

# Met het mollierdiagram beter drogen

Het blijft een lastige tekening, dat mollierdiagram. Toch is het een handig hulpmiddel om vooral het droog-proces beter te begrijpen. DLV vindt dat het mollierdiagram ook beter geïntegreerd zou moeten worden in de bewaar-computer. Vooral het nut van de natteboltemperatuur wordt volgens de voorlichters onderschat.

Het mollierdiagram is in 1923 ontworpen door Richard Mollier. Dit diagram geeft de thermodynamische eigenschappen van vochtige lucht bij een constante druk weer. In het diagram

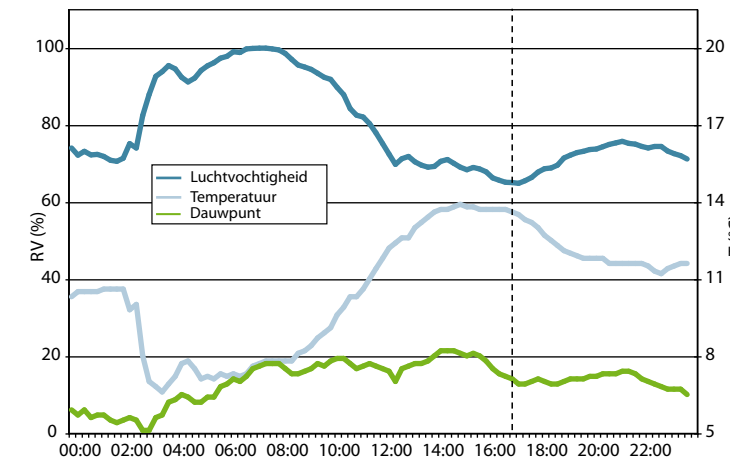
kun je met twee gemeten gegevens, andere eigenschappen van de lucht aflezen. Ook kun je zien wat er gebeurt als een van de eigenschappen verandert. Voor het drogen en bewaren van producten

zijn niet alle gegevens in het diagram van belang. De basis van het mollierdiagram is de relatieve luchtvochtigheid (RV) en de luchttemperatuur (T). In het grote mollierdiagram zijn de lijnen voor de belangrijkste afgeleide waarden weergegeven voor lucht met  $T = 24\text{ °C}$  en  $RV = 50\%$ :

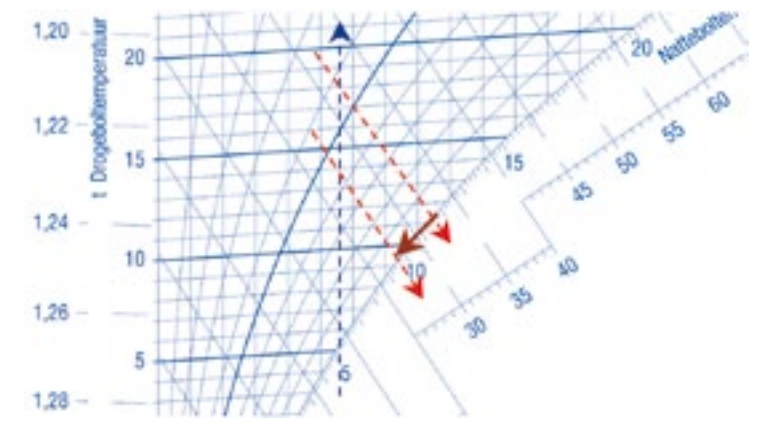
- De absolute luchtvochtigheid is af te lezen aan de bovenzijde van het diagram. In deze situatie bevat de lucht 9,2 g/kg.
- De enthalpie (h) is diagonaal af te lezen. Dit geeft aan hoeveel energie de lucht bevat. In deze situatie is dat 48 kJ/kg.
- De dauwpuntstemperatuur wordt bereikt door het afkoelen van de lucht. Bij de dauwpuntstemperatuur is de lucht verzadigd met vocht ( $RV = 100\%$ ). Als je de lucht verder afkoelt, condenseert het tot vloeibaar water (mist en dauw). Bij het afkoelen blijft de absolute luchtvochtigheid gelijk. In het mollierdiagram bereik je de dauwpuntstemperatuur door de luchtvochtigheidslijn (blauw) naar beneden te volgen tot 12,8 °C.
- Natteboltemperatuur is de temperatuur die de lucht bereikt als er alleen vocht aan de lucht wordt toegevoegd. Het vocht verdampt, wat energie kost. Omdat er geen energie aan de lucht wordt toegevoegd, daalt de temperatuur. Deze temperatuur waarvan de bol is bedekt met een natte sok. In het mollierdiagram bereik je de natteboltemperatuur door de enthalpielijne (rood) te volgen tot 17 °C.

### Vochtgehalte

Zolang het weer stabiel blijft, is het absolute vochtgehalte en dus ook het dauwpunt gelijk. Alleen als er mist ontstaat, lijkt het dauwpunt te dalen. Het absolute vochtgehalte slingert dan en komt weer terug op zijn oor-



▲ Het dauwpunt op 23 oktober 2008 is redelijk constant. Enkele dagen daarna is het vochtiger met een dauwpunt van 11 °C.



▲ Figuur 1. Lijnen in mollierdiagram, bijvoorbeeld: blauwe lijn = lucht, bruine lijn = product, ronde lijn = temperatuurslijn tijdens verdamping.

spronkelijke waarde. De natteboltemperatuur is echter niet stabiel. Die hangt af van de hoeveelheid energie in de lucht ofwel van de temperatuur van de lucht. Bij stabiel weer is overdag het dauwpunt ongeveer gelijk aan 's nachts, terwijl de natteboltemperatuur overdag hoger is dan 's nachts. De lucht bevat dan meer (zonne)energie. Van deze eigenschappen kun je heel goed gebruik maken. Daarbij is het mollierdiagram een handig hulpmiddel. Met dit diagram wordt vaak snel duidelijk wat er gaat gebeuren in de bewaarplaats.

### Droogcapaciteit

Met het mollierdiagram kun je bepalen wat de droogcapaciteit van de buitenlucht is. Stel je hebt een partij aardappelen van 11,5 °C. In de partij zit veel natte grond en enkele natte knollen. Bij elkaar schat je dat de partij 5 procent vrij vocht bevat. Per 100 ton is dit dus 5 ton vocht. Volgens de weergrafiek van 23 oktober 2008 heeft de buitenlucht om 17.00 uur een  $T = 13,6\text{ °C}$  en  $RV = 65\%$ . Uit het mollierdiagram is af te lezen dat de lucht rondom de aardappelen 8,5 gram vocht per kg lucht bevat. De buitenlucht bevat 6,5 g/kg. Per kg ventilatielucht voer je dus 2 gram vocht af ( $3,4\text{ g/m}^3$ ). Om al het vocht af te voeren is dus 2.025.000 m<sup>3</sup> lucht nodig. Bij een (norm)ventilatiecapaciteit van 155 m<sup>3</sup> lucht per uur per ton product kost dit dus 130 uur (bijna 5,5 dagen). Als je sneller wilt drogen, zal de producttemperatuur omhoog moeten. Bij een producttemperatuur van bijvoorbeeld 14,5 °C wordt onder deze omstandigheden twee keer zoveel vocht afgevoerd.

### Niet-koelend drogen

Het mollierdiagram leert ons dat drogen ook koelen betekent. Zeker als er een langdurige

droogperiode nodig is, moet je dat voorkomen. Uit het mollierdiagram (figuur 1) blijkt dat de natteboltemperatuur 9,5 °C is (onderste rode pijl). Het product zal afkoelen (bruine pijl), de vochtafvoer halveert en de droogtijd verdubbelt naar 11 dagen. Een halve dag ventileren kan hiervoor al voldoende zijn. Dit is niet wenselijk. Bedenk daarnaast dat de volgende dagen het dauwpunt steeg naar 11 °C. Ventileren wordt dan onmogelijk. Om dit te voorkomen, zal je de buitenlucht moeten opwarmen. De hoeveelheid vocht blijft gelijk, maar de natteboltemperatuur stijgt (bovenste rode pijl). De kanaaltemperatuur moet dan ongeveer met 2 °C omhoog om de natteboltemperatuur 1 °C te laten stijgen. De benodigde opwarming haal je eenvoudig uit het diagram: trek een rechte lijn naar boven vanaf de buitenluchttemperatuur (blauwe pijl) en trek een diagonale lijn (rood) vanaf de gewenste natteboltemperatuur annex producttemperatuur. De temperatuur op de kruising van de lijnen bepaalt de gewenste kanaaltemperatuur. In deze situatie is dat dus 17 °C.


### Opwarmen

Ook bij het opwarmen van een product kun je het mollierdiagram gebruiken. Op hetzelfde tijdstip wil je met buitenlucht een partij van 4 °C opwarmen tot 9 °C. Op zich kan dit, maar de buitenlucht is vochtiger dan de lucht in de partij. De partij zal dus eerst natter worden. Hierbij komt energie vrij, waardoor de partij vrij vlot zal stijgen in temperatuur. Zodra de partij 7 °C is, zal dit vocht eerst weer verdampen. Omdat dit energie kost, stijgt de temperatuur pas weer als de partij droog is. Dan stijgt de temperatuur vlot naar de 9 °C. Als het nat worden een probleem is, kun je dit voorkomen door met

kachels op te warmen tot de dauwpuntstemperatuur van de buitenlucht (7 °C). Daarna doet de buitenlucht de rest.

### Advies

Met het mollierdiagram kun je dus inschatten hoever drogende buitenlucht moet worden opgewarmd om op een bepaalde eindtemperatuur te komen. Een vuistregel is dat de natteboltemperatuur grofweg ligt halverwege tussen de dauwpuntstemperatuur en de luchttemperatuur. Bij een dauwpunt van 7 °C en een inblaas temperatuur van 17 °C komt deze volgens de vuistregel dus neer op 12 °C.

Te veel opwarmen zorgt ervoor dat het product te warm wordt of dat er warmte verloren gaat. Te weinig opwarmen zorgt voor een koelend effect, waardoor de droogmogelijkheden kleiner worden. Bij het drogen zou je daarom altijd moeten kijken naar de natteboltemperatuur van de lucht. Niet alleen bij het drogen van aardappelen, maar ook bij het drogen van onder andere uien, graszaad en graan. 



▲ Kachels beïnvloeden de natteboltemperatuur, niet het droogvermogen van de lucht.

PRAKTIJKADVIES