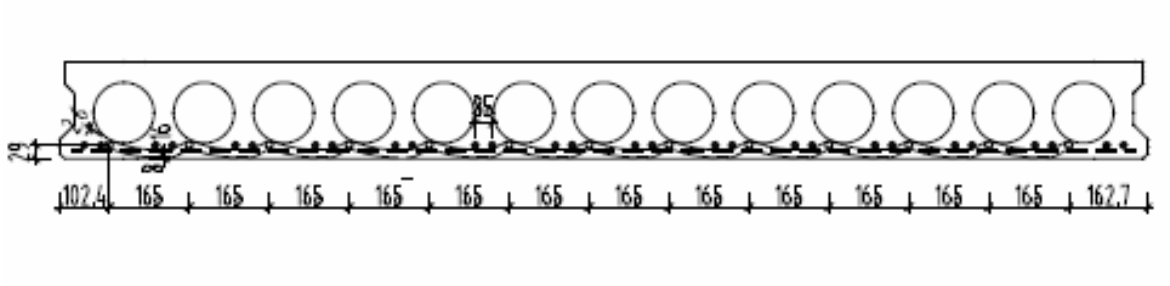
Bericht Nr. H.0804.P.506.DEN

Wärmetechnische Untersuchungen an thermisch aktiven Bauteilen (TAB)

Typ: DX-Decke mit Heiz- / Kühlrohren

Auftragnehmer: HLK Stuttgart GmbH
Pfaffenwaldring 6A
70550 Stuttgart

Auftraggeber: VEIT DENNERT KG
Baustoffbetriebe
96132 Schlüsselfeld



Stuttgart, den 3.04.2008

Prof. Dr.-Ing. M. Schmidt **Dr.-Ing. Chr. Beck**

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

Inhalt:

1 Auftrag Seite 3

2 Verwendete Unterlagen Seite 3

3 Ergebnisse Seite 4

4 Anhang Seite 4

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

1 Auftrag

Der Auftraggeber bitte um eine messtechnische Ermittlung der Leistung von thermisch aktiven Bauteilen (TAB) im Heiz- und Kühlfall.

Die Prüfungen werden experimentell in einer Prüfeinrichtung nach der Prüfnorm EN 1264 (Prüfung von Fußbodenheizungen - Plattenapparat) durchgeführt.

2 Verwendete Unterlagen

- DIN EN 1264-2 „Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung“
- Herstellerunterlagen zum Systemaufbau

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

3 Ergebnisse

Der folgende Typ wird untersucht (experimentelle Prüfung):

<u>DX Decke mit Heiz- / Kühlrohren:</u>

Bild 1 zeigt den Querschnitt durch die untersuchte Decke. Die Decke (Beton) ist gekennzeichnet dadurch, dass im inneren Hohlräume vorhanden sind, welche das Gewicht und somit auch die thermische Trägheit reduzieren. An der Unterseite befinden sich die Rohre für den Heiz- bzw. Kühlbetrieb (Bild 2).

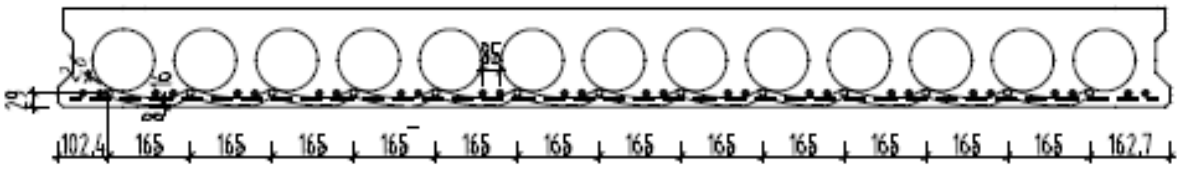


Bild 1: Prüfling Querschnitt DX-Decke mit Heiz- / Kühlrohren

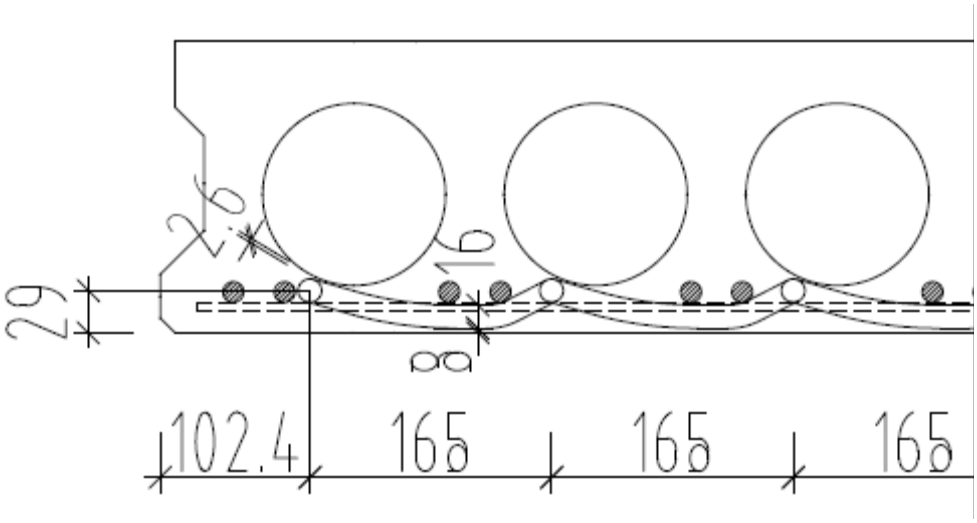


Bild 2: Prüfling Querschnitt Detail: Lage der Rohre

Die Rohre sind oberflächennah angeordnet, was den Wärmefluß zwischen Oberfläche- und Rohr begünstigt. Der Abstand der Rohre beträgt dabei RA: 165mm. Die Rohre selbst sind aus Kunststoff (PE, 16mm x 2mm) und werden an der Oberseite aus dem Prüfling herausgeführt.

Bild 3 zeigt nun die Prüfanordnung im Plattenapparat nach EN 1264-2. Der Prüfling wird für die Prüfung mit der Unterseite nach oben aufgelegt. Dies ist deswegen erforderlich, da der äußere Wärmeübergang (Strahlung und Konvektion) bei diesem Prüfverfahren durch verschiedene Wärmeleitwiderstände aufgeprägt wird. Im Kühlfall beträgt dieser Wert 11 W/m²K; für den Heizfall werden 6 W/m²K verwendet. Die thermisch aktive Seite muss daher zwischen den Messungen zugänglich sein und daher wird die Prüfung in der beschriebenen - um-

gedrehten – Anordnung durchgeführt. Da im Prüfverfahren lediglich Wärmeleitvorgänge auftreten ist keine Richtungsabhängigkeit gegeben und das Drehen des Prüflings ohne Einfluss auf dessen Leistung.

Weiterhin erkennbar sind in Bild 3 die 2 x 20 Temperaturfühler an der thermisch aktiven Oberfläche. Mit diesen wird die mittlere Oberflächentemperatur bestimmt und somit die Leistung berechnet.

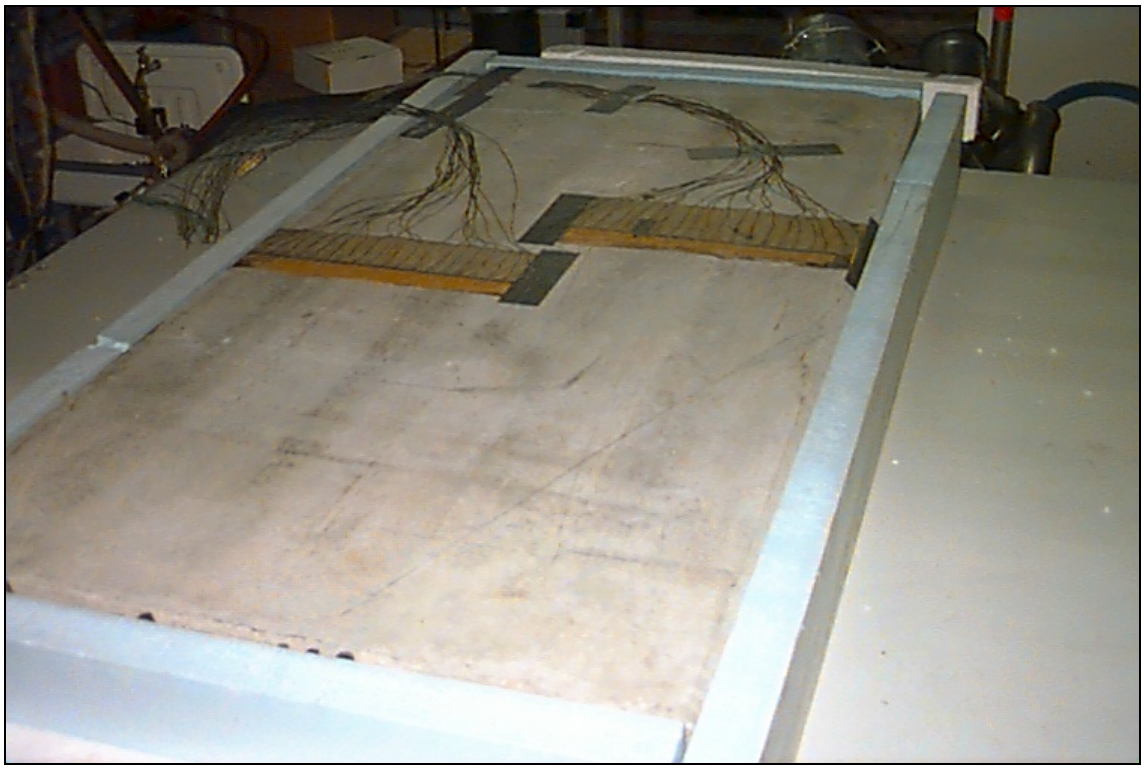


Bild 3: Prüfanordnung Plattenapparat

Der Plattenapparat wird ergänzend zu Bild 3 nach oben hin noch geschlossen. Der obere Raum (bzw. der untere Raum) wird durch eine wasserdurchströmte Platte simuliert. Im Heizfall wird diese auf ca. 20°C temperiert; im Kühlfall analog auf ca. 26°.

Bild 4 zeigt die Ergebnisse der Prüfungen in graphischer Form. Die drei Einzelmesspunkte ergeben eine Betriebskennlinie für das System. Die Gleichung dieser Kennlinie ist

$$Q = 6{,}3146 * \Delta T$$

Die Nennkühlleistung für eine Temperaturdifferenz von $\Delta T = 8K$ beträgt 51 W/m². Die Einzelmesswerte finden sich im Anhang dieses Berichtes wieder.

Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

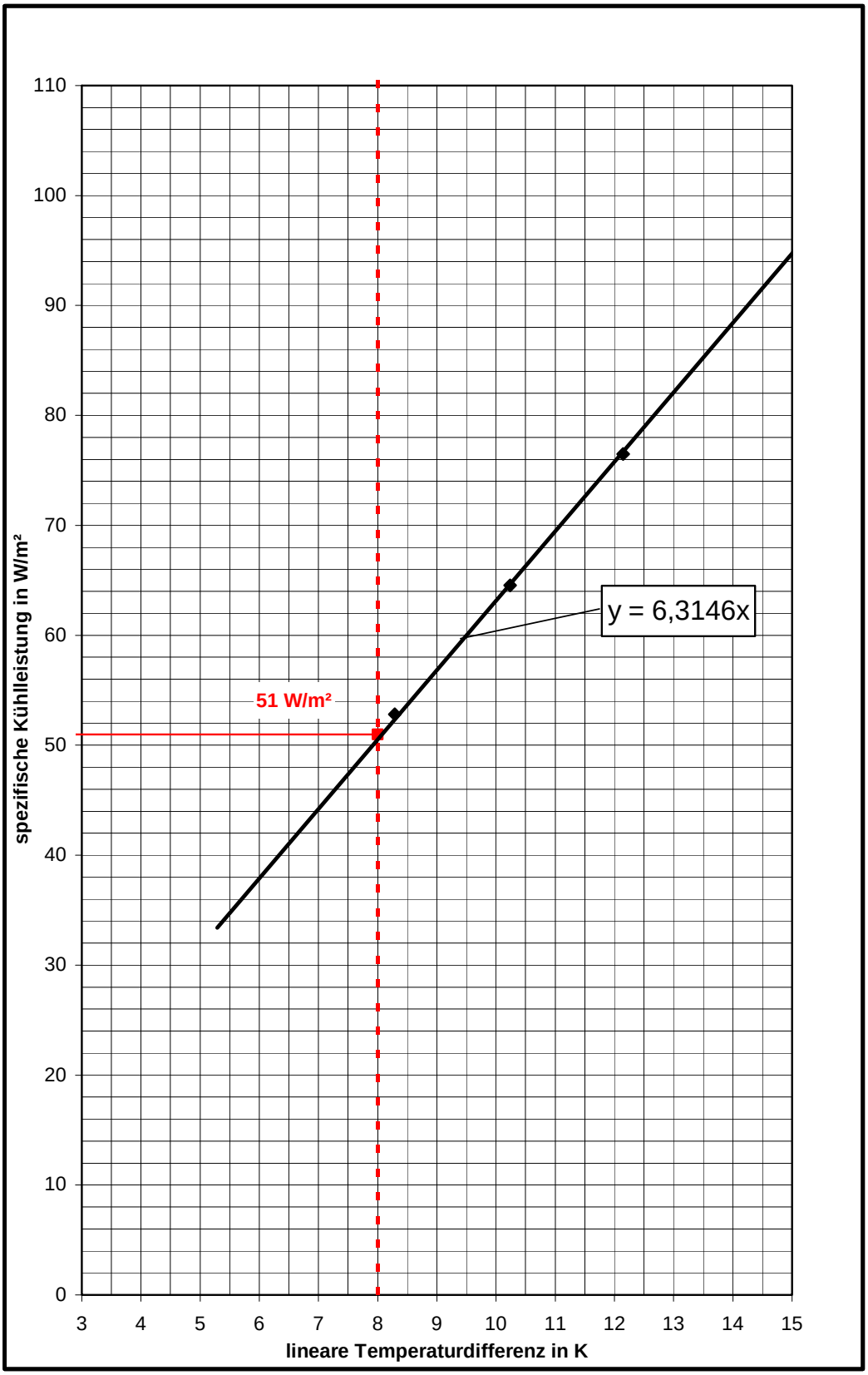


Bild 4: Ergebnisse der Messungen, Deckenelement DX - Kühlfall

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

Bild 5 zeigt den Verlauf der Oberflächentemperatur an der Decke für die drei betrachteten Einzelmesspunkte.

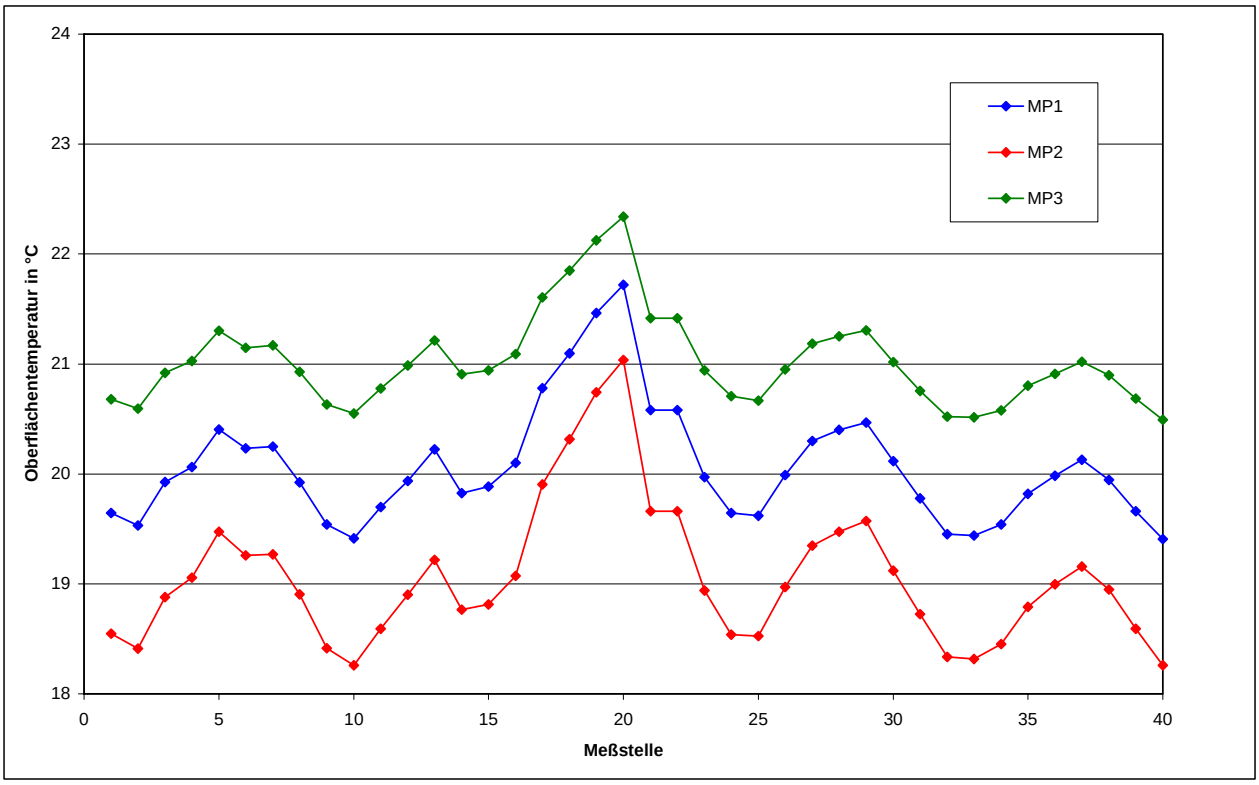


Bild 5: Ergebnisse der Messungen, Oberflächentemperaturen auf Prüfling

Im Heizfall werden ebenfalls drei Einzelmesspunkte betrachtet. Bild 6 zeigt die Ergebnisse dieser Messungen sowie die Betriebskennlinie für den Heizfall.

Die drei Einzelmesspunkte ergeben wieder eine Betriebskennlinie für das System. Die Gleichung dieser Kennlinie ist

$$Q = 3{,}5904 * \Delta T$$

Die Nennleistung für eine Temperaturdifferenz von $\Delta T = 8K$ beträgt 28 W/m². Die Einzelmesswerte finden sich ebenfalls im Anhang dieses Berichtes wieder.

Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

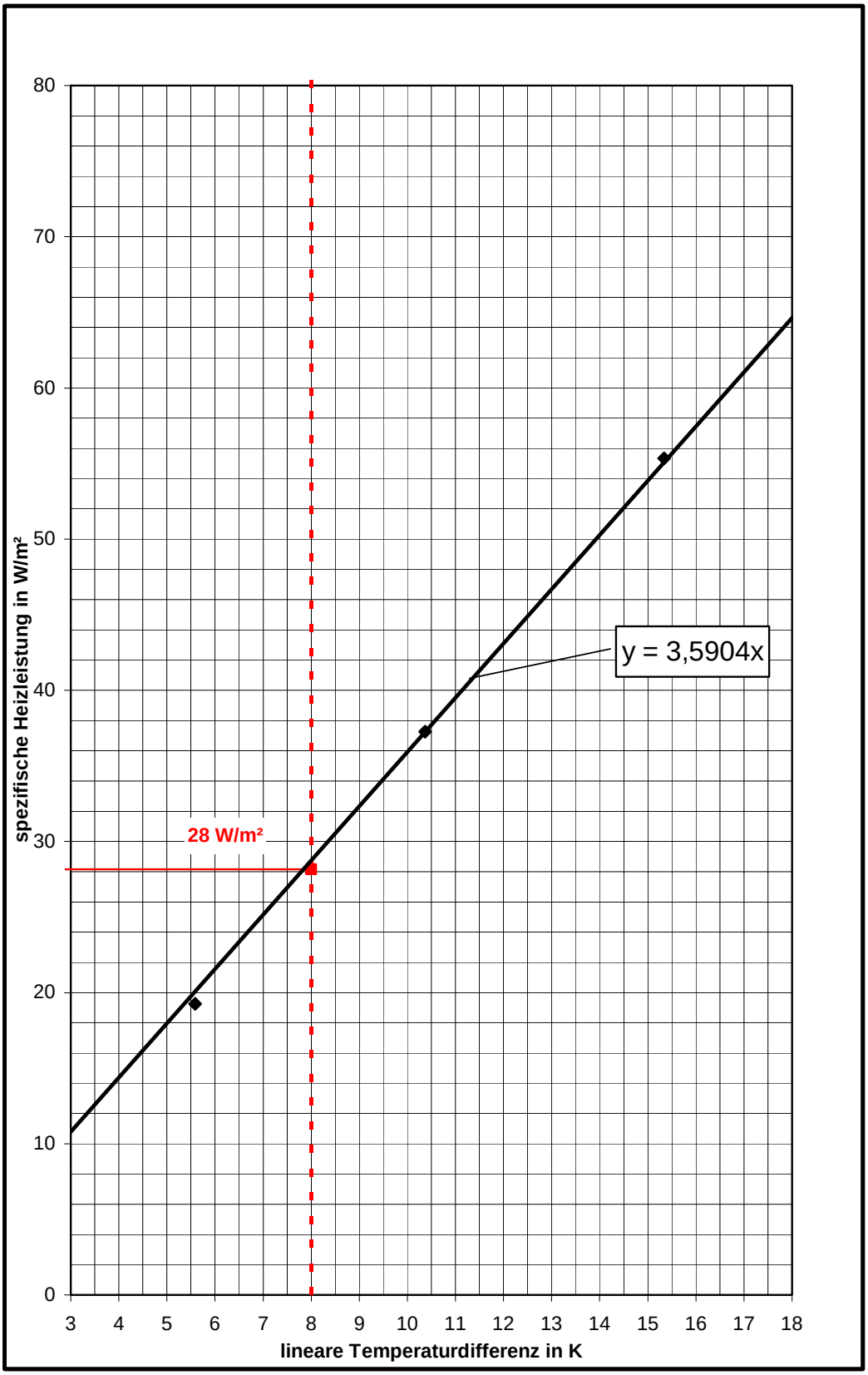


Bild 6: Ergebnisse der Messungen, Deckenelement DX - Heizfall

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

Neben diesen stationären Prüfungen werden zusätzlich Messungen durchgeführt, mit denen das dynamische Verhalten der Kühl- / Heizdecke beurteilt werden kann.

Hierfür wird der Ein- bzw. Abschaltvorgang im Kühlfall betrachtet.

Bild 7 zeigt den Verlauf der Temperaturen für den Einschaltvorgang.

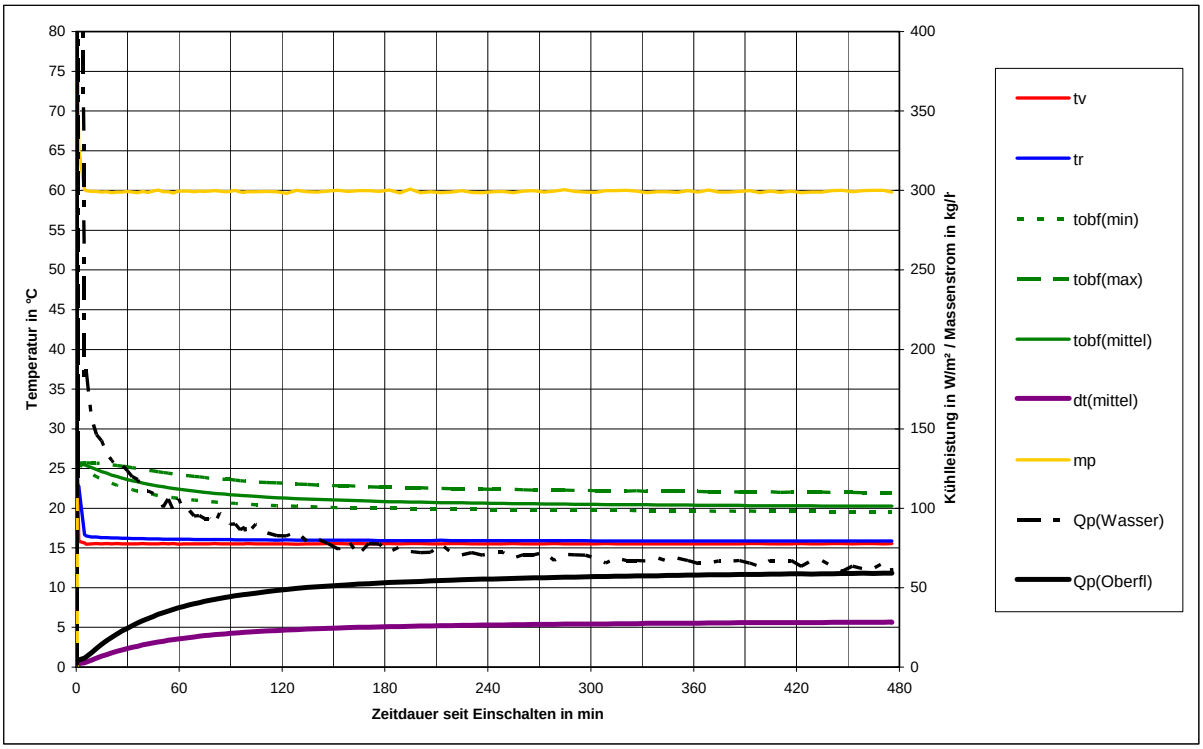


Bild 7: Verlauf der wesentlichen Temperaturen sowie der Kühlleistung für den Einschaltvorgang

Dargestellt sind

tv	Vorlauftemperatur
tr	Rücklauftemperatur
tobf (min)	Minimalwert für die Oberflächentemperatur (ges. 40 Messstellen)
tobf (mittel)	Mittelwert für die Oberflächentemperatur (ges. 40 Messstellen)
tobf (max)	Maximalwert für die Oberflächentemperatur (ges. 40 Messstellen)
dt(mittel)	Temperaturdifferenz der Mittelwerte (Umgebung - Oberfläche)
mp	Massenstrom des Kühlwassers
Qp(Wasser)	Kühlleistung, ermittelt aus den Wassertemperaturen und dem Massenstrom des Kühlwassers
Qp(Oberfl)	Kühlleistung an der Oberfläche, ermittelt durch Wärmestrommessplatten

Gut erkennbar ist, wie zunächst die Kühlleistung ermittelt über die Wassertemperaturen ansteigt und im Verlauf der Messung auf den Wert der Leistung an der Oberfläche abfällt. Dies zeigt anschaulich die Speichervorgänge am Prüfling. Bild 8 zeigt nochmals den Verlauf zu Beginn der Untersuchung.

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

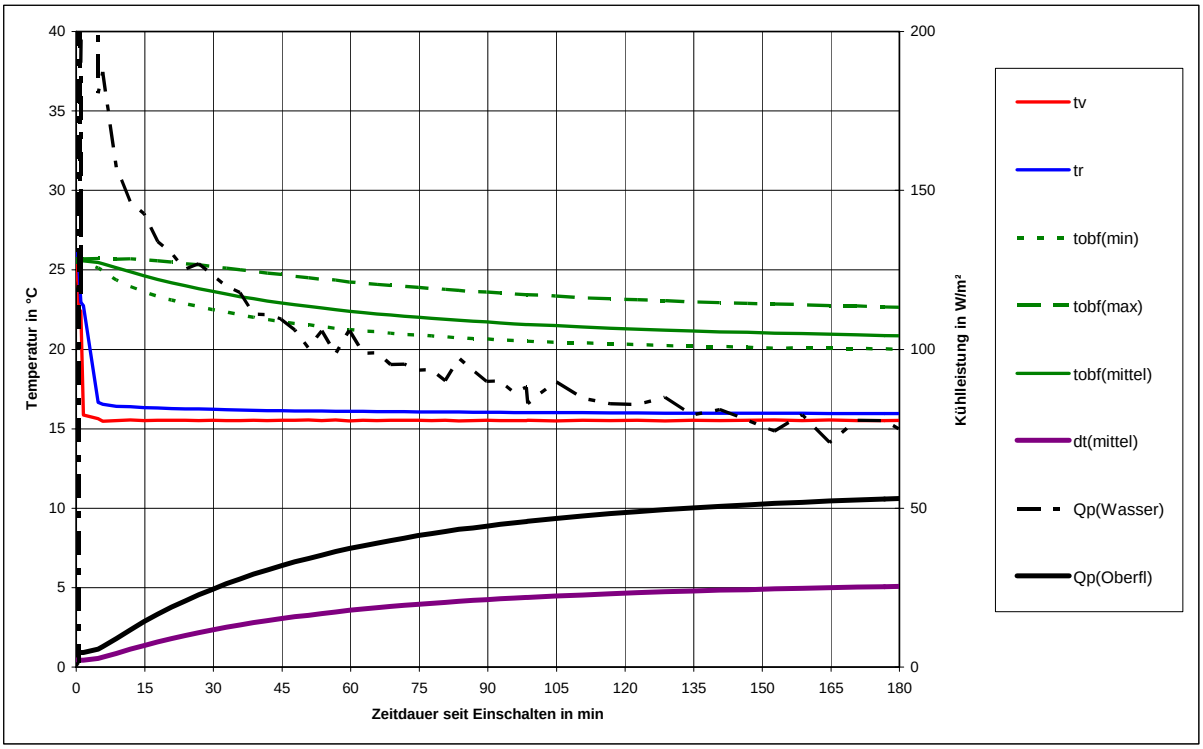


Bild 8: Verlauf der wesentlichen Temperaturen sowie der Kühlleistung für den Einschaltvorgang, Anfangsphase

Das zeitliche Verhalten des Prüflings kann man durch die Zeitkonstant beschreiben. Diese kann für die Beurteilung der Regelfähigkeit verwendet werden. Bild 9 zeigt eine Darstellung der wesentlichen Größen. Als Referenzgröße für die Bestimmung der Zeitkonstanten wird die mittlere Oberflächentemperatur verwendet.

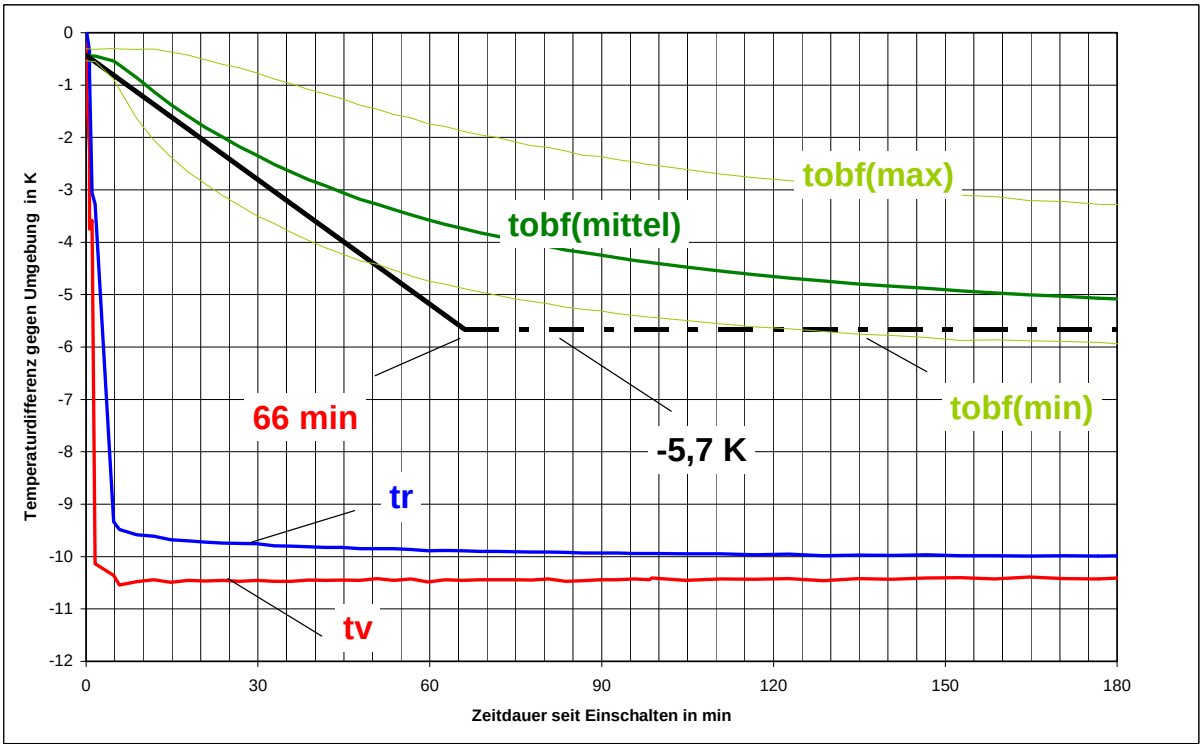


Bild 9: Ermittlung der Zeitkonstante für das geprüfte System - Einschaltvorgang

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

Die Zeitkonstante im Einschaltvorgang beträgt ca. 66 Minuten. Dies ist ein Wert, wie man ihn von typischen Fußbodenheizungsaufbauten (Nassverlegesysteme) kennt.

In Bild 10 sind die gemessenen Oberflächentemperaturen quer zu den Kühlrohren zu verschiedenen Zeitpunkten dargestellt.

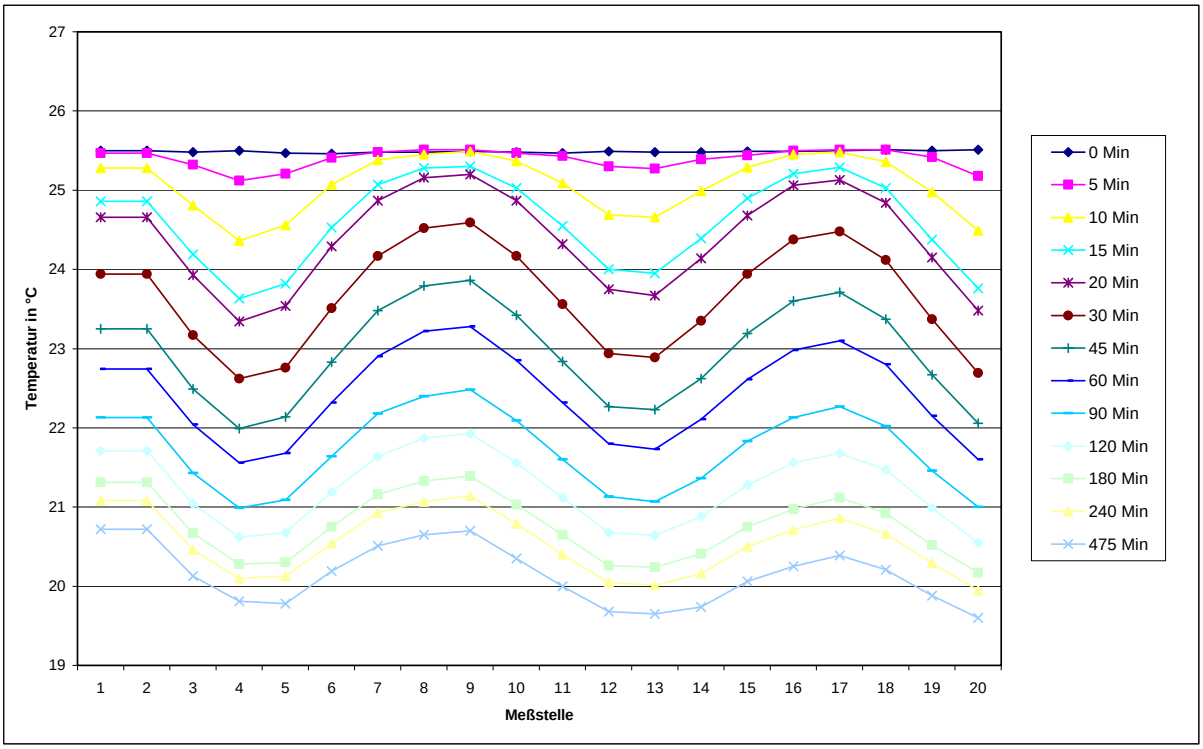


Bild 10: Oberflächentemperaturen quer zu den Kühlrohren zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Einschalten

Erkennbar ist die Lage der Kühlrohre sowie die Ausbildung des typischen Profils im Verlauf der Messung.

Analoge Untersuchungen werden für den Abschaltvorgang durchgeführt.

Bild 11 zeigt wiederum der Verlauf der wesentlichen Messgrößen bzw. daraus abgeleitete Werte. In Bild 12 ist die Anfangsphase dieser Untersuchung dargestellt.

Auch für den Abschaltvorgang kann eine Zeitkonstante angegeben werden. Diese ist in Bild 13 angegeben. Abweichend zum festgestellten Wert im Einschaltvorgang ergibt sich beim Abschalten ein wesentlich größerer Wert von ca. 240 Minuten. Ursache hierfür ist, dass im Unterschied zum Einschaltvorgang die Erwärmung beim Abschalten über die Oberfläche erfolgt. Bis der gesamte Prüfling vollständig durchwärmt ist vergeht deutlich mehr Zeit, wie im dies umgekehrten Fall beim Einschalten gegeben ist.

Bild 14 zeigt abschließend die gemessenen Oberflächentemperaturen quer zu den Kühlrohren zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Abschalten.

Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

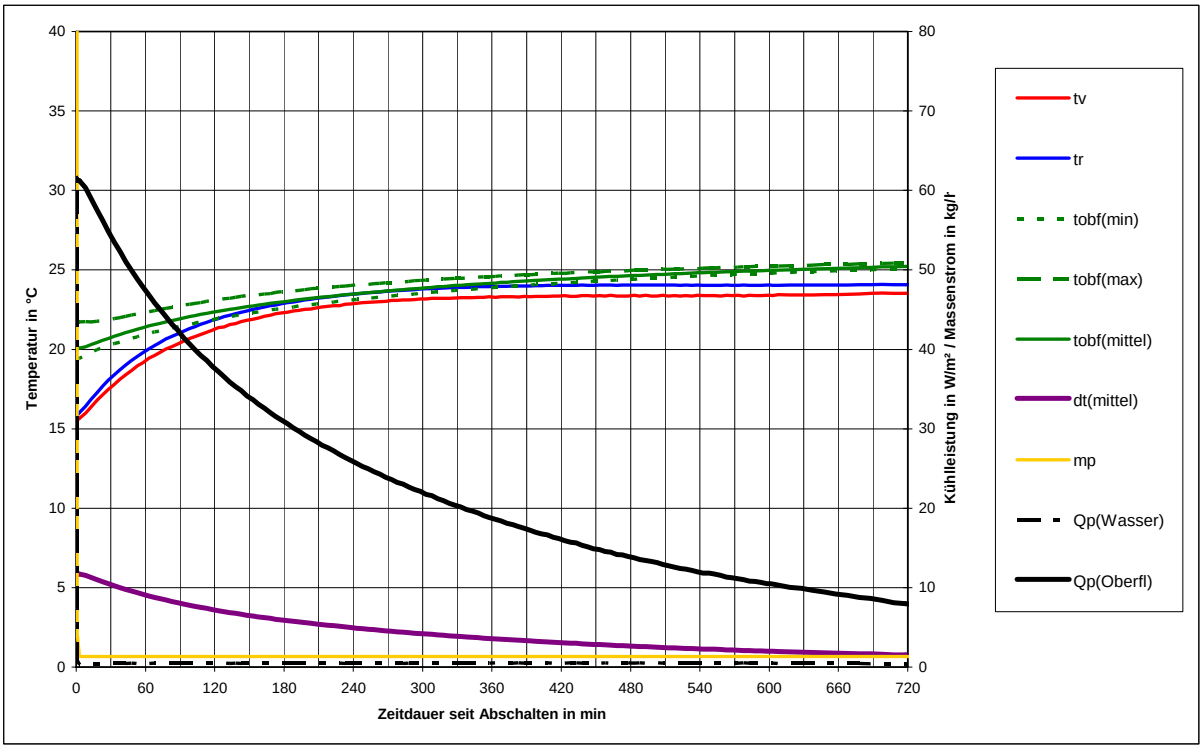


Bild 11: Verlauf der wesentlichen Temperaturen sowie der Kühlleistung für den Abschaltvorgang

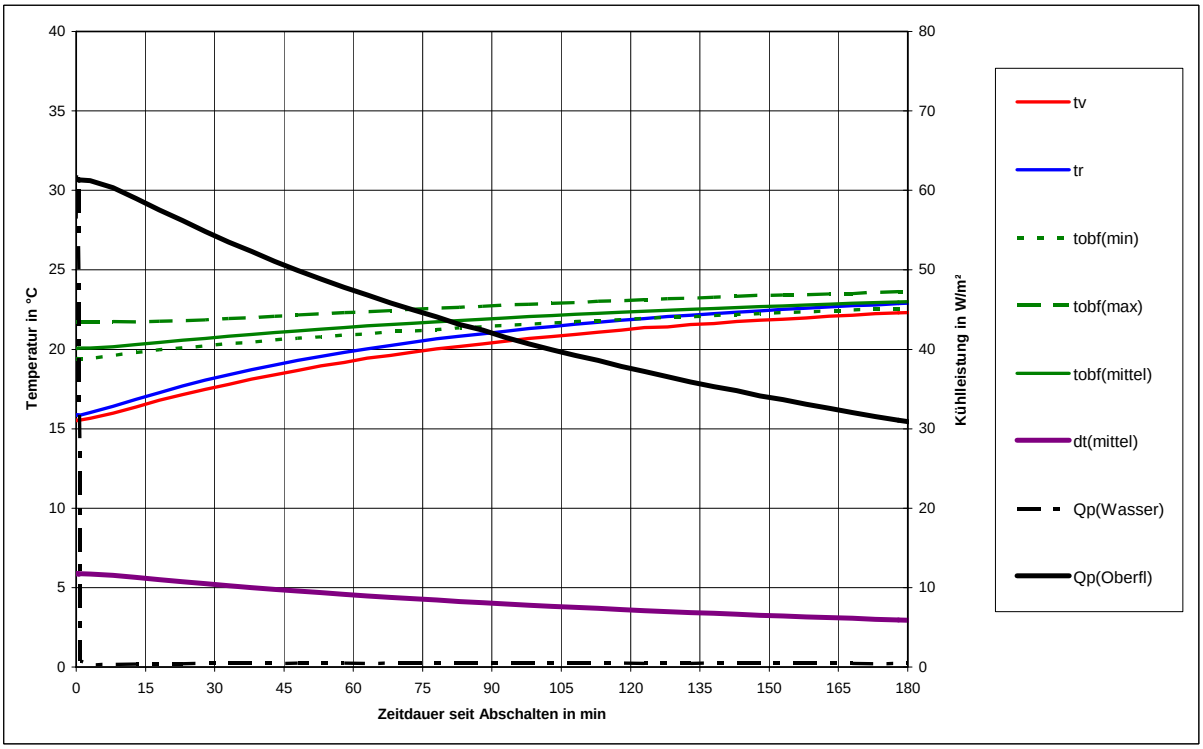


Bild 12: Verlauf der wesentlichen Temperaturen sowie der Kühlleistung für den Abschaltvorgang, Anfangsphase

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

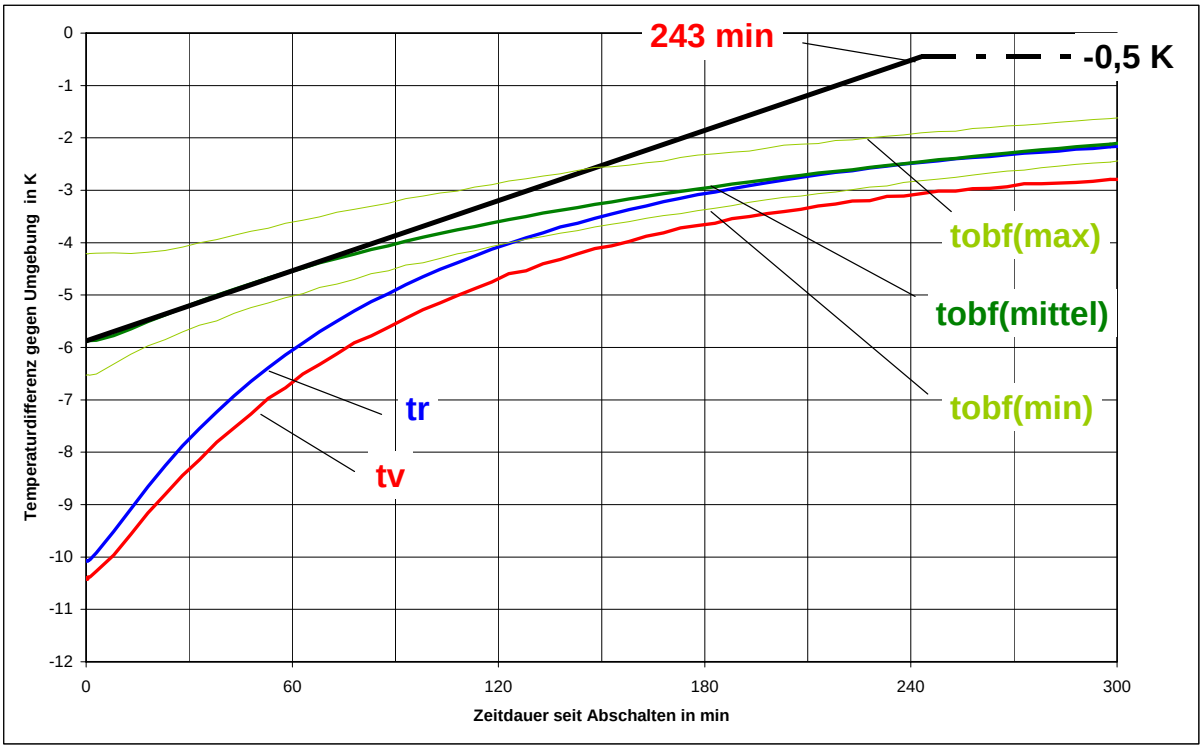


Bild 13: Ermittlung der Zeitkonstante für das geprüfte System - Abschaltvorgang

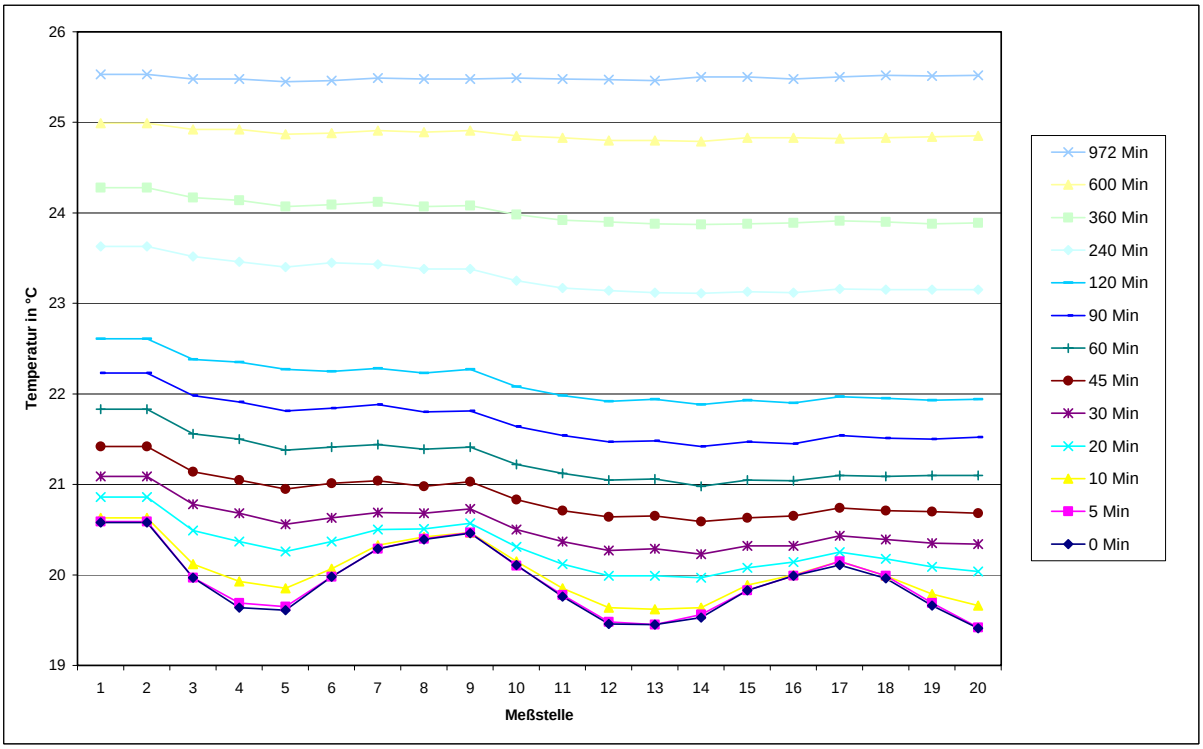


Bild 14: Oberflächentemperaturen quer zu den Kühlrohren zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Abschalten

Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

4 Anhang

Mess- und Ergebnisprotokoll

1.1 Messwerte zur Leistungsbestimmung bei Normmassenstrom

Versuch Nr.:		1	2	3
Prüfdatum:		15. Mrz	17. Mrz	17. Mrz
Wasserstrom	kg/h	299,28	299,72	299,36
Bezugstemperatur (Raum)	°C	25,93	25,91	25,92
Vorlauftemperatur	°C	15,52	13,55	17,50
Rücklauftemperatur	°C	15,87	13,97	17,77
Temperaturspreizung	K	0,35	0,41	0,27

1.2 Werte zur Leistungskennzeichnung

Mittlere Untertemperatur arithmetisch	K	10,24	12,15	8,29
mittlere Oberflächentemperatur	°C	20,1	19,0	21,1
rechnerische Kühlleistung	W/m²	64,6	76,5	52,8

Tabelle A1: Messergebnisse Kühlfall – Deckensystem DX

Der Bericht umfasst 15 Seiten.
Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.

Mess- und Ergebnisprotokoll

1.1 Messwerte zur Leistungsbestimmung bei Normmassenstrom

Versuch Nr.:		1	2	3
Prüfdatum:		17. Mrz	17. Mrz	18. Mrz
Wasserstrom	kg/h	396,62	398,53	398,36
Bezugstemperatur (Raum)	°C	20,16	20,21	20,09
Vorlauftemperatur	°C	25,79	30,68	35,58
Rücklauftemperatur	°C	25,70	30,48	35,28
Temperaturspreizung	K	-0,08	-0,20	-0,30

1.2 Werte zur Leistungskennzeichnung

Mittlere Übertemperatur arithmetisch	K	5,59	10,37	15,34
mittlere Oberflächentemperatur	°C	23,1	25,9	28,6
rechnerische Heizleistung	W/m²	19,2	37,3	55,3

Tabelle A2: Messergebnisse Heizfall – Deckensystem DX

Er darf ohne Genehmigung des Auftragnehmers nur in vollem Umfang vervielfältigt werden.