Vergleich von hygrothermischen Performance Indikatoren in nicht-europäischen Klimazonen

H. VEITSBERGER
e2 engineering GmbH, Graz, Österreich
F. INSCHLAG, C. HESCHL
Fachhochschule Burgenland GmbH, Pinkafeld, Österreich

ABSTRACT: Due to the different climatic conditions, the transfer of European domestic building constructions into the Arab market presumes a detailed knowledge about their hygrothermal properties. Especially the impact of the building construction to the thermal comfort and to the room air humidity plays a crucial role. In order to facilitate a successful market survey the outdoor climate conditions of the Arabian Peninsula has been analysed and their implications to the buildings construction and consequently to the room air condition investigated. For that purpose a concrete sandwich and a brick construction system with two different internal loam plastering (one with and one without phase change materials) were compared for different orientations and climate zones (coastal and continental climate). The comparison was based on the zonal energy demand which is required to ensure the same hygrothermal room air comfort conditions. The energy demands were determined with transient thermal simulations based on the star node method. The computed results show that the energy demand can be reduced for cooling if phase change materials and for (de)humidification if hygroscopic building materials are used. The investigations show furthermore that the orientation has an essential influence of the energy saving potential.

1. EINLEITUNG

Rahmenbedingungen wie kurze Bauzeiten und hohe Kosteneffizienz erfordern zunehmend den Einsatz von standardisierten Fertigungsverfahren und Modulbausystemen. Die damit verbundenen Fertigungskapazitäten und logistischen Möglichkeiten bilden die optimalen Voraussetzungen zur Erschließung neuer internationaler Märkte. Der Markteintritt wird jedoch durch die individuellen rechtlichen und nutzerspezifischen Anforderungen sowie durch die stark abweichenden Klimabedingungen erschwert. Um dennoch die in Zentraleuropa erprobte Baukonstruktionen und Bauverfahren auf andere Klimazonen übertragen zu können sind im Vorfeld detaillierte hygrothermische Untersuchungen erforderlich. Aufgrund der vielfältigen Analysemöglichkeiten werden dazu vermehrt dynamische Simulationsverfahren, die auch sorptive Speichereigenschaften der eingesetzten Baumaterialien berücksichtigen können, eingesetzt. Innerhalb dieser Arbeit wird daher die Funktionalität derartiger Simulationsverfahren anhand einer Parameteridentifikation zur Bestimmung der Performance Indikatoren erläutert und die Einsetzbarkeit in Zentraleuropa erprobter Wandbildner für das arabische Küsten- und Kontinentalklima diskutiert.

2. UNTERSUCHUNGEN

Im arabischen Raum werden vorrangig Betonkonstruktionen ausgeführt. Die in Zentraleuropa üblichen Konstruktionen aus Hohlziegeln oder ähnlichen Konstruktionselementen haben insbesondere bei Einsatz von höher feuchtespeichernden Innenoberflächen einen positiven ausgleichenden Effekt auf das Raumklima (vgl. in Klanatsky et al., 2012). Um den Einsatz dieser Konstruktionen in anderen Klimazonen, in

diesem speziellen Fall dem arabischen Klima, zu bewerten sind detaillierte Analysen der Konstruktionen sowie der vorherrschenden Klimarandbedingungen erforderlich. Wie in der IBP-Mitteilung 455 (Sedlbauer, et al., 2004) erarbeitet, ist die Anwendbarkeit in einer Klimazone erprobten Konstruktion nur bedingt auf eine andere Klimazone zu übertragen. Für den Sonderfall eines Wärmedämmverbundsystems wurde in Zirkelbach et al. (2004) die speziellen Auswirkungen unterschiedlicher Klimarandbedingungen auf die Eigenschaften der Konstruktionen ausgearbeitet. Die Bewertung der Auswirkungen von unterschiedlich speicherfähigen Baustoffen sowohl hinsichtlich Wärme als auch hinsichtlich Feuchte für einen beispielhaften Raum ist Gegenstand dieser Untersuchung. Dabei wird sowohl auf die wärmetechnische als auch auf die hygrische Speicherfähigkeit der Baustoffe eingegangen.

2.1 KLIMARANDBEDINGUNGEN

Die arabische Halbinsel ist hinsichtlich der klimatischen Bedingungen grob unterschiedlich zu den in Mittel- und Zentraleuropa vorherrschenden Klimabedingungen. So zeigt sich, dass für den arabischen Raum zwei signifikante Regionen (kontinentales Klima und Küsten Klima, siehe Abb. 1) bedeutend sind.

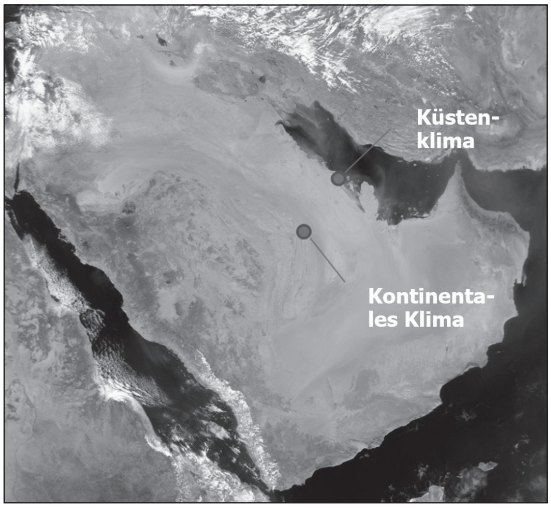


Abb. 1: Klimazonen Arabien „Arabian Peninsula dust SeaWiFS" von SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center, and ORBIMAGE Klimawerte aus (US Departement of Energy, 2015)

In der Abb. 2 sind die Jahresverläufe der Außentemperatur-, der relativen Außenluftfeuchte- und der Partialdruck des Wasserdampfes für das Kontinental- und Küstenklima von Arabien dargestellt.

Die beiden Klimazonen unterscheiden sich insbesondere durch die im Küstenklima deutlich höhere Luftfeuchtigkeit. Beide Klimazonen weisen im Vergleich zu der europäisch gemäßigten Klimazone sowohl im Sommer als auch im Winter wesentlich höhere Temperaturen auf.

Durch die hohen Außentemperaturen wird der Kühlenergiebedarf den Heizwärmebedarf deutlich übersteigen. Der hohe Partialdruck im Küstenklima bewirkt zudem ein Partialdruckgefälle und somit eine Wasserdampfdiffusion von außen nach innen.

Hingegen ist das kontinentale Klima sehr trocken und weist daher nur einen geringen Partialdruck des Wasserdampfes auf. Für die weiteren Untersuchungen ist es daher notwendig auf beide Klimazonen getrennt einzugehen und diese zu beurteilen.

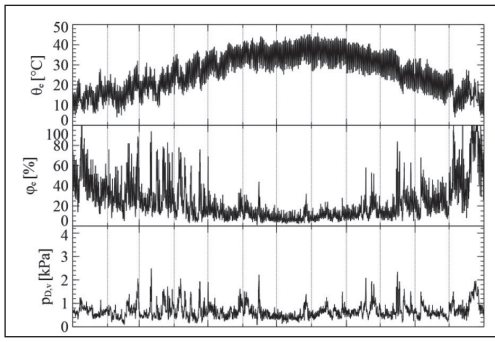


Abb. 2: Kontinentales Klima

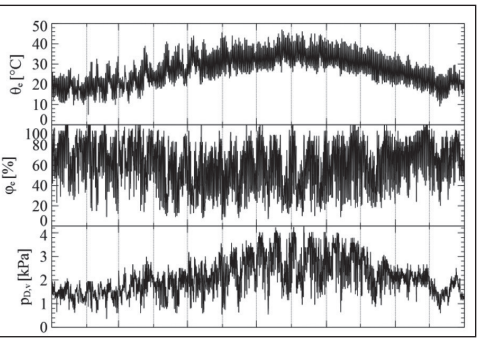


Abb. 3: Küstenklima

2.2 BETRACHTETER RAUM

Als Beispielgebäude wurde ein Schulgebäude und aus diesem Gebäude ein Referenzklassenzimmer mit einer Nutzfläche von ca. 60 m² betrachtet. Dieser Referenzraum weist eine Außenwandfläche von ca. 24 m² und eine Fläche der transparenten Bauteile von ca. 9 m² auf. Zusätzlich ist die Decke zur Außenluft orientiert. Um den Einfluss der Fassadenausrichtung (Norden, Osten, Süden und Westen) auf das hygrothermische Verhalten analysieren zu können wird im Zuge der Parameterstudien der Referenzraum gedreht und somit deren Orientierung der Regelfassade variiert.

2.3 BETRACHTETE BAUKONSTRUKTIONEN

Für die Untersuchungen werden eine an die Zielklimabedingungen adaptierte Ziegelkonstruktion sowie eine im Zielraum übliche Betonsandwichkonstruktion untersucht. Aus den ersten Analysen der Klimabedingungen im Zielland ist eine Ausführung einer außengedämmten Ziegelwand nur mit einer entsprechend dichten Außenbekleidung möglich, vgl. (Zirkelbach, et al., 2004). Für die gegenständlichen Untersuchungen wird daher eine ausreichend dichte Schicht auf der Außenseite angenommen.

Für die Variante der Ziegelkonstruktion wird auch der Einfluss des Einsatzes von Latentwärmespeicher auf die thermischen Eigenschaften untersucht. Dabei werden eine zusätzliche latente Wärmespeicherung von 200 kJ/m² für die Trockenbauoberflächen sowie eine latente Speicherfähigkeit von 18 kJ/kg für den Lehmputz berücksichtigt. Für beide Latentwärmespeicher wird eine Schalttemperatur von 25 °C angesetzt.

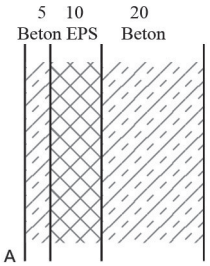
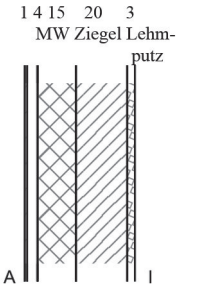
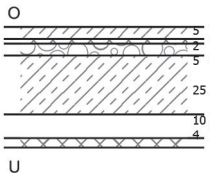
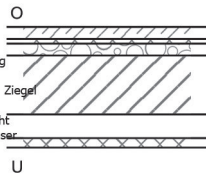
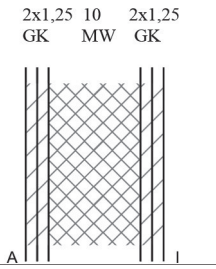
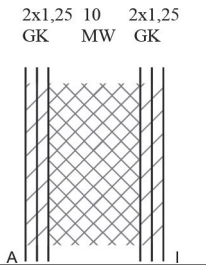
Für die transparenten Bauteile werden folgende Spezifikationen angesetzt.

- U_w = 1,32 [W/m²K]
- SHGC = 0,3 [-]
- Shading outside (shading coefficient 0,72 [-])

Der Sonnenschutz wird dabei ab einer Einstrahlungsstärke von 250 W/m² aktiviert. Die Rechnungen berücksichtigen dabei auch die Winkelabhängigkeit des Gesamtenergiedurchlassgrades (solar heat gain coefficient) wie in Karlsson (2001) und Araseth et al. (2009) beschrieben.

Das Fenstermodell in Therakles 2.2 berechnet den dynamischen Wärmeeintrag durch die Solarstrahlung über den g-Wert. Dabei wird der g-Wert nicht als konstante Größe betrachtet, sondern abhängig vom effektiven Einstrahlwinkel berechnet. Eine Strahlungsbilanz ($\tau+\alpha+\varrho=1$) an den einzelnen Schichten des Fensters wird im Gegensatz zum Fenstermodell in TRNSYS 17 nicht umgesetzt. Die Aufteilung zwischen transmittierter Strahlung und sekundärem Wärmestrom von der Glasscheibe in die Bilanzzone ist somit nicht möglich.

Tab. 1: Betrachtete Konstruktionen

Bauteil	Betonkonstruktion	Ziegelkonstruktion
Außenwand	U = 0,37 W/m²K $S_{d,ges}$ = 30 m χ_i = 319,57 kJ/m²K	U = 0,21 W/m²K $S_{d,ges}$ = 2,28 m χ_i = 98,6 kJ/m²K
		
Trenndecke	U= 0,43 W/m²K $S_{d,ges}$ = 38 m χ_i = 107,56 kJ/m2K	U= 0,38 W/m²K $S_{d,ges}$ = 14 m χ_i = 108,51 kJ/m2K
		
Innenwand	U= 0,33 W/m²K $S_{d,ges}$ = 0,5 m χ_i = 24 kJ/m²K	U= 0,33 W/m²K $S_{d,ges}$ = 0,5 m χ_i = 24 kJ/m²K
		

2.4 NUTZUNGSSZENARIO

Für die Nutzung der Räume wird ein stundenbasiertes Nutzungsszenario in Anlehnung an die SIA 2024 (Winfried & Ménard, 2006) gewählt. Die Luftwechselzahlen pro Person wurde mit 25 m³/(h Person) entsprechend Building bulletin 101 (2006) sowie ÖNORM EN 15251 (2007) festgelegt.

2.5 REGELUNG

Für die Berechnungen wird ein vereinfachtes haustechnisches Modell angesetzt, das die Einhaltung der definierten Grenzwerte sicherstellt. Im speziellen wurden als Grenzwerte für die Raumklimabedingungenentsprechend der EN 15251 (ÖNORM EN 15251, 2007) ein Temperaturbereich von 20-26 °C sowie für den Fall der hygrothermischen Betrachtung eine relative Feuchtigkeit im Bereich von 40-60 % rel.-LF definiert.

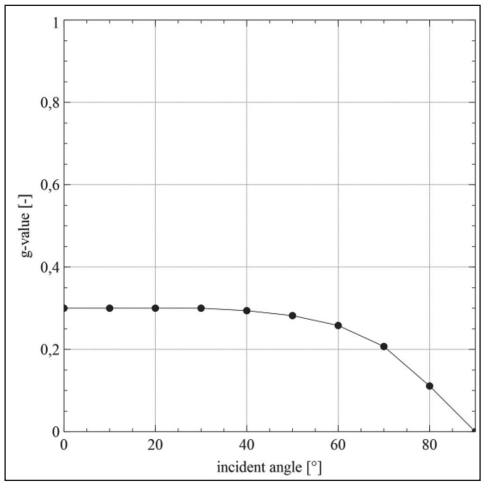
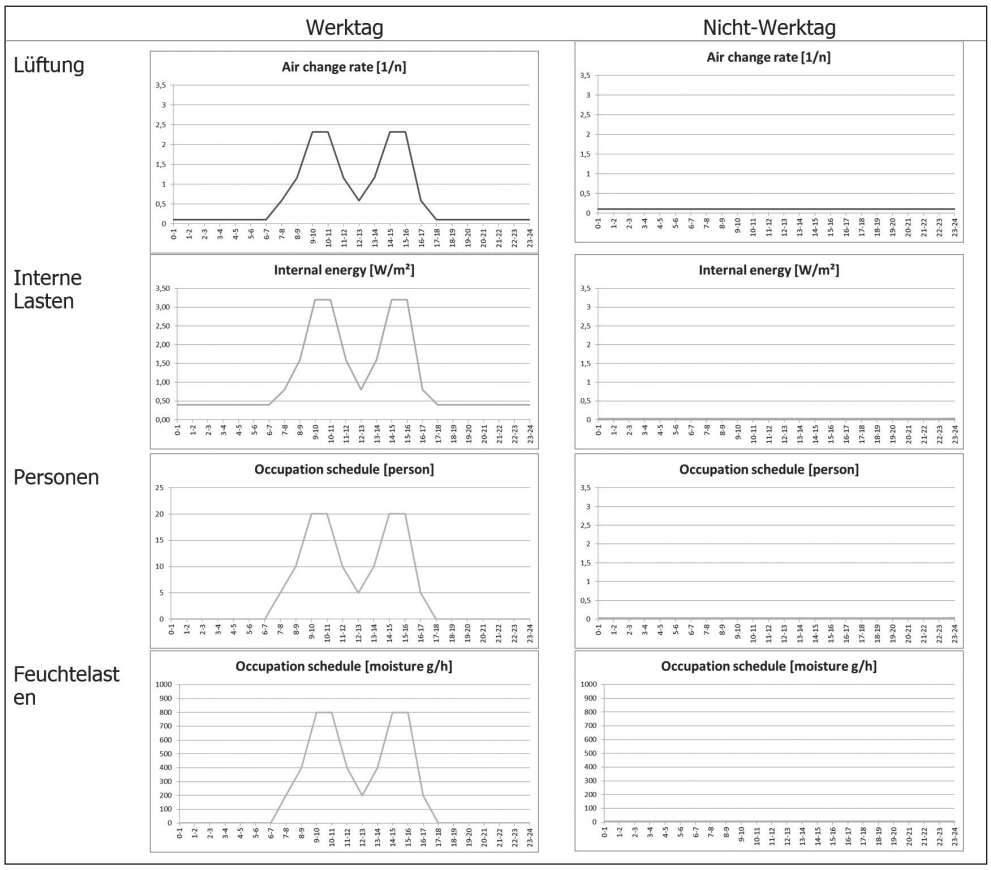


Abb. 4: Gesamtenergiedurchlassgrad (g-value) in Abhängigkeit des Einstrahlwinkels (incident angle)

Tab. 2: Nutzungsszenario



3. ERGEBNISSE

3.1 ENERGETISCHE BETRACHTUNG

Basierend auf den definierten Referenzraum wurden Berechnungen mit zwei unterschiedlichen transienten Simulationsprogrammen durchgeführt und ausgewertet. Im speziellen wurden die Ergebnisse aus einer Simulation mit TRNSYS 17 den Ergebnissen aus dem Simulationssystem Therakles 2.2 (Nicolai, 2013) gegenübergestellt. Die Simulationen wurden dabei für jeweils ein Jahr mit der Startbedingung Raumtemperatur 20 °C durchgeführt. Die Ergebnisse des Vergleiches zeigen, dass insbesondere für die klaren Nächte des kontinentalen Klimas die Behandlung der langwelligen Rückstrahlung unterschiedlich gehandhabt wird. Aus dieser unterschiedlichen Behandlung der Rückstrahlung ergeben sich gerade in den Nachtzeiten deutliche Unterschiede in der Kühllast bzw. damit verbunden dem Jahreskühlenergiebedarf.

Während der Tageszeit bewirken die unterschiedlichen Wärmeeinträge durch die Solarstrahlung abweichende Ergebnisse in der sensiblen Kühllast, Abb. 5. Der langwellige Strahlungsaustausch zwischen Himmel und Gebäudehülle spielt dabei aufgrund der hohen solaren Energieeinträge einen eher untergeordneten Einfluss.

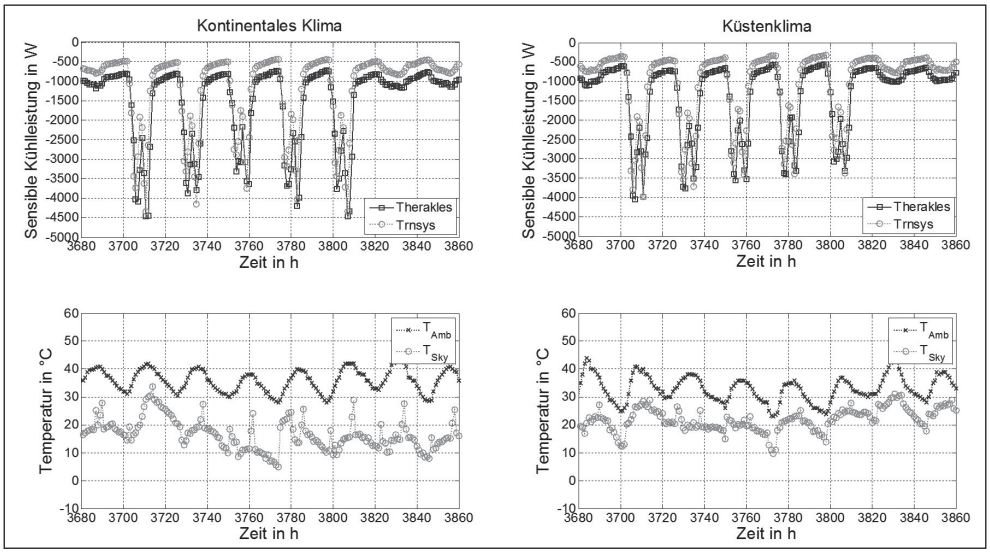
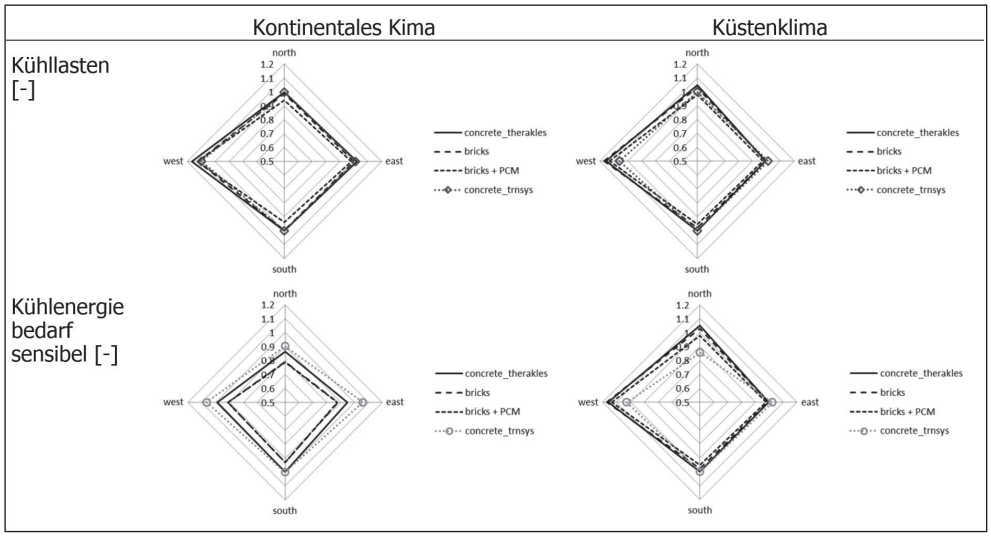


Abb. 5: Dynamischer Verlauf der Kühllasten, Lufttemperatur (T_{Amb}) und Himmelstemperatur (T_{Sky}), Südorientierung, Massivbauweise (Betrachtungszeitraum: 1 Woche, Anfang Juni)

In der Tab. 3 sind die Kühllasten sowie der Jahreskühlenergiebedarf des untersuchten Raumes normiert auf den Wert für die südorientierte Betonkonstruktion dargestellt. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die Orientierung der Räume einen wesentlichen Einfluss auf den Heizwärme- und Kühlenergiebedarf hat. Der Einsatz von PCM führt zur Reduktion der Kühllasten und des Kühlenergiebedarfes. Dabei ist der Einfluss bei Nord- und Südorientierung höher als bei der West- und Ostorientierung.

Zudem ist zu erkennen, dass sich der mittels Therakles 2.2 und mittels TRNSYS 17 ermittelte sensible Kühlenergiebedarf (concrete_therakles vs. concrete_trnsys) sowohl beim kontinentalen als auch beim Küstenklima voneinander unterscheiden. Eine zusätzlich durchgeführte Detailanalyse zeigte, dass die unterschiedliche Modellierung des Fensters und der Strahlungsverteilung am Standort für diese Abweichungen verantwortlich sein könnten.

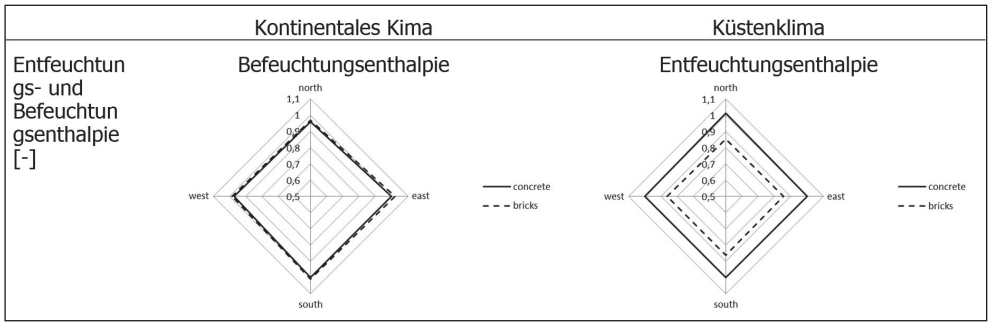
Tab. 3: Kühllast und Kühlenergiebedarf



3.2 HYGROTHERMISCHE BETRACHTUNG

Für die hygrothermischen Untersuchungen des Raumzustandes wurde ein Raumknotenmodell (Nicolai, 2013) verwendet. Die Verwendung eines Raumknotenmodells für hygrothermische Analysen in Kombination mit Raumklimauntersuchungen wie in Klanatsky et al. (2012) untersucht, bieten die Möglichkeit die Kopplung von Bauteilmodellen und Raumknotenmodelle in impliziter Form. Für den untersuchten Raumknoten wurden Grenzwerte für die Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte definiert. Für den Fall dass diese Grenzwerte durch das hygrothermische Speicherverhalten der Umschließungsflächen nicht eingehalten werden, werden zusätzlich Be- bzw. Entfeuchtungsenthalpieströme den Raum zu- bzw. abgeführt. Diese werden im Zuge der Jahressimulationen gemonitort und ausgewertet. Die im jeweiligen Zeitschritt ermittelten Enthalpieströme wurden im Anschluss der Simulationen aufsummiert. Es zeigte sich, dass insbesondere im Falle des Küstenklimas eine deutliche Reduktion des Entfeuchtungsbedarfes durch den Einsatz von feuchtespeicherfähigen Baustoffen möglich ist (Tab. 4). Für den Fall des kontinentalen Klimas konnte nur ein geringerer Unterschied festgestellt werden.

Tab. 4: Entfeuchtungs- und Befeuchtungsbedarf



4. ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Die Verwendung von in Mittel- und Zentraleuropa erprobten Konstruktionen kann auch in dem signifikant unterschiedlichen Klima der arabischen Halbinsel Vorteile hinsichtlich der hygrothermischen Eigenschaften bringen. Die hier durchgeführten Berechnungen zeigen das Potential der untersuchten Konstruktionen. Insbesondere die Erhöhung der thermischen Trägheit der leichteren Ziegelbauweise durch den Einsatz von Materialien zur Latentwärmespeicherung ermöglicht eine Reduktion des erforderlichen Energieeinsatzes für den Kühlfall. Der Einsatz von feuchtespeicherfähigen Baustoffen bewirkt durch die damit verbundene Pufferwirkung für das Küstenklima einen geringeren Aufwand für die Entfeuchtung des Raumes. Für das trockenere kontinentale Klima sind die Auswirkungen der hygrischen Speicherfähigkeit auf das hygrothermische Raumklima gering.

In Bezug auf die Simulationsmodell-Anforderungen konnte gezeigt werden, dass die langwellige Abstrahlung bei den untersuchten Klimabedingungen eine signifikante Einflussgröße darstellt und in den Algorithmen zur hygrothermischen Modellierungen berücksichtigt werden sollte. Weiters sollten höherwertigere Strahlungsmodelle zur Beschreibung der Wärmetransportvorgänge innerhalb von transparenten Bauteile verwendet werden.

5. DANKSAGUNG

Diese Untersuchung wird durch das FFG Förderprogramm „Innovationslehrveranstaltungen: Kompetenzerweiterung in der angewandten Forschung“ unterstützt.

6. LITERATURVERZEICHNIS

Araseth, D., Kohler, C. & Griffith, B., 2009. Modeling Windows in Energy Plus with Simple Performance Indices. Berkeley: Ernst Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.

Building bulletin 101:, 2006. Ventilation for school buildings, London: Department for Education, Education Funding Agency.

Karlsson, J., 2001. Windows – Optical Performance and Energy Efficiency. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis.

Klanatsky, P., Heschl, C., Schnitzer, J. & Jilg, H., 2012. Sorptionsspeicherpotenzial von Baumaterialien zur Feuchteregulierung des Raumklimas.. Pinkafeld, Fachhochschulstudiengänge Burgenland GmbH.

Nicolai, A., 2013. Physikalische Grundlagen des thermischen Raummodells Therakles. Dresden: Institut für Bauklimatik, Fakultät Architektur, TU Dresden.

ÖNORM EN 15251, 2007. Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden, Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 15927-4 , 2005. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung und Darstellung von Klimadaten - Teil 4: Stündliche Daten zur Abschätzung des Jahresenergiebedarfs für Heiz- und Kühlsysteme (ISO 15927-4:2005), Wien: ÖNORM.

ÖNORM EN ISO EN 15026 , 2007. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, Wien: ÖNORM.

Richard, D., 2015. Building bulletin 93: Acoustic design of schools: performance standards, London: Department for Education, Education Funding Agency.

Sedlbauer, K., Künzel , H. M., Holm, A. & Saur, A., 2004. Bauen in anderen Klimazonen- ändert sich die Bauphysik, Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Bauphysik.

US Departement of Energy, 2015. EnergyPlus Energy Simulation Software : Weather Data. [Online]

Available at: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm
[Zugriff am 02 03 2015].

Winfried, S. & Ménard, M., 2006. SIA 2024; Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

Zirkelbach, D., Künzel, H. M. & Sedlbauer, K., 2004. Einsatz von Wärmedämm-Verbundsystemen in anderen Klimazonen. Bauphysik, 11, pp. 335-339.