist es sinnvoll, die Berechnung für zwei häufig aufzufindende Fälle durchzuführen:

- Warmwasserleitung (60 °C) in einem unbeheizten Kellerraum (ca. 10 °C)
- Warmwasserleitung (60 °C) zu Außenklima (ca. -5 °C)

Auf Grundlage der ökonomischen Betrachtung kann dann rückgerechnet werden, was eine Dämmschale pro Laufmeter kosten dürfte, sodass der Barwert der Gesamtmaßnahme weiterhin am niedrigsten bleibt und somit die Maßnahme wirtschaftlich ist.

Lernziel:

Durch das Anschauen und Betasten der Muster können haptische Eigenschaften veranschaulicht werden. Durch die zusätzlichen Informationen soll das Wissen über die Komponenten und dessen Vor- und Nachteile erweitert werden. Ziel ist zudem die Erkenntnis, dass für die Dämmung von warmwasserführenden Leitungen bereits Lösungen am Markt verfügbar sind.

Beispiele:

- Dämmröhre aus Butylkautschuk
- Dämmröhre aus Polyethylen
- Dämmschale aus Polyethylen (zweiteilig)
- Dämmschale aus Mineralwolle mit Aluminium-Kaschierung
- Dämmschale aus Polyurethan
- Dämmschale aus Glasschaum
- Dämmschale aus Aerogel-Verbundwerkstoff

Wärmegedämmte Befestigung von Warmwasser-Leitungen

Zur Verringerung der Wärmeverluste durch Warmwasser-Leitungen wie beispielsweise für Dusch-Warmwasser oder Heizleitungen sind neben Dämmschalen bzw. Dämmröhren auch wärmegeämmte Elemente zur Befestigung der Leitungen verfügbar.

Damit der Wärmeverlust durch die warmwasserführenden Leitungen auch in der Gesamtbilanz möglichst niedrig ist, muss nicht nur die Dämmung der Leitung beachtet werden, sondern auch die Verwendung von wärmegeämmten Rohrschellen.

Die thermischen, ökonomischen und sonstigen Eigenschaften dieser Schellen sind sehr unterschiedlich. Daher können Materialmuster verwendet werden, um die haptischen Unterschiede als auch geometrische Unterschiede darzustellen. Zum besseren Vergleich der Kennwerte sollten an den Produktmustern jeweils ein Schild bzw. Aufkleber angebracht werden, auf dem die wichtigsten Kenndaten und Einsatzbereiche dargestellt sind.

Für Dämmschalen sollten folgende Eigenschaften enthalten sein:

- Produkt-Name
- Material
- Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials bei selber Temperatur in $W/(mK)$
- Wärmeverlust für zwei Rohr- und Dämmdicken in $W/(mK)$
- Schätzung des Kostenbereichs
- Maximal verfügbare Dämmstoffdicke (eventuell als Tabelle)
- Brandschutzeigenschaften
- Sonstige Besonderheiten

Lernziel:

Durch das Anschauen und Betasten der Muster können haptische Eigenschaften veranschaulicht werden. Durch die zusätzlichen Informationen soll das Wissen über die Komponenten und dessen Vor- und Nachteile erweitert werden. Ziel ist zudem die Erkenntnis, dass für die Dämmung von warmwasserführenden Leitungen bereits Lösungen am Markt verfügbar sind.

Beispiele:

- Dämmröhre aus Butylkautschuk
- Dämmröhre aus Polyethylen
- Dämmschale aus Polyethylen (zweiteilig)
- Dämmschale aus Mineralwolle mit Aluminium-Kaschierung
- Dämmschale aus Polyurethan
- Dämmschale aus Glasschaum
- Dämmschale aus Aerogel-Verbundwerkstoff

Wärmebrückenfreier Anschluss raumhoher Verglasungen bei Balkonen

Generell sollten Fenster, Türen und raumhohe Verglasungen in der Dämmebene positioniert werden, um die Einbauwärmebrücke so gering wie möglich zu halten. Kommen bei Lochfenstern einfache Montagesysteme wie Winkel, Holzkanteln oder wärmegeämmte Vorwandmontagerahmen zum Einsatz, so stellt der Einbau in Bereichen mit Balkonen am unteren Anschluss eine Herausforderung dar. Zwar können die Kräfte über Winkel oder Stahlprofile auf die raumseitige Betonplatte übertragen werden. Deren Montage stellt jedoch einen aufwändigen Arbeitsschritt dar, der auch in die Qualitätssicherung im Bauablauf integriert werden muss. Es stellt sich also die Frage, ob derartige Befestigungselemente nicht gleich gemeinsam mit dem Isokorb in den Beton eingebracht werden können. Das 3D-PDF soll eine derartige innovative Montagemethode anschaulich machen. Darüber hinaus kann dieser Sachverhalt auch im Video dargestellt werden, hierfür sei auf das Deliverable D3.9 verwiesen.

Das Montagesystem soll folgende Eigenschaften aufweisen

- Einbringung gemeinsam mit dem Wärmedämmelement für auskragende Bauteile
- Rückverankerung im Beton um nicht nur Zug- sondern auch Druckkräfte aufnehmen zu können
- Möglichst geringe Wärmebrückenwirkung der Montageelemente
- Möglichkeit der Höhenverstellbarkeit zum Ausnivellieren der Verglasung

Lehrmaterial:

Z.B. Baustellenvideo oder Foto zum Einlegen des Isokorbs

3D-PDF zur Montage raumhoher Verglasungen

Lernziel:

Für die im Bauwesen häufig auftretende Kombination aus raumhoher Verglasung und Wärmedämmelementen für auskragende Bauteile soll ein Verständnis für baupraktische und möglichst kostengünstige Lösungsmöglichkeiten vermittelt werden.

Beispiele:

- 3D-PDF für Montagesystem

Bodenplatten-Dämmelemente als verlorene Schalung unter der Bodenplatte

Zur Dämmung nicht unterkellerten Gebäude kann die Dämmung unter der Gründungsplatte mit speziell entwickelten Bodenplattensystemen erfolgen, welche gleichzeitig als verlorene Schalung verwendet werden können. Hierzu müssen die Rand- und Eckelemente dem statischen Druck bei Betongießen Stand halten. Darüber hinaus sorgen die Randelemente für einen lückenlosen und wärmebrückenfreien Übergang zwischen der Bodenplattendämmung und der Außenwanddämmung.

Anschauungsmaterial: Eckelement inklusive der Verbindungselemente

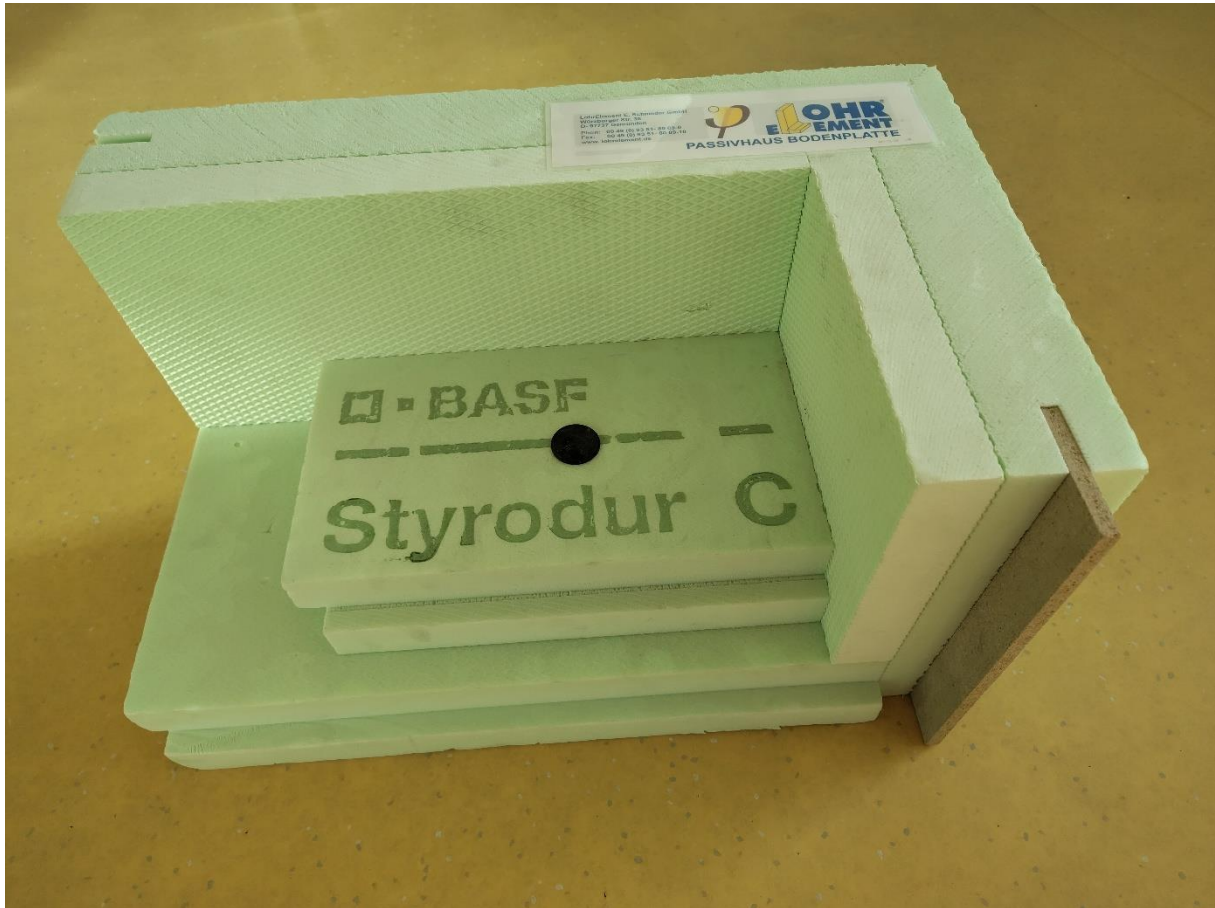


Figure 14 (Quelle: UIBK) Eckelement für Bodenplattendämmung der Fa. Lohr

Lehrvideo: <https://www.youtube.com/watch?v=vFJcmxjNVWM>

Lernziel:

Planung, Bauablauf (Verlegung und Betongießen), Wärmebrückenfreier Anschluss der Wärmedämmung von der Gründungsplatte an die Außenwand, Zeit- und Kostenersparnis durch verlorene Schalung

Beispiele:

- ISOLOR Bodenplattensystem
- Isoquick Wärme gedämmte Wanne
- JACKODUR Atlas Bodenplatte

Fenstereinbau – Unterschiedliche Vorwandmontagearten

Fenster sollten generell in der Dämmebene montiert werden, damit möglichst kein Versatz zwischen der Dämmebene und der Fensterebene entsteht. Damit wird die Einbauwärmebrücke minimiert, weitere Verbesserung kann durch die Überdämmung des Blendrahmens erreicht werden. Diese Grundregel sollte beim Neubau selbstverständlich sein.

Zur Umsetzung der Fenstermontage in der Dämmebene sind verschiedene Methoden möglich und unterschiedliche Komponenten auf dem Markt verfügbar. Um die verschiedenen Konstruktionen zu veranschaulichen und zu vergleichen, kann ein Modell gebaut werden. Bei diesem Modell wird eine Außenwandkonstruktion durch einen Kasten aus Balken und OSB-Platten angedeutet, an dem dann verschiedene Montageelemente an einem durchgehenden Stück Fensterrahmen angebracht sind. Somit können alle Montagearten direkt nebeneinander verglichen werden.

Falls genügend Platz vorhanden ist, kann dieser Montagevergleich auch für den seitlichen Fensteranschluss mit Rahmenüberdämmung durchgeführt werden.

Folgende Konstruktionsarten sollten enthalten sein:

- Konventionelle Montage mit Stahl-Winkeln
- Thermisch optimiertes Montagesystem aus Stahl mit Schienensystem
- Holz-Bohle unterhalb des Fensters
- Fenster-Montagesystem aus hochfestem EPS

Es können selbstverständlich aber auch mehr Montagearten integriert werden.

Für einen guten Vergleich der Aufbauten sollten für jeden Aufbau folgende Angaben enthalten sein:

- Konstruktion
- Einbauwärmebrücke in $W/(mK)$
- Angabe der verwendeten Materialien mit Wärmeleitfähigkeit in $W/(mK)$
- Materialverbrauch
- Bestenfalls Angaben zu Kosten der Konstruktion

Lernziel:

Lernziel des Vergleichs ist zum einen, dass die unterschiedlichen Montagearten nicht dieselbe Einbauwärmebrücke aufweisen. Zum anderen lässt sich durch die unterschiedlichen Konstruktionsarten erkennen, dass zur Montage der Fenster in der Dämmebene für verschiedene Situationen bereits Möglichkeiten am Markt verfügbar sind. Zudem lässt sich erkennen, dass beispielsweise durch die Verwendung einer Holz-Bohle auch Eigenbau-Lösungen ohne spezielle Komponenten möglich sind.

Fenstereinbau – Position von Verschattungssystemen

Fenster sollten generell in der Dämmebene montiert werden, damit möglichst kein Versatz zwischen der Dämmebene und der Fensterebene entsteht. Damit wird die Einbauwärmebrücke minimiert, weitere Verbesserung kann durch die Überdämmung des Blendrahmens erreicht werden. Diese Grundregel sollte beim Neubau selbstverständlich sein.

Auch bei der Verwendung von Verschattungssystemen wie Raffstores oder Rollläden können unterschiedliche Positionen in der Wand gewählt werden. Es können gedämmte Raffstore-/Rolllädenkästen in der Mauerwerksebene (bei monolithischer Bauweise) oder mittig in der

Gesamtkonstruktion (bei Wärmedämmverbundsystem) zum Einsatz kommen. Alternativ können viele Verschattungssysteme auch (bei WDVS) in der Dämmebene eingebaut werden, um die Fensteröffnung nicht zu verkleinern. Auch bei dieser Montageart gibt es hauptsächlich zwei Arten der Befestigung. Werden bereits gedämmte Kästen verwendet, können diese beispielsweise mit Hilfe von Winkeln an der Wand befestigt werden. Es können aber auch ungedämmte Kästen zum Einsatz kommen, wenn zuvor an der zukünftigen Position des Kastens eine Dämmschicht (etwas dünner als die reguläre Dämmdicke) an der Wand befestigt wurde. Danach kann der Rollladen- oder Raffstorekasten an dieser Dämmung oder dem Mauerwerk befestigt werden.

Zur Umsetzung der Fenstermontage in der Dämmebene sind verschiedene Methoden möglich und unterschiedliche Komponenten auf dem Markt verfügbar. Um die verschiedenen Konstruktionen zu veranschaulichen und zu vergleichen, kann ein Modell gebaut werden. Bei diesem Modell wird eine Außenwandkonstruktion durch einen Kasten aus Balken und OSB-Platten angedeutet, an dem dann verschiedene Montageelemente an einem durchgehenden Stück Fensterrahmen angebracht sind. Somit können alle Montagearten direkt nebeneinander verglichen werden.

Falls genügend Platz vorhanden ist, kann dieser Montagevergleich auch für den seitlichen Fensteranschluss mit Rahmenüberdämmung durchgeführt werden.

Folgende Konstruktionsarten sollten enthalten sein:

- Rollladenkasten gedämmt vor dem Mauerwerk mit Stahl-Winkeln montiert
- Rollladenkasten ungedämmt vor dem Mauerwerk mit Dämmung zwischen Kasten und Wand und Stahl-Winkeln montiert
- Rollladenkasten gedämmt mittig im Gesamt-Wandquerschnitt (Fensterposition sollte für einen besseren Vergleich möglichst ähnlich sein)

Es können selbstverständlich aber auch mehr Montagearten integriert werden.

Für einen guten Vergleich der Aufbauten sollten für jeden Aufbau folgende Angaben enthalten sein:

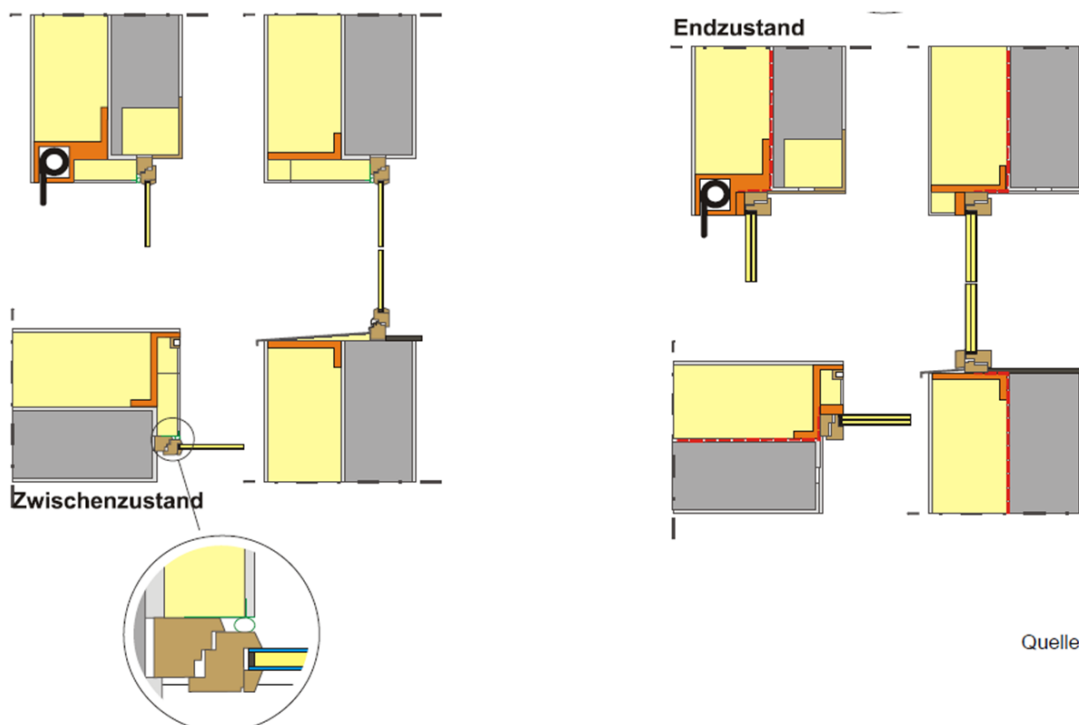
- Konstruktionsbezeichnung
- Einbauwärmebrücke in $W/(mK)$
- Angabe der verwendeten Materialien mit Wärmeleitfähigkeit in $W/(mK)$
- Bestenfalls Angaben zu Kosten der Konstruktion
- Unterschied der lichteinfallenden Fläche in m^2

Lernziel:

Lernziel des Vergleichs ist zum einen, dass die unterschiedlichen Montagearten nicht nur dieselbe Einbauwärmebrücke aufweisen sondern sich auch in Bezug auf den Lichteinfall und die solaren Gewinne unterscheiden. Zum anderen lässt sich durch die unterschiedlichen Konstruktionsarten erkennen, dass zur Montage der Fenster in der Dämmebene für verschiedene Situationen bereits Möglichkeiten am Markt verfügbar sind. Zudem lässt sich erkennen, dass beispielsweise durch die Verwendung einer Holz-Bohle auch Eigenbau-Lösungen ohne spezielle Komponenten möglich sind.

Fenstereinbau – Schrittweise Sanierung

Fenster sollten generell in der Dämmebene montiert werden, damit möglichst kein Versatz zwischen der Dämmebene und der Fensterebene entsteht. Damit wird die Einbauwärmebrücke minimiert, weitere Verbesserung kann durch die Überdämmung des Blendrahmens erreicht werden. Diese Grundregel sollte beim Neubau selbstverständlich sein. Bei vielen Bestandsgebäuden wurden die Fenster allerdings in der Mauerwerksebene positioniert. Nun stellt sich die Frage wie man damit im Rahmen einer Sanierung umgeht. Aus ökonomischen Gründen kann es sinnvoll sein, im Rahmen einer Stufensanierung vorzugehen, wenn z. B. die Bestandsfenster noch einen erhaltenswerten Restwert aufweisen. Sie sollten erst dann getauscht werden, wenn sie an das Ende Ihrer Lebensdauer gekommen sind. Zwischenzeitlich kann es aber sinnvoll sein, bereits die Außenwanddämmung aufzubringen und das alte Fenster noch an Ort und Stelle zu belassen. Damit jedoch später beim Einsetzen des neuen hocheffizienten Fensters bereits die Montageelemente vorhanden sind, werden diese bereits im WDVS integriert. Zwischenzeitlich sollte eine Laibungsdämmung die Wärmebrücke am Bestandsfensterrahmen zumindest soweit mildern, dass keine Bauschäden (Schimmel, Feuchteschäden) entstehen können. Mittels Anputzleisten eingefügte Trennfugen ermöglichen die schadensfreie Entfernung der Laibungsdämmung und das Montieren des neuen Fensters in der Dämmebene ohne erneute Putzarbeiten.



Quelle: PHI

Figure 15 (Quelle: PHI) Fenstereinbau im Rahmen der Stufensanierung: Links: Zwischenzustand: Bestandsfenster noch in der Mauerwerksebene, alter Rolladenkasten mit Dämmstoff verfüllt, neuer Rolladen als Linkswickler in der Dämmebene, Laibungsdämmung mit Blendrahmenüberdämmung; Rechts: Endzustand: Fenster in der Dämmebene

Im Anschauungsmodell sollen alle drei Phasen in einem Modell jeweils im Schnitt (unterer Anschluss) gezeigt werden:

- Bestand: Altes Fenster in der Mauerwerksebene positioniert
- Zwischenzustand: WDVS mit Vorwand-Montageelementen + Laibungsdämmung
- Endzustand: Hocheffizienter Rahmen und Verglasung in der Dämmebene

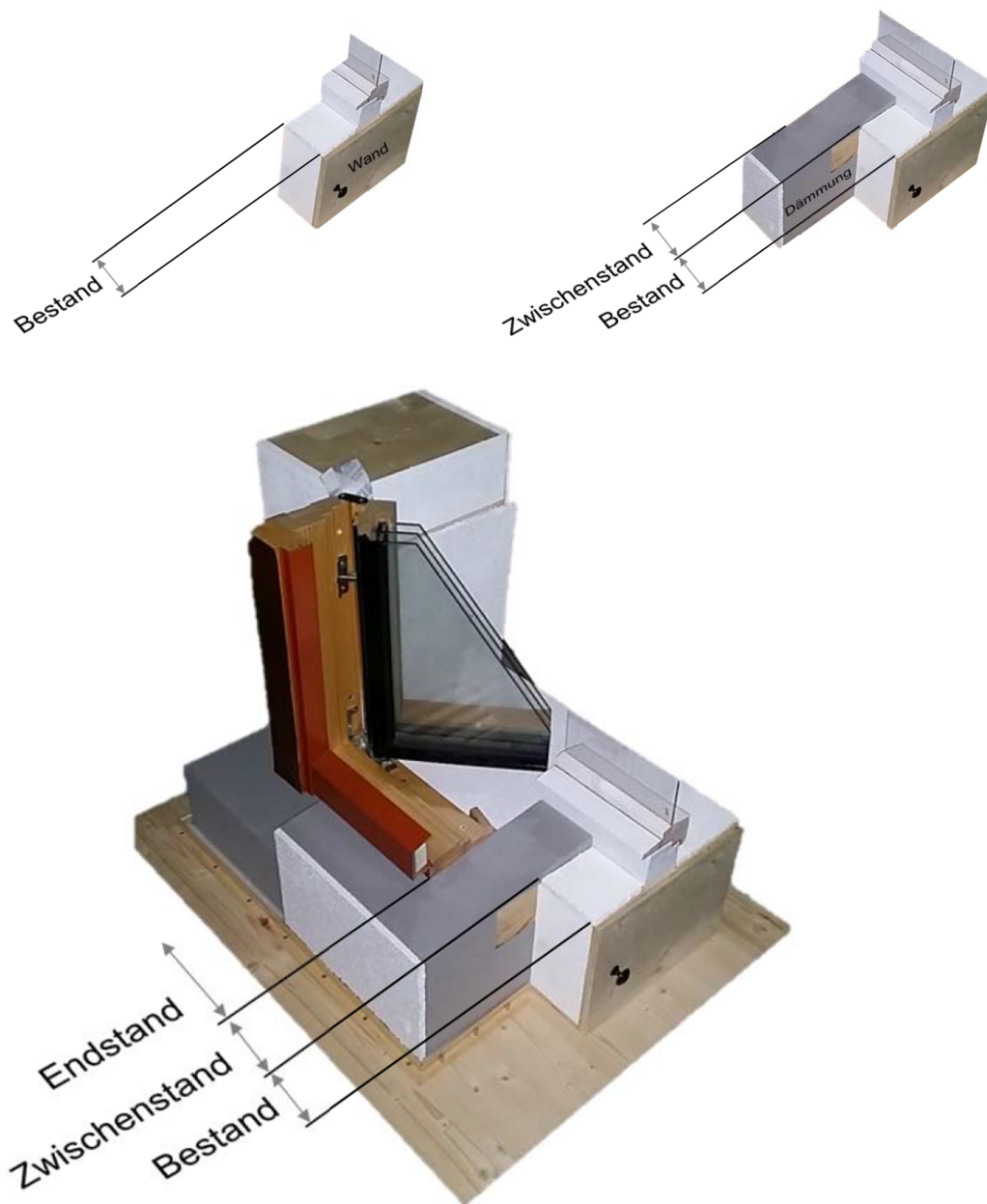


Figure 16 (Quelle: Franziska Langenstrass) Fenstereinbau im Rahmen der Stufensanierung: Anschauungsmodell zum Fenstereinbau in der Dämmebene

Lernziel:

Mit dem Anschauungsmodell soll nicht nur die Endphase des korrekten Fenstereinbaus in der Sanierung veranschaulicht werden, sondern alle drei Phasen einer Stufensanierung. Lernziel ist dabei die Wärmebrückenvermeidung und die korrekte Planung der Luftdichten und Winddichten Ebene in jeder Bauphase. In diesem Fall wird der Luftdichte Anschluss an den Innenputz gezeigt. Das hocheffiziente Passivhaus-Fenster wird als angeschnittene Fensterecke dargestellt und gibt Einblick in Blendrahmen, Flügelrahmen und Verglasung mit den Abstandshaltern.

Beispiele für Vorwandmontage:

- Holz
- Vorgefertigter Vorwandmontagerahmen aus COMPACFOAM
- Montagewinkel

Laminar-Flow: Lüftungsverteilung für die Zuluft in der Sanierung

In der Altbaumodernisierung stellt sich häufig das Problem des Platzmangels für die Kanalführung bei nachträglicher Integration der Wohnungslüftung im Rahmen einer energieeffizienten Sanierung. Die im Neubau übliche Verlegung der Kanäle hinter der Deckenabhängung im Flur stößt häufig an seine Grenzen aufgrund der begrenzten lichten Raumhöhe im Altbau. Die genauen Anforderungen bei heutigen Neubauten können sich je nach Landesbauordnung (D) bzw. Bauordnung des Bundeslandes (A) unterscheiden, die Anforderung für Flure liegt üblicherweise bei mindestens 2,2 m, die Mindesthöhen in Altbauten liegen bei 2,0-2,2m. Viele Altbauten haben diesbezüglich kaum Reserve an lichter Raumhöhe für etwaige Deckenabhängungen, welche je nach Art der Kanäle und Schalldämpfer eine Höhe zwischen 20 und 50 cm in Anspruch nimmt. Aus diesem Grund wurde an der Universität Innsbruck ein sogenannter Laminar-Flow-Verteiler entwickelt, welcher mit nur wenigen Zentimetern auskommt. Um dennoch keine zu hohen Druckverluste in Kauf nehmen zu müssen, wird dieser im laminaren Strömungsbereich ($Re < 2300$) betrieben und benötigt daher praktisch die volle Flurbreite. In der Ausführung als Trapezblech mit beidseitiger Abdeckung aus Schallabsorberschaub wird darüber hinaus ein hervorragender Schallschutz (Geräte- und Telefonieschall) erreicht.

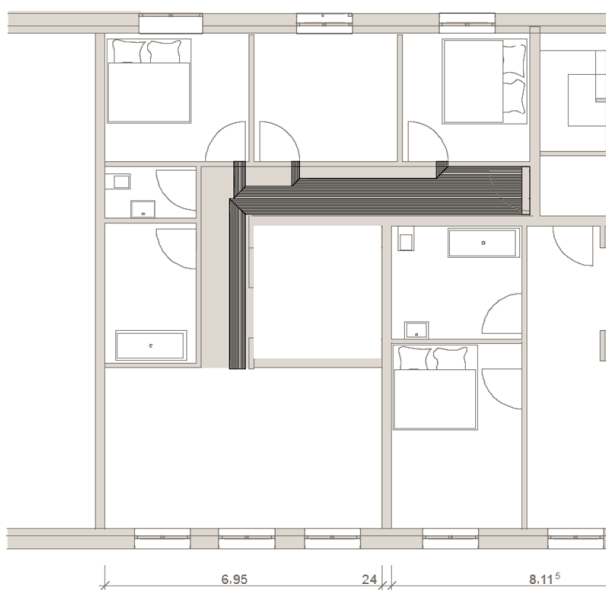
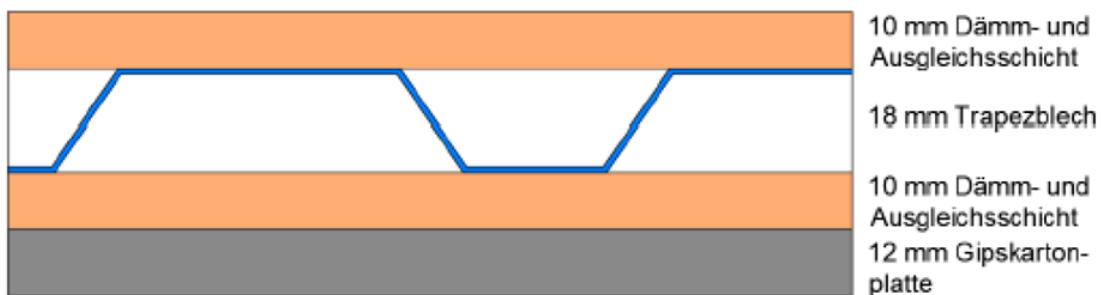


Figure 17 (Quelle: PHI) Laminar Flow Zuluftverteiler: Schnitt durch den Aufbau mit Trapezblech (oben) und Verteiler im Flur im Grundriss (unten)

Ein kleinformatiger Ausschnitt als Anschauungsmaterial kann einen Eindruck von Aufbau, Materialien und Montage dieser neuartigen Entwicklung geben.

Lernziel:

Nachträgliche Integration von Wohnungslüftung im Bestand stellt Planer und Ausführende vor zahlreiche Herausforderungen, denen häufig nur mit innovativen Lösungen zu begegnen ist. Da es derzeit noch keine fertigen Produkte auf dem Markt gibt, sind noch immer entweder DIY-Lösungen oder industrielle Spezialanfertigungen erforderlich. Einige Hersteller bieten extrem flache Kanäle als Sonderlösungen an.

Beispiele:

- Zehnder-Systems
- Lindab
- Trox
- Schako

Kanallösungen für die Sanierung

Gegenüber der Lüftungsintegration im Neubau müssen beim nachträglichen Einbau von Lüftungskanälen in der Sanierung häufig Kompromisse gemacht und innovative Wege beschritten werden. Wie bereits beim Laminar-Flow-Verteiler erwähnt, stellt sich die Problematik zu geringer Raumhöhen für eine vollständige Deckenabhängung. Häufig ist allerdings zumindest eine Abkofferrung und Leitungsführung in den Flurkanten als Kompromisslösung machbar. Um weiteren Platz zu sparen kann dabei statt mit Rundrohr mit Rechteckrohren gearbeitet werden. Alternativ können statt einem Rundrohr auch zwei Rundrohre mit kleinerem Durchmesser übereinander angeordnet und abgekoffert werden. In jedem Fall bedeutet allerdings die Kanalverlegung und Abkofferrung erhöhten baulichen Aufwand und damit Montagezeit und Investitionskosten. Daher sind bereits spezielle Sanierungs-Kanalvarianten auf dem Markt, die bereits Kanal und Verkleidung in einem Produkt vereinen und über einfache Klip-Lösungen verbunden und montiert werden können.



Figure 18 (Quelle: Helios RenoPipe) Montage der Befestigungs-Clips mit Deckendübel (links); luftdichte Kanalverbindung mittels Stecknippel (Mitte); Kanalmontage durch Einstecken in den Befestigungs-Clip (rechts)

Schulungsvideo: <https://www.youtube.com/watch?v=DW4aR3NKN-c>

Soll ein neuer Fußboden im Rahmen der Sanierung eingebaut werden, so kann diese Gelegenheit genutzt werden um dort im Fußboden Lüftungskanäle einzulegen. Hierfür stehen auch unterschiedlichste Formstücke zur Verfügung

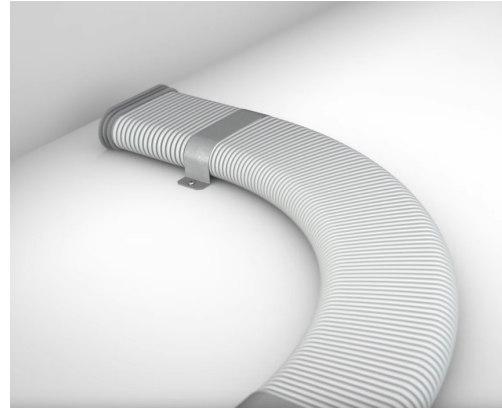
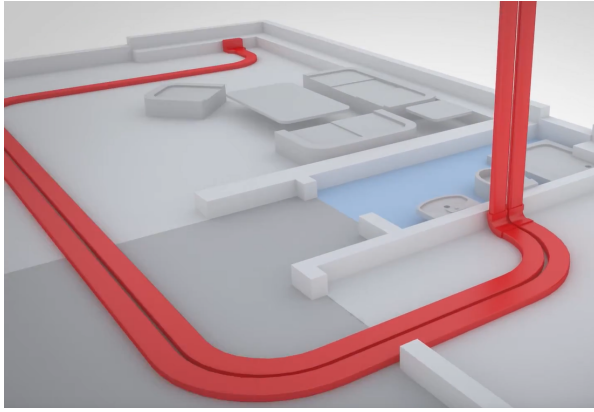


Figure 19 (Quelle: Zehnder comfoTube flat 51) Doppelkanalführung im Grundris (links); Bodenmontage mit 90°-Krümmung

Schulungsvideo: <https://www.youtube.com/watch?v=pa9vi2WhiKM>

Soll gleichzeitig eine Fußbodenheizung mit verlegt werden, so bietet sich die folgende Kombination aus Zuluftkanal und Fußbodenheizsystem an.

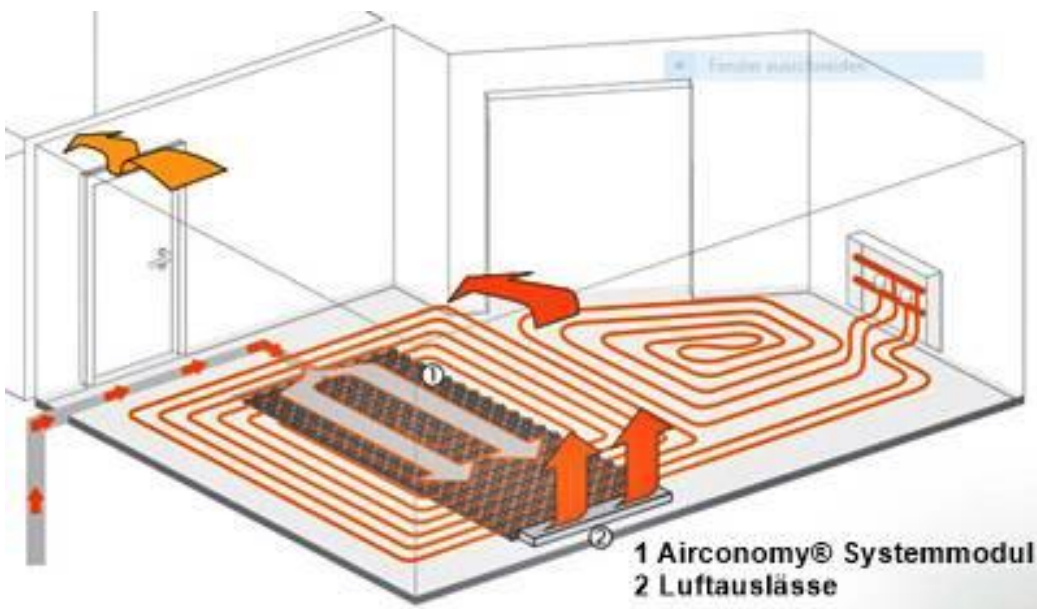
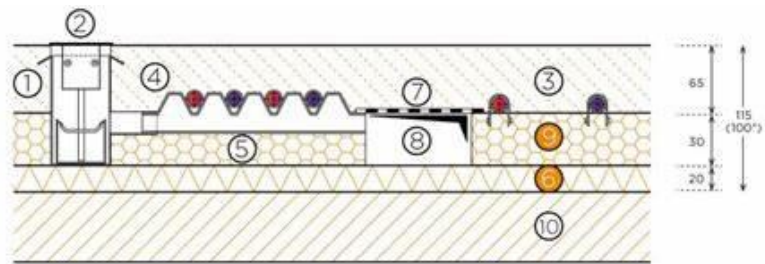


Figure 20 (Quelle: Fa. Schütz, AIRCONOMY) Montage der Fußbodenheizung (Oben); Prinzipdarstellung der Luftführung mit Luftauslässen und Überströmung

Folgende Produktgruppen sollten gezeigt werden:

- Montage, Verbindung
- Anschluss an das Lüftungssystem

Lernziel:

Kennenlernen innovativer Lüftungskanalssysteme für die platzsparende kostengünstige nachträgliche Integration der Lüftung mit Wärmerückgewinnung im Bestand

Beispiele:

- Helios RenoPipe (Lüftungskanal mit Verkleidung für die Sanierung)
- Schütz AIRCONOMY (Kombination aus Lüftungskanal und Fußbodenheizung)
- Zehnder Comfo-Tube

Aktive Überströmer im Türblatt oder in der Wand

Die Lüftungstechnik in der Sanierung kann in Bezug auf die Kanalführung stark vereinfacht werden, wenn die Zuluft nur in einen zentralen Verteilerraum (z. B. den Flur) eingeblasen wird. Von dort strömt die Luft dann in die Zulufräume und wird in den Ablufträumen (Bad, Küche, WC etc.) wieder abgesaugt. Bei geschlossenen Zimmertüren kann aber keine Belüftung der Zulufräume erfolgen, daher werden hier sogenannte aktive Überströmer (CH: Verbundlüfter) eingesetzt. Diese bestehen aus Ventilatoren und Akustikelementen für den Luftschallschutz (Ventilatorschall und Telefoneschall). Da dieses Konzept noch relativ neu ist, sollte es im Unterricht über Anschauungsmaterial vermittelt werden. Im optimalen Fall kann sogar der Kursraum mit derartigen aktiven Überströmern ausgestattet werden, dann können diese sogar im Betrieb demonstriert werden.

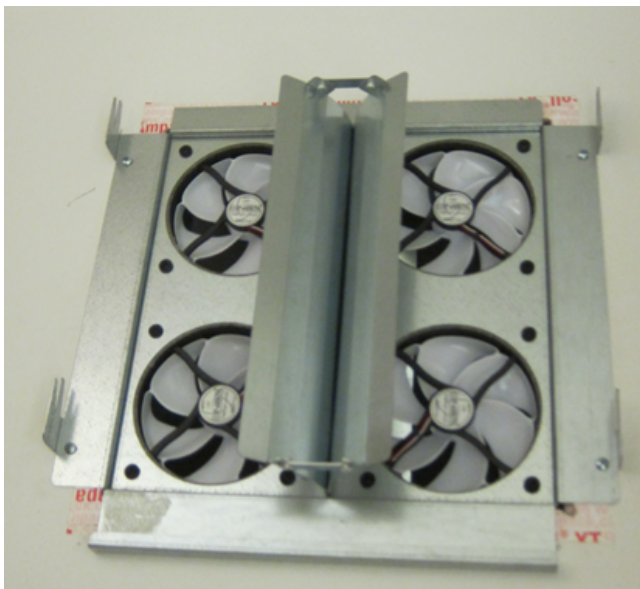


Figure 21 (Quelle: UIBK) Aktive Überströmer der Fa. Pichler Lufttechnik; Gehäuse geöffnet (links) bzw. geschlossen (rechts)



Figure 22 (Quelle: Fa. bluMartin, Swegon Group) Aktiver Überströmer für den Einbau in der Kernbohrung (freeAir plus)

In einem Zeitraffervideo wird die Strömungsvisualisierung mit Nebel durch einen aktiven Überströmer (Verbundlüfter) gezeigt.

Lehrvideo (Quelle: Erich Keller AG):

<https://www.komfortlüftung.at/fileadmin/userdaten/bilder/einfamilienhaus/aktive-ueberstroemung-188-90-teil-zeitraffer-klein.mp4>

Lernziel:

Kennenlernen innovative Lüftungskonzepte für die nachträgliche Integration der Wohnungslüftung im Bestand mit möglichst geringem Platzaufwand für Lüftungskanäle

Beispiele:

- Pichler Lufttechnik GmbH&Co KG (A)
- Erich Keller AG (C)
- BluMartin freeAir plus

Vergleich unterschiedlicher Luftkanäle

Kanäle zur Verteilung der Zuluft bzw. Abtransport der Abluft können in verschiedenen Formen und aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

Um die unterschiedlichen Formen und deren Vor- und Nachteile in einem direkten Vergleich darzustellen, kann ein Modell gebaut werden.

Hierfür werden auf einem Brett jeweils kurze Abschnitte (ca. 10 cm bis 20 cm) unterschiedlicher Luftkanäle hintereinander aufgeschraubt. Die Kanäle sollten dabei immer den gleichen Druckverlust pro Laufmeter bei der gleichen Luftmenge aufweisen.

Somit werden die Größenunterschiede der Kanäle deutlich. Auch können neben den Kanalabschnitten noch weitere Informationen angegeben werden, wie beispielsweise das Material, ungefähre Kosten pro Laufmeter, Schalleigenschaften, Abmessungen, Art der Befestigung oder weitere.

Skizze:

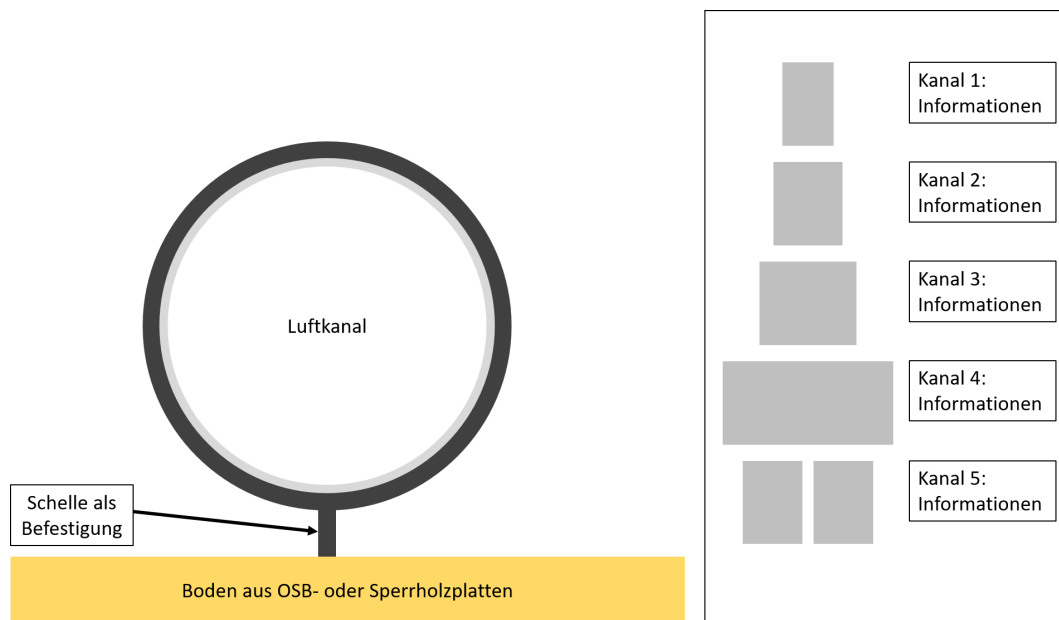


Figure 23 (Quelle: PHI) Links: Schnittskizze; Rechts: Skizzenansicht von vorne

Lernziel:

Der Einfluss der Innenoberfläche der Kanäle auf dessen Luftwiderstand soll veranschaulicht werden. Zudem wird aufgezeigt, dass für verschiedene Einbausituationen (bspw. nur flache Abhängung möglich) unterschiedliche Möglichkeiten zur Luftverteilung vorhanden sind.

Beispiele für unterschiedliche Kanalarten:

- Stahl-Wickelfalzrohr
- Stahl-Flachkanal
- Kunststoffkanal starr glatt
- Kunststoffkanal flexibel – innen geriffelt
- Kunststoffkanal flexibel – innen glatt
- Doppelter Kunststoffkanal flexibel – innen geriffelt
- Eventuell Laminar-flow-Verteiler

Vergleich Dämmungen für Luftkanäle

Neben den Kanälen zur Verteilung der Zuluft selbst sind auch für die Dämmung solcher Kanäle verschiedene Materialien verfügbar. Fortluft- und Frischluftkanäle müssen innerhalb der thermischen Gebäudehülle gedämmt werden, um das entweichen von Heizwärme durch die Luftkanäle nach außen zu verringern.

Um die unterschiedlichen Materialien und deren Vor- und Nachteile in einem direkten Vergleich darzustellen, kann ein Modell gebaut werden.

Hierfür wird auf ein Brett ein Luftkanal befestigt. Der Kanal kann als runder Kanal oder auch als eckiger Kanal ausgeführt werden. Darauf werden jeweils kurze Abschnitte (ca. 10 cm bis 20 cm) unterschiedlicher Dämmmaterialien auf den Kanal aufgebracht. Die Dicke der Dämmung sollte dabei so gewählt werden, dass sie bei der gleichen Luftmenge immer den gleichen Wärmeverlust pro Laufmeter aufweisen.

Falls die notwendigen Dämmdicken zur Erreichung des gleichen Wärmeverlusts nicht verfügbar sind, kann die Darstellung auch digital erstellt und ausgedruckt werden.

Somit werden die Größenunterschiede notwendigen Dämmungen deutlich. Auch sollten neben den Abschnitten noch weitere Informationen angegeben werden:

- Material
- Wärmeleitfähigkeit
- ungefähre Kosten pro Laufmeter
- Abmessungen
- Dampfdiffusionswiderstand
- Evtl. weitere.

Skizze:

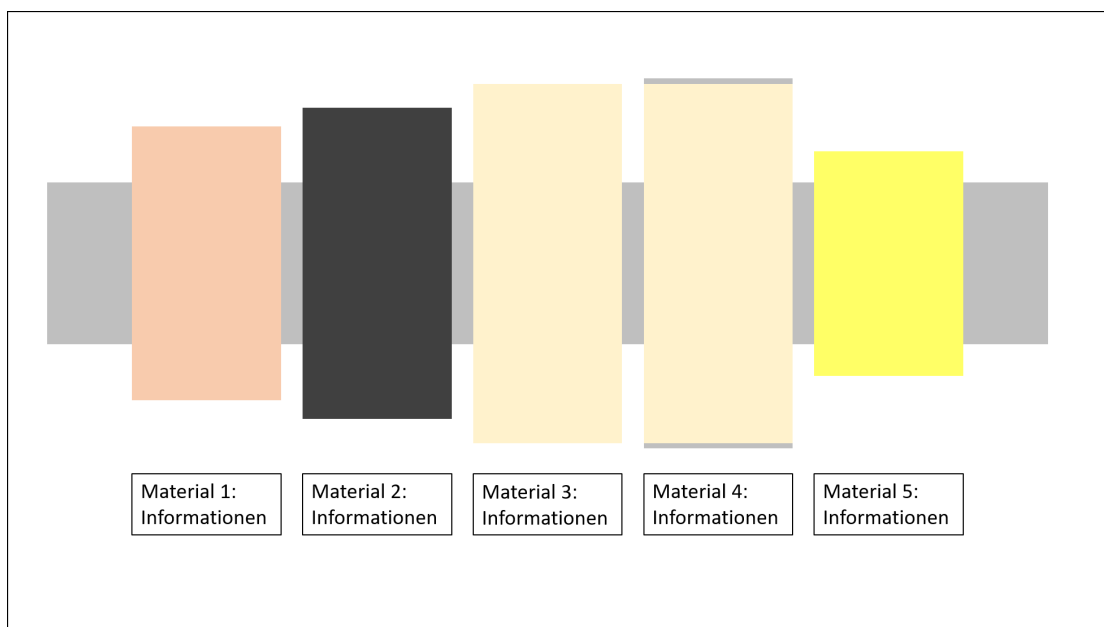


Figure 24 (Quelle: PHI) Skizze zum Modellaufbau mit den Unterschiedlichen Dämmstärken

Lernziel:

Der Einfluss der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten auf den Wärmeverlust durch Lüftungsleitungen soll veranschaulicht werden. Zudem wird aufgezeigt, dass für verschiedene Einbausituationen (bspw. nur flache Abhängung möglich) unterschiedliche Möglichkeiten zur Dämmung von Luftkanälen vorhanden sind.

Beispiele für unterschiedliche Dämmungen:

- Kautschuk
- EPS
- Polyethylen
- Polyurethan-Hartschaum
- Mineralwolle
- Mineralwolle mit Aluminium-Kaschierung

Vergleich Dämmungen Warmwasserleitungen

Für die Dämmung von warmwasserführenden Rohrleitungen sind verschiedene Materialien verfügbar. Gerade außerhalb der thermischen Gebäudehülle müssen Warmwasserleitungen gedämmt werden, um das entweichen von Heizwärme nach außen durch die Rohrleitungen zu verringern.

Um die unterschiedlichen Materialien und deren Vor- und Nachteile in einem direkten Vergleich darzustellen, kann ein Modell gebaut werden.

Hierfür wird auf ein Brett ein Abschnitt eines Wasserrohrs befestigt (ca. 1 m). Dieses Rohr wird jeweils in kurzen Abschnitten (ca. 10 cm bis 20 cm) mit unterschiedlichen Dämmmaterialien gedämmt. Die Dicke der Dämmung sollte dabei so gewählt werden, dass das gedämmte Rohr immer den gleichen Wärmeverlust pro Laufmeter aufweist.

Falls die notwendigen Dämmdicken zur Erreichung des gleichen Wärmeverlusts nicht verfügbar sind, kann die Darstellung auch digital erstellt und ausgedruckt werden.

Somit werden die Größenunterschiede notwendigen Dämmungen deutlich. Auch sollten neben den Abschnitten noch weitere Informationen angegeben werden:

- Material
- Wärmeleitfähigkeit
- ungefähre Kosten pro Laufmeter
- Abmessungen
- Dampfdiffusionswiderstand
- Evtl. weitere.

Skizze:

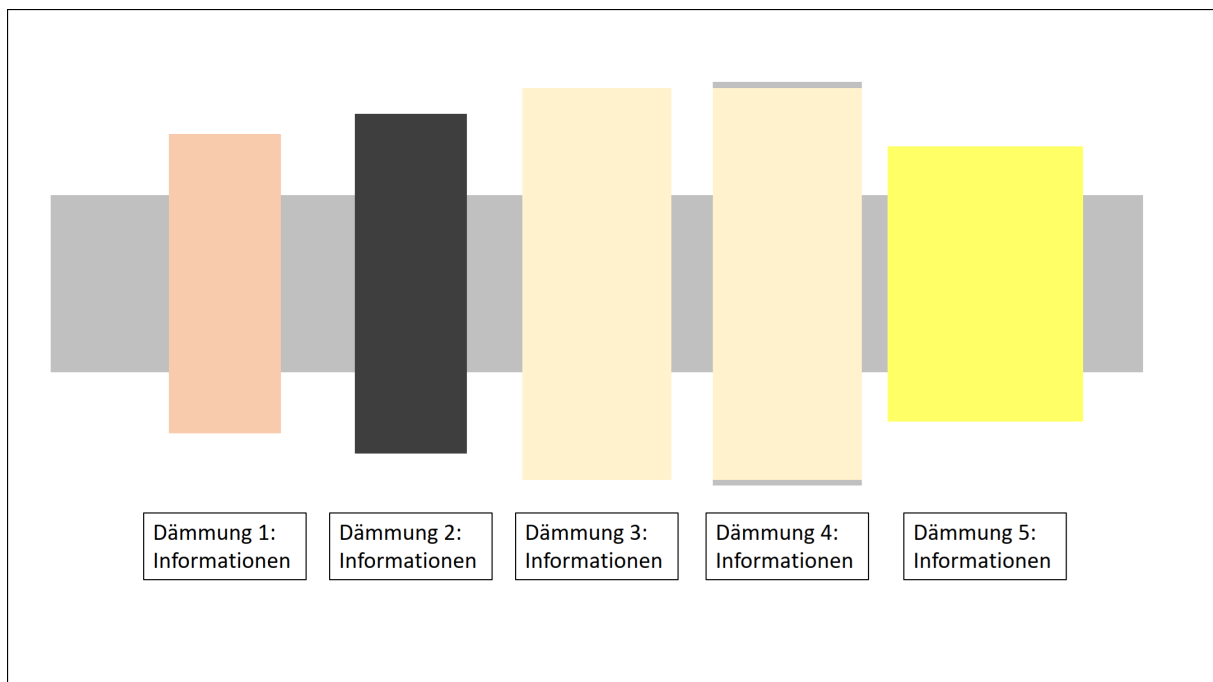


Figure 25 (Quelle: PHI) Skizze zum Modellbau mit den Unterschiedlichen Dämmstärken

Lernziel:

Der Einfluss der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten auf den Wärmeverlust warmwasserführende Rohrleitungen soll veranschaulicht werden. Zudem wird aufgezeigt, dass die Verringerung des Wärmeverlusts mit vielen verschiedenen Materialien umsetzbar ist.

Beispiele für unterschiedliche Dämmungen:

- Kautschuk
- EPS
- Polyethylen
- Polyurethan-Hartschaum
- Mineralwolle
- Mineralwolle mit Aluminium-Kaschierung (Achtung: Beschädigungsgefahr schon beim Einbau!)

Vergleich Dämmungen – gedämmte Rohrschellen warmwasserführender Rohrleitungen

Für die Dämmung von warmwasserführenden Rohrleitungen sind verschiedene Materialien verfügbar. Für die Befestigung der Rohre und Rohrdämmungen sind allerdings Rohrschellen notwendig, die eine Schwachstelle in der Rohrdämmung darstellen. Um diese Wärmebrücke zu reduzieren sind einige kommerzielle gedämmte Rohrschellen vorhanden. Aus festen Dämmmaterialien können gedämmte Rohrschellen aber auch als Eigenbau hergestellt werden.

Um die unterschiedlichen Materialien bzw. Konstruktionen und deren Vor- und Nachteile in einem direkten Vergleich darzustellen, kann ein Modell gebaut werden.

Hierfür wird auf ein Brett ein Abschnitt eines Wasserrohrs befestigt (ca. 1 m). In diesem Rohrstück wird jeweils in kurzen Abschnitten (ca. 10 cm bis 20 cm) eine gedämmte Rohrschelle eingebaut.

Somit werden die konstruktiven Unterschiede der gedämmten Rohrschellen deutlich. Auch sollten neben den Abschnitten noch weitere Informationen angegeben werden:

- Material
- Punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient der Ausführung
- ungefähre Kosten pro Element
- Dampfdiffusionswiderstand
- Evtl. weitere.

Skizze:

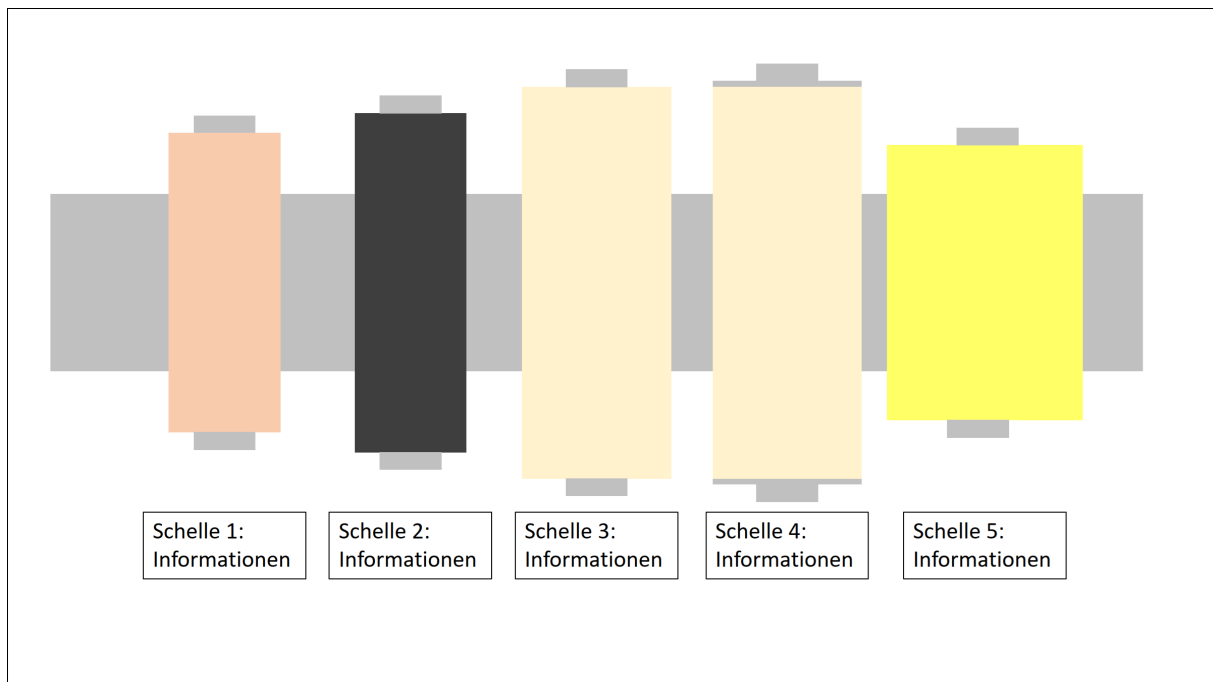


Figure 26 (Quelle: PHI) Skizze zum Modellaufbau mit den Unterschiedlichen Dämmstärken

Lernziel:

Es soll aufgezeigt werden, dass auch die Verringerung der Wärmebrückenwirkung von Rohrschellen durch den Einsatz von gedämmten Rohrschellen umsetzbar ist. Auch wird deutlich, dass diese Lösungen auch als Eigenbau ausgeführt werden können.

Beispiele für unterschiedliche Dämmungen:

- Kommerzielle Rohrschelle mit Dämmung aus EPS
- Kommerzielle Rohrschelle mit Dämmung aus Polyurethan
- Kommerzielle Rohrschelle mit Dämmung aus Mineralwolle
- Kommerzielle Rohrschelle mit Dämmung aus aluminiumkaschierter Mineralwolle
- Kommerzielle Rohrschelle mit Dämmung aus Kautschuk
- Eigenbau-Rohrschelle mit Dämmung aus Glasschaum
- Eigenbau-Rohrschelle mit Dämmung aus Polyurethan-Hartschaum

Vergleich Dämmungen – gedämmte Armaturen warmwasserführender Rohrleitungen

Für die Dämmung von warmwasserführenden Rohrleitungen sind verschiedene Materialien verfügbar. Jedoch entweicht Wärmeenergie nicht nur durch die Rohre selbst, sondern auch durch Armaturen, wie beispielsweise Ventile, Absperrhähne oder Pumpen. Da diese Elemente meist eine andere Geometrie aufweisen als die reguläre Rohrleitung, kann die normal verwendete Rohrdämmung nicht verwendet werden. Allerdings sind auch hier mehrere Möglichkeiten zur Wärmedämmung sowohl als fertig zu kaufende Produkte als auch zum Eigenbau verfügbar.

Um die unterschiedlichen Materialien bzw. Konstruktionen und deren Vor- und Nachteile in einem direkten Vergleich darzustellen, kann ein Modell gebaut werden.

Hierfür wird auf ein Brett ein Abschnitt eines Wasserrohrs befestigt (ca. 1 m). In diesem Rohrstück wird jeweils in kurzen Abschnitten (ca. 10 cm bis 20 cm) ein Absperrhahn eingebaut. Dieser Hahn wird dann mit unterschiedlichen Dämmmaterialien gedämmt.

Somit werden die Unterschiede in der Benutzbarkeit der Dämmmöglichkeiten deutlich. Auch sollten neben den Abschnitten noch weitere Informationen angegeben werden:

- Material
- Punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient der Ausführung
- ungefähre Kosten pro Element
- Dampfdiffusionswiderstand
- Evtl. weitere.

Skizze:

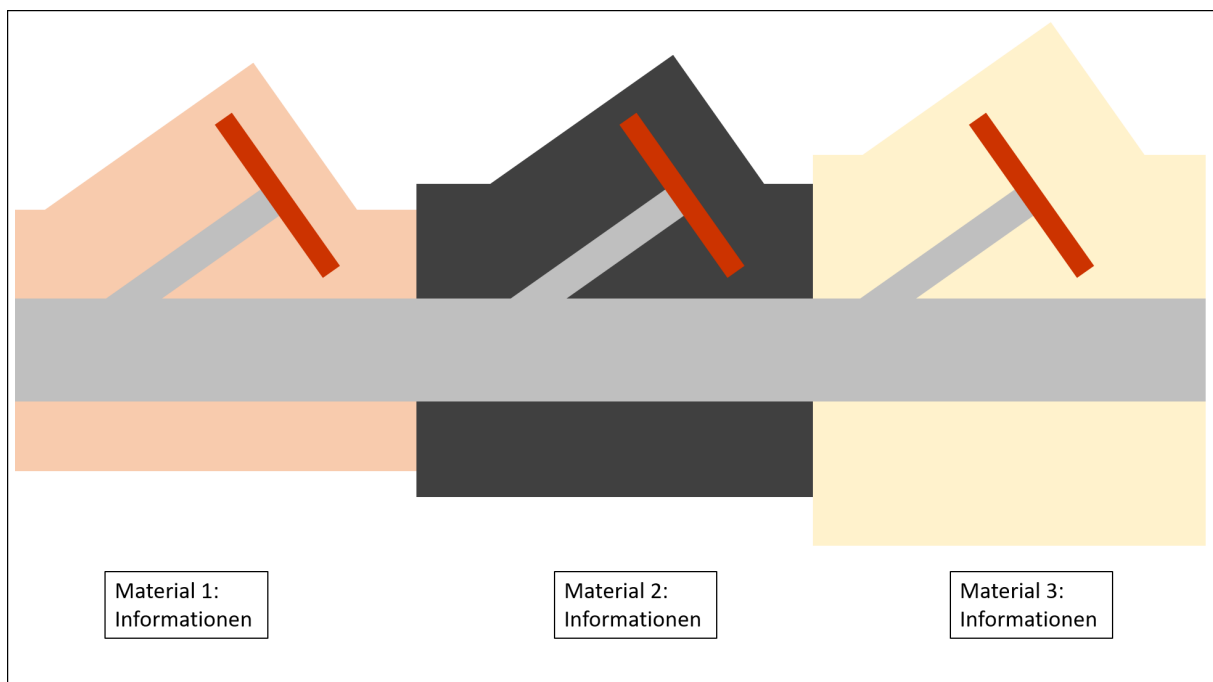


Figure 27 (Quelle: PHI) Skizze zum Modellaufbau mit den gedämmten Armaturen mit unterschiedlichen Materialien

Lernziel:

Es soll aufgezeigt werden, dass auch die Verringerung der Wärmebrückenwirkung von Elementen wie Absperrhähnen auf verschiedene Arten umsetzbar ist. Auch wird deutlich, dass diese Lösungen auch als Eigenbau ausgeführt werden können.

Beispiele für unterschiedliche Dämmungen:

- Kommerzielle Dämmhaube für Absperrhähne aus EPS
- Kommerzielle Dämmhaube für Absperrhähne aus Polyurethan
- Kommerzielle Dämmhaube für Absperrhähne aus Mineralwolle
- Kommerzielle Dämmhaube für Absperrhähne aus aluminiumkaschierter Mineralwolle
- Eigenbau-Dämmhaube aus Kautschuk
- Eigenbau-Dämmhaube aus EPS
- Eigenbau-Dämmhaube aus aluminiumkaschierter Mineralwolle

Luft-Ein- und Auslässe für hohe Volumenströme

In Bürogebäuden oder Schulen sind für die ausreichende Belüftung der Büro- bzw. Klassenräume hohe Luftvolumenströme notwendig. Um diese hohen Luftmengen transportieren zu können sind große Kanalquerschnitte und damit auch große Luft-Ein- und Auslässe notwendig.

Eine optisch ansprechende Umsetzungsmöglichkeit hierfür bietet sich in der Integration der Luft-Ein- und Auslässe in Einbauschränke. Hierbei wird der Lufteinlass durch kleine Düsen realisiert, die in der Front der Schränke kurz unterhalb der Decke vorgesehen sind. Der Querschnitt kann über die Spaltbreite als auch die Spalttiefe flexibel angepasst werden.



Figure 28 (Quelle: Passivhaus Institut Darmstadt) Lufteinlass in der Hessenwald-Schule in Weiterstadt

Für die Luftauslässe kann der Sockel der Einbauschränke genutzt werden. Damit hier keine Verschmutzung direkt eingesaugt werden kann, wird die Luft zweifach umgeleitet. In den folgenden Abbildungen sind die Umsetzungen in der Albrecht-Dürer-Schule in Weiterstadt als auch ein 3D-Modell des Luftauslasses dargestellt.



Figure 29 (Quelle: Passivhaus Institut Darmstadt) Luftauslass in der Albrecht-Dürer-Schule in Weiterstadt

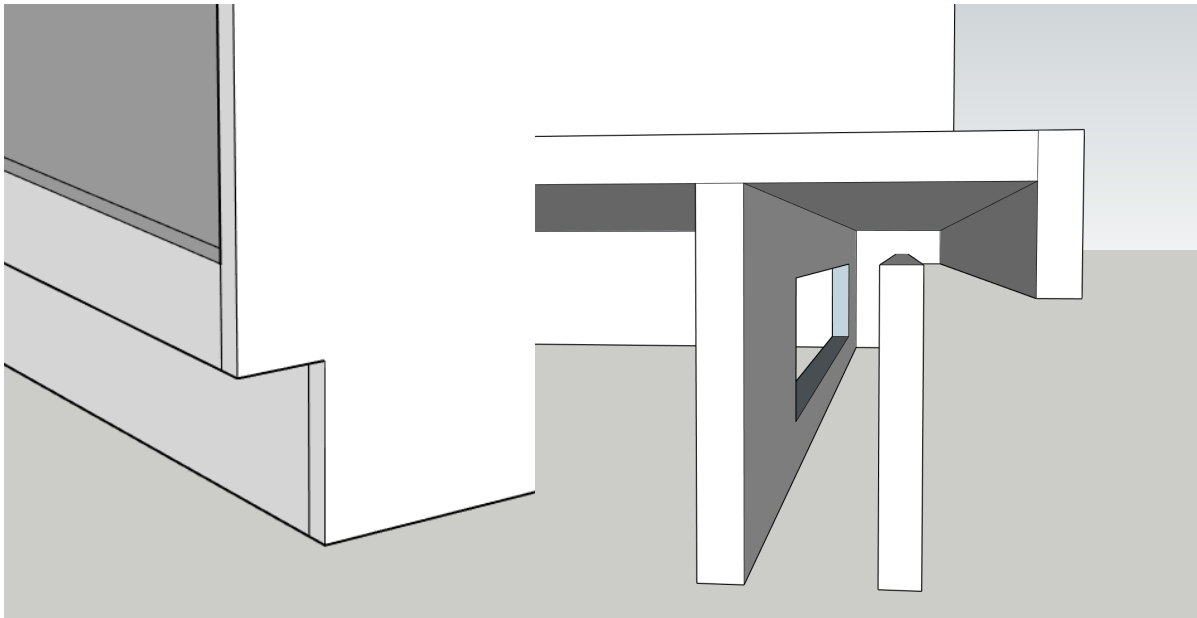


Figure 30 (Quelle: Passivhaus Institut Darmstadt) : Links: Darstellung des Luftauslasses von außen; Rechts: Darstellung des Luftauslasses als Vertikalschnitt (Quelle beide: Passivhaus Institut Darmstadt)

Lernziel:

Wissen erweitern, dass auch für hohe Volumenströme optisch ansprechende Luft-Ein- und Auslasslösungen verfügbar sind.

Vergleich Wandaufbauten Holzbau

Zur Umsetzung einer energetisch hocheffizienten Gebäudehülle stellen Holzkonstruktionen aufgrund der guten Kombination einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit und hohen statischen Tragfähigkeit von Holz eine gut geeignete Variante da. In der Umsetzung sind verschiedene Wandaufbauten und statische Konstruktionen möglich, die sich im flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten unterscheiden. Um den gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten zu erreichen, sind verschieden dicke Aufbauten notwendig. Um hier einen guten Vergleich zu ermöglichen, kann ein Modell gebaut werden. Das Modell besteht aus Ausschnitten einer Wandkonstruktion je Konstruktionsart. Die Ausschnitte sind in einer Breite von 10 cm bis 30 cm je Konstruktionsart ausreichend. Die Wandaufbauten sollten jeweils die Dicke aufweisen, mit der ein fast identischer Wärmedurchgangskoeffizient erreicht werden kann. Eine Abstufung der Dicke in 5-mm-Schritten ist dabei ausreichend und praktikabel.

Folgende Konstruktionsarten sollten enthalten sein:

- Holz-Ständer-Konstruktion (60 mm Ständer mit 625 mm Achsabstand)
- Holz-Stegträger-Konstruktion (60 mm Flanschbreite mit 625 mm Achsabstand)
- Z-Träger-Konstruktion (60 mm Flanschbreite mit 625 mm Achsabstand; auch als Eigenbau möglich)
- Holz-Leiter-Träger-Konstruktion (59 mm Flanschbreite mit 625 mm Achsabstand)

Es können selbstverständlich aber auch mehr Aufbauten integriert werden. Ebenso könnte der Vergleich auch Konstruktionen ergänzt werden, die außenseitig statt der OSB-Platte eine Holzweichfaserplatte verwenden.

Für einen guten Vergleich der Aufbauten sollten für jeden Aufbau folgende Angaben enthalten sein:

- Konstruktion
- U-Wert (sollte überall gleich sein)
- Angabe der verwendeten Materialien mit Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)
- Materialverbrauch
- Bestenfalls Angaben zu Kosten der Konstruktion

Lernziel:

Lernziel des Vergleichs ist zum einen, dass Wandaufbauten gleicher Dicke auch im Holzbau nicht denselben Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen. Zum anderen lässt sich an den verschiedenen Modellen erkennen, dass der Wärmedurchgangskoeffizient mit dem Holzanteil in der Konstruktion sinkt. Zudem zeigt die Konstruktion mit Z-Trägern, dass auch im Eigenbau eine hochenergieeffiziente Konstruktion erreicht werden kann.

Die resultierenden Aufbauten sind in Anhang 1: Vergleich Wandaufbauten Holzbau dargestellt. Für die Wandaufbauten wurde jeweils der U-Wert des Vollholzaufbaus unter Verwendung im Handel üblicher Lagerquerschnitte verwendet. Bei allen weiteren Aufbauten ist dann die Hauptschicht in 2-mm-Schritten angepasst, sodass der U-Wert der Konstruktion möglichst dem ursprünglichen Vollholzaufbaus entspricht.

Vergleich Innendämmkonstruktionen

Zur Umsetzung einer energetisch sinnvollen Gebäudehülle bei Gebäuden, deren Außenfassade beispielsweise aus Denkmalschutzgründen nicht verändert werden kann, bietet die Anbringung einer Innendämmung eine gute Kombination aus einem niedrigeren Wärmedurchgangskoeffizienten und einem moderaten Flächenverlust auf der Raumseite. Hierbei können verschiedene Aufbauten und statische Konstruktionen umgesetzt werden, die sich im flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten unterscheiden. Für die gleiche Dämmdicke weisen die Aufbauten sehr unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizienten auf. Um hier einen guten Vergleich der Konstruktionen und deren Vor- und Nachteile zu ermöglichen, kann ein Modell gebaut werden. Das Modell besteht aus Ausschnitten einer Wandkonstruktion je Konstruktionsart. Die Ausschnitte sind in einer Breite von 10 cm bis 30 cm je Konstruktionsart ausreichend. Die Aufbauten mit Innendämmung sollten die gleiche Dämmdicke aufweisen, um vergleichbar zu bleiben. Diese Dämmdicke sollte ein guter Kompromiss zwischen Raumverlust und einem niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten darstellen. In der Praxis hat sich hierfür eine Dicke zwischen 6 cm und 10 cm als sinnvoll erwiesen. Für das gebaute Beispiel wurde eine Dicke von 6 cm gewählt.

Folgende Konstruktionsarten sollten enthalten sein:

- Calciumsilikatplatte (kapillarkativ) verputzt
- Mineralhartschaumplatte (kapillarkativ) verputzt
- Polyurethan-Dämmplatte mit kapillarkativen Dichten verputzt
- Perliteplatte (kapillarkativ) verputzt
- Verbundplatte Expandiertes Polystyrol & Silikatplatte mit Dampfsperre
- Verbundplatte Polyurethan & Silikatplatte mit Dampfsperre
- Holzständerkonstruktion mit Mattendämmstoff und Dampfsperre

Es können selbstverständlich aber auch weitere Aufbauten integriert werden. Wenn möglich, können auch Konstruktionen mit an die Wand angeworfener beziehungsweise angespritzter Perlit-Dämmung integriert werden. Allerdings sind diese Konstruktionen in Mustergröße aufwändiger umzusetzen.

Für einen guten Vergleich der Aufbauten sollten für jeden Aufbau folgende Angaben enthalten sein:

- Konstruktionsname
- U-Wert
- Angabe der verwendeten Materialien mit Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)
- Angaben zur Dampfdiffusion und Kapillaraktivität (diffusionsdicht durch Einsatz einer Folie oder diffusionsoffen und kapillaraktiv)
- Bestenfalls Angaben zu Kosten der Konstruktion

Lernziel:

Lernziel des Vergleichs ist zum einen, dass Innendämmungen gleicher Dicke deutlich unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen können. Zudem lässt sich erkennen, dass nur Konstruktionen mit kapillaraktiven Materialien ohne eine Dampfbremse auskommen.

Die U-Werte der verschiedenen als Beispiel empfohlenen Wandaufbauten sind dargestellt in Anhang 2: Vergleich Wandaufbauten Innendämmung.

Lösungen für Anschlussstellen in schrittweise durchgeführten Sanierungen

Bei der Planung schrittweiser Sanierungen können sich verschiedene Herausforderungen an den Anschlussstellen zwischen Bauteilen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten getauscht werden, ergeben.

Ein Beispiel hierfür ist der Ortgang. Wird die Wanddämmung in einem Schritt zeitlich vor der Dachdämmung oder Dacherneuerung ausgeführt, kann es sein, dass der vorhandene Dachüberstand für die anzubringende Außenwanddämmung nicht ausreichend ist. Um Bauschäden vorzubeugen ist notwendig, das Eindringen von Wasser in die Konstruktion zu verhindern.

Für solche Herausforderungen sind bereits einige gute Lösungen am Markt verfügbar. Für die genannte Herausforderung sind beispielsweise Dachlattenverlängerungen verfügbar:

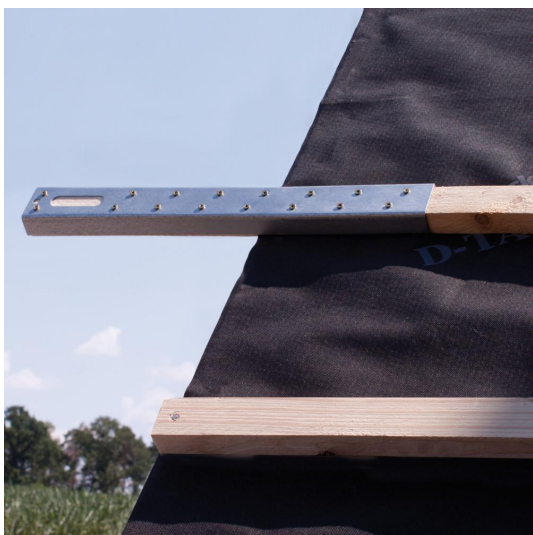


Figure 31 Dachlattenverlängerung (Quelle: https://www.d-tack.de/media/staempfli_imageresizer/cache/catalog/product/dachlattenverlaengerung_group/additional_images/1000x_co_ar_tr_90/z56xxxx_dachlattenverlaengerung_aw_01_an_steildach_web.jpg)

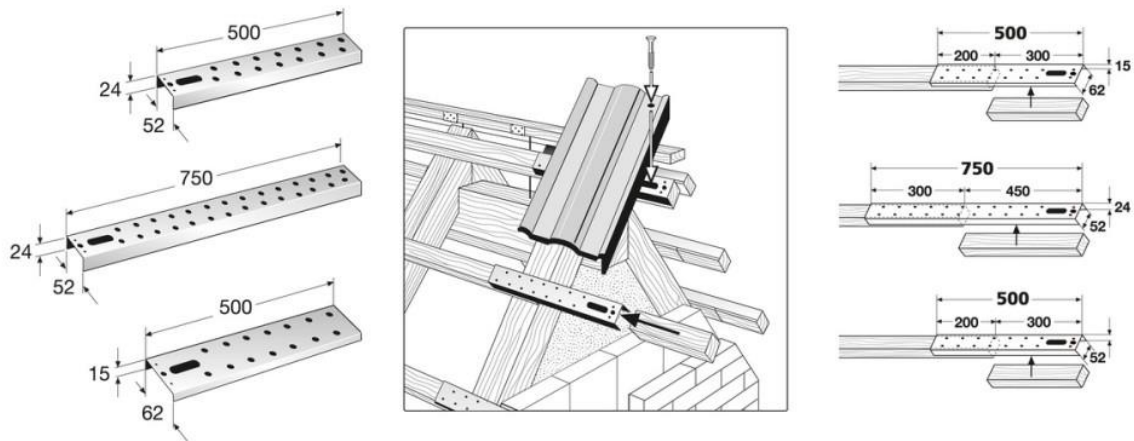


Figure 32 Dachlattenverlängerung (Quelle: https://www.d-tack.de/media/staempfli_imageresizer/cache/catalog/product/dachlattenverlaengerung_group/additional_images/1000x_co_ar_tr_90/z56xxx_dachlattenverlaengerung_aw_07_technische_zeichnung_web.jpg)

Mit Hilfe diesen Dachlattenverlängerungen kann die Traglattung bei einem Schrägdach in Richtung Ortgang verlängert werden, sodass der notwendige Überstand vorhanden ist.

Um diese Lösungen weiter zu verbreiten, können diese Lösungen gesammelt auf Folien dargestellt werden oder auch Muster ausgelegt werden.

Lernziel:

Lernziel ist, Nutzer und Nutzerinnen für bereits vorhandene Lösungen zu sensibilisieren und einige dieser Lösungen beispielhaft aufzuzeigen. Hierdurch soll zudem das Wissen vertieft und die Problemlösungsfähigkeit der Teilnehmer bzw. Teilnehmerinnen gestärkt werden.

Beispiele für solche Lösungen:

- Dachlattenverlängerungen zur Verlängerung des Ortgang-Überstands
- Aufschiebling zur Verlängerung des Trauf-Überstands und Verringerung der Wärmebrückenwirkung bei Dachbodendämmung

Luftdichtheit-Visualisierung bei serieller Sanierung

Bei einer seriellen Sanierung stellt die Luftdichtheit eine große Herausforderung dar, wenn die Wandelemente als luftdichte Ebene fungieren sollen. Prinzipiell können zweidimensionale Modulstöße ohne Probleme luftdicht geplant und ausgeführt werden, allerdings stellen dreidimensionale Anschlussstellen in der Praxis oft eine Herausforderung dar. Als Lösungsvorschläge können beispielsweise Lösungen mit einer Schlauchdichtung oder luftdichten Folie mit nachträglicher Verklebung gezeigt werden

Um diese Lösungsvorschläge besser zu veranschaulichen, wurde ein physisches 3D-Modell entwickelt, exemplarisch den Ablauf für eine gute Luftdichtheit aufzeigen.

Aus diesem 3D-Modell können folgende Elemente erzeugt und gezeigt werden:

- 3D-Modell als Veranschaulichung
- Video, in dem die einzelnen Schritte nacheinander am 3D-Modell gezeigt werden
- 3D-Druck des Modells in verschiedenen Stufen -> physisches Modell zur Veranschaulichung

Lernziel:

Das Lernziel dieses Abschnitts ist zunächst die Sensibilisierung für die Herausforderung der Luftdichtheit bei seriellen Sanierungen, falls die Elemente die luftdichte Ebene bilden sollen als auch das Erlernen mehrerer Lösungsoptionen

3D-Modelle in Sketchfab oder 3D-PDF

Viele Bauelemente und Konstruktionsdetails sind als Anschauungsmaterial im Maßstab 1:1 zu sperrig und benötigen hohen Aufwand für Lagerung und Transport. Dennoch wären sie für das bessere Verständnis hilfreich, weil das Verständnis von Schnitten (2D) komplexer Bauteile und Montagevorgänge das Vorstellungsvermögen häufig übersteigen. Für solche Fälle kann es hilfreich sein, diese Details und Bauteilanschlüsse in 3D zu visualisieren und mittels geeignetem Viewer zugänglich zu machen. So können aus 3D-Formaten mit geeigneter Software 3D-PDFs erzeugt werden, welche mit dem kostenlosen ADOBE-PDF 3D-Viewer von allen Seiten betrachtet werden können.

<https://helpx.adobe.com/at/acrobat/using/enable-3d-content-pdf.html>

Alternativ können die Modelle auch auf einem Portal, z.B. SKETCHFAB veröffentlicht werden.

<https://sketchfab.com/>

Lernziel:

Mit Hilfe der 3D-Modelle kann das Verständnis für wärmebrückenarme Bauteilanschlüsse und Montageverfahren geschult werden.

Beispiele:

- Dach-Wandanschlüsse (Trauf- bzw. GiebelDetails)
- Fenstereinbau-Details
- Fußpunktdetails, Fundamentanschlüsse

Wärmebrücken-Visualisierung mit COMSOL-Apps

Für zahlreiche Baudetails und Bauteilanschlüsse gibt es bereits vorberechnete Wärmebrücken-Daten. Diese sind häufig in sogenannten Wärmebrücken-Atlanten zusammengestellt und erlauben in manchen Fällen auch einzelne Parameter bzw. Bauteilgeometrien zu variieren. Ein Beispiel hierfür ist der PHI-Wärmebrückenkatalog.

https://passipedia.de/planung/waermeschutz/waermeschutz_funktioniert/waermebrueeckenkatalog

Mit Hilfe der finite-Element-Software COMSOL Multiphysics ist es dagegen möglich beliebige 3D-Details zu parametrisieren, zu berechnen und die Ergebnisse mit angepassten Farbskalen zu visualisieren. Dabei können auch die Randbedingungen geändert und deren Einfluss auf das Ergebnis veranschaulicht werden. Allerdings benötigt die Erstellung derartiger 3D-Simulationsmodelle erhebliche Einarbeitungszeit sowie die entsprechenden Softwarelizenzen. Somit ist die Zugänglichkeit für viele KursteilnehmerInnen häufig nicht möglich. Es können allerdings mit Hilfe des Application Builder und dem COMSOL Server Apps erzeugt und auf einem Server für die Studierenden bzw. KursteilnehmerInnen zur Verfügung gestellt werden. In diesem Fall ist weder eine Software-Lizenz noch das notwendige Know-How zur Simulationsmodell-Erstellung erforderlich. Dennoch können die physikalischen Zusammenhänge in interaktiver und spielerischer Methode vermittelt werden

Lernziel:

Verständnis der bauphysikalischen Zusammenhänge bei Wärmebrücken komplexer 3D-Wärmebrücken

Beispiele:

- Fensteranschluss
- Fundamentanschluss
- Wärme gedämmte Tragkonstruktionen
- Balkonanschlüsse

Mockups

Im Folgenden wird auf komplexere Anschauungsmodelle, Mockups und Funktionsmodelle eingegangen, welche in der Lehre nicht nur als Anschauungsmaterial, sondern zur Interaktion bis hin zu Messungen oder praktischen Übungen verwendet werden können. Häufig ist sowohl die Vorbereitung als auch die Versuchsdurchführung und Auswertung mit erhöhtem Zeitaufwand verbunden und verlangt auch von den Lehrenden eine gewisse praktische Expertise. Daher kann es in vielen Fällen vorteilhaft sein, anstelle der tatsächlichen Versuchsdurchführung im Unterricht bzw. Praktikum lediglich eine Videoaufzeichnung anzubieten, hierzu wird auf das Deliverable 3.9 verwiesen. Didaktisch hinsichtlich des Lernerfolgs ist diese Vorgehensweise zwar bei weitem nicht gleichwertig zum realen Versuch in Präsenz und eigener Interaktion der Lernenden, kann aber Zeit und Kostenvorteile bieten und ist auch für blended learning und flipped classroom geeignet.

IR-Kamera Modellgebäude

Metadaten für Kursmaterial (EduResource):

Bezeichnung	Mockup Luftdichtheit
ID	8461044_1
Datum der Erstellung	29.11.2024
Datum letztes Update	12.12.2025
Autor	Rainer Pfluger
Copyright	University of Innsbruck
LinkCF	Quote, Reference, URI
Sprache	De
Land	A, D
Klimazone	kühl gemäßigt
Neubau/Sanierung	Neubau und Sanierung
Bauweise	Alle Bauweisen
Art der EduResource	Content Object
Type der EduResource	Mockup
Eingangsvoraussetzung Kompetenz vorher	Grundlagen Bauphysik
Lernziel Kompetenzoutput	Verständnis von Wärmebrücken und IR-Thermographie
Themenzugehörigkeit in der Ontologie Energieeffizientes Bauen	Wärmebrücken, Qualitätssicherung

Infrarotaufnahmen können ein wertvolles Werkzeug für die Erfolgskontrolle und Qualitätssicherung beim energieeffizienten Bauen und Sanieren sein. Um die Methode des Thermographierens fehlerfrei und sicher zu beherrschen und korrekt auswerten zu können, ist einiges an praktischer Erfahrung erforderlich. Im Rahmen von Vorlesungen und Kursen ist je nach räumlichen Gegebenheiten und der thermischen Randbedingungen (Innen-/Außenlufttemperatur) eine aussagekräftige Thermographie nicht immer möglich. Mit Hilfe eines von innen beheizten Kastens kann, zumindest im Modellmaßstab, praktisch jederzeit eine Thermographie durchgeführt werden. Hierzu wird die Innenlufttemperatur des Kastens mit Hilfe eines Thermostats und einer elektrischen Heizquelle (z. B. Glühbirnen) auf deutlich über Raumtemperatur (z. B. 50 °C) gebracht. Als Frontplatte können dann unterschiedlichste Bauteile eingesetzt werden, die dann von Außen thermographiert werden können, z. B.:

- Fenster (einfach, zweifach, dreifach-verglast, Rahmen überdämmt etc., Modellmaßstab)
- Ausragender Balkon mit und ohne thermische Trennung
- Unterschiedliche Dämmstoffe und Oberflächen mit verschiedener Emissivität

Lernziel:

Infrarotaufnahmen sind nicht in der Lage Oberflächentemperaturen direkt zu messen, es wird lediglich die langwellige Abstrahlungsleistung der Bauteiloberflächen gemessen, auf die daraus resultierende Temperatur kann nur in Kombination mit der jeweiligen Emissivität zurückgeschlossen werden. Darüber hinaus können Verfälschungen durch Strahlungsreflexionen an Oberflächen mit hohem Reflexionsgrad auftreten. Mit einem derartigen Versuchsaufbau können alle Effekte die in der Praxis auftreten im Rahmen eines Kurses (z. B. Zur Bauphysik) erfahrbar gemacht werden.

Beispiele:

Versuchsaufbau im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Innsbruck

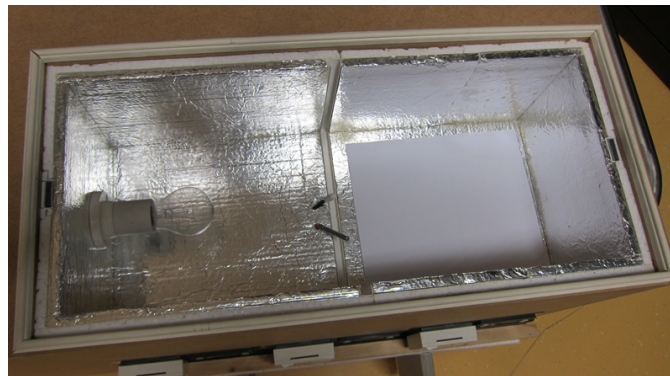
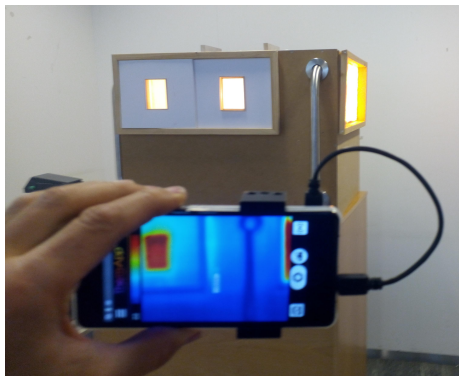




Figure 33 (Quelle: UIBK) : Links oben: Thermographie; Rechts oben: Innenansicht; Unten: Gedämmtes und ungedämmtes Fenster im Modellaufbau (In der unteren Bildhälfte sind die Thermostaten zu erkennen)

Luftdichtheit: Drucktest und Nebelvisualisierung am Modell

Metadaten für Kursmaterial (EduResource):

Bezeichnung	Mockup Luftdichtheit
ID	8461044_2
Datum der Erstellung	29.11.2024
Datum letztes Update	12.12.2025
Autor	Rainer Pfluger
Copyright	University of Innsbruck
LinkCF	Quote, Reference, URI
Sprache	De
Land	A, D
Klimazone	kühl gemäßigt
Neubau/Sanierung	Neubau und Sanierung
Bauweise	Alle Bauweisen
Art der EduResource	Content Object
Type der EduResource	Mockup
Eingangsvoraussetzung Kompetenz vorher	Grundlagen Luftdichtheit, Bauphysik
Lernziel Kompetenzoutput	Drucktest (Durchführung u. Auswertung), Leckagesuche, Detailausführung luftdichte Anschlüsse
Themenzugehörigkeit in der Ontologie Energieeffizientes Bauen	Luftdichtheit/Materialien, Qualitätssicherung

Kompetenzlevel Voraussetzung

Die Studierenden können die Gründe für luftdichtes Bauen benennen. Sie können die Theorie Drucktestmethode zur Überprüfung der Luftdichtheit von Gebäuden erklären. Sie können den Einfluss auf die Energiebilanz in Abhängigkeit des Drucktestergebnisses angeben. Sie können Luftdichtheitskonzepte auf Neubau und Sanierung anwenden sowie Baustoffe und Materialien in Bezug auf Luftdichtheit benennen.

Kompetenzlevel nach dem Modul

Die Studierenden können die theoretischen Grundlagen des luftdichten Bauens auf die praktische Umsetzung für luftdichte Anschlüsse und Verbindungen anwenden. Sie können die Prüfverfahren zur Qualitätssicherung der Luftdichtheit selbstständig durchführen.

Lernergebnis (Learning Outcomes)

Die TeilnehmerInnen am Versuch können die Theorie der Drucktestmethode auf die Durchführung einer realen Messung bei Überdruck und Unterdruck anwenden. Sie können die Notwendigkeit beider Druckrichtungen anhand der Ventilwirkung spezieller Anschlussdetails erklären. Aus den selbst durchgeführten Messungen bei unterschiedlichen Druckstufen können sie den n50-Wert berechnen. Sie können die Leckagesuche mit unterschiedlichen Verfahren (z. B. Visualisierung mit Nebel) anwenden. Sie können unterschiedliche Abdichtungsverfahren für die jeweiligen Anschlussprobleme kategorisieren, zuordnen und anwenden.

Zusatzkursmaterialien

Präsentation zur Erläuterung des Versuchs und der Auswertung

Excel-Tabelle zur Auswertung der Drucktestergebnisse

Leistungsfeststellung

Prüfungsfragen

Welche Eigenschaften müssen Luftdichtheitsmaterialien haben, um im Bauwesen eingesetzt zu werden?

Welche Probleme können bei Kompribändern auftreten?

Wo verläuft die luftdichte Ebene bei Rohrdurchführungen mit Wärmedämmung?

Warum treten bei bestimmten Fällen bei Über- bzw. Unterdruck unterschiedliche Leckageraten auf?

Welche mangelhaften Bauausführungen und Anschlussdetails führen häufig zu Undichtheiten?

Welche Probleme treten bei der Abdichtung von Holzbalkendurchführungen auf?

Wie kann sich die Luftfeuchte auf die Leckagerate auswirken?

Welche qualitativen und quantitativen Methoden zur Leckagesuche kennen Sie?

Was ist der Unterschied zwischen schalldicht und luftdicht und wie hängt das zusammen?

Leistungsfeststellung zur Versuchsdurchführung

Nachfolgend werden die Aufgabenstellungen zu den Versuchsdurchführungen am Mockup erläutert. Je nach verfügbarem Zeitbudget können die Versuche im Rahmen einer Experimentalvorlesung eingebaut werden oder als Praktikumsversuch in Form einer eigenen Übungseinheit angeboten werden. Als Praktikumsversuch kann es damit auch mittels Leistungsfeststellung geprüft werden.

Durchführung des Drucktests vor und nach den Luftdichtheitsmaßnahmen

Versuchsvorbereitung

Vor dem Drucktest ist zunächst die Öffnung die für die Nebelzufuhr gedacht ist zu verschließen. Auch die Dichtheit der Frontplatte zum Gehäuse ist zu überprüfen und notfalls abzudichten.

Dann ist der Druck- bzw. Absaugschlauch von der Turbine mit dem Gehäuse zu verbinden. Außerdem muss der Druckmessstutzen mit der Druckmessung verbunden werden.

Versuchsdurchführung

Die Durchführung der Leckagemessung ist vor und nach der Durchführung der Luftdichtheitsmaßnahmen vorzunehmen. Beide Messungen sind wie folgt auszuführen:

Zunächst ist das Druckdifferenzmessgerät zu nullen, d.h. die beiden Druckstutzen werden mit einem Schlauch verbunden und die Anzeige auf 0 Pa gebracht. Danach ist der Überdruckstutzen (+) mit dem Gehäuse des Mockups zu verbinden. Nun wird die Turbine beginnend von 10 Pa in Schritten von je 10 Pa bis zu einem Maximaldruck von 70 Pa angehoben. Nach jeder Druckerhöhung (also für insgesamt 7 Messpunkte) beim Erreichen des stationären Zustandes wird der Mittelwert des Überdrucks notiert. Die höchste Druckstufe (70 Pa) kann im Anschluss gleich zur Leckagesuche genutzt werden.

Als nächstes wird der Versuchsaufbau im gleichen Zustand noch auf Unterdruck geprüft. Hierzu wird der Schlauch auf der Saugseite der Turbine angeschlossen, der Druckmessschlauch wird nun mit dem Unterdruckstutzen (-) des Druckdifferenzmessgerätes verbunden. Der bereits erläuterte Messvorgang wird nun, nur eben jetzt mit Unterdruck von 10 Pa bis 70 Pa wiederholt.

Für die Berechnung des n50-Wertes ist noch das Luftvolumen des Mockups zu bestimmen. Hierbei ist darauf zu achten, dass beim Ausmessen der Außenmaße noch die Wandstärken des Gehäuses abzuziehen sind (entspricht dem Nettovolumen).

Versuchsauswertung

Zur Versuchsauswertung werden die Messdaten jeweils für Über- und Unterdruck separat in die Excel-Tabelle eingetragen und interpoliert. Das Ergebnis der Interpolation des Volumenstroms bei 50 Pa für Über- und Unterdruck wird gemittelt und durch das Nettovolumen dividiert. Nun können die Ergebnisse vor- bzw. nach den Abdichtungsmaßnahmen als Differenz berechnet werden und daraus die erreichte Energieeinsparung über die Heizperiode bei gegebenen Heizgradstunden am Standort.

Sind die Fehler der Volumenstrommessung, der Druckdifferenzmessung und der geometrischen Messung des Nettovolumens bekannt, kann darüber hinaus noch eine Fehlerrechnung nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz durchgeführt werden.

Alternative Messung mittels Tracergas

Alternativ zum Drucktest könnte auch eine Leckagemessung mittels Tracergas durchgeführt werden. Hierzu könnte aus Kostengründen CO₂ verwendet werden. Dieses ist sowohl einfach zu erzeugen (Flasche oder Atmung) als auch einfach zu messen (kostengünstige CO₂-Sensoren). Für die Messung muss nur zu Versuchsbeginn eine möglichst hohe CO₂-Konzentration ins Gehäuse eingebracht werden, dann erfolgt die Messung des Konzentrationsabfalls über die Zeit und die Auswertung durch logarithmische Interpolation (Exponentieller Abfall).

Leckagen identifizieren

Leckagesuche mittels Luftströmung: Wie bereits erwähnt eignet sich die höchste Stufe der Überdruckmessung +70 Pa am besten zur Leckagesuche. Hierfür kann entweder ein befeuchteter

Finger in die Nähe der vermuteten Leckage gehalten werden, die ausströmende Luft wird somit durch Abkühlung am Finger spürbar. Quantitativ und für Dokumentationszwecke kann auch mit einem Anemometer gearbeitet werden.

Leckagesuche mittels Nebelvisualisierung: Zur Vorbereitung dieses Versuchs wird die Öffnung für den Nebel Eintritt geöffnet und die Bohrung für den Druckschlauch geschlossen. Dann wird die Nebelmaschine so lange in Betrieb gesetzt, bis erster Nebelaustritt aus Leckagen erkennbar wird. Dann wird die Öffnung wieder verschlossen und Überdruck angelegt. Nun kann der Nebelaustritt aller Leckagen beobachtet werden, am besten bei schräger Beleuchtung und mit schwarzem oder dunklem Hintergrund. Anschließend wird der Versuch nochmals nach Durchführung der Luftdichtheitsmaßnahmen durchgeführt. Jetzt sollten nur noch wenige kleine Fehlstellen erkennbar sein, bzw. nachgebessert werden.

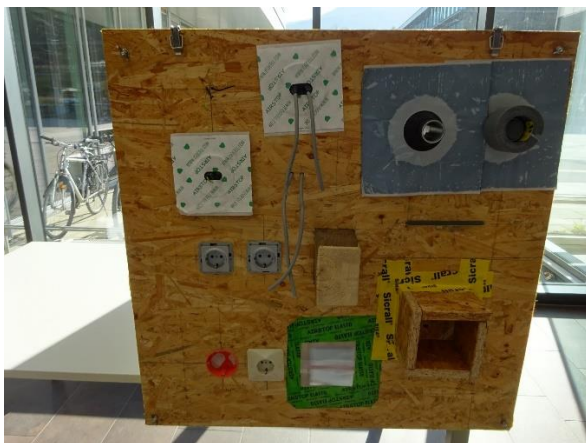
Demonstration der Schwächung des Schallschutzes durch Leckagen: Wird vor Versuchsbeginn eine von außen schaltbare Schallquelle (z. B. Klingel) in das Gehäuse gelegt (möglichst mit Körperschallentkoppelung vom Gehäuse, damit nur Luftschall entsteht), so kann der mangelnde Schallschutz durch Leckagen demonstriert werden. Am besten gelingt dies natürlich, wenn der Unterschied vor und nach den Abdichtungsmaßnahmen nicht nur subjektiv mit dem Ohr, sondern auch objektiv mit einem Schallpegelmessgerät gemessen wird. Steht bei der Bildungseinrichtung sogar eine akustische Kamera zur Verfügung, so kann sogar eine akustische Leckagesuche demonstriert werden.

Leckagen beheben

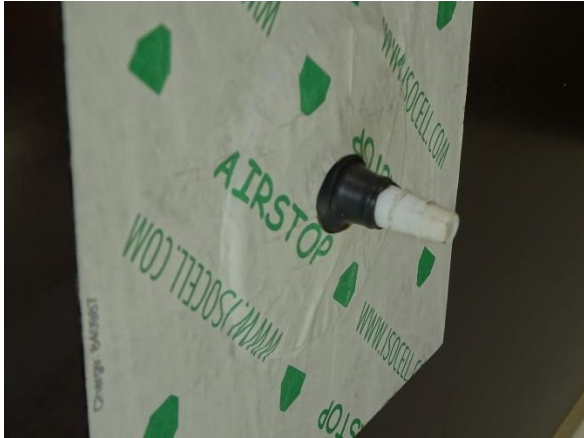
Nach der Leckagesuche sind die Leckagen fachgerecht zu beheben. Dabei stehen unterschiedliche Materialien und Verfahren zur Verfügung. Für die jeweiligen Anschlüsse sind die passenden Materialien auszuwählen und fachgerecht anzubringen. Hierfür ist folgendes Werkzeug bereitzustellen: Schere, Cuttermesser, Anpressrolle, Anpress-Spachtel

Mockup-Dokumentation

Fotodokumentation



Front- und Seitenansicht



Seitlicher Anschluss für den Druckmessschlauch sowie rückseitiger Anschluss für den Druckschlauch



Kabel- und Rohrdurchführungen mit Manschetten

Figure 34 (Quelle: UIBK) : Fotodokumentation zum Mockup Luftdichtheit



Steckdoseneinbau (links Frontansicht, rechts Rückansicht mit luftdichter Abdeckung, mitte: Hohlwanddose)



Rückseitenansicht (Innenansicht) der Kabelmontagen und Steckdosen sowie Rohrdurchführungen



Spaltabdichtung mit Kompriband, Folienüberlappung, 3D-Abdichtung, Balkendurchführung



Rohrdurchführung mit Abdichtungsstopfen

Figure 35 (Quelle: UIBK) : Detailansichten zum Mockup Luftdichtheit

Funktionsprinzip

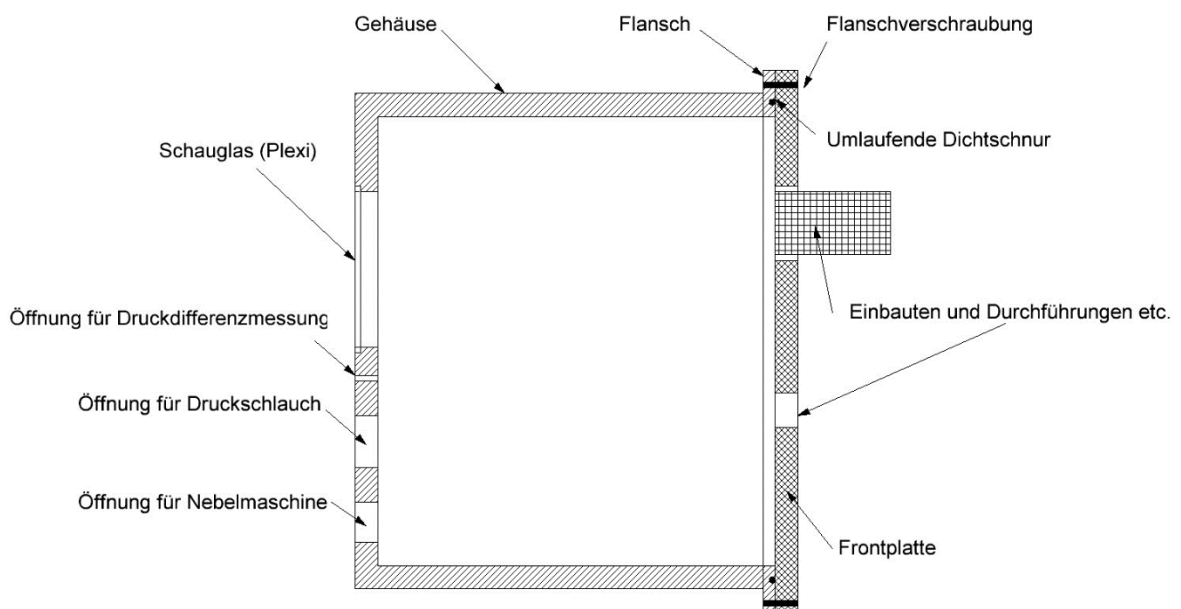


Figure 36 (Quelle: UIBK) Prinzipschema des Luftdichtheits-Mock-Ups, Schnitt durch Gehäuse und Frontplatte

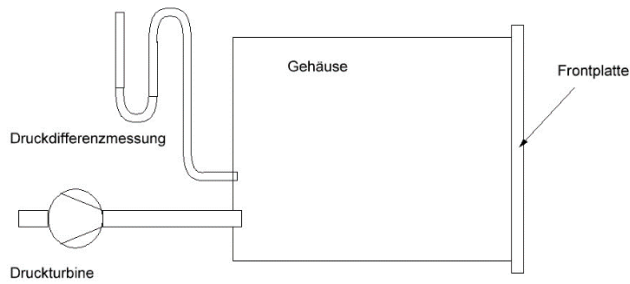


Figure 37 (Quelle: UIBK) Funktionsschema zum Messprinzip bei Unter bzw. Überdruck (0-70 Pa)

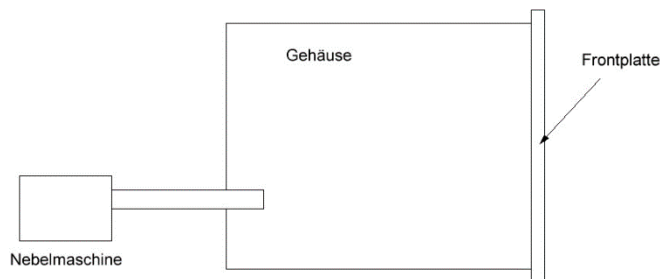


Figure 38 (Quelle: UIBK) : Funktionsschema zur Leckagevisualisierung mit Disco-Nebelmaschine

Das Mockup zur Demonstration der Luftdichtheit unterschiedlicher Anschlüsse besteht aus einem luftdichten Gehäuse und einer demontierbaren Frontplatte. Das Gehäuse kann auf Über- bzw. Unterdruck von bis zu 100 Pa gebracht werden. An der Frontplatte können Bohrungen und Einschnitte für beliebige Durchführungen und Anschlüsse angebracht werden, welche in der Übung fachgerecht abgedichtet werden können. Dabei kann es sich sowohl um Kabeldurchführungen und Steckdosen als auch um Rohr- und Balkendurchführungen sowie Bauteilanschlüsse handeln. Da im Gebäude die luftdichte Ebene meist raumseitig angeordnet ist, sind die Anschlussdetails auf der von außen zugänglichen Seite anzubringen. Gedanklich übertragen auf ein Gebäude ist also die Luft im inneren des Gehäuses die „Außenluft auf der Außenseite der Wand“, die Raumluft im Aufstellraum entspricht dann der Raumluft im Gebäude. Bringt man nun im Gehäuse einen Überdruck auf, so werden die Leckagen in Druckrichtung einer Unterdruckmessung bei einem realen Drucktest durchströmt. Beaufschlagt man das Gehäuse dagegen mit einem Unterdruck, so entspricht das für die Anschlussdetails einer Überdruckmessung in einem realen Gebäude. Diese Art des Versuchsaufbaus ist nur der leichten Zugänglichkeit für die Luftdichtheitsmaßnahmen und die einfache Beobachtbarkeit geschuldet.

Didaktisch können folgende Übungen, Versuche und Messungen an diesem Mock-Up durchgeführt werden:

- Leckagemessung bei Über- und Unterdruck, Demonstration der „Ventilwirkung“ bestimmter Anschlüsse
- Datenauswertung der Drucktestmethode
- Durchführung und Auswertung der Tracergasmethode
- Leckagesuche mittels Luftströmung und Nebelvisualisierung
- Demonstration der Schwächung des Luftschallschutzes durch Leckagen
- Praktische Durchführung von Luftdichtheitsmaßnahmen unterschiedlicher Bauteilanschlüsse und Außenwand-Durchführungen

Material

Gehäuse

Material und Gehäuse können prinzipiell je nach verfügbarem Budget und Platz variiert werden. Als statische Voraussetzung ist auf hohe Stabilität zu achten, da Über- bzw. Unterdrücke von mindestens 100 Pa gehalten werden müssen. Damit sind sowohl die Voraussetzungen für die Dichtheit als auch die Druckstabilität gegeben. Als besonders geeignet haben sich hierfür sog. Siebdruck-Platten mit einer Wandstärke von 9 mm herausgestellt. Diese sind zwar relativ teuer, aber besonders stabil, absolut luftdicht und sehr gut zu verarbeiten. Um die Frontplatte demontierbar aber dennoch luftdicht an das Gehäuse anschließen zu können, empfiehlt es sich einen Flansch anzubringen, welcher über eine umlaufende Nut mit einer EPDM-Dichtschnur verfügt. An diesen kann die Frontplatte mit Flügelmutter leicht demontierbar aufgeschraubt werden. Der Einbau eines Plexiglas-Kontrollfenster empfiehlt sich, ist aber nicht zwingend erforderlich.

Seitlich bzw. an der Rückseite werden die Anschlüsse für die Nebelmaschine, den Druckschlauch sowie ein Mess-Stutzen für die Druckmessung angebracht. Die Anschlüsse müssen jeweils druckdicht mit geeigneten Deckeln verschließbar sein.

Frontplatte

Die Frontplatte sollte aus einer OSB-Platte gefertigt werden, weil diese im Bauwesen häufig als Raumseitiger Anschluss mit Durchbrüchen z. B. für Steckdosen etc. verwendet wird und daher am realistischsten verarbeitet werden kann. In diese Platte werden an den entsprechenden Stellen Bohrungen und Durchbrüche für Steckdosen, Kabel, Rohre, Holzbalken etc. eingeschnitten. Die Fixierung dieser Bauteile erfolgt jeweils rückseitig, also auf der Seite im Gehäuse. Die Montage erfolgt mit üblichen Bautoleranzen, daher bleiben jeweils Spaltweiten die zu deutlichen Leckagen führen.

Elektromaterial, Anschlüsse und Wanddurchführungen

Steckdosen

Anhand unterschiedlicher Steckdosentypen und Abdichtungsmaßnahmen soll die Problematik der Luftdichtheit von Elektroinstallationen veranschaulicht werden. Typische Holwandsteckdosen ohne luftdichte Kabeldurchführungen sollen ebenso wie solche mit Gummi-Durchführungen gezeigt werden. Die sicherste Lösung, die komplette rückseitige Abdeckung mit luftdichter Kabeldurchführung kann ebenfalls demonstriert werden, diese ist dann allerdings auf der Rückseite der Frontplatte anzubringen und daher von außen nicht sichtbar. Auch hier kann das Plexiglasfenster auf der Rückseite hilfreich sein.

Kabeldurchführungen

Elektrokabel, welche durch Bohrungen in der Frontplatte geführt wurden, können mit selbstklebenden Kabelmanschetten fachgerecht abgedichtet werden. Zu beachten ist, dass es für unterschiedliche Kabeldurchmesser angepasste Produkte gibt, sowohl für einzelne Kabel oder in Mehrfachausführung.

Rohrdurchführungen

Analog zu den Kabeldurchführungen werden auch Rohrdurchführungen fachgerecht mit Kabelmanschetten abgedichtet. Angepasst an die Außendurchmesser der Rohre sind diese in unterschiedlichen Durchmesserstufen verfügbar. Zu beachten ist, dass die Dichtebene immer die Rohroberfläche und NICHT die ggf. vorhandene Dämmung, weil sonst die Luft zwischen Dämmung und Rohr entweichen kann.

Balkendurchführung

Bei Holzbalken besteht immer die Gefahr von Längsrissen durch Trocknungsschwund. Versucht man nun den Spalt zwischen Frontplatte und Balken mit Luftdichtheitsklebeband abzudichten, so kann die Luft immer noch in Längsrichtung durch derartige Trocknungsrisse entweichen. Dies kann mit der Nebelvisualisierung deutlich gemacht werden, wenn ein alter Balken mit deutlichen durchgehenden Trocknungsrisse verwendet wird. Abhilfe kann hier mit Anbohren und eintreiben eines Holzdübels genau an der Stelle des Risses geschaffen werden.

Auch der Balken ist rückseitig an der Frontplatte mechanisch zu verankern (z. B. mit einem Winkel), der Toleranzspalt zwischen Frontplattenausschnitt und Balken verbleibt.

Folienüberlappung mit Ventilwirkung

Über einem rechteckigen Ausschnitt der Frontplatte werden zwei Folienstücke überlappend ringsum mit Klebeband aufgebracht. Die Überlappung wird hingegen nicht abgeklebt. Unterhalb wird bündig ein Flachstab angebracht, an den sich die Folie bei Unterdruck im Gehäuse anlegen kann. Die untere Folie wird am Flachstab fixiert. Bei Überdruck öffnet sich der Überlappungsbereich und Luft kann wie bei einem Ventil in Durchlassrichtung entweichen. Erkennbar wird diese Ventilwirkung schließlich auch aufgrund des höheren n50-Wertes bei Überdruck im Gehäuse.

3D-Anschlussdetails

Eine besondere Herausforderung für die Luftdichtheit stellen Außen- und vor allem Innenecken dar. Um diese 3D-Details fachgerecht prüfen zu können, wird in einen rechteckigen Ausschnitt in der Frontplatte ein Kasten aus fünf Platten eingesetzt. Auch hier weisen alle Bauteilfugen wieder deutliche Toleranzspalte auf, die dann im Versuch mit geeignetem Klebeband abgedichtet werden sollen.

Spalte für den Test von Kompribändern

Um die Verarbeitungsproblematik mit Kompribändern bei unterschiedlichen Spaltweiten aufzuzeigen werden in die Frontplatte mehrere Einschnitte unterschiedlicher Breite vorgesehen. Um diese sicher abzudichten ist das jeweils passende Band mit ausreichender Expansion zu wählen. Werden die falschen Produkte verwendet, kann sich dies bei der Nebelvisualisierung durch Restleckagen bemerkbar machen.

Luftdichtheitsmaterialien und Werkzeug

Für die genannten Anschlüsse sind jeweils die qualifizierten Luftdichtheitsmaterialien vorzuhalten (siehe Stückliste).

Turbine und Messgeräte

An der Universität Innsbruck war aus dem Labor ein eigenes Gerät für die Leckagemessung an Rohrleitungen (Fa. Wöhler DP 700 Dichtheitsprüfgerät¹ oder Minneapolis DuctBlaster) verfügbar. Dieses Gerät verfügt über eine geregelte Turbine und zwei Anschlüsse für eine Druckschlauch (jeweils für Über- bzw. Unterdruckbetrieb) sowie ein eingebautes Druckdifferenzmessgerät. Die Bedienung erfolgt über ein eingebautes Display Menü-geführt oder wahlweise über USB-Kabel von einem Laptop aus gesteuert. Dabei können vollautomatisch mehrere Druckstufen angefahren und die Messdaten geloggt werden. Mit Investitionskosten von ca. 5000 € ist dieses Gerät jedoch für die Lehre zu teuer. Eigentlich wird nur eine Turbine oder ein Gebläse benötigt, welches in der Lage ist bei einem

¹ <https://www.woehler.at/shop/dp-700-dichtheitspruefgeraet.html>

Volumenstrom von ca. 40 m³/h einen Druck von maximal 70 Pa aufzubauen, für spezielle Tests sind natürlich höhere Luftleistungen wünschenswert. Geeignet sein könnte hierfür z. B. ein vorkonfektionierter Gebläseventilator mit Regulierung bzw. spezielle Rohrventilatoren, welche heute z.B. für die Gehäuseentlüftung von 3D-Druckern Verwendung finden. Diese Varianten sind relativ kostengünstig, müssen dann aber noch über eine separate Druckdifferenzmessung ergänzt werden.

Material und Aufwand

Material

- Holz, Steckdosen, Kabel, Verbrauchsmaterial etc.
- Luftdichtheitsmaterial, Klebebänder etc.

Werkzeug

- Werkzeug für die Mockup-Fertigung
 - o Kreissäge (oder Plattenmaterial im Baumarkt zuschneiden lassen)
 - o Bohrer
 - o Stichsäge
 - o Handsäge
 - o Dosenbohrer (unterschiedliche Durchmesser)
 - o LötKolben, Lötzinn
- Werkzeug für die Versuchsdurchführung:
 - o Cuttermesser
 - o Schere
 - o Anpressrolle
 - o Anpress-Spachtel

Turbine bzw. Gebläsematerial

Messtechnik: Luftvolumenstrom und Differenzdruck

Nebelmaschine

Schläuche: Druckschlauch, Messschlauch, Schlauchkupplungen

Personalkosten für die Erstellung

Modellbauarbeiten für die Erstellung des Gehäuses und der Einbauten, Durchführungen etc.

Elektrotechnische Arbeiten (Messtechnik, falls diese im DIY-Verfahren gebaut werden soll, sonst fertig zu kaufen)

Aufwand für die Versuchsvorbereitung in der Lehre

Sollen die Abdichtungsarbeiten bei jeder Versuchsdurchführung von den Studierenden mit professionellem Luftdichtheitsmaterial jedes Mal neu durchgeführt werden, so ist der Aufwand die Klebungen wieder zu lösen und zu entfernen sowie die Kosten für Verbrauchsmaterial nicht zu unterschätzen. Arbeitet man dagegen mit Gafferband, so lässt sich dieses wieder leicht entfernen und ist auch hinsichtlich der Kosten für Verbrauchsmaterial deutlich geringer. Allerdings geht der Charakter einer realistischen Verarbeitung von Luftdichtheitsmaterialien verloren.

Wartungsaufwand: Bis auf den Ersatz evtl. defekter Komponenten und die regelmäßige Überprüfung der elektrotechnischen Sicherheit sind keine Wartungsarbeiten erforderlich.

Duschwasser-Wärmerückgewinnung: Funktionsmockup für die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser

Metadaten für Kursmaterial (EduResource):

Bezeichnung	Mockup Duschwasser-Wärmerückgewinnung
ID	8461044_3
Datum der Erstellung	17.12.2024
Datum letztes Update	12.12.2025
Autor	Rainer Pfluger
Copyright	University of Innsbruck
LinkCF	Quote, Reference, URI
Sprache	De
Land	A, D
Klimazone	Alle Klimazonen
Neubau/Sanierung	Neubau und Sanierung
Bauweise	Alle Bauweisen
Art der EduResource	Content Object
Type der EduResource	Mockup
Eingangsvoraussetzung Kompetenz vorher	Grundlagen Gebäudetechnik
Lernziel Kompetenzoutput	Planung, Inbetriebnahme und Messung von Duschwasser-Wärmerückgewinnung
Themenzugehörigkeit in der Ontologie Energieeffizientes Bauen	Energieeffiziente Warmwasserbereitung

Kompetenzlevel Voraussetzung

Die Studierenden können die unterschiedlichen Systeme der Trinkwarmwasserbereitung, - Speicherung und Verteilung benennen. Sie können die Unterschiede sowie Vor- und Nachteile erklären. Sie können den Einfluss der jeweiligen Systeme auf die Energiebilanz angeben. Sie kennen den Unterschied zwischen Gleich- und Gegenstrom-Wärmeübertrager

Kompetenzlevel nach dem Modul

Die Studierenden sind mit unterschiedlichen Systemen (Duschrohr, Duschrinne) vertraut. Sie kennen die drei möglichen Methoden der Verschaltung im Warmwassersystem und können die Vor- und Nachteile benennen. Sie können die Theorie auf die Messung der Wärmerückgewinnung in der Labor- bzw. Feldmessung anwenden. Sie können den Einfluss von Wärmekapazitäten auf das dynamische Verhalten der Duschwasser-Wärmerückgewinnung erklären.

Lernergebnis (Learning Outcoms)

Die TeilnehmerInnen am Versuch beherrschen die Einbindung von Duschrohr und Duschrinne in unterschiedliche Warmwassersysteme. Sie können die drei unterschiedlichen Anschlussmethoden und die Messung der Wärmerückgewinnung durchführen und auswerten. Sie können den dynamischen und stationären Betrieb unterscheiden.

Zusatzkursmaterialien

Lehrvideo <https://www.youtube.com/watch?v=DQYkiL8lapY&t=3s>

DIY-Anleitung <https://www.youtube.com/watch?v=en2T22a8ZDk>

Datei mit der Musterparametrierung

Leistungsfeststellung

Prüfungsfragen

Welche Bauarten der Duschwasser-Wärmerückgewinnung können Sie unterscheiden? Nennen Sie Vor- und Nachteile der Bauarten.

Welche drei Anschlussvarianten sind für die Duschwasser-Wärmerückgewinnung möglich?

Wie unterscheiden sie sich hinsichtlich der Effizienz, welche ist zu bevorzugen?

Wodurch unterscheidet sich der statische vom dynamischen Wärmerückgewinnungsgrad?

Wovon hängt die tatsächliche Einsparung in der Praxis ab?

Wie kann die Wärmerückgewinnung am Prüfstand bzw. in der Praxis gemessen werden?

Leistungsfeststellung zur Versuchsdurchführung

Nachfolgend werden die Aufgabenstellungen zu den Versuchsdurchführungen am Mockup erläutert. Je nach verfügbarem Zeitbudget können die Versuche im Rahmen einer Experimentalvorlesung eingebaut werden oder als Praktikumsversuch in Form einer eigenen Übungseinheit angeboten werden. Als Praktikumsversuch kann es damit auch mittels Leistungsfeststellung geprüft werden.

Durchführung der Messungen zur Bestimmung des Wärmerückgewinnungsgrades

Versuchsvorbereitung

Vor Versuchsbeginn sind alle Anschlüsse auf Vollständigkeit und elektrotechnische Sicherheit zu überprüfen. Dann ist die Apparatur an das Wasser- und Abwassernetz anzuschließen und der Speicher kann (immer unter Aufsicht) in Betrieb genommen werden (Aufheizzeit beachten).

Die Messtechnik (M-Bus-Stick) wird über den USB-Port an den Laptop angeschlossen und mit der M-Bus-Software ausgelesen.

Versuchsdurchführung

Die Messungen sind für alle drei Anschlussarten durchzuführen, die Werte zu protokollieren und in die Excel-Tabelle zu übernehmen.

Versuchsauswertung

Im Rahmen der Versuchsauswertung wird der stationäre Wirkungsgrad bestimmt und daraus die effektive Wärmerückgewinnung im dynamischen Betrieb bei vorgegebener Duschzeit bestimmt

Messung der drei Anschlussvarianten

Um die optimale Effizienz bei Anschluss von Warm- UND Kaltwasser gegenüber den anderen beiden Varianten (nur Kaltwasser oder nur Warmwasser) zu demonstrieren sind alle drei Anschlussvarianten über die Ventilstellungen durchzumessen.

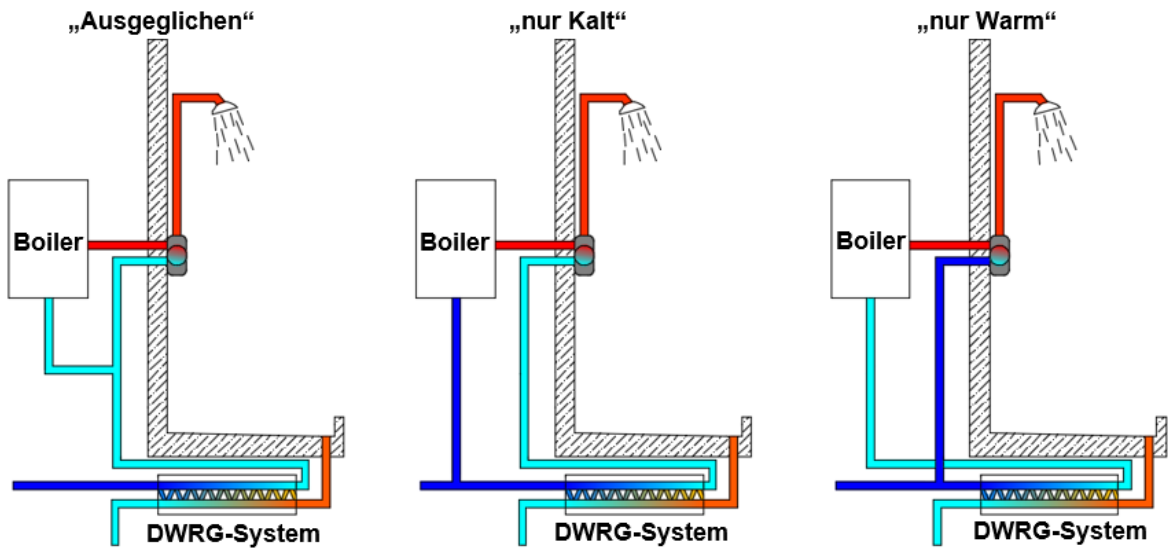


Figure 39 (Quelle: UIBK) Prinzipschema der drei Anschlussvarianten (links: Anschluss von Warm- und Kaltwasser, mitte: nur Kaltwasser, rechts: nur Warmwasser)

Mockup-Dokumentation

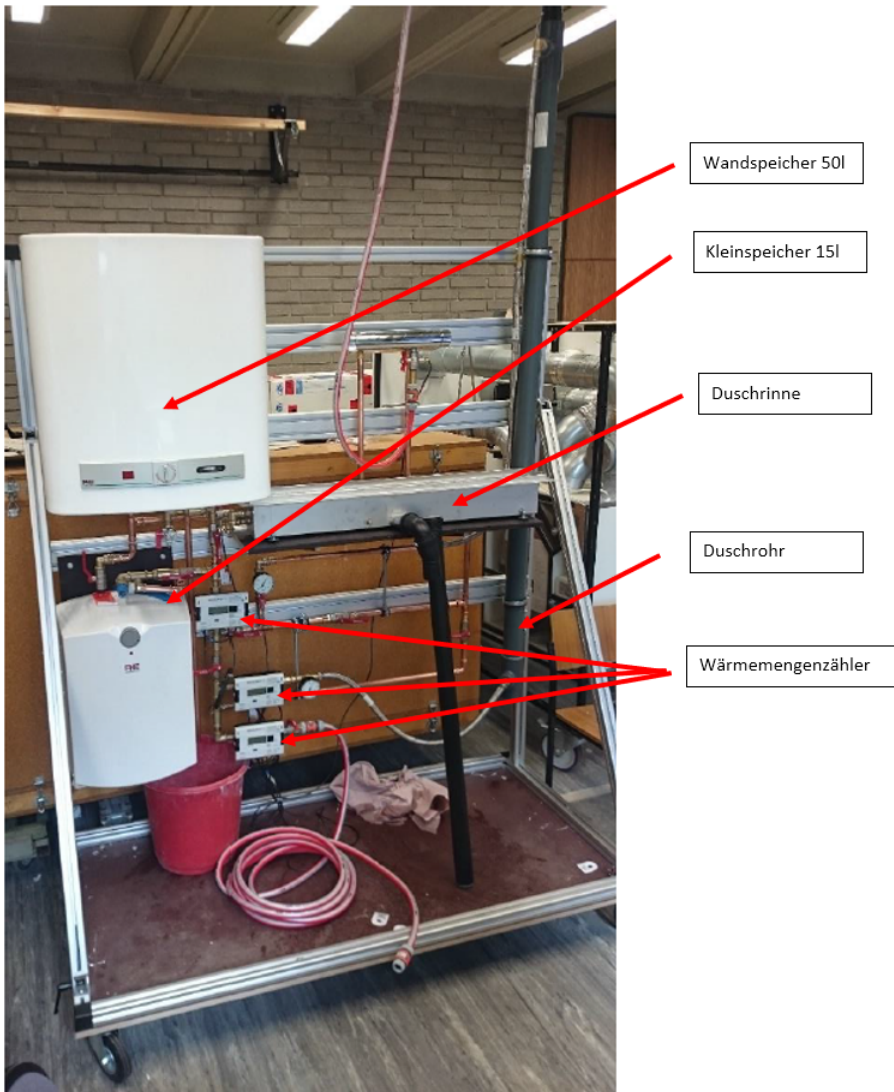


Figure 40 (Quelle: UIBK) Mockup entwickelt im Rahmen des Projektes „Netzwerk Alpines Bauen“

Funktionsprinzip

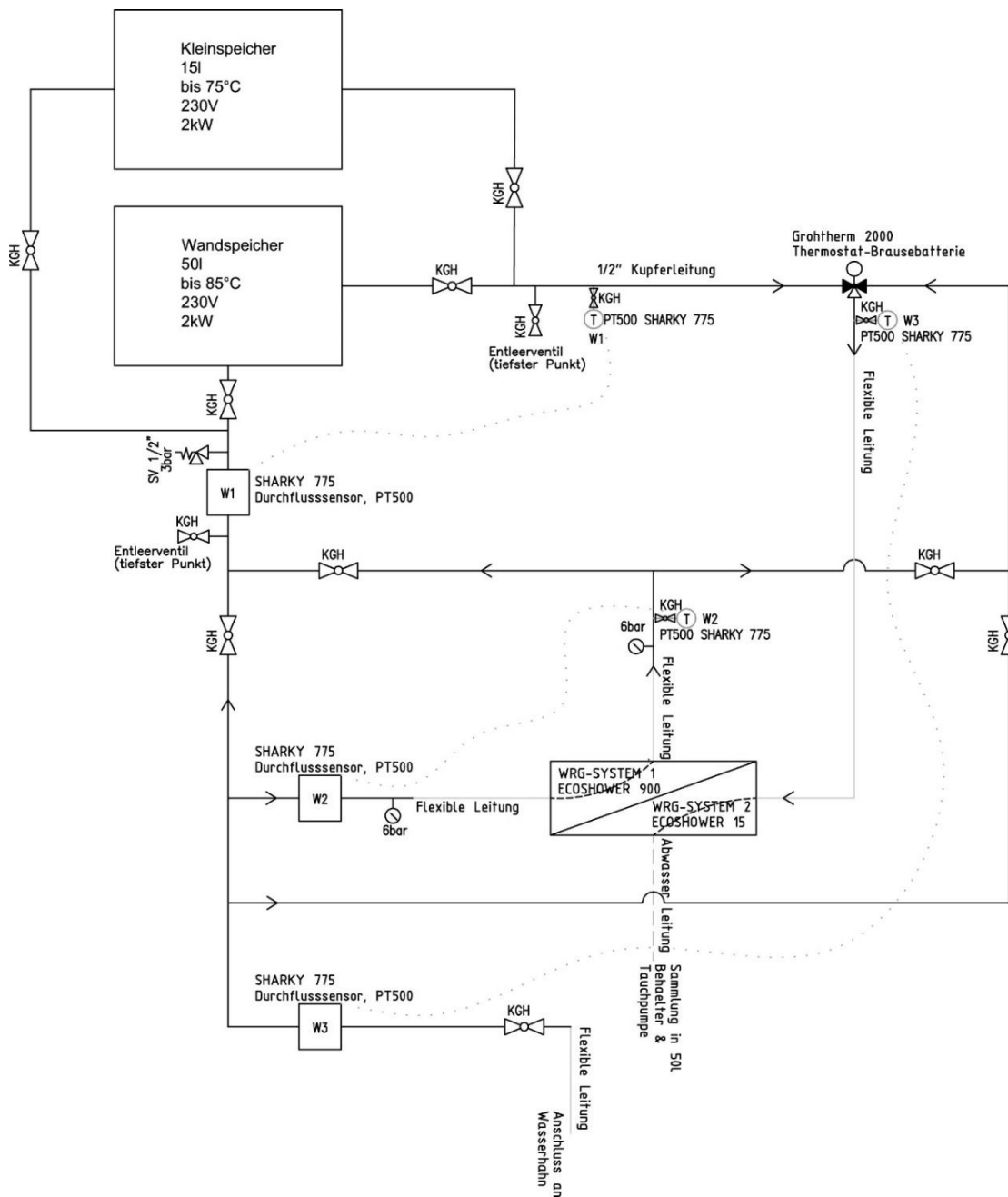


Figure 41 (Quelle: UIBK) Hydraulikschema des Mockups

Das Mockup zur Demonstration der Abwasserwärmerückgewinnung besteht aus einem vollständigen Warmwassersystem inklusive Kleinspeicher und temperaturgeregelter Duscharmatur. In diese kann eine Duschwasserwärmerückgewinnung eingebunden werden und über alle drei genannten Verschaltungen zur Vorerwärmung des Duschwassers verwendet werden. Im realen Betrieb wird das Duschrohr im Geschoss unter der Duschtasse verbaut. Im Mockup müssen alle Komponenten kompakt und zugänglich aufgebaut werden. Daher wird hier der Duschschlauch direkt in die Abwasserzufuhr des Wärmeübertragers eingeführt. Will man die ca. 5 K Abkühlung des Duschstrahls vom Duschkopf bis zur Duschtasse simulieren, so muss dem Duschwasser entsprechend Wärme entzogen werden (z. B. über eine Schlauchspirale in einem Kühlwasserbecken).

Didaktisch können folgende Übungen, Versuche und Messungen an diesem Mock-Up durchgeführt werden:

- Betrieb der Duschwasser-Wärmerückgewinnung in allen drei Anschlussvarianten
- Messung des stationären Wärmerückgewinnungsgrades
- Versuche zum dynamischen Betrieb
- Demonstration von Duschrohr und Duschrinne

Material

Installationsgestell

Für die variable Montagemöglichkeit und Demontierbarkeit wurde das Installationsgestell aus ITEM-Profilen erstellt. Um es für die Ausbildung mobil an unterschiedliche Demonstrationsstandorten präsentieren zu können wurde es auf lenkbaren Rollen montiert.

Hydraulik

Die hydraulische Verschaltung ist eine Mischung aus fixen Kupferrohrverbindungen und flexiblen Panzerschläuchen. Für den Anschluss an das Kaltwassernetz wurde mit Schlauchverbindungen gearbeitet.

Messtechnik

Die Messung erfolgt ausschließlich über M-BUS-fähige Wärmemengenzähler welche über einen USB-M-Bus-Adapter ausgelesen werden. Die Daten können dann auf einem Laptop aufgezeichnet werden.

Kosten/Aufwand

Installationsgestell

ITEM-Profile und Lenkrollen sowie Verbindungselemente

Monitoring

Sharkey-Heat Wärmemengenzähler

M-BUS-USB-Adapter

Personalkosten für die Erstellung

Montage Installationsgestell

Hydraulikinstallation

Elektroinstallation und Montage der Warmwasserspeicher

Aufwand für die Versuchsvorbereitung in der Lehre

Der Aufwand für die Vorbereitung ist relativ gering, weil alle Komponenten fix montiert verkabelt ist. Für den Betrieb ist lediglich ein Kaltwasser- sowie Stromanschluss erforderlich.

Wartungsaufwand: Bis auf den Ersatz evtl. defekter Komponenten und die regelmäßige Überprüfung der elektrotechnischen Sicherheit sind keine Wartungsarbeiten erforderlich.

Wandintegrierte Lüftung: Mockup für die wandintegrierte Lüftung in der Sanierung

Metadaten für Kursmaterial (EduResource):

Bezeichnung	Mockup Wandintegrierte Lüftung
ID	8461044_4
Datum der Erstellung	17.12.2024
Datum letztes Update	12.12.2025
Autor	Rainer Pfluger
Copyright	University of Innsbruck
LinkCF	Quote, Reference, URI
Sprache	De
Land	A, D
Klimazone	Alle Klimazonen
Neubau/Sanierung	Sanierung
Bauweise	Massivbauweise
Art der EduResource	Content Object
Type der EduResource	Mockup
Eingangsvoraussetzung Kompetenz vorher	Grundlagen Gebäudetechnik
Lernziel Kompetenzoutput	Planung, Inbetriebnahme und Balanceabgleich
Themenzugehörigkeit in der Ontologie Energieeffizientes Bauen	Energieeffiziente Lüftung

Kompetenzlevel Voraussetzung

Die Studierenden können die unterschiedlichen Arten der Lüftungssysteme und der Luftführung unterscheiden und benennen. Sie können die Unterschiede sowie Vor- und Nachteile erklären. Sie kennen die Bedeutung der Lüftung mit Wärmerückgewinnung in Bezug auf Komfort, Gesundheit, Feuchteschutz, Schallschutz und Energieeffizienz.

Kompetenzlevel nach dem Modul

Die Studierenden sind mit unterschiedlichen Systemen für den nachträglichen Einbau in Bestandsgebäude vertraut. Sie verstehen die Einbaumöglichkeiten in der Außenwand. Sie beherrschen den Balanceabgleich mittels Druckverlustmessung über den Wärmeübertrager in Theorie und Praxis.

Lernergebnis (Learning Outcomes)

Die TeilnehmerInnen am Versuch beherrschen den Balanceabgleich mittels Druckverlustmessung über den Wärmeübertrager.

Zusatzkursmaterialien

Auswertungshilfe für den Balanceabgleich

Leistungsfeststellung

Prüfungsfragen

Welche Vor- und Nachteile weist die Wandintegration des WRG-Gerätes in einer Kernlochbohrung auf?

Warum kann eine 45° geneigte Kernlochbohrung gegenüber 90° Vorteile bieten?

Was müssen Sie bezüglich Filterwechsel beachten, wenn das Gerät in einer Kernlochbohrung in der Wand integriert wird?

Welche Vorteile bietet der automatische Balanceabgleich mittels Druckverlustmessung über den Wärmeübertrager gegenüber dem Balanceabgleich mittels volumenstromgeregelter Ventilatoren oder mittels Staukreuzen bzw. Messbelenden im Kanalsystem?

Leistungsfeststellung zur Versuchsdurchführung

Nachfolgend werden die Aufgabenstellungen zu den Versuchsdurchführungen am Mockup erläutert. Je nach verfügbarem Zeitbudget können die Versuche im Rahmen einer Experimentalvorlesung eingebaut werden oder als Praktikumsversuch in Form einer eigenen Übungseinheit angeboten werden. Als Praktikumsversuch kann es damit auch mittels Leistungsfeststellung geprüft werden.

Durchführung der Messungen zum Balanceabgleich

Versuchsvorbereitung

Vor Versuchsbeginn sind alle Anschlüsse auf Vollständigkeit und elektrotechnische Sicherheit zu überprüfen. Dann ist das Druckdifferenz-Messgerät zu nullen (Kurzschluss der Messstutzen durch Überbrückung mittels Schlauchverbindung)

Versuchsdurchführung

Für 5 bis 10 unterschiedliche Ventilatorstufen ist jeweils die Druckdifferenz zwischen Außen-/Zuluft bzw. Ab-/Fortluft zu bestimmen.

Versuchsauswertung

Im Rahmen der Versuchsauswertung werden Regressionsfunktionen der beiden Druckverluste (Außen-/Zuluft bzw. Ab-/Fortluft) bestimmt. Mit diesen Funktionen kann der jeweilige Volumenstrom aus dem gemessenen Druckverlust bestimmt werden

Balanceabgleich

Stellt man nun einen bestimmten Zuluftvolumenstrom ein, so kann man nun versuchen den gleichen Volumenstrom auch bei der Abluft zu erreichen. Hierfür löst man die Regressionsfunktion der Abluft-/Fortluftseite für den gewünschten Volumenstrom nach dem Druckverlust auf. Jetzt kann am Potentiometer für die Fortluft so lange die Steuerspannung variiert werden, bis der berechnete Druckverlust erreicht wird. Zur Kontrolle der Volumenstrombalance kann mit einem Volumenstrom-Messgerät (Flowfinder) auf der Außen- und der Fortluftseite gemessen werden. Die Werte sollten nun bis auf wenige m³/h gleich sein. Ziel ist in jedem Fall die Disbalance unter +/-10 % zu halten, tendenziell eher in Richtung Abluftüberschuss um Bauschäden durch Feuchteintrag zu vermeiden.

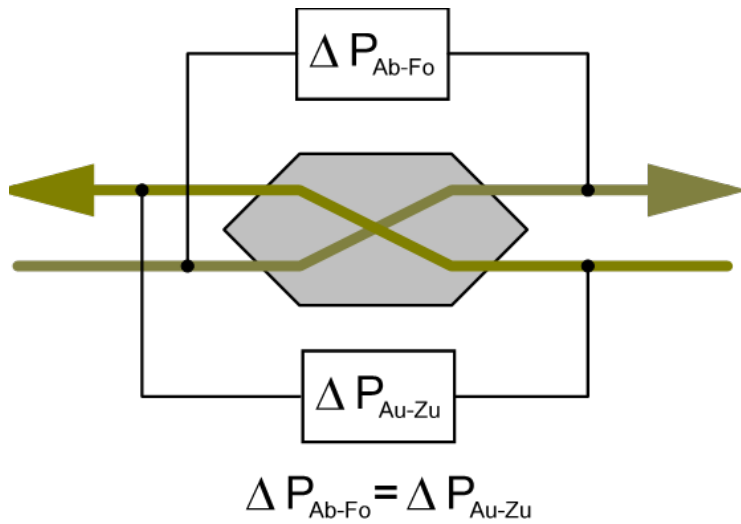


Figure 42 (Quelle: UIBK) Prinzipschema zur Messung des Balanceabgleichs mittels Druckverlustmessung über den Wärmeübertrager

Mockup-Dokumentation

Fotodokumentation



Figure 43 (Quelle: UIBK) Links: Geöffneter Ventilatorkasten mit Außen- und Abluftventilator, Mitte: Seitenansicht mit Ventilatorkasten, Wärmeübertrager im 45° geneigten Zylinder, der in der Kernlochbohrung installiert wird, Rechts: Außenluftansauggitter und Fortluftauslass an der Außenoberfläche der Außenwand

Einzelraumlüftungsgerät

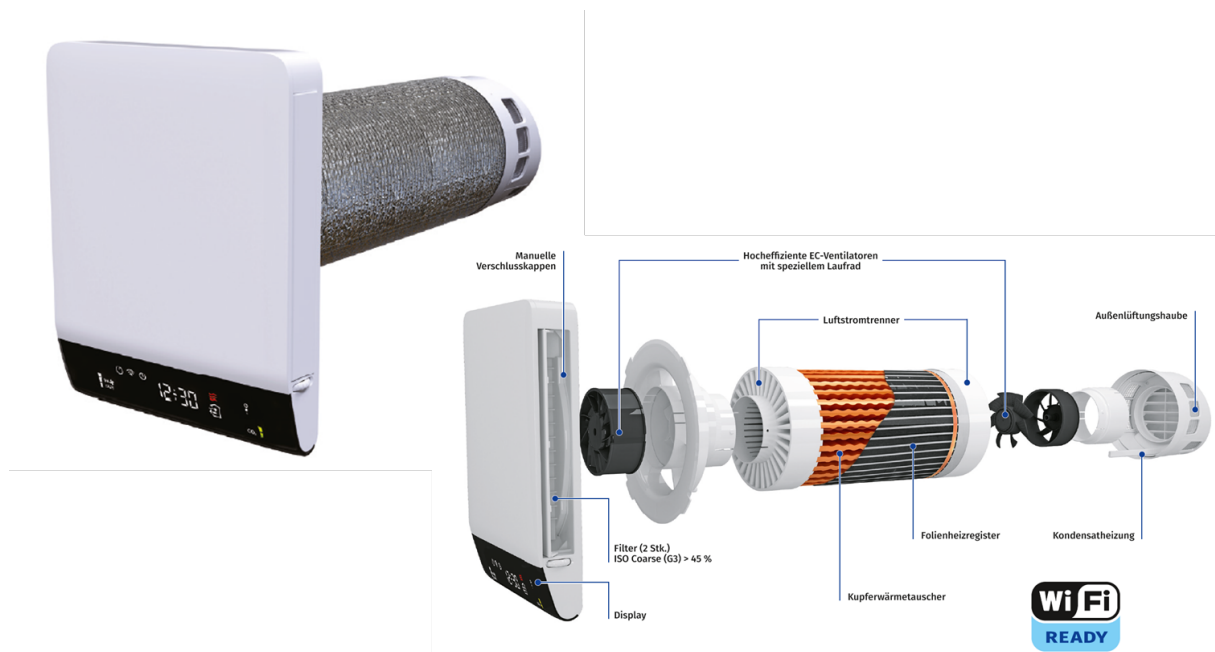


Figure 44 (Quelle: blaubergventilatoren.de) Kommerzielles Einzelraumlüftungsgerät (Zylinder-Durchmesser DN 160 bzw. 200 mm, Freshpoint 160-E L07)

Funktionsprinzip

Der Mockup zeigt ein Funktionsmuster eines wandintegrierten Lüftungsgerätes, welches in eine Kernlochbohrung eingebaut werden kann. Die Bohrung wird dabei im 45°-Winkel geneigt angebracht, um zusätzliche Einbaulänge zu generieren. In diesem Fall sitzt der Filter außenseitig, das Gerät ist also auf eine Zugänglichkeit von außen angewiesen. Die Ventilatorbox befindet sich raumseitig in Aufputzmontage. Die Wärmeübertrager (in diesem Fall wurden drei rechteckige serienmäßige Wärmeübertrager mit Feuchterückgewinnung gestapelt angeordnet um den Kreisquerschnitt möglichst gut auszunutzen. Der Einsatz der Feuchterückgewinner weist drei Vorteile auf: Höhere Raumluftfeuchte im Kernwinter, kein Kondensat und die Möglichkeit des Balanceabgleichs mittels Druckdifferenzmessung über den Wärmetauscher (Außen-/Zuluft bzw. Ab-/Fortluft). Die Ventilatoren können über eine Steuerspannung bzw. ein Potentiometer in der Drehzahl variiert werden. In Kombination mit der Druckdifferenzmessung kann damit eine automatisierte Balanceregulung erstellt werden.

Didaktisch können folgende Übungen, Versuche und Messungen an diesem Mock-Up durchgeführt werden:

- Balanceabgleich mit „Flowfinder“ (Messung der Außen- und Fortluftvolumenströme mittels Ventilator-gestützter Druckverlustkompensation)
- Balanceabgleich mit Druckdifferenzmessung über den Wärmeübertrager
- Balanceabgleich mit Messung an Messblenden bzw. Staukreuzen
- Demonstration unterschiedlicher Einbauvarianten bei Wandintegration

Material

Installationsgestell

Für die variable Montagemöglichkeit und Demontierbarkeit wurde das Installationsgestell aus ITEM-Profilen erstellt. Um es für die Ausbildung mobil an unterschiedliche Demonstrationsstandorten präsentieren zu können wurde es auf lenkbaren Rollen montiert.

Elektrik/Elektronik

Die verwendeten EBM-Papst Ventilatoren verfügen über einen Steuerspannungseingang (0-10V) oder Wahlweise einer Anschlussmöglichkeit eines Potentiometers. In diesem Fall wurde die manuelle Steuerung mittels Potentiometern (10-Gang Dreh-Potentiometer, erhältlich bei RS-Components bzw. Conrad Elektronik) verwendet, damit der Balanceabgleich manuell im Versuch erfolgen kann. Alternativ kann z. B. Mit Arduino ein automatisierter Balanceabgleich vorgenommen werden, als Ausgang wird dann die Steuerspannung von 0-10V verwendet.

Messtechnik

Die Messung der Volumenstrom am Außen- bzw. Fortluftgitter erfolgt mittels Flowfinder. Die Druckdifferenzmessung erfolgt mit einem Wöhler Druckdifferenzmessgerät. Alternativ kann auch eine Selbstbaulösung mit dem SDP 610-125 Pa I2C Sensor von Sensirion (Low-cost Digital Differential Pressure Sensor <https://partsearch.io/sensirion/sdp610-125pa/>) erfolgen.

Kosten/Aufwand

Installationsgestell

ITEM-Profile und Lenkrollen sowie Verbindungselemente

Monitoring

Druckdifferenzsensor

Flowfinder

Personalkosten für die Erstellung

Montage Installationsgestell

Elektrotechnische Installation

Wärmeübertrager

Einbau

Aufwand für die Versuchsvorbereitung in der Lehre

Der Aufwand für die Vorbereitung ist relativ gering, weil alle Komponenten fix montiert verkabelt ist. Für den Betrieb ist lediglich eine Steckdose erforderlich.

Wartungsaufwand: Bis auf die regelmäßige Überprüfung der elektrotechnischen Sicherheit sind keine Wartungsarbeiten erforderlich.

Komfortlüftung- Lüftungswagen mit Wohnungslüftung

Metadaten für Kursmaterial (EduResource):

Bezeichnung	Mockup Wohnungslüftungs-anlage mit Wärmerückgewinnung
ID	8461044_5
Datum der Erstellung	17.12.2024
Datum letztes Update	17.12.2024
Autor	Rainer Pfluger
Copyright	University of Innsbruck
LinkCF	Quote, Reference, URI
Sprache	De
Land	A, D
Klimazone	Alle Klimazonen
Neubau/Sanierung	Neubau und Sanierung
Bauweise	Alle Bauweisen
Art der EduResource	Content Object
Type der EduResource	Mockup
Eingangsvoraussetzung Kompetenz vorher	Grundlagen Gebäudetechnik
Lernziel Kompetenzoutput	Planung, Inbetriebnahme und Messung von Komfortlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung
Themenzugehörigkeit in der Ontologie Energieeffizientes Bauen	Energieeffiziente Wohnungslüftung

Kompetenzlevel Voraussetzung

Die Studierenden können die unterschiedlichen Lüftungskonzepte und Arten der Luftführung benennen. Sie können die Unterschiede sowie Vor- und Nachteile erklären. Sie können den Einfluss der jeweiligen Systeme auf die Energiebilanz angeben. Sie kennen den Unterschied zwischen Gleich- und Gegenstrom-Wärmeübertrager.

Kompetenzlevel nach dem Modul

Die Studierenden sind mit den einzelnen Bauteilen und Elementen einer Wohnungslüftung und deren Funktion vertraut. Sie kennen sowohl die Elemente und Einbauten sowohl im Zuluft- als auch im Abluftkanalnetz und können bestehende Anlagen auf Vollständigkeit und Fehler überprüfen. Sie können die Theorie der Planung und Einregulierung auf die Inbetriebnahme und Einregulierung einer Lüftungsanlage in der Praxis anwenden. Bezüglich Balanceabgleich können sie die unterschiedlichen Methoden nach Aufwand und Genauigkeit sowie Vor- und Nachteilen unterscheiden.

Lernergebnis (Learning Outcomes)

Die TeilnehmerInnen am Versuch beherrschen die Messung und Einregulierung der Volumenströme für Zu- und Abluft. Sie können im iterativen Verfahren den Balanceabgleich durchführen und die korrekte Frostschutzgrenztemperatur einstellen. Sie beherrschen den Filterwechsel sowie andere Wartungsvorgänge (Kontrolle von Kondensatwanne, Kondensatablauf und Siphon etc.)

Zusatzkursmaterialien

Anlagenschema

Checkliste für die Qualitätssicherung und Fehlersuche

Excel-Tabelle zur Planung der Luftmengen und Dokumentation der Einregulierung

Klebeetiketten zur Beschriftung der Luftwege und Bauelemente der Anlage

Vortragsfolien zum Thema Balanceabgleich: Pfluger, R.: „Strategien zum Balanceabgleich von Lüftungssystemen – Problemstellung – Technische Lösungen – Innovationen“, FFG-Projekt e-Vent

Leistungsfeststellung

Prüfungsfragen

Welche prinzipiellen Bauarten und Ausführungen von Wärmeübertragern können Sie unterscheiden? Nennen Sie Vor- und Nachteile der Bauarten. Welche Bauart wurde im Mockup verbaut?

Welche Arten und Ausführungen des Zu- und Abluftkanalnetzen können Sie unterscheiden. Welche Vor- und Nachteile weisen diese auf? Welche Art wurde im Mockup realisiert?

Welche regelmäßigen Wartungsarbeiten sind an einer Wohnungslüftungsanlage mindestens durchzuführen? Zeigen Sie die wartungsbehafteten Bauteile am Mockup.

Wie vermeiden Sie Luft- bzw. Körperschall? Nennen Sie die Quellen für Luft- bzw. Körperschall. Sind die Maßnahmen für den jeweiligen Schallschutz am Mockup ausreichend?

Leistungsfeststellung zur Versuchsdurchführung

Nachfolgend werden die Aufgabenstellungen zu den Versuchsdurchführungen am Mockup erläutert. Je nach verfügbarem Zeitbudget können die Versuche im Rahmen einer Experimentalvorlesung eingebaut werden oder als Praktikumsversuch in Form einer eigenen Übungseinheit angeboten werden. Als Praktikumsversuch kann es damit auch mittels Leistungsfeststellung geprüft werden.

Durchführung von Volumenstrommessung mit unterschiedlichen Methoden

Versuchsvorbereitung

Vor Versuchsbeginn sind alle Anschlüsse auf Vollständigkeit und elektrotechnische Sicherheit zu überprüfen. Dann ist das Lüftungsgerät in Betrieb zu nehmen und auf einen konstanten Volumenstrom für die Versuchsdurchführung einzustellen (z. B. mittlere Stufe).

An die jeweiligen Messstutzen sind die Messschläuche anzuschließen. Vor der Druckdifferenzmessung ist das Messgerät mittels Kurzschließen der beiden Druckmessstutzen mit einem Schlauchstück zu nullen.

Versuchsdurchführung

Zunächst wird der Volumenstrom der Zuluft am Staukreuz mittels Druckdifferenzmessung bestimmt. Dann werden die einzelnen Zuluftvolumenströme an den Zuluftauslässen mittels Messtrichter und

Anemometer sowie mit dem Flowfinder (Druckverlust-kompensierte Volumenstrommessung) bestimmt. Zusätzlich kann an jedem Zuluftauslass noch mittels Kapillarröhrchen und Druckdifferenzmessung zwischen Raumluft und statischem Innendruck im Zuluftauslass bestimmt werden.

Versuchsauswertung

Volumenstrombestimmung am Staukreuz bzw. der Messblende:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

Q: Volumenstrom (z. B. in m³/s)

C: Durchflusskoeffizient (dimensionslos, abhängig von der Geometrie der Messblende oder des Staukreuzes), der Koeffizient ist auf dem Staukreuz angegeben

A: Querschnittsfläche des Kanals (in m²)

Δp : Differenzdruck (in Pa), der durch die Messblende oder das Staukreuz erzeugt wird

ρ : Dichte des Mediums (in kg/m³)

Nach dem gleichen Verfahren (ebenfalls Druckdifferenzmessung) können auch die Volumenströme am Zuluftauslass bestimmt werden. Die entsprechenden Koeffizienten oder Diagramme zur Auswertung werden vom Hersteller geliefert.

Die Ablesung des Volumenstroms mit dem Flowfinder oder dem Anemometer erfolgt direkt am Display.

Für die Auswertung sind zunächst die Einzelwerte auf Plausibilität und Messabweichungen zu prüfen. Letztlich soll die gesamte Zuluftmenge der Summe aller Zuluftvolumenströme an den jeweiligen Auslässen entsprechen. Abweichungen sind entweder auf Messungenauigkeiten oder auf Leckagen der dazwischenliegenden Kanalabschnitte zurückzuführen.

Einregulierung und Balanceabgleich zwischen Zu- und Abluftvolumenstrom

Versuchsvorbereitung

Zunächst sollte man sich in der Bedienungsanleitung des Gerätes über die manuelle Volumeneinstellung für Zu- bzw. Abluftventilator informieren. Nun wird zunächst der Zuluftvolumenstrom am Staukreuz auf die Summe aller geplanten Zuluftvolumenströme (Sollwerte) eingestellt. Alle Ventile werden hierzu maximal geöffnet. Überprüfen Sie, ob die Filter korrekt eingebaut und nicht verschmutzt sind. Eine Abweichung von maximal $\pm 10\%$ ist in der Regel akzeptabel. Falls die Volumenströme nicht im Gleichgewicht sind, passen Sie die Einstellungen der Volumenstromregler oder die Ventilator Drehzahlen an, bis ein Gleichgewicht erreicht ist.

Versuchsdurchführung

Nun werden alle Zuluftvolumenströme einzeln gemessen. Regulieren Sie die Drosselklappen oder Volumenstromregler bzw. Drosselmöglichkeiten an den Zuluftauslässen so, dass die gemessenen Volumenströme den Sollwerten entsprechen. Beginnen Sie mit den Auslässen, die am weitesten vom Ventilator entfernt sind, und arbeiten Sie sich zum Ventilator hin vor. Überprüfen Sie, ob der Gesamtvolumenstrom der Abluft den Sollwerten entspricht. Falls nicht, passen Sie die Ventilator Drehzahl an. Gehen Sie nun analog mit den Abluftdurchlässen vor. Vergleichen Sie nun den jeweils gesamten Zu- und Abluftvolumenstrom. Da sich mit dem Verstellen der Drosseln die Balance

wieder verschieben kann, ist es häufig notwendig die Beschriebenen Vorgänge iterativ zu wiederholen, bis die gewünschten Werte mit ausreichender Genauigkeit erreicht werden. Dann wird mit einer abschließenden Endmessung aller Volumenströme noch einmal sichergestellt, dass die Sollwerte eingehalten werden, diese Messwerte werden dann im Inbetriebnahmeprotokoll dokumentiert. Bitte notieren sie hierfür auch den Zustand der Filter, weil sich die Volumenströme mit zunehmender Filterverschmutzung wieder ändern können.

Einstellung der Frostschutzgrenztemperatur und der Bypasssteuerung

Versuchsvorbereitung

Zunächst sollte man sich in der Bedienungsanleitung des Gerätes über Service-Einstellungen des Gerätes informieren. Diese Bedienebene ist normalerweise nur dem Wartungs- und Installationspersonal zugänglich, damit die Parameter nicht versehentlich von den Nutzern verstellt werden. Außerdem ist die geeignete Frostschutzgrenztemperatur in Erfahrung zu bringen.

Versuchsdurchführung

Zunächst ist den Studierenden der Ort und die Funktion des Frostschutzvorheizregisters im Gerät zu zeigen und zu erläutern. Normalerweise handelt es sich um ein elektrisches Heizregister, welches über eine Regelung und einen Temperatursensor betrieben wird. Dieser Temperatursensor befindet sich normalerweise in der Außenluft, auch dieser Sensor ist den Studierenden im Gerät zu zeigen. Im Optimalfall ist das Gerät vorne anstelle der Frontplatte mit einer transparenten Plexiglasplatte ausgestattet, sodass man auch im Betrieb alle Bestandteile im Inneren des Gerätes erkennen kann. Nun ist zu erläutern, dass die eigentliche Gefahr durch einfrierendes Kondensat (Reif- oder Eisbildung im Wärmeübertrager) auf der Fortluftseite stattfindet. Da jedoch zwischen Außenluft und Fortluft eine Temperaturdifferenz (bedingt durch die Übergangswiderstände) von ca. 5 °C auftritt, reicht es normalerweise völlig aus die Frostschutzgrenztemperatur auf -3°C einzustellen, weil dann immer noch 2 Kelvin Temperaturdifferenz bis zum Frostpunkt. Ungleichmäßige Durchströmung des Wärmeübertragers kann jedoch dazu führen, dass Teilbereiche der Abluft (meist Eckbereiche) schlechter durchströmt und dadurch auf geringere Temperaturen absinken. Um auch dann der Gefahr des Einfrierens vorzubeugen ist eine gewisse Reserve bei der Einstellung der Frostschutzgrenztemperatur erforderlich. Normalerweise gibt der Hersteller die korrekte Temperatur für sein Gerät an, um jedoch unnötigem Strombedarf vorzubeugen sind diese Werte fallweise zu hinterfragen bzw. zu überprüfen.

Unter Vernachlässigung ungleichmäßiger Durchströmung (idealer Wärmeübertrager) kann man die Notwendige Frostschutzgrenztemperatur T_{au} , min aus dem Wärmerückgewinnungsgrad h und der jeweiligen Ablufttemperatur T_{ab} berechnen: $T_{\text{au, min}} = T_{\text{ab}} - (T_{\text{ab}} - T_{\text{fo}}) / h$

Nachfolgende Tabelle gibt diese Werte für unterschiedliche Ablufttemperaturen und Wärmerückgewinnungsgrade an. Daraus ist erkennbar, dass bei 20 °C Ablufttemperatur theoretische bei 80% Wärmerückgewinnungsgrad eine Außenluftvorwärmung auf -5°C ausreichen würden.

Ablufttemp.	75%	80%	85%	90%	95%
15	-5.00	-3.75	-2.65	-1.67	-0.79
20	-6.67	-5.00	-3.53	-2.22	-1.05
25	-8.33	-6.25	-4.41	-2.78	-1.32

Mockup-Dokumentation

3D-Ansichten

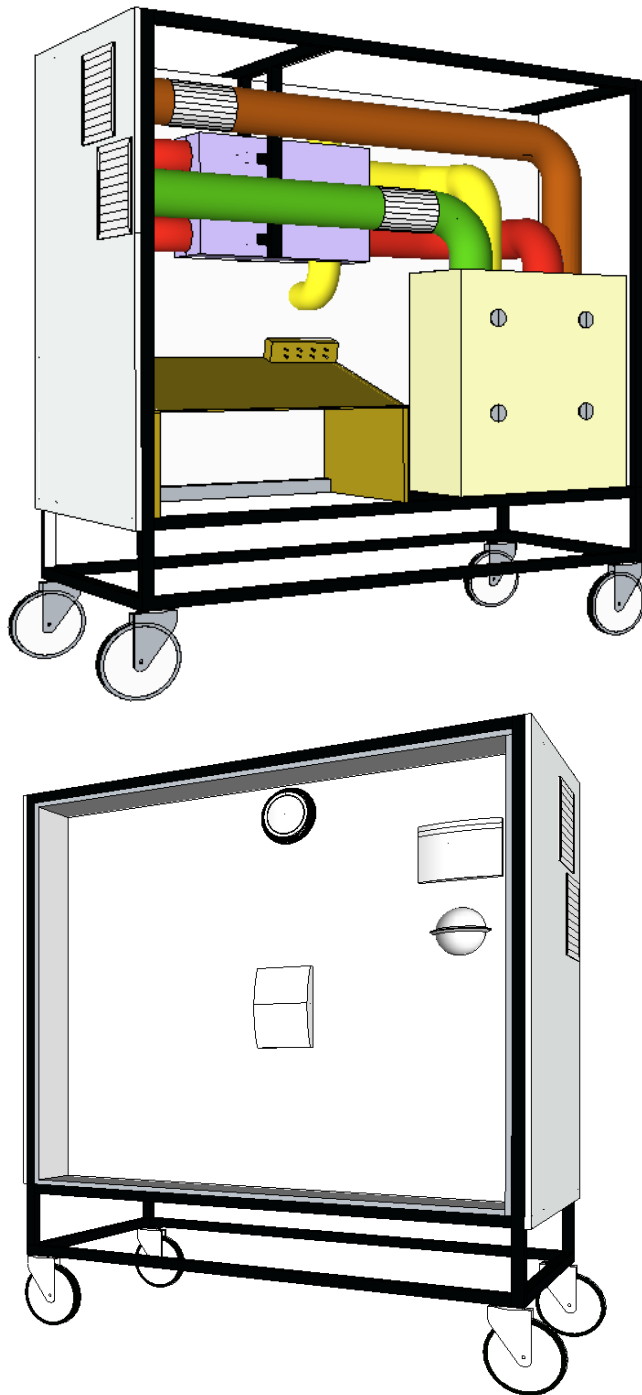


Figure 45 (Quelle: UIBK) Lüftungs-Mockup Rückansicht (oben); Frontansicht (unten)

Funktionsprinzip

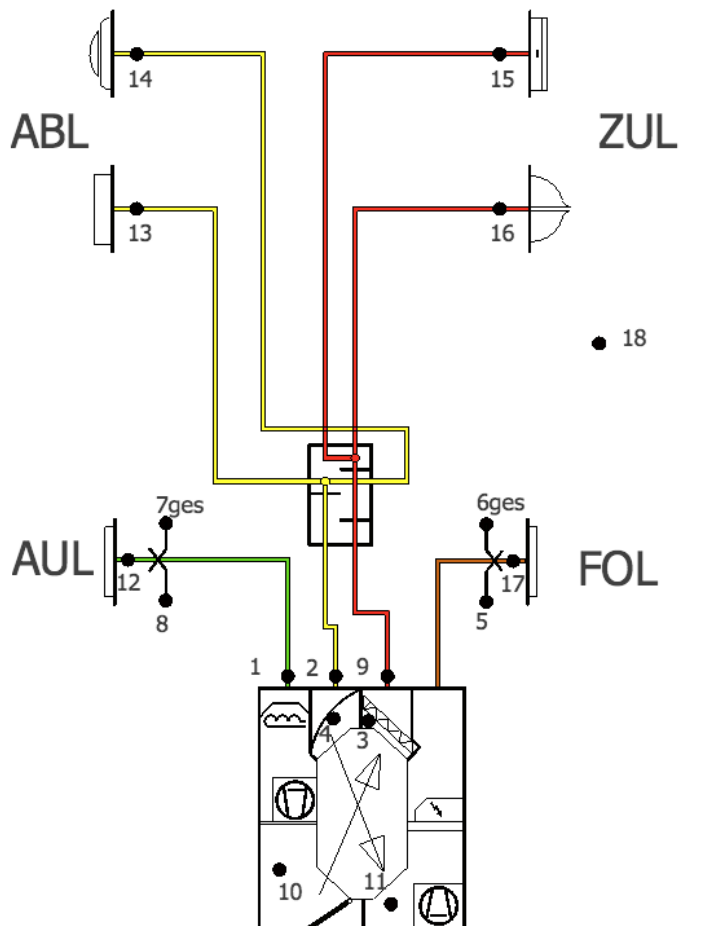


Figure 46 (Quelle: UIBK) Hydraulikschema des Mockups

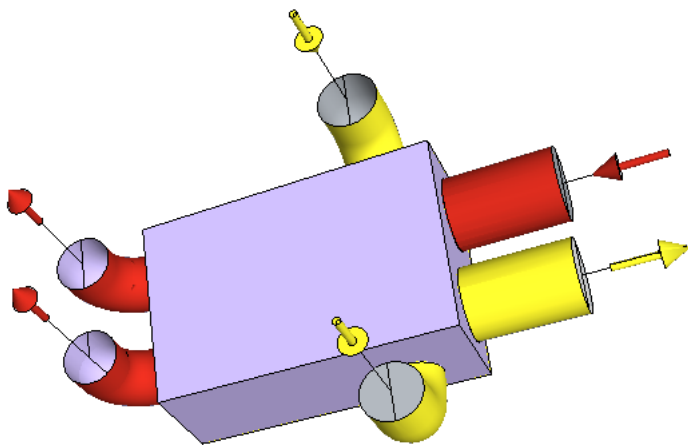


Figure 47 (Quelle: UIBK) 3D-Darstellung der Zu- und Abluft-Verteilbox

Der Mockup zur Demonstration der Komfortlüftung besteht aus einem Lüftungskompaktgerät mit Wärmerückgewinnung, zwei Ventilatoren, Vorheizregister, Filtern und einer Steuerung mit Fernbedienung. Aus didaktischen Gründen wurde der Frontdeckel durch eine Plexiglasscheibe ersetzt. Die Außen- und Fortluft wurde jeweils an ein geeignetes Gitter (geringer Druckabfall durch vergrößerte Oberfläche des quadratischen Gehäuses) angeschlossen.



Figure 48 (Quelle: UIBK) Außen- bzw. Fortluftgitter

Diese sind in der Stirnseite des Lüftungswagens eingebaut. Um den Platzbedarf für die Schalldämpfer zu reduzieren, wurden die Zu- und Abluftkanäle an eine gemeinsame Schalldämpferbox angeschlossen.



Figure 49 (Quelle: UIBK) Weitwurfdüse mit Lochraster (links) bzw. Schlitzauslass (mitte links); Abluftdurchlass mit Vorlegefilter (mitte rechts); Abluft-Tellerventil (rechts)

Zuluftseitig wurden zwei unterschiedliche Weitwurfdüsen angeschlossen (Schnabeldüse und Lochgitter) verbaut, um die unterschiedlichen Konzepte zeigen zu können. Abluftseitig wurden Tellerventile, einmal mit und einmal ohne Vorlegefilter verbaut.

Didaktisch können folgende Übungen, Versuche und Messungen an diesem Mock-Up durchgeführt werden:

- Fehlersuche und Qualitätssicherung
- Beschriftung aller relevanten Bauteile
- Inbetriebnahme
- Volumenstrommessung Zuluft- bzw. Abluft
- Einregulierung
- Balanceabgleich
- Einstellung der Frostschutzgrenztemperatur

Material

Installationsgestell

Der Rahmen wurde als Schweißkonstruktion realisiert, dieser steht auf lenkbaren Rollen, um ihn flexibel in unterschiedlichen Veranstaltungsräumen nutzbar zu machen.. Die Wände wurden mit weiß gestrichenen Holzwerkstoffplatten simuliert.

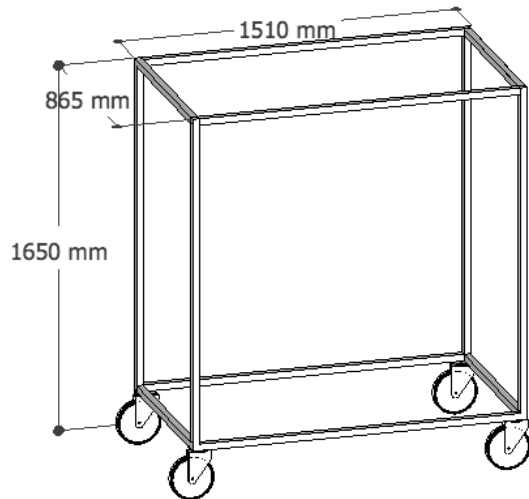


Figure 50 (Quelle: UIBK) 3D-Darstellung des Installationsgestell aus Quadratrohr (Stahl)

Luftkanäle

Die Luftkanäle wurden in Wickelfalzrohr ausgeführt. Geplant ist aber auch noch eine Erweiterung um Schalldämmverteiler mit Kunststoff-Flexrohren.



Figure 51 (Quelle: UIBK) Lüftungskanäle Wickelfalz (links); 90°-Bogen, verzinkter Stahl mit Lippendichtung (rechts)

Messtechnik

Für die Messung der Druckdifferenzen an den Staukreuzen bzw. Messstutzen wird mit einem Wöhler Handmessgerät gearbeitet. Für die Volumenströme an den Luftdurchlässen wird ein Flowfinder verwendet.



Figure 52 (Quelle: UIBK) FLOWFINDER [Quelle: ACIN INSTRUMENTS BV], Wöhler Druchdifferenzmessgerät, Volumenstrom Messkreuze [Quelle: Halton]

Kosten/Aufwand

Installationsgestell

Stahl-Quadratrohr, Schweißung, Lackieren, Lenkrollen, Holzwerkstoffplatten, Anstrich, Bohrungen

Personalkosten für die Erstellung

Herstellung Installationsgestell

Installation des Gerätes und der Lüftungskanäle sowie Zubehör

Elektroinstallation

Aufwand für die Versuchsvorbereitung in der Lehre

Der Aufwand für die Vorbereitung ist relativ gering, weil alle Komponenten fix montiert und verkabelt sind. Für den Betrieb ist lediglich ein Stromanschluss erforderlich.

Wartungsaufwand: Bis auf den Ersatz evtl. defekter Komponenten und die regelmäßige Überprüfung der elektrotechnischen Sicherheit sind keine Wartungsarbeiten erforderlich.

Komfortlüftung – Tischmodell Wärmerückgewinnung

Zur Veranschaulichung der Wärmerückgewinnung von Komfortlüftungsgeräten kann ein Tischmodell verwendet werden, in dem optisch die Luftstromverläufe erkennbar sind.

In diesem Tischmodell ist ein Lüftungswärmerückgewinnungselement mittig dargestellt. Davon ausgehend sind die Luftkanäle für Zuluft, Abluft, Fortluft und Frischluft dargestellt. Auf Abluft-Seite kann dann über eine Verdampfungsanlage Dampf eingebracht werden, der dann durch das Wärmerückgewinnungselement und den Fortluftkanal auf die andere Seite gelangt. In der Zuluftseite kann ebenfalls ein andersfarbiger Dampf eingebracht werden, der dann über das WRG-Element auf die Innenseite gelangt.

Dieses Modell könnte theoretisch auch mit konditionierter Luft (Frischluft kalt & Abluft warm) ergänzt werden, wodurch auch die Temperatur der Zuluft noch erfüllt werden könnte. Allerdings wird das Gesamtmodell dadurch deutlich komplizierter und größer.

Die Luftkanäle und das WRG-Element sind auf einer Holzplatte befestigt (geklebt oder geschraubt) und die Oberseite ist mit einer durchsichtigen Scheibe versehen, sodass die farbigen Volumenströme beobachtet werden können.

Folgende Bauteile bzw. Materialien werden benötigt:

- Wärmerückgewinnungselement
- Holz-Platten mit ca. 8 mm bis 15 mm Dicke (OSB-Platte, Sperrholz o. ä.)
- Verdampfer (ähnlich zu E-Shishas)
- Dampffluid in ein oder zwei Farben
- Verbindungselemente
- Werkzeug
- Durchsichtige Scheibe (Glas oder Kunststoff)

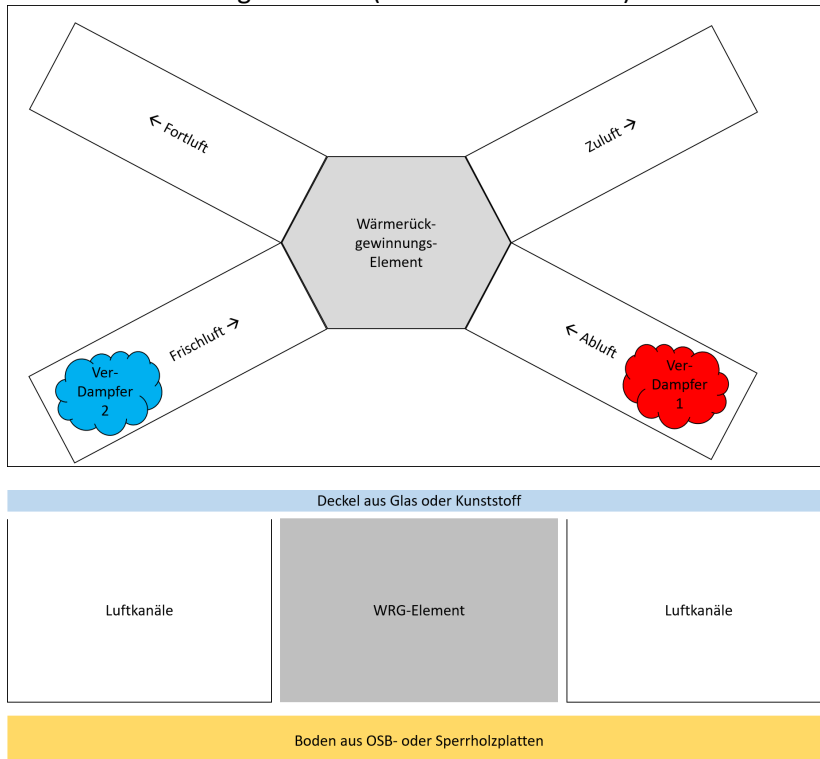


Figure 53 (Quelle: PHI) Ansicht von oben (oben), Ansicht von der Seite (unten)

Lernziel:

Durch das Modell wird dargestellt, dass sich die Luftströme nicht mischen oder ein die Luft von innen wieder nach innen gefördert wird.

Energieeffiziente Beleuchtungssteuerung mit DALI

Metadaten für Kursmaterial (EduResource):

Bezeichnung	Mockup Effiziente Kunstlichtsteuerung
ID	8461044_6
Datum der Erstellung	17.12.2024
Datum letztes Update	17.12.2024
Autor	Rainer Pfluger
Copyright	University of Innsbruck
LinkCF	Quote, Reference, URI
Sprache	De
Land	A, D
Klimazone	Alle Klimazonen
Neubau/Sanierung	Neubau und Sanierung
Bauweise	Alle Bauweisen
Art der EduResource	Content Object
Type der EduResource	Mockup
Eingangsvoraussetzung Kompetenz vorher	Grundlagen Elektrotechnik und BUS-Systeme
Lernziel Kompetenzoutput	Umgang mit BUS-Parametrierung am Beispiel DALI; Energieeffiziente tageslichtabhängige Kunstlichtsteuerung
Themenzugehörigkeit in der Ontologie Energieeffizientes Bauen	Energieeffizienz Kunstlicht

Kompetenzlevel Voraussetzung

Die Studierenden können die Unterschiede zwischen Steuerung und Regelung benennen. Sie können die Funktion von BUS-Systemen in der Gebäudeautomation erklären. Sie können den Einfluss von Steuerungen auf die Energiebilanz von Gebäuden angeben. Sie können die Elemente einer Messkette und einer Steuerung und deren Funktionen benennen.

Kompetenzlevel nach dem Modul

Die Studierenden können die theoretischen Kenntnisse aus der Mess-/Steuer- und Regelungstechnik auf die praktische Parametrierung eines Kunstlichtsystems mit Sensoren und Aktoren anhand des DALI-BUS-Systems anwenden. Sie können die Parametrierung und Fehlersuche selbstständig durchführen und verstehen die Funktionsweise einer energieeffizienten Beleuchtungssteuerung.

Lernergebnis (Learning Outcomes)

Die TeilnehmerInnen am Versuch können die Theorie der Steuerung und Regelung auf die Durchführung einer effizienten Beleuchtungssteuerung anwenden. Sie können die Netto-Effizienzpotenziale anhand der eingesparten Beleuchtungsenergie und der Standby-Verbräuche aller Einzelkomponenten aus den selbst durchgeführten Messungen berechnen. Die Erfahrungen und Lernergebnisse können auf andere BUS-basierte Gebäudesteuerungen übertragen werden.

Zusatzkursmaterialien

Präsentation zur Erläuterung des Versuchs und der Auswertung Datei mit der Musterparametrierung

Leistungsfeststellung

Prüfungsfragen

Erläutern Sie den Unterschied zwischen Steuerung und Regelung am Beispiel Kunst- und Tageslicht.

Welche Alternativen gibt es zu DALI ?

Was versteht man unter der Einheit Baud bzw. Baud-Rate?

Der Spannungsabfall in der Steuerleitung darf nicht mehr als 2 Volt betragen, wie lange ist die zulässige Leitungslänge im DALI-System bei Kupferleitungen mit 56 m/Ohm mm und einem Leitungsquerschnitt von 0,6 mm²?

Wie groß ist die Nettostromeinsparung einer Kunstlichtsteuerung gegenüber einer Anlage ohne Dimming, wenn die Bereitschaftszeit des Kunstlichts 2750 h/a beträgt, die Leistungsreduktion durch das Dimming 10% beträgt und die Standbyleistung 1% der ungedimmten Beleuchtungsleistung ausmacht?

Leistungsfeststellung zur Versuchsdurchführung

Nachfolgend werden die Aufgabenstellungen zu den Versuchsdurchführungen am Mockup erläutert. Je nach verfügbarem Zeitbudget können die Versuche im Rahmen einer Experimentalvorlesung eingebaut werden oder als Praktikumsversuch in Form einer eigenen Übungseinheit angeboten werden. Als Praktikumsversuch kann es damit auch mittels Leistungsfeststellung geprüft werden.

Versuchsvorbereitung

Bevor die Spannungsversorgung am Versuchsaufbau angeschlossen wird, ist die Verkabelung durchzuführen und von der Versuchsleitung zu überprüfen. Dann wird die DALI-Maus mittels USB-Verbindung an den Computer angeschlossen und die Software zum Parametrieren geöffnet.

Versuchsdurchführung

Sowohl Sensoren als auch Aktoren sind zu parametrieren. Hierzu wird die Beleuchtungsstärke auf den beiden Arbeitsplätzen durch „Tageslicht“ sowohl mit einem Luxmeter als auch mit den Look-Down-Sensoren gemessen. Dabei ist jeweils zu beachten, dass die Messungen immer mit geschlossenem Frontdeckel durchgeführt werden, damit keine Verfälschungen der Ergebnisse durch seitlich einfallendes Streulicht entstehen. Ziel ist ein konstanter Wert der Beleuchtungsstärke aus „Tageslicht“ und Kunstlicht von 500 W auf beiden Arbeitsplätzen. Die Funktionsfähigkeit und Genauigkeit kann experimentell für unterschiedlichen Tageslichteintrag überprüft werden.

Versuchsauswertung

Neben der Überprüfung der Genauigkeit der Sollbeleuchtungsstärke an den beiden Arbeitsplätzen, kann mittels zwischengeschaltetem Wirkleistungsmesser auch die jeweils aufgenommene

Bruttoleistung sowie der Standby-Verbrauch bestimmt werden. Daraus kann dann die Nettoeinsparung berechnet werden.

Alternative Messung Fixverdrahtung

Alternativ zur Versuchsdurchführung mit der DALI-Steuerung kann eine Leistungsmessung mit Fixverkabelung vorgenommen werden.

Mockup-Dokumentation

Funktionsprinzip

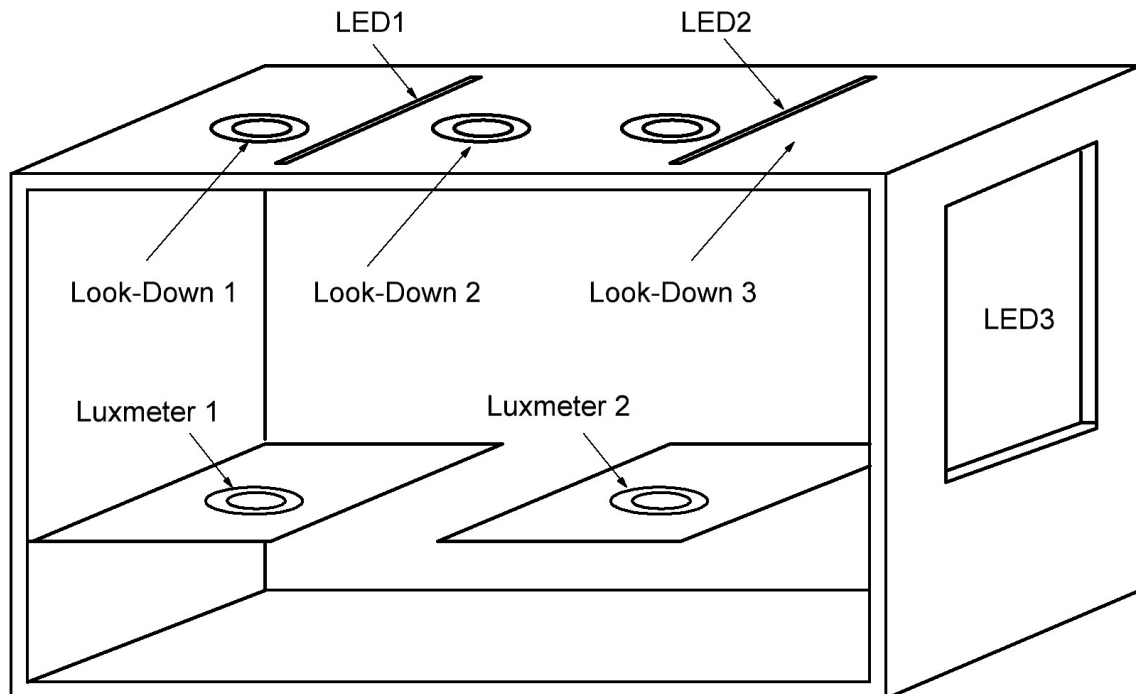


Figure 54 (Quelle: UIBK) Funktionsprinzip mit Sensoren (Luxmeter 1 und 2 sowie Look-Down 1 bis 3) und Aktoren (LED 1 bis 3)

Das Mockup zur Demonstration der Kunstlichtsteuerung besteht aus einem Modellraum, welcher mit einem „Fenster“, bestehend aus einer Milchglasscheibe mit außenseitiger Lichtquelle ausgestattet ist. Diese ist steuerbar und simuliert das Tageslicht zu unterschiedlichen Tageszeiten. Im Modellraum sind zwei Tische (Arbeitsplätze) eingebaut die jeweils über ein horizontales Luxmeter verfügen (Messung auf der Arbeitsplatzebene). Zusätzlich werden an der Decke drei Look-Down-Sensoren verbaut, zwei jeweils über den Arbeitsplätzen und eine dazwischen.

Didaktisch können folgende Übungen, Versuche und Messungen an diesem Mock-Up durchgeführt werden:

- Parametrierung der Regelung mit einem Look-Down-Sensor
- Parametrierung der Regelung mit zwei Look-Down-Sensoren
- Parametrierung der Regelung mit zwei Lux-Meter
- Kunstlicht ohne Dimming
- Leistungs- und Standby-Messung

Material

Modellraum

Der Modellraum wird aus einer nach vorne offenen Holzkiste erstellt, die mit einem Deckel für die Messungen verschlossen werden kann. Die Innenoberflächen werden wie in einem realen Raum mit Farben unterschiedlichen Reflexionsgrades (Boden, Wand, Decke) gestrichen.

Zwei Modell-Tische (Arbeitsplätze Fensternah bzw. Fensterfern) werden am Boden fixiert. In eine Seitenwand wird eine Fensteröffnung eingeschnitten in welche die Milchglasscheibe mit dahinterliegender Beleuchtung eingesetzt wird.

Messtechnik

An der Decke werden drei Look-Down-Sensoren sowie in den Modelltischen zwei Lux-Meter verbaut. Mit Hilfe eines Stecker-Messgeräts kann die gesamte Leistungsaufnahme gemessen werden.

LEDs

An der Decke werden zwei Leuchtenreihen (LEDS) verbaut. Hinter der Milchglasscheibe wird eine möglichst flächige Beleuchtung installiert.

DALI-Zubehör

Sensormodule für Look-Down-Sensoren und Lux-Meter, Steuermodule für LEDs

DALI-M-Bus-Maus für den Anschluss an das Laptop

PV-Demonstrator Experimentierset für PV-Anlagen

Metadaten für Kursmaterial (EduResource):

Bezeichnung	Mockup PV-Anlage
ID	8461044_7
Datum der Erstellung	17.12.2024
Datum letztes Update	17.12.2024
Autor	Rainer Pfluger
Copyright	University of Innsbruck
LinkCF	Quote, Reference, URI
Sprache	De
Land	A, D
Klimazone	Alle Klimazonen
Neubau/Sanierung	Neubau und Sanierung
Bauweise	Alle Bauweisen
Art der EduResource	Content Object
Type der EduResource	Mockup
Eingangsvoraussetzung Kompetenz vorher	Grundlagen Regenerative Energie
Lernziel Kompetenzoutput	Planung, Verschaltung, Inbetriebnahme und Messung von PV-Zellen und Modulen
Themenzugehörigkeit in der Ontologie Energieeffizientes Bauen	Regenerative Energie

Kompetenzlevel Voraussetzung

Die Studierenden können die Funktionen der wichtigsten elektrotechnischen Bauteile wie ohmscher Widerstand, Diode, Stromquelle, Spannungsquelle erläutern. Sie kennen das Ohmsche Gesetz und können die Knoten- und Maschenregel anwenden.

Kompetenzlevel nach dem Modul

Die Studierenden sind mit der U-I Kennlinie vertraut. Sie können den Punkt maximaler Leistung (MPP) bestimmen. Sie kennen die Möglichkeiten der Parallel- und Reihenschaltung sowie den Einsatz von Dioden und deren Funktion bei Teilverschattung. Sie können den Einfluss von Solarintensität, Einstrahlwinkel und Modultemperatur anhand der Messergebnisse erklären.

Lernergebnis (Learning Outcoms)

Die TeilnehmerInnen am Versuch beherrschen die Verschaltung (Parallel und Reihenschaltung) von PV-Modulen und der Dioden. Sie können den Wirkungsgrad aus der Solarstrahlung (winkelabhängig)

und der Strom u. Spannungsmessung bestimmen. Außerdem können sie den MPP-Betrieb durch Lastanpassung einstellen. Darüber hinaus kennen sie den Einfluss der Modultemperatur auf den Wirkungsgrad.

Zusatzkursmaterialien

Lehrvideo

DIY-Anleitung

Versuchsbeschreibung

Leistungsfeststellung

Prüfungsfragen

Welchen Einfluss hat die Parallel- und Reihenschaltung auf die Kennlinie von PV-Systemen?

Welchen Zweck erfüllen Bypassdioden bei PV-Modulen und Modulverschaltungen?

Was versteht man unter MPP-Regelung?

Zeichnen sie den MPP in die U-I-Kennlinie ein.

Wovon hängt der Wirkungsgrad von PV-Modulen und PV-Systemen ab?

Leistungsfeststellung zur Versuchsdurchführung

Nachfolgend werden die Aufgabenstellungen zu den Versuchsdurchführungen am Mockup erläutert. Je nach verfügbarem Zeitbudget können die Versuche im Rahmen einer Experimentalvorlesung eingebaut werden oder als Praktikumsversuch in Form einer eigenen Übungseinheit angeboten werden. Als Praktikumsversuch kann es damit auch mittels Leistungsfeststellung geprüft werden.

Durchführung der Messungen zur Bestimmung des Wirkungsgrades

Versuchsvorbereitung

Die PV-Module, Dioden und Kabel inkl. Steckern sowie Multimeter werden an die Teilnehmerinnen verteilt. Falls die Solarstrahlung nicht mit eigenem Solarimeter gemessen wird, kann die aktuelle Solareinstrahlung auch von der örtlichen Wetterstation ausgelesen werden.

Versuchsdurchführung

Die PV-Zellen sind korrekt in Reihen- und Parallelschaltung zu verkabeln und mit Bypassdioden und Blocking-Dioden zu versehen.

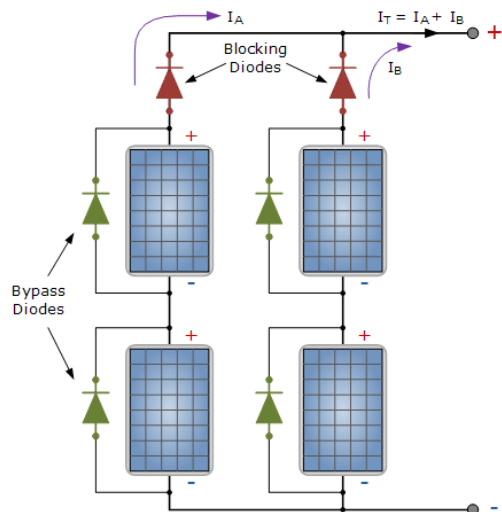


Figure 55 (Quelle: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html>) Parallel und Serienschaltung von PV-Zellen bzw. Modulen mit Bypass-Dioden und Blocking-Dioden

Versuchsauswertung

Einstrahlung – Ertrag - Wirkungsgrad

Bestimmung der Modulkennlinie:

Zunächst wird die aktuelle Einstrahlung mit dem Solarimeter gemessen. Dann wird der Kurzschlussstrom I_{SC} sowie die Leerlaufspannung mit einem Multimeter bestimmt. Diese beiden Werte können direkt in das Diagramm auf der Y bzw. X-Achse eingetragen werden. Mit dem variablen Lastwiderstand (Potentiometer) können nun alle Zwischenwerte durch Ablesen der jeweiligen Werte für Strom und Spannung bestimmt und in das Diagramm eingetragen werden. Die jeweilige Leistung $P(U)$ kann aus dem Produkt von Strom und Spannung berechnet und eingezeichnet werden (rechte y-Achse).

Der Kurzschlussstrom verhält sich näherungsweise linear zur Einstrahlung, dieses Verhalten kann bei unterschiedlichen Einstrahlungen getestet werden. Die Leerlaufspannung nimmt logarithmisch mit der Lichtintensität ab. Einige Verluste bleiben konstant, dadurch nimmt der Wirkungsgrad mit niedrigerer Einstrahlung ab. Im Experiment können daher Kennlinien bei unterschiedlicher Einstrahlung gezeichnet werden.

Bestimmung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der Temperatur

Auf der Rückseite der PV-Zelle ist ein Temperatursensor angebracht. Nun können bei unterschiedlicher Einstrahlung jeweils mit und ohne Wärmedämmung die Wirkungsgrade bestimmt und in ein Diagramm über die Zelltemperatur aufgetragen werden. Bestimmen Sie daraus den Temperaturkoeffizienten ($\Delta\eta/\Delta T$).

Mono- und polykristalline Siliziumzellen haben einen relativ hohen Temperaturabhängigkeit des Wirkungsgrades, bei Dünnschichtzellen ist dieser in der Regel deutlich geringer.

Mockup-Dokumentation

Funktionsprinzip

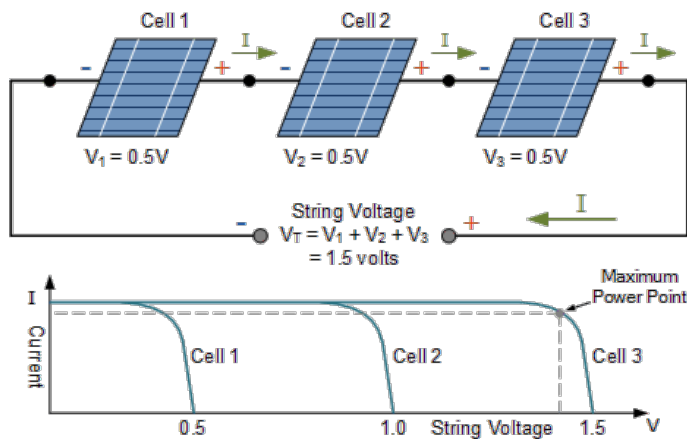


Figure 56 (Quelle: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html>)
Serienschaltung von PV-Zellen bzw. Modulen

Da die drei PV-Zellen in Reihe geschaltet sind, ist der erzeugte Strom (I) gleich (vorausgesetzt, die Zellen sind gleichmäßig angepasst) und die Gesamtspannung V_T ist nur die Summe der einzelnen Zellspannungen, ($V_1 + V_2 + V_3 = 0.5V + 0.5V + 0.5V = 1.5V$), so dass die I-U-Kennlinien der drei Zellen einfach entlang der (horizontalen) Spannungsachse addiert werden, da der Strom gleich und konstant ist. Unter Verwendung unseres 2 Watt-Zellenbeispiels von oben wäre der maximale Leistungspunkt für diesen Serienstring daher: 6 Watt ($1,5 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 6 \text{ W}$).

Nehmen wir nun an, dass die Solarzelle Nr. 2 im String entweder teilweise oder vollständig verschattet ist, während die verbleibenden zwei Zellen in dem in Reihe geschalteten String unverschattet sind. In diesem Fall verringert sich die Leistung des in Reihe geschalteten Strings drastisch, wie gezeigt.

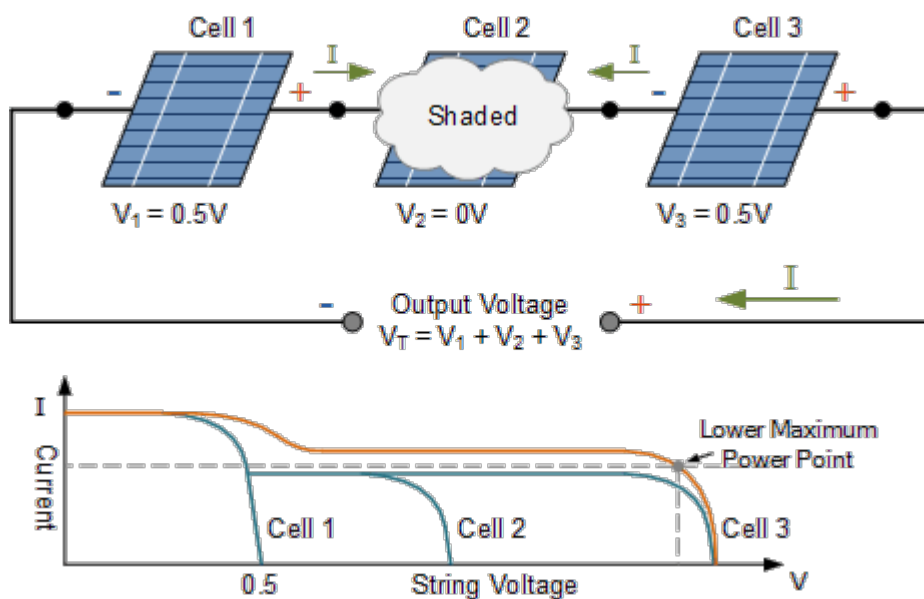


Figure 57 (Quelle: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html>)
Serienschaltung von PV-Zellen mit Abschattung der Zelle 2

Die abgeschattete Zelle produziert keine elektrische Energie mehr und verhält sich eher wie ein halbleitender Widerstand. Die abgeschattete Zelle erzeugt weniger Strom als die anderen beiden Zellen, was die Energieproduktion des Reihenstrings stark verringert. Das Ergebnis ist, dass die von den besonnten Zellen erzeugte Energie nun von der abgeschatteten Zelle abgeleitet wird, was im Laufe der Zeit zu Überhitzung (Hot Spots) und schließlich zur Zerstörung der schlechten Zelle führen kann.

Die abgeschattete Zelle verursacht einen Abfall ihres erzeugten Stroms verursacht, die nicht abgeschatteten guten Zellen passen sich diesem Stromabfall an, indem sie die Leerlaufspannung entlang ihrer IV-Kennlinien erhöhen, was dazu führt, dass die abgeschattete Zelle in Sperrrichtung vorgespannt wird, d. h. eine negative Spannung erscheint nun in entgegengesetzter Richtung an ihren Anschlüssen. Diese Sperrspannung führt nun dazu, dass Strom in die entgegengesetzte Richtung durch die abgeschattete Zelle fließt, was dazu führt, dass sie Strom in Wärme umwandelt. Somit erfährt eine vollständig abgeschattete Zelle unter allen Strombedingungen einen umgekehrten Spannungsabfall und verbraucht daher elektrische Energie, anstatt sie zu erzeugen.

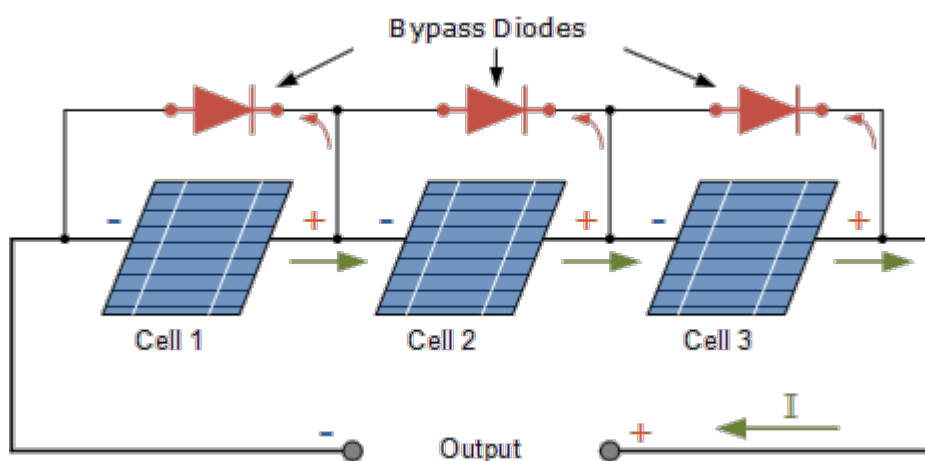


Figure 58 (Quelle: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html>)
Serienschaltung von PV-Zellen bzw. Modulen mit parallel geschalteten Bypass-Dioden

Eine einfache und effektive Möglichkeit, Photovoltaikzellen vor den zerstörerischen Auswirkungen der Zellbeschattung zu schützen, besteht darin, eine Bypass-Diode über jede PV-Zelle eines in Reihe geschalteten Strings zu schalten. Bypass-Dioden sind extern und umgekehrt parallel zu einer PV-Zelle geschaltet, um einen alternativen Strompfad für den Stromfluss bereitzustellen, da er bei Verschattung nicht durch die Zelle fließen kann. Dies trägt dazu bei, die Leistung des Reihenstrings zu erhalten, indem die Sperrspannung, die über jede teilweise abgeschattete Zelle erzeugt wird, begrenzt wird und somit die elektrische Leistung reduziert wird, die von der Zelle abgeleitet werden kann.

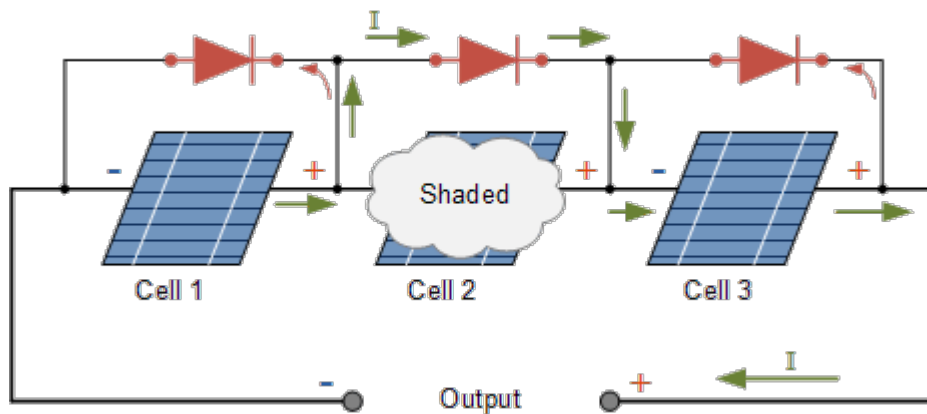


Figure 59 (Quelle: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html>)
 Serienschaltung von PV-Zellen bzw. Modulen mit parallel geschalteten Bypass-Dioden und Abschattung der Zelle 2

Über jede der drei PV-Zellen sind Bypass-Dioden parallel geschaltet. Diese extern angeschlossenen Bypass-Dioden sind im Sperrvorspannungsmodus über ihre jeweilige Zelle geschaltet, d. h. der Anodenanschluss der Diode ist mit der positiven Seite der Zelle verbunden, während der Kathodenanschluss der Diode mit der negativen Seite der Zelle verbunden ist. Wenn die drei Solarzellen volle Sonne erhalten, erzeugen sie jeweils eine normale Spannung, und da jede der drei Bypass-Dioden über ihre jeweiligen Zellen in Sperrrichtung vorgespannt ist, wird jeder Sperrstrom (rote Pfeile), der versucht, durch sie zu fließen, blockiert. Dadurch, dass die Dioden in Sperrrichtung vorgespannt sind, verhalten sich die Dioden so, als ob sie nicht vorhanden wären, wobei der Reihenstrang die volle Ausgangsleistung (6 Watt im vorherigen Beispiel) erzeugt, da die drei Solarzellen wie erwartet funktionieren. Wenn jedoch nach wie vor eine der PV-Zellen durch Laub, Bäume oder Schnee usw. teilweise verschattet wird, erzeugt die verschattete Zelle keine elektrische Energie wie oben gesehen und somit übernimmt ihre Bypass-Diode die Aktivierung wie gezeigt.

Bei Beschattung hört Zelle 2 auf, elektrische Energie zu produzieren und verhält sich wie ein halbleitender Widerstand. Da die schattierte Zelle Sperrleistung erzeugt, spannt sie die parallel geschaltete Bypass-Diode in Vorwärtsrichtung vor (d.h. sie schaltet sie „EIN“) und leitet den Stromfluss der beiden guten Zellen durch sich selbst um, wie durch die grünen Pfeile oben gezeigt. Somit hält die über die abgeschattete Zelle geschaltete Bypass-Diode den Betrieb der anderen beiden PV-Zellen aufrecht, indem sie einen elektrischen Pfad für den Fluss des erzeugten Stroms erzeugt.

Obwohl dann eine Zelle abgeschattet ist (in diesem Beispiel Zelle 2), erzeugen die anderen beiden Zellen 1 und 3 weiterhin Energie, jedoch mit reduzierter Leistung. In diesem Beispiel mit 2-Watt-Zellen und unter Vernachlässigung der Verluste durch die Bypass-Diode demnach nur 4 Watt (1,0 V x 4 A).

Ein weiterer Vorteil von parallel geschalteten Bypass-Dioden besteht darin, dass bei Vorwärtsspannung, dh wenn sie leitend sind, der Durchlassspannungsabfall etwa 0,6 Volt beträgt, wodurch jede von der abgeschatteten Zelle erzeugte hohe negative Rückwärtsspannung begrenzt wird, was wiederum die Hotspot-Temperaturbedingungen und daher Zellausfall, wodurch die Zelle nach Entfernen der Verschattung wieder normalisiert werden kann.

Material

PV-Zellen und deren Ausstattung

Mono- oder Polykristalline Si-Zellen werden auf eine Unterlage geklebt und mit Steckkontakten versehen. Damit können sie in Reihe oder Parallel sowie mit Bypass-Dioden verschalten werden. Auf die Rückseite werden Temperatursensoren aufgeklebt, um die Zelltemperatur zu messen. Diese

verändert sich in Abhängigkeit der Einstrahlung und der Dämmung, die als zugeschnittene Platten mit Klettverschluss aufgebracht oder entfernt werden können. Zum Vergleich der Temperaturabhängigkeit können auch einige Dünnschichtzellen gleichermaßen ausgestattet werden.

Die Zellen können mit Klettbindern auch in unterschiedlichem Neigungswinkel aufgestellt und damit die Winkelabhängigkeit der Einstrahlung untersucht werden. Hierzu ist ein Winkelmesser erforderlich.

Zubehör

Als Zubehör sind die Bypassdioden erforderlich, die bereits mit den gleichen Buchsen für die Steckverbindung ausgestattet werden. Darüber hinaus werden die entsprechenden Kabel mit den Steckern benötigt. Bevorzugt kommen hier Büschelstecker zum Einsatz, weil diese robust und mit geringem Übergangswiderstand arbeiten.

Messtechnik

Die Messung erfolgt mit einfachen Digital-Multimeter für Spannung und Strommessung. Darüber hinaus wird ein kalibriertes Solarimeter benötigt, die kostengünstigste Variante ist hierfür eine kalibrierte PV-Zelle.

Kosten/Aufwand

- PV-Zellen-Vorbereitung
- Zubehör
- Messtechnik

Personalkosten für die Erstellung

- PV-Zellen Vorbereitung

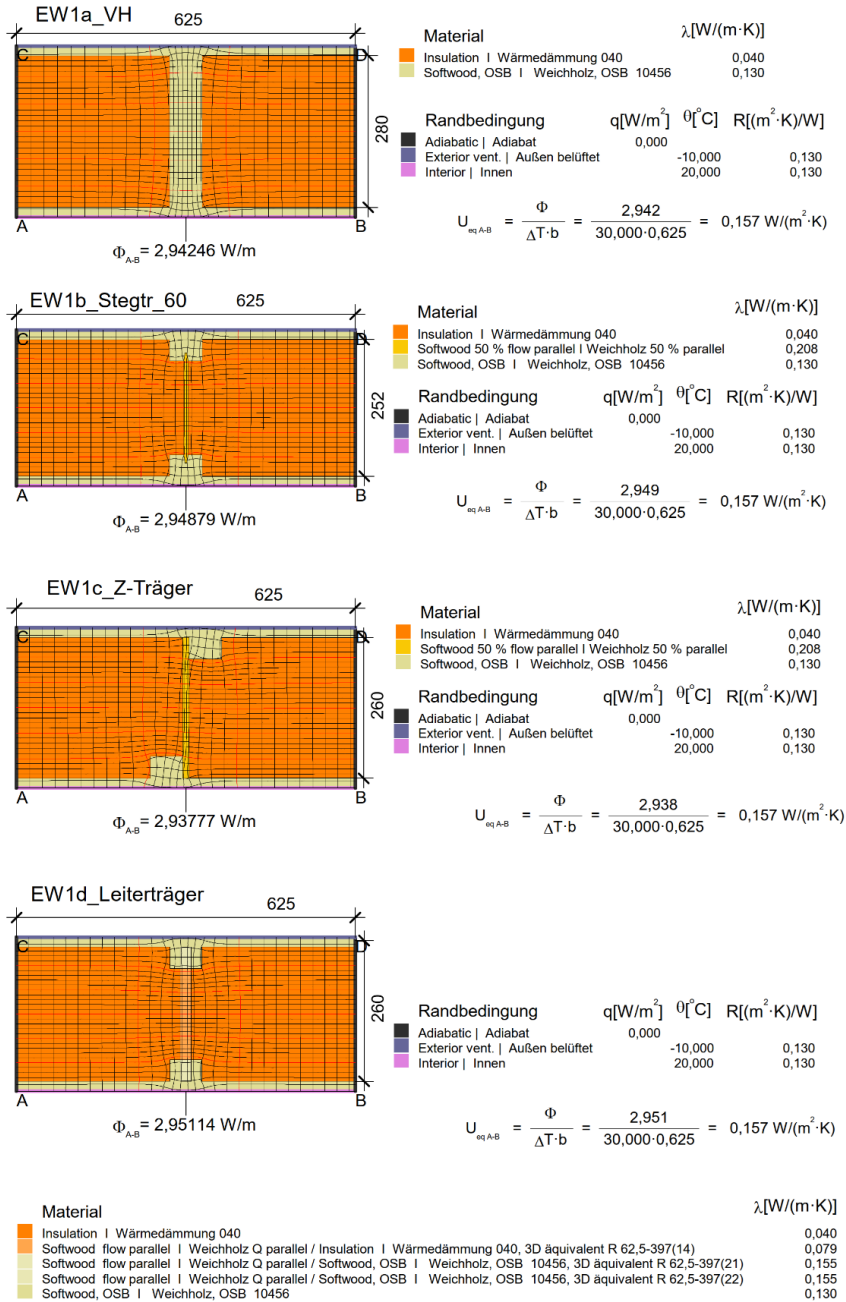
Aufwand für die Versuchsvorbereitung in der Lehre

Der Aufwand für die Vorbereitung ist relativ gering, weil alle Komponenten bereits fertig vorkonfiguriert sind. Die Versuche können bei gutem Wetter im Freien durchgeführt werden. Alternativ kann die Solarstrahlung auch mit einem Baustrahler simuliert werden. Dies bietet nicht nur die Unabhängigkeit von den Witterungsbedingungen, sondern auch konstante Bedingungen während der Messung. Die Intensität der Einstrahlung kann durch Dimmen oder Variation der Entfernung des Baustrahlers realisiert werden.

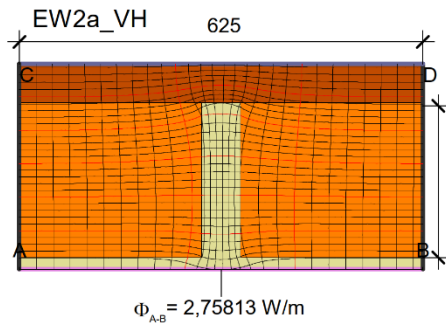
Anhang

Anhang 1: Vergleich Wandaufbauten Holzbau

Wandaufbauten statisch nicht tragend:

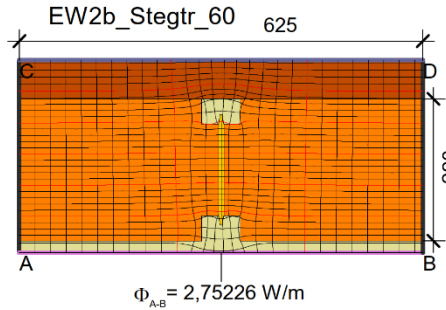


U-VALUES WALL ASSEMBLIES NOT LOAD BEARING | U-WERTE WANDAUFBAUTEN NICHTTRAGEND



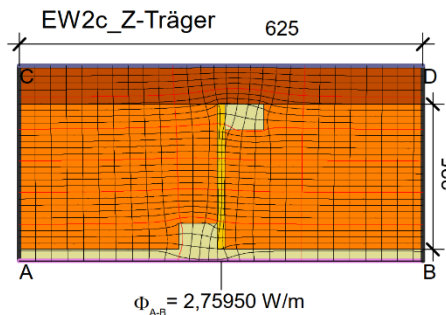
Material	λ[W/(m·K)]		
Insulation I Wärmedämmung 040	0,040		
Perlite I Perlite 045	0,045		
Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456	0,130		
Randbedingung	q[W/m ²]	θ[C]	R[(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,758}{30,000 \cdot 0,625} = 0,147 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



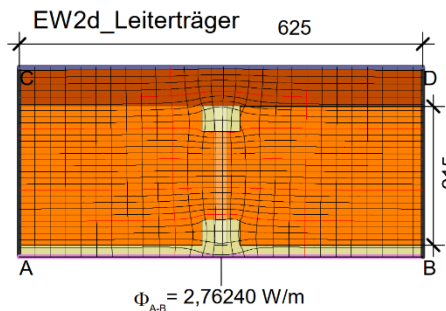
Material	λ[W/(m·K)]		
Insulation I Wärmedämmung 040	0,040		
Perlite I Perlite 045	0,045		
Softwood 50 % flow parallel I Weichholz 50 % parallel	0,208		
Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456	0,130		
Randbedingung	q[W/m ²]	θ[C]	R[(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,752}{30,000 \cdot 0,625} = 0,147 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



Material	λ[W/(m·K)]		
Insulation I Wärmedämmung 040	0,040		
Perlite I Perlite 045	0,045		
Softwood 50 % flow parallel I Weichholz 50 % parallel	0,208		
Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456	0,130		
Randbedingung	q[W/m ²]	θ[C]	R[(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,759}{30,000 \cdot 0,625} = 0,147 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



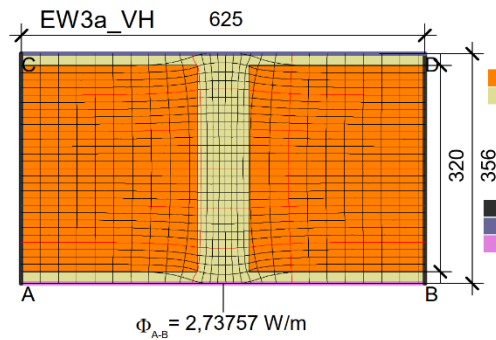
Randbedingung	q[W/m ²]	θ[C]	R[(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,762}{30,000 \cdot 0,625} = 0,147 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Material	λ[W/(m·K)]		
Insulation I Wärmedämmung 040	0,040		
Perlite I Perlite 045	0,045		
Softwood flow parallel I Weichholz Q parallel / Insulation I Wärmedämmung 040, 3D äquivalent R 62,5-397(10)	0,079		
Softwood flow parallel I Weichholz Q parallel / Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456, 3D äquivalent R 62,5-397(6)	0,155		
Softwood flow parallel I Weichholz Q parallel / Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456, 3D äquivalent R 62,5-397(8)	0,155		
Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456	0,130		

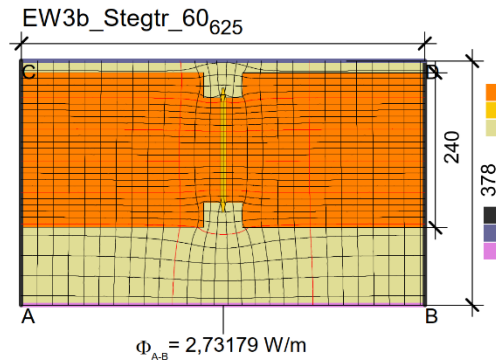
U-VALUES WALL ASSEMBLIES NOT LOAD BEARING | U-WERTE WANDAUFBAUTEN NICHTTRAGEND

Wandaufbauten statisch tragend:



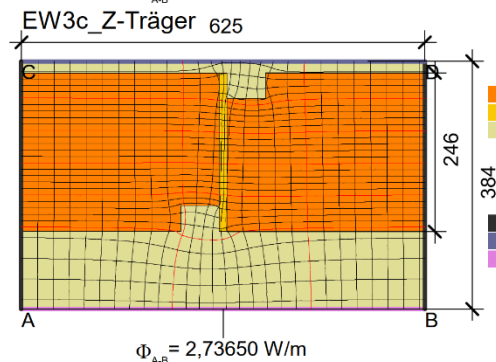
Material	λ [W/(m·K)]
Insulation Wärmedämmung 040	0,040
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,738}{30,000 \cdot 0,625} = 0,146 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$


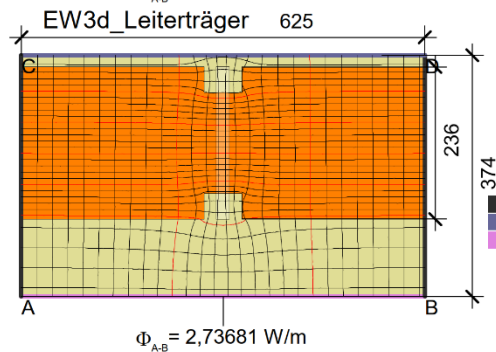
Material	λ [W/(m·K)]
Insulation Wärmedämmung 040	0,040
Softwood 50 % flow parallel Weichholz 50 % parallel	0,208
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,732}{30,000 \cdot 0,625} = 0,146 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$


Material	λ [W/(m·K)]
Insulation Wärmedämmung 040	0,040
Softwood 50 % flow parallel Weichholz 50 % parallel	0,208
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

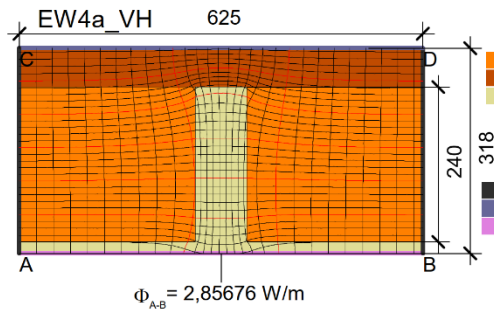
$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,737}{30,000 \cdot 0,625} = 0,146 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$


Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,737}{30,000 \cdot 0,625} = 0,146 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Insulation Wärmedämmung 040	0,040
Softwood flow parallel Weichholz Q parallel / Insulation Wärmedämmung 040, 3D äquivalent R 62,5-397(18)	0,079
Softwood flow parallel Weichholz Q parallel / Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456, 3D äquivalent R 62,5-397(29)	0,155
Softwood flow parallel Weichholz Q parallel / Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456, 3D äquivalent R 62,5-397(30)	0,155
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130

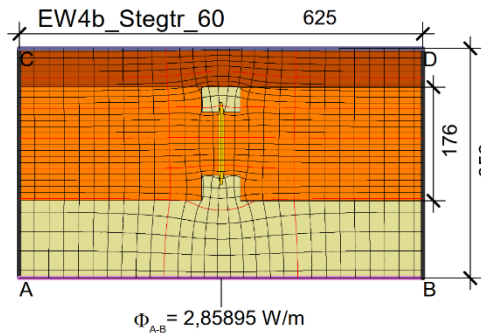
U-VALUES WALL ASSEMBLIES LOAD BEARING | U-WERTE WANDAUFBAUTEN TRAGEND



Material	λ[W/(m·K)]		
Insulation I Wärmedämmung 040	0,040		
Perlite I Perlite 045	0,045		
Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456	0,130		

Randbedingung	q[W/m ²]	θ[°C]	R[(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

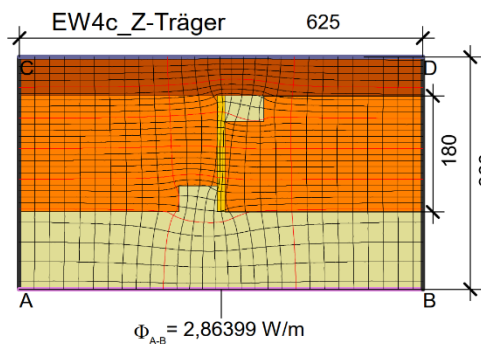
$$U_{eq\ A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,857}{30,000 \cdot 0,625} = 0,152 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$



Material	λ[W/(m·K)]		
Insulation I Wärmedämmung 040	0,040		
Perlite I Perlite 045	0,045		
Softwood 50 % flow parallel I Weichholz 50 % parallel	0,208		
Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456	0,130		

Randbedingung	q[W/m ²]	θ[°C]	R[(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

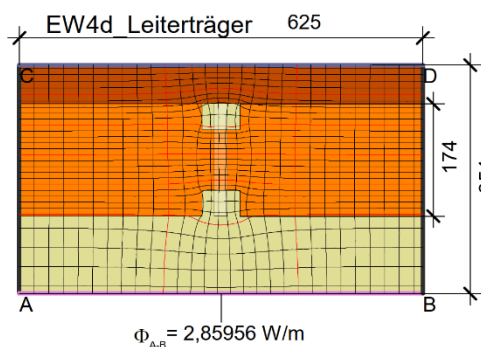
$$U_{eq\ A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,859}{30,000 \cdot 0,625} = 0,152 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$



Material	λ[W/(m·K)]		
Insulation I Wärmedämmung 040	0,040		
Perlite I Perlite 045	0,045		
Softwood 50 % flow parallel I Weichholz 50 % parallel	0,208		
Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456	0,130		

Randbedingung	q[W/m ²]	θ[°C]	R[(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq\ A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,864}{30,000 \cdot 0,625} = 0,153 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$



Randbedingung	q[W/m ²]	θ[°C]	R[(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet	-10,000		0,130
Interior Innen	20,000		0,130

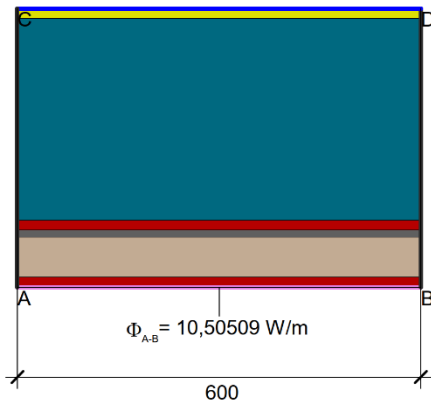
$$U_{eq\ A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{2,860}{30,000 \cdot 0,625} = 0,153 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Material	λ[W/(m·K)]		
Insulation I Wärmedämmung 040	0,040		
Perlite I Perlite 045	0,045		
Softwood flow parallel I Weichholz Q parallel / Insulation I Wärmedämmung 040, 3D äquivalent R 62,5-397(23)	0,079		
Softwood flow parallel I Weichholz Q parallel / Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456, 3D äquivalent R 62,5-397(39)	0,155		
Softwood flow parallel I Weichholz Q parallel / Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456, 3D äquivalent R 62,5-397(40)	0,155		
Softwood, OSB I Weichholz, OSB 10456	0,130		

U-VALUES WALL ASSEMBLIES LOAD BEARING | U-WERTE WANDAUFBAUTEN TRAGEND

Anhang 2: Vergleich Wandaufbauten Innendämmung

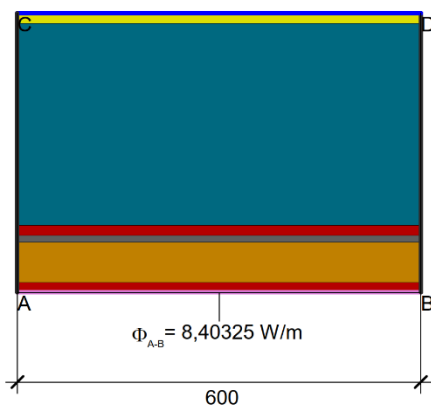
EW3a ID CaSi



Material	λ [W/(m·K)]	
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700	
Calcium silicate Calciumsilikat 060	0,060	
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570	
Lime cement plaster Kalkzement Putz	1,000	
Old masonry wall Altes Mauerwerk 1400 kg/m ³	0,650	
Adiabatic Adiat	0,000	
Exterior Außen	-10,000	0,040
Interior Innen	20,000	0,130

$$U_{\text{eq A-B}} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{10,505}{30,000 \cdot 0,600} = 0,584 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

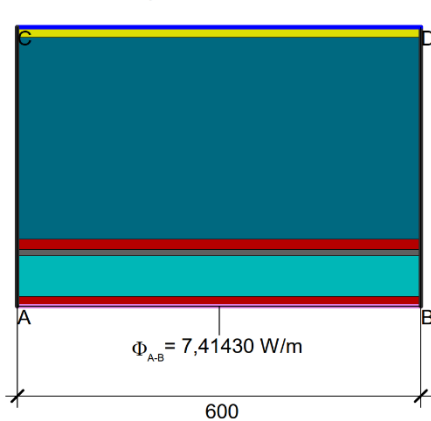
EW3b ID Mineralhartschaum



Material	λ [W/(m·K)]	
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700	
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570	
Lime cement plaster Kalkzement Putz	1,000	
Mineral hard foam Mineralhartschaum 042	0,042	
Old masonry wall Altes Mauerwerk 1400 kg/m ³	0,650	
Adiabatic Adiat	0,000	
Exterior Außen	-10,000	0,040
Interior Innen	20,000	0,130

$$U_{\text{eq A-B}} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{8,403}{30,000 \cdot 0,600} = 0,467 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

EW3c ID kapillarakt. PU

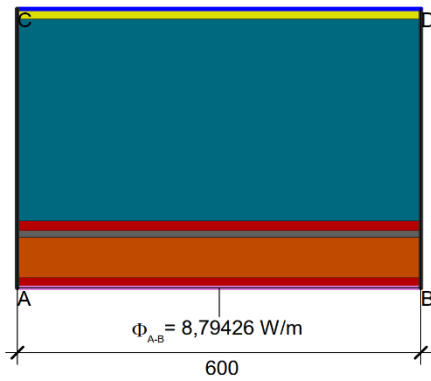


Material	λ [W/(m·K)]	
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700	
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570	
Lime cement plaster Kalkzement Putz	1,000	
Old masonry wall Altes Mauerwerk 1400 kg/m ³	0,650	
Polyurethane capillary active Polyurethan kapillaraktiv 035	0,035	
Adiabatic Adiat	0,000	
Exterior Außen	-10,000	0,040
Interior Innen	20,000	0,130

$$U_{\text{eq A-B}} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{7,414}{30,000 \cdot 0,600} = 0,412 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

U-VALUES WALLS WITH INTERIOR INSULATION | U-WERTE WÄNDE MIT INNENDÄMMUNG

EW3d ID Perlite

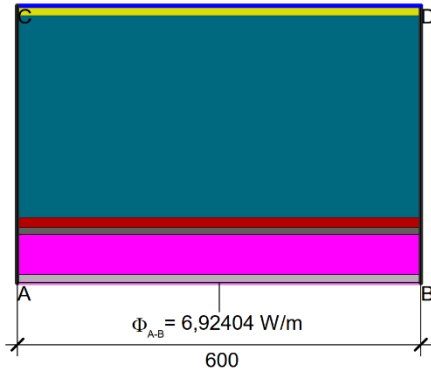


Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Lime cement plaster Kalkzement Putz	1,000
Old masonry wall Altes Mauerwerk 1400 kg/m ³	0,650
Perlite Perlite 045	0,045

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen	-10,000		0,040
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{8,794}{30,000 \cdot 0,600} = 0,489 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

EW3e ID Verbund EPS

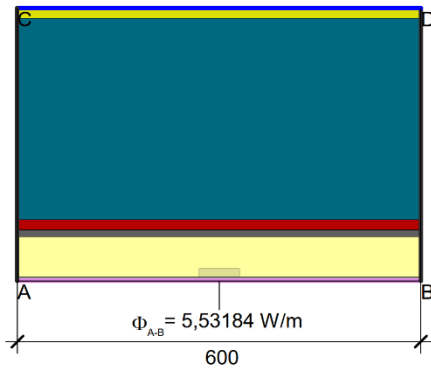


Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
EPS 032	0,032
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Lime cement plaster Kalkzement Putz	1,000
Linzmeier Silikatplatte	0,320
Old masonry wall Altes Mauerwerk 1400 kg/m ³	0,650

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen	-10,000		0,040
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{6,924}{30,000 \cdot 0,600} = 0,385 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

EW3f ID Verbund PU

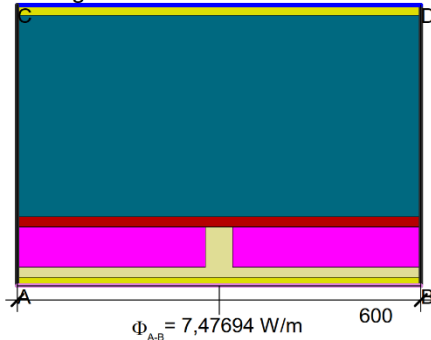


Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Lime cement plaster Kalkzement Putz	1,000
Linzmeier Linitherm PAL SIL	0,023
Linzmeier Silikatplatte	0,320
Old masonry wall Altes Mauerwerk 1400 kg/m ³	0,650
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen	-10,000		0,040
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{5,532}{30,000 \cdot 0,600} = 0,307 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

EW3g ID Matte



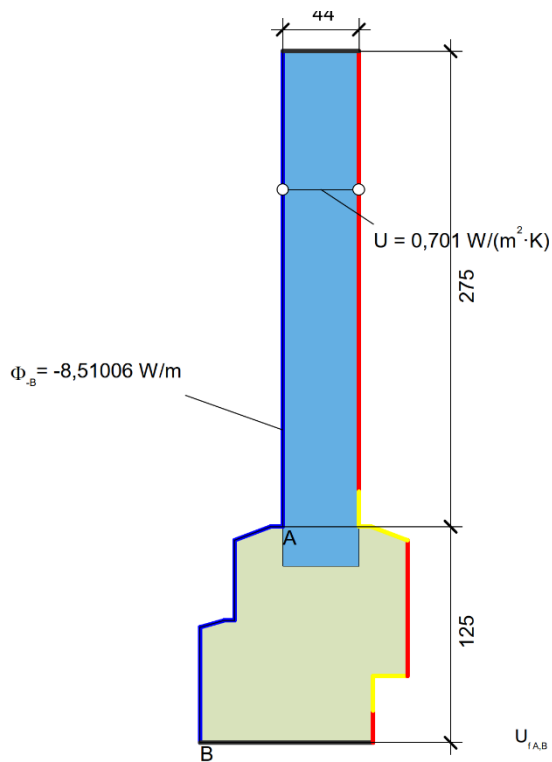
Material	λ [W/(m·K)]
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Lime cement plaster Kalkzement Putz	1,000
Mineral wool Mineralwolle 032	0,032
Old masonry wall Altes Mauerwerk 1400 kg/m ³	0,650
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen	-10,000		0,040
Interior Innen	20,000		0,130

$$U_{eq A-B} = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot b} = \frac{7,477}{30,000 \cdot 0,600} = 0,415 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

U-VALUES WALLS WITH INTERIOR INSULATION | U-WERTE WÄNDE MIT INNENDÄMMUNG

Anhang 3: Fenster und Fensteranschluss unten

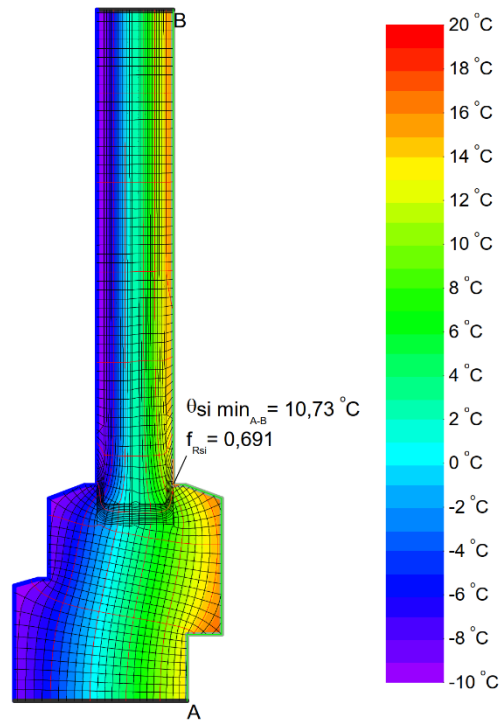
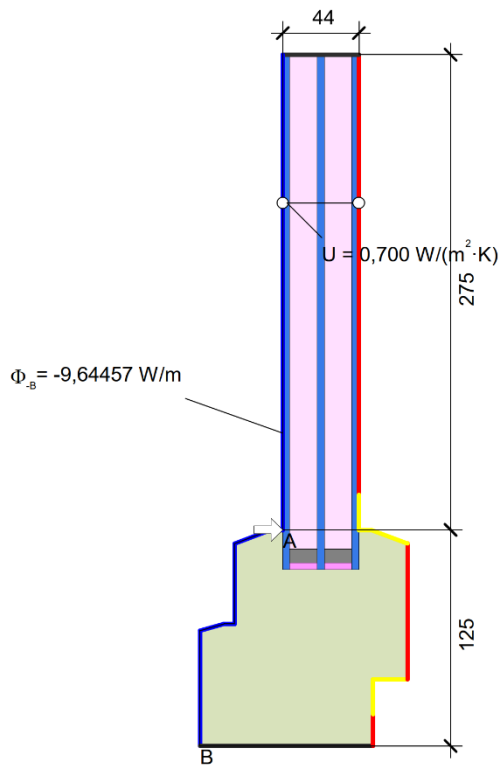


Material	λ [W/(m·K)]
Panel Maske	0,035
Standard frame Standardrahmen	0,084

Randbedingung	q [W/m²]	θ_f [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen	-10,000		0,040
Interior, frame, normal	20,000		0,130
Interior, frame, reduced	20,000		0,200

Randbedingung	q [W/m²]	θ_f [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen	-10,000		0,040
fRsi: Interior Innen	20,000		0,250

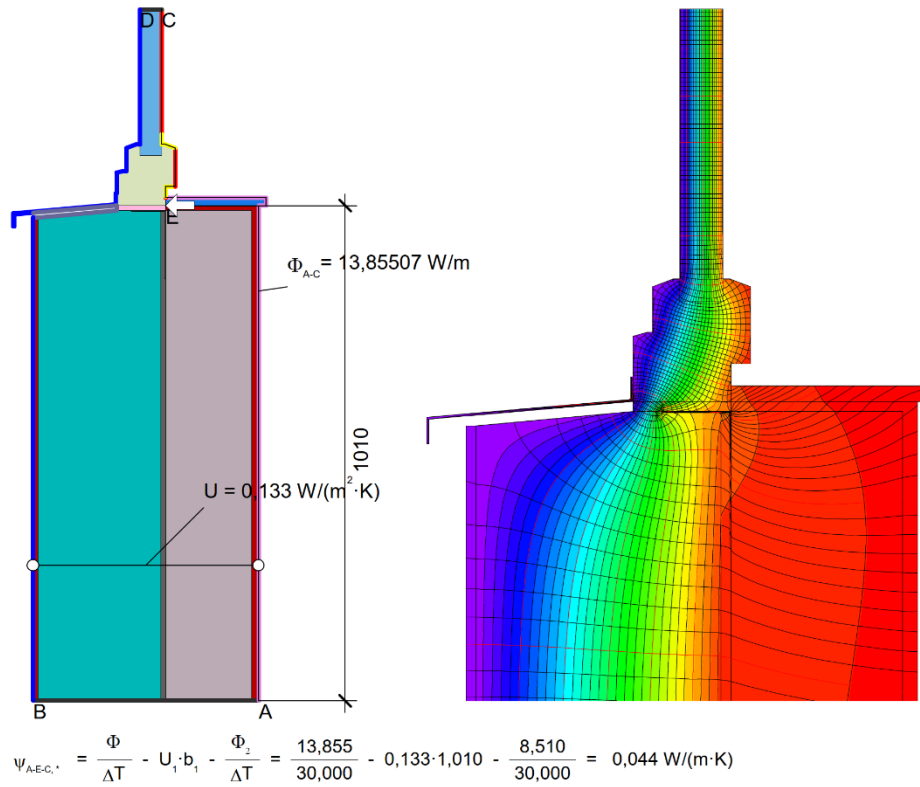
$$U_{f(A,B)} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_p \cdot b_p}{b_f} = \frac{\frac{8,510}{30,000} - 0,701 \cdot 0,275}{0,125} = 0,728 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



$$\psi_{edA} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_g \cdot b_g - U_f \cdot b_f = \frac{9,645}{30,000} - 0,700 \cdot 0,275 - 0,728 \cdot 0,125 = 0,038 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

OB1: WINDOW FRAME – BOTTOM | FENSTERRAHMEN – UNTEN

Verwendetes Fenster

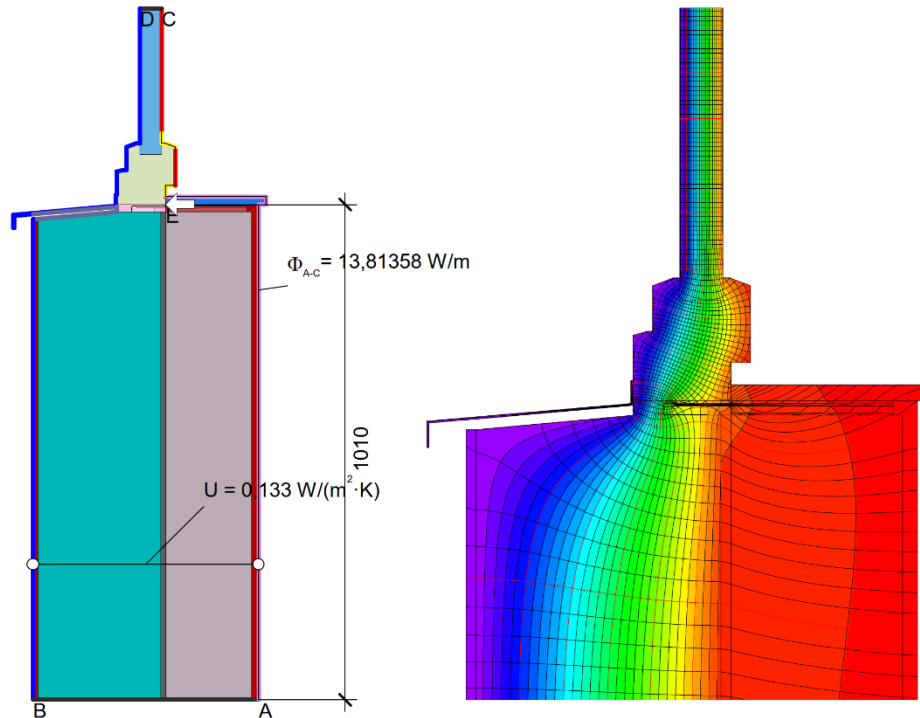


Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
Artificial stone Kunststein 10456	1,300
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl / Adhesive mortar Klebemörtel, 3D äquivalent R 100-410	12,724
Steel Stahl / Polyurethane capillary active Polyurethan kapillaraktiv 035, 3D äquivalent R 100-410	12,222

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabatisch	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200

$\phi = 8,5101 \text{ W/m}$

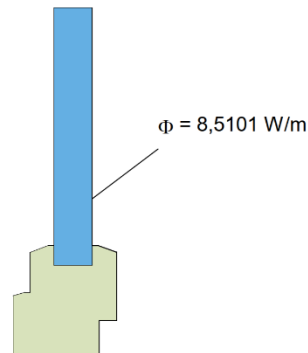
EW1_OB1_1: WINDOW CONNECTION STEEL ANGLE



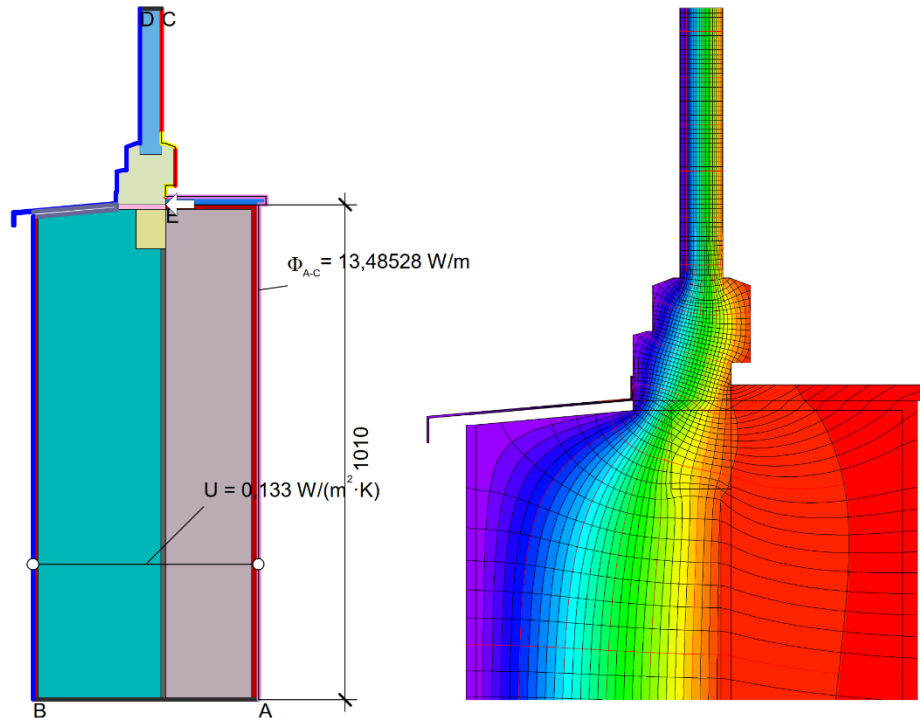
$$\psi_{A-E-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{13,814}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,043 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebmörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
Artificial stone Kunststein 10456	1,300
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Luftschicht, ruhend, horizontal, Dicke: 4 mm / Interior plaster Gipsputz 10456, 3D äquivalent R 46-450(5)	0,516
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Polyamide 25% Glassfiber / PU in-situ foam PU-Ortschaum 040, 3D äquivalent R 80-450	0,086
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl / Interior plaster Gipsputz 10456, 3D äquivalent R 46-450(10)	5,623
Steel Stahl / Interior plaster Gipsputz 10456, 3D äquivalent R 46-450(9)	5,623
Steel Stahl / PU in-situ foam PU-Ortschaum 040, 3D äquivalent R 46-450(9)	5,147

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



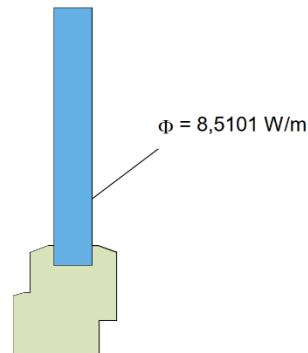
EW1_OB1_2: WINDOW CONNECTION SFS JB-DK-R



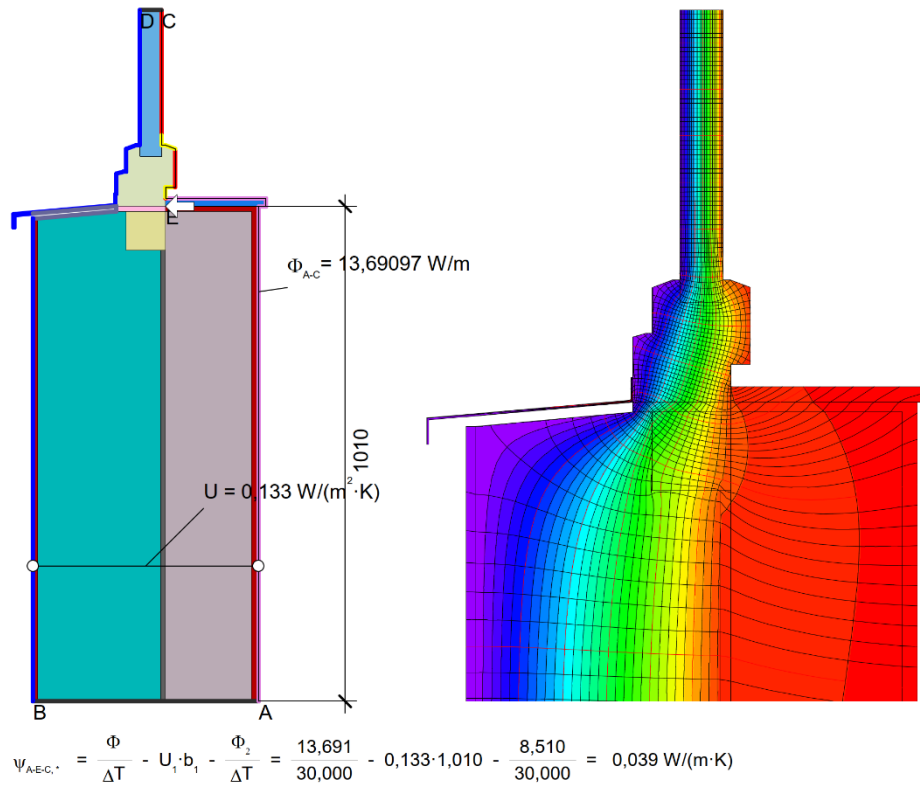
$$\psi_{A-E-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{13,485}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
Artificial stone Kunststein 10456	1,300
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130
Standard frame Standardrahmen	0,084

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200

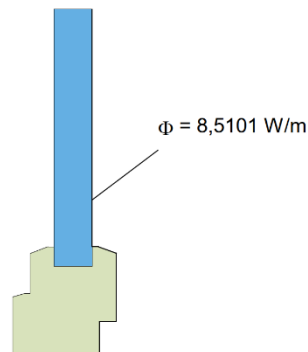


EW1_OB1_3: WINDOW CONNECTION WOODEN BEAM 60 x 80 mm

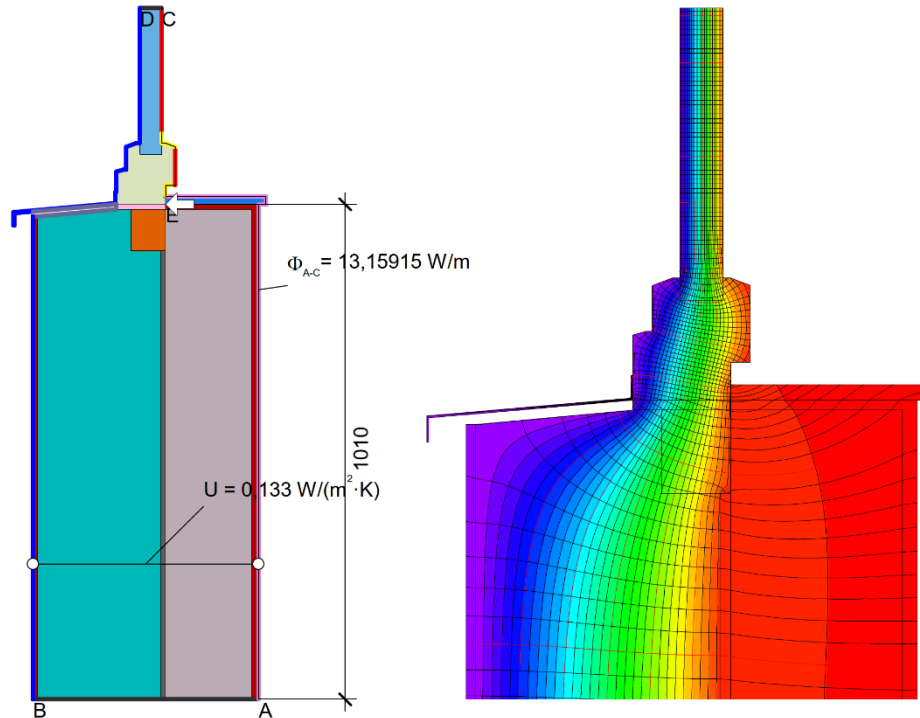


Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
Artificial stone Kunststein 10456	1,300
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130
Standard frame Standardrahmen	0,084

Randbedingung	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



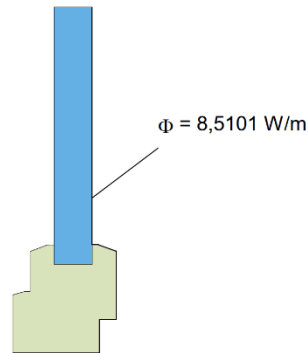
EW1_OB1_4: WINDOW CONNECTION WOODEN BEAM 80 x 80 mm



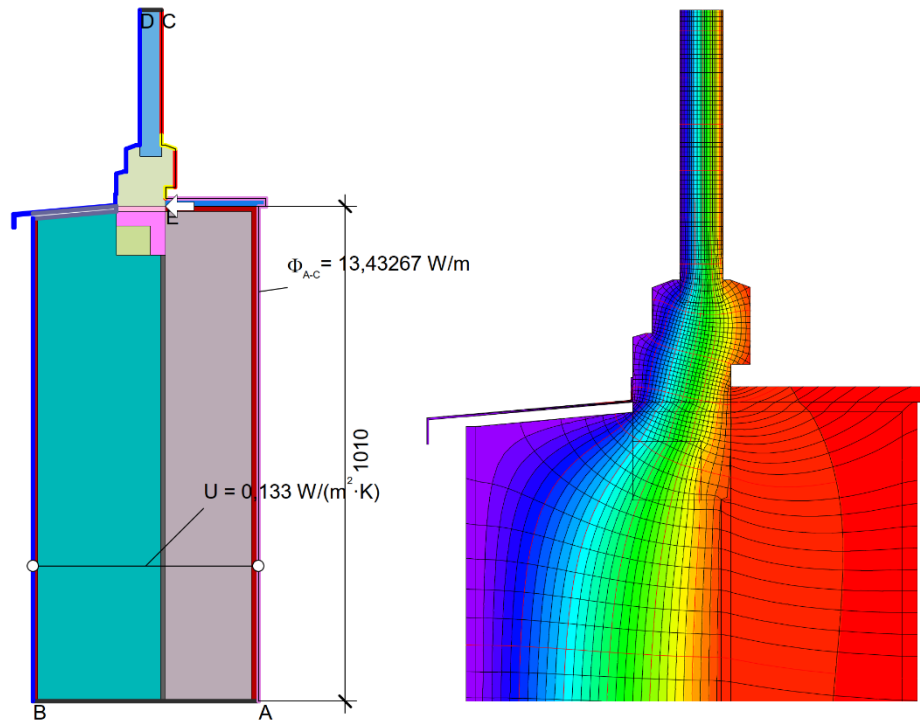
$$\psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_i \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{13,159}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,021 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
Artificial stone Kunststein 10456	1,300
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Rigid EPS-foam incl. screws Fester EPS-Schaum inkl. Schrauben	0,045
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



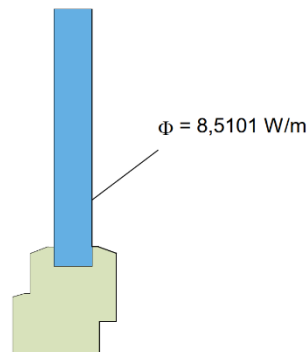
EW1_OB1_5: WINDOW CONNECTION HIGH DENSITY EPS MOUNTING SYTEM 70 x 85 mm



$$\psi_{A,E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_i \cdot b_i - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{13,433}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,030 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

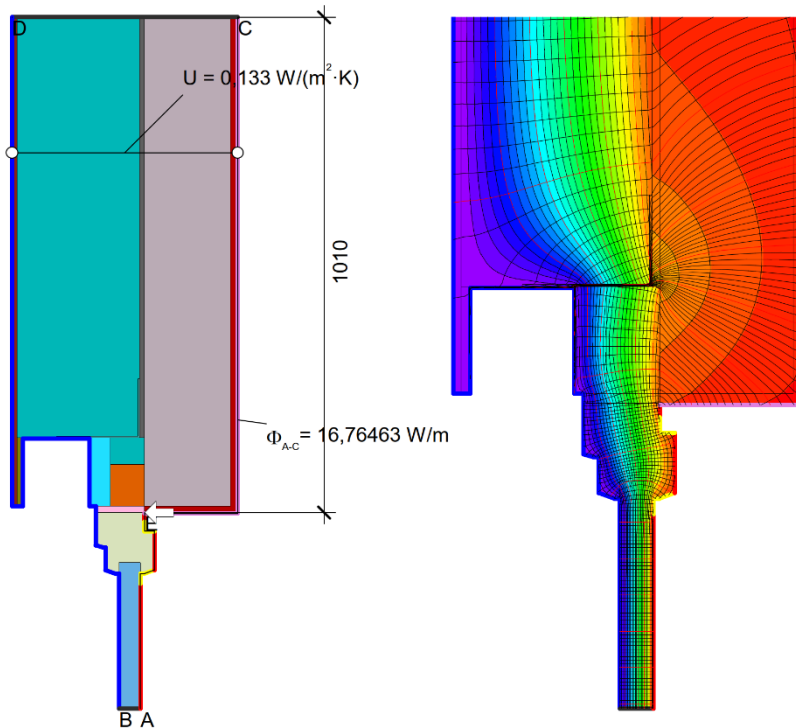
Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
Artificial stone Kunststein 10456	1,300
Insulation Wärmedämmung 036	0,036
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Recycled Polyurethane PU-Recyclat Purenit 500 M	0,086
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084

Randbedingung	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



EW1_OB1_6: WINDOW CONNECTION RECYCLED PU MOUNTING SYSTEM 100 x 90 mm

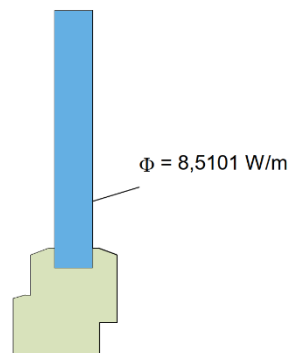
Anhang 4: Fensteranschluss oben mit Verschattungsvarianten



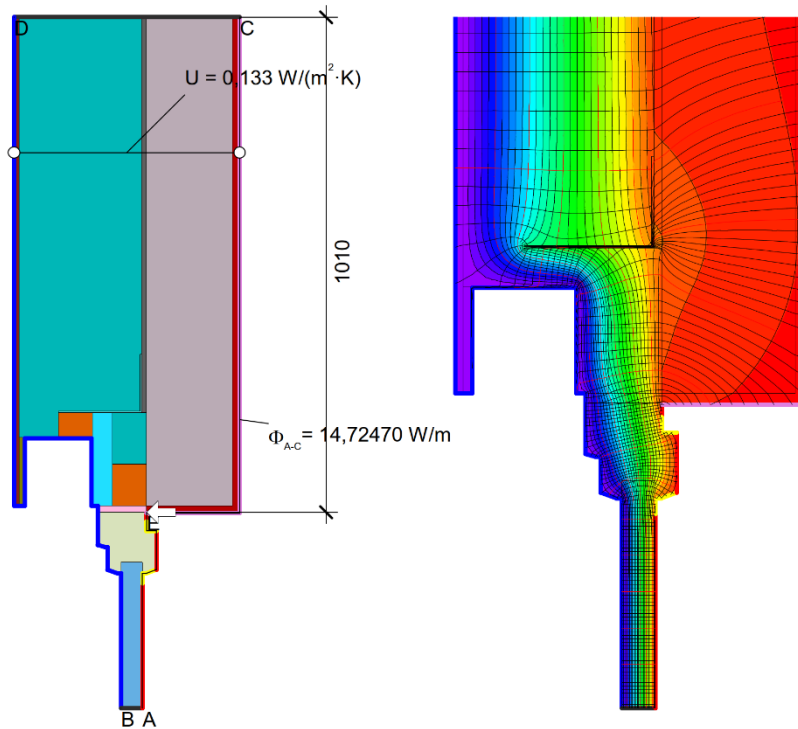
$$\psi_{A-E-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{16,765}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,141 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Faserzement	0,350
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU foam PU-Schaum 027	0,027
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Rigid EPS-foam incl. screws Fester EPS-Schaum inkl. Schrauben	0,045
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl	50,000
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-1000(1)	5,032

Randbedingung	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen	-10,000		0,040
Interior Innen	20,000		0,130
Interior, frame, normal	20,000		0,130
Interior, frame, reduced	20,000		0,200



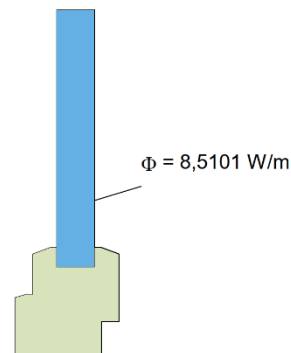
EW1_OH1_1: WI CONNECTION ROLLING SHUTTER BOX WITH PU AND HIGH DENSITY EPS V1



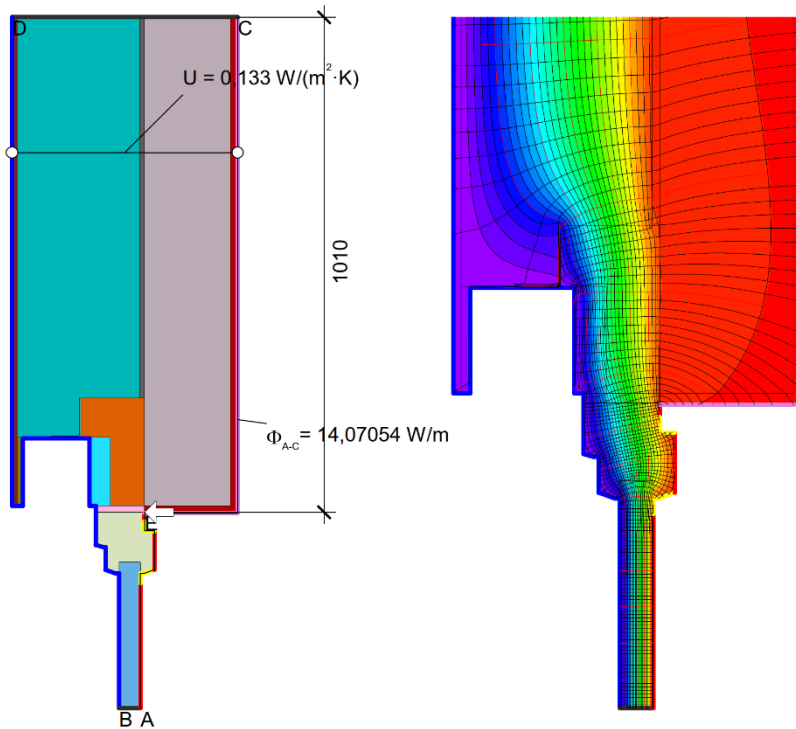
$$\psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{14,725}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,073 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Faserzement	0,350
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU foam PU-Schaum 027	0,027
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Rigid EPS-foam incl. screws Fester EPS-Schaum inkl. Schrauben	0,045
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl	50,000
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-1000(2)	5,032

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiatbat		0,000	
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



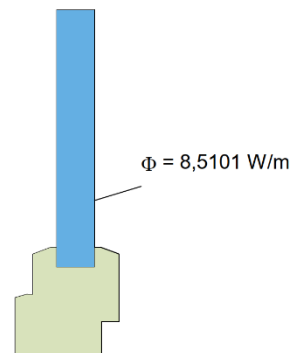
EW1_OH1_2: WI CONNECTION ROLLING SHUTTER BOX WITH PU AND HIGH DENSITY EPS V2



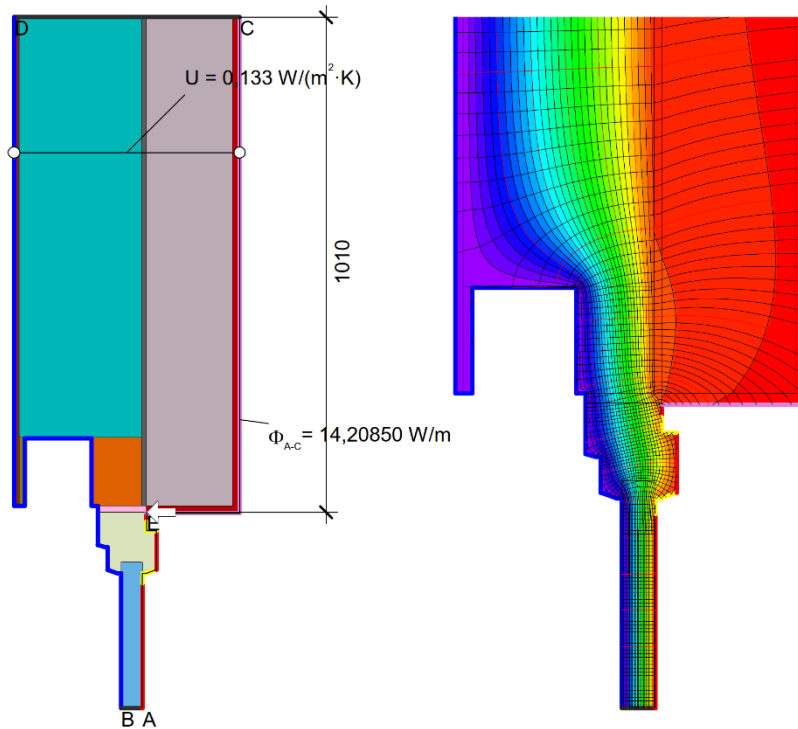
$$\psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{14,071}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,051 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Faserzement	0,350
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU foam PU-Schaum 027	0,027
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Rigid EPS-foam incl. screws Fester EPS-Schaum inkl. Schrauben	0,045
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl	50,000
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-1000(3)	5,032

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiatat	0,000		
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



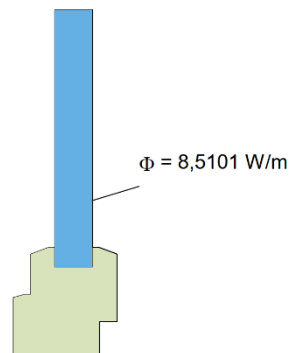
EW1_OH1_3: WI CONNECTION ROLLING SHUTTER BOX WITH PU AND HIGH DENSITY EPS V3



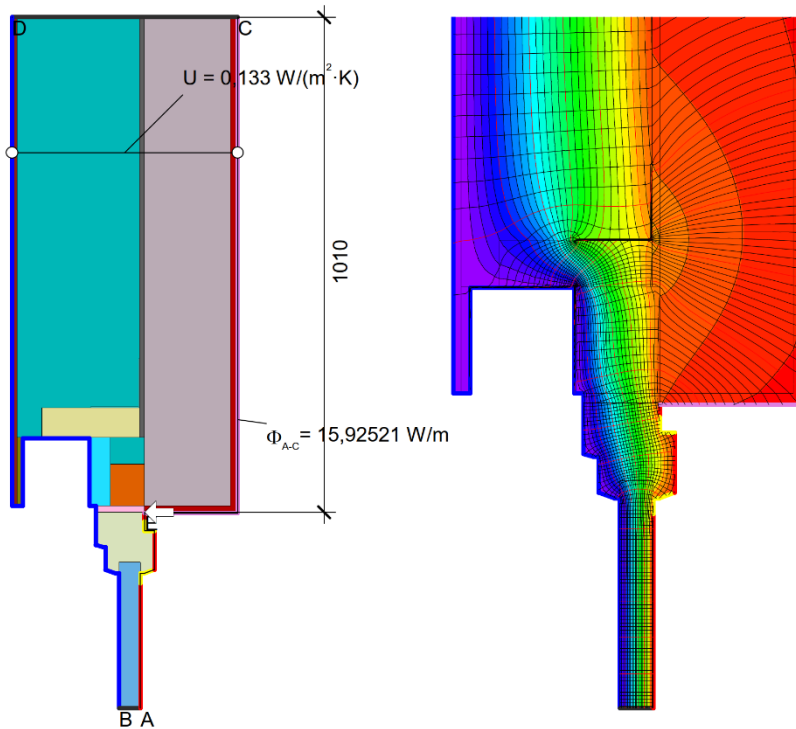
$$\psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{14,208}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,056 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Faserzement	0,350
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Rigid EPS-foam incl. screws Fester EPS-Schaum inkl. Schrauben	0,045
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl	50,000

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



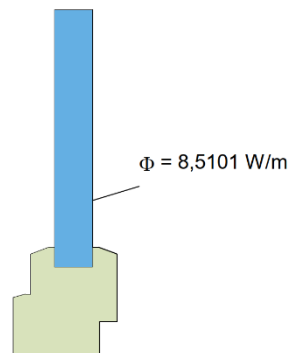
EW1_OH1_4: WI CONNECTION ROLLING SHUTTER BOX WITH HIGH DENSITY EPS



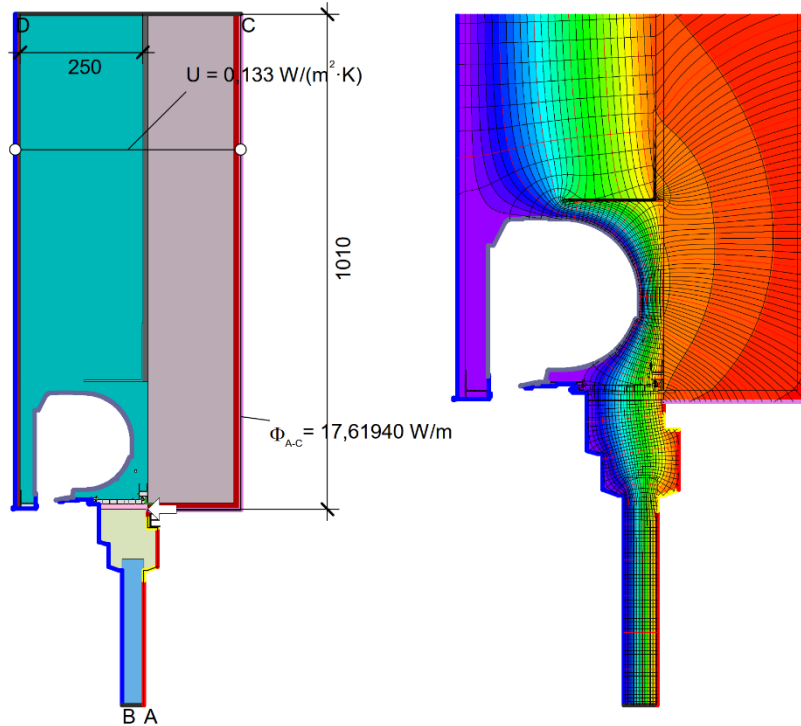
$$U_{AEC} = \frac{\Phi}{\Delta T} = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{15,925}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,113 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Faserzement	0,350
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU foam PU-Schaum 027	0,027
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Rigid EPS-foam incl. screws Fester EPS-Schaum inkl. Schrauben	0,045
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl	50,000
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-400(1)	12,526
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-400(2)	12,526

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat		0,000	
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



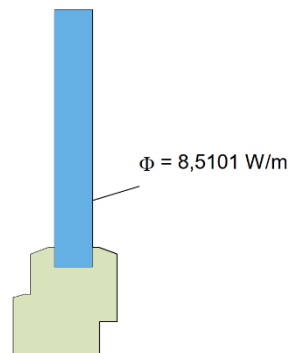
EW1_OH1_5: WI CONNECTION ROLLING SHUTTER BOX WITH WOOD, PU & HIGH DENSITY EPS



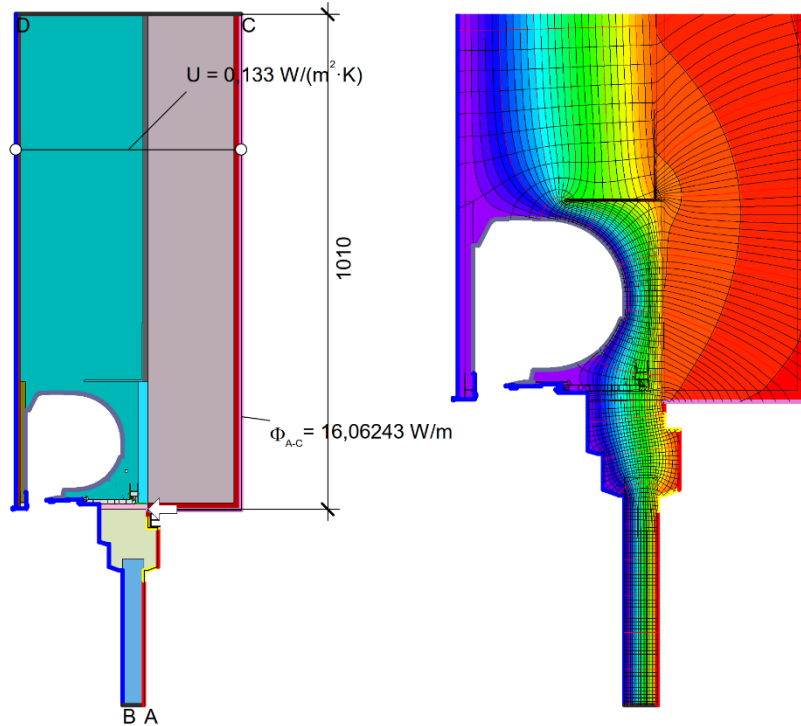
$$\psi_{AEC} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{17,619}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,170 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
EPDM	0,250
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Polyvinylchloride (PVC)	0,170
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-1000	5,032
Unvent. cavity unbel. Hohlr. *	
* EN ISO 10077-2:2017, 6.4.3	

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



EW1_OH1_6: WI CONNECTION INSULATED ROLLING SHUTTER BOX V1

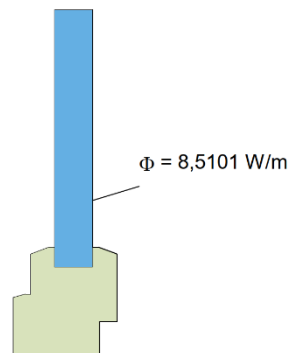


$$\psi_{AEC} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{16,062}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,118 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

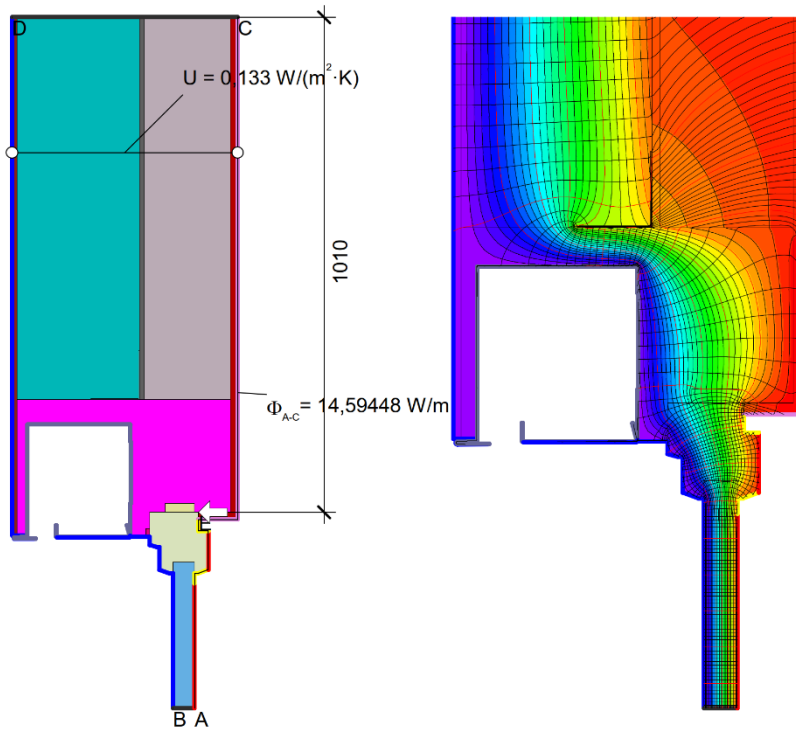
Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
EPDM	0,250
Faserzement	0,350
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU foam PU-Schaum 027	0,027
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Polyvinylchloride (PVC)	0,170
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-1000(1)	5,032
Unvent. cavity unbel. Hohlr. *	

* EN ISO 10077-2:2017, 6.4.3

Randbedingung	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



EW1_OH1_7: WI CONNECTION INSULATED ROLLING SHUTTER BOX WITH PU V2

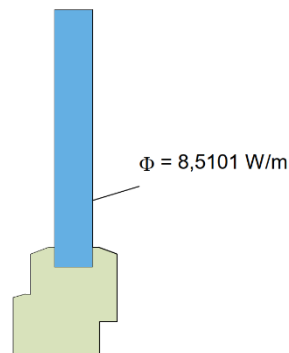


$$\psi_{A-E-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{14,594}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,069 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

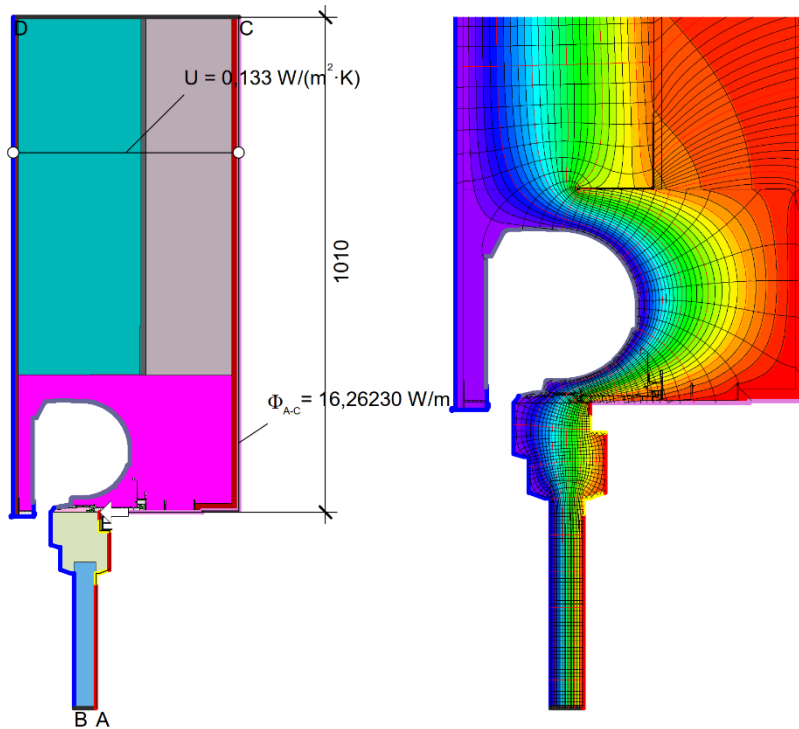
Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
EPS 032	0,032
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
Panel Maske	0,035
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Silicone Silikon	0,350
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl	50,000
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-400(5)	12,526
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-400(6)	12,526
Unvent. cavity unbel. Hohlr. *	

* EN ISO 10077-2:2017, 6.4.3

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



EW1_OH1_8: WI CONNECTION INSULATED ROLLING SHUTTER BOX V3

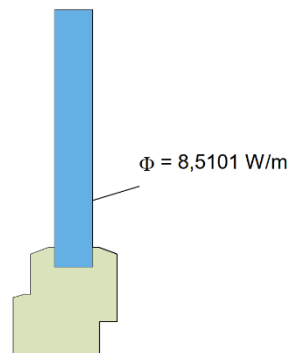


$$\psi_{A-D,*} = \frac{\Phi}{\Delta T} - \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_2 \cdot b_2 = \frac{16,262}{30,000} - \frac{8,510}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 = 0,125 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Aluminum Aluminium 10456	160,000
EPDM	0,250
EPS 032	0,032
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Polyvinylchloride (PVC)	0,170
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-400(10)	12,526
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 100-400(9)	12,526
Unvent. cavity unbel. Hohlr. *	

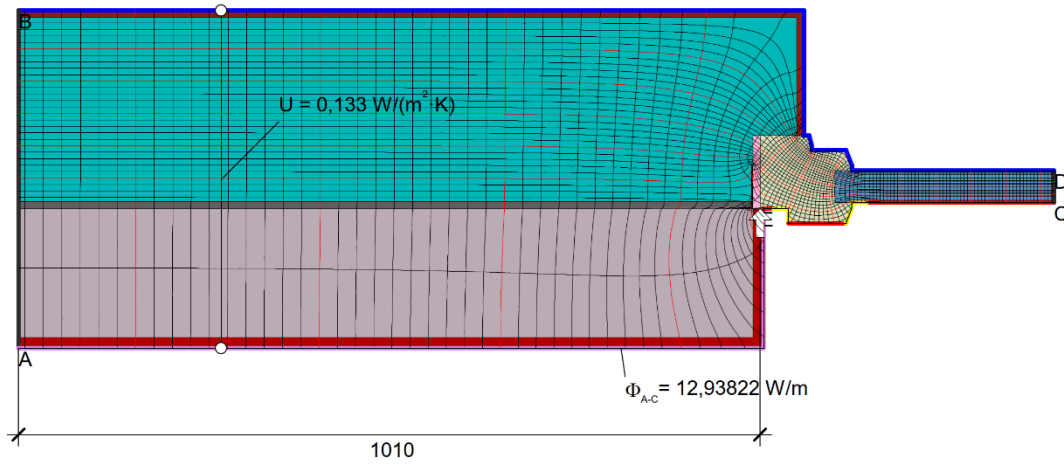
* EN ISO 10077-2:2017, 6.4.3

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior vent. Außen belüftet		-10,000	0,130
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



EW1_OH1_9: WI CONNECTION INSULATED ROLLING SHUTTER BOX V4

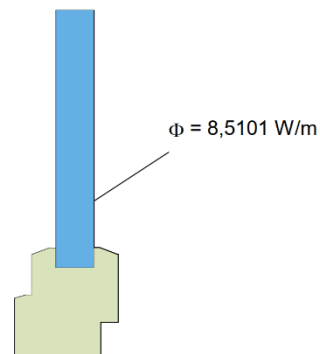
Anhang 5: Fensteranschluss seitlich



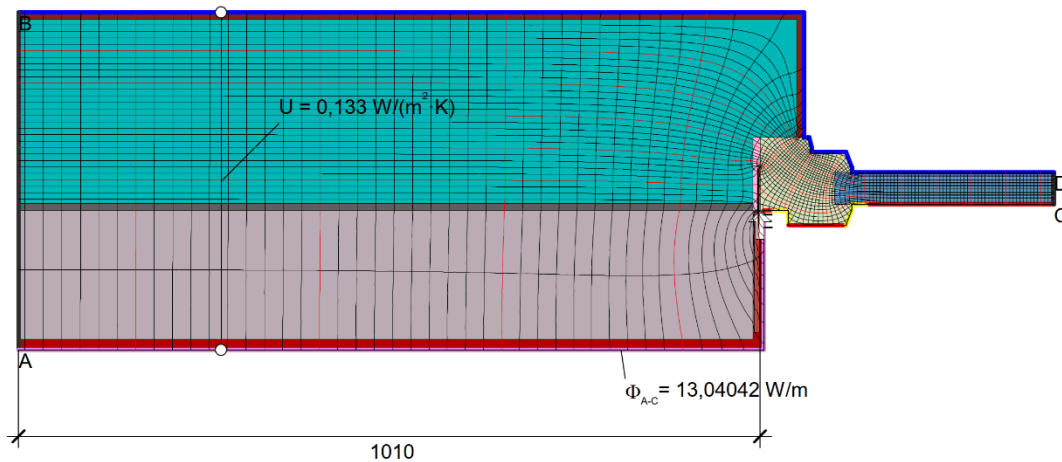
$$\Psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{12,938}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,014 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl / Adhesive mortar Klebemörtel, 3D äquivalent R 80-450(1)	9,464
Steel Stahl / Insulation Wärmedämmung 035, 3D äquivalent R 80-450(1)	8,918

Randbedingung	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



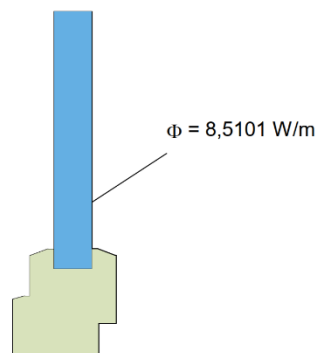
EW1_OJ1_1: WINDOW CONNECTION JAMB | SFS BRACKET



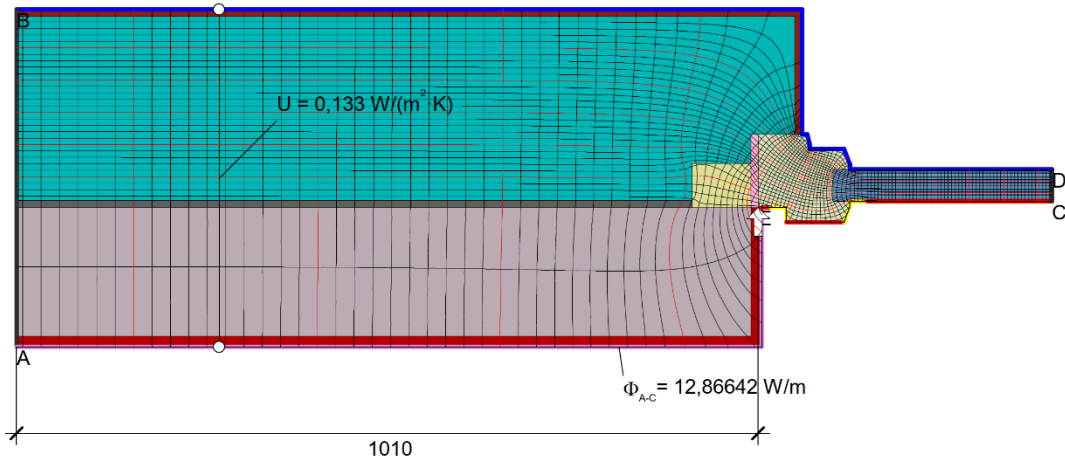
$$\psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{13,040}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,017 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Luftschicht, ruhend, horizontal, Dicke: 4 mm / Interior plaster Gipsputz 10456, 3D äquivalent R 46-450(3)	0,516
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084
Steel Stahl / Interior plaster Gipsputz 10456, 3D äquivalent R 46-450(5)	5,623
Steel Stahl / Interior plaster Gipsputz 10456, 3D äquivalent R 46-450(6)	5,623
Steel Stahl / PU in-situ foam PU-Ortschaum 040, 3D äquivalent R 46-450(6)	5,147
Steel Stahl / PU in-situ foam PU-Ortschaum 040, 3D äquivalent R 46-450(7)	5,147

Randbedingung	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



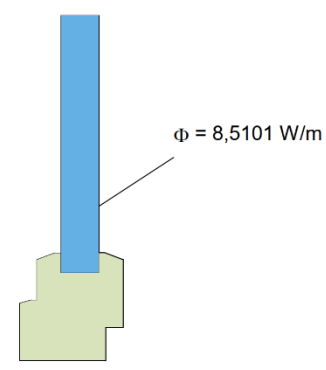
EW1_OJ1_2: WINDOW CONNECTION JAMB | SFS JB-D-R



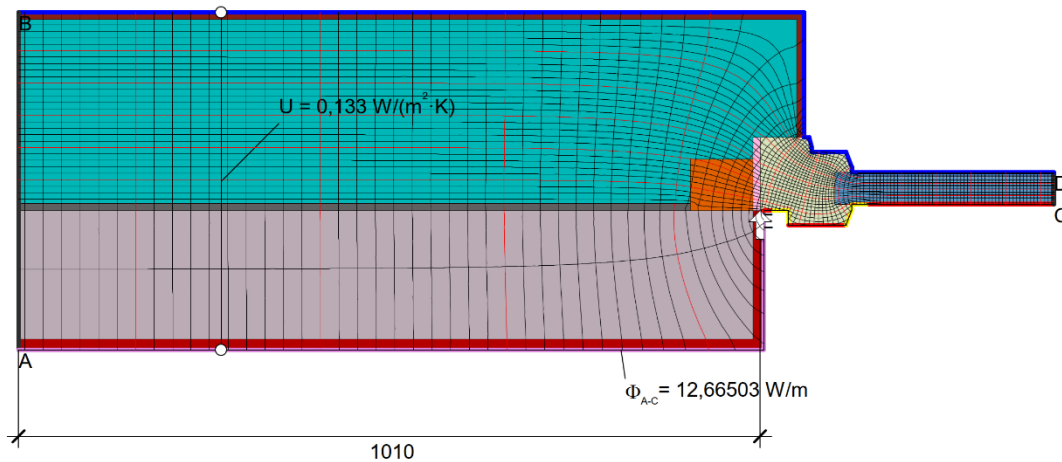
$$\psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{12,866}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,011 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Softwood, OSB Weichholz, OSB 10456	0,130
Standard frame Standardrahmen	0,084

Randbedingung	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiabat	0,000		
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



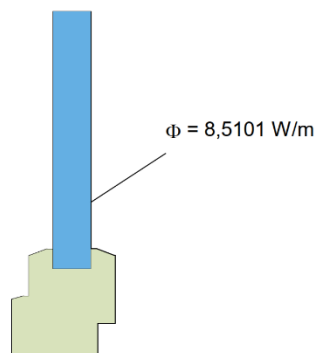
EW1_OJ1_3: WINDOW CONNECTION JAMB | WOODEN BLOCK 60 x 80 mm



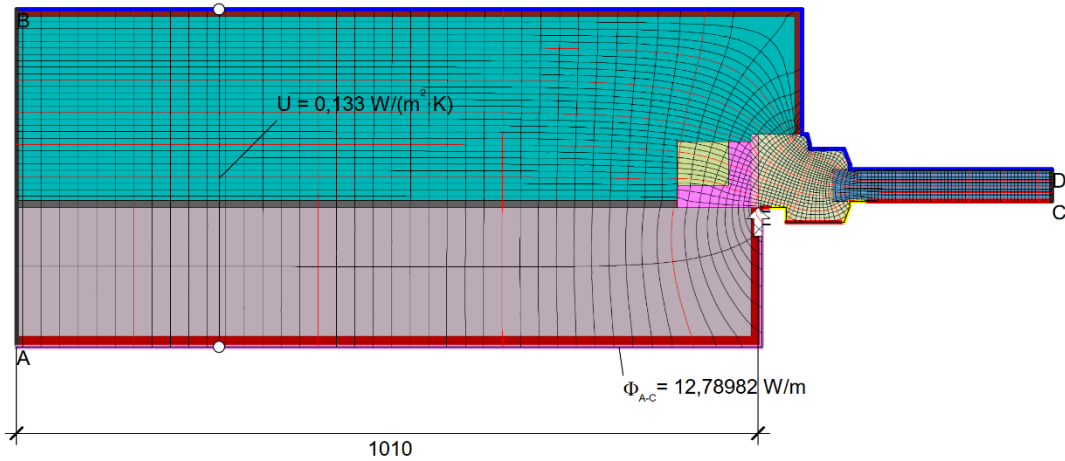
$$\psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{12,665}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,005 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Rigid EPS-foam incl. screws Fester EPS-Schaum inkl. Schrauben	0,045
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084

Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



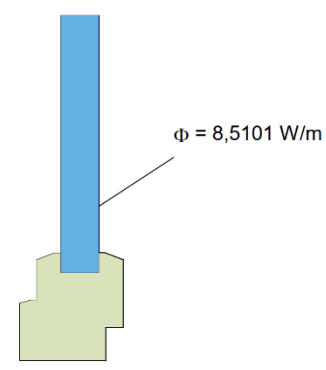
EW1_OJ1_4: WI CONNECTION HIGH DENSITY EPS MOUNTING SYSTEM 70 x 85 mm



$$\psi_{A-E,C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - \frac{\Phi_2}{\Delta T} = \frac{12,790}{30,000} - 0,133 \cdot 1,010 - \frac{8,510}{30,000} = 0,009 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
Adhesive mortar Klebemörtel	0,700
Insulation Wärmedämmung 036	0,036
Insulation Wärmedämmung 035	0,035
Interior plaster Gipsputz 10456	0,570
Organic compound plaster Kunstharzputz 4108-4	0,700
PU in-situ foam PU-Ortschaum 040	0,040
Panel Maske	0,035
Recycled Polyurethane PU-Recyclat Purenit 500 M	0,086
Sand-lime stone Kalksandstein 1745	1,000
Standard frame Standardrahmen	0,084

Randbedingung	q [W/m²]	θ [°C]	R [(m²·K)/W]
Adiabatic Adiat	0,000		
Exterior Außen		-10,000	0,040
Interior Innen		20,000	0,130
Interior, frame, normal		20,000	0,130
Interior, frame, reduced		20,000	0,200



EW1_OJ1_5: WI CONNECTION RECYCLED PU MOUNTING SYSTEM 100 x 90 mm

Abbildungsverzeichnis

Figure 1 : Themenspezifische Mindmap zum energieeffizienten und nachhaltigen Bauen und Sanieren mit Einordnung möglicher Lehrmaterialien (Materialproben, Mockups und Videos) ohne Anspruch auf Vollständigkeit	9
Figure 2 (Quelle: UIBK) Probenkoffer mit Probenschachteln, welche mit QR-Codes zum Einscannen versehen wurden.....	12
Figure 3 (Quelle: UIBK) Screenshot (exemplarisch für das Material Schafwolle) für die Anzeige am Smartphone nach Aufruf des QR-Code-Links	13
Figure 4 (Quelle: UIBK) Musterkoffer für WDVS-Zubehör	19
Figure 5 (Quelle: UIBK) Muster für Luftdichtheitszubehör: Kabeldurchführungen (links), Folienmaterialproben (rechts)	20
Figure 6 (Quelle: UIBK) Schallgedämmte Überströmer im Türblatt (Fa. VanAir, CAN).....	23
Figure 7 (Quelle: Fa. Ebök, Tübingen) Türsturz mit Überströmer durch Ausfräsen einer Holzzarge.....	24
Figure 8 (Quelle: ASSA ABLOY (Schweiz), Absenkichtung für Holz- und Metall-Türen bei gleichzeitigem Luftdurchlass mit erhöhter Schalldämmung	25
Figure 9 Mit Hilfe eines Kastens der mit einer Plexiglasplatte abgedeckt ist, kann der Einblasvorgang beobachtet und kontrolliert werden.....	26
Figure 10 (Quelle: experimentis: Physik für Alle) Ausblasen einer Kerzenflamme durch Anblasen einer Glasflasche.....	27
Figure 11 (Quelle: UIBK) Strömungsvisualisierung des Zulufteinlasses in einem Klassenraum mit Nebel	27
Figure 12 (Quelle: UIBK) Strömungsvisualisierung des Zulufteinlasses in einem Klassenraum mit Nebel	28
Figure 13 (Quelle: UIBK) Prinzipskizze eines Versuchsaufbaus zum Testen von Schalldämpfern	29
Figure 14 (Quelle: UIBK) Eckelement für Bodenplattendämmung der Fa. Lohr. 33	
Figure 15 (Quelle: PHI) Fenstereinbau im Rahmen der Stufensanierung: Links: Zwischenzustand: Bestandsfenster noch in der Mauerwerksebene, alter Rolladenkasten mit Dämmstoff verfüllt, neuer Rolladen als Linkswickler in der Dämmebene, Laibungsdämmung mit Blendrahmenüberdämmung; Rechts: Endzustand: Fenster in der Dämmebene.....	36
Figure 16 (Quelle: Franziska Langenstrass) Fenstereinbau im Rahmen der Stufensanierung: Anschauungsmodell zum Fenstereinbau in der Dämmebene	37
Figure 17 (Quelle: PHI) Laminar Flow Zuluftverteiler: Schnitt durch den Aufbau mit Trapezblech (oben) und Verteiler im Flur im Grundriss (unten).....	38

Figure 18 (Quelle: Helios RenoPipe) Montage der Befestigungs-Clips mit Deckendübel (links); luftdichte Kanalverbindung mittels Stecknippel (Mitte); Kanalmontage durch Einstecken in den Befestigungs-Clip (rechts)	39
Figure 19 (Quelle: Zehnder comfoTube flat 51) Doppelkanalführung im Grundris (links); Bodenmontage mit 90°-Krümmung	40
Figure 20 (Quelle: Fa. Schütz, AIRCONOMY) Montage der Fußbodenheizung (Oben); Prinzipdarstellung der Luftführung mit Luftauslässen und Überströmung	40
Figure 21 (Quelle: UIBK) Aktive Überströmer der Fa. Pichler Lufttechnik; Gehäuse geöffnet (links) bzw. geschlossen (rechts)	41
Figure 22 (Quelle: Fa. bluMartin, Swegon Group) Aktiver Überströmer für den Einbau in der Kernbohrung (freeAir plus)	42
Figure 23 (Quelle: PHI) Links: Schnittskizze; Rechts: Skizzenansicht von vorne .	43
Figure 24 (Quelle: PHI) Skizze zum Modellaufbau mit den Unterschiedlichen Dämmstärken	44
Figure 25 (Quelle: PHI) Skizze zum Modellaufbau mit den Unterschiedlichen Dämmstärken	45
Figure 26 (Quelle: PHI) Skizze zum Modellaufbau mit den Unterschiedlichen Dämmstärken	47
Figure 27 (Quelle: PHI) Skizze zum Modellaufbau mit den gedämmten Armaturen mit unterschiedlichen Materialien	48
Figure 28 (Quelle: Passivhaus Institut Darmstadt) Lufteinlass in der Hessenwald-Schule in Weiterstadt	49
Figure 29 (Quelle: Passivhaus Institut Darmstadt) Luftauslass in der Albrecht-Dürer-Schule in Weiterstadt	49
Figure 30 (Quelle: Passivhaus Institut Darmstadt) : Links: Darstellung des Luftauslasses von außen; Rechts: Darstellung des Luftauslasses als Vertikalschnitt (Quelle beide: Passivhaus Institut Darmstadt)	50
Figure 31 Dachlattenverlängerung (Quelle: https://www.d-tack.de/media/staempfli_imageresizer/cache/catalog/product/dachlattenverlaengerung_group/additional_images/1000x_co_ar_tr_90/z56xxxx_dachlattenverlaengerung_aw_01_an_steildach_web.jpg)	52
Figure 32 Dachlattenverlängerung (Quelle: https://www.d-tack.de/media/staempfli_imageresizer/cache/catalog/product/dachlattenverlaengerung_group/additional_images/1000x_co_ar_tr_90/z56xxxx_dachlattenverlaengerung_aw_07_technische_zeichnung_web.jpg)	53

Figure 33 (Quelle: UIBK) : Links oben: Thermographie; Rechts oben: Innenansicht; Unten: Gedämmtes und ungedämmtes Fenster im Modellaufbau (In der unteren Bildhälfte sind die Thermostaten zu erkennen)	57
Figure 34 (Quelle: UIBK) : Fotodokumentation zum Mockup Luftdichtheit.....	61
Figure 35 (Quelle: UIBK) : Detailansichten zum Mockup Luftdichtheit.....	62
Figure 36 (Quelle: UIBK) Prinzipschema des Luftdichtheits-Mock-Ups, Schnitt durch Gehäuse und Frontplatte.....	62
Figure 37 (Quelle: UIBK) Funktionsschema zum Messprinzip bei Unter bzw. Überdruck (0-70 Pa)	63
Figure 38 (Quelle: UIBK) : Funktionsschema zur Leckagevisualisierung mit Disco-Nebelmaschine	63
Figure 39 (Quelle: UIBK) Prinzipschema der drei Anschlussvarianten (links: Anschluss von Warm- und Kaltwasser, mitte: nur Kaltwasser, rechts: nur Warmwasser)	69
Figure 40 (Quelle: UIBK) Mockup entwickelt im Rahmen des Projektes „Netzwerk Alpines Bauen“	69
Figure 41 (Quelle: UIBK) Hydraulikschema des Mockups.....	70
Figure 42 (Quelle: UIBK) Prinzipschema zur Messung des Balanceabgleichs mittels Druckverlustmessung über den Wärmeübertrager.....	74
Figure 43 (Quelle: UIBK) Links: Geöffneter Ventilatorkasten mit Außen- und Abluftventilator, Mitte: Seitenansicht mit Ventilatorkasten, Wärmeübertrager im 45° geneigten Zylinder, der in der Kernlochbohrung installiert wird, Rechts: Außenluftansauggitter und Fortluftauslass an der Außenoberfläche der Außenwand.....	74
Figure 44 (Quelle: blaubergventilatoren.de) Kommerzielles Einzelraumlüftungsgerät (Zylinder-Durchmesser DN 160 bzw. 200 mm, Freshpoint 160-E L07.....	75
Figure 45 (Quelle: UIBK) Lüftungs-Mockup Rückansicht (oben); Frontansicht (unten)	81
Figure 46 (Quelle: UIBK) Hydraulikschema des Mockups.....	82
Figure 47 (Quelle: UIBK) 3D-Darstellung der Zu- und Abluft-Verteilbox	82
Figure 48 (Quelle: UIBK) Außen- bzw. Fortluftgitter	83
Figure 49 (Quelle: UIBK) Weitwurfdüse mit Lochraster (links) bzw. Schlitzauslass (mitte links); Abluftdurchlass mit Vorlegefilter (mitte rechts); Abluft-Tellerventil (rechts).....	83
Figure 50 (Quelle: UIBK) 3D-Darstellung des Installationsgestell aus Quadratrohr (Stahl).....	84

Figure 51 (Quelle: UIBK) Lüftungskanäle Wickelfalz (links); 90°-Bogen, verzinkter Stahl mit Lippendichtung (rechts).....	84
Figure 52 (Quelle: UIBK) FLOWFINDER [Quelle: ACIN INSTRUMENTS BV], Wöhler Druchdifferenzmessgerät, Volumenstrom Messkreuze [Quelle: Halton]	85
Figure 53 (Quelle: PHI) Ansicht von oben (oben), Ansicht von der Seite (unten)	86
Figure 54 (Quelle: UIBK) Funktionsprinzip mit Sensoren (Luxmeter 1 und 2 sowie Look-Down 1 bis 3) und Aktoren (LED 1 bis 3)	89
Figure 55 (Quelle: https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html) Parallel und Serienschaltung von PV-Zellen bzw. Modulen mit Bypass-Dioden und Blocking-Dioden	93
Figure 56 (Quelle: https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html) Serienschaltung von PV-Zellen bzw. Modulen	94
Figure 57 (Quelle: https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html) Serienschaltung von PV-Zellen mit Abschattung der Zelle 2	94
Figure 58 (Quelle: https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html) Serienschaltung von PV-Zellen bzw. Modulen mit parallel geschalteten Bypass-Dioden	95
Figure 59 (Quelle: https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html) Serienschaltung von PV-Zellen bzw. Modulen mit parallel geschalteten Bypass-Dioden und Abschattung der Zelle 2.....	96

Tabellenverzeichnis

Table 1: Metadaten für Kursmaterial (EduResource) am Beispiel eines Mockups für die Demonstration von Luftdichtheitsmaßnahmen.....	11
Table 2: Informationen und Links zu den Materialproben nach Aufruf des QR-code Links	14

achieve-zeb.eu



Co-funded by the European Union



BUNDESVERBAND
Die Interessenvertretung
für Energieberater:innen



*Passive House
Institute*



PASSIVHAUS
Austria



**universität
innsbruck**

