

Kombinierte direkte und indirekte Freie Kühlung

Kühlung von Rechenzentren ohne mechanische Kühlung

✓ KOMPAKT INFORMIEREN

Für den Kühlbedarf von Rechenzentren kann in den meisten Jahresstunden Außenluft als Wärmesenke genutzt werden.

Bisherige Konzepte mit direkter und indirekter Freier Kühlung haben aber bezüglich der erforderlichen Be- und Entfeuchtung Nachteile und kommen nicht ohne zusätzliche mechanische Kälteerzeugung aus.

Um auf eine Kältemaschine verzichten zu können, ist eine grundlegende Optimierung der Leistungsdaten des Rückkühlwerks und der Verdunstungskühlung zwingend erforderlich.

Ein neues Konzept auf der Basis eines Wärmeübertragers als Hybridsystem mit stufenlos regelbarem Befeuchtungsgrad zwischen 80 und 160 % ermöglicht den vollständigen Verzicht auf mechanisch erzeugte Kälte und verringerte Zuluftvolumenströme im Sommerfall.

Die Betriebskosten für die Kühlung von Rechenzentren lassen sich signifikant reduzieren, wenn die Außenluft als Kühlpotenzial genutzt wird. Durch die Nutzung der leistungsgesteigerten indirekten Verdunstungskühlung und eine neu entwickelte Wärmeübertrager-Anordnung in zentralen RLT-Geräten kann sogar auf eine mechanische Kühlung vollständig verzichtet werden.



Bild: Schiller-Krenz / fotolia



Maria Swiderek B. Eng.
 Masterstudierende
 Umweltorientierte Energietechnik
 an der Hochschule Trier,
 Umwelt-Campus Birkenfeld.



Boris Wollscheid B. Eng.
 ist Entwicklungsingenieur
 bei der Howatherm
 Klimatechnik GmbH.



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup
 ist Honorarprofessor der Hochschule
 Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld,
 für Energieeffizienz und Wärme-
 rückgewinnung und geschäfts-
 führender Gesellschafter der
 Howatherm Klimatechnik GmbH.

Kaup ist Mitglied in verschiedenen Normungsgremien, z. B. EN 16 798, EN 13 779, EN 13 053, EN 308 und EN 1886 sowie Richtliniausschüssen, z. B. VDI 6022 und VDI 3803.

➔ Rechenzentren benötigen trotz abnehmender spezifischer Verlustleistung der Informationstechnik weiterhin große Rückkühlleistungen, da auf geringerem Raum eine immer höhere Rechnerleistung mit aktuell bis zu 2 kW/m² Kühllast installiert wird. Moderne und große Rechenzentren benötigen daher Kühlleistungen von über 1 MW. Dabei ist der kostenbestimmende Faktor die vornehmlich elektrisch erzeugte Kälteleistung, die 24 h pro Tag benötigt wird.

Freie Kühlung durch Außenluft

Grundsätzlich kann für den Bedarf von Rechenzentren jedoch die Außenluft als Wärmesenke zur Kühlung herangezogen werden, da die Außenluft im Jahresverlauf meistens kälter als beispielsweise 23 °C ist und nur in ca. 600 h/a eine Kühlung bei Außenlufttemperaturen über 23 °C erforderlich wird.

Damit besteht die Möglichkeit, die Außenluft entweder ohne Umwege zu verwenden, also das Rechenzentrum direkt mit Außenluft zu belüften und damit zu kühlen, oder aber die Außenluft über einen Wärmeübertrager zu entkoppeln, also indirekt zur Kühlung zu nutzen.

Die direkte Kühlung eines Rechenzentrums mit Außenluft ist von verschiedenen Bedingungen abhängig. Gelangt Außenluft direkt in das Rechenzentrum, ist ihre Qualität für die Rechnerentechnik von großer Bedeutung. Liegt standortbedingt belastete Außenluft vor, wird grundsätzlich von einer direkten Nutzung abgeraten. Dies trifft nahezu in allen Fällen bei zu hoher oder zu niedriger Feuchte der Außenluft zu, da die Feuchte im Jahres- und im Tagesverlauf stark schwankt.

Die direkte freie Kühlung hat den großen Vorteil, dass der Wärmewiderstand und der Druckabfall eines sonst notwendigen Wärme-

t/x	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	Summe	
39,5																						0
38,5					1	3	1															5
37,5					3	6	1	1														11
36,5					4	4	5	6	2	3			1	2								27
35,5					1	5	7	3	4	1	3		1	1								26
34,5						5	10	6	7	5	7	8	1	1	1							51
33,5				1	3	3	10	7	7	13	16	11	3	1	1	1	2	1				80
32,5					5	8	15	11	15	25	11	14	9	7	1	1	1	1		1		124
31,5					7	11	19	27	31	23	25	25	18	13	4	3	3					209
30,5				1	4	17	27	42	57	57	49	44	21	19	10	3	2			1		354
29,5				3	14	20	33	59	87	79	57	45	15	13	8	5	1	2				441
28,5				3	16	27	46	75	89	93	83	63	41	27	15	9	1	1	1			590
27,5				1	7	25	28	49	83	111	117	101	96	57	21	16	7	2	1			722
26,5					7	21	35	76	110	126	111	111	81	63	41	18	5	2	1	1	1	810
25,5					9	33	49	105	128	130	148	135	102	77	47	26	7	4	1	1		1.002
24,5					17	37	75	118	158	185	187	147	101	97	56	27	9	6	2	1		1.223
23,5				3	13	35	89	160	190	185	205	177	139	99	71	29	9	4	1			1.409
22,5				3	13	36	118	172	236	237	239	204	167	99	59	31	9	4	1			1.628
21,5				7	25	51	133	203	257	276	284	249	203	144	92	36	11	1				1.972
20,5				9	33	91	152	219	245	326	341	309	243	163	105	29	5					2.270
19,5				19	39	107	177	248	294	360	365	330	325	240	91	20						2.615
18,5		1	21	47	111	207	291	344	409	440	377	382	282	17								2.929
17,5		1	21	57	117	213	303	390	490	504	517	467	78									3.158
16,5		4	13	58	135	246	384	456	584	625	687	195	3									3.390
15,5		1	24	79	149	275	411	549	747	833	491	7										3.566
14,5		4	31	81	171	288	457	689	858	954	60											3.593
13,5		9	37	103	181	342	601	785	1177	444												3.679
12,5		7	44	135	218	433	771	1065	1072	21												3.766
11,5		7	53	148	285	583	951	1471	294													3.792
10,5		7	55	179	403	756	1170	1141	5													3.716
9,5		9	73	205	507	1081	1682	273														3.830
8,5		21	105	237	663	1351	1397	9														3.783
7,5		16	125	322	876	1946	571															3.856
6,5		15	125	433	1177	1879	37															3.666
5,5		17	136	613	1625	1160																3.551
4,5		14	167	783	2042	215																3.221
3,5		31	193	1104	1807	1																3.136
2,5		39	267	1487	1109																	2.902
1,5		47	383	1960	343																	2.733
0,5		51	519	1927	7																	2.504
-0,5		69	644	1063																		1.776
-1,5	1	96	826	657																		1.580
-2,5	1	101	946	137																		1.185
-3,5		139	707	4																		850
-4,5		147	411																			558
-5,5		133	267																			400
-6,5		155	119																			274
-7,5		167	37																			204
-8,5		151																				151
-9,5	1	116																				117
-10,5	2	86																				88
-11,5	1	33																				34
-12,5		33																				33
-13,5		25																				25
-14,5	1	21																				22
-15,5	7	4																				11
-16,5	7																					7
-17,5	3																					3

bis 27 °C empfohlen (zulässig sind 20 bis 80 % bei 15 bis 32 °C für die Klasse A1). In der Praxis werden häufig Grenzwerte für die absolute Feuchte der Zuluft von 4 bis 6 g/kg im Winter als unterer Grenzwert und 10 bis 12 g/kg im Sommer als oberer Grenzwert akzeptiert.

In Abhängigkeit der Außenluftfeuchte ist eine Kombination aus der direkten und der indirekten freien Kühlung anzustreben. Bei zu hoher und bei zu niedriger Feuchte oder bei belasteter Außenluft könnte die indirekte freie Kühlung genutzt werden, während bei zulässigen Feuchten und unbelasteter Außenluft die direkte freie Kühlung verwendet werden kann. Damit entfällt sowohl die Zuluftbefeuchtung im Winter als auch eine Entfeuchtung der Zuluft im Sommer.

Freie Kühlung, unterstützt durch indirekte Verdunstungskühlung

Im Folgenden wird die Freie Kühlung betrachtet, die durch eine indirekte Verdunstungskühlung unterstützt wird, um die benötigte Kühlleistung mittels Rückkühlwerk zur Verfügung zu stellen ③.

Die benötigte Kühlleistung hängt bei der Verwendung der Außenluft als Wärmesenke vom Standort des Rechenzentrums ab. Mit seinen Temperatur- und Feuchtehäufigkeiten hat er eine große Auswirkung auf den Nutzen der Freien Kälte. In den meisten Gebieten in Deutschland kann im Bereich zwischen 19 und 26 °C sowie zwischen 4,5 und 10,5 g/kg die Außenluft ohne eine Luftbehandlungsfunktion in ca. 1111 h/a direkt verwendet werden (weißer Bereich in ②).

② veranschaulicht am Beispiel von Mannheim die spezifischen Außenluftkonditionen während eines Jahres und deren Summenhäufigkeiten (in der Grafik in 1/10 h²). Unterhalb ei-

Bereich	Anlagenzustand	h/a	%
1	RKW UML-Betrieb indirekte AUL-Kühlung mit Verdunstungskühlung	2	0,0
2a	RKW UML-Betrieb indirekte AUL-Kühlung mit Verdunstungskühlung	247	2,8
2b	WRG AUL-Betrieb indirekte ABL-Kühlung mit Verdunstungskühlung	6	0,1
3	RKW UML-Betrieb indirekte AUL-Kühlung mit Verdunstungskühlung	68	0,8
4	RKW UML-Betrieb indirekte AUL-Kühlung mit Verdunstungskühlung	27	0,3
5	isotherme direkte AUL-Kühlung	1111	12,7
6	RKW UML-Betrieb indirekte AUL-Kühlung mit Verdunstungskühlung	389	4,4
7	RKW UML-Betrieb indirekte AUL-Kühlung	1990	22,7
8	Mischbetrieb direkte AUL-Kühlung	4851	55,3
9	RKW UML-Betrieb indirekte AUL-Kühlung	75	0,9

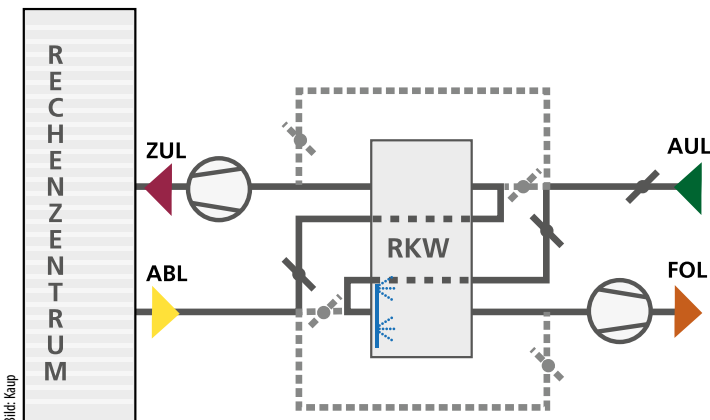
② Häufigkeit der Außenluftzustände nach VDI 4710 am Beispiel Mannheim und beispielhafte Nutzung der Freien Kühlung (oben) sowie verschiedene Betriebszustände für die Nutzung der Freien Kühlung (unten).

2) Freie Kühlung von Rechenzentren mit zentralen Raumlufttechnischen Geräten, HLH 10-2015

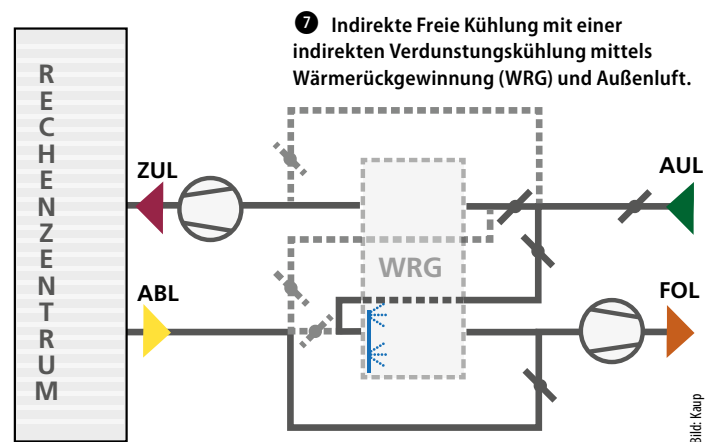
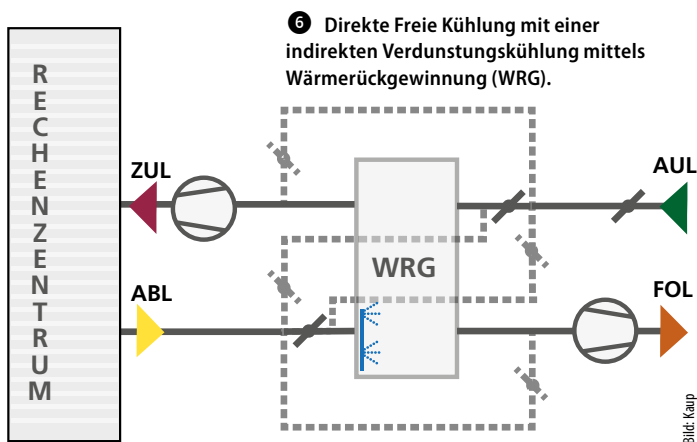
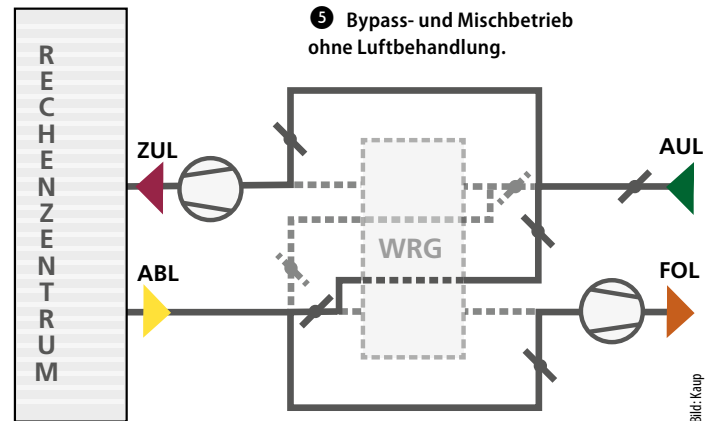
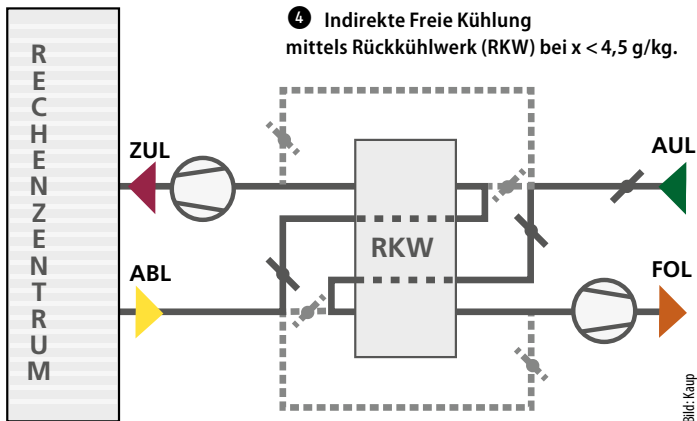
übertragers nicht berücksichtigt werden muss. Sie hat aber auch den Nachteil, dass die Zuluft im Winter befeuchtet und im Sommer entfeuchtet werden muss.

Die Zuluft darf nicht zu trocken werden, da sonst elektrostatische Ladungseffekte zum Problem für die IT-Systeme werden können, sie darf aber auch nicht zu feucht werden, da dann ebenfalls Probleme, beispielsweise durch lokale Kondensation an den IT-Systemen, entstehen können. Gemäß ASHRAE TC 9.9¹⁾ werden als Grenzwerte für die relative Feuchte ca. 30 bis 60 % bei einer Umgebungstemperatur von 18

③ Indirekte Freie Kühlung mit einer indirekten Verdunstungskühlung mittels Rückkühlwerk (RKW).



1) Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance; 2011



ner Außenlufttemperatur von $18,5\text{ °C}$ und einer absoluten Feuchte unter $4,5\text{ g/kg}$ wird in rund 1990 h/a durch Nutzung der indirekten freien Kühlung und ohne zusätzliche thermodynamische Luftaufbereitung die geforderte Zulufttemperatur erreicht (4) und türkisfarbener Bereich in (2).

Unterhalb von $18,5\text{ °C}$ und über $4,5\text{ g/kg}$ (bis $10,5\text{ g/kg}$) kann in 4851 h/a die minimale Zulufttemperatur durch Mischen von Außenluft mit Abluft energetisch effizient gewährleistet werden, da keine Luftbehandlungsfunktionen erforderlich sind (5) und beigefarbener Bereich in (2). Alternativ kann auch mittels Wärmerückgewinnung die Zulufttemperatur erreicht werden (ähnlich 6, jedoch ohne Befeuchtung). Dann ist eine Be- oder Entfeuchtung der Zuluft ebenfalls unnötig.

Im Bereich über $26,5\text{ °C}$ Außenluft und bis zu einer Außenluftfeuchte von $10,5\text{ g/kg}$ kann durch trockene, sensible Kühlung die geforderte Zulufttemperatur in ca. 250 h/a sichergestellt werden (3) und ockerfarbener, blauer und hellblauer Bereich in (2). Die notwendige Kühlung wird dann durch ein Rückkühlwerk (RKW) auf Basis eines Wärmeübertragers mit indirekter Verdunstungskühlung (3) bereitgestellt.

Durch die Verwendung eines Rückkühlwerkes, das mit Außenluft betrieben wird, wird die Temperatur nach dem Rückkühlwerk je nach Außen- und Abluftluftkondition auf ca. 18 bis 24 °C gesenkt, ohne dass eine zusätzliche Kältemaschine benötigt wird.

Liegt der Energieinhalt der Abluft unter dem Energieinhalt der Außenluft, kann auch das Verfahren der Wärmerückgewinnung (WRG) gemäß (6) zum Einsatz kommen. Dies setzt allerdings voraus, dass die Außenluft direkt dem Rechenzentrum zugeführt werden kann.

Wenn die Summenhäufigkeiten der einzelnen Betriebszustände in (2) addiert werden, so ergibt sich für die direkte freie Kühlung (weiß und beigefarbener Bereich) eine Summenhäufigkeit von rund 5962 h , also 68% der Jahresnutzungszeit, während 2798 h (32% der Jahresnutzungszeit) auf die indirekte Nutzung der Außenluft fallen (beispielsweise $4,5\text{ g}$ und $10,5\text{ g}$ als Feuchtegrenzwerte). Bei anderen Feuchtegrenzwerten verschieben sich Laufzeiten für die einzelnen Betriebszustände entsprechend.

Aber auch bei der indirekten Freien Kühlung kann Außenluft zur indirekten Verdunstungskühlung (RKW) verwendet werden, wenn bei

den Strängen mit Außenluft betrieben werden (7). Dies setzt jedoch voraus, dass der Fortluftventilator für diesen Betriebsfall ausgelegt ist und mit doppelter Luftmenge betrieben werden kann.

Im Bereich über $10,5\text{ g/kg}$ Außenluftfeuchte wird Umluft mit einer indirekten Verdunstungskühlung durch Außenluft genutzt, da die absolute Feuchte der Außenluft für eine direkte Nutzung zu hoch ausfällt (3) und z. B. rosafarbener Bereich in (2).

Leistungssteigerung der indirekten Verdunstungskühlung

Um auf eine Kältemaschine verzichten zu können, ist eine Optimierung der Leistungsdaten (RKW und Verdunstungskühlung) zwingend erforderlich. Hierzu sind Wärmeübertrager notwendig, die trockene Temperaturübertragungsgrade von mehr als 75% aufweisen. Gleichzeitig ist der Platzbedarf der benötigten und entsprechend dimensionierten Wärmeübertrager enorm und daher schwer zu realisieren.

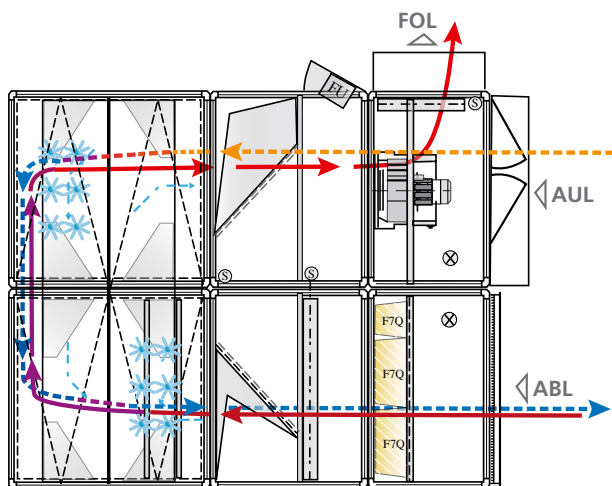
(8) und (9) zeigen eine neuartige und platzsparende Lösung auf, bei der ein Plattenwärmeübertrager im Kreuz-Gegenstrom am Ende des RLT-Gerätes eingesetzt wird. In die-



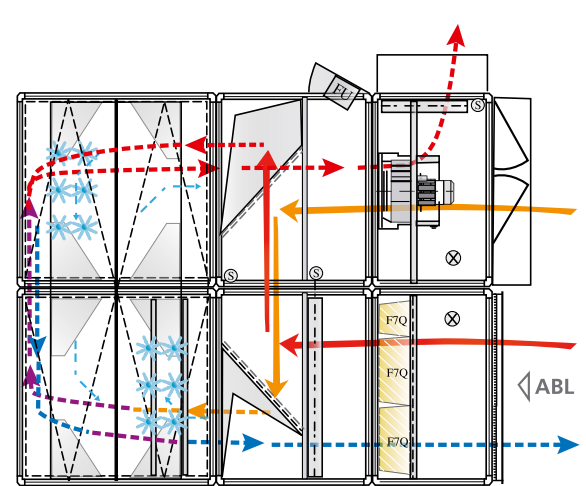
8 Direkte Freie Kühlung (Luftwege AUL-ZUL und ABL-FOL), Seitenansicht.



10 Indirekte Freie Kühlung (Luftwege AUL-FOL und ABL-ZUL), Seitenansicht.



9 Direkte Freie Kühlung (Luftwege AUL-ZUL und ABL-FOL), Ansicht gleich Draufsicht.



11 Indirekte Freie Kühlung (Luftwege AUL-FOL und ABL-ZUL), Ansicht gleich Draufsicht.

sem Fall wird der Wärmeübertrager gleichzeitig als Umlenkammer für die beiden Luftströme verwendet.

Mittels der vor dem Wärmeübertrager integrierten Umlenk- und Mischkammer (System CrossXflow by Howatherm) können die Luftströme innerhalb des RLT-Gerätes effizient umgeschaltet werden 10 und 11. Hierdurch wird die Abluft mit der Zuluft zu einem Umluftsystem verbunden. Die Außenluft dient nun zum Betrieb des RKW, das mit oder ohne Verdunstungskühlung betrieben werden kann. Wird der Wärmeübertrager nicht benötigt, kann der Plattenwärmeübertrager durch integrierte Bypass-

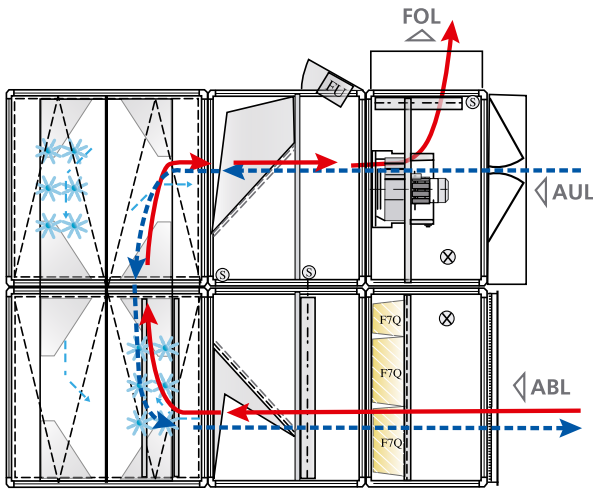
klappen umgangen werden 12. Durch die Umschalt- und Mischbox kann im Mischbetrieb warme Abluft der kalten Außenluft beigemischt werden, um die geforderte Zulufttemperatur zu erreichen 13.

Neben dem trockenen Temperaturübertragungsgrad des Wärmeübertragers spielt die Verdunstungskühlung eine weitere und entscheidende Rolle. Neben der bekannten einstufigen Befeuchtung wurde zur Steigerung des Befeuchtungsgrades eine zweite Befeuchterstufe eingesetzt, womit ein Befeuchtungsgrad von 1 erreicht wird. Der Wärmeübertrager wird dann als Hybridsystem verwendet. Dabei wird der Wärmeübertrager als Wärme-

und als Stoffübertrager eingesetzt 14. Die indirekte Befeuchtung erfolgt somit nicht nur vor dem Wärmeübertrager, sondern auch direkt im Wärmeübertrager (System Hydroplus by Howatherm).

Eine weitere Leistungssteigerung kann nur durch die Steigerung des Befeuchtungsgrades erfolgen. Hierzu wurde der Wärmeübertrager so weiterentwickelt, dass eine besonders große Hydrophilie der Oberfläche erreicht wurde. Durch den damit verbundenen größeren Nachverdunstungseffekt des Befeuchtungswassers wird ein Befeuchtungsgrad erreicht, der bei üblichen Betriebsbedingungen einem Befeuchtungsgrad von 1,6 äquivalent ist. Durch das be-

Bild: Kaup



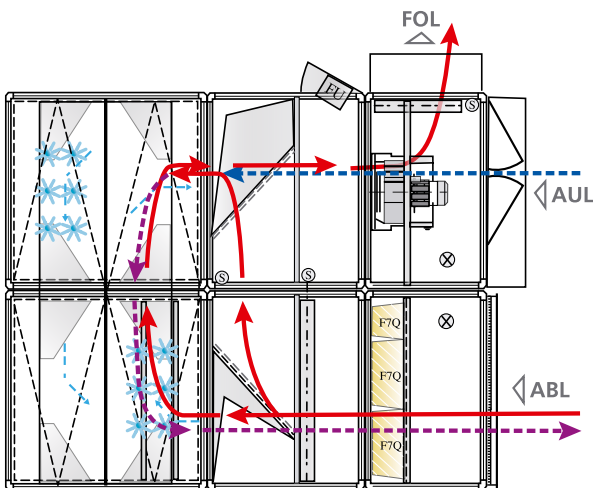
12 Isothermer Bypass-Betrieb.



Bild: Schiller-Kemz

14 Plattenwärmeübertrager-Hybridbefeuchtung mit dem System Hydroplus by Howatherm.

Bild: Kaup



13 Mischbetrieb.

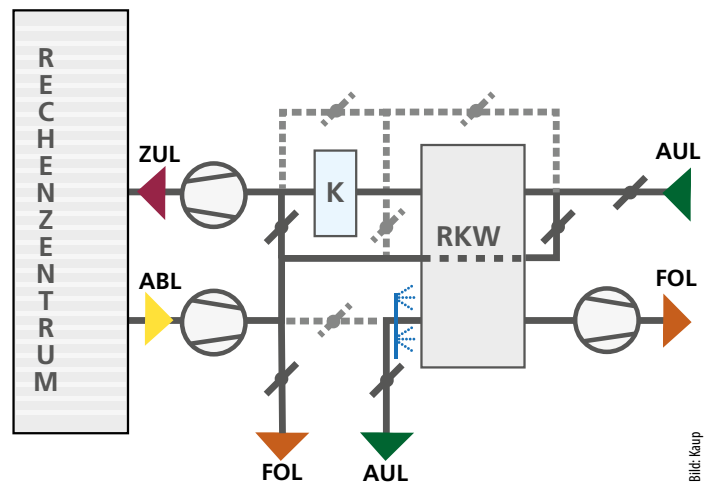


Bild: Kaup

15 Freie Kühlung mit zusätzlicher mechanischer Kühlung zur Entfeuchtung.

sondere Verfahren kann der Befeuchtungsgrad sogar zwischen 80 bis 160 % stufenlos geregelt werden.

Mit dieser Entwicklung wird selbst bei 32 °C und 40 % Außenluftkondition und 35 °C und 30 % Abluftkondition eine Zulufttemperatur von 19 °C erreicht. Dies wurde durch Validierungsmessungen von DEKRA bestätigt. Letztlich wird erst damit eine zusätzliche Kälteerzeugung obsolet.

Weiterhin kann durch die sehr niedrige Zulufttemperatur die Luftmenge des Kühlsystems gesenkt werden, da die Kühlleistung proportional dem Produkt aus Temperaturdifferenz der Kühlung mit der Luftmenge steigt. Ein konven-

tionelles System, das von 32 auf 24 °C kühlt, hat mit einer Temperaturdifferenz von 8 K ein um 38 % niedrigeres Potenzial als eine leistungssteigerte Verdunstungskühlung mit einer Temperaturdifferenz von 13 K (+62 %). Mit der Leistungssteigerung kann daher die Luftmenge in diesen Betriebsfällen analog um 38 % reduziert werden.

Freie Kühlung mit zusätzlicher Kühlung bei Betrieb mit Mindestaußenluftanteil

Rechenzentren sind üblicherweise Maschinenräume, in denen sich bestimmungsgemäß Personen nicht mehr als 30 Tage pro Jahr oder regelmäßig länger als zwei Stunden je Tag aufhal-

ten. Daher gilt in ihnen beispielsweise nicht die VDI-Richtlinie 6022³⁾.

Falls ein Rechenzentrum trotzdem mit einem Mindestaußenluftanteil betrieben werden soll, kann das aufgezeigte Verfahren nicht unverändert verwendet werden, da bei indirekter Kühlung zwingend eine vollständige Umschaltung zwischen Außen- und Umluftbetrieb erfolgt. Außenluft wird im beschriebenen Verfahren nur bei direkter Nutzung der Freien Kälte dem Raum zugeführt. In

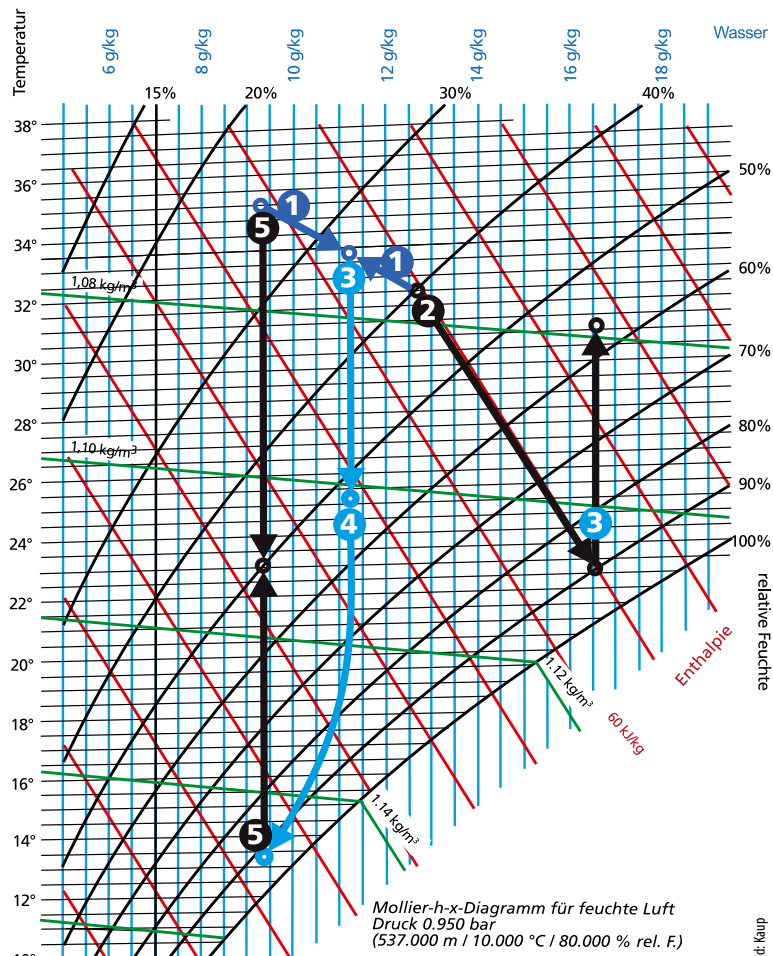
3) VDI 6022 Raumlufttechnik, Raumluftqualität-Hygieneanforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln), Juli 2011

den Zeiten mit zu hoher Außenluftfeuchte wird bei der Nutzung eines Mindestaußenluftanteils eine Entfeuchtung der Zuluft im Sommer zwingend erforderlich, da ansonsten im Raum sukzessive die Feuchte ansteigt. Eine Möglichkeit zur Nutzung der Außenluftbeimischung bei indirekter Verdunstungskühlung zeigt **15**.

Man erkennt sofort, dass in diesem Fall ein wesentlich höherer apparativer Aufwand notwendig wird. Insbesondere ist nun eine mechanische Kälteerzeugung unumgänglich. Es ergeben sich folgende Prozessschritte im h,x-Diagramm **16**. Wird beispielsweise im Sommer über einer Außenluftfeuchte von 10,5 g/kg ein Mindestaußenluftanteil beigemischt (Prozess 1) und soll gleichzeitig eine absolute Feuchte von maximal 10,5 g/kg in der Zuluft eingehalten werden, muss die Mischluft unter den Taupunkt auf eine Temperatur von 13,3 °C gekühlt werden.

Nach der Entfeuchungskühlung wird dann durch weiteres Mischen der Abluft mit dem entfeuchteten Luftstrom die benötigte Zulufttemperatur erreicht (**16** Prozess 5). Da der Mischluftanteil der Abluft (z. B. 45 %) nicht gekühlt werden muss, reduziert sich allerdings die Entfeuchungskühlleistung, da nur noch 55 % des Gesamtvolumenstromes unter den Taupunkt gekühlt werden müssen (**16** Prozess 3 und 4).

Die Entfeuchungskälteleistung wird in ca. 460 h/a, also in rund 5,3 % der Laufzeit der Anlage, benötigt. Als problematisch ist



16 h,x-Prozess der direkten Freien Kühlung (3) mit mechanischer Kühlung (4) und Mischprozess zur Nacherwärmung (5) sowie einer indirekten Verdunstungskühlung (2).

Bild: Kaup

CrossXflow by HOWATHERM® Simulation

Eingabedaten

Konditionen nach ASHRAE TC 9.9
 Außenluft-Betrieb zulässig
 Ventilatorräume berücksichtigen

Luftdaten

Ablufttemperatur: 35 °C
Kühlleistung: 100 kW

Einbringtemperatur zul. Temperaturbereich: 22,5 °C +/- 4 K

Einbringtemperatur max: 26,5 °C
Einbringtemperatur min: 18,5 °C

Rückwärmzahl WRG: 75,0 %
LZ Kältemaschine: 3,0

Wirtschaftlichkeit

Mehrinvestition: 105.252 €
Investition Wasseraufbereitung: 30.656 €
Minderung der Kälteinvestition: 27.278 €

resultierende Investition: 108.829 €
Kapitalwert der Ersparnisse: 577.945 €
Amortisation: 2,2 Jahre

Energiekosten

Elektroenergie: 0,15 €/kWh
Wasserkosten: 10,0 €/m³
Wasserzusatz: 10,0 €/l

Klimadaten

Zone 12
Mannheim

Verzinsung

Kapitalzins: 3,0 %
Preissteigerung: 2,0 %
Nutzungsdauer: 15 Jahre

Zulufttemperatur überschritten: 0,4 h/a 0 %
Kühlung: Hybridbefeuchtung 2-stufig inkl. Nachverdunstung

Betriebszustand	Kühlung	Befeuchter	h/a	%	
1	RKW UML	indirekt	AUL	2	0
2a	RKW UML	indirekt	AUL	247	3
2b	WRG AUL Betrieb	indirekt	ABL	6	0
3	RKW UML	indirekt	AUL	68	1
4	RKW UML	indirekt	AUL	27	0
5	AUL isotherm	direkt	kein	1.111	13
6	RKW UML	indirekt	AUL	369	4
7	RKW UML	indirekt	AUL	1.990	23
8	Misch Betrieb	direkt	kein	4.851	55
9	RKW UML	indirekt	AUL	75	1

Betriebskosten	CrossXflow	UML-Kühlung
Elektro Ventilatoren	5.232 €/a	6.756 €/a
Elektro Kältemaschine	0 €/a	46.766 €/a
Wasser	719 €/a	0 €/a
Wasserzusatz	262 €/a	0 €/a
Energiekosten	6.212 €/a	55.522 €/a

Betriebskostenvergleich System CrossXflow

88,8% Betriebskosten CXF
11,2% Mehrkosten UML

17 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Freien Kühlung.

Bild: Kaup

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Gegenüber einer rein mechanischen Kühlung im Umluftverfahren kann durch die Freie Kühlung ohne mechanische Ergänzungskühlung ein erheblicher Anteil an Energie eingespart werden. In 17 ist die Eingabemaske einer Wirtschaftlichkeitsberechnung dargestellt. Im Beispiel werden 100 kW an ganzjähriger Kühlleistung berechnet. Die Volumenströme gleiten im Beispiel zwischen etwa 35 100 und 18 100 m³/h.

Aus 18 ergeben sich die erforderlichen Befeuchtungsgrade der indirekten Verdunstungskühlung. 19 zeigt die Zuluftvolumenströme, die erforderlich sind, um die Kühlleistung zu erbringen. Aus 20 können die Leistungsaufnahmen der beiden Ventilatoren entnommen werden.

Da auf die mechanische Kühlung vollständig verzichtet werden kann, reduzieren sich die Betriebskosten der Freien Kühlung, kombiniert mit der indirekten Verdunstungskühlung erheblich auf rund 11 % der ursprünglichen Kosten bei reiner Umluft-Kühlung 21.

Fazit

Die Nutzung der Außenluft als Temperatursenke ist eine zu bevorzugende Technologie. Gegenüber der traditionellen Kühlung im Umluftverfahren mittels einer Kompressionskälteanlage sind die Betriebskosten und der Energieeinsatz bedeutend geringer. Zudem kann bei der Verwendung der kombinierten direkten und indirekten freien Kühlung der Bedarf an Befeuchtungs- und Entfeuchtungsleistungen eliminiert werden.

Im Zusammenhang mit der Nutzung der leistungsgesteigerten indirekten Verdunstungskühlung und einer neu entwickelten Wärmeübertrager-Anordnung kann auf eine mechanische Kühlung vollständig verzichtet werden. Überdies kann durch die Leistungssteigerung in den meisten Betriebsfällen die Luftmenge aufgrund der niedrigen Zulufttemperatur verringert werden.

Die Wirtschaftlichkeit der Rechenzentrums-kühlung wird dadurch deutlich erhöht und die etwas höheren Investitionskosten des raumlufttechnischen Gerätes werden damit mehr als kompensiert.

Wirtschaftlichkeitsberechnung der Freien Kühlung gegenüber einer Umluft Kühlung

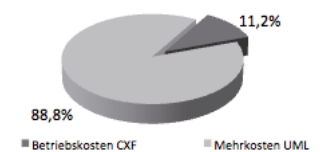
Eingabedaten

Klimazone:	Mannheim (12) VDI 4710	Stromkosten:	0,150 €/kWh
Luftmenge:	35.084 m ³ /h	Wasserkosten:	10,0 €/m ³
Mehrinvest:	135.907 €	Additiv:	10,0 €/l
Minderinvest:	27.278 €	Nutzungsdauer:	15 Jahre
Investition:	108.629 €	Betriebsstunden:	8.760 h/a
		Kapitalzins:	3,0 %
		Preissteigerung:	2,0 %

Auswertung

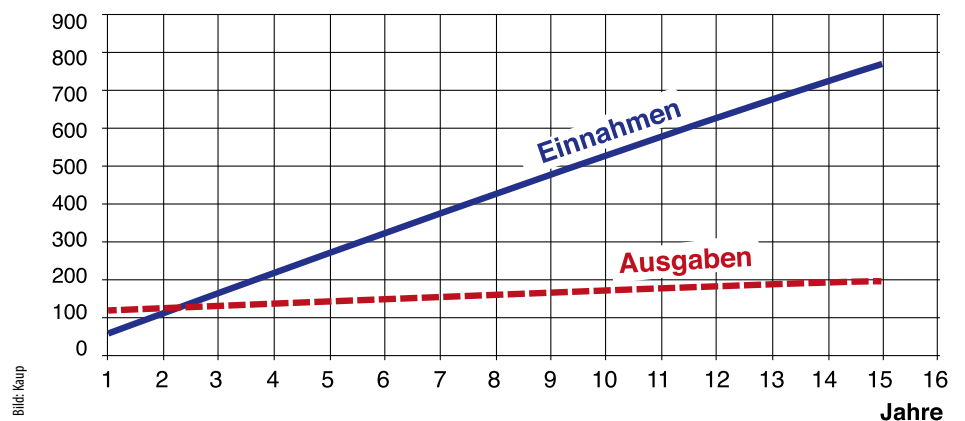
Ertrag (1. Jahr)		Aufwand (1. Jahr)	
Investition	0 €	Investition	108.629 €
Kapital	0 €/a	Kapital	9.099 €/a
Ventilatoren	3.524 €/a	Ventilatoren	0 €/a
Kälteenergie	46.766 €/a	Wasserkosten	719 €/a
		Additiv	262 €/a
Einnahmen (n. Laufzeit)		Ausgaben (n. Laufzeit)	
	770.982 €		193.038 €
Kapitalwert der Ersparnisse	577.945 €		
Amortisation	2,2 Jahre		
COP (Mittelwert)	20,0		
COP (gewichtet)	38,1		

Betriebskostenvergleich



Darstellung des Kapitalwerts der Ersparnisse und der Amortisationszeit

€ in Tsd.



21 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Freien Kühlung gegenüber einer Umluft-Kühlung.