

Vergleich von Hochleistungswärmerückgewinnungssystemen auf Basis des KV-Systems

Christoph Kaup, Brücken

Bei Hochleistungswärmerückgewinnungssystemen bietet sich mit Kreislaufverbundsystemen grundsätzlich die Möglichkeit auf den Zwischenkreis des Trägermediums Einfluss zu nehmen. Werden dabei die konstruktiven Kriterien berücksichtigt, dient dies der Wirtschaftlichkeit während des Betriebs.

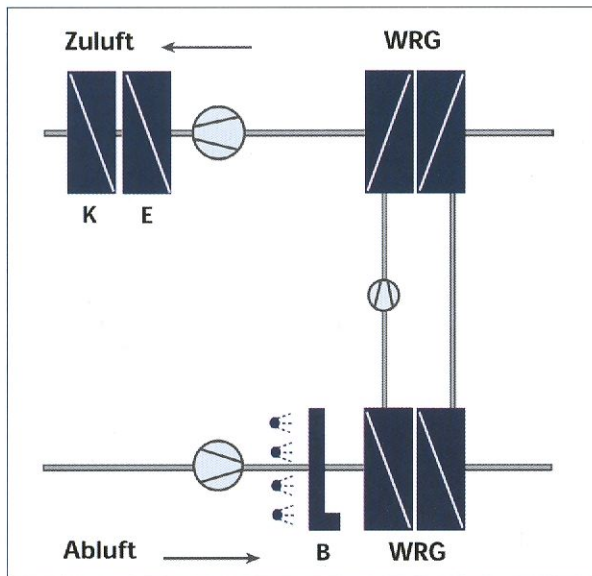


Bild 1

Konventionelles Hochleistungskreislaufverbundsystem

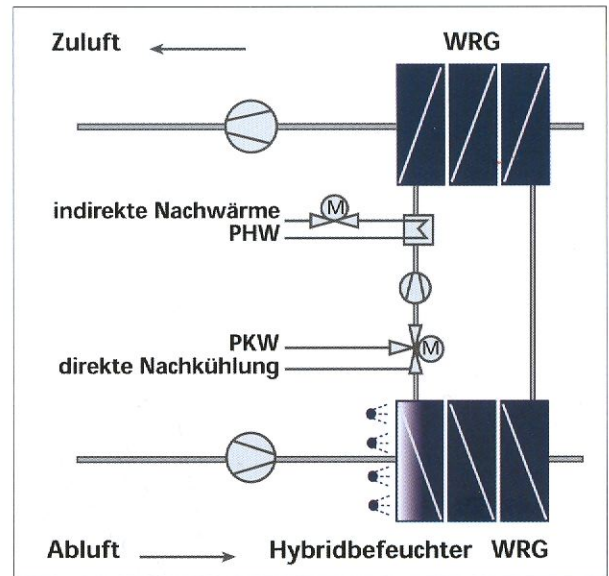
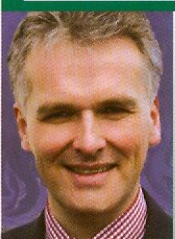


Bild 2

Hybrid-Hochleistungskreislaufverbundsystem

Autor



Dr.-Ing. Christoph Kaup, Jahrgang 1963, studierte Verfahrenstechnik und Wirtschaftsingenieurwesen, Promotion 1992. Seit 1993 Geschäftsführer eines Mittelstandsunternehmens für innovative Produkte der Lüftung- und Klimatechnik.

Aus dem im Vorspann genannten Grund beschreibt die VDI 2071 „Wärmerückgewinnung in raumlufttechnischen Anlagen“ (Tab. 3 Pkt. 2.1) aus 12/1997 die Möglichkeit der multifunktionalen Nutzung eines Kreislaufverbundsystems (KV-System) ab einer Rückwärmzahl von 0,70.

Andererseits kann auch auf konventionellem Weg die erforderliche Nachwärmer- und Nachkühlungsleistung in den Luftstrom eingebracht werden.

Weiterhin hat sich in der Vergangenheit der Einsatz der indirekten Verduns-

ungskühlung auf Basis eines adiabatischen Luftbefeuchters auf der Abluftseite im Verbund mit einer Wärmerückgewinnung etabliert. Diese Empfehlung zur Minimierung der mechanischen Kälteerzeugung findet sich nun auch in der VDI Richtlinie 3803 (Raumlufttechnische Anlagen – Bauliche und technische Anforderungen) wieder.

Im Folgenden werden beide Systeme miteinander verglichen.

1. Ein konventionelles Hochleistungswärmerückgewinnungssystem auf Basis eines KV-Systems mit zusätzlichen Wär-

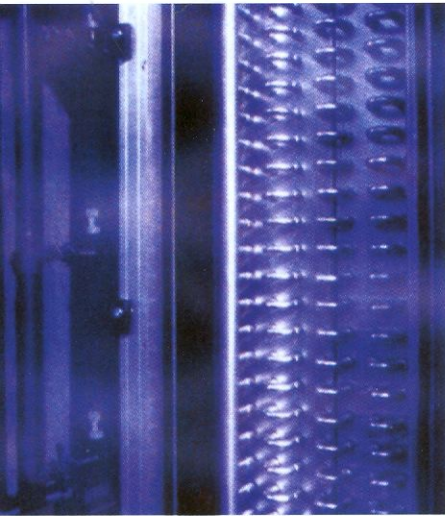


Bild 3

Hybridbefeuchter integriert im Wärmeaustauscher

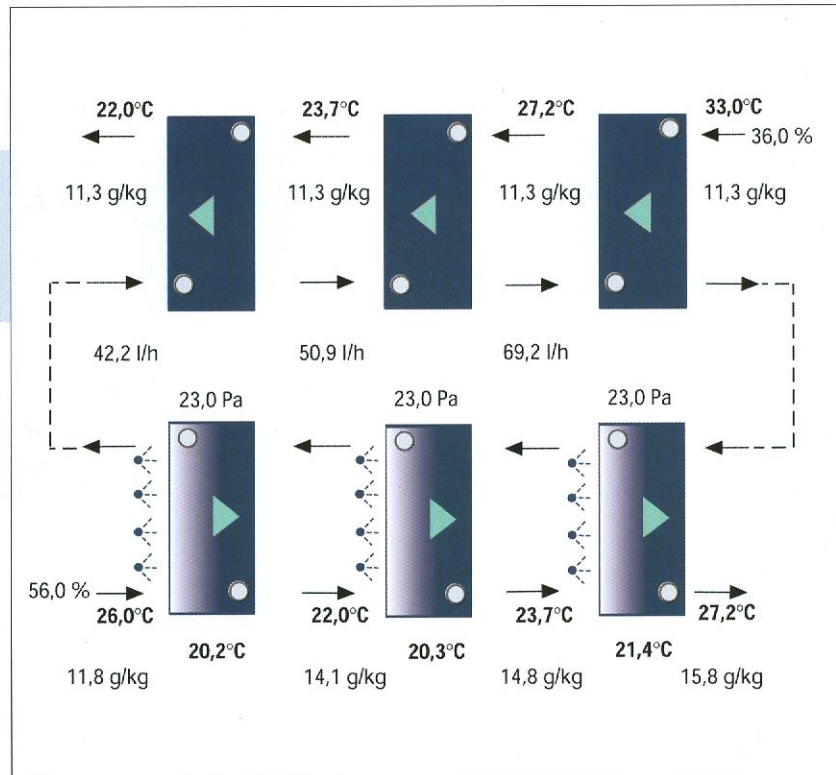


Bild 4

Schema einer mehrstufigen indirekten Verdunstungskühlung

meaustauschern im Luftstrom zum Nacherwärmen und Kühlen (Bild 1) und einem indirekten, separaten Verdunstungskühler (adiabatischer Befeuchter auf der Abluftseite) [1].

2. Ein Hochleistungswärmerückgewinnungssystem mit integrierter Nachwärme- und Nachkälteeinspeisung (Hybridsystem) und integriertem Befeuchter (System Hydroplus) auf der Abluftseite (Bild 2) [2; 3; 4].

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Systemen beruht auf der Einspeisung von Wärme im Winter und Kälte im Sommer über zusätzliche Wasser/Luft-Wärmeaustauscher im Luftstrom bei dem konventionellen System gegenüber dem Hybridsystem mit integrierter Nacherwärmung bzw. Nachkühlung.

Mit dem verwendeten Wärmeaustauscher zur Wärmerückgewinnung ergeben sich somit deutlich mehr Rohrreihen im Luftstrom (erhöhter Druckverlust), die in einem Hochleistungswärmerückgewinnungssystem mehrfach funktional genutzt werden können.

Durch die Nutzung eines Hybridsystems auf der Abluftseite kann der separate Befeuchter entfallen, denn der Wärmeaustauscher dient hier nicht nur zur Wärmeübertragung, sondern auch als integrierter Kontaktbefeuchtungskörper. Dazu werden die Lamellen der Wärmeaustauscher speziell beschichtet, um eine hydrophile Oberfläche zu erhalten

und um einen entsprechenden Korrosionsschutz zu gewährleisten (Bild 3).

Mit dieser Bauart ist es möglich, ein mehrstufiges indirektes adiabatisches Verdunstungssystem aufzubauen, das im Vergleich mit einem einstufigen System mit separatem Befeuchter ca. 20 % mehr Kälteleistung erzeugt, (Bild 4 und 5). Zudem wird der luftseitige Widerstand des Befeuchters, der bei ca. 100 Pa liegt, vollständig eliminiert [5].

Mit dem eingesparten Druckabfall des Befeuchters kann damit ein deutlich leistungsfähigerer Wärmeaustauscher bei gleichem Widerstand des „konventionellen“ Systems auf der Abluftseite installiert werden.

Bild 5

Modul einer mehrstufigen indirekten Verdunstungskühlung System Hydroplus



AL °C	RL °C	ETA %	WRG °C	ZL °C	dT °C	Q WRG kW	Q zus. kW	Status	AL °C	Q WRG kW	Stunden Tag h/°C	Stunden Nacht h/°C	Wärme Gesamt kWh	Kälte Gesamt kWh	Wärme WRG kWh	Kälte WRG kWh	Wasser m³/h
-12,0	20,0	59,4	7,0	20,0	32,0	65,5	44,8	NE VS									
-11,0	20,0	61,3	8,0	20,0	31,0	65,5	41,3	NE VS	< -11,0	65,5	2	5	551		328		
-10,0	20,0	63,3	9,0	20,0	30,0	65,5	37,9	NE VS	-11,0	65,5	4	6	812		498		
-9,0	20,0	65,5	10,0	20,0	29,0	65,5	34,5	NE VS	-10,0	65,5	6	10	1.241		786		
-8,0	20,0	67,9	11,0	20,0	28,0	65,5	31,0	NE VS	-9,0	65,5	8	11	1.459		956		
-7,0	20,0	70,4	12,0	20,0	27,0	65,5	27,6	NE VS	-8,0	65,5	10	14	1.776		1.205		
-6,0	20,0	73,1	13,0	20,0	26,0	65,5	24,1	NE VS	-7,0	65,5	13	18	2.213		1.559		
-5,0	20,0	76,0	14,0	20,0	25,0	65,5	20,7	NE VS	-6,0	65,5	19	21	2.831		2.070		
-4,0	20,0	76,1	14,3	20,0	24,0	62,9	19,8	NE	-5,0	65,5	24	27	3.461		2.633		
-3,0	20,0	76,1	14,5	20,0	23,0	60,3	19,0	NE	-4,0	62,9	32	38	4.532		3.447		
-2,0	20,0	76,1	14,7	20,0	22,0	57,7	18,1	NE	-3,0	60,3	41	53	5.766		4.390		
-1,0	20,0	76,1	15,0	20,0	21,0	55,0	17,3	NE	-2,0	57,7	57	73	7.641		5.816		
0,0	20,0	76,1	15,2	20,0	20,0	52,4	16,5	NE	-1,0	55,0	72	95	9.340		7.095		
1,0	20,0	76,1	15,5	20,0	19,0	49,8	15,7	NE	0,0	52,4	208	268	25.410		19.325		
2,0	20,0	76,1	15,7	20,0	18,0	47,2	14,8	NE	1,0	49,8	152	180	17.030		12.948		
3,0	20,0	76,1	15,9	20,0	17,0	44,6	14,0	NE	2,0	47,2	157	199	17.137		13.046		
4,0	20,0	76,1	16,2	20,0	16,0	41,9	13,2	NE	3,0	44,6	164	189	16.256		12.372		
5,0	20,0	76,1	16,4	20,0	15,0	39,3	12,4	NE	4,0	41,9	165	196	15.571		11.841		
6,0	20,0	76,1	16,7	20,0	14,0	36,7	11,5	NE	5,0	39,3	168	197	14.797		11.248		
7,0	20,0	76,1	16,9	20,0	13,0	34,1	10,7	NE	6,0	36,7	166	194	13.612		10.364		
8,0	20,0	76,1	17,1	20,0	12,0	31,5	9,9	NE	7,0	34,1	165	203	12.849		9.780		
9,0	20,0	76,1	17,4	20,0	11,0	28,8	9,1	NE	8,0	31,5	170	205	12.101		9.230		
10,0	20,0	76,1	17,6	20,0	10,0	26,2	8,2	NE	9,0	28,8	157	196	10.407		7.908		
11,0	20,0	76,1	17,8	20,0	9,0	23,6	7,4	NE	10,0	26,2	151	212	9.598		7.289		
12,0	20,0	76,1	18,1	20,0	8,0	21,0	6,6	NE	11,0	23,6	153	213	8.705		6.627		
13,0	20,0	76,1	18,3	20,0	7,0	18,3	5,8	NE	12,0	21,0	156	223	7.998		6.086		
14,0	20,0	76,1	18,6	20,0	6,0	15,7	4,9	NE	13,0	18,3	167	223	7.249		5.505		
15,0	20,0	76,1	18,8	20,0	5,0	13,1	4,1	NE	14,0	15,7	173	224	6.363		4.826		
16,0	20,0	76,1	19,0	20,0	4,0	10,5	3,3	NE	15,0	13,1	187	194	5.218		3.975		
17,0	17,0	0,0	17,0	17,0	0,0	0,0	0,0	AUS	16,0	10,5	179	179	3.952		3.007		
18,0	18,0	0,0	18,0	18,0	0,0	0,0	0,0	AUS	17,0	0,0	176	142					
19,0	19,0	0,0	19,0	19,0	0,0	0,0	0,0	AUS	18,0	0,0	173	116					
20,0	19,2	26,3	19,8	16,0	-4,0	-0,7	-13,1	NK Bef. S 3	19,0	0,0	154	78					
21,0	19,2	52,4	20,1	16,0	-5,0	-3,2	-14,0	NK Bef. S 3	20,0	-0,7	138	54		2.352		119	26
22,0	19,2	60,8	20,3	16,0	-6,0	-5,9	-14,8	NK Bef. S 3	21,0	-3,2	122	37		2.480		461	22
23,0	19,2	64,8	20,5	16,0	-7,0	-8,5	-15,6	NK Bef. S 3	22,0	-5,9	106	27		2.530		721	18
24,0	19,2	67,2	20,8	16,0	-8,0	-11,1	-16,5	NK Bef. S 3	23,0	-8,5	89	20		2.434		859	15
25,0	19,2	68,7	21,0	16,0	-9,0	-13,7	-17,3	NK Bef. S 3	24,0	-11,1	75	12		2.269		912	12
26,0	19,2	69,8	21,3	16,0	-10,0	-16,4	-18,1	NK Bef. S 3	25,0	-13,7	61	9		2.058		910	10
27,0	19,2	70,6	21,5	16,0	-11,0	-19,0	-18,9	NK Bef. S 3	26,0	-16,4	46	6		1.711		813	7
28,0	19,2	71,2	21,7	16,0	-12,0	-21,6	-19,7	NK Bef. S 3	27,0	-19,0	36	4		1.455		730	6
29,0	19,2	71,7	22,0	16,0	-13,0	-24,2	-20,6	NK Bef. S 3	28,0	-21,6	25	2		1.082		566	4
30,0	19,2	72,1	22,2	16,0	-14,0	-26,8	-21,4	NK Bef. S 3	29,0	-24,2	20	2		950		513	3
31,0	19,2	72,5	22,4	16,0	-15,0	-29,5	-22,2	NK Bef. S 3	30,0	-26,8	15	1		752		418	2
32,0	19,2	72,7	22,7	16,0	-16,0	-32,1	-23,0	NK Bef. S 3	31,0	-29,5	9			465		266	1
									> 31,0	-32,1	5			276		161	1
VS = Vereinigungsschutz / NE = Nachheizen / NK = Nachkühlen / Bef. = Befeuchter S = Stufe(n) / LA = Leistungsanpassung / AL = Aussenlufttemp. / RL = Raumlufttemp.									Gesamt Jahr	DIN 4710	4.387	4.385	246.860	21.253	186.721	7.705	12

Tabelle 1

Simulation des hybriden KV-Systems in Abhängigkeit der Außentemperatur

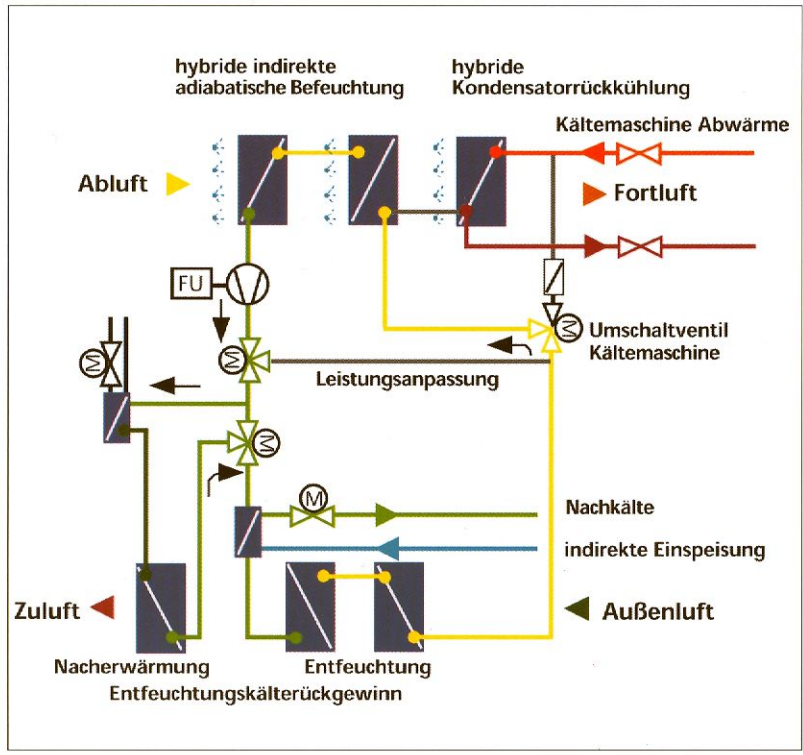


Tabelle 2

Jahresenergiebedarfssimulation des hybriden KV-Systems

Bild 6

Erweitertes Funktions- schema im Sommer- betrieb [6]

Energiekosten Wärme	0,05 € / kWh
Energiekosten Kälte	0,10 € / kWh
Energiekosten Elektro	0,10 € / kWh
Wasserkosten (inkl. Abwasser)	4,00 € / m ³
Kalkulationszinsfuß	4,00 %
Preissteigerungsrate	2,00 %
Klimazone	Frankfurt/Main (Stadt)
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	7 d / w
Betriebstunden pro Tag	12 h / d
Betriebsstunden pro Nacht	12 h / d
Volumenstrom am Tag	100 % / V max
Volumenstrom in der Nacht	60 % / V max
Investitionskosten der WRG	33.934 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG	0 €
Minderinvestition für Wärmeerzeugung	-5.437 € / (83 € / kW)
Minderinvestition für Kälteerzeugung	-5.309 € / (153 € / kW)
Zusatzkosten je Jahr	0 €
Rückgewinn der WRG Wärme	9.336 € / a
Rückgewinn der WRG Kälte	771 € / a
Elektroenergiekosten für die WRG	1.300 € / a
Wasserkosten	515 € / a
Kapitalkosten für die WRG	2.086 € / a
Wartungs- und Unterhaltungskosten	464 € / a
Jährliche Differenzkosten	5.741 € / a
Kapitalwert der Ersparnisse	77.678 €
Amortisation	3,1 a
Jahresnutzungsgrad brutto (Energien)	72,5 %
Jahresnutzungsgrad netto (monetär)	57,3 %

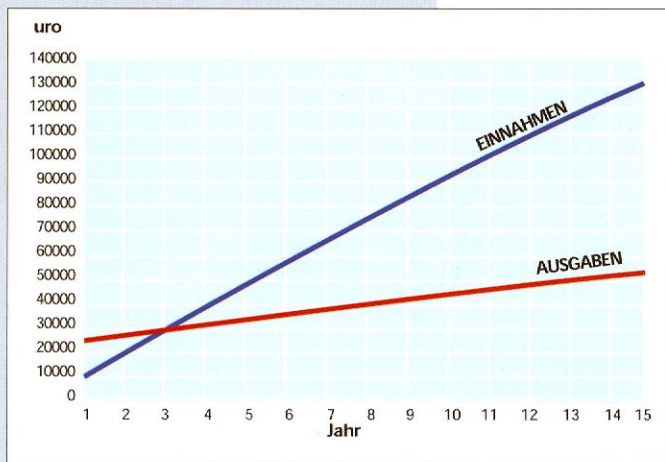


Tabelle 3

Wirtschaftlichkeitsberechnung des hybriden Systems

Man erhält somit ein Hochleistungs-wärmerückgewinnungssystem mit einer trockenen Rückwärmzahl von 0,79 bei gleichen luftseitigen Widerständen gegenüber den üblichen 0,70 eines konventionellen Systems, womit sich ein Temperaturübertragungsgrad von rund 0,90 pro Luftseite ergibt. Dies bedeutet, dass 90 % der eingespeisten Wärme auch tatsächlich an die Luft abgegeben werden.

Die restlichen 10 % der eingespeisten

Energie (Wärme oder Kälte) verbleiben im Solestrom und verringern die Effizienz des Wärmerückgewinnungsprozesses von 0,79 auf 0,76. Die erreichbare Rückwärmzahl liegt aber damit immer noch eindeutig über den 0,70 des konventionellen Systems!

Je höher die Rückwärmzahl der Wärmerückgewinnung ist, desto geringer ist die negative Beeinflussung durch die Einspeisung von Zusatzenergien. Außerdem reduzieren sich bei höherer Rück-

wärmzahl die einzuspeisenden Leistungen deutlich, da die Wärmerückgewinnungsleistung steigt. Je geringer die Menge der Zusatzenergien ist, die in das System eingespeist werden muss, umso kleiner ist die Beeinflussung des gesamten Systems.

Der zusätzliche Widerstand der Plattenwärmeübertrager im Zwischenkreis ist zwar physikalisch vorhanden, ist aber wirtschaftlich unbedeutend, da auf der Solesseite die Verwendung eines Bypasses zum Stand der Technik gehört, wenn eine Nacherwärmung oder eine Kühlung nicht erforderlich sind und die Solemenge und damit die Pumpenleistung beim physikalisch notwendigen Wärmestromkapazitätsverhältnis von 1 sehr gering sein muss! Des Weiteren sind auch im konventionellen System hohe Wasserwiderstände des Nacherwärmers und des Nachkühlers bei deutlich höheren Wassermengen zu berücksichtigen.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Systeme ergibt nun folgende Ergebnisse:

	Konventionelles System	Hybridsystem
Rückwärmzahl	0.70	0.79
Rohrreihenanzahl	16	24 (26 Abluft)
Erhitzer	2	integriert
Kühler	4	integriert
Befeuchter	separat	integriert
Zuluftseite		
Wärmerückgewinnung	159	227 Pa
Erhitzer	35	./ Pa
Kühler	67	./ Pa
Abluftseite		
Wärmerückgewinnung	159	258 Pa
Befeuchter	102	./ Pa
Gesamt	522	485 Pa
Investitionskosten	100	124 %
Bezogen auf eine RLT-Anlage mit 10 000 m ³ /h		
Amortisation	3,8	3,1 a
Kapitalwert der Ersparnisse	67 514	77 678 €

Diese Ergebnisse basieren auf der Apparateauslegung und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die in den **Tabellen 1 bis 3** für das Hybridsystem und den **Tabellen 4 bis 6** für das konventionelle System dargestellt sind.

Aus der Tabelle 1 wird ersichtlich, dass der Übertragungsgrad der WRG beim Einspeisen der Wärme (NE) von 79 % auf 76,1 % reduziert wird. Im Kühlfall (NK) reduziert sich der Übertragungsgrad im Auslegungspunkt von 79 auf 72,7 %.

AL	RL	ETA	WRG	ZL	dT	Q WRG	Q zus.	Status
°C	°C	%	°C	°C	°C	kW	kW	
-12,0	20,0	59,4	7,0	7,0	19,0	65,5	0,0	VS
-11,0	20,0	61,3	8,0	8,0	19,0	65,5	0,0	VS
-10,0	20,0	63,3	9,0	9,0	19,0	65,5	0,0	VS
-9,0	20,0	65,5	10,0	10,0	19,0	65,5	0,0	VS
-8,0	20,0	67,9	11,0	11,0	19,0	65,5	0,0	VS
-7,0	20,0	70,0	11,9	11,9	18,9	65,1	0,0	
-6,0	20,0	70,0	12,2	12,2	18,2	62,7	0,0	
-5,0	20,0	70,0	12,5	12,5	17,5	60,3	0,0	
-4,0	20,0	70,0	12,8	12,8	16,8	57,9	0,0	
-3,0	20,0	70,0	13,1	13,1	16,1	55,5	0,0	
-2,0	20,0	70,0	13,4	13,4	15,4	53,1	0,0	
-1,0	20,0	70,0	13,7	13,7	14,7	50,6	0,0	
0,0	20,0	70,0	14,0	14,0	14,0	48,2	0,0	
1,0	20,0	70,0	14,3	14,3	13,3	45,8	0,0	
2,0	20,0	70,0	14,6	14,6	12,6	43,4	0,0	
3,0	20,0	70,0	14,9	14,9	11,9	41,0	0,0	
4,0	20,0	70,0	15,2	15,2	11,2	38,6	0,0	
5,0	20,0	70,0	15,5	15,5	10,5	36,2	0,0	
6,0	20,0	70,0	15,8	15,8	9,8	33,8	0,0	
7,0	20,0	70,0	16,1	16,1	9,1	31,4	0,0	
8,0	20,0	70,0	16,4	16,4	8,4	28,9	0,0	
9,0	20,0	70,0	16,7	16,7	7,7	26,5	0,0	
10,0	20,0	70,0	17,0	17,0	7,0	24,1	0,0	
11,0	20,0	70,0	17,3	17,3	6,3	21,7	0,0	
12,0	20,0	70,0	17,6	17,6	5,6	19,3	0,0	
13,0	20,0	70,0	17,9	17,9	4,9	16,9	0,0	
14,0	20,0	70,0	18,2	18,2	4,2	14,5	0,0	
15,0	20,0	70,0	18,5	18,5	3,5	12,1	0,0	
16,0	20,0	70,0	18,8	18,8	2,8	9,6	0,0	
17,0	17,0	0,0	17,0	17,0	0,0	0,0	0,0	AUS
18,0	18,0	0,0	18,0	18,0	0,0	0,0	0,0	AUS
19,0	19,0	0,0	19,0	19,0	0,0	0,0	0,0	AUS
20,0	19,9	70,0	19,9	19,9	-0,1	-0,2	0,0	Bef. S 1
21,0	19,9	70,0	20,2	20,2	-0,8	-2,7	0,0	Bef. S 1
22,0	19,9	70,0	20,5	20,5	-1,5	-5,1	0,0	Bef. S 1
23,0	19,9	70,0	20,8	20,8	-2,2	-7,5	0,0	Bef. S 1
24,0	19,9	70,0	21,1	21,1	-2,9	-9,9	0,0	Bef. S 1
25,0	19,9	70,0	21,4	21,4	-3,6	-12,3	0,0	Bef. S 1
26,0	19,9	70,0	21,7	21,7	-4,3	-14,7	0,0	Bef. S 1
27,0	19,9	70,0	22,0	22,0	-5,0	-17,1	0,0	Bef. S 1
28,0	19,9	70,0	22,3	22,3	-5,7	-19,5	0,0	Bef. S 1
29,0	19,9	70,0	22,6	22,6	-6,4	-21,9	0,0	Bef. S 1
30,0	19,9	70,0	22,9	22,9	-7,1	-24,4	0,0	Bef. S 1
31,0	19,9	70,0	23,2	23,2	-7,8	-26,8	0,0	Bef. S 1
32,0	19,9	70,0	23,5	23,5	-8,5	-29,2	0,0	Bef. S 1

VS = Vereisungsschutz / NE = Nachheizen / NK = Nachkühlen / Bef. = Befeuchter
 S = Stufe(n) / LA = Leistungsanpassung / AL = Aussenlufttemp. / RL = Raumluf-temp.
 (nach Bef.) / ZL = Zulufttemp. Simulation unter konstanten Bedingungen nur trocken!

Tabelle 4

Simulation des konventionellen KV-Systems in Abhängigkeit der Außentemperatur

AL	Q WRG	Stunden	Stunden	Wärme	Kälte	Wärme	Kälte	Wasser
°C	Tag	Nacht	Gesamt	Gesamt	WRG	WRG		
	kW	h/°C	h/°C	kWh	kWh	kWh	kWh	m³/h
< -11,0	65,5	2	5	551		328		
-11,0	65,5	4	6	812		498		
-10,0	65,5	6	10	1.241		786		
-9,0	65,5	8	11	1.459		956		
-8,0	65,5	10	14	1.776		1.205		
-7,0	65,1	13	18	2.213		1.549		
-6,0	62,7	19	21	2.831		1.981		
-5,0	60,3	24	27	3.461		2.424		
-4,0	57,9	32	38	4.532		3.173		
-3,0	55,5	41	53	5.766		4.040		
-2,0	53,1	57	73	7.641		5.352		
-1,0	50,6	72	95	9.340		6.527		
0,0	48,2	208	268	25.410		17.776		
1,0	45,8	152	180	17.030		11.908		
2,0	43,4	157	199	17.137		11.996		
3,0	41,0	164	189	16.256		11.373		
4,0	38,6	165	196	15.571		10.908		
5,0	36,2	168	197	14.797		10.360		
6,0	33,8	166	194	13.612		9.545		
7,0	31,4	165	203	12.849		9.006		
8,0	28,9	170	205	12.101		8.468		
9,0	26,5	157	196	10.407		7.277		
10,0	24,1	151	212	9.598		6.705		
11,0	21,7	153	213	8.705		6.093		
12,0	19,3	156	223	7.998		5.593		
13,0	16,9	167	223	7.249		5.084		
14,0	14,5	173	224	6.363		4.457		
15,0	12,1	187	194	5.218		3.671		
16,0	9,6	179	179	3.952		2.749		
17,0	0,0	176	142					
18,0	0,0	173	116					
19,0	0,0	154	78					
20,0	-0,2	138	54		2.352		34	10
21,0	-2,7	122	37		2.480		389	9
22,0	-5,1	106	27		2.530		623	7
23,0	-7,5	89	20		2.434		758	6
24,0	-9,9	75	12		2.269		814	5
25,0	-12,3	61	9		2.058		817	4
26,0	-14,7	46	6		1.711		729	3
27,0	-17,1	36	4		1.455		657	2
28,0	-19,5	25	2		1.082		511	2
29,0	-21,9	20	2		950		464	1
30,0	-24,4	15	1		752		381	1
31,0	-26,8	9			465		241	1
> 31,0	-29,2	5			276		146	
Gesamt Jahr	DIN 4710	4.387	4.385	246.860	21.253	172.355	6.798	52

Tabelle 5

Jahresenergiebedarfssimulation des konventionellen KV-Systems

Aus den Jahresnutzungsstunden in Tabelle 2 (Beispiel Frankfurt) ergeben sich die Gesamtenergien für den Winter- und Sommerfall. Im Sommerbetrieb wird dazu der Wasserverbrauch berücksichtigt.

Die Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung ergeben sich aus den in Tabelle 3 genannten Basisdaten. Der energetische Jahresnutzungsgrad von 72,5 % ergibt sich aus der Bilanz der

Rückwärmeleistung abzüglich der Elektroenergie für die Ventilatoren und die der Förderpumpe. Der monetäre Nutzungsgrad bewertet die Energiebilanz mit den spezifischen Energiepreisen.

Beim konventionellen System (Tabelle 4) bleibt der Übertragungsgrad konstant bei 70 %. Allerdings müssen bei beiden Systemen und tiefen Temperaturen die Übertragungsleistung und damit der Übertragungsgrad reduziert werden, da

ansonsten mit einer Vereisung (VS) des Fortluftwärmeaustauschers zu rechnen ist.

Als Mehrinvestition für die WRG muss in diesem Fall der Abluftbefeuchter berücksichtigt werden (Tabelle 6), da er nur für die Verdunstungskühlung im Sommer benötigt wird.

Aus der resultierenden erhöhten Rückwärmzahl bei der Einspeisung von Energien und bei gleichem Druckabfall

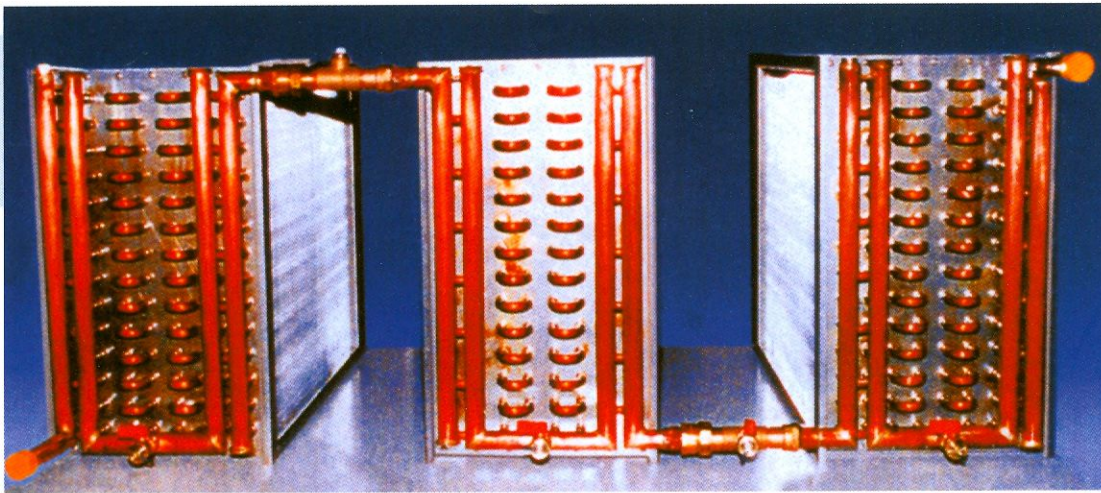


Bild 7

Hochleistungswärmeaustauscher in der Bautiefe geteilt ausgeführt

Energiekosten Wärme	0,05 € / kWh
Energiekosten Kälte	0,10 € / kWh
Energiekosten Elektro	0,10 € / kWh
Wasserkosten (inkl. Abwasser)	4,00 € / m ³
Kalkulationszinsfuß	4,00 %
Preissteigerungsrate	2,00 %
Klimazone	Frankfurt/Main (Stadt)
Nutzungsdauer der Anlage	15 a
Betriebstage pro Woche	7 d / w
Betriebstunden pro Tag	12 h / d
Betriebstunden pro Nacht	12 h / d
Volumenstrom am Tag	100 % / V max
Volumenstrom in der Nacht	60 % / V max
Investitionskosten der WRG	27.320 €
Mehr-/Minderinvestition für die WRG	9.402 €
Minderinvestition für Wärmeerzeugung	-5.437 € / (83 € / kW)
Minderinvestition für Kälteerzeugung	-4.835 € / (153 € / kW)
Zusatzkosten je Jahr	0 €
Rückgewinn der WRG Wärme	8.618 € / a
Rückgewinn der WRG Kälte	680 € / a
Elektroenergiekosten für die WRG	1.271 € / a
Wasserkosten	206 € / a
Kapitalkosten für die WRG	2.379 € / a
Wartungs- und Unterhaltungskosten	529 € / a
Jährliche Differenzkosten	4.912 € / a
Kapitalwert der Ersparnisse	67.514 €
Amortisation	3,8 a
Jahresnutzungsgrad brutto (Energien)	66,8 %
Jahresnutzungsgrad netto (monetär)	54,1 %

wird dann eine höhere Wirtschaftlichkeit gegenüber einem konventionellen System erreicht, die durch die Ergänzung einer Entfeuchtungsschaltung, der Abwärmenutzung (Kältemaschinenbetrieb), der Brauchwasservorerwärmung, etc. noch weiter deutlich erhöht werden kann (Bild 6).

Ein konventionelles System mit separatem Erwärmer und Kühler kann nicht pauschal wirtschaftlicher sein, da die Übertragungsflächen des Erwärmers nur in etwa 4800 Stunden, die des Kühlers in etwa 1100 Stunden eines Jahres genutzt werden können, wo hingegen in einem mehrfach funktionalen System diese Flächen auch während des gesamten Jahres (8760 Stunden) zur Wärmerückgewinnung herangezogen werden.

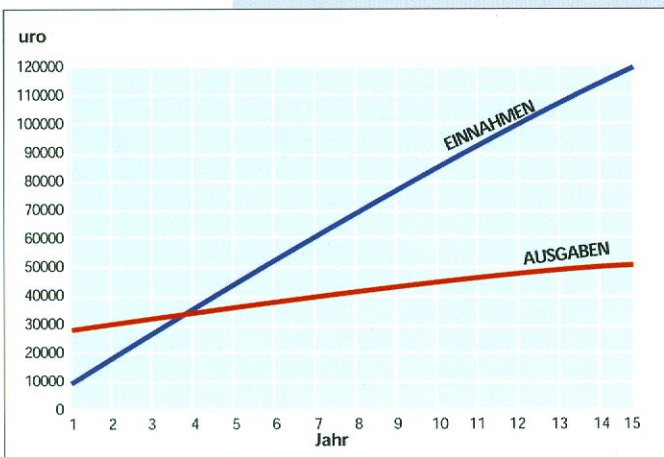
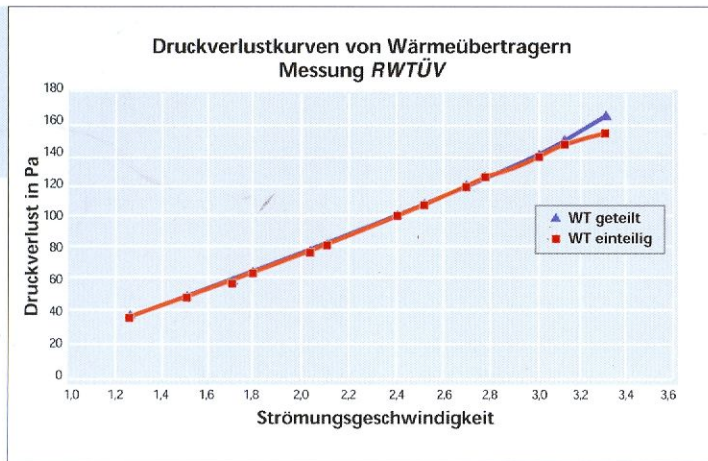


Tabelle 6

Wirtschaftlichkeitsberechnung des konventionellen KV-Systems



Weitere konstruktive Kriterien

Neben der Wirtschaftlichkeit spielen weitere konstruktive Kriterien eine erhebliche Rolle. Die VDI Richtlinie VDI 6022 schreibt „eine Reinigung bis in den Kern der Wärmeaustauscher vor. Gegebenenfalls ist der Wärmeaustauscher in der Bautiefe geteilt auszuführen“. Die VDI Richtlinie 3803 präzisiert hier die Anforderung und limitiert „die Bautiefe der Wärmeaustauscher auf 300 mm bei versetzter Rohranordnung, bzw. 450 mm bei fluchtender Anordnung“.

Demzufolge sind die Wärmeaustauscher beider Hochleistungs-KV-Systeme in der Bautiefe geteilt auszuführen, da die Bautiefe bei 600 bis 1200 mm liegt (Bild 7).

Wegen der Aufteilung des Wärmeaustauschers in einzelne Register sind keine energetischen Nachteile zu erwarten, da die Strömungsgeschwindigkeiten sich bei 1,5 bis 2,5 m/s bewegen.

Erst ab einer Strömungsgeschwindigkeit über 3 m/s treten erhöhte Druckverluste bedingt durch Ein- und Austrittsstoßverluste in Erscheinung (Bild 8).

Zwischen den einzelnen Wärmeaustauscherstufen sollen Leerräume zur Reinigung angeordnet werden, da nach VDI 3803 speziell Luftkühler von beiden Seiten einsehbar zu gestalten sind.

Bild 8

Druckverlustvergleich

Zusammenfassung

Energetisch ist die Verwendung eines Hochleistungssystems mit integrierter Einspeisung von Zusatzwärme und/oder Zusatzkälte sinnvoll, wenn die konstruktiven Kriterien beachtet werden. Die zusätzlich benötigten Wärmeübertragungsflächen des konventionellen Systems werden beim Hybridsystem mehrfach funktional während der gesamten Jahresnutzungszeit wirtschaftlich genutzt. Die Verschlechterung des Übertragungsgrades durch die Einspeisung wird durch diese Nutzung mehr als ausgeglichen.

Insbesondere der Einsatz eines im Wärmeaustauscher integrierten Befeuchters auf der Abluftseite ermöglicht den Aufbau eines mehrstufigen Befeuchtungssystems, dass in seiner Wirkung einer übersättigten Befeuchtung mit einem Befeuchtungsgrad von mehr als 120 % gleichzusetzen ist.

Insgesamt kann mit diesen Maßnahmen die Wirtschaftlichkeit (Amortisation, Kapitalrückfluss) des Systems bei gleichen Rahmenbedingungen um 20 % gesteigert werden.

Neben den energetischen Gesichtspunkten sind die weiteren Aufwendungen im Hinblick auf die Hygiene und MSR gleichzusetzen, denn:

□ Bei beiden Systemen sind die Anforderungen nach VDI 6022 und nach VDI 3803 einzuhalten. Beide Systeme müssen demnach in Lüfrichtung geteilte Wärmeaustauscher verwenden.

□ Bei beiden Systemen bleibt der Aufwand der Regelung gleich, da es regelungstechnisch unbedeutend ist, ob ein Ventil eines Wasser/Luft oder eines Wasser/Sole Wärmeaustauschers angesteuert wird.

□ Beide Systeme benötigen eine Umlaufoptimierung, die das Wärmestromkapazitätsverhältnis auf 1 regelt, da sonst die angestrebten Übertragungsgrade nicht erreicht werden können.

Literatur

- [1] Zschemig, J.: Wärme- und Kälterückgewinnung in der Raumlufttechnik, HLH Bd. 50 (1999) Nr. 9, S.45–50.
- [2] Kaup, Ch.: Hochleistungswärmerückgewinnungssysteme, IKZ Nr. 2/1995.
- [3] Kaup, Ch.: Hochleistungswärmerückgewinnungssysteme auf Basis des KV-Systems, ISH Jahrbuch 1997.
- [4] Kaup, Ch.: Entwicklungstendenzen bei RLT-Geräten, HLH Bd. 49 (1998) Nr. 6, S. 38–48.
- [5] Kaup, Ch.: Integrierter Kontaktbefeuchter im Wärmeübertrager, TAB Nr. 2/1997
- [6] Kaup, Ch.: Die Physik der Hochleistungswärmerückgewinnungssysteme – Übertragungsgrade bis 80 % mit berippten Lamellenwärmeübertragern in Blockbauweise, VDI-TGA Jahrbuch 1999.