

TORNADOER OG SKYPUMPER - NATURENS ALLERVILDESTE DANS

I den nederste del af atmosfæren – troposfæren – opstår der hele tiden hvirvler hvor luften roterer omkring en mere eller mindre lodret akse der nedadtil er begrænset af jordoverfladen og opadtil af tropopausen (grænsen mellem troposfæren og stratosfæren). Hvirvlerne kan have meget forskellig størrelser lige fra de store lavtrykssystemer der optræder på vores breddegrader med en udstrækning på op til flere tusind kilometer (“snurrebasser” som en populær tv-meteorolog på trods af størrelsen kaldte dem) og helt ned til de forholdsvis uskyldige støvhvirvler (engelsk *dust devils*) der med

Af John Cappelen

en udstrækning på få meter fejer hen ad marken en sommerdag.

De knap så uskyldige tornadoer og skypumper er med i denne familie af atmosfærehvirvler – de er meget intense, roterende luftøjler der altid udgår fra meget kraftige bygeskyer (fig. 1). De kan have en horisontal skala fra et pænt stykke under 100 m

op til noget over 1 km og en levetid på nogle få minutter til over 1 time. På disse forholdsvis små, horisontale skalaer påvirker Jordens rotation (corioliskraften) ikke hvirvlernes dynamik. De kan derfor rotere med eller mod uret modsat hvirvler på større skala, såsom fx tropiske cykloner der på den nordlige halvkugle pga. corioliskraften kun roterer mod uret.

Der bliver mange steder skelnet skarpt mellem tornadoer og skypumper med udgangspunkt i et noget forskelligt dannelsesforløb, dog uden der på nogen måde sås tvivl om at de er i familie med hinanden. I det efterfølgende vil der ikke blive skelnet mellem dem da de efter alt at dømme er en og samme sag. Lad mig blot slå fast at skypumper af de fleste opfattes som svage tornadoer.

DANNELSEN

For at sætte scenen til en tornado kræves der helt overordnet tre afgørende ingredienser: masser af fugtighed, ustabilitet i atmosfæren og en “udløser” der kan sætte gang i det hele. Disse ingredienser har hver meget vigtige roller i den kæde af dynamiske processer i atmosfæren der som sit sidste led skaber tornadoer og skypumper.

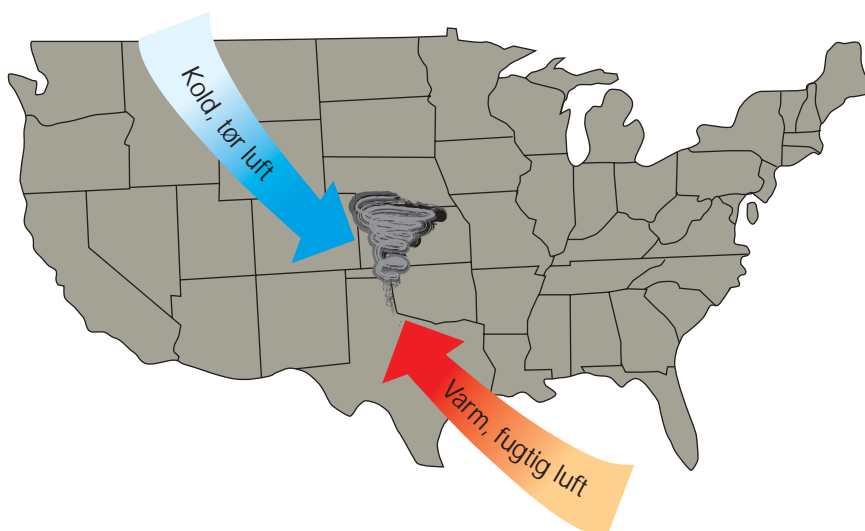
Den overordnede handling er som følger: Allerførst skal der på forholds-



1. Tornadoer optræder gerne i forbindelse med kraftige bygeskyer. Dimmitt Tornadoen, Texas, 2. juni 1995. (H. Richter; NOAA Photo Library/NSSL)



vis stor skala udvikles et “gunstigt” vejrsmønster. Meteorologerne opererer her med begrebet synoptisk skala, dvs. at vejr-situationen kan observeres samtidigt over et forholdsvis stort område, mange hundreder til tusinder af kilometer. Dernæst skal der på en mindre skala opstå et vejrsystem der har potentialet til at producere tornadoer. Dette sker på et såkaldt mesoskala-niveau hvilket er noget der har en så lille skala (fra få km til omkring 100 km) at det gemmer sig i den normale synoptiske skala. Sidste akt er udviklingen af selve tornadoen hvor handlingen tager fart inde i selve mesoskala-vejrsystemet.

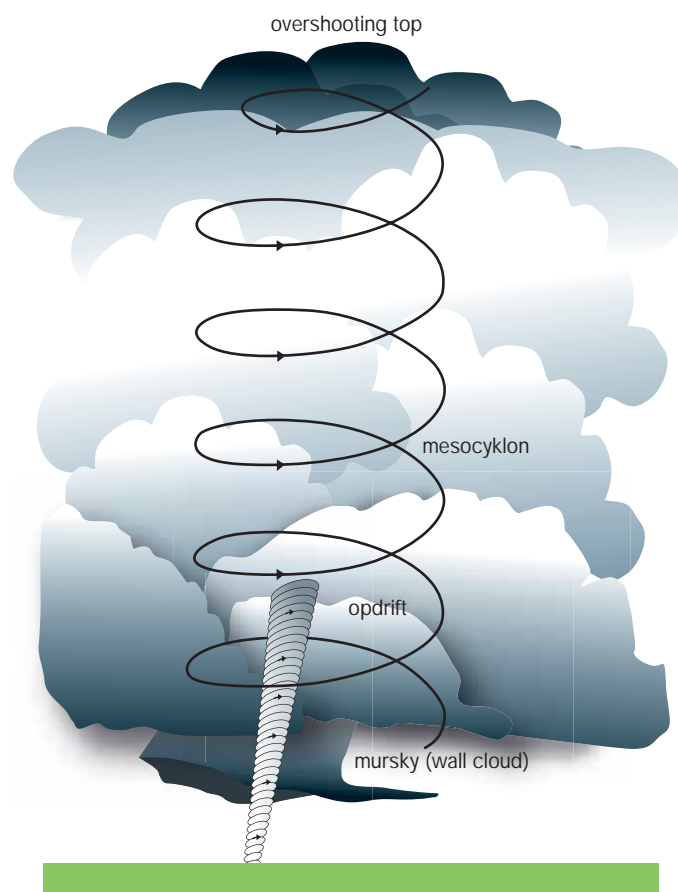


2. Tornado-alley i USA.

1. akt – vejret på stor skala

Vejrforholdene på storskala behøver ikke som mange nok tror være af særlig “dramatisk” natur, bare fordi det ender eksplosivt. Det helt afgørende i denne fase er at atmosfæren bliver potentielt ustabil (af meteorologer kaldet potentielt instabil). Scenen er nemlig dermed sat således at en efterfølgende udløsning af den ustabile tilstand i form af “tvungen” løftning af luften nær jordoverfladen, kan udløse dannelse af bygeskyer der kan nå langt op i atmosfæren.

Scenen kunne fx udspilles i det centrale USA hvor arktisk, tør luft tidligt på foråret i forbindelse med dybe lavtryk føres mod sydøst af Rocky Mountains og støder sammen med maritim, varmere og fugtig tropisk luft der strømmer mod nord fra den Mexicanske Golf. I dette område trænger den tørre luft så at sige ind over det varmere og fugtigere bundlag. Dette er til dels også favoriseret af at luften strømmer ind fra et højere plateau. Nogle af ingredienserne til at



3. Skitse af mesocyclon og tornado i en bygesky. Her ses mesocyclonens udstrækning fra skyens bund til toppen i den kraftige opdrift, der ligefrem “buler” op som omtalt i teksten. Det kaldes også for en “overshooting top” i fagsproget. Det ses også at selve tornadoen formes inde i mesocyclonen som en hvirvel der ved udstrækning bliver kraftigere og kraftigere.



Der er mange sejlivede myter når snakken falder på tornadoer. Her er et par stykker:

Myte: Områder nær floder, søer og bjerge er sikre steder mht. tornadoer.

Fakta: Ingen steder er sikre for tornadoer. Sidst i 80'erne trak en tornado et ødelæggende spor op og ned af et 3.000 m højt bjerg i Yellowstone Nationalpark i USA.

Myte: Det lave tryk i forbindelse med en tornado får bogstaveligt talt en bygning til at "eksplodere" når tornadoen pga. den store trykfor-skel passerer over en lille afstand.

Fakta: Det er det stærke vindtryk og det materiale der flyver rundt der forårsager mest skade.

Myte: Vinduer i huset skal åbnes når tornadoen er på vej fordi så udlignes trykket og skaden minimeres.

Fakta: Hvis vinduerne åbnes så tillader man de meget skadelige vinde adgang til husets indre med deraf følgende mulige ødelæggelser. Lad dem være og søg omgående mod et beskyttet sted!

Myte: Ved en tornadopassage er den sydvestlige del af huset det sikreste.

Fakta: Det er noget vrøvl, en tornado kan ramme alle dele af bygningen lige meget. Det sikreste sted er det mest centrale i huset helst badeværelset eller et klædeskab. Det absolut bedste er en kælder og det er helt sikkert at et beskyttelsesrum øger sikkerheden betragteligt. Nogle af de værste steder er rum med ydermure, og hvis de tilmed er store og med mange vinduer kan det gå helt galt.

Myte: Hvis du gemmer dig under fx vejbroer yder det god beskyttelse.

Fakta: Et TV-hold fik i Kansas i 1991 fantastiske billeder i "kassen" da de overlevede en tornadopassage gemt under en vejbro. Det har fået mange til at tro at det er sikkert at søge ly der. I virkeligheden bliver vindhastigheden næsten altid meget kraftigere under broer, pga. kanalisering af vinden. Det kaldes venturi-effekten. Man har senere fundet ud af at TV-holdet var ekstremt heldige da tornadoen ikke passerede direkte over broen, men lige syd for den og derfor blev de udsat for svagere vinde.

BOKS 1: MYTER OG FAKTA OM TORNAOER

skabe særlig ustabile atmosfæriske betingelser som i høj grad favoriserer udviklingen af kraftige byge- og tordensystemer, er derved til stede.

Prærien eller "The Great Plains", som det centrale USA også hedder, er det sted hvor denne handling udspilles. Det er det sted på Jorden hvor alle

disse ingredienser bringes sammen på en måde så chancerne for dannelse af tornadoer er maksimale. Det er det sted på Jorden hvor der produceres flest tornadoer, og området kaldes derfor meget naturligt "Tornado Alley" eller tornadoernes motorvej (fig. 2).

2. akt – mesoskala-fænomener

Udløsningen af den beskrevne atmosfæriske ustabilitet og det derved resulterende "løft" af luft, også kaldet konvektion, spiller en central og meget vigtig rolle i det fortsatte forløb hvor de forskellige tornado-producerende mesoskala-fænomener har hovedrollen. De er nævnt i flertal fordi der er flere forskellige vejrfænomener på denne skala der er i stand til at producere tornadoer.

Der kan i flæng nævnes enkelt og flercellede tordenbyger der ikke er forbundet med frontsystemer, men også tordenbyger der dannes i forbindelse med koldfronter, og som næres af fronten der er rig på fugt, løft og ustabilitet. Men også såkaldte konvergenslinier, hvor vinde i et område med en ustabil luftmasse blæser mod hinanden (konvergerer), er ofte "skurken", ligesom den meget heftige tordenbygeaktivitet i forbindelse med tropiske orkaner ofte producerer mange tornadoer (som om den tropiske orkans øvrige kraftige vinde ikke er nok). En særlig farlig medspiller er de usædvanlige kraftige selvvedligeholdende tordenbyger der er kendt under navnet *superceller*.

Den helt afgørende proces her i 2. akt er som nævnt konvektionen der er kendetegnet af en opadgående bevægelse af luft i ustabile omgivelser. Scenariet er at luftmassen ved overfladen er varm og fugtig, samtidig med at luftmassen er relativt tør højere oppe i atmosfæren. Når luften stiger fortættes den derfor til skyer, og det forstærker yderligere opstigningen der under de rette betingelser først bremses ved tropopausen i ca. 15 km højde.

I det følgende vil handlingen komme til at foregå i to forskellige miljøer der så at sige repræsenterer nogle yderpunk-

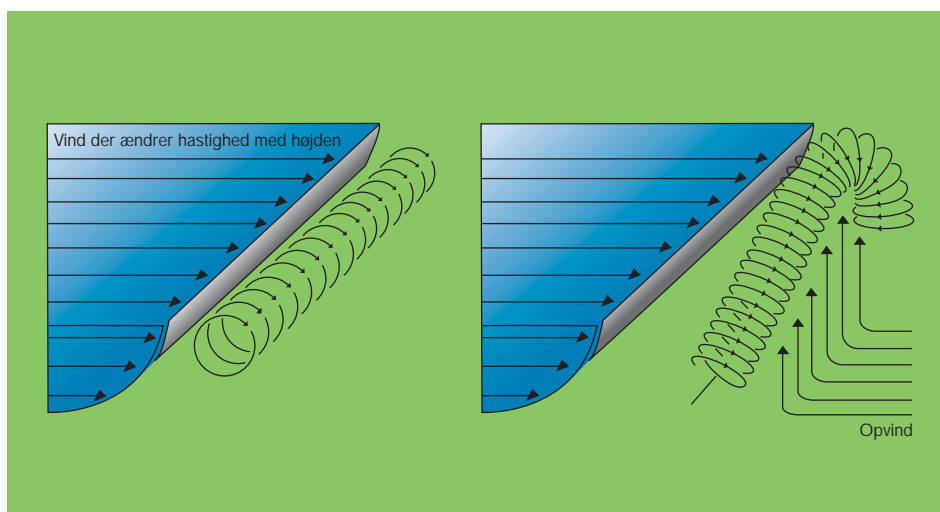


ter af mesoskala-fænomenerne når det gælder produktionen af tornadoer, nemlig supercellestorme og konvergenslinier. Det første fænomen er skyld i de kraftigste tornadoer på Jorden, dem som mest kendes fra USA, mens det andet formentlig producerer langt de fleste tornadoer og skypumper i Europa, også i Danmark.

2. akt fortsat – superceller

Erfaringsmæssigt ved man at de voldsomste tornadoer optræder i forbindelse med såkaldte supercellestorme. Tag igen eksemplet fra USA hvor der i forbindelse med et dybt lavtryk føres relativ tør og kold luft fra nord sammen med varmere og fugtig luft fra syd. Den tørre luft ligger over den varmere og mere fugtige. Grænselaget mellem de to luftmasser kan til tider tilmed fungere som et ekstra “læg” der så at sige hjælper med til at forhindre udløsningen af ustabiliteten.

I denne højeksplosive ustabilitetscocktail kan spændingen i forbindelse med opvarmning af luftmassen ved jordoverfladen hurtigt tage fart. Ustabiliteten udløses så at sige, og den resulterende konvektion danner kraftige tordenbyger der på de store amerikanske prærier kan udvikle sig til regulære supercellestorme. Disse er usædvanlig voldsomme og selv-vedligeholdende. De kan have en levetid på adskillige timer fordi opdriften ikke, som i en ordinær tordenbyge, ødelægges af neddriften. De vokser højt op i atmosfæren, oftest helt op til tropopausen i ca. 15 km højde. Opvindene i opdriftsområdet (engelsk *updraft*) vil være så stærke at de endda oftest “buler” op i den overliggende stratosfære (fig. 3). I denne såkaldte “overshooting top” kan skytoppens tempe-



4. Vipning af horisontal luftrotation til lodret sker i supercellens stærke opdriftsområde. Det er grundlaget for supercellens roterende mesocyklon.

ratur nå ned på $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller koldere. Supercellen vil også være karakteriseret af et tydeligt neddriftsområde (engelsk *downdraft*) klart adskilt fra opvindsområdet. Supercellerne er i høj grad karakteriseret af en roterende, kraftig opdrift i opvindsområdet der kaldes mesocyklonen (boks 2). Vindens ændring med højden, også kaldet lodret *windshear*, skaber et vandret rotere-

rende “rør” af luft der ved vipning i det stærke opdriftsområde i skyen er grundlaget for mesocyklonen – en lodret roterende bevægelse mod uret i hele skysystemet (fig. 4). Figuren viser at der faktisk i processen kan skabes to mesocykloner med modsat rotation. Som regel er det kun den ene del af den vippede rotation (modsat uret, den forreste i fig. 4) som er “levedygtig”.

Et indtryk af den meget kraftige opdrift i en supercellestorm får man når man hører mærkelige rapporter om “regn” af alt andet end vand oven fra. Opdriften kan være så kraftig at den suger en del ting og sager op på sin vej henover jordoverfladen, og efterfølgende bærer dem hundrede af kilometer. Der er rap-

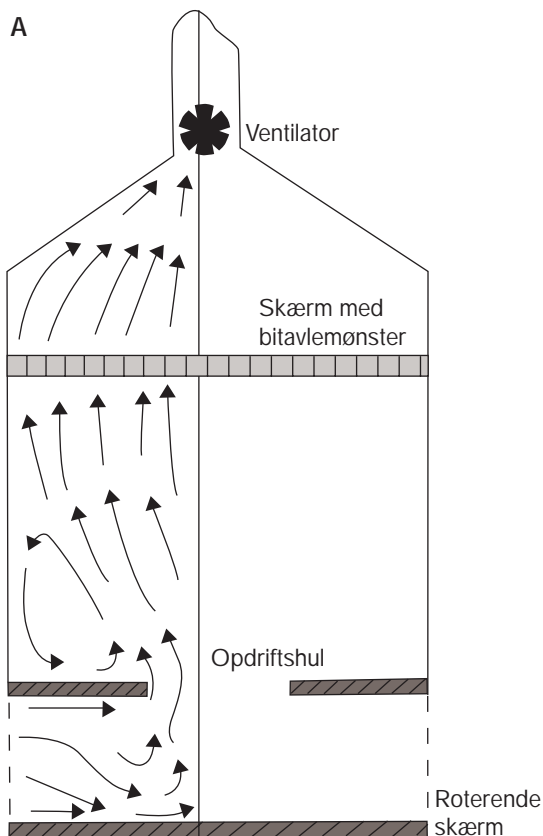
porter om at små damme og søer er suget næsten fri for vand med både frøer, fisk og andet indhold i. Dette “regner” så ned et andet sted. Når det drejer sig om frøer fristes man til at kalde det “froggy weather”. Der er rapporter om “regn” med frøer, frøæg, fisk, rejer, snegle, muslinger, ja sågar gæs og levende slanger!

BOKS 2: DET KAN REGNE MED FRØER OG FISK





5. En tornado med en flot tragt sky i et tidligt stadium af udviklingen. Det er faktisk den første tornado National Severe Storms Laboratory fangede med deres Doppler radar. Union City, Oklahoma, 24. maj 1973. (NOAA Photo Library/NSSL)



B



6. A: tværsnit af en Perdue tornado-generator der ofte er blevet anvendt i laboratorier til at frembringe tornado-lignende hvirvler. B: en hvirvel frembragt af en privat person i en lignende anordning.

3. akt - Selve tornadoen

Handlingen nærmer sig nu klimaks. Pga. de stærke opvinde bliver mesocyclonen nu godt trukket ud inde i skyen, og denne hvirvelstrækning intensiverer processen – rotationen bliver hurtigere og hurtigere og opdriften bliver stærkere og stærkere. Både opdriftens vipning af horisontal rotation (der skaber mesocyclonen) og hvirvelstrækning er således meget vigtige ingredienser i denne del af udviklingen af den kraftige tornadotype.

Hvirvler under bygeskyen kan nu blive fanget og strakt af mesocyclonområdets stærke opdrift (fig. 3). Det kan se ud som de derefter ligesom "baner" sig vej mod Jorden selvom strækningen faktisk foregår opad. Det sker fra den såkaldte mursky (engelsk *wall cloud*) der hænger ned på bygens underside under mesocyclonen (fig. 3). Den roterende luftsøjle vil nemlig efterhånden blive synlig ned mod Jorden i form af en såkaldt skytragt (engelsk *funnel cloud*) fordi trykket i tornadoen bliver lavt nok til at vanddampen i den roterende luft fortættes til en sky (fig. 5). Når tragten rammer Jorden plejer man at sige at tornadoen er fuldt udviklet, og dens omrids vil yderligere blive synlig pga. det materiale som den hvirvler og suger op.

Selve tornadoerne, der relativt er langt små hvirvler i sammenligning med mesocyclonens store rotation, er altså hvirvler dannet af forskellige årsager under skyen, og derefter er hvirvlen strakt af mesocyclonens opdrift i opdriftsområdet.

I laboratoriet kan man lave kunstige hvirvler

I laboratoriet har man lavet kunstige tornadoer efter samme princip. Tornado-



generatorerne virker i princippet ret ens (fig. 6). En ventilator i toppen trækker en konstant luftstrøm gennem generatoren. Ved bunden strømmer damp (røg kan også bruges, men det henholdsvis lugter og er for farligt) ind igennem en roterende skærm, og derved roteres den indstrømmende luft. Undervejs gennem det første kammer vil luften begynde at rotere hurtigere og hurtigere efterhånden som hvirvlen strækkes. Den hurtigt, roterende luft strømmer gennem et opdriftshul. Både højden af det første kammer og opdriftshullets radius kan ændres i forsøget. Luften strømmer nu gennem en opdriftszone og derefter igennem en skærm gennemhullet i et bitavle-mønster der har som funktion at fjerne de horisontale bevægelser i luften uden at påvirke den vertikale bevægelse ret meget. Skærmen er hvirvlens øvre afgrænsning. Radius i de roterende skærme og afstanden fra bitavle-skærmen til bunden ligger typisk i meterklassen.

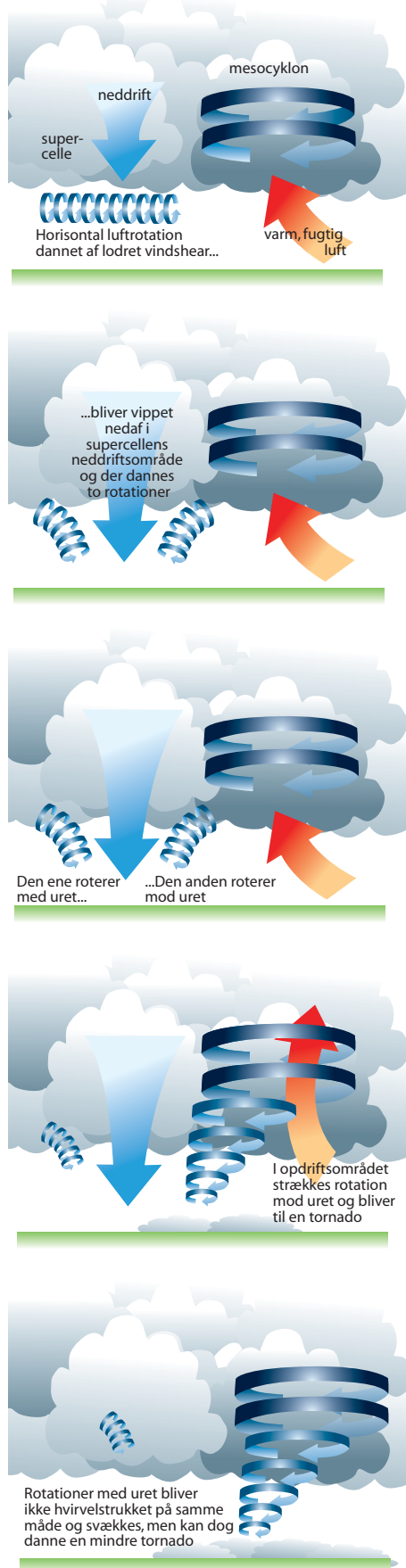
Man er langt fra sikker

på alle detaljer i tornado-dannelsen

Tilbage i naturen har man dog ikke fuldstændigt styr på hvad der faktisk i detaljer sker i sådan en supercelle – man kan jo ikke rigtig måle sig frem. Derfor er det heller ikke til fulde forstået hvordan dynamikken i tornadoformationen lige præcis er i alle tilfælde.

Man er dog ret sikker på at hvirvler dannet af vindens ændring både i vandret og lodret retning, og hvirvelstrækning spiller hovedrollerne, også fordi det er det der virker i laboratoriet.

Der kan tænkes flere måder hvorpå hvirvler kan dannes under en bygesky. En måde kunne fx være i kombination med vipning af vindshear-forårsaget vandrette hvirvler i neddriftsområdet i



skyen der derefter “suges” op og strækkes af mesocyklonen (fig. 7). Den tilovers blevne modsatdrejende rotation svækkes i forhold til den første, men den kan dog sagtens tænkes at danne en mindre tornado der kan cirkle omkring den store tornado. Ja, mulighederne er mange, se fx skitsen af en situation hvor der er dannet tre tornadoer samtidigt som cirkler rundt om en større tornado i mesocyklonen (fig. 8).

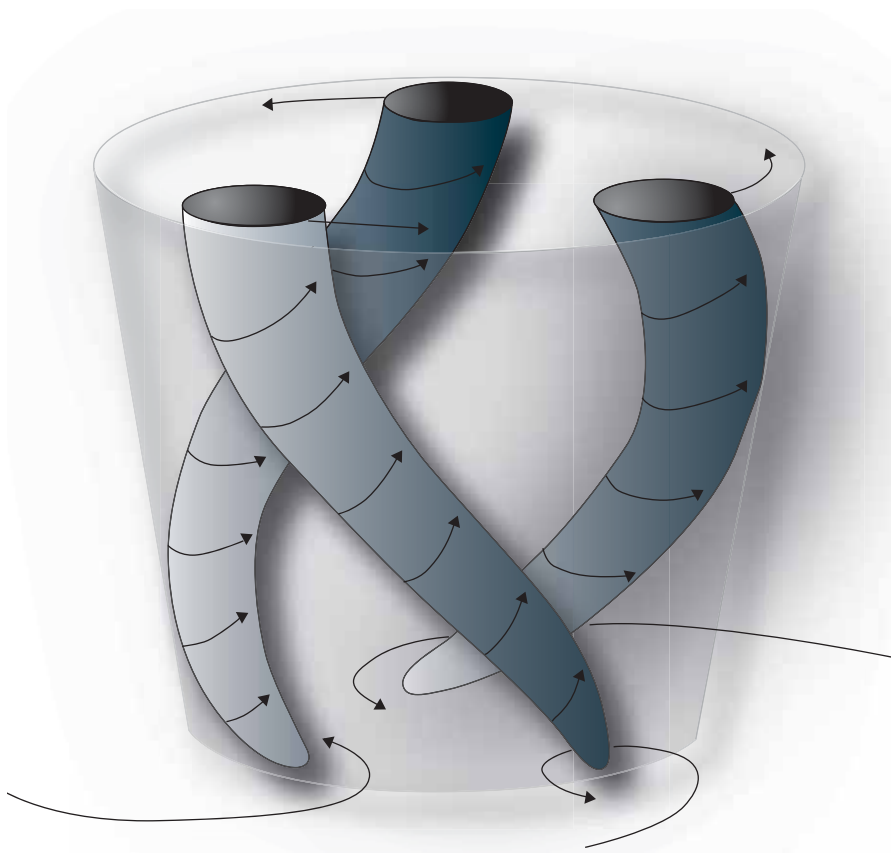
Man kan også forestille sig en strækning af opståede hvirvler i områder hvor vinde blæser skarpt mod hinanden. I supercellestorme kan det være særlig udtalt på grænsen mellem opdrifts- og neddriftsområdet hvor der over meget korte afstande er modsat rettede meget stærke vinde. Disse er selvsagt grobund for voldsomme rotationer der ved hvirvelstrækning kan udvikle sig meget eksplosivt. Det er netop her de allerkræftigste tornadoer synes at dannes.

Tornadoerne bevæger sig sammen med bygeskyen

Når tornadoerne er dannet vil de bevæge sig vandret sammen med

7. I supercellestormen dannes tornadoerne i et samspil mellem mesocyklonen og mindre hvirveldannelser. Vindenes ændring både i vandret og lodret retning der danner de mindre hvirvler – og den efterfølgende hvirvelstrækning i mesocyklonens opdrift spiller de altafgørende roller, som tegningen viser mener man at neddriftsområdets vipning af horisontale luftrotationer er årsagen til nogle af tornadodannelserne. De allerværste tornadoer dannes i grænseområdet mellem opvinds- og nedvindsområdet hvor der meget store modsatrettede vinde over korte afstande.





8. Skitse af tre tornadoer der cirkler omkring en større tornado.



9. Skypumpen er over sin mest intense fase. Snablen begynder at sno sig og viser tydelige tegn på hvirvelsammenbrud. Billedet er taget mod syd-vest kl. 15.36 den 31. maj 2006 i Lem i Vestjylland. (T. Vanting)

bygeskyen med til tider over 100 km i timen. Vindhastighederne i selve tornadoen er i sagens natur svære at måle, men anslås til at kunne komme op over 500 km i timen. Det er de stærkeste vinde der måles på Jorden.

Efter tornadoen har nået sin maksimale intensitet sker der ofte det at tragten bliver smallere og hælder mere og mere, og den begynder at sno sig for til sidst at dø ud. Det kaldes til tider reb-fasen fordi det er ligesom et reb der snor sig (fig. 9).

Scenen skifter

– tornadoer og konvergenslinier

De meget intense tornadoer, fra F3 til F5 (se senere under tornado-klassifikation) er som regel forbundet med det beskrevne supercelleforløb hvor der er en mesocyklon tilstede.

Forløbet for mindre intense tornadoer (F0 til F2) er oftest noget anderledes og kan fx være forbundet med såkaldt mesocyklon-hvirvelaktivitet (størrelsesordenen mindre end 4 km – ja meteorologer har deres eget sprog). Disse hvirvler kan opstå i områder hvor vindene blæser "skarpt" mod hinanden langs en såkaldt konvergenslinie eller -grænse. Når vinden drejer på denne måde (wind-shear), er det at hvirvlerne kan opstå. Hvis disse rotationer bliver indfanget i de kraftige bygeskyers opvindsområder vil rotationen pga. strækningen af hvirvlerne forstærkes (fig. 10).

Scenen er sat i Danmark

Denne tornado-producerende vejr-situation er den mest almindelige i Danmark når vi ser skypumper, specielt over havet. Et typisk eksempel kunne være en vejr-situationen i Østersøen i august med en kold luft-



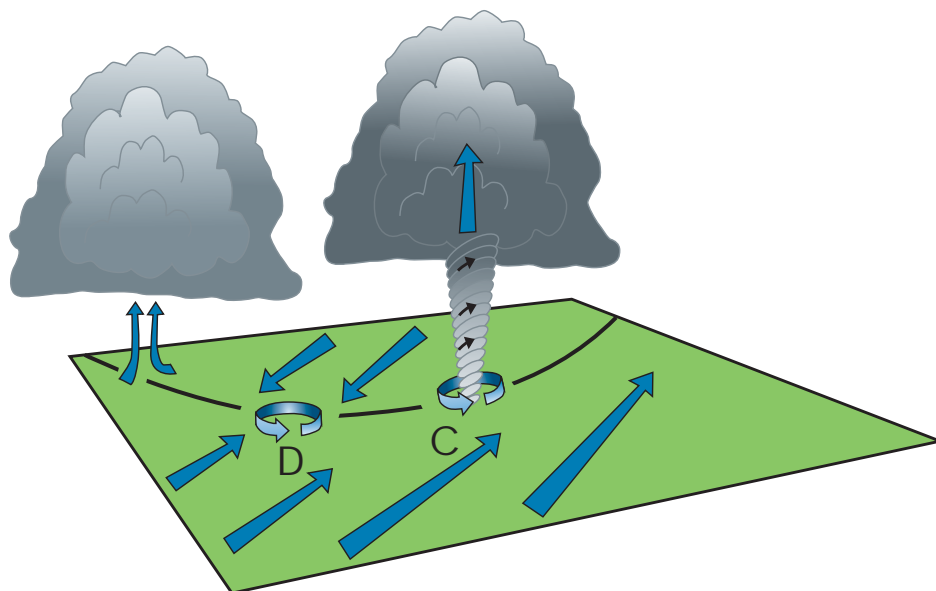
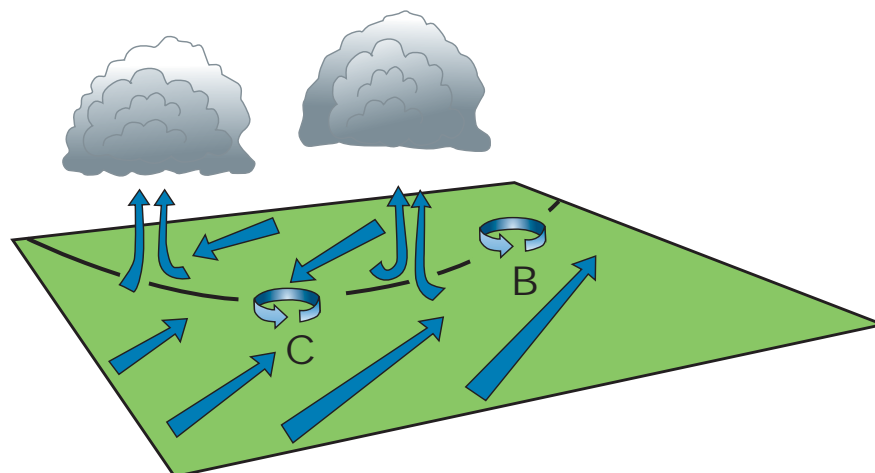
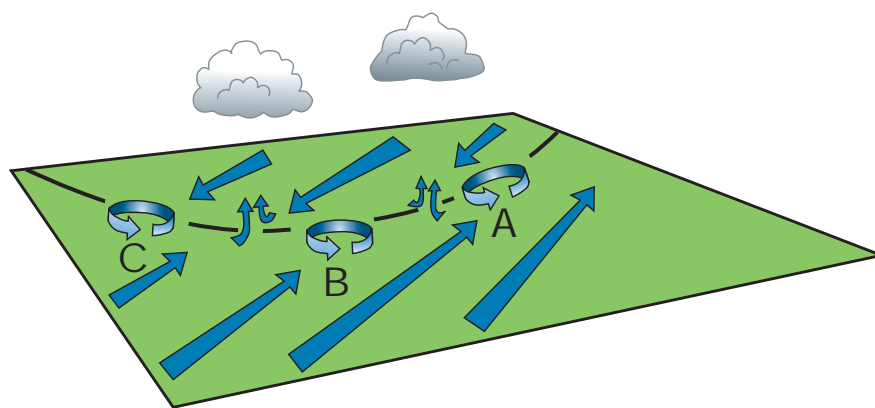
masse i højden over det sommervarme havvand. I fem kilometers højde kan temperaturen på denne årstid sagtens ligge under $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ og vandtemperaturen omkring $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. En sådan temperaturforskel giver en meget ustabil atmosfære med ofte meget voldsom skydannelse til følge. Vinden er gerne ret svag bortset fra lokale kraftigere vinde omkring bygskyerne. Det er disse vinde der konvergerer mod hinanden og lægger kimen til skypumpen.

De kraftigste tornadoer kan formodentlig ikke dannes i Danmark, men danske tornadoer kan blive alvorlige nok. Den kraftigste der er observeret i Danmark, optrådte 11. februar 1962 over land nordvest for Holstebro hvor ca. 100 bygninger blev beskadiget, 500 træer blev knækket eller revet op med røde i en plantage, og bygningsmaterialer blev transporteret over en strækning på 13 km. Det var formentlig en kraftig F1 tornado (på grænsen til F2).

The End

Sammenfattende kan det siges de mest intense tornadoer altid ser ud til at dannes i forbindelse med supercellestorme der kræver både ustabilitet og vindshear, mens mindre intense tornadoer har et lidt andet dannelsesforløb som fx det nævnte eksempel med en konvergenslinie.

I alle dannelsesforløbene er der dog helt centrale fælles træk: ustabilitet (*instabilitet*) i atmosfæren, en udløsermekanisme og dermed *kraftig konvektion* der skaber de nødvendige kraftige bygesystemer, samt processerne der skaber selve hvirvlerne inde i dem hvor *vindshear* og *hvirvelstrækningen* er meget centrale rolleindehavere.

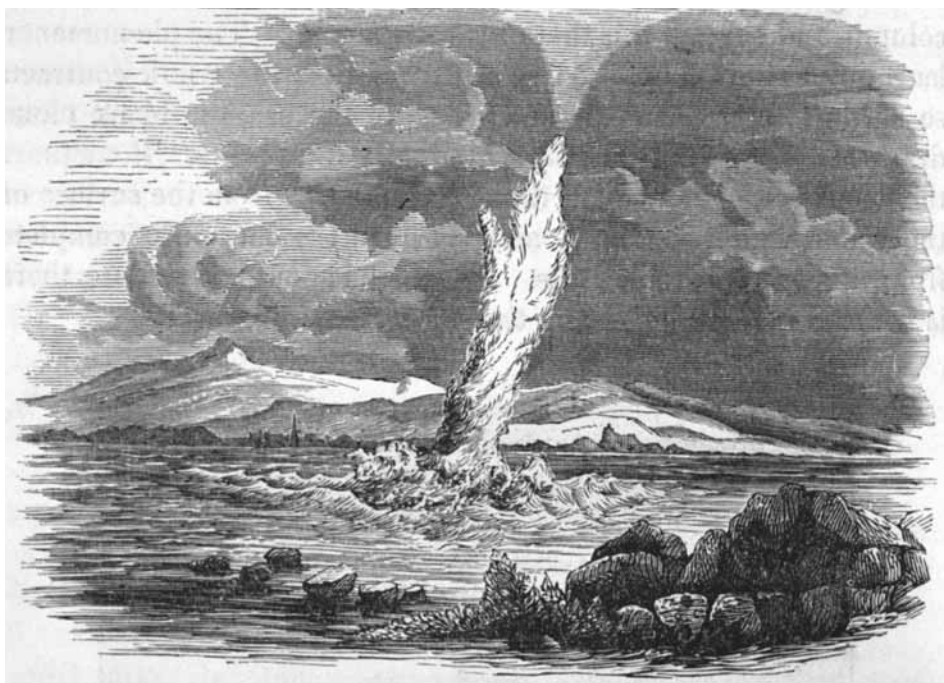


10. Skematisk model af livscyklus i en skypumpe der udvikles langs en konvergensgrænse. Den sorte linie er konvergensgrænsen, og hvirvlerne er markeret med store bogstaver. (efter Carbone)





11. En illustration af ældre dato der viser stadier i en skyumpes udvikling. Fra "A Treatise on Meteorology" af Elias Loomis, 1880 (NOAA Photo Library/Historic NWS Collection)



12. En skypumpe over Rhinen i 1858. Fra "A Treatise on Meteorology" af Elias Loomis, 1880 (NOAA Photo Library/Historic NWS Collection)

I medierne hører man mest om tornadoer fra USA, og der er da også rigtig mange. Der er omkring 800 i gennemsnit for hele USA gennem tornado-sæsonen fra marts til august med en højsæson der ligger i april, maj og juni, hvor over 55% af tornadoerne forekommer, men tornadoer kan opstå hele året rundt. Tornadoer opstår selvfølgelig også andre steder selvom der ikke er mange steder i Verden der har det "fulde sæt" af ingredienser der skal til for at frembringe de voldsomste tornadoer. Der findes rapporter om tornadoer fra alle steder af verden fx i Australien, Sydafrika, Argentina, dele af Rusland, Kina, Østindien, Bangladesh og mange steder i Europa.

Det eneste sted uden for USA hvor tornadoernes intensitet kommer på højde og måske indimellem over dem i Tornado-alley er i Østindien og Bangladesh. Her er de rigtige ingredienser nemlig også tilstede blot med et subtropisk "twist". Der er, bl.a. i nærheden af Himalaya-plateauet, de rigtige luftmasser der blandes på den rigtige måde i de rigtige omgivelser. Det giver de særlige ustabile tilstande der giver superceller. Fra Kina og Rusland er der kun få rapporter, så herfra vides ikke så meget. Europa hjemses faktisk hvert år af et betydeligt antal tornadoer. Bare i Storbritannien har man i gennemsnit 33 hvert år med et maksimum i 1982 på hele 152. Det er organisationen TORRO (Tornado and Storm Research Organisation) der holder styr på tornadoerne, og de har faktisk dokumenteret over 2.000 tornadoer i Storbritannien. De fleste

Intensitet	Vind i m pr. s	Længde i km	Bredde i m	Skadevirkning
	0-18	<0,5	<5	
F-0	18-32	0,5-1,5	6,0-16	Let
F-1	33-50	1,6-5	17-50	Moderat
F-2	51-70	6,0-16	51-160	Betydelig
F-3	71-92	17-50	161-500	Svær
F-4	93-116	51-160	501-1.500	Voldsom
F-5	117-142	161-507	1.501-5.000	Meget voldsom

TABEL 1: FUJITAS TORNADOSKALA ER OPKALDT EFTER DEN AMERIKANSKE METEOROLOG THEODORE FUJITA. TORNADOER OPDELES I EN RÆKKE KLASSER F0 TIL F5. ANGIVELSEN AF TORNADOSPORETS LÆNGDE I KM OG BREDDEN I METER ER ERFARINGSTAL INDSAMLET AF ALLEN PEARSON.

er milde. Den tidligste dokumentation i deres database er dog det modsatte. St. Mary le Bow tornado, som den er blevet kaldt, ramte London 23. oktober 1091 hvor den ødelagde over 600 huse og flere kirker. Den er blevet bedømt til at være en F4 tornado. Den tidligste kendte tornado i Europa er for øvrigt Rosdalla Tornadoen i Irland fra den 30. april 1054. Ifølge TORRO rammes Europa også, men meget sjældent af F5 tornadoer. To af denne slags findes i deres arkiver. Det er Mountville Tornadoen 19. august 1845 i Frankrig og Treviso-Udine Tornadoen i Norditalien 24. juli 1930.

Tornadoer og skypumper har til alle tider været genstand for kunstneres fascination (*fig. 11 & 12*), også før man kunne fotografere dem. Man regner i fremtiden med fascinationen sikkert vil øges i takt med at observationer af tornadoer rundt omkring vil stige kraftigt i forbindelse med at der efterhånden er sat mange web-cams op rundt om-

kring. Det er samtidigt blevet mere almindeligt med digitale fotografiapparater som man har med alle vegne. Der sker også meget når tornadoer behandles i medierne. Efter fx den amerikanske film "twister" fik premiere i 1996

har mange lande fået mange flere rapporter om tornadoer.

Fujita tornadoskala

Tornadoers ødelæggende kraft hænger i høj grad sammen med vindhastigheden



13. En F3 tornado har raseret et område ved University of Maryland 24. september 2001. Kilde: University of Maryland.

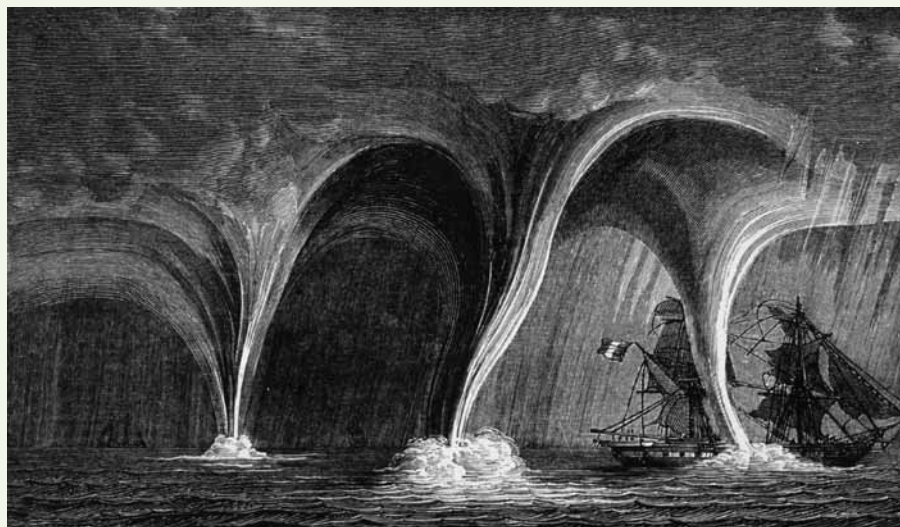


Allerede Aristoteles (384-322 f.v.t.) beskæftigede sig med tornadoer og skypumper. Han opererede med begrebet hurricanes som var hans ord for de hvirvelstorme som i dag kaldes tornadoer og skypumper. Han mente at disse hvirvelstorme opstod ved at der hurtigt kunne udstødes store koncentrerede mæng-

der tør dunst fra en sky. Denne dunst vil under de rette omstændigheder kunne blive bragt i rotation, og den ville så kunne forlade moder-skyen som en tornado.

Den romerske naturfilosof Plinius (år 23-79 e.v.t.) beskæftigede sig også med skypumper. Han skrev bl.a.: *Cykloner er specielt farlige for*

søfolk idet de ikke alene vrider ræerne rundt og ødelægger disse, men også ødelægger skibene selv. Det eneste middel, men dette er ikke særligt effektivt, er at hælde eddike på havet før cyklonen rammer, idet eddiken af natur er kold. Hvirvelvinden vil, når den bevæger sig tilbage og opad, gribe ting, løfte dem op, og suge dem til vejrs.



Meget flot illustration der viser den store fare for et sejlskib pga. forekomsten af et system af flere samtidige skypumper. Her skulle nok ifølge Plinius "gydes en del eddike på vandene for at stoppe disse...". Fra bogen Les Meteores fra 1869. (NOAA Photo Library, Historic NWS Collection)

BOKS 3. TORNADOER KAN SPORES LANGT TILBAGE I HISTORIEN

i den roterende bevægelse, og det er netop derfor også baggrunden for Fujitas tornadoskala (*tabel 1*).

Dr. T. Theodore Fujita var en pioner inden for studiet af tornadoer og voldsomme tordenstorme. I 1971 foreslog han at man skulle bruge en af ham udviklet tornadoskala opdelt efter skadesvirkninger. Da det selvsagt er ekstremt svært at måle tornadoens vinde direkte, var et estimat af vindene ud fra deres skadesvirkninger et rimeligt godt bud. Fujita foreslog en skala fra 0 til 5 hvor de svageste torna-

doer benævnes F0 og de stærkeste F5. De stærkeste F5 tornadoer er heldigvis forholdsvis sjældne. Fujita-skalaen er senere suppleret med erfaringstal for tornadosporets længde og bredde inden for hver kategori (*tabel 1*).

Det er ikke muligt at der dannes en F6 tornado fordi der ingen klassifikation er efter F5 hvor skadevirkningen er betegnet som "meget voldsom". En sådan diskussion er dog ikke helt hen i vejret da der er ved hjælp af en Doppler-radarer monteret på en lastbil blev registreret vindhastigheder på

netop grænseværdien 142 m pr. s (over 510 km i timen) 3. maj 1999 da en F5 tornado ramte Oklahoma City.

HVORDAN FORUDSER MAN
TORNADOER? – EN AFTEN HOS
NATIONAL WEATHER SERVICE
I FORT WORTH, TEXAS

I The National Weather Service i Fort Worth i Texas blev en vejr-situation den 15. maj 2003 fulgt tæt. Situationen viste at der var stor ustabi-



litet i luften, og at der bare manglede en "trigger". En varmt lag af luft lå over området, og de store bygeskyer kunne derfor ikke vokse, og regnen dermed gøre en ende på sæsonens værste tørkesituation. "Man, that cap is hanging tough. The system is so close and we've still got that blasted cap.", lød det fra meteorologen Shane Snyder i den tidlige aftenstund kl. halv syv. Ordet "Cap" hentyder her til et "luftlag" der hjælper med til at forhindre udløsningen af ustabiliteten og som er omtalt i afsnittet om superceller. Shane Snyder og mange andre kunne ret godt tænke sig lidt nedbør til den tørre jord den aften. Et kraftfuldt frontsystem viste sig at være på vej fra Rocky Mountains og ind over The Great Plains. Det kunne sætte gang i processen, men udover udsigten til meget vand fra oven var der sandelig også udsigt til torden, hagl og ikke mindst tornadoer, så situationen blev fulgt tæt bl.a. med vejrradarer. Den erfarne meteorolog skyndte sig at spise sin madpakke – det ville der belært af erfaring ikke blive tid til senere ...

Snart begyndte tingene at tage fart, systemet var højeksplosivt og chancen for kraftige tordenbyger og derved også tornadoer blev lige pludselig overhængende. Kl. ca. 21.30 får de meldinger om den første visuelle kontakt med en tornado "Visual confirmation – tornado on the ground" er en typisk ordveksling i en sådan vejrtjeneste. Kl. 21.59 udsendes den første tornadovarsel (Tornado-warning, *fig. 16*). Der var tidligere udsendt en Tornado-watch. Det er vigtigt når man bor i et område med risiko for tornadoer at lytte til den række af bulletiner der udsendes. De er organiseret således:



14. Tornadoer optræder gerne i forbindelse med tropiske orkaner. Her ses ødelæggelse fra en af dem en morgen i Louisiana i 1992. Tornadoerne ankom sammen med den tropiske orkan Andrew. (NOAA Photo Library)

Tornado-watch: Tornadoer er mulige i et område. Vær forberedt.

Tornado-warning: En tornado er blevet observeret enten visuelt eller via en vejrradar. Hvis himlen bliver truende, skal man omgående søge beskyttelse.

Der findes desuden tilsvarende tordenbygeadvarsler, og de hænger jo tit sammen med mulighed for tornadoer:

Severe Thunderstorm Watch: Kraftig tordenbygeaktivitet er mulig i området.

Den 3.-4. april 1974 blev der registreret ikke mindre end 144 tornadoer fordelt på 13 stater. I maj 2004 opstod der også mange, ca. 110 i USA's midtvest.

Den hidtil største "dræber-tornado" opstod 18. marts 1925 og efterlod 695 døde og 2.027 sårede i sit 350 km lange spor gennem Missouri, Illinois og Indiana i USA.

Den 21. nov. 1981 blev der i Storbritannien i forbindelse med en koldfrontspassage observeret ikke mindre end 105 svage tornadoer (max F2). Det er det største kendte tornadoudbrud i Europa, og dette koldluftsudbrud var i øvrigt forløberen for den meget kraftige orkan der ramte Danmark 24. november 1981.

BOKS 4: NOGLE UTROLIGE FACTS OMKRING TORNADOER.





15. Tidlig søndag morgen 6. november 2005 bevægede en F3 tornado sig 32 km igennem det sydlige Indiana i USA. 23 døde og over 200 sårede samt mange ødelagte huse efterlod den sig i sit spor. Billedet er taget 14 timer efter passagen fra et fly i ca. 450 m højde. Tornadosporets bredde er højst sandsynligt flere hundrede meter. Læg specielt mærke til det spiralformede mønster i sporet der er dannet af tornadoens kraftigste vinde. (L. Judy)

TORNADO WARNING
 NATIONAL WEATHER SERVICE FORT WORTH TX
 959 PM CDT THU MAY 15 2003

THE NATIONAL WEATHER SERVICE IN FORT WORTH HAS ISSUED A * TORNADO WARNING FOR...

- * NORTHERN EASTLAND COUNTY IN NORTH CENTRAL TEXAS
- * SOUTHERN STEPHENS COUNTY IN NORTH CENTRAL TEXAS

* UNTIL 1045 PM CDT * AT 959 PM CDT...WEATHER SERVICE DOPPLER RADAR INDICATED A THUNDERSTORM CAPABLE OF PRODUCING A TORNADO 15 MILES SOUTHWEST OF BRECKENRIDGE...OR 25 MILES WEST OF RANGER...MOVING EAST AT 25 MPH. IN ADDITION TO TORNADOES, HAIL TO THE SIZE OF BASEBALLS AND DAMAGING WINDS ARE LIKELY WITH THIS STORM. THIS STORM HAS A HISTORY OF TORNADOES IN SHACKELFORD COUNTY. IF YOU ARE IN THE PATH OF THIS STORM...TAKE COVER NOW!

Severe Thunderstorm Warning: Kraftige tordenbyger er undervejs og vil passere.

Supercellerne producerede en del tornadoer den aften, og der var rapporter om ret store hagl og mange lynnedslag. Først hen ad midnat begyndte supercellerne at miste pusten. Meteorologerne kunne se tilbage på en intens aften der, for hele tiden at kunne blive bedre i den vanskelige business det er at forudsige, som altid

16. *Tornado-warning fra National Weather Service, Fort Worth, 15. maj 2003, kl. 21:59.*

skulle evalueres grundigt den efterfølgende dag.

HVAD KAN MAN GØRE FOR AT BESKYTTE SIG?

I områder hvor risikoen for tornadoer er til stede er det altid nødvendigt at tage stilling til sin sikkerhed.

Det er altid vigtigt at holde sig orienteret om vejsituationen via official vejradio og -tv. I tilfælde af at man kan blive ramt gælder det om at finde et sikkert sted i huset – en kælder af beton eller sten er det bedste sted





17. Amerikanske firmaer har specialiseret sig i beskyttelsesrum til privat brug. Her vises to forskellige typer. (U.S. bunkers)

ellers er badeværelset gerne det største rum. Mange der bor i tornadoområder har fået bygget specielle beskyttelsesrum til dem og deres familier (fig. 17).

Det er vigtigt at være forberedt med en plan for familien og med en "nød-hjælpsskabs" med vand, mad, førstehjælpsting, tæpper, batteridreven radio, lommelygte, ekstra bilnøgler osv.

Forskellige organisationer i USA, bl.a. The National Weather Service (NOAA), American Red Cross og Federal Emergency Management Agency (FEMA) har instruktioner om hvordan man skal planlægge og forholde sig når faren er over én.

TORNADOJEGERE

9. juni 2003 begyndte tordenbyger at opstå syd for grænsen mellem South Dakota og Nebraska, mens en samling tornadojægere på dag 4 af deres "jagt"

var ved at forberede en forfølgelse af en af dem ved byen Springfield. Pludselig lyder det fra radioen "Severe Thunderstorm Warning for Springfield". Jagten gik ind...

Det kunne være en typisk drejebog for noget meget amerikansk – "The business of chasing storms" hvor rollerne indehaves af såkaldte "Tornado Chasers". Adrenalin pumper, mens de udstyret med radio og bærbare computere holder sig orienteret og følger stormene. Det giver action, oplevelser og gode billeder, men det kræver også en god portion dygtighed, tålmodighed og masser af tid, og så kan det være dødsensfarligt hvis man fejlbedømmer stormene.

Filmen *Twister* fra 1996 handlede netop om disse tornadojægere. Det er dog ikke kun i USA de findes. Der er vejr "Chasers" overalt i verden, ja sågar i Danmark kører folk langt for at opleve en skypumpe hvis vejr-situationen ser ud til kunne producere dem. De fleste kommer dog hjem med uforret-

Så vidt vides er der ikke nogen der har gjort forsøget endnu, men der er projekter på tegnebordet hvor man alvorligt overvejer at "zappe" tornadoerne fra soldrevne satellitter med energiholdig mikrobølgestråling. 100 mio. watt af energi tilsat det kolde regnfulde neddriftsområde i en supercelle kunne måske "forstyrre" tornadoformationen. "Gå efter tornadoens akilleshæl og forstyr så meget som muligt" lyder mantraet. Det vil vise sig om denne plan kommer ud over tegnebrættet – man kan have sine tvivl!

BOKS 5: KAN MAN GØRE
NOGET FOR AT STANDSE
TORNADOER





18. Den var da flot at køre efter! Billederne er taget mod syd-vest den 31. maj 2006 i Lem i Vestjylland mellem kl. 15.33-15.36. (T. Vanting)

tet sag da skypumperne og tornadoerne gerne er et tilfældigt, kort og flygtig fænomen hvor man skal være det rette sted på det rette tidspunkt. Danmarks Meteorologiske Institut får dog hvert år en del billeder af skypumper tilsendt, langt de fleste dannet over havet (fig. 18).

YDERLIGERE INFORMATION

www.torro.org.uk, TORRO, Tornado and Storm Research Organisation.
www.fema.gov/hazards/tornadoes, FEMA, Federal Emergency Management Agency.
www.twister.dk, oplyser om danske tornadoer.

