

Supercelle gav voldsom tornado i Nordtyskland

Af Danny Høgsholt,
meteorolog, TV 2 Vejret

Den 5. maj 2015 blev både Tyskland og Danmark ramt af kraftige tordenbyger med skybrud og kæmpehagl, men hos vores naboer mod syd blev uvejret tillagt en ekstra spektakulær dimension, da flere tornadoer tidligt om aftenen dannedes i Nordtyskland - ikke langt fra Danmark. Én af disse tornadoer var usædvanlig kraftig og ramte byen Bützow lidt syd for Rostock.

Tornadoerne over Nordtyskland var ikke blot uskadelige sky-pumper, som vi også undertiden ser herhjemme, men altså egentlige tornadoer, der selv i USA's berømte 'Tornado Alley' uden tvivl ville have imponeret og skabt både frygt og fascination.

Klassiske tornadoer opstår i forbindelse med de såkaldte superceller - den voldsomste og mest imponerende form for tordenbyge, kloden kan præstere, og uden at gå detaljeret ind i dannelsen af superceller og tornadoer, så kan ingredienserne i opskriften til dannelsen af en tornado i grove træk listes op som følger:

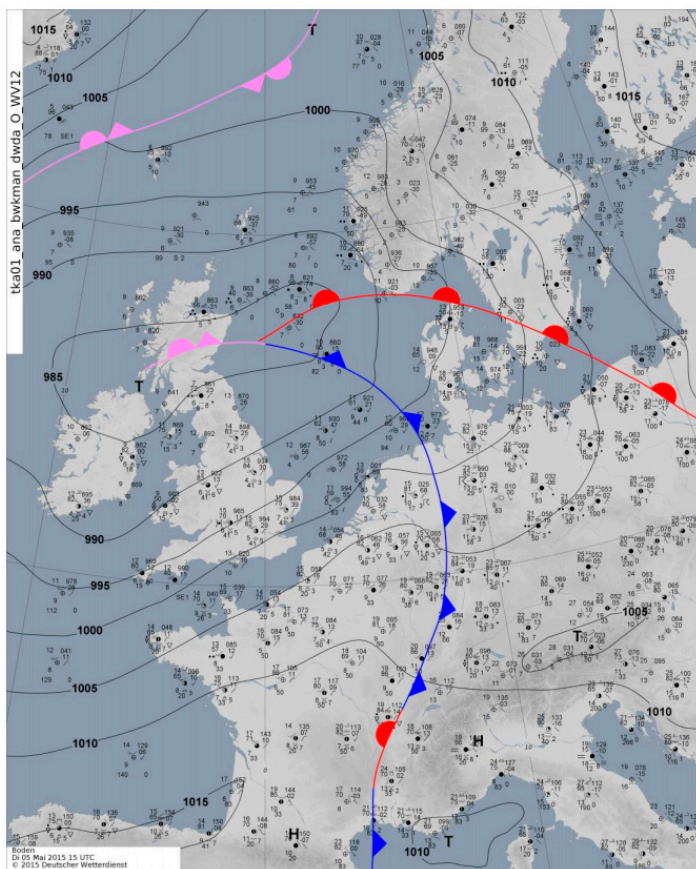
- Atmosfærisk instabilitet (CAPE)
- Kraftigt windshear i både retning og hastighed
- Stor relativ luftfugtighed (lave skybaser)

Vejrsituationen den 5. maj 2015

Den synoptiske situation på dagen lignede ethvert andet typisk 'uvejrs-setup' i Mellemeuropa (figur 1). Et lavtryk over De Britiske Øer sender et frontsyste

grader sidst på eftermiddagen. Dugpunktstemperaturerne er med 16-17 grader i det nordøstlige Tyskland også ganske høje, hvilket giver anledning til en høj relativ luftfugtighed.

Satellitbilledet over Nordtyskland (figur 2) viser først varmfronten med udbredt let nedbør over Østtyskland kl. 13.00. Over det østlige Holland er der dog allerede på dette tidlige tidspunkt



Figur 1. Frontanalyse den 5. maj 2015 kl. 15Z. Kilde: DWD.

af dagen gang i dyb konvektion umiddelbart på forkanten af koldfronten, der giver anledning til tordenbyger, som på vej tværs over Nordtyskland kun bliver flere og kraftigere, som dagen går, og til sidst udvikler sig til dét, der mest af alt minder om en squall-line. Linjen rammer sent om eftermiddagen det nordøstlige Tyskland med de stærkeste radarekkoer i Mecklenburg-Vorpommern – delstaten, hvori Bützow ligger.

Linjen er meget intens, og da den rammer Hamburg kort efter kl. 17.00Z (figur 3) er det med vindstød af orkanstyrke på 35,8 m/s (129 km/t), et temperatur-

fald på godt 10 grader og et skybrud, der på 30 minutter mellem kl. 17.10 og 17.40 kaster hele 19 mm regn af sig. Det er dog først et par timer senere og længere mod øst, at det virkelig interessante udfolder sig. Her udvikles nemlig en regulær supercelle på forsiden af den østgående squall-line.

Mesoskala-vejrforhold i Nordøsttyskland om aftenen

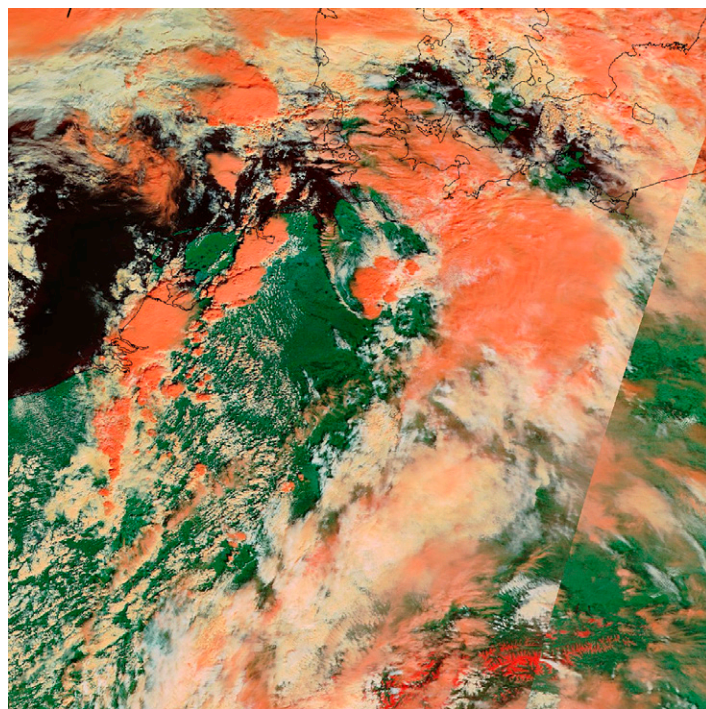
For at bedømme tornado-risikoen i forbindelse med superceller - og i øvrigt forudsige dannelsen af superceller i både rum og tid - er det vigtigt at kende de lokale vejrforhold og atmosfærens tilstand.

Til det formål findes konstante observationer af vejrforholdene ved jordoverfladen i et relativt tæt netværk, mens forholdene op igennem atmosfæren oftest bestemmes ved hjælp af opsendelse af vejrballoner et par gange i døgnet.

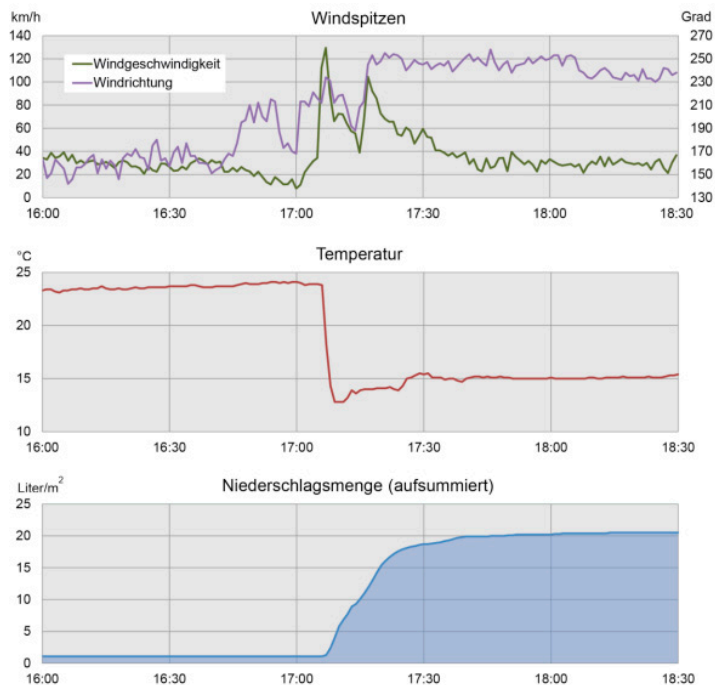
Tættest på Bützow ca. 21 km mod østnordøst findes målestationen i Rostock Lufthavn ved byen Laage, som må antages at være repræsentativ for forholdene i Bützow på den skæbnesvangre aften. Det nærmeste sted for opsendelse af vejrballoner findes i Greifswald ved Østersø-kysten ca. 95 km østnordøst for Bützow, men der er grund til at tro, at nærheden af havet påvirker navnlig temperaturen ved jordoverfladen og deraf den potentielle instabilitet, hvorfor dette må tages med i diskussionen. Ca. 170 km sydvest for Bützow ligger radiosonde-stationen Bergen, som kl. 12UTC (kl. 14 sommertid), hvor vejrballonerne sendes op, netop er på vej ind i frontsystemets varmsektor, som senere på dagen også inkluderer Bützow. Radiosonderingerne fra de to steder fra den 5. maj 2015 kl. 14.00 er vist i figur 4.

Radiosonderingen fra Bergen repræsenterer dog ikke fuldstændig situationen generelt i varmsektoren, da der netop ved opsendelsen befandt sig byger i dette område (se igen figur 2). Temperatur og dugpunkt ved overfladen ligger på 18/17, mens målestationen i Celle ca. 20 km mod syd til samme tidspunkt havde 22/16.

Indsætter man 22/16 i sonderingen for Bergen bliver det også tydeligt, at CAPE-værdierne stiger fra omkring 200 J/



Figur 2. Satellitbillede af det nordlige Mellemeuropa den 5. maj 2015 kl. 13.00. Den nordtyske og hollandske Nordsø-kyst ses midt i billedet lidt til venstre. Varmfronten strækker sig ned over Øerne i Danmark og videre til det østlige Tyskland, mens kraftige tordenbyger er ved at dannes over Holland og Nordvesttyskland på vej mod øst. Der er til dels klart vejr i varmsektoren over det centrale Tyskland, hvorved en markant destabilisering af atmosfæren er i gang som følge af solindstrålingen. Billedet er et Modis billede fra Terra. Det er i falske farver (kanal 3-6-7), der giver iskrytaller røde og derved sætter bl.a. cumulonimbus i relief. Kilde: NASA.



Figur 3. Observationer af hhv. vindretning og vindstød, temperatur og akkumuleret nedbør ved målestationen Hamburg-St. Pauli den 5. maj 2015 kl. 16.00-18.30. Kilde: DWD.

kg til sandsynligvis nær 500 J/kg - blandt andet takket være den nærmest tøradiabte temperaturprofil, der strækker sig helt op til ca. 750hPa. Årsagen hertil er formentlig til dels et 'elevated

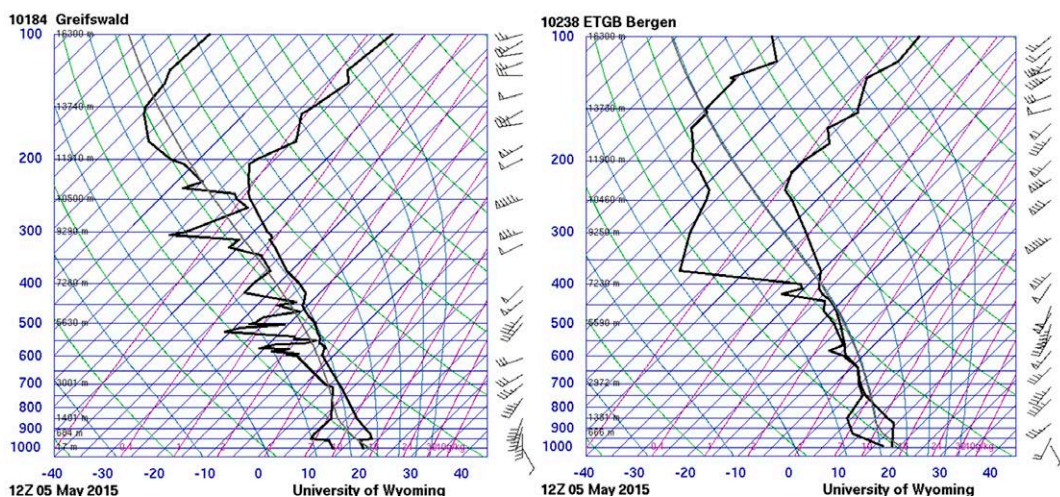
mixed layer' stammende fra Det Iberiske Plateau, som i varmsektoren er advekeret op over Mellem Europa. Det er ofte afgørende for udviklingen af høj CAPE over Mellem Europa, ligesom plateau-

erne over det vestlige Texas og New Mexico er det for forholdene i Tornado Alley i USA - her dog ofte på noget større skala. Jeg vil ikke gå ind i en yderligere diskussion om disse forhold, men blot konstatere eksistensen af de tøradiabte forhold op til mellemhøjt niveau.

Supercellen dannes og tornadoen rammer

Den nødvendige potentielle instabilitet er uden tvivl til stede for dyb konvektion, der ikke mindst udløses af et øvre trug og stærk positiv vorticity advektion i blandt andet 300 hPa-fladen (figur 5). Derfor er den sidste afgørende faktor, der skal være tilstede for at få en roterende opdrift og dermed en supercelle, et kraftigt windshear i både retning og hastighed - og det er til stede i endog rigelig grad.

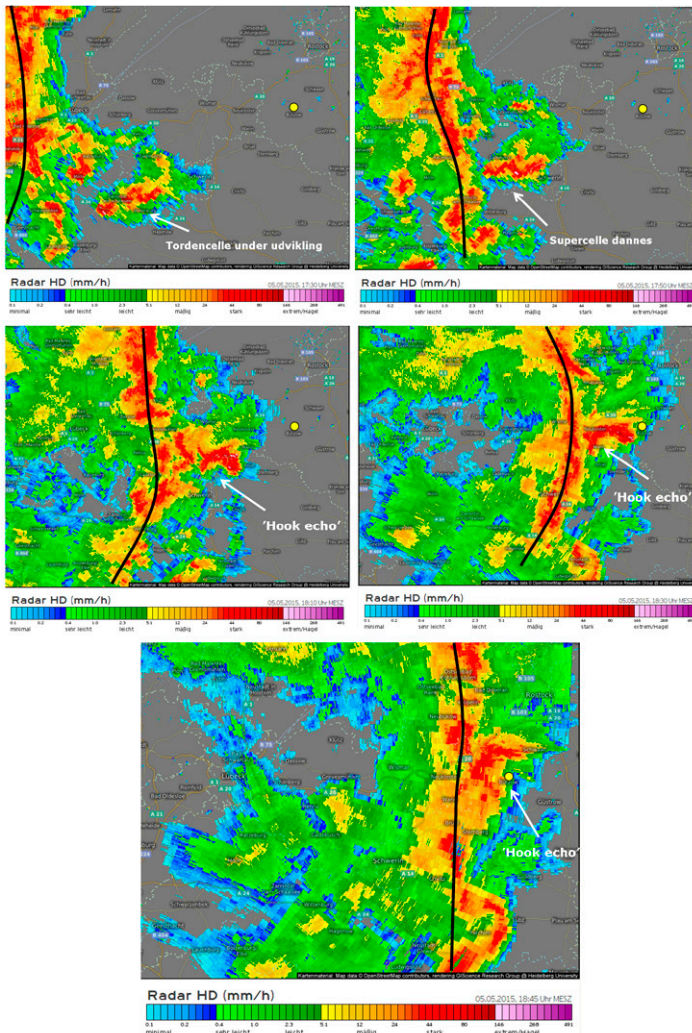
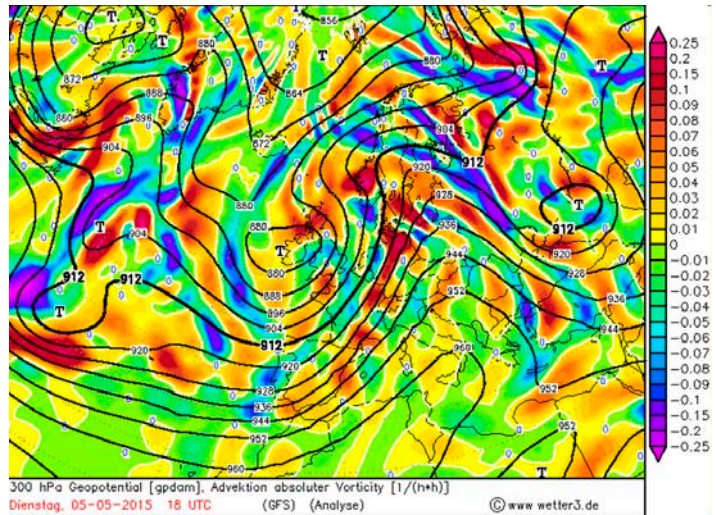
Bemærk vindprofilen fra Greifswald (og se ellers i øvrigt bort fra de termodynamiske forhold) der viser et imponerende windshear i både retning og hastighed. I de nederste tre kilometer veerer



Figur 4. Termodynamiske profiler fra radiosondestationerne ved Greifswald og Bergentaget den 5. maj 2015 kl. 14.00. Bemærk især det markante windshear i den nederste del af atmosfæren over Greifswald. Kilde: University of Wyoming.

Figur 5. Analyse af den geopotentielle højde af 300 hPa-fladen og advektionen af absolut vorticitet over Europa den 5. maj 2015 kl. 20.00. Kilde: wetter3.de.

vinden med omkring 100 grader og specielt i den nederste kilometer af atmosfæren er der tale om et forbilledligt windshear. Mens vinden ved overfladen er sydøstlig med ca. 5 m/s, så er den i blot ca. 1000 meters højde syd-sydvestlig med ca. 22 m/s. Denne forskel er med til at danne en solid, roterende opdrift i den



tordenbyge, der er blevet dannet foran den østgående squall-line, hvorfor tordenbygen gradvist antager supercelle-karakteristika - ikke mindst ud fra radarbillederne at bedømme.

Mens cellen endnu ligner en 'almindelig' tordencelle kl. 17.30 (figur 6), så begynder den frem mod kl. 18.10 nord for Schwerin at antage den velkendte 'kidney bean'-form, som er helt klassisk for superceller (figur 7). Formen opstår som følge af det kraftige windshear, hvor nedbørområdet 'kroger' sig rundt om selve det lille lavtryk, som supercellen indeholder - den såkaldte mesocyclon.

Lige for enden af 'krogen' - eller det, der også benævnes 'the hook echo' - er dér, hvor de kraftige nedadrettede vinde fra den bageste del af supercellen

Figur 6. Radarbilleder af det nordøstlige Tyskland hhv. kl. 17.30, kl. 17.50, kl. 18.10, kl. 18.30 og kl. 18.45. Bützow er markeret med en gul prik og supercellens position med en hvid pil. Den sorte linje angiver den omtrentlige position af den østgående squall-line. Kilde: kachelmannwetter.com.

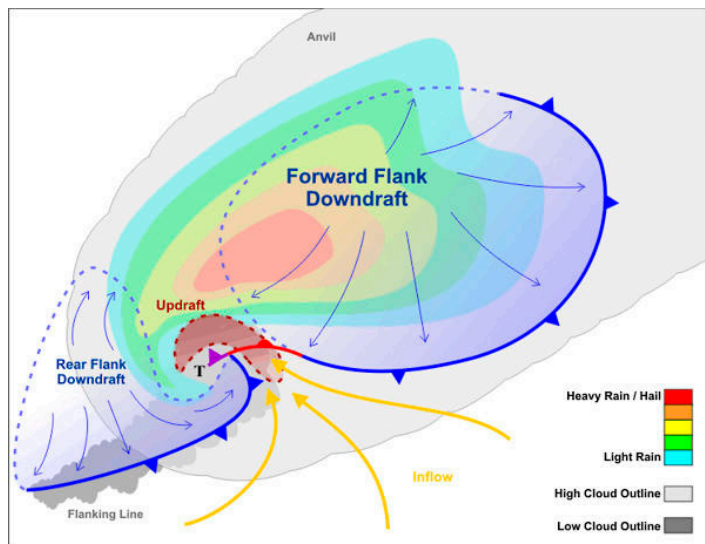
(rear flank downdraft eller RFD) møder opdriften i det nedbørfrie område tæt på supercellens kerne. Det er hér at en tornado kan opstå - og altså også gør det denne aften i det nordøstlige Tyskland (se figur 8).

'The hook echo' er tydeligt nær byen Warin på radarbilledet fra kl. 18.30. På det tidspunkt er supercellens forreste flanke med nedbør ved at nærme sig Bützow. Afstanden fra Warin til Bützow er ca. 17 km, hvilket fortæller noget om supercellens relativt begrænsede omfang i forhold til den bagvedliggende squall-line, som er over 200 km lang.

Kl. 18.45 passerer 'the hook echo' direkte ind over Bützow, som på dette tidspunkt rammes af tornadoen. Det er få minutter før supercellen bliver absorberet i squall-linen og tornado-risikoen dermed falder markant.

Tornadoen rammer byen, der huser omkring 7600 indbyggere, hårdt. Enkelte bygninger bliver tæt på jævnet med jorden, og der berettes om biler, der kastes op mod 70 meter igennem luften (se figur 9). Tornadoen vurderes til at have en styrke i kategori F3 på den originale Fujita-skala, der går fra F0 til F5. Det betyder, at vindhastighederne i tornadoen angiveligt har været oppe mellem 75 og 90 km/t. De voldsomste ødelæggelser er formentlig sket i forbindelse med såkaldte 'sub vorticies'- mindre, kortlivede tornadoer, der med voldsom kraft roterer omkring den primære tornado.

Tornadoen er blot én af fire, der bekræftes over det nordlige Tyskland dén dag. Tre andre tornadoer observeres nær Gross Laasch, Brüel og Ahrensboek



Figur 7. Idealiseret fremstilling af strukturen af en supercelle. Tornadoer kan dannes under mesocyklonen i centrum af uvejret, hvor nedadrettede vinde fra rear flank downdraft'en mødes med opstigende luft fra inflow'et.

med styrkerne henholdsvis F2, F1 og F1. Mens tornadoen ved Gross Laasch, som ligger ca. 30 km syd-sydøst for Schwerin, sandsynligvis har været en isoleret hændelse i forbindelse med lokal rotation i squall-linen, så stammer tornadoerne i Brüel og Ahrensboek uden tvivl fra den selvsamme supercelle, som ramte Bützow. Brüel ligger kun 4 km syd for Warin (omtalt ovenfor), mens Ahrensboek ligger ca. 11 km vest-sydvest for Brüel, alle således på banen for Bützow-supercellen.

Tornadoer i Europa - og i Danmark?

Selvom tornadoer af denne kaliber er noget vi oftest forbinder med USA, så kommer der også fra Europa flere og flere observationer af egentlige tornadoer - til dels naturligvis, fordi kommunikation og dokumentation med smartphone-kameraer og sociale medier har gjort det hele langt

mere tilgængeligt.

Men tornadoer i Europa er langt fra et sjældent fænomen, og blandt andet i år har vi oplevet flere situationer med tornadoer i Mellemeuropa. Blot en uges tid efter ovenstående tornado i Bützow blev endnu hele seks tornadoer rapporteret den 12. og 13. maj 2015 i den centrale og sydlige del af Tyskland - én af dem igen i kategori F3 i Aichach-Friedberg nord for Augsburg. Generelt dannes der ifølge den tyske vejrtjeneste mellem 30 og 60 tornadoer i Tyskland hvert år. Det skal sættes i relief til de ca. 1200 tornadoer, som opstår i USA - uagtet at landet på den anden side af Atlanten er en del større.

Årets hidtil kraftigste tornado har italienerne dog lagt jord til - tornadoen i Veneto-regionen i det nordøstlige Italien den 8. juli 2015. I forbindelse med en intens supercelle ramte en usædvanlig voldsom tornado byerne Mira og



Figur 8. Tornadoen dannes ikke langt fra Bützow. Foto: Enrico Pangritz.

Dolo på fastlandet kun ca. 14 km vest for Venedig. Tornadoen er umiddelbart blevet kategoriseret som værende EF3 eller EF4 på 'Enhanced Fujita-skala' og kan være den kraftigste dokumenterede tornado på europæisk jord siden en EF4-tornado i Haumont det nordligste Frankrig i 2008.

Tornadoen i Bützow er dog formentlig den kraftigste så tæt på Danmark i mange, mange år, og spørgsmålet melder sig naturligvis, om hvorvidt egentlige tornadoer dannet i superceller i fremtiden kan true Danmark. Der er dog aldrig med sikkerhed til mit kendskab blevet dokumenteret egentlige superceller på dansk grund. Det tætteste vi muligvis kommer på det er det historisk voldsomme tordenvejr, der ramte især Jylland i to omgange den 18. juni 2002. Her blev både Ilskov og Karup i Midtjylland kort efter kl. 18.00 ramt af det, der på tidspunktet blev karakteriseret som 'sjældent kraftige og ødelæggende skypumper', men som ud fra vejr-situationen at bedømme og uvejrets voldsomhed godt kunne ligne egentlige tornadoer. Også denne dag var de termodynamiske forhold nemlig

relativt gunstige for udviklingen af tordenbyger med supercelle-karakteristika i Danmarks nærhed. I *Vejret*, nr. 3 & 4, 24. årgang, oktober 2002 findes dog en dybdegående analyse af uvejret den 18. juni 2002 af Niels Woetmann Nielsen og Leif Rasmussen, hvori der ikke findes sikre tegn på supercelle-strukturer i uvejret dén dag.

I Tyskland ser det ud som om at meteorologerne har øget deres fokus på netop risikoen for tornadoer i forbindelse med vejr-situationer, der er særligt gunstige for kraftige tordenbyger. Her er superceller nemlig noget, man oplever hvert år i større eller min-

dre grad, og selvom kun en lille brøkdel af supercellerne producerer tornadoer, så er de en reel risiko - og måske derfor benyttede den tyske vejrtjeneste, DWD, for første gang den 5. juli i år ordet 'tornadoer' i deres tekststudigt: *Heute Mittag und am Nachmittag gibt es vor allem in Richtung Süden und Osten erneut viel Sonne. Sonst entwickeln sich im weiteren Tagesverlauf vornehmlich in der Nordwesthälfte vermehrt Quellwolken und es muss gebietsweise mit kräftigen Gewittern gerechnet werden, die örtlich auch unwetterartig mit heftigem Starkregen, großem Hagel und Orkanböen ausfallen können. Vereinzelt können auch Tornados nicht ausgeschlossen werden.*

Vil man selv gerne følge med i tornado-risikoen - og risikoen for konvektivt uvejr generelt i Europa - så besøg European Storm Forecast Experiment på www.estofex.org. Her udsender eksperter dagligt 'convective forecasts' på endnu frivilligt basis, der skal hjælpe de nationale vejrtjenester og andre interesserede til bedre at bedømme risikoen for konvektivt uvejr i deres område.



Figur 9. Ødelæggelser efter tornadoen i Bützow. Foto: TV 2 VEJRET / Scanpix.