

Gebäude in Passivhausbauweise

Thermische Simulation zur Beurteilung der Nachtauskühlung für einen typischen KITA-Gruppenraum

Olaf Siegeris und Thomas Höck

In den vergangenen Jahren wurden mehrere Kindertageseinrichtungen in Passivhausbauweise in Betrieb genommen. Weitere derartige Gebäude sind aktuell in Planung. Passivhäuser werden in erster Linie errichtet, um den Heizenergiebedarf deutlich zu reduzieren. Die hochgedämmte Hülle bringt für den sommerlichen Fall aber auch Nachteile, da die tagsüber eingetragenen internen und externen (insbesondere die solaren) Wärmegewinne auch in der nächtlichen Abkühlungsphase länger im Gebäude verbleiben.

Hierfür sollten verschiedene Lösungsansätze untersucht werden, die einerseits zuverlässig zu sommerlicher Behaglichkeit führen und andererseits hohe Investitions- und Folgekosten vermeiden.

Ein Aspekt der Untersuchung war es, Alternativen für die in Passivhäusern verwendeten Nachtlüftungskappen mit motorischen Antrieben zu finden, da diese erhebliche Investitionen erfordern und Wartungs- sowie Instandhaltungskosten nach sich ziehen.

Lösungsansätze

Aufgrund des maximalen spezifischen Primärenergieverbrauchs eines Passivhauses in Höhe von $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ scheiden aktive Kühlungen (insbesondere elektrisch betriebene) aus. Andere Möglichkeiten der passiven Kühlung wie freie Kühlung über Geothermie oder Luftansaugung über einen Lüftungserdkanal (Erdwärme[kälte]kollektor) werden aufgrund hoher notwendiger Investitionen nicht weiter untersucht. Damit bleiben im Wesentlichen Varianten, die auf der Tag-/Nachttemperaturdifferenz beruhen und als Nachtlüftung oder Nachtauskühlung bezeichnet werden.

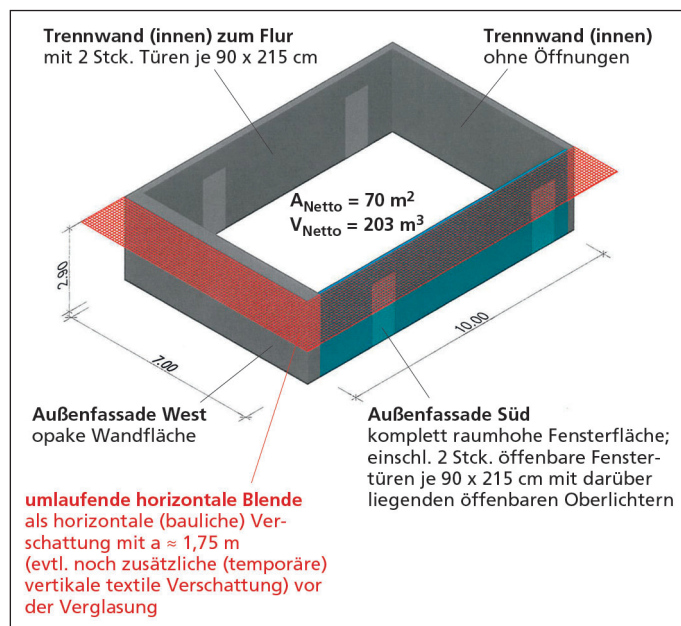
Nutzung der Passivhauslüftung

Um die energetischen Anforderungen eines Passivhauses einzuhalten, ist zwingend eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnungsgrad $> 75 \%$ (Wärmebereitstellungsgrad abluftseitig trocken) notwendig. Diese dient ausschließlich dem hygienischen Mindestluftwechsel im Winter, da nur in der kalten Jahreszeit ein Wärmerückgewinnungseffekt erzielt wird. Deshalb sollte die Passivhauslüftung außerhalb der Heizperiode abgeschaltet bleiben. Es wäre jedoch nahe liegend, diese ohnehin vorhandene Anlage für die Nachtauskühlung zu nutzen.

Die Autoren

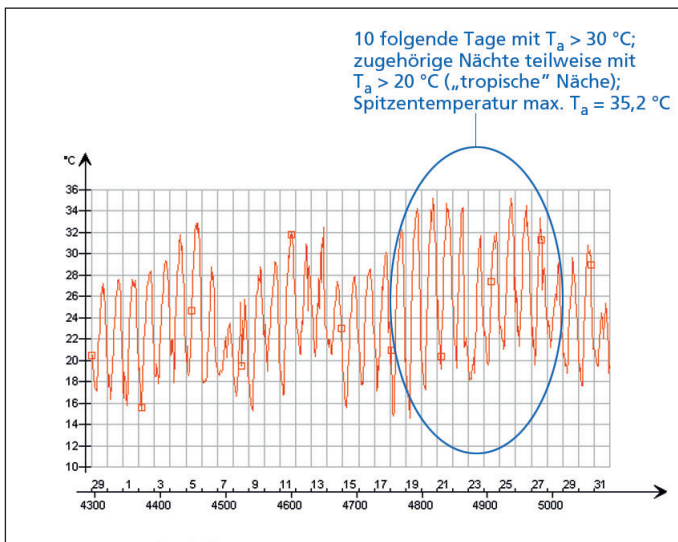
Dipl.-Ing. Olaf Siegeris, Leiter des Geschäftsbereichs Technische Ausrüstung Ingenieurconsult Cornelius Schwarz Zeitler GmbH, Darmstadt, Berlin, Dresden

Dipl.-Ing. Thomas Höck, Leiter des Fachbereichs Bauphysik Ingenieurconsult Cornelius Schwarz Zeitler GmbH, Darmstadt, Berlin, Dresden



1 – Geometrie-Modell eines typischen KITA-Gruppenraums

In einer vorangegangenen Untersuchung wurde aufgezeigt, dass die Nutzung der für die Passivhauslüftung dimensionierten Anlage für die Nachtauskühlung allein nicht ausreichend ist. Dazu wurde über eine einfache Tagesbilanzierung der tägliche Wärmeeintrag mit dem Nachtlüftungspotenzial der Passivhauslüftungsanlage verglichen. Im Ergebnis erreicht die Passivhauslüftung weniger als die Hälfte der notwendigen Wärmeabfuhr. Neben der geringen Nachtauskühlung der Passivhauslüftung aufgrund des vorgegebenen Luftwechsels ($n < 2 \text{ h}^{-1}$) werden ca. 20 % des Nachtkühlungspotenzials (ca. 4 K) durch den Energieeintrag des Zuluftventilators (bis 1 K) verschwendet. Aufgrund des weit verzweigten Kanalnetzes und der Anlagenkomponenten ergibt sich ein hoher Anlagendruckverlust, der einen hohen Stromverbrauch nach sich zieht. Erfolgversprechender ist hier die Kombination der vorhandenen Passivhauslüftung mit einer indirekten Zuluftkühlung über adiabatische Abluftkühlung (Verdunstungskühlung), die als Simulationsvariante eingeht.



2 – Außentemperaturgang aus „Extremwetter“-Daten TRY 2010, Region 12; mit zwölfältiger Hitzeperiode vom 18. bis 29. Juli

Varianten der Nachtlüftung/Nachtauskühlung

Es wurden eine Reihe von Möglichkeiten der Nachtauskühlung eingehender untersucht. Ziel ist es, über möglichst viele kühle Nachtstunden einen hohen Außenluftwechsel zu erreichen und dabei den dafür notwendigen Energieeinsatz zu minimieren. Auch an windschwachen Tagen muss ein ausreichender Luftwechsel bei geringem Energieeinsatz sichergestellt werden. Die Untersuchung sollte mit Hilfe einer dynamischen Simulation weitere Möglichkeiten einer effektiven Nachtauskühlung sowie deren thermische Potenziale aufzeigen (z. B. durch unterschiedliche Lüftungsregime, Überströmklappen zum Flur und hoch-effiziente Axialabluftventilatoren, adiabate Kühlung). Dabei wurden folgende Parameter variiert:

- Luftführung im Gebäude: Fensterlüftung, Querlüftung, Vertikallüftung (Kamineffekt)
- Lüftungsarten: freie Lüftung, axialventilatorgestützte Nachtlüftung, Passivhauslüftung mit adiabater Kühlung
- Betriebs- bzw. Lüftungszeiten
- Bauweise: Holzbau oder Massivbau, Passivhausstandard oder EnEV-Standard.

Grundlagen

Verwendete Unterlagen

- beispielhafter Grundriss einer Kindertagesstätte in Frankfurt/Main, Architekten Birk und Heilmeyer, Stuttgart
- bereits erwähnte Lösungsansätze zur passiven Kühlung von Passivhäusern.

Berechnungssoftware

Für die thermische Simulation wurde das Programm IDA ICE (Indoor Climate and Energy) der EQUA Solutions AG in der aktuellsten Version verwendet.

Klimatische Randbedingungen

Die Simulation erfolgte unter Verwendung von Extremwetterdaten, d. h. des Extremwert-Datensatzes TRY 2010 – Region 12 für einen heißen Sommer (warmes Sommerhalbjahr). Die höchste stündliche Außentemperatur des „Extremwetters“ liegt bei über 35 °C.

Aus den Extremdaten wird eine maßgebende zwölfältige sommerliche Hitzeperiode von Montag bis zum Freitag der folgenden Woche herausgelöst, ein Wochenende eingeschlossen. Die in diesem Zeitraum herrschende mittlere Außentemperatur T_a beträgt 25,8 °C. In der wärmsten Nacht sinkt die Außentemperatur nicht unter $T_a \approx 21,5$ °C.

Berechnungsmodell

Raummodell eines typischen OG-Gruppenraums in einer Gebäudeecke (mit Flachdach): (Trennwände innerhalb der „Gruppeneinheit“ vernachlässigt) (Bild 1)

Nutzung: 20 Kinder + 2 Erwachsene
Nutzungszeit: 8 bis 17 Uhr (entspricht 9 h)
Grundlüftung: 15 m³/h je Kind und 20 m³/h je Erwachsener

Behaglichkeits-Grenztemperatur: 25 °C nach Passivhauskriterium (27 °C nach DIN 4108-2 für sommerheiße Region)

Bauart: Holzbau, mit abgehängter Unterdecke; Fußbodenbelag (Linoleum) auf schwimmendem Estrich; alternativ Mauerwerksbau mit Stahlbetondecken

Für den Gruppenraum wird ein Einzonen-Modell verwendet. Für die Berechnungen der Varianten mit Querlüftungen über den benachbarten Flurbereich wird eine zweite Zone angekoppelt.

Randbedingungen/Variantenuntersuchungen

Allgemeine Randbedingungen

Für die Simulation einer sommerlichen Hitzeperiode werden folgende grundsätzliche Randbedingungen angenommen:

Passivhaus-Lüftungsanlage

Grundsätzlich soll die Lüftungsanlage im Sommerfall ausgeschaltet sein (Zuluft- und Abluftvolumenstrom = 0 m³/h).

Natürliche Lüftung (Fenster/Fenstertüren)

Die notwendige Grundlüftung in der Nutzungszeit erfolgt über freie Lüftung, z. B. geöffnete Außentüren:

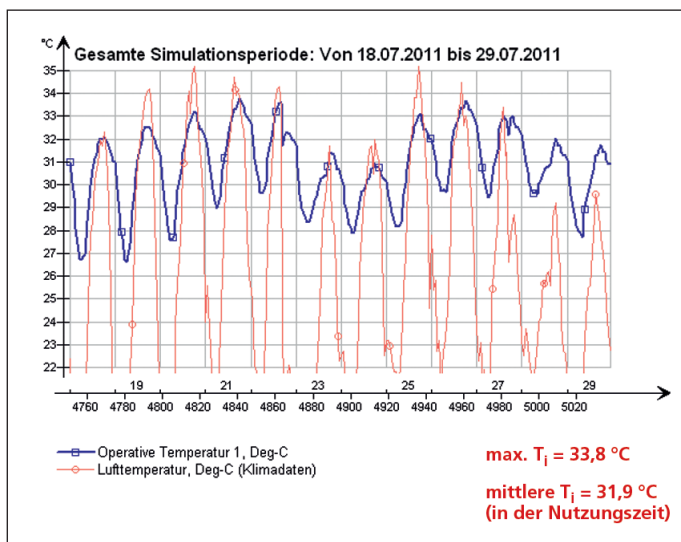
→ erforderlicher Volumenstrom = 20 Kinder x 15 m³/h + 2 Erwachsene x 20 m³/h = 340 m³/h.

Dies entspricht etwa einem Luftwechsel $n = 1,675 \text{ h}^{-1}$ in der Nutzungszeit.

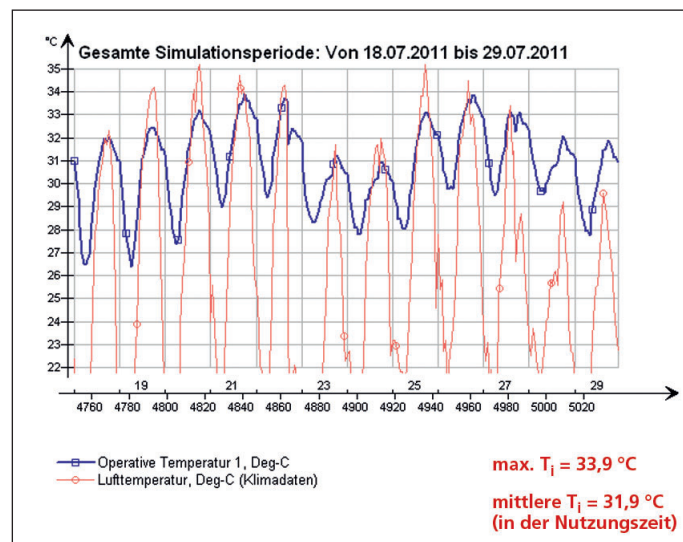
Bei einer angenommenen Luftgeschwindigkeit von 0,1 m/s ergeben sich mögliche Volumenströme für die beiden Türen: 75 % von $0,90 \times 2,15 \times 2 = 2,90 \text{ m}^2 \times 0,10 \text{ m/s} \times 3.600 = 1.044 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dies führt zu einem erforderlichen Öffnungsfaktor für die Türen (beide): $340 \text{ m}^3/\text{h} : 1.044 \text{ m}^3/\text{h} = 0,33$.

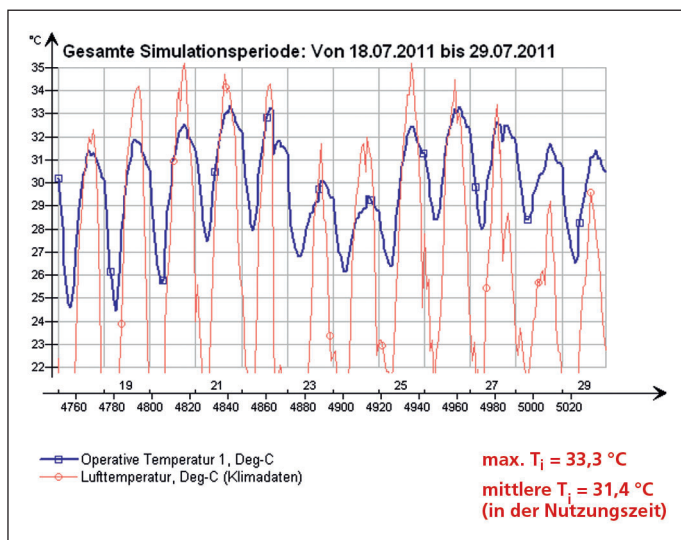
Bezogen auf eine Stunde (60 min · 0,33) ergeben sich 20 min/h Öffnungszeit. Das erforderliche Tages-Lüftungsregime wird in der Simulation zeitgesteuert berücksichtigt: Es werden von 8 bis 17 Uhr immer am Ende einer Stunde für 20 min die Fenstertüren geöffnet (nur wochentags). Es handelt sich um eine durch Personen durchgeführte natürliche Lüftung. Da der Mensch bei eigenem Aufenthalt in einem Raum eine geringe oder sehr gute Raumluftqualität (CO₂-Anteil) nicht wahrnimmt und bei hohen



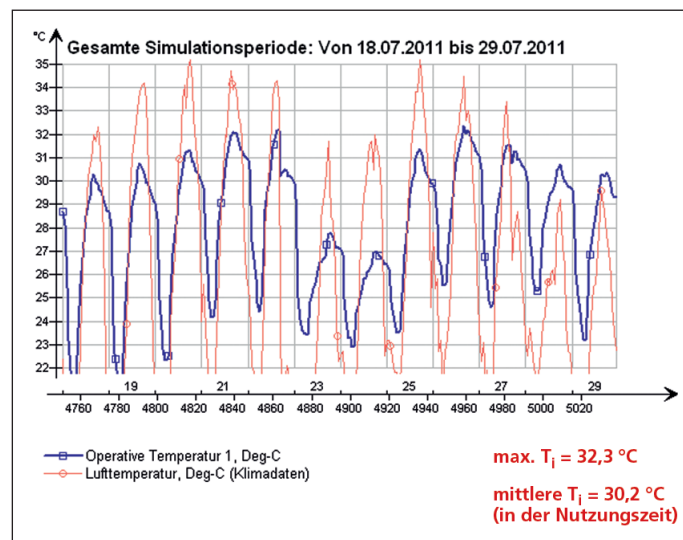
3 – Variante 1 (Holzbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten



4 – Variante 2 (Holzbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten



4.1 – Variante 2-1 (Holzbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten



5 – Variante 4 (Holzbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten

Außentemperaturen zum Fensteröffnen neigt, ist hier eine Fehllüftung über den Bedarf hinaus zu erwarten, die mit dem Modell relativ gut abgebildet wird. Die Festlegungen zur Nacht- und Wochenendlüftung erfolgen jeweils in Abhängigkeit der untersuchten Variante.

Interne Lasten durch Personen und Geräte

(im Mittel von 8 bis 17 Uhr, wochentags)

- 2 Erwachsene mit Aktivitätsfaktor $\text{met} = 1,70$ angesetzt (entspricht jeweils 180 W)
- 20 Kinder mit Aktivitätsfaktor $\text{met} = 40\% \times 1,70 = 0,70$ angesetzt (entspricht jeweils 70 W)
- keine internen Wärmelasten durch Geräte

Interne Lasten durch Beleuchtung

(nur für die Nutzungszeit zwischen 8 bis 17 Uhr, wochentags tageslichtabhängig geregelt angesetzt)

hocheffiziente, tageslichtabhängig gesteuerte Beleuchtungssysteme mit ca. $2\text{ W/m}^2/100\text{ lx}$

Für die erforderlichen 300 lx ergeben sich etwa 420 W erforderliche Beleuchtungsleistung für den 70 m² großen Gruppenraum, d. h. ca. 6 W/m^2 . Die Beleuchtung wird zeit- und tageslichtabhängig (erf.: 300 lx) gesteuert.

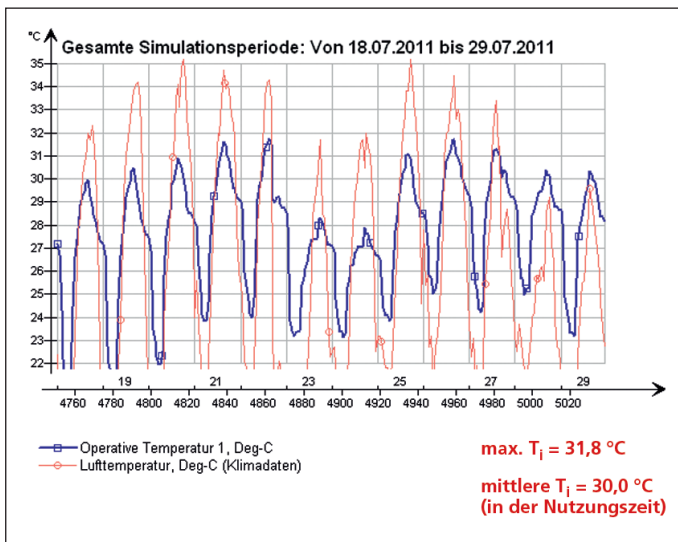
Verschattung/Sonnenschutz

Eine Verschattung durch benachbarte Gebäude oder Bäume wird nicht angesetzt. Es wird jedoch eine umlaufende horizontale Blende (Auskrantung $\geq 1,75\text{ m}$) als permanente Verschattung angesetzt. Diese wird bei neu errichteten KITAS häufig in Form von auskragenden oder vorgestellten Balkonen realisiert. Alle Glasflächen erhalten zusätzlich Außenjalousien bzw. Sonnensegel.

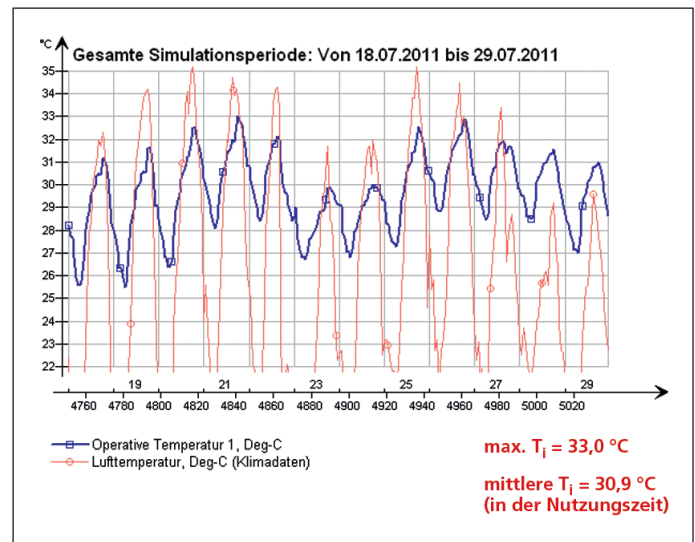
→ zeitgesteuert (bzw. manuell), Annahme für die Simulation: Montag bis Sonntag zwischen 8 und 17 Uhr geschlossen (während der Nutzungszeit)

Bauart/Bauschwere

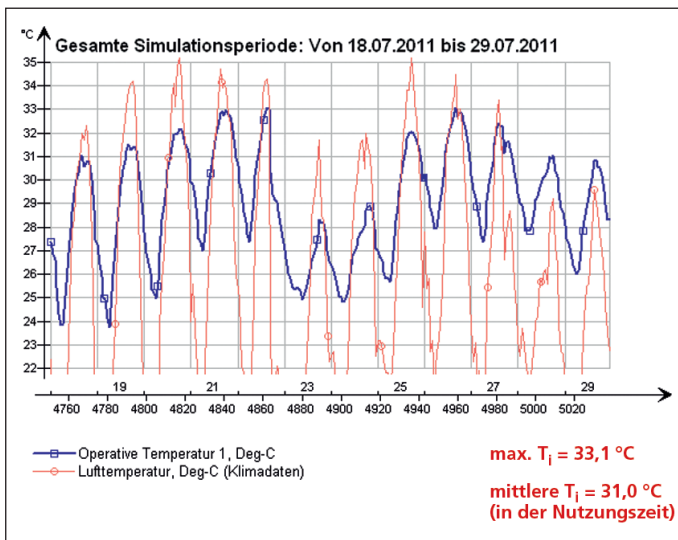
Gemäß der erfolgten Voruntersuchungen und Abstimmungen werden mehrere Varianten mit unterschiedlichen Nachtausküh-



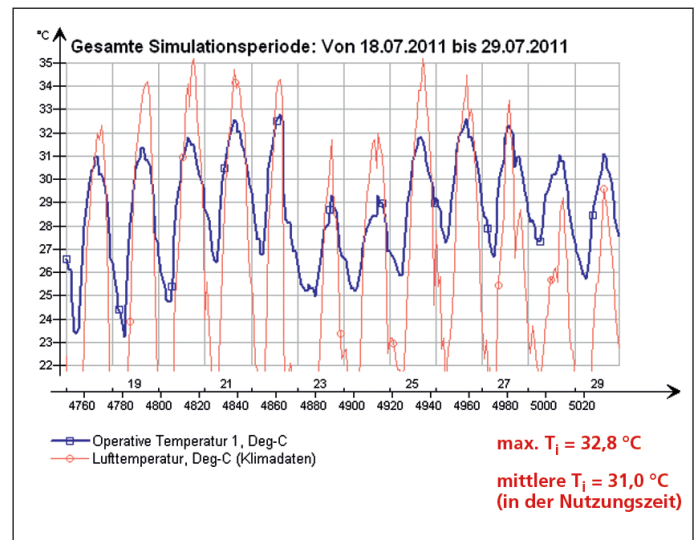
6 – Variante 4a (Massivbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten



7 – Variante 6 (Holzbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten



8 – Variante 7 (Holzbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten



9 – Variante 7a (Massivbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten

lungsstrategien bewertet. Die Erstuntersuchung erfolgt stets für eine leichte Bauweise (Holzbau) mit wenig Speichermasse. Bei einigen ausgewählten Varianten wird die gleiche Kühlstrategie vergleichsweise auch für einen Massivbau (mit Mauerwerksinnen- und -außenwänden, Stahlbetondecken) als „a“-Variante simuliert. Der Fußboden wird als Linoleum auf schwimmendem Estrich berücksichtigt. Bei der Decke (hier Dachdecke) ist von einer 100 %-igen akustischen Belegung auszugehen, so dass prinzipiell eine Trockenbauunterdecke angesetzt wird.

Klimabedingungen

Für alle untersuchten Varianten werden als maßgebendes Vergleichskriterium die Innentemperaturkurven während der ausgewählten zwölftägigen sommerlichen Hitzeperiode (mit TRY 2010-„Extremwetter“) dargestellt (Bild 2).

Die sommerliche „Extremwetterlage“ liefert für die Simulation die ungünstigsten Ergebnisse (höchste Innentemperaturen) und wird den Berechnungen zugrunde gelegt, da sie den sehr heißen Sommern der letzten Jahre (2003, 2008, 2010) nahe kommt und

die Behaglichkeit gerade auch für diese extremen Wetterbedingungen untersucht werden sollten.

Bei den Innentemperatur-Vergleichen wird prinzipiell die Operativtemperatur (statt der Lufttemperatur) verwendet. Als Operativtemperatur bezeichnet man den Durchschnitt zwischen Lufttemperatur und den Durchschnittsoberflächentemperaturen einer Zone. Diese Temperatur entspricht dem menschlichen Temperaturempfinden.

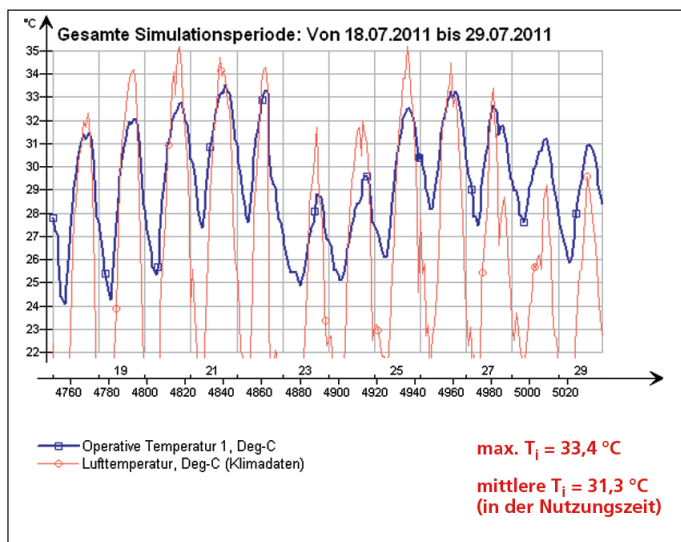
Für die Variantenvergleiche wird generell die Operativtemperatur 1 (Person etwa in Raummitte) verwendet.

Untersuchte Varianten

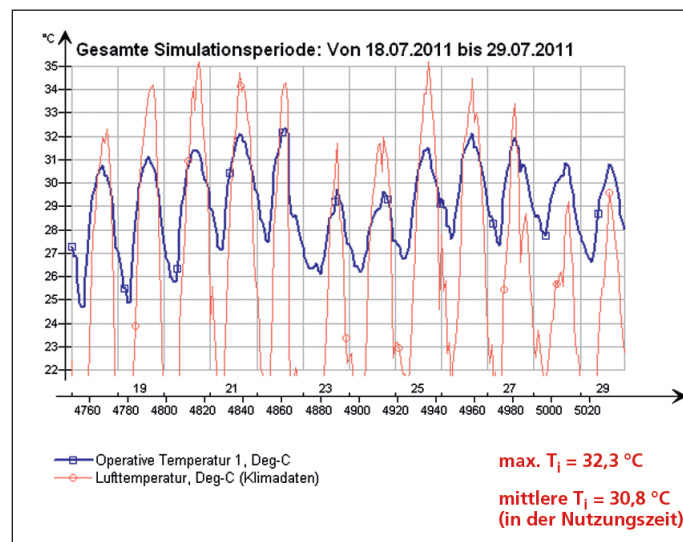
Variante 1:

Nachtlüftung 1 bis 8 Uhr über Fenster, ohne Querlüftung

- Holzbau (wenig Speichermasse)
- zwei Fenster-Oberlichter mit je 0,90 x 0,75 m Bruttofläche mit Insektengitter/Einbruchschutz (Glasfläche mit Südorientierung) mit ca. 60 % Öffnungsfläche, effektiv 2 x 0,4 m² angesetzt



10 – Variante 8 (Holzbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten



11 – Variante 8a (Massivbau) mit Temperaturgang während einer zwölftägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten

- Öffnungszeit von 1 bis 8 Uhr (motorisch öffnend), auch am Wochenende!
- ohne Querlüftung (Flurtüren geschlossen) (Bild 3)

Variante 2:

Nachtlüftung 1 bis 8 Uhr über Fenster mit Querlüftung über Flur

- Holzbau (wenig Speichermasse)
- Oberlichter analog Variante 1
- mit Querlüftung über offene Flurtüren (bzw. adäquate Öffnungen); zwei Türen mit je 0,90 x 2,15 m Bruttofläche mit ca. 60 % Öffnungsfläche angesetzt
- Querlüftung über benachbarten Flur (Lüftungsregime analog Gruppenraum)
- Öffnungszeit von 1 und 8 Uhr, auch am Wochenende! (Bild 4). In Variante 2-1 wurde die Auswirkung des „Kamineffekts“ durch ein zusätzlich geöffnetes Dachoberlicht untersucht (Bild 4.1).

Variante 3:

Querlüftung (natürlich) über manuell geöffnete Türen zwischen 7 und 8 Uhr

- Holzbau (wenig Speichermasse)
- keine Nachtlüftung
- nur zwischen 7 und 8 Uhr „kräftige“ Querlüftung über offene Fenstertüren und Flurtüren sowie gekippte Oberlichter (Flächen analog Variante 2)
- Handöffnung der Fenster- und Flurtüren durch Kitapersonal 1 h vor Betriebsbeginn

Diese Variante wurde nicht weiter untersucht, da der Effekt in Auswertung der Variante 2 offensichtlich unzureichend ist.

Variante 4:

Nachtlüftung mit zentraler Abluftabsaugung (Axiallüfter)

- Holzbau (wenig Speichermasse)
- Axialventilator im Flurbereich (Dach oder Wand) erzeugt einen hohen Abluftvolumenstrom (mindestens 5-facher Luftwechsel) zwischen 1 bis 7 Uhr, auch am Wochenende! → angesetzt ca. 15 m³/(m² h)

- Luftnachströmung über motorisch öffnende Oberlichter analog Variante 2 (jedoch ohne Dachoberlicht)
- Überströmöffnung zum Flur über Türen analog Variante 2 (oder ähnliche Öffnungen) (Bild 5)

Der erforderliche Energieeinsatz für den Lüfterbetrieb ist vergleichsweise gering. Für die zwölftägige Hitzeperiode wurden ca. 41 kWh Ventilatorenstrombedarf ermittelt. Die Strömungsgeschwindigkeit an den Nachströmöffnungen (Oberlichter) liegt bei dem angesetzten Luftwechsel bei ca. 1,0 m/s (Raumfläche 65 m², Höhe 2,8 m, Nachströmfläche 0,4 m²).

Variante 4a:

Nachtlüftung mit zentraler Abluftabsaugung (Axiallüfter), Massivbau

- Massivbau (hohe Speichermasse im Wandbereich)
- alle anderen Parameter analog Variante 4 (Holzbau) (Bild 6)

Im Vergleich zur Leichtbauvariante 4 verringert sich durch die Speichermasse die mittlere Raumlufttemperatur geringfügig; die Temperaturspitzen werden um ca. 0,5 K geglättet.

Variante 5:

Nachtlüftung über Kanalzuluft (Nachströmung) mit zentraler Abluftabsaugung (Axiallüfter)

- Axialventilator (zentrale Abluft) analog Variante 4
- Luftnachströmung über vorhandene Kanäle der Passivhauslüftungsanlage, statt über Fensteröffnungen

Diese Variante wurde nicht weiter untersucht, da die vorhandenen Kanalquerschnitte zu gering und die Strömungswiderstände zu groß sind. Die erforderliche dreifache Vergrößerung der Kanalquerschnitte wäre unwirtschaftlich und geometrisch nicht realisierbar.

Variante 6:

Nachtlüftung über Passivhauslüftungsanlage mit indirekter Verdunstungskühlung

- Holzbau (wenig Speichermasse)
- Nutzung der vorhandenen Passivhaus-Lüftungsanlage für eine indirekte Verdunstungskühlung; d. h. Verdunstungskühlung der Abluft bei Außentemperaturen > 22 °C

- Anlage läuft mit Grundluft-Volumenstrom wochentags durchgehend und am Wochenende zwischen 1 bis 7 Uhr
- Fenster und Außentüren sollten weitgehend geschlossen bleiben! (Bild 7)

Die Kühleffekte (für die Zuluft) können bis zu 12 K betragen. Eine größere Wirksamkeit kann durch einen größeren Volumenstrom erzielt werden.

Variante 7 (Weiterentwicklung der Variante 2):

Nachtlüftung (natürlich) über Querlüftung einschließlich Ausnutzung des Kamineffekts (geöffnetes Dachoberlicht); Dämmung im Passivhausstandard

- manuell bediente Nachtlüftungsklappen im Fenster- und Dachbereich (Flur)
- manuelle Öffnung (von Hand) um 17 Uhr; Schließen um 7 Uhr
- am WE durchgehend geöffnet (Freitag 17 bis Montag 7 Uhr)
- Innentüren zum Flur geöffnet analog der o. g. Öffnungszeiten der Lüftungsklappen (Bilder 8 und 9)

Variante 8 (Variante 7 im EnEV-Standard):

Dämmung der Außenbauteile im EnEV 2009-Standard (Referenzgebäude)

- natürliche Querlüftung analog Variante 7
- Fenster/Fenstertüren mit $U_w = 1,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, $g = 0,60$, $\tau = 0,78$
- Außenwände mit $U = 0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Dach mit $U = 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Luftdichtigkeit $n_{50} = 1,50 \text{ h}^{-1}$ (statt angesetzte 0,40 im Passivhaus-Standard) (Bilder 10 und 11)

Variante 9 (Variante 8 mit zusätzlichem Abluftventilator im Flur):

Fensterlüftung (natürlich) über Querlüftung einschließlich Ausnutzung des Kamineffekts (geöffnetes Dachoberlicht) + zusätzliche hohe Nachtlüftung mittels Axiallüfter (auch am WE); Dämmung der Außenbauteile im EnEV 2009-Standard (Referenzgebäude)

- natürliche Querlüftung analog Variante 7
- Außenbauteile im EnEV 2009-Standard analog Variante 8
- Axiallüfter im Flurbereich für Luftwechsel $n \geq 5 \text{ h}^{-1}$; läuft zwischen 1 und 7 Uhr (Bilder 12 und 13)

Zusammenfassung und Bewertung

Auswertung der Simulationsvarianten

Bei den Varianten 1 bis 5 wurde davon ausgegangen, dass die vorhandene Passivhaus-Lüftungsanlage im Sommer ausgeschaltet ist. Durch die in der Nutzungszeit von 8 bis 17 Uhr erforderliche Grundlüftung von $15 \text{ m}^3/\text{h}$ und Kind sowie $20 \text{ m}^3/\text{h}$ und Erwachsener werden tagsüber hohe thermische Lasten in den Raum eingetragen. Hinzu kommen die internen Wärmelasten durch die Personen.

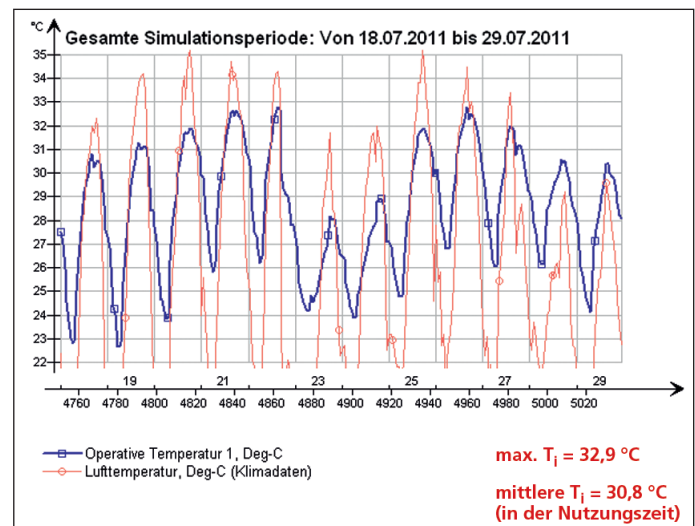
Eine ausreichende Nachtauskühlung durch eine ausschließlich natürliche Fenster-/Türlüftung (untersucht in den Varianten 1 bis 3) gelingt nicht. Sie ist jedoch ausreichend, um ein Aufschwingen der Innentemperaturen während der Hitzeperiode (täglich steigende Tageshöchsttemperaturen im Raum) zu verhindern.

Die in Variante 4 und 9 untersuchte zentrale Abluftabsaugung mithilfe eines Axiallüfters im Flurbereich (mit großem Volumenstrom) verspricht mit einem vergleichsweise geringen technischen und energetischen Aufwand eine gute Wirksamkeit. Bei

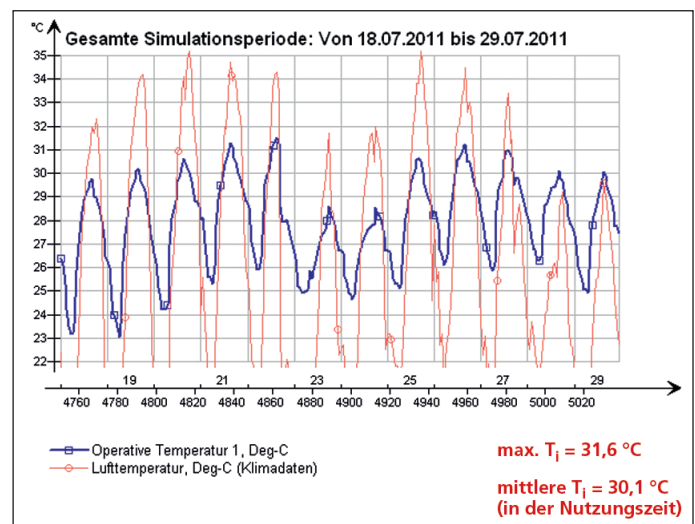
den Varianten könnte auf die motorischen Fensterantriebe verzichtet werden, wenn die Nachströmklappen manuell zum Feierabend geöffnet werden. Diese relativ kleinen Öffnungsflächen bewirken nur einen geringen Eintrag der noch warmen Außenluft in der Zeit von 17 bis 23 Uhr. Der eigentliche kalkulierte Luftwechsel erfolgt erst nach Inbetriebnahme des Axialventilators ab 1 Uhr, wenn ein Kühlpotenzial aufgrund der gesunkenen Nachtaußentemperatur vorhanden ist.

Der Einfluss der Bauschwere macht sich insbesondere bei einer ausreichenden „Entladung“ der Speichermassen durch eine erhöhte Nachtauskühlung/-lüftung (Varianten 4a und 9a) bemerkbar, da Bauteile mit hoher Wärmespeicherkapazität und hoher Rohdichte die vergleichsweise hohen Wärmelasten tagsüber zumindest teilweise abpuffern können. Hierzu muss jedoch eine regelmäßige nächtliche „Entladung“ (Nachtlüftung) gewährleistet werden, da der Puffereffekt sonst nachlässt.

Die am Tag auftretenden Raumtemperaturspitzen können gemäß Simulation durch eine massive Bauweise (z. B. Mauerwerksinnen- und -außenwände) um bis zu 1,5 K reduziert werden. Auch die über die tägliche Nutzungszeit gemittelten operativen Raumtemperaturen $T_{i \text{ mittel}}$ verringern sich durch eine vorhandene



12 – Variante 9 (Holzbau) mit Temperaturgang während einer zwölf-tägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten



13 – Variante 9a (Massivbau) mit Temperaturgang während einer zwölf-tägigen Hitzeperiode aus „Extremwetter“-Daten

größere Speichermasse (um bis zu 1 K). Der Einfluss der Bauweise ist bei der untersuchten baulichen Situation (Unterdecken, große Glasflächen) aber vergleichsweise gering.

Zusätzlich wurde in Variante 6 eine indirekte Verdunstungskühlung untersucht. Auch diese Variante stellt eine – allerdings anlagentechnische – Möglichkeit zur wirksamen Verminderung der Raumtemperaturen während sommerlicher Hitzeperioden dar. Inwieweit diese Maßnahme zeitlich und wirtschaftlich sinnvoll zur Anwendung kommen kann, bedarf noch weiterer Untersuchungen (Volumenstrom, bei Tagbetrieb möglichst keine Fenster- oder Türöffnung, an sehr feuchten Tagen nur begrenzter Kühleffekt usw.).

Eine ausreichende Nachtauskühlung während sommerlicher Hitzeperioden durch eine ausschließlich natürliche Fenster-/Dachoberlichter-/Türlüftung (untersucht in den Varianten 2-1, 7 und 8) gelingt aufgrund des kleinen Temperaturgradienten und der geringen Höhendifferenz nicht zur Zufriedenheit.

Der in diesen Varianten simulierte „Kamineffekt“ (thermischer Auftrieb, Vertikallüftung) durch geöffnete Oberlichter ist bei den üblicherweise zweigeschossigen KITA-Bauten als gering einzuschätzen, zumal im Sommer das Temperaturgefälle zwischen innen und außen eher klein ist. Der Effekt ist jedoch in den Berechnungsergebnissen prinzipiell erkennbar.

Das in Variante 8 und 9 simulierte sommerliche Verhalten von Gebäuden im Passivhausstandard und Gebäuden im EnEV 2009-Dämmstandard unterscheidet sich – bei gleicher Fensterfläche – nur marginal. Die massive Bauweise verhält sich dabei im EnEV-Standard etwas günstiger. Dennoch treten Probleme der sommerlichen Behaglichkeit in ähnlicher Größenordnung auch bei Gebäuden auf, die nach aktuellem EnEV-Standard gedämmt sind.

Sonnenschutzeinrichtung

Für die Simulation wurde ein außen liegender Sonnenschutz (z. B. Sonnensegel, Jalousien) angenommen, der tagsüber (auch am Wochenende) zwischen 8 und 17 Uhr geschlossen ist. Diese Zeiten wurden unter Berücksichtigung der Nutzungszeit gewählt, um ggf. ein manuelles Öffnen und Schließen des Sonnenschutzes zu berücksichtigen. Aus den Simulationen lässt sich erkennen, dass an heißen und trockenen Tagen die direkte solare Normalstrahlung mitunter erst ab 21 Uhr wieder auf das Niveau von morgens 7 Uhr absinkt. Es empfiehlt sich daher generell eine strahlungsgesteuerte Regelung der Sonnenschutzeinrichtungen einzusetzen, die ab einer Solardirektstrahlung von z. B. 200 W/m² aktiviert wird, so dass der Sonnenschutz insbesondere auf der Westseite bei Bedarf über die Nutzungszeit hinaus geschlossen bleibt.

Anmerkungen zum Nachweis von Übertemperatur-Häufigkeiten

Insgesamt bewegen sich die simulierten Innentemperaturen bei allen Varianten auf hohem Niveau. Dies resultiert vor allem aus den gewählten Extremwetterdaten, den (angenommenen) hohen internen Personenlasten und der erforderlichen Grundlüftung am Tag, wodurch warme Außenluft regelmäßig zwangsweise zugeführt werden muss.

Das übliche Komfortkriterium $\max. T_i \leq \max. T_a - 6 \text{ K}$ (hier $35,2 \text{ °C} - 6 \text{ K} = 29,2 \text{ °C}$) konnte daher durch die Simulation für die heißesten Tage im Jahr nicht nachgewiesen werden.

Durch eine erwartungsgemäß weniger intensive Nutzung der Innenräume an heißen Tagen (überwiegendes Spielen im

Außenbereich) werden sich die Raumtemperaturen in der Praxis aber auf niedrigerem Niveau einstellen. Ein simulierter Vergleich der Variante 9a (Massivbau) zeigt bei Annahme einer auf 12 bis 15 Uhr (Mittags-, Ruhe- und Vesperzeit) beschränkten Raumnutzung ein Absinken der gemittelten Innentemperatur $T_{i \text{ mittel}}$ auf 29,0 °C, also um mehr als 1 K.

Als Kriterium dürfen Übertemperaturen an max. 10 % der festgelegten Nutzungszeit auftreten; d. h., bei einer angenommenen Jahresnutzung von 250 Tagen ergeben sich für das:

- A) Passivhaus: mit Nutzungszeit von 8 bis 17 Uhr → 10 % von 9 h x 250 Tage = 225 h im Jahr
- B) Nichtwohngebäude nach DIN 4108-2: mit Nutzungszeit von 8 bis 18 Uhr → 10 % von 10 h x 250 Tage = 250 h im Jahr mit zulässigen Übertemperaturen (für „Normalwetter“).

Da im Rahmen dieses Beitrags die Innentemperaturen auf der Grundlage der im Jahresverlauf zu erwartenden höchsten Außentemperaturen nur an zwölf aufeinander folgenden Tagen berechnet wurden, war eine Aussage bzw. ein Nachweis zur normativen Übertemperaturhäufigkeit über 27 °C (öffentlich rechtlich) bzw. über 25 °C (Passivhauskriterium) für einen Jahresverlauf direkt aus den Simulationsergebnissen nicht möglich.

Eine exemplarische Simulationsberechnung mit „Normalwetter“-Daten über die gesamte Sommerperiode für die empfohlene Variante 4 (Holzbau) ergibt folgende Einordnung:

- A) Passivhaus mit 241 Übertemperaturstunden (> 25 °C) > 225 h → Komfortkriterium leicht überschritten (etwa 10,7 % Überschreitungshäufigkeit)!
- B) Nichtwohngebäude nach DIN 4108-2 mit 112 Übertemperaturstunden (> 27 °C) < 250 h → Mindestwärmeschutz eingehalten (etwa 4,5 % Überschreitungshäufigkeit)

Eine Bewertung zur Verteilung und zu den Spitzen der Übertemperaturen ist kein Bestandteil eines solchen Nachweises, so dass die Aussagekraft eher begrenzt ist.

Fazit

Der Entwurf der novellierten DIN 4108-2 erhebt thermische Simulationen für die Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes zum gleichberechtigten Nachweisverfahren:

→ für Klimaregion C (Grenztemperatur $T_{b,op} = 27 \text{ °C}$) → Anforderungswert für Übertemperaturgradstunden: **400 Kh/a für Nichtwohngebäude** (Nutzungszeit 7 bis 18 Uhr)

Eine beispielhafte Berechnung für die empfohlene Variante 4 (Holzbau) ergibt:

bei „TRY-Normalwetter 2010“ → 214 Kh/a < 400 Kh/a

bei „TRY-Normalwetter 2035“ → 637 Kh/a > 400 Kh/a. Die Kelvinstunden (Kh) erhöhen sich bei Ansatz des Prognoseklimas TRY 2035 fast um den Faktor 3.

Die planmäßige Einhaltung eines hohen sommerlichen Komforts kann – insbesondere mit Blick auf vorhandene prognostizierte TRY-Klimadaten bis 2050 – zuverlässig nur durch zusätzliche Maßnahmen gewährleistet werden.

In Mitteleuropa existieren Potenziale (wie die Nachttemperatur oder die Erdreichtemperatur), die konsequent genutzt werden sollten, um der Verantwortung für ganzjährig behagliche Gebäude gerecht zu werden. Die planerische Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes wird durch die Klimaerwärmung deutlich an Bedeutung gewinnen.