

Inversie bepaalt hoogte rook oliebrand

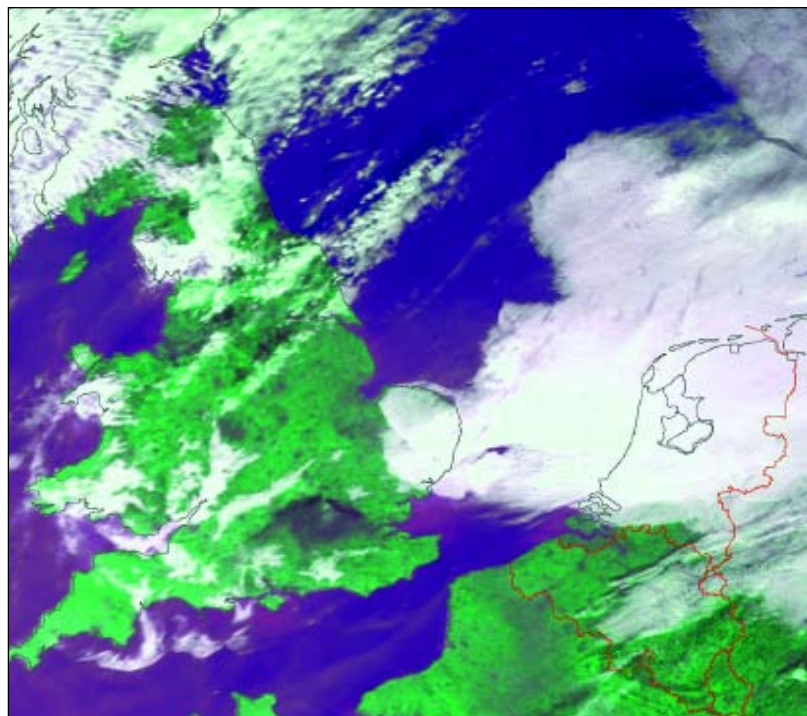
De onderste laag van de atmosfeer is in hogedrukgebieden vaak geheel afgezonderd van de luchtlagen daarboven. Vervuilende stoffen die zich onderin bevinden, kunnen onder dergelijke weersomstandigheden niet omhoog worden afgevoerd: een zogeheten inversie belemmert de onderlinge uitwisseling. Ook rook blijft onder zo'n inversie hangen, waardoor de bovenkant van de rookpluim tevens de hoogte van de inversie markeert. Ook bij de Engelse oliebrand van zondag 11 december 2005 was dat het geval.

De brand deed zich voor in het Buncefield-oliedepot te Hemel Hempstead, zo'n veertig kilometer ten noordwesten van Londen. Volgens verscheidene nieuwsmedia was het de grootste oliebrand in Europa sinds de Tweede Wereldoorlog (fig. 1). De enorme vuurzee was rond zes uur plaatselijke tijd ontstaan na drie zware explosies die tot op 140 kilometer afstand te horen waren en ook in Nederland door infrageluidensensoren van het KNMI werden opgemerkt. Van de 26 olieopslagtanks met in totaal 150.000 ton brandstof gingen er 22 in vlammen op. De brand ging gepaard met een reusachtige zwarte rookpluim van zestig

meter hoogte (*Metro*). *De Volkskrant* meldde zelfs dat de rook opsteeg tot een kilometer hoogte en vervolgens langzaam naar het oosten afboog. Een groot deel van Londen en wijde omgeving ging die zondagmiddag schuil onder het donkere, 230 kilometer brede rookgordijn, wat goed te zien was op de satellietbeelden van die dag (fig. 2 en 3).

Weerkaart

Het weer op de plaats van de ontploffing werd bepaald door een hogedrukgebied dat zowel in Engeland als aan de overzijde van de Noordzee in Nederland en Vlaanderen rustig weer bracht. De weerkaart van zondag 11 december 12 uur UT is afgebeeld als figuur 4. De richting van de isobaren duidt op een westelijke stroming ten noorden van de brandhaarden; ten zuiden ervan staat vrijwel geen wind. De westelijke stroming spoort met in *de Volkskrant* aangehaalde waarnemingen van ooggetuigen die de rookpluim naar het oosten zagen afbuigen. De vorm van de pluim op de foto van figuur 1 en op de satellietbeelden van de figuren 2 en 3 wijst echter meer in de richting van een zowel in de hoogte als in de tijd veranderlijke wind.



2. Kunstmatig ingekleurd satellietbeeld van de Noordzee en omgeving op zondag 11 december 2005 om 12.05 uur UT. Boven een nagenoeg windstil Zuid-Engeland bevindt zich het donker getinte rookgordijn van de brand van fig. 1. Grote delen van Nederland gaan schuil onder laaghangende bewolking. (Satelliet: NOAA; beeldbewerking: DLR, Oberpfaffenhofen)



1. Rookwolken van de grote brand in een oliedepot in Engeland reiken tot aan een inversie op ongeveer een kilometer hoogte. De opname werd – vanuit een vliegtuig dat kort daarvoor vanaf het nabijgelegen Londense vliegveld Luton was opgestegen – op zondag 11 december 2005 gemaakt door een amateur-fotograaf. (Foto: EPA)

Zonder weersveranderingen zou de rook bij een westelijke stroming de Noordzee kunnen oversteken en zo een bedreiging gaan vormen voor de luchtkwaliteit in Nederland en België. Uiteindelijk kwam de rook echter in Normandië en Bretagne terecht en trok hij later naar Spanje. Op de weerkaart is al te zien wat daarvan de oorzaak was. Juist ten noorden van Schotland en Ierland lag namelijk een koufront, waarachter de wind noordelijk was. De stroming voerde het front naar Zuid-Engeland, waar het in de vroege ochtend van maandag 12 december Hemel Hempstead passeerde. Tijdens zo'n frontpassage draait de wind en is hij gewoonlijk enige tijd vlagerig. Kennelijk was de meteorologische begeleiding onvoldoende of niet gericht op 'de werkvloer'. Volgens *De Standaard* maakte een verandering van de windrichting het de brandweer namelijk extra moeilijk doordat de rook werd rondgeblazen, waardoor de brandweertieners er mid-

denin kwamen te staan. Het grillige gedrag van de wind tijdens de frontpassage is ook op de registraties van een aantal Nederlandse waarnemstations (niet afgebeeld) terug te vinden.

Satellietbeelden

Vaak wordt gedacht dat hogedrukgebieden onlosmakelijk verbonden zijn

met zonnig, onbewolkt weer. Vooral in de winter gaat deze 'regel' echter lang niet altijd op. De uitzondering doet zich voor in de onderste kilometer van de atmosfeer. Boven deze onderste laag treden steeds dalende luchtbewegingen op, waarbij de lucht niet alleen hoogte verliest, maar ook opwarmt en uitdroogt. Eventuele be-

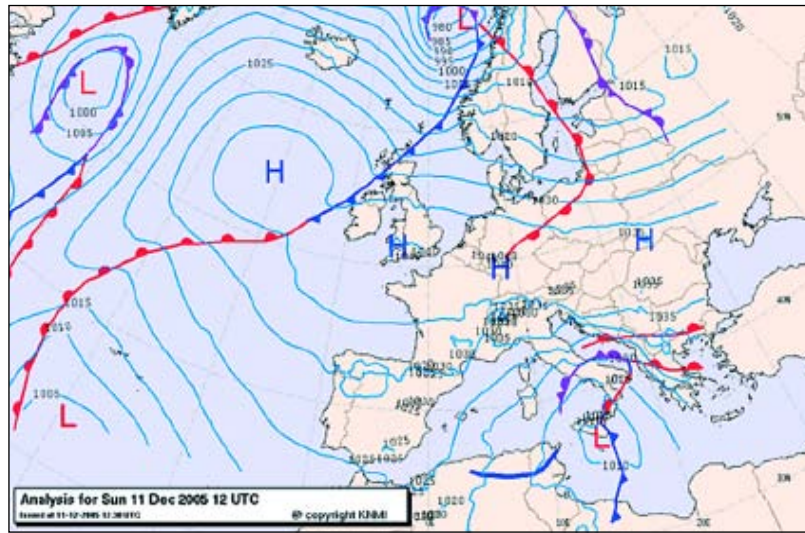
wolking lost daarbij op. Bij een droge onderste laag van de atmosfeer leidt dat tot zonnig weer, zodat dan het verband tussen een situatie met hoge luchtdruk en zonnig weer geldig is. Is de lucht onderin echter erg vochtig, dan treedt vaak mist of laaghangende bewolking op. Vooral in het winterhalfjaar kan deze hardnekkig zijn. Dit laatste was die bewuste zondag boven Nederland het geval. Het satellietbeeld van figuur 2 laat zien dat grote delen van het land onder een omvangrijk wolkendek schuilgingen. Het beeld is afkomstig van een (polaire) Amerikaanse NOAA-satelliet, die enkele malen per dag op een hoogte van ruim achthonderd kilometer overkomt. De bewolking strekt zich via de Noordzee uit tot over Norfolk. In de rest van Engeland, Vlaanderen en stukjes van de daaraan grenzende Nederlandse provincies scheen de zon een groot deel van de dag wel. De Londenaren kregen haar door het rookgordijn van de oliebranden echter nauwelijks te zien. Doordat de rookwolk niet door bewolking aan het zicht werd onttrokken, is hij op de satellietbeelden duidelijk herkenbaar als een donkere plek. Naast de rook boven Engeland en de laaghangende bewolking boven Nederland toont het satelliet-



3. Zuid-Engeland tijdens de brand van 11 december 2005 om 13.35 uur UT, in ware kleuren. (Instrument: MODIS; satelliet: Aqua; bron: NASA/GSFC MODIS Land Rapid Response Team)

Kees Floor*

* Kees Floor is wetenschapsjournalist en weerpublicist. Veel van zijn bijdragen aan *Zenit* (en andere tijdschriften) zijn te vinden op: www.keesfloor.nl



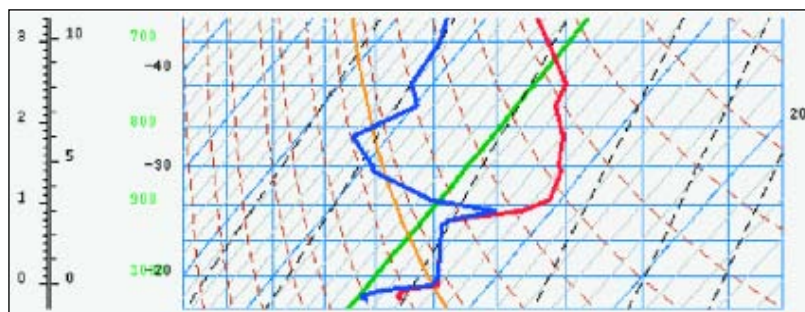
4. Weerkaart van zondag 11 december 2005 om 12 uur UT. Het weer in het zuiden van Engeland en in onze omgeving wordt bepaald door een hogedrukgebied. Juist ten noorden van Ierland en Schotland ligt een koufront. (Bron: KNMI)

beeld van figuur 2 onder meer ook bewolking boven het noorden van Schotland en boven Noord-Ierland. Deze bewolking hangt samen met het genoemde koufront dat bij de bluswerkzaamheden roet in het eten dreigde te gooien.

TEMP-diagram

Zoals door *de Volkskrant* gemeld, reikte de rookpluim tot ongeveer een kilometer hoogte. De hoogte van die bovengrens is ook af te leiden uit metingen van radiosondes, die elke twaalf uur op een groot aantal plaatsen ter wereld aan weerballonnen worden opgelaten. De sondes meten tijdens hun reis omhoog temperatuur, vochtigheid, luchtdruk, windrichting,

windsnelheid en hoogte. Deze gegevens worden uitgezet in een zogeheten TEMP-diagram en worden onder meer gebruikt om de stabiliteit van de atmosfeer in kaart te brengen. De rode lijn in het TEMP-diagram van figuur 5 is een weergave van het temperatuurverloop met de hoogte boven De Bilt op zondag 11 december om 12 uur UT. Op de plaats van de brand was de situatie vergelijkbaar. Duidelijk is te zien dat de temperatuur op een hoogte van ongeveer duizend meter sterk oploopt van twee naar negen graden. Gemiddeld genomen neemt de temperatuur af met de hoogte. Het omgekeerde verloop – zoals hier optrad – noemt men een inversie; als de inversie samenhangt met



5. Het onderste deel van het verloop van temperatuur (rood) en dauwpunt (blauw) met de hoogte voor De Bilt, op zondag 11 december om 12 uur UT. Langs de verticale as is de hoogte uitgezet in verschillende eenheden; de getallen uiterst links geven de hoogte in kilometers. De bovenzijde van het afgebeelde deel van het diagram ligt dus op ruim drie kilometer. Op ongeveer een kilometer hoogte bevindt zich een subsidentie-inversie. De lucht daaronder is erg vochtig, wat de laaghangende bewolking op het satellietbeeld van fig. 2 verklaart.

Om praktische redenen is de temperatuur niet langs de horizontale as uitgezet. Lijnen van gelijke temperatuur lopen in dit diagram namelijk niet verticaal, maar schuin van links onder naar rechtsboven. De temperatuurlijn van nul graden is groen gemarkeerd. De overige temperatuurlijnen (blauwe, getrokken lijnen) lopen evenwijdig hieraan en zijn weergegeven om de twee graden, maar dikker om de tien graden. Alleen de temperatuurlijn van 20 graden is met een getal aangeduid. De gele lijn en de streepjeslijnen laten we hier verder buiten beschouwing. (Bron: KNMI)

dalende luchtbewegingen in een hogedrukgebied, spreekt men van een subsidentie-inversie. De inversie fungeert als een deksel op de luchtlaag eronder. Lucht uit de onderste laag die erin zou slagen door de inversie heen te stoten, is kouder dan de lucht erboven en zakt vervolgens door zijn eigen gewicht terug naar de plaats van herkomst onder de scheidingslijn. Daardoor is er nauwelijks uitwisseling tussen de lucht onder de inversie en de lucht erboven. Verontreinigingen in de onderste laag kunnen zich alleen daar verspreiden; afvoer door uitwisseling met schonere lucht van boven is bij dergelijke weersomstandigheden niet mogelijk. De inversie is daardoor tevens de bovenste begrenzing van de verontreinigde lucht – in dit geval de rookpluim van de oliebrand. De hoogte van de rookpluim zegt daardoor meer over de inversiehoogte dan over de ernst van de brand.

Grondinversie

Windgegevens van de Engelse ballonoplatingen laten zien dat er in de hele laag onder de inversie vrijwel geen wind stond; daardoor kon de wolk ook zo sterk uitdijen. Wel was er bij het uitbreken van de brand onder de subsidentie-inversie nog een tweede inversie aanwezig (de resten daarvan zijn in fig. 5 nog te zien).

Zo'n zogeheten grondinversie is een gevolg van de nachtelijke afkoeling van het aardoppervlak. De koude grond doet de lucht erboven van onderen af afkoelen. Daardoor treden vlak bij het aardoppervlak de laagste temperaturen op en neemt de temperatuur toe met de hoogte, wat een belangrijk kenmerk is van een inversie. Mogelijk lag de grondinversie op een hoogte van zestig meter, de hoogte die *Metro* voor de rookpluim opgaf, en was de verslaggever van die gratis ochtendkrant eerder ter plaatse dan de correspondent van *de Volkskrant*. Door de grote hitte kostte het de rook van de oliebrand na enige tijd echter geen moeite door de grondinversie heen te breken en kon deze gemakkelijk doorstijgen tot de volgende barrière: de subsidentie-inversie op ongeveer een kilometer hoogte.

Laaghangende bewolking

De blauwe lijn in het TEMP-diagram van figuur 5 geeft het verloop van het dauwpunt met de hoogte. Het dauwpunt is een maat voor de vochtigheid van de lucht. Als temperatuur en dauwpunt gelijk zijn, is de lucht verzadigd. In droge lucht is het verschil tussen temperatuur en dauwpunt groot. De lucht is in dit geval verzadigd vanaf tien meter hoogte tot aan de subsidentie-inversie. De inversie vormt dus niet alleen de bovenste begrenzing van de rook, maar ook van de bewolking. Het getoonde vochtprofiel kan niet voor de plaats van de ramp worden gebruikt; daar ontbreekt namelijk de bewolking.

Onderscheid tussen mist en laaghangende bewolking kan op basis van satellietbeelden niet worden gemaakt: die beelden tonen namelijk alleen de bovenkant en die ziet er in beide gevallen hetzelfde uit. Het TEMP-diagram laat zien dat de lucht vlakbij de grond niet verzadigd is. Er zal daar dus geen mist optreden, wat door de waarnemingen wordt bevestigd. In De Bilt was het alleen mistig tussen 7 en 8 uur UT.

Een dag later

Het blussen van de branden nam enkele dagen in beslag. Daardoor kwam er ook maandag nog rook in de dampkring. Rond de middag lag het front dat eerder ter sprake kwam boven Het Kanaal. Tegelijkertijd had het

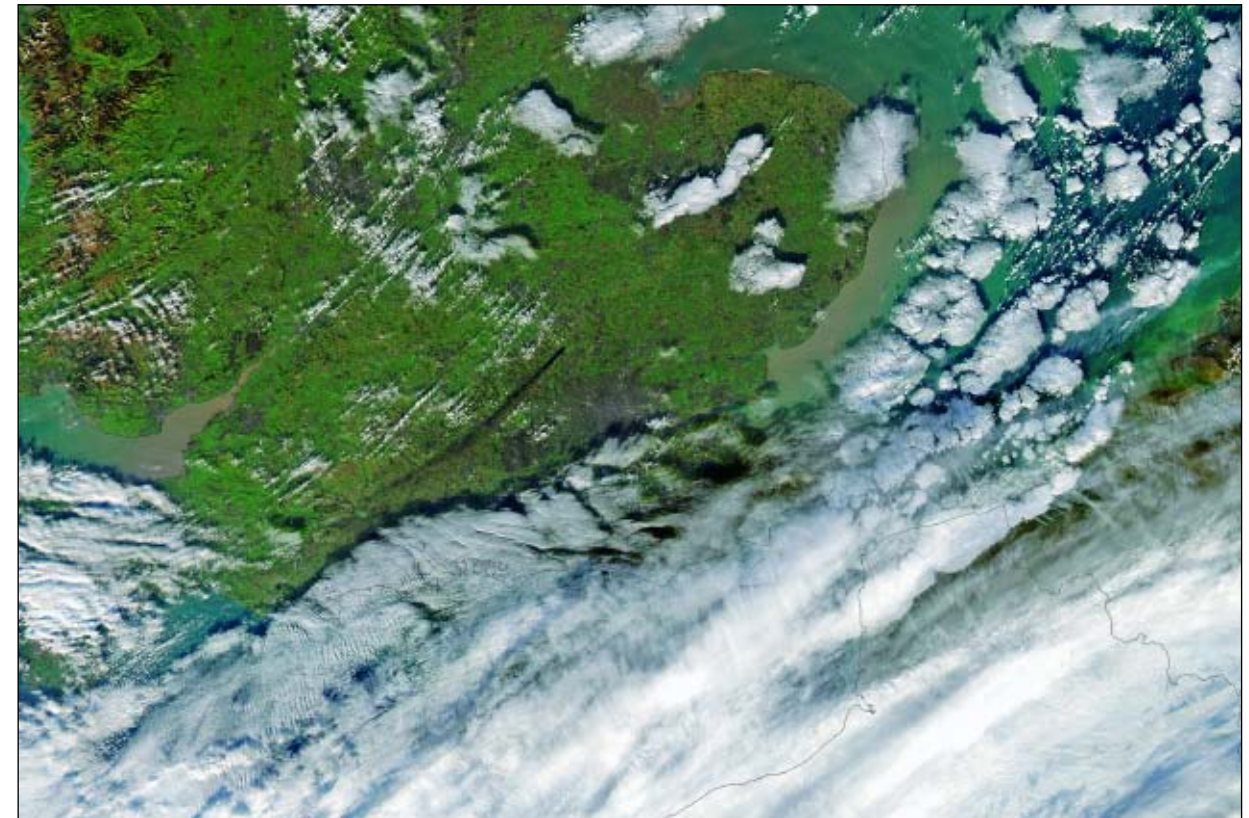
hogedrukgebied dat aanvankelijk ten zuiden van IJsland lag, zich naar Noord-Ierland verplaatst. Boven Zuid-Engeland stond vanaf de grond tot aan de iets in hoogte toegenomen subsidentie-inversie een straffe noordelijke stroming. Daardoor veranderde het rookgordijn van zondag in een strakke rookpluim, die maandag na het wegtrekken van de met

het front samenhangende bewolking op satellietbeelden zichtbaar werd (fig. 6). Doordat de rookpluim zijn schaduw op de ondergrond wierp, was hij beter te zien. De bebouwing van de stad Londen ten zuidoosten van de brandhaard is cementgrijs. Rookpluim en bebouwing zijn echter nog beter te zien als het satellietbeeld kunstmatig wordt ingekleurd met stra-

lingsgegevens uit geschikt gekozen kanalen van de MODIS. Figuur 7 toont daarvan het resultaat.

Bronnen:

(Websites van) *Algemeen Dagblad*, Earth Observatory, *Gazet van Antwerpen*, KNMI, Met Office, *Metro (NL)*, *De Morgen*, *NRC/Handelsblad*, *Spits*, *De Standaard*, *De Telegraaf* en *de Volkskrant*.



6. Zuid-Engeland in ware kleuren op 12 december 2005 om 13.35 uur UT. De rook wordt met noordoostenwinden afgevoerd in een strakke rookpluim. (Instrument: MODIS; satelliet: Aqua; bron: NASA/GSFC MODIS Land Rapid Response Team)



7. Als figuur 6, maar nu in false-color.