

## Innovatie voor de luchtbehandeling

# Gekoeld ventileren, met R718 (water) als koudemiddel

**P. G. H. Uges**

Volair BV te Apeldoorn.

*Lezingen gehouden  
op 11 december  
2003, bij Carrier  
Holland Heating te  
Waalwijk*

### Inleiding

Statische Dauwpuntkoeling betreft een ontwikkeling waarbij wordt gekoeld met water (R718) als koudemiddel, zonder het gebruik van een koelinstallatie. Het zijn systemen die zich kenmerken door een extreem laag energieverbruik. Systemen die koeling mogelijk maken waar dit tot voor kort door het hoge energieverbruik niet of nauwelijks haalbaar was.

Voorbeelden zijn koeling van grote hallen, showrooms, bij productieprocessen waarbij veel warmte vrijkomt, maar ook koeling bij woonhuisventilatie. Statische Dauwpuntkoeling kan ook als voorschakelkoeler worden toegepast, om daarmee de benodigde koelcapaciteit van een conventionele koelinstallaties en het energieverbruik te kunnen verkleinen, of om bij een bestaande luchtbehandelingsinstallatie een tekort in koelcapaciteit aan te vullen.

Statische Dauwpuntkoeling kenmerkt zich door lage onderhoudskosten. Zowel het lage energieverbruik als de geringe onderhouds-

kosten betekenen dat de bedrijfskosten aanmerkelijk lager liggen dan bij een luchtbehandelingsinstallatie voorzien van traditionele koeling.

Met uitzondering van de in iedere luchtbehandelingsinstallatie benodigde ventilator werkt de Statische Dauwpuntkoeler zonder draaiende delen. Dit soort koeling werd ontwikkeld voor een gematigd klimaat, zoals wij dat in de meeste Europese landen kennen.

Het principe van verdampingskoeling is reeds meer dan 2000 jaar bekend. Men wist in de oudheid al, dat je wijn en andere dranken koel kunt houden in ongeglazuurde stenen kruiken. Door het zweten van de kruik wordt deze aan de buitenkant vochtig. Dit vocht verdampt. Verdampen kost warmte die op haar beurt wordt onttrokken aan de kruik, waardoor de inhoud zelfs in de woestijn koel wordt gehouden.

Weer later ontdekte men dat indien je een natte doek voor een openstaand raam in de wind hangt, door de passerende lucht water wordt verdampt en de lucht daardoor in temperatuur daalt.

### Nattebolkoeling

Bij nattebolkoeling wordt de voor de verdamping van het aanwezige water benodigde warmte aan de omringende lucht onttrokken, waardoor deze in temperatuur daalt. De bereikte eindtemperatuur wordt de natteboltemperatuur genoemd. De temperatuur wordt dus lager, omdat de lucht zelf de benodigde warmte levert voor het verdampen van het water. Dit geldt totdat de lucht verzadigd is en geen water meer kan verdampen. Er is hier sprake van een adiabatisch proces met een eindtemperatuur (nattebol) liggende op de verzadigingslijn in het Mollierdiagram voor vochtige lucht. Bij het vinden van de natteboltemperatuur, verloopt het proces in het Mollierdiagram schuin naar rechtsonder, volgens  $h = \text{constant}$  (adiabatisch) (KJ/Kg), tot deze de verzadigde damplijn snijdt.

### Summary

**Air conditioning by means of Static Dewpoint Cooling.**

This lecture was given during a meeting of the Dutch Association of Refrigeration, being organized in co-operation with Carrier Holland Heating at Waalwijk - The Netherlands.

This article describes the development of the Indirect Static Dewpoint Cooling by Volair B.V.

It is a cooling system based on the evaporating of water and suitable for temperate climates. The cooling depends on the humidity of the outside air. With a practically realizable energy cut up to 75% and more after four years experience it is recognized as a proven development for 'cooled ventilating' in temperate climates.

The cooling is based on sensible heat, as the achieved temperatures always are far below the wet bulb and just above dew point. Heat exchangers and casing are made of synthetic material and are corrosion proof.

The author concludes that the advantage of dewpoint cooling, being 'an indirect system', is also a condition to attain temperatures close to the dewpoint.

Gebruikmakend van een bevochtigingspakket, een luchtfilter en een ventilator ontstond in de twintigste eeuw de op dit principe gebaseerde mechanische koeling. Hoe droger die lucht hoe dieper de koeling. Het werd en wordt daarom vooral veel in een woestijnachtige klimaat toegepast en op de markt gebracht als adiabatische koeling, 'desert' koeling of tegenwoordig onder de naam nattebolkoeling.

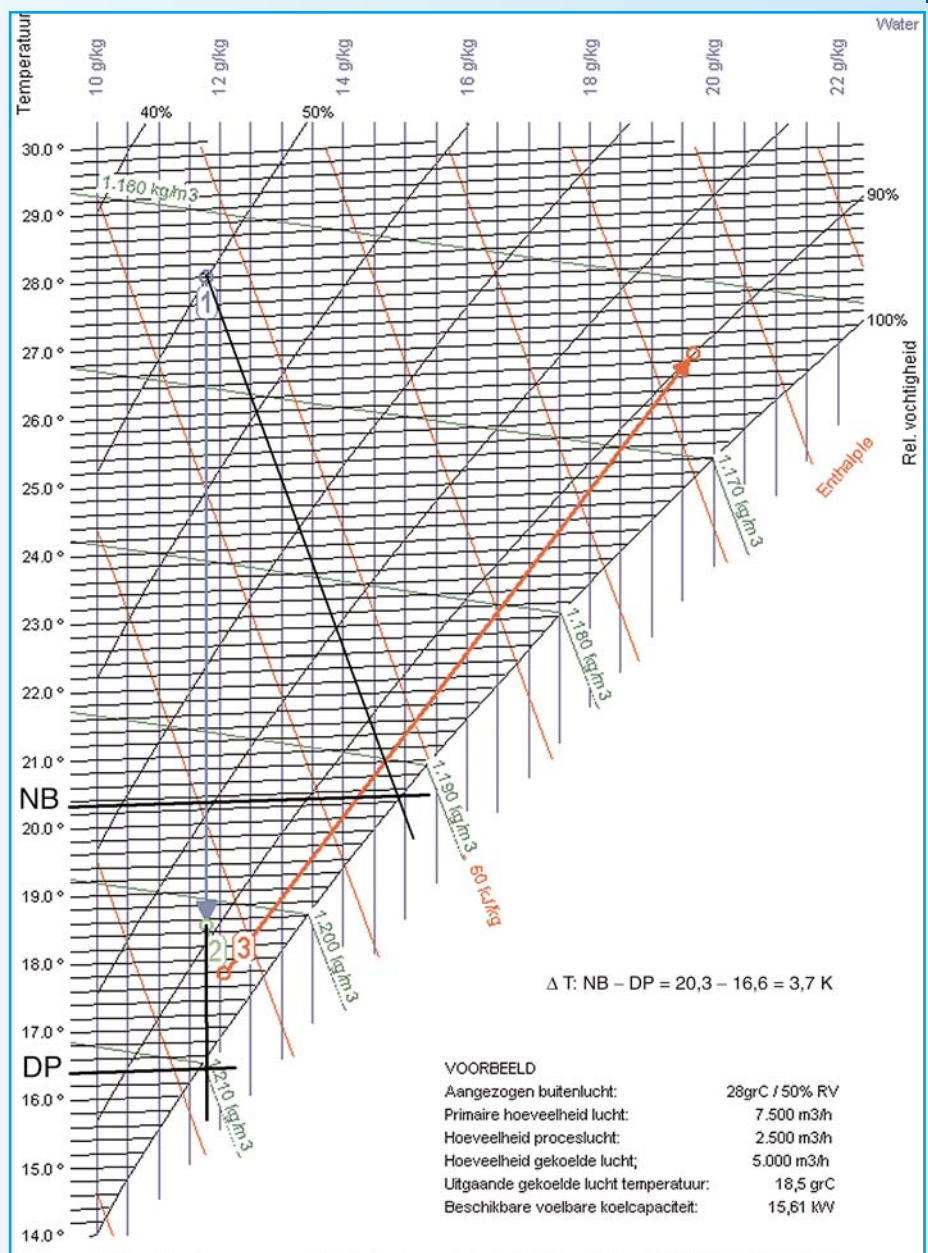
Dit systeem heeft echter een voor het Nederlandse gematigde klimaat het grote nadeel, dat het verdampte vocht in de te koelen ruimte terecht komt, waardoor de RV sterk zal oplopen en schimmelvorming op de wanden en goederen op kan treden. Vanwege deze schimmelvorming was een logische volgende stap de ontwikkeling van de indirect werkende adiabatische verdampingskoeling, uitgevoerd met sproeikamers en een kruisstroom warmtewisselaar.

Bij dit systeem wordt het vrijkomende vocht naar buiten afgevoerd, maar is de minimum haalbare temperatuur nog steeds gelijk of iets hoger dan de natteboltemperatuur. Deze indirect werkende adiabatische koeling is in Europa reeds langer op de markt, het gebruik bleef echter beperkt door de complexiteit van de aangeboden systemen, de hoge kostprijs en de een eindtemperatuur van de lucht die gelijk of hoger is dan de natteboltemperatuur.

**Nederland**

Om succesvol te worden moesten vereenvoudigde systemen worden ontwikkeld die moeten kunnen concurreren met de bestaande luchtbehandeling. Met name in Nederland kwam deze ontwikkeling op gang. De ontwikkeling kostte veel tijd en de er aan verbonden kosten waren hoog. Oplossingen die nu als vanzelfsprekend worden gezien, moesten wel eerst worden bedacht en in de praktijk uitgetest.

Vragen over de manier van bevochtigen, het regelen van de onderlinge verhouding van de twee afzonderlijke luchtstromen, de capaciteitsregeling onder invloed van een wisselende koelvraag en de keuze van het materiaal - kunststof, koper of aluminium - speelden daarbij een grote rol.



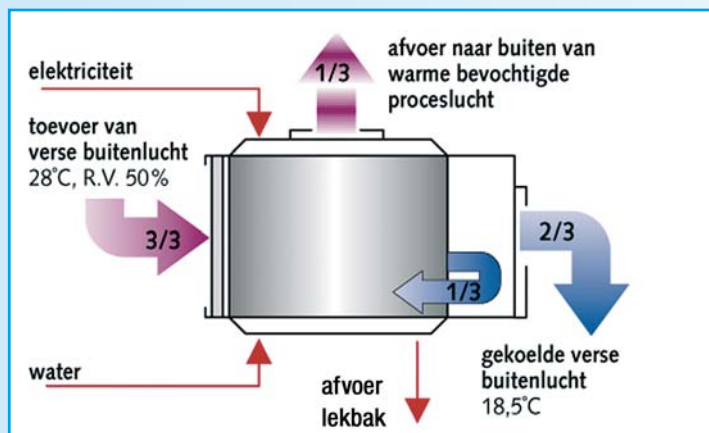
Figuur 1: Mollierdiagram voor vochtige lucht. In de figuur is het verschil tussen de nattebol en het dauwpunt duidelijk te zien. In dit voorbeeld 3,7 K

**Dauwpuntkoeling**

Bij afkoeling van een luchtstroom zonder directe bevochtiging, gaat de te koelen lucht door een platenwisselaar en zal geen condensatie optreden tot dat de relatieve luchtvochtigheid 100% is geworden. De temperatuur waarbij dit gebeurt is de dauwpunttemperatuur.

Bij onverzadigde lucht is de dauwpunttemperatuur lager dan de natteboltemperatuur. Bij een relatieve luchtvochtigheid van 100% zijn ze gelijk.

Bij dauwpuntkoeling wordt de voor het afkoelen van de lucht benodigde warmte 'indirect',



Figuur 2. Principeschema

dat wil zeggen via de wanden van de warmtewisselaar aan de lucht onttrokken, zonder dat daarbij condensatie van het aanwezige vocht optreedt. Het absolute vochtgehalte van de te koelen lucht blijft gedurende het koelproces gelijk. Indien de lucht daarbij wordt afgekoeld tot het punt waarbij condensatie van de aanwezige waterdamp op zou gaan treden, is de bereikte temperatuur de dauwpunttemperatuur (of het dauwpunt).

Voor het vinden van het dauwpunt, verloopt het proces in het Mollierdiagram verticaal naar beneden volgens de lijn met absolute vochtigheid (Kg/Kg), tot deze de verzadigde damplijn snijdt.

De nu ontwikkelde systemen zijn gebaseerd op het verdampen van water via een op het koeloppervlak aangebrachte hygroscopische laag. De vrijkomende waterdamp komt daarbij niet in de te conditioneren ruimte, maar wordt rechtstreeks naar buiten afgevoerd.

Opmerkelijk is dat de koelers in staat zijn, luchttemperaturen te bereiken die tot voor kort voor onmogelijk werden gehouden. Dat wil zeggen temperaturen ver beneden de natteboltemperatuur en maar iets boven het dauwpunt. Het energieverbruik is daarbij, afhankelijk van de toepassing ca. 75% lager dan een vergelijkbare installatie voorzien van een conventionele koelinstallatie.

In het principeschema wordt als voorbeeld buitenlucht onder zomerse omstandigheden van 28°C en 50% RV (11,8 gr vocht/kg droge lucht) aangezogen en als primaire lucht afgekoeld in de uit kunststof vervaardigde warmtewisselaar tot 18,5 ° C. Aan het einde van deze warmtewisselaar wordt - afhankelijk van de koelvraag - ca. 1/3 van deze reeds gekoelde lucht, als proceslucht en in tegenstroom, langs de buitenkant van de panelen teruggevoerd. Deze bui-

tenkant is voorzien van een hygroscopische, vocht absorberende/afgeevende laag. Doordat de verdamping plaatsvindt in de absorberende laag op de wand van de warmtewisselaar, wordt deze wand gekoeld en daarmee de aangezogen primaire lucht. De aangezogen buitenlucht wordt dus indirect gekoeld. Het uit de aangezogen primaire lucht onttrokken hoeveelheid kJ is daarbij vanzelfsprekend in balans met het benodigde aantal kJ voor het verdampen van het vocht.

Het op de juiste wijze bevochtigen is voor de werking van doorslaggevend belang. De proceslucht neemt het uit de hygroscopische laag verdampte vocht mee. Deze vochtige proceslucht wordt op haar beurt naar buiten afgevoerd en komt dus niet terecht in de te conditioneren ruimte.

Uit het voorgaande en het Mollierdiagram voor vochtige lucht blijkt dat dauwpuntkoelini als direct-systeem technisch onmogelijk is. Met andere woorden: dauwpuntkoeling is altijd een indirect systeem.

Dit indirect werken is dus niet alleen een voordeel maar ook een voorwaarde om temperaturen tot vlak boven het dauwpunt te kunnen bereiken.

### Statische Dauwpuntkoeling

De ontwikkeling van dat wat nu de statische dauwpuntkoeler is was weer een logische stap in het zoeken naar een steeds minder gecompliceerd ontwerp. Ook dit ging niet zonder veelvuldig testen, aanpassen en ombouwen tot het huidige ontwerp. Veel van de hier in doorgevoerde ideeën zijn achteraf logisch. Echter voordat een idee logica wordt, verstrijkt er heel wat tijd.

De door Volair ontwikkelde 'statische', uit kunststof vervaardigde, dauwpuntkoeler, betreft een systeem zonder procesventilator, zonder watervoorraadbak, zonder spui-inrichting en zonder circulatiepomp; vandaar de naam 'statische' dauwpuntkoeling.

### Uitgangspunten voor de huidige generatie Statische Dauwpuntkoelers

#### Materiaal keuze

De gekozen materialen moeten ongevoelig zijn voor corrosie.

Bekend is dat de aangezogen lucht zeer agressief kan zijn en dat dit wordt versterkt in combinatie met vocht. Kunststoffen zoals polyester, polyamide, -neoprene, polypropylene e.d. zijn hiervoor ongevoelig. Zij kunnen daarom

gebruikt worden onder bijna alle omstandigheden zoals aan de kust, in zwembaden, in stallen en in de omgeving van chemische fabrieken.

#### Technische eisen en veiligheid

- Gehele systeem onder overdruk
- Ventilatorvermogen moet in de koeler direct worden weggekoeld; of met andere woorden, de temperatuur van de lucht die de koeler verlaat, is ook de inblaasttemperatuur.
- Geen vrijkomend vocht naar de te conditioneren ruimte
- Een zo laag mogelijk energieverbruik.
- Zo min mogelijk draaiende delen
- Zo min mogelijk onderhoud
- Geen risico voor het optreden van Legionella.

#### Kenmerken

- Gekoeld ventileren waarbij ramen en deuren open kunnen zonder dat dit de werking van het systeem nadelig beïnvloedt.
- Toepasbaar waar koeling met een normale luchtbehandelingsinstallatie om energetische redenen niet of moeilijk kan worden gerealiseerd.
- Geschikt voor toepassing waar men beschikt over een slecht elektriciteitsnet. Geschikt als aanvulling op bestaande (te kleine) traditionele koeling met een te kort aan koelcapaciteit.

#### Water (R718) als koudemiddel

Het waterverbruik is afhankelijk van de hoeveelheid te koelen lucht, het absolute vochtgehalte van de aangezogen lucht en de weg te koelen voelbare warmte. Onder extreme omstandigheden is deze maximaal 5 liter/h per 1000 m<sup>3</sup> gekoelde lucht. Bij dauwpuntkoeling speelt de hardheid van het water een belangrijke rol. Meestal wordt dan ook geadviseerd (> 3 Dh) een waterontharder te monteren. Het gebruik van zeer zacht en demi water is voor kunststof geen probleem.

#### Microbiologische aspecten

In de dauwpuntkoeler vindt geen bevochtiging plaats van de primaire lucht. Dit is een voordeel vanuit microbiologisch oogpunt, omdat de aanwezigheid van vocht de belangrijkste factor is voor microbiologische groei. Omdat de bevochtiging alleen in de secundaire luchtstroom plaatsvindt, de secundaire luchtstroom direct naar buiten wordt afgevoerd en het gehele systeem onder overdruk staat is de kans op microbiologische besmetting van de geconditioneerde lucht uitgesloten. Van belang is verder dat geen aërosolen gevormd worden waarmee Legionella getransporteerd kan worden. Bij dit type koeling via een absorberende laag, ontstaan geen aërosolen; de luchtsnelheid is

daarvoor aan de secundaire zijde te laag. Bovendien werken statische koelers zonder sproeikamers en zonder watervoorraadbak. Ook algengroei wordt tegengegaan omdat de absorberende laag automatisch wordt gedroogd zodra niet meer moet worden gekoeld.

#### EPN

##### (NEN 2916 Energie Prestatie Normering utiliteitsgebouwen)

Toetsing aan de EPN kan door middel van het opstellen van een gelijkwaardigheidsverklaring. Een dergelijke verklaring wordt voorgescreven in het Bouwbesluit en is noodzakelijk voor een bouwvergunning. Dauwpuntkoeling is hierin echter niet opgenomen. Het Bouw-

Buiten-temperatuur	Relatieve Vochtigheid Buitenlucht					
	30%	40%	50%	60%	70%	
20 °C	10,5 °C	12,0 °C	13,5 °C	15,0 °C	16,5 °C	INDIR.DP
20 °C	13,0 °C	14,5 °C	15,5 °C	16,5 °C	17,5 °C	DIR.NB
25 °C	13,0 °C	15,0 °C	16,5 °C	18,5 °C	20,5 °C	INDIR.DP
25 °C	17,0 °C	18,5 °C	20,0 °C	21,0 °C	22,0 °C	DIR.NB
30 °C	16,0 °C	18,5 °C	20,0 °C	22,5 °C	25,0 °C	INDIR.DP
30 °C	21,0 °C	22,5 °C	24,0 °C	25,0 °C	26,5 °C	DIR.NB

**Uitgaande temperaturen**  
**INDIR.DP = Indirect werkende dauwpuntkoeling (gegevens Volair)**  
**DIR.NB = Direct werkende natteboltemperatuur (gegevens uit catalogus derden)**

Figuur 3.

De temperatuur van de lucht zoals deze de koeler verlaat. Dit bij resp. indirectwerkende dauwpuntkoeling (INDIRDP) en directe nattebolkoeling (DIRNB).

Uit deze tabel blijkt duidelijk dat bij dauwpuntkoeling lagere temperaturen worden bereikt.

besluit voorziet wel in de mogelijkheid een beroep op gelijkwaardigheid te doen, indien innovatieve oplossingen worden voorgesteld, die niet in de bouwvoorschriften of aangewezen normen zijn voorzien, maar waarmee wel aan alle door het Bouwbesluit voorgeschreven prestaties wordt voldaan.

#### Het veranderde denken bij statische dauwpuntkoeling

- Uitgaande temperaturen beneden de natteboltemperatuur
- Geen vocht naar de te conditioneren ruimte(n)
- Afvoer proceslucht naar buiten
- Uitsluitend voelbare warmte
- Stijgende buitentemperatuur = stijgende koelcapaciteit
- Het absolute vochtgehalte bepaalt de uitgaande luchttemperatuur

- Geen invloed van ventilatorvermogen op de uitgaande luchttemperatuur
- Behoudens de ventilator geen draaiende delen
- Geen watervoorraad dus geen kiemvorming en algengroei
- Geen risico van Legionella
- Aangezogen hoeveelheid lucht is ca 30% hoger dan bij conventionele ventilatie.
- Energiebesparingen tot ca. 75%

### Geen RLK, STEK, NPR 7600 en PED

De operationele kosten van de statische dauwpuntkoeling zijn bijzonder laag. Omdat niet wordt gewerkt met de traditionele koudemiddelen, vervalt de verplichting om te voldoen aan de RLK, STEK, NPR 7600 en PED. Mede hierdoor en het ontbreken van een koelinstallatie zijn de onderhoudskosten, zeer laag.

### F-gassen en CO<sub>2</sub>

Het gebruik van statische dauwpuntkoeling geeft een antwoord op het toekomstig

*Volair BV is geen producent van luchtbehandelingsapparatuur maar stelt haar kennis en ervaring beschikbaar aan de bouwers van luchtbehandelingskasten en adviesbureaus en installateurs. Volair wil hiermee bereiken dat dit type koeling een mime toepassing krijgt als aanvulling op de traditionele systemen.*

*Zie ook: [www.volair.nl](http://www.volair.nl)*

Europese F-gassenbeleid en reeds bestaande CO<sub>2</sub>-beleid.

Het maakt koeling mogelijk waar dit anders moeilijk of geheel niet zou kunnen worden gerealiseerd. Dit door een minder zware belasting van het elektriciteitsnet ofwaar dit, met de traditionele koelsystemen met een relatief hoog energieverbruik, niet haalbaar zou zijn



#### Directe nattebolkoeling

##### Uitgangspunten:

- De voor het verdampen benodigde warmte wordt aan de omringende lucht onttrokken.
- De temperatuur daalt tot dat de lucht verzadigd is.
- Adiabatisch proces (h = constant) met een eindtemperatuur (de nattebol).
- Proces waarbij het absolute vochtigheidsgehalte (gr/Kg) oploopt.

##### Kenmerken

- Minimum haalbare temperatuur gelijk aan de natteboltemperatuur.
- Wordt uitsluitend gebruikt voor de afvoer van voelbare warmte (geen ontvochtiging).
- Verdampend vocht komt in de te koelen ruimte met een verhoogd absoluut vochtgehalte en hoge RV.
- Schimmelvorming op wanden en goederen.
- Maatregelen tegen bacteriën en Legionella.
- Zeer laag energieverbruik

#### Dauwpuntkoeling

##### Uitgangspunten

- De lucht wordt afgekoeld tot condensatie optreedt van de aanwezige waterdamp.
- De temperatuur daalt tot aan het dauwpunt.
- Bij onverzadigde lucht is de dauwpunttemperatuur lager dan de natteboltemperatuur.
- Proces waarbij het absolute vochtigheidsgehalte (gr/kg) gelijk blijft.

##### Kenmerken

- Door het verdampen van vocht uit de hygroskopische laag op de buitenwand van de koeler, wordt de proces-luchstroom afgekoeld.
- De proceslucht koelt op haar beurt de aangezogen (buiten)lucht.
- De dauwpuntkoeler realiseert uitlaattemperaturen die net boven het dauwpunt liggen en onder de natteboltemperatuur.
- Wordt uitsluitend gebruikt voor de afvoer van voelbare warmte (geen ontvochtiging).
- De tijdens het koelen gevormde vochtige lucht, wordt naar buiten afgevoerd en niet naar de te conditioneren ruimte(n)
- Geen schimmelvorming op wanden en goederen.
- Zeer laag energieverbruik.

#### Statische Dauwpuntkoeling

##### Uitgangspunten

- Gelijk aan die van de Dauwpuntkoeling.
- Weinig onderhoud.
- Vereenvoudigd ontwerp.

##### Bijzondere kenmerken

- Met uitzondering van de ventilator geen draaiende delen; dus geen steunventilator en geen circulatiepomp.
- Eenvoudige regeling; korte inregeltijd.
- Legionella-proof door:
  - \* Indirect systeem met gescheiden luchtstromen.
  - \* Geen sproeikamers.
  - \* Geen druppelvorming; uitsluitend vochtige lucht.
  - \* Geen watervoorraad; geen stilstaand water, geen kiemvorming en algengroei
  - \* Zodra de installatie in bedrijf is zonder koudevraag, wordt de hygroskopische laag automatisch gedroogd.