

Institute of
**Building Research
& Innovation** ZT-GmbH



Dr. Kreč
Büro für Bauphysik

Nachweisführung mit dynamischer Gebäudesimulation in den baubehördlichen Wärmeschutznachweisen und Energieausweisberechnungen

Institute of Building Research & innovation ZT-GmbH
DI Dr. Peter Holzer, DI Thommy Padayhag, M.SC. Tuule Mall Kull
Büro für Bauphysik, Ao. Univ. Prof. i. R. DI Dr. Klaus Kreč, Schönberg am Kamp

im Auftrag von



FACHVERBAND STEINE-KERAMIK

Hypothese

Dynamische Rechenverfahren bilden die Beiträge thermisch speicherfähiger Baustoffe zur Senkung des Energieaufwandes für Heizen oder Kühlen besser ab, als es das quasistationäre Monatsbilanzverfahren gemäß ÖNORM B 8110-6 vermag.

Eine Anwendung dynamischer Rechenverfahren den baubehördlichen Wärmeschutznachweisen und Energieausweisberechnungen soll daher ermöglicht werden.

Methode

AP1 Analyse auf Bauteilebene

quasistationär versus exakt dynamisch

Analytischer Vergleich der Ergebnisse quasistationärer Berechnung mit jenen der exakten dynamischen Berechnung unter periodisch-eingeschwungenen Randbedingungen an exemplarisch ausgewählten Bauteilen.

An drei Bauteilen unterschiedl. Bauweise (schwer, mittel, leicht) in jeweils zwei Wärmeschutzstandards ($U=0,12$ und $U=0,17$ W/m²K)

Methode

AP2 Analyse auf Gebäudeebene:

exakt dynamisch versus numerisch dynamisch

Vergleichende Ermittlung des HWB eines Referenzgebäudes mit erstens der exakten dynamischen Berechnung und zweitens den numerischen dynamischen Simulationsprogrammen TAS und TRNSYS unter periodisch-eingeschwungenen Randbedingungen.

Aus Validierungsbeispiel eines EFH laut
ÖNORM B 8110-6:2014, Bbl 1 und 4

Methode

AP3 Analyse auf Gebäudeebene

quasistationär versus numerisch dynamisch

Vergleichende Ermittlung des HWB eines Referenzgebäudes mit erstens dem Simulationsprogramm TAS und zweitens dem quasistationären Monatsbilanzverfahren nach ÖNORM B 8110-6 unter realen Klimabedingungen.

Am Validierungsbeispiel laut ÖNORM B 8110-6:2014, Bbl 1 und 4
Im Klima von Klagenfurt.

Bauteile

Außenwand ***Niedrigenergiehausstandard*** $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$

Außenwand ***Passivhausstandard*** $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

1. Leichte Bauweise

Holzständerwand mit 16 cm / 28 cm WD und beiderseits Vollschalung
außen Holzfaserdämmplatte mit Dünnputz
innen ausgedämmte Installationsebene und Gipsfaserplatte

2. Mittlere Bauweise

25cm Hochlochziegelwand mit WDVS aus 16 cm / 25 cm EPS und Dünnputz,
mit Innenputz

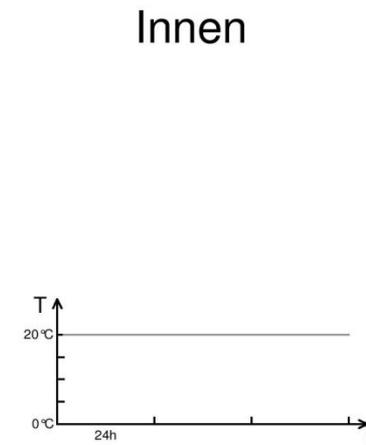
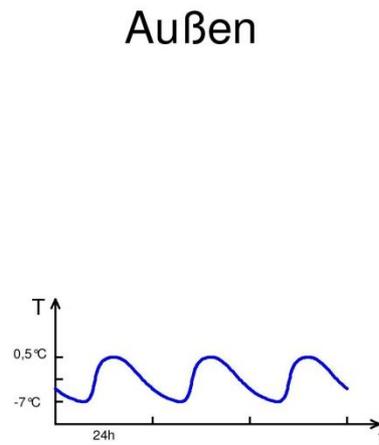
3. Schwere Bauweise

20cm Stahlbetonwand mit WDVS aus 20 cm / 28 cm EPS und Dünnputz,
mit Innenputz

Täglich periodisch eingeschwungene Klimarandbedingungen

(a) Alleinige Beruckichtigung der Schwankung der Außenlufttemperatur

15. Jänner
Klagenfurt
Min 3,3°C
Max 4,6°C



20°C

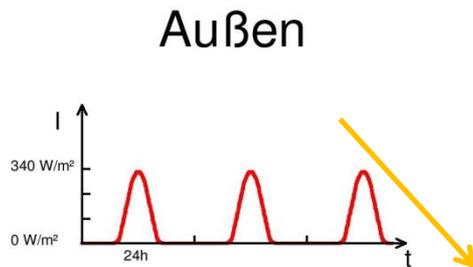


**Auswertung von q [Wm^{-2}]
Wärmeverlustleistung
aus dem Raum in die Wand**

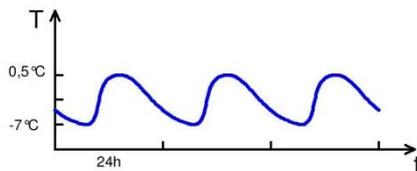
Täglich periodisch eingeschwungene Klimarandbedingungen

(b) Gemeinsame Beruckichtigung der Schwankung der Außenlufttemperatur **und** der Sonneneinstrahlung auf die Fassade

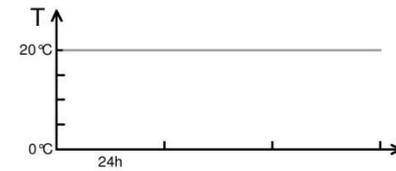
15. Jänner
Klagenfurt
Südwand
dunkel $\rho = 0,9$
Max 330 W/m^2



15. Jänner
Klagenfurt
Min $3,3^\circ\text{C}$
Max $4,6^\circ\text{C}$



Innen



20°C

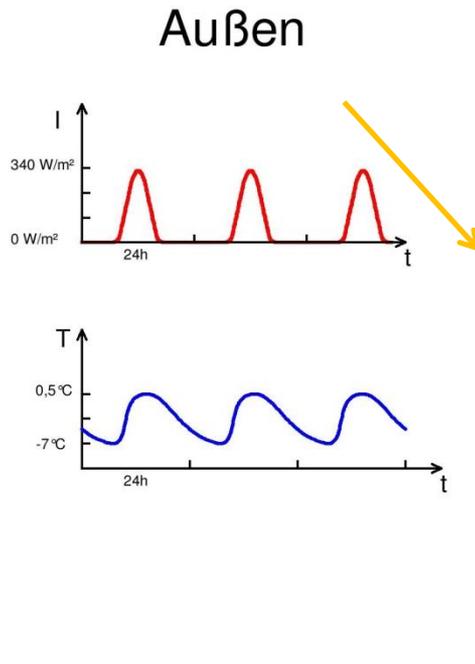


**Auswertung von q [Wm^{-2}]
Wärmeverlustleistung
aus dem Raum in die Wand**

Täglich periodisch eingeschwungene Klimarandbedingungen

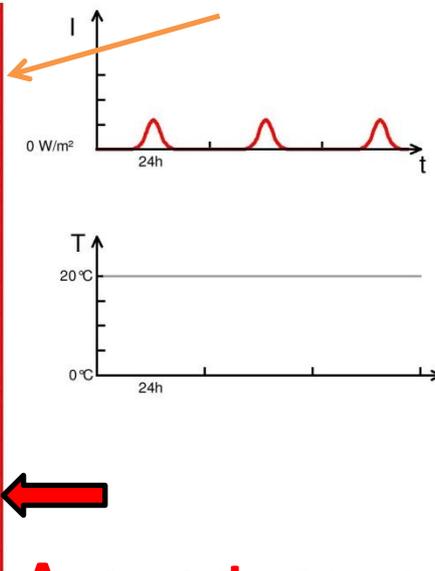
(c) Gemeinsame Beruckichtigung der Schwankung der Außenlufttemperatur **und** der Sonneneinstrahlung auf die Fassade **und** der Innenwarmen

15. Jänner
Klagenfurt
Südwand
dunkel $\rho = 0,9$
Max 330 W/m^2



15. Jänner
Klagenfurt
Min $3,3^\circ\text{C}$
Max $4,6^\circ\text{C}$

Innen



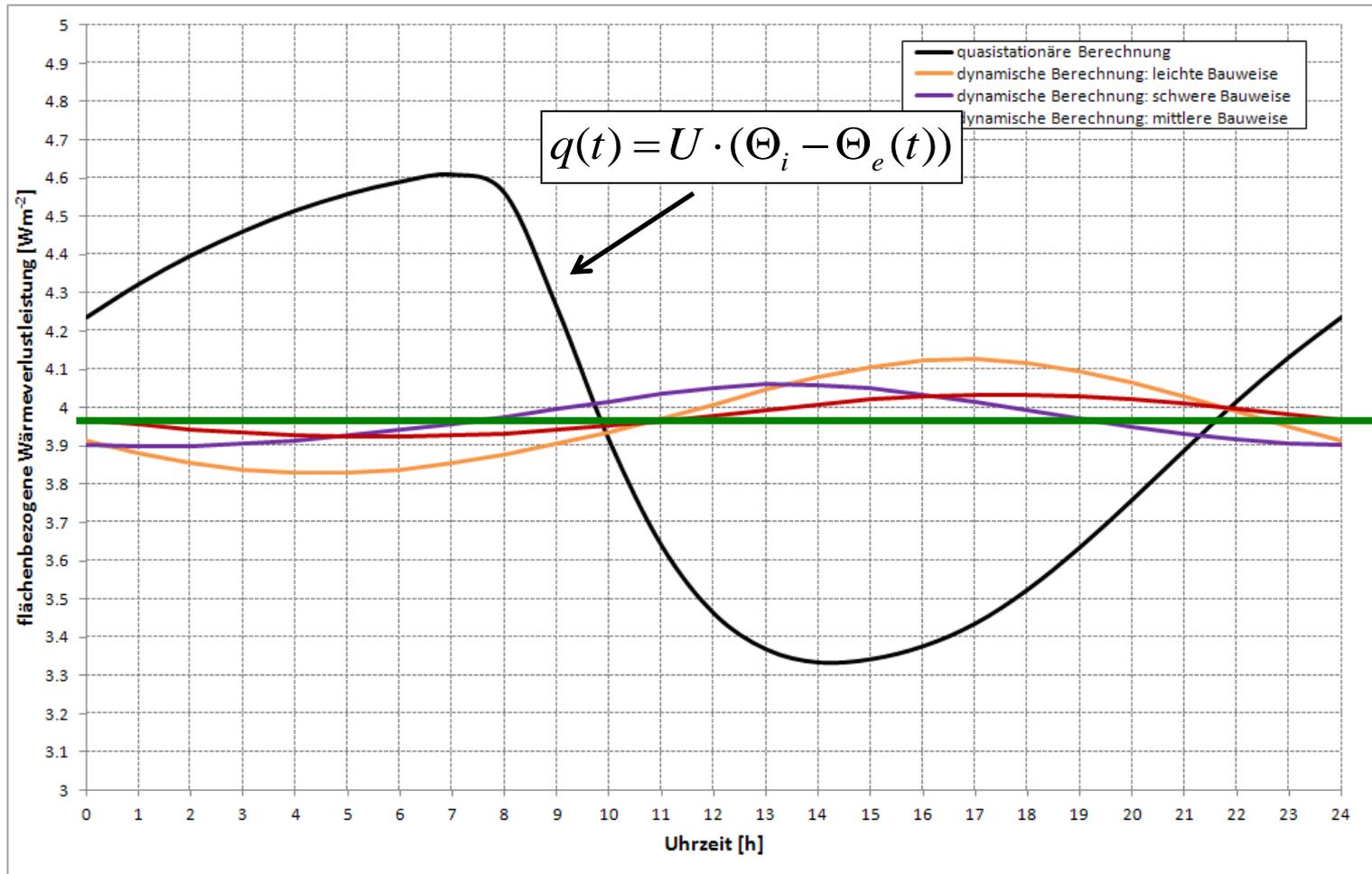
15. Jänner, Klgt,
Referenzgebäude
Südwand
Min $0,7 \text{ W/m}^2$
Max $0,9 \text{ W/m}^2$

20°C

**Auswertung von $q \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$
Wärmeverlustleistung
aus dem Raum in die Wand**

Ergebnis der Wärmeverlustleistung für (a)

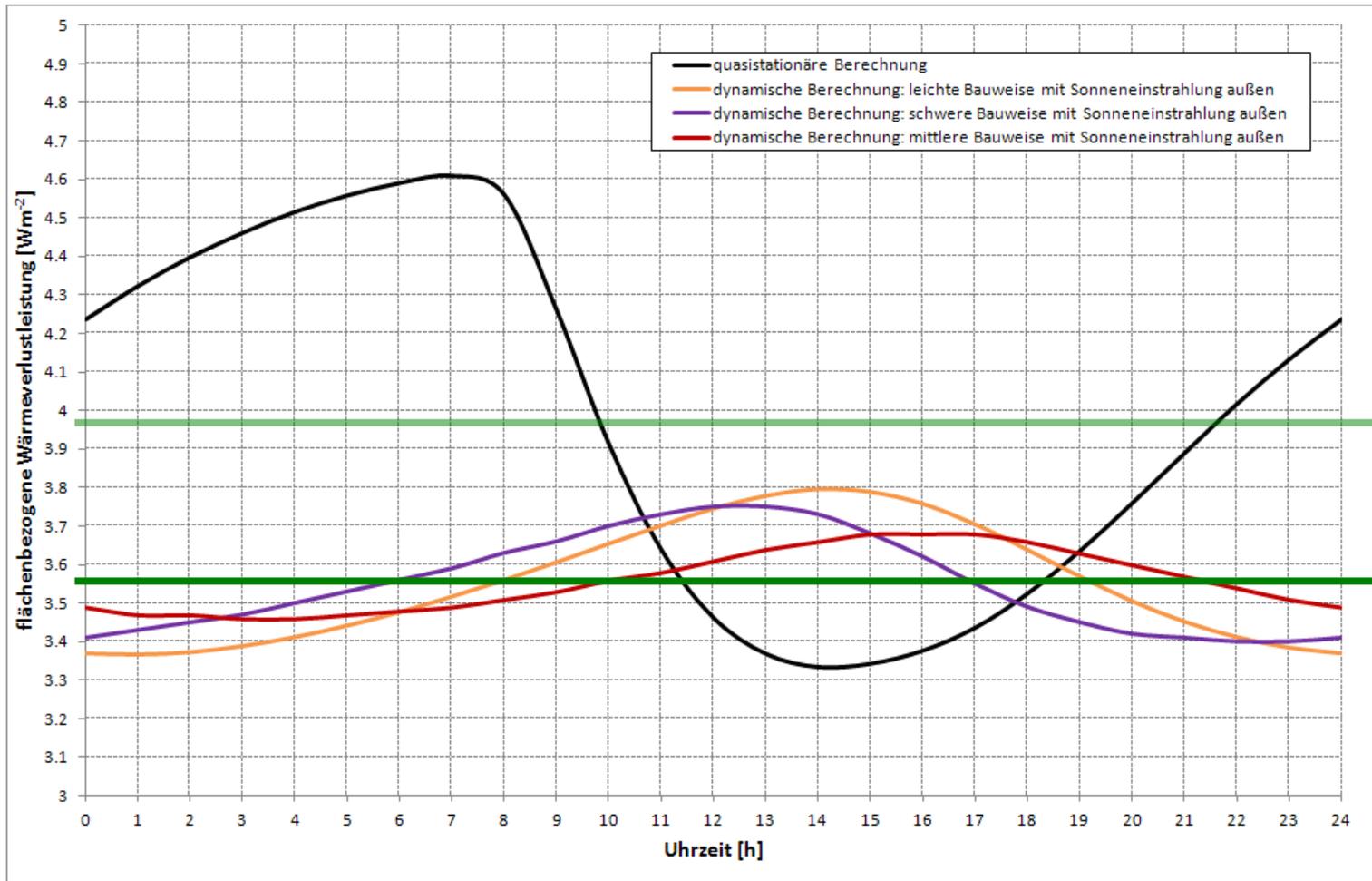
am Bsp des Wärmeschutzniveaus „NEH“, $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$



3,98 W/m^2

Ergebnis der Wärmeverlustleistung für (b)

am Bsp des Wärmeschutzniveaus „NEH“, $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$



3,98 W/m^2

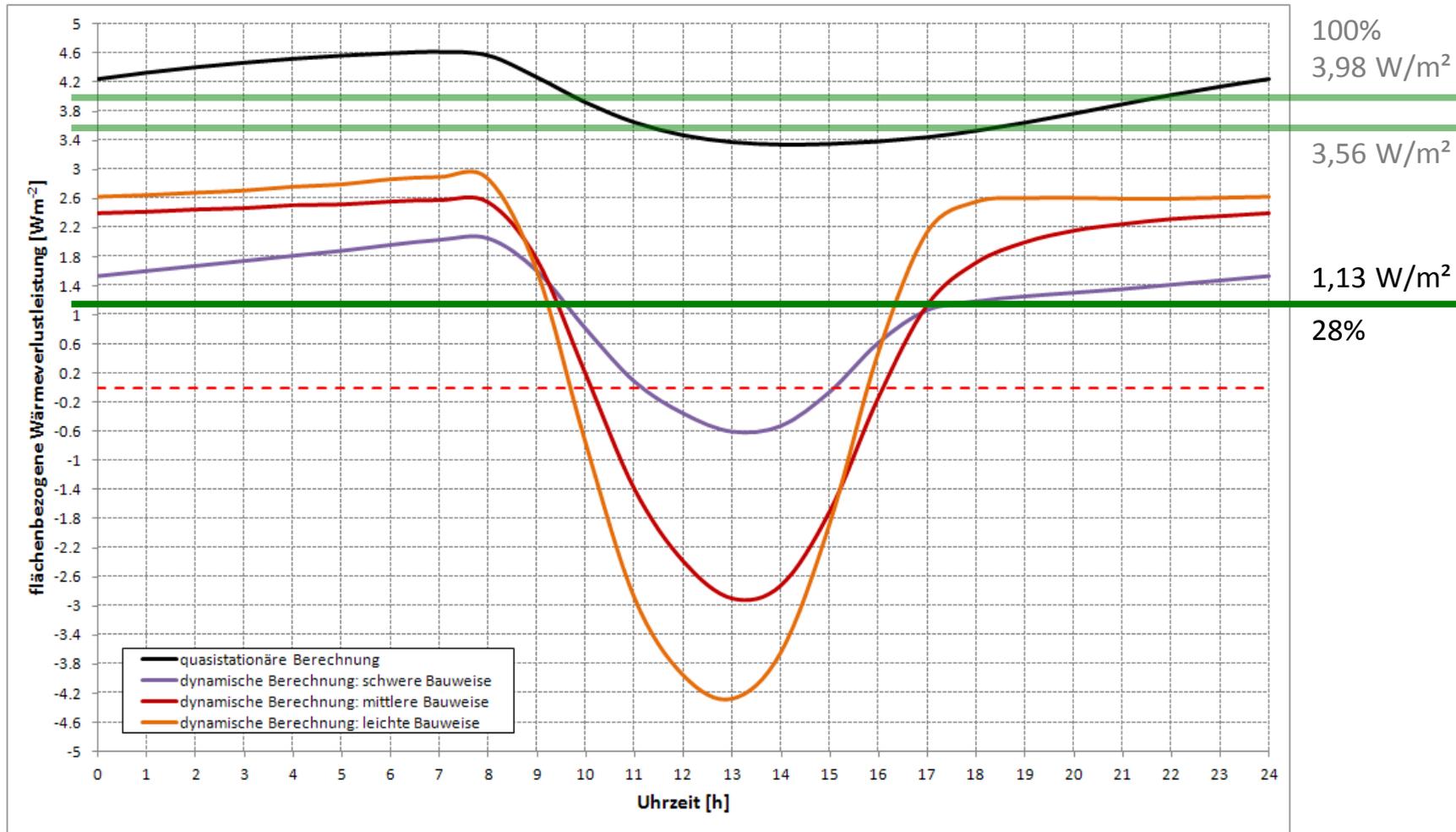
100%

3,56 W/m^2

89,5%

Ergebnis der Wärmeverlustleistung für (c)

am Bsp des Wärmeschutzniveaus „NEH“, $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$



Schlussfolgerung aus AP1

- Unter periodisch eingeschwungenen Randbedingungen ist der Mittelwert der Wärmeverlustleistung eines Außenbauteils unabhängig von der Bauweise*.
Er ist identisch mit dem Ergebnis der stationären Berechnung.
- Sonneneinstrahlung senkt den Mittelwert der Wärmeverlustleistung eines Außenbauteils.
Unter periodisch eingeschwungenen Randbedingungen ist dieser Effekt unabhängig von dessen Bauweise* und lässt sich mit stationärer Berechnung ermitteln. Die relative Reduktion der Wärmeverlustleistung ist dabei unabhängig vom U-Wert des Bauteils.

* Bei gleichem U-Wert und gleichen Strahlungseigenschaften der Oberflächen

Schlussfolgerung aus AP1

Temperaturen

$$T_e = -3,35^\circ\text{C}, T_i = 20^\circ\text{C}, \Delta T = 23,35\text{K}$$

Strahlung

$$B_{\text{süd}} = 1.635 \text{ Wh/m}^2$$

Reflexionsgrad

$$\rho = 0,9$$

Wärmedurchgangskoeffizient

$$U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q_{\text{loss}} = (T_i - T_e) \times U \times 24 = (20 + 3,35) \times 0,17 \times 24 = 95,5 \text{ Wh/m}^2$$

$$q_{\text{gain}} = U \times R_{se} \times \rho \times B = 0,17 \times 0,04 \times 0,9 \times 1.635 = 10,0 \text{ Wh/m}^2$$

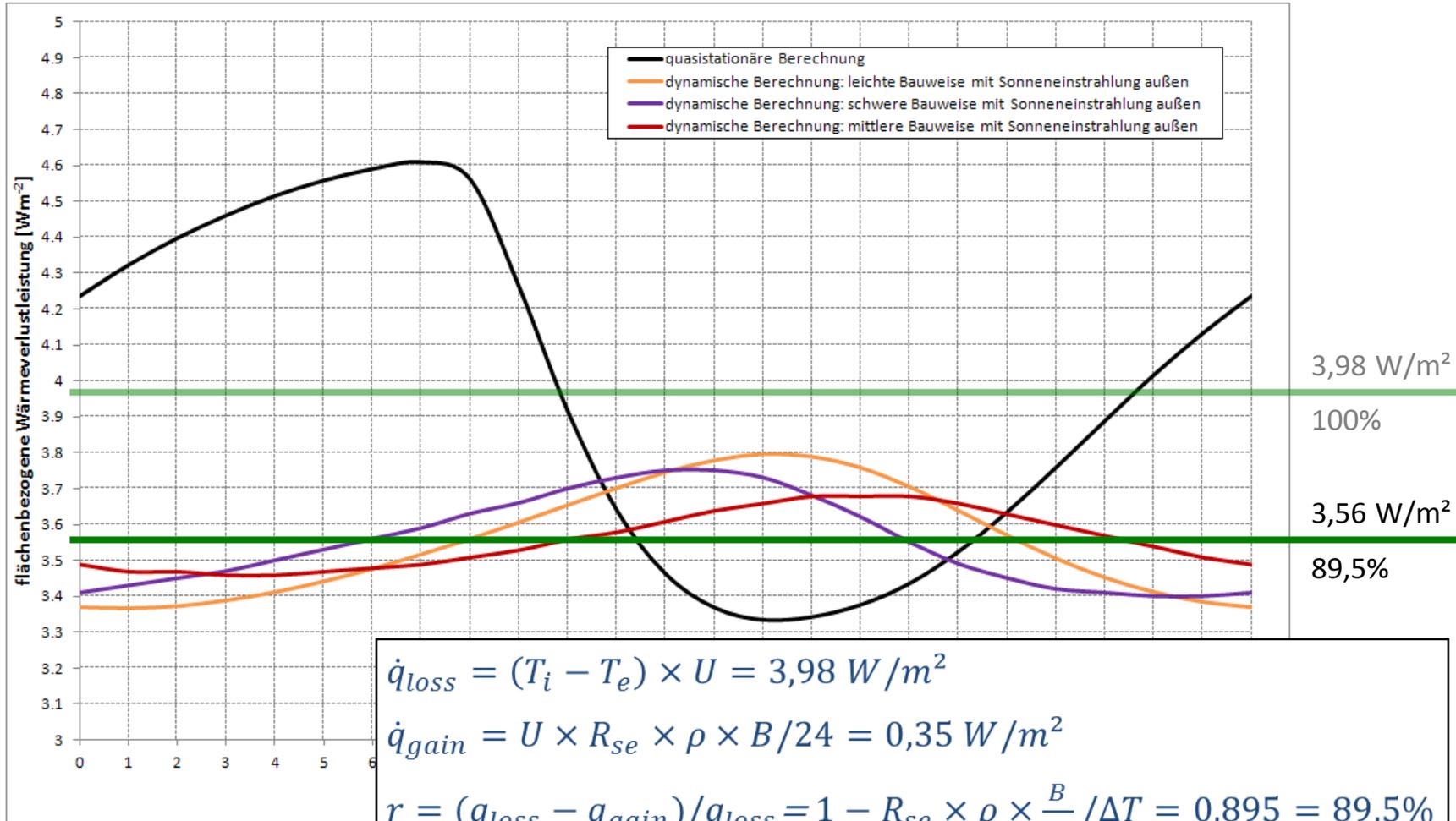
$$\dot{q}_{\text{loss}} = (T_i - T_e) \times U = 3,98 \text{ W/m}^2$$

$$\dot{q}_{\text{gain}} = U \times R_{se} \times \rho \times B/24 = 0,35 \text{ W/m}^2$$

$$r = (q_{\text{loss}} - q_{\text{gain}})/q_{\text{loss}} = 1 - R_{se} \times \rho \times \frac{B}{24} / \Delta T = 0,895 = 89,5\%$$

r ... Reduktionsfaktor des Wärmeverlusts durch Solarstrahlung

Schlussfolgerung aus AP1



$$\dot{q}_{\text{loss}} = (T_i - T_e) \times U = 3,98 \text{ W/m}^2$$

$$\dot{q}_{\text{gain}} = U \times R_{se} \times \rho \times B/24 = 0,35 \text{ W/m}^2$$

$$r = (q_{\text{loss}} - q_{\text{gain}})/q_{\text{loss}} = 1 - R_{se} \times \rho \times \frac{B}{24} / \Delta T = 0,895 = 89,5\%$$

r ... Reduktionsfaktor des Wärmeverlusts durch Solarstrahlung

Referenzgebäude

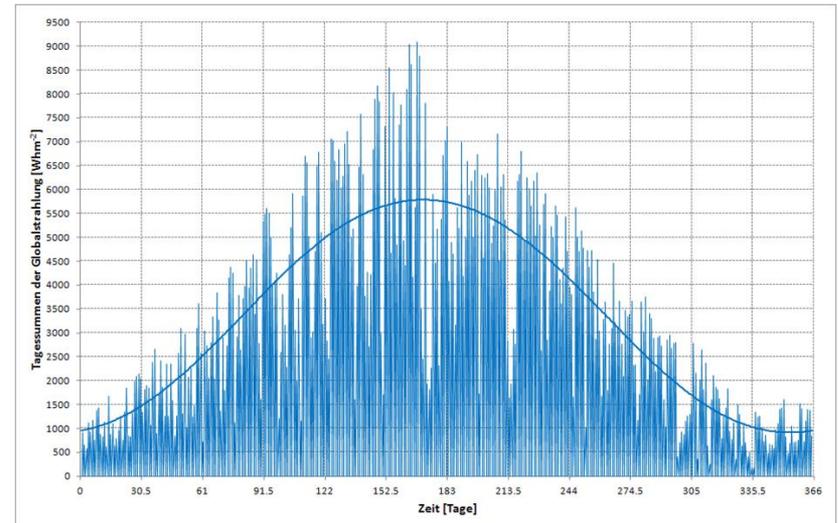
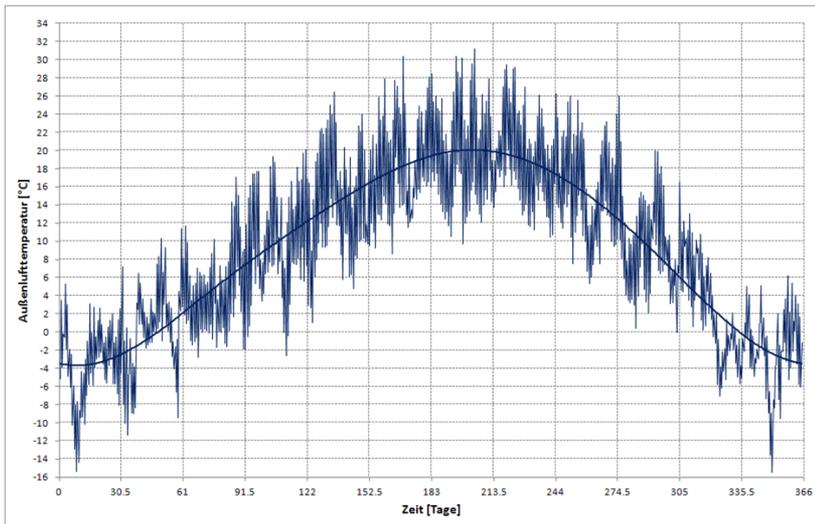
laut ÖNORM B 8110-6:2014, Beiblatt 1 und 4

- Außenabmessungen von 12 m x 8 m x 6 m (L x B x H)
 - mit einer beheizten BGF von 192 m²,
 - mit einem Lüftungsvolumen von = 399,36 m³
- Bezogen auf die außenmaßbezogene Gesamtfläche der Fassaden beträgt der Fensterflächenanteil (Architekturlichte) 20 % Fenster.
 - zu 50% nach Süden (24 m²) orientiert,
 - zu je 20 % nach Osten und Westen (je 9,6 m²)
 - und zu 10 % nach Norden (4,8 m²)
- Der Glasanteil der Fenster beträgt $fg = 0,7$.



Klima und Nutzung

- Halbsynthetischer stündlicher Klimadatensatz Klagenfurt
- Fensterlüftung bei NEH, Mechanische WRL mit WRG bei PH
- Solltemperatur 20°C
- Innere Wärmequellen laut ÖNORM mit konstanter Leistung



Wärmeschutzstandard der Bauteile

weitestgehend laut ÖNORM B 8110-6:2014, Beiblatt 1 und 4

Tabelle 5: Übersicht über die thermischen Eigenschaften der Bauteile

| Bauteil | Thermische Qualität Niedrigenergiehaus | Thermische Qualität Passivhaus | Thermische Randbedingung |
|--------------------------|--|--|--|
| Außenwände | $U_{AW} = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U_{AW} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ | Außenluft |
| Fenster | $U_g = 1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_w = 1,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g = 0,64$ | $U_g = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g = 0,50$ | Außenluft |
| Oberste Geschoßdecke | $U_{OD} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U_{OD} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ | geschlossener unbeheizter Dachraum, $f_{i,h} = 0,9$ |
| Unterste Geschoßdecke | $U_{UD} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U_{UD} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ | geschlossene unbeheizte Garage, $f_{i,h} = 0,9$ |

Aufbauten der Außenwandbauteile

| | Niedrigenergiehaus | Passivhaus |
|---|---|---|
| Leicht und Sehr leicht | <p>Holzständerwand mit 16 cm WD MW beiderseits 2,4cm Vollschalung</p> <p>außen 6 cm Holzfaserdämmplatte mit 7 mm Dünnputz</p> <p>innen 3,5 cm ausgedämmte Installationsebene und 1,5 cm Gipsfaserplatte</p> | <p>Wie NEH, aber mit 28 cm WD MW in der Holzständerwand</p> |
| Mittel | <p>25 cm Hochlochziegelwand (797 kg/m³)</p> <p>außen WDVS aus 16 cm EPS</p> <p>innen 1,5 cm Innenputz</p> | <p>Wie NEH, aber mit 25 cm WDVS</p> |
| Schwer | <p>20 cm Stahlbetonwand (2.400 kg/m³)</p> <p>außen WDVS aus 20 cm EPS</p> <p>innen 1,5 cm Innenputz</p> | <p>Wie NEH, aber mit 28 cm WDVS</p> |

Referenzgebäude

schwere Bauweise

Wände: Stahlbeton

Decken: stb+ Estrich



mittlere Bauweise

Wände: Hochlochziegel

Decken: stb+ Estrich



leichte Bauweise

Wände: Holz-Leichtbau

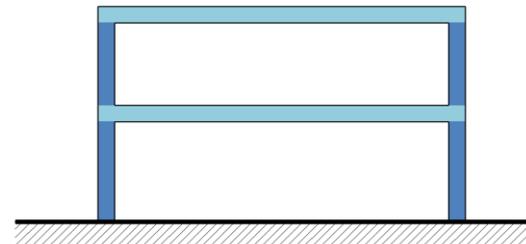
Decken: stb + Estrich



sehr leichte Bauweise

Wände: Holz-Leichtbau

Decken: Holbalken + Estrich



Aufbauten der Deckenbauteile

| | Niedrigenergiehaus | Passivhaus |
|---|--|---|
| Oberste Geschoßdecke Leicht, Mittel, Schwer | 25 cm Stahlbeton oben 20 cm WD MW unten 1,5 cm Verputz | Wie NEH, aber mit 31 cm WD MW |
| Oberste Geschoßdecke Sehr Leicht | 24 cm Holzbalkendecke ausgedämmt unten 5,1 cm Vollschalung und 5 cm Gipskartonplatte | Wie NEH, aber mit 50 cm Holzbalkendecke ausgedämmt |
| Zwischendecke Leicht, Mittel, Schwer | 20 cm Stahlbeton oben 3 cm TDP und 7 cm Estrich unten Spachtelung | Wie NEH |
| Zwischendecke Sehr Leicht | 18 cm Holzbalkendecke mit Luft oben 2 cm Vollschalung, 3 cm TDP, 6 cm Estrich unten 2 cm Vollschalung | Wie NEH |
| Unterste Geschoßdecke Alle Bauweisen | 25 cm Stahlbeton oben 7 cm gebundene Schüttung, 3 cm TDP und 7 cm Estrich unten 6 cm WD | Wie NEH, aber mit 27 cm WD |

AP 2 Überprüfung der Eignung zweier marktführender gewerblicher Simulationsprogramme (TAS und TRNSYS)

Methode

Analytischer Vergleich der exakten dynamischen, periodisch-eingeschwungenen Berechnung mit der Berechnung mittels zweier Simulationsprogramme im Zeitschrittverfahren an dem selben Referenzgebäude mit den selben Bauteilen.

Ergebnis

Beide untersuchten Programme, TAS und TRNSYS, sind beide gut geeignet, dynamische Wärmespeichervorgänge abzubilden.

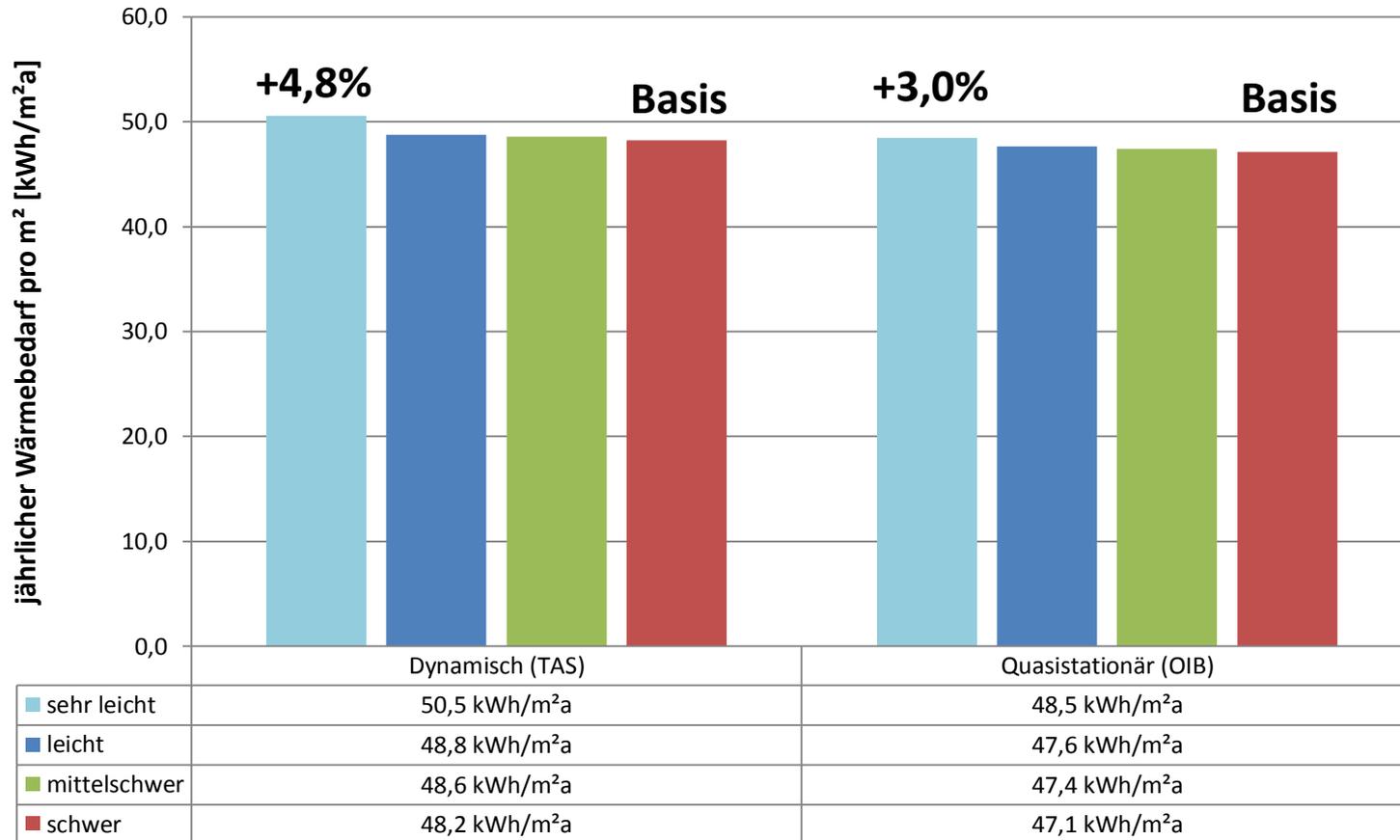
AP 3 Vergleichende Ermittlung des HWB mit TAS unter realen Klimabedingungen und mit unterschiedlichen Heizungstypen

Die Bauweise des Gebäudes hat unter realen Klimabedingungen einen nennenswerten Einfluss auf den HWB.

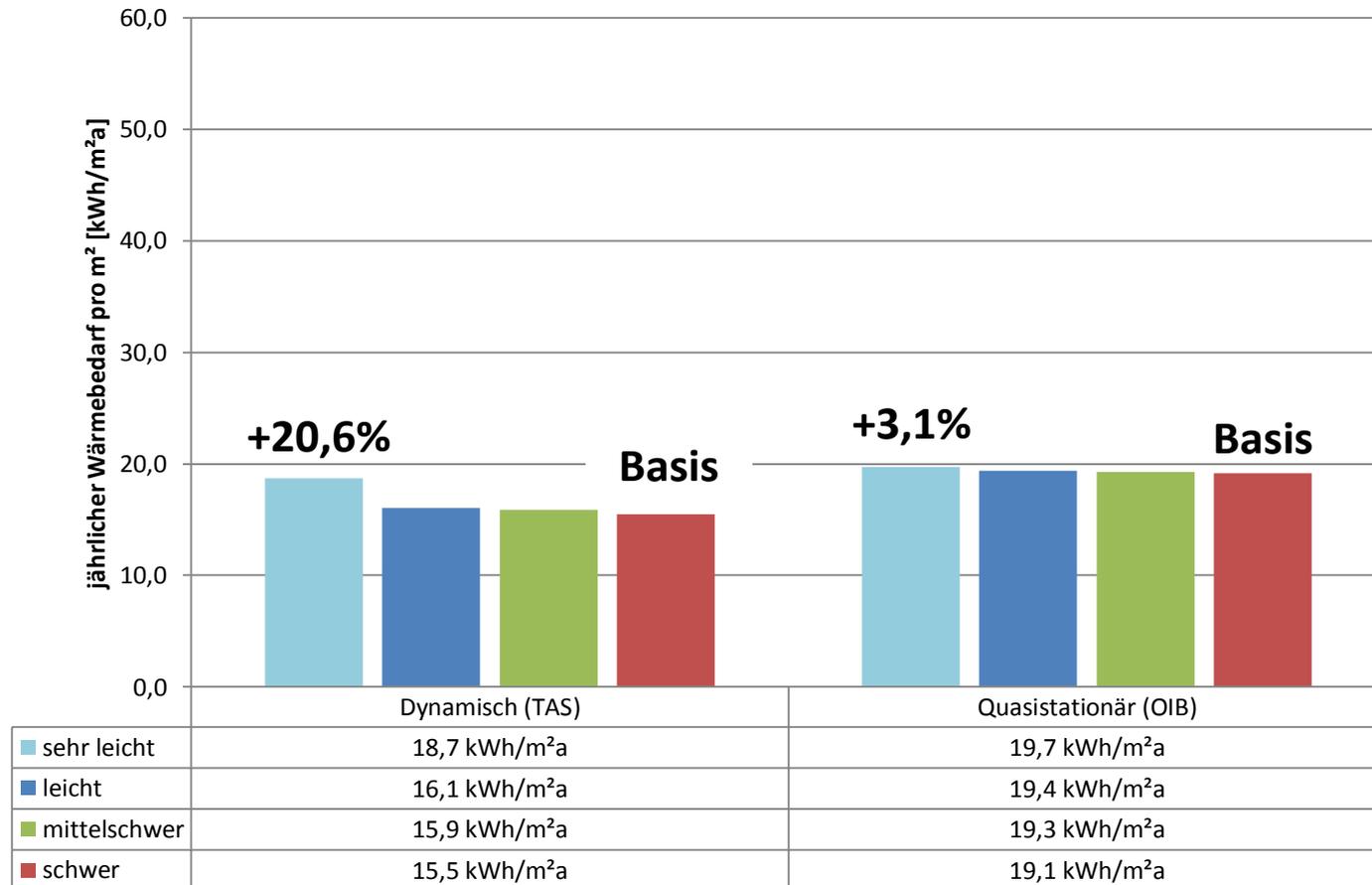
Dieser Einfluss steigt mit der thermischen Qualität der Gebäudehülle.



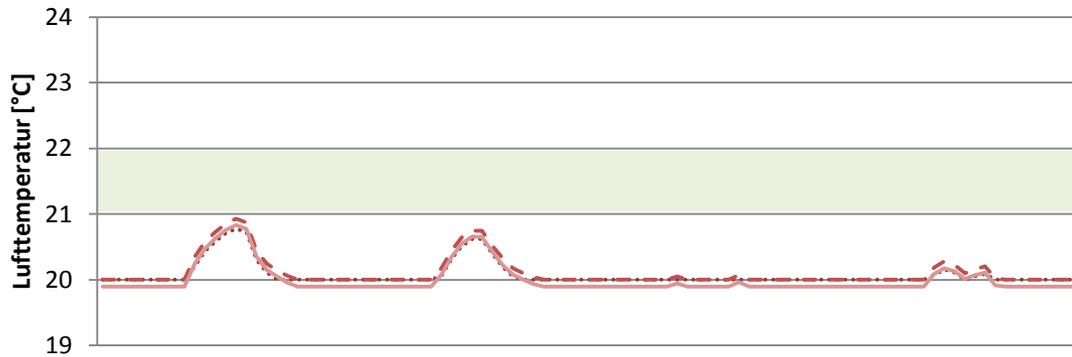
AP 3 Abhängigkeit des HWB von der Bauweise im Niedrigenergiehaus



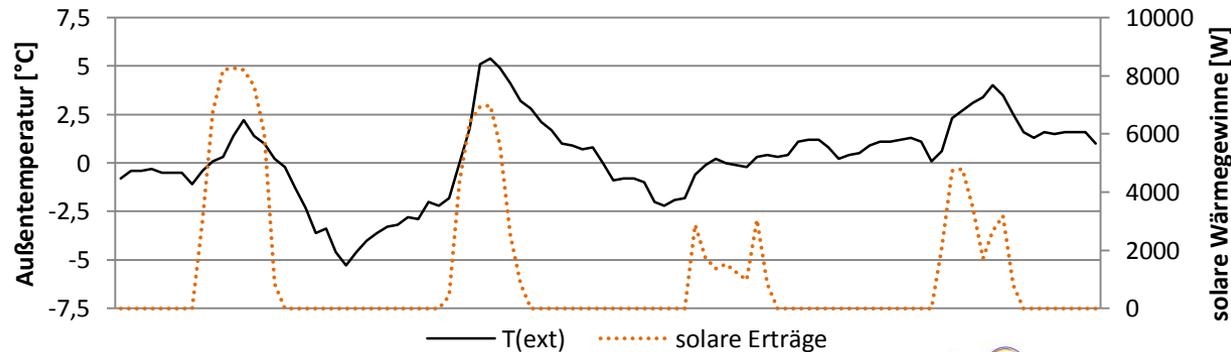
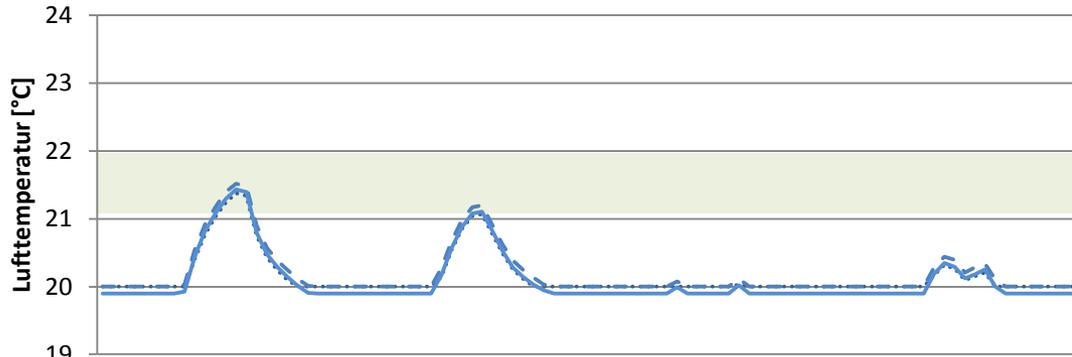
AP 2.2 Abhängigkeit des HWB von der Bauweise im „Passivhaus“



..... Luftheizung, Lufttemperatur = 20°C - - - Flächenheizung, Lufttemperatur = 20°C
— Flächenheizung, Empfindungstemperatur = 20°C



..... Luftheizung, Lufttemperatur = 20°C - - - Flächenheizung, Lufttemperatur = 20°C
— Flächenheizung, Empfindungstemperatur = 20°C

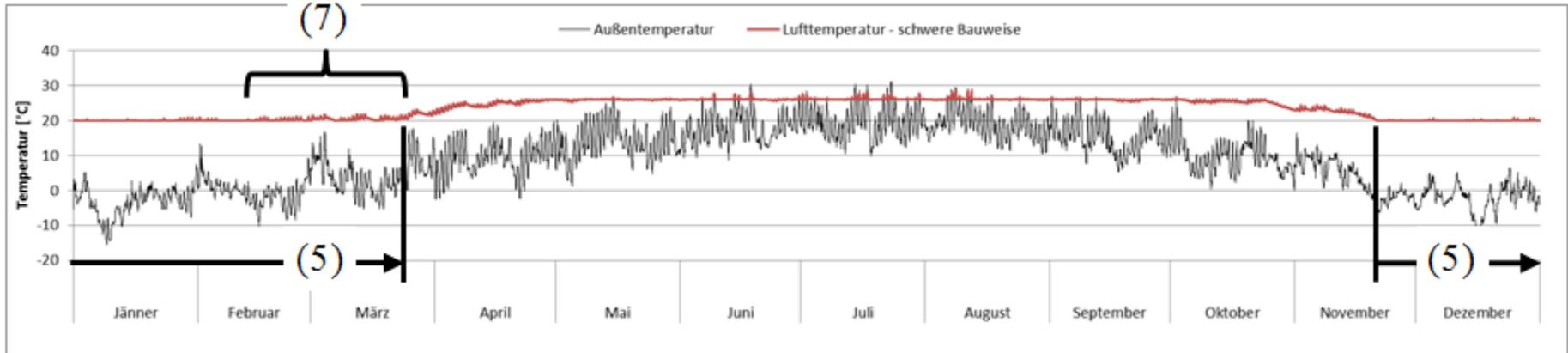


Ursache
des höheren HWB
des Referenzgebäudes
in leichter Bauweise:

**An sonnigen Tagen
steigt temporär die
Raumtemperatur, was zu
höheren Wärmeverlusten
führt.**

Diagramme für das
Passivhaus in schwerer und
leichter Bauweise

Ursache der Abhängigkeit des HWB von der Bauweise, PH



Ursache der Abhängigkeit des HWB von der Bauweise, PH

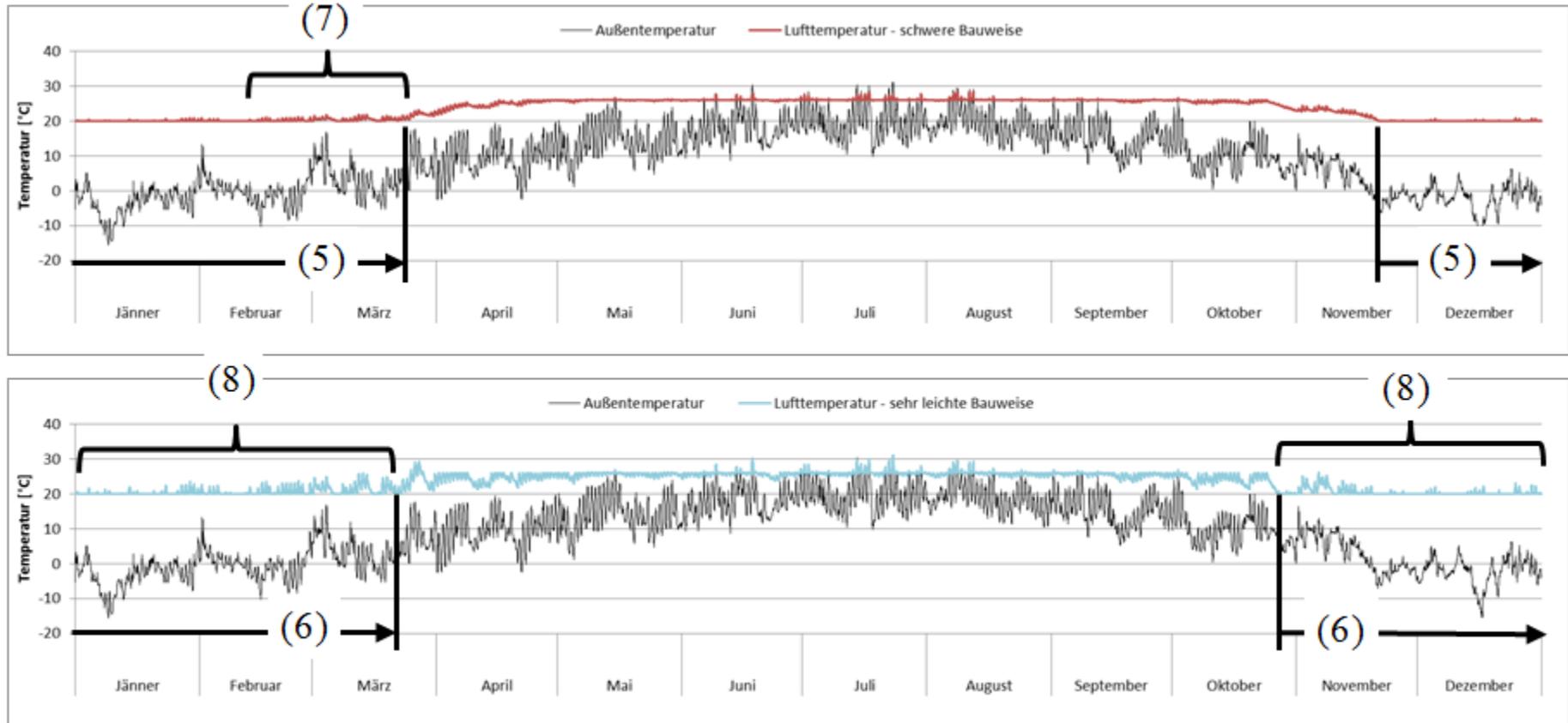
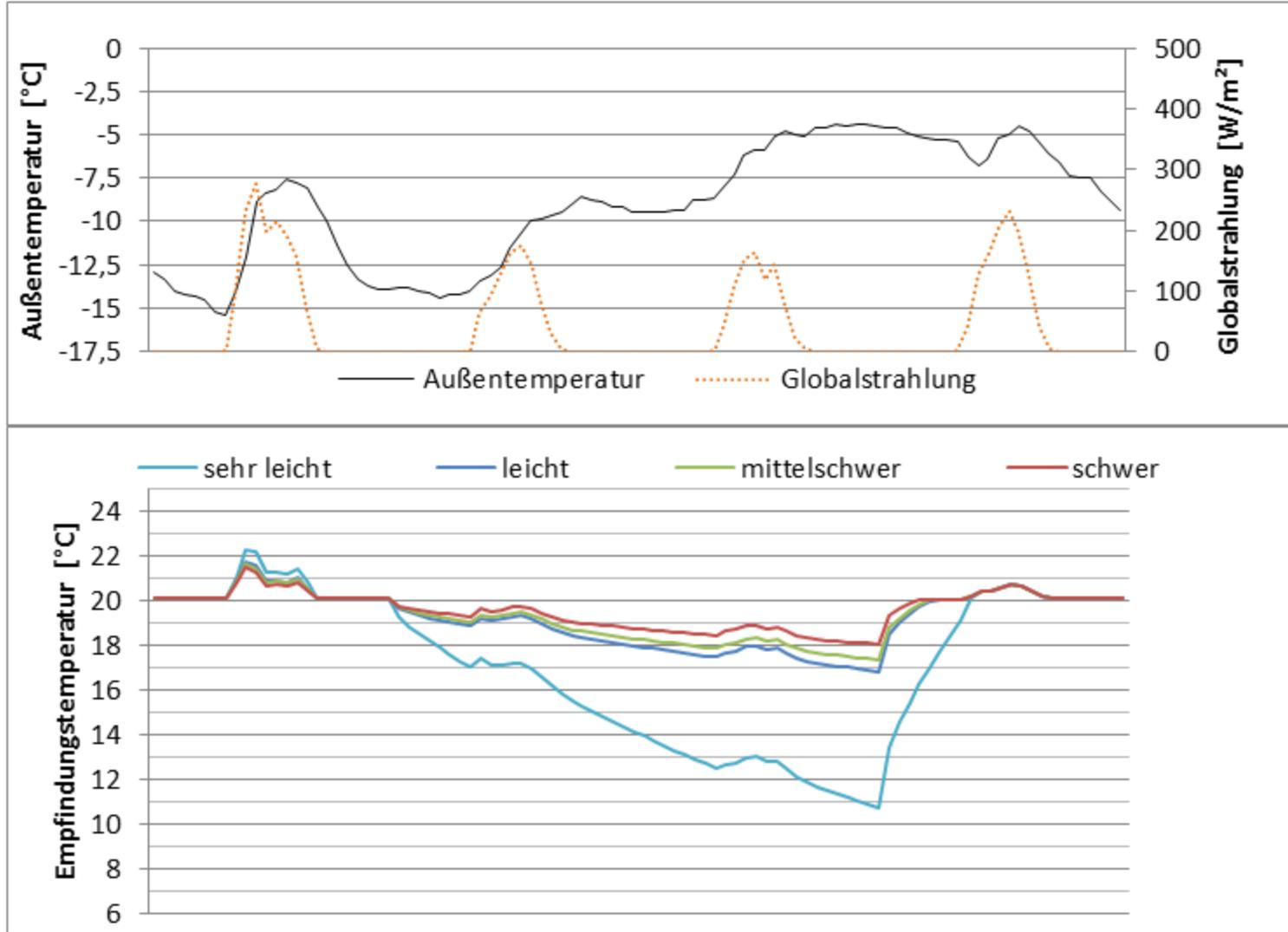


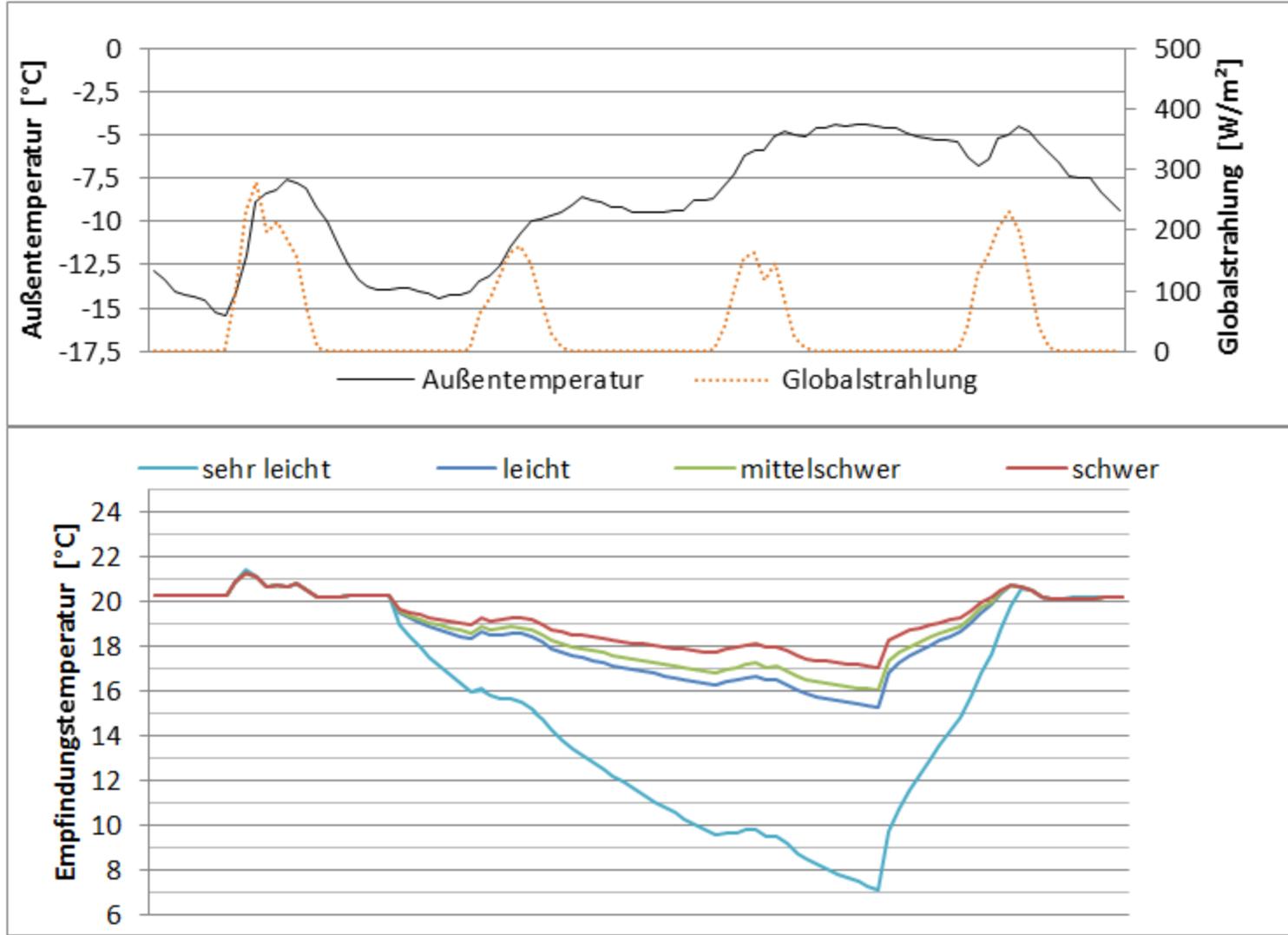
Abbildung 12: Raumtemperaturverlauf im PH, schwere und sehr leichte Bauweise



Zweitägige Heizunterbrechung, Passivhausstandard



Zweitägige Heizunterbrechung, NEH



Ergebnisse und Schlussfolgerungen 1/5

Eignung gewerblicher Softwarepakete

- Gewerblich verfügbare Softwarepakete zur dynamischen thermischen Gebäudesimulation bilden das thermische Verhalten von Gebäuden unter Berücksichtigung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit ausreichend genau ab.
- Die Notwendigkeit einer Programmierung neuer Berechnungsalgorithmen besteht nicht.



Ergebnisse und Schlussfolgerungen 2/5

Grenzen der quasistationären Berechnung

- Die näherungsweise Berücksichtigung der Speichermassen nach dem OIB-Verfahren liefert gute Übereinstimmung beim Referenzgebäude in NEH-Standard, aber eine nennenswerte Unterschätzung der Speichereffekte im PH-Standard.
- Mit der Verwendung von Näherungsverfahren zur Berücksichtigung der Wärmespeicherfähigkeit ist bei sehr gut gedämmten Gebäuden die Planungssicherheit nicht mehr gegeben.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen 3/5

Übereinstimmungsgrad von quasistationärer u dynamischer Berechnung

- Im NEH ergibt sich, mit einer sehr sorgfältigen Eingabe aller Randbedingungen, eine weitgehende Übereinstimmungen des Ergebnisses des HWB.
- Im PH ist diese Übereinstimmung nicht mehr gegeben. Die Effekte der Wärmespeicherfähigkeit werden im OIB-Verfahren deutlich zu gering abgebildet.
- Im PH-Standard und schwerer Bauweise ergibt sich somit im OIB-Verfahren nur ein um 3% höherer HWB als bei sehr leichter Bauweise und damit ein um 20% größerer HWB als im dynamischen Verfahren.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen 3/5

Potenziale energieflexibler Gebäude

- Temporäre Heizungsunterbrechungen sind eine vielversprechende Möglichkeit zur Ausnutzung unregelmäßig verfügbarer Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen.
- Das bewusste Aufheizen des Gebäudes eröffnet die Möglichkeit, Zeiten ohne Wärmeversorgung zu überbrücken.
- Die Länge des überbrückbaren Zeitraums wird sehr stark von der Bauweise des Gebäudes beeinflusst.
- Nur dynamische Verfahren sind imstande, die Effekte eines intermittierenden Heizbetriebs verlässlich abzubilden.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen 4/5

Herausforderungen dynamischer Nachweisführung

- Dynamische Verfahren beinhalten eine Vielzahl von Eingabeoptionen und von komplexen Berechnungsalgorithmen, erfordern eine professionelle Bedienung und zutreffende Annahme der Randbedingungen und bergen deshalb auch ein erhebliches Fehlerpotenzial.
 - Wärmeübergang an Bauteiloberflächen
 - Wärmegewinne durch Solarstrahlung auf Außenoberflächen
 - Ausnutzung innerer und solarer Gewinne
 - Nicht-lotrechter Strahlungsdurchgang durch Verglasungen
 - Verschmutzung von Verglasungen
 - Wärmebrücken

Ergebnisse und Schlussfolgerungen 5/5

Ausblick

Die Einführung dynamischer Gebäudesimulation

- erweist sich in behördlichen Wärmeschutznachweisen / Energieausweisberechnungen als erstrebenswert zur Erhöhung der Planungssicherheit bei thermisch optimierten Gebäuden
- ist zur Planung energieflexibler Gebäuden unentbehrlich
- ist aber jedenfalls sorgfältig mit einem Regelwerk für AnwenderInnen zu begleiten, um die notwendige Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicher zu stellen.

ÖNORM EN ISO 52016-1 und 52017-1



Institute of
**Building Research
& Innovation** ZT-GmbH



Dr. Kreč
Büro für Bauphysik



Ergebnisse und Schlussfolgerungen 5/5

Ausblick

Die Einführung dynamischer Gebäudesimulation

- erweist sich in behördlichen Wärmeschutznachweisen / Energieausweisberechnungen als erstrebenswert zur Erhöhung der Planungssicherheit bei thermisch optimierten Gebäuden
- ist zur Planung energieflexibler Gebäuden unentbehrlich
- ist aber jedenfalls sorgfältig mit einem Regelwerk für AnwenderInnen zu begleiten, um die notwendige Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicher zu stellen.

ÖNORM EN ISO 52016-1 und 52017-1

Danke !



Institute of
**Building Research
& Innovation** ZT-GmbH



Dr. Kreč
Büro für Bauphysik



WKO
FACHVERBAND STEINE-KERAMIK