

Luchtelektriciteit en Bliksem

Aarnout van Delden

Instituut voor Marien en
Atmosferisch Onderzoek

Universiteit Utrecht

www.phys.uu.nl/~nvdelden



Inhoud

De pioniers

Globale stroomkring

Ladingsscheiding in wolken

Onweer

Mechanisme van bliksem

Waarnemen van bliksem

Frequentie van bliksem

“virga”

Dodge City, Kansas



Bliksem: tot 1750 groot gevaar voor kerktorens



Op kerkklokken vaak de inscriptie, "**Fulgura Frango**"

San Marco, Venetië is dikwijls getroffen en verwoest door de bliksem, bijvoorbeeld in 1388, 1417, 1489, 1565, 1653 en 1745.

Klokkenluiders: 103 doden in 33 jaar in 18de eeuw (D)
Theeplantagewerkers in Tanzania (Unilever)

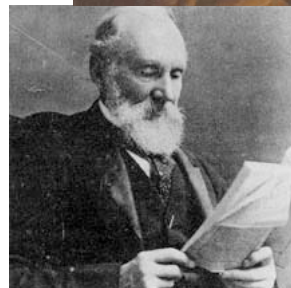


Pioniers in het onderzoek naar lichtelektriciteit

Charles Thomson Rees Wilson
1869-1959



Benjamin Franklin
1706-1790



Lord Kelvin 1824-1907

Benjamin Franklin

Franklin is de uitvinder van de bliksemafleider

Bliksem is een elektrisch fenomeen

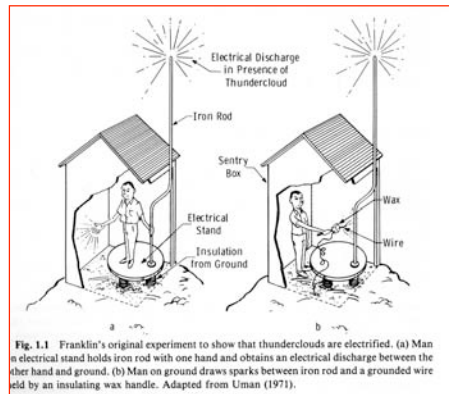
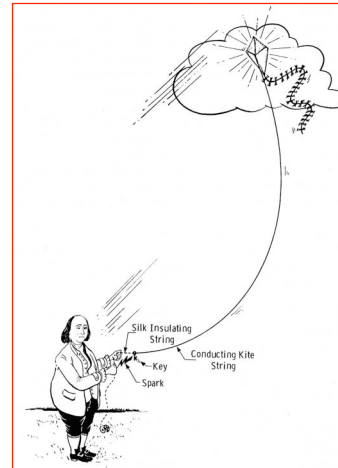
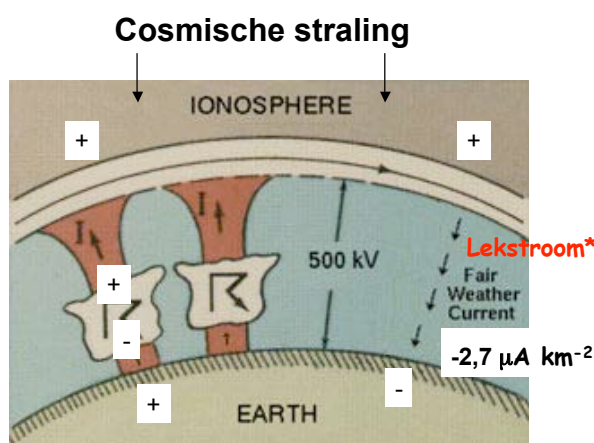


Fig. 1.1 Franklin's original experiment to show that thunderclouds are electrified. (a) Man on electrical stand holds iron rod with one hand and obtains an electrical discharge between the other hand and ground. (b) Man on ground draws sparks between iron rod and a grounded wire held by an insulating wax handle. Adapted from Uman (1971).



Benjamin Franklin+Lord Kelvin

Bliksem is onderdeel van het **luchtelektrisch stroomcircuit**



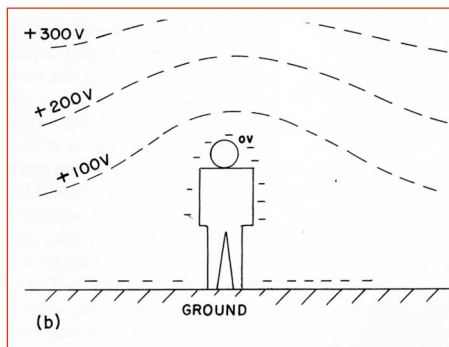
Over de hele aarde is de totale stroomsterkte **1400 amp**. Die stroom moet ergens vandaan komen. Batterij wordt vervuld door alle onweersbuien die op aarde op een bepaald moment aanwezig zijn. Dat zijn er ongeveer **1500**.

Dus **1 ampère per bui**.

*** of mooiweerstroom**

Stroomsterkten gemiddeld over de gehele aarde en over lange tijd.

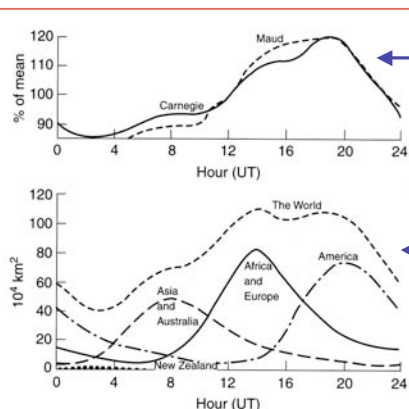
Electrisch veld bij het aardoppervlak



Vlakken van gelijke elektrische spanning boven de grond. Boven een spits voorwerp zijn de verticale spanningsverschillen het grootst.

C.T.R. Wilson

Relatie tussen onweersbuien en mooiweerstroom aangetoond



Elektrisch veld boven de oceaan

Correlatie is niet perfect maar relatie is duidelijk!

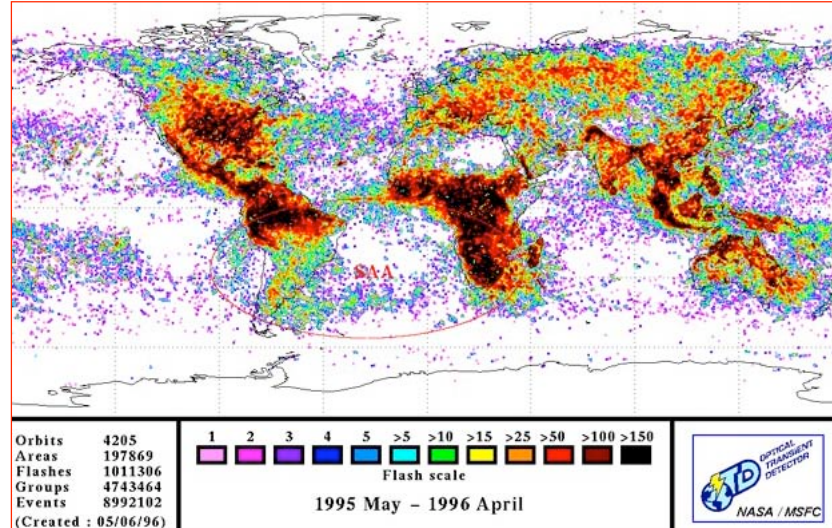
onweersactiviteit

Drie grote centra optreden onweer:

Afrika,
Amerika
zuidoost Azië

Figure 3 Comparisons of the UT variation of electric field over the ocean (the Carnegie curve) and the UT variation of thunder areas worldwide. (Adapted from Whipple JN (1929) On the association of the diurnal variation of electric potential gradient in fine weather with the distribution of thunderstorms over the globe. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 55: 1–17.)

Eén jaar bliksemtellingen m.b.v. satelliet



70% van alle bliksem tussen 30°Z en 30°N;
10 keer zoveel bliksem boven land

Ionen & ladingsscheiding

Table 1 Typical properties of atmospheric particles and droplets

Particle	Radius (μm)	Mobility ($10^{-4} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)
Small ions	0.0005-0.0008	0.5-100
Large ions	0.008-0.03	0.05-0.5
Aerosol	0.003-30	
Cloud droplets	2-30	
Rain drops	30-3000	

Kleine ionen
zijn meest
bewegelijk en
zorgen voor
ladingstransport

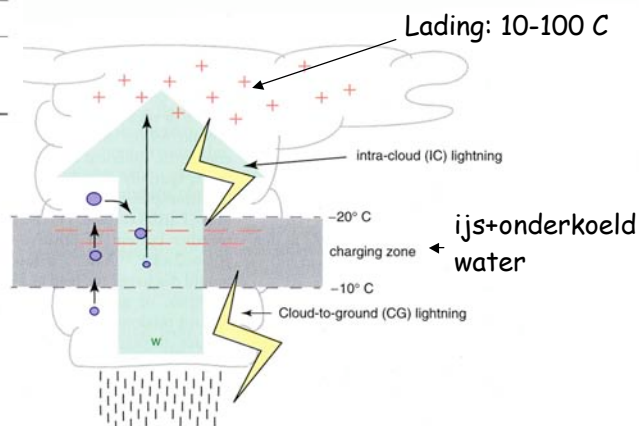
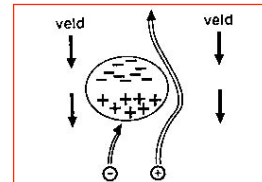


Figure 2 Schematic picture of an idealized thunderstorm, showing the ascent of hydrometeors (round circles) in the updraft (velocity w) and sedimentation of the larger particles, which collide with smaller ones below. Rebounding collisions between hail particles and small ice crystals result in charge transfer between them. Gravitational separation of the lighter (positively charged) ice particles and the negatively charged graupel (i.e., soft hail) particles leads to the electric charge distribution shown. This precipitation-based charging is thought to dominate early thunderstorm electrification. (Reproduced with permission from Schroeder V (2000) *How Does Lightning Initiate and What Controls Lightning Frequency?* PhD thesis, University of Washington.)

C.T.R. Wilson

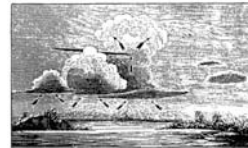
Ladingsscheiding in wolken door microfysische interacties

Vallende hagel korrels in het gemiddelde elektrisch veld; **onderzijde wordt positief** (polarisatie).



Negatief geladen kleinere druppels worden aangetrokken en ingevangen

De grote korrels worden dus negatief geladen en de kleine positief.



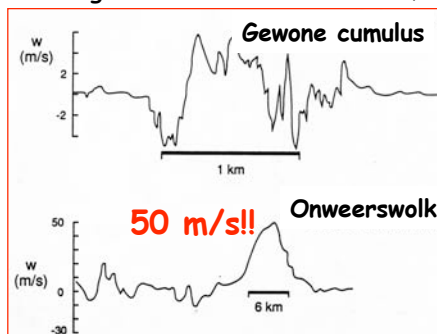
De kleine korrels worden door **sterke opwaartse wind** naar boven getrokken

Opwaartse stroomsnelheid in onweerswolken: orkaankracht!

Algemene regel is dat bliksem alleen optreedt als verticale luchtsnelheid $> 7 \text{ m s}^{-1}$.

Gevonden op 7 juni 1998 in Elburg

Metingen van verticale snelheid, w:



Hiermee kunnen dit soort hagelstenen in de lucht worden gehouden

Potentiële Onstabiliteit

De sterke verticale luchtstromen ontstaan door "potentiële convectieve onstabiliteit".

Condensatiewarmte speelt hier een doorslaggevende rol.

curve d: effect menging met omgeving;

curve c: effect condensatie warmte;

curve e: effect warmteverlies door verdamping

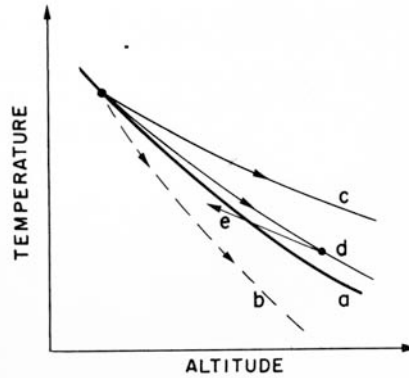
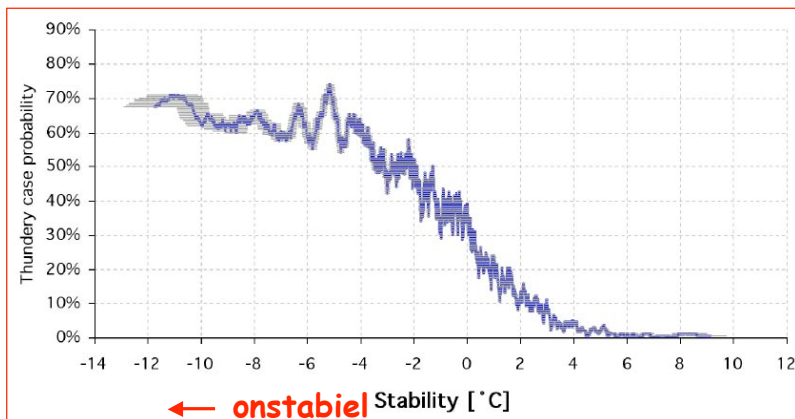


Fig. 9-8. Atmospheric temperature. (a) Static atmosphere; (b) adiabatic cooling of dry air; (c) adiabatic cooling of wet air; (d) wet air with some mixing of ambient air.

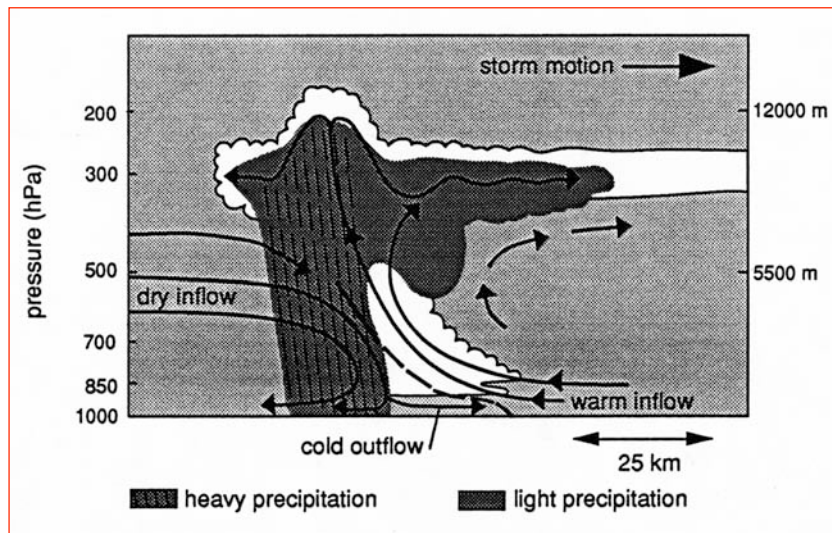
Relatie onstabiliteit bliksem

De Bilt, uit 10 jaar waarnemingen ATD systeem (zie later)

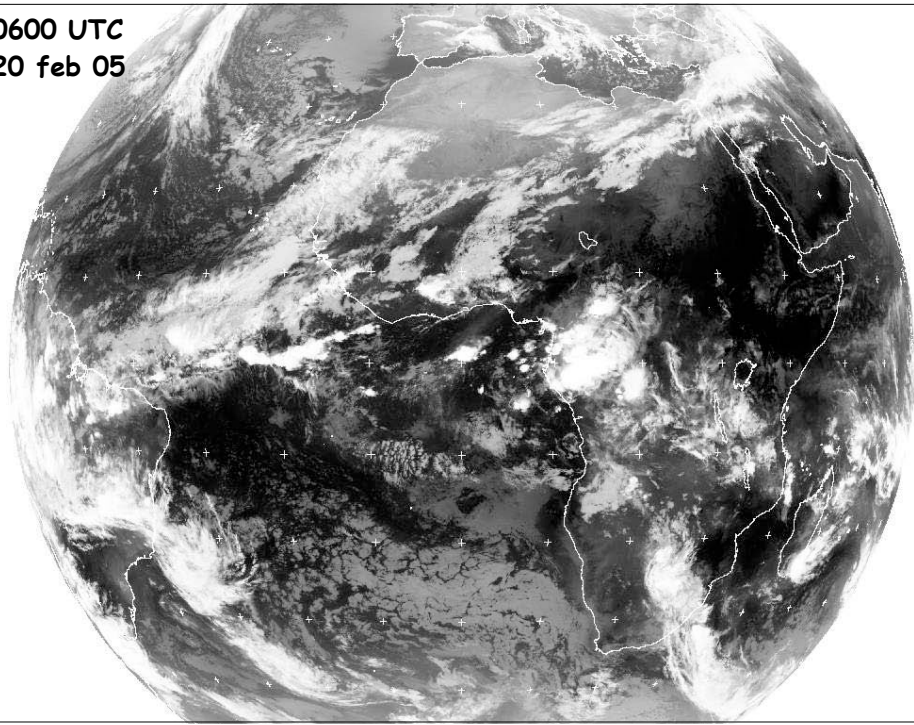
Kans op bliksem <6 uur na meting stabiliteit en binnen straal van 100 km van meetpunt.



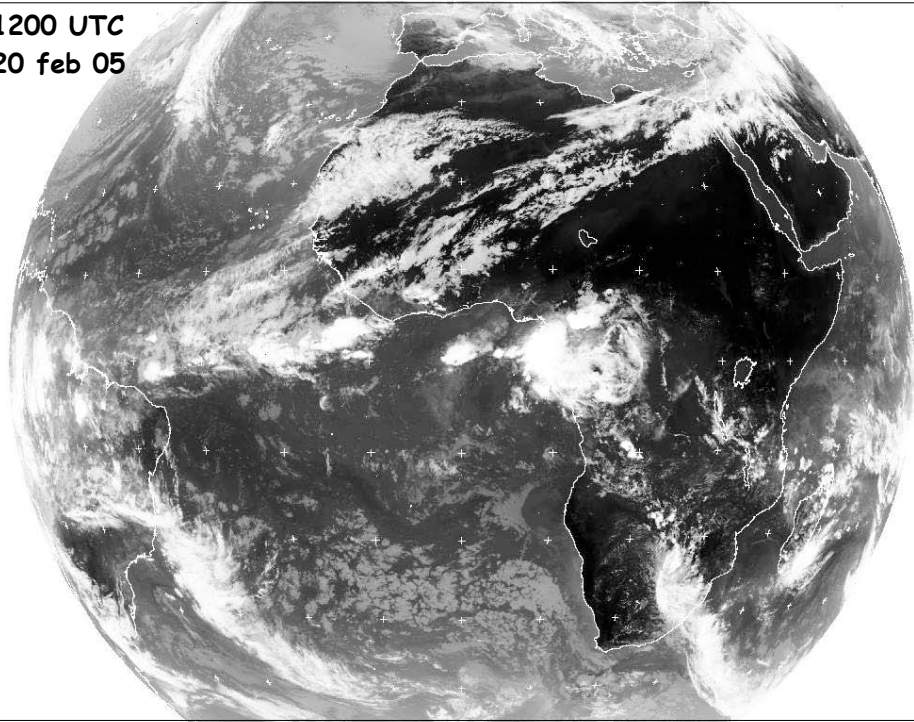
Onweersbui



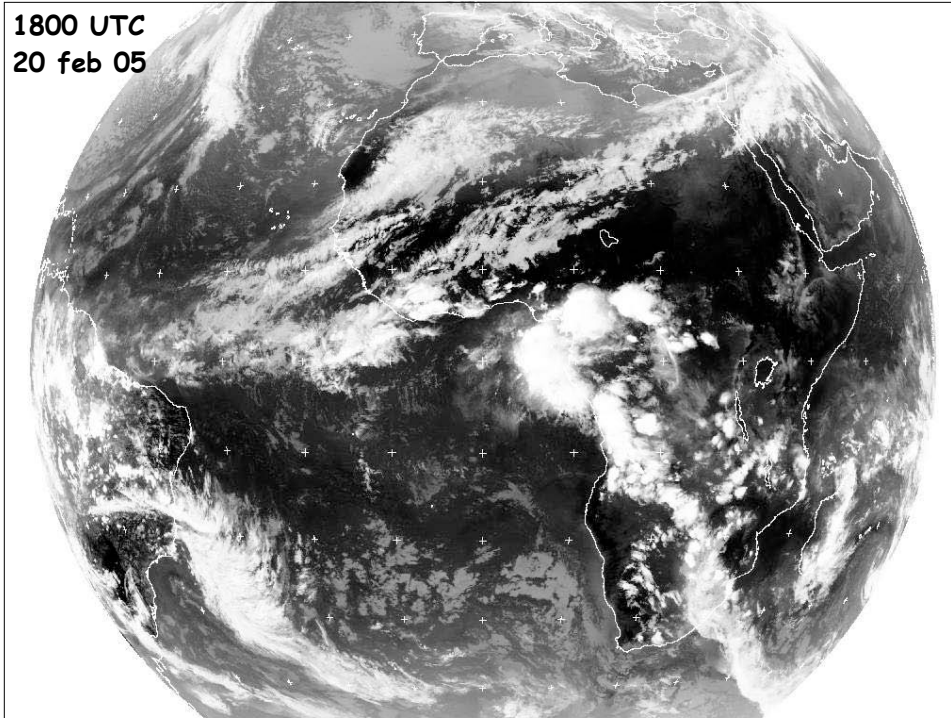
0600 UTC
20 feb 05



1200 UTC
20 feb 05



1800 UTC
20 feb 05



Ladingscentra gekoppeld aan temperatuurniveau's

Opmerkelijk is, dat de **ladingscentra min of meer aan temperatuur-niveau's gekoppeld** zijn en dus 's winters veel lager liggen dan 's zomers en bovendien op gematigde breedten hoger dan in de tropen.

20-30 °C aan
negatieve lading
naar aarde

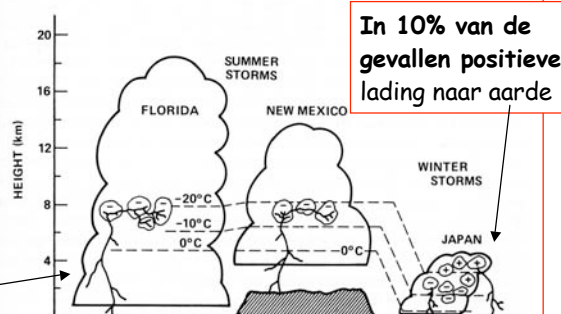
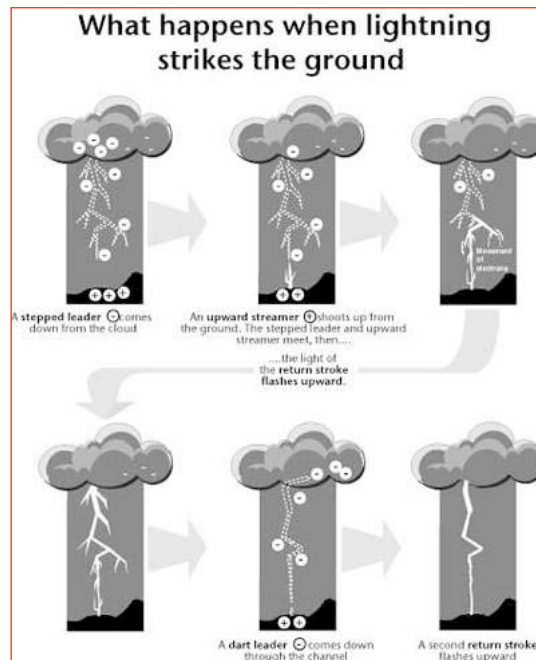


Fig. 3.3 Drawing illustrating the altitude and distribution of ground-flash charge sources observed in summer thunderstorms in Florida and New Mexico and winter thunderstorms in Japan as determined from simultaneous measurement of electric field at a number of ground stations (Section C.7.1) by Krehbiel *et al.* (1983). Note the positive lightning shown in the winter thunderstorm, a common feature of that type of storm (Chapter 11).

De bliksem

Voorontlading
Vangontlading
hoofdontlading



Doorslagspanning

Onder de wolk worden elektronen in de aardkorst verdreven, zodat de **aarde plaatselijk een positieve lading** krijgt. Onder de wolk heerst daarom een sterk veld, dat omhoog gericht is. De elektrische spanning in dat veld is echter **100-1000 keer te klein** om vonken te laten overslaan. De **doorslagspanning van lucht** is namelijk niet minder dan **3 miljoen volt/m!**

Voorontlading

Dankzij de onregelmatige verdeling van de ladingen in de wolk treedt plaatselijk enige vonkvorming op, waardoor **ionisatie** plaatsvindt en de geleiding sterk toeneemt. De hoogste spanningsverschillen verplaatsen zich naar de tip van het geleidende kanaal. Daar vormen zich weer vonken en herhaalt zich het proces. Deze kettingreactie leidt tot een zichzelf **voortplantend geleidend kanaal met een doorsnede van enkele centimeters**, de zogenaamde **voor-ontlading**. De voorontlading groeit stootsgewijs in stappen van enkele 10-tallen meters in de richting van de grootste spannings-verschillen. Een echt grote stroom loopt er nog niet: de (negatieve) lading schuift af en toe iets verder op in het geleidende kanaal, waarbij dat kanaal telkens iets oplicht. De daalsnelheid van de voorontlading is zo'n **1500 km/sec.**

Vangontlading

Een of meer takken van de voorontlading kunnen dicht bij de grond komen, bijvoorbeeld op 100 m hoogte. Het kanaal heeft dan ongeveer de elektrische spanning van de wolk en de veldsterkte (volt per meter hoogteverschil) boven de grond loopt dus enorm op. Met name boven **spitse punten** is er sprake van **krachtige vonkvorming**, die zich in de richting van het naderende voorontladingskanaal spoedt. Men noemt dit om begrijpelijke redenen de **vangontlading**.

Hoofdontlading

Als de vangontlading contact maakt gaan elektronen in grote aantallen sneller bewegen. Even later vult een sterke stroom het hele kanaal. Men noemt dit de **hoofdontlading** of soms ook wel de '**terugslag**' ("**return stroke**"). Dit verschijnsel verplaatst zich met ca. **100000 km/sec van de aarde naar de wolk***. Als de bliksem uitdooft omdat alle bereikbare lading verplaatst is, vindt er een snelle herverdeling van lading in de wolk plaatst. Het kanaal wordt dan opnieuw gebruikt, door een nieuwe, snelle -nu onvertakte- voorontlading, en vervolgens door een nieuwe opwaartse hoofdontlading. Niet zelden **herhaalt zich dit alles enkele malen**.

* In ons voorbeeld lopen de electronen omlaag en in ons spraakgebruik wordt de stroomrichting omhoog gerekend (van plus naar min).

De bliksemflits

Wat wij als één bliksem waarnemen, bestaat dus eigenlijk uit een aantal zogenaamde '**deelbliksems**'

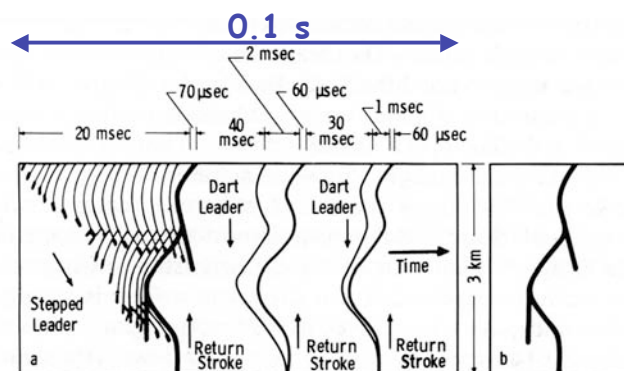


Fig. 1.6 (a) A drawing of the luminous features of a lightning flash below a 3-km cloud base as would be recorded by a streak camera (Section C.4; Fig. C.8). Increasing time is to the right. For clarity the time scale has been distorted. (b) The same lightning flash as would be recorded by a camera with stationary film. Adapted from Uman (1969).

bliksemflits

Om de diverse componenten van de bliksem te ontrafelen, kan een **bewegende camera** helpen. Men kan de camera bijvoorbeeld op een pick-up draaitafel monteren, zodat de achtereenvolgende fases van de bliksem naast elkaar op de foto komen. Zie hiernaast een voorbeeld van het resultaat

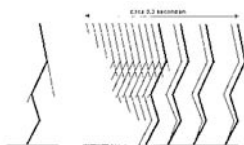


Fig. 1.7 Streak-camera photograph of a 12-stroke lightning flash. The first stroke is on the left and is the only branched stroke. Increasing time goes from left to right. Continuing current, as evidenced by continuing luminosity, flows after the eleventh stroke. Photograph is of lightning near Socorro, New Mexico. Courtesy, Marx Brook, New Mexico Institute of Mining and Technology.

Soorten bliksem



C-G



C-C

Verhouding C-C/C-G is 1-5 afnemend met afstand tot evenaar

Bolbliksem:
diameter 10-20 cm;
levensduur enkele sec



Figure 1 A rare photograph of ball lightning taken by Sankt Gallenkirch in Vorarlberg, Austria, in 1978. This particular example has a whitish centre with a blue surround, and a luminous tail. Such spectacular ball lightning is less frequently seen than the ordinary spherical sort, for which Abrahamson and Dinniss provide a new explanation². There are extremely few photographs of ball lightning, and as yet no video tapes. It is possible that video evidence exists, but that people are unaware of what they have recorded. If anyone reading this has seen, or knows, of such a video tape or photographs, please write or e-mail me.

Nature (2000)

Red Sprites

Bliksem tussen wolk en ionosfeer

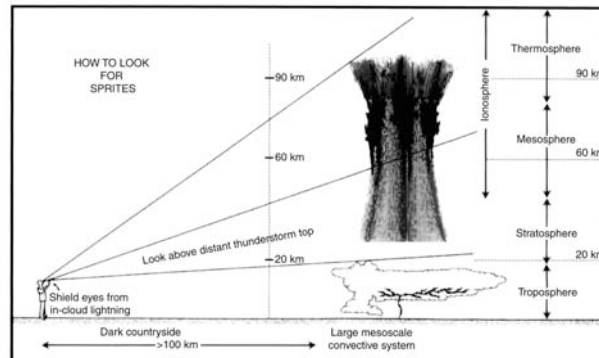


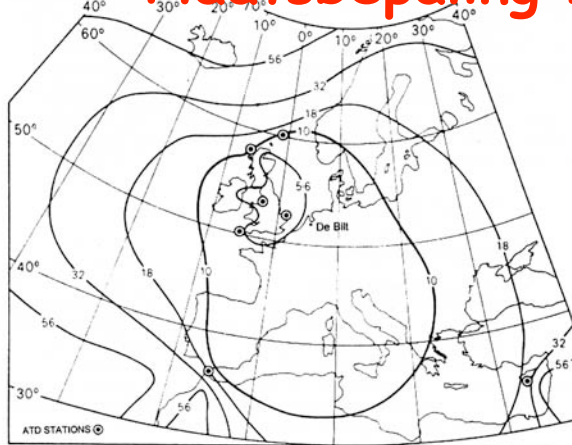
Figure 6 The geometry of sprite watching.

De donder

In het bliksemkanaal kan een temperatuur van **enkele 10 duizenden °C*** worden bereikt binnen minder dan een sec.! Hierdoor zet de lucht uit en is een **geluidsgolf** geboren: donder!!

***productie van stikstof-oxiden (NO_x)**

Plaatsbepaling bliksem



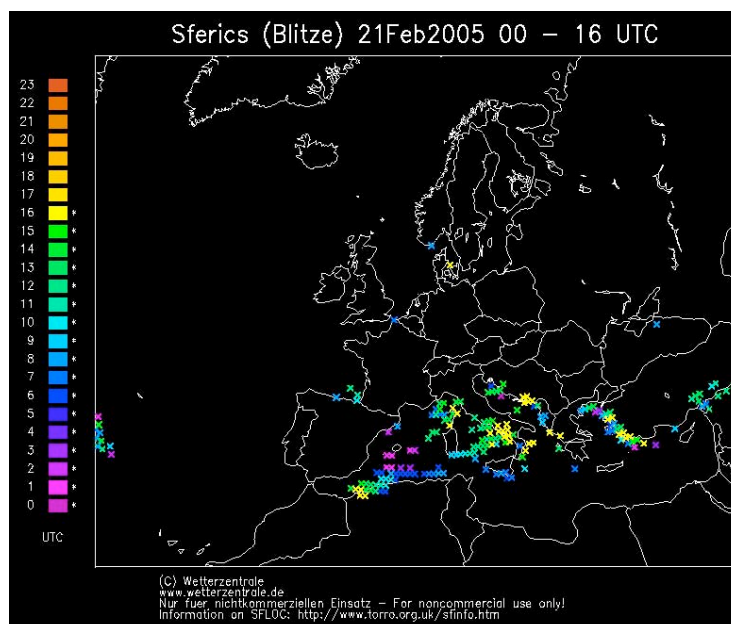
Arrival Time
Delay detection
system van de UK
Met Office

Het gaat om
tijdverschillen van
1 microseconde!!

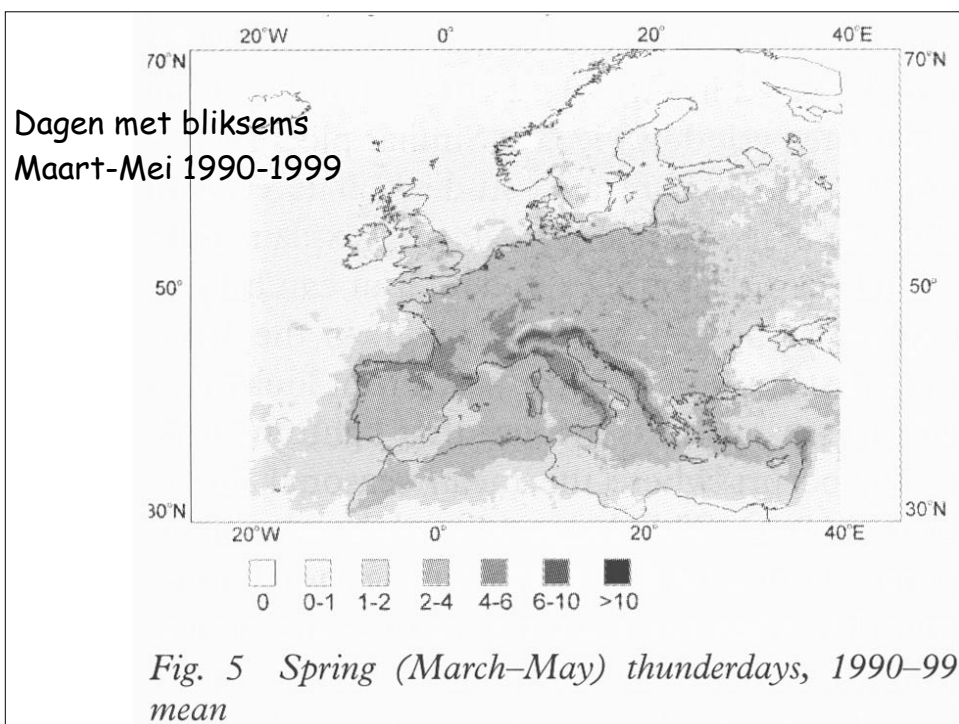
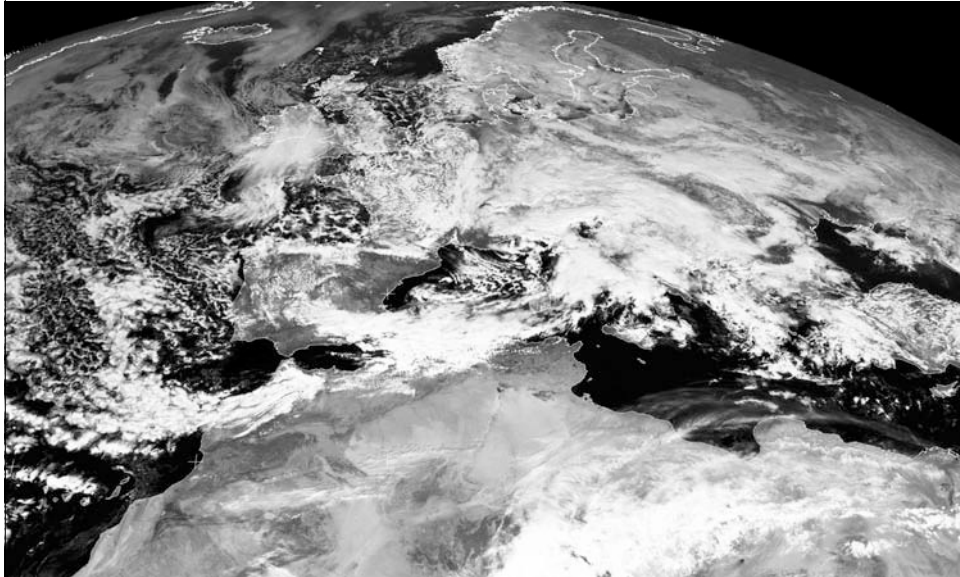
Fig 4.1 Geographic spread of the seven operational ATD outstations and the r.m.s. flash location error in km, assuming 25 μ s r.m.s. ATD error for the total network. The actual lightning fix accuracy is probably higher, since measured r.m.s. ATD errors were only 3.3–11 μ s. After Lee (1986), slightly modified.

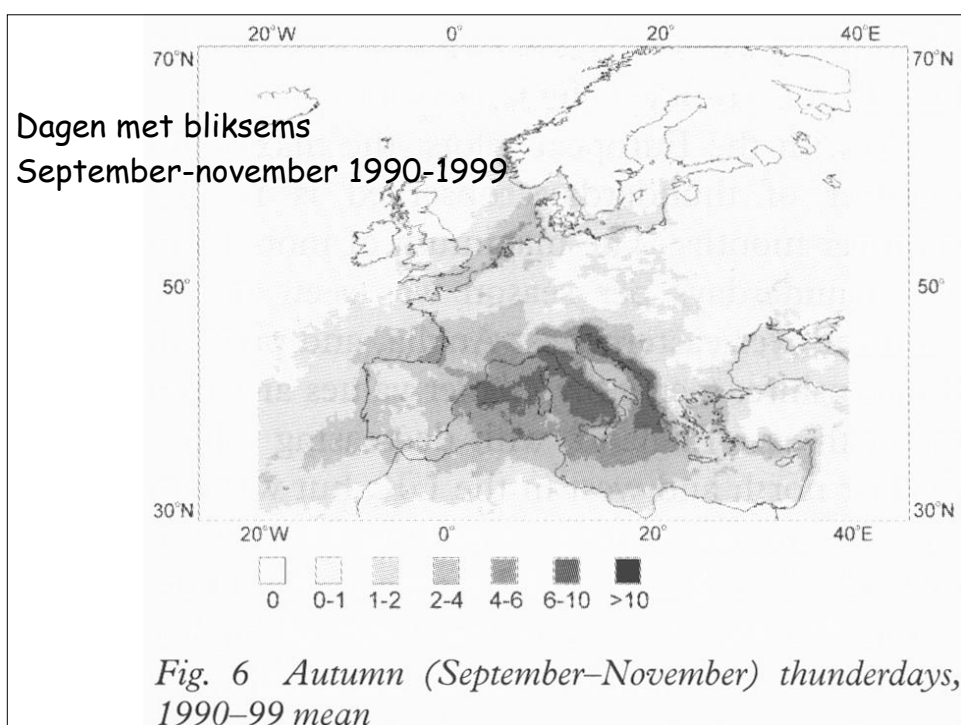
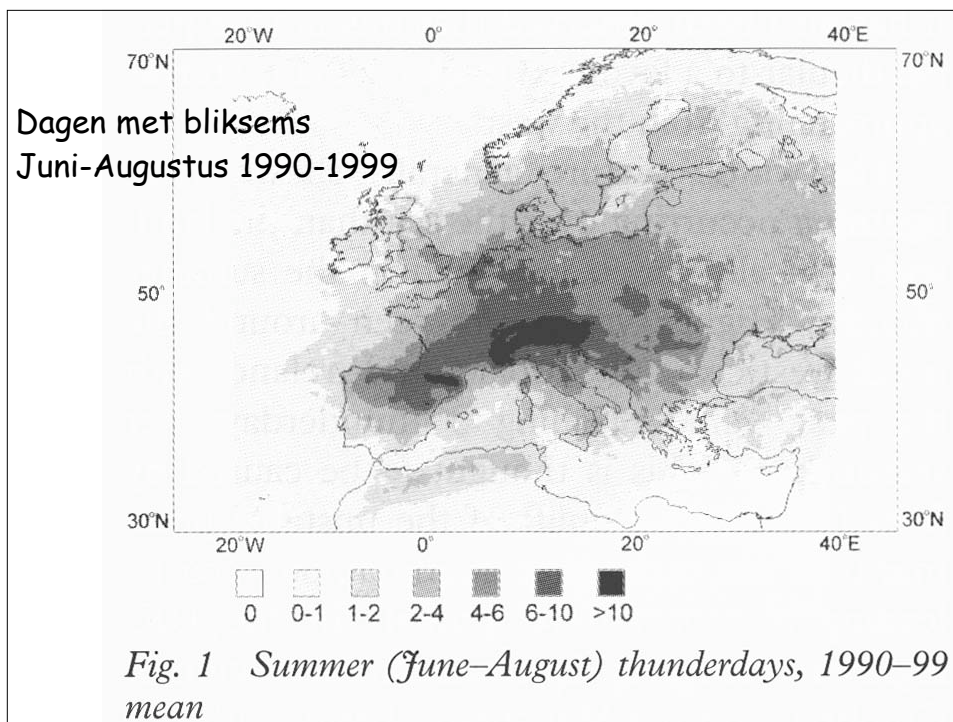
Radiogolven op 10 kHz (door bliksem gegenereerd) worden op 7 stations ontvangen en met elkaar vergeleken.
Nauwkeurigheid plaatsbepaling in Europa **5-20 km**.

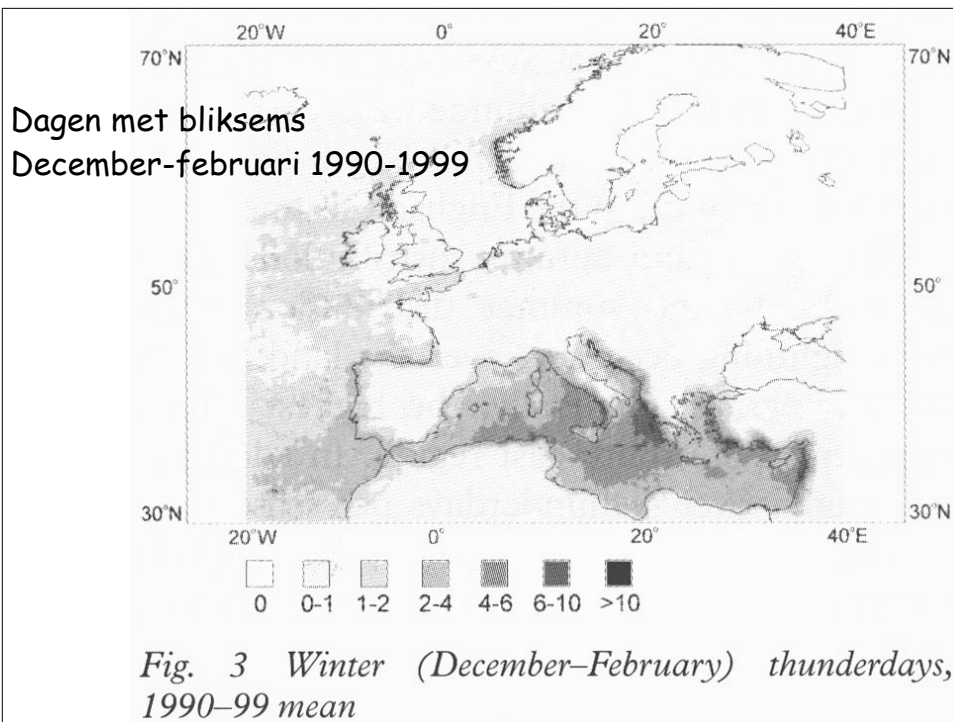
Bliksems vandaag



Satellietfoto 12 UTC 21 feb 05







Schumann resonanties

Bliksem genereert elektromagnetische golven zoals radiogolven, maar ook staande golven die bekend staan als **Schumann resonanties**. De frequentie wordt bepaald door de omtrek van de geleider en de lichtsnelheid. De fundamentele resonante frequentie is **8 Hz**.

Einde



literatuur

- Martin A. Uman, 1987: The Lightning Discharge. Academic Press.
- Herman Wessels, 1990:
Luchtelektriciteit en onweer. Zenit,
juli/Augustus 1990, 258-264