

Glanerbrug : De vierde Nederlandse meteoriet

Hans Betlem *

English summary

An account is given of a meteorite impact in the Netherlands on april 7, 1990 at 18^h32^m UT and of the scientific activities during the weeks after the fall. The meteorite was classified by Dr. C.E.S. Arps and Dr. L. Lindner undertook the first radio chemical measurements. Orbital and trajectory data were obtained by the Leidse Sterrewacht (Peter Jenniskens) and by the Dutch Meteor Society (Hans Betlem and Casper ter Kuile) using different methods.

Inleiding

Na vele tientallen jaren eindelijk weer eens een Nederlandse meteoriet, al is het dan ‘op het randje’. Op 7 april 1990 om 18^h32^m UT viel een steenmeteoriet van ongeveer 700 gram op het dak van het huis van de familie Wichmann aan de Gronausestraat in Enschede.

Het is gebruikelijk, dat een meteoriet genoemd wordt, naar de plaats waar hij valt. De naam van het dichtsbijzijnde postkantoor wordt hierbij als uitgangspunt genomen.

Pas de dag na de val ontdekte de heer Wichmann de ravage op zijn zolder : De steen was in honderden fragmentjes uiteen gespat en had, vermengd met het gruis van dakpannen de zolder bezaaid met een fijne laag stof. (zie foto 1.) In het dak gaapte een gat van 25 cm groot. Sommige kranten trokken hieruit al snel de conclusie, dat een voorwerp van 25 cm grootte door het dak was gegaan....

Direkt na de ontdekking van het gebeuren stelde de heer Wichmann de politie in kennis. De heren Korving en Koobs van de bijzondere opsporingsdienst (BOD) van de gemeentepolitie Enschede kwamen poolshoogte nemen en zij maakten ondermeer de foto's die U bij dit artikel afgebeeld vindt. Uit de ontstane schade leidden zij af, dat het object met een dusdanige snelheid op het dak neer moet zijn gekomen, dat van baldadigheid of vandalisme zeker geen sprake kon zijn geweest. Bleef over de mogelijkheid van materiaal, afkomstig uit een vliegtuig of satellietfragment of... een meteoriet.

De dagen na de val

Op maandag 9 april kreeg de familie Wichmann uitgebreid bezoek van de pers. Als eerste wetenschapper meldde Dr. Lindner (RU Utrecht) zich in de avond in Enschede. Na telefonisch overleg met Dr. C.E.S. Arps (Nationaal Natuurhistorisch Museum, Leiden) kreeg hij de beschikking over een deel van het materiaal, dat inmiddels door de politie ‘in beslag genomen’ was. Daar er nog geen identifikatie had plaatsgevonden, was de vondst immers nog niet uit de criminele sfeer. Dankzij de meer dan voortreffelijke medewerking van de Enschedeese politie en de bereidwilligheid van de familie Wichmann afstand te doen van het verzamelde materiaal, kon het wetenschappelijk onderzoek snel beginnen en kon worden voorkomen, dat Nederlands cultureel erfgoed in de commerciële sfeer terecht zou komen.



Figure 1: De zoldervloer was bezaaid met grotere en kleinere fragmenten, vermengd met dakpangruis. Rechts naast de lamp is de schade aan het dak zichtbaar.

Op dinsdag 10 april kopte ‘de Telegraaf’ in een voorpagina artikel de val van een meteoriet in Enschede, compleet met foto van het vernielde dak en een man, die later de toevallig tegelijkertijd aanwezige dakdekker bleek te zijn, die de schade kwam opnemen. Hoewel de conclusie ‘meteoriet’ voorbarig was, bleek die later juist te zijn. Het bewuste artikel in de Telegraaf werd hiermee koploper voor nog een hele reeks publiciteitsevenementen, die het wetenschappelijk onderzoek een beetje dreigden te overschaduwen.

*Lederkarper 4, 2318 NB Leiden



Figure 2: *Het huis van de familie Wichmann aan de Gronausestraat in Enschede. Rechts naast de schoorsteen is het gat in het dak zichtbaar.*

Diezelfde dinsdag vervoegden Dr. Arps en DMS-lid Peter Jenniskens, nu namens de Leidse Sterrewacht, zich bij de familie Wichmann. Onderzoek ter plekke leidde al vlug tot de conclusie, dat een heuse steenmeteoriet op Nederlands grondgebied terecht was gekomen. Later die dag vond een persconferentie op het Enschedeese politiebureau plaats, waarop Dr. Lindner bekend maakte, dat de inslag te Enschede inderdaad veroorzaakt was geweest door een meteoriet.

Op dat moment kwam alle materiaal beschikbaar voor onderzoek en kon ook DMS in actie komen.

Het verzamelen van de vuurbolwaarnemingen.

Vele berichten in de pers, op radio en TV volgden. Als gevolg daarvan stroomden in die week de waarnemingen van de vuurbol, waarmee de val gepaard ging, binnen op het DMS adres en op de Leidse Sterrewacht. In totaal werden bijna 200 reacties ontvangen, waarvan vele per telefoon. Intussen naderde ook het DMS Symposium in Rotterdam (14 april), waarop we onze leden zoveel mogelijk wilden informeren. Het lijkt erop, dat we daar in geslaagd zijn. De hectische week voorafgaand aan het symposium gunde de nodige DMS'ers weinig slaap. Met name Peter Jenniskens maakte lange dagen. Inmiddels werden ook de eerste activiteiten ondernomen om de baanberekeningen met FIRBAL te lijf te gaan, middels het uitzoeken van kompasmetingen uit de vele tientallen waarnemingen.

Het DMS Symposium op 14 april (slechts één week na de val!) zal de geschiedenis als legendarisch ingaan. Niet alleen had DMS de primeur van een grote hoeveelheid meteorietmateriaal van nog geen week oud op zijn bijeenkomst,

maar ook konden we de volledige stand van zaken tot dan toe vernemen. Daarnaast lag er reeds een meer dan vaag vermoeden van een globaal traject, waarop een eventuele zoekactie naar nog meer fragmenten kon worden gebaseerd. Van zowel het symposium als van de zoekacties staan aparte verslagen in deze Radiant.

Ook nog gedurende de week na het symposium bleven de waarnemingen binnenstromen; de tot nu toe laatste melding viel op 25 mei (!) in de bus.

Tijdens de weekenden 21/22 april en 28/29 april werden er op verschillende plaatsen in Nederland en Duitsland kompasmetingen gedaan bij ooggetuigen. Naast de door sommige waarnemers zelf al uitgevoerde metingen kregen we zo de beschikking over een 15-tal geselecteerde meetpunten. Vermeld moet hier worden de geweldige medewerking van Dieter Heinlein (VdS Fachgruppe Meteore), die vrijwel dagelijks via BITNET de nieuwste gegevens ter beschikking stelde.

De vervolgwerkzaamheden

Vanaf de eerste meiweken werd het ogenschijnlijk rustig aan het meteorietenfront, maar niets was minder waar. Het materiaal was inmiddels geklassificeerd (Dr. Arps) en de radiologische metingen waren in volle gang (Dr. Lindner). Het astronomische onderzoek concentreerde zich op vier fronten: Leidse Sterrewacht (Peter Jenniskens, grafische reductie van alle visuele meldingen), en DMS (Hans Betlem: FIRBAL en heliocentrische baan en Casper ter Kuile (SIMPRO trajectberekeningen en Darkflight). Daarnaast beschikte Dr. Zdenek Cepelcha (Ondřejov) over de complete set waarnemingen, zodat ook in Praag berekeningen mogelijk werden



Figure 3: De meteoriet vernielde vier dakpannen en versplinterde het dakbeschot daaronder.

gemaakt. Zeker daar waar sprake is van summier en vaak twijfelachtig waarnemingsmateriaal is het goed, om verschillende onderzoeksteams onafhankelijk reductie te laten uitvoeren. In deze Radiant geven we resultaten en bevindingen van allen, die zich bezig hebben gehouden met de Glanerbrug val. Overigens hebben de astronomisch betrokkenen in die periode enkele gezamenlijke bijeenkomsten gehouden, waarop gegevens werden uitgewisseld.

Eind mei ging er van de Leidse Sterrewacht een persbericht uit, waarin de eerste astronomische onderzoeksresultaten naar buiten werden gebracht. In diezelfde week werden baan- en trajectberekeningen alsmede ruim illustratiemateriaal, beschikbaar gesteld door de Enschedeese politie en via Dr. Arps door het Nationaal Natuurhistorisch Museum, toegezonden aan diverse internationale tijdschriften en vele organisaties in het buitenland, waarmee DMS nauwe banden heeft.

Ook Dr. Lindner (Utrecht) had op dat moment, amper zes weken na de val, al de eerste publikaties afgerond.

Het resultaat van vele manuren werkzaamheden ligt nu voor U. Een samenvatting van vrijwel alle onderzoek in de eerste twee maanden na de val. Deze 'Radiant' is een uniek document geworden met beschrijvingen en verslagen van veel gebeurtenissen. Gebeurtenissen en activiteiten, waar jaren later nog over zal worden gesproken. En die dankzij de medewerking van zovelen zo goed vastgelegd konden worden, dat de Glanerbrug als één der beter gedocumenteerde meteorietvallen de geschiedenis in zal gaan. De rol die DMS hierin gespeeld heeft, is onmiskenbaar en we mogen alleen maar hopen, dat het bij een volgende gelegenheid weer zo goed zal gaan. •



Figure 4: Deze foto toont duidelijk de ravage aan de binnenzijde van het dak. (Foto's bij dit artikel: Gemeentepolitie Enschede)

De val van de Glanerbrug meteoriet uit visuele waarnemingen

Peter Jenniskens *

English Summary

Clear skies during twilight on april 7th 1990 enabled many people to observe the fireball associated with the fall of the 'Glanerbrug' meteorite.

As there were 185 witness accounts and 120 of the witnesses were interviewed by telephone, it can be deduced that the fireball accured at $18^h32^m38^s$ UT, lasted for 1.2 seconds only (median value), travelled rather fast with a velocity of between 22 and 30 km/s, more likely near 28 km/s. The initial mass was about 200 to 1000 kg. While leaving a clear smoke trail, it reached a brightness of $M_v = -12^m.5$, fragmented near the end of its luminous trajectory and extinguished at about 22 km altitude. No sounds were heard. From about 80 estimates of the angle between the meteor path and the vertical, and from height estimates by use of stretched arm and fingers, it was found, that the meteor moved from $Az = 236^\circ \pm 6^\circ$ and $H = 49^\circ \pm 5^\circ$ in an ENE to WSW trajectory. This implies a highly inclined orbit ($i \approx 40^\circ$) and a rather short period. Of 3445 numbered asteroids only 25 have $i > 30^\circ$. Of these only 1981 MIDAS is a possible parent body of the 'Glanerbrug'.

Inleiding

Op 7 april 1990 kwam in Enschedé een meteoriet neer, die een gat in het dak sloeg bij de familie Wichmann aan de Gronausestraat. De val van de steen ging gepaard met een fel lichtverschijnsel: een meteor. Bij de Leidse Sterrewacht en bij de Dutch Meteor Society kwamen 185 ooggetuige verslagen binnen. Inmiddels heeft het eerste onderzoek een afronding gevonden en zijn een aantal voorlopige conclusies getrokken.

Conclusies

Op 7 april 1990 om $20^h32^m38^s$ MEZT, toen ter plaatse de zon juist enige minuten onder was, drong een kleine Apollo asteroïde de dampkring van de aarde binnen met een snelheid van 100.000 km/h. Oorspronkelijk woog zij zo'n 1000 kg en was ca. 90 cm in diameter. De steen bewoog richting Enschede uit oost-noord-oostelijke richting boven West-Duits grondgebied onder een hoek van 40 tot 50 graden met de horizon. Doordat de beweging van de steen sneller dan het geluid was, vormde zich een schokfront voor de steen, waarachter de lucht erg heet werd. Dit deed de buitenlagen van de steen verdampen. Door botsing van de damp met de omringende lucht ontstond op ca. 60 kilometer hoogte een heldere natuurlijke lamp die tot op een afstand van 400 kilometer gezien is (bij Nykøbing in Denemarken). De vuurbol was geel-wit van kleur, bewoog vrij snel langs de hemel en liet een ijl rookspoor achter dat tegen de lichte hemelachtergrond enkele seconden te zien bleef. Ze had een vrij gelijkmatige helderheid, vergelijkbaar met of iets helderder dan de volle maan, die op dat moment 23 graden hoog in zuid-oostelijke richting stond. Op het eind van de baan ontwikkelde zich door afbrokkelen een korte staart. De vuurbol kleurde oranje, er kwamen fragmenten los, waarvan minstens één een wat afwijkende baan van het hoofdlichaam

volgde. Dat alles gebeurde in minder dan drie seconden tijd. De toenemende luchtdichtheid zorgde voor een sterke afremming van de steen in het laatste deel van het lichtgevende traject. De meteor doofde op ca. 20 kilometer hoogte: het moment waarop de warme lucht uit de schok ontsnapte. De hoofdmassa was op dat moment geheel met een zwarte smeltkorst bedekt. Bij de verdere afremming is de steen in enkele stukken gebroken. Eén zo'n stuk tenslotte is na enkele minuten op het dak van de familie Wichmann ($\lambda = +6^\circ57'04''$; $\phi = +52^\circ13'05''$, $H=42$ m) te pletter geslagen. De fragmenten drongen door een eternit plaat en werden als een douche over de zoldervloer verspreid.

De waarnemingen

Al op 10 april, drie dagen na de val, en een dag nadat de heer Springer van het Algemeen Dagblad een mogelijke meteorietval meldde bij de Leidse Sterrewacht, kon tijdens een persconferentie op het bureau van de Gemeentepolitie te Enschede door dr. L. Lindner en dr. C.E.S. Arps bevestigd worden, dat er voor het eerst sinds 1925 weer een echte meteoriet was gevallen in Nederland. Van die gelegenheid werd gebruik gemaakt om ooggetuigen op te roepen hun waarnemingen van de bijbehorende meteor te melden.

Dat leverde waarnemingen op via met name het dagblad De Gelderlander, Radio Oost, de Volkskrant (Via Govert Schilling) en het Algemeen Dagblad. Op 11 april volgden meer oproepen bij ondermeer RTL-Veronique en Radio West. Hans Betlem en Annemarie Zoete voor DMS en Ingrid van Gelder, Els Zikken en Klaas Weerstra voor de Sterrewacht te Leiden zorgden voor het opvangen van de waarnemingen. Ook via met name Jan Kamphuis van de gemeentepolitie Enschede en Ton Schoenmaker van de Kapteyn Sterrenwacht in Roden kwamen waarnemingen binnen. Dieter Heinlein van de West Duitse VDS Fachgruppe Meteore verzorgde op 14 april een oproep in Duitse kranten.

*Sterrewacht Leiden, Niels Bohrweg 2, 2333 CA Leiden.

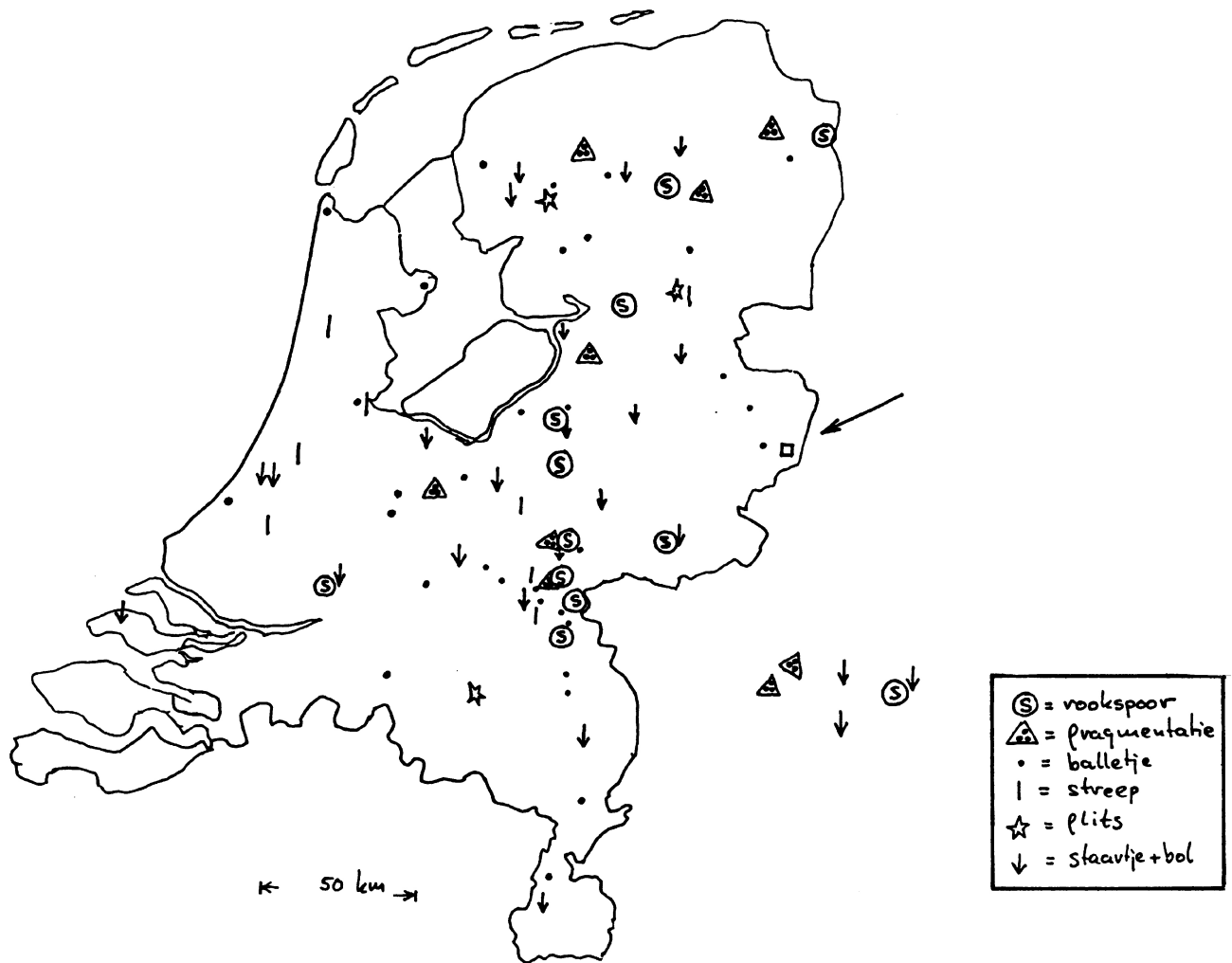


Figure 1: Verdeling van gerapporteerde uiterlijke kenmerken over Nederland. Fragmentatie en rookspoor waren maar tot een afstand van 120 km. van het traject goed te zien.

In totaal zijn er 185 reacties van ooggetuigen ontvangen, waarvan 15 uit Duitsland en één uit Denemarken. In Nederland en in het Ruhrgebied was de hemel glashelder. Alleen in noord Duitsland en boven het uiterste noorden van ons land was bewolking met wat uitlopers in het oosten (gemeld vanuit Lochem en Hengelo).

Tot en met maandag 23 april, 16 dagen na de val, zijn mensen telefonisch benaderd en is hun gevraagd naar ondermeer de hoek waaronder de meteor op de horizon viel, de tijdsduur, begin- en eindhoogte, afgeschat met gestrekte arm en vingers, de helderheid ten opzichte van de maan en uiterlijke kenmerken van de meteor.

Het tijdstip van de meteor

Enkele waarnemers hebben meteen na het verdwijnen van de meteor op hun horloge of op een klok gekeken. De heer A. Albers uit Assen, de heer R. Bakker uit Dieren, J. Graffelman uit Drachten, H. Visser uit Wageningen en de heer Aben te Oploo (autoklokje) noteerden 18^h32^m UT (20^h32^m zomertijd). K. Brinks uit Amsterdam las op zijn wijzerhorloge 18^h33^m af. Enige tijd na de verschijning no-

teerden Y. Langbroek uit Voorschoten en J. Luijten uit Utrecht 18^h33^m. Op 12 april wist alleen de heer M.W.M.M. Janssen uit Groesbeek zich de tijd nog precieser te herinneren: 18^h32^m38^s UT, afgelezen ongeveer 5 seconden na de vuurbol. Bij controle van de tijd bleek het horloge 5 seconden achter te lopen. Blijft dus staan: 18^h32^m38^s UT. De heer Janssen voegde daar aan toe, dat hij er een gewoonte van maakte om bij vreemde gebeurtenissen onmiddellijk op de tijd te letten. De tijd is in overeenstemming met die van de andere waarnemers, maar omdat de tweede opgave pas vijf dagen na het gebeuren genoteerd is en niet door een andere waarnemer is bevestigd, is deze opgave onder voorbehoud.

Beschrijvingen

Geen van de ooggetuigen had enige ervaring met het waarnemen van meteoren. De beschrijvingen zijn daarom geen directe vergelijkingen met de typische verschijnselen van meteoren: flares, nalichtende sporen, hoeksnelheid en helderheidsverloop zijn onbekende termen! De waarnemers beschrijven niet alleen het fysische verschijnsel (een helder

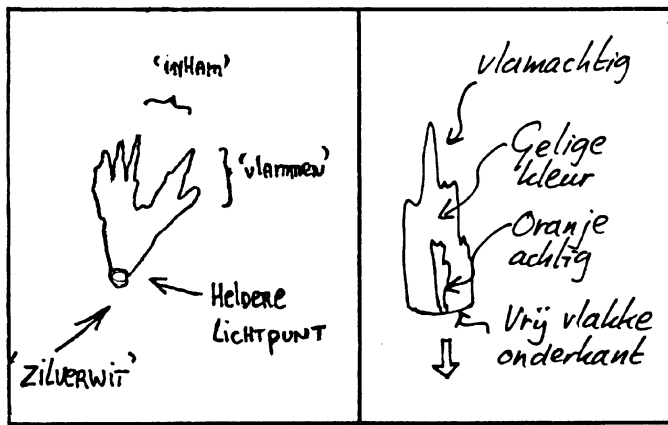


Figure 2: Enkele schetsen van het uiterlijk van de vuurbol. Mevr. Y. Langbroek-van Hemert (Voorschoten; links) en de heer G. Sleurink (Kampen; rechts)

licht, een spoor achterlatend) maar maken ook interpretaties (als een brandende vuurpijl, als een neerstortende F-16), vooral wanneer zij in de gelegenheid worden gesteld uitgebreid te verhalen. Om achter de fysische informatie te komen, werd bij het telefonisch interview geprobeerd om het beeld van een meteor invulling te geven. Bij voorbeeld: Werd de meteor helderder, werd zij zwakker of bleef zij gelijk naar het einde toe; was er sprake van opvellingen of opbreken? Voorzichtigheid is geboden omdat de waarnemingen vormen van gezichtsbedrog bevatten. B. Bulsink uit Nijmegen zag de meteor bij voorbeeld als twee parallelle lichtstrepen. Dit verschijnsel wordt zelfs door ervaren waarnemers soms opgemerkt bij heldere, snelle meteoren, die op de foto toch duidelijk uit één spoor bestaan. Mogelijk worden hier de twee oogbeelden niet netjes over elkaar heen gelegd. Oogbewegingen zijn een bron van misleiding. Veel waarnemers rapporteerden een licht gebogen baan. De afwijking van een rechte baan van de (zelfs langzamer bewegende) Lost City en Pribram meteoren, beide gefotografeerde meteorietvallen, was te klein om op de foto gezien te worden! De baan wordt dus nauwelijks door de zwaartekracht afgebogen. Een snelle beweging van het oog kan het beeld van een snelle meteor gekromd doen lijken. De beschrijving van M.C. Oppelaar uit Roden wijst in die richting: 'Bovenin zat een bocht; het laatste stuk was vrij vertikaal'. Ook het feit dat zulke lichtgebogen banen vooral door automobilisten genoemd worden, is daarvoor een aanwijzing.

Tenslotte is de wat trage reactie van het oog op een snelle beweging een bron van misleiding. De 24 beeldjes die elke seconde op een TV scherm verschijnen worden moeiteloos aan elkaar geplakt. Een heldere lichtpunt, die snel over het netvlies beweegt geeft de indruk, dat achter dat punt een staartje ontstaat. Sommige waarnemers melden, dat 'het balletje in een punt uitliep'. Ook wordt soms een streep in plaats van een snelbewegende punt, vlek, ster of balletje gemeld. Dit wijst op een snelle beweging van de meteor.

Zo'n streep wordt door automobilisten wat vaker gerapporteerd dan door waarnemers in huis of buiten (zie tabel 1); misschien omdat automobilisten hun aandacht ook op de

	Balletje/staart %	Streep %	Balletje %	Totaal
Auto	29	25	47	17
binnen	42	7	50	42
buiten				

Table 1: Uiterlijke verschijning van de vuurbol. Automobilisten melden wat vaker een 'streep'.

weg moeten houden.

Wat tenslotte opvalt is, dat verschillende waarnemers de nadruk leggen op verschillende details van de verschijning. Voor een deel hangt dat af van de lokatie van de waarnemer ten opzichte van het traject. Figuur 1 laat zien, dat waarnemingen van rookspoor en fragmentatie beperkt zijn tot de optimaliteits zone: Daar waar de vuurbol tussen 30 en 15 graden hoogte verscheen (tussen 50 en 100 kilometer van het traject). Op wat grotere afstand wordt de ruimtelijke resolutie minder en is de fragmentatie moeilijker te zien. Het rookspoor was dun en zwak (M. Goldschmidt, Dortmund) en daarom moeilijk herkenbaar. Opmerkelijk door de grote afstand is de waarneming uit Bleskensgraaf bij Rotterdam, waar R. Houweling een 'vuurpijl met pluimpje; later een rookwolkje' meldde!

Uiterlijke verschijning

Sommige beschrijvingen geven een evolutie aan. J.J. van der Geugten uit St. Oedenrode zegt: 'Er was een felle streep, die eindigde als een vuurbol. Daarop een korte flits als bij een fototoestel. Toen gedoofd.' W.F. Willems uit Voorthuizen vertelde: 'Er was een streep, ineens was het balletje er, liep in een punt uit, een staartje ontstond, hij werd wat kleiner, waarop hij verdween.' En E.H. Jacobs-Bergman uit Heerenveen beschreef: 'Begon smal, werd breder, flits. Je zag dat er iets uit elkaar sprong. Maar ik heb geen stukjes opgemerkt.' G. Sleurink uit Kampen schreef: 'Als een vuurpijl, vlak voor het uitdoven werd de vuurbol wat meer vlammen fakkelachtig.' Of zoals mevr. Y. Langbroek-van Hemert uit Voorschoten opmerkte 'Op het eind aan ontstonden aan twee kanten uitstulpingen (glitteringen).'

Fig 2 laat de tekeningen zien van de vuurbol van de beide laatste waarnemers. Zo'n tekening is een beschrijving op één moment.

Dat is waarschijnlijk ook de beschrijving van V. Rheenen uit Meppel: 'Een witte punt, daarachter een oranje gloed, die over ging in zwarte rook.' Of zoals W. Oepts en J. Luijten de kleur beschreven vanuit Utrecht: 'Fel wit tot roodbruin en zwart.' Over de kleur en kleurveranderingen verderop meer.

Het rookspoor werd goed gezien door amateurastronoom M. Goldschmidt uit Dortmund, tot tien seconden na het verdwijnen van de vuurbol. Het was zwak en dun, van het begin (de rand van een dak) tot het eindpunt goed te zien. Het eindpunt van het rookspoor markeerde ook het eindpunt van de vuurbol. Mevrouw A.J. Herder-Vermeer keek vanuit een donkere kamer naar de hemel, toen daar plotseling de meteor verscheen. Ze beschreef de vorm 'als van een dikkopje met een zwarte streep er achter aan, zoals rook van vuurwerk.' Die streep is vijf tot zes seconden te zien

Kleur	Binnen (%)	Auto (%)	Buiten (%)
Rood	24	0	8
Oranje	10	8	12
Geel	31	12	15
Geel-Wit	7	35	19
Wit	21	35	38
Groen	3	0	0
Blauw-Groen	0	4	4
Blauw	3	8	4
Totaal	29	26	26

Table 2: Verdeling (%) van kleur beoordelingen. Waarnemers binnen wijzen vaker op de rode kleur (op het eind) en vonden de vuurbol duidelijker geel van kleur dan de waarnemers buiten.

geweest.

Mevr. A. van den Berg uit Epe vertelde: ‘Wel werd een spoor getrokken, net als uitlaatgassen van een vliegtuig. Een paar tellen, zolang als het duurde...’ De lichte hemelachtergrond (de zon was pas enkele minuten onder) en het glasheldere weer maakten zo’n waarneming van het donkere rookspoor mogelijk. Bovendien, zo zullen we verderop zien, heeft de steen veel materiaal verloren. Relevant, maar moeilijker te plaatsen is in dit kader de opmerking van mevr. Jacobs-Bergen, dat ‘tijdens de flits de ontploffing op het eind, de vuurbol een cirkel leek met even een klein donker stipje erin.’ Ook mevr. R.W. Ouwersloot uit Zelhem meende wat donkers in de vuurbol te zien. Voor haar was de vuurbol ‘zoals een drukknop met een verhoginkje in het midden en een diepte daaromheen’

Behalve rookontwikkeling (uit de damp van de meteoriet) kan ook fragmentatie voor zulke details verantwoordelijk zijn. Een groot aantal waarnemers rapporteerde juist voor het uitdoven het ontstaan van één of meer vonken bij het hoofdlichaam. De heer J. Graffelman uit Drachten zei: ‘De vuurbol viel plotseling uiteen in vele stukken, die op een aantal delen na de hoofdlijn van de baan volgden. Enkele delen vielen vanaf het punt van uiteenvallen een baan naar links.’ Hij zag de meteoriet zelf juist naar rechtsonder vallen. Ook H. Sekeres uit Hattem zei: ‘Zijdelings voor en linksonder van de grote bol bewoog een kleiner fragment.’ F. Stoop zag vanuit zijn auto in Oosterbeek twee fragmenten voor het hoofdlichaam uitlopen. Het grotere links voor; het kleinere recht voor het hoofdlichaam uit. Het grote stuk was volgens H. Sekeres helrood, de kleinere fragmenten geel-oranje. De beschrijvingen van het kleurverloop wijzen op een geel-witte meteoriet, die later oranje-rood werd. H. Lammerts uit Nieuwe Pekela vertelde, dat de meteoriet naar beneden toe meer oranje werd. En G. Sleurink noteerde ‘geelachtig, later met een oranje kleur aan de basis.’ Boeiend is te zien, dat ook nu weer (vergelijk met de vuurbol van 20 februari 1986, [1]) de interpretatie van de kleur verschilt voor waarnemers in huis, in de auto en buiten, afhankelijk van de mate van licht adaptatie van de kegeltjes in het netvlies (zie tabel 2.) Waarnemers met ogen aangepast aan de donkere omgeving geven een voorkeur aan ‘wit’ of ‘kleurloos’. Automobilisten met een zwakke aanpassing door straatverlichting noteren een neiging naar geel. Waarnemers binnen, met een goede

	Maan < 30° (gezien)	Maan > 30° (gezien)	Maan > 30° (niet gezien)
< maan	0	2	0
= maan	4	2	0
> maan	2	5	7
>> maan	1	0	11

Table 3: Helderheid van de vuurbol ten opzichte van de maan voor waarnemers die de vuurbol langs de maan zagen gaan; op grote afstand (> 30°) van de maan en die de maan die avond niet hadden opgemerkt.

Waarnemer	Plaats	helderheid t.o.v. maan	m_v	M_v
K.F. Jongbloed-Smit	Zwolle	=	-12.3	-11.6
G. Sleurink	Kampen	>>	-15	-14.7
H. Zijlstra-Timme	Bolsward	=	-12.3	-12.6
W. Bruinsma	Sneek	=	-12.3	-12.6
A. Beverdam	Vledder	=>	-13.0	-12.8
M. Kinds	Olst	>=	-13.3	-12.4
J.A. Olvers	Slagharen	>	-14	-12.8

Table 4: Absolute helderheden (afstand 100 km) van de vuurbol voor de waarnemers, die de meteoriet langs de maan zagen gaan.

fel-licht aanpassing noteerden meestal geel en noemden vaak het rood van het hoofdfragment op het einde.

Voorzichtigheid is geboden, omdat de kleurbeoordeling misschien beïnvloed wordt door de helder blauwe hemelachtergrond. In zo’n geval lijkt een voorwerp voor onze ogen de complementaire, dus gele, kleur aan te nemen. Toch is een gelige kleur niet uit te sluiten. Het kan wijzen op een spectrum rijk aan ijzerlijnen, waarin ook de Na-D lijn kan domineren. De groene magnesiumlijn is wellicht zwak geweest.

De rode kleur kan worden veroorzaakt door een sterke lijn van geïoniseerd silicium (de meteoriet is rijk aan silicaten) of een band van atmosferische stikstof. [2] Zo’n rode kleur op het eind werd ook bij de vuurbol van 20 februari 1986 waargenomen [1].

De helderheid

De maximale helderheid van de vuurbol is evenredig met de beginmassa van de meteoriet bij een bepaalde intree snelheid. Daarom is het belangrijk een schatting te verkrijgen van de helderheid. Deze helderheid wordt uitgedrukt in magnituden. De helderste ster aan de zomerhemel heeft magnitude 0; de zwakste ster die in een heldere nacht nog met het blote oog gezien kan worden is van magnitude +6. Heldere meteorieten (vuurbollen) vallen zo tussen magnitude -5 en -20. Nu doet zich het probleem voor, dat er maar één hemellichaam is van zo’n helderheid en dat is de maan. Een directe vergelijking met de maan blijkt alleen mogelijk, wanneer de vuurbol vlak langs de maan gaat. Dan nog is een schatting moeilijk, omdat de maan uitgebreid is. De maan stond op 23 graden hoogte in het oost-zuid-oosten (azimuth 303°) op het moment dat de meteoriet viel.

Tabel 3 laat de helderheidsschattingen zien door waarnemers die de vuurbol vlak langs de maan zagen gaan, die op enige afstand van de maan de vuurbol zagen vallen, en tenslotte de waarnemers die de maan die avond niet opgemerkt hebben. De tendens is duidelijk. Naarmate de maan minder duidelijk in beeld is, wordt de meteor helderder geschat. H. Zijlstra-Timme in Bolsward en A. Beverdam in Vledder zagen de meteor vlak bij de maan en vonden de helderheid van de meteor respectievelijk *'hetzelfde'* en *'net zo of misschien iets helderder'*. W. Bruinsma uit Joure was bij Sneek in de auto, toen de meteor *'praktisch over de maan bewoog'*. Hij oordeelde de helderheid van de meteor gelijk ten opzichte van de maan. Alleen de heer Sleurink uit Kampen oordeelde de meteor veel helderder dan de maan. Mevrouw Jongbloed-Smit uit Zwolle maakte een bijzondere waarneming, omdat ze de helderheid van de meteor kon vergelijken met de maan, door de interne reflecties die het verschijnsel veroorzaakte in de dubbele beglazing van de ruit, waardoor ze keek. Ze zag de meteor ook het dichtste langs de maan gaan. Ze stelde vast, dat de meteor *'even helder'* als de maan was.

De maan was op 7 april bijna vol en van magnitude $-12^m.3$. De absolute magnitude (op een afstand van 100 km) van de meteor zal dan geweest zijn (zie tabel 4) $m_v = -12.5 \pm 1.0$.

Het helderheidsverloop

Op de vraag of de meteor tijdens het vallen zwakker of helderder werd, antwoorden vijf waarnemers, dat er sprake was van een (minimale) helderheidstoename, 12 waarnemers zagen geen verandering. M. Goldschmidt uit Dortmund sprak van een gelijkmatige helderheid met een korte periode aan het eind, waar de meteor in helderheid afnam. Mevr. Jongbloed-Smit keek vrijwel naar de plaats waar de meteor verscheen en vond de verschijning vrij plotseling: *'De meteor gloeide kort aan, bleef op die helderheid tot een zeer korte periode van uitdoven'* Behalve de door maar een paar waarnemers genoemde flits aan het eind, zijn er geen noemenswaardige flares geweest. Fig. 3 laat het verloop in helderheid zien van de Lost-City en Innisfree meteoren. Hoewel die met een lagere snelheid (ca. 14 km/s) binnen kwamen, zal het helderheidsverloop van de 'Glanerbrug' vergelijkbaar zijn geweest.

Geluiden

De vuurbol heeft geen noemenswaardige geluiden veroorzaakt aan het aardoppervlak. M. Goldschmidt zowel als de heer E. van Vliet, die op dat moment in zijn auto geparkeerd stond bij Oranjewoud, wachtten speciaal op nog komende geluiden, maar hebben niets opgemerkt. De heer B. Wichmann en mevr. C. Wichmann, woonachtig in hetzelfde huis als waarin de meteoriet insloeg, hoorden een doffe dreun, alsof er iets omviel op zolder (C. Wichmann). *'Direkt daarop trilden de ruiten iets en klonk een zacht dreunend geluid zoals een vliegtuig dat over komt. Een eerste indruk was die van onweer'*, aldus B. Wichmann. Er werd geen scherpe knal gehoord, die kon wijzen op een schokfront. Ook de burens van de familie, aldus de familie Wichmann, bleken niets gehoord te hebben, zelfs niet het geluid van de inslag. Er werd in elk

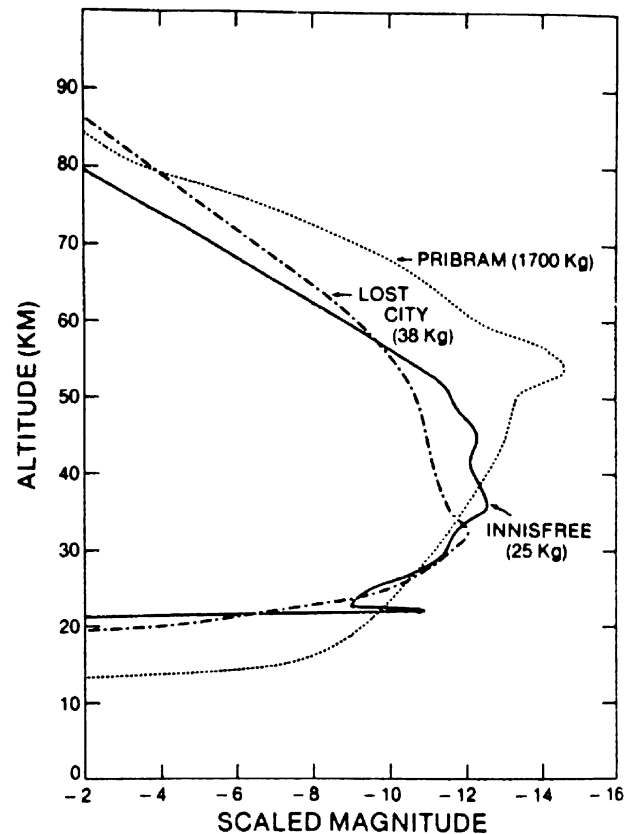


Figure 3: Helderheidsverloop van de drie gefotografeerde en (later) teruggevonden meteorieten. De 'Glanerbrug' moet een vergelijkbaar helderheidsverloop hebben gehad. Uit [3]

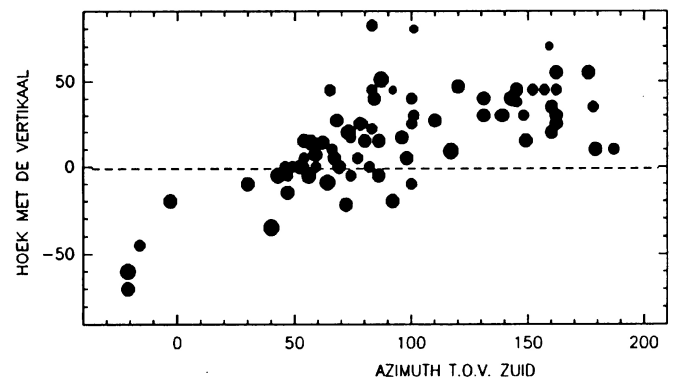


Figure 4: De hoek met de vertikaal is uitgezet voor verschillende richtingen in azimuth, vanuit Glanerbrug gerekend.

geval geen aandacht aan geschonken. Alles wijst erop, dat de steen subsoon, dus met een snelheid lager dan die van het geluid, het donkere deel van zijn baan heeft afgelegd, en dat de schokgolf op grote hoogte niet doorgedrongen is tot het aardoppervlak.

De baan van de meteor in de dampkring

Het traject in de dampkring is te berekenen met driehoeksmetingen uit de opgegeven richtingsaanduidingen. Visuele hoogte- en azimuthschattingen door onervaren

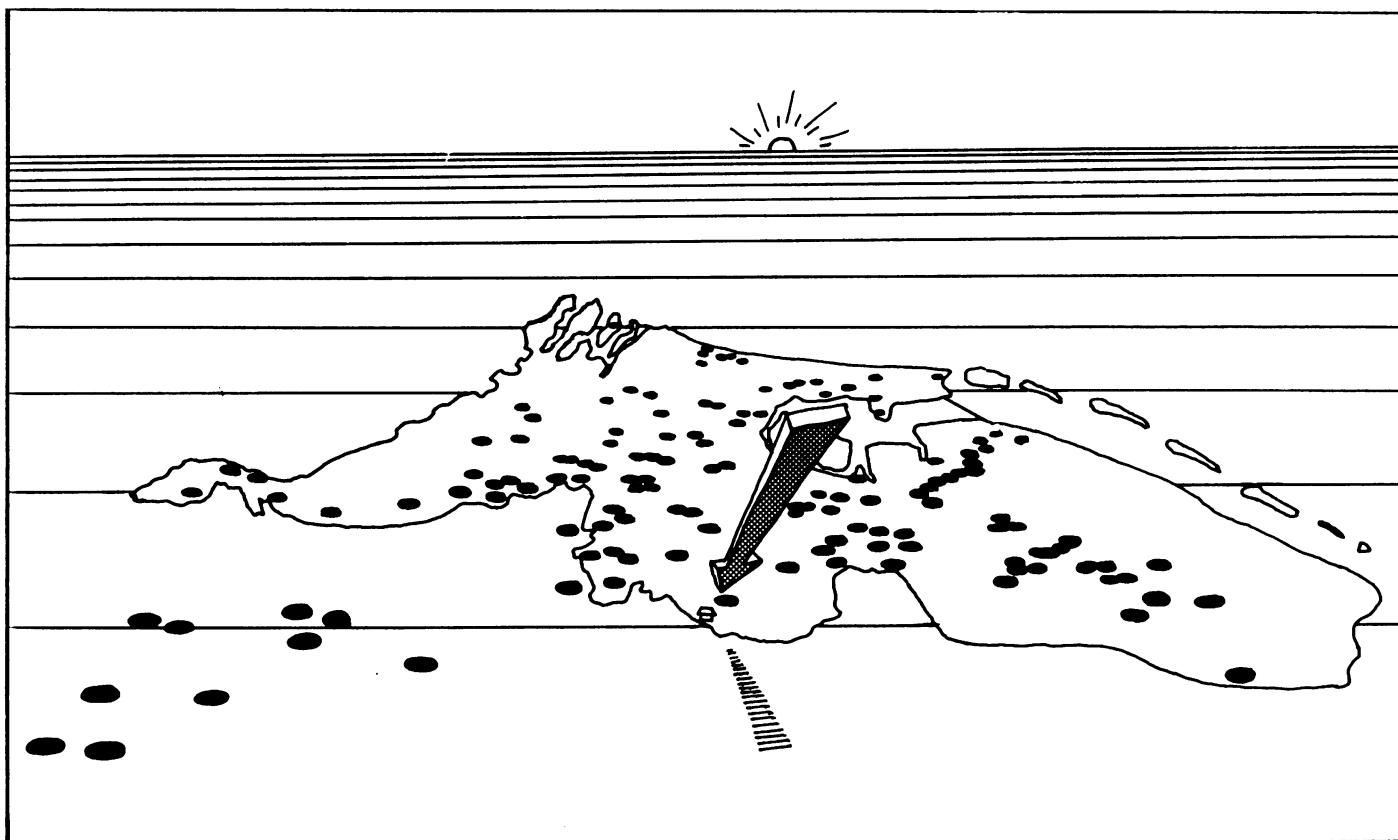


Figure 5: Zo moet het aanvliegen van de vuurbol op Glanerbrug er vanaf grote hoogte uitgezien hebben.
© Sterrewacht Leiden.

waarnemers zijn zéér onnauwkeurig. Er werd gezocht naar een alternatieve manier om uit de ooggetuigeverslagen een traject af te kunnen leiden. Die werd gevonden door de waarnemers te laten schatten *hoe schuin* de meteor viel (hoek met de vertikaal) en met gesterkte arm en vingers te schatten, hoe hoog de meteor begon en eindigde. De gegevens zijn bijeengebracht in tabel 8.

Niet iedereen kon hiermee uit de voeten. Waarnemingen vanuit de auto gedaan werden bovendien te onnauwkeurig geacht. Van de 120 telefonisch ondervraagde mensen zijn zo'n 70 bruikbare schattingen verkregen.

Figuur 4 toont de hoek met de vertikaal (ψ) voor verschillende richtingen in azimuth vanuit Glanerbrug gerekend. 0 is richting zuid; 90 is richting west en 180 is richting noord. In Duitsland in het Ruhrgebied ging de meteor van rechts naar links. In het noorden van Nederland juist van links naar rechts. Waarnemers ruwweg in de lijn Glanerbrug–Arnhem zagen de meteor recht naar de horizon vallen.

Uit de stellingen van de boldriehoeksmeetkunde volgt, dat de hoek ψ van het azimuth en de eindhoogte (h_e) afhangt volgens :

$$\tan \psi = \frac{\sin(Az - Az_0)}{\cos h_e \tan H - \sin h_e \cos(Az - Az_0)} \quad (1)$$

met (Az_0, H) de bewegingsrichting van de meteor. Bij voldoende lage h_e (grote afstand) is de tweede term in de noemer

mer verwaarloosbaar en is de richting kleinst kwadratisch te berekenen.

We vinden $Az_0 = 236^\circ \pm 6^\circ$ en $H = 49^\circ \pm 5^\circ$.

Dat punt ligt bij ϵ UMa in de staart van de Grote Beer. ($RA = 193^\circ \pm 10^\circ$; $DEC = 55^\circ \pm 6^\circ$)

Door de gemaakte aanname is H hoogstens 5° overschat.

De eindhoogte van de vuurbol volgt direkt uit de hoogteschattingen, met de aanname, dat dit punt dicht bij Glanerbrug ligt: $H_e = 22 \pm 12$ km. De verdeling van schattingen staat in tabel 5.

Uit de richting van het traject (H, Az_0) en de eindhoogteschatting, volgt de beginhoogte in kilometers. Daarin is een forse spreiding te verwachten, omdat niet iedereen het beginpunt heeft opgemerkt. Gemiddeld is de meteor bij 46 kilometer hoogte opgemerkt. De piek is veel flauwer dan voor de eindhoogten. Het uiteindelijke traject is in perspectief getekend in figuur 5.

Tijdsduur en snelheid

In de telefoongesprekken werd de tijdsduur bepaald, door de ooggetuigen te vragen om in gedachten de meteor nog eens te laten vallen na een beginsignaal en vervolgens 'stop' te roepen zodra de meteor verdwenen was. Tabel 5 geeft de schattingen.

De schattingen pieken bij 1.2^s . De meteor heeft dus kort geduurd; zeker korter dan 3,2 seconden. Voor sommige

Hoogte (km)	aantal eindpunt	aantal beginpunt
0-10	7	0
10-20	9	5
20-30	19	6
30-40	7	6
40-50	2	9
50-60	4	5
60-70	1	2
70-80	0	1
80-90	0	5
90-100	0	1
$(H_b < 100 \text{ km})$	$H_e = 22 \pm 12$	$H_b = 46 \pm 23$

Table 5: Verdeling van eind- en beginhoogteschattingen (in kilometers) uit de bepalingen met gestrekte arm en vingers.

Tijdsduur (s)	Binnen	Buiten	Auto	Totaal
0.5	7	6	1	14
1.0	18	8	7	33
1.5	12	8	4	24
2.0	6	4	6	16
2.5	4	2	4	10
3.0	2	5	0	7
3.5	1	1	1	3
4.0	1	1	1	3
4.5	0	1	0	1
4.5	0	1	0	1
5.0	0	0	1	1
5.5	1	0	0	1
6.0	0	0	0	0

Table 6: Tijdsduurschattingen door waarnemers onder verschillende omstandigheden.

waarnemers op leeftijd duurde de meteor in herinnering wat langer. Verder werd er geen leeftijd afhankelijkheid in de schattingen ontdekt.

Een eerste aanwijzing over de (hoek) snelheid van de meteor volgt uit de beschrijvingen van de snelheid. G. Sleurink uit Kampen beschreef het zo: ‘Snel, maar de tijd nemend.’ Dat komt overeen met ‘Snel, maar niet zo snel, dat het een streep trok’ (K. Brinks uit Amsterdam); ‘punt, die zeer snel ging’ (M. Glastra, Wageningen; ‘in vergelijking met meteoren op een schaal van 1 tot 4 eerder bij 2’ (M. Goldschmidt, Dortmund) en ‘Gemiddelde snelheid; niet snel’ (L. Sjouwerman, Utrecht). Deze beschrijvingen zijn kenmerkend voor zwermmeteor met snelheden van 25 tot 35 km/s. Ook het feit, dat sommige waarnemers alleen een streep zagen, wijst op een vrij snelle meteor.

R. Bakker uit Dieren mat met gradenboog en chronometer na afloop de lengte van de baan ($10^\circ \pm 3^\circ$) en de tijdsduur waarin hij de meteor zag ($0^s.7 \pm 0^s.1$). Dit komt overeen met een snelheid van 22 ± 7 km/s. Het is niet duidelijk in hoeverre hier de reaktietijd nog een rol speelt, waardoor de snelheid nog wat hoger uitpakt.

De piekwaarde voor de tijdsduurschattingen van $1^s.2$ is te combineren met de piekwaarden van de hoogten van beginpunt (H_B) en eindpunt (H_E). Misschien door het hanteren van een verkeerde hoekschaal blijken H_E en H_B niet on-

afhankelijk te zijn, maar er geldt $H_B = 2.1 \pm 0.3 H_E$ met $H = 49^\circ \pm 6^\circ$.

Waarnemers die de meteor laag zagen uitdoven, zagen hem vaak ook laag beginnen. Ook overschattingen komen voor. We nemen aan, dat daar geen systematische fout door ontstaat. Hieruit volgt voor de lengte van het traject $L = 32 \pm 20$ km.

Hieruit volgt een snelheid van 27 ± 17 km/s.

Uit de schattingen van begin- en eindhoogte, ψ en de tijdsduur voor de gebruikte waarnemingen zijn individuele snelheidsschattingen te berekenen. In die schattingen blijkt een flinke verstrooiing te zitten door zowel de onnauwkeurigheden in de hoogteschattingen en in de tijdsduren. We vinden $V = 38 \pm 19$ km/s.

Tenslotte volgt een snelheidsschatting uit de kompasmetingen en gradenboogmetingen (zie verderop) gecombineerd met de tijdsduurschattingen: $V = 23 \pm 10$ km/s.

De conclusie is, dat $V = 28 \pm 8$ km/s, het gewogen gemiddelde van alle schattingen nog een forse onzekerheid in zich draagt. De systematische fout als gevolg van de reaktietijd ($0^s.2$) die mogelijk de data kan beïnvloeden, is maximaal 20% in de richting van een hogere snelheid.

Kompasmetingen

In de weken na de val is door DMS-leden een aantal ooggetuigen bezocht, en is ter plekke de kompasrichting en met een gradenboog de hoogte bepaald. Zie hiervoor het artikel van Hans Betlem elders in dit nummer.

De kompasmetingen zijn gecorrigeerd voor de afwijking van het magnetische noorden ($4^\circ 30'$ west van noord). De metingen zelf blijken vaak goed reproduceerbaar (binnen enkele graden) maar dat heeft betrekking op het meten van uit het geheugen geprojecteerde punten aan de hemel. Het werkelijke traject kan daar flink van afwijken. Kompasmetingen binnenshuis kunnen beïnvloed zijn door metalen voorwerpen.

Met FIRBAL wordt een radiant berekend bij Az. $251^\circ \pm 2^\circ$ en hoogte $39^\circ \pm 2^\circ$, hetgeen een radiant 7° ten zuiden van ϵ UMa oplevert. De individuele snijlijnen vertonen een forse spreiding maar vanwege het grote aantal gebruikte posten heeft het weghalen van één of meerdere posten weinig invloed op het eindresultaat. Beide methoden geven een verschil van 16° in azimuth en 10° in de hoogte van de radiant. Begin- en eindhoogten komen goed met elkaar overeen.

Radar

Bij navraag blijkt de vuurbol niet door de (militaire) radars in west Europa te zijn opgemerkt. Mocht de vuurbol al ver genoeg zijn doorgedrongen in de atmosfeer, dan kan het geïoniseerde spoor gemist zijn door de langzaam rond-draaiende radars van de luchtverkeersleiding of niet herkend zijn als een mogelijk vliegtuig.

De baan in de ruimte

Uit de ligging van het traject in de atmosfeer (de radiantpositie) en de snelheid waarmee de steen door de atmosfeer schoot, is de baan om de zon te berekenen. Die baan wordt uitgedrukt in de baanelementen a , q , ω , Ω en i .

Radiant RA ; DEC	V (km/s)	a (AU)	q (AU)	ω	i
193° ; +55° (ϕ)	20	1.01	0.73	281°	28°
	25	1.23	0.74	262°	36°
	30	1.73	0.74	250°	43°
193° ; +42° (kompas)	20	0.82	0.50	318°	26°
	25	0.91	0.50	307°	36°
	30	1.07	0.50	294°	45°
	35	1.42	0.53	282°	53°
213° ; +34° 1981 MIDAS	28	1.76	0.62	268°	40°

Table 7: De baanelementen voor verschillende intree snelheden en voor verschillende radiantposities, verkregen via twee verschillende methoden.

Tabel 7 geeft de baanelementen voor verschillende snelheden, berekend door Hans Betlem. [9] De banen zijn gegeven voor de met FIRBAL berekende radiant uit de kompasmetingen en voor de radiant, berekend uit de schattingen van de hoek met de vertiaal (ψ).

We zien, dat de inclinatie (i) nauwelijks afhangt van de juiste radiantpositie, maar 9° per 5 km/s in snelheid toeneemt.

Daarentegen blijkt q erg afhankelijk van de radiantpositie en niet afhankelijk van de snelheid.

Nemen we alle onzekerheden in ogenschouw, dan vinden we voor de baan van de ‘Glanerbrug’ een inclinatie van ruwweg $40^\circ \pm 14^\circ$. Dat is een hoge waarde. Maar 25 van de 3445 genummerde planetoiden [4] hebben een inclinatie groter dan 30° en slechts zes (!) hebben een inclinatie groter dan 40° . De meesten bewegen vrijwel in het ecliptikavlak. (inclinaties 0°)

De berekende halve lange as is aan de lage kant; in de buurt van 1 AE. De waarde van Ω is volledig bepaald door het tijdstip van de val. $\pi (= \omega + \Omega)$ die de richting van de baan in de ruimte aangeeft ten opzichte van het lentepunt (γ) ligt tussen de 220° en 280° . Van de 25 planetoiden met $i > 30^\circ$ valt er één binnen de toleranties samen met de baan van de ‘Glanerbrug’, 1981 Midas. [4] Zie tabel 7. De klimmende knoop echter wijkt 20° af. De meteoriet had rond 17 maart moeten vallen. De aarde passeert dan op 0.001 AE de baan van Midas [5].

Omdat naar schatting maar één op de tien van zulke asteroïden ontdekt zijn, is de kans overigens groot, dat de ‘Glanerbrug’ van een ander object afgebroken is.

De ‘Glanerbrug’ als typisch geval

Alle waarnemingen wijzen erop, dat de ‘Glanerbrug’ meteoriet het resultaat was van de val van een steenmeteoriet. Hoe passen de waarnemingen in wat bekend is over meteorietvallen, er vanuit gaande, dat de ‘Glanerbrug’ meteoriet misschien extreem maar niet uitzonderlijk is?

Het oplichten van de meteoriet

Zodra de steen met kosmische snelheid de dampkring van de aarde binnenkomt, ontstaat een schokgolf, waarachter de lucht sterk verhit wordt. Die hete lucht doet de buitenlagen van de steen verdampen. De damp botst met de omringende lucht. Het is de bewegingsenergie van de damp, die

wordt omgezet in warmte van de lucht en –voor een klein deel– in licht. Het percentage dat in licht wordt omgezet heet de efficiëntie van oplichten (τ) en is in de orde van 2%. De hoeveelheid uitgestraald licht (I) is evenredig met de hoeveelheid materiaal die per seconde wordt verdampt: DM/dt [6].

$$I = -\tau \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{dM}{dt} \cdot V^2 \quad (2)$$

Integratie van de lichtcurve levert een totale massa van de steen vóór het binnenkomen in de dampkring, de zgn. ‘fotometrische massa’ (M_p). Ook de maximale helderheid van een meteoriet is ruwweg evenredig met de beginmassa, omdat de verandering dM/dt dan het grootste is. Uit de geschatte helderheid van de ‘Glanerbrug’ is dus in principe een beginmassa af te leiden. De grote onzekerheid zit in τ . Een redelijke aanname voor τ is :

$$\tau = 0.02 \left(\frac{V(km/s)}{40} \right) \quad (3)$$

Dan is de berekende ‘fotometrische massa’ ruwweg in overeenstemming met twee maal de dynamische massa [3], die uit de vertraging van de meteoriet door de luchtweerstand berekend wordt bij het begin van het spoor :

$$\frac{dV}{dt} = -C_1 \rho V^2 \frac{A}{M} \quad (4)$$

De verdamping (voor één brokstuk) is:

$$\frac{dM}{dt} = -c_2 \rho V^3 A \quad (5)$$

C_1 en C_2 zijn karakteristieke constanten. ρ is de (exponentieel toenemende) luchtdichtheid; A is het oppervlak van de steen en V is de snelheid van de steen. Door fragmentatie worden de brokstukken kleiner. Zulke kleinere stukken ondervinden een grotere vertraging omdat de verhouding van oppervlak en massa groter is, en verdampen minder. Fragmentatie bevordert de totale massa die geborgen kan worden. Ook de ‘Glanerbrug’ fragmenteerde kort voor het uitdoven.

Het uitdoven van de meteoriet

Naarmate de atmosfeer dichter wordt, gebeurt de energie omzetting minder via verdamping maar meer, doordat de bewegingsenergie van het hoofdlichaam verloren gaat aan het opbouwen van de schokgolf.

Wanneer op het laatst de snelheid snel afneemt tot zo’n 7 km/s vindt geen verdamping meer plaats en dooft de meteoriet. De eindhoogte (H_E) waarop dat gebeurt hangt af van de beginmassa, hoek van inval en beginsnelheid. De eindhoogte geeft daarmee ook informatie over de beginmassa. De steen wordt in de daarop volgende donkere vlucht nog verder afgeremd.

De eindmassa

Uit de vertraging bij het laatste deel van het traject kan, uit fotografische opnamen, de eindmassa (M_E) berekend worden. Daaruit volgt een verhouding M_E/M_∞ voor typische meteorietdroppingen. ReVelle en Rajan [7] berekenden, dat

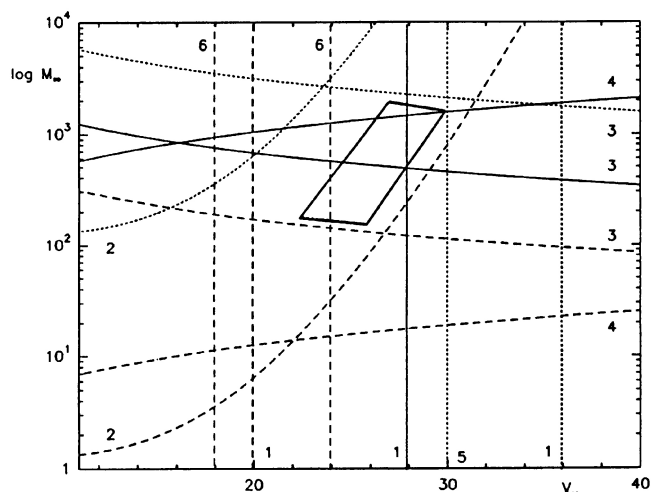


Figure 6: Gemiddelde waarden, bovengrenzen en ondergrenzen voor de initiële massa en snelheid.

de eindmassa voor de drie gefotografeerde en geborgen meteorietvallen (Pribram, Lost City en Innisfree) gegeven wordt door:

$$M_E = M_\infty e^{-\sigma \frac{v_\infty^2}{2}} \quad (6)$$

Hierin is σ de ablatie coëfficiënt: $\tau = 2 \times 10^{-8} s^2/m^2$.

De eindmassa geeft dus ook informatie over de beginmassa.

Toepassing

Figuur 6 brengt alle informatie over beginmassa (M_∞) en beginsnelheid (V_∞) samen. Met lijnen staan een aantal gemiddelde waarden (—), bovengrenzen (···) en ondergrenzen (---) aangegeven.

De lijnen (1) zijn de schattingen van de beginsnelheid uit de visuele waarnemingen van spoorlengte en tijdsduur en de individuele indruk van de hoeksnelheid.

De eindmassa van de 'Glanerbrug' is niet met zekerheid bekend. Uit de grootte verdeling van de brokstukken volgt, dat een massa van zo'n 1.2 kg door het dak van de familie Wichmann is gegaan. Daarvan bleek maar een deel bedekt met smeltkorst, zodat er zeker nog meer stenen in de omgeving zijn neergekomen. Niet één extra steen is teruggevonden, ondanks de nodige publiciteit en het relatief dicht bevolkte gebied. De totale eindmassa zal tussen de 1 en 100 kg gelegen hebben, maar meer waarschijnlijk tussen de 1 en 10 kg. Van de drie bekende meteorietvallen is steeds meer dan 10 % van de massa gevonden.

De lijnen (2) geven de beginmassa die hieruit volgt volgens vergelijking (5) en rekening houdend met de faktor 10 tussen de 'fotometrische' en meest waarschijnlijke massa ($2 \times$ dynamisch)

Hallyday, Blackwell en Griffin [8] onderzochten de typische meteorietval uit gefotografeerde mogelijke meteorietvallen in het Canadeese MORP netwerk (Meteorite Observation and Recovery Project). Dat waren vuurbollen met fotografische panchromatische magnituden tussen -6 en -15 . De snelheden liggen dus tussen de $V_\infty = 12$ en 28 km/s. De 'Glanerbrug' had een helderheid $m_v = -12.5 \pm 1.0$, hetgeen overeen

komt met een panchromatische magnitude van -14.5 ± 1.0 . De 'Glanerbrug' zit dus in het extreme deel van de verdeling. Uit het door Halliday et al. gevonden verband tussen m_p en M_∞ en met τ als in vergelijking (3) geven de lijnen (3) het gebied aan, hoe groot de initiële massa is, op grond van de waargenomen helderheid.

De eindhoogte afhankelijkheid van de beginmassa is maar klein. Halliday et al. vonden het gebied aangegeven met de lijnen (4). De extreem lage eindhoogte die door sommige waarnemers wordt genoemd, zou op een zeer grote beginmassa wijzen, maar daarvoor is de helderheid weer te laag gebleven.

Er is zijn geen meteorietvallen bekend met een beginsnelheid hoger dan 28 km/s. ReVelle en Rajan leggen de grens bij ongeveer 30 km/s. Boven die snelheid is de interactie met de atmosfeer zo gewelddadig, dat de steen explosief opbreekt en een flare te zien is. Die grens is met (5) aangegeven.

Tenslotte blijven de mogelijke meteorietdroppers voor Apollo planetoiden kenmerkende banen te hebben. Voor de 'Glanerbrug' betekent dat, dat in het geval van een radiant bij ϵ UMa de snelheid minstens 18 km/s moet zijn geweest en bij een radiant 7° ten zuiden van ϵ UMa zelfs groter dan 24 km/s. Die ondergrenzen zijn met (6) aangegeven.

Conclusie

De meest waarschijnlijke beginmassa van de 'Glanerbrug' ligt ongeveer bij 200 tot 1000 kg. De steen is binnen gekomen met een snelheid tussen de 22 en 30 km/s, waardoor een kleine fractie, ongeveer 1 tot 10 kg overgebleven is.

De waarnemingen wijzen op een vrij kort periodieke baan met een apheliumafstand van 1.6 tot 2.3 AE, dus mogelijk maar nét voorbij de baan van Mars. Samen met de uitzonderlijk grote inclinatie van de baan maakt dit de 'Glanerbrug' een opmerkelijke meteorietval.

Verder onderzoek op het gebied van γ -spectroscopische metingen aan de 'Glanerbrug' (Dr. L. Lindner cs, Utrecht) geeft onafhankelijke informatie over de oorspronkelijke massa. Daarmee kunnen de resultaten gecontroleerd worden en kan informatie over de intree snelheid en daarmee de baan in de ruimte verkregen worden.

Bij het telefonisch onderzoek assisteerden Klaas Weerstra en Marc de Lignie. Hans Betlem berekende de baanelementen in tabel 7. Ingrid van Gelder en Els Zikken van het secretariaat van de Sterrewacht Leiden en Annemarie Zoete en Hans Betlem (DMS) waren een grote steun bij het verzamelen van de waarnemingen. Waarnemingen kwamen binnen via Jan Kamphuis (Gemeentepolitie Enschede), Ton Schoenmaker (Kapteyn Sterrewacht Roden) en C.E.S. Arps (Nationaal Natuurhistorisch Museum), Dieter Heinlein (VDS Fachgruppe Meteore) en door oproepen van G. Schilling en L. Lindner. De enthousiaste medewerking van vele journalisten, de Gemeentepolitie en de familie Wichmann stonden aan de basis van het onderzoek. De Sterrewacht Leiden en de vele ooggetuigen die hun reactie instuurden hebben het onderzoek mogelijk gemaakt. Verdere dank verdienen Lucia Bruning, Marco Langbroek, Casper ter Kuile, Erik Kelderman, Garrett Mellema, Alex Scholten, Dick Korver, Jacob Kuiper, de heer Van den Bos en de heer Pieneman. •

References

- [1] Jenniskens, P.: *Radiant* **8** (1986), 52
- [2] Millman, P.M., McKinley, D.W.R.: in: ‘*The moon, Meteorites and Comets*’ (B.M. Middlehurst and G.P. Kuiper eds.) 1963. Chapt. 21, 674
- [3] Wetherill, G.W., ReVelle, D.O.; *Icarus* **48** (1981), 308
- [4] Bender, D.F.: in: ‘*Asteroids*’ (T. Gehrels–eds.) (1979), 1014
- [5] Drummond, J.D.: *Icarus* **49** (1982), 143
- [6] Lindblad, B.A.: 1987 in: *The evolution of the Small Bodies of the Solar System*’ (Fulchignoni, Kresak–eds.) (1987), 229.
- [7] ReVelle, D.O.; Rajan, R.S.: *J. Geophys. Res.* **84**, (1979), 6255
- [8] Halliday, I.; Blackwell, A.T., Griffin, A.A: *Meteoritics* **24** (1989), 65
- [9] Betlem H.: *Radiant* **12** (1990), 72

Azimuth	D (km)	ψ (°)	H _b (°)	H _e (°)	ΔT (sec)	Q	i/o	PLAATS	WAARNEMER
-21	88	-70	30	14	2.5	3	0	DORTMUND	H. PLAAS
-21	88	-60	18	7	1.0	4	1	DORTMUND	M. GOLDSCHMIDT
-16	73	-45	42	37	1.5	2	0	RECKLINGHAUSEN	M. MACK
-3	64	-20	32	26	1.5	3	0	DORSTEN	W. GROSSPIETSCH
30	168	-10	60	20	3.0	3	0	BUNDE	M.I.J. HEGEMANS
40	103	-35	26	16	0.7	4	1	VENRAY	W. VELDKAMP
43	101	-5	19	13	2.5	4	1	OVERLOON	mw. ALBERTS-HUIJGEN
46	104	0	-9	-9	1.0	2	1	WESTERBEEK	L.W. GIESBERS
47	99	-5	-9	-9	1.5	2	0	ST. ANTHONIUS	M.P. NABUURS
47	89	-15	26	10	2.5	3	1	GENNEP	J. GOOSSENS
52	89	0	-9	-9	1.0	3	0	MILSBEEK	G.V. BERGEN
54	126	15	65	20	1.5	3	1	ST. OEDENRODE	J.J. VAN DER GEUGTEN
54	86	5	60	40	1.2	2	0	GROESBEEK	M.W.M.M. JANSSEN
54	86	0	60	25	1.5	2	1	GROESBEEK	dhr. JANSSEN
56	99	-5	32	27	1.0	2	0	ESCHAREN	P. SALSMANS
56	54	-5	70	55	1.2	4	0	WIJNBERGEN	M. PHILIPSEN
57	98	14	20	12	2.5	4	1	GRAVE	I.T. BONNINGA
59	89	7	40	23	1.2	3	0	NIJMEGEN	B. BULSINK
59	144	0	70	40	3.5	2	0	BERKEL-ENSCHOT	C.A. VAN BERKEL
62	68	14	20	5	1.0	3	1	ZEVENAAR	M. BERGMANS-ENGELS
64	101	-9	19	13	3.8	4	0	BATENBURG	M. VAN TUIJN
65	77	45	30	20	1.0	2	0	HUISSEN	MW. DERKSEN-V.D.PLAS
66	73	10	-9	-9	2.0	2	1	WESTERVOORT	H. BRANDTS
67	99	5	-9	-9	1.0	3	1	AFFERDEN	J. RUIS
68	99	27	30	10	0.5	3	1	DRUTEN	H. SCHILTMANS
69	75	0	20	10	5.5	3	1	ARNHEM	A.J. HERDER-VERMEER
72	93	20	58	15	1.5	2	1	WAGENINGEN	H. VISSER
72	93	-22	43	22	1.1	3	0	WAGENINGEN	H. GLASTRA
73	61	20	30	20	0.7	4	0	DIEREN	R. BAKKER
74	107	17	10	5	0.5	2	1	ECK EN WIEL	J. MOLENAAR
74	112	-5	25	15	1.5	2	0	RIJSWIJK	M.H. DU PRIE
77	90	5	40	25	1.5	2	1	EDE	J.L. DE KREUK
78	150	25	20	10	2.5	3	1	BEUNINGEN	C. V.D. SLUIJS
79	37	25	37	20	1.0	2	1	LOCHEM	L. PASMAN
80	130	15	15	5	1.5	3	0	NIEUWEGEIN	A.M. VAN OORSCHOT
82	119	0	-9	-9	1.0	2	1	DRIEBERGEN	C. VLEGENDHART
83	127	22	70	50	3.0	2	0	UTRECHT	L. SJOUWERMAN
83	127	82	50	15	2.5	2	0	UTRECHT	J. LUIJTEN, W.OEPTS
83	105	45	45	40	0.5	2	1	LEUSDEN	J.J. WIEGEMAN-VAN DER TUIN
84	121	40	40	10	1.7	3	1	DE BILT	J.G. WITHAAR
86	175	-5	7	2	1.0	3	1	VOORSCHOTEN	Y. LANGBROEK-V.HEMERT
86	179	15	45	10	0.8	3	1	DEN HAAG	M. JANSEN
87	92	51	35	20	1.2	4	0	VOORTHUIZEN	W.F. WILLMS
92	136	-20	20	10	1.8	3	0	ABCOUDE	D. GABRIENER
92	48	45	50	40	0.2	1	1	EEFDE	A. DE BODE
96	143	17	40	35	0.3	3	0	AMSTERDAM	F. BANK
96	143	18	70	25	1.0	1	1	AMSTERDAM	K. BRINKS
98	146	5	30	20	2.5	3	0	LANDSMEER	P. ROODENBURG
100	59	25	75	60	1.0	1	1	OLST	G. V. MOURIK
100	59	40	23	11	0.5	2	0	OLST	L.J. HALFWERK
100	59	-10	15	11	1.5	2	1	OLST	M. KINDS
101	82	30	60	40	0.7	2	1	NUNSPEET	W. DE ZWAAN
101	68	80	40	35	3.5	1	1	EPE	A.C. VAN DEN BERG
110	42	27	-9	-9	2.0	3	0	HAARLE	W. VEERBEEK

Table 8: Wordt vervolgd op de volgende bladzijde

Azimuth	D (km)	ψ (°)	H _b (°)	H _e (°)	ΔT (sec)	Q	i/o	PLAATS	WAARNEMER
117	80	9	21	6	1.5	4	0	KAMPEN	G. SLEURINK
120	68	95	17	17	1.5	1	1	ZWOLLE	K.F. JONGBLOED-SMIT
120	175	47	25	20	2.0	3	1	DEN HELDER	J. KAPITEIN
131	42	40	35	28	4.0	3	0	DEN HAM	D.J. SCHUTMAAT
131	27	30	26	18	0.2	2	0	VRIEZENVEEN	J. JANSSEN
138	98	30	-9	-9	1.2	2	1	WOLVEGA	mw. HEIDA-VEENSTRA
139	107	30	25	15	1.5	3	1	HEERENVEEN	E.H. JACOBS-BERGMAN
143	87	40	25	15	0.5	3	0	VLEDDER	A. BEVERDAM
145	41	45	15	10	0.7	3	0	BERGENTHEIM	J. ROOSINK
145	41	38	35	20	0.7	2	0	BERGENTHEIM	F.W. PRENGER
148	53	30	20	10	1.0	2	1	SLAGHAREN	J.A. OLVERS
149	113	15	64	18	4.5	3	0	DRACHTEN	J. GRAFFELMAN
157	102	45	60	30	1.2	1	0	EEN	G. DOUWES
159	100	70	80	60	0.0	1	1	NORG	J. VAN DER SPOEL
160	107	20	42	13	2.0	3	0	RODEN	S. HUISMAN
160	107	35	50	25	1.5	3	0	RODEN	H. TEPPER
162	92	55	30	20	1.2	3	1	ASSEN	J. DE JONG
162	92	45	35	15	0.8	2	1	ASSEN	A. ALBERS
162	107	25	20	15	3.0	3	1	PEIZE	J. V. BERGEN
162	107	30	20	15	0.8	3	1	PEIZE	A. GROENWOLD
176	98	55	25	20	2.0	3	0	VEENDAM	L. POT
178	113	35	25	15	1.0	2	1	NOORDBROEK	D.P. WESTERDIJK
179	95	10	70	15	8.0	3	1	NIEUWE PEKELA	H. LAMMERTS
187	101	10	30	15	1.2	2	1	BELLINGWOLDE	H. AX

Table 8: *Schattingen uit visuele waarnemingen van de hoek met de vertikaal waaronder de meteor viel (ψ), de begin- en eindhoogten en de tijdsduur ΔT . Q geeft een kwaliteitsindicatie. I/O staat voor een binnen (=I) of buiten (=O) gedane waarneming.*

Trajektberekeningen aan de Glanerbrug meteor (1).

Casper ter Kuile *

ENGLISH SUMMARY

After the Glanerbrug meteorite fall many people put effort in calculating the trajectory of the meteor. A Lotus-123 spreadsheet model is described which computes the trajectory from visual observations.

It is concluded that we should take extreme care to the estimated directions given by the observers. It is of major importance to find and use the most reliable observations for the trajectory calculations. By using the methods described in this article the computed azimuth direction of the radiant was found to be about 262° (East) and the elevation is about 43° (zenit distance 47°). A radiant was calculated at RA 186° and Dec. 37° . Begin- and endheights are estimated at 41 and 16 kilometers. These results were computed of 18 accurate observations which were measured by means of a compass.

Inleiding

Naar aanleiding van de meteorietdropping op zaterdag 7 april j.l. om 18^h33^m UT te Glanerbrug [1] is gepoogd het traject van de vuurbol in de dampkring vast te leggen [4], [5]. Dit traject is van belang om de radiant (het vluchtpunt) te bepalen. Uit de radiant en de waargenomen snelheid van de meteor kunnen de baanelementen berekend worden. Deze laatste gegevens leggen de baan van de meteorioïde in het zonnestelsel vast.

Normaliter vindt de bepaling van het traject van een meteor in de dampkring plaats aan de hand van (minimaal) twee fotografische opnamen van het verschijnsel. In zo'n situatie kan de baan met een redelijk tot hoge graad van nauwkeurigheid worden vastgelegd. Een redelijke nauwkeurigheid wordt verkregen uit een tweetal slechte fotografische opnamen. Indien we de beschikking hebben over meerdere (b.v. vijf) goede opnamen dan kan een hoge nauwkeurigheid behaald worden. DMS heeft de beschikking over het professionele pakket FIRBAL van Dr. Zdenek Ceplecha van het Ondřejov Observatorium in Tjechoslowakije.

Keuze van de methode.

Het spreekt voor zich dat een hobby pas voldoening schenkt indien we zelf in staat zijn het traject te bepalen. Daarnaast speelt het aspect mee van kennisverbreding en verdieping ten bate van allen die zich bezighouden met onze hobby.

Uitgaande van het gegeven dat het daarvoor benodigde rekenwerk door een computer zal worden uitgevoerd komen we tot een drietal mogelijkheden om het probleem aan te pakken:

1. Een programma ontwikkelen.

Afhankelijk van de vaardigheid die men heeft in het gebruik van een hogere programmeertaal zal dit voor sommigen de voorkeur hebben. Voordeel van deze optie is dat een kant en klaar programma ontstaat dat door een ieder gebruikt kan worden.

Nadeel is dat zo'n programma meestal volgens een van te voren vastgelegde wijze functioneert. Wil iemand bijvoorbeeld de invloed onderzoeken die een bepaalde variabele kan hebben dan is dat veelal onmogelijk. Het aanpassen van het programma aan de veranderende wensen kan alleen door de ontwerper uitgevoerd worden. Een mogelijkheid om dit probleem te omzeilen is de sourcecode te distribueren. Alle gebruikers dienen dan echter wel te beschikken over de programmeeromgeving inclusief compiler om het programma aan te passen aan hun wensen. Deze mogelijkheid biedt dus slechts een zeer beperkte oplossing. Kortom: een conventioneel programma heeft zijn beperkingen.

2. Manueel manipuleren van data in een spreadsheet.

Tegenwoordig beschikken veel PC-bezitters over een spreadsheet pakket dat in de meeste gevallen compatibel zal zijn met het bekende Lotus-123 spreadsheet (Een spreadsheet is een soort elektronisch kladblok waarin je met getallen kan manipuleren). Zo'n spreadsheet biedt bepaalde voordelen boven het ontwikkelen van een programma. Het biedt een vrijwel onbeperkte vrijheid om met data te 'goochelen'. Ieder die naast een spreadsheetpakket tevens de onontbeerlijke ruwe data ter beschikking heeft kan alle gewenste berekeningen uitvoeren. Je bent niet afhankelijk van de programmeervaardigheid van derden. Het hangt er natuurlijk wel vanaf welk type berekeningen uitgevoerd moeten worden. Het Pegasoft simultaan prognose programma bijvoorbeeld zal nooit in een spreadsheet ondergebracht worden vanwege de vele astronomische berekeningen die daarin worden uitgevoerd.

3. Een macroprogramma in een spreadsheet.

Maar zoals boven reeds aangegeven kunnen ook in spreadsheet programma's ontwikkeld worden. Dit wordt dan aangeduid als een macro (Een serie toetsaanslagen die automatisch wordt uitgevoerd). Dit vergt echter een veel grondiger kennis van het werken met spreadsheets. Een spreadsheet gevuld met macro's zal

*Akker 145, 3732 XD De Bilt

voor velen al net zo ontoegankelijk worden als een kant en klaar aangeleverd programma.

In het geval van de Glanerbrug waar het tijdsaspect direct na de val een grote rol speelde (waar moeten we onze zoekactie plannen?) is hier gekozen voor het simpele spreadsheet model zonder gebruik van macro's. Voordeel is de optimale flexibiliteit. Nadeel is, dat een aantal handelingen handmatig uitgevoerd moest worden.

De theorie

We gaan hier nader in op de werking van het model. Er wordt daarbij vanuit gegaan dat de lezer bekend is met de basisfuncties van het Lotus-123 spreadsheet pakket. Voor achtergrondinformatie verwijzen we naar de vele handboeken Lotus-123 die in de handel zijn. [6]

In het onderstaande overzicht geven we stapsgewijs de handelingen weer die gevolgd worden. Alle stappen worden uitgevoerd voor begin- en eindpunt.

Bepaling topografische coördinaten van begin- en eindpunt.

1. Basisgegevens van de waarnemers.

In een aantal colommen zijn van een 40-tal waarnemers opgenomen de plaatsnaam, topografische coördinaten en de originele waarnemingen (azimuth en hoogte) van begin en eindpunt. Verder is voor elke waarneming een weegfactor opgenomen.

2. Bepaal van een aangenomen begin cq. eindpunt de topografische X- en Y- coördinaten.

3. De berekening van het azimuth.

In een aantal colommen zijn formules opgenomen die achtereenvolgens het azimuth en de hoogte van begin- en eindpunt berekenen bij een opgegeven begin- en eindpunt. De toegepaste formule luidt als volgt:

$$Az = \arctan \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (1)$$

4. Bepaal voor elke waarnemer het verschil tussen de originele waarneming en de berekende waarde.

5. Bepaal de kwadraten van de verschillen.

Vermenigvuldig eerst het verschil met de weegfactor alvorens te kwadrateren. De weegfactor heeft tot doel waarnemingen die sterk afwijken van de berekende waarde minder sterk het resultaat te laten beïnvloeden. Door de weegfactor een waarde 0 te geven kan een waarneming volledig uitgesloten worden. Zo is het mogelijk onderzoek uit te voeren naar voorgeselecteerde groepen van waarnemers, bijvoorbeeld alle waarnemingen die meer dan 30 kilometer ten zuiden van Glanerbrug verricht zijn.

6. Bepaal de som van de kwadraten.

7. Minimaliseren van de kwadraatsom.

Hier komen we tot de kern van het model. Door namelijk het begin- cq. eindpunt te verschuiven is er een punt te vinden waar de kwadraatsom minimaal is. Of anders gezegd: bij dit zo bepaalde punt is de gemiddelde afwijking tussen originele en berekende waarneming voor de beschouwde groep waarnemers minimaal.

8. Dezelfde procedure volgen we bij het bepalen van de begin- en eindhoogtes.

Dat betekent dat we een begin- en eindhoogte bepalen waar de kwadraatsom van de verschillen tussen originele en berekende waarnemingen minimaal is. Ook hier wordt gebruik gemaakt van een weegfactor om slechte waarnemingen uit te filteren dan wel volledig uit te sluiten ten behoeve van groepsonderzoek.

Na deze procedure vinden we op eenzelfde wijze als bij (7) een punt waarbij de kwadraatsom minimaal is. Vergelijken we nu de beide uitkomsten met elkaar dan blijken we met forse verschillen geconfronteerd te worden. Bij perfecte waarnemingen behoren de resultaten exact aan elkaar gelijk zijn. Dat dit hier zeker niet het geval is komt omdat we te maken hebben met fouten in de waarnemingen. Om de gevolgen van foutieve waarnemingen enigszins te ondervangen gaan we beide berekeningen combineren.

9. Bepaal het product van de kwadraatsommen van het azimuth en de hoogte.

10. Minimaliseer van het product van de kwadraatsommen. Het mag duidelijk zijn dat het begin- en eindpunt niet uitsluitend worden bepaald door het azimuth dan wel de hoogte. Beide elementen bepalen het resultaat zij het dat proefondervindelijk blijkt dat het azimuth het resultaat sterker bepaald dan de hoogte. Deze laatste stap vergt vrij veel rekenwerk daar het een iteratief proces is.

Bepaling baanelementen van de meteor

1. Bepaal azimuth en hoogte van het traject van de meteor in de dampkring.

Nu de X- en Y-coördinaat en de begin- en eindhoogte van het begin- en eindpunt bepaald zijn kan het traject berekend worden. Dit vergt niet meer dan wat simpele goniometrie.

2. Bepaal rechte klimming en declinatie van de Radiant.

Uit het de berekende azimuth- en hoogtewaarden kunnen, tesamen met datum, tijdstip en lokatie de rechte klimming en declinatie van de radiant berekend worden.

3. Bepaal de snelheid van de meteor.

Uit de waarnemingen kan een (ruwe) schatting gedaan worden van de snelheid waarmee de meteor de aardse dampkring binnen is gekomen.

4. Bepaal de baanelementen.

Uit radiant en snelheid kunnen tenslotte de baanelementen worden berekend. Nu kan een poging ondernomen worden de herkomst van de meteoriet vast te stellen. Zij het met een grote onzekerheidsmarge daar vooral de aangenomen snelheid slechts bij ruwe benadering bekend is.

Basisgegevens.

Hieronder geven we al de gegevens die als basis dienen voor de berekeningen in het Lotus-123 spreadsheet.

Datum : Zaterdag 7 april 1990 ; Tijd : 18^h33^m00 UT.

Voor de berekeningen zijn in totaal 40 waarnemingen beschikbaar. In het spreadsheet zijn de volgende gegevens per waarnemer opgenomen:

1. Plaatsnaam ; 2. Landcode ; 3. X-coördinaat ; 4. Y-coördinaat ; 6. Azimuth beginpunt ; 7. Azimuth eindpunt ; 8. Hoogte beginpunt ; 9. Hoogte eindpunt.

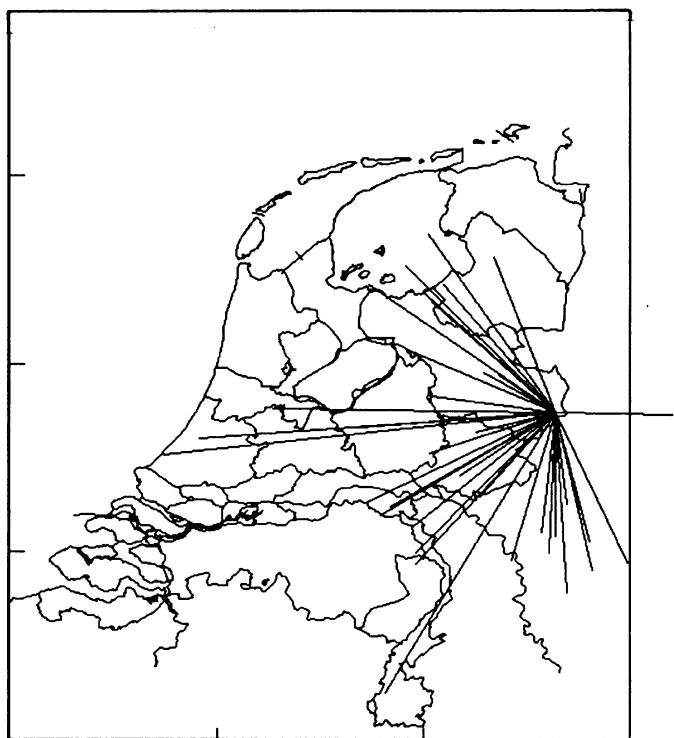


Figure 1: Ligging van de posten waarvoor kompasmetingen zijn gebruikt ten opzichte van het inslagpunt.

	40 waarnemingen weegfaktor = 1.0		40 waarnemingen weegfaktor 'optimaal'	
	Beginpunt	Eindpunt	Beginpunt	Eindpunt
Topo X	156250	118500	157000	118500
Topo Y	10650	12200	9950	11950
Geo L	7.40.31	7.07.24	7.41.09	7.07.24
Geo B	52.13.47	52.15.11	52.13.24	52.15.03
Hoogte	64550	25400	60200	25650
Traject	Hoogte	46 km	Hoogte	42 km
Traject	Azimuth	272°	Azimuth	273°
Radiant	δ	34°	δ	30°
Radiant	α	178°	α	180°

Table 1: Resultaten van alle 40 beschikbare waarnemingen.

Resultaten

Als eerste hebben we in figuur 1 voor alle 40 waarnemers de azimuthwaarden naar het inslagpunt uitgezet op de kaart van Nederland. Deze figuur geeft een indruk van de ligging van de waarnemers ten opzichte van het meteoorspoor. Direkt valt op dat er vrijwel geen waarnemingen bekend zijn onder of ten oosten van het traject. Blijkbaar zijn de waarnemingscondities in dat deel van de Bondsrepubliek niet optimaal geweest. Zie het artikel van Jacob Kuiper elders in dit nummer van Radiant. Gelukkig is er boven Nederland vrijwel geen bewolking aanwezig geweest getuige de evenwichtige spreiding van de waarnemers. Dankzij dit fraaie weer is het mogelijk om uit 40 visuele waarnemingen een traject te destilleren met een redelijke mate van nauwkeurigheid.

In tabel 1 is het traject weergegeven zoals dit is berekend uit

	18 kompaswaarnemingen weegfaktor 'optimaal'	
	Beginpunt	Eindpunt
Topo X	139600	113000
Topo Y	17700	14100
Geo L	7.26.04	7.02.36
Geo B	52.17.51	52.16.16
Hoogte	41000	16400
Traject	Hoogte	43 km
Traject	Azimuth	262°
Radiant	δ	37°
Radiant	α	186°

Table 2: Resultaten van 18 kompaswaarnemingen.

de 40 ter beschikking staande waarnemingen. Nagegaan is of 'slechte' waarnemingen tot grote wijzigingen in het traject leiden. Zoals uit de beide trajectberekeningen blijkt is dit niet het geval. De verschillen zijn eerder opvallend klein te noemen, zeker indien men de foutenmarges in de individuele waarnemingen in ogenschouw neemt.

Binnen het groepje DMS-rekenaars is langdurig gediscussieerd over de betrouwbaarheid van de door de waarnemers opgegeven richtingen. Uit de meeste ingezonden waarnemingsverslagen is niet zonder meer af te leiden met welke nauwkeurigheid de waarneming is verricht. Om in deze onbekende faktor enig inzicht te vergaren is al vrij snel na de meteorietval besloten tot het verrichten van kompasmetingen bij de waarnemers thuis. Zie hiervoor het artikel van Hans Betlem elders in dit nummer van Radiant [4]. Na het uitvoeren van de kompas- en 'schietlood' metingen zijn we zeker dat de richting met een nauwkeurigheid van circa 2 graden vastligt. Waarmee overigens niet is gezegd dat de waarneming op zich diezelfde nauwkeurigheid bezit!

De resultaten in tabel 2 zijn verkregen uit 18 waarnemingen die met een kompas en schietlood geverifieerd zijn. De gebruikte weegfactoren zijn dezelfde als die bij de berekeningen bij FIRBAL en de methode Jenniskens gebruikt zijn. Deze waarden zijn aangehouden om een direkte vergelijking tussen de drie methoden mogelijk te maken.

De bovengenoemde discussies tussen de DMS-rekenaars hebben geleid tot het idee om de waarnemers te splitsen in twee of meer duidelijk herkenbare groepen. Dit is speciaal gedaan met het doel eventuele systematisch afwijkingen in de waarnemingen aan het licht te brengen. De eerste vraag is hoe de groepen samen te stellen? Wat moet het onderscheidende kenmerk zijn? In het geval met de Glanerbrug hebben we het geluk dat de meteor vrijwel oost - west loopt en er zich ongeveer evenveel waarnemers ten noorden als ten zuiden van het traject bevinden. Het ligt voor de hand om de waarnemers op basis van dit gegeven in te delen. Alleen die waarnemers zijn geselecteerd die voldoende ver (meer dan 30 km) ten noorden of ten zuiden van het traject liggen.

In tabel 3 zijn de trajecten opgenomen berekend uit 9 zuidelijke en 8 noordelijke waarnemers. Opvallend zijn de toch wel grote verschillen in de ligging van de begin- en eindpunten. Vergelijken we de berekende eindpunten met

	9 zuidelijke waarn. weegfaktor 'optimaal'		8 noordelijke waarn. weegfaktor 'optimaal'	
	Beginpunt	Eindpunt	Beginpunt	Eindpunt
Topo X	144250	107000	116500	100000
Topo Y	-8150	-11900	17650	21250
Geo L	7.29.30	6.56.50	7.05.45	6.51.18
Geo B	52.03.50	52.02.20	52.18.09	52.20.17
Hoogte	74800	21300	41600	6800
Traject	Hoogte	56 km	Hoogte	64 km
Traject	Azimuth	279°	Azimuth	282°
Radiant	δ	37°	δ	41°
Radiant	α	164°	α	155°

Table 3: *Resultaten van 9 zuidelijke en 8 noordelijke waarnemingen.*

het feitelijke inslagpunt dan zijn beide eindpunten tamelijk onwaarschijnlijk. Ook luchtstromingen op grotere hoogte in de atmosfeer kunnen deze resultaten niet verklaren. Het lijkt erop dat we een systematische afwijking in de observaties niet geheel kunnen uitsluiten. Merk op dat de gecombineerde waarnemingen wel een schijnbaar betrouwbaar resultaat opleveren.

Foutenmarges

Uit het vorengaande blijkt overduidelijk het belang van nauwkeurige waarnemingen. Vooral belangrijk is de mate van onnauwkeurigheid. Daartoe zullen we op deze plaats de foutenmarges in de waarnemingen vooral visueel presenteren.

Figuur 2 toont voor 40 waarnemingen de verschillen tussen het waargenomen en het berekende azimuth van het beginpunt van het meteorspoor. Merk op dat er waarnemingen zijn die tot 50 graden verschillen van de berekende waarde! Figuur 3 toont voor dezelfde 40 waarnemingen de verschillen tussen de waargenomen en de berekende hoogte van het eindpunt van het meteorspoor.

In figuur 4 is een totaalbeeld weergegeven van de som van de verschillen van azimuth en hoogte van het begin- en eindpunt. Dit plaatje geeft in één oogopslag weer welke waarnemers over de gehele linie een minder betrouwbare waarneming verricht hebben.

Voor tabel 1 (40 waarnemingen met optimale weegfactoren) is de gemiddelde fout, de variantie en de standaard deviatie berekend.

	Azb	Aze	Hgb	Hge
Gemiddelde	13°.4	10°.4	8°.7	7°.0
Variantie	182°.1	112°.8	117°.5	68°.1
St. deviatie	13°.5	10°.6	10°.8	8°.3

Voor tabel 2 (18 kompaswaarnemingen met optimale weegfactor) is dezelfde exercitie uitgevoerd.

	Azb	Aze	Hgb	Hge
Gemiddelde	10°.4	7°.6	5°.6	5°.5
Variantie	187°.4	39°.9	17°.0	15°.2
St. deviatie	13°.7	6°.3	4°.1	3°.9

Uit de foutenanalyse van alle 40 waarnemers komt een consistent beeld naar voren. De fout in azimuth en hoogte voor begin- en eindpunt zijn alle van dezelfde orde van grootte. De foutenmarge in de kompaswaarnemingen blijkt iets minder overeen te stemmen. Vooral het azimuth van het beginpunt wijkt hier af van de overige drie. Het is duidelijk dat hier de 18 meest betrouwbare waarnemingen zijn samengebracht.

Discussie en conclusies

Uit dit artikel blijkt dat het mogelijk is om met behulp van een spreadsheetmodel het traject van een meteor in de dampkring te bepalen. Er zitten natuurlijk wel de nodige haken en ogen aan het geheel. Het is zeer eenvoudig om extra waarnemingen in te voegen. Nagenoeg even eenvoudig is het om extra berekeningen uit te voeren. Zwaar formulewerk moet echter vermeden worden. Het geheel is minder overdraagbaar als een kant en klaar programma.

De Glanerbrug meteorietval heeft DMS een bijzonder fraaie gelegenheid geboden om nieuwe rekentechnieken te ontwikkelen voor het bepalen van het traject van een meteor in de dampkring. Het blijkt dat bij een voldoende aantal visuele waarnemingen we toch redelijk in staat zijn een traject met redelijke nauwkeurigheid te bepalen. Onder redelijk verstaan we dan binnen 5 tot 15 graden nauwkeurig.

Maar daarmee is zeker niet alles gezegd. Ook al datgene dat komt kijken bij de organisatie van zoekacties en de huis aan huis bezoeken bij de waarnemers is een bijzonder nuttige en aangename ervaring geweest. Verder mogen we niet vergeten te vermelden de plezierige samenwerking tussen de Duitse (Dieter Heinlein) en Nederlandse meteorwaarnemers. De Glanerbrug meteorietdropping heeft eens te meer duidelijk gemaakt dat meteorieten zich niet storen aan door de mens bepaalde grenzen. Gelukkig mogen we constateren dat dit ook blijkt te gelden voor de meteorwaarnemers in West-Europa! •

References

- [1] Jenniskens, P: *De val van de 'Glanerbrug', Persbericht Sterrewacht Leiden, Leiden, mei 1990.*
- [2] Ceplecha, Z.: *Bull. Astron. Inst. Czech.* **30** (1979), 220
- [3] Heinlein, D.: *Pers. Comm. Veitsbronn, B.R.D, april - mei 1990.*
- [4] Betlem, H.: *Radiant* **12** (1990), 72
- [5] Jenniskens, P.: *Radiant* **12** (1990), 56
- [6] LeBlond, G.T, Cobb, D.F.: *Werken met Lotus-123, Academic Service/Que, Schoonhoven.*

Meteorite Fall "Glanerbrug" 90-04-07

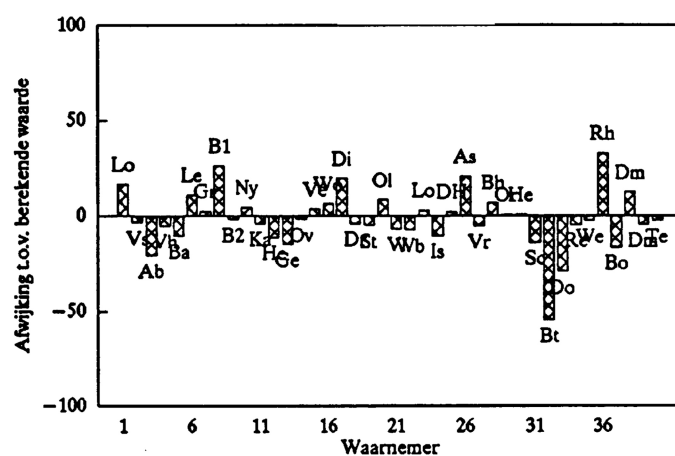
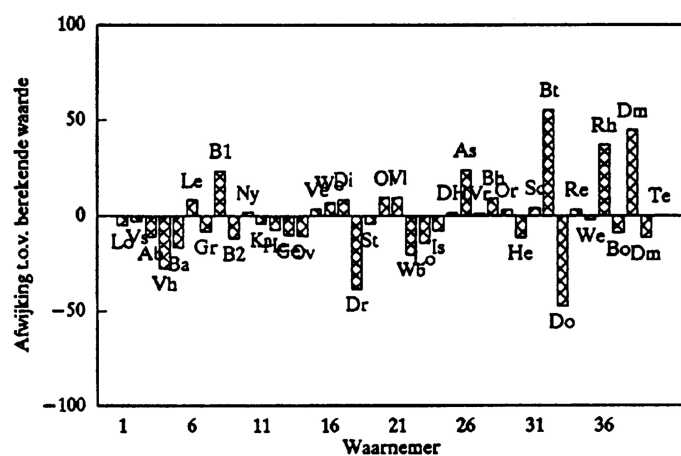


Figure 2: Afwijkingen azimuth beginpunt (links) en eindpunt (rechts)

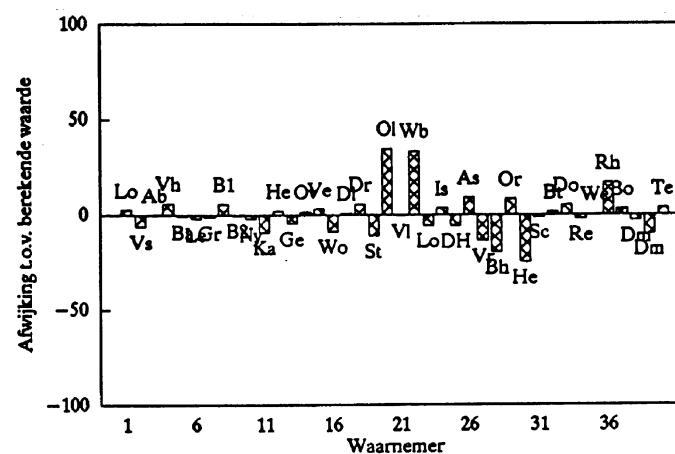
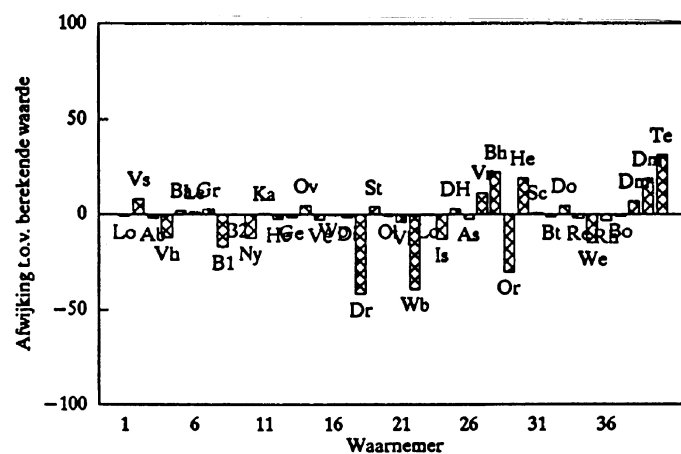


Figure 3: Afwijkingen hoogte beginpunt (links) en eindpunt (rechts)

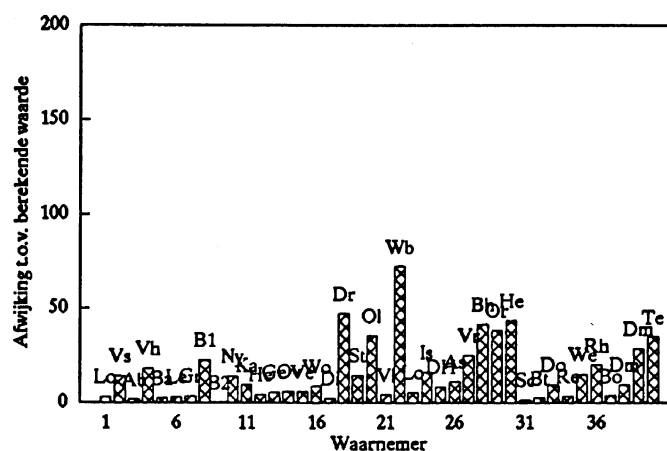
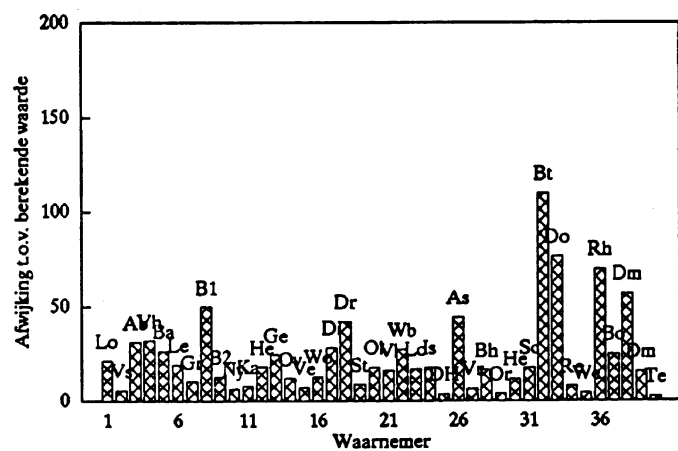


Figure 4: Gesommeerde afwijkingen azimuth begin- en eindpunt (links) en hoogte begin- en eindpunt (rechts)

Baan en Trajekt van de Glanerbrug val (2)

Hans Betlem *

English summary

From about 200 visual observations of the Glanerbrug meteorite fall, 40 were selected for orbital and trajectory calculations. For preliminary calculations all 40 observations, giving azimuth and height determinations, were used. During the weeks after the fall DMS members visited several observers at their homes to take out compass measurements and height measurements. For the final trajectory computations only these observations (about 20) were used. The FIRBAL program, developed by Dr. Z. Cepelach (Ondřejov, Czechoslovakia) was used.

Inleiding

Na diverse oproepen in de pers, radio en TV bereikten een kleine 200 visuele waarnemingen van de Glanerbrug val het DMS adres in Leiden, de Leidse Sterrewacht en de privé brievenbussen van Dr. Arps en Dr. Lindner. Ook werden door redakties van dagbladen een aantal brieven doorgestuurd.

Het spreekt vanzelf, dat niet iedere waarneming even geschikt is voor nauwkeurige trajektbepalingen. Een aantal waarnemers gaf zelf azimuthlijnen en hoogtebepalingen aan, maar veel aanduidingen bleken ook volstrekt onbruikbaar. Een twintigtal waarnemingen werd in eerste instantie geselecteerd om te gaan rekenen. De behoefte aan meer en liefst nauwkeuriger kompasmetingen leidde tot de beslissing er zelf op uit te gaan.

Huisbezoeken en kompasmetingen

Er zijn in totaal vijf groepen waarnemers bezocht:

1. Op zaterdag 21 april maakten Casper ter Kuile, Anemarie Zoete en schrijver dezes een bezoeksronde in Twente. We streefden ernaar, zoveel mogelijk waarnemers rondom het inslagpunt op te zoeken. Dit resulteerde in kompasmetingen te *Hengelo, den Ham, Vriezenveen* en *Bergentheim*. Zie foto's.
2. Op zondag 22 april maakten Peter Jenniskens en Marco Langbroek een rondje Noord Limburg. Dit leverde kompasmetingen te *Venray, Gennep, Overloon, Batenburg* en *Grave*.
3. Dankzij de perfecte samenwerking met *Dieter Heinlein* konden we al in een zeer vroeg stadium beschikken over een vijftiental Duitse waarnemingen en de adressen. Dit resulteerde in een bezoek met kompas door *Peter Jenniskens* op zaterdag 28 april in *Dordtmund* (2 metingen), *Recklinghausen* en *Dorsten*.
4. Aanvullende metingen werden nog gedaan in *Bunde* door Lucia Bruning en in *Lochem* door Alex Scholten. Verder zijn er door waarnemers zelf verrichte metingen (soms met eenvoudige hulpmiddelen) die ook in de waarnemingen verwerkt konden worden.



Figure 1: Metingen bij de familie Spiele te Hengelo. De hoogte wordt gemeten door de waarnemer langs een lat te laten kijken, waaraan een gradenboog met een schietlood is bevestigd.

5. Via uitwisseling van gegevens met de NVWS Werkgroep Meteoren (via P. Koenraad en F. Bettonvil te Vucht) kwam nog een aanvullende reeks kompasmetingen beschikbaar. Een deel van deze metingen is door werkgroepleden uitgevoerd met theodoliet en hoogtemeter; een ander deel van de metingen is door de waarnemers zelf uitgevoerd.

Selektiecriteria voor verdere reductie

Naarmate we over meer kompasmetingen konden beschikken, konden we ons permitteren om meer waarnemingen terzijde te schuiven. Het bleek al vlug, dat waarnemingen in de onmiddellijke nabijheid van het inslagpunt waardevolle gegevens verschaften. Enkele tientallen kilometers rijden leverde totaal

*Lederkarper 4, 2318 NB Leiden

Meting door:	Plaats	I/O	λ	ϕ	Waarnemer	Az (beg.)	Az (eind)	H (beg.)	H (eind)	ΔT (s)
PJM/LBE	Dortmund	O	7°29′	51°32′	H. Plaas	235°	175°	30°	14°	2.5
PJM/LBE	Dortmund	I	7°28′	51°31′	M. Goldschmidt	179°	159°	18°	7°	1.0
PJM/LBE	Recklinghausen	O	7°12′	51°37′	M. Mack	238°	203°	42°	37°	1.5
PJM/LBE	Dorsten	O	6°58′	51°39′	W. Grosspietsch	170°	160°	32°	26°	1.5
LBE	Bunde	O	5°43′	50°53′	M.I.J. Hegemans	241°	234°	34°	14°	3.0
LBE	Bunde	O	5°43′	50°53′	G. de Jonge	206°	206°	17°	8°	1.0
PJM/MLV	Venray	I	5°59′	51°32′	W. Veldkamp	240°	228°	26°	16°	0.7
PJM/MLV	Overloon	I	5°59′	51°34′	mw. Alberts-Huijgen	228°	225°	19°	13°	2.5
PJM/MLV	Gennep	I	5°58′	51°42′	J. Goossens	233°	217°	26°	10°	2.5
PJM/MLV	Grave	I	5°44′	51°45′	I.T. Bonninga	240°	242°	20°	12°	2.5
PJM/MLV	Batenburg	O	5°38′	51°49′	M. van Tuyn	235°	234°	19°	13°	3.8
MLV	Voorschoten	I	4°28′	52°09′	Y. Langbroek	264°	262°	7°	2°	1.0
	Kampen	I	5°54′	52°33′	G. Sleurink	289°	295°	21°	6°	1.5
HBE/CKB/AZL	Den Ham	I	6°29′	52°27′	D.J. Schutmaat	288°	302°	31°	24°	4.0
ASE	Zelhem	I	6°21′	52°00′	R.W. Ouwersloot	190°	220°	20°	18°	–
ASE	Lochem	I	6°25′	52°10′	L. Pasman	245°	255°	35°	22°	1.0
ASE	Eefde	I	6°12′	52°10′	A. de Bode	250°	255°	24°	18°	0.5
JKB	Steenwijk	I	6°07′	52°47′	J. Kuiper	295°	305°	22°	15°	1.0
HBE/CKB/AZL	Vriezenveen	O	6°35′	52°26′	J. Janssen	287°	292°	26°	18°	0.5
HBE/CKB/AZL	Bergentheim	O	6°38′	52°31′	F.W. Prenger	303°	318°	15°	10°	0.7
HBE/CKB/AZL	Bergentheim	O	6°38′	52°31′	J. Roosink	311°	314°	13°	9°	0.7
HBE/CKB/AZL	Hengelo	O	6°50′	52°15′	L. Spiele	260°	270°	27°	28°	1.3
	Assen	I	6°34′	52°59′	J. de Jong	340°	355°	30°	20°	1.2
NVWS/WGM	Bolsward	–	5°31′	53°04′	mw. G. Rooda	321°	320°	15°	11°	–
NVWS/WGM	Noordbroek	–	6°52′	53°12′	E. Bolwijn	175°	354°	14°	4°	–
NVWS/WGM	Wageningen	–	5°41′	51°58′	W.H. Douma	203°	230°	31°	3°	–
NVWS/WGM	Opheusden	–	5°35′	51°56′	mw. A.v.Hellemond	248°	249°	18°	14°	–
NVWS/WGM	Montfoort	–	4°57′	52°02′	J. Luteyn	244°	245°	15°	6°	–
NVWS/WGM	Utrecht	–	5°08′	52°06′	E. Altena	242°	244°	14°	7°	–

Table 1: Kompasmetingen van azimuthrichtingen (gecorrigeerd voor deviatie) en hoogtemetingen met gradenboog.

verschillende blikrichtingen op! Daarbij komen de hoogte-waarnemingen erg kritisch, wanneer de afstand tot het lichtspoor erg groot wordt. 21° of 22° hoogte maakt niet zoveel uit, maar 5° of 6° wel. Uiteindelijk werden 19 posten in een aangepaste versie van FIRBAL gestopt. Het programma is in oorspronkelijke staat geschikt voor het verwerken van maximaal 10 waarnemingsposten met 250 sektoronderbrekingen per post. Dit is gewijzigd naar 30 posten met maximaal vijf meetpunten...

In tabel 1 zijn alle bruikbare kompasmetingen samengevat. Een aantal onbruikbare of onbetrouwbare metingen is hierin al weggelaten.

Tabel 2 geeft de FIRBAL uitkomsten voor een aantal uit tabel 1 geselecteerde stations met de opgegeven gewichtsfactoren. Niet alleen de afstand speelt hierin een rol, maar ook een indrukssnauwkeurigheid die je krijgt, wanneer je de mensen zelf ontmoet.

Het is duidelijk, dat bij de verwerking van visueel materiaal veel grotere fouten optreden, dan we bij fotografische meteoropnamen gewend zijn. Toch vallen de resultaten best nog mee. Bij de meeste posten blijven de afwijkingen per meetpunt onder de vijf graden. De beginposities vertonen nogal wat verschillen; niet zo verwonderlijk, want eenieder zal op een ander moment zich gerealiseerd hebben 'dat er wat gebeurde'. De eindpunten komen veel beter met elkaar overeen, zowel in hoogte als in geografische positie.

Uit de tabel met gegevens werd vervolgens een aantal posten



Figure 2: Metingen te Bergentheim. De kompasrichtingen worden bepaald, door over de waarnemer heen langs de lat te kijken met een (scheeps)kompas.

met kleine residuen geselecteerd voor het berekenen van gemiddelden voor begin- en eindpunt. Deze gemiddelden zijn bepaald uit Overloon, Grave, Batenburg, Voorschoten, Kampen, den Ham, Bunde, Lochem, Heerenveen, Dordtmund-2 en Steenwijk. Tabel 3 toont de uiteindelijke baan en

Station	W	h begin (km)	h eind (km)	λ begin	λ eind	ϕ begin	ϕ eind	l (km)	resid.
Venray	1.0	125	41.8	8°.659	7°.393	52°.605	52°.353	124	3.7 ; 1.1
Overloon	1.0	45.4	30.9	7°.449	7°.225	52°.364	52°.318	21.7	-1.7 ; -1.9
Gennep	0.5	71.3	9.1	7°.847	6°.884	52°.445	52°.247	93.4	-3.7 ; -9.7
Grave	1.0	55.2	29.4	7°.599	7°.202	52°.395	52°.313	38.6	-0.3 ; 4.3
Batenburg	0.5	44.3	21.3	7°.432	7°.075	52°.361	52°.287	34.6	-3.6 ; -1.6
Voorschoten	0.5	24.0	10.1	7°.117	6°.901	52°.296	52°.251	20.9	1.1 ; -2.3
Kampen	0.5	47.6	16.2	7°.483	6°.995	52°.371	52°.270	47.2	2.8 ; -5.8
den Ham	0.5	30.3	17.1	7°.215	7°.009	52°.316	52°.273	19.9	2.5 ; -0.6
Bunde	0.5	48.0	26.9	7°.488	7°.163	52°.372	52°.305	31.5	-7.1 ; -0.7
Lochem	0.5	93.0	20.9	8°.177	7°.070	52°.511	52°.286	108	-0.3 ; 9.4
Heerenveen	0.25	58.9	35.7	7°.656	7°.298	52°.407	52°.333	34.8	2.4 ; -1.9
Vriezenveen	0.5	25.6	18.9	7°.142	7°.037	52°.301	52°.279	10.2	-6.8 ; -12
Bergentheim	0.5	21.1	12.4	7°.072	6°.936	52°.286	52°.258	13.2	-15 ; -11
Assen	0.25	29.1	15.4	7°.197	6°.984	52°.312	52°.268	20.6	15 ; 20.5
Dordtmund-1	0.25	278	33	10°.9	7°.26	53°.001	52°.326	—	12.4 ; 7.5
Dordtmund-2	1.0	38.5	13.4	7°.342	6°.952	52°.343	52°.261	37.8	5.2 ; 1.4
Dorsten	0.25	20.3	10.2	7°.059	6°.902	52°.284	52°.251	15.1	-22 ; -24
Steenwijk	0.5	45.8	18.9	7°.455	7°.038	52°.366	52°.279	40.5	-2.1 ; -9.6

Table 2: *Geselecteerde posten met kompasmetingen met de FIRBAL uitkomsten voor het traject. De laatste kolom geeft aan, hoeveel graden resp. begin- en eindpunt van het gemiddelde traject vandaan liggen. Deze waarden worden gebruikt voor een verdere reductie van het aantal posten.*

	Begin	Eind
Hoogte (km)	48±16	22±8
λ	7°.48 ± 0°.23	7°.09 ± 0°.12
ϕ	52°.37 ± 0°.05	52°.29 ± 0°.02

α Radiant	193° ± 2°
δ Radiant	+42° ± 2°
a (AU)	0.91 ± 0.17
e	0.46 ± 0.10
q (AU)	0.49 ± 0.04
ω	306° ± 18°
Ω	318°.87 ± 0°.00
i	36° ± 13°

Table 3: *Baan en trajectgegevens meteorietdropping EN 070490*

Orbital and Trajectory data meteorite fall April 7, 1990

trajectgegevens. De baanelementen zijn berekend met een aangenomen snelheid van 25 ± 7 km/s. Deze waarde is erg onnauwkeurig omdat er geen goede snelheidsmetingen (zoals bij fotografische opnamen) gedaan kunnen worden. De 11 bovengenoemde posten, waaruit de gemiddelden voor de trajectgegevens zijn berekend geven een trajectlengte van 33 ± 9 km. De meeste waarnemers gaven als tijdsduur waarden tussen de 1 en 2 seconden op; zelden meer! De bovengenoemde waarde voor de snelheid volgt uit een tijdsduur van ongeveer anderhalve seconde.

Conclusies

Het afleiden van baan- en trajectgegevens uit visueel materiaal is mogelijk, maar de nauwkeurigheid is gering. Veel goede kompasmetingen tezamen kunnen een redelijk beeld oplev-

eren. Toch is het onbevredigend, dat verschillende methoden verschillende resultaten opleveren. Peter Jenniskens [1] vond met een grafische methode de radiant ongeveer 15 graden in azimuth naar het noordoosten verschoven. Het hoeft geen betoog, dat zijn andere radiant ook andere baanelementen oplevert, hoewel de verschillen niet schokkend zijn. We zijn de laatste jaren erg verwend geraakt met mooi fotografisch materiaal, en dan vallen deze resultaten natuurlijk tegen.

Fig. 3 toont een projectie van het het FIRBAL berekende traject. De begin- en eindpunten zijn berekend, zonder gebruik te maken van het gegeven, dat er sprake is geweest van een dropping, met andere woorden het gegeven 'Glanerbrug' is niet gebruikt in de berekeningen. Desondanks wordt een traject gevonden, dat vrijwel op Glanerbrug afkoerst! Het eindpunt ligt enkele kilometers naar het oost-noord-oosten. Frappant gegeven is, dat het gehele lichtgevende traject over Duitsland heeft gelopen. De 'dark flight' bracht de steen uiteindelijk over de Nederlandse grens.

De baanelementen duiden op een Apollo achtige herkomst (Zie het artikel van Peter Jenniskens). De hoge inclinatie echter is uitzonderlijk! Een statistische verdeling van de baanelementen van meteorietdroppers, opgemaakt door Millman [2] laat zien, dat de meeste meteorieten zeer kleine inclinaties hebben gehad; meestal kleiner dan 10 graden. Voor een verdere associatie met mogelijke asteroiden verwijs ik naar het artikel van Peter Jenniskens elders in dit nummer.

Tot slot

Deze resultaten kwamen tot stand dankzij de medewerking van velen. Peter Jenniskens zocht de originele meldingen uit en selecteerde kompasmetingen en adressen voor kompasmetingen. Veel dank ben ik ook verschuldigd aan Dieter Heinlein, die vrijwel dagelijks nieuwe gegevens uit Duitsland toezond. Casper ter Kuile verleende assistentie bij de kompasmetingen in Twente en had tevens een belangrijk aandeel in de

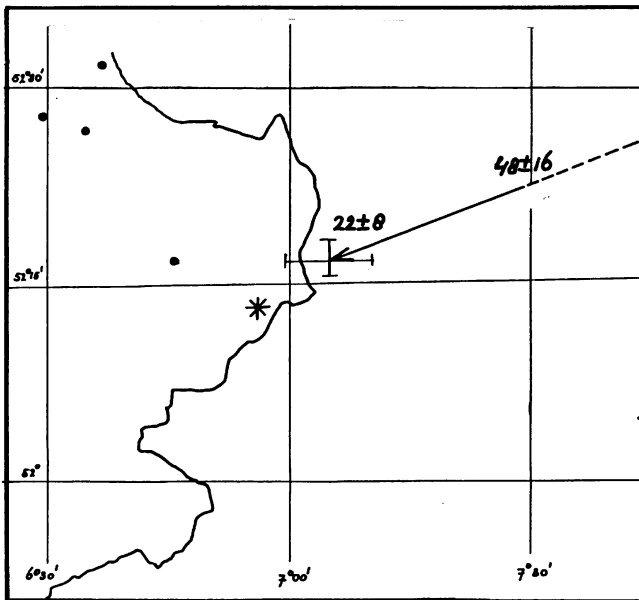


Figure 3: Grondtrajekt met hoogteaanwijzingen van het met FIRBAL berekende trajekt. Het hele lichtspoor heeft zich boven Duits grondgebied bevonden. Het inslagpunt te Glanerbrug is met een sterretje aangegeven.

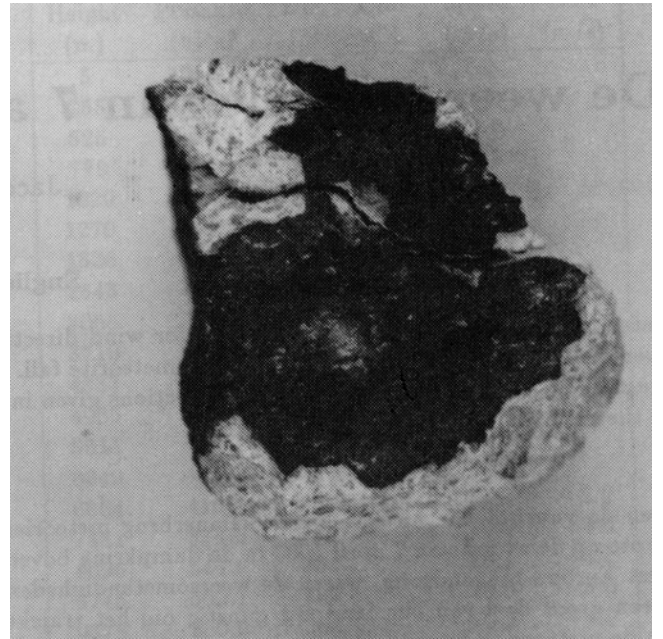


Figure 1: Twee van de grotere fragmenten, tezamen ca. 3 cm groot. Duidelijk is de zwarte smeltkorst te zien.

voorbewerking van het materiaal en de grafische presentatie van de gegevens. Mark de Lignie verleende assistentie bij het aanpassen van het FIRBAL programma. De kontakten met Paul Koenraad en Felix Bettonvil (Werkgroep Meteoren) verliepen op plezierige wijze. Zdenek Ceplecha en Jiri Borovicka (Ondřejov) verrichtte waardevolle controleberekeningen aan onze ruwe invoerdata. En tot slot mag dit artikel natuurlijk niet beëindigd worden zonder een woord van dank aan de waarnemers, die ons met de metingen behulpzaam waren en die ons op zoveel plaatsen gastvrij ontvingen. •

References

- [1] Jenniskens, P.: *Radiant* **12** (1990), 56
- [2] Millman, P.: *Astronomical Information on meteorite orbits*. In : *Meteorite Research*. D. Reidel publ. Comp. (1969), pg. 541

De Glanerbrug meteoriet

In dit speciale nummer van 'Radiant' vooral aandacht voor de astronomische kant van de Glanerbrug meteorietval. Naast de foto op de voorplaat drukken we hiernaast enkele opnamen van de grotere fragmenten af. Alle fotomateriaal is beschikbaar gesteld door Dr. C.E.S. Arps, Nationaal Natuurhistorisch Museum te Leiden.

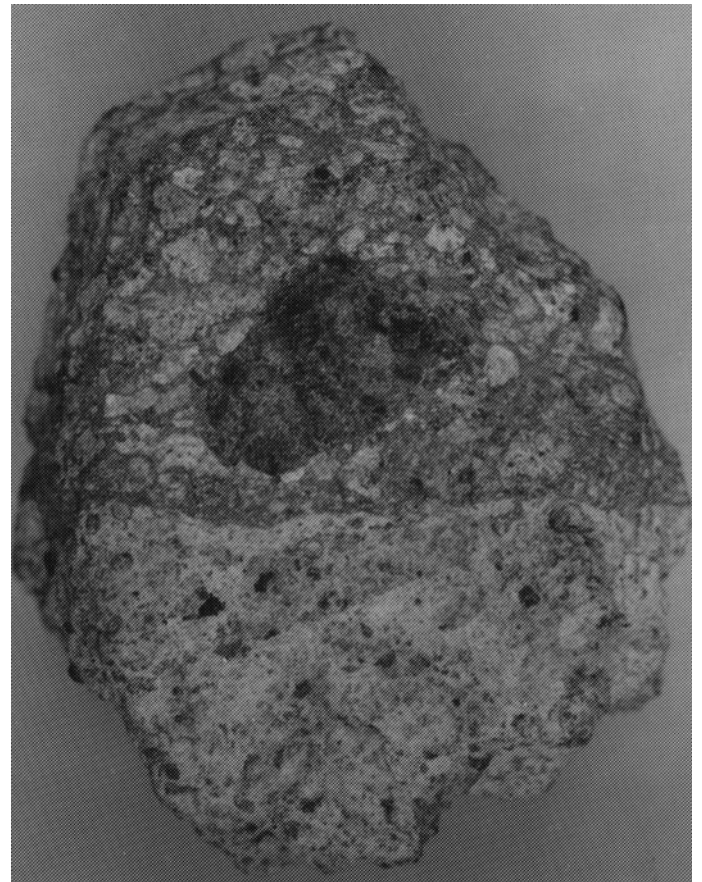


Figure 2: Het grootste fragment meet ongeveer 7×5 cm en weegt 135 gram.

De weerssituatie van 7 april 1990 boven Nederland.

Jacob Kuiper *

English summary

Meteorological data for sky coverage and for wind directions and velocities between 0 meter and 22000 meter height are given for date and time of the 'Glanerbrug' meteorite fall. All basic data were measured by the Royal Dutch Meteorological Institute (KNMI) in de Bilt, Holland. Corrections given in the table were made for the Glanerbrug area and were computed by the author.

Bewolking en zicht

Toen de vuurbol, die uiteindelijk de Glanerbrug meteoriet dropte op de avond van 7 april 1990 in de dampkring boven West Europa binnendrong, waren de weersomstandigheden in een groot deel van ons land erg gunstig om het traject van de meteor te kunnen zien.

Toch was het niet overal in onze omgeving onbewolkt. Uit de voorhanden zijnde gegevens van 15 officiële KNMI waarnemingsstations is het volgende te concluderen:

1. De bewolkingsgraad boven Nederland om 18^h UT.

Van de 15 onderzochte waarnemingsstations meldden 11 punten een totale bedekkingsgraad van 0 of 1 achtste bewolking. Alleen op de vliegbasis Leeuwarden, station de Kooy bij den Helder, vliegveld Twente en vliegveld Eindhoven werd 2/8 bedekkingsgraad of meer gemeld, waarbij Leeuwarden de hoogste bedekkingsgraad had: In totaal zo'n 4/8 á 5/8. Ook op het vliegveld Twente was de lucht voor praktisch de helft bedekt met wolken. Het betreft hier dus waarnemingen, die rond 17^h45^m tot 17^h55^m UT zijn verricht, en als 18^h00^m UT observaties te boek zijn gesteld.

2. De bewolkingsgraad boven Nederland om 19^h UT.

In vergelijking met het voorgaande uur is er nog niet veel gewijzigd in het wolkenbeeld. Nog steeds is boven het zuiden, westen en midden van het land de lucht praktisch onbewolkt. In het noorden drijven wolkenvelden verder het land binnen. Met name in Groningen, Friesland, de Waddeneilanden en Drente is de bedekkingsgraad toegenomen tot meer dan 4/8. Leeuwarden meldt een voor 7/8 bedekte hemel. Vliegveld Eelde 5/8 en vliegveld Twente meldde een bedekkingsgraad van 2/8. Het betreft hier dus de wolksituatie zoals die tussen 18^h45^m en 18^h55^m UT, dus ca. 15 tot 25 minuten na de 'Glanerbrug' is waargenomen.

3. De bewolkingsgraad boven Nederland om 20^h UT.

Nog steeds is het overgrote deel van het land vrijwel onbewolkt. In Friesland en nu ook in delen van Noord Holland zijn nog steeds wolkenvelden aanwezig, die voor meer dan 5/8 de hemel bedekken. In Zuid Limburg is wat bewolking, die 3/8 oplevert.

4. Het horizontale zicht boven Nederland tussen 18^h en 20^h UT.

In deze tijdspanne was de doorzichtigheid van de lucht goed te noemen. Een enkele waarnemingspost meldde binnen de genoemde periode een zicht van 10 kilometer, maar de meeste waarnemers rapporteerden zichten van meer dan 10 kilometer.

Rond het tijdstip dat de vuurbol de dampkring binnendrong is door een van de NOAA weersatellieten een wolkenopname van west Europa gemaakt. Op de foto van de NOAA-10, die genomen is rond 18^h56^m UT, dus ongeveer 20 minuten na het verschijningstijdstip van de vuurbol, zijn wolkenvelden te zien boven een deel van de Noordzee, noord Nederland en noord Duitsland. Ook boven zuidelijk Denemarken zijn wolken aanwezig. Deze vrij langgerekte sliert met bewolking behoorde tot een oud frontensysteem, waar vrijwel geen neerslag uit viel. De meeste bewolking bevond zich op 2000 meter hoogte en bestond uit een dunnen laag stratocumulus. Ook daarboven zijn nog wat altocumulusvelden aanwezig op ca. 3000 meter. Meer boven noord Duitsland en zuid Denemarken is ook nog wat cirrus bewolking aanwezig, die rond een hoogte van 4 of 5 kilometer drijft. Op de foto is duidelijk de vrij scherpe begrenzing van de stratocumulusvelden boven noord Nederland herkenbaar. Ten noorden van de lijn Texel-Joure-Emmen is een vrij gesloten wolkendeek aanwezig. De bewolking verplaatste zich met een oost-noord-oosten wind van rond de 10 meter per seconde; dit is windkracht 5. We mogen aannemen, dat de wolkenbegrenzing rond het verschijnen van de meteor iets verder naar het noorden heeft gelegen, maar dat toch de noordelijke delen van Friesland en Groningen alsmede de Waddeneilanden een tamelijk bedekte hemel hebben gehad. Dit alles is mooi in overeenstemming met de waarnemingsrapporten van de 15 KNMI stations. In de buurt van het Ruhr-gebied en ook ten noorden daarvan bevinden zich eveneens enkele statocumulusvelden, die echter niet een geheel gesloten dek vormen. Er zitten gaten in deze wolkenvelden, die hier op een hoogte van 2000 tot 3000 meter aanwezig zijn. De dikte van de wolkenlagen is gemiddeld 100 tot enkele honderden meters.

Omdat de bewolking boven noord Nederland zich op vrij grote hoogte bevond, is het mogelijk, dat de meteor nog zichtbaar is geweest in delen van noord Friesland en Gronin-

* Akker 141, 3732 XD De Bilt

gen, waar op dat moment al bewolking in het zenit aanwezig was. Dit vanwege het feit, dat de meteoroor vanuit die plaatsen uiteindelijk vrij laag in het zuidoosten of zuiden te zien was. Uitgaande van de lijn waarboven rond 18^h33^m UT de bewolking in het zenit aanwezig was, kunnen waarnemers tot ca. 10 kilometer noordelijk daarvan nog een deel van het meteoorspoor hebben gezien.

De bovenlucht waarnemingen

In de Bilt wordt vier maal per dag een meting gedaan van de hogere luchtlagen met behulp van radio sondes. Rond het tijdstip van de vuurbol is ook een meting van temperatuur, relatieve vochtigheid en windrichting en windsnelheid verricht. De weerballon heeft rond 18^h UT gegevens verzameld tussen het aardoppervlak en 12917 meter hoogte. Met name de windrichting en windsnelheid in de hogere luchtlagen hebben invloed gehad op de vrije val van de meteoriet. Eventuele andere, (nog) niet gevonden brokstukken worden door de wind uit hun koers gebracht. Afhankelijk van hun massa is een berekening van het valtraject wellicht nauwkeuriger te maken, door de gemeten winden in de bovenlucht mee te nemen. Gegevens zijn te vinden in de tabel.

Omdat de gegevens windsnelheden strikt gelden voor de Bilt en omgeving, is een correctie toegepast om de windsnelheid boven oost Nederland zo goed mogelijk te benaderen. In de tabel is in het traject tussen 6400 m en 11700 meter een extra aantal meters per seconde aangegeven, dat moet worden opgeteld bij de waardes van de radiosondemeting van de Bilt. Deze correctie is gedaan aan de hand van bovenluchtkarten, waarop ook de radiosondewaarnemingen van de omringende landen te zien zijn.

Omdat bij de radiosondemetingen van 7 april 1990 om 12^h UT en op 8 april 1990 om 0^h UT ook nog windgegevens boven een hoogte van 12917 meter werden verzameld, zijn deze gegevens gebruikt om een geschatte windrichting en windsnelheid te krijgen boven de 12917 meter.

Uiteindelijk leidde dit tot redelijk betrouwbare windgegevens tot een hoogte van 22177 meter. Hierbij werden uit de 12^h UT radiosonde de gegevens tussen 12961 en 19272 meter gebruikt, waarop een correctie voor richting en snelheid is toegepast. Voor de gegevens tussen 19349 en 22177 meter werd de radiosonde meting van de 8 april 0^h UT ballon gebruikt. Ook hier zijn weer correcties in windrichting en windsnelheid aangebracht. Tevens zijn bij al deze correcties het verschil tussen de Bilt en oost Nederland verwerkt.

Conclusies

Het blijkt, dat in de luchtlaag tussen 0 en 2500 meter hoogte een noordoosten wind staat, die gemiddeld varieert tussen windkracht 4 en windkracht 7.

Tussen ruwweg 2500 meter en 4000 meter is de wind noordelijk tot noordwest en meest matig, windkracht 4. Boven de 4000 meter tot 22000 meter is de windrichting in hoofdzaak westelijk, waarbij de windkracht varieert van windkracht 4 tot windkracht 10.

Op zich bezien, zijn de gemeten windsnelheden niet buitensporig hoog te noemen, maar het neemt niet weg, dat invloed op de val van de meteorietbrokken merkbaar zal zijn geweest.

Height (m)	Pressure (hPa)	Dir. (°)	Corr (°)	Speed (m/s)	Corr (m/s)
5	1015.7	30		7.2	
255	985.4	36		15.2	
525	953.5	38		13.9	
779	924.1	46		12.3	
1029	895.9	53		10.8	
1270	869.2	61		10.3	
1526	841.6	64		9.6	
2343	758.1	44		7.7	
3065	690.5	9		6.0	
3710	634.4	328		5.7	
4337	583.6	299		7.3	
4965	535.9	281		9.1	
5611	490.1	277		11.8	
6249	448.0	269		14.2	
6864	410.1	269		17.0	+2.0
7481	374.5	264		18.0	+4.0
8096	341.5	264		18.1	+4.0
8745	309.1	259		20.5	+5.0
9376	280.0	262		20.2	+4.0
9998	253.8	267		17.0	+3.0
10675	228.2	270		18.6	+2.0
11339	205.6	274		18.6	+1.0
12004	185.3	268		20.3	
12647	167.6	266		20.1	
13280	151.8	261	+7	22.2	+1.0
14067	134.2	262	+5	21.6	+2.5
14946	117.1	257	+7	21.3	+1.5
15742	103.4	264	+3	23.6	+2.0
16574	90.8	262	+3	22.7	+2.0
17431	79.4	255	+9	21.8	+1.5
18249	69.8	259	+3	23.6	+1.5
19100	61.2	267	+0	26.7	+1.0
19898	54.1	273	-3	22.3	+3.0
20734	47.5	278	-5	19.2	+2.0
21628	41.2	275	-3	19.9	+2.0
22177	37.8	269	0	18.0	+2.0

Table 1: In deze tabel zijn gegeven: De hoogte van de gemeten windrichting en windsnelheid boven zeeniveau, de luchtdruk in millibar of hectopascal (in tienden), de windrichting in graden op de bewuste hoogte. Hierbij geldt in de meteorologie, dat een noordenwind wordt aangegeven met 0° of 360°; een oostenwind met 90°, een zuidenwind met 180° en een westenwind, die dus uit het westen waait, met 270°. In de laatste kolom is gegeven de windsnelheid in meters per seconde.

Tot slot

De gegevens, zowel van de weersatelliet, de grondwaarnemingen als van de radiosonde data, zijn verstrekt met welwillende medewerking van het KNMI. De correcties op sommige meetwaarden zijn verricht door schrijver dezes. •

Een eenvoudig model voor de vrije val van een meteoriet

Casper ter Kuile *

ENGLISH SUMMARY

A simplified method is developed to derive the displacement of objects in the atmosphere due to windeffects during their free fall to the earth surface. The program was tested on observational data of the Glanerbrug meteorite fall. The duration of fall from a height of 25 kilometers has been about 3 minutes. The computed velocity of the meteorite when it hit the house in Glanerbrug amounts between 200 and 300 kilometers/hour depending on the mass of the meteorite and on the friction coefficient in the atmosphere. These values are in good agreement with those, found from the mass distribution of the recovered particles. The drift of the meteorite caused by windeffects in the upper atmosphere during the time of fall through the atmosphere has been between 0.5 and 1 kilometers. As only visual data obtained by inexperienced observers were used, one should be fully aware of great uncertainties in the given results.

Inleiding

De Glanerbrug meteoriet heeft veel in beweging gebracht. Aangezien het programma Dark-Flight [1] van Dr. Z. Ceplecha van het Ondřejov observatorium in Tsjechoslowakije bij DMS te Leiden nog niet operationeel is deed zich de behoefte voelen aan een (vereenvoudigd) model om enig inzicht te verkrijgen in de gevolgen van luchtstromingen op grotere hoogten. Aan de hand van de resultaten kan in een later stadium eventueel besloten worden alsnog een tweede zoekactie te organiseren naar meerdere brokstukken van de Glanerbrug meteoriet. Dit artikel poogt de werking van het model te verduidelijken en een orde van grootte aan te geven van de verplaatsing van de meteoriet als gevolg van de luchtstromingen op grotere hoogten in de atmosfeer.

Theorie

Om inzicht te krijgen in het model, is enige natuurkundige basiskennis wel vereist. Ook de basisprincipes van de numerieke wiskunde worden bekend verondersteld. Voor achtergrondinformatie verwijzen we naar [2] t/m [7]. In [3], [4] en [5] wordt de stroming om bollen beschreven. [6] gaat dieper in op temperatuureffecten die een rol spelen. Laten we beginnen met te kijken welke krachten er op de meteoriet werken. Dit wordt in de literatuur ook wel het opstellen van de krachtenbalans genoemd. Voor de eenvoud stellen we de meteoriet als een bol voor. Ten eerste de zwaartekracht:

$$F_1 = m \times g \quad \text{waarbij} \quad m = \rho_m \times \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \quad (1)$$

waarin :

g : de versnelling van de zwaartekracht.

ρ_m : de dichtheid van de meteoriet.

r : de straal van de meteoriet

Dan is er de wrijvingskracht met de omringende lucht. Hiervoor passen we de wet van Stokes toe:

$$F_2 = C_w \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{1}{2} \times \rho_l \times V_s^2 \quad (2)$$

waarin :

C_w : de weerstands-coëfficiënt

D : de diameter van de bol

ρ_l : de dichtheid van de atmosfeer

V_s : de valsnelheid van de bol

De grootte van de weerstandscoefficiënt C_w is afhankelijk van de snelheid waarmee de lucht om het voorwerp stroomt. Met behulp van het dimensieloze kengetal van Reynolds [3] is te bepalen met welk soort stroming we te maken hebben: laminair of turbulent. Dit kengetal van Reynolds luidt als volgt:

$$Re = \frac{\rho_1 \times V_m \times D_m}{\eta_{tal}} \quad (3)$$

waarin:

ρ_1 : de dichtheid van de atmosfeer

V_m : de snelheid van de meteoriet

D_m : de diameter van de meteoriet

η_{tal} : de dynamische viscositeit van lucht

Indien de twee krachten F_1 en F_2 die op de bol werken even groot zijn dan zal de bol geen versnelling ondervinden. Is er echter een verschil dan zal de bol een versnelling of vertraging a ondervinden volgens:

$$a = \frac{F_1 - F_2}{m} \quad (4)$$

Met behulp van deze zojuist berekende versnelling (of vertraging!) kunnen we berekenen waar de bol zich na een bepaald tijdsinterval bevindt:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (5)$$

* Akker 145, 3732 XD De Bilt

Waarin:

s : positie van de bol na tijdsinterval t

v_0 : snelheid op tijdstip $t = 0$

t : tijdsinterval

Nu doet zich nog een ander probleem voor. Dat is de luchtdichtheid die met de hoogte afneemt. In de praktijk neemt de luchtdruk na ongeveer elke 6000 meter met een faktor twee af. Theoretisch wordt dit verband beschreven door een e -macht. In formulevorm:

$$\rho_l = \rho_0 \times e^{-(C \cdot h)} \quad (6)$$

Waarin:

ρ_l : luchtdichtheid op hoogte h

ρ_0 : luchtdichtheid aan het aardoppervlak

C : constante

h : hoogte boven het aardoppervlak

We hebben nu alle benodigde formules beschreven. Hoe zetten we dit geheel nu om in een werkend model? In principe hebben we hier te maken met een differentiaalvergelijking. Een differentiaalvergelijking kan vaak analytisch opgelost worden. Het voert op deze plaats te ver om daar tot op detail op in te gaan.

Maken we echter gebruik van een computer dan kunnen we onze toevlucht nemen tot de numerieke wiskunde. Deze laatste techniek komt erop neer dat we via een groot aantal kleine stapjes de beweging van de meteoriet in de aardse atmosfeer volgen. Op al die plaatsen worden de krachten berekend die op de meteoriet werkzaam zijn.

De berekeningen worden volgens het onderstaande schema uitgevoerd. In een 'loop' worden achtereenvolgens berekend:

1. Krachtenbalans op meteoriet: zwaartekracht (1) en wrijvingskracht (2).
2. Een verschil geeft aanleiding tot een versnelling (of vertraging) van de meteoriet (4).
3. Versnelling en tijdstap geven snelheid en positie (5).
4. Wrijvingskracht is afhankelijk van dichtheid van de atmosfeer op hoogte z (6).
5. Windrichting en -snelheid hebben invloed op beweging in het horizontale vlak.
6. Vervolgens weer terug naar stap 1.

Basisgegevens

In tabel 1 geven we een overzicht van alle gegevens die noodzakelijk zijn om het model te kunnen draaien.

Het atmosferisch windveld

Via het KNMI te De Bilt (Jacob Kuiper) heeft DMS de beschikking gekregen over een uitgebreide tabel met gegevens over windrichtingen en -snelheden op grotere hoogten in de atmosfeer. De gegevens in deze tabel zijn ingevoerd in het dark flight model. De gegevens in deze tabel zijn verkregen met professionele instrumenten en dus

Massa (kg)	1.000
Soortelijke massa (kg/m ³)	2500
Diameter (m)	0.091
Weerstandscoefficiënt	0.43
Starthoogte (m)	25000
Snelheid (m/s)	0
Invalshoek (zenit=90) (°)	90
Azimuth (zuid=0) (°)	270
Tijdstap (sec)	0.100

Table 1: *Inputgegevens voor het vrije val model.*

Hoogte (m)	Luchtdruk (hPa)	Windrichting (grd)	Windsnelheid (m/s)
5	1015.7	30	7.2
1526	841.6	64	9.6
3194	678.9	2	6.0
3953	614.3	312	6.9
6125	455.9	271	14.2
10132	248.5	267	20.8
16059	98.4	267	25.8
22177	37.8	269	20.0

Table 2: *Deel van de windtabel van het KNMI.*

Tijdstap (sec)	0.010	0.100	1.000
Tijdsduur (sec)	181	181	182
Positie X (m)	+827	+828	+838
Positie Y (m)	-48	-48	-48
Snelheid Z (m/s)	+71.2	+71.5	+70.3

Table 3: *Stabiliteit van het model.*

zeer nauwkeurig als we die vergelijken met andere parameters als massa en weerstandscoefficiënt. Tabel 2 geeft een (zeer) verkort overzicht van de gegevens.

In de weerkunde wordt de windrichting geteld vanaf noord (0°) over oost (90°). Een windrichting van 270° betekent dat de wind uit het westen waait. De snelheidsvektor is echter positief naar het oosten! Het windveld is globaal op te delen in 3 segmenten:

1. Vanaf het maaiveld tot ongeveer 3000 meter hoogte waait de wind uit het noord-oosten.
2. Vanaf 3000 tot ongeveer 5000 meter bevinden we ons in een overgangsgebied waarin de wind draait van het noord-oosten via het noorden naar het westen.
3. Vanaf 5000 meter tot het einde van de tabel op circa 22 kilometer hoogte waait de wind steeds vrijwel pal uit het westen.

Voor meer informatie over de weersomstandigheden tijdens de val van de Glanerbrug meteoriet verwijzen we naar een artikel van de hand van Jacob Kuiper. [8]

Resultaten

1. Algemeen.

M (kg)	0.100	0.250	0.500	1.000	2.500	5.000	10.000
D (m)	0.042	0.058	0.073	0.091	0.124	0.156	0.197
Tijd (sec)	258	224	201	181	159	144	131
X (m)	+1791	+1359	+1075	+828	+559	+401	+280
Y (m)	-151	-99	-70	-48	-28	-18	-12
V _z (m/s)	+49	+57	+64	+72	+84	+93	+106

Table 4: *Invloed van de massa.*

Er zijn een drietal sets berekeningen uitgevoerd met, vanzelfsprekend, de gegevens van de Glanerbrug meteoriet als voorbeeld. Deze berekeningen hebben betrekking op:

- Stabiliteit van het model.
- Invloed van de massa.
- Invloed van de weerstandscoefficiënt C_w .

De dichtheid is nauwkeurig bepaald aan de hand van een brokstuk van de meteoriet.

Berekend worden:

- De totale tijd die de meteoriet erover doet om vanaf 25 kilometer hoogte het aardoppervlak te bereiken.
- De verplaatsing in X- en Y-richting.
- De snelheid waarmee de meteoriet het aardoppervlak treft.

Nog enige verduidelijkingen bij de tabel: X is positief in oostelijke en negatief in westelijke richting; Y is positief in noordelijke en negatief in zuidelijke richting. Z wordt gerekend vanaf het aardoppervlak. Hetzelfde geldt voor de snelheid.

2. Onderzoek naar de stabiliteit van het model.

Als eerste test is gerekend met een drietal verschillende tijdstappen. Dit om na te gaan of het model stabiel is en er geen accumulatie van afrondingsfouten optreedt. Tabel 3 toont overduidelijk aan dat het model voor de toegepaste tijdstappen stabiel is en er ook geen accumulatie van afrondingsfouten optreedt. Voor de parameters zijn de waarden in tabel 1 aangehouden.

3. Onderzoek naar de invloed van de massa.

De tweede set berekeningen heeft als parameter de massa. Dit is een gegeven waar een tamelijk grote onzekerheid inzit. Oorspronkelijk werd gedacht dat de totale massa ongeveer 670 gram bedroeg. De laatste gegevens wijzen erop dat de massa eerder rond de één kilogram moet hebben gelegen [1]. De massa bepaalt mede het aanstromingsoppervlak en daarmee de weerstandskracht als gevolg van de luchtwrijving. Het is met behulp van dit model niet vast te stellen hoe groot de massa van de meteoriet is geweest. We moeten wat dat betreft geheel vertrouwen op de nauwgezetheid waarmee de onderzoekers de brokstukken en stukjes bijeen hebben geraapt en gewogen.

Laten we deze tweede set berekeningen iets nauwgezetter

C_w	0.20	0.43	0.62	1.20
Tijd (sec)	114	155	181	245
X (m)]	153	514	828	1631
Y (m)]	-5	-25	-48	-131
V _z (m/s)	+129	+86	+72	+51

Table 5: *Invloed van de weerstandcoëfficiënt C_w .*

bestuderen. We kijken nu vooral naar de invloed van de hoogtewinden op de verplaatsing van de meteoroïde in X-richting. We zien dan dat een kleine massa een relatief groot aanstromingsoppervlak heeft ten opzichte van de grotere massa's. De meteoroïde zal er dus langer over doen om het aardoppervlak te bereiken. Gevolg is dat de hoogtewinden langer de tijd hebben om het deeltje in horizontale richting te verplaatsen. Nemen we aan de massa van de oorspronkelijke meteoriet ongeveer 1000 gram is geweest [1] dan kunnen de hoogtewinden de meteoriet over een afstand van een halve tot een hele kilometer verplaatst hebben.

Voor de waarden van de diverse parameters verwijzen we naar tabel 4.

4. Onderzoek naar de invloed van de weerstandscoefficiënt C_w .

De derde set berekeningen is in feite de belangrijkste. Het blijkt dat de weerstandscoefficiënt een relatief grote invloed heeft op het resultaat van de berekeningen.

We geven hier de weerstandscoefficienten voor onderstaande objecten in turbulente stroming volgens Smith en Stamers. [3] Voor turbulente stroming geldt dat het getal van Reynolds tussen 500 en 200000 ligt.

- Gladde bol : 0.43
- Cylinder met $L=D$: 0.62
- Cylinder met $L=00$: 1.20
- Platte cylinder : 2.00

Hierin is L de lengte van de cylinder en D de diameter.

Er is nog een ander probleem waar we mee te maken krijgen bij zeer hoge stroomsnelheden zoals we die tegenkomen bij objecten die vrij in lucht vallen. Het blijkt dat de weerstandscoefficient bij $Re > 200000$ als gevolg van grenslaageffecten plotseling sterk afneemt tot een waarde van ongeveer 0.20. Het zal duidelijk zijn dat dit verschijnsel van grote invloed is op de uitkomsten van het model.

Uit het kengetal van Reynolds blijkt dat de stromingsweerstand om voorwerpen als bollen afhangt van de viscositeit

van de omringende lucht. Aangezien de viscositeit van lucht ongeveer evenredig is met de wortel uit de temperatuur zal het punt waarbij de weerstandscoefficiënt sterk afneemt door de temperatuur beïnvloed worden. Voor de grootte van de weerstandscoefficiënt is het antwoord op een tweetal vragen van belang.

De eerste is door welke vorm de meteoriet het dichtst benaderd wordt. Dat een gladde bol een te optimistische voorstelling zal zijn lijkt aannemelijk. De gemiddelde meteoriet zal misschien op het eerste gezicht wel iets weg hebben van een bol maar dan wel één met een ruw oppervlak en voorzien van meer of minder grote uitsteeksels die de wrijving zeker positief beïnvloeden. Aan de andere kant is een 'oneindig' lange cylinder al evenzeer niet aannemelijk. Bij dit object bestaat er geen stroming om het uiteinde van de cylinder hetgeen bij een meteoriet wel het geval is. De waarheid zal ergens in het midden liggen. Hoe groot de fout is die we maken indien we de waarde voor een cylinder met $L=D$ (0.62) aanhouden zal wel nooit zijn vast te stellen.

De tweede vraag is welke waarde het kengetal van Reynolds aanneemt en of bij die waarde sprake is van een sterk verminderde weerstandscoefficiënt. Reynolds is sterk afhankelijk van de snelheid en de massa (diameter) van de meteoriet en van de viscositeit van de omringende lucht. De snelheid is weer een functie van de weerstandscoefficiënt waarmee de cirkel rond is. Voor een massa van 1 kilogram loopt Reynolds op tot boven de 500000. Dit rechtvaardigt de veronderstelling dat de weerstandscoefficiënt voor de Glanerbrug ongeveer 0.20 is (gladde bol).

Kiezen we als 'gulden middenweg' voor de weerstandscoefficiënt een waarde van 0.43 dan komen de resultaten van het model redelijk met de literatuur [2] overeen.

Foutenmarge

Elk model is slechts een afspiegeling van de werkelijkheid. Het hangt van een groot aantal factoren af in hoeverre een model de werkelijkheid korrekt weergeeft. Daarom is een bespreking van de foutenbronnen en de grootte en invloed daarvan op het model en dus op de uiteindelijke uitkomsten onontbeerlijk. We geven hier een overzicht van alle foutenbronnen die een rol spelen.

1. Hoogte waarop de vrije val geacht wordt te beginnen. Dit punt is slechts zeer globaal bekend. We dienen rekening te houden met een fout die wel 5 kilometer kan bedragen.
2. Snelheid en richting op het 'startpunt'. Over deze gegevens is mogelijk nog minder te zeggen dan over de starthoogte. Het zal duidelijk zijn dat het lichtgevend traject niet plotseling overgaat in het donkere deel van het traject.
3. Beginmassa. Ook al een behoorlijk grote onbekende. Zodra de verdamping/verbranding aan het einde van het lichtgevende traject stopt mogen we aannemen dat de beginmassa vastligt. We gaan er daarbij wel vanuit dat na dit moment geen fragmentaties meer optreden met alle bijkomende effecten van dien. We nemen dus aan dat de beginmassa gelijk is aan de eindmassa (voor het donkere deel).

4. Weerstandscoefficiënt C_w . We hebben gepoogd aannemelijk te maken dat de weerstandscoefficiënt vermoedelijk rond de 0.43 ligt, maar we dienen er rekening mee te houden dat de werkelijke waarde ligt tussen 0.20 en 0.62.

5. Windsnelheid en richting op grotere hoogte. Deze gegevens zijn veruit het nauwkeurigst bekend daar ze met professionele instrumenten bepaald zijn (weerballon, radar).

Voor de diverse gemeten parameters gelden de volgende onnauwkeurigheden:

Hoogte : ± 5 (km)

Luchtdruk : ± 0.5 (hPa)

Windrichting : ± 5 (grd)

Windsnelheid : ± 0.5 (m/s)

Discussie en conclusies.

Uit de foutenbespreking is wel duidelijk naar voren gekomen met welke onzekerheden we te maken hebben. Indien we de beschikking zouden hebben over een multimultane opname van de Glanerbrug dan zouden een aantal van de bovenbeschreven problemen een stuk minder zijn. Vooral eindhoogte en beginmassa zijn dan veel nauwkeuriger bekend. In het geval van de Glanerbrug meteoriet zal het model zijn waarde vooral kunnen bewijzen om inzicht te geven in de verplaatsing van de meteoriet door luchtstromingen in de atmosfeer. Ook in de verplaatsing moeten we rekening houden met een onnauwkeurigheid van mogelijk wel enkele honderden meters. Maar we kunnen toch wel met enige zekerheid stellen dat de verplaatsing gelegen is binnen 500 en 1000 meter. Voor een overzicht verwijzen we nogmaals naar tabel 3.

In principe is het zo mogelijk om, terugrekenend, het beginpunt van het donkere gedeelte van het traject te bepalen. Een vergelijking met het professionele Dark Flight model van Dr. Z. Ceplecha zou een goede test zijn naar de overall werking van het hier besproken model. Laten we desondanks hopen dat het model zijn nut nog eens ergens zal weten te bewijzen.

Van het hier besproken model is een PC/MS-DOS programma ontwikkeld dat verkrijgbaar is bij de schrijver van dit artikel. •

References

- [1] Jenniskens, P.: *De val van de 'Glanerbrug', Persbericht Sterrewacht Leiden, Leiden, mei 1990.*
- [2] McCrosky, R.E.; Ceplecha, Z.: in : *Peter Milmann , Meteorite Research, Reidel Publishing Comp. (1969), 600*
- [3] Smith, J.M.M; Stammers, E. : *Fysische Transportverschijnselen I, DUM, Delft 1973.*
- [4] Rietema, K.: *Fysische transport en overdrachtsverschijnselen, Prisma-Technica, Utrecht, 1976.*

- [5] Bird, R.B; Stewart, W.E; Lightfoot, E.N.: *Transport Phenomena*, Wiley International, New York, 1960.
- [6] Borghouts, A.N.: *Warmteleer en Kinetische Gastheorie*, DUM, Delft 1973.
- [7] Hellings, P.: *Astrofysica voor Calculators*, VSW Urania & VVS, Hove & Brussel 1981.
- [8] Kuiper, J.: *Radiant* **12** (1990), 76

Meteorieten zoekactie rond Glanerbrug

Hans Betlem *

English Summary

On Easter Sunday, april 15, 1990 10 DMS members organized a search in the immediate vicinity of the Glanerbrug impact position, where the April 7 meteorite came down. About 40 acres of grass land were inspected, but no more fragments were found.

Inleiding

Op het DMS Symposium op 14 april jl. in Rotterdam zijn ondermeer plannen voor een nadere zoekactie in de buurt van het meteoriet inslagpunt in Glanerbrug op 7 april 1990 verder uitgewerkt.

Er konden snel spijkers met koppen worden geslagen. In een extra ingelaste pauze werden de mogelijkheden en onmogelijkheden onderzocht en werd een plan de campagne gemaakt. Het gebied was enkele dagen tevoren al bestudeerd door *Jan Lanzing* en *Erik Kelderman* en ook hadden zij enkele weilanden onmiddellijk grenzend aan het betreffende huis aan de Gronausestraat al aan een nauwgezet onderzoek onderworpen. Op de 15e April, één week na de val, moest een en ander grootser worden opgezet.

Op weg...

Omstreeks 13 uur die middag verzamelden *Paul van der Veen*, *Erik Kelderman*, *Jan Lanzing*, *Casper ter Kuile*, *Hildo Mostert*, *Mark de Lignie*, *Alex Scholten*, *Lucia Bruning*, *Peter Jenniskens* en *Hans Betlem* zich op het toepasselijke verzamelpunt aan de Meteorenstraat 4 te Enschede, waar Erik ons gastvrij onthaalde op koffie en Paas(k)eieren.

Verdeeld over een tweetal auto's begaf het bont gekleurde gezelschap zich naar het nieuwe nationale meteoriet bedevaartsoord 'Glanerbrug', alwaar natuurlijk de onvermijdelijke groepsfoto gemaakt moest worden. De politie was, om eventuele moeilijkheden te voorkomen, van onze komst op de hoogte. Kennelijk gold dat ook de pers, want gedurende de laatste uren van onze barre zoektochten is een hoeveelheid hooggevoelig zwart-wit materiaal op de doorweekte (??) ploeg weilandenvorsers verschoten, waarbij een gemiddelde Perseïdenactie verbleekt...

Omdat het aantal mensen eigenlijk nog veel te klein was voor een echt grondige zoekactie, werd al vlug besloten om alleen de makkelijk toegankelijke weilanden te inspecteren, om daarmee een maximaal aantal vierkante meters op een middag te kunnen wegwerken. Het zal dan ook duidelijk zijn, dat een dergelijke klein opgezette zoekactie nooit een 100% duidelijke uitspraak over het nog aanwezig zijn van verdere fragmenten kan geven. Greppels werden wel zoveel mogelijk meegenomen, maar sloten, bosjes en privé tuinen bleven verder buiten beschouwing. Ook een vrij uitgebreide kloostertuin vlak bij het inslagpunt konden we niet

onderzoeken, daar deze afgesloten was. Verder leek het ons niet verstandig het plaatselijke woonwagenkamp te doorzoeken en ook een sportveld waar op dat moment een partijtje volleybal werd gespeeld sloegen we maar over.

Natuurlijk leverde deze dag een aantal kostelijke ervaringen op. Ongetwijfeld herinnert Casper zich nog het grote zwarte op een stier lijkend rund, dat zeer geïnteresseerd leek in zijn knalrode in de wind wapperende regenjack. Ook de reacties van omwonenden, die plotseling een zoekpeloton door de weilanden zagen trekken, logen er soms niet om. Gelukkig kon eenieder snel duidelijk gemaakt worden, wat het doel van de zoekactie was (nee, geen paaseieren zoek wedstrijd) en bleven incidenten uit.

Tegen acht uur in de avond besloten we er een puntje achter te zetten. In ongeveer zes uur tijd hebben we zo'n 40 ha land afgezocht en wel het makkelijkst toegankelijke terrein ten noorden en ten zuiden van het inslagpunt. Nieuwe fragmenten heeft de zoekactie niet meer opgeleverd, maar wel een aantal ervaringen, waar we een volgende gelegenheid rekening mee moeten houden. Zo lijkt het zinvol, dat één persoon, liefst in het bezit van een fiets, brommer of auto, zich bezig houdt met de huis-aan-huis bezoeken en de mensen inlichtingen verschaft en toegang tot de weilanden vraagt. Hier ging vaak veel tijd mee verloren. Het afzoeken van een aanzienlijk groter terrein met meer mensen, op te splitsen in groepen van tien behoort dan tot de mogelijkheden.

Moe maar voldaan keerden we in de late avond huiswaarts. DMS was een bijzondere ervaring rijker. ●

*Lederkarper 4, 2318 NB Leiden



Figure 1: *In één lijn met onderlinge tussenruimte van enkele meters zochten 10 DMS'ers de natte weilanden af.*



Figure 2: *Het startpunt van onze zes uur durende zoektocht door het fraaie Twentse land.*

De Dutch Meteor Society

Hans Betlem *

Dit nummer van 'Radiant' wordt toegezonden aan alle waarnemers van de 'Glanerbrug' meteorietval op 7 april 1990 alsmede aan alle personen en instanties, die bij het onderzoek aan de meteorietval betrokken waren. Een sympathiek gebaar van de Leidse Sterrewacht heeft het mogelijk gemaakt, dit nummer in een veel grotere oplage uit te brengen, dan gebruikelijk.

Omdat dit speciale nummer niet alleen naar onze vaste lezers gaat, op deze bladzijden wat informatie over de *Dutch Meteor Society*.

De *Dutch Meteor Society* is een in 1979 opgerichte organisatie van amateurastronomen, die zich helemaal toegelegd hebben op het waarnemen van vallende sterren. Juist in dit onderdeel van de boeiende hobby Sterrenkunde, is samenwerking tussen de verschillende waarnemers en waarnemingsgroepen erg belangrijk. Alleen door een gezamenlijke verwerking van grote hoeveelheden waarnemingen, kunnen hieruit zinnige zaken afgeleid en berekend worden. Meteorenfotografie vraagt om minstens twee foto's van eenzelfde meteor, vanuit verschillende plaatsen in ons land. Ook hier is samenwerking en coördinatie tussen meteorfotografen nodig.

De *Dutch Meteor Society* tracht deze onderlinge samenwerking te stimuleren en mensen met eenzelfde hobby bij elkaar te brengen. Als resultaat van gezamenlijke inspanningen is er een landelijk fotografisch meteoren netwerk, dat tijdens perioden van grote meteorenzwermen vele tientallen meteoren, waarvan vele meervoudig, op de fotografische film vastlegt. Geen enkel ander land ter wereld kent zo'n grote en gespecialiseerde activiteit op het gebied van meteorenfotografie, als ons land.

Minstens tweemaal per jaar komen meteorenwaarnemers en geïnteresseerden bij elkaar op een landelijke bijeenkomst. Voordrachten, demonstraties met apparatuur en veel gelegenheid tot onderlinge informele contacten wisselen elkaar op zo'n bijeenkomst af.

Het hoogtepunt van de landelijke waarnemingsactiviteiten ligt meestal in de maand Augustus, wanneer de grote meteorenzwerm van de Perseïden actief is. Eind Augustus is er meestal een speciale waarnemersbijeenkomst, waarop de resultaten besproken en vergeleken worden. Via de *Dutch Meteor Society* kunnen de waarnemers ook in contact komen met gespecialiseerde professionele astronomen, meestal in het buitenland. Met velen van hen hebben we plezierige contacten, waar we erg veel van kunnen leren op het gebied van waarnemingen, uitwerkingen, berekeningen enz.

De meest in het oog springende activiteit van de *Dutch Meteor Society* is de uitgave van het blad RADIANT, dat elke twee maanden uitkomt en vol met waarnemingsresultaten, aktieverslagen, foto's enz. enz. van eigen leden staat. Maar daarnaast bevat RADIANT ook nieuws uit de vakwereld, technische en theoretische artikelen enz. Voor eenieder die met de meteorenhobby bezig is, ongeacht het niveau, bevat RADIANT vele lezenswaardige zaken. Met recht het visitekaartje van de Dutch Meteor Society.

De *Visuele Sektie* schrijft waarnemingsakties uit middels oproepen in RADIANT. De nachtverslagen en ingevulde sterrenkaarten worden na een aktie weer door de visuele sekte verwerkt. Meestal is hiervoor de hulp van de computer onontbeerlijk : In sommige jaren worden tussen de 15.000 en 20.000 meteoren met het blote oog waargenomen door een waarnemingsploeg die tot zestig waarnemers kan oplopen. Er wordt naar gestreefd analyses en berekeningen binnen een half jaar na een waarnemingsaktie afgerond te hebben.

Fotografische waarnemingen worden centraal geregistreerd, zodat simultaan gefotografeerde meteoren (Eenzelfde meteor opgenomen vanuit verschillende plaatsen) snel gevonden kunnen worden. Negatieven worden op de Leidse sterrenwacht met behulp van een JENA X-Y meetmachine met een nauwkeurigheid van 1/1000e mm uitgemeten. Voor de berekeningen beschikt de DMS over professionele programmatuur.

Wilt U meer weten over de DUTCH METEOR SOCIETY, wellicht zelf aan de slag als waarnemer op als fotograaf, of zomaar eens een bijeenkomst bijwonen ? Neem dan even contact op met één van de op de binnencover gegeven adressen. ●

*Lederkarper 4, 2318 NB Leiden

De 'Glanerbrug' pept meteorietonderzoek op

Door een onzer redacteurs

ROTTERDAM, 11 april — Écht kapot van een meteoriet was de radiochemicus L. Lindner van de rijksuniversiteit Leiden drie jaar geleden. Toen maakte hij deel uit van een Amerikaanse expeditie naar Antarctica en stuitte hij hoogstpersoonlijk op een meteoriet. „Dat was een enorme ervaring. Hij voegt er meteen aan toe: „De zes leden van de expeditie hebben er toen elk ongeveer honderd gevonden.”

Naar nu blijkt is de steen die zaterdagavond om half negen op een dak van een woning in Enschede terecht kwam een zogenaamde steenmeteoriet. Daarnaast bestaan er steenijzer- en ijzermeteorieten. Ook is gebleken dat in de meteoriet chondules zijn aangetroffen, ronde insluitsels die bestaan uit het mineraal pyroxeen met ontmengingsverschijnselen. Op dit moment wordt de minerale samenstelling van de meteoriet bestudeerd. Dit onderzoek zal enige maanden duren en wordt door onderzoekers in Leiden en in de Verenigde Staten verricht.

Door een onzer redacteurs
LEIDEN, 6 juni — De meteoriet die begin april op een dak van een woning in Enschede terecht kwam is hoogstwaarschijnlijk een stuk van de planetoïde Midas. Dat blijkt uit het voorlopig resultaat van het onderzoek van de Leidse sterrewacht. Midas is een rotsblok met een doorsnee van 1,6 kilometer. Bij de Leidse sterrenwacht en de Dutch Meteor Society zijn bijna 200 reacties van ooggetuigen

Wetenschap bejubelt Glanerbrug-meteoriet

(Van een onzer verslaggevers)

GLANERBRUG — Nederland heeft zijn vierde, officieel geregistreerde buitenaardse steen; de Glanerbrug-meteoriet, genoemd naar het grensdorp onder de rook van Enschede. Zaterdagavond doorboorde het projectiel, door onderzoekers op vier miljard jaar oud geschat, na een schier oneindige reis van miljoenen jaren eerst de aardse atmosfeer en enige tijd later het dak van de woning van de familie Wichman aan de Gronausestraat.

Dr. L. Lindner van de Utrechtse Rijksuniversiteit sprak gisteravond om zes uur op een persconferentie in het Enschedese politiebureau het erloosende woord. Met iets van inhouden triomf hield de radiochemicus een brokje van de oerknal omhoog en zei: „De hele ochtend hebben in Utrecht wetenschappers van uiteenlopende disciplines de steen onderzocht. De conclusie is dat we hier te maken hebben met de vierde meteoriet die ooit in Nederland gevonden is. Onbetaalbaar voor de wetenschap”. Op dat moment schreef Glanerbrug geschiedenis en was het raadsel van de geheimzinnige inslag ontsluit. Na Uden (1840), Utrecht (1843) en Ellemee (1928) had het heelal aan Nederlands grondgebied weer een tastbaar stukje van zijn materie afgestaan.

gen. Wetenschappelijk gezien is de stemming nu gunstig.”

Volgens de Leidse geoloog C.S.E. Arps is de vondst betekenis omdat niet alleen de verkregen kollektiesamenstelling, maar ook het nu gevonden tijdstip.

„Meteoriet” treft Enschedees dak

ENSCHDE — Een steen van 25 centimeter doorsnede heeft in de nacht van zaterdag op zondag een gat in het dak van een woning in Enschede geslagen. Daarna spatte de steen uiteen in de slaapkamer. De bewoners waren op dat moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat.

Vanwege het geblakerde moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat. Vanwege het geblakerde moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat.

Vanwege het geblakerde moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat. Vanwege het geblakerde moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat.

Vanwege het geblakerde moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat. Vanwege het geblakerde moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat.

Vanwege het geblakerde moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat. Vanwege het geblakerde moment niet thuis. De politie van Enschede weet nog niet zeker of het om een meteoriet gaat.

„Kans op nog meer stukjes Glanerbrug-steen moet zeer klein”

ENSCHDE — Een handje derlanders heeft zich bij de Sterrewacht Leiden gemeld met mogelijke meteorieten. Die meldingen werden binnen nadat deze week bekend werd dat het gesteente dat Glanerbrug neerkwam, een echt meteoriet is.

Wetenschappers nemen aan dat het gevonden gesteente slechts een deel is van de totale meteoriet. In Leiden verwacht P. Jenniskens echter dat „de kans dat nog extra delen van de meteoriet De Glanerbrug gesteente neerkwamen, zeer klein is.”

Over Westduits grondgebied nam de meteoriet Glanerbrug, waar hij met een snelheid van een paar honderd kilometer per uur op de dakpannen te pletter sloeg. Door wrijving met de omringende lucht ontstond volgens de onderzoekers op ongeveer 60 kilometer hoogte een „heldere natuurlijke lamp,” die over een lengte van 4 kilometer kon worden gezien.

De meteoriet is de vierde die tot nu toe in Nederland is aangetroffen. De anderen werden gevonden in Uden (1840), Utrecht (1843) en Ellemee (1928). Over heel de wereld zijn er tot nu toe 2200 meteorieten achterhaald. Van de Glanerbrug de geschiedenis in.

De meteoriet is de vierde die tot nu toe in Nederland is aangetroffen. De anderen werden gevonden in Uden (1840), Utrecht (1843) en Ellemee (1928). Over heel de wereld zijn er tot nu toe 2200 meteorieten achterhaald. Van de Glanerbrug de geschiedenis in.

Meteoriet slaat door dak woning

(Van een onzer verslaggevers)

GLANERBRUG — Een meteoriet ter grootte van twee vuisten en een gewicht van 500 gram heeft zaterdagavond een groot gat geslagen in het dak van een woonhuis in Glanerbrug. De brokstukken meesaltkleurige steen met adertjes sloeg een klap door het dak. Het was niet thuis, maar vochtend kapotte de woning. Toen hij een gat in de dakplaat maakte, viel een brokstuk van 500 gram op de vloer. De brokstukken meesaltkleurige steen met adertjes sloeg een klap door het dak. Het was niet thuis, maar vochtend kapotte de woning. Toen hij een gat in de dakplaat maakte, viel een brokstuk van 500 gram op de vloer.

GLANERBRUG — Een meteoriet ter grootte van twee vuisten en een gewicht van 500 gram heeft zaterdagavond een groot gat geslagen in het dak van een woonhuis in Glanerbrug. De brokstukken meesaltkleurige steen met adertjes sloeg een klap door het dak. Het was niet thuis, maar vochtend kapotte de woning. Toen hij een gat in de dakplaat maakte, viel een brokstuk van 500 gram op de vloer.

GLANERBRUG — Een meteoriet ter grootte van twee vuisten en een gewicht van 500 gram heeft zaterdagavond een groot gat geslagen in het dak van een woonhuis in Glanerbrug. De brokstukken meesaltkleurige steen met adertjes sloeg een klap door het dak. Het was niet thuis, maar vochtend kapotte de woning. Toen hij een gat in de dakplaat maakte, viel een brokstuk van 500 gram op de vloer.

GLANERBRUG — Een meteoriet ter grootte van twee vuisten en een gewicht van 500 gram heeft zaterdagavond een groot gat geslagen in het dak van een woonhuis in Glanerbrug. De brokstukken meesaltkleurige steen met adertjes sloeg een klap door het dak. Het was niet thuis, maar vochtend kapotte de woning. Toen hij een gat in de dakplaat maakte, viel een brokstuk van 500 gram op de vloer.

GLANERBRUG — Een meteoriet ter grootte van twee vuisten en een gewicht van 500 gram heeft zaterdagavond een groot gat geslagen in het dak van een woonhuis in Glanerbrug. De brokstukken meesaltkleurige steen met adertjes sloeg een klap door het dak. Het was niet thuis, maar vochtend kapotte de woning. Toen hij een gat in de dakplaat maakte, viel een brokstuk van 500 gram op de vloer.

GLANERBRUG — Een meteoriet ter grootte van twee vuisten en een gewicht van 500 gram heeft zaterdagavond een groot gat geslagen in het dak van een woonhuis in Glanerbrug. De brokstukken meesaltkleurige steen met adertjes sloeg een klap door het dak. Het was niet thuis, maar vochtend kapotte de woning. Toen hij een gat in de dakplaat maakte, viel een brokstuk van 500 gram op de vloer.

GLANERBRUG — Een meteoriet ter grootte van twee vuisten en een gewicht van 500 gram heeft zaterdagavond een groot gat geslagen in het dak van een woonhuis in Glanerbrug. De brokstukken meesaltkleurige steen met adertjes sloeg een klap door het dak. Het was niet thuis, maar vochtend kapotte de woning. Toen hij een gat in de dakplaat maakte, viel een brokstuk van 500 gram op de vloer.

VIERDE METEORIE

VAN ONZE CORRESPONDENT
ENSCHDE — De steen die het afsluitende op een huis in Enschede, meteoriet is inderdaad een meteoriet. Onderzoek van de Sterrewacht in Leiden en de Rijksuniversiteit Utrecht heeft dat uitgewezen.