

Specials: ■ Rechenzentrumskühlung ■ Absorptionskälte
■ Natürliche Kältemittel

Lars Keller

Leitfaden für Kompressions- wasserkühlsätze

3. AUFLAGE



Service-Hotline:
0800-12 24 100*

*Deutschlandweit ohne Gebühren telefonieren

Wir machen Kälte für Sie mobil.



Rentable Mietlösungen
für Kälte, Klima, Wärme
und Strom.



acr chiller rent GmbH
www.ac-rent.de



WE GOT THE POWER!



Neue Heizung, Kühlung oder Lüftung?
Bei Modernisierung oder Neubau kräftig
sparen mit dem Marktführer!

Den Spitzenplatz von DAIKIN im Wärmepumpen- und Klimatisierungs-Markt belegen Marktzahlen eindeutig. Als Innovationstreiber setzen wir branchenweit Meilensteine in puncto neue Technologien, Effizienz und Umweltverträglichkeit. Mit uns zusammen wurde die neue Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) auf den Weg gebracht. Erhalten Sie mit unseren Systemen, je nach Anwendungsfall, **20 – 50 % Förderung vom Staat!**

www.daikin.de/foerderung

Infotelefon: 0 800 · 72 41 995 (kostenfrei aus dem deutschen Netz)

Leading Air

 **DAIKIN**

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

Lars Keller

Leitfaden für Kompressionswasserkühlsätze

3. Auflage 2022

ISBN: 978-3-96143-096-3 (Print)

ISBN: 978-3-96143-097-0 (eBook)

© 2022 ITM InnoTech Medien GmbH

Lechfeldstraße 13, 86507 Kleinaitingen

Telefon: +49 8203 950 18 45

Internet: www.innotech-medien.de, www.recknagel-online.de

Lektorat: Kirstin Sommer

Satz und Gestaltung: e-Mediateam Michael Franke, Bottrop

Druck: Druckhaus Götz GmbH, Ludwigsburg

Titelbild: Stulz GmbH

Printed in Germany



Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen die Autoren, die Herausgeber und der Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Lars Keller

Leitfaden für Kompressions- wasserkühlsätze

3. AUFLAGE

Vorwort zur 3. Auflage

*Reich wirst du nicht durch das, was du verdienst.
Reich wirst du nur durch das, was du mit
Begeisterung und Liebe erschaffst.*

Die 3., erweiterte und völlig neu strukturierte Auflage des „Leitfaden für Kompressionswasserkühlsätze“ richtet sich an planende Ingenieure und Fachleute der TGA-Branche, die diesem Werk grundlegende Informationen zur Auslegung und Planung von Kompressionswasserkühlsätzen, Absorptionskälteanlagen sowie Rooftopgeräten entnehmen können. Gebäudetechniker, Service- und Instandhaltungspersonal, Facility-Manager und Betreiber haben die Möglichkeit den Leitfaden bei der täglichen Arbeit einzusetzen.

Folgende Neuerungen wurden eingearbeitet:

- ▶ Dem zunehmenden politischen Druck, Kältemittel mit niedrigen GWP-Werten zu verwenden, ist mehr Rechnung getragen worden. Die neuen HFO-Kältemittel sowie NH₃ und CO₂ sind verstärkt bearbeitet.
- ▶ Von der VDI 2047 zur 42. BImSchV für Verdunstungskühlanlagen
- ▶ Das Thema UV-C-Entkeimung bei Industriekühlern wurde aufgrund der Corona-Situation ergänzt.
- ▶ Das Thema „Freie Kühlung“ wurde erweitert.
- ▶ Das Kapitel „Absorptionskältemaschinen“ wurde neu aufgenommen, da diese neben oder in Kombination mit Kompressionskältemaschinen immer mehr an Bedeutung gewinnen.
- ▶ Das Kapitel „Rechenzentrums Kühlung“ wurde neu aufgenommen.
- ▶ Das Kapitel „Rooftop-Anlagen“ wurde neu aufgenommen.
- ▶ Das Kapitel „Inbetriebnahme und Instandhaltung“ wurde um das Thema Monitoring erweitert.
- ▶ Der Text wurde bezüglich der gültigen Normen, VDI-Vorschriften und Gesetze aktualisiert.



Im Mitgliederbereich der Homepage

www.tga-lars-keller.de

stehen dem interessierten Leser weitere Zusatzinformationen zur Verfügung. Dies können Projektberichte, Checklisten, technische Informationen oder weiterführende Produktdetails sein. Die ideale Ergänzung zum Buch stellt aber die Darstellung technischer und thermodynamischer Abläufe anhand von Animationen oder Videos dar.

Die Informationen im Mitgliederbereich werden laufend aktualisiert. Kommende Webinare, die jeweils im 60-Minuten-Format ein Teilthema der Kälte- und Klimatechnik behandeln, sind dort buchbar. Für bekannte Fachmessen der Branche sind Eintrittskartenkontingente abrufbar.

Die Kombination aus Mitgliederbereich und Buch bietet dem Leser somit einen großen Mehrwert und unterscheidet sich dadurch deutlich von anderen auf dem Markt erhältlichen Fachbüchern. Für jedes Buch oder E-Book der Leitfaden-Trilogie Klima–Kälte–Wärmepumpe, das direkt über www.tga-lars-keller.de gekauft wird, spende ich zum jeweiligen Jahresende 1 € an die:

DKMS – WIR BESIEGEN BLUTKREBS

„Gesundheit hat viele Wünsche, Krankheit nur einen.“

Das Buch hat mittlerweile einen Umfang erreicht, wo ich in unterschiedlichen Fachbereichen auf die Unterstützung von Experten angewiesen bin.

Mein Dank gilt dem VDI Verlag für die Erlaubnis zur Veröffentlichung einiger Tabellen, Herrn Dr. Sascha Broekman bezüglich der 42. BImSchV, Herrn Michael Freiherr bezüglich des Themas UV-C-Entkeimung, Herrn Marco Funes bezüglich CO₂ als Kältemittel, Herrn Peter Kraft für das Teilen seiner Erfahrung und seines Wissens zum Thema Absorptionskälteanlagen, Herrn Mladen Majstorovic für die Unterstützung beim Thema Rechenzentrumskühlung, Herrn Schifelbein bezüglich des Themas Frequenzumrichter und Herrn Robert Kahle bezüglich des Themas Pumpen.

Hervorheben möchte ich Herrn Wolfgang Dietrich für den wertvollen Support im Bereich Ammoniak-Kälte sowie das Teilen seiner dreißigjährigen Erfahrung im Bereich der Kältetechnik.

Ich bedanke mich bei Sebastian Beck für das Erstellen der Homepage, bei Mona Tenjo für das Erstellen des Mitgliederbereichs, bei Herrn Markus Eidenschink für das „Augen öffnen“ im Bereich der Persönlichkeitsentwicklung im März 2019 in Rom sowie bei Bruno Trost für die Weitergabe seines Wissens, die Einführung in die Kältetechnik und für die lange Zusammenarbeit bei der Kältetechnik aircool.

Dipl.-Ing. (FH) Lars Keller
Poing, im November 2021

Über den Autor



*Dipl.-Ing. (FH)
Lars Keller*

Nach meinem Fachabitur in Wirtschaft und Recht habe ich eine Lehre als Zentralheizungs- und Lüftungsbauer abgeschlossen. Nach einiger Praxiserfahrung auf dem Bau schlug ich den Weg zum Studium der Versorgungstechnik an der Fachhochschule in München ein. Das zweite Praxissemester sowie einen Gastaufenthalt an der Universität von Bologna verbrachte ich dabei in Italien. Das Studium in München habe ich mit der Diplomarbeit in Lüftungs- und Klimatechnik mit Note 1 abgeschlossen. Rund 20 Jahre lang sammelte ich beruflich im technischen Vertrieb und in der Projektierung von Kälte- und Klimaanlageanlagen, Großkältezentralen und mobilen Energielösungen bei einem der größten Hersteller der HVAC-Branche Erfahrung. Mit diesem tiefen, fachlichen Hintergrund

als Basis publiziere ich seit 2004 Fachbücher in der Recknagel Edition. Durch die lange Präsenz in der Klima- und Kältebranche kann ich auf ein großes Netzwerk zugreifen und werde gerne als Gastautor in diversen Fachzeitschriften oder als Redner auf Fachsymposien gebucht. Jedes Jahr investiere ich einen vier- bis fünfstelligen Betrag in meine Weiterbildung im Bereich Persönlichkeitsentwicklung, Finanzwesen, Verkaufs-Skills und Fachwissen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 3. Auflage	4
I. Grundlagen	23
1 Thermodynamische Grundlagen	24
1.1 Hauptsätze der Thermodynamik	24
1.1.1 Nullter Hauptsatz der Thermodynamik	24
1.1.2 Erster Hauptsatz der Thermodynamik	24
1.1.3 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	24
1.1.4 Dritter Hauptsatz der Thermodynamik	25
1.2 Aggregatzustandsänderungen	25
1.2.1 Schmelzen und Erstarren	25
1.2.2 Verflüssigen (Kondensieren)	25
1.2.3 Verdampfen	26
2 Der Aufbau des log-p-h-Diagramms	27
2.1 Enthalpie und Isenthalpe	28
2.2 Druck und Isobare	29
2.3 Spezifisches Volumen und Isochore	30
2.4 Entropie und Isentrope	31
2.5 Temperatur und Isotherme	32
2.6 Grenzkurve und Kritischer Punkt	33
3 Die Anwendung im log-p-h-Diagramm	34
3.1 Verdampfung und Überhitzung	35
3.2 Verdichtung	37
3.3 Enthitzung	38
3.4 Verflüssigung	39
3.5 Unterkühlung	40
3.6 Expansion	42

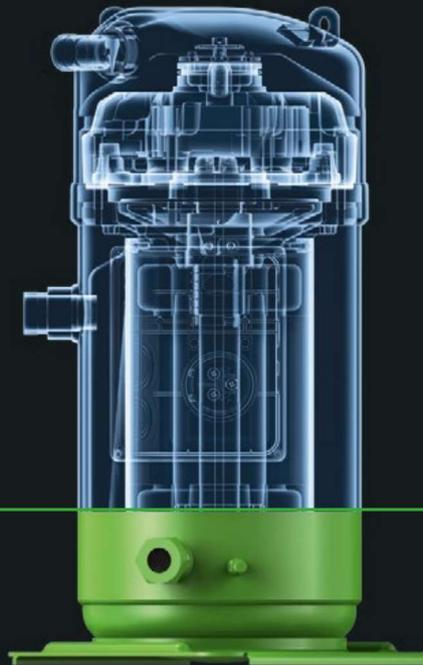
4	Der Aufbau des h-x-Diagramms	44
4.1	Parameter im h-x-Diagramm	44
4.2	Behaglichkeitsfeld im h-x-Diagramm	47
5	Die Anwendung im h-x-Diagramm	48
5.1	Mischen von Luft	48
5.2	Erwärmen von Luft	51
5.3	Kühlen von Luft (mit und ohne Entfeuchten)	51
5.4	Befeuchtung von Luft	55
6	Kältemittel, Kältemaschinenöl und Wärmeträger	59
6.2	Eigenschaften von Kältemitteln	63
6.3	Definition und Begriffserklärung	68
6.3.1	FCKW	68
6.3.2	H-FCKW	68
6.3.3	H-FKW und HFO	69
6.3.4	Kältemittel-Gemische	69
6.3.5	Natürliche Kältemittel	70
6.3.5.1	Ammoniak (R717) als Kältemittel	70
6.3.5.2	CO ₂ (R744) als Kältemittel	71
6.3.6	Ozon Depletion Potenzial (ODP)	73
6.3.7	Treibhauseffekt	73
6.3.8	Global Warming Potential (GWP)	73
6.3.9	Total Equivalent of Warming Impact (TEWI)	73
6.3.10	Kältemittelumrüstung	76
6.4	Kältemaschinenöl	78
6.5	Wärmeträger (Sole)	79
6.6	Wasserrechtliche Anforderungen für die Kälte- und Klimabranche	90
7	Wassertechnische Grundlagen	92
7.1	Grundlagen der Wasserchemie	92
7.1.1	Allgemeines	92
7.1.2	Eigenschaften des Wassers	92
7.1.3	Wichtige Begriffe für die Beurteilung einer Wasserprobe	94
7.1.3.1	pH-Wert	94

7.1.3.2	Elektrische Leitfähigkeit σ	96
7.1.3.3	Härte des Wassers	97
7.1.3.4	Mikrobiologie	98
7.2	Empfohlene Richtwerte für die Beschaffenheit von Umlaufwasser gemäß VDI-Richtlinien	100
7.2.1	Wasser in edelstahlberohrten Kreisläufen und Edelstahl-Wärme- übertragern	100
7.3	Verfahren der Wasseraufbereitung	102
7.3.1	Filtration	102
7.3.1.1	Vollstromfiltration	102
7.3.1.2	Teilstromfilter	103
7.3.2	Enthärtung durch Ionentausch	104
7.3.3	Umkehrosmose	108
7.3.4	Elektrodeionisation (EDI)	110
7.3.5	Vollentsalzung im Ionentausch	112
7.4	Verfahren der Wasserbehandlung	114
7.4.1	Dosierung	116
7.4.2	UV-Bestrahlung	119
7.5	Chemisch-wasserseitige Reinigung / Inbetriebnahme	121
8	Von der VDI 2047 zur 42. BImSchV für Verdunstungs- kühlanlagen	124
8.1	Einführung/Hintergrund	124
8.2	Anforderungen an Errichtung, Beschaffenheit und Betrieb der Anlagen	128
8.3	Mikrobiologische Untersuchungen zur Bewertung des hygienischen Zustands	129
8.4	Dokumentationspflichten	132
8.4.1	Betriebstagebuch	132
8.4.2	Kataster zur Erfassung von Verdunstungskühlanlagen 42. BImSchV (KaVKA-42.BV)	133
8.5	Überprüfung der Anlagen	139
8.6	Störungen des Betriebs	140
8.7	Verstöße gegen die Verordnung	141

9	UV-C-Entkeimung von Luft	142
9.1	Grundlagen zu UV-Strahlung und Desinfektion von Luftströmen mit UV-C-Strahlung	142
9.2	Wirkung und Effizienz	145
9.3	Leuchten und Lampen	146
9.4	Einsatz in der Praxis	150
9.4.1	Luftentkeimung allgemein	150
9.4.2	Luftentkeimung in Kühlräumen und gekühlten Arbeitsräumen	150
9.5	Sicherheit	151
II.	Bauteile von Wasserkühlsätzen	153
1	Verdichter	155
1.1	Scrollverdichter	155
1.2	Hubkolbenverdichter	159
1.2.1	Halbhermetische Hubkolbenverdichter	159
1.2.2	Offene Hubkolbenverdichter	162
1.3	Schraubenverdichter	164
1.3.1	Zweirotorschraubenverdichter	169
1.3.2	Einrotorschraubenverdichter	171
1.3.3	Semihermetische Schraubenverdichter für Ammoniak	172
1.4	Turboverdichter	174
1.4.1	Ölfreie magnetgelagerte Turboverdichter	178
1.4.2	Turboverdichter mit Getriebe	180
2	Verflüssiger	182
2.1	Flüssigkeitsgekühlter Platten- und Rohrbündelverflüssiger	185
2.1.1	Flüssigkeitsgekühlter Plattenverflüssiger	186
2.1.2	Flüssigkeitsgekühlter Rohrbündelverflüssiger	190
2.2	Luftgekühlter Verflüssiger	191
3	Expansionseinrichtungen	197
3.1	Thermostatisches Expansionsventil (TEV)	197



DAS HERZ DER FRISCHE



ORBIT 6



ORBIT 8

BESTLEISTUNG VON HEISS BIS KALT. GANZJÄHRIG EFFIZIENTER BETRIEB.

Von Wärmepumpen bis zur Klimatisierung: Die Scrollverdichterserie ORBIT bietet ein umfassendes Produktportfolio von 10 bis 40 Tonnen mit dem höchsten Wirkungsgrad in dieser Klasse. ORBIT 6 und ORBIT 8 sind sowohl für A1-Kältemittel wie R410A als auch für A2L-Kältemittel wie R454B, R452B und R32 geeignet. Ein weiterer Vorzug ist ihre Eignung für den Tandem- oder Triobetrieb mit der BITZER Advanced Header Technology (BAHT). Sie können zudem mit einem externen Frequenzumrichter in einem breiten Drehzahlbereich betrieben werden. Mehr unter bitzer.de/scrollverdichter



AIR
CONDITIONING



PROCESS
COOLING



HEAT
PUMPS



HFO BLEND
READY

3.2	Elektronisches Expansionsventil (EEV)	200
3.3	Schwimmerregler	201
4	Verdampfer	203
4.1	Rohrbündelverdampfer (trocken und überflutet)	204
4.2	Plattenverdampfer (trockene und überflutete Verdampfung)	208
5	Mechanische Einbauten in Kältemittel führenden Leitungen .	211
5.1	Kältemittelleitungen	211
5.2	Kältemittelschauglas	212
5.3	Magnetventil	212
5.4	Filtertrockner	214
5.5	Absperrventil/Rückschlagventil/Saugfilter	215
5.6	Kältemittelsammler	216
5.7	Unterkühlungswärmeübertrager	217
5.8	Economizer	218
5.9	Wärmeübertrager für Druckgasenthitzung (Teil-WRG)	218
5.10	Wärmeübertrager für 100 % Wärmerückgewinnung	219
5.11	Kompensatoren (Schwingungsdämpfer)	219
5.12	Verflüssigungsdruckregler bei luftgekühltem Verflüssiger	220
5.13	Saugdruckregler	220
5.14	4-Wege-Umschaltventil für Wärmepumpennutzung	221
5.15	Komponenten für Ölmanagement bei Ammoniakkälte	221
6	Sicherheitskette	223
6.1	Öldruck- und Öltemperaturüberwachung	223
6.2	Unter- und Überdrucksicherung	223
6.3	Druckgasüberhitzungsschutz bei Kälteanlagen	225
6.4	Pump-down	226
6.5	Motorschutzeinrichtungen	226
7	Mechanisches und hydraulisches Zubehör	230
7.1	Strömungswächter	230
7.2	Manometer und Thermometer	232
7.3	Schwingungsdämpfer	233

7.4	Rohrleitungskompensatoren	239
7.5	Marine-Wasser-Box	240
7.6	Pumpen	241
7.7	Pufferspeicher und hydraulische Weiche	258
7.8	Schalldämmung	263
7.9	Kühlwasserregler	267
8	Elektrotechnisches Zubehör	269
8.1	Direktstart	271
8.2	Teilwicklungsanlauf (part winding)	271
8.3	Stern-Dreieck-Schaltung (Y/Δ)	273
8.4	Sanftanlaufgerät (Softstart)	274
8.5	Phasenanschnitt	277
8.6	Frequenzumrichter (FU)	278
8.7	EC-Regelung	283
8.8	Blindstromkompensation	284
8.9	Begrenzung der Stromaufnahme	288
III.	Aufstellungssituation und Bauformen	291
1	Klassifizierungen und Aufstellungssituationen	293
1.1	Klassifizierung nach Leistungsbereich und Mindesteffizienzanforderung gemäß Verordnung EU 2016/2281	293
1.2	Zugangsbereiche, Klassifizierung von Aufstellorten, Maschinenraum und Personen-Aufenthaltsbereich nach DIN EN 378-1	295
2	Wassergekühlte Wasserkühlsätze	300
3	Luftgekühlte Wasserkühlsätze	306
3.1	Kompakte Bauweise für die Außenaufstellung	306
3.2	Kompakte Bauweise für die Innenaufstellung	309
3.3	Splitbauweise für die Innenaufstellung	310

4	Freie Kühlung	312
4.1	Register in Serie vor dem Verdampfer / integriertes FC-Register vor dem Verflüssiger	313
4.2	Register in Serie vor dem Verdampfer / unabhängiges FC-Register	315
4.3	Systemtrennung durch Wärmeübertrager für solefreien Betrieb am Verbraucher	316
4.4	Direktverdampfung des Kältemittels mit Kältemittelpumpe	317
4.5	Direktverdampfung des Kältemittels ohne Kältemittelpumpe (Thermosiphon)	318
IV.	Rückkühlwerke	321
1	Trockenrückkühler	323
1.1	Trockenrückkühler mit adiabater Luftvorkühlung über Kontaktkörper/Mattensystem	326
1.2	Besprühte Trockenrückkühler (Teiladiabat)	330
2	Hybridrückkühler	334
3	Kühltürme	341
V.	Hydraulische Einbindung	357
1	Regelungsmöglichkeiten auf der Verbraucherseite	359
1.1	Drosselregelung	359
1.2	Verteilregelung	360
1.3	Beimischregelung	360
1.4	Einspritzregelung	361
2	Hydraulikschemen von Erzeugern und Verbrauchern	363
2.1	Hydraulische Einbindung eines luftgekühlten Kompaktkaltwas- sersatzes für die Außenaufstellung mit 3-Wege-Verteilventil am Verbraucher	363

2.2	Hydraulische Einbindung eines luftgekühlten Kompaktkaltwassersatzes für die Außenaufstellung mit 2-Wege-Drosselventil am Verbraucher	364
2.3	Hydraulische Einbindung mehrerer luftgekühlter Kompaktkaltwassersätze für die Außenaufstellung mit 3-Wege-Verteilventil am Verbraucher	364
2.4	Hydraulische Einbindung mehrerer luftgekühlter Kompaktkaltwassersätze für die Außenaufstellung mit hydraulischer Weiche und drehzahl geregelter Sekundärpumpe	365
2.5	Hydraulische Einbindung eines luftgekühlten Kompaktkaltwassersatzes für die Außenaufstellung mit Systemtrennung über Wärmeübertrager am Verbraucher	366
2.6	Hydraulische Einbindung eines luftgekühlten Kompaktkaltwassersatzes für die Außenaufstellung mit externem freien Kühler und Systemtrennung durch Wärmeübertrager am Verbraucher	367
2.7	Hydraulische Einbindung eines luftgekühlten Kompaktkaltwassersatzes für die Außenaufstellung mit Systemtrennung durch hydraulische Weiche und Wärmerückgewinnung durch Druckgasenthitzer	368
2.8	Hydraulische Einbindung eines wassergekühlten Kompaktkaltwassersatzes für die Innenaufstellung mit Rückkühler für die Außenaufstellung	369
2.9	Hydraulische Einbindung eines wassergekühlten Kompaktkaltwassersatzes für die Innenaufstellung mit Rückkühler für die Außenaufstellung und Wärmerückgewinnung über externen Wärmeübertrager	370
2.10	Hydraulische Einbindung eines wassergekühlten Kompaktkaltwassersatzes für die Innenaufstellung mit Rückkühler für die Außenaufstellung und integrierter Wärmerückgewinnung in der Kältemaschine	371
2.11	Hydraulische Einbindung eines wasser- und luftgekühlten Kompaktkaltwassersatzes mit Nutzung des Rückkühlers als freien Kühler	372
2.12	Hydraulische Einbindung eines Hybridkühlers mit nachgeschaltetem Kompressionskaltwassersatz zur Spitzenlastdeckung und Wärmeübertrager zur Systemtrennung	372

VI.	Absorptionskältemaschinen	375
1	Grundlagen	376
2	Funktionsweise	379
3	Energiebilanz und Leistungszahlen bei Absorptionsanlagen	383
4	Klassifizierung von Absorptionsanlagen	385
4.1	Wahl des Arbeitsstoffpaares	385
4.1.1	Lithiumbromid/Wasser (LiBr/H ₂ O)	385
4.1.2	Ammoniak/Wasser (NH ₃ /H ₂ O)	385
4.2	Wahl der Energiequelle	386
4.2.1	Heißwasserbetriebene Absorptionsanlagen	386
4.2.2	Dampfbetriebene Absorptionsanlagen	386
4.2.3	Abgasbetriebene Absorptionsanlagen	387
4.2.4	Direktbefeuerte Absorptionsanlagen	387
4.2.5	Multifuel Absorptionsanlagen	387
4.3	Anzahl der Effekte	387
4.3.1	Half Effect	388
4.3.2	Single Effect	388
4.3.3	Double Effect	390
4.3.4	Single-Double Effect	394
4.3.5	Triple Effect	394
4.3.6	Single-Effect-Double-Lift	394
4.4	Anzahl der Stufen	394
5	Beim Absorptionsprozess eingesetzte Chemikalien	396
5.1	Lithiumbromid (LiBr)	396
5.2	Lithiummolybdat (Li ₂ MoO ₄)	396
5.3	Wasser (H ₂ O)	396
5.4	Octylalkohol (C ₈ H ₁₈ O)	397

6	Hydraulische Einbindung von Absorptionskältemaschinen . . .	398
6.1	Kaltwasserkreislauf	398
6.2	Kühlwasserkreislauf	400
6.3	Heißwasserkreislauf	402
6.4	Dampf- und Kondensatkreislauf	403
7	Absorptionskälteanlagen in Kombination mit BHKWs	406
8	Elektroseitige und regelungstechnische Einbindung der Absorptionskältemaschine	407
9	Absorptionsmaschinen als Wärmepumpen	409
10	Planungs- und Auslegungshinweise	414
VII.	Rechenzentrumsklimatisierung	419
1	Grundlagen	420
1.1	PUE-Werte	421
1.2	Verfügbarkeitsklassen im Rechenzentrum	421
2	Klimatische Anforderungen im Rechenzentrum	424
2.1	Notwendiger Luftvolumenstrom und Kühlleistung	424
2.2	Anteil sensible und latente Kühlleistung	425
2.3	Empfohlene Zuluft-Bedingungen	426
3	Energieeinsparung durch freie Kühlung	429
3.1	Grundlagen der freien Kühlung (freie Kühlung – direkt und indirekt)	429
3.2	Direkte freie Kühlung	430
3.3	Indirekte freie Kühlung	431
3.3.1	Einstufige indirekte Freikühlsysteme	431
3.3.2	Zweistufige indirekte Freikühlsysteme	432

4	Raumkühlung mit Klimaschrank über Doppelboden	435
4.1	Funktionsprinzip Doppelbodenkühlung	435
4.2	Systemansätze bei Doppelbodenkühlung	437
4.2.1	Kompressorkühlung nach dem Direktverdampfer-Prinzip	437
4.2.2	Kaltwassersystem (CW-Chilled Water)	438
4.2.3	Hybrides System mit indirekter freier Kühlung	438
4.3	Ausführungen Klimaschrank	440
5	Raumkühlung ohne Doppelboden	444
5.1	Air-Handling-Units (AHU) zur Innenaufstellung	445
5.2	Air-Handling-Units (AHU) zur Außenaufstellung	445
6	Kühlung von Einhausungen (Warmgang/Kaltgang) mit Reihenklimagern	447
6.1	Kaltgangeinhausung	448
6.2	Warmgangeinhausung	448
7	Micro-Rechenzentren mit direkter Schrankkühlung und Containerkühlung	450
7.1	Core	450
7.2	Edge	450
7.3	RAN	451
VIII.	Rooftop-Einheiten als Sonderform eines RLT-Gerätes	453
1	Funktionsprinzip und Leistungsbereiche	454
2	Einstufung nach Ecodesign-Richtlinie und Eurovent	459
2.1	Ecodesign-Richtlinie 2009/125/EG [53] und EU-Verordnung 2016/2281 [67]	459
2.2	Eurovent-Programm „Rooftop“ (RT)	465



Ahead of the Expected
With LG HVAC Solutions

BE AHEAD AND STAY HEALTHY

LG ERV is the ideal saving solution for improving
air quality in buildings with fresh air



ERV



[www.lg.com/de/
business/erv](http://www.lg.com/de/business/erv)

3	Weitere Richtlinien, Normen und VDI-Richtlinien	468
4	Vor- und Nachteile eines Rooftop-Gerätes im Vergleich zum Lüftungsgerät	469
4.1	Flexibilität	469
4.2	Effizienz	470
4.3	Montage und Inbetriebnahme	470
4.4	Investitionskosten	472
IX.	Mess-, Steuer- und Regeltechnik	473
1	Grundlagen	475
2	Regelcharakteristik von Wasserkühlsätzen	482
2.1	Rücklauftemperaturregelung	482
2.2	Vorlauftemperaturregelung	483
X.	Inbetriebnahme und Instandhaltung	485
1	Inbetriebnahme	487
2	Instandhaltung	491
2.1	Inspektion	493
2.2	Wartung	494
2.3	Instandsetzung	494
2.4	Dichtheitsprüfung	494
3	Monitoring von Kaltwassersätzen durch Vorortmessung und Fernüberwachung	496
3.1	Grundlagen	496
3.2	Hard- und Software für das Monitoring	498
3.3	Durchführung der Messungen	502
3.4	Häufige Optimierungsmöglichkeiten	507

XI.	Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit	515
1	Investitions-, Betriebs- und Life-Cycle-Costs	517
2	Kennzahlen und Zertifizierungen	521
2.1	EU-Ecodesign-Richtlinie 2009/125/EG	521
2.1.1	Komfort-Flüssigkeitskühlsätze	523
2.1.2	Prozess-Flüssigkeitskühlsätze	527
2.2	Eurovent	531
2.3	IPLV.SI/NPLV.SI nach AHRI	539
3	Maschinenkonfiguration	541
4	Förderung im Bereich technische Gebäudeausrüstung	544
4.1	Kälte- und Klimaanlage (BAFA)	544
4.2	Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss (BAFA)	546
4.2.1	Modul 1: Querschnittstechnologien	547
4.2.2	Modul 2: Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien	548
4.2.3	Modul 3: MSR, Sensorik und Energiemanagementsoftware	549
4.2.4	Modul 4: Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen	550
4.2.5	Modul 5: Transformationskonzepte	551
4.3	Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)	552
XII.	Anhang	555
	Umrechnungstabellen	556
	Quellennachweise	559
	Alphabetisches Firmenverzeichnis	573
	Inserentenverzeichnis	578



Dieses Icon im Buch weist auf weiterführende Links zum entsprechenden Thema hin.

www.tga-lars-keller.de