

Schlüsselwörter: Sommerliche Auslegungswerte · RLT-Anlagen · Luftkühler · Dimensionierung

Für die Dimensionierung der Luftkühler in RLT-Anlagen wird bereits seit langem für ganz Deutschland mit Ausnahme der Küstengegend der Auslegungszustand ($t_{AU} = 32^\circ\text{C}$, $\varphi_{AU} = 40\%$) verwendet. Eine Recherche hat ergeben, dass dieser Auslegungszustand auf den meteorologischen Daten des Zeitraums 1881 bis 1930 basiert. Eine Untersuchung der meteorologischen Daten der letzten zehn Jahre hat neue, für die einzelnen Klimazonen der DIN 4710 differenzierte Auslegungswerte ergeben. Neben der Vorstellung der neu ermittelten Auslegungswerte werden die Konsequenzen für die Dimensionierung der Luftkühler in RLT-Anlagen aufgezeigt.

New Summery Design Data for HVAC Systems

Keywords: summery design data · air handling units · air cooler · dimensioning

With the exception of the coastal area in Germany it is common to dimension the air cooler of air handling units by an air temperature of 32°C and an air humidity of 40%. A data-recall facility show, that the air temperature of 32°C and the air humidity of 40% are based on the meteorological data of the years 1881 up to 1930. An investigation of the meteorological data of the last 10 years has resulted in new design data, different for each clime of the DIN 4710. In addition to the presentation of the determined new design data the consequences for dimensioning the air cooler of air handling units are shown.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Karl-Josef Albers
Hochschule Esslingen, Fakultät
Versorgungstechnik und Umwelttechnik.
Vortrag, gehalten auf der Jahrestagung
2006 des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins (DKV)

Neue sommerliche Auslegungswerte für Klimaanlage



Übliche Leistungserhöhung bei falsch ausgelegten Rückkühlwerken

Einleitung

Seit langem gelten eine Außenlufttemperatur von $t_{AU} = 32^\circ\text{C}$ und eine relative Außenluftfeuchte von $\varphi_{AU} = 40\%$ als sommerliche Auslegungswerte für Lüftungstechnische Anlagen. Bei Planern und ausführenden Firmen ist die Meinung weit verbreitet, dass dieser Außenluftzustand den Regeln der Technik entsprechen würde. Die Suche nach einer Bestätigung hierfür bleibt im schriftlich verfassten Regelwerk (Normen und Richtlinien) erfolglos. Den o. g. Auslegungszustand fand man lediglich bis zur 72. Ausgabe im Recknagel [1], dem Standardwerk der Heizungs- und Klimatechnik. Hier war der Auslegungszustand mit $t_{max} = 32^\circ\text{C}$ und $h_{max} = 63 \text{ kJ/kg}$ mit dem dazugehörigen Wassergehalt $x = 12,1 \text{ g/kg}$ und der dazugehörigen relativen Feuchte $\varphi = 40\%$ angegeben. Zusätzlich wurde für die Küstengegend ein Auslegungszustand mit $t_{max} = 29^\circ\text{C}$, $h_{max} = 61,4 \text{ kJ/kg}$, $x = 12,7 \text{ g/kg}$ und $\varphi = 50\%$ angegeben. Dabei ist auffallend, dass diese Angaben bereits in der 45. Auflage des Recknagels aus dem Jahr 1943 [2] zu finden sind. In der aktuellen, 73. Auflage des Recknagels [3] wird auf die Maximal-Auslegungstemperaturen der Kühllastregeln (VDI 2078 [4]) verwiesen. Hier findet man für die Kühllastzonen 1 bis 4 Werte, die zwischen 29°C und 33°C liegen. Für das Höhenklima (Kühllastzone 5) werden in Abhängigkeit der Höhe noch

niedrigere Auslegungstemperaturen genannt. Für die Luftfeuchtigkeit wird ein einheitlicher Wert von 12 g/kg angegeben. Dieses ist der Wert aus der VDI 2078 für den Auslegungsmonat Juli, der dort für die Kühllastberechnung infolge von Infiltration (und nicht für die Auslegung von Klimaanlage) verwendet wird.

Die technischen Regeln umfassen auch Erfahrungsgrundsätze, die nicht unbedingt schriftlich verfasst sein müssen. Ein solcher, nicht schriftlich fixierter Erfahrungsgrundsatz besagt beispielsweise, dass für das Rhein-Main-Gebiet der Auslegungszustand $t_{AU} = 32^\circ\text{C}$ und $\varphi_{AU} = 40\%$ unzureichend ist. Hier sollten die RLT-Anlagen auch zusätzlich für den Außenluftzustand $t_{AU} = 28^\circ\text{C}$ und $\varphi_{AU} = 60\%$ (sog. Gewitterfall) ausgelegt werden, da hier die Außenluftenthalpie mit $64,4 \text{ kJ/kg}$ und der Wassergehalt mit $14,2 \text{ g/kg}$ höhere Werte aufweisen. Im Bereich Karlsruhe und Mannheim ist festzustellen, dass öfters auch der Auslegungszustand $t_{AU} = 35^\circ\text{C}$ und $\varphi_{AU} = 40\%$ verwendet wird.

Die im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführte Recherche [5] hat ergeben, dass die Auslegungstemperatur 32°C aus den Daten des „Handbuchs für Klimakunde des Deutschen Reiches (Zeit 1881 bis 1930)“ ermittelt wurde. Die dazugehörige relative Auslegungsfeuchte 40% wurde aus einer Korrelation der an der Wettersta-



KI Kälte · Luft ·
Klimatechnik
INGENIEURWISSEN IN FORSCHUNG UND PRAXIS



Entdecken Sie weitere interessante
Artikel und News zum Thema auf
ki-portal.de!

Hier klicken & informieren!



Tabelle 1: Klimazonen und zugeordnete Repräsentanzstationen der DIN 4710

Zone	Bezeichnung	Repräsentanzstationen
1	Nordseeküste	Bremerhafen
2	Ostseeküste	Rostock-Warnemünde
3	Nordwestdeutsches Tiefland	Hamburg-Fuhlsbüttel
4	Nordostdeutsches Tiefland	Potsdam
5	Niederrheinisch-westfälische Bucht u. Emsland	Essen
6	Nördliche u. westliche Mittelgebirge, Randgebiete	Bad Marienberg
7	Nördliche u. westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche	Kassel
8	Oberharz u. Schwarzwald (mittlere Lagen)	Braunlage
9	Thüringer Becken u. Sächsisches Hügelland	Chemnitz
10	Südöstliches Mittelgebirge bis 1000 m	Hof
11	Erzgebirge, Böhmer- u. Schwarzwald oberhalb 1000 m	Fichtelberg
12	Oberreingraben u. unteres Neckartal	Mannheim
13	Schwäbisch-fränkisches Stufenland u. Alpenvorland	Passau
14	Schwäbische Alb u. Baar	Stötten
15	Alpenrand und -täler	Garmisch-Partenkirchen

tion Potsdam in den Jahren 1929 und 1930 gemessenen Werten für die Außenlufttemperatur und -feuchte bestimmt.

Mittlerweile ist es eine allgemeine Erfahrung, dass sich das Klima in den letzten Jahren erwärmt hat bzw. noch weiter erwärmt. Von daher muss die sog. Regel der Technik, dass im Sommer RLT-Anlagen für einen Außenluftzustand von $t_{AU} = 32\text{ °C}$ und $\phi_{AU} = 40\%$ ausgelegt werden, in Frage gestellt werden. Es müssen nunmehr neue Auslegungswerte gefunden werden.

Neue sommerliche Auslegungswerte

Betrachtet man die bereits oben genannte VDI 2078 mit ihren nach Kühllastzonen differenziert angegebenen Maximal-Auslegungstemperaturen, so ist es nicht angebracht, einen für ganz Deutschland gültigen Auslegungszustand zu bestimmen. Es bietet sich an, für die Ermittlung von neuen sommerlichen Auslegungswerten die Klimazonen der DIN 4710 [6] zu verwenden. In der Tabelle 1 sind die einzelnen Klimazonen mit den dazugehörigen Repräsentanzstationen aufgeführt.

Für die Klimazonen mit den Repräsentanzstationen Potsdam, Fichtelberg und Mannheim wurden aus den meteorologischen Daten der Jahre 1994 bis 2003 neue Auslegungswerte ermittelt [5, 7]. Die Station Potsdam repräsentiert dabei für Deutschland ein heißes, die Station Fichtelberg ein kühles und die Station Mannheim ein feucht-heißes Klima. Die neu ermittelten Auslegungswerte dienen dann auch als Ba-

sis für die Bestimmung der Auslegungswerte für die übrigen 12 Klimazonen DIN 4710. Dafür wurden die oben ermittelten Auslegungswerte mit den höchsten Monatsmit-

telwerten der DIN 4710 in Korrelation gebracht. In der Tabelle 2 sind die so gewonnenen Auslegungszustände zusammengestellt.

Bei diesen Auslegungswerten handelt es sich analog zur den in der VDI 2078 angegebenen Maximal-Auslegungstemperaturen um mittlere Extremwerte, die an einzelnen Tagen durchaus überschritten werden können. In Tabelle 3 sind daher für die drei näher untersuchten Stationen Potsdam, Fichtelberg und Mannheim noch zusätzlich die absoluten (einmalig vorkommenden) Extremwerte angegeben.

Auswirkungen der neuen Auslegungswerte auf die Dimensionierung von RLT-Anlagen

Die Auswirkungen der Auslegungswerte auf die Dimensionierung der Luftkühler lässt sich sehr anschaulich an Hand der Zustandsänderung im h,x-Diagramm zeigen. Im Bild 1 ist die Kühlung der Außenluft auf einen üblichen Zuluftzustand hinter dem Kühler von $t_{ZU} = 16,0\text{ °C}$ und $\phi_{ZU} = 86\%$ dargestellt. Als Außenluftzustände wurden der bisherige Auslegungszustand ($t_{AU} = 32\text{ °C}$, $\phi_{AU} = 40\%$), der im weiteren als Standard-Auslegungszustand bezeichnet wird, sowie die neuen Auslegungszustände für Mannheim ($t_{AU} = 35\text{ °C}$, $x_{AU} =$

Tabelle 2: Neue Auslegungsparameter (mittlere Extremwerte) für die 15 Wetterstationen der DIN 4710

Klimazone	Station	Temperatur in °C	Wasserdampfgehalt in g/kg	relative Feuchte in % ³	Außenluftenthalpie in kJ/kg
1	Bremerhafen ²	30	14	53	65,9
2	Rostock-Warnemünde ²	28	14	59	63,8
3	Hamburg-Fuhlsbüttel ²	32	13	44	65,4
4	Potsdam ¹	33	13	41	66,4
5	Essen ²	32	13	44	65,4
6	Bad Marienberg ²	29	12	48	59,8
7	Kassel ²	33	12	38	63,9
8	Braunlage ²	29	12	48	59,8
9	Chemnitz ²	30	13	49	63,4
10	Hof ²	30	12	45	60,8
11	Fichtelberg ¹	24	12	64	54,6
12	Mannheim ¹	35	13	37	68,5
13	Passau ²	32	13	44	65,4
14	Stötten ²	29	13	52	62,3
15	Garmisch-Partenkirchen ²	30	14	53	65,9

¹ Ermittelt anhand der Wetterdaten der Jahre 1994 bis 2003

² Näherungsweise durch Vergleich mit den Daten der DIN 4710 ermittelt

³ bei einem Luftdruck von 1013 hPa (Normzustand)

Tabelle 3: Absolute Extremwerte der drei näher untersuchten Stationen

Station	Höchsttemperatur in °C	größte Enthalpie in kJ/kg	Temperatur/Feuchte bei größter Enthalpie in °C/g/kg
Mannheim	38,6 (09.08.03)	82,6 (04.07.94)	33/19,3
Potsdam	37,3 (01.08.94)	71,9 (08.06.96)	32/15,5
Fichtelberg	28,6 (13.08.03)	77,3 (19.06.02)	24/21,1

13 g/kg) und Fichtelberg ($t_{AU} = 24\text{ °C}$, $x_{AU} = 12\text{ g/kg}$) gemäß Tabelle 2 gewählt. Das h,x-Diagramm ist dabei auf den Luftdruck des Normzustandes von 1013 hPa bezogen.

Aus Bild 1 ergibt sich die erforderliche spezifische Kühlerleistung für den Standard-Auslegungszustand zu 22,2 kJ/kg. Bei den neuen Auslegungszuständen beträgt sie dagegen für Mannheim 27,7 kJ/kg und für Fichtelberg 13,8 kJ/kg. Dieses bedeutet, dass gegenüber dem Standard-Auslegungszustand in Mannheim eine um 25 % größere

und in Fichtelberg eine um 38 % kleinere Kühlerleistung erforderlich ist. Wurde der Luftkühler nach dem Standard-Auslegungszustand dimensioniert, so ist er in Fichtelberg erheblich überdimensioniert. In Mannheim kann dagegen im Auslegungszustand der gewünschte Zuluftzustand von $t_{ZU} = 16,0\text{ °C}$ und $\varphi_{ZU} = 86\%$ ($x_{ZU} = 9,8\text{ g/kg}$) nicht erreicht werden. Im Bild 2 ist im h,x-Diagramm neben der Kühlerauslegung für Mannheim, wie sie bereits im Bild 1 dargestellt ist, noch die Zustandsänderung im Kühler eingetragen, die sich ergibt, wenn

der Kühler nur für den Standard-Auslegungszustand dimensioniert worden ist. Dann stellt sich ein Luftzustand von $t_{ZU} = 19,1\text{ °C}$ und $\varphi_{ZU} = 78\%$ ($x_{ZU} = 10,7\text{ g/kg}$). Die Zuluft wird damit um $\Delta t = 3,1\text{ K}$ zu warm und um $\Delta x = 0,9\text{ g/kg}$ zu feucht in die lufttechnisch versorgten Räume eingeblasen.

Bei dem obigen Beispiel wurde vorausgesetzt, dass dem Luftkühler der RLT-Anlage von der Kältemaschine eine vom Außenluftzustand unabhängige Kälteleistung zur Verfügung gestellt wird. Die Kälteleistung (Verdampferleistung) ist aber abhängig von der abführbaren Kondensatorleistung. Diese hängt bei geschlossenen Rückkühlwerken wiederum von der Außenlufttemperatur ab. Ergänzt man das Beispiel um einen luftgekühlten Kondensator, dessen Verflüssigungstemperatur bei 47 °C liegt, so bedeutet dieses, dass der auf eine Außenlufttemperatur von 32 °C ausgelegte Kondensator bei einer Außenlufttemperatur von 35 °C nur 80 % der Auslegungsleistung besitzt. Bei einer konstanten Leistungszahl bedeu-

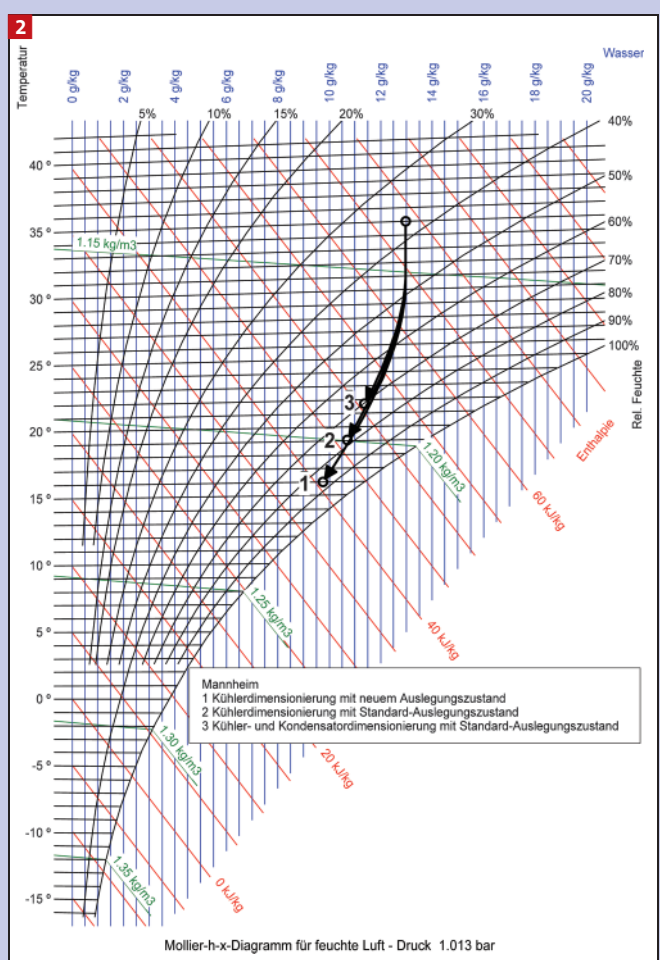
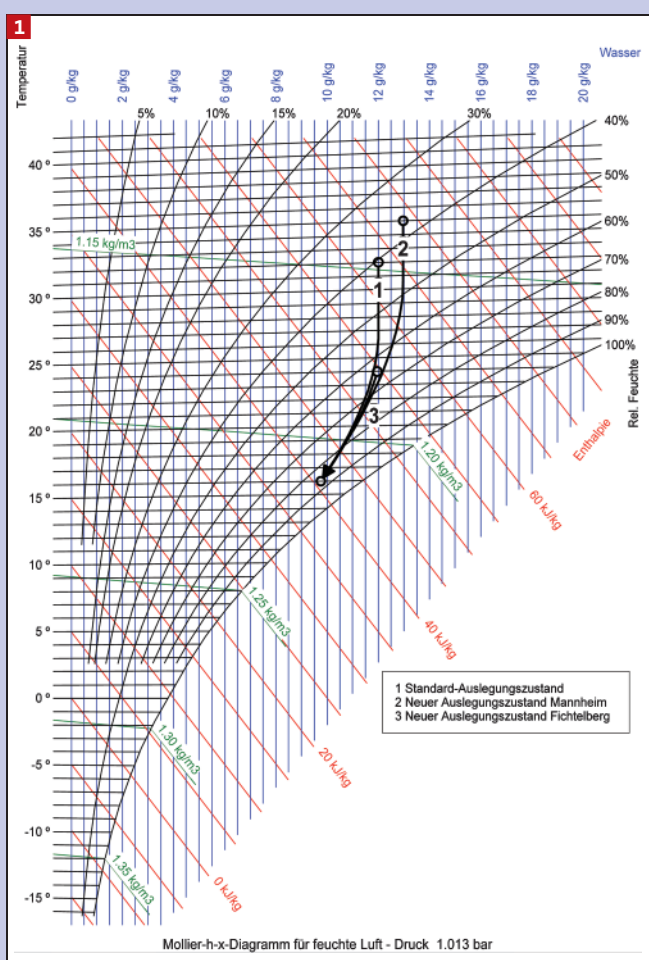


Tabelle 4: Absolute Extremwerte der Stationen Mannheim und Fichtelberg im Sommer 2006

Station	Höchsttemperatur in °C	größte Enthalpie in kJ/kg	Temperatur/Feuchte bei größter Enthalpie in °C/g/kg
Mannheim	35,2 (20. u. 25. Juli)	66,8 (12. Juli)	28,7/14,9
Fichtelberg	27,3 (20. Juli)	53,6 (21. Juni)	20,6/13,0

tet dieses wiederum, dass die Kältemaschine dem Luftkühler ebenfalls nur 80 % der spezifischen Leistung von 22,2 kJ/kg (Standard-Auslegungszustand), also nur 17,8 kJ/kg zur Verfügung stellt. Damit beträgt der Zuluftzustand entsprechend dem Punkt 3 im Bild 2 nur $t_{ZU} = 21,7^\circ\text{C}$ und $\phi_{ZU} = 70\%$ ($x_{ZU} = 11,4\text{ g/kg}$). Die Zuluft wird damit gegenüber dem gewünschten Zuluftzustand insgesamt um $\Delta t = 5,7\text{ K}$ zu warm und um $\Delta x = 1,6\text{ g/kg}$ zu feucht in die lufttechnisch versorgten Räume eingeblasen. Dieses setzt einen störungsfreien Betrieb der Kältemaschine voraus. Bei der üblichen Kältemaschinenregelung kommt es aber wegen der reduzierten Kondensatorleistung zu einer Hochdruckstörung, so dass die Zuluft wegen des Ausfalls der Kältemaschine sogar ungekühlt in die Räume gelangt. Beschwerden der Nutzer sind somit vorprogrammiert.

Um Hochdruckstörungen an der Kältemaschine zu vermeiden, findet man an Tagen mit Lufttemperaturen, die über dem Standard-Auslegungszustand liegen, häufig Rausensprenger unter den Rückkühlwerken an. Dieses kann nur als eine Notlösung betrachtet werden, da hiermit erhebliche Kosten für das Wasser und die anschließende Reinigung des Kondensators (Entkalkung der wärmeübertragenden Oberflächen bei längerer Berieselung) verbunden sind.

Überschreitungen des Standard-Auslegungszustandes im Sommer 2006

Im vorhergehenden Abschnitt wurden die Auswirkungen diskutiert, die entstehen, wenn die Luftkühler in RLT-Anlagen sowie die Rückkühlwerke der Kältemaschinen für den Standard-Auslegungszustand dimensioniert worden sind. In diesem Zusammenhang ist es noch von Interesse, wie häufig in einem Sommer die Werte des Standard-Auslegungszustandes überschritten werden können. Daher wurden für die Sommermonate 2006 die meteorologischen Daten der Wetterstationen Mannheim und Fichtelberg ausgewertet.

An der Station Mannheim wurden an 8 Tagen mit insgesamt 24 Stunden Außenluftenthalpien festgestellt, die über der Außen-

luftenthalpie des Standard-Auslegungszustandes von 63,0 kJ/kg lagen. Diese 8 Tage lagen alle im Monat Juli. Die Außenlufttemperatur von 32°C wurde an 12 Tagen mit insgesamt 52 Stunden überschritten. 11 Tage lagen dabei im Monat Juli. Vergleicht man dagegen die meteorologischen Daten mit dem Auslegungszustand gemäß Tabelle 2, so kam es im Sommer 2006 zu keiner Überschreitung der Auslegungsenthalpie von 68,5 kJ/kg. Weiterhin wurde die Auslegungstemperatur von $35,0^\circ\text{C}$ lediglich an 2 Tagen für jeweils 1 Stunde überschritten. Die aufgetretenen absoluten Extremwerte befinden sich in der Tabelle 4. Bei RLT – Anlagen, die mit dem Standard-Auslegungszustand dimensioniert wurden, kam es in diesem Sommer zu massiven Beeinträchtigungen. Gemäß den obigen Zahlen reichte an jedem 4. Tag im Juli die installierte Kälteleistung nicht aus, und an jedem 3. Tag im Juli kam es zu Kältemaschinenausfällen infolge von Hochdruckstörungen. Diese Feststellung deckt sich mit den Erfahrungen aus Städten, wie z.B. Karlsruhe und Mannheim.

Bei der Station Fichtelberg ergibt sich ein völlig anderes Bild. Hier kam es weder zu einer Überschreitung der Außenluftenthalpie des Standard-Auslegungszustandes von 63,0 kJ/kg noch zu einer Überschreitung der Außenluftenthalpie des Auslegungszustandes gemäß Tabelle 2 von 54,6 kJ/kg. Während die Außenlufttemperatur des Standard-Auslegungszustandes von $32,0^\circ\text{C}$ nie erreicht wurde, kam es im Juli an 5 Tagen mit insgesamt 21 Stunden zu einer Überschreitung der Außenlufttemperatur des Auslegungszustandes gemäß Tabelle 2 von $24,0^\circ\text{C}$. Dabei betrug an 2 Tagen die Dauer der Überschreitung nur 1 Stunde. Betrachtet man in Tabelle 4 die aufgetretenen absoluten Extremwerte, so wird deutlich, dass die Verwendung des Standard-Auslegungszustandes in Fichtelberg zu erheblich überdimensionierten Kälteanlagen führt.

Fazit

Betrachtet man die Maximal-Auslegungstemperaturen der VDI 2078 sowie die nicht schriftlich fixierten Erfahrungsgrundsätze,

so wird ersichtlich, dass die Auslegung von RLT-Anlagen für einen Außenluftzustand von $t_{AU} = 32^\circ\text{C}$ und $\phi_{AU} = 40\%$ unzureichend ist.

Es zeigt sich, dass RLT-Anlagen die für den Außenluftzustand von $t_{AU} = 32^\circ\text{C}$ und $\phi_{AU} = 40\%$ dimensioniert worden sind, für Standorte mit einem kühlen Klima überdimensioniert und für solche mit einem heißen Klima unterdimensioniert sind. Letzteres macht sich durch Betriebsstörungen der Kältemaschine bzw. dem Nichterreichen des gewünschten Zuluftzustandes unmittelbar negativ bemerkbar. Im Juli 2006 konnte dieses in Städten wie Karlsruhe und Mannheim an vielen installierten RLT-Anlagen beobachtet werden. Die stichprobenartige Überprüfung der neuen in Tabelle 2 zusammengestellten Auslegungszustände an Hand der Stationen Mannheim und Fichtelberg hat gezeigt, dass diese unsere heutigen klimatischen Zustände wesentlich besser widerspiegeln.

Der heiße Juli 2006 folgte nur 3 Jahre auf den so genannten Jahrhundertssommer 2003. Dieses lässt darauf schließen, dass in Zukunft häufiger mit heißen Monaten zu rechnen ist. Von daher wäre es wünschenswert, neue sommerliche Auslegungswerte in einer Regel der Technik, z.B. in einer VDI Richtlinie, schriftlich zu fixieren. Dieses würde dann zu mehr Planungssicherheit und weniger gerichtlichen Auseinandersetzungen führen.

Danksagung

Für die Bereitstellung der Wetterdaten gilt der Dank dem Deutschen Wetterdienst (DWD) in Offenbach.

Literatur

- [1] Schramek, E.-R. (Hrsg.): Recknagel – Sprenger, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; 72. Auflage, München, Oldenbourg Industrie-Verlag (2005)
- [2] Gehrenbeck, K.: (Hrsg.): Recknagels Kalender für Gesundheits- und Wärme-Technik; 45. Auflage, München, Berlin, R. Oldenbourg Verlag (1943)
- [3] Schramek, E.-R. (Hrsg.): Recknagel – Sprenger, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; 73. Auflage, München, Oldenbourg Industrie-Verlag 2007
- [4] VDI 2078 07/1996; Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln); Berlin, Beuth Verlag (1996)
- [5] Eyrych, N.: Neubestimmung des sommerlichen Auslegungswertes für RLT-Anlagen; Diplomarbeit, FHT Esslingen (2005)
- [6] DIN 4710 01/2003: Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen in Deutschland; Berlin, Beuth Verlag (2003)
- [7] Albers, K.-J., Eyrych, N.: Neue sommerliche Auslegungswerte für den Außenluftzustand; TAB 37 (2006) 3, S. 62–67