

Anhang C1 Differenzierte Berücksichtigung von Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen beim 2-Kapazitäten-Modell (informativ)

Inhalt

Einleitung.....	1
Grundlagen.....	1
Validierung des erweiterten 2-Kapazitäten-Modells mit differenzierter Berücksichtigung von Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen entsprechend der Vorgaben der VDI 6020 und VDI 2078.....	5
Bewertung und Vergleich der Berechnungsergebnisse.....	8

Einleitung

Der im Hauptteil der VDI 6007 Blatt 1 beschriebene Algorithmus zur Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden (Raummodell) berücksichtigt in Bauteile integrierte Flächenheiz- und Kühlsysteme, die an der Oberfläche eines Bauteils oder im Bauteil nahe der Oberfläche installiert sind. Die nachfolgend beschriebene Erweiterung des Algorithmus unterscheidet zwei Arten der Anordnung des Heiz- und Kühlsystems.

Die Nummerierung der Bilder, Tabellen und Gleichungen der nachfolgenden Darstellung sind so nummeriert, dass ein Bezug auf den Algorithmus des Hauptteiles der Richtlinie gegeben ist. Die Diagramme (Ergebnisdarstellung der zusätzlichen Test- bzw. Validierungsbeispiele) dieses Anhangs haben eine eigenständige Nummerierung.

Grundlagen

Bei Flächenheiz- und Kühlsystemen, die in Bauteilen integriert sind, ist bezüglich deren Anordnung nach zwei Arten zu unterscheiden:

- Systeme, die an der Oberfläche eines Bauteils oder im Bauteil nahe der Oberfläche installiert sind.
- Systeme, die als thermische Bauteilaktivierung ist als thermische Bauteilaktivierung (auch Betonkernaktivierung genannt) im Kern des Bauteils installiert sind.

Die beiden Arten unterscheiden sich deutlich in der maximal verfügbaren Leistung je m² aktiver Fläche, was bei den Vorgaben zu einer thermischen Raumsimulation beachtet werden muss.

Die Berechnungsalgorithmen nach dem Ersatzschaltbild für das 2-K-Modell entsprechend Bild 3 sind für Systeme an oder nahe der Oberfläche zum Raum geeignet.

Bei Systemen der „Bauteilaktivierung“ stößt man an die Grenzen der Genauigkeitsanforderungen nach VDI 6020, insbesondere wenn das System zur Bauteilaktivierung in eine Betondecke mit einer darunterliegenden abgehängten Schallschutzdecke eingebaut ist. Der Betonkern ist daher wärmetechnisch abgedeckt und die thermische Bauteilaktivierung nahezu wirkungslos.

Um auch solche Fälle von Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen mit den geforderten Genauigkeitsanforderungen der VDI 6020 und VDI 2078 sicher berechnen zu können, lässt sich das Ersatzschaltbild für das 2-K-Modell nach Bild 3 (entsprechend VDI 6007-1) erweitern, siehe Bild 3a.

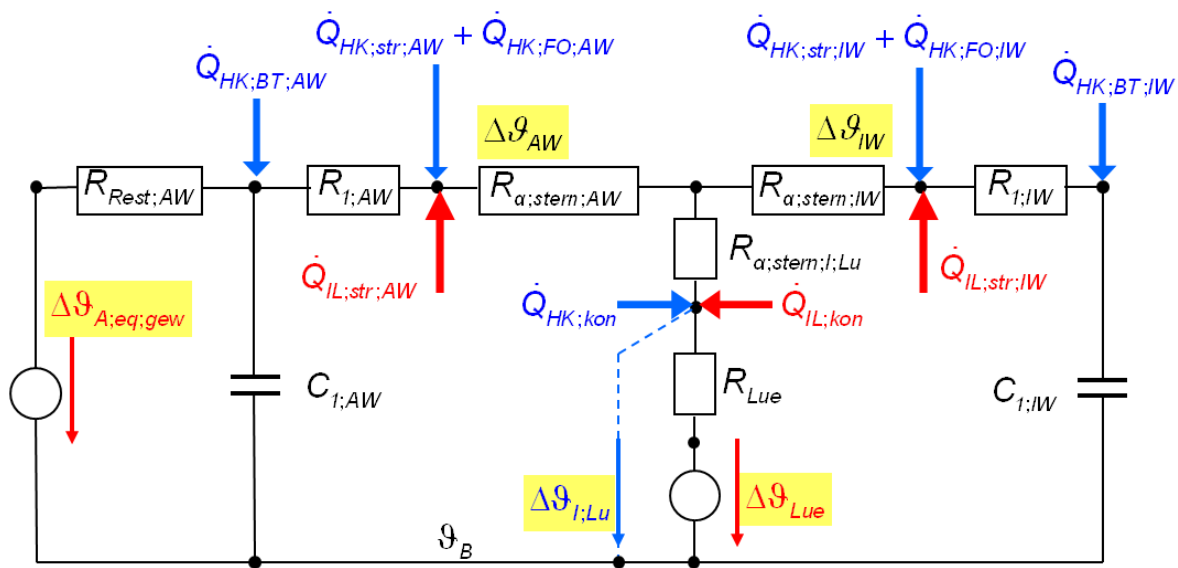


Bild 3a: Erweitertes Ersatzschaltbild für das 2-K-Modell mit differenzierter Berücksichtigung von Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen

Die Aufteilung der Heiz- und Kühllast (gesamt) $\dot{Q}_{HK;ges}$ nach Gl. (49) bis (54) muss daher differenziert werden zu:

$$\dot{Q}_{HK;kon} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;kon} \quad (49)$$

$$\dot{Q}_{HK;str;IW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;str} \cdot \frac{A_{Raum} - A_{AW}}{A_{Raum}} \quad (50a)$$

$$\dot{Q}_{HK;FO;IW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;FO;IW} \quad (50b)$$

$$\dot{Q}_{HK;BT;IW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;BT;IW} \quad (50c)$$

$$\dot{Q}_{HK;str;AW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;str} \cdot \frac{A_{AW}}{A_{Raum}} \quad (51a)$$

$$\dot{Q}_{HK;FO;AW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;FO;AW} \quad (51b)$$

$$\dot{Q}_{HK;BT;AW} = \dot{Q}_{HK;ges} \cdot \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;BT;AW} \quad (51c)$$

$\dot{Q}_{HK;kon}$ und $\dot{Q}_{HK;str}$ kennzeichnen Wärme- und Kälteeinträge, die von einem System ohne Integration in ein Bauteil direkt in den Raum eingebracht werden, z.B. Lüftungsanlagen, Konvektoren oder Radiatoren. Dazu zählen auch sich frei im Raum befindliche, stehende oder hängende Kühlflächen (auch z.B. als Kühlsegel bezeichnet) und stehende oder hängende Heizflächen.

Systeme, die in Bauteilen wie z.B. Decken, Fußböden oder Wände integriert sind, werden unterschieden nach Systemen, die an der Oberfläche eines Bauteils oder im Bauteil nahe der Oberfläche installiert sind (Index FO) und nach Systemen, die als thermische Bauteilaktivierung (auch Betonkern-Aktivierung genannt) im Kern des Bauteils installiert sind (Index BT). Nach DIN EN ISO 11855 werden derartige Systeme nunmehr als TBA (Thermische Bauteilaktivierung) bezeichnet.

Anteil_{Q;HK;kon} Konvektiver Anteil eines Systems, das sich ohne Integration in ein Bauteil im Raum befindet.

Anteil_{Q;HK;str} Strahlender Anteil eines Systems, das sich ohne Integration in ein Bauteil im Raum befindet, aufgeteilt in *Anteil_{Q;HK;str;IW}* und *Anteil_{Q;HK;str;AW}*.

Anteil_{Q;HK;FO} Anteil einer Flächenheizung bzw. Kühlung (System FO) von einem oder mehreren Bauteilen, aufgeteilt in *Anteil_{Q;HK;FO;IW}* und *Anteil_{Q;HK;FO;AW}*

Anteil_{Q;HK;BT} Anteil einer Flächenheizung bzw. Kühlung (System BT) von einem oder mehreren Bauteilen, aufgeteilt in *Anteil_{Q;HK;BT;IW}* *Anteil_{Q;HK;BT;AW}*

Diese Anteile sind Vorgaben und beziehen sich jeweils auf die gesamte Heiz- und Kühllast. Es gilt:

$$\begin{aligned} & \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;kon} + \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;str;IW} + \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;str;AW} \\ & + \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;FO;IW} + \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;FO;AW} \\ & + \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;BT;IW} + \text{Anteil}_{\dot{Q};HK;BT;AW} = 1 \end{aligned} \quad (54a)$$

Die Aufteilung der Heiz- bzw. Kühllast auf die sieben Anteile ist stundenweise getrennt für Heiz- und Kühllast vorzunehmen.

Die „Konstanten“ für das Speicherverhalten der Innenwand IW nach Tabelle 1 und die der Außenwand AW nach Tabelle 2 sind um die Kennwerte nach Tabelle 1a und Tabelle 2a erweitert.

Tabelle 1a. Zusätzliche Konstanten für das Speicherverhalten der Innenwand IW

$KO_{IW} [3;1] = 1 - \frac{(R_{\alpha;Stern;IW} + R_{1;IW}) \cdot C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})$	(69a)
$KO_{IW} [3;2] = E_{IW}$	(69b)
$KO_{IW} [3;3] = \frac{(R_{\alpha;Stern;IW} + R_{1;IW}) \cdot C_{1;IW}}{3,6} \cdot (1 - E_{IW})^2$	(69c)

Tabelle 2a. Zusätzliche Konstanten für das Speicherverhalten der Außenwand AW

$KO_{AW} [4;1] = \frac{R_{Rest;AW}}{R_{Stern;AW}} \cdot \left[1 - \frac{1}{Z_{I;AW}} \cdot (1 - E_{I;AW}) \right]$	(90a)
$KO_{AW} [4;2] = E_{I;AW}$	(90b)
$KO_{AW} [4;3] = \frac{R_{Rest;AW}}{R_{Stern;AW} \cdot Z_{I;AW}} \cdot (1 - E_{I;AW})^2$	(90c)

Außerdem sind die GL. (98), (107), (108) und (112) zu ergänzen:

$$\begin{aligned}
 F_2 = & \text{Anteil}_{Q;HK;kon} \cdot F_1 + \text{Anteil}_{Q;HK;str;AW} \cdot KO_{AW} [1;1] \\
 & + \text{Anteil}_{Q;HK;FO;AW} \cdot KO_{AW} [1;1] \\
 & + \text{Anteil}_{Q;HK;BT;AW} \cdot KO_{AW} [4;1] \\
 & + \text{Anteil}_{Q;HK;str;IW} \cdot KO_{IW} [1;1] \\
 & + \text{Anteil}_{Q;HK;FO;IW} \cdot KO_{IW} [1;1] \\
 & + \text{Anteil}_{Q;HK;BT;IW} \cdot KO_{IW} [3;1]
 \end{aligned} \tag{98a}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{IW;ges} = & \dot{Q}_{IW} [1] - \dot{Q}_{HK;str;IW} \cdot KO_{IW} [1;1] - \dot{Q}_{HK;FO;IW} \cdot KO_{IW} [1;1] \\
 & - \dot{Q}_{HK;BT;IW} \cdot KO_{IW} [3;1] + \dot{Q}_{IW} [2] - \dot{Q}_{Stern;I;Lu} \cdot R_{\alpha;Stern;IL} \cdot KO_{IW} [2;1]
 \end{aligned} \tag{107a}$$

$$\begin{aligned}
 VO_{IW;Ende} [1] = & VO_{IW;Anfang} [1] \cdot KO_{IW} [1;2] + KO_{IW} [1;3] \cdot \dot{Q}_{IL;str;IW} \\
 & + KO_{IW} [1;3] \cdot \dot{Q}_{HK;str;IW} + KO_{IW} [1;3] \cdot \dot{Q}_{HK;FO;IW} \\
 & + KO_{IW} [3;3] \cdot \dot{Q}_{HK;BT;IW}
 \end{aligned}
 \tag{110a}$$

$$\begin{aligned}
 VO_{AW;Ende} [1] = & VO_{AW;Anfang} [1] \cdot KO_{AW} [1;2] + KO_{AW} [1;3] \cdot \dot{Q}_{IL;str;AW} \\
 & + KO_{AW} [1;3] \cdot \dot{Q}_{HK;str;AW} + KO_{AW} [1;3] \cdot \dot{Q}_{HK;FO;AW} \\
 & + KO_{AW} [4;3] \cdot \dot{Q}_{HK;BT;AW}
 \end{aligned}
 \tag{112a}$$

Anmerkung: Bei der Berechnung von Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen ist die Vorgabe und Berücksichtigung der verfügbaren Heiz- bzw. Kühlleistung je 10K Temperaturdifferenz zwischen der sich einstellenden Raumtemperatur und der (wirksamen) Systemtemperatur erforderlich.

Validierung des erweiterten 2-Kapazitäten-Modells mit differenzierter Berücksichtigung von Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen entsprechend der Vorgaben der VDI 6020 und VDI 2078

Zur Validierung der beiden Versionen des 2-Kapazitäten-Modells für den Fall unterschiedlicher Flächenheiz- und Flächenkühlsysteme eignet sich als Basisfall das Testbeispiel 3.1 und Testbeispiel 14 der VDI 2078 (identisch auch in VDI 6020 enthalten). Die detaillierte Beschreibung einschließlich der Wandaufbauten und Materialien ist den angebenen Richtlinien zu entnehmen. Verwiesen wird in diesem Zusammenhang auch auf die Eingabelisten auf der zur jeweiligen Richtlinie gehörenden CD.

Übersicht der Testbeispiele	
Testbeispiel 3.1	Kühlsystem ist an bzw. nahe der Oberfläche zum Raum installiert.
Testbeispiel 3.2	In diesem Zusammenhang nicht enthalten (Testbeispiel 3.2 ist bereits in VDI 2078 und VDI 6020 für den Test mit einer Lüftungsanlage belegt.)
Testbeispiel 3.3 und 3.4	Das Kühlsystem ist im Betonkern eingebaut.
Testbeispiel 14	Kühlsystem ist an bzw. nahe der Oberfläche zum Raum installiert.
Testbeispiel 14.1	Das Kühlsystem ist im Betonkern eingebaut.

Testbeispiel 3

Berechnung der erforderlichen Kühllast sowie Tagesgang von Raumluft- und operativer Temperatur bei begrenzter Leistung (Einpunktregelung, Regler ohne P-Bereich, maximale Leistung abhängig von der Raumtemperatur) und Vorgabe einer maximalen Raumlufttemperatur von maximal 26 °C.

Testbeispiel 3.1:

Kühlung des Raums mittels einer Kühldecke (keine mechanische Lüftung). Das Kühlsystem ist an bzw. nahe der Oberfläche zum Raum installiert.

- Grundluftwechsel (personenbedingt) durch Fensteröffnen/Fensterkippen.
- Kein zusätzlicher Fensterluftwechsel, wenn es im Raum zu warm wird.

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

- Begrenzung der installierten Kühlfläche so, dass die Raumlufttemperatur den Wert von mal 26 °C nicht überschreitet.
- Verfügbare spez. Kühlleistung:
 100 W/m^2 bezogen auf 10 K Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und mittlerer Systemtemperatur
- Tägliche Betriebsdauer der Kühlung 12 h

Es sind 4 Varianten vorgegeben:

- Raum-Typ M: abgehängte Decke mit Schalldämmung von 20 mm
- Raum-Typ S: geputzte Betondecke
- Außenklima von Hamburg
- Außenklima von Mannheim

Die Randbedingungen der 4 Varianten des Testbeispiels 3.1 bieten sich auch für die Validierung der beiden 2-Kapazitäten-Modelle für den Fall der thermischen Bauteilaktivierung (Betonkernaktivierung) an. Dafür werden die Testbeispiel 3.3 und 3.4 hier neu eingeführt (nicht VDI 2078 bzw. in VDI 6020 enthalten)

Anmerkung: Das Testbeispiel Nr. 3.2 ist bereits in VDI 2078 und VDI 6020 für den Test mit einer Lüftungsanlage belegt. Daher wird diese Nr. hier nicht benutzt.

Testbeispiel 3.3:

Wie Testbeispiel 3.1, jedoch:

Das Kühlsystem ist im Betonkern eingebaut. Dadurch verringert sich die spez. verfügbare Kühlleistung auf:

- Raum-Typ M: $11,4\text{ W/m}^2$ bezogen auf 10 K
- Raum-Typ S: 56 W/m^2 bezogen auf 10 K

Der Deckenaufbau des Raum-Typs M eignet sich zwar in der Praxis nicht für eine thermische Bauteilaktivierung, ist aber als „Exot“ interessant für die Validierung.

Die Deckenfläche vom Raum-Typ M reicht auf Grund der sehr geringen verfügbaren Kühlleistung nicht aus, um die Raumlufthtemperatur auf max. 26°C zu begrenzen (bei Betriebszeit von 12 H/d). Entsprechendes gilt auch für den Raum Typ S für den Standort Mannheim. Daher wird ein weiteres Testbeispiel 3.4 berücksichtigt.

Testbeispiel 3.4:

Wie Testbeispiel 3.3, jedoch:

Betriebszeit des Kühlsystems bis auf 24 h/d verlängert.

- Raum vom Typ M: 24 h/d
- Raum vom Typ S: 13 bis 15 h/d

Testbeispiel 14:

Kühlung des Raums mittels einer Kühldecke (keine mechanische Lüftung). Das Kühlsystem ist an bzw. nahe der Oberfläche zum Raum installiert.

- Grundluftwechsel (personenbedingt) durch Fensteröffnen/Fensterkippen.
- Kein zusätzlicher Fensterluftwechsel, wenn es im Raum zu warm wird.

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

Begrenzung der installierten Kühlfläche so, dass die Raumlufthtemperatur den Wert von mal 26 °C nicht überschreitet.

- Verfügbare spez. Kühlleistung: 100 W/m² bezogen auf 10 K Temperaturdifferenz zwischen Raumlufth und mittlerer Systemtemperatur
- Tägliche Betriebsdauer der Kühlung 12 h

Die Raumdecke (Zwischengeschoß) ist eine Betondecke ohne Schallschutzmaßnahmen auf der Unterseite.

Als Außenklima ist das Testreferenzjahr TRY5 Würzburg (DWD 1985) vorgegeben.

Die Randbedingungen des Testbeispiels 14 bieten sich auch für die Validierung der beiden 2-Kapazitäten-Modelle für den Fall der thermischen Bauteilaktivierung (Betonkernaktivierung) an. Daher wird ein Testbeispiel 14.1 abgeleitet.

Testbeispiel 14.1:

Wie Testbeispiel 14, jedoch ist das Kühlsystem im Betonkern eingebaut.

Dadurch verringert sich die spez. verfügbare Kühlleistung auf:

Verfügbare spez. Kühlleistung: 73 W/m² bezogen auf 10 K

Bewertung und Vergleich der Berechnungsergebnisse

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 3 ist der Ergebnisvergleich für die Testbeispiele 3.1, 3.3 und 3.4 sowie 14 und 14.1 nach den Vorgaben der VDI 6020 vorgenommen.

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

Für die Testbeispiele 3.1 und 14 gibt es keine Unterschiede, da beide 2-K-Modelle hierfür nach dem gleichen Algorithmus rechnen.

Beim Testbeispiel 3.3 und 3.4 sowie 14.1 sind die Ergebnisse mit dem erweiterten 2-Kapazitäten-Modell nach Bild 3a genauer als die Ergebnisse des 2-Kapazitäten-Modells nach Bild 3 VDI 6007-1.

Beim 2-Kapazitäten-Modell nach VDI 6007-1 gibt es für den Testfall 3.4 (Variante Raum Typ S, Außenklima Mannheim) eine Überschreitung der Validierungsgrenzen. Ursache ist die rechnerisch unterschiedliche erforderliche Betriebszeit für die Kühlung abhängig vom Berechnungsmodell zur Einhaltung der vorgegebenen Testbedingungen. Wie Diagramm C1.2 unten zeigt, sind die Unterschiede während der Nutzungszeit jedoch unerheblich.

Tabelle 3: Validierung der beiden 2-Kapazitäten-Modelle für Systeme mit Flächenheizung / -kühlung

Testbeispiele 3.1, 3.3, 3.4, 14 und 14.1 :
Validierung entsprechend den Vorgaben der VDI 6020

Auswertung der Ergebnisse nach dem nicht differenzierten 2-K-Modell der VDI 6007-1 (nach Bild 3) und nach dem erweiterten 2-K-Modell der VDI 6007-1 (nach Bild 3a) im Vergleich zu dem Referenzverfahren nach VDI 6020 (n-K-Modell)

	Vergleich 2-K-Modell nach VDI 6007-1 zu VDI 6020; nicht differenziertes Modell nach Bild 3			Vergleich 2-K-Modell nach VDI 6007-1 zu VDI 6020; differenziertes Modell nach Bild 3a		
	RAUM-LUFTTEMP. °C	OPERAT. TEMP. °C	HEIZLAST KUEHLLAST Watt	RAUM-LUFTTEMP. °C	OPERAT. TEMP. °C	HEIZLAST KUEHLLAST Watt
Tesstbeispiel 3.1 - M HH CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,23	-0,23	-40,7	-0,23	-0,23	-40,7
Standardabweichung der Abweichung	0,30	0,32	53,5	0,30	0,32	53,5
Tesstbeispiel 3.1 - S HH CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,01	0,00	-4,8	-0,01	0,00	-4,8
Standardabweichung der Abweichung	0,10	0,10	13,3	0,10	0,10	13,3
Tesstbeispiel 3.3 - M HH CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,11	-0,12	1,4	0,10	0,10	-3,6
Standardabweichung der Abweichung	0,27	0,26	6,2	0,35	0,35	6,7
Tesstbeispiel 3.3 - S HH CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	0,20	0,19	29,3	0,08	0,08	4,2
Standardabweichung der Abweichung	0,27	0,26	53,2	0,12	0,11	22,5
Tesstbeispiel 3.4 - M HH CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,41	-0,41	9,4	-0,01	-0,01	0,9
Standardabweichung der Abweichung	0,34	0,34	12,4	0,35	0,34	12,3
Tesstbeispiel 3.1 - M MA CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,17	-0,17	-35,4	-0,17	-0,17	-35,4
Standardabweichung der Abweichung	0,31	0,31	51,5	0,31	0,31	51,5
Tesstbeispiel 3.1 - S MA CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,04	-0,03	-6,5	-0,04	-0,03	-6,5
Standardabweichung der Abweichung	0,11	0,11	13,0	0,11	0,11	13,0
Tesstbeispiel 3.3 - M MA CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,18	-0,18	3,3	0,12	0,13	-3,6
Standardabweichung der Abweichung	0,31	0,31	6,2	0,38	0,36	6,4
Tesstbeispiel 3.3 - S MA CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,04	-0,04	19,4	-0,01	-0,01	1,3
Standardabweichung der Abweichung	0,38	0,36	24,5	0,10	0,10	7,8
Tesstbeispiel 3.4 - M MA CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	-0,65	-0,66	13,7	-0,09	-0,09	-8,5
Standardabweichung der Abweichung	0,37	0,36	7,7	0,37	0,36	9,0
Tesstbeispiel 3.4 - S MA CDD						
gemeinsame Auswertung April bis Sept.: Mittelwert der Abweichung	0,12	0,11	47,1	-0,03	-0,03	0,0
Standardabweichung der Abweichung	0,42	0,40	150,4	0,10	0,10	17,5
Tesstbeispiel 14 TRY						
gemeinsame Auswertung 1.1. bis 31.12.: Mittelwert der Abweichung	0,06	0,06	-0,1	0,06	0,06	-0,1
Standardabweichung der Abweichung	0,10	0,11	20,5	0,10	0,11	20,5
Tesstbeispiel 14.1 TRY						
gemeinsame Auswertung 1.1. bis 31.12.: Mittelwert der Abweichung	0,10	0,10	0,5	0,05	0,05	-0,1
Standardabweichung der Abweichung	0,18	0,18	42,1	0,09	0,10	30,8
Vergleich 2-K-Modell nach VDI 6007-1 zu VDI 6020; nicht differenziertes Modell nach Bild 3						
Tesstbeispiele 3.3, 3.4 und 14.1 Maximum aller Varianten						
gemeinsame Auswertung April bis Sept Mittelwert (Absolutwert) der Abweichung	0,65	0,66	47,1	0,12	0,13	8,5
Standardabweichung der Abweichung	0,42	0,40	150,4	0,38	0,36	30,8
Validierungs-Grenzbedingung						
Mittelwert (Absolutwert) der Abweichung	< 1,00	< 1,00	< 50,0	< 1,00	< 1,00	< 50,0
Standardabweichung der Abweichung	< 1,50	< 1,50	< 60,0	< 1,50	< 1,50	< 60,0

In den Diagrammen C1.1. bis C1.5 ist ein grafischer Vergleich der Berechnungsergebnisse für die Testbeispiele 3.1, 3.3 und 3.4 sowie 14 und 14.1 vorgenommen.

Für die Testbeispiele 3.1 bis 3.4 ist für den Cooling Design Day (CDD) im Juli und für die Testbeispiele 14 und 14.1 ist für den 02. September im TRY

- jeweils der Tagesgang von
- Raumlufttemperatur und
- Kühllast

dargestellt.

Die einzelnen Bilder unterscheiden sich in:

Diagramm C1.1: Raum-Typ M	CDD Außenklima von Mannheim
Diagramm C1.2: Raum-Typ S	CDD Außenklima von Mannheim
Diagramm C1.3: Raum-Typ M	CDD Außenklima von Hamburg
Diagramm C1.4: Raum-Typ S	CDD Außenklima von Hamburg
Diagramm C1.5: Typraum S	TRY5 Würzburg

Charakteristik der Testbeispiele (Kurzübersicht):

Testbeispiel 3.1:	Deckenkühlsystem an oder nahe der Oberfläche zum Raum installiert (Betriebszeit 12 h je Tag)
Testbeispiel 3.2:	In diesem Zusammenhang nicht enthalten (Testbeispiel 3.2 ist bereits in VDI 2078 und VDI 6020 für den Test mit einer Lüftungsanlage belegt.)
Testbeispiel 3.3:	Deckenkühlsystem im Betonkern eingebaut – thermische Bauteilaktivierung (Betriebszeit 12 h je Tag)
Testbeispiel 3.4:	Deckenkühlsystem im Betonkern eingebaut – thermische Bauteilaktivierung (Betriebszeit verlängert – bis 24 h je Tag)
Testbeispiel 14:	Deckenkühlsystem an oder nahe der Oberfläche zum Raum installiert (Betriebszeit 12 h je Tag)
Testbeispiel 14.1:	Deckenkühlsystem im Betonkern eingebaut - thermische Bauteilaktivierung (Betriebszeit 12 h je Tag)

Die Kenndaten für das Kühldeckensystem bei den Testbeispielen abhängig vom Berechnungsmodell sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Überblick über die Kenndaten für das Kühldeckensystem bei den Testbeispielen abhängig vom Berechnungsmodell

Test-Berechnung	Raum Typ	Außen-klima	Berechnungsmodell	spez. Kühlleistung	verfügbare Kühlleistung	aktive Kühlfläche	Betriebsstunden
				W/m ² je 10K	W je 10K	m ²	
3.1	M	MA CDD	nKM (Ref.Verf)	100	1.080	10,80	12
			2KM (Bild 3)	100	1.180	11,80	12
			2KM (Bild 3a-FO)	100	1.180	11,80	12
3.3	M	MA CDD	nKM (Ref.Verf)	11,4	209	18,75	12
			2KM (Bild 3)	11,4	209	18,75	12
			2KM (Bild 3a-BT)	11,4	209	18,75	12
3.4	M	MA CDD	nKM (Ref.Verf)	11,4	209	18,75	24
			2KM (Bild 3)	11,4	209	18,75	24
			2KM (Bild 3a-BT)	11,4	209	18,75	24
3.1	S	MA CDD	nKM (Ref.Verf)	100	1.100	11,00	12
			2KM (Bild 3)	100	1.110	11,10	12
			2KM (Bild 3a-FO)	100	1.110	11,10	12
3.3	S	MA CDD	nKM (Ref.Verf)	56	1.050	18,75	12
			2KM (Bild 3)	56	1.050	18,75	12
			2KM (Bild 3a-BT)	56	1.050	18,75	12
3.4	S	MA CDD	nKM (Ref.Verf)	56	1.050	18,75	15
			2KM (Bild 3)	56	1.050	18,75	13
			2KM (Bild 3a-BT)	56	1.050	18,75	15
3.1	M	HH CDD	nKM (Ref.Verf)	100	680	6,80	12
			2KM (Bild 3)	100	810	8,10	12
			2KM (Bild 3a-FO)	100	810	8,10	12
3.3	M	HH CDD	nKM (Ref.Verf)	11,4	209	18,75	12
			2KM (Bild 3)	11,4	209	18,75	12
			2KM (Bild 3a-BT)	11,4	209	18,75	12
3.4	M	HH CDD	nKM (Ref.Verf)	11,4	209	18,75	24
			2KM (Bild 3)	11,4	209	18,75	24
			2KM (Bild 3a-BT)	11,4	209	18,75	24
3.1	S	HH CDD	nKM (Ref.Verf)	100	650	6,50	12
			2KM (Bild 3)	100	660	6,60	12
			2KM (Bild 3a-FO)	100	660	6,60	12
3.3	S	HH CDD	nKM (Ref.Verf)	56	745	13,30	12
			2KM (Bild 3)	56	645	11,50	12
			2KM (Bild 3a-BT)	56	720	12,90	12
14	Typraum M	TRY5	nKM (Ref.Verf)	100	1.150	11,50	12
			2KM (Bild 3)	100	1.150	11,50	12
			2KM (Bild 3a-FO)	100	1.150	11,50	12
14.1	Typraum M	TRY5	nKM (Ref.Verf)	73	1.168	16,00	12
			2KM (Bild 3)	73	1.168	16,00	12
			2KM (Bild 3a-BT)	73	1.168	16,00	12

Vergleich der Berechnungsergebnisse

Die Abkürzungen in den Legenden der Diagramme C1.1 bis C1.5 bedeuten:

nKM:	n-Kapazitäten-Modell	Alle Testbeispiele: Referenzverfahren nach VDI 6020
2KM:	2-Kapazitäten-Modell	<p>Testbeispiele 3.1 und 14 (Flächenkühlsystem, das an der Oberfläche eines Bauteils oder im Bauteil nahe der Oberfläche installiert ist):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse nach Bild 3 (nicht differenzierendes Berechnungsverfahren) • Ergebnisse nach Bild 3a - FO (differenzierendes Berechnungsverfahren) <p>Die Berechnungsergebnisse beider Berechnungsverfahren sind für diese Art von Flächenkühlsystemen identisch</p>
2KM-A: 2KM-B	2-Kapazitäten-Modell Kapazitäten-Modell	<p>Testbeispiele 3.3, 3.4 und 14.1 (Flächenkühlsystem, das als thermische Bauteilaktivierung ist als thermische Bauteilaktivierung (auch Betonkernaktivierung genannt) im Kern des Bauteils installiert ist)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse nach Bild 3 (nicht differenzierendes Berechnungsverfahren) • Ergebnisse nach Bild 3a - BT (differenzierendes Berechnungsverfahren) <p>Die Berechnungsergebnisse beider Berechnungsverfahren unterscheiden sich für diese Art von Flächenkühlsystemen</p>

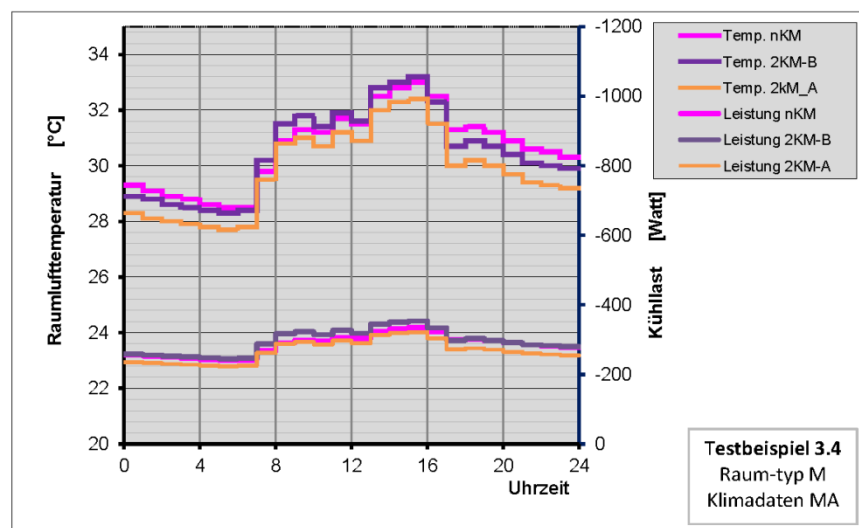
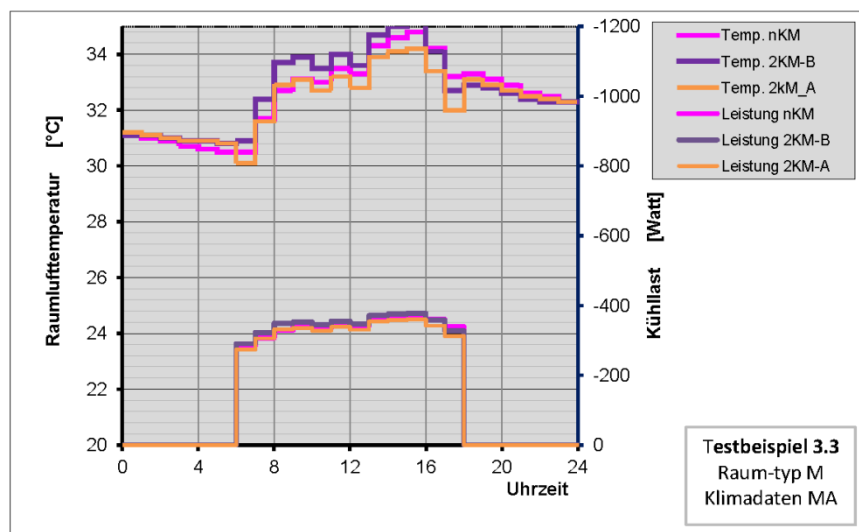
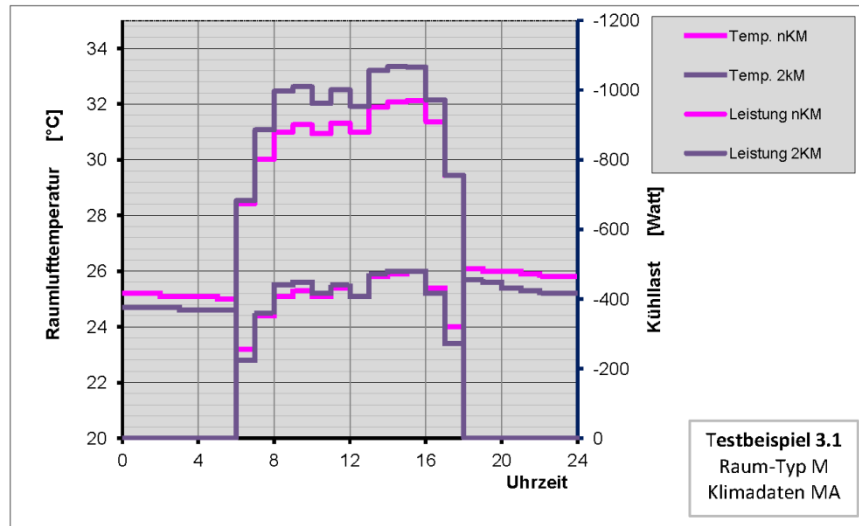


Diagramm C1.1: Vergleich der Berechnungsergebnisse
Cooling Design Day (CDD) Juli
Raum-Typ M
Außenklima Mannheim

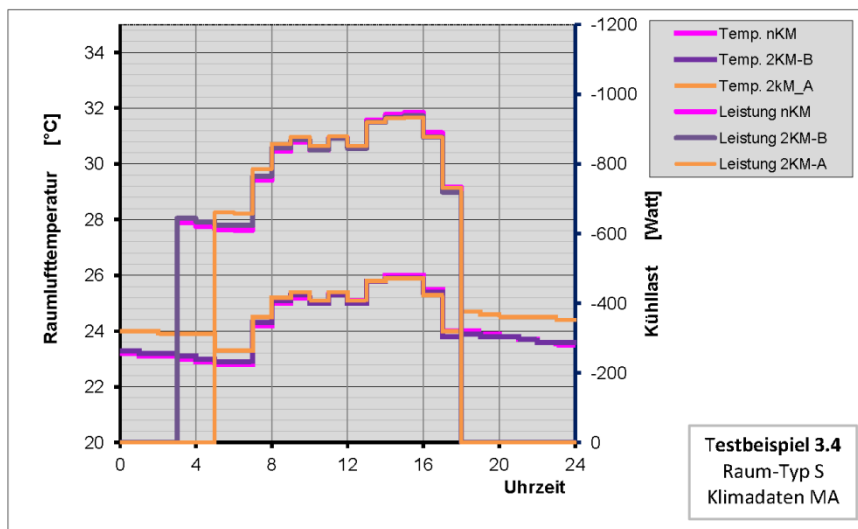
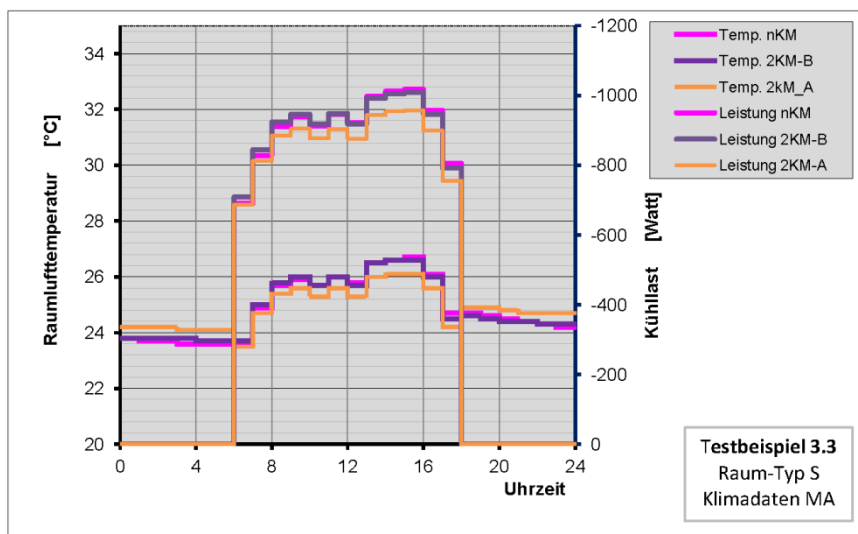
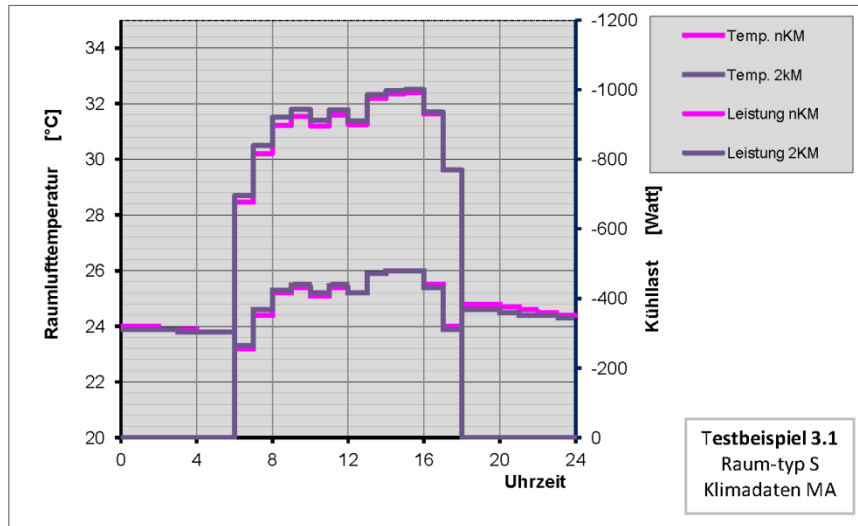


Diagramm C1.2: Vergleich der Berechnungsergebnisse
Cooling Design Day (CDD) Juli
Raum-Typ S
Außenklima Mannheim

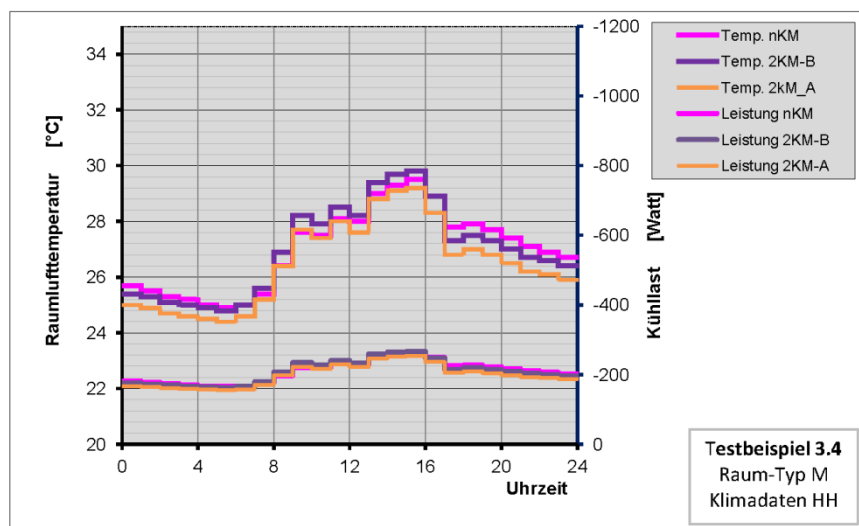
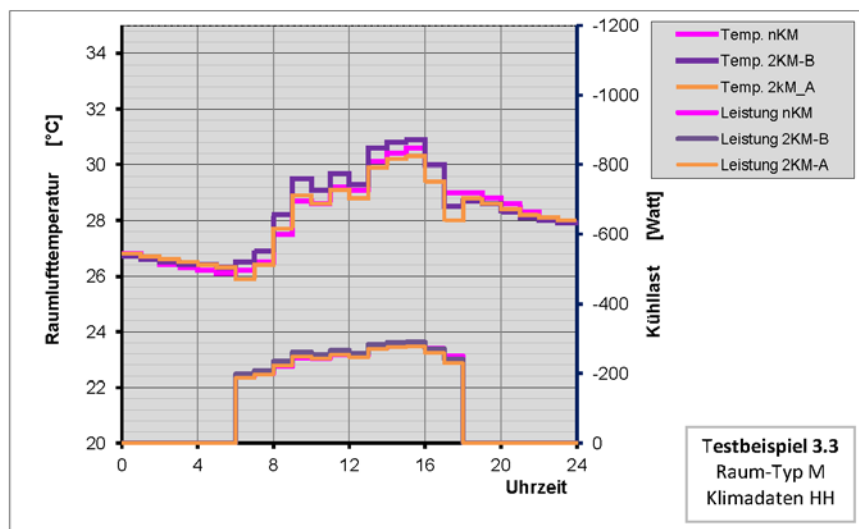
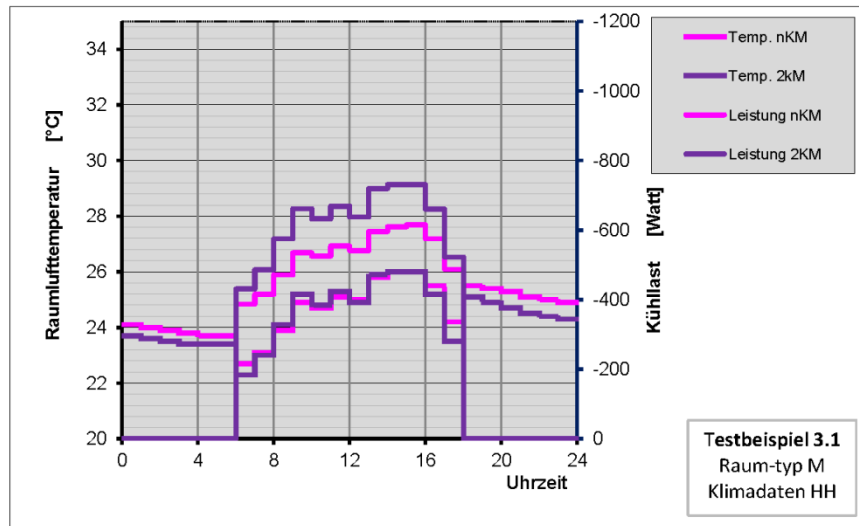


Diagramm C1.3: Vergleich der Berechnungsergebnisse
Cooling Design Day (CDD) Juli
Raum-Typ M
Außenklima Hamburg

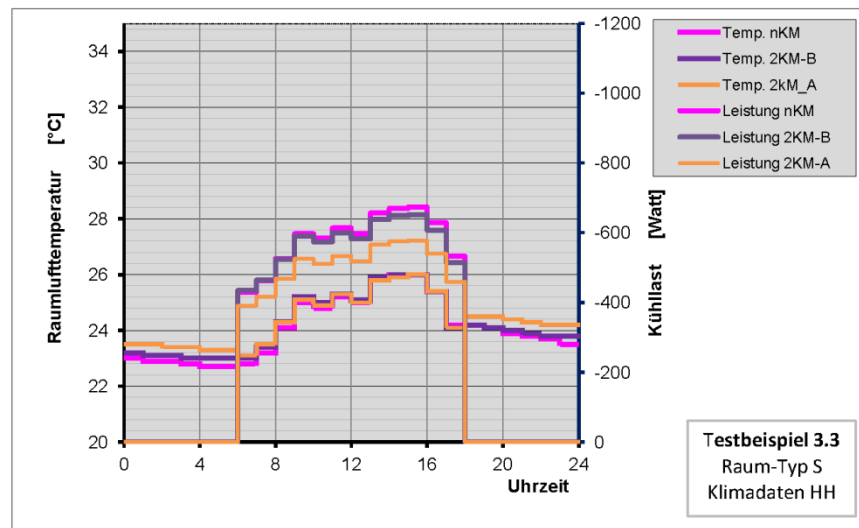
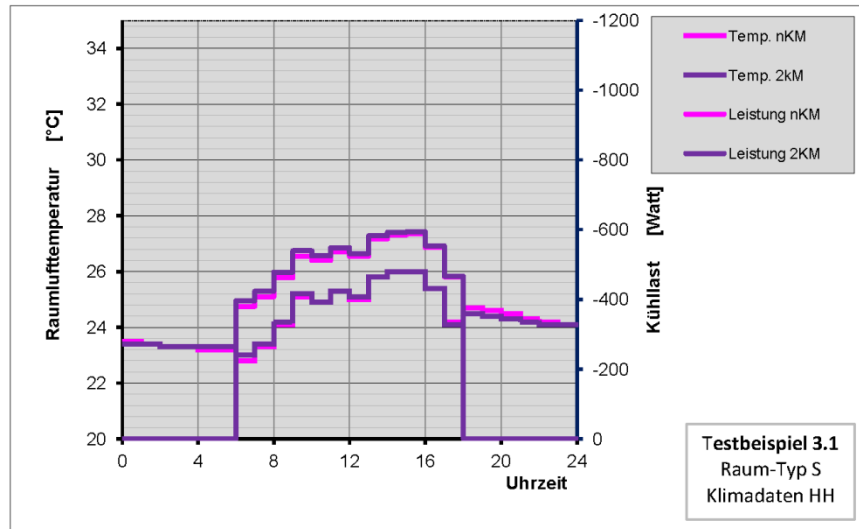


Diagramm C1.4: Vergleich der Berechnungsergebnisse
Cooling Design Day (CDD) Juli
Raum-Typ S
Außenklima Hamburg

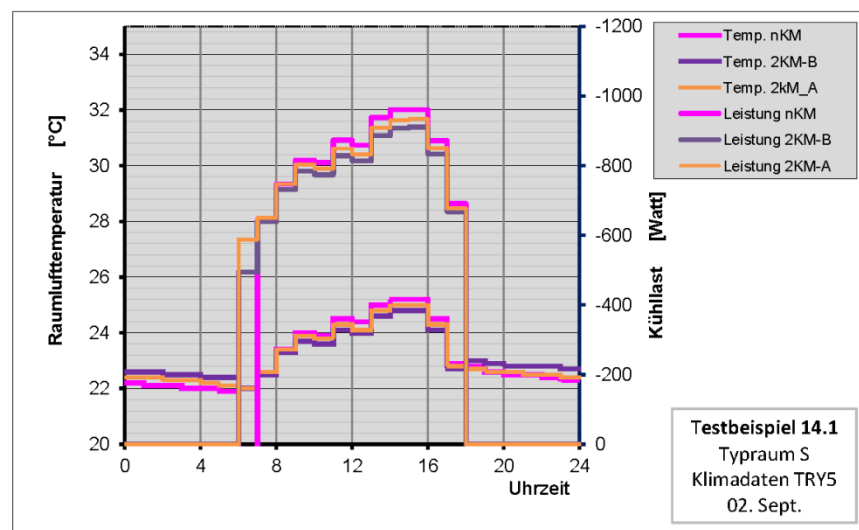
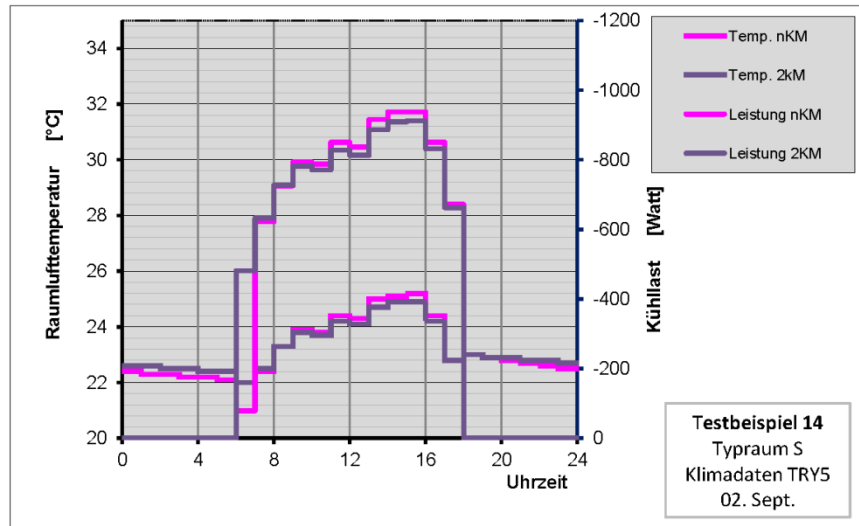


Diagramm C1.5: Vergleich der Berechnungsergebnisse
 TRY5 Würzburg (DWD 1985)
 Tyraum S
 02. September