

Centrale Installaties – koeling met lucht en vocht

Kennisbank Bouwfysica

Auteurs: ing. T.A.J. Schalkoort, dr.ir. Peter van den Engel

1 Algemeen

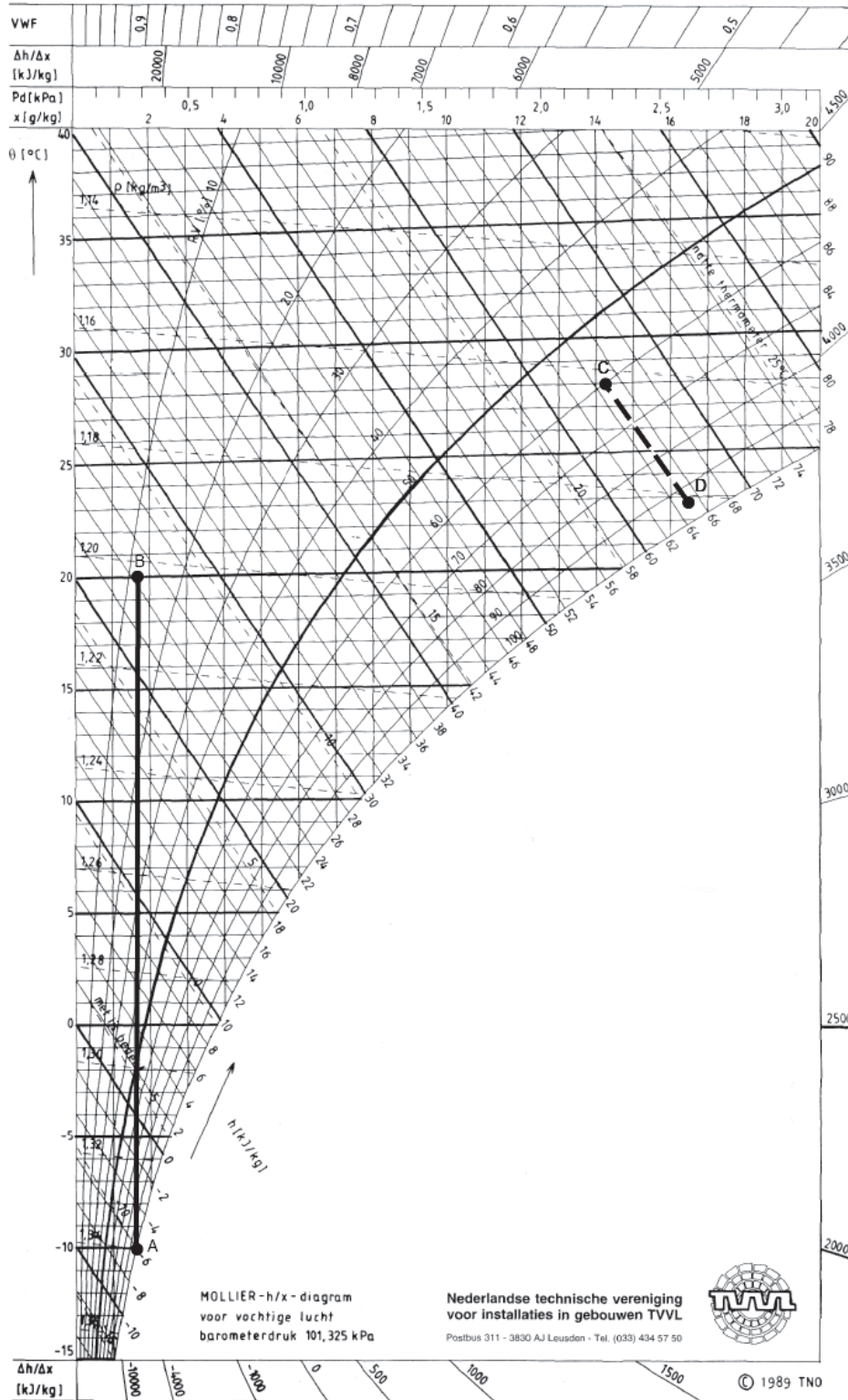
1.1 Inleiding

Ingegaan wordt op mogelijkheden om koelenergie te beperken. Centraal staat de mogelijkheid om met vocht te besparen op koelenergie. Op enkele fysische aspecten van vochtige lucht wordt dieper ingegaan.

2 Energetische optimalisatie met vocht

2.1 Luchtbevochtiging

Buitenlucht van $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bevat maximaal 1,6 gram water per kilogram lucht, zie punt A in het Mollier-diagram (figuur 1). Wordt deze lucht aan een ruimte toegevoerd en tot $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ verwarmd dan wordt de relatieve vochtigheid in de ruimte theoretisch 11% (punt B). Zo droog zal het in werkelijkheid niet worden, omdat de vochtaccumulerende gebouwmassa en de in de ruimte aanwezige personen en planten vocht afgeven. Desondanks zal de relatieve vochtigheid in gebouwen tijdens perioden met lage buitentemperaturen vaak niet hoger zijn dan 20 à 30% en kan luchtbevochtiging wenselijk zijn. Luchtbevochtiging kan met water of verzadigde stoom plaatsvinden. Bij klimaatregeling gebeurt dit meestal centraal in een luchtbehandelingskast, het kan ook plaatselijk met losse apparaten. In een andere module I-268 wordt het Mollier-diagram toegelicht en aangegeven hoe de conditie van lucht bij bevochtiging verandert.

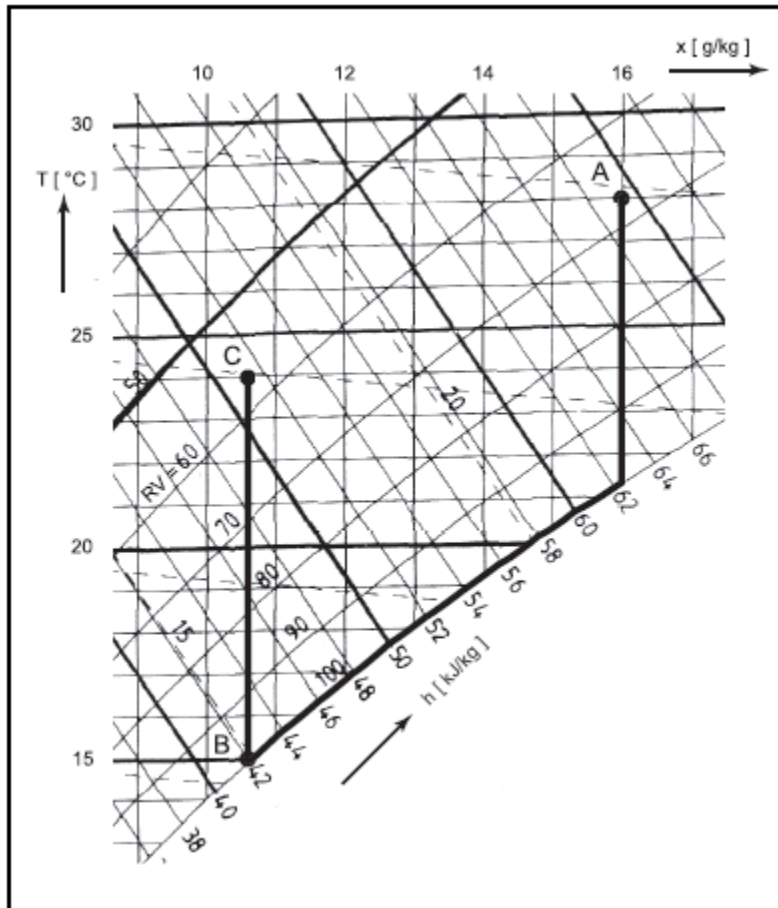


figuur 1 Mollier-diagram met proces van verwarmen/bevochtigen en directe adiabatische koeling

2.2 Diverse mogelijkheden van koelen van lucht

Lucht drogen d.m.v. koeling

Lucht van 28 °C kan maximaal 24 gram water per kg lucht bevatten. Buitenlucht van 28 °C bevat zelden meer dan 16 gram water per kg lucht (punt A in figuur 2).



figuur 2 proces drogen d.m.v. koelen in het Mollier-diagram

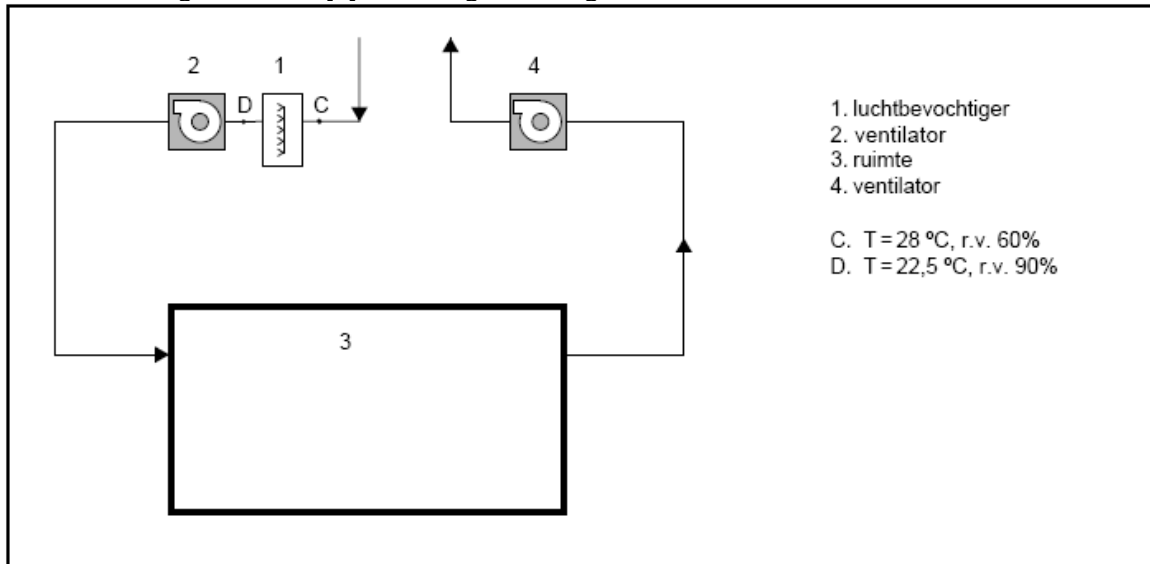
Wordt deze lucht gekoeld tot (bijvoorbeeld) 16 °C dan condenseert een deel van de waterdamp uit de lucht op de koelbatterij en neemt de absolute luchtvochtigheid af tot 10,6 g/kg (punt B). Dit proces noemt men "luchtdroging met koeling onder het dauwpunt". Na toevoer van deze gekoelde lucht aan een ruimte, waarin door warmtebelasting een temperatuur van 24 °C heerst, ontstaat theoretisch een relatieve vochtigheid van 57% (punt C). In werkelijkheid zal de luchtvochtigheid door vochtafgifte van personen en vochtaccumulatie van bouw- en inrichtingsmaterialen iets hoger worden.

Adiabatische koeling

"Adiabatisch" betekent dat geen warmte wordt toe- of afgevoerd. Bij adiabatische koeling wordt water in de lucht gebracht door verneveling met sproeikoppen of door de lucht door een "luchtwasser" te laten stromen. Een luchtwasser bestaat uit lamellen of luchtdoorlatende vezels ("matten") waarover water wordt gesproeid. Het water verdampt en onttrekt daarbij

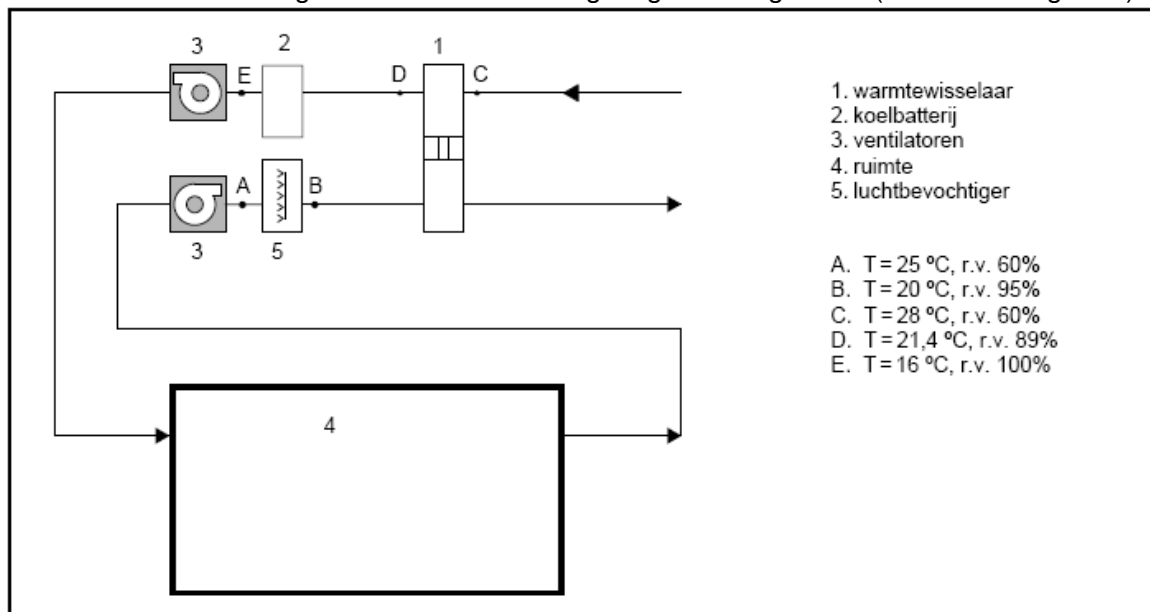
warmte aan de lucht waardoor de temperatuur van de lucht daalt. We spreken daarom ook wel over “verdampingskoeling”. Een nadeel van deze vorm van koeling kan zijn dat de luchtvochtigheid toeneemt.

Bij luchtbehandeling kan de aangezogen buitenlucht **direct** of **indirect** adiabatisch worden gekoeld. Het directe proces (zie schema figuur 3) is minder populair door het risico van "luchtbevochtigerskoorts" [1] en de lagere energetische effectiviteit.



figuur 3 processchema directe adiabatische koeling

Bij indirecte adiabatische koeling wordt de afvoerlucht bevochtigd en met deze lucht en een warmtewisselaar vervolgens de van buiten aangezogen lucht gekoeld (zie schema figuur 4).



figuur 4 processchema indirecte adiabatische koeling

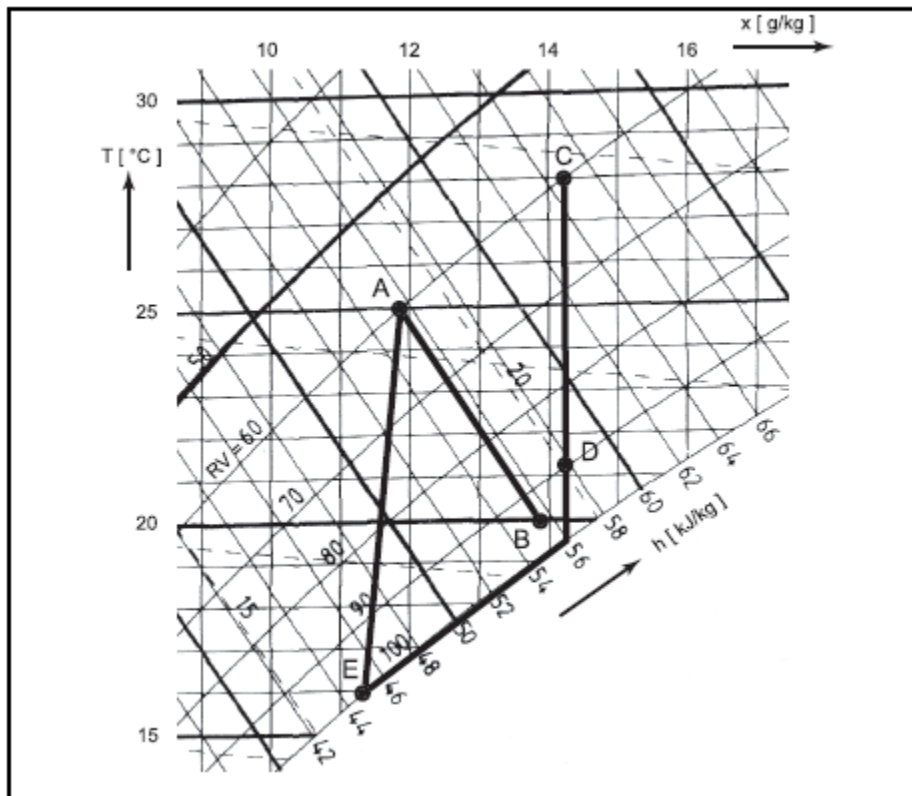
Met het indirecte adiabatistische koelproces zijn besparingen op de koelenergie te bereiken van 25% en meer. In figuur 5 wordt dit koelproces uitgelegd aan de hand van een Mollier-diagram.

Adiabatistische koeling is te combineren met luchtdroging en wordt "**Desiccative Evaporative Cooling**" genoemd. Kenmerkend voor dit proces is dat zowel de van buiten aangezogen lucht als de afvoerlucht wordt bevochtigd. Door verwarming wordt de relatieve vochtigheid van de afvoerlucht verlaagd waarna met deze lucht en een regeneratieve warmtewisselaar de van buiten aangezogen lucht wordt gedroogd. In deze gedroogde lucht kan meer water verdampen zodat met deze lucht dieper is te koelen. Voor verwarming van de afvoerlucht wordt afvalwarmte of zonnewarmte ("Solar Assisted Desiccative Evaporative Cooling") gebruikt. In figuur 7 wordt dit koelproces toegelicht aan de hand van een Mollier-diagram.

Luchtbevochtiging t.b.v. koeling (adiabatistische koeling)

Verdampend water onttrekt warmte aan de lucht waardoor de luchttemperatuur daalt. Dit proces, toegepast om lucht te koelen, noemen we "adiabatistische" koeling. Bij **directe** adiabatistische koeling (zie schema figuur 3) wordt de van buiten aangezogen lucht bevochtigd en aan de ruimte toegevoerd. Bijvoorbeeld lucht met conditie $\theta=28\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $\text{RV}=60\%$ (punt C in figuur 1) wordt door bevochtiging gekoeld tot $\theta=22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punt D). Theoretisch is bevochtiging/koeling tot $\theta=22\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $\text{RV}=100\%$ mogelijk. Dit is praktisch niet haalbaar door de korte verblijfstijd van de lucht in de lucht-bevochtiger en de niet homogene opname van het water in de lucht.

Bij **indirecte** adiabatistische koeling (zie schema figuur 4) wordt de afvoerlucht bevochtigd (5) en met deze lucht vervolgens de van buiten aangezogen lucht gekoeld. De warmteoverdracht tussen beide luchtstromen gaat via warmtewisselaar (1). Het proces is in figuur 5 in een Mollier-diagram weergegeven.

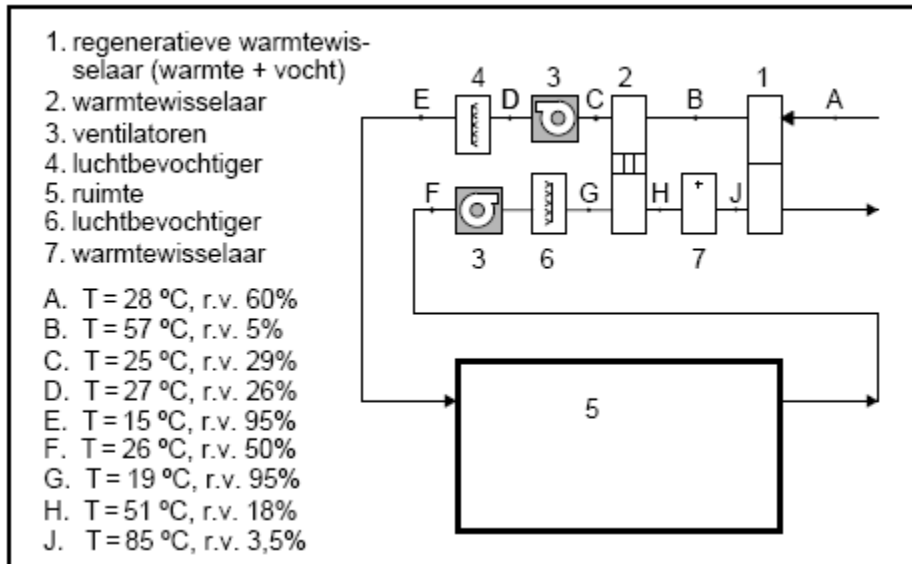


figuur 5 proces indirecte adiabatische koeling in een Mollier-diagram

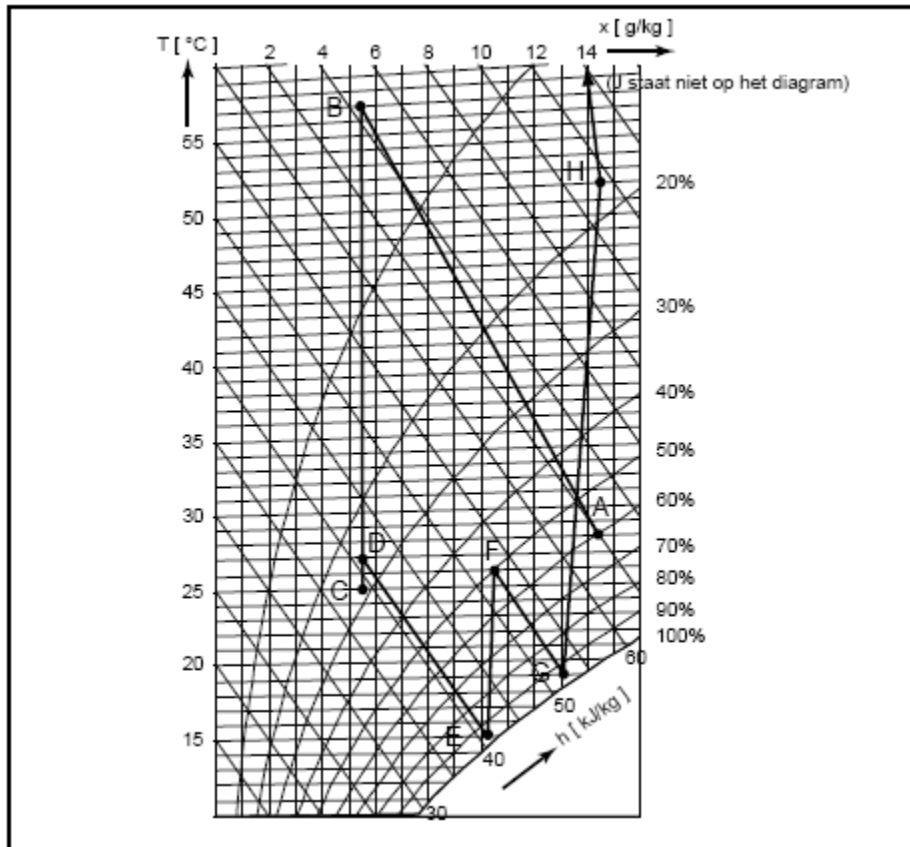
Door water te vernevelen neemt de luchtvochtigheid toe terwijl de warmte-inhoud h (enthalpie) gelijk blijft. Punt A ($\theta=25^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=60\%$) is de conditie van de afvoerlucht vóór en punt B ($\theta=20^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=95\%$) ná bevochtiging. Punt C ($\theta=28^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=60\%$) is de conditie van de buitenlucht, deze wordt met de adiabatisch gekoelde afvoerlucht en een warmtewisselaar gekoeld tot punt D ($\theta=21,4^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=89\%$), met een koelbatterij - gevoed met gekoeld water van een koelmachine - gekoeld/gedroogd tot punt E ($\theta=16^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=100\%$) en daarna aan de ruimte toegevoerd. In de ruimte neemt de lucht warmte en vocht op en ontstaat de conditie weergegeven door punt A. De enthalpie van de lucht in punt C, D en E is respectievelijk 65, 58 en 45 kJ/kg. Bij dit voorbeeld is de besparing op koelenergie, in vergelijking met koeling met alleen een koelmachine: $(65 - 58) : (65 - 45) \times 100\% = 35\%$.

Luchtbevochtiging en droging t.b.v. koeling (desiccative evaporative cooling)

Bij “desiccative evaporative cooling” (DEC) wordt zowel de van buiten aangezogen lucht als de afvoerlucht door middel van bevochtiging adiabatisch gekoeld. Bovendien vindt warmtetoevoer plaats om lucht te drogen waarna de toevoerlucht nog dieper is te koelen dan bij indirecte adiabatische koeling mogelijk is. Figuur 6 is een schema van dit proces.



figuur 6 schema DEC-koelproces



figuur 7 DEC-koelproces in het Mollier-diagram (uitsnede)

Punt A ($\theta=28^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=60\%$) is de conditie van de buitenlucht. Deze lucht wordt met verwarmde afvoerlucht en een regeneratieve warmtewisselaar (1) verwarmd en gedroogd tot conditie B ($\theta=57^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=5\%$) en met (nog niet verwarmde) afvoerlucht en warmtewisselaar (2) gekoeld tot conditie C ($\theta=25^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=29\%$). Ventilator (3) geeft een beetje warmte af zodat conditie D ($\theta=27^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=26\%$) ontstaat. Hierna wordt de lucht met bevochtiger (4) op conditie E ($\theta=15^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=95\%$) gebracht en aan de ruimte toegevoerd. In de ruimte (5) neemt de lucht warmte en vocht op en ontstaat conditie F ($\theta=26^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=50\%$). Dit is tevens de conditie van de afvoerlucht uit de ruimte die met bevochtiger (6) op conditie G ($\theta=19^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=95\%$) en met warmtewisselaar (2) en de inmiddels tot 57°C verwarmde toevoerlucht op conditie H ($\theta=51^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=18\%$) wordt gebracht. Daarna wordt de afvoerlucht met warmtewisselaar (7) verwarmd tot conditie J ($\theta=85^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=3,5\%$). Met deze warme droge lucht en regeneratieve warmtewisselaar (1) wordt de verse toevoerlucht gedroogd en verwarmd en ontstaat de eerder genoemde conditie B ($\theta=57^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=5\%$).

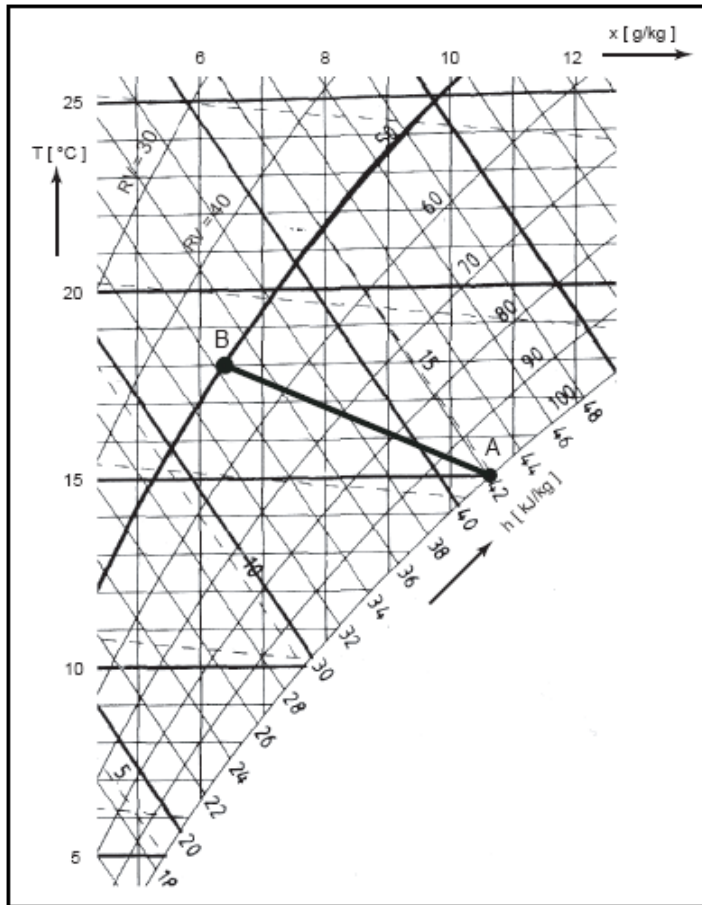
De warmte die via warmtewisselaar (7) aan het proces wordt toegevoerd kan afvalwarmte zijn, bijvoorbeeld uit de uitlaatgassen van een bij de productie van elektrische stroom gebruikte gasmotor of zonnewarmte. Als zonnewarmte wordt gebruikt, waarbij overigens minder hoge temperaturen worden bereikt, noemt men het proces "solar assisted dessicative evaporative cooling".



figuur 8 in het Klimahaus in Bremerhaven wordt de energiezuinige DEC-koeling toegepast

Lucht drogen d.m.v. adsorptie en absorptie

Bij absorptie zuigt een poreuze stof water op, bij adsorptie wordt water uit de lucht chemisch of fysisch aan een oppervlak gebonden. Binding van water aan het poriënoppervlak van een vaste stof is een vorm van adsorptie. Silicagel en aluminiumoxide zijn stoffen met een fysisch bindingsproces. Met hete lucht is het water uit deze stoffen te verdrijven. Dit heet desorptie of regeneratie. Hygroscopisch zouten, zoals lithiumchloride (LiCl) of lithiumbromide (LiBr), absorberen water. Dit proces past men onder andere toe bij regeneratieve warmtewisselaars (speciale uitvoering van warmtewielen) om waterdamp tussen twee luchtstromen over te dragen. Bij sorptie komt bindingswarmte vrij. Hierdoor loopt het droogproces in het Mollier-diagram ongeveer van punt A naar punt B (zie figuur 9) en is de precieze richting afhankelijk van of de binding chemisch of fysisch is.



figuur 9 proces drogen d.m.v. adsorptie en absorptie in het Mollier-diagram

3. Literatuur

1. Schalkoort TAJ, Ontwikkeling en behoud van gezonde kantoorgebouwen - Studie naar het 'Sick Building Syndrome' en de mogelijkheden van het terugdringen van bewonersklachten in kantoorgebouwen, Studierapport S124, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1991.