

# De uitzonderlijke onweerssituatie van 25-26 mei 2009

KARIM HAMID (KMI) EN JURGEN BUELENS (METEO WING)

Tijdens de nacht van 25 op 26 mei trokken ongemeen hevige onweersbuien over delen van Frankrijk, België en Nederland. Daarbij werden zware windstoten en extreem grote hagelstenen waargenomen. Zomerhagel van significante grootte (meer dan 2 cm) komt regelmatig voor in de Lage Landen maar hagelstenen van 5 cm en meer zijn al heel wat minder gangbaar. Recente voorbeelden zijn de buien van 6 juni 1998 (hagel tot 10 cm in Nederland [1]), 22 juni 2008 (tot 5 à 6 cm in de Benelux) en 21 juli 2009 (tot 5 cm in Belgisch Limburg). In dit artikel zal de situatie van 25 en 26 mei 2009 worden besproken.

## Bespreking algemene weersituatie

Op 25 mei bevond onze regio zich aan de voorzijde van een naderende hoogtetrog waarbij aan de voorzijde warme en vrij vochtige lucht naar het noorden werd gestuwd. Een hoogterug verdween tegelijk richting Duitsland. Vooral naar de avond toe kwamen we terecht in een Theta-e tong (zie kader) met eigenschappen van een Spaanse Pluim.



Figuur 1. Hagelstenen tot 12 cm werden waargenomen nabij de Franse gemeente Raillencourt-Sainte-olle, even ten zuiden van de Belgische grens. (bron: E. Wesolek & P. Mahieu – Observatoire Français des Tornades et des Orages Violents).

Aan de grond was reeds dagen sprake van een barokliene band die over Centraal-Frankrijk slingerde. Pas wanneer de trog versneld naar het oosten opschoof, trok deze band naar het noorden. De 25<sup>e</sup> 's middags komt de band uiteindelijk door als warmtefront. Nabij dit front bevindt zich overigens nog een *Mesoscale Convective System* (MCS) (zie kader) dat helemaal van de Golf van Biskaje tot aan de Belgische Ardennen trok en maar liefst 24 uur bleef bestaan. Dit systeem zorgde in de middag reeds voor hagel tot 4 cm in het zuiden van België.

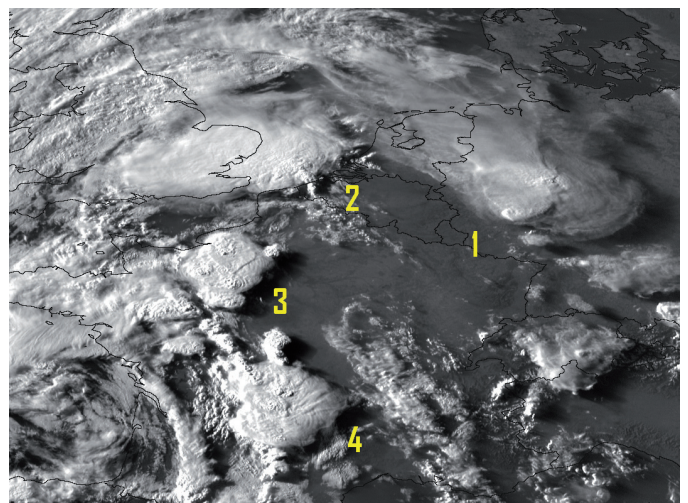
Later op de dag loopt de onstabieleit achter dit front snel op en tegen de namiddag piekt de SB-CAPE (zie kader) vlot richting 2500 J/kg. Deze neemt 's avonds maar erg traag af. Oorzaak van deze erg hoge latente onstabieleit is deels de vrij warme en relatief vochtige

grenslaag, maar meer nog het zeer onstabiele middelbaar niveau, waar we een temperatuursverval opmeten van maar liefst 7.5 °C/km! Intussen schuift een thermisch lagedrukgebied vanuit Frankrijk richting België. Dit diept geleidelijk aan uit onder invloed van positieve vortciteitsadvection aan de voorzijde van de naderende hoogtetrog. Nabij dit lagedrukgebied, maar vooral onder invloed van de naderende hoogtetrog en bijhorende stijgbewegingen welke de aanwezige inversie moeten opheffen, ontwikkelen zich in de middag diverse onweershaarden boven Frankrijk en met de zuidwestelijke hoogtestroming komen die allemaal onze kant uit. Deze complexen hangen vooral samen met diverse convergentielijntjes die zich boven Frankrijk bevinden.

Deze clusters bereikten al snel het stadium van een MCS en trokken vervolgens noordwaarts onze richting uit. Belangrijk daarbij was dat diverse cellen in deze clusters *supercells* waren en zodoende zorgden deze onweersgebieden op diverse plaatsen voor erg hevige buien. Op diverse plaatsen in Frankrijk werden van het zuidwesten tot het noorden regionaal erg grote hagelstenen waargenomen, tot 12 cm doorsnede (figuur 1). Figuur 2 toont de situatie om 18.30 UTC waarbij 4 MCS's gelijktijdig te onderscheiden zijn. Het complex boven Duitsland was in de namiddag reeds over het zuiden van België getrokken en de overige drie volgden nog, zodat uiteindelijk elk van deze vier de Benelux aandeden.

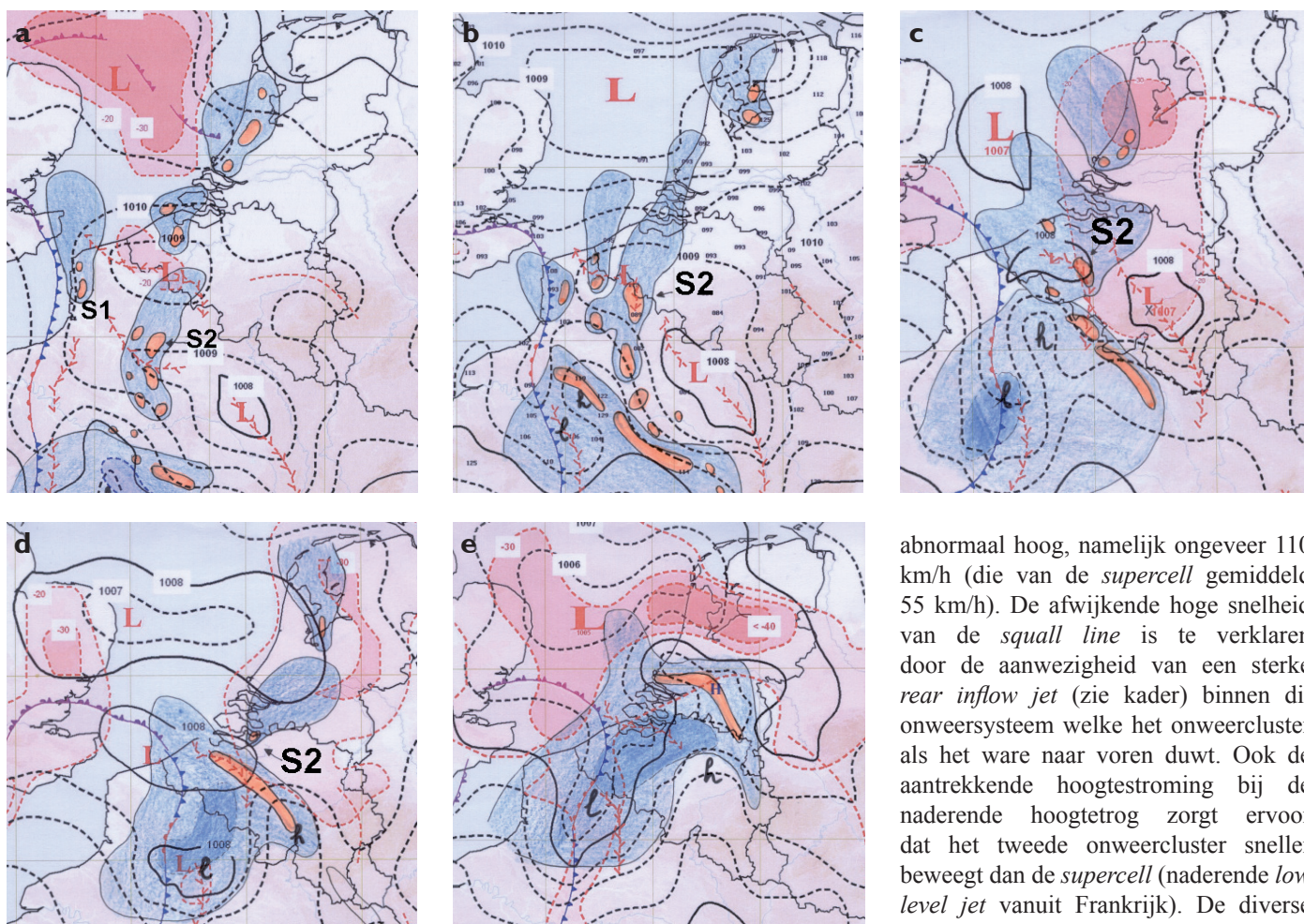
## Meso-analyse Benelux en omgeving

In wat volgt bekijken we de situatie op mesoschaal en volgen we het gedrag van de buien aan de hand van de radarbeelden. We starten onze analyse op 25 mei om 22 UTC (figuur 3a). Diverse actieve clusters zijn actief in onze regio. De clusters net ten zuiden van België horen bij één MCS, de buien helemaal onderaan de kaart horen bij een tweede snel oprukkend MCS. Minstens twee cellen uit het eerste MCS kunnen worden gecategoriseerd als *supercell*, aangeduid met S1 en S2 waarbij S2 in feite een fusie is van twee eerdere *supercells*. Elk van deze *supercells* zorgde voor grote hagelstenen waarbij S2 nabij de Franse gemeente Raillencourt-Sainte-olle enorm grote hagelstenen produceerde [2]. De meso-analyse toont een thermisch lagedrukgebied over het noorden van Frankrijk, ten oosten van de belangrijkste buienclusters. Vlak achter het langgerekte cluster in de linker benedenhoek van de kaart is een mesoschaal hogedrukgebied te zien welke overeenkomt met het actieve neerslaggebied van het 2<sup>e</sup> MCS en welke we mogen aanduiden als 'mesohoog'. Dergelijke mesohogen zijn kenmerkend



Figuur 2. De visuele satellietopname van 25 mei 2009 om 18.30 UTC toont 4 MCS's tegelijk in onze omgeving (bron: KMI).





Figuur 3. Meso-analyse van 25 mei 22 UTC (a), 23 UTC (b) en 26 mei 00 UTC (c), 01 UTC (d) en 02 UTC (e). De zwarte lijnen geven de luchtdruk weer per 1 hPa. (Pseudo)frontale structuren en convergentiegebieden zijn weergegeven met de gangbare symbolen. De belangrijkste neerslagkernen (op basis van de radarbeelden) zijn weergegeven in oranje (convectieve gebieden) en blauw (stratiforme gebieden). Met donkerblauw wordt de intense stratiforme neerslag aangeduid. De pijlen geven de richting aan naar waar de wind waait. S1 staat voor supercell 1 en S2 voor supercell 2. In (a) zijn diverse clusters te herkennen met reeds aanwijzingen voor het mesohoog ( $h$ ) in de linker benedenhoek. In (b) trekt de tweede supercell België binnen terwijl een tweede georganiseerde onweerscluster steeds meer de lineaire vorm aanneemt van een squall line. Een thermisch lagedrukgebied staat op het punt het zuiden van België in te trekken. (c) Het thermisch lagedrukgebied is verder uitgediept en bevindt zich boven België en zorgt daar voor een sterk gekrompen grondstroming. De supercell (S2) bevindt zich boven Oost-Vlaanderen en een goed gestructureerde squall line nadert België. Goed herkenbaar is tevens de wake low ( $\bar{L}$ ). (d) Het mesohoog is hier nog steeds goed terug te vinden en zakt af naar de zuidelijke punt van de squall line. De squall line heeft op dit ogenblik de supercell bijna ingehaald. (e) Zowel het mesohoog als wake low zijn nog steeds gemakkelijk terug te vinden. De squall line heeft de supercell ingehaald en neemt steeds meer de vorm aan van een bow echo. (bron: Meteo Wing –Luchtcomponent).

voor onweerscomplexen en worden gegeneerd door het persistente hevige neerslaggebied. Het is dit mesohoog dat voor de bekende ‘onweersneus’ (zie kader) zorgt op de barogrammen. Vanuit het standpunt van de radar kunnen we dit 2<sup>e</sup> onweersgebied overigens aanduiden als een *squall line*.

Op de analyse van 23 UTC (figuur 3b) is er weinig veranderd. De 2<sup>e</sup> supercell (S2) is nog steeds goed te onderscheiden en bevindt zich vlakbij de Belgische grens. De *squall line* is wat beter gestructureerd en het mesohoog en thermisch lagedrukgebied zijn nog steeds nadrukkelijk aanwezig. Duidelijk

zichtbaar is hier de aanwezigheid van een zogenaamd *wake low*, achter het mesohoog. Dit *wake low* is waarschijnlijk te koppelen aan subsidentie die voorkomt in het uitgestrekte stratiforme neerslaggebied dat hoort bij de *squall line* (Haertel and Johnson, 2000; Adams-Selin and Johnson, 2009).

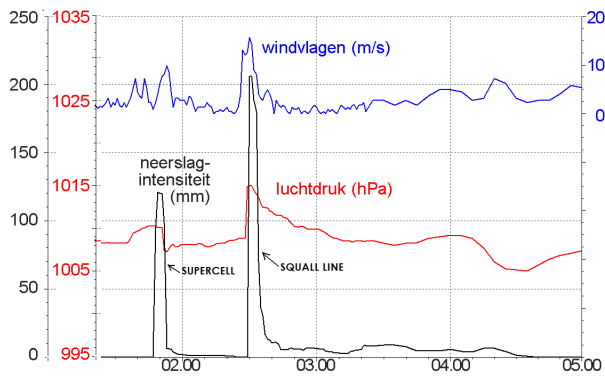
Op 26 mei om 00 UTC (figuur 3c) bevindt de supercell zich boven Oost-Vlaanderen terwijl de *squall line* intussen genaderd is tot bij de Belgische grens. Uit de opeenvolging van kaarten is duidelijk dat de *squall line* veel sneller oprukt naar het noorden dan de supercell. Vooral de snelheid van de *squall line* is

abnormaal hoog, namelijk ongeveer 110 km/h (die van de *supercell* gemiddeld 55 km/h). De afwijkende hoge snelheid van de *squall line* is te verklaren door de aanwezigheid van een sterke *rear inflow jet* (zie kader) binnen dit onweersysteem welke het onweersysteem als het ware naar voren duwt. Ook de aantrekkende hoogtestroming bij de naderende hoogtetrog zorgt ervoor dat het tweede onweersysteem sneller beweegt dan de *supercell* (naderende *low level jet* vanuit Frankrijk). De diverse mesoschaal drukgebieden zijn ook hier weer herkenbaar. Op dat ogenblik produceert de *supercell* reeds hagel van grote omvang en zorgt de *squall line* voor windschade over Frankrijk.

De analyse van 01 UTC (figuur 3d) toont de situatie vlak voor het ogenblik waarop de *squall line* de *supercell* zal inlopen. Om 02 UTC (figuur 3e) is van de *supercell* geen sprake meer maar wel nog van de *squall line* die meer en meer de vorm van een *bow echo* aanneemt. In de uren daarna vervolgt de *squall line* zijn tocht naar het noordoosten maar zwakt snel af.

De doortocht van zowel de *squall line* als de *supercell* is goed af te lezen op het meteogram van een niet-officieel weerstation in Ellezelles (figuur 4, voor de locatie van Ellezelles: zie sterretje in figuur 5b). Bij de doortocht van de *supercell* wordt een opmerkelijke drukdaling genoteerd van ongeveer 2.5 hPa, ondanks de regen- en hagelval. Door de neerslag die valt mag men immers verwachten dat er een piek optreedt op het barogram doordat deze neerslag koelere en dus zwaardere lucht naar omlaag brengt. Bij doortocht van de *squall line* wordt dan weer een zeer opmerkelijke onweersneus genoteerd van maar liefst 6 hPa. Vooral de doortocht van de *squall*



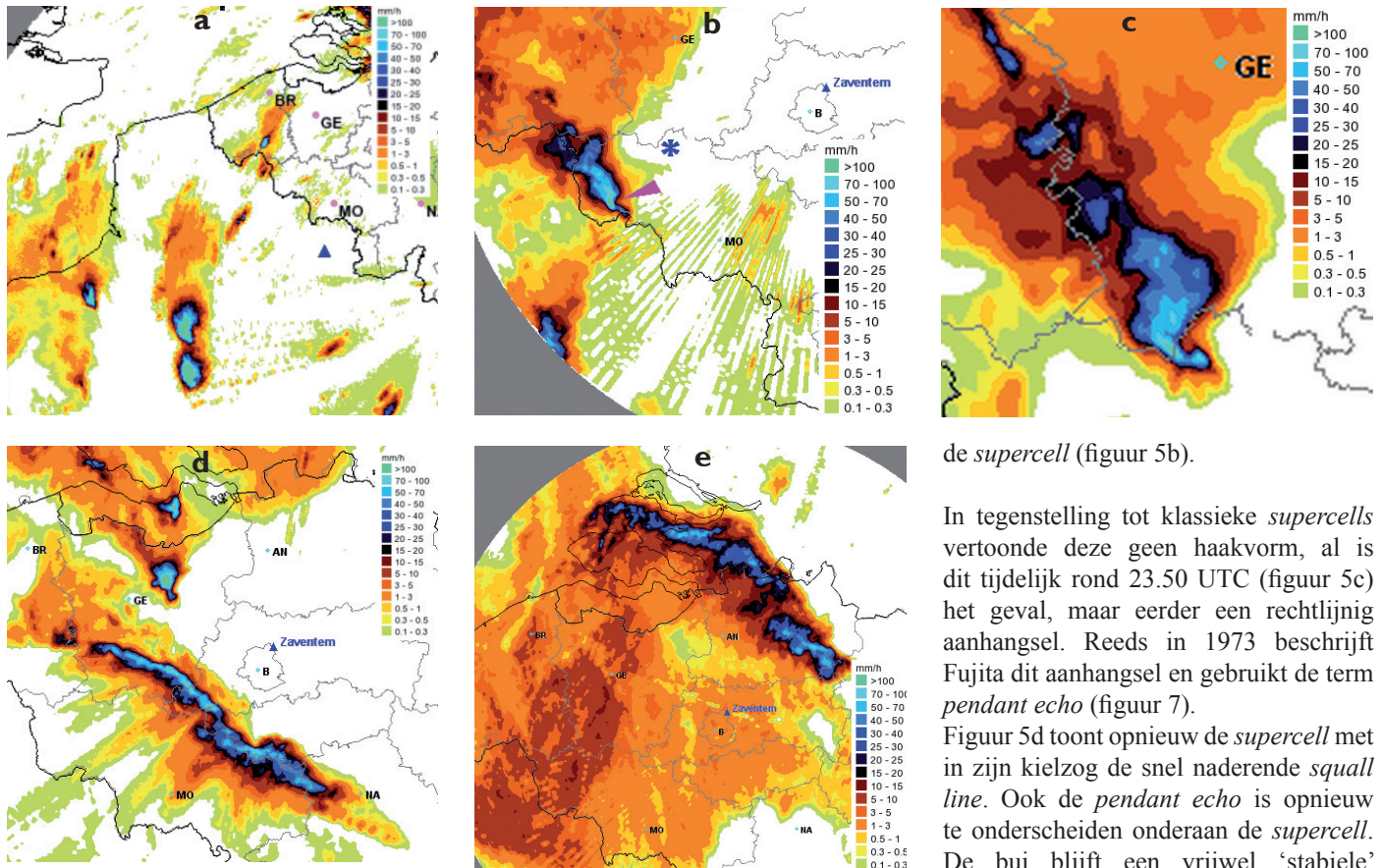


Figuur 4. Meteogram van een automatisch weerstation in Ellezelles (België, Henegouwen). Tijden in locale tijd. De windstoten worden onderschat door het weerstation door de niet perfecte ligging.

line gaat gepaard met sterke windstoten en een regenintensiteit van 200 mm/h.

### Radaranalyse

Het radarbeeld in figuur 5a toont drie *supercells* die gelijktijdig actief zijn boven het noordwesten van Frankrijk en de twee meest rechtse staan in deze opname



Figuur 5. Radar-reflectiviteitsbeelden van 25 mei 19.55 UTC (a), 23.20 UTC (b), 23.50 UTC (c) en 26 mei 00.40 UTC (d) en 01.35 UTC (e). (a) Drie *supercells* zijn gelijktijdig actief boven het noordwesten van Frankrijk en de twee meest rechtse staan hier op het punt samen te smelten tot 1 krachtige *supercell*. (b) De *supercell* is duidelijk herkenbaar, alsook de zogenaamde pendant shape. De paarse pijl wijst naar de Weak Echo Region (WER). Het sterretje geeft de locatie weer van het weerstation te Ellezelles. (c) De pendant shape verandert zeer tijdelijk in een hook shape/hook echo. Op dat ogenblik vallen hagelstenen tot 6 cm nabij de hook echo over Ellezelles. (d) Let wederom op de pendant shape onderaan de *supercell*. Ook de squall line is zeer goed te zien op dit beeld, waarbij het uitgestrekte stratiforme gebied bezuiden deze lijn 'gemaskeerd' wordt door de sterke neerslag op de squall line: vergelijk met figuur 5e. (e) De squall line vertoont tekenen van een bow echo en tevens zien we op dit beeld dat het om een asymmetrische squall line gaat: het stratiforme gebied is vooral ontwikkeld in de noordelijke flank van de squall line (bron Radarbeelden: KMI (a) en Belgocontrol: (b)-(e)).

op het punt samen te smelten tot één krachtige *supercell*. Vervolgens trekt de resulterende *supercell* noordwaarts richting Belgische grens en zorgt onderweg voor hagelstenen tot 12 cm en veel windschade (F1 op de windschadeschaal van Fujita) ([2], [3]). Vooral zodra deze cel het Belgische grondgebied bereikt, worden de details van de *supercell* zichtbaar.

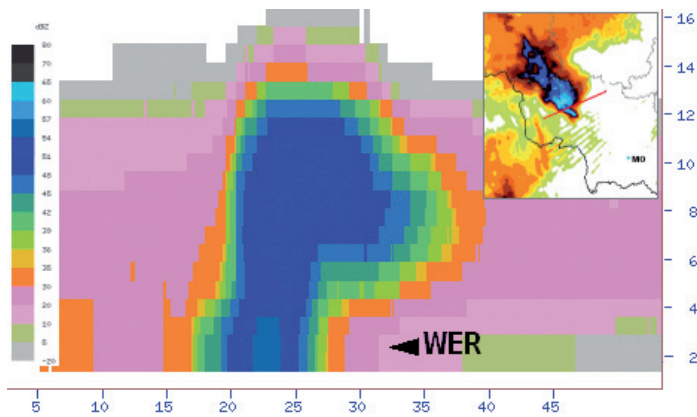
Figuur 5b toont de situatie om 23.20 UTC en daarop is duidelijk de zogenaamde Weak Echo Region (WER) zichtbaar (pijl). De WER is een gebied op de radar waarbij een 'deuk' te zien is in de verder intense cel met doorgaans een sterke reflectiviteitsgradiënt aan de flank van deze deuk. Dit gebied moet geassocieerd worden met een sterke stijgroom in dit

gebied van de onweerscel. In feite is een dergelijke situatie de stijgkolom van de bui zo sterk dat neerslag geen tijd heeft om dikke druppels te vormen. Als er al neerslag gevormd wordt in dit gebied wordt dit snel naar boven getransporteerd met als gevolg een neerslagvrij gebied in de onderste niveaus. Op de verticale doorsneden is dit effect nog duidelijker te zien (figuur 6) waarbij de neerslagkolom als het ware naar rechts overhangt als een soort 'Smurfmuts'. De aanwezigheid op de radar van een WER bij een onweersbui duidt op een situatie waarbij enerzijds een sterke stijgroom aanwezig is, en anderzijds deze stijgroom parallel aanwezig is naast een sterk convectief neerslaggebied. Een dergelijke situatie is alleen mogelijk bij voldoende windschering en kan duiden op de aanwezigheid van een (potentieel gevaarlijke) *supercell*. Verder kenmerkend is het aanhangsel dat regelmatig op de radar zichtbaar werd bij

de *supercell* (figuur 5b).

In tegenstelling tot klassieke *supercells* vertoont deze geen haakvorm, al is dit tijdelijk rond 23.50 UTC (figuur 5c) het geval, maar eerder een rechtlijnig aanhangsel. Reeds in 1973 beschrijft Fujita dit aanhangsel en gebruikt de term *pendant echo* (figuur 7).

Figuur 5d toont opnieuw de *supercell* met in zijn kielzog de snel naderende *squall line*. Ook de *pendant echo* is opnieuw te onderscheiden onderaan de *supercell*. De bui blijft een vrijwel 'stabiele' kern vertonen en produceert intussen periodiek hagelstenen rond 4 à 5 cm. Figuur 5e toont de *squall line* even later waarbij ze de *supercell* heeft ingelopen. Let op de 'neus' aan de voorkant van deze lijn ter hoogte van Moerdijk, welke doorgaans een aanwijzing is voor een georganiseerde *downburst*. De *squall line* zorgt dan ook voor uitgebreide windschade waarbij de windstoten vlot 100 km/h bereiken en lokaal richting 120 km/h pieken.

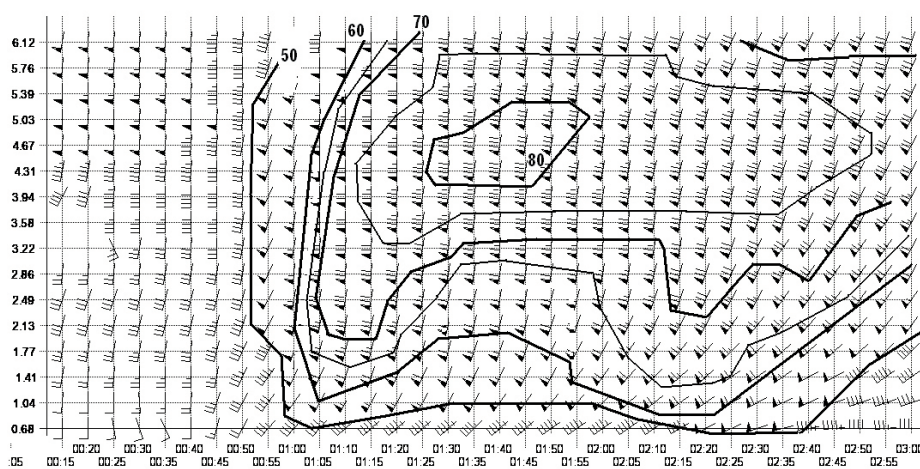


Figuur 6. Verticale radardoorsnede van de supercell op 25 mei 2009 omstreeks 23.34 UTC. De weak echo region (WER) is heel goed te zien in de oostelijke flank van de neerslagkolom en ondanks de verre positie van de radar ten opzichte van de neerslagkern is er zelfs een indicatie van een 'Bounded' WER (BWER). De getallen staan voor de kilometers, zowel verticaal als horizontaal. De inzetfoto toont de positie waar de cel is doorsneden (bron: KMI).

Deze *squall line* trok ook dwars over de radar van Zaventem bij Brussel waardoor de passage werd geregistreerd (figuur 8). Omstreeks 01 UTC bereikt de lijn de radar en even daarna zien we een snelle toename van de wind op vrijwel alle niveaus. Vooral op middelbaar niveau is het abrupte aanzwellen van de wind sterk zichtbaar met om 00.45 UTC nog een wind van 30 kts op 2.5 km en amper 20 minuten later is dit 70 kts! Dit wijst op de aanwezigheid van een sterke *rear inflow jet*. Uit deze afbeelding kan worden afgeleid dat de *rear inflow jet* vlak achter de *squall line* naar beneden stort met winden rond 45-50 kts. Ongeveer 50 km achter de *squall line* vinden we op circa 5 km hoogte het maximum van de jet (ongeveer 80 kts), en dit gebied valt samen met de verhoogde stratiforme neerslag.

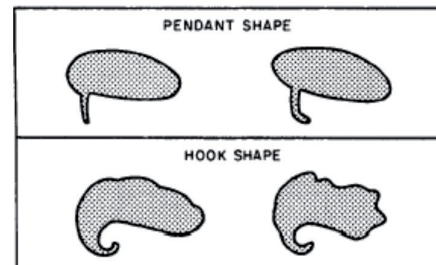
### Super hagelstenen

Ontegensprekelijk was het weerfenomeen van deze episode de gigantische hagelstenen die werden vastgesteld. Dergelijke grote hagelstenen zijn enkel mogelijk bij enorm krachtige stijgstromen. Reeds in 1958 gaf Ludlam (Ludlam, 1958) aan dat er een onderscheid moet worden gemaakt tussen gebieden in de bui waar de ontwikkeling van potentiële hagelstenen plaatsvindt (de kiemen van de hagel, aangeduid als 'hagelembryo's') en de regio waar deze hagelembryo's verder aangroeien tot echte hagelstenen. Het blijkt inderdaad dat zeer sterke stijgstromen (zoals bij *supercells*) vaak te krachtig zijn om de tijd te laten aan neerslagdeeltjes om zich tot een embryo om te vormen. Vandaar dat de initiële hagelstenen, de embryo's dus, vaak uit een brongebied komen



Figuur 8. Dit VVP Radarproduct geeft de gemiddelde verticale windverdeling weer nabij de radar bij Zaventem rond de periode dat de *squall line* overtrok (de voorzijde bereikte de radar rond 00.55 UTC). De waarden links zijn in km, de wind wordt met de klassieke symbolen weergegeven in knopen. De krommen zijn isotachen per 10 kts, soms met tussenlijn per 5 kts. Aan de hand van dit beeld kan worden afgeleid dat de *rear inflow jet* vlak achter het convectieve gebied naar beneden stort, wat klassiek is voor gevallen met zware windstoten. Let op het windmaximum tot 80 kts op ongeveer 5 km hoogte. Tijden in UTC (bron oorspronkelijk windprofiel: Belgocontrol).

Let tevens op het uitgebreid gebied met stratiforme neerslag achter de convectieve lijn over België (figuur 5e). De radaranimaties doen vermoeden dat zich daarin een *Mesoscale Convective Vortex* (zie kader) bevond.



Figuur 7. Nelson (1987) uit Fujita, 1973. Hybride supercells worden vaak gekenmerkt door een zogenaamde pendant echo, in plaats van de klassieke hook echo bij traditionele supercells.

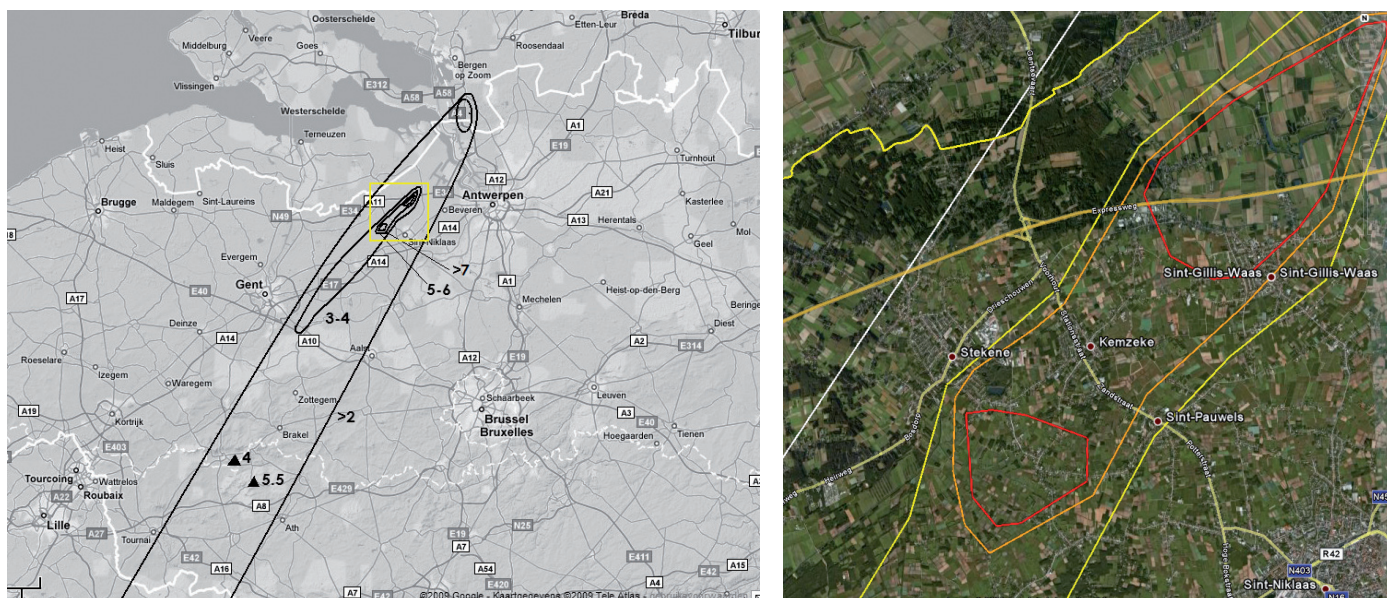
vlakbij de krachtigste stijgstromen, zoals bijvoorbeeld uit dochtercellen vlakbij de volwassen onweerscel bij *multicell* onweersbuien. Men noemt deze cellen ook *feeder clouds* (Goyer et al, 1966).

Bij *supercells* ligt de voorziening van hagelembryo's lastiger aangezien hier per definitie slechts één convectieve cel aanwezig is, namelijk de *supercell* zelf. Echter, één bepaalde variant van de *supercell*, de zogenaamde *hybrid supercell-multicell* (Nelson & Knight 1987; Nelson 1987) blijkt een zeer efficiënte producent te zijn voor grote hagelstenen. Deze hybride brengt de eigenschappen samen van zowel de *supercell* als de *multicell*, namelijk voldoende stijgbewegingen en voldoende advectie van hagelembryo's uit de onmiddellijke omgeving. Dit type onweer toont ook vaak een groot stijgggebied dat ervoor zorgt dat hagelstenen niet snel uit het stijgggebied worden weggeblazen.

Typisch voor hybride *supercells* is overigens de aanwezigheid van een *pendant shape* zoals in ons voorbeeld het geval was. Dit aanhangsel kan beschouwd worden als een rij van cellen (al dan niet getriggerd op het *gustfront* van de cel) welke de functie van *feeder cloud* kunnen uitoefenen en zodoende een continue toestroom voorzien van hagelembryo's naar de sterke stijgkolom vlakbij. De aanwezigheid van een *pendant echo* bij een *supercell* kan dus duiden op een verhoogd risico op grote hagelstenen. In hoeverre dit hier het geval was zou verdere studie moeten aantonen.

Waarom kon deze *supercell* zo krachtig worden? Zonder in detail te treden kunnen we stellen dat *supercells* twee zaken nodig hebben: voldoende onstabieliteit en vooral voldoende zogenaamde *streamwise vorticity* (doorgaans aangeduid met de *storm relative helicity* – SRH: zie kader). In de praktijk neemt deze SRH snel toe met toenemende windschering en/of toenemende windruiming met de





Figuur 9. Links: reconstructie van het hagelspoor (hailswath). De cijfers geven de maximale diameter weer (in cm) van de gevallen hagel, hetzij binnen de omringde gebieden, hetzij op de locatie van de zwarte driehoekjes. Rechts: detail van het gebied binnen het gele kader in de linker figuur. Geel omsluit hagel van 3-4 cm, oranje 5-6 cm en rood >7 cm (bron achtergrond links: Google Map, rechts: Google Earth).

hoogte in de onderste paar kilometer. In de hier besproken situatie was de SRH op zich al significant ( $> 150 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ ). We vermoeden echter dat een samenloop van omstandigheden hier tot een extra hoge SRH heeft geleid. De *supercell* werd immers meteen gevolgd door de *squall line* en zoals gebruikelijk is bij dergelijke convectielijnen, is er een verhoogde windsnelheid aanwezig in het gebied vlak voor de *squall line* welke overeen komt met de georganiseerde *inflow*. Dit effect, in samenwerking met het mesolaag over de Belgische Ardennen, zorgde in het gebied waar de *supercell* zich bevond voor een sterk gekrompen en aanzwellende wind in de onderste kilometer (figuur 3c) en dus ook verhoogde SRH. Mogelijk zorgde de snel naderende *squall line* dus voor een versterkend effect van de *supercell* en werden lokaal zeer gunstige dynamische omstandigheden gecreëerd.

### Analyse hagelstenen en schade-spoor

Al vrij snel na de doortocht van de *supercell* kwam het unieke karakter naar boven en daarom werd door het KMI een oproep gedaan naar het algemene publiek om foto's en andere gegevens van de hagel door te sturen.

Daarnaast werden bij diverse mensen hagelstenen opgehaald die men in de ijskast had bewaard. Vervolgens werden van een hele reeks hagelstenen fijne doorsneden gemaakt welke vervolgens met of zonder diffuus tegenlicht werden gefotografeerd om alle details bloot te leggen van de stenen (enkele andere mooie voorbeelden zijn te vinden bij

Knight and Knight, 2005). Al lang is immers bekend dat aan de hand van de interne structuur van hagelstenen, de geschiedenis van de hagelsteen als het ware kan worden afgelezen van embryo tot de val op de grond. Het bekendste voorbeeld daarvan zijn de ringen die bij de meeste hagelstenen aanwezig zijn wanneer men een hagelsteen doormidden snijdt. Dit in analogie met de groeiringen van een boom. Vanwaar komen de ringen? Eenvoudig gesteld komen in hagelstenen doorgaans twee types ijs voor. Ten eerste doorzichtig ijs met dus weinig luchtbellens. Dit associeert men met zogenaamde 'natte groei' bij relatief hoge temperaturen waardoor de luchtbellens in het water tijd hebben om te ontsnappen zodat een heldere ijslaag overblijft. In de koudere en drogere regionen van de wolk is er sprake van 'droge groei'. De onderkoelde waterdruppels slaan in deze situatie aan op de hagelsteen of embryo en vriezen vrijwel onmiddellijk aan zodat de luchtbellens worden ingevangen en geen tijd hebben om te ontsnappen. Dit ijs ziet er door de vele ingevangen minuscule luchtbellens, minder doorzichtig uit. Zowel de temperatuur als de absolute vochtigheid in de lucht waarin de hagel aangroeit bepaalt de structuur van de ringen.

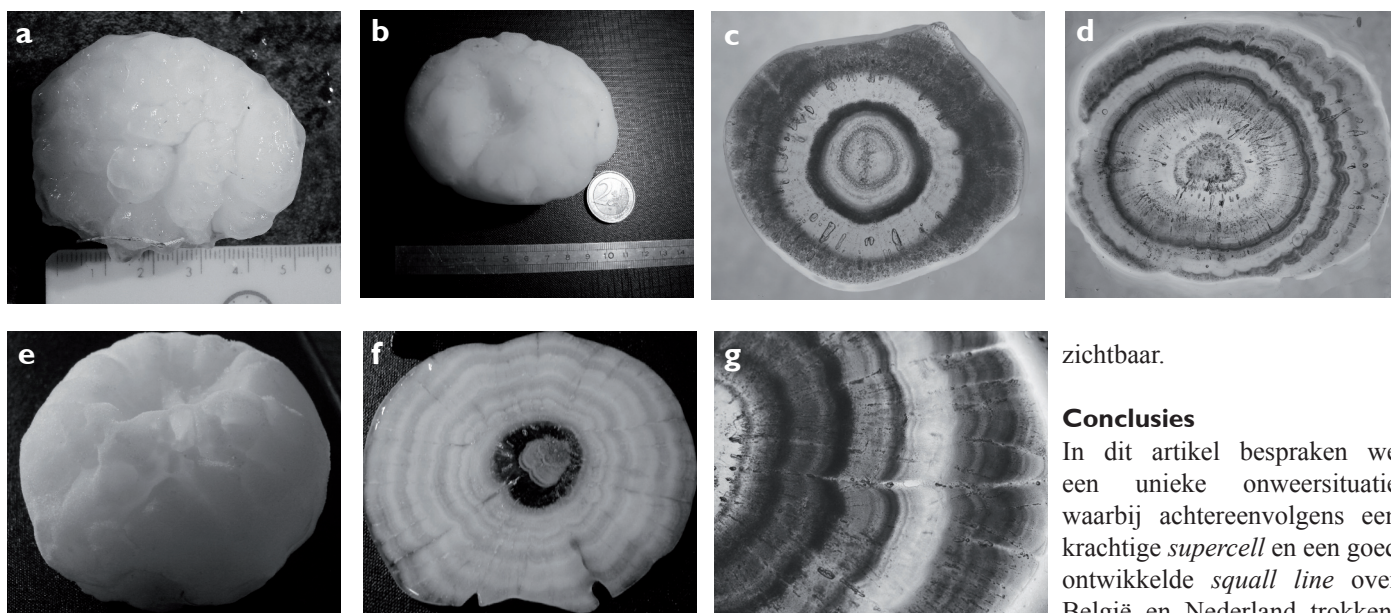
Vaak worden deze ringen toegeschreven aan de op- en neerwaartse bewegingen in de buienwolk en denkt men dat uit het aantal ringen kan bepaald worden hoeveel de hagel op en neer is gegaan. Echter, dit is een te eenvoudige voorstelling. De samenstelling van het ijs wijzigt immers telkens wanneer de hagelsteen in een regio van de wolk komt waar temperatuur

en vochtigheid wijzigen en op die manier ontstaan de ringen.

De beweging van de hagelsteen zelf maakt deze voorstelling nog ingewikkelder aangezien de meeste stenen tijdens de val gaan tuimelen of tollen. Daarnaast zorgen ongelijkmatigheden op het oppervlak van de hagelsteen voor een onregelmatige aangroei. In die mate dat het ijs aan het oppervlak van de hagelsteen niet homogeen aangroeit, maar met uitsteeksels. Uiteindelijk ontstaan vaak hagelstenen met een oppervlak vol 'lobben' (Knight and Knight, 1970) waardoor het vanaf de buitenkant lijkt dat de hagelsteen bestaat uit een agglomeraat van allemaal kleine hagelstenen (Browning, 1966), wat dus niet het geval is. Figuur 10a geeft dit verschijnsel mooi weer bij één van de hier gevallen stenen. In [4] zijn enkele meer uitgesproken voorbeelden te zien.

Wanneer we alle waarnemingen van hagel in kaart brengen, krijgen we een onderbroken spoor dat start in Frankrijk en zich uitstrekt tot net aan de Belgisch/Nederlandse grens (figuur 9). De grootste hagelstenen werden waargenomen in het noorden van Frankrijk en noorden van België. De grootste waargenomen hagelsteen in België had een diameter van 9.2 cm en woog 149 g (figuur 10b). We moeten hierbij rekening houden dat de hagelsteen niet meteen is ingevroren en dus reeds iets was afgesmolten. Ter vergelijking: de zwaarste hagelsteen ooit gemeten in de VS woog 610 g en de grootste hagelsteen mat 17.8 cm. Beide stenen vielen in Aurora, Nebraska op 22 juni 2003 (Knight and Knight, 2005).





**Figuur 10.** (a) Hagelsteen waargenomen te Ellezelles omstreeks 00 UTC (26/5). De 'knobbelstructuur' op het oppervlak van de hagelsteen is duidelijk zichtbaar en doet denken aan een agglomerat van allemaal kleinere hagelstenen, doch dit is slechts schijn. (b) Deze hagelsteen is het grootst waargenomen exemplaar in België door de heer Y. Steenssens en viel in Verrebroek. Dit exemplaar had een diameter van 9.2 cm. (c) Opname van een hagelsteenschijfje van circa 2 mm dik (met diffuus tegenlicht). Donkere gebieden bevatten veel zuurstofbelletjes, de lichte gebieden zijn min of meer transparant. (d) Opname zoals beschreven in (c). In dit voorbeeld is de lobstructuur zeer duidelijk, alsook de radiale luchtballen. (e) Voorbeeld van een hagelsteen waargenomen in Verrebroek waarbij een duidelijke 'appelstructuur' te herkennen is. (f) Doorsnede uit de hagelsteen van figuur (e), gemaakt in gewoon licht waardoor zuurstofrijke gebieden wit zijn. Het hagelembryo was waarschijnlijk korrelhagel met een initieel conische aangroei. (g) Detailopname van een doorsnede van een hagelsteen, gemaakt met diffuus tegenlicht. Deze detailopname toont mooi aan dat de diverse ringen vaak zijn onderverdeeld in nog fijnere ringen. Ook hier is de lobstructuur duidelijk zichtbaar, vooral in de buitenste ring (alle foto's: K. Hamid).

Net zoals bij veel grote hagelstenen was de vorm deze van een afgeplatte bol ('oblate'). Voor een verklaring van deze typische vorm verwijzen we naar Browning (1967). Sommige van de verzamelde stenen vertoonden tevens in beide afgeplatte kanten een duidelijke deuk. Carte and Kidder (1966) omschrijven deze vorm als 'appelvorm'. De opname in figuur 10e laat duidelijk zo'n structuur zien.

De doorsnede in figuur 10c toont een mooi voorbeeld van een bijna concentrische hagelsteen. De lobstructuur, hier herkenbaar aan de radiale grote luchtballen tussen de verder slecht zichtbare lobbs, begon hier pas na enige tijd (buiten de donkere concentrische ring). De luchtballen tussen de lobbs zijn een typisch verschijnsel bij hagelstenen.

Figuur 10d toont een mooie opname van een meer afgeplatte hagelsteen met een diameter van circa 6 cm. Het hagelembryo is hierop duidelijk te zien en verder ook de radiale luchtballen en lobstructuur. Merk op dat de ringen soms bestaan uit een verzameling van enkele zeer fijne ringen. Wie dus goed kijkt naar dergelijke stenen kan gemakkelijk 20 tot 30 afzonderlijke

groeilagen onderscheiden wat reeds een aanwijzing is dat deze lagen niet enkel de op- en neerwaartse beweging van de hagelsteen in de wolk weerspiegelen.

Figuur 10e toont opnieuw een hagelsteen van ruim 8 cm, gevonden bij Verrebroek. Let opnieuw op de typische 'appelvorm'. Figuur 10f toont de bijhorende doorsnede in gewoon licht waardoor de ringen met luchtballen nu wit zijn. Naast het groot aantal ringen is hier verder het hagelembryo erg goed te zien. Er zijn verschillende soorten embryo's mogelijk, gaande van korrelhagel, regendruppel, ijskristal,...en zelfs insecten (Knight and Knight, 1978). Het exemplaar hier toont een schoolvoorbeeld van een korrelhagel embryo met typisch conische vorm. Daardoor groeide de hagelsteen oorspronkelijk slechts aan één kant aan. In een later stadium werd de aangroei opnieuw uniform.

Figuur 10g ten slotte toont een detailopname van een doorsnede, ingezoomd op de lobstructuur. Hierop zijn de afzonderlijke lobben duidelijk te zien, alsook de soms erg fijne groeiringen. Ook is goed te zien dat de lobben doorheen de groeikernen verder lopen. Ook de luchtballen tussen de lobben zijn goed

zichtbaar.

### Conclusies

In dit artikel bespraken we een unieke onweersituatie waarbij achtereenvolgens een krachtige *supercell* en een goed ontwikkelde *squall line* over België en Nederland trokken.

Er werden hagelstenen waargenomen tot bijna 10 cm in België en de hier gepubliceerde hageldoorsneden tonen enkele typische kenmerken welke in de literatuur terug te vinden zijn. Een nauwgezette mesoanalyse bij de *squall line* bevestigt eveneens enkele typische drukverschijnselen en tenslotte vermoeden we dat er een verband bestaat tussen de kracht en persistentie van de *supercell* en de zeer snel volgende *squall line*. Op basis van de radarbeelden ten slotte bestaat het vermoeden dat de *supercell* een hybride vorm was.

*Graag danken wij F. Deboosere voor zijn oproep in het VRT-weerbericht tot het publiek om hagelgegevens naar ons door te sturen. Dank ook aan Y. Steenssens en K. Serverius voor het afstaan van de verzamelde hagelstenen en aan alle mensen die ons data over de hagel hebben toegestuurd, aan Adjt. J. Vanderkerken voor het opstellen van de analysekaarten, aan M. Reyniers voor het aanbrenge van afb. 6, N. Clerbaux voor het aanbrenge van satellietgegevens en aan L. Debontridder voor het verschaffen van gegevens aangaande hageldata.*

### Literatuur

- Adams-Selin R. D., R. H. Johnson, 2009: Mesoscale Surface Pressure and Temperature Features Associated with Bow Echoes. *Mon. Wea. Rev.*, early online release.
- Browning, K.A., 1966: The Lobe Structure of Giant Hailstones. *Q.J.R. Met. Soc.*, **92**, 1-14.
- Browning, K.A., J.G.D. Beimers, 1967: The Oblateness of Large Hailstones. *J. Appl. Met.*, **6**, 1075-1081.
- Carte, A.E., Kidder R.E.; 1966: Transvaal Hailstones. *Q.J.R. Met. Soc.*, **92**, 382-391.
- Goyer, G. G., W. E. Howell, V. J. Schaefer, R. A. Schleusener, & P. Squires, 1966: Project Hailswath. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **47**, 805-809.
- Groenland, R., 2007: Enkele moderne inzichten in tornado-genesis. *Meteorologica*, **16-4**, 4-9.
- Haertel P.T., Johnson R.H., 2000: The linear dynamics of squall line mesohighs and wake lows. *J. Atmos. Sci.*, **57**, p93-107.
- Johns, R. H., W. D. Hirt, 1987: Derechos: widespread convectively induced windstorms. *Wea. Forecasting*, **2**, 32-49.

## Begrippenlijst

**Bow echo.** Een bui of cluster van buien neemt soms een boogvorm aan, doorgaans veroorzaakt door de interne stroming van de bui en buiencluster (rear inflow jet).

**Mesoscale convective system (MCS).** Een cluster van onweersbuien, met op de IR satellietbeelden een wolkendek met  $T < -45^{\circ}\text{C}$  en een grootte van 10.000 km<sup>2</sup> dat op zijn minst 3 uur gehandhaafd blijft. Daarnaast een stratiform neerslaggebied.

**Mesoscale convective vortex (MCV).** Een cyclonale rotatie op middelhoog niveau in het stratiforme neerslaggebied van een MCS. De oorsprong is complex en van thermodynamische aard.

**Onweersneus.** Tijdens het vallen van neerslag onder een convectief regengebied stijgt de luchtdruk aan de grond doorgaans abrupt om na de neerslag snel weer tot de beginwaarde te dalen. Deze luchtdrukpiek (in het barogram: 'onweersneus') wordt veroorzaakt door de vallende koelere en dus zwaardere lucht uit de buienwolk.

**Pendant echo.** Een patroon op de radarbeelden welke soms te zien is bij, doorgaans dynamisch actieve, onweercellen (net als de hook echo). Deze echo is te herkennen als een 'aanhangel' aan een buiencel.

**Rear inflow jet (RIJ).** Vaak aan de achterzijde van een squall line op middelhoog niveau; wordt gegenereerd door een drukgradiënt die ontstaat bij achterover hellende buienlijnen, tussen de hellende stijgstroom en het onderliggende neerslaggebied. Wanneer de RIJ naar beneden duikt en de grond bereikt kunnen hevige windstoten ontstaan.

**SB-CAPE.** Convective Available Potential Energy berekend vanaf grondniveau: Surface Based.

**Spaanse pluim.** In West-Europa als met een ZW hoogtestroming in de grenslaag vochtige en warme lucht naar het noorden wordt gestuwd waarbij hoge theta-e waarden worden waargenomen ( $> 55^{\circ}\text{C}$ ), die bijdragen aan de opbouw van een hoge potentiële onstabieleit. Doordat de luchtmassa van over het zeer droge en warme Iberisch plateau komt, wordt de pluim gekenmerkt door een goed gemengde en aan de basis droge luchtlaag op middelbaar niveau. Deze warme luchtlaag heeft een sterk onderdrukkende werking voor convectie waardoor enkel sterke triggers zoals fronten en krachtige convergentiegebieden in staat zijn convectie te genereren.

**Squall line.** Min of meer lijnvormige onweersclusters. Squall lines worden dikwijls vergezeld van een lijnvormig en goed gestructureerd windstotenfront aan

de voorzijde.

**Storm relative helicity (SRH).** Bij voldoende verticale windscheuring (snelheid en richting) ontstaan er horizontale vorticietsrollen die bij de stijgstroom van een onweersbui verticaal gekanteld worden. Hierdoor ontstaat er een verticaal vorticietsmaximum in de stijgstroom van de bui waardoor de bui tot een supercell kan uitgroeien.

**Theta-e.** De equivalente potentiële temperatuur. Wordt doorgaans gegeven voor het 850 hPa niveau. Hoge theta-e waarden geven aan dat het luchtpakketje initieel zowel vochtig als warm is. Het voorkomen van grote onweerscomplexen (MCS) is zeer sterk gekoppeld aan gebieden met hoge theta-e waarden in de grenslaag en op 850 hPa.

**Weak echo region.** Krachtige stijgstromen bij onweersbuien zorgen er soms voor dat de neerslag in deze stijgstroom naar de hogere gebieden wordt gevoerd, met als gevolg dat op de radarbeelden met lage elevatie in dat gebied nauwelijks reflectie plaatsvindt. Komt vooral bij supercells voor.

Knight, C.A., Knight N.C., 1970: Lobe Structures of Hailstones. *J. Atmos. Sci.*, **27**, 667–671.

Knight, C.A., Knight N.C., 1978: Some Observations on Foreign Material in Hailstones. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **59**, 282–286.

Knight, N. C., 1981: The climatology of hailstone embryos. *J. Appl. Met.*, **20**, 750–755.

Knight, C.A., Knight N.C., 2005: Very Large Hailstones From Aurora, Nebraska. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, 1773–1781.

Ludlam, F.H., 1958: The hail problem, *Nubila*, **1**, 12-96.

Nelson, S. P., 1987: The Hybrid Multicellular-Supercellular Storm – an Efficient Hail Producer. Part II: General Characteristics and Implications for Hail Growth. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 2060–2073.

Nelson, S.P., N.C. Knight, 1987: The hybrid multicellular-supercellular storm—an efficient hail producer. Part I: An archetypal example. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 2042–2059.

Terpstra, E., 2000: Tornadogenese bij supercells. *Meteorologica*, **9-4**, 27–29.

### Internetbronnen

[1] [http://www.weerwoord.be/includes/forum\\_read.php?id=610442&tid=610442&exp=1](http://www.weerwoord.be/includes/forum_read.php?id=610442&tid=610442&exp=1).

[2] European Severe Weather Database. <http://www.essl.org/ESWVD/>

[3] WESOLEK, E. MAHIEU P.; <http://www.keraunos.org/bilan-orages-france-20090525.pdf>.

[4] [http://www.crh.noaa.gov/fsd/?n=hail2007aug21\\_dante](http://www.crh.noaa.gov/fsd/?n=hail2007aug21_dante).

## Korte berichten

### Geert Groen webmaster af

Het opzetten van een website is meestal het leukste werk: je kunt nadenken over doel, inhoud, lay-out, figuren etc. Vervolgens kan je je creativiteit botvieren om er iets moois van te maken. Daarna echter komt het vervelende werk: het up-to-date houden van de website. Op gezette tijden nieuw materiaal toevoegen en oude zaken verwijderen. Dit is hard nodig want een statische website wordt na enige tijd door niemand meer bezocht. In beide taken, maar vooral de laatste, liet Geert Groen (foto) zien dat hij een kei



is. De vereniging ziet hem dan ook met lede ogen afscheid nemen als webmaster van de NVBM website ([www.nvbm.nl](http://www.nvbm.nl)). Maar na meer dan 10 jaar vond Geert dat hij het stokje wel eens aan een ander over kon geven. Degene die het van Geert gaat overnemen is Rob Groenland (KNMI). De vereniging is Geert veel dank verschuldigd voor de uitstekende en voortvarende wijze waarop hij vanaf het begin de website heeft onderhouden. Wij wensen zijn opvolger Rob veel succes toe.