

Simulationsmodelle für den Kachelofen

Die physikalischen Zusammenhänge beim – auf den ersten Blick „einfachen“ Produkt – Kachelofen sind hochkomplex. Die zyklische Beheizung führt zu keinem konstanten Betriebszustand und die thermischen Zustände sind in jedem Punkt und zu jeder Zeit variabel. Das Ziel des Projektes „KachelofenSimulation“ war die Erstellung von Simulationsmodellen, die den zeitlichen Temperaturverlauf im Schamott, an der Ofen-Oberfläche sowie im Abgas wiedergeben. Weiters sollen diese Computermodelle die Betrachtung von thermischer Behaglichkeit im Aufstellraum ermöglichen. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Firma ACAM Engineering von Jänner 2018 bis September 2019 in über 1.500 Arbeitsstunden durchgeführt und zu 60% von der FFG (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) gefördert. Als Software wurde Siemens Simcenter 12.0 verwendet.

Wie funktionieren diese Simulationsmodelle

Die Simulationsmodelle wurden auf Basis von 3D-CAD-Modellen erstellt. Im nächsten Schritt werden der Schamotte und die Luft bzw. das Abgas in kleine Elemente „gestückelt“ – sogenannte Finite Elemente. In jedem dieser Elemente wird der Temperaturverlauf auf Basis physikalischer Zusammenhänge zu jedem Zeitpunkt innerhalb von z.B. 12 Stunden berechnet (siehe Abbildung 1).

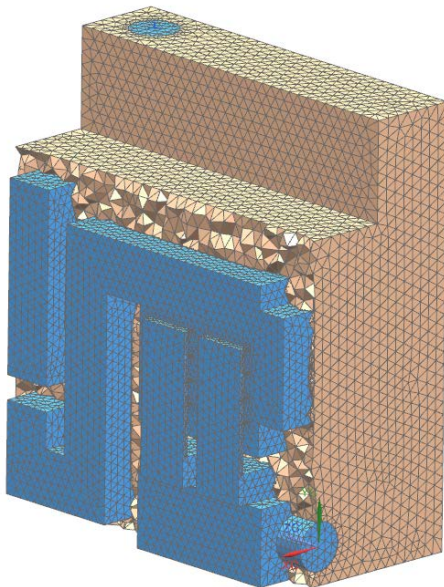


Abbildung 1: Finite Elemente des Kachelofen-Simulationsmodells

Dies erfordert hohe Computer-Rechenleistungen und daher wurde die Anzahl der Elemente der dahingehend optimiert, dass es möglichst wenige Elemente benötigt, jedoch eine ausreichende Anzahl, um die Ergebnisse genau genug zu berechnen. Die Optimierung der Elemente-Anzahl ergab für das Luftvolumen rund 500.000 und für den Schamottekörper rund 75.000 Berechnungselemente.

Als Eingabegrößen für die Simulationsmodelle wurde die Brennraumleistung auf Basis der Holzmenge (Kreuzstoß im Modell siehe Abbildung 2), der Volumenstrom am Abgasstutzen, der Wärmeübergangskoeffizient an die Umgebung sowie die Raumtemperatur definiert.

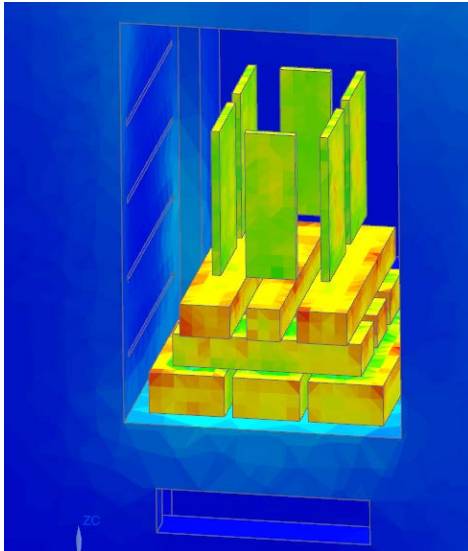


Abbildung 2: Kachelofen-Simulationsmodell Brennraum - Holzvolumen als Kreuzstoß mit Flammen

Vergleich: Simulationsmodelle vs. Messungen in VFH

Die Überprüfung der Simulationsmodelle erfolgte mit Messungen in der Versuchsanstalt der Hafner Österreichs. Dabei wurden bei zwei Kachelöfen (jeweils einer in Bauweise mit und einer ohne Luftspalt) die Temperaturen an der Ofen-Oberfläche, im Schamotte-Festkörper und im Abgas mit Thermoelementen und der Wärmebildkamera erfasst (Abbildung 3).

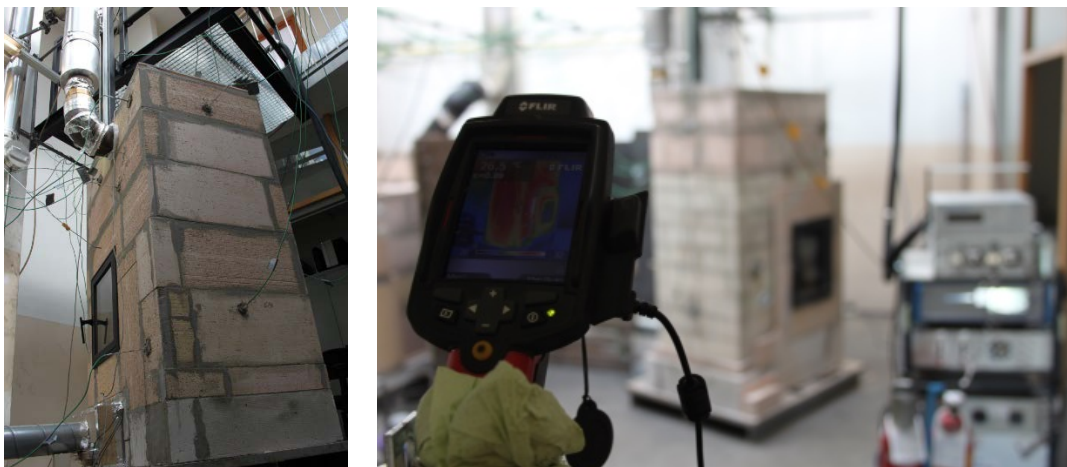


Abbildung 3: Messaufbau in der VFH

Die Messergebnisse wurden mit den Ergebnissen der Simulationsmodelle gegenübergestellt. Die Grafiken in Abbildung 4 vergleichen die Oberflächentemperaturen bei den Messungen in der VFH und

dem Simulationsmodell. Das Simulationsmodell (strichlierte Linien) gibt sehr gut den Temperaturverlauf beim ersten Einheizen aus dem kalten Zustand (durchgezogene Linien) wieder.

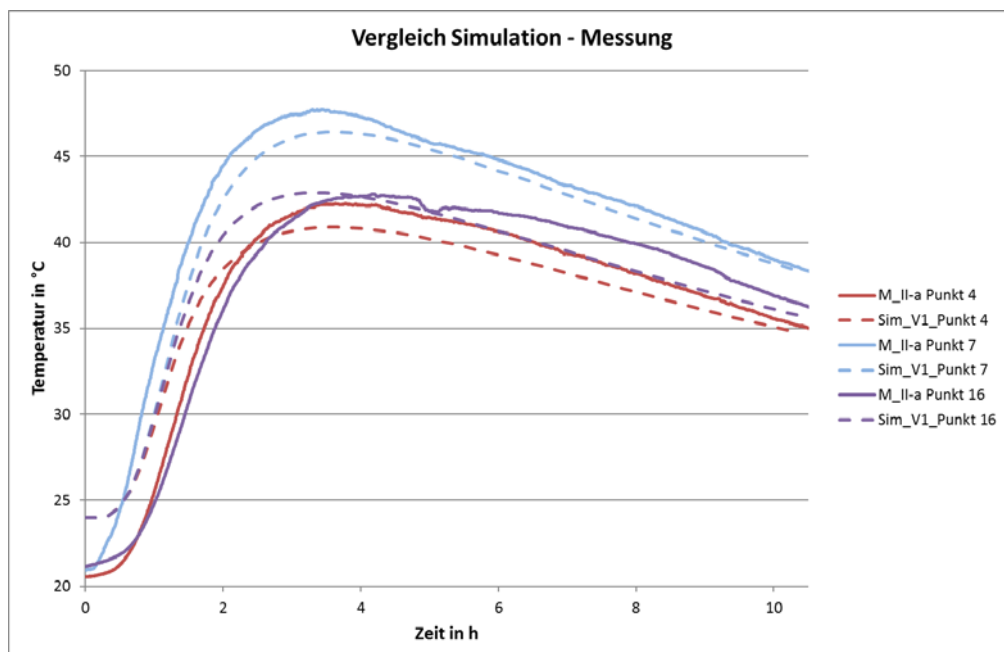


Abbildung 4: Oberflächentemperaturen „Kachelofen mit Luftspalt“ - Messung vs. Simulation

In den Simulationsmodellen können die Temperaturen an den Oberflächen und im inneren des Kachelofens sowie im Abgas ermittelt sowie dargestellt werden (Abbildung 5).

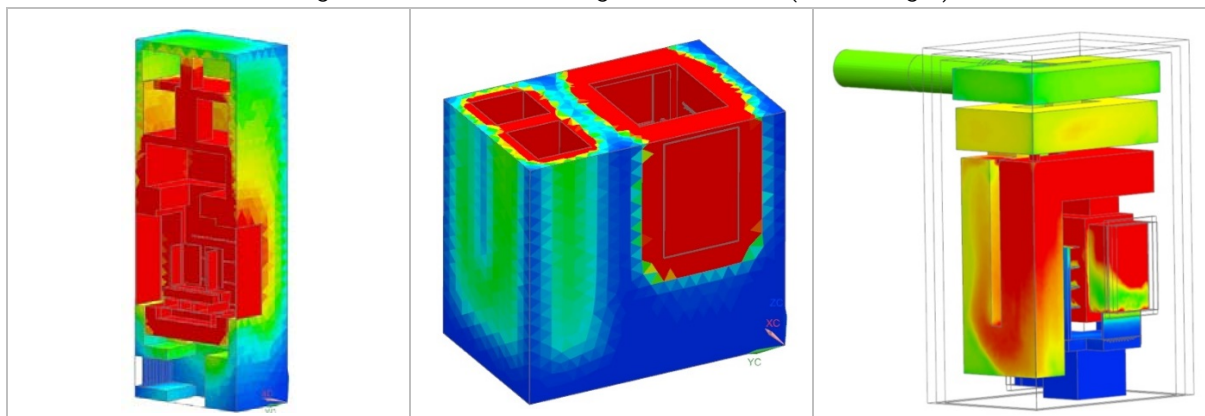


Abbildung 5: Ergebnisgrafiken – Temperaturen in Simulationsmodellen

Einfluss Kachelofen-Aufbau

Aus den Kachelofen-Simulationsmodellen wurde der Einfluss des Kachelofen-Aufbaus (z.B. Hüllenaufbau mit/ohne Luftspalt, Zugverlauf, Türanordnungen und Brennräume) analysiert. So kann etwa mit der Simulation der Einfluss des Luftspaltes gut dargestellt werden und zeigen wie sehr die Stärke des Luftspaltes eine Rolle spielt. Außerdem zeigen auch die Messungen mit Wärmebildkamera gut das gleichmäßigere Erwärmen des Kachelofens mit Luftspalt (Abbildung 6).

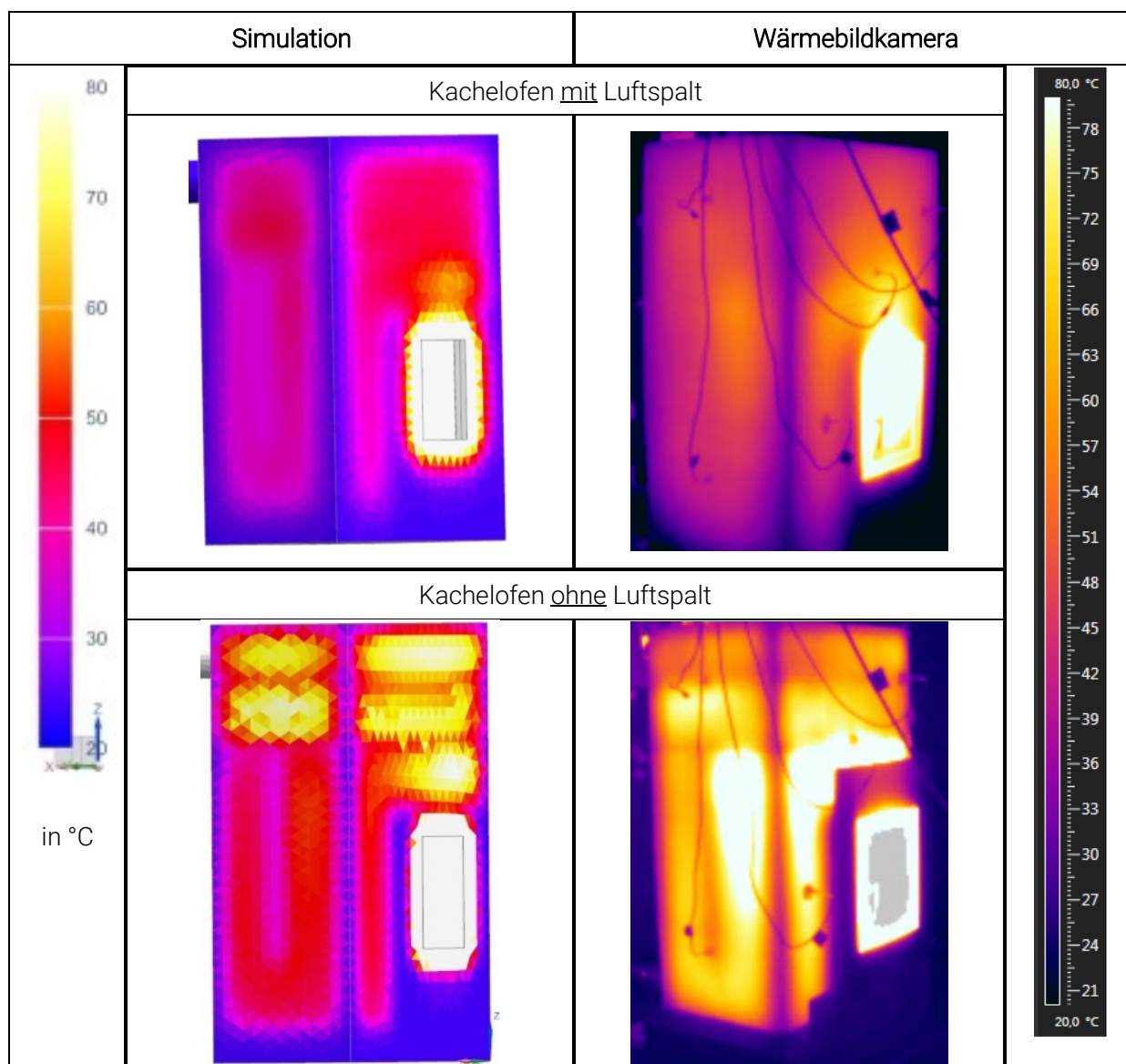


Abbildung 6: Oberflächentemperaturen - Messung vs. Simulation

Einfluss Wandaufbau Aufstellraum

Außerdem wurde mit den Kachelofen-Simulationsmodellen der Einfluss der Wandaufbauten im Aufstellraum analysiert. Dazu wurde ein fiktiver Raum mit 5m mal 7m angenommen. In dem Raum wurde ein Kachelofen mit 10 kg Nennaufgabe platziert. Die Raumwände wurden einerseits aus Beton und andererseits aus Holz angenommen. Die Temperatur an der Wand-Außenseite ist so gewählt, dass für beide Materialien der Wärmeübergang mit dem hinterlegten Wärmeübergangskoeffizienten äquivalent ist (Temperatur Außenseite der Wände bei Beton: 19°C, bei Holz: 4°C). Abbildung 7 zeigt die Oberflächen-Temperaturen im Raum.

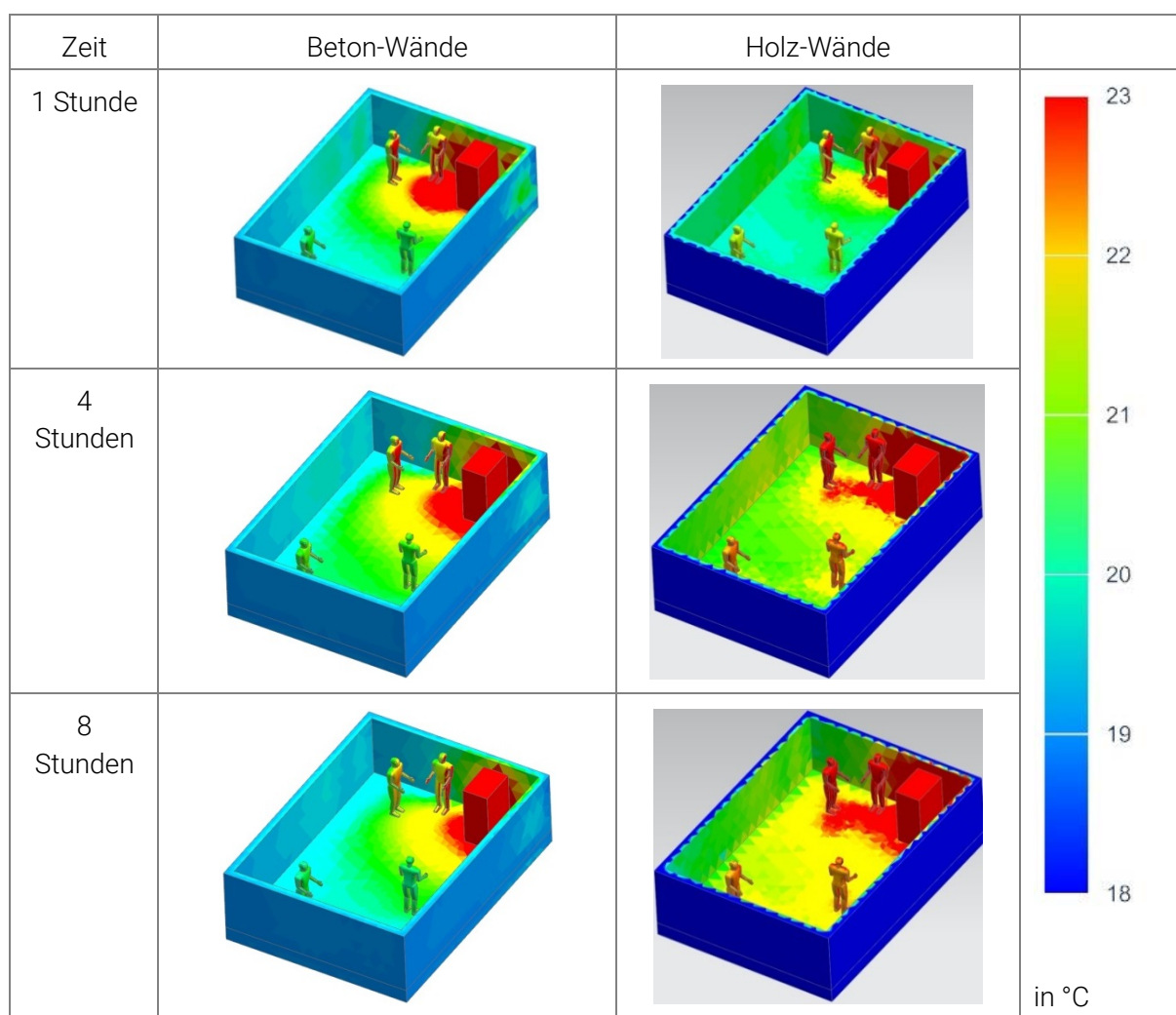


Abbildung 7: Oberflächentemperaturen bei Wandaufbau aus Beton und Holz

Im Vergleich der Wandaufbauten von Holz und Beton kann man Unterschiede in den Oberflächentemperaturen und Lufttemperaturen feststellen. Aufgrund der höheren Wärmekapazität und der höheren Wärmeleitfähigkeit von Beton wird mehr Energie in den Wandflächen eingelagert als bei den Wandaufbauten aus Holz. Daraus resultiert, dass die Lufttemperaturen bei den Wandaufbauten aus Holz um 2 bis 3 °C höher sind als bei dem Beispiel mit Betonwänden.

Einfluss auf den Brandschutz

Der Kachelofen wurde so im Raum platziert, dass er die aktuellen Anforderungen an den Brandschutz erfüllt. An den Wandoberflächen wurde der Temperaturverlauf in der Simulation auf das Einhalten der Anforderungen überprüft. Dabei darf die Temperatur nicht höher als 85 °C bei brennbaren Materialien erreichen. Abbildung 8 zeigt den Temperaturverlauf an den jeweiligen Wandflächen an der heißesten Stelle über den Zeitraum von 12 h.

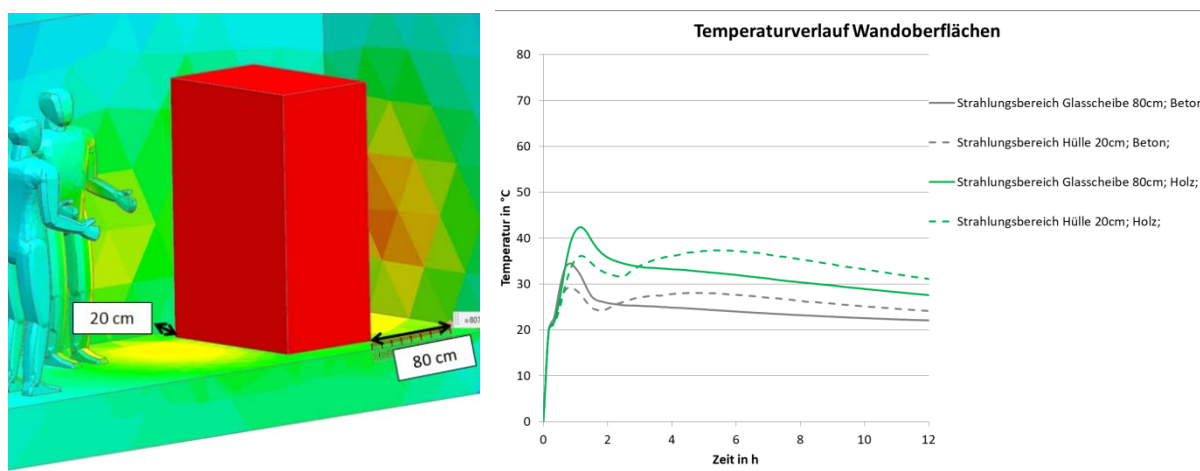


Abbildung 8: Temperatur an Wandflächen – Einfluss des Wandaufbaus - Brandschutz

Es ist ersichtlich, dass die geforderten Temperaturen bezüglich des Brandschutzes an den Wandflächen deutlich eingehalten werden. Die höchste Temperatur im Simulationsmodell beträgt rund 43 °C. Bei den Wandflächen von Holz kommt es zu höheren Temperaturen als bei Beton. Im Strahlungsbereich bei der Glasscheibe treten höhere Temperaturen auf als bei der Wand im Strahlungsbereich von der Kachelofenhülle. Da der betrachtete Kachelofen eine geringe Wärmeleistung (2,7 kW bei 12 Stunden Nennheizzeit) hat und in der Bauweise mit Luftspalt ausgeführt ist, scheinen die geringen Temperaturen an den Wandflächen gut mögliche Temperaturen in der Realität abzubilden. Bei Beton bzw. bei nicht brennbaren Wänden müssten die Temperaturen bezüglich des Brandschutzes nicht eingehalten werden.

Zusammenfassung, Fazit & Ausblick

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts „KachelofenSimulation“ bilden sehr gut die Realität bei den Messungen ab. Damit kann der Temperaturverlauf im bzw. auf der Oberfläche des Kachelofens für verschiedene Bauarten und Geometrien gut vorgesagt werden. Zukünftig kann damit die Interaktionen von Kachelöfen in Wohnräumen bzw. ganzen Gebäudeeinheiten betrachtet werden um traditionelle Kachelöfen als Ganzhausheizung stärker zu forcieren. Dazu ist jedoch noch die Betrachtung von längeren Zeiträumen (länger als die meist betrachteten 12 Stunden) notwendig. Dies erfordert hohe Computerleistungen und gezielte Vereinfachungen in den Modellen. Außerdem kann eine Berücksichtigung der aktuellen Wetterbedingungen und Wetterprognosen für die Betrachtung der Behaglichkeit im gesamten Gebäude relevant sein. Um einen fundierten Nachweis bei Brandsicherheitsfragen zu gewährleisten, sind diesbezüglich noch systematische praktische Versuchsdurchführungen in Kombination mit Simulationsmodellen durchzuführen.

Für Fragen und Rückmeldungen steht Ihnen Johannes Mantler (01 2565 885-13 oder mantler@kachelofenverband.at) gerne zu Verfügung.