

# EVAPORATİF SOĞUTMA VE HVAC SİSTEMLERİNDE DEC UYGULAMASI

## Atıf İMARET

## ÖZET

Bu çalışma konfor kliması alanında konvensiyonel düşünce tarzının dışındaki yeni bazı yöntemleri tanıtmayı amaçlamaktadır. Soğutma için eğer mümkün olabiliyorsa, soğutma gurupsuz (veya en azından daha verimli ve daha küçük soğutma gurubu seçilmesi) çözümlerini araştırmaktadır. Ayrıca proses tekniğinde bilinip kullanılan yöntemlerin konfor klimasında nasıl uygulanabileceğine dair örnekler gösterilmektedir.

## GİRİŞ

HVAC Sistemlerindeki cihazlar hizmet verecekleri mekanlardaki sıcaklık ve nemi öngörülen değerler arasında tutmak için kullanılırlar. Yapısal olarak farklılık göstermelerine rağmen fonksiyonel olarak benzerdirler ve aşağıdaki fonksiyonları sağlarlar.

- Havanın filtre edilmesi
- Havanın ısıtılması veya soğutulması
- Havanın nemlendirilmesi veya neminin alınması ki nem alınması soğutma ile birlikte düşünülen bir fonksiyondur.

Soğutma işlemi için bir soğutma gurubu öngörülmektedir. Bu soğutma gurubu ya havanın bir evaporatör vasıtası ile direk soğutulmasını sağlayan veya önce suyun soğutulmasını ve soğutulan suyun dolaştırılacağı, örneğin bir soğutucu bataryanın üzerinden hava geçirilmesi (indirekt sistem) şeklinde olabilir. Her iki halde de soğutma gurupları klima tekniğinde (veya klima soğutma tekniğinde) kullanılmak üzere dizayn edilmiş cihazlardır.

Havanın soğutulması veya klimatize edilmesi için öngörülen sistemin, ilk yatırım maliyetinin yaklaşık % 30'unu soğutma gurubu tutar. (Bu oran öngörülen sisteme göre değişmekle birlikte yaklaşık doğrudur) Buna karşılık sistemin harcadığı enerjinin içinde soğutma gurubunun payı % 35 (ve hatta öngörülen sisteme bağlı olarak daha fazla) civarındadır. Demek ki sistemin harcadığı toplam enerjinin üçte birinden fazlası soğutma gurubunca tüketilmektedir.

Artan enerji maliyetleri, enerjinin üretilmesi esnasında ortaya çıkan çevre kirliliği problemleri, üreticileri daha az enerji harcayan soğutma gurupları geliştirmeye zorlamaktadır. Bunun yanında klima teknisyenleri için yeni (veya yeniden hayata geçirilmiş!) metotları klima soğutma tekniğine kazandırma çabaları sürmektedir.

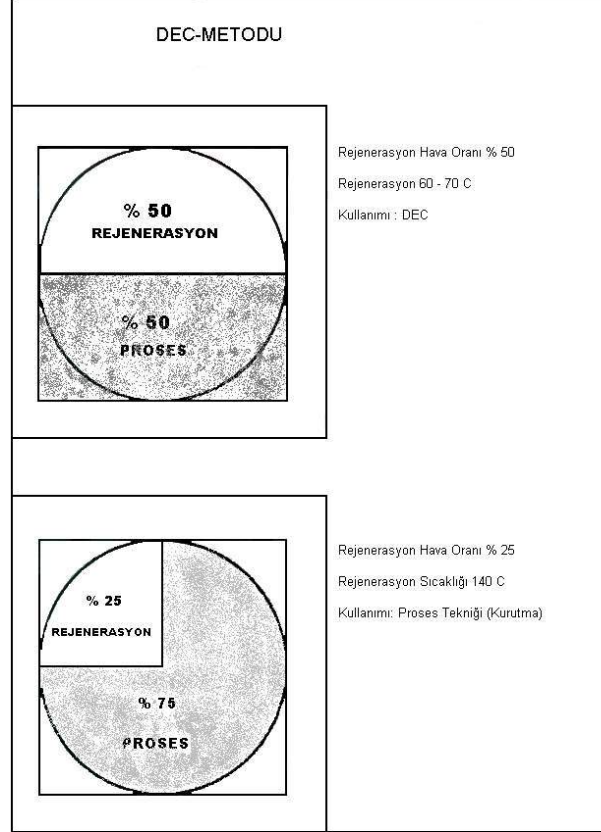
## Nem Alma ve Soğutma

Bu metotlardan bir tanesi nem alma ve soğutmanın birbirinden ayrılmasıdır. Konvensiyonel metotla nemin alınması için soğutma gurubu yardımı ile evaporatörde veya soğutucu bataryada hava soğutulmaktadır. Gerekli olan soğutma gücü ve soğutulan havanın sıcaklığı alınacak nem miktarına

bağlı olarak hesaplanmaktadır. Yani soğutma yükünü tayin eden parametre, havadan alınacak nem miktarıdır. Havanın neminin alınması işlemi soğutma ile yapılmaz ise, soğutma yükü % 50'ye kadar

azaltılabilir. Bu şekilde küçülen soğutma gurubu nedeniyle enerji harcaması da azaltılır. Burada söylenmek istenen, sadece üfleme sıcaklığının (nem dikkate alınmaksızın) sağlanmasıdır ki, bu halde evaporasyon sıcaklığı da 6 ila 10°K yükselecektir. Bu da soğutma gurubunun COP'sinin yükselmesine (yani enerji tasarrufuna) yol açacaktır. Bu şekilde klasik sistemlerde öngördüğümüz son ısıtıcıdan da vazgeçilebilir.

Nem alma ve soğutmanın ayrılması işlemi, örneğin transfer yüzeyleri higroskopik bir malzeme ile kaplanmış (Lityum Clorid veya silikajel gibi) bir rotor vasıtasıyla gerçekleştirilebilir. (Sorbtiif nem alma) İşlemin sürekli olabilmesi için havanın neminin alındığı rotorun transfer yüzeylerindeki nemin sıcak hava vasıtası ile uzaklaştırılması gerekmektedir. (Desorbsiyon veya rejenerasyon)



**Şekil 1.** DEC ve Proses Tekniğinde Rotor Kullanım Örneği

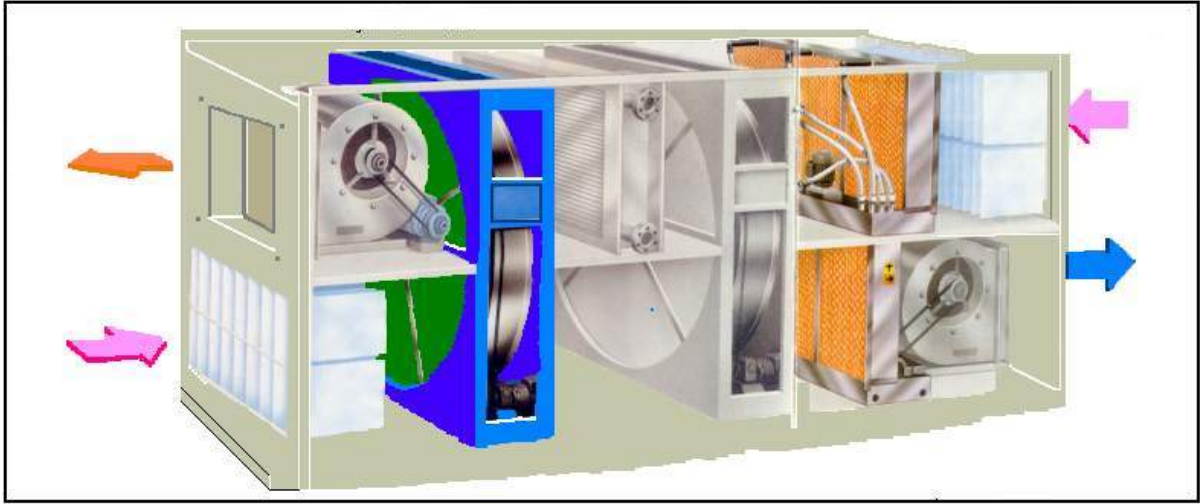
Desorbsiyon için de enerji vermek gerekmektedir. Ancak bu enerji soğutma guruplarına olduğu gibi, direk elektrik enerjisi olmak zorunda değildir. Örneğin konjenerasyon tesislerindeki atık enerji veya güneş enerjisi ile sağlanan buhar olabilir. Sistemi cazip kılan bu enerjinin teminindeki serbestliktir.

### **Nem Alma ve Isı Geri Kazanımı**

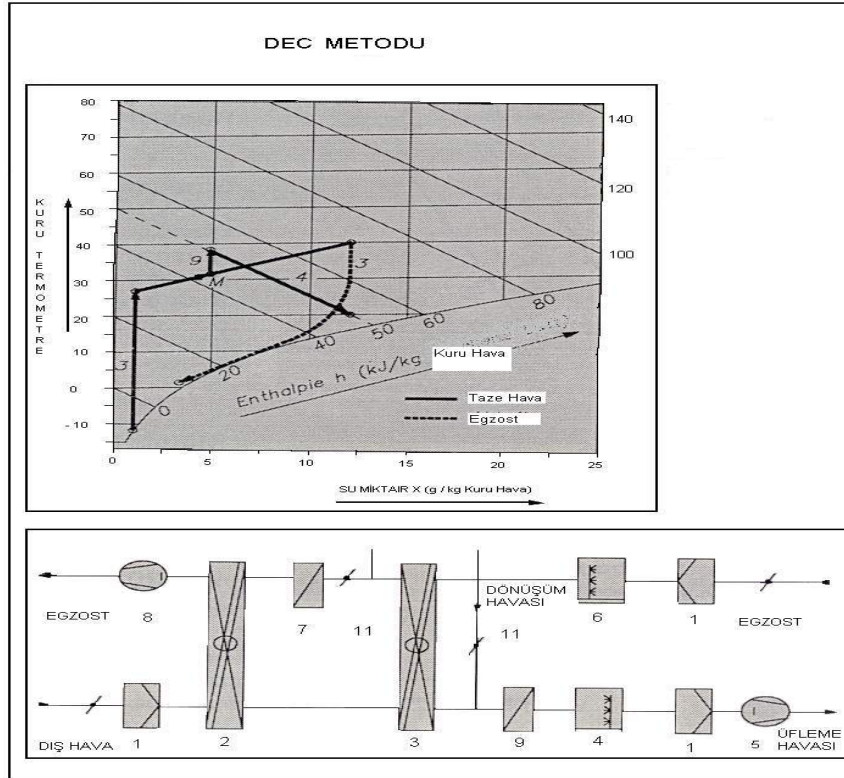
Ancak havanın Sorbtif olarak neminin alınması prosesinin sürekliliği rejenerasyon için verilen ısı enerjisi, hazırlanan havanın ısınması problemini birlikte getirmektedir. Bu havanın tekrar istenilen değere soğutulması için gerekli enerji, bir ısı geri kazanım rotoru yardımı ile egzost edilen havadan sağlanabilir. Çünkü egzost havası sıcaklığı, kurutma rotorundan geçmiş olan (kurutulmuş) hava sıcaklığından, daima daha düşük olacaktır. Eğer egzost edilen hava, evaporatif olarak soğutulursa (nemlendirme) aradaki sıcaklık farkı daha da büyük olacaktır. Bu nedenle konfor klimasına hizmet veren ve Sorbtif nem almanın öngörüldüğü bir sistem, mutlaka ısı geri kazanımı ile birlikte düşünülmelidir. Isı geri kazanımı rotorunu, genellikle taze havanın ısıtılması için kullanılmasına alıştık. Ancak nem almadan sonra ısınan havanın, evaporatif olarak soğutulması (egzost ile soğutulması) ve bunun rotor ile yapılması klima tekniğinde bir yeniliği ifade etmektedir.

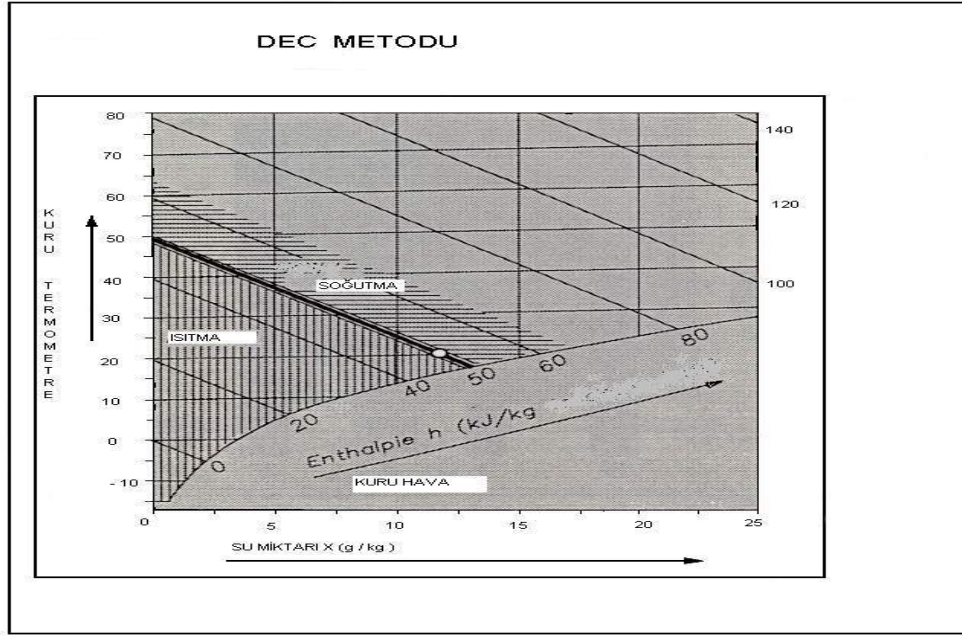
Şimdiye kadar anlattıklarımızı bir klima santralinde uygulayıp (h-x) diagramında çizelim. (Şekil 2.)





Şekil 5.





Şekil 7. Dış Havaya Bağlı Olarak Isıtma ve Soğutma Durumu

### İç Yükler ve Taze Hava Yükü

Değinilmesi gereken bir diğer konu da havalandırma ve ısı yükünün alınmasının birbirinden ayrılmasıdır. Zira toplam soğutma yükü hesaplanırken;

- Transmisyon ve Işıma kayıpları
- İç yükleri (insanlar, makinalar vs)
- Alınan dış havanın üfleme sıcaklığına soğutulması şeklinde elemanlardan oluşmaktadır.

Eğer transmisyon ve iç yüklerden oluşan soğutma yükü örneğin soğuk tavan uygulaması ile karşılanırsa, dış hava miktarı minimuma düşürülebilir.

Böylece toplam soğutma yüküne göre seçilen hava debisinden vazgeçilip, sınır değeri olarak hijyenik şartların gerektirdiği minimum hava değeri oranına geçilebilir. Bu da daha küçük klima santrali, daha küçük nem alma rotorunu gerektirecektir. Soğuk tavan uygulaması bir soğutma gurubuna uygulanan (çiğ noktasının aşılması özelliğinden dolayı) yüksek evaporasyon sıcaklığını (daha verimli soğutma gurubunun, yüksek COP değeri) beraberinde getirecektir. Ayrıca soğutma gurubunun kondenserinde oluşacak sıcaklık rejenerasyon havasında kullanılabilir.

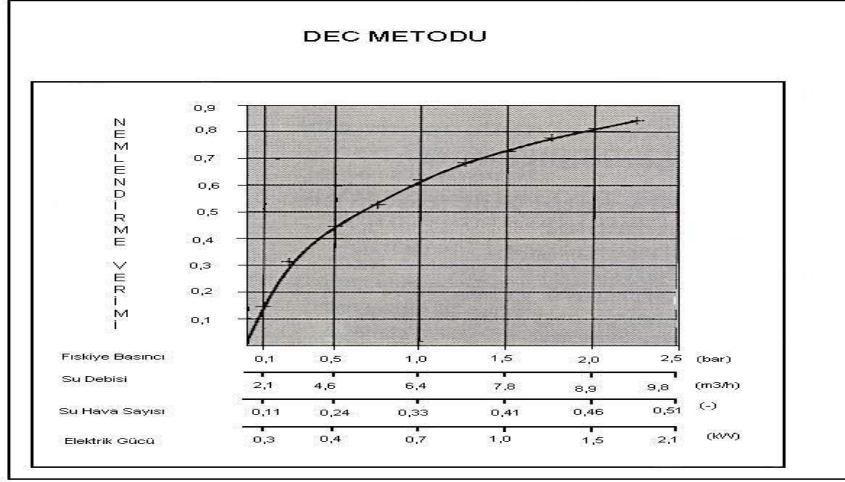
### Nemlendirme (Evaporatif Soğutma) ve DEC

Kuru havanın mevcut olduğu halde, nemlendirme ile havanın sıcaklığı düşürülebilir. Ancak bizim iklim kuşağımızda yaz mevsiminde dış hava sıcaklığı yüksek olmakla birlikte oldukça fazla nem ihtiva etmektedir. Dolayısı ile nemlendirme ile erişilebilecek üfleme sıcaklıkları istenilen seviyelere indirilememektedir. Ancak Sorbtif olarak nemi alınmış hava elimizde hazır olduğu takdirde, nemlendirme (Evaporatif soğutma) ile erişilebilecek üfleme sıcaklıkları istenen düzeye ulaşabilmektedir.

Eskiden beri bilinen evaporatif soğutmanın, sorbtif kurutma ile birlikte kullanılması (DEC-Dessicative and Evaporative Cooling) klima tekniğinde bir yeniliktir.

Şekil 1.2'de sulu tip bir nemlendiricide fiskeye basıncı ve su-hava oranına bağlı olarak erişilebilecek nemlendirme verimi gösterilmiştir.





**Şekil 8.** Sulu Nemlendirici Performans Karakteristiği

## SONUÇ

Geçmişte sıkça söylenen “FCKW’li soğutucu akışkanlı soğutma guruplarından vazgeçilmesi” olgusunun artık mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Ancak soğutma guruplarının daha verimli kullanılması veya konfor kliması alanında DEC sistemi ile kombinasyonu düşünülebilir. Hangi sistemin, nerede daha uygun olacağı uygulama ortamında atık enerjinin emre amade olması veya rejenerasyon için gerekli ısıtmanın ucuz olarak temin edilmesi gibi faktörlere bağlı olarak belirlenebilir.

Ancak genel olarak şu söylenebilir. DEC ile konfor klimasında üretilen soğutma, ilk yatırım maliyeti açısından konvensiyonel sistem ile aynı büyüklüktedir. Yıllık enerji tüketimi ise rejenerasyon için gerekli ısı enerjisinin teminine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin konjenerasyonun mevcut olduğu yerlerde DEC konvensiyonel sisteme oranla yıllık enerji tüketiminde büyük avantajlar getirmektedir.

Ayrıca elektrikli açıdan, soğutma guruplarındaki kompresörlerin besleme kablolarına göre DEC sisteminde daha ince besleme kablo kesitleri yeterli olmaktadır. Bu da ilk yatırımda göz önüne alınması gereken bir avantajdır.

Sadece fikir vermesi açısından klimatize edilecek m<sup>3</sup>/h hava başına, DEC sisteminin ilk yatırım maliyeti 6.4 US\$ alınabilir.

Çeşitli üretici firmalar, DEC ile konvensiyonel sistemi gerek ilk yatırım ve gerekse yıllık enerji tüketimi açısından karşılaştıran çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Bunlardan bir tanesi de Munters’in Frankfurt’ta uyguladığı bir projenin değerlerini ekte sunuyoruz.

**DESICOOOL - Alternative Kühlsysteme**  
**Vergleich Adsorptionskühlverfahren und Voilklimanlage mit Kältemaschine**

Die Berechnungen nach VDI 2067\_T3 beziehen sich auf eine HCMD-Voilklimaanlage mit Luftwascher

PROJEKT-DATEN		uProjekt-Nr: 1-3510	
Projekt-Name:	Beispielprojekt	Datum:	02.01.97
Bearbeiter:	R. Sebastian		

ANLAGEN - DATEN	Winter		Sommer		
ZULUFT-Volumen:	39.200	m3/h	49.000	m3/h	V2
Zulufttemperatur:	28,0	C	19,5	C	Tz
Taupunkttemperatur:	3,1	C	11,0	C	Ttp
Taupunktfeuchte:	4,7	g/kg	8,2	g/kg	Xtp
Taupunkthalpie*):	14,9	kJ/kg	31,4	kJ/kg	Htp
ABLUFFT-Volumen:	39.200	m3/h	49.000	m3/h	V1
Ablufttemperatur:	25,0	C	28,0	C	T1
Feuchtezunahme:	1,0	g/kg	0,7	g/kg	dx
	0,80	---	0,80	---	η
	300	Pa	400	Pa	dPz
	200	Pa	300	Pa	dPa
	0,75	---	0,75	---	φ
	0,00	---	0,00	---	ψ
	80	C	80	C	thv
			6,0	kg/h kW	Mk
			30,0	W/kW	Ek
			3,3	W-th/W-el	η <sup>K</sup>
			2,5	---	ε

KLIMA - DATEN	VDI 2067-Nr. / Standort: 5 Frankfurt		
	Winter	Sommer	
Heiz-/Kühlperiode*):	2,865	h/a	Z
mittlere Enthalpie*):	10,5	kJ/kg	Ha
mittlere Feuchte*):	3,1	g/kg	Xa
mittlere Temperatur*):	2,8	C	Ta
Auslegungstemperatur:	-15,0	C	T2
min./max. Feuchte:	1,0	g/kg	X2
min./max. Enthalpie:	-12,5	kJ/kg	H2

\*): Die Daten sind angelehnt an VDI 2067- Teil 3, Tabelle 1+2, Anhang 2 entnommen (Index: W= 3, So= 4)

BETRIEBSZEITEN	zur Ermittlung der Korrekturfaktoren nach VDI 2067		
Stunden / Tag:	16,0	h/d	---
Tage / Woche:	5,0	d/w	---
Betriebszeit von:	6,00	Uhr	---
Tageszeitkorrektur:	1,00	---	---
		bis:	0,67
		So:	0,71
			22,00
			1,00

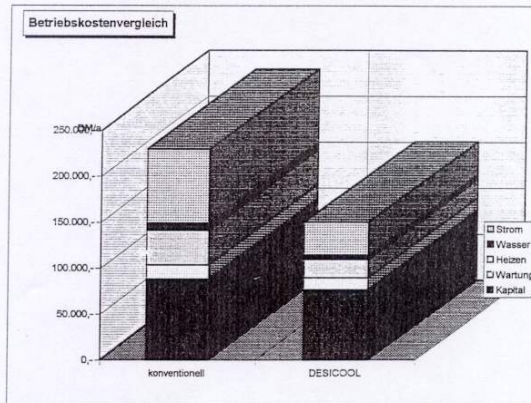
KOSTENBASIS			
Elektrische Energie:	0,18	DM/kWh	Ke
Leistungspreis *):	250,00	DM/kW a	Ke'
Heizenergie **):	0,06	DM/kWh	Kh
		(Sommer)	0,06
Frischwasser:	2,50	DM/m3	Kb
Abwasser:	3,50	DM/m3	Kb'
Wartung:	2,00	% / a	W
Kapitalverzinsung:	8,00	% / a	A
		(Abschreibung)	15,00

\*) nur wenn Wert nicht in Arbeitspreis eingerechnet ist.  
 \*\*) in Sommer können ggf. Sonderkonditionen mit den Energielieferanten vereinbart werden!

DESICOOOL - Alternative Kühlsysteme		Vergleich Adsorptionskühlverfahren und Voilklimanlage mit Kältemaschine	
<b>DESICOOOL - DATEN</b>			
Umrechnung VDI-Sommerwerte für DESICOOOL			
	nach VDI	MAXIMUM	adiabat
Kühlperiode:	3,073	1,000	2,073
Auß-Enthalpie:	40,4	33,2	47,8
Außluftfeuchte:	6,8	7,8	6,9
Auß-Temperatur:	18,3	32,0	22,9
Leistungsaufnahme:	Q-max: 448,33	Q-mittel: 186,41	186,41
max. DWVRG- Leistung:	φ: 0,94	ψ: 0,75	---
davon wirksam(Bypass):	φ: 0,94	ψ: 0,75	---
max. Druckmehrbeford:	Zuluft: 181	Abluft: 295	Pa
Verdunstung:	Zuluft: 4,0	Abluft: 2,5	g/kg
Abluft-Bypass:	Winter: 0,0	Sommer: 20,0	%
*): Tage mit stabiler Abluftkühlung gesamt: Kühltage (= ca. 42%); Basis: durchschnittliche Jahresdauerlinie			
<b>ENERGIEBEDARF 1</b> für Klima-Anlage mit Kältemaschine			
<b>Winter-Übergangszeit</b>			
Energie für Vorheizung:	Bedarf: 78.007	WRG: -78.007	Verbrauch: 0
Wasser für Befeuher:	169	0	422
Energie für Nachheizung:	443.889	0	443.889
Strom für Zuluft-Ventilator:	33.210	0	33.210
Strom für Abl.-Ventilator:	18.450	0	18.450
sonstiger Energiebedarf:	10,00%	0	5.168
<b>Sommerperiode</b>			
Energiebedarf für Kälte:	Bedarf: -214.453	WRG: 0	Verbrauch: 64.986
Wasser für Rückkühlung:	1.287	0	1.287
Energie für Nachheizung:	191.196	0	191.196
Strom für Zuluft-Ventilator:	29.874	0	29.874
Strom für Abl.-Ventilator:	18.671	0	18.671
Ventilator Rückkühlung:	6.434	0	6.434
sonstiger Energiebedarf:	10,00%	0	5.488
gesamter jährlicher Bedarf an Heizenergie: 635.085 kJ/Wh-el/a			
gesamter jährlicher Bedarf an Frischwasser: 1.708 m³/a			
gesamter Jahresbedarf elektrische Energie: 182.290 kWh-el/a			
<b>ENERGIEBEDARF 2</b> für Klimaanlagen mit DESICOOOL			
<b>Winter-Übergangszeit</b>			
Energie für Zuluftheizung:	Bedarf: 521.897	DWRG: 372.001	Verbrauch: 149.896
Wasser für Befeuher:	169	-105	350
Strom für Zuluft-Ventilator:	39.889	0	39.889
Strom für Abl.-Ventilator:	29.336	0	29.336
sonstiger Energiebedarf:	10,00%	0	5.488
<b>Sommerperiode</b>			
Kälte/Abluft-Heizregister:	adiabat	Restzeit	Verbrauch
Wasser Abl.-Befeuher:	70	145	163.984
Wasser Zuluft-Befeuher:	entf.:	112	535
Strom für Zuluft-Ventilator:	11.168	23.152	24.771
Strom für Abl.-Ventilator:	8.061	16.709	5.915
sonstiger Energiebedarf:	10,00%	0	5.488
gesamter jährlicher Bedarf an Heizenergie: 333.890 kJ/Wh-th/a			
gesamter jährlicher Bedarf an Frischwasser: 975 m³/a			
gesamter Jahresbedarf elektrische Energie: 141.214 kWh-el/a			

DESICOOOL - Alternative Kühlsysteme			
Vergleich Adsorptionskühlverfahren und Vollklimaanlage mit Kältemaschine			
<b>LEISTUNGSDATEN 1</b> für Klima-Anlage mit Kältemaschine			
	Bedarf	WRG	Anschluß
Kälteleistung (So):	-499,69	49,00	136,57 kW-el
Vorheizregister (Wi):	352,19	-280,97	71,22 kW-th
Nacherhitzer (Wi):	325,36		325,36 kW-th
Befeuchter*) (Wi):	222,13	-55,53	416,49 kg/h
	extern	intern	Anschluß
ZuL-Ventilator (Wi):	300	600	Pa
Abl-Ventilator (Wi):	200	300	Pa
ZuL-Ventilator (So):	400	800	Pa
Abl-Ventilator (So):	300	450	Pa
Rückk.-Ventilator (So):	30	45	Pa
Pumpen/Sonstiges:	10 % (ca.)		
Anschluß HEIZUNG:	(Wi)		396,58 kW-th
Anschluß WASSER:	(Wi)	Maximalwerte	416,49 kg/h
Anschluß ELEKTRO:	(So)		189,85 kW-el
*) Der Wert für WRG-Fauchterückgewinn ist wegen der "minimalen Außenluftfeuchte" um 50% reduziert.			
<b>LEISTUNGSDATEN 2</b> für DESICOOOL-System			
	Bedarf	DWRG	Anschluß
Zuluft-Heizregister (Wi):	877,55	-491,31	136,25 kW-th
Zuluft-Befeuchter*) (Wi):	222,13	-55,53	416,49 kg/h
Abluft-Heizregister (So):	499,69		446,33 kW-th
Zuluft-Befeuchter (So):	235,20		588,00 kg/h
Abluft-Befeuchter (So):	147,00		367,50 kg/h
	extern	intern	Anschluß
ZuL-Ventilator (Wi):	300	791	Pa
Abl-Ventilator (Wi):	200	595	Pa
ZuL-Ventilator (So):	400	981	Pa
Abl-Ventilator (So):	300	695	Pa
Pumpen/Sonstiges:	10 % (ca.)		
Anschluß HEIZUNG:	(So)		446,33 kW-th
Anschluß WASSER:	(So)	Maximalwerte	588,00 kg/h
Anschluß ELEKTRO:	(So)		43,72 kW-el
*) Der Wert für WRG-Fauchterückgewinn ist wegen der "minimalen Außenluftfeuchte" um 50% reduziert.			
<b>INVESTITIONEN</b> geschätzte Gesamtinvestition einschließlich Kanäle, Auslässe, MSR			
			756.761,- DM
Elektro-, Heizungs-, Kälteanlagen und Verröhrung:			
<b>bezogen auf System-Komponenten:</b>			
Kältemaschine mit Regelung:	114.975,- DM	entfällt	DM
Rückkühwerk mit Kühlturm:	45.990,- DM	entfällt	DM
komplettes Kaltwassernetz:	65.985,- DM	entfällt	DM
Mehraufwand Elektroanschluß:	27.435,- DM	entfällt	DM
Nachheizregister:	4.053,- DM	entfällt	DM
Wärmerückgewinner:	25.431,- DM	entfällt	DM
Zuluftbefeuchter:	47.970,- DM	entfällt	DM
Abluftbefeuchter:	entfällt	DM	57.525,- DM
Sorptionrad:	entfällt	DM	64.227,- DM
Abluftehitzer:	entfällt	DM	8.143,- DM
Änd.Zentralgerät/Vent./Bypass:	entfällt	DM	12.285,- DM
Mehraufwand Desicool-Regelung:	entfällt	DM	18.750,- DM
Summe betroffene Komponenten:	334.900,- DM	entfällt	233.444,- DM
<b>MINDEREINVESTITION &gt;&gt;&gt;</b>			-101.456,- DM
Grundlage sind Erfahrungswerte und Händlerangaben (Brutto), die Daten können überschrieben werden.			

DESICOOOL - Alternative Kühlsysteme			
Vergleich Adsorptionskühlverfahren und Vollklimaanlage mit Kältemaschine			
<b>BETRIEBSKOSTEN</b>			
	Anlage mit Kältemaschine	Anlage mit DESICOOOL	
Kapitalkosten / Annuität:	11,68% 88.412,- DM	76.559,- DM	
Instandhaltung / Wartung:	2,0% 15.135,- DM	13.106,- DM	
Heizkosten Winter:	26.633,- DM	8.994,- DM	
Heizkosten Sommer:	11.472,- DM	11.040,- DM	
Frischwasser:	4.272,- DM	2.445,- DM	
Abwassergebühren:	3.588,- DM	2.054,- DM	
elektr. Arbeitspreis:	32.812,- DM	25.419,- DM	
elektr. Leistungspreis:	47.412,- DM	10.931,- DM	
<b>BETRIEBSKOSTEN/JAHR:</b>	<b>229.737,- DM</b>	<b>150.547,- DM</b>	



Warum DESICOOOL ?	
REDUZIERUNG DER JÄHRLICHEN BETRIEBSKOSTEN UM:	34,5 % /a
REDUZIERUNG DER JÄHRLICHEN SCHADSTOFFEMISSION UM:	35,9 % /a
OHNE VERWENDUNG OZONSCHÄDIGENDER KÄLTEMITTEL!	

Şekil 9. Konvansiyonel ve DEC Sistemi İşletme Maliyeti Karşılaştırması



## KAYNAKLAR

- [1] Sorptionsgestützte Klimatisierung, Henrich / Franszke C.F. MÜLLER VERLAG HEIDELBERG 1997
- [2] Desicool – Adsorptionskühlung, Munters 1996
- [3] Wirtschaftlichkeit von DCS Anlagen, Busweiler DRESDEN 1995
- [4] RLT Geraete mit DEC Technik in Industrieller Einsatz, Gruler M. Robaterm 1996

## ÖZGEÇMİŞ

1953 doğumludur. 1975 İTÜ Makina Fakültesi'ni bitirdikten sonra aynı okulda asistanlık ve daha sonra Münih Teknik Üniversitesinde doktora çalışması yapmıştır. 15 yıl Almanya'da çeşitli klima firmalarında çalışmıştır. 1996'dan itibaren Türkiye'de klima sektöründe çalışmaktadır.