

## 8. Netzwerktreffen Kälteeffizienz – NDR am Rothenbaum

# Rückkühlsysteme



---

# Sven Asmus

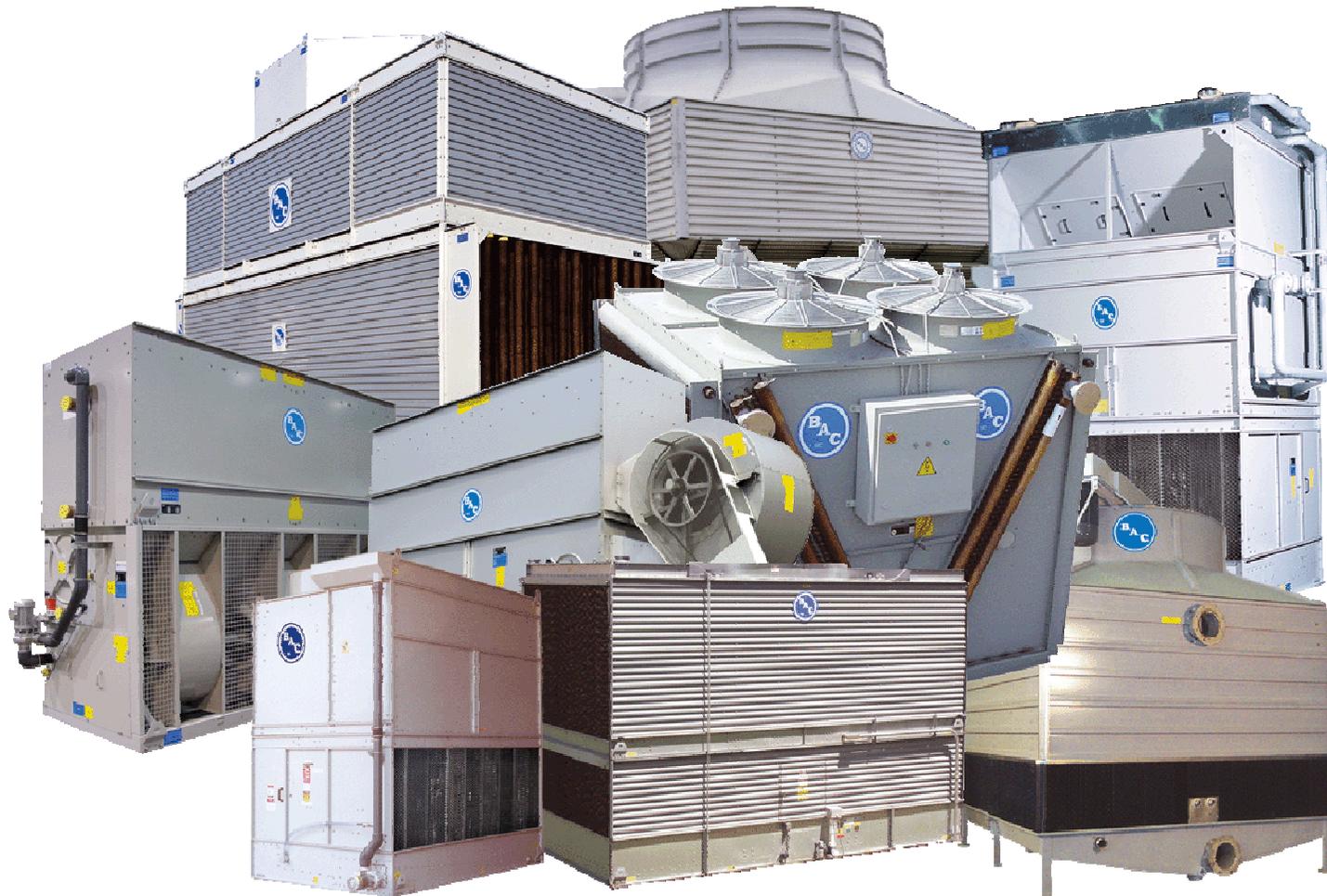
## ERT Refrigeration Technology GmbH

Geschäftsführer  
ab 1996 Vertriebsleiter  
seit 1988 bei ERT

- Werksvertretung  
B.A.C. Baltimore Aircoil Int. 
- Prozesskühlung
- Tieftemperaturtechnik
- Rückkühlung
- Wassertechnik
- Steuerungstechnik



# Rückkühlsysteme



---

# Rückkühlsysteme

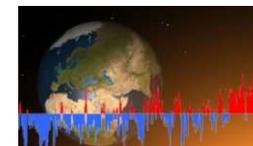
I. Grundlagen für eine effiziente Auswahl



II. Rückkühler im Vergleich



III. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



---

# Rückkühlsysteme

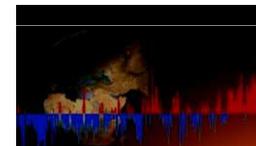
I. Grundlagen für eine effiziente Auswahl



II. Rückkühler im Vergleich



III. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



---

# Begriffe

## A. Rückkühlsysteme

Rückkühlung ohne Kompression / Absorption

## B. Kühlsysteme

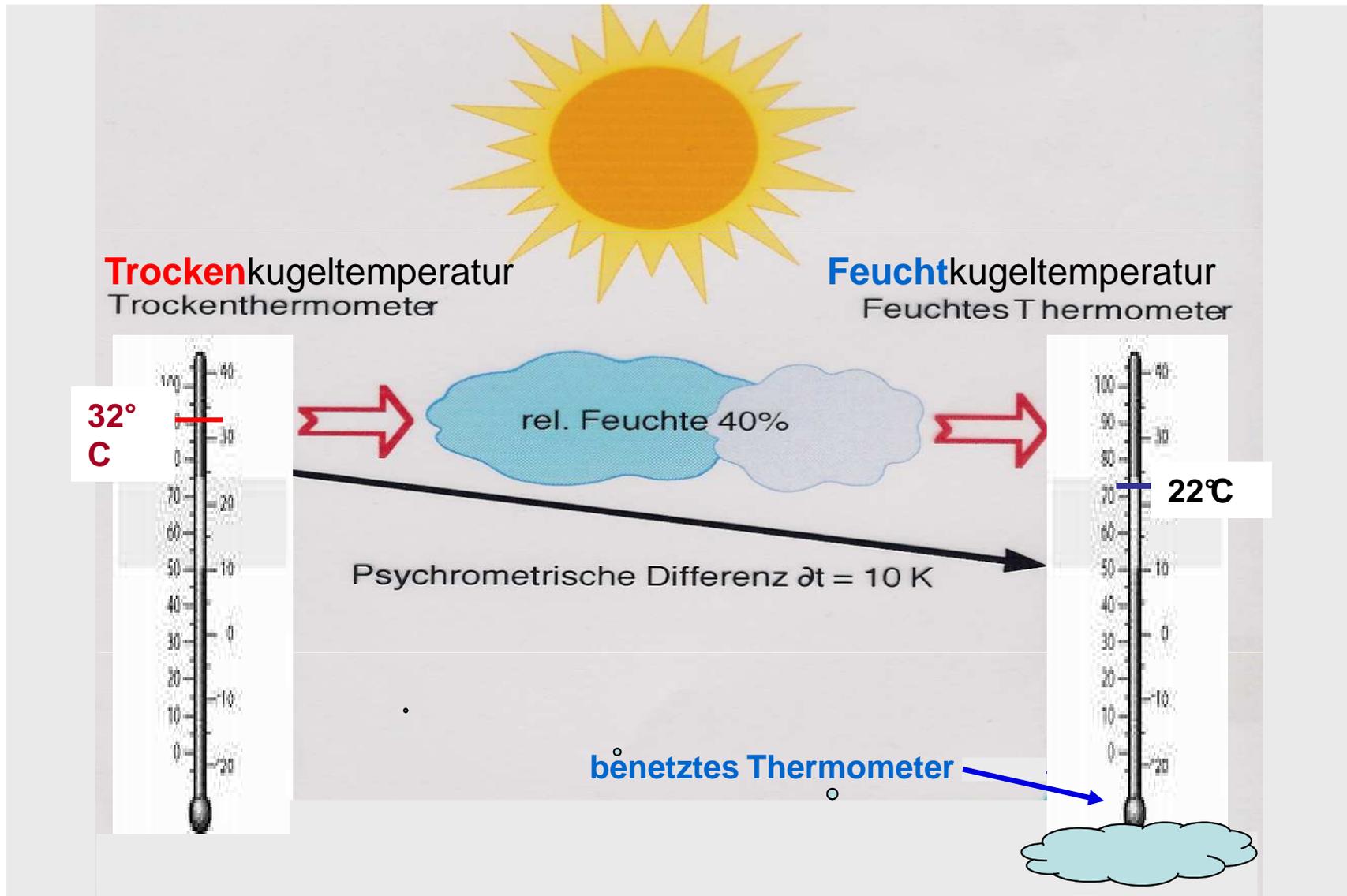
Rückkühlung mit und ohne Kompression / Absorption



# Umgebungsbedingungen

- Trockenkugeltemperatur
- Feuchtkugeltemperatur





**Trockenkugeltemperatur - relative Feuchte - Feuchtkugeltemperatur  
psychrometrische Differenz**

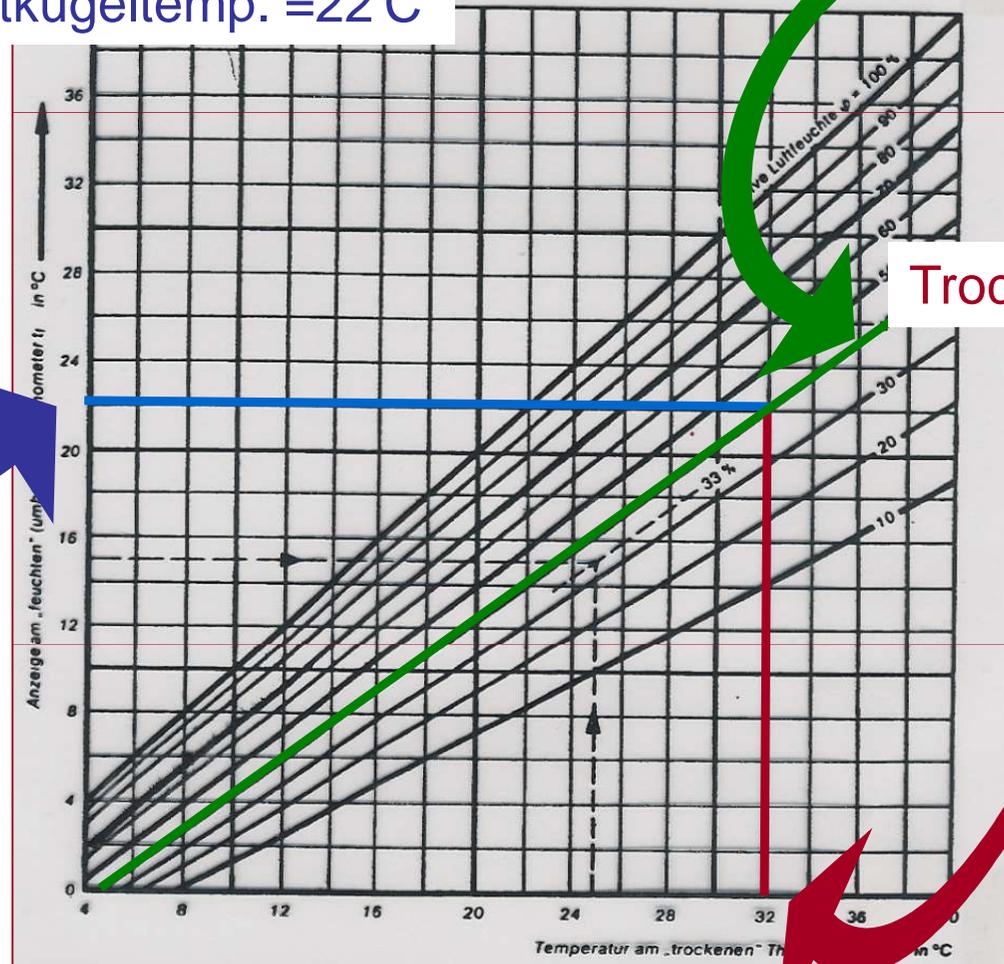


Bestimmung der relativen Luftfeuchte  $\varphi$   
aus den Anzeigen  $t_r$  und  $t_f$  des Aspirationspsychrometers von  
Assmann. Gültig für  $p = 760$  Torr.

Feuchtkugeltemp. = 22°C

relative Feuchte. = 40%

Trockenkugeltemp. = 32°C



Trockenkugeltemperatur - relative Feuchte - Feuchtkugeltemperatur  
psychrometrische Differenz



---

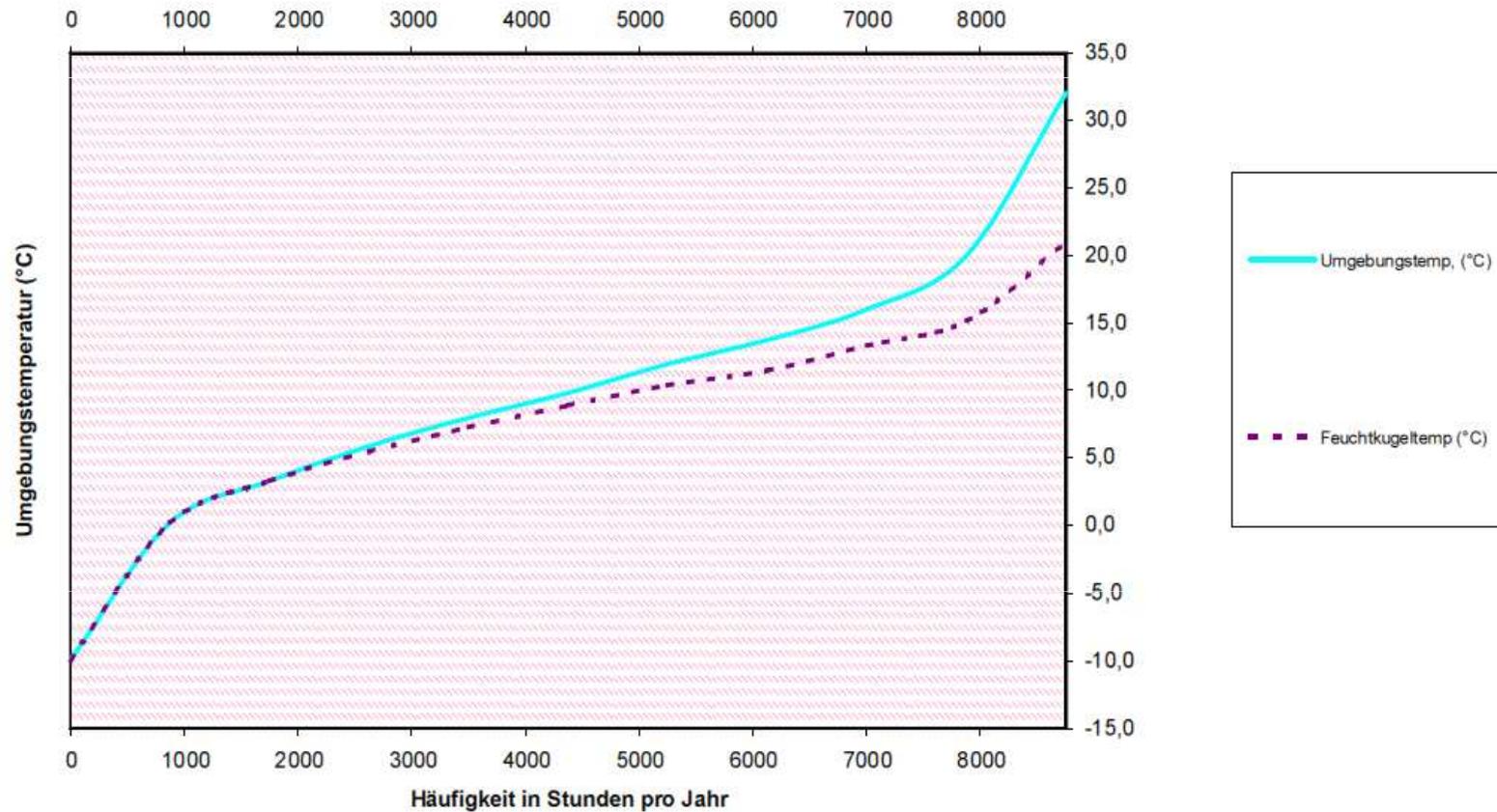
## Auslegungsgrundlagen für Rückkühlsysteme

- planerisch max. Auslegungsbedingungen ( $T_f$  und  $T_t$ )
- Umgebungstemperaturverläufe pro Jahr
  - Bemessung der Nutzungsstunden
  - Verbrauchsermittlung (Strom & Wasser)

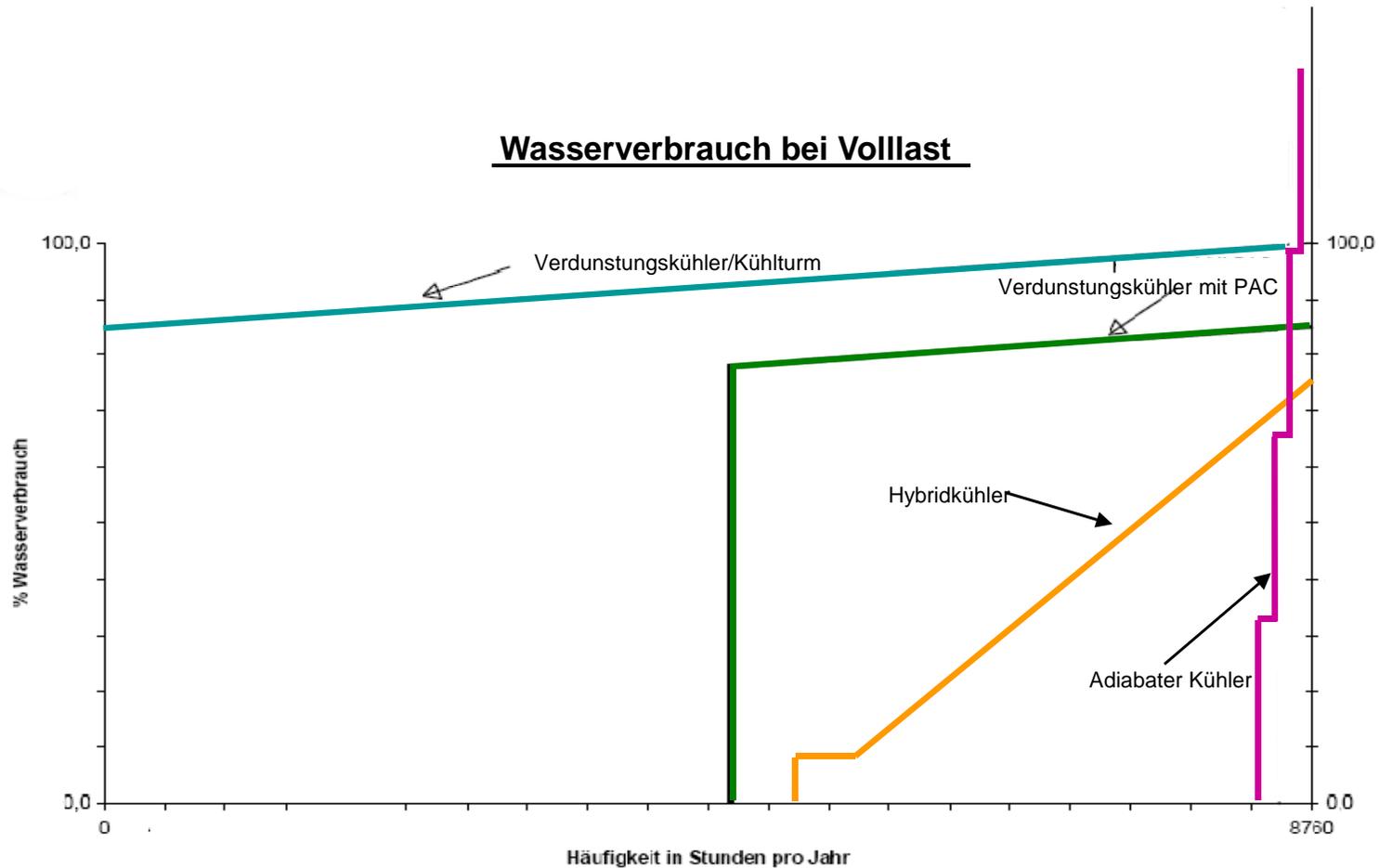
→ kumulativer Jahrestemperaturverlauf



## Variation der Umgebungstemperatur Deutschland



kumulativer Jahrestemperaturverlauf

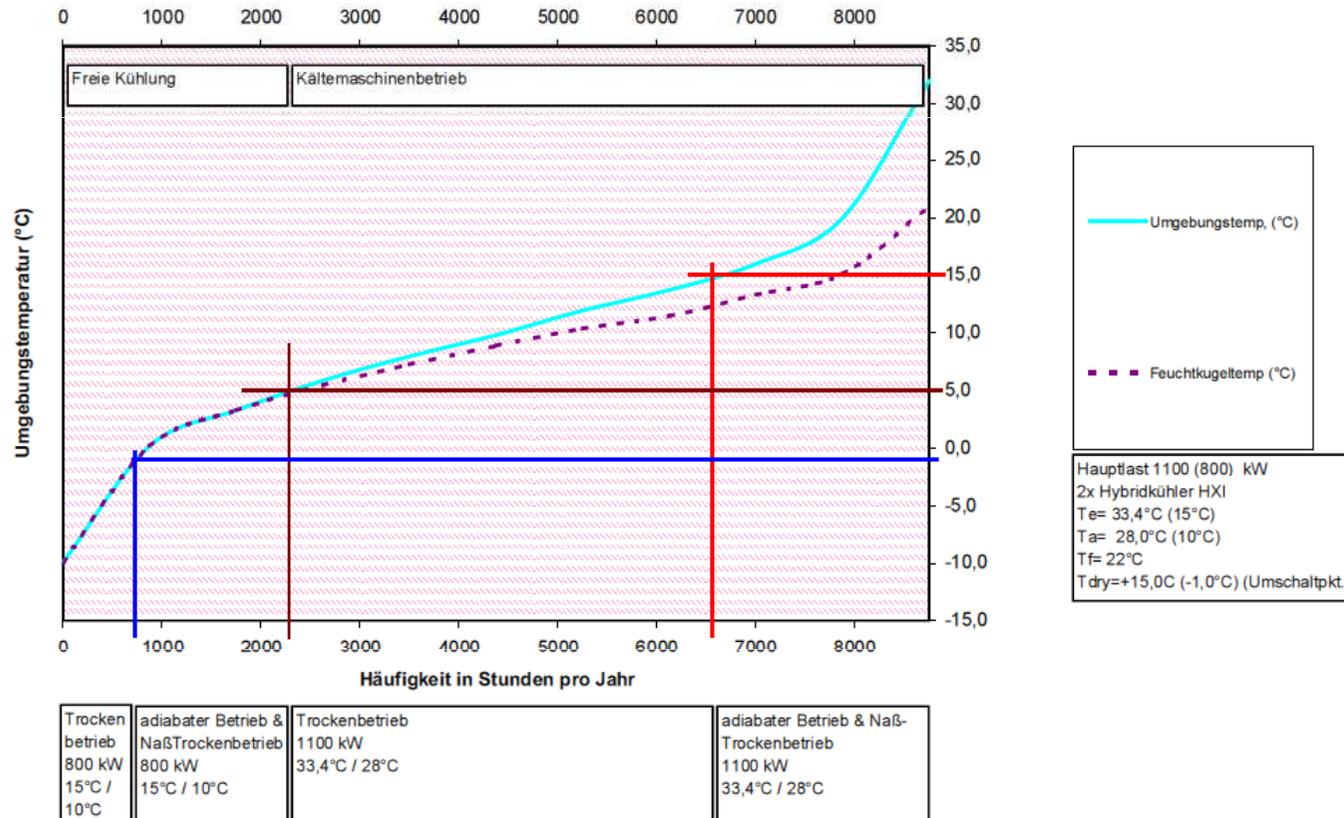


## Wasserverbrauch: Verdunstung / hybrid / adiabat

kumulativer Jahrestemperaturverlauf



## Variation der Umgebungstemperatur Deutschland

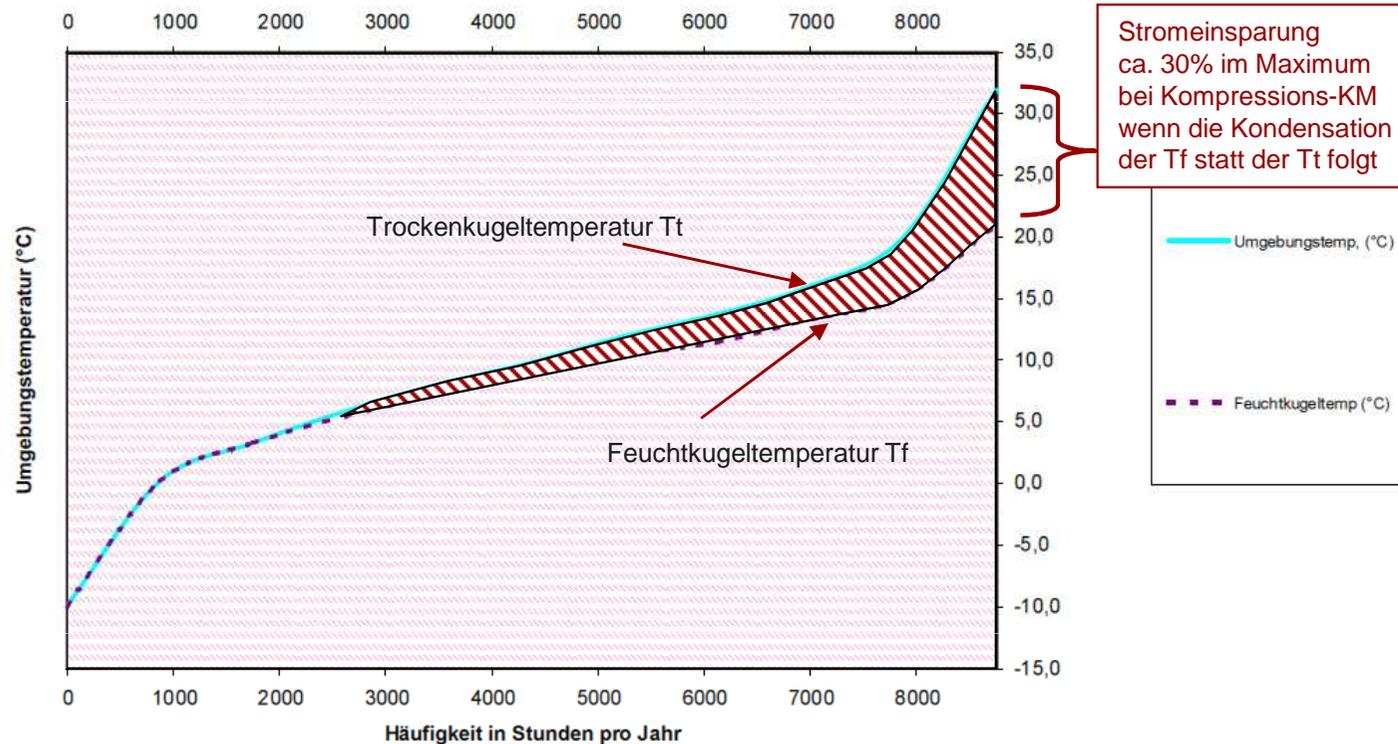


## Wasserverbrauchsbetrachtung: Beispiel Hybridkühler HXI

### kumulativer Jahrestemperaturverlauf



## Variation der Umgebungstemperatur Deutschland



**Stromverbrauch einer Kompressionskältemaschine ist abhängig vom Rückkühlsystem (Feucht- bzw. Trockenkugeltemperatur)**

kumulativer Jahrestemperaturverlauf



## Regelstrategie bei Rückkühlsystemen

---

- deutliche Energieeinsparung bei einer Kompressions-KM durch niedrige, gleitende Verflüssigungs-/ Rückkühltemperaturen
- Steigerung der Leistungszahl bei Absorbern durch niedrige, gleitende Verflüssigungs-/ Rückkühltemperaturen
- große Austauschflächen nutzen für niedrige Verflüssigungs-/ Rückkühltemperaturen, sofern hydraulisch möglich, Parallelschaltung
- Wassereinsparung bzw. Minimierung des H<sub>2</sub>O-Verbrauchs auch bei hybriden oder adiabaten Rückkühlern
- Regelstrategie hat großen Einfluss auf die Effizienz der Kältemaschinen



## Auswahl des Kältesystems

- Kontrolle der verschiedenen Verbraucher → Temperaturen im Gebäude / im Prozess
  - Trennung der Verbraucher mit deutlich unterschiedlichen Temp.
    - z.B. -Kreis A = 40°C
    - Kreis B = 25°C
    - Kreis C = 6°C
    - Trockenkühlung
    - Verdunstungs-/ adiabate Kühlung
    - Kompression- / Absorptionskälte+RK
- Viele (Prozess-) Kältesysteme werden mit zu niedrigen Temp. betrieben, z.B. 6°C obwohl 25°C ausreichend sein könnten
- [  $KS_{\text{cop}_e} = RKS_{\text{cop}_e} \times 10...20$  ]
- Der elektrische Wirkungsgrad eines Rückkühlsystems ist ca. 10 bis 20 mal höher als bei einem Kompressions-Kältesystem



## Rückkühlarten

Art	Kühlung einer Kältemaschine oder freie Kühlung
Trockenkühlung	<ul style="list-style-type: none"><li>• mit Trockenkühlern</li></ul>
Verdunstungskühlung	<ul style="list-style-type: none"><li>• mit Verdunstungs- oder</li><li>• mit Hybridkühlern</li></ul>
adiabate Kühlung	<ul style="list-style-type: none"><li>• mit adiabaten Rückkühlern</li></ul>
-----	
Freie Kühlung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kühlung <u>ohne Kältemaschine</u> mit Verdunstungs- / Hybrid- / adiabaten Rückkühlern oder Trockenkühlern</li></ul>



## Zusammenfassung „I. Grundlagen für eine effiziente Auswahl“

- Feuchtkugeltemperatur / Trockenkugeltemperatur
- kumulativer Jahrestemperaturverlauf
- Wasserverbräuche bei verschiedenen Rückkühlarten
- Regelstrategie bei Rückkühlssystemen
  - Leistungsaufnahme der Kompressionskältemaschine ist abhängig von Rückkühlart
- Rückkühlarten
  - Verdunstungs- oder • Hybridkühler
  - adiabate Rückkühler
    - Freie Kühlung
      - Kühlung ohne Kältemaschine

---

# Rückkühlsysteme

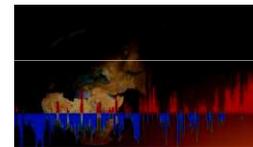
I. Grundlagen für eine effiziente Auswahl



II. Rückkühler im Vergleich



III. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung





# Rückkühlsysteme für verschiedene Anwendungen

### KLIMAAANLAGEN

- Krankenhäuser
- Bürogebäude
- Computerräume
- Hotels
- Flughäfen
- Reinräume



### PROZEßKÜHLUNG

- Induktionsöfen
- Stahlwerke
- Schweißmaschinen
- Kunststoffformung
- Drucklifterzeuger
- Autoklaven
- Walzwerke
- Hochöfen
- Papierfabriken



### INDUSTRIEKÄLTE

- Brauereien
- Kühlhäuser
- Molkereien
- Nahrungsmittel-  
industrie
- Getränkeindustrie
- Eisbahnen
- Skihallen





# verfügbare RÜCKKÜHLER



Kühltürme offen



Verdunstungskühler



Hybridkühler



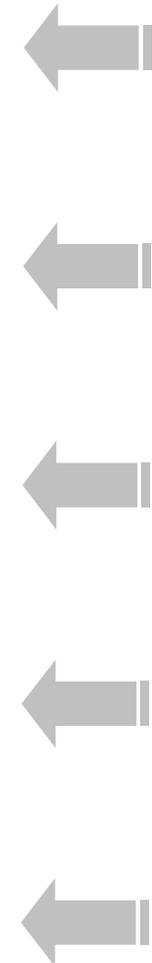
Adiabate Kühler



Trockenkühler



auch als Verflüssiger



KompressionsKältemaschinen

Absorber / Adsorber

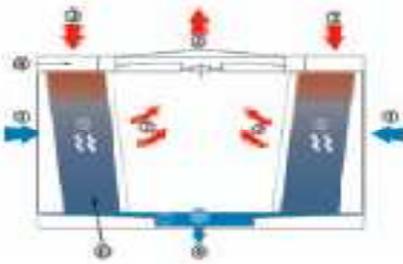
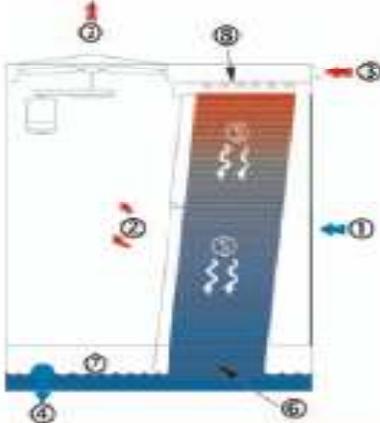
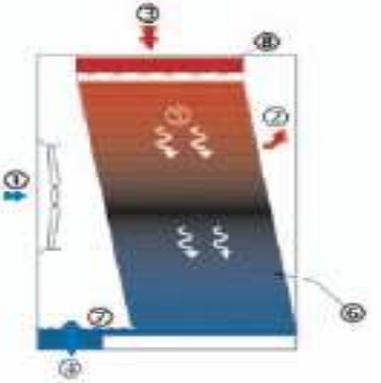


# Offene Kühltürme



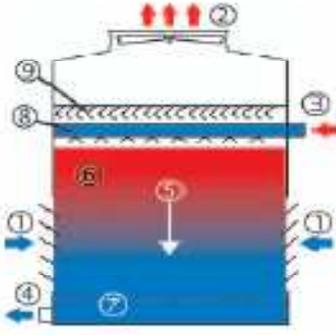
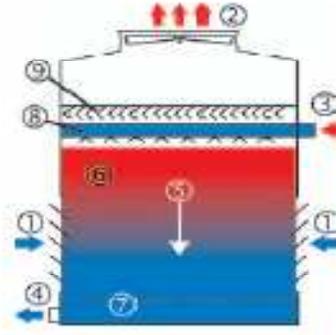
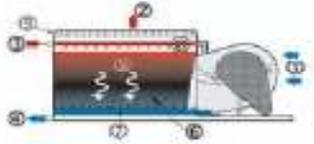
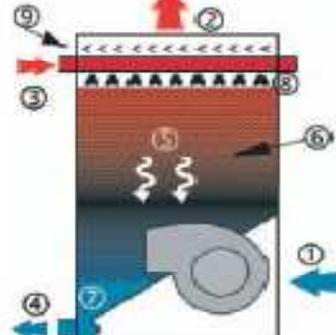


## Offene Kühltürme 3/7

Serie 3000-D	TXV	FXT
		
Querstrom	Querstrom	Querstrom
Schwerkraft	Schwerkraft	Schwerkraft
Axiallüfter, Saugzugprinzip	Axiallüfter, Saugzugprinzip	Axiallüfter, Druckprinzip
40 bis 280 l/s	10 bis 128 l/s	3 bis 145 l/s
50° C Standard-Füllkörper 55° C alternatives Füllkörpermateral	50° C Standard-Füllkörper 55° C alternatives Füllkörpermateral	50° C Standard-Füllkörper 55° C alternatives Füllkörpermateral
Mittlere bis große Klima- und gewerbliche Anwendungen Austausch von vor Ort errichteten Türmen	Mittlere Klima- und gewerbliche Anwendungen Austausch von Gegenstromgeräten Austausch von Querstromgeräten Enge Aufstellungsverhältnisse und Installationen, die einen einzigen Lufteinlass erfordern	Kleine bis mittlere gewerbliche Anwendungen



## offene Kühltürme 4/7

RCT	IMT	VTL	VXT
			
Gegenstrom	Gegenstrom	Gegenstrom	Gegenstrom
unter Druck	unter Druck	unter Druck	unter Druck
Axiallüfter, Saugzugprinzip	Axiallüfter, Saugzugprinzip	Radiallüfter, Druckprinzip	Radiallüfter, Druckprinzip
40 bis 145 l/s	45 bis 560 l/s	4 bis 90 l/s	1,8 bis 1.230 l/s
55° C Standard-Füllkörper 65° C mit alternativen Füllkörpermaterialien	55° C Standard-Füllkörper 65° C mit alternativen Füllkörpermaterialien	55° C Standard-Füllkörper 65° C mit alternativen Füllkörpermaterialien	55° C Standard-Füllkörper 65° C mit alternativen Füllkörpermaterialien
Kleine bis mittlere gewerbliche Anwendungen Schmutzwasseranwendungen	Große gewerbliche Anwendungen Austausch von vor Ort errichteten Türmen mit beckenlosen Geräten Schmutzwasseranwendungen	Kleine bis mittlere Klima- und gewerbliche Anwendungen Installationen mit extrem niedrigen Höhenanforderungen Innenaufstellungen Gewerbliche Anwendungen mit hohen Temperaturen Enge Aufstellungsverhältnisse und Installationen, die einen einzigen Lufteinlass erfordern	Kleine bis mittlere Klima- und gewerbliche Anwendungen Innenaufstellungen Gewerbliche Anwendungen mit hohen Temperaturen Enge Aufstellungsverhältnisse und Installationen, die einen einzigen Lufteinlass erfordern



# geschlossene Verdunstungskühler





## geschlossene Verdunstungskühler 2/4

VXI	VFL
Gegenstrom	Gegenstrom
Radiallüfter, Druckprinzip	Radiallüfter, Druckprinzip
1 bis 200 l/s	1 bis 65 l/s
£2°C	8°C
Kleine bis mittlere Klima- und Industrieanwendungen wie Wärmepumpen und Luftverdichter Innenaufstellungen Hochtemperaturanwendungen Enge Aufstellungsverhältnisse und Installationen, die einen einzigen Lufteinlass erfordern Extrem geräuschempfindliche Anwendungen	Kleine bis mittlere Klima- und gewerbliche Anwendungen Installationen mit begrenzter Bauhöhe Innenaufstellungen Gewerbliche Anwendungen mit hohen Temperaturen Extrem geräuschempfindliche Anwendungen



## geschlossene Verdunstungskühler 4/4

S 1500	
FXV – Modelle mit einem Lufteinlass	FXV-D Modelle mit zwei Lufteinlässen
Mehrstrom	Mehrstrom
Axiallüfter, Saugzugprinzip	Axiallüfter, Saugzugprinzip
3 bis 149 l/s	200 bis 330 l/s
82° C	82° C
Kleine bis mittlere Klima- und Industrieanwendungen wie Wasserquellen-wärmepumpenkreisläufe und Luftverdichterkühlung Enge Aufstellungsverhältnisse und Installationen, die einen einzigen Lufteinlass erfordern	Mittlere bis große Klima- und gewerbliche Anwendungen wie Lichtbo-genöfen und pharmazeutische Anlagen
Ersatzgeräte	



# Verdunstungsverflüssiger





## Verdunstungsverflüssiger 2/5

VXC	VCL
Gegenstrom	Gegenstrom
Radiallüfter, Druckprinzip	Radiallüfter, Druckprinzip
50 bis 6470 kW	160 bis 1290 kW
Kälteanlagen mit hoher Geräuschempfindlichkeit Aufstellungen mit begrenzter Planfläche Innenaufstellungen	Kälteanlagen mit hoher Geräuschempfindlichkeit Installationen mit begrenzter Bauhöhe Innenaufstellungen Palettenpakete

- Auch mit Berippung aus Stahl auf Stahlrohrbündel – gemeinsam verzinkt – bis 5 FPI lieferbar
- Vergrößerung der Oberfläche für Trockenbetrieb bei TK-Lägern -> Luftgekühlt bis ca. +8°C



### Verdunstungsverflüssiger VXC von 2/5



- Berippung aus Stahl auf Stahlrohrbündel – gemeinsam verzinkt
- Vergrößerung der Oberfläche für Trockenbetrieb bei TK-Lägern mit NH<sub>3</sub>
- > Teillast luftgekühlt bis ca. +8°C=Tu



## Verdunstungsverflüssiger 3/5

CXV	CXV-D	HXC (Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt "Wassersparende Hybridprodukte")
Mehrstrom	Mehrstrom	Mehrstrom
Axiallüfter, Saugzugprinzip	Axiallüfter, Saugzugprinzip	Axiallüfter, Saugzugprinzip
410 bis 2730 kW	3500 bis 5140 kW	740 bis 2660 kW
Industrielle Kühlanwendungen	Sehr große industrielle Kühl- und Prozessprojekte, bei denen niedriger Energieverbrauch und geringe Geräusche erforderlich sind	Industrielle Kühlanwendungen in geografischen Regionen, in denen die Wasserkosten hoch sind



# Wassersparende Kühler: Hybrid - Nass & Trocken





# Wassersparende Geräte: Hybrid - Nass & Trocken

	HXI	HFL
Arbeitsprinzip		
Technologie	Feucht-Trocken-Hybridkühlturm mit geschlossenem Kreislauf, der sensible und Verdunstungskühlung kombiniert	Feucht-Trocken-Hybridkühlturm mit geschlossenem Kreislauf, der sensible und Verdunstungskühlung kombiniert
Konfiguration	Mehrstrom	Gegenstrom
Lüftersystem	Axiallüfter, Saugzugprinzip	Radiallüfter, Druckprinzip
Leistungsbereich (Einzelzelle)	45 bis 150 l/s	9 bis 90 l/s
Maximale Flüssigkeitseintrittstemperatur	02° C	02° C
Typische Anwendungen	Mittlere bis große Klima- und gewerbliche Anwendungen Installationen, die Abluftwärmerückgewinnung erfordern Installationen, die Wassereinsparung erfordern Niedriger Energieverbrauch Einfache Wartung	Mittlere bis große Klima- und gewerbliche Anwendungen Installationen, die Abluftwärmerückgewinnung erfordern Installationen, die Wassereinsparung erfordern Geräuschempfindliche Standorte Innenaufstellungen



# Wassersparende Geräte: Hybrid - Nass & Trocken





# Wassersparende Geräte: Trocken & Adiabat

DFC – Trockene Kühler	DFCV-AD TrilliumSeries Kühler
<p>Trockene Flüssigkeitskühler kühlen die Flüssigkeit in einem geschlossenen Kreislauf mittels sensibler Wärmeübertragung wobei einem hochdichten Rippenrohrschlangenblock benutzt wird.</p>	<p>TrilliumSeries Kühler kühlen die Flüssigkeit nur durch sensible Wärmeübertragung. Bevor die Luft jedoch durch die hochdichten Rippenrohrschlangen strömt, wird sie adiabatisch vorgekühlt, während sie durch ein Verdunstungsmedium geht, in dem Wasser in die Luft verdunstet.</p>
<p>Gegenstrom</p>	<p>Gegenstrom</p>
<p>Axiallüfter, Saugzugprinzip</p>	<p>Axiallüfter, Saugzugprinzip</p>
<p>30 kW – 1110 kW bei Eurovent-Bedingungen gemäß EN 1048. 1,5 – 80 l/s 34% Ethylenglykollösung bei 40 °C / 35 °C / 25 °C Trockenkugelttemperatur</p>	<p>250 kW – 1620 kW bei Eurovent-Bedingungen gemäß EN 1048. 13 – 86 l/s 34% Ethylenglykollösung bei 40 °C / 35 °C / 25 °C Trockenkugelttemperatur</p>
<p>65° C Hochtemperatursausführung lieferbar, max. 150° C, max. 10 bar Druck</p>	<p>70° C</p>
<p>Kleine bis mittlere Klima- und industrielle Anwendungen Standorte mit begrenzter Wasserverfügbarkeit Anwendungen mit großer Reichweite und großem Kühlgrenzabstand Gewerbliche Anwendungen mit hohen Temperaturen</p>	<p>Kleine bis mittlere Klima- und industrielle Anwendungen Standorte mit begrenzter Wasser- und Platzverfügbarkeit</p>



# Wassersparende Geräte: Adiabate Rückkühler





- Funktionsprinzip „TRILLIUM“ adiabater Kühler





- Funktionsprinzip „TRILLIUM“ adiabater Kühler 

### Kriterien für die adiabate Kühlung

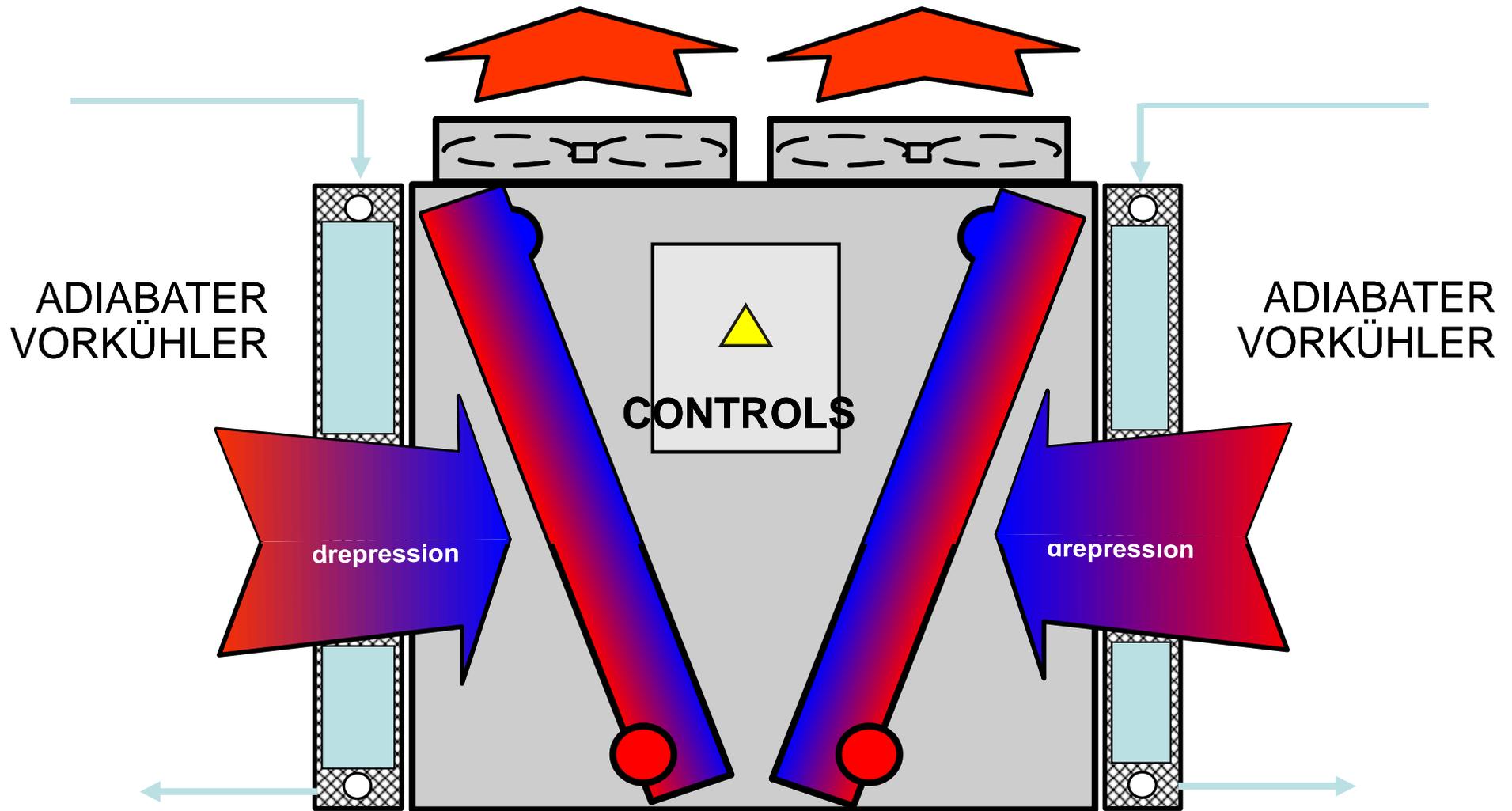
→ Maximale Befeuchtung

- ohne Sprühnebel und Aerosol
- kein Wasserauswurf
- keine Wasserbehandlung
- keine Osmose / keine Hochdruckpumpe
- keine Benetzung der Lamelle
- keine Verdunstung auf der Lamelle

... **Betrieb auf saubere, hygienische und sichere Weise**

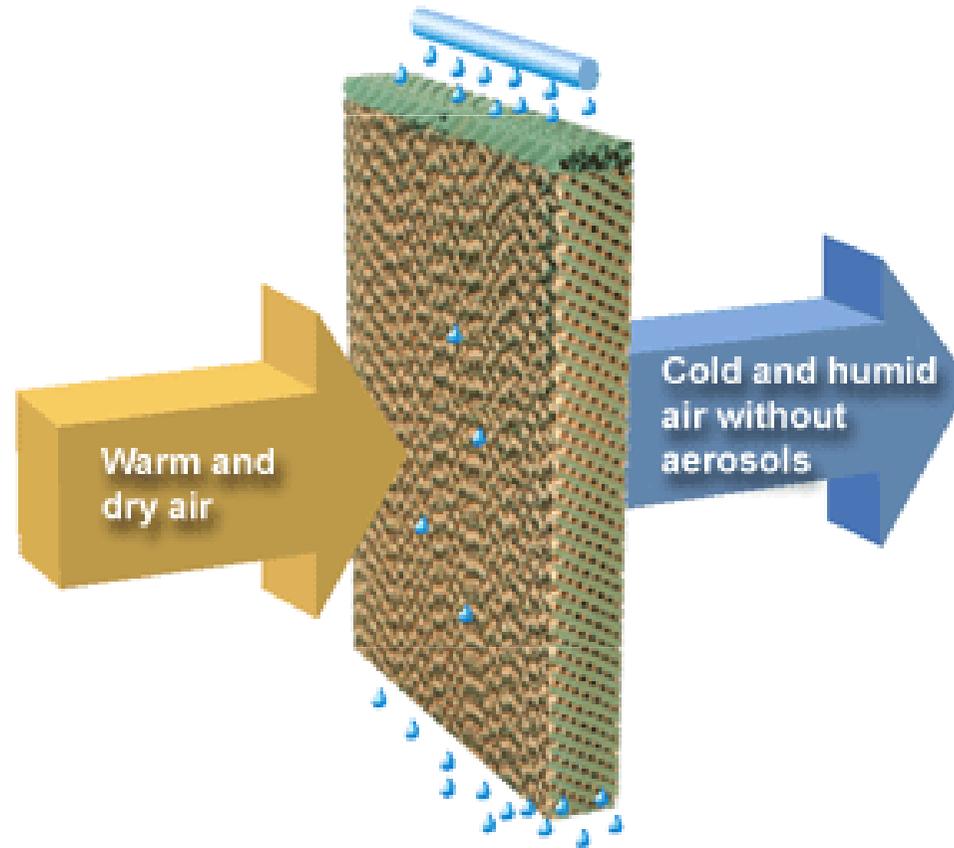


### • Funktionsprinzip „TRILLIUM“ adiabater Kühler





- Funktionsprinzip „TRILLIUM“ adiabater Kühler

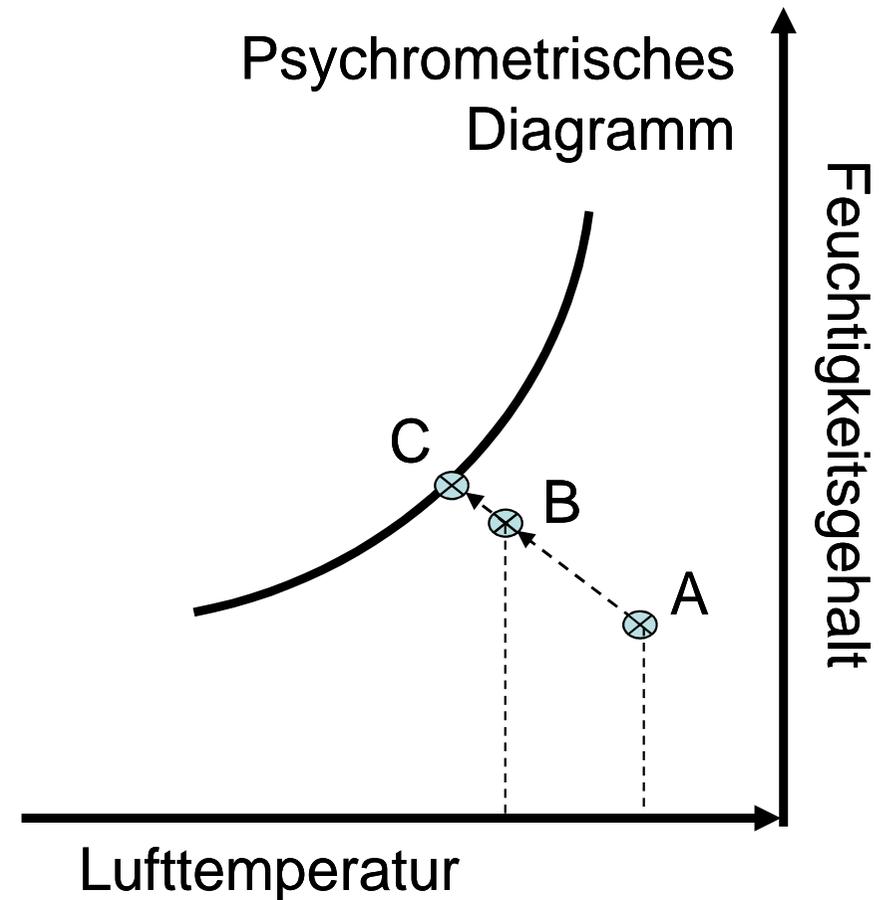




### • Funktionsprinzip „TRILLIUM“ adiabater Kühler



- Kühlung der Luft durch Erhöhung der Luftfeuchte von A nach B
- Grenzwert : (100% FKT : C)
- völlige Sättigung wird nicht erreicht





- Funktionsprinzip „TRILLIUM“ adiabater Kühler



- Vorteile

- Durchlaufprinzip, hygienisch, einfach
- keine Vorschriften hinsichtlich Legionellen
- kein aufwendiges Rezirkulationssystem
- kurze Wasserrücklaufperiode
- überhitztes Wasser kann weiter verwendet werden

**-VDI 6022 greift HIER nicht  
-Vorteile eines Trockenkühlers bei Verdunstungstemperaturen**

---

# Rückkühlsysteme

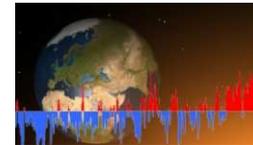
I. Grundlagen für eine effiziente Auswahl

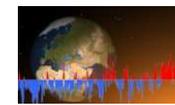


II. Rückkühler im Vergleich

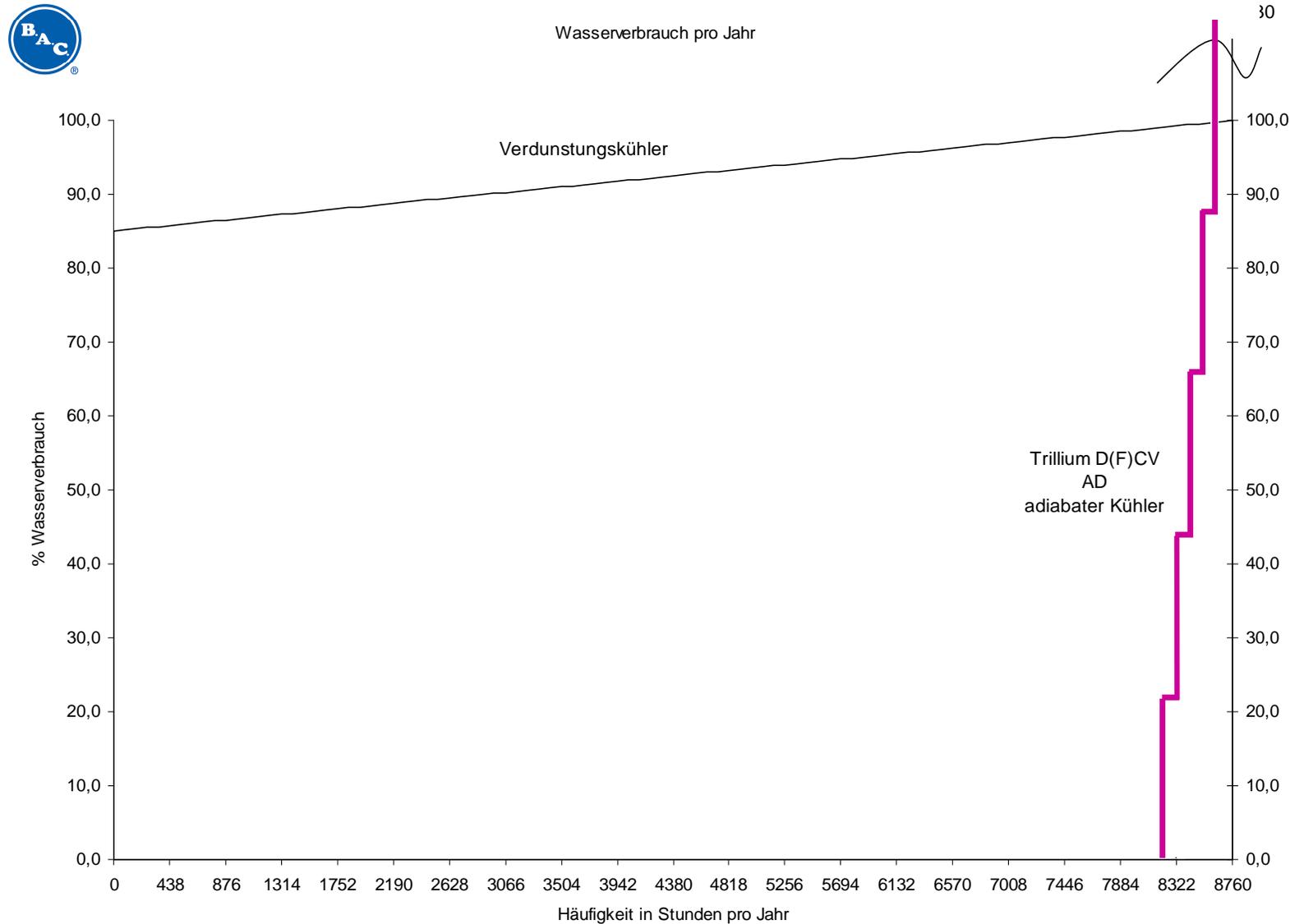


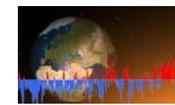
III. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung





## Adiabater Kühler ↔ offener Kühturm





## Adiabater Kühler ↔ offener Kühturm

### 8x TRILLIUM DFCV-902XAD

#### Thermische Daten

Leistung	3814 / 477 kW
Durchfluss	168.0 / 21.0 l/s
Eintrittstemperatur	33.0 °C
Austrittstemperatur	27.0 °C
Flüssigkeit	35% EG
Feuchtkugeltemperatur	21.0 °C
Befeuchtungswassermenge	1,32 m3/h
sequentiell je Stufe, ab Umschaltpunktt /	
Anzahl Geräte x 2 = Anz. Stufen	
Trockenkugeltemperatur	32.0 °C
Umschaltpunkt bei Qmax.	23.4 °C
Länge (gesamt)	7423 mm
Breite (gesamt)	2894 mm
Höhe (gesamt)	2635 mm
Versand-/ Betriebsgewicht	4000 / 5309 kg
Antrieb Leistung x Motor	12 x 1.27 kW
Gesamt Druckverlust	55.0 kPa
Schalldruck in 15 m	53 dB(A)

### 3x Kühturm VTL-2X2P-VS

#### Thermische Daten

Leistung	3900 / 1300 kW
Durchfluss	186.3 / 62.1 l/s
Eintrittstemperatur	33.0 °C
Austrittstemperatur	27.0 °C
Flüssigkeit	Wasser
Feuchtkugeltemperatur	21.0 °C
Befeuchtungswassermenge	-----
sequentiell je Stufe, ab Umschaltpunktt /	
Anzahl Geräte x 2 = Anz. Stufen	
Trockenkugeltemperatur	32.0 °C
Umschaltpunkt bei Qmax.	-----
Länge (gesamt)	5660 mm
Breite (gesamt)	2400 mm
Höhe (gesamt)	3685 mm
Versand-/ Betriebsgewicht	3700 / 5600 kg
Antrieb Leistung x Motor	1 x 37.0 kW
Gesamt Druckverlust	6.0 kPa
Schalldruck in 15 m	52 dB(A)

# III. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



## Adiabater Kühler ↔ offener Kühturm

Pos.	Rückkühler Betriebskostenvergleich (unverb.)			8x Trillium DCV-S902XAD	3x Kühturm VTL-2X2P VS
1.0.	Jährliche Vollbetriebsstunden		[h/a]	6.000	6.000
1.1.	Thermische Leistung		[kW]	3.800	3.800
1.2.	Verdunstungsverluste		[kg/kWh]	0,00	1,55
1.3.	Verdunstungsverluste		[m³/h]	0,00	5,89
1.4.	Abschlammwassermenge mit EZ=	2,5	[m³/h]	0,00	3,93
1.5.	Wasserverbrauch unter max. Bedingungen		[m³/h]	21,12	9,82
2.1.	Umschaltunkt in Betriebsweise adiabatisch bzw. naß		[°C]	24,0	---
2.2.	durchschnittliche Trockenbetriebsdauer im Jahr		[%]	95,00	0,00
2.3.	durchschnittliche Betriebsweise adiabatisch im Jahr		[%]	5,00	0,00
2.4.	durchschnittlicher Wasserverbrauch für Betriebsweise adiabatisch bzw. naß		[%]	50,00	100,00
2.5.	durchschnittlicher Wasserverbrauch für Betriebsweise adiabatisch bzw. naß		[m³/h]	10,56	9,82
3.0	Jahreswasserverbrauch aus o.g. Bedingungen		[m³/a]	3168	58900
3.1.	Leistungsaufnahmen der Sprühwasserp. und der Lüftermotoren im Jahresm.		[kW]	33,33	37,00
3.2.	jährliche Leistungsaufnahme		[kWh/a]	200.000,00	222.000,00
3.3.	Leistungspreis pro anno		[€/kW]	0,00	0,00
3.4.	spezifische Abwasserkosten		[€/m³]	0,00	2,00
3.5.	spezifische Frischwasserkosten incl. Chemie		[€/m³]	2,50	3,50
3.6.	spezifische Stromkosten		[€/kWh]	0,15	0,15
3.7.	Wartungskosten		[€]	3000,00	4000,00
4.0.	gesamte Jahreswasserkosten		[€]	7.920,00	253.270,00
4.1.	gesamte Jahresstromkosten durchschnittlich		[€]	30.000,00	33.300,00
4.2.	Jahresbetriebskosten		[€]	40.920,00	290.570,00
4.3.	Jahresbetriebskostenvorteil		[€/a]	249.650,00	0,00
4.4.	Investitionskosten incl. Steuerung		[€]	1.100.000,00	200.000,00
5.0	Amortisationsdauer (ohne Kapitalkosten)		[a]	4,40	0,00

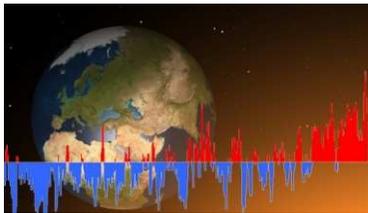


---

## Es liegen einige Prospekte aus:

Adibate Kühler

- Trilliumkühler
- Spartiumkühler (NEU) für schallunkritische Anwendungen
  
- Hybridverflüssiger





Sven Asmus  
ERT Refrigeration Technology GmbH  
Beutnerring 5  
21077 Hamburg  
Büro: 040-76 10 48 -0  
Mobil: 0171-1989 890  
sven.asmus@ertgmbh.de  
www.ertgmbh.de



**Vielen Dank**

