

## MODELLIERUNG UND VALIDIERUNG VON SIMULATIONSANSÄTZEN FÜR DIE AUSSENLIEGENDE LUFTTEMPERIERUNG

C. Schmidt<sup>1</sup>, H. Altgeld<sup>1</sup>, B. Groß<sup>1</sup>, S. Maas<sup>2</sup> und F. Scholzen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IZES gGmbH (Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme), Saarbrücken, Germany

<sup>2</sup> Université du Luxembourg, Fakultät für Naturwissenschaften, Technologie und Kommunikation, Luxembourg, Luxembourg

### KURZFASSUNG

Das Forschungsprojekt „LEXU II“ beschäftigt sich mit der praxisnahen Entwicklung und Erprobung von außenliegenden Wand- und Lufttemperierungssystemen. Hierbei dienen wasserführende Rohrleitungen, eingebettet in eine Putzschicht, zwischen Bestandswand und einem Wärmedämm-Verbundsystem als niederexergetisches Temperierungssystem. Erweitert man diesen Aufbau um einen Luftspalt zwischen thermisch aktiver Schicht und der Dämmung, so kann die außenliegende Wandtemperierung zu einer außenliegenden Lufttemperierung erweitert werden. Diese ermöglicht eine bedarfsgerechte Zulufttemperierung. Für die außenliegende Lufttemperierung wurden bereits erste Simulationsmöglichkeiten erarbeitet. In dem hier vorliegenden Beitrag geht es um die Validierung von praktikablen Modellierungsansätzen durch einen Vergleich mit Messdaten von einer Laborwand.

An outlying wall tempering is the main part of the research project „LEXU II“. The outlying wall tempering is a panel heating that is attached between the existing wall and the new thermal insulation. By the creation of an air duct between the thermally active layer and the insulation, the outlying wall tempering can be extended to an outlying air heating. External air can be heated or cooled and provided to the room as tempered fresh air. For both components (outlying wall tempering and outlying air tempering) simulation tools were adapted/developed. The simulation results were validated with measurements at laboratory walls. The last part of the project is the realisation of the components at a real building.

### EINFÜHRUNG

Im Forschungsprojekt „Low Exergy Utilization – Einsatz von außenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung“ (*kurz LEXU II*) mit dem Förderkennzeichen 0327370Y werden verschiedene Anwendungen von Außenwand-Temperierungssystemen theoretisch und experimentell bis hin zum Feldtest untersucht. In einem vorgeschalteten Projekt LEXU (Fkz. 0327370T) wurden die Grundfunktionen, einschließlich geeigneter Realisierungen derartiger Sanierungen, untersucht. Die Anwendungsziele sind vor allem Altbauten mit einem hohen U-Wert der Bestandswände. Um eine Wärmezufuhr mit einem sehr niedrig temperierten Heizfluid (i.e. Nutzung von Heizquellen mit niedriger Exergie) zu ermöglichen, wird zusätzlich zu einem außen aufzubringenden Wärmedämm-Verbundsystem (*kurz WDVS*) zuerst eine Flächentemperierung auf die Außenwand aufgebracht. Dieser Wandaufbau wird im Rahmen des Projektes als außenliegende Wandtemperierung (*kurz aWT*) bezeichnet. Die aWT ist die Hauptkomponente innerhalb des Projektes, siehe u.a. Luther & Altgeld, 2002 und Schmidt et al., 2017. In einem Arbeitspaket wurde als niederexergetische Erweiterung der aWT eine außenliegende Lufttemperierung (*kurz aLT*) entwickelt, vergleiche Luther, 2008 und Luther, 2013 (Schema siehe Abb. 1). In Schmidt et al., 2016 wurden erste Modellierungsansätze für die aWT und die aLT in TRNSYS (siehe Klein et al., 2012) beschrieben und auch eine erste Validierung durchgeführt. Dabei wurden für die aLT zwei Modellierungsansätze in TRNSYS erarbeitet und

mit eigenen Berechnungen und Messungen von einer Laborwand verglichen. Es handelte sich einerseits um die Unterteilung des Luftkanals in mehrere Luftknoten, um einen Temperaturverlauf zu ermitteln (Mehrzonenmodell) und andererseits um den Einsatz eines Types für hinterlüftete Fassaden (Type 1230).

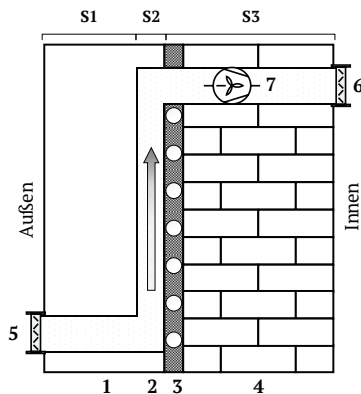


Abbildung 1: Schema der aLT: Außenwand (4), eingeputzte Kapillarrohrmatten (3), Luftkanal (2), WDVS (1), Lufteinlass (5), Luftauslass (6) und Ventilator (7)

Ein Fazit des Beitrags war, dass generell beide Methoden zur energetischen Abbildung der Vorgänge im Luftspalt der aLT geeignet sind, der Eingabeaufwand für das Mehrzonenmodell jedoch viel zu hoch ist und der Ansatz somit nicht praktikabel ist für umfangreichere Simulationenaufgaben oder die Abbildung eines Gebäudes mit mehreren Teilflächen der aLT. In diesem Beitrag soll detaillierter auf die Validierung von Type 1230 (in Kombination mit Type 56 für Multizone Buildings) zur Simulation der aLT eingegangen werden. Problematisch am Einsatz von Type 1230 erscheint, dass bei einer Gebäudesimulation die thermische Hülle des Gebäudes aufgeteilt werden muss, zwischen Type 1230 und Type 56. Dies macht die Auswertung komplizierter und auch die komplette Simulation aufwändiger und fehleranfälliger. Als Alternative zu Type 1230 wurde daher ein zusätzlicher Ansatz erarbeitet, der die Simulation der aLT alleine mit Type 56 ermöglichen soll. Dieser Ansatz beruht auf der Berechnung von belüfteten Zwischenräumen aus DIN EN 13363 und soll in diesem Beitrag durch einen Vergleich mit Ergebnissen von Type 1230 und durch einen Vergleich mit Messergebnissen an einer Laborwand bewertet werden.

## MODELLIERUNGSKONZEPT IN TRNSYS

Die aLT kann generell, entsprechend Abb. 1 in drei Schichten unterteilt werden: S1 (WDVS),

S2 (Luftspalt) und S3 (Bestandskonstruktion mit aWT). Die den Luftspalt durchströmende Außenluft nimmt einen Teil des durch die Konstruktion fließenden Wärmestroms auf und wird in Folge dessen temperiert. Wichtig für die Modellierung in TRNSYS ist, dass die Wärmetransportvorgänge innerhalb der Wandkonstruktion und gegenüber der Umgebung abgebildet werden können. Es handelt sich hierbei explizit nur um eine wärmetechnische bzw. energetische Simulation der aLT. Der Feuchtetransport wird nicht betrachtet. Eine Strömungssimulation der aLT fand begleitend zum Aufbau der Laborwand statt. Es wird demzufolge von einer homogenen Strömung innerhalb des Luftkanals ausgegangen. Auf die Modellierung über das Mehrzonenmodell, entsprechend Schmidt et al., 2016 wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Stattdessen kommen zwei andere Ansätze zum Einsatz. Einerseits die Modellierung der aLT unter Verwendung von TRNSYS-Type 1230 und andererseits die Modellierung über eine Berechnung in Anlehnung an DIN EN 13363.

## Einsatz von Type 1230

Bei Type 1230 handelt es sich um ein Type zur Modellierung von hinterlüfteten Fassaden, siehe Thornton, 2007. Mit Hilfe des Types kann eine vorgehängte Fassade, bestehend aus einem äußeren Teil, einem Luftspalt und einer Verknüpfung zu Type 56, siehe Abb. 2, modelliert werden.

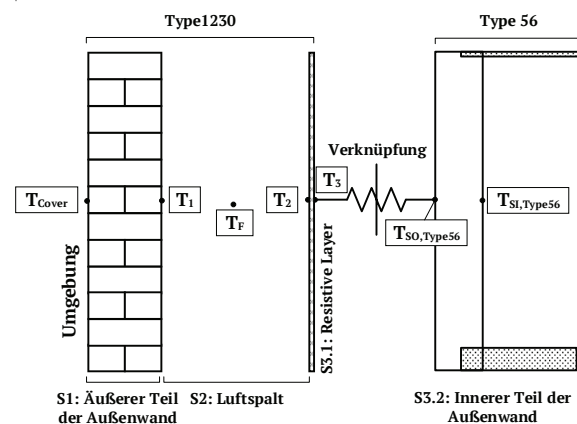


Abbildung 2: Schema des Aufbaus von Type 1230 mit den einzelnen Schichten S1 bis S3 und der Verknüpfung zu dem Gebäudemodell in TRNSYS (Type 56)

Die Verknüpfung zum Gebäudemodell in TRNSYS (Type 56) erfolgt über einen sogenannten resistiven Layer (fiktiver, masseloser Layer zur Verknüpfung). Die

gesamte Außenwand muss somit unterteilt werden in einen Teil, der in Type 1230 modelliert wird (S1 bis S3.1) und einen Teil, der in Type 56 „verbleibt“ (S3.2). Für eine komplette Gebäudesimulation würde dies bedeuten, dass die thermische Hülle aufgeteilt wird zwischen Außenwänden ohne aLT (in Type 56) und Außenwänden mit aLT (Type 56 und Type 1230). Dies macht die Simulation durch eine Vielzahl von zusätzlichen Verknüpfungen aufwändiger und fehleranfälliger; vor allem in Kombination mit einer Segmentierung bei der Nutzung von aktiven Schichten im inneren Teil der Außenwand (Type 56). Positiv bei Type 1230 ist, dass der Wärmeübergang im Luftspalt detailliert modelliert wird und sich das Type somit im Prinzip sehr gut für die Modellierung der aLT eignet, siehe Thornton, 2007.

### Berechnung nach DIN EN 13363 und Abbildung in Type 56

Parallel zu der Modellierung mit Type 1230 wurde auch eine Berechnung der aLT mit den Gleichungen für belüftete Zwischenräume nach DIN EN 13363-2 und Modellierung von äquivalenten Vorgängen in Type 56 untersucht. Es handelt sich hier um einen kombinierten Ansatz aus einem analytischen Modell und der Verwendung eines TRNSYS-Types zur Abbildung der realen Vorgänge.

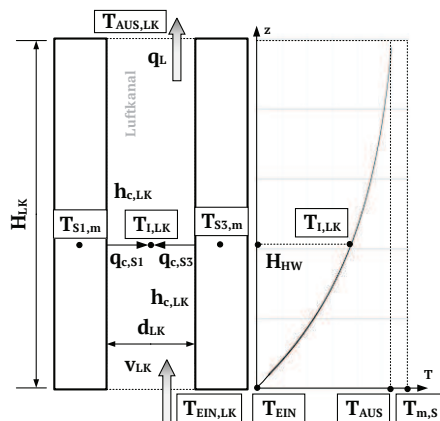


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Kenndaten des belüfteten Zwischenraums (links) und des Temperaturprofils im Inneren (rechts) unter der Annahme, dass die eindringende Luft erwärmt wird. Erstellt in Anlehnung an Bild 5 aus DIN EN 13363; mit eigener Nomenklatur

Ausgehend von der Annahme, dass die mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Luftkanal bekannt ist, lassen sich das Temperaturprofil und die Wärmeübergangskoeffizienten entsprechend Norm DIN EN 13363-2, Kapitel 5.3.3 berechnen. Eine schematische Darstellung der Kenndaten des Modells ist in Abb. 3 dargestellt. Dabei hängt

das Temperaturprofil über die Höhe des Luftkanals ( $H_{LK}$ ) sowohl von der Strömungsgeschwindigkeit ( $v_{LK}$ ), als auch von den Wärmeübergangskoeffizienten ( $h_{c,LK}$ ) ab. Die folgenden Berechnungsschritte ergeben sich entsprechend der Norm. Die Temperatur der Luft in der Höhe  $z$  im Luftkanal berechnet sich aus:

$$T_{LK}(z) = T_{m,S} - (T_{m,S} - T_{EIN,LK}) \cdot e^{-z/H_{HW}} \quad (1)$$

Mit:

$H_{HW}$ : charakteristische Höhe (Halbwertshöhe, siehe unten)

$T_{EIN,LK}$ : Temperatur der eindringenden Außenluft

$T_{m,S}$ : durchschnittliche Temperatur der Schichten S1 und S3:  $T_{m,S} = (T_{S1,m} + T_{S3,m})/2$

Die Halbwertshöhe bezeichnet die Höhe des Luftkanals, in der sich die mittlere Lufttemperatur ( $T_{I,LK}$ ) zwischen Ein- und Austritt einstellt und wird bestimmt durch:

$$H_{HW} = \frac{\rho_{LK} \cdot c_{LK} \cdot d_{LK} \cdot v_{LK}}{2 \cdot h_{c,LK}} \quad (2)$$

Mit:

$\rho_{LK}$ : Dichte der Luft bei  $T_{I,LK}$

$c_{LK}$ : Spez. Wärmekapazität der Luft

$d_{LK}$ : Dicke des Luftkanals

$v_{LK}$ : Mittlere Luftgeschwindigkeit im Luftkanal

$h_{c,LK}$ : Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient

Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient für den belüfteten Zwischenraum ( $h_{c,LK}$ ) berechnet sich als eine Näherung aus dem Wärmeübergangskoeffizient für einen geschlossenen Zwischenraum ( $h_{g,LK}$ ):

$$h_{c,LK} = 2 \cdot h_{g,LK} + 4 \cdot v_{LK} \quad (3)$$

Mit:

$h_{g,LK}$ : Wärmeübergangskoeffizient des geschlossenen Zwischenraums nach Norm

$$h_{g,LK} = Nu_{LK} \cdot \frac{\lambda_j}{s_j} \quad (4)$$

Mit:

$\lambda_j$ : Wärmeleitfähigkeit der Luft im Luftkanal

$Nu_{LK}$ : Nusselt-Zahl nach DIN EN 673

Die Nusselt-Zahl  $Nu$  für eine vertikale Platte mit stehender Luft ergibt sich zu:

$$Nu_{LK} = 0,035 \left[ \frac{9,81 \cdot d_{LK}^3 \cdot 15 \cdot \rho_j^2 \cdot \mu_j \cdot c_j}{283 \cdot \mu_j^2} \cdot \frac{\mu_j \cdot c_j}{\lambda_j} \right]^{0,38} \quad (5)$$

Mit:

$\mu_j$ : Dynamische Viskosität der Luft



aktive Schicht und verlässt die Laborwand am oberen Ende.

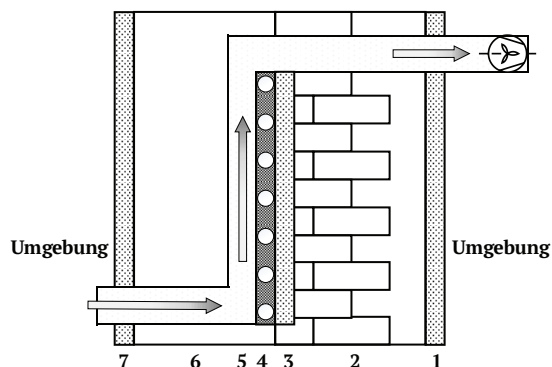


Abbildung 5: Querschnitt durch die Laborwand mit den einzelnen Schichten entsprechend Tabelle 1; nicht maßstäblich

Tabelle 1: Schichtaufbau der Laborwand der aLT entsprechend Abb. 5

Nr.	Beschreibung	Dicke
1	MDF-Trägerplatte	19 mm
2	Styropor-Dämmung (WLG035)	160 mm
3	MDF-Platte (Halterung für Matten)	10 mm
4	Kapillarrohmatte im Spezialputz	10 mm
5	Luftkanal mit Abstandshaltern	20 mm
6	Styropor-Isolierung (WLG035)	150 mm
7	MDF-Trägerplatte	19 mm

## Messungen

Es wurden 34 quasistationäre Betriebszustände untersucht, die im Folgenden mit den Simulationsergebnissen der modellierten Laborwand verglichen werden sollen. In Tabelle 2 sind die Variationsbereich der Versuchsparameter dargestellt.

Tabelle 2: Variationsbereich der Versuchsparameter an der Laborwand

Name	MIN	MAX
Luftvolumenstrom	13 m <sup>3</sup> /h	52 m <sup>3</sup> /h
Luftgeschwindigkeit	0,13 m/s	0,45 m/s
Spez. Massenstrom aWT	12 kg/(m <sup>2</sup> h)	54 kg/(m <sup>2</sup> h)
Ges. Massenstrom aWT	28 kg/h	129 kg/h
aWT-Vorlauftemperaturen	35°C	60°C
$\Delta T (T_{aWT, ein} - T_{Luft, ein})$	16 K	40 K

Für die Messung der Temperaturen im Wasser und in der Luft kommen auf den Temperaturbereich kalibrierte Pt100-Temperatursensoren, Klasse A in Vierleiter-Technik zum Einsatz. Der Wasser-Massenstrom wird mit einem Coriolis-Massenstromsensor gemessen. Der Luft-Volumenstrom wurde mit einem Balgengaszähler ermittelt und zusätzlich mit einer Volumenstrom-Messdüse. Die Ermittlung des Messunsicherheitsbudgets ist derzeit in Bearbeitung. Der absolute Messfehler des Massenstrom-sensors liegt bei 0,3 – 1%. Die

Genauigkeit der eingesetzten Klasse A Pt100-Sensoren liegt bei  $< +/- (0,15 + 0,002 \cdot t)$  und der Messfehler des eingesetzten Balgengaszählers liegt bei +/- 1%.

## ERGEBNISANALYSE

### Übereinstimmung Messung - Simulation

In der folgenden Auswertung wird die Übereinstimmung zwischen den Messdaten von der Laborwand und den beiden Modellierungsansätzen für die folgenden Größen ausgewertet:

- Wasserseitiger Wärmestrom ( $Q_W$ )
- Luftseitiger Wärmestrom ( $Q_L$ )
- Wärmeverlustkoeffizient ( $H_{LK}$ )
- Wärmeübertragerkennzahl ( $U_{WÜT}$ )

Als Input werden den Simulationsmodellen die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck und Feuchte), die Massenströme und die Eintrittstemperaturen (beides Luft & Wasser) übergeben. Die Darstellung erfolgt mit Hilfe von *Boxplots*, da diese Art der Auswertung einen schnellen Überblick bietet, in welchen Bereich die Übereinstimmung liegt. Die Box in der Abbildung entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Übereinstimmungen liegen. Der mittlere Strich stellt den Median dar. Dabei wird die Übereinstimmung von Messwert und Simulationsergebnis ermittelt. Neben der prozentualen Darstellung mit Hilfe der Boxplots wird, auf Grund der geringen Losgröße (34 Messreihen) auch noch die absolute Häufigkeit der Übereinstimmung dargestellt. Bei dem Wärmeverlustkoeffizient können drei Berechnungswege miteinander verglichen werden. Einerseits kann die Energiebilanz für die Laborwand aufgestellt werden und die Differenz zwischen wasserseitigem ( $Q_W$ ) und luftseitigem ( $Q_L$ ) Wärmestrom als Verlustwärmestrom definiert werden. Wird dieser Verlustwärmestrom auf die Temperaturdifferenz bezogen, lässt sich der entsprechende Wärmeverlustkoeffizient ( $H_{LK}$ ) berechnen, siehe Gl. 12.

$$H_{LK} = \frac{(Q_W - Q_L)}{(T_{I, LK} - T_{amb})} \quad (12)$$

Bei den beiden Simulationsmodellen werden die Wärmeverluste als Output generiert. Daneben kann der Wärmeverlustkoeffizient der Laborwand anhand von Materialkennwerten ermittelt werden (stationäre U-Wert-Berechnung). Entsprechend Schmidt et al., 2016 und Polifke & Kopitz, 2009

wird zusätzlich der charakteristische U-Wert „U<sub>WÜT</sub>“ der aLT als (Wasser/Luft)-Wärmeübertrager berechnet und verglichen.

$$U_{WÜT} = C_L \cdot N / A_{Kanal} \quad (13)$$

Mit:

*C<sub>L</sub>*: Wärmekapazitätsstrom [W/K]

*N*: Wärmeübertragerkennzahl [ ]

#### Auswertung Wasserseitiger Wärmestrom (Q<sub>W</sub>)

Die Ergebnisse für Q<sub>W</sub> können Abb. 8 und Abb. 9 entnommen werden. Bei der Nutzung von Type 1230 liegen alle Übereinstimmungen im Bereich +/- 20% um den Messwert. Der Median der Übereinstimmung liegt bei 101%. Zusätzlich liegen 25 von 34 Messwerten im Bereich +/- 10%. Die häufigste Übereinstimmung liegt bei ca. 91%. Bei dem Modell nach DIN EN 13363 liegen 33 von 34 Übereinstimmungen im Bereich +/- 20%. Ein Wert (Messreihe 8) liegt außerhalb. Der Median der Übereinstimmung liegt bei 91%. Zusätzlich liegen 24 von 34 Messwerten im Bereich +/- 10%. Die häufigste Übereinstimmung liegt bei rund 93%. Insgesamt liegen die Ergebnisse von DIN EN 13363 leicht unterhalb der Ergebnisse von Type 1230, die durchschnittliche Abweichung ist somit geringfügig höher. Tendenziell liegen die Simulationsergebnisse eher unter den Messergebnissen (Übereinstimmung <100%).

#### Auswertung Luftseitiger Wärmestrom (Q<sub>L</sub>)

Die Ergebnisse für Q<sub>W</sub> können Abb. 11 und Abb. 12 entnommen werden. Bei der Nutzung von Type 1230 liegen 33 von 34 Übereinstimmungen im Bereich +/- 10%. Ein Wert (Messreihe 8) liegt außerhalb. Der Median der Übereinstimmung liegt bei 100%. Zusätzlich liegen 32 von 34 Messwerten im Bereich +/- 5%. Die häufigste Übereinstimmung liegt bei rund 101%. Beim Modell nach DIN EN 13363 liegen alle Übereinstimmungen im Bereich +/- 10% um den Messwert. Der Median der Übereinstimmung liegt bei 102%. Zusätzlich liegen 28 von 34 Messwerten im Bereich +/- 5%. Die häufigste Übereinstimmung liegt bei ca. 103%. Insgesamt liegen die Ergebnisse von DIN EN 13363 leicht oberhalb der Ergebnisse von Type 1230, die durchschnittliche Abweichung ist somit geringfügig höher. Tendenziell liegen die Simulationsergebnisse eher über den Messergebnissen (Übereinstimmung >100%).

#### Auswertung Wärmeverlustkoeffizient (H<sub>LK</sub>)

Die Ergebnisse für H<sub>LK</sub> können Abb. 10 entnommen werden. Beim Wärmeverlustkoeffizient weisen die Werte, die aus der Energiebilanz der Laborwand berechnet wurden die höchsten Schwankungen auf. Dies ist erklärbar, da hier die Abweichungen von allen Messwerten für die Wärmeströme „versteckt“ sind. Für Messreihe 8 ist hier ein sehr hoher Ausschlag erkennbar. Über alle 34 Messreihen ergibt sich hier ein mittlerer Wert von ca. 1,5 W/K. Die Werte nach der U-Wert-Berechnung liegen konstant bei einem Wert von rund 1 W/K. Die simulierten Werte mit Type 1230 liegen im Mittel bei ca. 2,7 W/K und die nach DIN EN 13363 bei rund 1,6 W/K. Die Differenz zwischen den Verlustkoeffizienten muss noch weiter untersucht werden, auch wenn die Werte absolut nur etwa 10% des Energiestroms in der Konstruktion ausmachen.

#### Auswertung Wärmeübertragerkennzahl (U<sub>WÜT</sub>)

Die Ergebnisse für U<sub>WÜT</sub> können Abb. 13 entnommen werden. Insgesamt ergibt sich hier eine gute Kongruenz zwischen der Messung und den beiden Simulationsmodellen. Der mittlere Wert für U<sub>WÜT</sub> über alle 34 Messreihen liegt bei rund 5,0 W/m<sup>2</sup>K. Bei der Simulation mit Type 1230 ergibt sich ebenfalls ein mittlerer Wert von ca. 5,0 W/m<sup>2</sup>K. Der mittlere Wert bei der Simulation mit der Berechnung nach DIN EN 13363 liegt bei ca. 4,3 W/m<sup>2</sup>K.

#### Gesamtfazit

Bei Betrachtung der wesentlichen Energieströme, von der Kanaloberfläche an die Luft (Q<sub>L</sub>) und von der aktiven Schicht in die Konstruktion (Q<sub>W</sub>) liegen 82% aller simulierten Ergebnisse im Bereich +/- 10% um den jeweiligen Messwert. Nur acht Werte liegen über einer Abweichung von 15%. Die maximale Abweichung liegt bei rund 21%. Bei dieser Messreihe (Nr.8) liegt die Vermutung nahe, dass es sich um einen Messfehler handelt, vgl. Abb. 10. Ebenso verhält es sich mit der Messreihe 21. Darüber hinaus liegen jedoch rund 60% aller Simulationsergebnisse im Bereich +/- 5% um den jeweiligen Messwert. Unter Einbeziehung der Messunsicherheit kann hier also insgesamt von einer sehr guten Übereinstimmung gesprochen werden.

Wasserseitiger Wärmestrom ( $Q_w$ )

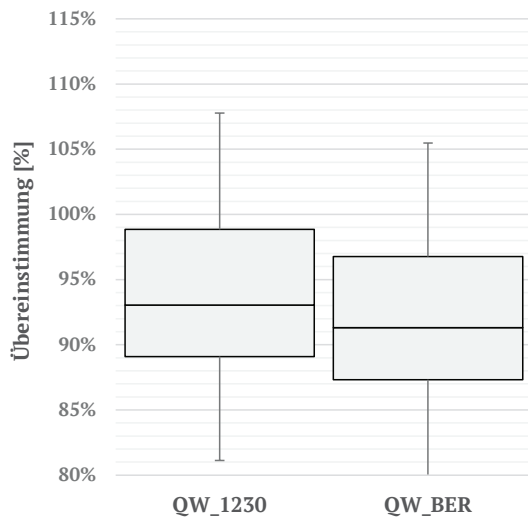


Abbildung 8: Boxplot der Übereinstimmung von  $Q_w$  von Messung und Simulation mit Type 1230 (QW\_1230) resp. DIN EN 13363 (QW\_BER)

Luftseitiger Wärmestrom ( $Q_L$ )

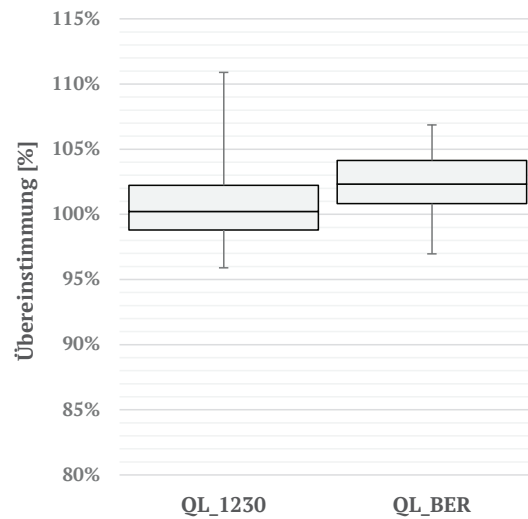


Abbildung 11: Boxplot der Übereinstimmung von  $Q_L$  von Messung und Simulation mit Type 1230 (QL\_1230) resp. DIN EN 13363 (QL\_BER)

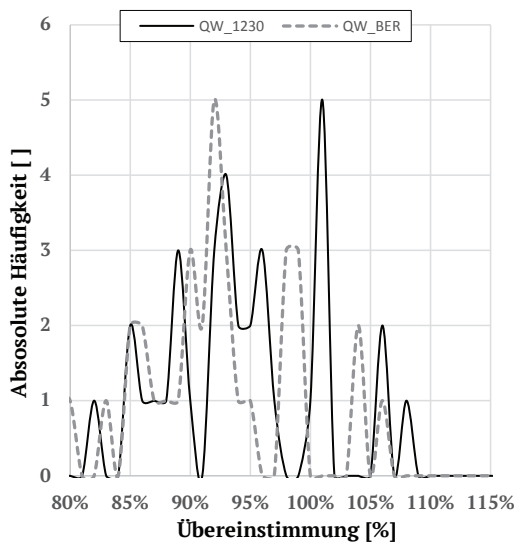


Abbildung 9: Übereinstimmung von  $Q_w$  von Messung und Simulation nach mit Type 1230 (QW\_1230) resp. DIN EN 13363 (QW\_BER)

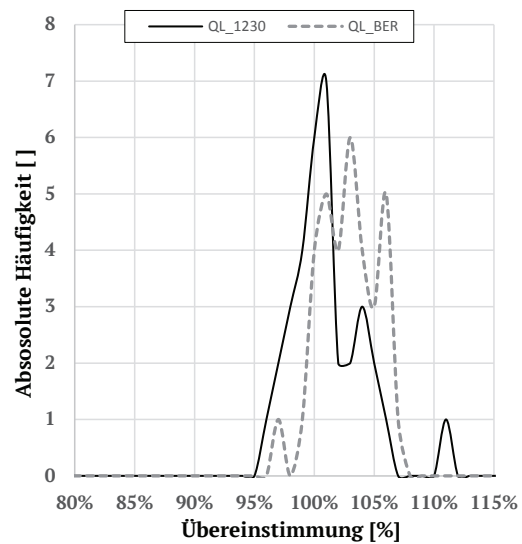


Abbildung 12: Übereinstimmung von  $Q_L$  von Messung und Simulation mit Type 1230 (QL\_1230) resp. DIN EN 13363 (QL\_BER)

Wärmeverlustkoeffizient ( $H_{Lk}$ )

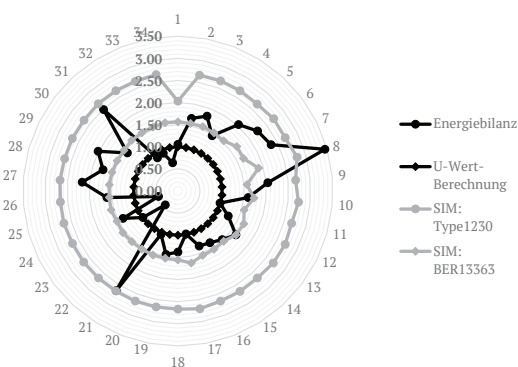


Abbildung 10: Vergleich der Wärmeverlustkoeffizienten  $[W/K]$  der Laborwand für alle vier Berechnungen und alle 34 ausgewerteten Messreihen

Wärmeübertragerkennzahl ( $U_{w\dot{U}T}$ )

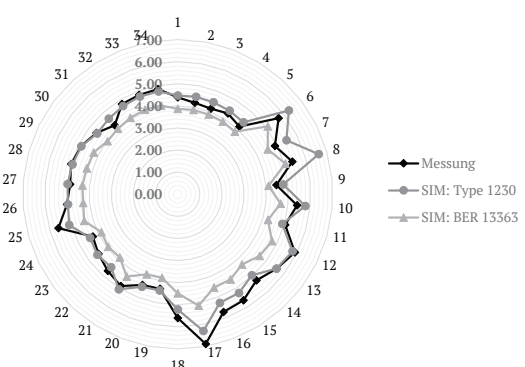


Abbildung 13: Vergleich von  $U_{w\dot{U}T} [W/m^2K]$  für die Messung und die beiden Simulationsmodelle über alle 34 Messreihen

## ZUSAMMENFASSUNG

Für die aLT wurde eine praktikable Modellierungsmöglichkeit mit der Software TRNSYS gesucht. Durch einen Vergleich mit Messwerten einer Laborwand konnten zwei Ansätze identifiziert und in den Grenzen von Tabelle 3 validiert werden. In einem der beiden Ansätze kann die aLT in die Gebäudesimulation mit Type 56 eingebunden werden, ohne die Nutzung zusätzlicher Types. Insgesamt sind die aufgetretenen Abweichungen akzeptabel für die energetischen Betrachtungen innerhalb des Projektes. Für eine isolierte Betrachtung der aLT bietet sich das Type 1230 an, für eine gekoppelte Gebäudesimulation eher der Einsatz des Modells nach DIN EN 13363.

## AUSBLICK

Abschließend wurde in dem Projekt eine Feldtestfläche der aLT umgesetzt. Hier versorgt die aLT einen dahinterliegenden Raum mit temperierter Frischluft. Aus Frostschutzgründen wurde die aWT in diesem Fall mit Glykol statt Wasser befüllt. Beide Modellierungsansätze werden nochmal anhand der Messdaten von der Feldtestfläche validiert bzw. die Modellierungsansätze überarbeitet (v.a. instationäres Verhalten und Wärmeverluste). Generell soll das Verhalten der aLT in der Praxis detailliert untersucht werden (u.a. natürliche Konvektion, Tauwasserbildung, Regelung). Hierfür wurde die aLT in ein innovatives Energieversorgungskonzept, mit PVT-Hybridkollektoren, Eisspeicher und Wärmepumpe integriert. Weitere Informationen können der Projekt-homepage [www.projekt-lexu.de](http://www.projekt-lexu.de) entnommen werden.

## DANKSAGUNG

Die Projekte LEXU und LEXU II wurden gefördert durch die Bundesrepublik Deutschland. Zuwendungsgeber ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Fördernummer: 0327370Y/T. Wir möchten uns an dieser Stelle für die finanzielle Unterstützung bedanken. Für den Hinweis bzgl. DIN EN 13363 möchten wir uns bei Frau Marion Hiller bedanken.

## LITERATUR

DIN EN 673 2011, Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangs-

koeffizienten, Deutsche Fassung EN 673:2011

DIN EN 13363-2 2005, Sonnenschutz-einrichtungen in Kombination mit Verglasungen, Deutsche Fassung EN13363-2:2005

Klein, S.A, Beckman, W.A., Mitchell, J.W., Duffie, J.A., Freeman, T.A. 2012. TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program, SEL, University of Wisconsin, Madison, USA.

Luther, G. 2008: „Integrierte außenliegende Wandheizung – ein Verfahren zur Nutzung der...“ Patentschrift, DE10 2008 009 553 A1, <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>

Luther, G. 2013: Außenliegende Luftheizung, Konzept, Modellierung und Analysen. Fachbericht für das Projekt LEXU II, Universität des Saarlandes, FSt. Zukunftsenergie, Saarbrücken; <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>

Luther, G., Altgeld, H. 2002: Die außenliegende Wandheizung, In: Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 2002 (1), S. 8-15

Polifke, W., Kopitz, J. 2009: Wärmeübertragung: Grundlagen, analytische und numerische Methoden, 2.Auflage 2009, München, ISBN: 978-3-8273-7349-6

Schmidt, C., Altgeld, H., Groß, B., Luther, G., Schmidt, D. 2016. LEXU II – Einsatz von aussenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung, Beitrag P-04-3 S.843-850 in Proceedings CESBP/BauSim 2016, Fraunhofer IRB Verlag, Dresden

Schmidt, C., Altgeld, H., Groß, B., Luther, G., Maas, S., Scholzen, F. 2017. „Außenliegende Wandtemperierung“ – LowEx-Anwendung zur Temperierung von Bestandsgebäuden und thermische Aktivierung der Bestandswand: Theoretische Grundlagen und Kennwerte, In: Bauphysik 39 (2017) Heft 4, S.215-223, Ernst & Sohn Verlag, Berlin

Schmidt, D. 2013. Modellierung einer außenliegenden Luftheizung (ALH) mit Hilfe der Software TRNSYS und Vergleich der Simulationsergebnisse mit Modellrechnungen in Excel und Messungen, Bachelor-Thesis, htw saar, Saarbrücken

Thornton, J. 2007: Ventilated, air cavity wall; Beschreibung zu TRNSYS-Type 1230, TESS LLC, University of Wisconsin, Madison, USA