

De doorbroken stilte rondom meteoren

Láslo Evers

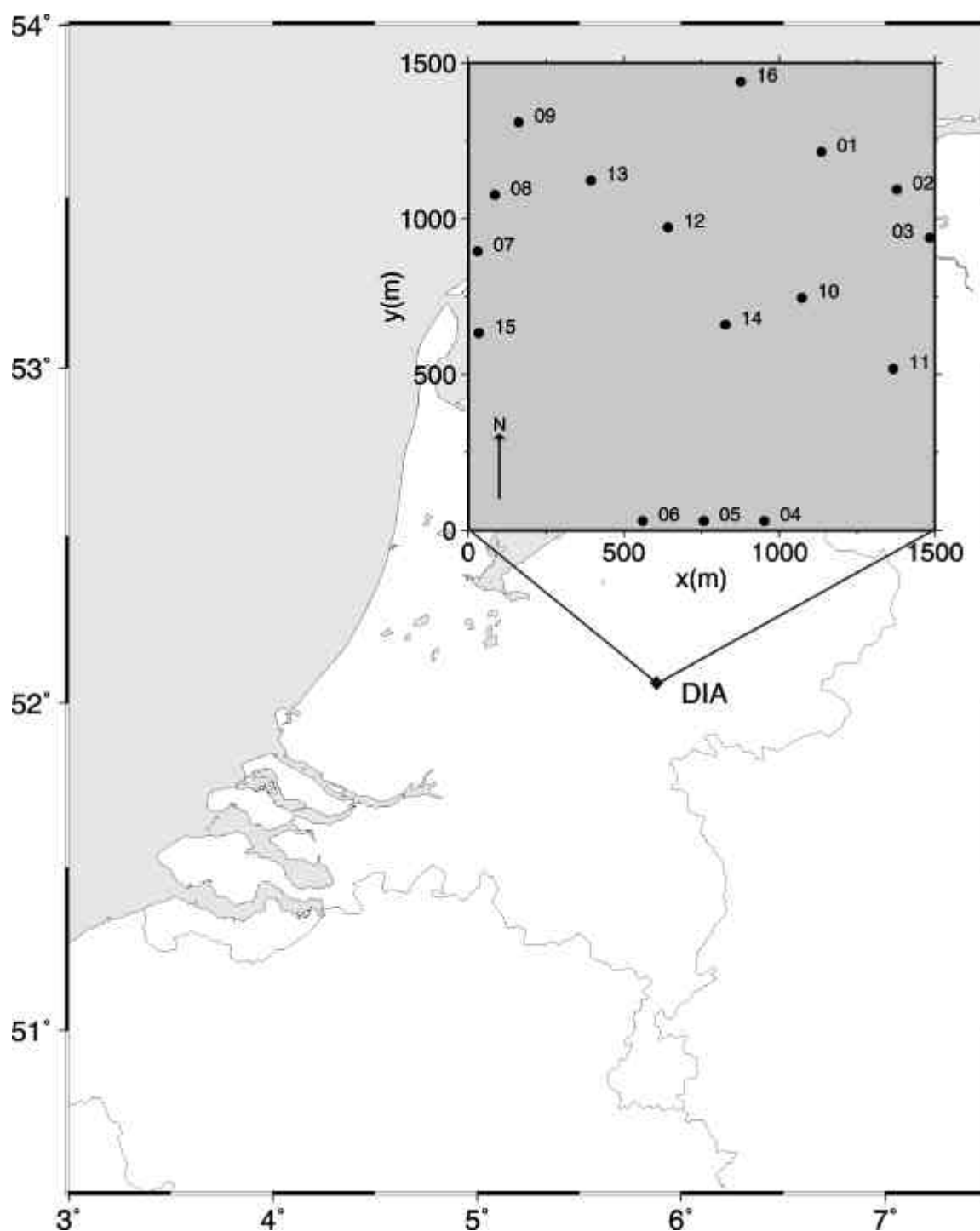
Meteoriten die de aardse atmosfeer binnendringen, genereren zogenaamd infrageluid. Door de supersone snelheid van meteoriten ontstaat een schokgolf, gedurende het pad door de atmosfeer. De opgewekte luchtdrukvariaties zijn op grote afstand onhoorbaar, vandaar de term infrageluid als equivalent van het onzichtbare infrarood. Het menselijk gehoor heeft ruwweg 20 hertz als ondergrens. Dit is de bovengrens van het gebied waar infrageluid optreedt. Zeer laag frequente luchtdrukvariaties, zoals als die van het weer, worden niet meer als infrageluid aangemerkt. De afdeling Seismologie van het KNMI heeft in samenwerking met de Koninklijke Luchtmacht 16 microbarometers op vliegbasis Deelen geïnstalleerd om infrageluid te meten.

Om infrageluid op te wekken zijn grote verplaatsende volumes, of bewegende oppervlaktes, nodig. Zo wordt infrageluid bijvoorbeeld opgewekt door exploderende vulkanen. De gewelddadige erupties van de Etna in de zomer van 2001 zijn in Nederland geregistreerd. Het infrageluid dat vrijkwam bij deze uitbarstingen heeft een afstand van 1800 km afgelegd. Grote explosies, zoals die van de ramp in Enschede, hevige stormen en vliegtuigen die door de geluidsbarrière gaan, zijn instaat onhoorbaar geluid voort te brengen wat vele honderden kilometers kan reizen door de atmosfeer. Ook bovengrondse kernbomproeven genereren infrageluid. Wereldwijd wordt een netwerk gerealiseerd van instrumenten die infrageluid meten, ter verificatie van het kernstopverdrag. Het KNMI heeft een microbarometer ontwikkeld om infrageluid te registreren. Een microbarometer is een zeer gevoelige -vandaar micro- en hoog frequente variant van de barometer. Het meten van infrageluid kan ook met een laag frequente microfoon of luidspreker. Omdat infrageluid zich tussen meteorologische luchtdrukvariaties en hoorbaar geluid bevindt, kan het meten vanuit beide werelden benaderd worden. De 16 microbarometers op vliegbasis Deelen vormen samen het Deelen Infrageluid Array (DIA), *figuur 1*. Een array is een verzameling instrumenten in een specifieke configuratie. Deze configuratie is dusdanig gekozen dat met een zo hoog mogelijke resolutie de gehele atmosfeer op gelijke wijze bemonsterd wordt. 24 per dag het gehele jaar door en sinds 1999 registreren de 16 microbarometers van DIA infrageluid. Deze hoeveelheid gegevens kan niet visueel geanalyseerd worden. Stelselmatig worden de meetgegevens doorzocht op coherente energie vanuit een bepaalde richting. De atmosfeer boven DIA wordt als met een richtmicrofoon volledig afgezocht. Als in een bepaalde bundel coherente energie gevonden wordt, kan hiervan de schijnbare snelheid en het azimut bepaald worden. Schijnbare snelheid is de projectie van de geluidssnelheid op het horizontale vlak, zoals die door microbarometers aan het oppervlak gemeten wordt. Hiermee representeert de schijnbare snelheid de helling van het golffront. Het azimut is de richting waaruit het infrageluid komt. Het azimut wordt ten opzichte van het noorden gegeven, het noorden is als 0 of 360 graden gedefinieerd. In *figuur 2* staan de opnames van luchtdrukvariaties op 27 oktober 2001, van een representatieve selectie van DIA's instrumenten, weergegeven. Het ruizige signaal is karakteristiek voor infrageluid, de meting heeft een zogenaamde lage signaal ruis verhouding. Tussen 400 en 500 seconden is enige toename in amplitude

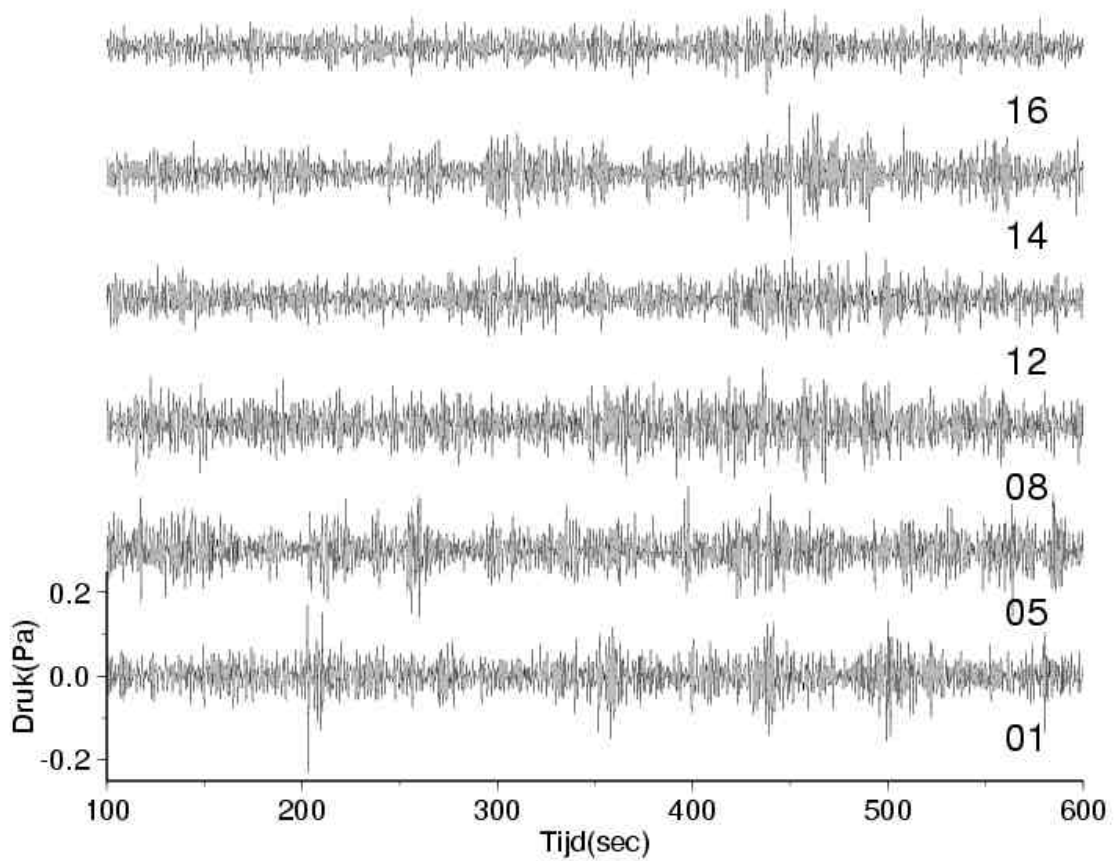
en frequentie van het signaal zichtbaar. In plaats van een visuele analyse, wordt bij voorkeur gekeken naar een afgeleide parameter. Een afgeleide parameter is bijvoorbeeld de mate van gelijkvormigheid van het signaal welke de instrumenten opnemen. Uit de reistijdverschillen over het array van dit signaal zijn de schijnbare snelheid en het azimut bepaald. In *figuur 3* is de tijdsas in alle vier de grafieken gelijk. De onderste grafiek geeft een maat voor de gelijkvormigheid weer, een hoge waarde correspondeert met een grote waarschijnlijkheid op coherent signaal. De bovenste grafiek geeft de som van de individuele registraties weer. Sommatie onderdrukt de incoherente ruis en versterkt het coherente meteor signaal. Tussen 400 en 500 seconden is het meteor signaal zichtbaar, duidelijker dan in de individuele registraties. De middelste grafieken geven de schijnbare snelheid en het azimut weer. De meteor bevond zich ten westen van DIA op 296 graden. De infrasonische energie is met een schijnbare snelheid van 378 m/s over DIA gereisd. Infrageluid van de meteor is ook in Flers (Frankrijk) gedetecteerd. Lokalisatie kan door kruispeiling van de twee gemeten azimuts. *Figuur 4* geeft deze locatie door kruispeiling van zowel de geobserveerde (in grijs) als wind gecorrigeerde (in zwart) azimuts. De locatie van de meteor is als punt weergegeven maar feitelijk genereert de meteor infrageluid gedurende zijn gehele pad door de atmosfeer. De cartoon in *figuur 5* geeft schematisch de infrasonische evolutie van een meteor weer. Hoe dieper de meteor de atmosfeer binnendringt, des te hoger is de dichtheid van de omringende materie. Met toenemende penetratie diepte wordt daarom de intensiteit van het gegenereerde infrageluid hoger. Bij een mogelijk thermische explosie van een meteor kan energie vrijkomen in de orde van kilotonnen TNT equivalent, ook te meten als infrageluid. Op 8 november 1999 registreerde DIA infrageluid van een meteor boven noord Duitsland. De vrijgekomen energie werd berekend als zijnde 1.5 kT TNT, door vergelijk van het signaal met signalen van infrageluid metingen van bekende bovengrondse kernbomproeven. In *figuur 6* is het resultaat van de kruispeiling gecombineerd met het pad van de meteor zoals bepaald door de Dutch Meteor Society (DMS) uit visuele waarnemingen. Beide onafhankelijke technieken leveren een overeenkomstig resultaat.

Uit bovenstaand artikel volgt dat meteoren infrageluid genereren wat gedetecteerd kan worden met een infrageluid array zoals DIA. De locatie van de meteor wordt gevonden door kruispeiling van de opgeloste azimuts van twee arrays. De studie van infrageluid en meteoren is fascinerend, in de interactie tussen beiden gebieden liggen vele uitdagingen in het verschiet.

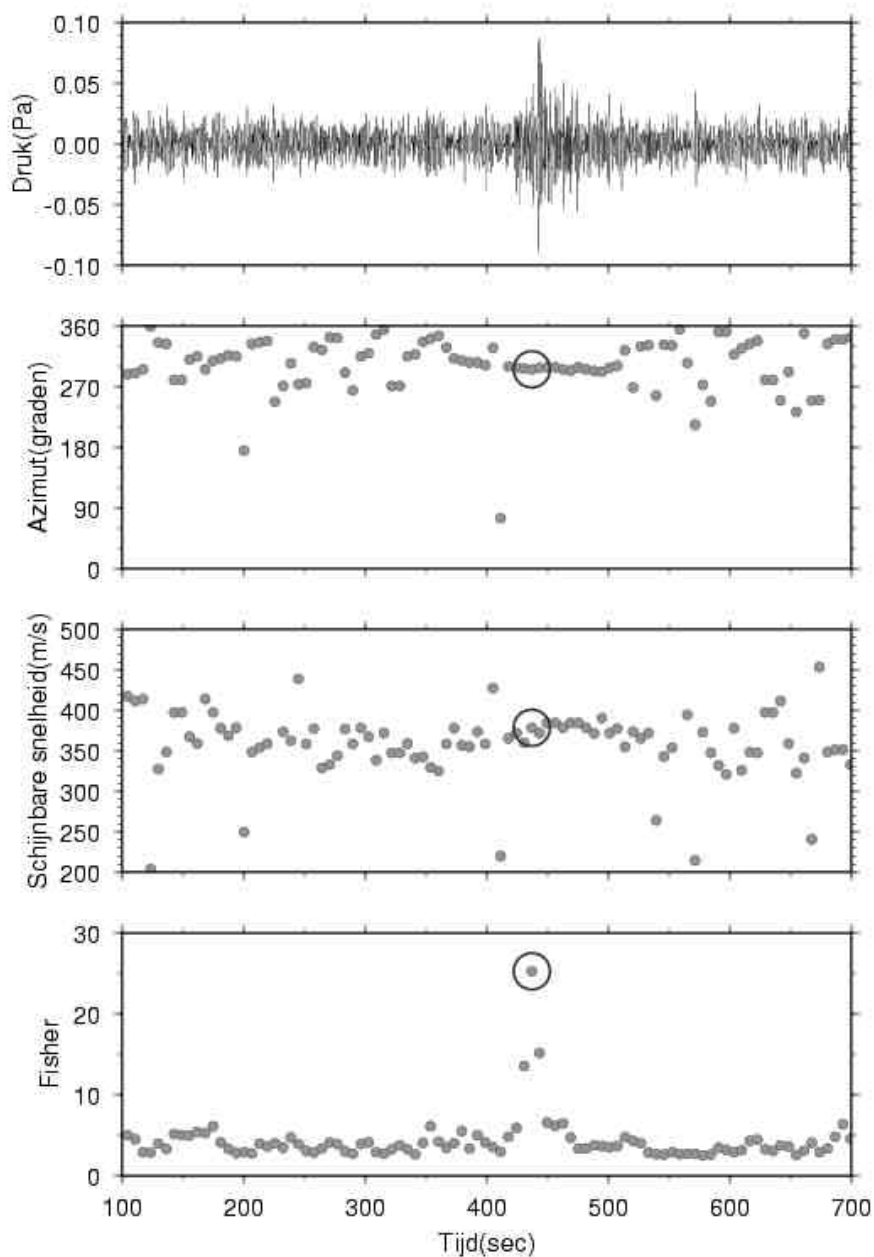
Meer informatie is te vinden op: <http://www.knmi.nl/~evers>



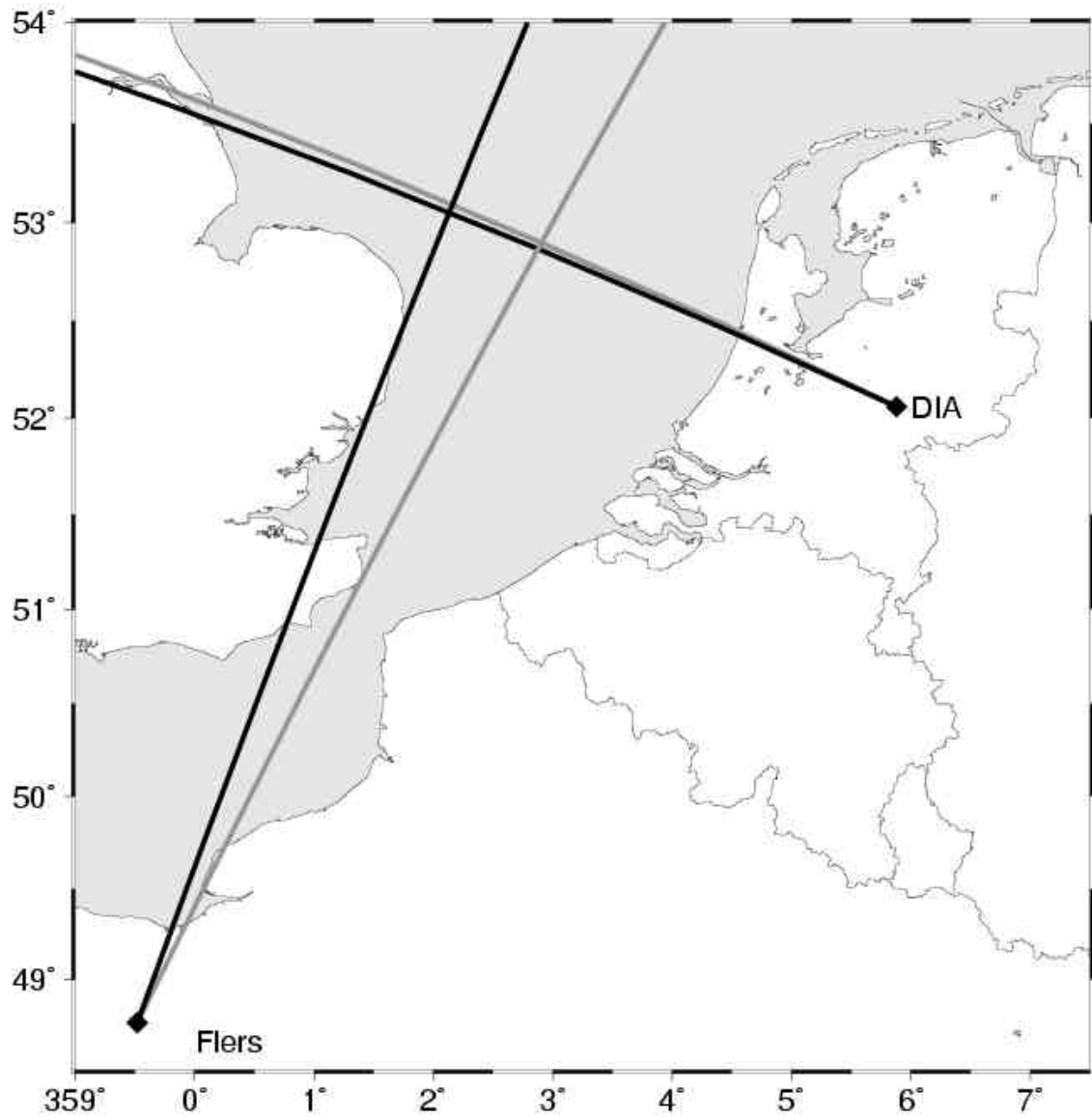
Figuur 1: De 16 KNMI microbarometers die geïnstalleerd zijn op vliegbasis Deelen vormen samen het Deelen Infrageluid Array (DIA). Het array is zodanig geconfigureerd dat de atmosfeer zo homogeen mogelijk bemonsterd wordt. De totale diameter van het array (aperture) is 1500 meter.



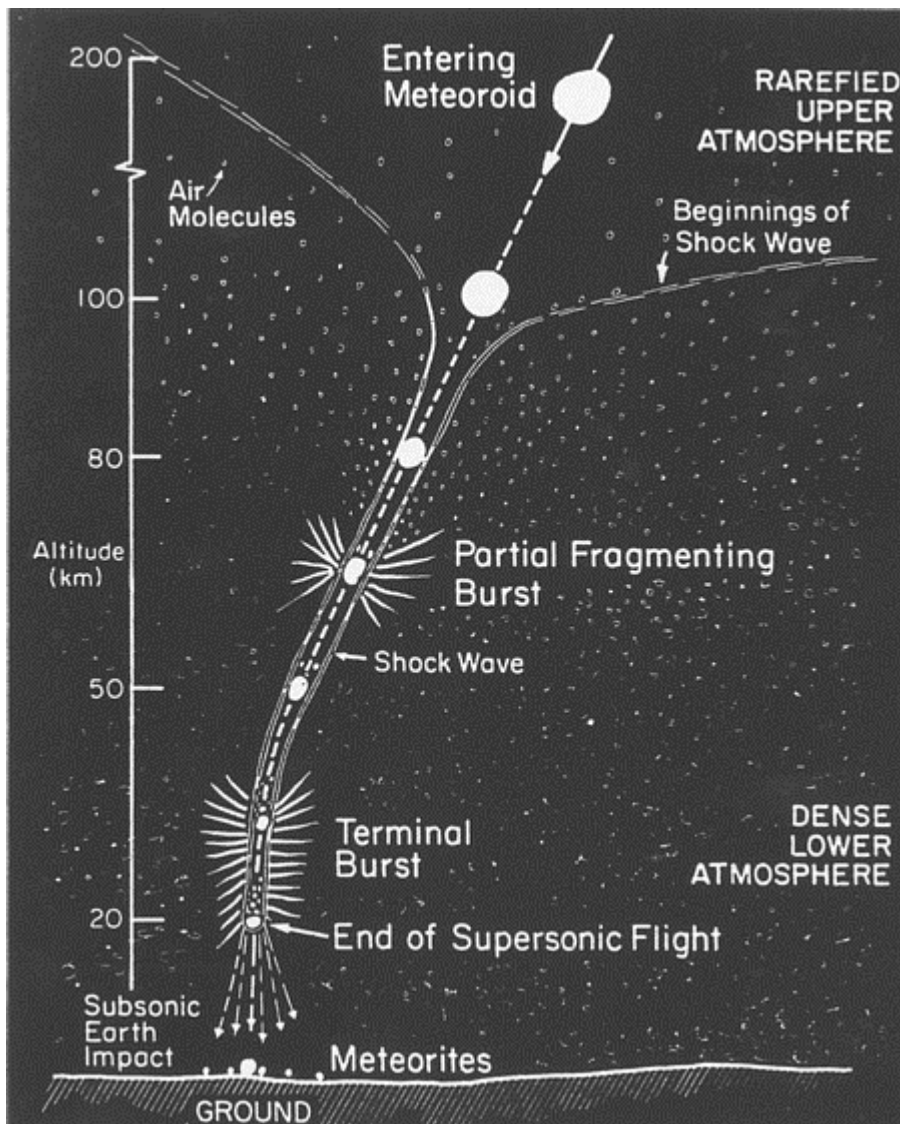
Figuur 2: Registraties van infrageluid op 27 oktober 2001, de begintijd van de tijdsas is 19u30m27.42s GMT. De 6 tijdseries zijn representatief voor de 16 instrumenten van DIA. De data zijn band pass gefilterd tussen de frequenties 0.5 en 1.5 Hz. Het signaal heeft een lage signaal ruis verhouding, tussen 400 en 500 seconden is enige toename in frequentie en amplitude van de signalen te zien.



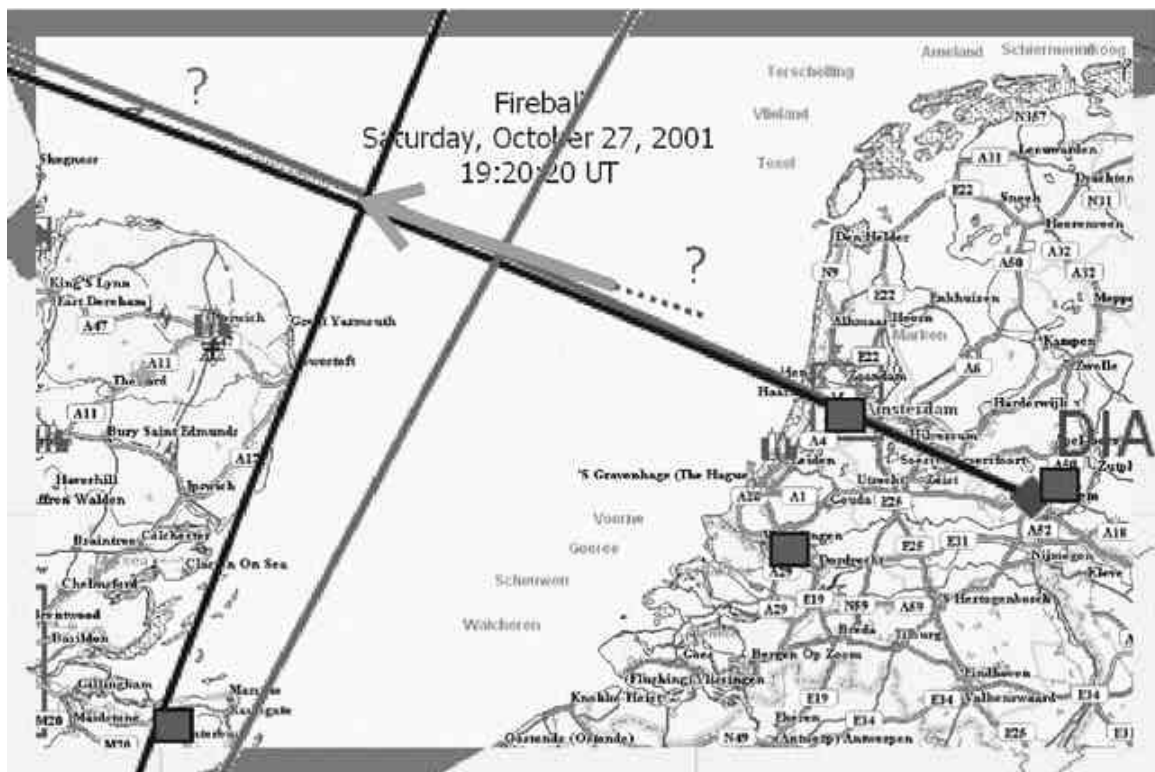
Figuur 3: De tijdsassen in bovenstaande grafieken zijn gelijk, de absolute referentie tijd is als in figuur 2. De onderste grafiek geeft de kans op coherent signaal als functie van de tijd weer. “ de 4 corresponderen met signaal. De hoogste waarde van 27 rond 430 seconden is ten gevolge van het meteor signaal. De bovenste grafiek geeft de zogenaamde best beam, dit is de som van de individuele registraties van de microbarometers. Deze sommatie reduceert de ruis en verstrekt het signaal. Het meteor signaal is duidelijk zichtbaar rond 430 seconden. De twee middelste grafieken geven het azimut en de schijnbare snelheid, respectievelijk 296 graden en 378 m/s (zie de zwarte cirkels).



Figuur 4: Lokalisatie van de meteoroor door kruispeiling van de geobserveerde (grijs) en wind gecorrigeerde (zwart) azimuts vanuit DIA en Flers (Frankrijk).



*Figuur 5: Cartoon die de infrasonische evolutie van een meteor in de aardse atmosfeer weergeeft (van: ReVelle, D.O., Studies of sounds from meteors, *Sky and Telescope*, 49, 87-91, 1975). Bij binnenkomst in de atmosfeer begint zich een schokgolf te vormen in de ijle lucht. Naarmate de meteor dieper binnendringt, neemt de dichtheid toe en zo ook de intensiteit van het infrageluid. De meteor is een zogenaamde cilindrische bron. De Mach kegel is vervormd tot een cilinder door de meteor's zeer hoge snelheid in vergelijking tot de geluidssnelheid. Aan het eind van zijn supersonische vlucht kan de meteor exploderen, hierbij kan ook infrageluid opgewekt worden.*



Figuur 6: Combinatie van twee onafhankelijke methoden om de meteor te lokaliseren. Het kaartje geeft zowel de kruispeiling en het door de Dutch Meteor Society (van: <http://www.dmsweb.org>) gereconstrueerde pad van de meteor (grijze pijl). Het eindpunt van het gereconstrueerde pad stemt overeen met het resultaat van de wind gecorrigeerde kruispeiling (zwarte lijnen).