

Anhang C3 Berücksichtigung einer Temperaturdifferenz zum Nachbarraum für „quasi-adiabate“ Innenbauteile (informativ)

Inhalt	
Einleitung.....	1
Grundlagen.....	1
Validierung des erweiterten 2-Kapazitäten-Modells mit dem quasi-adiabaten Innenbauteil entsprechend den Vorgaben der VDI 6020 und VDI 2078.....	4
Anhang: Vergleich der Berechnungsergebnisse	7

Einleitung

Das 2-Kapazitäten-Modell stößt an die nach VDI 6020 geforderten Genauigkeitsgrenzen, wenn aus dem 2-K-Modell ein 1-K-Modell wird. Dies ist der Fall, wenn alle Bauteile eines Raumes – also auch alle Innenbauteile - als nicht-adiabate Bauteile angesetzt werden.

Ursache einer solchen Vorgehensweise sind häufig Vorgaben von geringfügigen Temperaturdifferenzen zu den angrenzenden Räumen.

Grundlagen

Für solche häufig vorkommenden Fälle – Bauteil zwischen zwei Räumen mit geringfügigem Temperaturunterschied, aber ansonsten quasi-adiabaten Verhältnissen – lässt sich dieses Bauteil mit den Berechnungsalgorithmen der VDI 6007-1 für das 2-K-Modell entsprechend dem aus **Bild 3a** hergeleiteten erweiterten Ersatzschaltbild nach **Bild 3b** berechnen mit folgenden Vorgaben bzw. Ergänzungen:

- Bauteil wird als „adiabates“ Bauteil IW berücksichtigt
- Die Temperaturdifferenz zum Nachbarraum NR wird über den Parameter $\dot{Q}_{\Delta\theta;NR;IW}$ berücksichtigt.

$$\dot{Q}_{\Delta\theta;NR;IW} = \sum_{v=1}^p U_{IW;v} \cdot A_{IW;v} \cdot (\bar{\vartheta}_{IL;NR_v} - \bar{\vartheta}_{IL}) \quad (C3.1)$$

mit: $(\bar{\vartheta}_{IL;NR_v} - \bar{\vartheta}_{IL})$ ist eine Vorgabe, kein direktes Berechnungsergebnis.
Dieser Wert kann z.B. abhängig von der Außentemperatur geändert vorgegeben werden..

Folgende beiden Gleichungen müssen daher zur Berücksichtigung von $\dot{Q}_{\Delta\vartheta;NR;IW}$ erweitert werden:

$$\dot{Q}_{IW}[1] = -(\dot{Q}_{IL;str;IW} + \dot{Q}_{\Delta\vartheta;NR;IW}) \cdot KO_{IW}[1;1] - VO_{IW;Anfang}[1] \quad (63a)$$

$$\begin{aligned} VO_{IW;Ende}[1] = & VO_{IW;Anfang}[1] \cdot KO_{IW}[1;2] + KO_{IW}[1;3] \cdot (\dot{Q}_{IL;str;IW} + \dot{Q}_{\Delta\vartheta;NR;IW}) \\ & + KO_{IW}[1;3] \cdot \dot{Q}_{HK;str;IW} + KO_{IW}[1;3] \cdot \dot{Q}_{HK;FO;IW} \\ & + KO_{IW}[3;3] \cdot \dot{Q}_{HK;BT;IW} \end{aligned} \quad (110b)$$

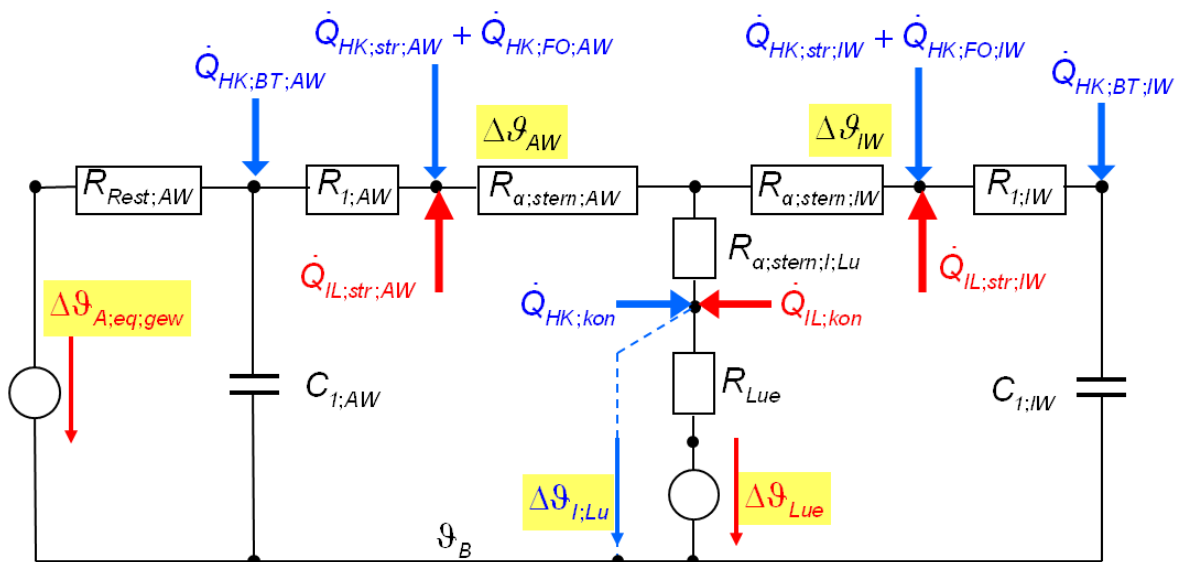


Bild 3a: Erweitertes Ersatzschaltbild für das 2-K-Modell mit differenzierter Berücksichtigung von Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen

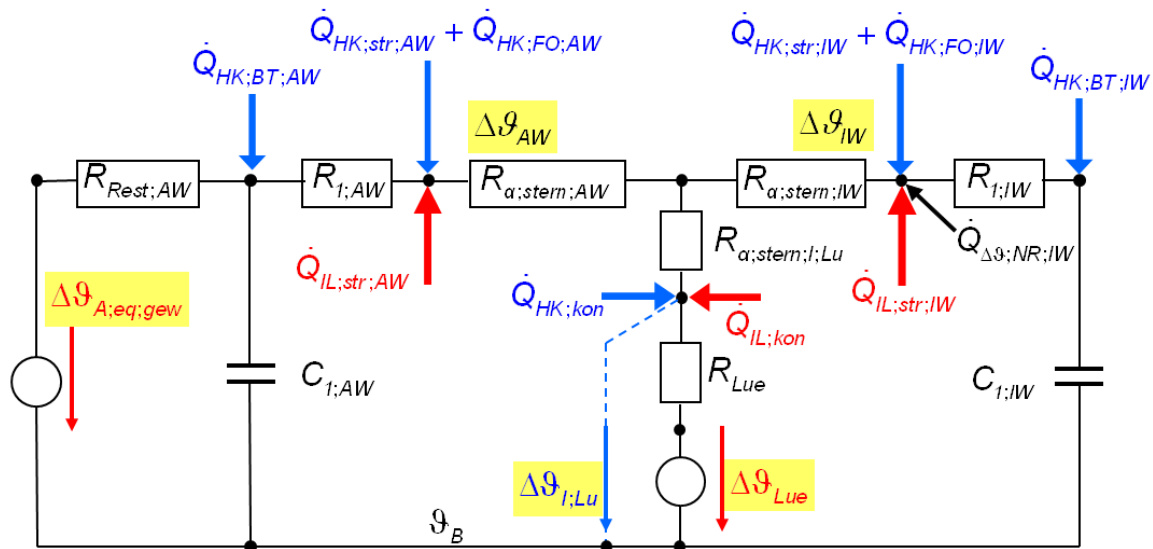


Bild 3b: Erweitertes Ersatzschaltbild für das 2-K-Modell mit differenzierter Berücksichtigung von Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen und Temperaturdifferenz zu quasi-adiabaten Nachbarräumen

Somit lassen sich bei dem erweiterten 2-Kapazitäten-Modell für **Innenbauteile** folgende vier thermische Randbedingungen berücksichtigen:

1. gleiche Temperaturverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
gleiche Strahlungsverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
Daraus resultiert Berücksichtigung als **adiabates Bauteil IW**
2. Vorgabe einer (geringen) Temperaturdifferenz zum Nachbarraum
ansonsten weitgehend gleiche Temperaturverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
gleiche Strahlungsverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
Daraus resultiert Berücksichtigung als **quasi-adiabates Bauteil IW** unter Einbezug der Gleichungen (C3-1) sowie (63a) und (110b)
3. Vorgabe einer Temperatur (eines Temperaturganges) im Nachbarraum
keine Wärmestrahlung durch innere und äußere Wärmequellen im Nachbarraum
Daraus resultiert Berücksichtigung als **nicht-adiabates Bauteil AW**
4. Vorgabe einer Temperatur (eines Temperaturganges) im Nachbarraum
gleiche Strahlungsverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
Daraus resultiert Berücksichtigung als **nicht-adiabates Bauteil AW** unter Einbezug der Gleichungen (40) und (41)

Die 2. Randbedingung ist als **zusätzliche** – in der Praxis häufig anzutreffende - Variante zur Berücksichtigung der Nachbarraum-Verhältnisse für den Berechnungsalgorithmus des 2-Kapazitäten-Modells.

Validierung des erweiterten 2-Kapazitäten-Modells mit dem quasi-adiabaten Innenbauteil entsprechend den Vorgaben der VDI 6020 und VDI 2078

Zur Validierung des erweiterten 2-Kapazitäten-Modells für unterschiedliche Randbedingungen bei adiabaten und nicht-adiabate **Innenbauteilen** eignet sich als Basisfall das Testbeispiel 5 der VDI 2078 (identisch auch in VDI 6020 enthalten).

Testbeispiel 5:

Berechnung der erforderlichen Kühllast (Kühlleistung) bei Vorgabe eines Schwankungsbereichs der Raumlufttemperatur von 4 K (Proportionalbereich) entsprechend VDI 2078 Abschnitt „Kühllast- und Raumtemperatur bei vorgegebenem Schwankungsbereich“ (beachte auch den zugehörigen Anhang der VDI 2078).

Alle Innenbauteile sind als adiabat angesetzt, d.h.:
gleiche Temperaturverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
gleiche Strahlungsverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
(Randbedingung 1 für alle Innenbauteile)

Berechnung der erforderlichen Kühllast sowie Tagesgang von Raumluft- und operativer Temperatur bei begrenzter Leistung.

Es sind 4 Varianten vorgegeben:
Raum-Typ M nach VDI 2078
Raum-Typ S nach VDI 2078
Außenklima von Hamburg
Außenklima von Mannheim

Die Randbedingungen der 4 Varianten des Testbeispiels 5 bieten sich auch für die Validierung des erweiterten 2-Kapazitäten-Modells für adiabate und nicht-adiabate **Innenbauteile** an.

Testbeispiel 5a: wie Testbeispiel 5, jedoch:
in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen eine um 2 K höhere Raumtemperatur
(Randbedingung 2 für diese Raumtrennwände)

Testbeispiel 5b1: wie Testbeispiel 5, jedoch:
Fußboden grenzt an einen Keller mit 15 °C Raumtemperatur
keine Wärmestrahlung durch innere und äußere Wärmequellen im Keller
(Randbedingung 3 für den Fußboden)

Testbeispiel 5b2: wie Testbeispiel 5, jedoch:
in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen Raumtemperatur von 24 °C
keine Wärmestrahlung durch innere und äußere Wärmequellen in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen

(Randbedingung 3 für diese Rauntrennwände)

Testbeispiel 5c: wie Testbeispiel 5, jedoch:
in den an die Rauntrennwände angrenzenden Räumen Raum-
temperatur von 24 °C
gleiche Strahlungsverhältnisse in den an die Rauntrennwände
angrenzenden Räumen
(Randbedingung 4 für diese Rauntrennwände)

Für die Validierung nach VDI 6020 gelten folgende Grenzbedingungen für die Abweichungen:

- Mittelwert für Lufttemperatur, operative Temperatur: $\pm 1,0 \text{ °C}$
- Mittelwert für Heizlast, Kühllast: $\pm 50 \text{ W}$
- Standardabweichung für Lufttemperatur, operative Temperatur: $\pm 1,5 \text{ °C}$
- Standardabweichung für Heizlast, Kühllast: $\pm 60 \text{ W}$

In **Tabelle C3.1** ist der Ergebnisvergleich für die Testbeispiele 5, 5a, 5b1, 5b2 und 5c nach den Vorgaben der VDI 6020 vorgenommen.

Als Referenzergebnisse sind entsprechend den Vorgaben der VDI 6020 die Berechnungsergebnisse mit dem n-Kapazitäten-Modell eingegangen.

Tabelle C3.1: Validierung des erweiterten 2-Kapazitäten-Modelle zur Berücksichtigung von quasi-adiabaten Innenbauteilen

Testbeispiele 5, 5a, 5b1, 5b2 und 5c

Validierung entsprechend den Vorgaben der VDI 6020

Auswertung der Ergebnisse nach dem 2-K-Modell der VDI 6007-1 und nach dem erweiterten 2-K-Modell im Vergleich zu den Referenzverfahren nach VDI 6020 (n-K-Modell)

	Vergleich von 2-K-Modell zu VDI 6020			Vergleich von 2-K-Modell zu VDI 6020		
	RAUM-LUFTTEMP.	OPERAT. TEMP.	HEIZLAST KUEHLLAST	RAUM-LUFTTEMP.	OPERAT. TEMP.	HEIZLAST KUEHLLAST
	°C	°C	Watt	°C	°C	Watt
	Tesstbeispiel 5 - M HH CDD			Tesstbeispiel 5 - M MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	0,03	0,07	-14,6	0,07	0,10	-11,3
Standardabweichung der Abweichung	0,16	0,19	21,8	0,22	0,23	20,1
	Tesstbeispiel 5 - S HH CDD			Tesstbeispiel 5 - S MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	-0,03	-0,04	2,9	-0,04	-0,06	4,2
Standardabweichung der Abweichung	0,09	0,11	6,0	0,06	0,07	6,0
	Tesstbeispiel 5a - M HH CDD			Tesstbeispiel 5a - M MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	0,11	0,13	-9,6	0,26	0,28	-3,5
Standardabweichung der Abweichung	0,25	0,26	19,0	0,36	0,37	17,4
	Tesstbeispiel 5a - S HH CDD			Tesstbeispiel 5a - S MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	-0,01	-0,02	3,3	-0,03	-0,04	4,6
Standardabweichung der Abweichung	0,07	0,09	6,7	0,05	0,06	5,9
	Tesstbeispiel 5b1 - M HH CDD			Tesstbeispiel 5b1 - M MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	0,04	0,04	4,0	-0,01	-0,02	5,7
Standardabweichung der Abweichung	0,14	0,14	9,9	0,09	0,09	8,4
	Tesstbeispiel 5b1 - S HH CDD			Tesstbeispiel 5b1 - S MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	0,05	0,04	4,4	-0,03	-0,03	3,2
Standardabweichung der Abweichung	0,10	0,11	8,0	0,07	0,07	4,8
	Tesstbeispiel 5b2 - M HH CDD			Tesstbeispiel 5b2 - M MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	-0,09	-0,08	-3,7	-0,03	-0,04	1,8
Standardabweichung der Abweichung	0,13	0,15	8,7	0,13	0,14	8,1
	Tesstbeispiel 5b2 - S HH CDD			Tesstbeispiel 5b2 - S MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	-0,01	-0,01	3,3	-0,02	-0,04	6,0
Standardabweichung der Abweichung	0,08	0,09	4,7	0,06	0,06	7,0
	Tesstbeispiel 5c - M HH CDD			Tesstbeispiel 5c - M MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	-0,10	-0,09	-3,6	-0,05	-0,05	1,3
Standardabweichung der Abweichung	0,15	0,16	9,6	0,22	0,23	20,1
	Tesstbeispiel 5c - S HH CDD			Tesstbeispiel 5c - S MA CDD		
gemeinsame Auswertung April bis Sept.:						
Mittelwert der Abweichung	0,00	-0,01	3,6	-0,02	-0,04	6,3
Standardabweichung der Abweichung	0,08	0,08	5,1	0,06	0,06	7,3
	Vergleich 2-K-Modell zu VDI 6020					
	RAUM-LUFTTEMP.	OPERAT. TEMP.	HEIZLAST KUEHLLAST			
	°C	°C	Watt			
	Testbeispiele 3 bis 5 Maximum aller Varianten					
gemeinsame Auswertung April bis Sept :						
Mittelwert (Absolutwert) der Abweichung	0,26	0,28	14,6			
Standardabweichung der Abweichung	0,36	0,37	21,8			
	Validierungs-Grenzbedingung					
Mittelwert (Absolutwert) der Abweichung	< 1,00	< 1,00	< 50,0			
Standardabweichung der Abweichung	< 1,50	< 1,50	< 60,0			

Anhang: Vergleich der Berechnungsergebnisse

In den **Diagrammen C3.1 bis C3.5** ist ein grafischer Vergleich der Berechnungsergebnisse für die Testbeispiele 5, 5a, 5b1, 5b2 und 5c vorgenommen.

Für die Testbeispiele 5 bis 5c ist für den Cooling Design Day (CDD) im Juli jeweils der Tagesgang dargestellt. von

- Raumlufttemperatur und
- Kühllast

Für jedes der 5 Testbeispiele gibt es 4 Einzeldarstellungen für die Ergebnisse:

- Raum-Typ M nach VDI 2078 Klimadaten für Mannheim (MA)
- Raum-Typ S nach VDI 2078 Klimadaten für Mannheim (MA)
- Raum-Typ M nach VDI 2078 Klimadaten für Hamburg (HH)
- Raum-Typ S nach VDI 2078 Klimadaten für Hamburg (HH)

Die Abkürzungen in der Legende bedeuten:

- nKM: n-Kapazitäten-Modell (Referenzverfahren nach VDI 6020)
- 2KM: 2-Kapazitäten-Modell nach VDI 6007-1
(erweitertes 2-Kapazitäten-Modell)

Testbeispiel 5: für alle Innenbauteile gilt:
gleiche Temperaturverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
gleiche Strahlungsverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
(Randbedingung 1 für alle Innenbauteile)

Testbeispiel 5a: wie Testbeispiel 5, jedoch:
in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen eine um
2 K höhere Raumtemperatur
(Randbedingung 2 für diese Raumtrennwände)

Testbeispiel 5b1: wie Testbeispiel 5, jedoch:
Fußboden grenzt an einen Keller mit 15 °C Raumtemperatur
keine Wärmestrahlung durch innere und äußere Wärmequellen
im Keller
(Randbedingung 3 für den Fußboden)

Testbeispiel 5b2 wie Testbeispiel 5, jedoch:
in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen Raum-
temperatur von 24 °C
keine Wärmestrahlung durch innere und äußere Wärmequellen
in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen
(Randbedingung 3 für diese Raumtrennwände)

Testbeispiel 5c: wie Testbeispiel 5, jedoch:
in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen Raum-
temperatur von 24 °C
gleiche Strahlungsverhältnisse in den an die Raumtrennwände
angrenzenden Räumen
(Randbedingung 4 für diese Raumtrennwände)

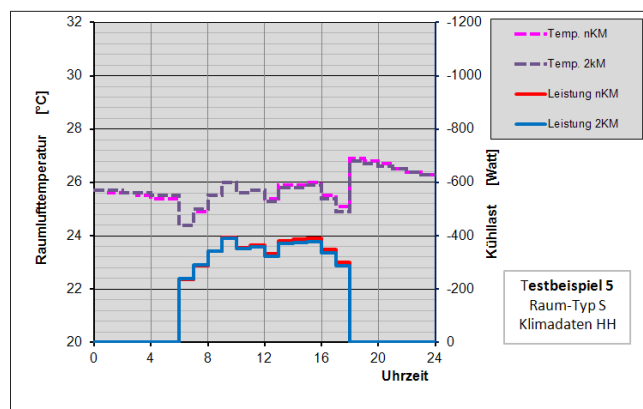
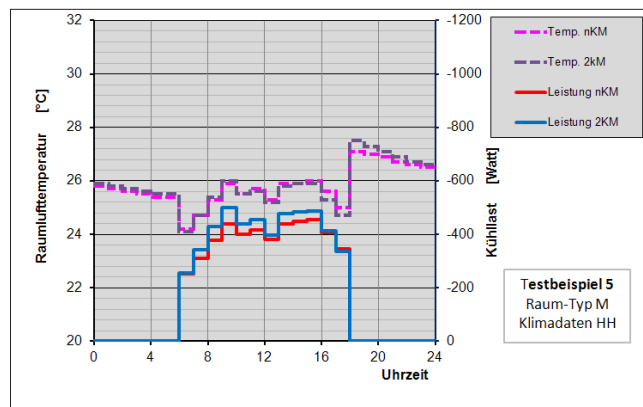
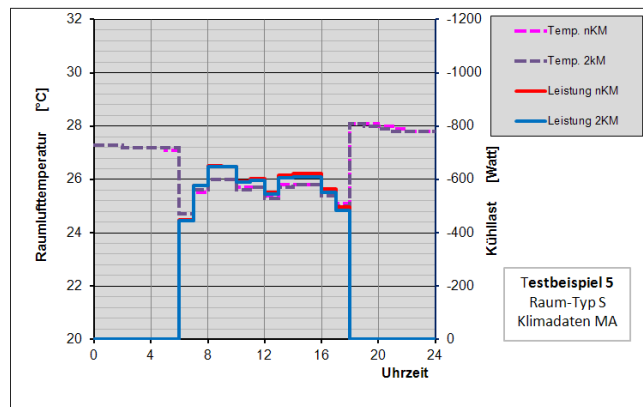
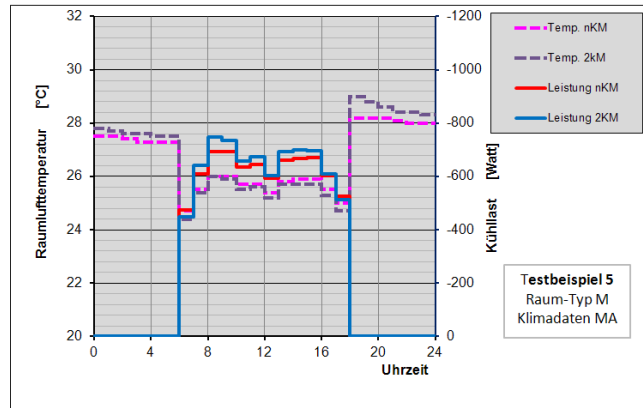


Diagramm C3.1: Testbeispiel 5 - für alle Innenbauteile gilt:
 gleiche Temperaturverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
 gleiche Strahlungsverhältnisse auf beiden Seiten des Bauteils
Cooling Design Day (CDD) Juli

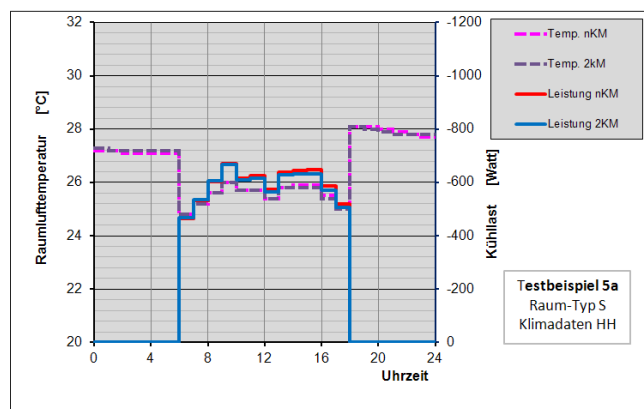
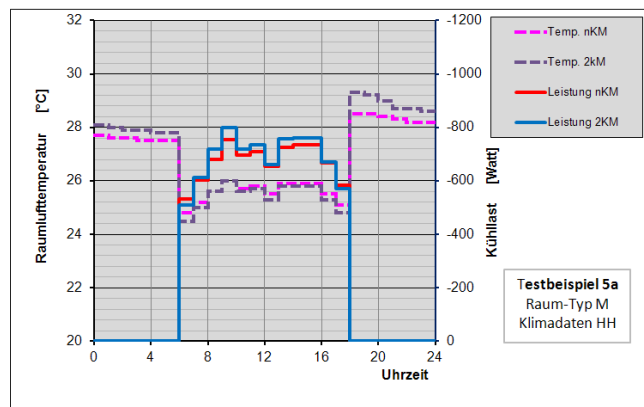
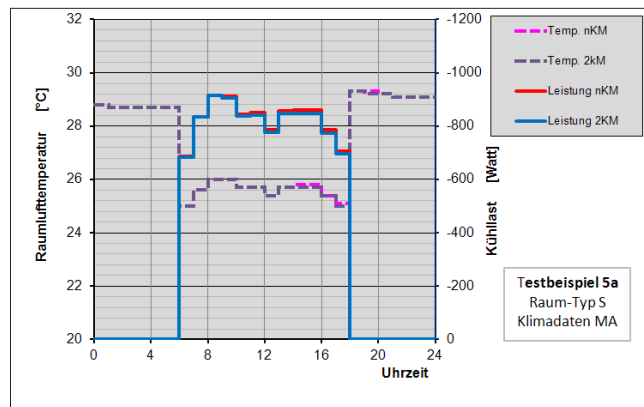
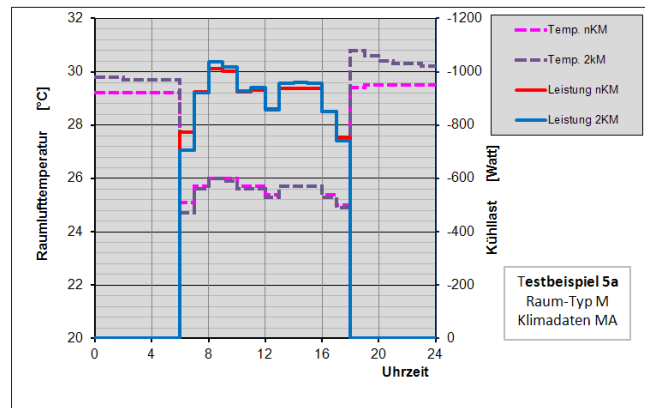


Diagramm C3.2: Testbeispiel 5a - wie Testbeispiel 5, jedoch:
in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen eine um
2 K höhere Raumtemperatur
Cooling Design Day (CDD) Juli

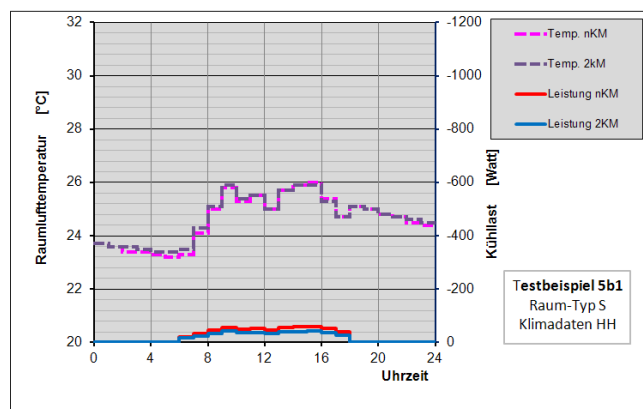
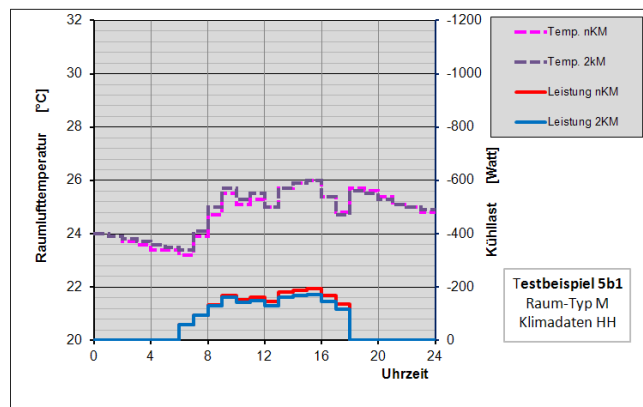
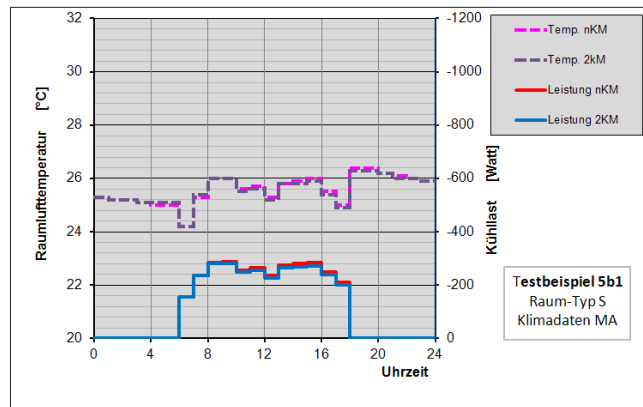
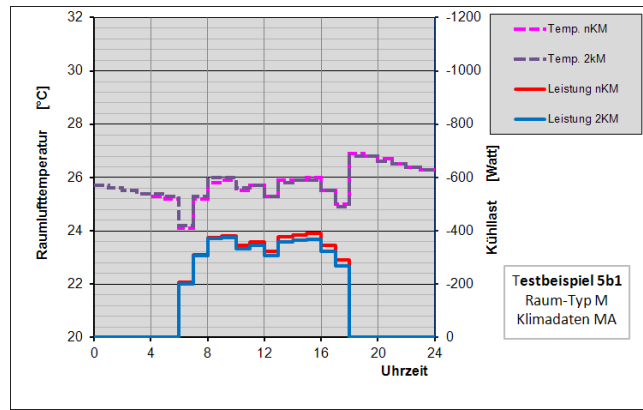


Diagramm C3.3: Testbeispiel 5b1 - wie Testbeispiel 5, jedoch:
Fußboden grenzt an einen Keller mit 15 °C Raumtemperatur
keine strahlenden Wärmequellen im Keller
Cooling Design Day (CDD) Juli

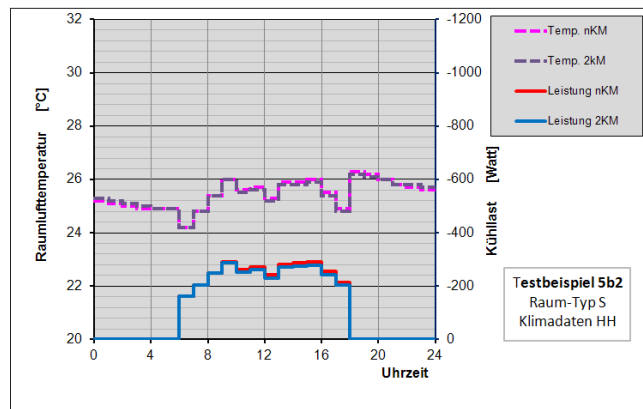
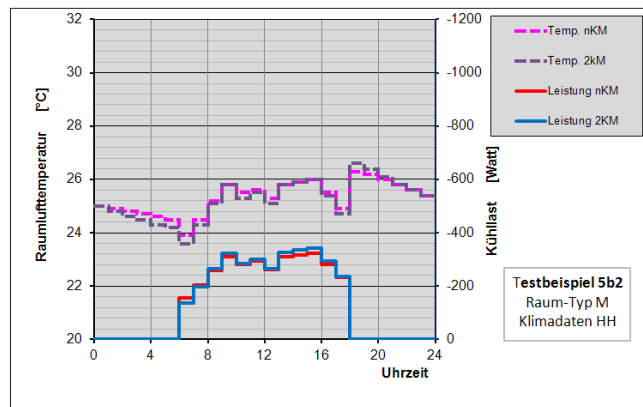
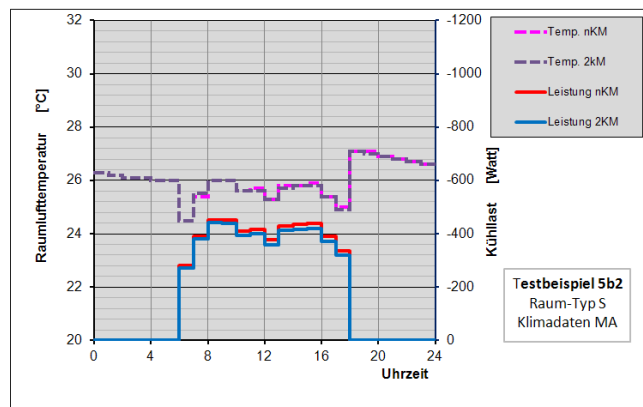
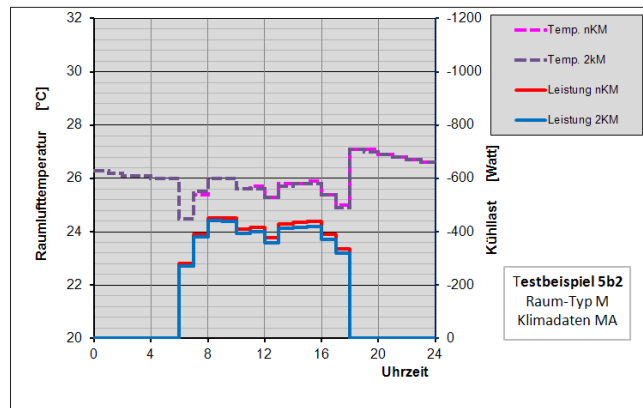


Diagramm C3.4: Testbeispiel 5b2 - wie Testbeispiel 5, jedoch:
 in den an die Rauntrennwände angrenzenden Räumen Raum-
 temperatur von 24 °C
 keine strahlenden Wärmequellen in den angrenzenden Räumen
Cooling Design Day (CDD) Juli

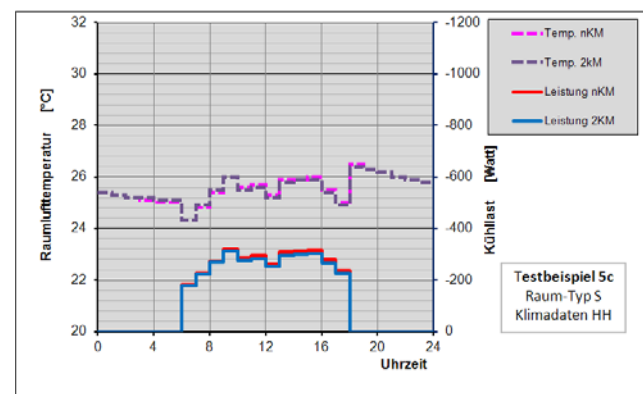
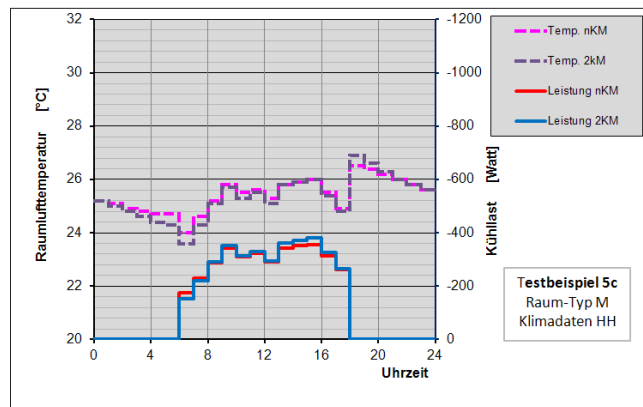
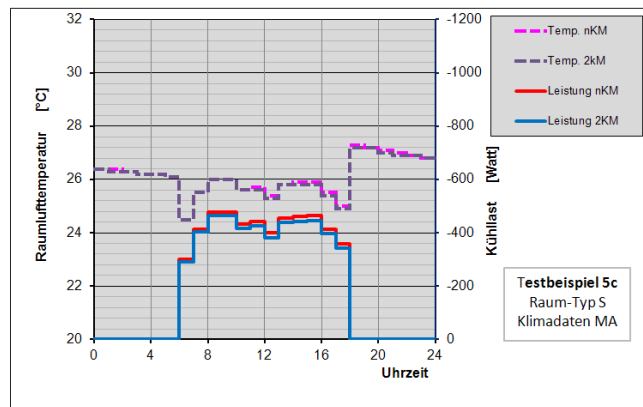
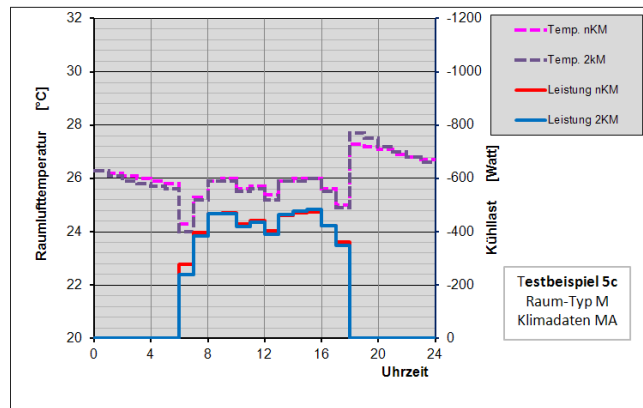


Diagramm C3.5: Testbeispiel 5c - wie Testbeispiel 5, jedoch:
 in den an die Raumtrennwände angrenzenden Räumen Raumtemperatur von 24 °C
 gleiche Strahlungsverhältnisse in den angrenzenden Räumen
Cooling Design Day (CDD) Juli