

Eerste petrografisch contact met de maan.

P. Stemvers.

SUMMARY.

In anticipation of the first man's stone cutting on our satellite, an idea is given of problems, efforts and first (provisional) results of the exploration of the moon.

The first analyses of moon surface rocks, taken by the Surveyors V, VI and VII, are mentioned.

The discussion about leading questions as: Is there magma differentiation on the moon?, exhibits the moon petrology resemblance with terrestrial or meteoritic rocks? has not come to the end, but amateurs of geology will be interested how things stand in science at present.

INLEIDING

Voor geologen en astronomen is de maan altijd een mikpunt geweest van wilde theorieën over haar ontstaan en haar samenstelling. Sommige conclusies, getrokken uit de spaarzame gegevens die ter beschikking stonden, hebben de wetenschap eerder op een dwaalspoor gebracht dan dat zij positief tot de oplossing hebben bijgedragen.

De dichtheid van de maan (3,34) is veel geringer dan die van de aarde (5,52) en komt in de buurt van de dichtheid der zwaarst bekende basische gesteenten zoals gabbro, met een dichtheid van 3,1. Aannemende, dat de kern van de maan soortelijk zwaarder is dan de buitenlagen, zou gerekend kunnen worden op een behoorlijke hoeveelheid gesteente dat dezelfde dichtheid heeft als onze sialische gesteenten (s.g. 2,6-2,8).

NIKOLAI KOZYREV, een astronoom die niet veel terughoudendheid toont bij zijn publikaties, meent door middel van spectroscopische analyse aan te tonen, dat de mineralen kwarts en zinksilikaat (ter ere van koning Willem I willemet genoemd) op de maan voorkomen, een mening, die past in het kader van het bovenstaande.

Onze geologen worstelen al jaren met het probleem, waarom onze oceanen een basaltische bodem hebben en geen sialische. Bij de continenten ligt de sialschil zo mooi op de simaschil. Voor OSMOND FISCHER brengt de maan de oplossing. Na vorming van de sialschil zou de afscheiding tussen aarde en maan hebben plaatsgevonden, de Pacific als een soort wond achterlatende.

RUIMTEVAART

De komst van de ruimtevaart, waaraan gekoppeld het verbijsterend technisch kunnen van de mens, heeft het mogelijk gemaakt de maan van alle kanten te benaderen en er zelfs landingen op uit te voeren. Het gelande apparaat bevat vele instrumenten die vanaf het maanoppervlak metingen doen en deze doorgeven naar stations op aarde.

Op 11 september 1967 werd uit zo'n apparaat een instrument neergelaten, dat de eerste gesteente-analyse van het maanoppervlak verrichtte. 20 minuten na het in bedrijf stellen werden de gegevens ontvangen in het ontvangststation Robledo in Spanje en ontcijferd in het Jet Propulsion Laboratory in Californië.

SURVEYOR V

De Surveyor V werd afgevuurd op 8 september 1967 vanaf Cape Kennedy en landde op 11 september in het zuidelijk deel van de Mare Tranquillitatis. Positie: 23.29° E, 1.49° N. De landingssnelheid was 4,2 meter per seconde vertikaal en 0,5 meter per seconde horizontaal. De landingsplaats was aan de zuidkant van een kleine krater met een diameter van 9 meter en een diepte van 1,5 meter. Een van de drie poten kwam op de richel van de krater terecht, de andere poten landden 0,2 seconde later in de krater. Tengevolge van de val gleed de Surveyor 1 meter de krater in, een spoor van 10-15 cm diepte in de maanbodem trekkend. Hij kwam hier te staan onder een hoek van 20° met de plaatselijke vertikaal.

MAGNETISCH EXPERIMENT

Op één van de poten waren twee staafjes bevestigd, waarvan er één magnetisch was. Tijdens het trekken van de sporen sloegen de staafjes aan. Met behulp van een vernierraket werd het stof van de staafjes afgeblazen, magnetisch stof bleef echter op de magneet achter. Op aarde waren reeds proeven genomen onder identieke omstandigheden als op de maan. Verschillende typen gesteenten waren bepoederd en de resultaten op foto's vastgelegd. De proeven, genomen met aardse plateaubasalten leken het meeste op de resultaten die op de maan verkregen waren.

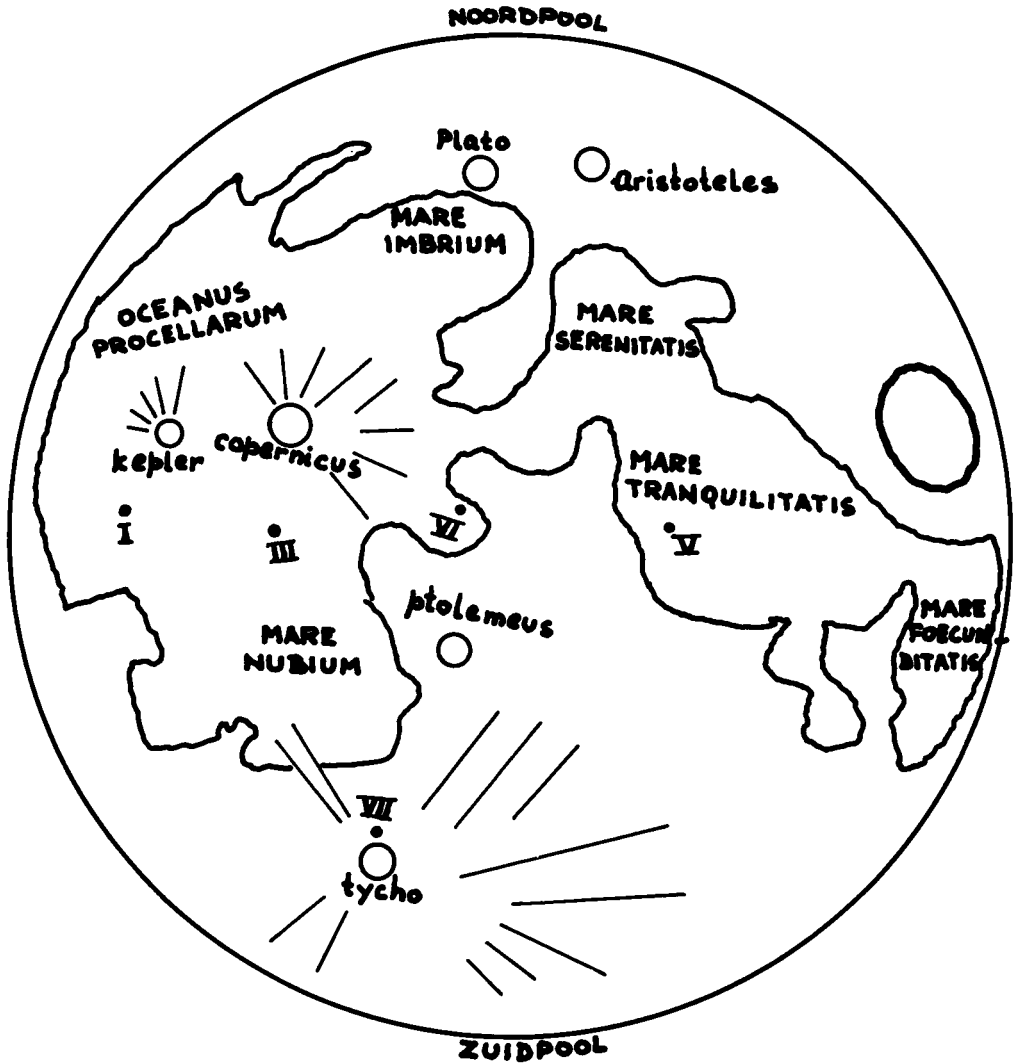
ALPHA-STRALINGSMETINGEN

Met behulp van een alpha-stralingsinstrument werden de eerste chemische analyses uitgevoerd. Evenals voor het magnetisch experiment had men dit instrument op aarde verschillende typen gesteenten aangeboden en laten analyseren, om er de resultaten van de analyses op de maan mee te vergelijken.

Omdat het niet uitgesloten was dat het instrument tijdens lancering of landing zou beschadigen en daardoor afwijkende meetresultaten zou geven werd het instrument twee maal gecontroleerd. Hiervoor werd een monster van bekende samenstelling meegenomen, dat tijdens de overtocht naar de maan wederom geanalyseerd werd. Hieruit bleek, dat het instrument de lancering overleefd had en dat de graad van stralingsachtergrond waarschijnlijk laag genoeg was voor metingen aan het maanoppervlak. 2 uur na de landing werd het monster opnieuw onderzocht, de spectra kwamen zeer goed overeen met de spectra die nog op de aarde gemeten waren. Het alpha-stralingsinstrument werd nu op de maan neergelaten en verrichtte de eerste analyse van de oppervlakte van de maanbodem.

ANALYSE

Om een gesteente een naam te geven moeten er grenzen getrokken worden, waarbinnen een bepaalde norm kan gelden. In principe zijn er twee wegen:



1. De microscopische, waarbij de mineralen vastgesteld worden. Aan de hand van bepaalde mineralogische verhoudingen wordt het gesteente ingedeeld. De chemische samenstelling kan uit de mineralogische worden berekend. Belangrijk is dat ook de textuur van het gesteente kan worden bekeken, terwijl eventueel gevonden relikten iets over afstanden of historie van het gesteente kunnen vertellen.

2. De chemische analyse. Deze geeft alleen de chemische samenstelling, maar zegt niets over de mineralen die in het gesteente voorkomen. Een onderscheid tussen een rhyoliet en een graniet die dezelfde chemische samenstelling hebben, wordt niet gemaakt. Het voordeel van de chemische analyse is, dat deze snel kan worden uitgevoerd en in de toekomst waarschijnlijk belangrijke steun kan krijgen van de dunnelaag-chromatografie.

Het is duidelijk, dat de Amerikanen alleen de weg via de chemische analyse konden volgen. Volgens de analyses van het alpha-stralingsmetinginstrument bestaat het onderzochte maangesteente voor meer dan de helft uit zuurstof, voor ruim $\frac{1}{4}$ uit silicium en voor een 6% magnesium. De analyse is opgenomen in onderstaande tabel I, waarin men de analyse kan vergelijken met die van enkele uiteenlopende aardse gesteenten en de analyses van enkele meteorieten. Achter de maananalyse is in sommige gevallen de graad van betrouwbaarheid opgegeven. Voor zuurstof is deze betrouwbaarheid zo gering, dat alle nevenstaande analyses ermee overlapt kunnen worden.

Tabel I

element	peridotiet	plateau-bazalt	graniet	maanzee	tektiet	achondriet (bazaltisch)	chondriet
H	2,5	4,2	1,9	—	0,4	0,9	0,7
C	—	—	—	< 3	—	—	—
O	57,5	59,5	62,1	58 ± 5	63,7	59,6	54,6
Na	0,4	1,8	2,3	< 2	1,0	0,6	0,8
Mg	18,7	3,6	0,5	3 ± 3	1,1	5,5	14,4
Al	1,9	5,8	5,9	6,5 ± 2	5,4	5,1	1,2
Si	15,0	17,1	23,8	18,5 ± 3	25,1	18,2	15,5
P tot Cu	4,1	8,6	3,5	13 ± 3	3,4	10,1	12,7
Fe, Co, Ni	2,4	3,9	0,9	> 3	1,5	5,3	10,0

Belangrijk is het magnesiumgehalte (Mg), dat in een basisch gesteente als peridotiet met een 18% voorkomt en daalt tot 0,5% in het zure graniet.

De stijging van het silicium-gehalte (Si) en het natriumgehalte (Na) zijn eveneens duidelijke chemische verschillen.

Bekijken we de elementen natrium, magnesium en silicium, dan blijkt het gesteente uit de maanzee veel overeenkomst te vertonen met een aardse plateau-bazalt, een overeenkomst, die ook reeds bleek uit het magnetisch experiment.

Bij de bestudering van deze getallen mag niet uit het oog worden verloren, dat het hier gaat om een analyse van 10 cm² van het maanoppervlak en dat deze analyse derhalve bepaald niet representatief is voor de gehele maan. Bovendien kan de maan bedekt zijn met een laagje meteorietisch stof of stof uit eigen vulkanen, waardoor het onderzochte monster niet homogeen van samenstelling is.

DISCUSSIE I

Op aarde is bazalt een produkt dat door fractionering van het magma ontstaan is en het lijkt daarom waarschijnlijk, dat in de maan ook differentiatie heeft plaats gehad als resultaat van gedeeltelijk of fractioneel smelten van maanmateriaal (lit. 1). Een algemene theorie is, dat de mare-bassins gevuld zijn met uitgebreide bazaltische uitvloeiingen, zoals deze ook op aarde hebben plaatsgevonden, bijvoor-

beeld in het dicht bij huis gelegen Auvergne. Door processen zoals oceanisatie zijn de bodems van de oceanen eveneens gevormd uit bazalt.

Het wordt bevredigend en belangrijk genoemd, dat de chemische samenstelling van het maanmateriaal min of meer overeenkomt met aards gesteente en dat het niet bestaat uit een ongebruikelijke samenstelling van elementen. Blijkbaar verschillen de geochemische processen niet veel met de selenochemische processen (lit. 1).

FOTOGRAFIE

In de Surveyor V was een camera met een zoomlens gebouwd, die vertikaal ten opzichte van het landingsvlak was opgesteld. Door middel van een in twee richtingen draaibare spiegel kon de omgeving opgenomen worden. De Surveyor V maakte 18.006 opnamen. Hierbij werden o.a. dezelfde gesteenten met verschillende belichtingen gefotografeerd. Ook was het mogelijk kleurenfoto's te maken, waardoor de eerste kleurenfoto's van de maan de aarde bereikten. Enkele van deze NASA-opnamen kon ik op een afdelingsavond in Amsterdam vertonen. Uiteraard maakt dit materiaal een grote indruk op de toeschouwer.

De tijd lijkt nabij, dat de eerste gesteenten van de maan de aarde zullen bereiken, waardoor vele vraagstukken (ook van de geologie?) zullen worden opgelost.

DISCUSSIE 2

Na de publikatie van het officiële NASA-rapport over de chemische analyses van de Surveyor V ontstond kritiek over de interpretatie van de analyses en de veronderstelling, dat differentiatie van magma op de maan *zeer waarschijnlijk* heeft plaatsgehad. De kritiek is niet altijd even steekhoudend. Van PAUL F. GAST zullen alleen enkele opmerkingen worden weergegeven (lit. 2).

Het is niet noodzakelijk, dat chemisch differentiatie de logische consequentie van de geobserveerde samenstelling is. De chemische resultaten van de Surveyor V suggereren, dat de dichtheid van het geanalyseerde oppervlaktemateriaal de dichtheid van de maan (3,34) bijna zal benaderen.

Wanneer de chemische samenstelling typerend voor de oppervlakte van de maan is, dan is het verschil tussen de dichtheid van oppervlakte en inwendige niet groot. (Met andere woorden: het geringe verschil tussen dichtheid van oppervlakte en inwendige suggereren de afwezigheid van differentiatie zoals deze op aarde plaatsvindt, P.S.)

De alpha-stralingstechniek is niet in staat zware elementen behoorlijk gedetailleerd weer te geven (zie tabel I, P tot en met Ni). Via enkele berekeningen toont P. W. GAST aan, dat het maanmonster beter vergeleken kan worden met een eucriet. (Een eucriet is een meteoriet en het is jammer, dat deze naam ook in de petrologie is ingevoerd bij een Tertiair basisch tot ultrabasisch gesteentecomplex in Schotland met een gabbro- tot norietachtige samenstelling.) De gelijkwaardigheid van de eucriet met het maanoppervlak steunt de veronderstelling, dat deze meteorieten van de maan afkomstig zijn. Wanneer de oorsprong van het materiaal verwant is aan de oorsprong van het materiaal met gelijke chemische samenstelling, dan kunnen textuur (?) en chemische composities van de eucrieten eerder

in beschouwing genomen worden dan de aardse bazalten.

T. GOLD (lit. 3), die ook van mening is dat de argumenten tegen uitgebreide differentiatie door de analyse van de Surveyor V juist aan kracht hebben gewonnen, verdedigt zijn mening met een voor ons zeer interessant betoog, dat hier wat verkort wordt weergegeven.

1. De maanbodem heeft in zijn geschiedenis zeer weinig horizontale vervorming ondergaan. De oudste kraters vertonen evenveel neiging tot een ronde vorm als de jongste. Er zijn geen ketens van geplooiden gebergten en er is geen lava van de hooggelegen grond naar de laaggelegen grond gestroomd.

2. Op de maanbodem is geen uitgebreide stratificatie zichtbaar, zelfs niet op de hellingen van jonge grote kraters.

3. De enorme vergroting in oplossend vermogen, die de foto's vanuit de Lunar Orbiters geven t.o.v. de aardse telescopen, heeft weinig nieuwe morfologische inlichtingen verschaft die op vulkanen zouden wijzen. De verwachting, dat scherpere en meer gedetailleerde foto's een massa duidelijke vulkanische eigenschappen zouden vertonen, is niet uitgekomen. Eigenschappen die aan vulkanisme zouden doen denken, zouden ook verklaard kunnen worden door bewegingen van ondergronds water en ijs aan te nemen (o.a. H. UREY, *Nature* 216, 1094, (1967)).

4. De structurele krachten van de maan zijn sterk genoeg om de continuering te kunnen volhouden van de tegenwoordige grote afwijking van het evenwicht in de verdeling van haar massa. Een warm binnendeel, dat leidt tot een sterke lava-uitvloeiing aan het oppervlak, is hiermee niet in overeenstemming. Het bestaan van een wezenlijke convectie in de mantel is voorgesteld als de oplossing van het gelijksoortige dilemma op aarde. Convectie schijnt onwaarschijnlijk in het geval van de maan, omdat er geen horizontale deformatie is.

5. Vele aardse vulkanen stoten bij hun uitbarstingen miljoenen tonnen gassen en dampen uit en al 1/100.000 van deze hoeveelheden zou in staat zijn de maan een tijdelijke atmosfeer te geven die langs optische of radiometrische weg zou kunnen worden waargenomen. De huidige aanwezigheid van vloeibaar gesteente op geringe diepte schijnt uitgesloten door de zeldzaamheid van enige gasuitstoting.

De meteorieten demonstreren, dat er differentiatie heeft plaatsgehad in het zonnestelsel in andere lichamen dan er nu bestaan. Aangezien er algemeen aanvaard wordt dat deze lichamen werden verbrijzeld door botsingen, kan men zich afvragen of de tegenwoordige meteorieten een keuze van materiaal, overgebleven van deze vroegere fasen, vertegenwoordigen, en welk type van zulk materiaal verantwoordelijk was voor de opbouw van de maan of voor het toevoegen van de buitenste laag ervan. Indien de bazaltische achondrietten dit materiaal vertegenwoordigen, zou de samenstelling kloppen en men zou zich dan zelfs afvragen of de bazaltische laag die de diepe aardse oceanen grotendeels bedekt niet een soortgelijke oorsprong heeft. Natuurlijk wordt algemeen gedacht dat deze laag onder de oceanen betrekkelijk jong is (niet ouder dan Kr ij t), maar de ouderdomsbepalingen zijn gebaseerd op monsters van gesteenten, die in een betrekkelijk recente periode zijn opgeheven en verhit. (Het oudste bekende gesteente komt echter uit de Mid-atlantische Rug, is een soort peridotiet en heeft een ouderdom van $\pm 4,5$ miljard jaar.)

Het maanonderzoekingsprogramma zou een slechte dienst worden bewezen, als een van de belangrijkste vraagpunten als een uitgemaakte zaak zou worden beschouwd. Tot zover T. GOLD. Het plaatsen van de Surveyor VII op de noordelijke helling van de jonge krater Tycho bewijst, dat de NASA het niet als een uitgemaakte

zaak beschouwd heeft. In het Preliminary Report van de Surveyor VII wordt punt 3 van Gold uitgebreid behandeld en is de eucriet in de vergelijkingstabel opgenomen (tabel II).

SURVEYOR VII

Na de Surveyor V landde de VI op de maan, nam daar 30.065 foto's, verrichtte analyses van het maanoppervlak en werd door het afvuren van vernier-raketten gedurende 2,5 seconde 2,40 m verplaatst. Door vanaf deze nieuwe standplaats foto's te nemen, konden de eerste stereobeelden verkregen worden. De Surveyors I, III, V en VI (de II en IV verongelukten) zijn alle geland op de maanmare, met het doel een geschikte landingsplaats voor astronauten uit te zoeken. De VII landde op een moeilijke plaats, 30 km ten noorden van de kraterrand van de Tycho. De landingsplaats van de VII is zeer goed in kaart gebracht door opnamen vanuit de Lunar Orbiter V.

Deze foto's tonen duidelijk uitvloeiingen aan, wat direkt de vraag oproept of dit magmatische uitvloeiingen zijn of uitvloeiingen waarbij het materiaal door een vloeistof of gas werd voortbewogen en daarna afgezet. Hierdoor is nog niets met zekerheid bekend. Het oppervlaktemonster dat door de VII geanalyseerd is wordt in tabel II vergeleken met de analyse-resultaten van de V en de VI. Terwille van de duidelijkheid heb ik een aantal vergelijkende analyses laten vallen en bijvoorbeeld van de vier bazaltanalyses alleen die van de continentale alkali-bazalt genomen.

Tabel II

	Elementen (uitgezonderd die, lichter dan beryllium) in %							
	C	O	Na	Mg	Al	Si	Ca*	Fe*
Surveyor V	< 3	58 ± 5	< 2	3 ± 3	6,5 ± 2	18,5 ± 3	13 ± 3	
Surveyor VI	< 2	57 ± 5	< 2	3 ± 3	6,5 ± 2	22 ± 4	6 ± 2	5 ± 2
Surveyor VII	< 2	58 ± 5	< 3	4 ± 3	8 ± 3	18 ± 4	6 ± 2	2 ± 1
graniet	—	63,4	2,3	0,4	5,9	24,4	2,7	1,0
andersiet	—	61,2	2,9	0,1	6,9	21,1	3,1	3,0
bazalt, continentaal	—	60,8	2,4	3,9	6,8	17,2	4,8	3,9
eucriet	—	60,7	0,5	3,6	5,7	18,8	4,2	6,9
peridotiet	—	58,9	0,4	19,3	1,9	15,5	1,4	2,5
gabbro,								
anorthosietisch	—	61,4	2,6	1,2	9,4	19,0	4,4	1,7

*) Ca en Fe staan voor elementen met atoomgewichten resp. tussen ongeveer 30 tot 47 en 48 tot 65.

Opvallend is de grote overeenkomst tussen de drie maanmonsters, waarbij opgemerkt dient te worden, dat het ijzergehalte bij het monster van de VII lager is. De door P. W. Gast bestreden onvolkomenheid in de analyses van de V is bij de analyses van de VI en de VII verbeterd.

T. Gold merkt ten aanzien van de analyse van de VII op: Het monster vertegenwoordigt mogelijk materiaal, dat van diep onder de oppervlakte vandaan komt, uitgestoten door de Tycho-explosie. Dit suggereert, dat dezelfde samenstelling zich uitstrekt tot aanzienlijke diepte. Zulk een gelijkvormigheid zou op aarde totaal onverwacht zijn. Het hogere ijzergehalte van de twee laagland-monsters vertegen-

woordigen misschien alleen een verrijking met ijzerrijke, recente meteorieten van het langer hieraan blootgestelde oppervlaktemateriaal.

Op de bijgevoegde tekening zijn de landingsplaatsen van de Surveyors aangegeven. De maan is hier geteend zoals wij hem aan de hemel zien staan. Deze kaart is dus 180° gedraaid t.o.v. de bestaande maankaarten die, doordat het beeld in een astronomische kijker „op zijn kop” staat, daaraan zijn aangepast.

ASTRONOMIE – GEOLOGIE – RUIMTEVAART

Wanneer over een jaar (?) de eerste mens de eerste steen op de maan „klopt”, is de praktisch en wetenschappelijke samenwerking tussen genoemde wetenschappen een daadwerkelijk feit geworden. Er breekt dan voor ieder die in een van deze wetenschappen belang stelt een bijzonder interessante tijd aan, mits hij zich ook op de hoogte stelt van enkele facetten van die wetenschappen.

Ik hoop, dat dit artikel er toe bij draagt U in deze richting te bewegen, voor zover deze koers nog niet door U gevolgd werd.

LITERATUUR.

1. Science 158, 631 (1967),
2. P. W. Gast, Science 159, 899 (1968),
3. T. Gold, Science 160, mei 1968,
4. Surveyor VII, a preliminary report. NASA sp – 173.