

Konzepte und Richtlinien für Lernvideos

Deliverable 3.9

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.”

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)	T3.2.1
Lead organisation	Universität 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
FPS	Frames per second
MP4	Multimedia Format mit der File-Endung .mp4
EPS	Expanded Polystyrene
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
ZEB	Zero Emission Building,
BIPV	Building integrated photovoltaics

Zusammenfassung

Die Vermittlung der Lerninhalte und Kompetenzen für die Planung von ZEB in Neubau und Sanierung stellt die Lehrenden und Lernenden vor eine große Herausforderung, weil die Themen einen sehr interdisziplinären Charakter aufweisen. Bauschaffende müssen ein Verständnis für alle Themen und Gewerke aufbringen, um mit gemeinsamer Planung und Ausführung eine funktionsfähige integrale Gesamtheit des Bauwerks bis hin zur Betriebsführung zu erreichen. Die klassische Lehre stößt hier häufig an ihre Grenzen, weil Beschreibungen, Graphiken und Fotos komplexe Methoden, Verfahren, Planungs- und Bauabläufe aber auch dreidimensionale Objekte, Bauteile und Anschlüsse nur unzureichend wiedergeben kann. Daher sind Anschauungsmaterialien, Funktionsmuster und Mockups, wie in Deliverable 3.11 erläutert, eine sinnvolle Ergänzung und erhöhen die Verständlichkeit und Praxisnähe der Lehrveranstaltung. Allerdings stellen diese Objekte meist auch nur einen Ausschnitt aus den Gesamtzusammenhängen am Bauobjekt dar. Exkursionen zu Bauprojekten und Sanierungsbaustellen können hier häufig besseren Einblick in die Arbeitsabläufe, Methodik und die im Zuge der Verarbeitung befindlichen Bauprodukte im realen Einsatzgebiet geben. Sowohl Mockups als auch Exkursionen verlangen aber eine sorgfältige Vorbereitung sowie einen erheblichen Zeitaufwand für Organisation und Durchführung. Bei Mockups und Anschauungsmaterial kommt noch der Platzbedarf für die Lagerung hinzu.

Filme und Lehrvideos können die Unmittelbarkeit bis hin zur Haptik etc. der genannten Themen nicht ersetzen, vermitteln in ihrer Chronologie jedoch besser als statische Dokumentationen und Lehrmaterialien. Darüber hinaus können sie sowohl im Präsenzunterricht als auch im Eigenstudium eingesetzt werden, eignen sich also sowohl für Blended Learning als auch für Methoden wie Flipped Classroom oder e-learnings. In diesem Deliverable sollen daher Konzepte und Guidelines für Lern-Videos aufgezeigt werden, die die genannten Formate zwar nicht ersetzen, aber durchaus sinnvoll ergänzen können. Gerade wenn aus Zeitgründen Experimente mit Mockups oder Exkursionen nicht möglich sind, können die Zusammenhänge und Lehrinhalte häufig auch in Form von Videos vermittelt werden. In manchen Fällen können sie didaktisch sogar darüber hinaus gehen, weil in gut vorbereiteten Videos Vorgänge quasi in Zeitraffer oder Zeitlupe optimal präsentiert und aufbereitet werden können. Das Lerntempo kann von den Studierenden selbst gewählt werden, Lehrende können Videos wahlweise zur klassischen Lehre hinzufügen und e-learnings zum Selbststudium verlinken.

Die in diesem Dokument beschriebenen Videos stützen sich demnach einerseits auf Mockup-Versuche, welche Experimente, Tätigkeiten, Abläufe und Messungen sowie Auswertungen zeigen, andererseits werden Vorschläge für filmische Dokumentationen von Baustellen-Exkursionen gemacht. Eine dritte Kategorie sind klassische Lehrfilme, wie sie auch in der Handwerksausbildung üblich sind, um Bau- und Sanierungsabläufe zu visualisieren und zu lehren. Diese können entweder direkt auf der Baustelle oder unter „gestellten“ Randbedingungen aufgenommen werden. In jedem Fall sind diese mit relativ hohem Aufwand verbunden, allerdings sind zu vielen Themen bereits Videos vorhanden auf die zurückgegriffen werden kann. In diesem Fall wird auf diese verwiesen, dabei aber auch auf Aktualisierungen und Korrekturen hingewiesen.

Inhalt

Zusammenfassung	6
Konzepte für Lehrvideos.....	7
Allgemeine Tipps zur Erstellung von Lehrvideos	8
Planung und inhaltliche Vorbereitung.....	8
Technische Vorbereitung	8
Inhaltliche Gestaltung.....	9
Aufnahme	9
Nachbearbeitung.....	9
Testen und Feedback einholen	10
Veröffentlichung	10
Zusätzliche Tipps.....	10
Konzept 1: Experimente an Mockups	11
Konzept 2: Exkursionen	11
Vorschlag für Projektvorstellung/Exkursion in Neubau und Sanierung von ZEB.....	12
Vorschlag für Baustellenvideos zu konkreten Bauaufgaben in Neubau und Sanierung von ZEB ..	12
Konzept 3: Lehrvideos zu Bauabläufen.....	13
Guidelines	14
Guidelines zu Konzept 1 (Experimente an Mockups)	14
Einregulierung und Balanceabgleich von Lüftungsanlagen.....	14
Messung des Wärmerückgewinnungsgrades einer Duschwasser-Wärmerückgewinnung.....	16
Luftdichtheit von Durchdringungen – Abdichtung, Drucktest und Nebelvisualisierung	19
Photovoltaik-Experimente – Verschaltung, Wirkungsgradmessung und Auswertung	21
Energieeffiziente Tages- und Kunstlichtsteuerung mit DALI.....	23
Guidelines zu Konzept 2 (Exkursionen)	24
Schulsanierung Volksschule Neu-Arzt (Rotadlerstraße).....	24
Serielle Sanierung eines Wohnbaus mit Großmodulen (Beispielprojekt Kohlweg, Innsbruck).....	26
Nachrüstung der Wohnungslüftung im Bestand	27
EnerPHit-Sanierung eines Bürogebäudes.....	29
Guidelines zu Konzept 3 (Lehrvideos zu Bauabläufen).....	30
ConClip-Videos (8 Einzelvideos)	30
Energiespar-Kommissar	32
Fenster-Vorwandmontage	32

Isokorb und raumhohe Verglasung.....	34
WDVS in der Sanierung ohne Klebstoff	35
Serielle Sanierung – Montage der Module.....	36
Schütt- und Einblasdämmstoffe.....	36
Wärmebrückenfreie Bodenplattendämmung als verlorene Schalung	37
Wärmebrückenfreie Attika	38

Konzepte für Lehrvideos

Nachfolgend werden Konzepte für Lehrvideos beschrieben, welche sich besonders als Unterrichtsmaterial für das nachhaltige und energieeffiziente Bauen und Sanieren eignen. Dabei sollte auf eine möglichst modulare Struktur geachtet werden, um die Lehrvideos flexibel sowohl in der Präsenzveranstaltung als auch in der Online-Lehre sowie in e-learnings einsetzen zu können. Wie bei den Mockups und Anschauungsmaterialien sollten als Metainformation zu den Videos mindestens folgende Angaben gemacht werden:

- Kompetenzlevel Voraussetzung (d.h. welche Kompetenzen müssen die Studierenden bereits mitbringen, um das Lehrvideo zu verstehen und einzuordnen zu können)
- Kompetenzlevel nach der Betrachtung des Videos (Welche zusätzlichen Kompetenzen und Erkenntnisse haben die Studierenden nach dem Video erhalten)
- Lernergebnis durch das Video (Welche Lernergebnisse und Erkenntnisse können durch das Video erreicht werden)

Sollen die Videos auch im Rahmen von Leistungsfeststellungen verwendet werden, können ergänzend Prüfungsfragen zu den Inhalten der Videos beigefügt werden. Dies erleichtert den Lehrenden die Einbindung in ihre Kurse und Unterrichtseinheiten mit abschließender Beurteilung. Als besonders zielführend und nützlich haben sich folgende Konzepte für Lehrvideos herausgestellt.

Experimente, Messungen und Übungen an Mockups und Funktionsmuster, deren Vorbereitung und Durchführung mit relativ hohem Aufwand verbunden ist, deren Erkenntnis aber auch durch filmische Darstellung vermittelt werden kann.

Filmische Dokumentation von Exkursionen zu Bauprojekten und Baustellen, insbesondere von laufenden Arbeiten bzw. Arbeitsschritten.

Dokumentation und Anleitungen für Montage- und Bauabläufe als nachgestelltes Lehrvideo (auf der Baustelle oder in einem artifiziellen Setting).

Nachfolgend werden diese Konzepte und deren Planung erläutert, anschließend werden dann Guidelines für deren Ausarbeitung und Umsetzung beschrieben.

Vorab sollen aber folgende allgemeine Tipps eine technische und inhaltliche Hilfestellung für all jene bieten, die auch ohne fachliche Ausbildung im Medienbereich an der Erstellung von eigenem Videomaterial arbeiten wollen. Aus technischer und didaktischer Sicht sind zwar einige Punkte zu beachten, von zentraler Bedeutung sind aber die Inhalte und deren Aktualität. Es gilt also die Scheu abzubauen und die Gelegenheiten zu nutzen, wenn z.B. gerade Baustellenaktionen anstehen oder Interviewpartner zur Verfügung stehen, die wertvollen Momente zu Nutzen und in Bild und Ton festzuhalten.

Allgemeine Tipps zur Erstellung von Lehrvideos

Planung und inhaltliche Vorbereitung

Vor Beginn der Videoplanung sollte man sich über die Zielgruppe im Klaren sein, um Sprache, Inhalte und Stil entsprechend anpassen zu können. Je nachdem ob das Studierende oder Fachleute mit Berufserfahrung sind, können diese anders ausfallen. Man kann jedoch auch allgemeingültigen Video-Content sammeln, der dann für unterschiedliche Zielgruppen nachträglich individuell aufbereitet wird, z.B. durch zusätzliche Graphiken, Interviews, Stimme aus dem Off.

In jedem Fall sollte man sich jedoch auf eine Kernbotschaft festlegen, welche Lernziele sollen unterstützt werden? Auf diese Weise können die Videos modular und vielseitig in der Lehre eingesetzt werden.

Ein professionelles Vorgehen wäre zunächst ein Storyboard zu erstellen, also eine Struktur des geplanten Videos zu erstellen und bereits im Vorhinein für jede Szene zu planen was gezeigt und gesagt werden soll. Im Baustellenalltag ist dies aber häufig nicht möglich, da Baustellentermine oft kurzfristig angesagt werden – dann muss man pünktlich vor Ort sein und hat oft keine Zeit mehr für langfristige Planung. Auch müssen die Aufnahmen oft spontan erfolgen, weil man im Vorhinein nicht weiß, was einen erwartet. Wenn man dagegen ausreichend Vorlaufzeit hat, kann es natürlich hilfreich sein, bereits ein durchdachtes Skript zu schreiben, um lange Monologe zu vermeiden und die Inhalte klar und präzise auf den Punkt zu bringen.

Technische Vorbereitung

Wie bereits erwähnt, sind die Inhalte wichtiger als die Technik und deren Qualität, dennoch sollte man zumindest auf einen Mindeststandard achten, damit die Betrachtung der Videos auch ansprechend und angenehm ausfällt. Häufig reicht aber schon eine gute Smartphone-Kamera aus. Um unerwünschte Bewegungen und „Verwackeln“ zu vermeiden kann dies auf ein Stativ geklemmt werden. Soll die Kamera aber bewusst bewegt werden (Kamerafahrten durch das Gebäude, Schwenks automatische Verfolgung von Objekten oder Personen) kann die Anschaffung eines sog. Gimbals (3-Achsen-Stabilisierung mit Hilfe von Motoren und Sensoren, um Bewegungen in drei Richtungen auszugleichen). Dieses wird mit einem Handgriff geführt, das Smartphone oder die Kamera werden am Gimbal montiert und für verwacklungsfreie und flüssige Aufnahmen stabilisiert. Es gibt aber auch schon einfache Selfie-Sticks mit Stabilisator, oder die Kamera verfügt bereits selbst über eine optische (OIS) oder elektronische (EIS) Bildstabilisierung. Zur Not kann ein „verwackeltes“ Video aber auch in der Nachbearbeitung stabilisiert werden. Trotzdem sollte man sich natürlich bei der handgehaltenen Technik darum bemühen die Bewegungen zu minimieren, in dem man das Smartphone mit beiden Händen hält und die Arme am Körper abstützt. Möchte man sich bei der Aufnahme bewegen, sollte man immer langsam und gleichmäßig gehen.

In jedem Fall ist die Ausrichtung des Smartphones oder der Kamera horizontal (Querformat) zu wählen. Hochformat ist nur für Social Media, Porträts oder andere spezielle Anwendungen geeignet.

Zwar verfügen Smartphones über ein eingebautes Mikrofon, dieses ist aber qualitativ minderwertig und verfügt über keinen Windschutz. Man sollte daher in ein externes Mikrofon investieren und insbesondere bei Außenaufnahmen (z.B. auf dem Gerüst auf der Baustelle) mit Windschutz arbeiten und nach Möglichkeit mit einem Richtmikrofon (Shotgun-Mikrofone) arbeiten, um gezielt Schallquellen aufzunehmen und Stör- und Nebengeräusche zu vermeiden. Hilfreich sind auch sog.

Lavaliermikrofone (Ansteckmikrofone), die diskret und leicht an der Kleidung zu befestigen sind (Achtung: Reibgeräusche an der Kleidung vermeiden), insbesondere für Interviews, Vorträge etc.

Neben der Tonqualität ist aber auch die Beleuchtung wichtig. Am einfachsten ist es mit natürlichem Licht zu arbeiten, direktes hartes Licht ist aber zu vermeiden. Man sollte daher Diffusoren oder bei Kunstlicht Softboxen (Lichtmodifikator der über eine Lichtquelle, z.B. LED-Panel gespannt wird, um das Licht zu streuen) oder Lichtschirme verwenden, um das Licht „weicher“ zu machen. Schon ein weißes Tuch oder Backpapier reicht, um Lichtquellen zu streuen. Als Kunstlichtquelle sind heute LED-Panels kostengünstig verfügbar, die bereits dimmbar und in verschiedenen Farbtemperaturen verfügbar sind. Zu beachten ist allerdings, dass die Kamera auf die Farbtemperatur der Lichtquelle abgestimmt ist, um Farbverfälschungen zu vermeiden (Weißabgleich). Professionelle Portraitaufnahmen können mit Ringlichtern erzeugt werden, die um die Kamera herum positioniert werden (charakteristische runde Lichtreflexe in den Augen). Zusätzlich kann noch mit Reflektoren gearbeitet werden (Weiß für weiches, neutrales Licht, Silber für helles, kontrastreiches Licht oder Gold für warmes sonniges Licht). Diese sind ideal, um Schatten aufzuhellen, insbesondere auch bei natürlichem Licht. Mit einem weißen Karton oder einem einfachen Reflektor können kostengünstig hochwertige Aufnahmen gelingen.

Um den Fokus auf das jeweilige Thema zu lenken, sollte der Hintergrund möglichst aufgeräumt bzw. thematisch passend sein, alles andere würde nur für Ablenkung sorgen. Gerade bei Baustellen ist das häufig nicht einfach, kann aber auch durch geschickte Wahl des Ausschnitts erreicht werden.

Inhaltliche Gestaltung

Originalaufnahmen von Baustellen und Bauabläufen sind natürlich besonders wertvoll. Um aber die dahinter liegenden Zusammenhänge, Abläufe und Daten zu veranschaulichen sollten auch Grafiken, Diagramme, Animationen oder Fotos verwendet werden. Tools wie PowerPoint, Canva oder Animationssoftware (z. B. Vyond) können hilfreich sein. Unterstützend können auch Simulationen und 3D-Visualisierungen eingesetzt werden, wenn die Filmaufnahmen allein unverständlich oder nicht anschaulich genug sind.

Bilder oder Grafiken können auch zur Abschnittsunterteilung der Videos eingesetzt werden, um eine Art Kapitelstruktur zu erreichen.

Aufnahme

Sowohl bei Interviews (talking heads) als auch bei der Stimme aus dem Off ist auf Sprechtempo und Tonfall zu achten, also langsam, deutlich und mit einer freundlichen, motivierenden Stimme. Auf klare Körpersprache ist zu achten, aber auch Authentizität und Begeisterung für das Thema kommen gut an, der Blickkontakt zur Kamera schafft Nähe. Man sollte also direkt in die Kamera schauen, wenn man eine direkte Verbindung zum Zuschauer herstellen möchte, nicht aber wenn der Fokus auf einem anderen Objekt, einer Person oder einer Handlung liegt.

Auch wenn es mühsam ist, aber am besten nimmt man mehrere Takes auf, damit man eine Auswahl für die beste Version der jeweiligen Szene zur Verfügung hat. Letztlich spart es doch Zeit, denn eine Szene nachzudrehen ist oft sehr aufwändig oder gar unmöglich.

Nachbearbeitung

Hat man schließlich alle benötigten Szenen und Bild- sowie Tonmaterialien gesammelt geht es an das Auswählen und Schneiden. Hierfür stehen bereits viele kostenlose Schneideprogramme, wie iMovie,

DaVinci Resolve oder Shotcut (free, open source, cross-platform video editor) kostenlos zur Verfügung. Für Fortgeschrittene (kostenpflichtig) ist z.B. Adobe Premiere Pro geeignet.

Neben der reinen Schnitt-Funktion können Video und Ton ein- bzw. überblendet werden, darüber hinaus stehen Funktionen für Texteinblendungen zur Verfügung, mit denen man Titel, Untertitel oder erläuternde Stichpunkte einblenden kann. Dezentere Hintergrundmusik kann das Video unterstützen, sollte aber nicht ablenken. Um die Kosten gering zu halten ist auf lizenzfreie Musik zu achten.

Kombiniert man unterschiedliche Szenen mit unterschiedlicher Beleuchtung ist ggf. auch eine Farbanpassung vorzunehmen.

Ziel des Videoschnitts ist es den Blick aufs Wesentliche zu lenken, damit es kurz und prägnant (idealerweise 5–10 Minuten) ausfällt, um die Aufmerksamkeit der Zuschauer zu halten.

Testen und Feedback einholen

Hat man ein Video selbst erstellt wird man oft „betriebsblind“ und verliert die Objektivität in Bezug auf Problemstellen und Mängel, daher bietet sich ein Probelauf an, bei dem man das Video einer kleinen Gruppe (z. B. Kollegen oder Studierenden) vorstellt und um Feedback bittet. So kann oft in einer anschließenden Überarbeitung eine deutliche Optimierung erreicht werden.

Veröffentlichung

Vor der eigentlichen Veröffentlichung sollte man sich überlegen, für welche Plattform das Video produziert werden soll. Je nachdem können unterschiedliche Anforderungen für die Auflösung und Frame-Rate gelten. Für universelle Nutzung ist **1080p (Full HD)** mit **30 FPS**, **MP4 (H.264)** und einem Seitenverhältnis von **16:9** eine sichere Wahl.

Zur Archivierung und Auffindbarkeit sollte eine prägnante Beschreibung erstellt und relevante Tags hinzugefügt werden. Für die barrierefreie Veröffentlichung sind Untertitel bereitzustellen.

Zusätzliche Tipps

Neben diesen allgemeinen Tipps sind folgende drei Konzepte hilfreich, aber auch andere professionelle Lehrvideos können für Stil und Präsentation als Anregung dienen (z.B. conclip.eu). Wichtiger als jede technische Perfektion ist jedoch der Inhalt und die Authentizität. Die eigene Begeisterung für das Thema macht das Video lebendiger und ansprechender.

Um gezielt Frauen für technische Fachrichtungen wie die energieeffiziente und nachhaltige Sanierung von Gebäuden zu begeistern, direkt anzusprechen und für das Thema zu motivieren sollten gezielt Vorbilder und Diversität eingebunden werden. So können z.B. Frauen als Expertinnen, weibliche Fachleute, Ingenieurinnen oder Architektinnen als Interviewpartnerinnen eingeladen werden. Werden Frauen in verschiedenen Rollen (z. B. als Planerinnen, Bauleiterinnen, Handwerkerinnen) gezeigt, kann verdeutlicht werden, dass technische Berufe vielfältig und zugänglich sind. Inspirierende Geschichten von Frauen, die in der Branche erfolgreich sind, tragen dazu bei zu zeigen, dass sie dort willkommen und geschätzt werden. Geschlechtergerechte Sprache (geschlechtsneutrale oder inklusive Formulierungen) sollte selbstverständlich sein, gleiches gilt für inklusives Bildmaterial.

Konzept 1: Experimente an Mockups

Lehrvideos zu Mockups und Funktionsmodellen können sowohl für „Train the Trainers“ zur Erläuterung der Vorbereitung und Durchführung der Experimente, als auch speziell für die Studierenden gedreht werden. Sie unterscheiden sich demnach nach Art und Umfang. Sollen die Videos lediglich den Versuchsaufbau und die Aufgabenstellung erläutern, quasi als Tutorial für die Versuche, so ist ja das Ziel lediglich alle Informationen bereitzustellen damit man den Versuch selbst durchführen und auswerten kann. Soll das Video dagegen die Lehrinhalte der Experimente vollständig vermitteln, ohne dass die Experimente selbst durchgeführt werden, so ist z.B. die Versuchsvorbereitung etc. unwichtig. Der Schwerpunkt liegt dann im Erkenntnisgewinn und der didaktischen Aufbereitung der einzelnen Schritte bis hin zur Auswertung der Ergebnisse. Der Vorteil gegenüber dem tatsächlichen Experiment liegt z.B. darin, dass lang andauernde Prozesse verkürzt dargestellt werden können und damit Zeit eingespart wird. Folgender Ablauf (Drehbuch) wird empfohlen, kann aber natürlich stark vom jeweiligen Mockup und Experiment abhängen und variieren, ausschlaggebend ist letztlich, dass das Video gut verständlich, einprägsam und prägnant die Erkenntnisse und Lehrinhalte vermittelt.

1. **Einführung in die Thematik:** Zunächst sollte im Intro der Kontext sowie der Anwendungsbereich zum Video erklärt werden. Dazu eignen sich ggf. Baustellenaufnahmen, die den Bereich des Bauens und Sanierens zeigen um den es geht. Im Off oder von einer Person auf der Baustelle kann dann der Hintergrund/Kontext kurz erläutert werden. Zur Aktivierung der Studierenden können eingangs auch sogenannte „Learning Questions“, also Lernfragen zum Thema gestellt werden, die nach dem Video beantwortet werden können. Diese lenken den Fokus auf zentrale Inhalte, überprüfen das Verständnis und erhöhen die Interaktivität
2. **Darstellung und Erläuterung des Mockups:** Zunächst werden das Mockup und seine Elemente sowie deren Funktion in Bild und Ton vorgestellt und erläutert. Perspektivwechsel und Ausschnitte können dabei einen besseren Einblick geben.
3. **Versuchsbeschreibung:** Zielsetzung und erwartetes Ergebnis sowie die einzelnen Schritte für deren Durchführung sollen klar erkennbar im Video erfasst werden. Hier können ggf. Zeitraffer (für in Realität sehr langsam ablaufende Vorgänge) und Zeitlupe (für rasche Vorgänge) eingesetzt werden.
4. **Versuchsauswertung:** Hier können animierte Ergebnisdarstellungen und Grafiken hilfreich sein.
5. **Zusammenfassung:** Im Abspann sollen die wichtigsten Erkenntnisse noch einmal zusammengefasst und in den Kontext der Bauaufgabe eingeordnet werden. Wenn das Video mit Lernfragen gestartet wurde, sollten jetzt die Auflösungen bzw. Antworten erfolgen.

Konzept 2: Exkursionen

Exkursionen zu Vorzeigeprojekten, innovativen Leuchtturmprojekten oder Sanierungsbeispielen können wertvolle Einblicke in Baustellen- und Sanierungsabläufe geben. Diese haben einen hohen Lerneffekt, sowohl für Planende als auch für Ausführende. Allerdings ist es terminlich fast unmöglich die Kurszeiten und die Baustellenabläufe so zu koordinieren, dass Exkursionen zum idealen Zeitpunkt erfolgen können. Daher sind Videoaufzeichnungen von gelungenen Exkursionen sehr wertvoll. Falls dies aber nicht möglich oder verfügbar ist, können auch speziell für Lehrzwecke Videos auf Baustellen oder von Vorzeigeprojekten aufgenommen werden. Dies hat den Vorteil, dass mehrere Drehtermine letztlich den gesamten Ablauf in Einzelschritten visualisieren können, allerdings mit höherem Aufwand für die Aufnahmen und den Videoschnitt.

Generell sind Baustellenaufnahmen in vielen Fällen lehrreicher als Dokumentationen von fertigen Projekten, weil die Arbeitsschritte und Komponenten im Bau- bzw. Sanierungsablauf meist noch gut zu erkennen sind, nach der Fertigstellung dagegen häufig hinter Verkleidungen, Deckenabhängungen etc. verdeckt sind. Dennoch können auch gut gelungene Projekte mit Videodokumentation von außen und innen sowie mittels Interviewpartnern (Planer, Handwerker, Bauherrn etc.) sehr lehrreich sein. Je nach Art und Zielsetzung können die Drehbücher unterschiedlich ausfallen. Folgendes Konzept für ein Drehbuch eines Baustellenvideos soll daher nur exemplarisch eine Anregung für derartige Videos geben.

Vorschlag für Projektvorstellung/Exkursion in Neubau und Sanierung von ZEB

Finden Exkursionen mit fachkundiger Führung bzw. Ansprechpartnern vor Ort statt, so kann diese Gelegenheit genutzt werden, mit relativ geringem Aufwand daraus Lehrvideos zu erzeugen. Um dabei jedoch gute Bild- und Tonqualität zu erreichen sind solche Aufnahmen sorgfältig vorzubereiten. Dazu muss man sich vor der Exkursion bereits mit den Örtlichkeiten sowie den Kontaktpersonen vertraut machen. Darüber hinaus ist für spezielle Details für ausreichend Beleuchtung zu sorgen. Während der Tonaufnahmen sollten keine störenden Hintergrundgeräusche auftreten, auf Baustellen sollte dies (falls möglich) durch die Bauleitung sichergestellt werden. Für gute Tonaufnahmen wären Ansteckmikrofone für die SprecherInnen ideal, ansonsten sind auch Kamera-Richtmikrofone geeignet. In jedem Fall sind aber die SprecherInnen zu informieren und der Ablauf zu klären sowie die Rechte einzuholen. Neben den Vorstellungen des Objektes und der Details durch die Führung der Exkursion und durch die Experten vor Ort sollte zusätzliches Bildmaterial für die spätere Videoschnittbearbeitung gesammelt werden.

Natürlich kann eine Videoaufzeichnung eine reale Exkursion didaktisch nicht ersetzen, kann aber mit deutlich geringerem Zeit- und Organisationsaufwand eingesetzt werden. Selbst wenn Bild- und Tonqualität zu wünschen übrig lassen können solche Aufzeichnungen wertvolle Ergänzung für die klassischen Kursformate darstellen. Darüber hinaus kann Videomaterial auch gut mit Fotoaufnahmen von Details etc. kombiniert werden. Schlechte Tonqualität kann auch durch Nachvertonung (SprecherIn aus dem Off) kompensiert werden.

Hat man die Gelegenheit zu unterschiedlichen Zeiten mit der Kamera vor Ort zu sein, können die Videos auch kombiniert werden, so kann man evtl. unterschiedliche Bauphasen unterscheiden kann.

Vorschlag für Baustellenvideos zu konkreten Bauaufgaben in Neubau und Sanierung von ZEB

1. Intro: Außenansicht und kurze Projektvorstellung des Neubaus bzw. der Sanierung. Erläuterung der Bauaufgabe, des bauphysikalischen oder gebäudetechnischen Hintergrundes und der Problemstellung sowie Einordnung in das Gesamtkonzept
2. Dokumentation des Baudetails mit Video auf der Baustelle sowie eingeblendeten Plänen (Schnitten, 3D-Visualisierungen etc.)
3. Vorstellung des Lösungskonzeptes und Darstellung der Vorbereitung sowie der einzelnen Arbeitsschritte. Dabei sollten sowohl die notwendigen Materialien als auch deren Verarbeitung mit den jeweils geeigneten Werkzeugen und Hilfsmitteln Schritt für Schritt erläutert werden. Um die Videos modular nutzen zu können, sind die Bau- und Sanierungsaufgaben in sinnvolle Abschnitte zu untergliedern und zu unterteilen. Für e-

learnings sind Sprungmarken hilfreich, um gezielt von textlicher Beschreibung zum Video-Content wechseln zu können.

4. In Outro werden die wichtigsten Konzepte und Erkenntnisse nochmals prägnant zusammengefasst und das Arbeitsergebnis nach dem Abschluss im Video gezeigt. Auch hier können über Experteninterviews noch Erfahrungen, Alternativlösungen und -verfahren angesprochen werden. Diese helfen bei der kritischen Einordnung und Reflexion der gelernten Inhalte.

Konzept 3: Lehrvideos zu Bauabläufen

Lehr- und Schulungsvideos zu spezifischen Bauabläufen werden häufig von Herstellern von Bauprodukten aufgenommen, um deren korrekte Verarbeitung Schritt für Schritt zu erläutern. Um ideale Lichtverhältnisse und Kamerapositionen zu ermöglichen werden diese häufig in speziellen Bauhallen oder Versuchsräumen gedreht. In den meisten Fällen werden die Arbeiten jedenfalls nicht live auf der Baustelle gefilmt, sondern eher nachgestellt, um sie didaktisch ideal aufbereiten zu können. Diese Vorgehensweise hat viele didaktische Vorteile, allerdings ist der dafür notwendige Aufwand immens und damit für viele Kursanbieter nicht erschwinglich. Herstellervideos sind jedoch leider häufig sehr produktspezifisch und damit für die Lehre nicht ausreichend generisch bzw. produktneutral. Dennoch können einige dieser Videos, natürlich bewusst auch von unterschiedlichen Herstellern und Anbieter, auch für Lehrzwecke genutzt werden. Spezielle Verfahren und Bauprodukte, die im Sinne der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz unverzichtbar sind, müssen teilweise ohnehin produktspezifisch vorgestellt werden, wenn es nur einzelne Anbieter bzw. Produkte gibt.

In den nachfolgenden Guidelines wurde z.T. auch auf solche Herstellervideos zurückgegriffen, begleitende Erläuterungen und produktbezogene Verallgemeinerungen können das Video ergänzen um es für die Ausbildung geeignet zu machen.

Im Rahmen von bereits abgeschlossenen Forschungsprojekten (z.B. EU-Projekt Conclip.eu) wurden bereits wertvolle Lehrvideos mit großem Aufwand und Kosten erstellt. Allerdings sind diese oft schon nicht mehr ganz aktuell oder sie sind teilweise sogar fehlerbehaftet. Auch in diesen Fällen können Ergänzungen, Korrekturen und Aktualisierungen einen großen Mehrwert bieten, ohne hohe Kosten für eine komplette Neuerstellung in Kauf zu nehmen. Videos mit Fehlern oder Optimierungserkenntnissen können auch für didaktische Zwecke nutzbar gemacht werden. Den Studierenden wird dabei die Aufgabe der „Fehlersuche“ bzw. „Qualitätssicherung“ übertragen. Nachdem sie das Video betrachtet haben sollen sie auf Fehler hinweisen bzw. Verbesserungsvorschläge machen. Vorbereitete Korrekturen werden dann zur Auflösung nachgeliefert.

Auch wenn der Fokus in AchieVE-ZEB verstärkt auf dem Bereich der Sanierung liegt, kann der Aufbau und die Struktur der Videos weitgehend aus conclip.eu übernommen werden, weil Zielsetzung und Zielgruppe ähnlich sind. Folgende Eckpunkte für solche Videos haben sich bewährt:

1. **Dauer der Videos:** 3 bis 4 Minuten, damit sind sie als Kurzvideos modular in den Kursen einsetzbar
2. **Modulare Erweiterbarkeit:** Die Videos dienen als Basis und können nach den eigenen Anforderungen erweitert und ergänzt werden
3. **Drehbuch:** Jedes Video behandelt nur einen spezifischen Arbeitsablauf an einem realistischen 1:1-Aufbau der Arbeitsumgebung. Eine Stimme aus dem off erläutert die jeweiligen Arbeitsschritte, die wichtigsten Schritte und Schlüsselbegriffe werden als Text eingeblendet. Das Video schließt mit einer kurzen Zusammenfassung der wichtigsten Arbeitsschritte und Begriffe.

4. **Didaktik:** Der Arbeitsablauf wird in eine Sequenz von Arbeitsschritten aufgeteilt, wobei für jeden Arbeitsschritt genau erläutert wird was, wie und warum er gemacht wird. Für jeden Arbeitsschritt werden einige wenige Schlüsselbegriffe eingeführt.
5. **Zusatzmaterial:** Eine Tabelle mit allen Arbeitsschritten und drei Spalten zu Was?/Wie?/Warum? Ist jedem Video beigelegt

Guidelines

Im Folgenden werden Guidelines für die Ausführung der drei genannten Konzepte für Videomaterial zu bestimmten Themen exemplarisch beschrieben. Diese sind nur als Vorschläge zu verstehen und können je nach Bedarf entsprechend angepasst, erweitert oder ergänzt werden. Ziel ist eine wachsende Sammlung von bestehenden und neuen Videomodulen, die flexibel in den Kursen eingesetzt werden können. Dabei ist nochmals zu betonen, dass die Videos die Praxis sowie Übungen und Exkursionen didaktisch nicht ersetzen aber ergänzen können. Die Guidelines dienen als Anregung für Kursanbieter auch selbst Videos anzufertigen, nicht alle werden im Projekt AchieVE-ZEB auch tatsächlich produziert.

Guidelines zu Konzept 1 (Experimente an Mockups)

Einregulierung und Balanceabgleich von Lüftungsanlagen

Einführung in die Thematik

Intro: Animierte Grafik und Erläuterung zur Einregulierung (von den Planungswerten zu den tatsächlichen Volumenströmen der Zu- bzw. Abluft). Bei der Einregulierung einer Lüftungsanlage geht es darum, alle Zu- bzw. Abluftvolumenströme entsprechend der Planungswerte einzustellen und zu dokumentieren.

Prinzip des Balanceabgleichs und Erläuterung zu den Folgen eines fehlenden bzw. fehlerhaften Balanceabgleichs: Ziel des Balanceabgleichs ist es, die Massenströme (und damit näherungsweise die Volumenströme) der Außen- und der Fortluft (bei Innenaufstellung des Gerätes) auf den gleichen Wert zu bringen. Wird zu viel Außenluft in das Gebäude eingebracht (Außenluftüberschuss), so entsteht Überdruck im Gebäude und es besteht die Gefahr von Feuchteschäden, weil warme feuchte Luft in Leckagen gepresst wird und dort bei Taupunktunterschreitung auskondensieren kann. Bei Fortluftüberschuss entsteht im Gebäude Unterdruck und es kann zu Zugscheinung über Nachströmung kalter Außenluft durch Leckagen kommen. In beiden Fällen kann die Effizienz der Wärmerückgewinnung leiden. Im optimalen Fall wird die Anlage „in Balance“, also druckneutral betrieben – die Volumenströme sollten also möglichst ausgeglichen sein.

Learning Questions: Nach Betrachtung dieses Videos verstehen die Studierenden wie die Einregulierung und der Balanceabgleich in der Praxis durchgeführt werden. Mit welchen Messgeräten werden die Volumenstrommessungen durchgeführt? Welche Abweichungen können toleriert werden? Wenn leichte Disbalance verbleibt, in welche Richtung sollte die Druckdifferenz aus bauphysikalischer Sicht auftreten (Außen- oder Fortluftüberschuss)?

Darstellung und Erläuterung des Mockups

Sowohl die Einregulierung als auch der Balanceabgleich können am Mockup durchgeführt werden. Zunächst werden alle Elemente des Mockups und deren Funktion in Bezug auf Einregulierung und Balanceabgleich vorgestellt. Dazu wird das Mockup in der Totalen von beiden Seiten gefilmt, anschließend wird mittels Closeup zunächst das Zentralgerät, die Bedieneinheit, die Staukreuze, Außen- und Fortluftdurchlass sowie alle Zu- und Abluftdurchlässe und ihre Funktion erläutert.

Versuchsbeschreibung

Zielsetzung: Es sollen alle geplanten Volumenströme der Zu- und Abluft mit hinreichender Genauigkeit eingestellt und der Balanceabgleich bis auf +/- 10% erreicht werden.

Erwartetes Ergebnis: Weder die Einregulierung noch der Balanceabgleich gelingt auf Anhieb. Werden einzelne Luftdurchlässe gedrosselt steigt der Volumenstrom an den anderen Auslässen an. Letztlich muss die Einstellung iterativ wiederholt werden, bis das gewünschte Ergebnis mit ausreichender Genauigkeit erreicht wird.

Arbeitsschritte Versuchsdurchführung: Zunächst öffnet man alle Luftdurchlässe maximal und misst dann die sich einstellenden Volumenströme. Zu- und Abluftvolumenstrom wird dabei auf Nennvolumenstrom (mittlere Stufe, die für den Normalbetrieb vorgesehen ist) eingestellt. Alle Luftdurchlässe die gegenüber der Planung zu hohe Volumenströme aufweisen müssen nun entsprechend gedrosselt werden. Nach der Überprüfung aller Luftdurchlässe sollten die Abweichungen zu den geplanten Sollvolumenströmen nur wenige Kubikmeter pro Stunde betragen. Durch die Drosselung der Luftdurchlässe verstellt sich auch die Balance zwischen Außen- und Fortluft wieder. Diese muss also ebenfalls iterativ überprüft und nachgestellt werden. Soll dies rein manuell erfolgen ist das ein relativ aufwändiger Prozess, der leider auch nicht dauerhaft zum Erfolg führt. Steigt z.B. der Druckabfall mit zunehmender Verschmutzung der Filter, so kann sich die Balance wieder verschieben. Daher bieten heute viele Hersteller Geräte mit automatischem Balanceabgleich an.

Versuchsauswertung

Auswertung der Einzelvolumenstrommessung: Wird die Volumenstrommessung mit einem druckverlustkompensierten Volumenstrom-Messtrichter durchgeführt, kann die Ablesung des Volumenstroms direkt am Gerät erfolgen. Entweder wird die Druckverlustkompensation manuell an einem Handrad eingestellt und anschließend der Messwert an der Skala des Handrades abgelesen, oder die Kompensation erfolgt über eine automatische Regelung. Ist letzteres der Fall, so kann das Messergebnis direkt nach Erreichen der Kompensation am Display abgelesen werden. Häufig sind noch einfache Messtrichter mit Anemometer im Einsatz, welche ohne Druckverlustkompensation arbeiten. Diese sind allerdings sehr fehleranfällig, weil die Messeinrichtung selbst zu einer Beeinflussung des Messergebnisses führt. Falls auch ein solches Messgerät vorhanden ist, kann es von den Lernenden zum Vergleich herangezogen werden. Die Abweichungen zu den Ergebnissen mit Geräten welche über Druckverlustkompensation verfügen unterstreichen die hohe Bedeutung dieser Messmethode für verlässliche Volumenstromergebnisse im Rahmen der Inbetriebnahme bzw. der Qualitätssicherung. Im Rahmen der Auswertung werden nun die Summen aller Zuluftvolumenströme sowie aller Abluftvolumenströme gebildet.

Auswertung der Volumenstrombalance: Ziel des Balanceabgleichs ist es (bei Aufstellung des Lüftungsgerätes in der wärmegegedämmten Gebäudehülle) den Außenluftmassenstrom auf den gleichen Wert wie den Fortluftmassenstrom zu bringen. Da beide Volumenströme nahezu auf

gleicher Temperatur sind (ca. 5 K Abweichung), kann näherungsweise auch direkt mit den Volumenströmen gerechnet werden (genau genommen müsste über die Dichte korrigiert werden). Der Außen- bzw. Fortluftvolumenstrom kann entweder direkt an den Luftdurchlässen mit dem Volumenstrommessgerät, wie bereits erläutert, gemessen werden. Alternativ sind im Mockup auch zwei Staukreuze verbaut. Mit Hilfe eines Druckdifferenzmessgerätes wird daran die Druckdifferenz zwischen Staudruck und dynamischem Druck gemessen. Nun kann der Volumenstrom aus dem Produkt der Proportionalitätskonstante und der Wurzel aus der gemessenen Druckdifferenz bestimmt werden. Das Ergebnis sollte im Rahmen der Messgenauigkeit mit dem direkten Messwert am Luftdurchlass identisch sein. Zu beachten ist allerdings, dass genügend Vor- und Nachlaufstrecke am Staukreuz vorhanden sein muss. Im Video sollte zur Erläuterung das Staukreuz im ausgebauten Zustand gezeigt werden. Vor der Messung muss das Druckdifferenzmessgerät mit einem Schlauch an den Messstutzen kurzgeschlossen und genullt werden, auch das sollte im Video gezeigt werden. Nun wird das Ergebnis der Summe aller Zuluftvolumenströme mit dem gemessenen Wert des Außenluftvolumenstromes bzw. aller Abluftvolumenströme mit dem gemessenen Wert des Fortluftvolumenstromes verglichen. Diese sollten (zumindest nach der Korrektur über die Dichte) jeweils gleich sein. Etwaige Abweichungen deuten auf Leckagen im System hin, denn die Massenbilanz muss erfüllt sein.

Auswertung zum Balanceabgleich: Dividiert man nun die Differenz zwischen Zu- und Abluft durch den Zuluftvolumenstrom, so sollte dieser Betrag nicht mehr als 10% betragen. Innerhalb dieser Grenzen sind weder energetische Einbußen noch Feuchteschäden (bei Zuluftüberschuss durch Auskondensieren feuchter Luft in Leckagen) bzw. Zugerscheinungen durch Kaltlufteintritt (bei Abluftüberschuss) zu erwarten.

Zusammenfassung

Erkenntnisse: Sowohl die Einregulierung der Volumenströme als auch der Balanceabgleich sind nicht im ersten Durchgang erreichbar. Sie müssen in einem iterativen Prozess, also mittels mehrmaliger Nachjustierung und Überprüfung so lange eingestellt werden, bis eine Disbalance unter 10% erreicht wird. Da dieser Vorgang arbeitsintensiv ist und regelmäßig wiederholt werden müsste (z.B. nach Verschmutzung der Filter), wird dringend empfohlen Geräte mit automatischem Balanceabgleich einzusetzen.

Antworten zu den Learning Questions: Als Messgerät für die Bestimmung der Volumenströme wird dringend empfohlen ausschließlich mit druckverlustkompensierten Messgeräten zu arbeiten, weil sonst die Messwerte durch den Druckabfall des Gerätes beeinflusst werden. Generell sollte man möglichst gleiche Außen- und Fortluftvolumenströme (Balance) anstreben, Abweichungen bis +/- 10% sind tolerabel. Hinsichtlich der Vermeidung von Bauschäden (Feuchteschäden) ist tendenziell leichter Unterdruck zu bevorzugen. Dies könnte aber wiederum bei gleichzeitigem Betrieb mit Feuerstädten zu CO-Rückströmung führen, die strikt vermieden werden muss. Hierfür werden aus Sicherheitsgründen Druckdifferenzschalter zur Notabschaltung des Gerätes eingesetzt.

Messung des Wärmerückgewinnungsgrades einer Duschwasser-Wärmerückgewinnung

Einführung in die Thematik

Im Rahmen von Alpines Bauen wurde ein Einführungsvideo gedreht.

Intro: Beim Duschen wird Warmwasser mit bis zu 40 °C benötigt, welches mit hohem Energieaufwand durch Erwärmung des Kaltwassers bereitgestellt wird. Geht man z.B. von 10 °C Kaltwassertemperatur und einer Durchflussrate von 10 Litern pro Minute aus, so wird dafür eine Leistung von knapp 21 kW benötigt. Das Duschwasser fließt mit nur etwa 5 Grad geringerer Temperatur in das Abwasser normalerweise ungenutzt ab. Mit Hilfe einer Duschwasser-Wärmerückgewinnung kann das benötigte Frischwasser durch die Wärme des Abwassers über einen Wärmeübertrager vorerwärmt werden, weil Frischwasserzufuhr und Abwasserabfluss simultan erfolgen. Bei einer Badewanne ist das nicht der Fall, weil hier der Frischwasserzufluss zeitversetzt zum Ablassen der Badewanne stattfindet. In diesem Video sollen die drei unterschiedlichen Anschlussmöglichkeiten des Wärmeübertragers im System am Mockup demonstriert werden. Darüber hinaus wird gezeigt wie der Wirkungsgrad – sowohl dynamisch als auch stationär – bestimmt wird.

Learning Questions: Auf dem Markt verfügbar sind sowohl Duschrinnen als auch Duschrohre. Wie unterscheiden sich diese im Hinblick auf den Einbau, die Wartung sowie die Kosten? Welche Möglichkeiten gibt es, den Wärmeübertrager in das Warmwassersystem zu integrieren? Welche Vor- und Nachteile weisen diese jeweils auf?

Darstellung und Erläuterung des Mockups

Zunächst wird eine Übersicht des Mockups gezeigt. Dann werden zunächst das Duschrohr und dann die Duschrinne als Beispiele für Duschwasserwärmerückgewinnung gezeigt. Die Duschrinne sollte zum besseren Verständnis in seine Einzelteile zerlegt und erläutert werden, wie das Wasser durch den Spalt abfließt und anschließend durch die Löcher im Gegenstrom über die Kupferspirale abfließt. Dabei sollte auf die Notwendigkeit der Reinigung und Wartung eingegangen werden. Anschließend wird der Wärmeerzeuger sowie die Leitungsführung mit den Ventilen zur Umschaltung der drei Anschlussvarianten gezeigt. Dann wird auf die Wärmemengenzähler und deren Funktion hingewiesen. Hierfür wird sowohl das Volumenstrom-Messteil mit dem Rechenwerk und der externe Temperatursensor gezeigt.

Versuchsbeschreibung

Zielsetzung: Ziel des Versuches ist es, den stationären bzw. dynamischen Wirkungsgrad der Abwasserwärmerückgewinnung messtechnisch zu bestimmen. Durch Umschaltung der Ventile können alle drei Anschlussvarianten demonstriert werden.

Erwartetes Ergebnis: Aufgrund der höheren Übertragungsfläche und günstigeren Übertragergeometrie erzielt das Duschrohr gegenüber der Duschrinne höhere Wirkungsgrade.

Zum Abschluss kann das Video der Infrarotaufnahme gezeigt werden, darin kann die Temperaturveränderung über die Zeit nach Start des Versuches gezeigt werden.

Arbeitsschritte Versuchsdurchführung: Mit Hilfe der im Prüfstand verbauten Ventile werden der Reihe nach Variante 1 (Abwasser zur Vorerwärmung des Kaltwassers vor dem Mischer und Warmwasserbereiter), Variante 2 (Abwasser nur zur Vorerwärmung des Kaltwassers vor dem Mischer) und Variante 3 (Abwasser nur zur Vorerwärmung des Kaltwassers vor dem Warmwasserbereiter). Der jeweils rückgewinnbare Anteil der Abwasserwärme ergibt sich dabei jeweils aus der Temperaturdifferenz zwischen Abwassertemperatur und Kaltwassertemperatur multipliziert mit dem Wärmekapazitätsstrom. Dieser wird im Video jeweils eingeblendet. Dabei wird erkennbar, dass die Variante 1 als bevorzugte, weil effizienteste Variante gewählt werden sollte.

Versuchsauswertung

Grundsätzlich bestehen zwei unterschiedliche Verfahren der Versuchsauswertung. Nach dem Passivhaus-Zertifizierungsverfahren wird das Duschwasser-WRG-System anhand des stationären Wirkungsgrades $\eta_{stationär}$ und der effektiven Totzeit t_{tot} beschrieben. Anschließend wird aus den beiden Werten der dynamische Wirkungsgrad bzw. das Effizienzkriterium mit dem Passivhaus-Projektierungspaket errechnet und anhand diesem einer Effizienzklasse zugeordnet. Auf dem Zertifikat werden alle drei Kennwerte protokolliert.

Alternativ erfolgt eine Zertifizierung nach der Niederländischen Norm NEN 7120:2011 Anhang B, durchgeführt durch das Unternehmen Kiwa. Bei Produktbeschreibungen wird üblicherweise von Kiwa-Zertifikaten gesprochen.

Die Niederländische Norm verfolgt einen anderen Ansatz. Der stationäre Wirkungsgrad und die effektive Totzeit werden nicht bestimmt. Stattdessen wird die Wärmemenge Q_{WRG} an der DWRG-Einheit aufgezeichnet. Der Wirkungsgrad η_{WRG} ergibt sich aus dem Verhältnis von Q_{WRG} zur gesamten bereitgestellten Energie Q_{Dusche} .

Es werden verschiedenen Volumenströme von 5,8 l/min, 9,2 l/min und 12,5 l/min angesetzt. Gemessen wird über eine Dauer von 8 min. Durch die Berechnungen über den Ansatz der Wärmemengen ist das dynamische Verhalten der DWRG-Systeme bereits berücksichtigt. Da jedoch Effekte, die in einer realen Dusche vorhanden sind, wie zusätzliche Totzeiten durch die Leitungen und Duschtasse, sowie die Abkühlung des Wassers zwischen Duschkopf und Abwasserrohr vernachlässigt werden, ist der so erhaltene Wirkungsgrad keine gute Annäherung realer Einsparungen.

Zusammenfassung

Erkenntnisse: Duschwasserwärmerückgewinnung erreicht je nach Bauart und Anschlussweise Wirkungsgrade von 35% bis über 55%. Dies stellt neben Sparduschköpfen (Reduzierung der Durchflussmenge) und guter Dämmung der Warmwasserleitungen und der Wärmespeicher einen wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung dar.

Antworten zu den Learning Questions: Auf dem Markt sind inzwischen unterschiedlichste Bauformen und Fabrikate für verschiedene Einsatzzwecke verfügbar:

Duschrohre stellen eine günstige und effiziente Bauweise dar, die praktisch wartungsfrei betrieben werden kann. Allerdings muss das Duschrohr im Stockwerk unter der Dusche installiert werden, was nicht immer möglich ist. Soll die Wärmerückgewinnung dagegen im gleichen Stockwerk installiert werden, kommen Duschrinnen zum Einsatz, die allerdings auch einen gewissen Wartungs- und Reinigungsaufwand erfordern und meist nicht ganz so effizient wie die Duschrohre ausfallen.

Grundsätzlich unterscheidet man drei Anschlussvarianten: (Variante 1) Im optimalen Fall schließt man das vorerwärmte Kaltwasser sowohl an den Warmwasserbereiter als auch an den Kaltwasseranschluss der Mischarmatur an. Der Volumenstrom des Frischwassers und des Kaltwassers sind dann ausgeglichen und es kann der maximale Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung erreicht werden.

(Variante 2) Die zweite Möglichkeit besteht darin nur das Frischwasser für den Kaltwasseranschluss am Mischventil durch den Wärmeübertrager vorzuwärmen. Dies kann ein Vorteil sein, wenn der Anschluss an den Warmwasserbereiter erschwert ist, wie etwa bei Sanierung einer Wohnung in einem Gebäudekomplex mit zentraler Warmwasserbereitung. Da die Volumenströme im Wärmetauscher jetzt jedoch nicht mehr ausgeglichen sind, sinkt der Wirkungsgrad des Systems. Rechnet man den mit den Standard Werten im Passivhaus-Projektierungspaket PHPP kann man von

einem ca. 25 % geringeren Wirkungsgrad ausgehen. Wie groß die Reduktion des Wirkungsgrades tatsächlich ist, hängt wesentlich von der Warmwassertemperatur ab. Je heißer das Warmwasser ist, desto mehr Kaltwasser wird gezapft und der Frischwasser-Volumenstrom im Wärmetauscher somit erhöht. Mit einer höheren Warmwassertemperatur wird demnach ein besserer Wirkungsgrad erzielt. Ist das Warmwasser jedoch annähernd so warm wie die Duschtemperatur, wird praktisch kein Warmwasser gezapft und der Wirkungsgrad geht gegen Null.

(Variante 3) Bei der dritten Anschlussart wird nur das Wasser, das zum Warmwassererzeuger fließt durch den Wärmetauscher vorgewärmt. Denkbar ist diese Anschlussart bei einer Installation des Wärmetauschers nahe an einem zentralen Warmwassererzeuger. Bei üblichen Randbedingungen kommt es hier wie bei der Anschlussart „nur Kalt“ ebenfalls zu einer Reduktion des Wirkungsgrades von ca. 25 %. Analog zum vorher beschriebenen Fall spielt die Warmwassertemperatur bei der Reduktion eine entscheidende Rolle, allerdings wirkt sich bei dieser Anschlussart eine hohe Warmwassertemperatur positiv auf den Wirkungsgrad aus.

Luftdichtheit von Durchdringungen – Abdichtung, Drucktest und Nebelvisualisierung

Einführung in die Thematik

Intro: Luftdichtheit ist eine der zentralen Methoden des energieeffizienten Bauens und Sanierens. Sie reduziert die Lüftungswärmeverluste durch In- bzw. Exfiltration und ermöglicht damit einen effizienten Betrieb von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Darüber hinaus werden Bauschäden durch auskondensierende Feuchte in Leckagen vermieden. Und letztlich trägt luftdichte Bauweise zu verbessertem Luftschallschutz der Gebäudehülle und zu thermischer Behaglichkeit durch Vermeidung von Zugerscheinungen in den Wintermonaten bei.

In der Planung ist daher ein schlüssiges Luftdichtheitskonzept zu entwickeln, welches dann durch Einsatz geeigneter Materialien und sorgfältige Ausführung der luftdichten Anschlüsse aller Bauteile in der Praxis umgesetzt wird. Im Intro des Videos kann eine animierte Grafik der Zeichenstiftregel gezeigt werden. Dabei wird in einer Schnittdarstellung die luftdichte Ebene einmal vollständig mit einem roten Stift nachgezeichnet. Dabei dürfen keine Unterbrechungen auftreten.

Zur Überprüfung der Luftdichtheit wird ein Drucktest durchgeführt. Im Video kann hierfür der Einbau einer Blowerdoor mit Ventilator und Druckdifferenzmessung gezeigt werden. Im Mockup wird dies ja durch einen kleinen Hochdruckventilator ersetzt.

Learning Questions: In diesem Video werden geeignete Methoden für die Luftdichtheit unterschiedlichster Durchführungen und Bauteilanschlüsse gezeigt. Wie können verbleibende Restleckagen und Undichtheiten aufgespürt und erkannt werden? Wie wird ein Drucktest durchgeführt und ausgewertet? Warum muss der Drucktest sowohl bei Über- als auch bei Unterdruck durchgeführt werden und warum ergibt sich dabei jeweils ein anderes Ergebnis?

Darstellung und Erläuterung des Mockups

Die Funktion des Mockups kann einleitend am besten anhand einer Prinzipskizze dargestellt und erläutert werden. Im Prinzip gibt es nur zwei Anschlüsse, den Schlauchanschluss für den Ventilator um Über- bzw. Unterdruck anzulegen sowie den Messstutzen, an den ein Messschlauch zur Druckdifferenzmessung zwischen innen und außen angeschlossen wird. Bei der Erläuterung des Mockups ist es wichtig klarzustellen, dass die Frontplatte die Innenoberfläche eines Gebäudes darstellt. Die Box simuliert die Außenrandbedingung und verursacht bei Unterdruck einen Sog auf die

Leckagen und Durchführungen bzw. drückt Luft von außen nach innen bei Überdruck. Bei der Nebelvisualisierung wird die Box mit Nebel geflutet und auf Überdruck gebracht. Dadurch werden Leckagen mit austretendem Nebel deutlich erkennbar. In der Praxis ist dies auf diese Weise nicht möglich, weil der Außenraum nicht mit Nebel geflutet werden kann. Wird das Gebäudeinnere mit Nebel gefüllt und auf Überdruck gebracht kann man Nebelaustritt an der Außenoberfläche des Gebäudes erkennen. Häufig tritt die Luft aber an anderer Stelle aus als sie eingetreten ist.

Versuchsbeschreibung

Zielsetzung: Ziel der Nebelvisualisierung ist die Erkennung von Schwachstellen und deren Beseitigung. Die Lernenden sollen sowohl die korrekte Planung, als auch die geeigneten Luftdichtheitsmaterialien und deren fachgerechte Verarbeitung kennenlernen, die Nebelvisualisierung kann einen qualitativen Eindruck der Leckagen und deren Verortung geben. Der Drucktest vor- und nach den Abdichtungsmaßnahmen zeigt zusätzlich die quantitative Wirkung der Maßnahmen.

Erwartetes Ergebnis: Bei schlüssigem Luftdichtheitskonzept (Planungsaufgabe) und fachgerechter Ausführung der Luftdichtheitsmaßnahmen wird ein hohes Maß an Luftdichtheit auch dauerhaft erreicht. Geeignetes Material und sorgfältige Ausführung führen dann zu zuverlässig guten Resultaten beim Drucktest.

Arbeitsschritte Versuchsdurchführung: Zunächst werden alle Materialien wie Luftdichtheitsklebebänder, Kompriband, Gummimanschetten etc. sowie das zugehörige Werkzeug (Anpressrolle, Anpressspachtel, Cuttermesser etc.) und deren Handhabung beim Abkleben unterschiedlicher Geometrie (Kanten, Ecken etc.) sowie Durchführungen (Kabel, Rohre, Steckdosen etc.) im Video gezeigt. Dabei wird auch auf mögliche Fehlerquellen hingewiesen (z.B. falsche Auswahl der Kompribandstärken in Abhängigkeit der Spaltweite), und ggf. der Einfluss unterschiedlicher Drucktestergebnisse auf die Energiebilanz aufgezeigt. Auch die Ventilwirkung z.B. bei zwei überlappenden, aber nicht verklebten Folien und deren Einfluss bei Über- bzw. Unterdruck soll gezeigt werden. Einige Fehlstellen werden bewusst belassen und dann anschließend mittels Nebelvisualisierung sichtbar gemacht. Hierfür wird zunächst die Box vollständig mit Nebel gefüllt und anschließend mit dem Druckschlauch auf Überdruck gebracht. Dann kann der Nebelaustritt an der Frontplatte durch die jeweiligen Fehlstellen austreten. Um diesen im Video möglichst gut sichtbar zu machen, ist ein dunkler Hintergrund (z.B. schwarze Decke oder Pappe) zu wählen. Die Beleuchtung mit einem Baustrahler von schräg unten lässt den Nebel aufleuchten ohne zu blenden.

Nach der Nebelvisualisierung wird der Drucktest mit dem Hochdruckventilator bei mehreren Druckstufen (unter und über 50 Pa Druckdifferenz) sowohl bei Unter- als auch bei Überdruck durchgeführt und die Werte sowohl für den Volumenstrom als auch für den jeweiligen Differenzdruck notiert.

Anschließend werden die verbliebenen Leckagen möglichst gut verschlossen und der Drucktest wiederholt. Da dieser Prozess sehr lange dauert, kann hier mit Zeitraffer gearbeitet oder Sequenzen weggelassen werden.

Versuchsauswertung

Ziel der Auswertung ist die Bestimmung des n_{50} -Wertes, also die Luftwechselrate bei einer Druckdifferenz von 50 Pa mit der Einheit 1/h. Dazu teilt man den Luftvolumenstrom (Q_{50}) bei 50 Pa Druckdifferenz durch das beheizte Gebäudevolumen V . Die Ergebnisse werden mit den Anforderungen der jeweiligen Normen verglichen, z. B. der DIN EN 13829 oder der DIN EN ISO 9972. Für Passivhäuser gilt beispielsweise ein Grenzwert von $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. Beim Mockup handelt es sich

jedoch nur um einen Ausschnitt aus einer Außenwand, eine Zuordnung zu einem Gebäudevolumen V ist daher nicht sinnvoll möglich. Es reicht daher eine Interpolation des Q_{50} .

Zur Interpolation der Messdaten wird der Volumenstrom als Produkt aus einem Proportionalitätsfaktor C und der Druckdifferenz mit dem Strömungsexponenten n (zwischen 0,5 und 1) dargestellt. Die Parameter C und n werden dann durch eine lineare Regression im doppelt-logarithmischen Maßstab ermittelt.

Zusammenfassung

Erkenntnisse: Unter der Voraussetzung eines schlüssigen Luftdichtheitskonzepts, der Verwendung für die Luftdichtheit qualifizierter Materialien und der sorgfältigen Verarbeitung können dauerhaft und reproduzierbar eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle im Neubau und in der Sanierung erreicht werden. Zur Qualitätssicherung ist ein Drucktest zum Nachweis des n_{50} -Wertes erforderlich.

Antworten zu den Learning Questions: Zur Leckagesuche kann mit Nebelvisualisierung die Leckageströmung sichtbar gemacht werden, wenn gleichzeitig Unter- bzw. Überdruck angelegt wird.

Der Grund, warum beim Drucktest sowohl mit Über- als auch mit Unterdruck gemessen werden muss ist, dass manche Leckagen eine Art Ventilwirkung aufweisen. Beispielsweise werden zwei überlappende aber nicht verklebte Folien bei Überdruck aufeinandergedrückt und erscheinen dabei als vergleichsweise luftdicht. Legt man dagegen Unterdruck an, so öffnet sich der Folienspalt und es kann Luft fast ungehindert hindurchströmen. Da Leckagen der Gebäudehülle je nach Windrichtung sowohl auf Druck als auch auf Sog beansprucht werden, sind beide Richtungen zu prüfen. Als Ergebnis wird der Mittelwert ausgewiesen.

Photovoltaik-Experimente – Verschaltung, Wirkungsgradmessung und Auswertung

Einführung in die Thematik

Intro: Eingangs sollten Beispiele von Photovoltaik auf Gebäuden in unterschiedlichen Ausführungen gezeigt werden, sowohl auf den Dächern als auch auf den Fassaden. Künftig müssen möglichst alle geeigneten Flächen für die Stromerzeugung genutzt werden. Dabei ist mit Teilverschattung und Erwärmung der Module zu rechnen.

Learning Questions: Wie kann man die daraus resultierenden Ertrags-Einbußen der PV-Module minimieren.

Darstellung und Erläuterung des Mockups

Um die Effekte von Reihen- und Parallelschaltung sowie Teilverschattung und Ertragseinbußen durch hohe Temperaturen sowie die dazugehörigen Maßnahmen zu deren Minimierung im Experiment zu veranschaulichen, werden kleine PV-Zellen mit Steckkontakten und Temperatursensoren ausgestattet. Die Studierenden können diese dann beliebig verschalten und Bypassdioden hinzufügen. Die PV-Zellen können mit elektrischen Heizelementen von der Rückseite beheizt werden um die Wirkungsgradeinbuße zu zeigen. Die einzelnen Zellen werden auf Holzbrettchen geklebt, welche das PV-Modul darstellen. Der Anstellwinkel kann gegenüber der Grundplatte in 10 Gradschritten variiert werden, um den Einfluss der Winkelabhängigkeit der Einstrahlung im Experiment zu zeigen. Mit der 90°-Aufstellung kann auch die Fassadenintegration nachgestellt werden. Im Video werden sowohl die Einzelteile als auch deren Funktion gezeigt und erläutert.

Versuchsbeschreibung

Zielsetzung: Ziel der Versuche ist die Demonstration der Effekte von Teilverschattung bei Reihen- und Parallelschaltung. Mit der Parallelschaltung von Bypassdioden und der Serienschaltung von je einer Blockierdiode in jedem Strang soll der Effekt der Teilverschattung minimiert werden. Um die Wirkungsgradkennlinie der PV-Zellen in Abhängigkeit der Temperatur zu bestimmen, wird die Strom-/Spannungskennlinie einmal mit und einmal ohne Beheizung bestimmt.

Erwartetes Ergebnis: Schattet man einzelne Zellen oder gar ganze Strings (Reihenschaltungen) ab, so bricht der Ertrag stark ein. Bei Reihenschaltung fließt durch alle Zellen der gleiche Strom, die verschattete Zelle begrenzt also den Stromfluss der gesamten Reihe. Bei einer Parallelschaltung bleibt die Spannung konstant, aber der Strom addiert sich. Wenn ein Modul verschattet ist, liefert es weniger Strom, was die Gesamtleistung der Parallelschaltung reduziert. Der Effekt ist hier weniger drastisch als bei der Reihenschaltung, aber dennoch spürbar.

Eine verschattete Solarzelle in einer Reihenschaltung kann zum sogenannten Hot-Spot-Effekt führen. Da die verschattete Zelle weniger Strom erzeugt, wirkt sie wie ein Widerstand und wird durch den Strom der anderen Zellen erhitzt. Dies kann die Zelle dauerhaft beschädigen.

Beheizt man die PV-Zellen auf höhere Temperatur, so büßen sie (zumindest die kristallinen Zellen) an Wirkungsgrad ein. Die Kennlinie der beheizten Zelle sollte demnach unter der unbeheizten Zelle liegen.

Arbeitsschritte Versuchsdurchführung: Zunächst experimentieren die Studierenden mit Parallel- und Reihenschaltung der Zellen und messen sowohl Strom als auch Spannung (Reihenschaltung: Spannungsaddition, Parallelschaltung: Stromaddition). Mit Hilfe der kurzgeschlossenen PV-Zelle kann aus dem Diagramm (oder wahlweise Tabelle) die Solareinstrahlung bestimmt werden. Alternativ kann auch die horizontale Globalstrahlung der nächstgelegenen Wetterstation abgerufen werden, allerdings kann diese je nach Bewölkungsgrad lokale Abweichungen aufweisen. Durch Variation des Lastwiderstandes (Potentiometer) kann die U/I-Kennlinie bestimmt werden. Nun wird die PV-Zelle mit der elektrischen Beheizung auf höhere Temperatur gebracht und die Kennlinie nochmals aufgenommen.

Versuchsauswertung

Der Ertrag der Parallel- bzw. Reihenschaltung wird sowohl mit als auch ohne Bypass- und Blocking-Dioden durch Berechnung der Leistung aus dem Produkt von Strom und Spannung bestimmt. Schattet man genau das PV-Element, welches mit einer Temperaturmessung ausgestattet wurde ab, so sollte die Erwärmung (Hotspot) festgestellt werden können. Allerdings wird dieser Effekt durch die geringere Erwärmung durch Einstrahlung überlagert.

Schließt man ein Potentiometer als variablen Lastwiderstand an, so kann Schritt für Schritt die Spannungs-Strom-Kurve aufgenommen werden. In das U/I-Diagramm wird zusätzlich die Leistung (zweite y-Achse) eingetragen. Das Maximum dieser Kurve ist der sogenannte „Maximum Power Point“ (MPP). Dieser sollte beim beheizten Modul unter dem Wert ohne Beheizung liegen.

Zusammenfassung

Erkenntnisse: Gebäudeintegrierte Photovoltaik (engl. Building Integrated PV, BIPV) stellt eine wichtige Entwicklung auf dem Weg zum ZEB dar. Im Gegensatz zur Freilandaufstellung sind dabei jedoch die Ertragseinbußen durch Teilverschattung und die Erwärmung zu beachten.

Antworten zu den Learning Questions: Mit Hilfe von Dioden kann der Leistungseinbruch und Hotspots von PV-Elementen in Parallel- bzw. Reihenschaltung vermieden werden.

Weil der Wirkungsgrad von kristallinen PV-Zellen mit der Temperatur abnimmt, sollte man diese so gut wie möglich hinterlüften. Für aufgeständerte PV-Module ist dies ohnehin der Fall. Kritisch kann die Erwärmung allerdings bei fassaden- bzw. dachintegrierter PV werden. Daher sollte man auch hier auf möglichst gute Hinterlüftung achten.

Energieeffiziente Tages- und Kunstlichtsteuerung mit DALI

Einführung in die Thematik

Intro: In Bürogebäuden entfällt ca. 30-50% des Stromverbrauchs auf das Kunstlicht. Durch den Einsatz von LEDs und intelligenten Steuerungssystemen kann der Anteil auf 10-20% reduziert werden. Im Intro sollte ein Büroraum mit zwei Leuchtenreihen (fensternah und fensterfern) gezeigt werden. Werden diese getrennt angesteuert (on/off bzw. Dimming) kann Kunstlicht eingespart werden, weil die fensternahen Arbeitsplätze größtenteils durch Tageslicht versorgt werden und weniger Kunstlicht benötigt wird.

Um derartige Steuerungen realisieren zu können, werden Sensoren (Beleuchtungsstärke, Anwesenheit) und Aktoren (Dimmer bzw. On/Off) benötigt. Die Kommunikation erfolgt über BUS-Systeme (im Bereich der Beleuchtung häufig mit DALI).

Learning Questions: Wie muss die Steuerung programmiert werden, damit an allen Arbeitsplätzen mindestens die vorgeschriebenen 500 Lux bei minimalem Stromeinsatz erreicht werden.

Darstellung und Erläuterung des Mockups: Das Mockup mit allen Sensoren und Aktoren wird im Video gezeigt und die einzelnen Elemente beschrieben. Um die Versuche unabhängig von Tageslicht durchführen zu können, wurden „die Fenster“ durch eine flächige LED-Beleuchtung simuliert. Diese kann für den Versuch ein- bzw. ausgeschaltet werden. Die Lux-Meter können entweder als Look-Down-Sensor oder als Sensor auf der Arbeitsplatzebene verwendet werden. Um Störungen durch Umgebungslicht zu vermeiden, ist das Mockup entweder mit geschlossenem Frontdeckel oder in einem dunklen Raum zu verwenden. Letzteres ist zu bevorzugen, weil sonst ja keine visuelle Kontrolle über die Funktionsfähigkeit möglich ist.

Versuchsbeschreibung

Zielsetzung: Ziel des Versuches ist die Programmierung einer Steuerung mit konstanter Arbeitsplatzbeleuchtung bei minimalem Kunstlichteinsatz.

Erwartetes Ergebnis: Durch entsprechendes Dimming der fensternahen Kunstlichtreihe kann die Arbeitsplatzbeleuchtung mit geringerem Stromeinsatz unter Ausnutzung der Tagesbelichtung insbesondere der fensternahen Arbeitsplätze erreicht werden. Anwesenheitssensoren (Bewegungsmelder) können darüber hinaus mit voreingestellter Nachlaufzeit erhebliche Stromeinsparung bei Abwesenheit erzielen, wenn die Nutzer die manuelle Abschaltung vergessen.

Arbeitsschritte Versuchsdurchführung: Zunächst sollte im Video eine Art Tutorial zur Programmierung von Aktoren und Sensoren in DALI vorausgeschickt werden. Die Programmierung erfolgt über eine DALI-Maus (USB-Anschluss an das Laptop) mit kostenloser Programmierumgebung. Nun wird die Ansteuerung (Dimming) der fensternahen und fensterfernen LED von 0 bis 100% als sog. Matrixsteuerung programmiert.

Zum Funktionstest der Steuerung kann nun im Video gezeigt werden was passiert, wenn das „Tageslicht“ (=Fenster-LED) im Mockup an- bzw. ausgeschaltet wird. Die Steuerung sollte nun instantan die Dim-Werte auf die vorberechneten Werte setzen und die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz sollte gleichbleiben.

Versuchsauswertung: Zur Versuchsauswertung wird die Beleuchtungsstärke an beiden Arbeitsplätzen überprüft und sollte in jedem Fall 500 Lux betragen. Geringe Abweichungen sind auf Messungenauigkeiten und Kalibrierfehler zurückzuführen.

Zusammenfassung

Erkenntnisse: Intelligente Kunstlichtsteuerung kann durch Einbeziehung der Tageslichtnutzung insbesondere bei fensternahen Arbeitsplätzen bei gleichem Komfort zu signifikanten Stromeinsparungen führen. Voraussetzung ist allerdings die Gewährleistung von Blendfreiheit, z.B. durch Cut-Off-Steuerung der Jalousien zur Vermeidung von Blendung durch Direktstrahlung. Auch hierzu könnte im Video eine Szene eines realen Büroraumes mit einer Lamellenjalousie im Cut-Off-Betrieb sowie einem diffusen Store zur Erläuterung gezeigt werden.

Antworten zu den Learning Questions: Die Lösung für eine intelligente Steuerung muss wie gezeigt auch die gegenseitige Beeinflussung durch das Kunstlicht der jeweils anderen Leuchtenreihe berücksichtigen. Soll dies als reine Steuerung realisiert werden, so ist eine Matrixsteuerung zu programmieren. Die Konstanten der Matrix sind entweder über eine Kalibriermessung oder über eine Lichtsimulation zu bestimmen.

Guidelines zu Konzept 2 (Exkursionen)

Nachfolgend werden exemplarisch Vorschläge für Videos zu Exkursionen in Bezug auf energieeffiziente Sanierung und deren möglicher Aufbau (Storyboard/Drehbuch) gemacht. Diese sind als Anregung für eigene Projekte gedacht und können bzw. sollen nicht genau so reproduziert werden. Sowohl das Drehbuch als auch der genaue Inhalt sind immer auf die jeweiligen Projekte abzustimmen. Darüber hinaus sind auch immer projektabhängig thematisch fokussierte Schwerpunkte zu setzen.

Die Dauer der Videos sollte jeweils 10 Minuten nicht überschreiten, in einigen Fällen können auch 5 Minuten für bestimmte Themen vollkommen ausreichen, um die Aufmerksamkeitsspannen nicht zu überschreiten. Bei komplexeren Themen können Zusatzmaterialien wie Folien, e-learnings oder Plandokumentationen ergänzend hilfreich sein.

Schulsanierung Volksschule Neu-Arzt (Rotadlerstraße)

Am Beispiel einer Schulsanierung in Innsbruck sollen alle relevanten Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik, insbesondere der Lüftung mit Wärmerückgewinnung gezeigt und in ihrer Funktion erläutert werden. Mittels Interviews mit Stakeholdern sollen Erfahrungen zur Sanierung und zum Betrieb abgefragt werden. Pläne (Grundrisse, Schnitte und Schemata) sowie Baustellenfotos können zum Verständnis beitragen und können als animierte Grafiken in das Video eingebunden werden. Ergänzende IR-Thermographieaufnahmen können die Qualität der Sanierung nachweisen. Falls vorhanden können IR-Aufnahmen vor der Sanierung zum Vergleich eingeblendet werden.

Intro

Im Rahmen einer umfassenden energetischen Sanierung des Bestandsgebäudes aus dem Jahr 1956 konnte der Heizwärmebedarf von ursprünglich 125 kWh/m²a auf 32 kWh/m²a nach der Modernisierung gedrückt werden. Das Schulgebäude mit einer Bruttogeschosfläche von 3185 m² (ohne Turnhalle) wurde ausschließlich in den 8 Wochen Sommerferien saniert – eine logistische Herausforderung für die Bauleitung und alle beteiligten Firmen! Der Vorteil lag darin, dass der normale Schulbetrieb ohne Auslagerung regulär weitergeführt werden konnte – das spart Kosten und viel Aufwand für die Umsiedelung.

Außenaufnahme

Schwenk über die Südfassade: Folgende Erläuterungen aus dem „off“ bzw. von einem Interviewpartner: „Die Gebäudefassaden wurden mit Vollwärmeschutz und hocheffizienten Fenstern mit Dreischeibenwärmeschutzverglasung ausgestattet. Die großflächige Südfassade wurde mit variablem Sonnenschutz ausgestattet. Die in der Planung anvisierte Ausführung von PV-Vordächern, welche als stationäre Verschattung eine Ausblendung der steilstehenden Sommersonne sowie solare Gewinne im Winter ermöglicht hätte wurde aus gestalterischen Gründen (Gestaltungsbeirat) ausgeschlossen. Um trotz der Verschattung noch ausreichende Tagesbelichtung auch der fensterfernen Bankreihen zu ermöglichen, wurde ein spezieller Behang eingebaut. Dieser wird zwar mit nur einem Motor betätigt, durch die spezielle Knüpfung der Kordeln sind jedoch die Lamellen im oberen Drittel horizontal und die restlichen Lamellen steiler angestellt. Eine komplette Verschattung ist aber dennoch möglich.“

Innenaufnahme

Dies ermöglicht eine Tageslichtumlenkung an die Decke und damit eine bessere Tiefenbelichtung ohne Blendung durch Direkteinstrahlung im Klassenraum.

Drohnenflug oder Dachaufnahme

Fast die gesamte Dachfläche wurde mit insgesamt 137 flach geneigten Doppelmodulen ausgestattet. Diese wurden bewusst nicht in Süd- sondern in Ost-West-Richtung ausgerichtet, um die Erträge in den Morgen- und Abendstunden anzuheben. Ebenfalls auf dem Dach in der Gebäudemitte an der Nordseite ist das Lüftungszentralgerät mit Wärmerückgewinnung in Außenaufstellung untergebracht. Dies stellt eine äußerst kostengünstige Lösung dar, weil in diesem Fall kein kostbarer Technikraum benötigt wird. Einzig ein gesicherter Dachaufstieg für Wartungszwecke ist erforderlich, dieser ist aber ohnehin für die Wartung der PV-Anlage notwendig. Die Nennluftmenge beträgt 9750 m³/h. Ebenfalls auf dem Dach erkennbar sind die über Dach geführten Fallrohrbelüfter. Diese könnten zumindest teilweise zur Vermeidung von Wärmebrücken durch Unterdachfallrohrbelüfter ersetzt werden.

Einblendung der Lüftungspläne

Ursprüngliche Lüftungsplanung: In der ursprünglichen Lüftungsplanung für die Klassenräume, Garderoben und WC-Räume wurde der Kostenrahmen aufgrund des hohen Aufwandes für die Kanalführung gesprengt, dies hätte beinahe dazu geführt, dass aus Kostengründen auf die Lüftungsanlage vollständig verzichtet worden wäre. Durch Drängen des Bauherrn auf Vereinfachung und Kostensenkung konnte die Entscheidung zur hocheffizienten Lüftung mit Wärmerückgewinnung beibehalten werden.

Tatsächliche Ausführungspläne der Lüftung (Ingenieurbüro Trenkwald, Jenbach)

Durch konzeptionelle Vereinfachung der Luft- und Kanalführung konnte eine erhebliche Kosteneinsparung erreicht werden. Mit minimalen Leitungswegen wird nun die Zuluft für die Klassenräume an der Längsseite mit Weitwurfdüsen zugeführt und strömt dann in die Garderobenräume über. Von dort strömt sie durch den Flur zu den WC-Räumen. Die Überströmung erfolgt über kostengünstig nachgerüstete Klassenraumtüren, die mit Überströmöffnungen versehen wurden. Sie verfügen aus Schallschutzgründen über eine beidseitige Paneelabdeckung, die Luft wird beim Überströmen also zweifach umgelenkt. Durch die Überströmung vom Klassenraum zuerst in die benachbarten Garderobenräume konnte der Schallschutz zum Flur mit geringem Aufwand eingehalten werden. Auf diese Weise konnten erhebliche Kosten für Kanalführung und Schalldämpfer gegenüber der ursprünglichen Planung eingespart werden. (Ggf. Interview mit Ingenieurbüro Trenkwald)

Innenaufnahmen im Klassenraum und Flur

Schwenk zu den Zuluftinlässen, der Überströmung in die Garderobenräume und in den Flur. Von dort geht die Luft über die Spalte der Oberlichter in die WC-Räume und wird von dort zurück zum Lüftungsgerät auf dem Dach geführt. Brandschutzklappen werden nur dort in den Kanälen verbaut wo Brandabschnitte mit einem Kanal durchstoßen werden. Für die Abluftführung nach dem Kaskadenprinzip ist dies nicht notwendig, weil die Luft durch den Flur (also ohne Kanal) strömt. Dies geht sogar über die Grenzen des Brandabschnittes hinweg, weil Brandschutztüren mit Haltemagnet verbaut wurden, die im Normalfall offen stehen bleiben und nur im Brandfall mittels Türschließer schließen.

Interview mit den Projektverantwortlichen der IIG (Immobilien-gesellschaft der Stadt Innsbruck)

Resümee über den Projektverlauf und die bisherigen Betriebserfahrungen, Verbrauchsdaten und künftige Projektvorhaben und Großinstandsetzungen

Serielle Sanierung eines Wohnbaus mit Großmodulen (Beispielprojekt Kohlweg, Innsbruck)

In diesem Video soll die sogenannte serielle Sanierung, also die Sanierung mit vorgefertigten Modulen thematisiert werden. In Innsbruck am Kohlweg wurde erstmals in Tirol eine derartige Sanierung mit vertikal eingehängten Modulen realisiert.

Intro

Bei der klassischen Sanierung sind eine Vielzahl von Gewerken auf der Baustelle zu koordinieren und deren Ausführungsqualität vor Ort zu sichern. Diese Arbeitsweise verlangt zwingend ein Gerüst, welches z.B. für die Aufbringung des Wärmedämmverbundsystems benötigt wird. (Videoschwenk über eine klassische Baustelle mit Gerüst) Diese Arbeitsweise bringt Bauzeiten über mehrere Wochen mit sich und führt damit zu einer nicht unerheblichen Beeinträchtigung der Bewohner durch Lärm, Staub und Gerüst vor dem Fenster.

Demgegenüber kann mit der sogenannten seriellen Sanierung - also der Sanierung mit vorgefertigten Elementen - sowohl das Gerüst als auch Bauzeit auf der Baustelle eingespart werden. Bei der

Sanierung im Kohlweg in Innsbruck konnte diese neue Arbeitsweise an einem Mehrfamilienhaus mit Hilfe von vertikalen Großmodulen umgesetzt werden.

Außenansicht und ggf. Drohnenvideo

Die gesamte Fassade wurde mit Holzmodulen gedämmt, dabei wurde ein klassischer Baukran eingesetzt, welcher sowohl für die Fassade als auch das Dach die Elemente einheben konnte. Da die Fassade außen nicht verputzt, sondern mit vertikaler Holzlattung bereits ab Werk ausgeführt wurde, war kein Gerüst erforderlich. Um die vertikalen Fugen zwischen den Elementen unkenntlich zu machen wurden mittels Hubsteiger Abschlussleisten aufgeschraubt. Durch das unregelmäßige Fassadenbild der Lattung kann im Nachhinein keine Modulgrenze mehr erkannt werden.

Einblenden und Erläutern der Fassadenpläne und Baustellenfotos

Vor Sanierungsbeginn wurde die gesamte Fassade mit Laseraufmaß vermessen. Dann wurden die horizontalen Holzprofile an die Fassade gedübelt, welche das spätere Einheben bzw. Montage der Fassadenelemente ermöglichen. (Einblenden von Baustellenfotos auf denen die horizontalen Balken erkennbar sind) Die Besonderheit dieser Fassadenelemente ist, dass diese zur Bestandsfassade hin geöffnet sind. Der Hohlraum wird mit Zellulose ausgedämmt. Damit spart man sich eine Rückseitige Beplankung und kann mit der Zellulose die Toleranzen der Bestandswand ausgleichen. Damit wird jeglicher Spalt, der zu konvektiver Durchströmung führen könnte, vermieden.

Video Dachaufsicht

Aus Gründen der Nachhaltigkeit und Langlebigkeit wurde auf ein klassisches Flachdach mit Folie als wasserführende Ebene verzichtet, sondern ein leicht geneigtes hinterlüftetes Dach realisiert. Auch dieses wurde im Sinne der seriellen Sanierung in modularer Vorfertigung im Werk gebaut und per Kran auf das Dach gehoben. Auch hier kam Zellulose als Wärmedämmung zum Einsatz.

Interview und Resümee (Interview mit Planer und Wohnungsbaugesellschaft)

Das Sanierungsvorhaben wurde von der Wohnungsbaugesellschaft im Einvernehmen mit den Wohnungseigentümern mit großer Zufriedenheit abgewickelt. Als äußerst vorteilhaft und angenehm haben sich die kurzen Bauzeiten auf der Baustelle herausgestellt. Bislang wurden die Bestandsfenster noch nicht getauscht, deren künftige Montage ist aber bereits vorbereitet. Auch die Behandlung der Wärmebrücken durch die durchbetonierten Balkonplatten wurde bislang noch nicht angegangen. Langfristig geplant wäre hier ein Schließen der Loggien, damit werden die die Wärmebrücken künftig gänzlich entfallen. Auch die Nachrüstung der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung fehlt bislang. Für die vertikale Kanalführung können künftig ggf. stillgelegte Kaminzüge verwendet werden.

Nachrüstung der Wohnungslüftung im Bestand

In diesem Video sollen die Besonderheiten bei der Nachrüstung von Wohnungslüftungsanlagen anhand von Beispielen gezeigt werden. Dabei soll sowohl auf die gebäudezentrale Variante als auch auf die wohnungsweise und raumweise Anlage eingegangen werden. Zu jeder Variante sollte zumindest eine Videosequenz eines guten Demonstrationsprojektes verfügbar sein.

Intro

Wohnungslüftung verbessert die Luftqualität und mit Wärmerückgewinnung auch die Energieeffizienz. Insbesondere beim nachträglichen Einbau von Wohnungslüftung in

Bestandsgebäude trägt sie auch zu Bautenschutz bei, weil Feuchteschäden vermieden werden können. Aber wie und wo kann das Gerät sowie die Lüftungskanäle auch im Nachhinein eingebaut werden? Dies wird in diesem Video für raumweise, Wohnungsweise und Gebäudezentrale Lösungen an ausgeführten Anlagen im Bestand gezeigt.

Learning Questions

Welche Vor- und Nachteile weisen die unterschiedlichen Anlagenkonzepte auf und wie lassen sie sich mit möglichst wenig Platzbedarf im Bestand integrieren?

Raumweise Lüftung

Falls möglich sollte hier der Einbau von Einzelraumgeräten mit Kernbohrungen in der Außenwand gezeigt werden. Der Vorteil hier liegt in der relativ einfachen Installation, dem geringen Platzbedarf und dem Wegfall des Zu- und Abluftkanalnetzes. Auch Brandschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich. Im Video sollte die Fassadenansicht sowie die Innenansicht gezeigt werden. Bei Pendellüftern (Push-Pull) ist zudem noch eine Überströmung zum Flur notwendig, falls die Luft zwischen den Räumen hin und her wechseln soll. Generell sind diese Geräte aber aufgrund der Windanfälligkeit und mangeldem Luftschallschutz ohnehin nicht empfehlenswert. Manche Einzelraumgeräte mit rekuperativem Wärmeübertrager verfügen zum Teil über einen Zweitraumanschluss, über welchen auch Nachbarräume be- bzw. entlüftet werden können. Sie können entweder Aufputz, Unterputz- oder wandintegriert eingebaut werden. Vorteilhaft ist dabei immer, wenn die Geräte komplett von innen gewartet werden können.

Kaskadenlüftung, erweiterte Kaskade und Zonenumschaltklappe

Mit einem Kamerarundgang durch eine Wohneinheit werden die Zulufräume mit den Zuluftventilen, den Überströmöffnungen in der Tür sowie die Überströmbereiche (Flur) und schließlich die Ablufträume (Bad, Küche, WC) mit den Abluftdurchlässen gezeigt. Bei Abluftelementen mit Vorlegether soll im Video gezeigt werden, wie die Abdeckungen abgenommen und die Filter gewechselt werden (Bad: Grobfiltervlies, Küche: Fettkondensationsfilter). Abschließend wird noch kurz die erweiterte Kaskade angesprochen (Wohnzimmer als Überströmzone) sowie auf die Zonenumschaltklappe hingewiesen um zwischen Wohn- und Schlafräumen umschalten zu können und Luftmengen zu sparen.

Wohnungsweise Lüftung

Auch bei dieser Variante ist kein Brandschutz notwendig, allerdings ist zu prüfen, wo am einfachsten die Lüftungskanäle verlegt werden können. Im Video sollten verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt werden: Z.B. unter der abgehängten Decke im Flur, in einer Abkofferung entlang der Raumkanten oder frei verlegt ohne Verkleidung. Wenn im Inneren der Wohnung kein Platz für die Kanalführung zur Verfügung steht, können die Kanäle auch auf der Außenwand unter dem WDVS verzogen werden. Hierzu können im Video Fotos von Baustellen eingeblendet werden.

Zentrale Lüftung

Im Video kann hier exemplarisch eine Anlage der Neuen Heimat Tirol mit Aufstellung im Dachgeschoss gezeigt werden. Für den Vertikalverzug stehen hier mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, auch dann, wenn kein Schacht vorhanden ist: Z.B. im Treppenhaus, in stillgelegten Kaminzügen oder an der Fassade unter dem WDVS.

Aktive Überströmer (in der Schweiz als „Verbundlüfter“ bezeichnet)

Im Video wird gezeigt wie die Luft über einen großflächigen druckverlustarmen Luftdurchlass in den Flur eingebracht wird. Dann wird erklärt, dass die Luft durch geöffnete Türen (mehrere hundert Kubikmeter) von selbst in die Zulufräume strömt, bei geschlossenen Türen aber aktive Überströmer erforderlich sind. Hierzu wird zunächst der Überströmer von außen mit seinen Schallschutzabdeckungen gezeigt. In einer zweiten Einstellung wird dann die Abdeckung abgenommen und der Blick auf die Ventilatoren freigegeben.

Zuluft einbringung mit Weitwurfdüsen

Im Video wird die korrekte Montage des Zuluftventils unter der Decke gezeigt und die Strömungsvisualisierung mit Nebel zeigt, wie sich die Luft an die Decke anlegt und weit in den Raum einströmt. Mögliche Planungsfehler (wie z.B. Strömungsbarrieren vor dem Auslass sowie Akustik-Lockdecken) werden angesprochen und/oder gezeigt.

Kurzinterview mit Projektleiter der Wohnungsbaugesellschaft NHT (Neue Heimat Tirol)

Erfahrungen mit den Sanierungen im Rahmen des Forschungsprojektes Sinfonia. Wichtiges Learning: Die Lüftungserschließung wurde für alle Wohneinheiten vorbereitet, die Anschlüsse und Inbetriebnahme erfolgte aber nur auf Wunsch/Einwilligung der BewohnerInnen. Ansonsten werden die Wohneinheiten erst nach Auszug und vor Neubezug mit der Lüftungsanlage versorgt. Auf diese Weise wird nach und nach das gesamte Gebäude angeschlossen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Learning Questions

Im Rahmen der Sanierung können sowohl wohnungsweise als auch gebäudezentrale Lüftungs-Lösungen zielführend sein. Der Vorteil der wohnungsweisen Anlagen liegt darin, dass keine Brandschutzanforderungen bestehen, weil die Kanäle nicht über den Brandabschnitt hinausgehen. Zentrale Anlagen werden dagegen häufig im Mietwohnungsbau aus Wartungsgründen bevorzugt, weil die Wohneinheiten (und damit der Privatbereich) für die Wartung (z.B. Wechsel der Außenluftfilter) nicht betreten werden müssen. Die gezeigten Varianten der Luftführung (Kaskadenlüftung, erweiterte Kaskade und aktive Überströmer) helfen Kanalnetz (Zuluftkanäle) einzusparen, dies ist besonders bei der nachträglichen Integration im Bestand von Vorteil. Wohnungsweise Lüftungsgeräte können heute bereits platzsparend Wand- oder Fensterintegriert eingebaut werden.

EnerPHit-Sanierung eines Bürogebäudes

Video zur Sanierung des Gebäudes für technische Wissenschaften, Interview mit Wolfgang Feist, der mit dem Passivhaus-Institut für die bauphysikalische Planung des Gebäudes verantwortlich war.

An der Universität Innsbruck wurde eines der ersten Bürogebäude im EnerPHit-Standard saniert. Im Video werden die einzelnen Elemente der Sanierung (Fassade, Dach, Fenster, Lüftung, Beleuchtung und Brandschutz) anschaulich erläutert.

Guidelines zu Konzept 3 (Lehrvideos zu Bauabläufen)

ConClip-Videos (8 Einzelvideos)

Im Rahmen des EU-Projektes ConClip wurden Videos und Schulungsmaterial für den Bau von Passivhäusern zur Verfügung gestellt (<http://conclip.eu/de>). Viele der geschilderten Arbeitsschritte und Technologien sind bis heute korrekt und aktuell, einige Methoden und Produkte sind jedoch nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Technik und der Forschung und sollen daher nachfolgend angesprochen werden. Nachfolgende Überschriften beziehen sich auf die jeweiligen Videos, die darauffolgenden Anmerkungen sollten bei Verwendung der Videos im Rahmen aktueller Kurse, Vorlesungen und Fortbildungen angesprochen bzw. diskutiert werden.

Dämmung – Wärmebrücken vermeiden bei der Gebäudedämmung

<http://conclip.eu/de/dammung-warmebrucken-vermeiden-bei-der-gebauededammung>

Die Dämmplatten sind im Verband zu verlegen (T-Stöße, keine Kreuzfugen), das wird im Video gut erläutert, wichtig ist aber auch an den Gebäudeecken nicht bündig, sondern im Versatz zu arbeiten. Das ist zwar bei der Ausführung richtig gemacht, es wird aber nicht extra erläutert bzw. darauf hingewiesen. Wenn das nicht beachtet wird kommt es an der Ecke zu durchgehenden Vertikalfugen und ggf. Rissbildung.

Die entweder vollflächige Verklebung oder das Arbeiten mit Ringwulst wird ja bei der Sanierung immer in Kombination mit dem Verdübeln ausgeführt, weil nur die Verklebung je nach Zustand des Außenputzes keinen garantierten Halt bietet. Aus statischen Gründen würde aber allein das Dübeln ausreichen. Der Klebstoff wird dann nur gebraucht, um den Konvektionsspalt zwischen Dämmung und Bestandswand zu vermeiden. Heute gibt es aber spezielle Dübelssysteme, welche die Dämmplatte so dicht an die Wand pressen, dass kein Konvektionsspalt verbleibt (siehe WDFS Dübelmontage ohne Klebstoff). Somit lässt sich das WDFS später rückstandslos und sortenrein entsorgen.

Luftdichtheit – Fenstereinbau in einer gedämmten Ziegel-Außenwand

<http://conclip.eu/de/luftdichte-fenstereinbau-einer-gedammten-ziegel-aussenwand>

Der Einbau der Fenster im Mauerwerk ist mit einer unzulässig hohen Einbauwärmebrücke verbunden und entspricht nicht dem Passivhausstandard. Sowohl beim Neubau als auch bei der Sanierung muss das Fenster in der Dämmebene eingebaut werden. Hierfür kann entweder mit Kantholz und Montagewinkeln oder mit vorgefertigten wärmebrückenfreien Vorwandmontagesystemen gearbeitet werden. Beides sollte im Video gezeigt werden und stellt eines der häufigsten Schwachstellen/Wärmebrücken dar, weil noch immer so wie im Video gezeigt gearbeitet wird.

Dämmung – Einbau einer Fensterbank

<http://conclip.eu/de/dammung-einbau-einer-fensterbank>

Die Vorgehensweise sollte an einem Video gezeigt werden, das den Fenstereinbau korrekt in der Dämmebene darstellt. Dabei sollte auch auf die möglichst gute Überdämmung des Blendrahmens hingewiesen werden. Der untere Anschluss kann leider aufgrund der Fensterbank nicht ganz so gut wie die seitlichen Laibungen gedämmt werden, weil die Rahmenfalzentwässerung (Löcher im

Blendrahmen) auf die Fensterbank abtropfen müssen. Dennoch sollte man den Blendrahmen auch hier so viel wie möglich überdämmen.

Dämmung- Richtige Dämmung von Attikamauerwerk

<http://conclip.eu/de/dammung-richtige-dammung-von-attikamauerwerk>

Dieses Beispiel ist eher ein typisches „so nicht!“-Beispiel, denn die gemauerte Attika stellt eine starke Wärmebrücke dar, die auch mit umlaufender Überdämmung nicht beseitigt, sondern nur abgeschwächt werden kann. Hier sollte eine moderner Passivhaus-Attikaausführung gezeigt werden, diese besteht meist aus druckfestem Dämmstoff oder wird mit einem ausgedämmten Holzkasten ausgeführt. Dann braucht man auch keine „Umdämmung“ mehr! Im Neubau ist das also keine empfehlenswerte Lösung. Allein in der Sanierung könnte, falls ein Entfernen der Attika zu aufwändig wäre, so gearbeitet werden.

Luftdichtheit- Abdichtung um Kabel und Rohre

<http://conclip.eu/de/luftdichtheit-abdichtung-um-kabel-und-rohre>

Hier wird nur die Variante der Steckdosen in der Installationsebene gezeigt. Das ist zwar eine sehr gute und sichere Lösung, aber eben auch teuer. Verzichtet man auf eine Installationsebene, muss man mit luftdichten Steckdosen bzw. Steckdosen die von hinten mit einer luftdichten, selbstklebenden Schale abgedeckt werden arbeiten, jeweils mit luftdichten Kabeldurchführungen.

Luftdichtheit- Abdichtung im Schwellenbereich

<http://conclip.eu/de/luftdichtheit-abdichtung-im-schwellenbereich>

Warum nicht erst das Dichtband in die Kanten kleben und dann die Winkel anschrauben? Spart viel Arbeit und man kann mit schmalerem Klebeband arbeiten.

Dämmung- Richtige Dämmung eines zweischaligen Mauerwerks

<http://conclip.eu/de/dammung-richtige-dammung-eines-zweischaligen-mauerwerks>

Bei diesem Video sollte man nicht nur die Dämmung in der Fläche, sondern auch den Fensteranschluss zeigen, auch hier kommt es wieder auf einen geringen Einbau-Wärmebrückenverlustkoeffizienten an. Der Blendrahmen muss in der Dämmebene und nicht in der Ziegelebene zu liegen kommen. Wie das ausgeführt wird, sollte im Video gezeigt werden.

Dämmung- Richtige Sockeldämmung unter Erdniveau

<http://conclip.eu/de/dammung-richtige-sockeldämmung-unter-erdniveau>

Häufig wird ja zwischen Sockeldämmung und normaler Wanddämmung mit einem Anschlagprofil gearbeitet, weil dies die Einhaltung der horizontalen Flucht erleichtert. Früher wurde hier häufig noch mit Aluminium-Profilen gearbeitet. Hierfür gibt es wärmebrückenarme Kunststoffprofile, deren Verarbeitung auch im Sinne des Brandschutzes (vollständiges Verputzen) im Video ebenfalls gezeigt werden sollte.

Variante 1: Erst Sockeldämmung dann Fassadendämmung (Sockelprofil aus Kunststoff dazwischen klemmen)

Variante 2: Sockeldämmung im Anschluss an die Fassadendämmung (Startprofil andübeln)

Energiespar-Kommissar

Carsten Herbert aus Darmstadt betreibt die Homepage energiesparkommissar.de und stellt nützliche Videos und Ratgeber zur Verfügung. Er ist auch Herausgeber des Buches „Alles was Sie über Energiesparen wissen müssen.“ Folgende Themen können im AchieVE-ZEB-Kontext als nützliche Lehrmaterialien herangezogen werden:

Einblasdämmung im Dämmsackverfahren (Zwischenlösung für die Zwischensparrendämmung):

Abseiten Drempel: Unterspannbahn + Ausblasen mit Dämmstoff

<https://energiesparkommissar.de/video/schraegdachdaemmung-im-einblasverfahren-daemmsack-abseite-drempel/>

DIY – Spardusche/Sparbrause:

<https://www.lea-hessen.de/buergerinnen-und-buerger/hessen-spart-energie/do-it-yourself-energiesparmassnahmen/diy-energiespartipp-sparbrause/>

Download Testtabelle:

https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2023/4075_DIY-Tabelle_Sparbrausen_final.pdf

<https://energiesparkommissar.de/video/diy-spardusche-sparbrause-viel-besser-als-gedacht-sparen-ohne-komfortverlust/>

Fenster-Vorwandmontage

Zu diesem Thema liegen einige Herstellervideos unterschiedlicher Produkte vor, nachfolgend wird am Beispiel der illbruck-Vorwandmontage eine Guideline vorgeschlagen:

Was?	Zur Vermeidung von Einbauwärmebrückenverlusten beim Fenster müssen die Fensterrahmen in der Dämmebene eingebaut werden. Dabei müssen sowohl die Vertikallast (Gewichtskraft) als auch die Windsog- und Drucklasten abgefangen werden. Hierfür gibt es unterschiedliche Montagemöglichkeiten und bereits vorgefertigte wärmebrückenarme Lösungen
Wie?	Statisch gesehen sind nur die Ecken des Fensterrahmens zu fixieren, weil hier die Lasten der Konstruktion zusammenlaufen. Zusätzlich werden die seitlichen Rahmenprofile mit zusätzlichen Befestigungspunkten versehen um die Lasten gleichmäßig zu verteilen, der maximale Abstand beträgt in der Regel 70 cm je nach Material. Nur bei großen Fenstern (oder Fensterrahmen mit Mittelstreben oder Querstreben) oder hohen Windlasten sind auch an den oberen und unteren Rahmenprofilen Fixierungen notwendig. Die Auslegung erfolgt in Bezug auf die Windlasten nach EN 1991-1-4 (Eurocode 1). Die Auslegung der Befestigungspunkte für Fenster und Türen erfolgt nach DIN 18055. Arbeitet man nun mit Metallschienen oder Winkeln, so ist die Wärmebrückenwirkung durch möglichst sparsamen Einsatz nach Statikanforderung zu minimieren und darauf zu achten, dass die Befestigungselemente möglichst wenig tief eindringen. Durchdringungen sind in jedem Fall zu vermeiden. Alternativ zu metallischen Befestigungen können Kanthölzer oder mechanisch belastbaren Kunststoffen geringer Leitfähigkeit (e.g. Purenit, Compacfoam) verwendet werden. Zur Vereinfachung der Arbeitsabläufe können bereits vorgefertigte wärmegegedämmte Einbaurahmen oder Winkelschienen verwendet werden.
Warum?	Ziel der wärmebrückenfreien Fenstermontage ist es, die Wärmedämmung (Außen- oder Innendämmung) möglichst gut an den wärmegegedämmten Fensterrahmen

	<p>anzuschließen. Jeglicher Versatz führt zu einer starken Wärmebrückenwirkung. Daher sollten die Fensterrahmen also vor dem Mauerwerk in der Dämmebene montiert werden. Bei Passivhaus-Dämmstärken bleibt dann noch immer genug Dämmstärke zur Blendrahmenüberdämmung, welche den Rahmen nochmals zusätzlich vor Wärmeverlusten schützt, letztlich sind damit sogar negative Einbauwärmebrückenverlustkoeffizienten zu erreichen. Auf der Baustelle verursacht der Anschluss der Dämmung jedoch erheblichen Arbeitsaufwand, weil der Rahmen bzw. Befestigungselemente passgerecht aus der Dämmung geschnitten werden müssen. Vorteilhaft wären daher vorgefertigte Fenster-Vorwandmontagesysteme mit Einbaurahmen, an die einfach stumpf angedämmt werden kann.</p>
--	--

<https://www.youtube.com/watch?v=e43vUq2nS5o>

Arbeitsschritt 1: Zunächst muss die Rohbauöffnung gespachtelt werden, um den luftdichten Anschluss vom Innenputz an den Blendrahmen zu gewährleisten. Dies gilt selbstverständlich auch für den unteren Anschluss unter dem Fensterbrett, der abschließend zwar nicht mehr sichtbar ist, für die Luft bei verbleibenden Spalten aber einen Leckageweg darstellt.

Arbeitsschritt 2: Nun werden die Befestigungselemente vorbereitet. Bei vorgefertigten Fenstermontage-Zargen werden diese passend abgelängt, die Löcher gebohrt, die Montagefläche gereinigt, mit Primer vorbehandelt und mit Soforthaftkleber befestigt (beginnend mit der unteren Zarge) sowie verschraubt. Dann wird der vorgefertigte Dämmkeil angebracht.

Arbeitsschritt 3: Nun wird das Fenster mit handelsüblichen Rahmenschrauben seitlich in die Zarge verschraubt.

Arbeitsschritt 4: Von außen wird das Fenster mit einer Spezialfolie gegen drückendes Wasser verklebt.

Arbeitsschritt 5: Von Innen wird der luftdichte Anschluss des Fensterrahmens mit dem Innenputz mittels vlieskaschiertem Klebeband hergestellt. Dabei wird der Blendrahmen mit der Spachtelung verbunden, die Vlieskaschierung wird anschließend überputzt.

Arbeitsschritt 6: Von außen wird das WDVS mit möglichst weitgehender Überdämmung des Blendrahmens angeschlossen.

Isokorb und raumhohe Verglasung

Dieses Thema wird im Rahmen einer Masterarbeit in Zusammenarbeit mit der Neuen Heimat Tirol (NHT) bearbeitet. Videoaufzeichnungen können auf einer Musterbaustelle aufgezeichnet werden, wobei sowohl die konventionelle Arbeitsweise als auch die Methode mit hohem Vorfertigungsgrad gezeigt werden.

Was?	Wie bei jeder Fenstervorwandmontage muss auch bei raumhohen Verglasungen und Balkontüren der untere Anschluss die Lastabtragung sicherstellen, auch dann, wenn sich an dieser Stelle eine thermische Trennung (Isokorb) für den Balkonanschluss befindet. Der Montagewinkel muss daher in der Betonplatte rückverankert werden. In diesem Video soll gezeigt werden, wie die Fenstermontage am unteren Anschluss mit möglichst hohem Vorfertigungsgrad erfolgen kann. Alle Arbeitsschritte, die auf der Baustelle vermieden werden können, sparen Zeit und erleichtern die Qualitätssicherung, welche damit von der Baustelle in das Werk vorverlagert wird.
Wie?	Vorgefertigte Balkonplatten, welche bereits mit einem Isokorb vergossen wurden, werden bereits im Werk mit Montagewinkeln versehen, welche über Betonanker verfügen die in die zu betonierende Deckenplatte ragen. Damit werden diese ebenso wie die noch herausragende Armierung des Isokorbs in die Deckenplatte eingegossen.
Warum?	Mit dieser Arbeitsweise kann einerseits die Fenstermontage in der Dämmebene sichergestellt und andererseits der Arbeitsaufwand und der Aufwand für die Qualitätssicherung auf der Baustelle minimiert werden. Bei der klassischen Arbeitsweise müssten die Winkel oder Schienen nachträglich mit der Betondecke verdübelt werden.

<https://www.youtube.com/watch?v=FUFcMON2uhk>

Arbeitsschritt 1: Im Werk wird der Isokorb mit der Balkonplatte halb vergossen.

Arbeitsschritt 2: Auf der Gebäudeseite des Isokorbs werden die Winkel mit den bereits verschweißten Betonankern fixiert

Arbeitsschritt 3: Nun wird der halb vorgefertigte Balkon auf der Baustelle auf die vorbereiteten Montagstützen mit den Schalungsträgern aufgesetzt.

Arbeitsschritt 4: Abschließend wird die Decke gegossen, dabei wird sowohl die Armierung des Isokorbs als auch die Betonanker an den Montagewinkeln vergossen.

WDVS in der Sanierung ohne Klebstoff

Was?	Normalerweise wird Wärmedämmverbundsystem in der Sanierung sowohl geklebt als auch gedübelt. Im Gegensatz zum Neubau kann aus Sicherheitsgründen nicht auf die mechanische Verankerung durch Dübel verzichtet werden, wenn die Putzabzugsfestigkeit des Bestandsputzes nicht ausreicht. Allerdings wird klassischerweise trotz der Dübelbefestigung noch Klebstoff (vollflächig oder als Ringwulst) aufgetragen, um eine konvektive Hinterströmung der Dämmplatten zu verhindern. Mit neuartigen Dübeln ist es heute aber auch möglich die Dämmplatten gänzlich ohne Verklebung zu verankern. Die Unterbindung der Konvektion erfolgt in diesem Fall mit horizontalen Mineralwollestreifen.
Wie?	Die Spezialdübel verfügen über eine spiralförmige Ausprägung, welche sich in den Dämmstoff einschneidet. Mit einem Spezialwerkzeug kann der Abstand von der Wand und damit die Flucht der Plattenoberfläche exakt einjustiert werden.
Warum?	Die klassische WDVS-Montage mit Klebemörtel und Dübeln hat sich zwar in Bezug auf Funktion und Haltbarkeit bewährt, führt aber bei der Entsorgung zu Problemen mit dem Materialverbund aus Dämmstoffplatte und Klebemörtel, weil dann die Entsorgung nicht sortenrein erfolgen kann. Mit der in diesem Video gezeigten Montageart kann das Material sortenrein getrennt werden. Hierzu wird lediglich der Putzträger mit der Flex eingeschnitten und abgeschält. Zurück bleibt der sortenreine Dämmstoff, welcher durch Abschrauben der Dübel entfernt werden kann.

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

<https://www.youtube.com/watch?v=dgi-rFVjDxQ&t=31s>

Arbeitsschritt 1: Den Schraubwendel mit dem Eindrehwerkzeug eindrehen

Arbeitsschritt 2: Mit dem Bundbohrer ein Loch durch den Schraubwendel bohren

Arbeitsschritt 3: Mit dem Setz- und Justierwerkzeug den Dübel mit vormontierter Schraube durch den Schraubwendel hindurchstecken

Arbeitsschritt 4: Dübelschraube mit dem Eindrehwerkzeug eindrehen

Arbeitsschritt 5: Mit dem Setz- und Justierwerkzeug die Dämmplatte mit Hilfe der Wasserwaage ausrichten

Arbeitsschritt 6: Streifen aus Mineralwolle einlegen und Ausschäumen des Bohrlochs, Fläche plan schleifen

Serielle Sanierung – Montage der Module

Was?	Im Rahmen der sog. seriellen Sanierung werden vorgefertigte Module für Wand und Dach montiert. Diese beinhalten bereits die hocheffizienten Fenster und können bereits mit gebäudetechnischen Elementen ausgestattet sein.
Wie?	Zunächst wird mit Laseraufmaß die Bestandsfassade mit allen Maßtoleranzen aufgenommen. Dies stellt die Grundlage für die passgenaue Fertigung der Fassadenmodule dar, die in maschineller Holzbauweise hergestellt und häufig bereits im Werk gedämmt werden. Anschließend werde sie per LKW auf die Baustelle transportiert und mit dem Kran an die vorgegebenen Befestigungspunkte gehoben.
Warum?	Mit Hilfe des hohen Vorfertigungsgrades können die Baustellenzeiten verkürzt und auf ein Gerüst verzichtet werden. Dadurch sinkt die Beeinträchtigung der Bewohner. Die Qualitätssicherung verlagert sich weitgehend von der Baustelle ins Werk.

Z.B.: <https://www.youtube.com/watch?v=limwCJXAvtw&feature=youtu.be>

Arbeitsschritt 1: Mit Hilfe des Laserscanners wird eine 3D-Punktwolke der Bestandsfassade aufgenommen, aus der dann die Geometrie für die Fertigelemente abgeleitet wird. Nun werden die Fassadenanker bzw. umlaufenden Holzbefestigungen an der Bestandswand verdübelt

Arbeitsschritt 2: Mit Hilfe der Abbundanlage werden die Elemente im Werk passgenau gefertigt.

Arbeitsschritt 3: Nach dem Einbringen der Dämmung werden die Elemente aufgerichtet und die Fenster montiert.

Arbeitsschritt 4: Die vorgefertigten Module werden per LKW zur Baustelle transportiert

Arbeitsschritt 5: Nun werden die Fassadenelemente per Kran an den Fassadenankern eingehängt. Bei der Montage mittels Montageankern erfolgt die Justage mittels Stellschrauben in drei Dimensionen.

Arbeitsschritt 6: Abschließend wird die Fassade noch verputzt (dann ist allerdings ein Gerüst erforderlich), oder die Fugen werden z.B. bei einer Holzverschalung mittels Schlussleisten abgedeckt.

Schütt- und Einblasdämmstoffe

Was?	Schütt- und Einblasdämmstoffe können in Hohlräume eingebracht sowohl für die Dämmung von Außenwänden als auch zur Dachdämmung sowie auf der obersten Geschossdecke verwendet werden.
Wie?	Die Verarbeitung erfolgt mit speziellen Fördermaschinen. Zum Einblasen werden heute druckgesteuerte Maschinen verwendet, welche sowohl das Verhältnis von Luft zu Dämmstoff als auch den Einblasdruck genau einregulieren. Die Verarbeitung unterscheidet sich jeweils entsprechend des zu verarbeitenden Dämmstoffs. Z.B. können imprägnierte Holzspäne nur horizontal eingebracht werden, weil sie verpresst werden müssen.
Warum?	Schütt- und Einblasdämmstoffe haben gegenüber Dämmstoffplatten den Vorteil geringer Kosten und der einfachen Verarbeitbarkeit. Allerdings wird ein Hohlraum benötigt.

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

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

Arbeitsschritt 1: Zunächst wird der zu füllende Hohlraum vorbereitet. Meist muss eine Dampfbremse eingelegt und für eine winddichte Ebene gesorgt werden.

Arbeitsschritt 2: Durch eine geeignete Bohrung wird der Förderschlauch eingeführt und die Maschine gestartet.

Arbeitsschritt 3: Zum gleichmäßigen Verfüllen des Hohlraumes wird der Förderschlauch langsam und gleichmäßig zurückgezogen. Über die Druckregulierung erfolgt eine gleichmäßige Füllung.

Arbeitsschritt 4: Abschließend wird die Bohrung wieder luftdicht verschlossen.

Wärmebrückenfreie Bodenplattendämmung als verlorene Schalung

Was?	Vollflächige Dämmung unter der Bodenplatte stellt bauphysikalisch die optimale Lösung dar, weil dabei keinerlei Durchdringungen durch Fundamente auftreten. Hierfür kann der druckfeste Dämmstoff gleich als verlorene Schalung beim Gießen der Bodenplatte dienen.
Wie?	Mit vorgefertigten Rand- und ECKelementen sowie Flächenelementen aus druckfestem feuchtebeständigem Dämmstoff wird eine durchgehende wärmebrückenfreie Dämmschicht unter der Bodenplatte erreicht. Die Dämmelemente wirken dabei gleich als verlorene Schalung und halten dem hydraulischen Druck beim Betonieren stand.
Warum?	Mit vollflächiger Dämmung werden Wärmebrücken vermieden. Die verlorene Schalung spart Zeit und garantiert den wärmebrückenfreien Anschluss von der Bodenplattendämmung an die Außenwanddämmung.

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

Arbeitsschritt 1: Verlegeplan erstellen

Arbeitsschritt 2: Untergrund vorbereiten

Arbeitsschritt 3: Rand und ECKelemente verlegen, anschließend die Flächenelemente verlegen, Aussparungen von Rohren anschließend mit PU-Schaum verschließen

Arbeitsschritt 4: Verlegung der Bewehrung und Betonieren der Bodenplatte

Arbeitsschritt 5: Anschließen des Frostschirms (horizontal), damit entfallen aufwändige Grabungsarbeiten

Wärmebrückenfreie Attika

Was?	Die Ausbildung einer Attika stellt eine konstruktionsbedingte Wärmebrücke dar. Sowohl im Neubau als auch in der Sanierung können wärmebrückenfreie Attikakonstruktionen kostengünstig ausgeführt werden.
Wie?	Anstelle einer aufbetonierten Attika, welche selbst dann, wenn sie vollständig von Dämmstoff umhüllt ist, noch eine signifikante Wärmebrücke darstellt, kann mit Hilfe thermischer Trennbauteile eine deutlich effizientere Lösung realisiert werden.
Warum?	Eine Attika stellt aufgrund der hohen zusätzlichen Außenoberfläche eine potenzielle „Kühlrippe“ dar. Arbeitet man jedoch im Bereich der Dachdämmung mit Werkstoffen geringer Wärmeleitfähigkeit, so kann die Wärmebrücke geringgehalten werden. Bautechnisch muss dabei nur darauf geachtet werden, dass die erforderliche mechanische Stabilität gegeben ist. Mit vorgefertigten Elementen ist dies bei statisch nicht beanspruchten Attiken schnell und kostengünstig möglich.

<https://www.youtube.com/watch?v=2Lhf-pg-0dw>

Arbeitsschritt 1: Verlegeplan erstellen

Arbeitsschritt 2: Attikaelemente auf der Betondecke oder Bitumenbahnen mit Perimeterkleber befestigen und untereinander mit dem Stoßfugenkleber verbinden

Arbeitsschritt 3: Mechanische Befestigung mit PVC-Winkel

Arbeitsschritt 4: Abschließend wird das Attikablech aufgebracht

achieve-zeb.eu



Co-funded by the European Union



BUNDESVERBAND
Die Interessenvertretung
für Energieberater:innen



*Passive House
Institute*



PASSIVHAUS
Austria



**universität
innsbruck**

