

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 $18^{\text{h}}32^{\text{m}}38^{\text{s}}$ 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 $M_v = -12^{\text{m}}.5$, 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 $20^{\text{h}}32^{\text{m}}38^{\text{s}}$ 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 ($\lambda = +6^\circ 57' 04''$; $\phi = +52^\circ 13' 05''$, $H = 42$ 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.

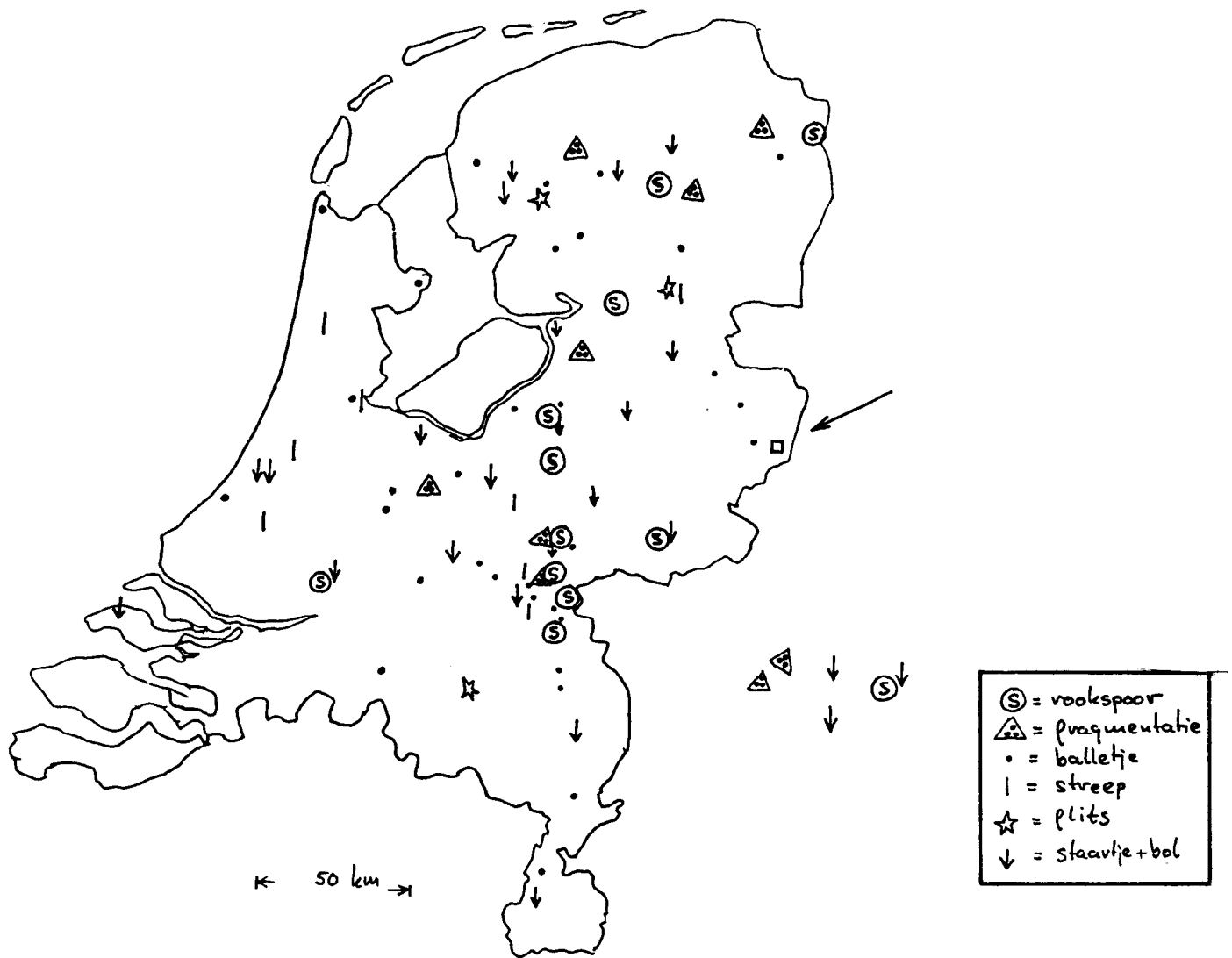


Figure 1: Verdeling van gerapporteerde uiterlijke kenmerken over Nederland. Fragmentatie en rookspoor waren maar tot een afstand van 120 km. van het traject goed te zien.

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 noteerden 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 seconde 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 licht, een spoor achterlatend) maar maken ook interpretaties (als een brandende vuurpijl, als een neerstortende F-16),

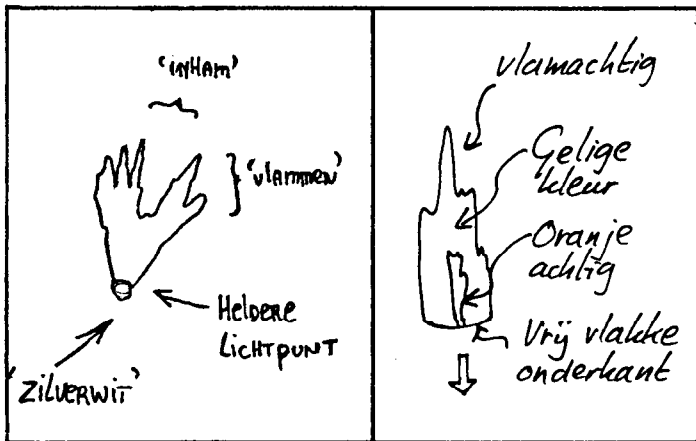


Figure 2: Enkele schetsen van het uiterlijk van de vuurbol. Mevr. Y. Langbroek-van Hemert (Voorschoten; links) en de heer G. Sleurink (Kampen; rechts)

vooral wanneer zij in de gelegenheid worden gesteld uitgebreid te verhalen. Om achter de fysieke 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. Bultink 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 weg moeten houden.

Wat tenslotte opvalt is, dat verschillende waarnemers 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'.

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 geweest.

Mevr. A. van den Berg uit Epe vertelde: 'Wel werd

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.

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 ont-ploffing op het eind, de vuurbol een cirkel leek met even een klein donker stipje erin.' Ook mevr. R.W. Ouwensloot 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 fel-licht aanpassing noteerden meestal geel en noemden vaak

	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.

het rood van het hoofdfragment op het einde.

Voorzichtigheid is geboden, omdat de kleurbeoordeling misschien beïnvloed wordt door de heldere blauwe hemelachtergrond. In zo'n geval lijkt een voorwerp voor onze ogen de complementaire, dus gele, kleur aan te nemen. Toch is een gelijke 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

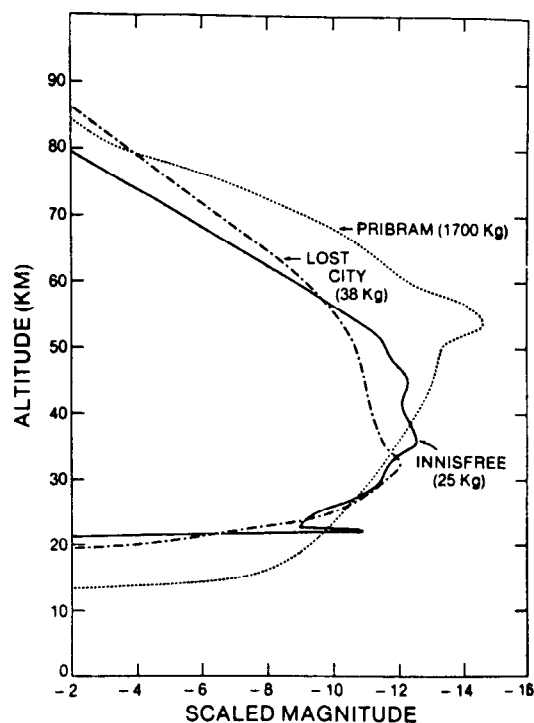


Figure 3: Helderheidsverloop van de drie gefotografeerde en (later) teruggevonden meteorieten. De 'Glanerbrug' moet een vergelijkbaar helderheidsverloop hebben gehad. Uit [3]

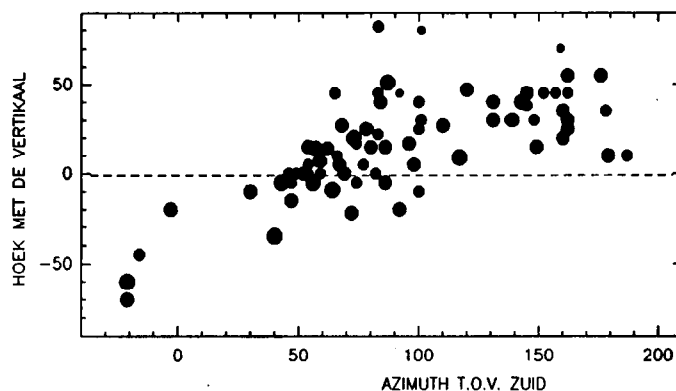


Figure 4: De hoek met de vertikaal is uitgeset voor verschillende richtingen in azimuth, vanuit Glanerbrug gerekend.

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

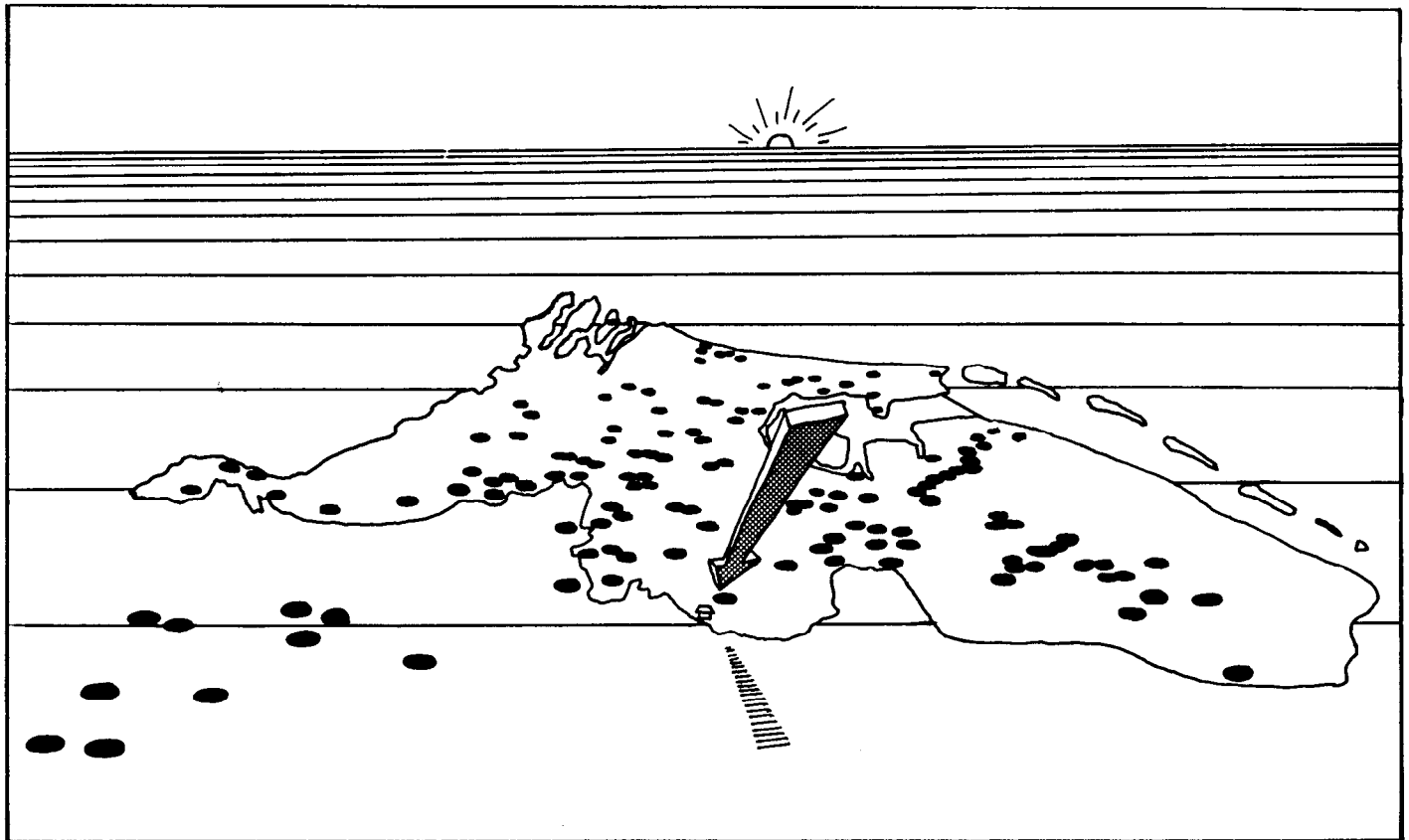


Figure 5: Zo moet het aanvliegen van de vuurbol op Glanerbrug er vanaf grote hoogte uitgezien hebben.
 © Sterrewacht Leiden.

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 boldriehoeksmetkunde 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 verwaarloosbaar en is de richting kleinst kwadratisch te

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.

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 eind-

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.

hoogteschatting, volgt de beginhoogte in kilometers. Daarin is een forse spreiding te verwachten, omdat niet iedereen het beginpunt heeft opgemerkt. Gemiddeld is de meteor op 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 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 meteor 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 onafhankelijk 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 geioniseerde spoor gemist zijn door de langzaam ronddraaiende 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 .

Tabel 7 geeft de baanelementen voor verschillende snelheden, berekend door Hans Betlem. [9] De banen zijn gegeven

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

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

voor de met FIRBAL berekende radiant uit de kompasmetingen en voor de radiant, berekend uit de schattingen van de hoek met de verticaal (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 planetoïden [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 planetoïden 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 objekt 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 binnenvoert, 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 binnenvoeren 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 :

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

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 laatste 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

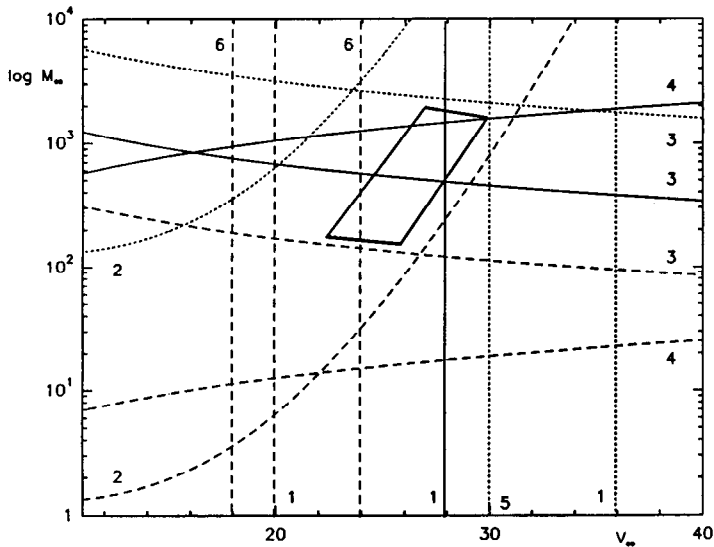


Figure 6: Gemiddelde waarden, bovengrenzen en ondergrenzen voor de initiële massa en snelheid.

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 factor 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 zó gewelddadig, dat de steen explosief opbreekt en een flare te zien is. Die grens is met (5) aangegeven.

Tenslotte blijken 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.

⇒ Lees verder op bladzijde 66



Azimuth	D (km)	ψ (°)	H _b (°)	H _c (°)	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. VLIEGENDHART
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

Table 8: Wordt vervolgd op de volgende bladzijde

Azimuth	D (km)	ψ (°)	H _b (°)	H _e (°)	ΔT (sec)	Q	i/o	PLAATS	WAARNEMER
110	42	27	-9	-9	2.0	3	0	HAARLE	W. VEERBEEK
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. GROENEWOLD
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.

Tot slot

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 Schoemaker (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. •

Referenties

- [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

