

## EINFACHES NORM-SIMULATIONSTOOL ZUR BERECHNUNG DER OPERATIVEN TEMPERATUR IN EINEM RAUM

Thomas Bednar<sup>1</sup> und Christian Pöhn<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>TU Wien, Österreich

<sup>2</sup>MA 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, Wien, Österreich

### KURZFASSUNG

Der gegenständliche Artikel stellt die Entwicklung eines einfachen Simulationstools zur Berechnung der operativen raumweisen Temperatur für den Fall bekannter Aufbauten der Begrenzungsbauteile und die Annahme stundenweise bekannter Außentemperaturen, Strahlungsdaten und inneren Lasten. Die Vereinfachung und Annahmen wurden so gewählt, daß das Verfahren in eine Weiterentwicklung der ÖNORM B 8110-3 einfließen kann und eine konsistenter Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung auch für Nichtwohngebäude möglich wird.

### ABSTRACT

This article gives an overview about the development of a simple simulation tool for the calculation of the operative temperature in a single room for the case of known layers of the construction elements and also known external temperatures, radiation data and internal loads. The simplifications are chosen in a way that the Austrian standard ÖNORM B 8110-3 "avoidance of summer time overheating" can be improved and used for non-residential buildings.

### EINLEITUNG

In Österreich ist seit vielen Jahren für den Sommerfall der Nachweis zu führen, dass sommerliche Überwärmung vermieden wird. Im Rahmen dieses Nachweises wird wie folgt vorgegangen:

### PROBLEMSTELLUNG

Der Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung erfolgt gemäß ÖNORM B 8110-3. Diese Norm stammt in ihren Prinzipien aus den 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts und verfolgt dabei die Methodik des Nachweises ausreichender Speichermassen in Abhängigkeit vorhandener Immissionsflächen.

### LÖSUNGSWEG

In einem ersten Schritt werden dabei raumweise die wirksamen Speichermassen berechnet. Basis dieser

Berechnung ist dabei die Berechnung der Speicherkapazitäten gemäß ÖNORM EN ISO 13786.

Die dort berechneten spezifischen Speicherkapazitäten sind mit den Bauteilflächen in Speicherkapazitäten umzurechnen und anschließend durch Multiplikation mit einem Konversionsfaktor in wirksame Speichermassen umzurechnen. An dieser Stelle darf angemerkt werden, dass die Näherungsmethode, die der 10 cm-Regel aus der EN ISO 13786 folgt, durchaus für erste Abschätzungen angewandt werden kann. Eben dieser leichte Zugang hat es vielen Baupraktikern ermöglicht, diesen Nachweis einfachst zu führen.

Daran anschließend sind die wirksamen Immissionsflächen zu berechnen. Diese wirksamen Immissionsflächen lassen sich unter Berücksichtigung der Verglasungseigenschaften (Gesamtenergiedurchlassgrad) und der Verschattungseigenschaften sowie der Orientierung und Neigung berechnen. In der ÖNORM B 8110-3 sind in zahlreichen Tabellen einerseits die  $Z_{ON}$ -Faktoren zur Berücksichtigung von Orientierung und Neigung und Gesamtenergiedurchlassgrade und Verschattungsfaktoren für typische Verschattungseinrichtungen aufgelistet.

Daran anschließend erfolgt die Berechnung eines immissionsflächenbezogenen Luftvolumenstromes unter Berücksichtigung von Fixwerten für einen fiktiven Luftwechsel in Abhängigkeit von der Anzahl von Begrenzungsflächen, die mit Lüftungsöffnungen ausgestattet sind. An dieser Stelle darf angemerkt werden, dass die dort angegebenen Luftwechselzahlen einerseits als Voraussetzung beinhalten, dass ein vollständiges Öffnen der Fenster während der Nacht stattfinden kann und darf. Voraussetzung dafür ist selbstverständlich ein ausreichender Witterungs- und Einbruchschutz und aus schallschutztechnischen Gründen allfällige weitere Einschränkungen. Die Berechnung eines immissionsflächenbezogenen Luftvolumenstromes erfolgt durch Multiplikation dieser fiktiven Luftwechselzahlen mit dem Volumen und Division durch die wirksamen Immissionsflächen.

Ebenso erfolgt die Berechnung von vorhandenen immissionsflächenbezogenen wirksamen Speichermassen durch Division der vorhandenen

wirksamen Speichermassen durch die wirksamen Immissionsflächen.

Wesentlichster Punkt der bisherigen Vorschrift war die Formulierung der Anforderungen, die seit den 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts unverändert geblieben sind. Damals wurde durch aufwendige Untersuchungen dieses Anforderungsniveau derart gewählt, dass statistisch gesehen nur an 130 Tagen in 10 Jahren die Behaglichkeitsgrenze in Räumen, für die die Vermeidung sommerlicher Überwärmung positiv nachgewiesen wurde, überschritten wurde. Die Berechnung von erforderlichen immissionsflächenbezogenen wirksamen Speichermassen erfolgt in Abhängigkeit von der Immissionsfläche.

Daran anschließend erfolgt der Vergleich der Ergebnisse und die Beurteilung des positiven bzw. negativen Ausgangs der Berechnungen.

### KRITIK

Grundsätzliche Voraussetzung des bisherigen Verfahrens ist – wie bereits erwähnt – eine angenommene Nachtlüftung. Ist diese – aus welchen Gründen auch immer – nicht möglich, so liefert das Verfahren entweder einen nicht realitätskompatiblen Nachweis oder ist gar nicht anwendbar. Insbesondere für Nicht-Wohngebäude hat dies durch nichtkundige Nachweisführung immer wieder zu problematischen Ergebnissen geführt. Ebenso waren bisher für Nicht-Wohngebäude die Personenanzahl und die Leistung technischer Geräte mitzubedenkenden. Dabei führten Annahmen bezüglich der Gleichzeitigkeit immer wieder zu Problemen.

Darüber hinaus darf Folgendes bemerkt werden: Grundsätzliche Annahme der Nachtlüftung mit Außentemperaturen unter 26 °C; ist dies – wie u.U. im innerstädtischen Bereich – nicht gewährleistet, so funktioniert das Verfahren aus leicht einsehbaren Gründen gar nicht. Dass die Anforderungsfestlegung aus den 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts stammt und auf damals weit verbreiteten Bauweisen beruht, ergänzt die Kritik.

Als weitere Forderung stellt sich in letzter Zeit immer wieder der Wunsch anstelle des JA/NEIN-Nachweises heute Nachweise mit Angaben einer möglichen Übererfüllung und somit allfälliger – daraus ableitbarer - besserer Tauglichkeit bei Hitzeperioden anzubieten.

### BISHERIGER AUSWEG

Für hochprofessionelle Planungen stand und steht naturgemäß die Gebäudesimulation zur Verfügung. Allerdings ist diese natürlich mit der Problematik der Nachweisführung gegenüber der Behörde belegt.

### FORDERUNG

Allein daraus ist ableitbar, dass eine Einbindung eines Simulationsverfahrens auf normativer Ebene unter gleichzeitiger Forderung der Einbindung dieser normativen Basis in die gesetzlichen Anforderungen dringend notwendig ist.

Als Randbedingungen sind zu berücksichtigen:

1. Die bisherige Methode, soll – dort, wo tauglich – erhalten bleiben.
2. Die Einbindung von RLT-Anlagen soll geschaffen werden.
3. Die anzunehmenden inneren Lasten sollen kompatibel zu den eingeführten Nutzungsprofilen in der ÖNORM B 8110-5 für den Energieausweis sein.
4. Das Simulationsverfahren soll so einfach sein, dass es einerseits keinen gesteigerten Datenerhebungsaufwand bedeutet und andererseits zu Schulungszwecken als EXCEL-Lösung in Analogie zu EXCEL-Schulungs-Tools für den Energieausweis frei zur Verfügung gestellt werden.

### EINSCHUB

In der Diskussion wird immer wieder die Notwendigkeit dieses „Herunterbrechens“ auf derart einfache Ansätze hinterfragt. Dazu sollte man sich vor Augen führen, dass in Österreich derzeit ca. 1,6 Mio. Einfamilienhäuser und ca. 200.000 Mehrfamilienhäuser bestehen. Pro Jahr werden je nach Region 1 bis 2 % davon sowohl neu errichtet als auch umfassend saniert. Aus diesen Zahlen ist leicht ersichtlich, dass nicht jedes Objekt von PlanerInnen begleitet wird, zu deren Werkzeugen Simulationen zählen, sondern vielmehr in erster Linie von BaumeisterInnen und von ZimmermeisterInnen, größtenteils mit hoher baupraktischer Erfahrung. Eben für diese beiden zuletzt genannten Gruppen ist eine saubere, ingenieurmäßig verständliche Nachweisführung auf Normenbasis anzubieten. Seit der Einführung des Energieausweises in Österreich, für den die Ermittlung von Energiekennzahlen ebenso eine entsprechende Komplexität aufweist, hat sich die Darstellung derartiger komplexer Berechnungen in Tabellenkalkulationen wie MS-Excel blendend bewährt und stellt mit einem wesentlichen Erfolgs- und Akzeptanzfaktor dar. Genau dieser Weg sollte auch hier beschritten werden.

### LÖSUNG:

Somit stand eine Überarbeitung der ÖNORM B 8110-3 auf der Tagesordnung. Die Einbindung des Simulationsteils sollte durch ein VBA-Makro zur Berechnung der operativen Raumtemperatur im

periodisch eingeschwungenen Zustand bewerkstelligt werden und selbstverständlich nach Abschluss der Entwicklungen einerseits ebenso gratis downloadbar sein wie das Excel-Schulungstool zum Energieausweis und andererseits in professionelle Bauphysiksoftware eingebunden werden.

Grundvoraussetzung sollte dabei sein, dass der bisherige Aufwand, der zum Nachweis mittels ausreichend vorhandener immissionsflächenbezogener wirksamer Speichermassen notwendig war, nicht überschritten wird.

### INPUTDATEN

Als Inputdaten dürfen folgende geometrische, bauphysikalische und gebäudetechnische Eigenschaften aufgelistet werden:

- Begrenzungsbauteilflächen, Orientierung und Farbe der Außenoberfläche, Schichtenaufbau
- Fenstergeometrie, mögliche Lüftungsstellungen der Fenster, Sonnenschutz sowie eine etwaige Verschattungen durch die Umgebung, Wärmedurchgangskoeffizient und g-Wert der Verglasung
- hygienisch erforderlicher Volumenstrom, Infiltration, Definition ein optionalen Lüftungsanlage (Volumenstrom, Wärmerückgewinnung)
- Außentemperaturen (Basis der Außentemperaturen sind jene Temperaturen, die dem Beiblatt 2 der ÖNORM B 8110-5 zu entnehmen sind, die für jede Katastralgemeinde Österreichs und für jede Seehöhe jene Temperatur auflistet, die an 130 Tagen in 10 Jahren überschritten wird) Diesen Außentemperaturen wird eine stundenweise Abweichung in Abhängigkeit von der Lage des Ortes zugeordnet. Solare Einstrahlung in Abhängigkeit der Seehöhe
- Zeitabhängige Wärmegewinne durch Geräten und Personen (Vorgabe je nach Nutzung)

### BERECHNUNGEN

Um den Programmieraufwand minimal zu halten wurde entsprechend EN ISO 13791 ein vereinfachtes Verfahren zur Lösung der Differentialgleichungen in Excel abgebildet. Die Abbildung der Bauteile erfolgt dabei durch die innere und äußere wirksame Wärmekapazität entsprechend EN ISO 13786.

Die Berechnung des auftriebsinduzierten Luftaustausches über gekippte oder offenen Fenster erfolgt dabei entsprechend EN ISO 13791 mit Formel 1.

$$\dot{V} = C \cdot A \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{\Delta T} \quad (1)$$

$$C = 0,7 \cdot 100 \frac{\text{m}^{0,5}}{\text{h} \cdot \text{K}^{0,5}}$$

Wobei A die Öffnungsfläche, H die Öffnungshöhe und  $\Delta T$  die Lufttemperaturdifferenz und der Faktor 0,7 einen Sicherheitsfaktor darstellt. Die Geometrieschen Abmessungen sind entsprechend der Abbildung 2 zu wählen.

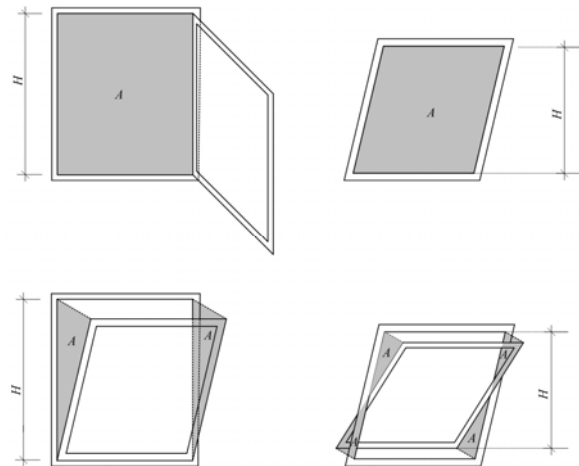


Abbildung 2: Wahl der Öffnungsfläche A und der Öffnungshöhe H für offenen (oben) und gekippte (unten) Fenster

### VERFAHRENSVERGLEICH

Anhand einer typischen Wohnung mit 2 Zimmern, einer Wohnküche und Gang, Bad und WC wurden 45 verschiedenen Varianten sowohl durch eine gekoppelte Ganzjahressimulation, einer gekoppelten Simulation mit einem periodischen Auslegungstag und raumweise nach dem alten vereinfachten Verfahren berechnet. Die 45 Variaten ergeben sich aus unterschiedlicher Bauweise, unterschiedlichem Sonnenschutz und unterschiedlicher Orientierung und unterschiedlicher nächtlicher Fensterstellung.

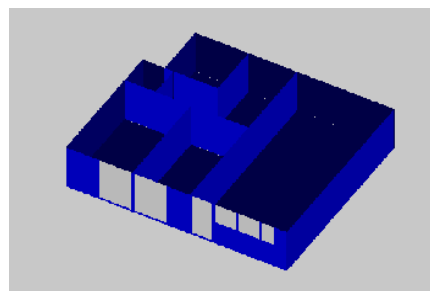
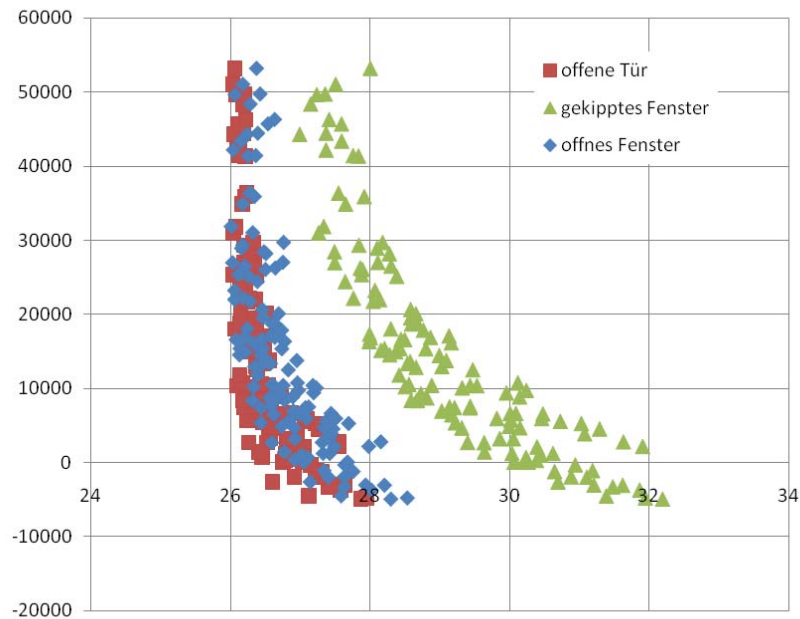


Abbildung 2: Geometrie der Testwohnung

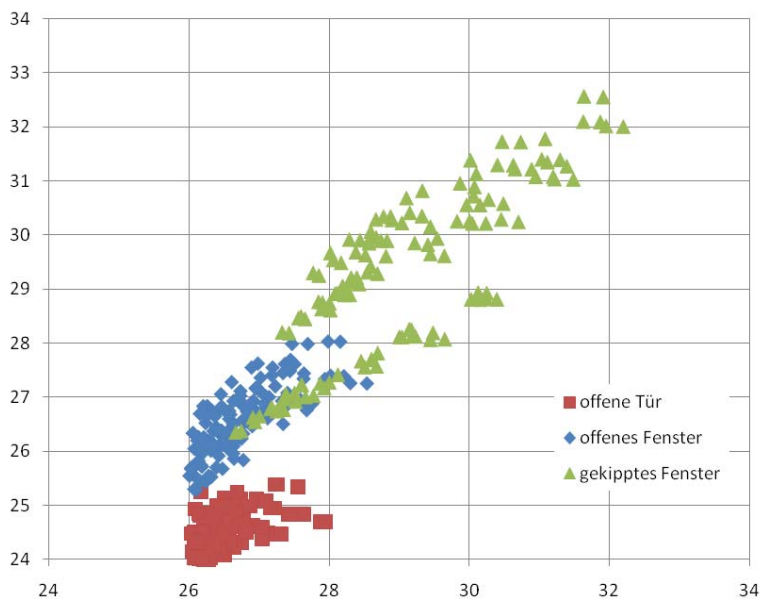
Überschuß an immissionsflächenbezogener speicherwirksamer Masse in  $\text{kg}/\text{m}^2$



Maximum deropertativen Temperatur für die Ganzjahressimulation in  $^{\circ}\text{C}$

Abbildung 3: Vergleich zwischen dem alten Verfahren und der Ganzjahresimulation

Maximum der operativen Temperatur für den periodischen Tag in  $^{\circ}\text{C}$



Maximum deropertativen Temperatur für die Ganzjahressimulation in  $^{\circ}\text{C}$

Abbildung 4: Vergleich zwischen der Simulation mit einem periodischen Sommertag und der Ganzjahresimulation

Insgesamt ergeben sich 135 Räume, da für jede der 45 Varianten drei Räume mit Fenstern der 6-Raum Wohnung beurteilt werden können. Alle 135 Varianten wurden mit drei verschiedenen nächtliche Lüftungsmöglichkeiten berechnet. Im Rahmen der Simulationen wurde der hygienische Luftwechsel und eine ideale Nachtlüftungsmöglichkeit berücksichtigt. Mit ideal ist ausgedrückt, dass immer wenn die Außentemperatur unter die Innenraumlufttemperatur sinkt, die Lüftungsmöglichkeit aktiviert wird. Die Berechnung erfolgten mit inneren Lasten

Die Klimadaten die für die Berechnungen verwendet wurden sind das für die Ganzjahressimulation das Testreferenzjahr für Wien und für den periodischen Tag (15. Juli) ein Tagesgang der vom Mittelwert und der Tagesschwingung einem durchschnittlichen Sommertag des Testreferenzjahres entspricht.

Aus Abbildung 3 ist erkennbar, dass im vereinfachten Verfahren nach ÖN B 8110-3: 1999 jedenfalls die zwingende Annahme enthalten ist, das Lüftungsöffnungen in der Größe eines typischen Fensters nachts offen sein können. Sobald man Fenster nur kippt ergeben sich in den berechneten Fällen deutlich höhere Raumtemperaturen.

Aus Abbildung 4 ist erkennbar, das eine Beschränkung des zulässigen Maximums für die Simulation eines typischen Sommertages auch eine Beschränkung des Maximums in einer Ganzjahresbetrachtung bedeutet.

Für den Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung ergeben sich daher folgende notwendige Voraussetzungen:

Da die Lüftung über ausreichend große Lüftungsöffnungen eine wesentliche Voraussetzung für das Einhalten geringer Raumtemperaturen ist, ist die Abbildung der realen Öffnungsgrößen zwingend notwendig. Der Bauherr muß unter Berücksichtigung der notwendigen Sicherheitsvorkehrung für die Planung festlegen, ob für die betrachteten Räume Fenster als nachts offen betrachtet werden können. Diese Überlegung ergibt besonders für Erdgeschoßbereiche die Notwendigkeit Maßnahmen zur Vermeidung von Einbrüchen einzuplanen. Im Falle des Nachweises von Räumen mit hohen Ruheansprüchen (Schlafzimmer, MitarbeiterInnen-Ruheräume, etc.) muß der nächtliche Umgebungslärmpegel klein genug sein, damit Fenster aufgemacht werden.

Für den Fall, das Fenster nachts geöffnet werden können (Einbruch, Lärm), der Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur kleiner gleich 23 °C ist und es sich um eine Wohnungsnutzung handelt, kann der vereinfachte Nachweis mit Hilfe der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen geführt werden.

Der im Nachweis angesetzte Sonnenschutz muß eine für den Standort geeignete Gebrauchstauglichkeitsgeschwindigkeit aufweisen. Dies bedeutet, dass bei den in sommerlichen Perioden auftretenden Windgeschwindigkeiten, die

Verwendung des Sonnenschutzes keine erhöhten Wartungsaufwand erzeugt. Diese Geschwindigkeit ist typischer Weise deutlich kleiner als die Windgeschwindigkeit die der im CE-Begleitdokument angegebenen Windwiderstandsklasse entspricht. Eine entsprechende Planung von äußeren Abschlüssen und eine Übernahme dieser Anforderung in Ausschreibungen ist daher eine Voraussetzung, dass nach Fertigstellung des Bauvorhabens die berechnete thermische Qualität auch erreicht werden kann.

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung, als wesentliche Entscheidung, ob ein Abgabesystem für Kälte in Räumen eingeplant werden muß, kann aufgrund der Zusammenhänge auf die Simulation eines sich periodisch wiederholenden Sommertages umgestellt werden. Damit können alle möglichen Nutzungen und ein standortbezogenes Außenklima konsistent abgebildet werden. Ebenso ist es möglich, die Wirkung einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung abzubilden. Durch die eindeutige Festlegung der anzunehmenden inneren Lasten, der Berechnung des Luftwechsels über Lüftungsöffnungen und dem anzunehmenden standortabhängigen Außenklima ergibt sich ein normierbares Simulationsmodell zur Festlegung von Anforderungen an das sommerliche Verhalten von Räumen und Raumverbänden.

Die Verknüpfung mit der Umgebungslärsituation ist eine logische Folge der Berücksichtigung der Öffnung der Fassade.

Wesentliche Planungsschritte, die für die Ausschreibung von großer Bedeutung sind, sind die Überlegungen zur Einhaltung der Sicherheitserfordernisse und zur Gebrauchstauglichkeitsgeschwindigkeit der äußeren Abschlüsse.

Im Falle der Wohnungsnutzung, der Möglichkeit über offene (nicht nur gekippte) Fenster nachts zu lüften und einem Standort mit einem Tagesmittelwert der Außentemperatur unter 23°C kann das derzeitige vereinfachte Verfahren weiter verwendet werden.

## LITERATUR

- Pech, A. und Pöhn, C., Baukonstruktionen Bd.1 - Bauphysik, Wien, 2004, Springer  
 Pöhn, C., Pech, A., Bednar, T. und Streicher, W. Baukonstruktionen Bd.1/1 – Energieeinsparung



und Wärmeschutz / Energieausweis -  
Gesamtenergieeffizienz, Wien, 2007, Springer

Riccabona, C., Bednar, T., Baukonstruktionslehre 4 –  
Bauphysik, Wien, 2008, Manz

OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und  
Wärmeschutz“, Wien, April 2007, OIB

OIB-Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von  
Gebäuden“, Version 2.6, Wien, April 2007, OIB

ÖNORM B 8110-3 Wärmeschutz im Hochbau –  
Wärmeschutz im Hochbau – Wärmespeicherung  
und Sonneneinflüsse (1999-12-01)

ÖNORM H 7500 Heizungssysteme in Gebäuden –  
Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast  
(2006-01-01)

ÖNORM H 6040 Lüftungstechnische Anlagen –  
Kühllastberechnung (1997-03-01)