

B

257

R. A. LAGAAIJ

RAPPORT OVER DE RADIOMETRISCHE
OPNAME IN 1962 VAN
CURAÇAO, ARUBA EN BONAIRE

Utrecht, 1963

R.A. Lagaij

RAPPORT over de RADIOMETRISCHE OPNAME in 1962
van CURAÇAO, ARUBA en BONAIRE



Rijks Universiteit te Utrecht
VENING MEINESZ LABORATORIUM voor GEOFYSICA en GEOCHEMIE
- februari 1963 -

I N H O U D

	blz.
I ABSTRACT	4
II INLEIDING	5
III INSTRUMENTARIUM en WERKWIJZE	5
IV GEOLOGIE en RADIOACTIVITEIT	6
1. Geologisch overzicht	6
2. Overzicht der ertsvoorkomens	6
3. Vooruitzichten voor de uraniumprospectie	6
4. Opzet van het onderzoek	7
5. Resultaten der radioactiviteitsmetingen	7
a. De verschillende gesteenteformaties	7
b. Ertsen, behalve fosfaten	9
De kopervoorkomens op Curaçao	
De goudvoorkomens op Aruba	
c. Breukzones	9
d. Fosfaten	10
Curaçao: Voorkomen	10
Mineralogie	
Radioactiviteit	
Aruba : Voorkomen	12
Mineralogie	
Radioactiviteit	
Uranium en fluor in guanofosfaat	13
V BELANGRIJKSTE RESULTATEN	14
VI LITERATUUR	15

ILLUSTRATIES en TABELLEN

- Afb. 1. Geologische schetskaartjes van Aruba, Bonaire en Curaçao.
2. Radioactiviteitsmetingen op Aruba, Bonaire en Curaçao.
 3. Overschuiving van Midden Curaçao-formatie over Knip-formatie, Santa Marta baai, Curaçao.
 4. Radioactiviteitsmetingen op de Tafelberg Santa Barbara, Curaçao.
 5. Radioactiviteitsmetingen van de Seroe Colorado en omgeving, Zuid-Oost-Aruba.
 6. Verband tussen uranium en fluoridatie in de fosforieten van Mona Island, bij Puerto Rico.

- Tabel I. De gesteenteformaties van Aruba, Curaçao en Bonaire met hun natuurlijke radioactiviteit.
- II. Gemiddeld uraniumgehalte van enkele gesteentesoorten en de natuurlijke radioactiviteit van vergelijkbare gesteenten op de Benedenwindse Eilanden.
 - III. Samenstelling van enige fosfaatmonsters van Curaçao en Aruba.

I. A B S T R A C T

As part of geophysical investigations on Aruba, Bonaire and Curaçao (Netherlands Antilles) a radiometric survey was carried out in 1962 in order to obtain possible indications of uranium. The prospecting was done on foot, with a high-precision scintillometer. Methods, results and conclusions of the survey are presented in this report.

No indications have been found on the islands that warrant extensive uranium-prospecting projects. The radioactivity of all the rock formations of the islands was investigated. The greywackes in the Midden-Curaçao formation on Curaçao showed the highest radiation, up to 0.015 mR/hr (milli-Roentgen per hour); the diabase on the three islands the lowest, about 0.003 mR/hr. The radiation of all the formations is correlative with the average uranium content of corresponding rock types.

Also ore occurrences were surveyed. Marginal copper and gold deposits did not show a noteworthy radioactivity. The radiation of phosphates, however, is up to ten times higher than the radiation of the coral limestones in which they are deposited, amounting to 0.025 mR/hr in the Newport phosphates (Curaçao) and to 0.04 mR/hr in the Seroe Colorado phosphates (Aruba). A proper evaluation not being possible owing to lack of data on the uranium content of the phosphate and on the phosphate reserves, no definite conclusion on the economic value of the uranium in the phosphate is possible. However, it can be said that only in the major phosphate-producing areas of the world, such as Florida (U.S.A.), is the by-product uranium recovered. The usefulness of the scintillometer in the phosphate prospecting was checked.

Some considerations are given on the origin of the increased radioactivity in the phosphates. Further mineralogical research may throw new light on the problems concerning the genesis of the phosphate and its uranium content.

II. I N L E I D I N G

In het kader van een geofysisch onderzoek van Aruba, Bonaire en Curaçao werden in de zomer van 1962 door schrijver dezes de eilanden radio-metrisch verkend, om te onderzoeken of ter plaatse indicaties van radioactieve mineralen aanwezig waren, die een uitgebreide, gedetailleerde prospectie zouden wettigen. Het onderzoek stond onder leiding van Prof.dr.J.Veldkamp (Rijks Universiteit, Utrecht) en werd bekostigd door de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Suriname - Nederlandse Antillen, WOSUNA, te Amsterdam en door het Ministerie van Welvaartszorg, Nederlandse Antillen, op voordracht van de Technisch-Economische Raad der Nederlandse Antillen, TERNA.

De schrijver is veel dank verschuldigd voor de adviezen en hulp van Prof.dr.J.Veldkamp, Dr.J.H.Westermann, Dr.R.D.Schuiling en Drs.D.J.Beets en tevens voor de medewerking van autoriteiten en bevolking van de Benedenwindse Eilanden.

III. I N S T R U M E N T A R I U M E N W E R K W I J Z E

Bij het veldwerk werd gebruik gemaakt van een scintillometer, fabricaat van de Precision Radiation Instruments Inc.type 111 B. Deze scintillometer werd ter beschikking gesteld door het Fysisch Laboratorium der Rijks Universiteit te Utrecht. Het instrument geeft een schaalaflezing in milliröntgen per uur (mR/hr). Verschillende schaalbereiken kunnen worden ingesteld, variërende van 0 tot 0,025 mR/hr en 0 tot 5 mR/hr. Tevens kan een tijdfactor voor de afleessnelheid worden ingesteld op de volgende waarden: fast-medium-slow. Hoe langzamer afleessnelheid, hoe beter de gemiddelde stralingswaarde wordt gemeten, omdat deze dan over langere tijd wordt geïntegreerd.

De prospectie geschiedde te voet. Een enkele maal werd gemeten met de scintillometer in een auto. Contrôle te voet toonde daarbij dezelfde uitslagen aan. Vóór de aanvang en na afloop van een velddag werd de scintillometer gecalibreerd met een ijkmonster. Het bleek dat het verloop van de aflezing gedurende een dag en ook van dag op dag verwaarloosd kon worden. In het veld werden bepaalde, tevoren gekozen, tracés afgelegd, terwijl de scintillometer op draaghoogte (ca 1 m) doorlopend werd afgelezen en de straling* werd gemeten. De tijdfactor voor deze metingen was "fast".

* Bij de prospectie wordt voor deze straling de term "background" gebezigd; aangezien dit tot verwarring kan leiden, geven wij in dit rapport de voorkeur aan de begrippen "straling" of "natuurlijke radioactiviteit".

IV. G E O L O G I E E N R A D I O A C T I V I T E I T

1. Geologisch overzicht

Curaçao en Bonaire hebben een voor ons doel vergelijkbare geologie: een kern van diabazen en sedimenten uit het Krijt met een zoom van Tertiaire kalken (afb.1).

De diabazen zijn vrij sterk verweerd; in het landschap vormen zij vlakke glooiende heuvels. De tektoniek is vrij gecompliceerd, met sterke plooiingen en breuken. Ook de sedimenten uit het Krijt (grauwackes, hoornstenen, zandstenen, en conglomeraten) zijn vrij sterk geplooid. De nieuwe geologische kaart van D.J. Beets (nog niet gepubliceerd) laat vele breuken in deze formatie zien. De kalken rondom deze gesteenten hebben volgens de nieuwste gegevens van P.H. de Buissonjé waarschijnlijk een primaire helling, terwijl verschillende mariene terrassen in het veld duidelijk tot uiting komen.

Het kaartje van Aruba geeft een enigszins afwijkend geologisch beeld (afb.1). Een kwartsdioriet-intrusief beslaat het grootste deel van het eiland; tevens zijn gabbroïde intrusieven ontsloten. Aan de Zuidoostrand en in mindere mate aan de Noordwestrand van dit massief zijn diabazen ontsloten, die langs het contact met de intrusieve gesteenten zijn gemetamorfiseerd. Ook op Aruba vindt men kalken, die overeenkomen met die van Curaçao en Bonaire.

De stratigrafie, samengesteld naar gegevens van Butterlin (1956) en volgens voorlopige mededeling van Beets, wordt gegeven in tabel I.

2. Overzicht der ertsvoorkomens

Van eventueel belang voor het onderzoek waren de volgende ertsvoorkomens.

Op Curaçao wordt koper in kleine hoeveelheden aangetroffen. Dit kopererts bevindt zich in de diabaas; slechts enkele malachietplekken zijn ontsloten.

Kwarts-goud-aders komen voor rond het contact van kwartsdioriet en diabazen op Aruba. Dit zijn vrij kleine hydrothermale afzettingen, die vroeger werden geëxploiteerd.

Op alle drie de Benedenwindse eilanden bevinden zich fosfaten. Curaçao en Aruba hebben de grootste voorkomens, respectievelijk op de Tafelberg Santa Barbara en op de Seroe Colorado. (zie verder sub IV 5d).

3. Vooruitzichten voor de uraniumprospectie

De vooruitzichten voor het vinden van radioactieve mineralen op de Benedenwindse eilanden zijn bij een eerste blik op de geologische kaart

niet veelbelovend.

Diabazen, hoornstenen en kalken treden slechts zelden als gastheergesteente van uraniummineralisaties op. Bij het contact van de kwartsdioriet op Aruba en in bepaalde door breuken gestoorde zones zouden uraniumverrijkingen kunnen voorkomen. Op het gebied van ertsen bieden de eilanden weinig; koper en goud worden in marginale afzettingen aangetroffen. Deze afzettingen kwamen in aanmerking voor een radiometrisch onderzoek, hoewel zij niet zonder meer een positieve indicatie van uraniummineralisaties vormen.

Verrijkingen van uranium in fosfaatafzettingen zijn elders bekend. Het merendeel dezer fosfaten is marien, echter kan fosfaat afkomstig van guano, waarvan sprake is op Curaçao en Aruba ook uranium bevatten. (Davidson & Atkin 1953).

4. Opzet van het onderzoek

Bij de aanvang van het onderzoek werd besloten de radioactiviteit te meten van:

- a) alle gesteenteformaties; zulk een radioactiviteits-stratigrafie was het beste te bereiken door een aantal Noord-Zuid tracés af te lopen
- b) de contactmetamorfe gesteenten op Aruba
- c) de verschillende ertsvoorkomens: koper, goud en fosfaat
- d) door breuktektoniek gestoorde zones (bijv. Sta.Marta, Curaçao, waar tevens diorietgangen voorkomen).

5. Resultaat der radioactiviteits-metingen

a) De verschillende gesteenteformaties

In tabel I is de natuurlijke radioactiviteit van de gesteenten opgegeven. Dit zijn metingen waarbij de scintillometer tijdens de prospectie-te-voet doorlopend met tijdfactor "fast" in werking is geweest. De getallen geven mR/hr aan. De straling op ongeveer 1 meter hoogte is hier als maat voor de radioactiviteit aangehouden aangezien in het vrij vlakke landschap topografische fouten te verwaarlozen zijn. De verwering, die ook tot fouten aanleiding kan geven, is vooral in de diabazen zeer diep, zodat deze mede debet kan zijn voor de lage straling van dit gesteente.

In afb. 2 zijn de verkende terreinen en de gemiddelde straling weergegeven.

De meest radioactieve formaties zijn de Midden-Curaçao op Curaçao en de Soebi-Blanco op Bonaire. Butterlin (1956) heeft in zijn stratigrafie deze beide formaties gecorreleerd. De diabazen op alle drie de eilanden hebben de laagste radioactiviteit. De dioritische intrusiva, de Kwartaire kalksteen, de Rincon-, Washikemba- (voor zover niet uit diabazen bestaand)

en de Knipformatie liggen wat radioactiviteit betreft tussen deze beide uitersten in.

De contactmetamorfe zone van diabaas rond de kwartsdioriet op Aruba bleek geen hogere straling te hebben dan de niet-gemetamorfoseerde diabazen.

In het veld kon herhaaldelijk door een verandering van radioactiviteit een grens tussen twee verschillende formaties worden vastgesteld. Op een velddag met drs. Beets werd een frappant voorbeeld hiervan aan de Westzijde van de Santa Marta binnenbaai aangetroffen (afb.3). Hier ligt de Midden-Curaçao over de Knipformatie geschoven volgens een vlakhellend schuifvlak. Het breukvlak is vrij onopvallend, zodat de hoornstenen van de Knipformatie en de grauwacken van de Midden-Curaçao formatie vrijwel ongemerkt in elkaar over lijken te gaan. De straling van de gesteenten geeft echter een duidelijk verschil aan.

Midden-Curaçao	0,010 - 0,015 mR/hr	(grauwacke)
Knip	0,005 - 0,010	(hoornsteen)
Dioriet	0,005 - 0,010	

Een vergelijking van de straling der Antilliaanse gesteenten met het gemiddelde uraniumgehalte dezer gesteentesoorten (Faul 1954) geeft het volgende beeld:

Tabel II

Gemiddeld uraniumgehalte van enkele gesteentesoorten en de natuurlijke radioactiviteit van vergelijkbare gesteenten op de Benedenwindse Eilanden

algemeen	U ppm	Antillen	gemiddelde straling in mR/hr
Dioritic rocks	1,5 - 3	Dioriet	0,005
Gabbroic-basaltic rocks	0,6 - 1	Gabbro; diabaas	0,004 ; 0,003
Volcanic sediments	< 2	Tuffen	0,004
Fine grained clastics	1 - 2	Grauwacke (M.Cur.)	0,005 - 0,010
Carbonatic sediments	1,8	Kalken	0,004
Siliceous sediments	< 3	Hoornsteen	0,005
		Jaspis	0,005 - 0,008

Het blijkt dat de verdeling van de radioactiviteit van de gesteenten in de Benedenwindse Eilanden in grote trekken past bij het gemiddelde gehalte aan uranium dezer gesteentesoorten.

b) Ertsen, behalve fosfaten

De kopervoorkomens op Curaçao

Op de plantages Savonet en Hyronimus komen in de diabaas enkele koperafzettingen voor, die reeds in de 17de eeuw bekend waren, maar die nooit tot een echte exploitatie aanleiding hebben gegeven. Aan de oppervlakte is slechts malachiet in diabaas zichtbaar. In de literatuur worden als mineralen tevens nog gedegen koper, chalcopryiet, chalcosien, cupriet en covellien opgegeven. Malachiet, covellien en cupriet behoren tot de mineralen in de cementatiezone.

Molengraaff (1930) meent dat de koperertsen gebonden zijn aan augiet-diorietgangen.

Bij de radioactiviteitsmetingen bleek het kopervoorkomen op de plantage Savonet zich niet te onderscheiden van de diabaas (ca. 0,005 mR/hr straling).

De goudvoorkomens op Aruba

Op Aruba komen aan de rand van de diorietbatholiet en ook in de aangrenzende diabaas goud-kwarts-aders voor. Goud, pyriet, chalcopryiet en malachiet worden als ertsmineralen gevonden. Deze hydrothermale ertsen hangen samen met de diorietintrusie.

Bij verschillende voorkomens is de radioactiviteit gemeten: die van Kadoeshi, Asiboca en Seroe Kristal in de dioriet, van Mira la Mar en Anna-boei in de diabaas, en van Matavidiri in de gabbro. Bij geen van deze voorkomens overschreed de radioactiviteit van de kwartsgangen die van het omringend gesteente. De straling bewoog zich om de 0,004 mR/hr.

c) Breukzones

Aan de oevers van de Santa Marta binnenbaai zijn op verschillende plaatsen overschuivingen in de Midden-Curaçao- en Knipformatie ontsloten. Soms is dioritisch gesteente volgens het breukvlak geïntroduceerd. Bij enkele van deze ontsluitingen zijn waarnemingen verricht, maar nergens werd radioactiviteit van enige betekenis gemeten. Wel was de gemiddelde straling van het terrein hoger dan elders.

De hoornstenen van de Knipformatie gaven ter plaatse een gemiddelde radio-activiteit van 0,005-0,010 mR/hr, de gesteenten van de Midden-Curaçao-formatie 0,010-0,015 mR/hr.

Elders op het eiland zijn breuken slecht ontsloten. Verhoogde radioactiviteit in een breukzone werd alleen bij Santa Marta waargenomen.

d) Fosfaten

C u r a ç a o

Voorkomen

Het grootste voorkomen van fosfaat bevindt zich aan de Zuidzijde van de Tafelberg Santa Barbara* (afb.4). Op het terras van ongeveer 100 m hoogte komt de meeste fosfaat voor. Er zijn hier drie soorten fosfaat:

1. rotsfosfaat (Grutterink 1928) of "coherent phosphate"; deze maakt het belangrijkste deel van het voorkomen uit. De fosfaat is ontstaan door vervanging van de koraalkalk door fosforzure oplossingen. Het fosfaatgesteente heeft een dof-witte tot grijsbruine kleur. Vaak vindt men fosfaat die in afwisselend licht en donker gekleurde lagen is afgezet in holtes.
2. grintfosfaat (Grutterink) of "rubble phosphate" komt voor tussen kalkpinnacles op het terras. Het is een bruinrood, oölitisch, fosfaathoudend zand.
3. fosfaat rolstenen in de koraalkalk aan de Noordrand van de Fuikbaai.

Op het kaartje staan locaties van de verschillende fosfaatsoorten aangegeven.

Vermeld moet nog worden dat in het hoogste terras (ca 190 m) fossiele grotafzettingen voorkomen, o.a. bij Loki-Loki. In het grotgesteente worden, met stalacmieten en grottenparels, dezelfde roodbruine oölieten gevonden als in de "rubble phosphate". Deze oölieten zijn eveneens fosfaathoudend, maar verkit in het gesteente. Fossiele knaagdieren, heremietkrabben en mariene mollusken zijn in de grotafzettingen aangetroffen.

Vooraf aan de Zuidrand van de Tafelberg tussen ca. 140 en 200 m hoogte en ook bovenop deze berg komen dergelijke grot- en spleetopvullingen voor. Ook bij het uitgeputte fosfaatvoorkomen van San Pedro, vindt men deze grotafzettingen.

Mineralogie

Van de fosfaten zijn verschillende analyses gemaakt. De voornaamste fosfaat-mineralen zijn Martiniëet $2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en Whitlockiet $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. (Hutchinson 1950).

In tabel III wordt de samenstelling van fosfaatmonsters van Curaçao en Aruba weergegeven. De Curaçaose fosfaat is vele malen geanalyseerd. Een betrouwbare en in de reeks van bekende analyses goed passende analyse

* De directie der Mijn Mij. Curaçao was zo goed vergunning te verlenen voor het onderzoek van de Tafelberg-fosfaten.

(Hutchinson 1950, blz.339) wordt in kolom 1 gegeven. Kolom 2 geeft de samenstelling van een monster van het beste commerciële fosfaat van Aruba (K.Martin 1888, zie Westermann 1949, blz.103).

De Arubaanse fosfaat onderscheidt zich in samenstelling van die van Curaçao door een lager P_2O_5 en een hoger gehalte aan Al, Fe en F (zie tevens sub Aruba, Mineralogie).

Tabel III
Samenstelling van enige fosfaatmonsters van Curaçao en Aruba

	Curaçao	Aruba
H ₂ O		5.27
N	2.46	-
CaO	49.50	47.62
MgO	1.70	0.30
Al ₂ O ₃	0.45	1.64
Fe ₂ O ₂		2.00
Na ₂ O	1.23	-
K ₂ O	0.04	-
P ₂ O ₅	40.66	35.77
SiO ₂	0.50	1.33
CO ₂	2.73	1.89
F	0.38	2.86
Cl	0.14	-
SO ₃	0.72	1.74
Alk.org. verlies, ongedet.	-	0.78
	100.51	101.20

Radioactiviteit

In afbeelding 4 is de natuurlijke radioactiviteit op verschillende plaatsen van de Tafelberg Santa Barbara aangegeven. Hieruit blijkt dat de straling van de fosfaat aanmerkelijk hoger is dan die van koraalkalk. De radioactiviteit is op een bepaalde wijze in het voorkomen verdeeld. De hoogste radioactiviteit werd enigszins ten Oosten van het centrum der fosfaat-afzetting gemeten. De fosfaat- en fluorgehalten zijn daar eveneens hoog volgens mondelinge mededeling van Ir.C.Corts, assistent-manager van de Mijn Mij.Curaçao. De rubble-fosfaat vertoont een hogere radioactiviteit dan de rotsfosfaat in de Oostelijke en Westelijke delen van de groeve. De radioactiviteit van de oölitische spleetopvullingen bovenop de Tafelberg, bijv. Loki-Loki, wijkt niet noemenswaard af van die van de koraalkalk. In de mijn-

gang in het Westen van het voorkomen werd een radioactiviteit van 0,05 mR/hr gemeten, deze hoge straling moet toegeschreven worden aan het massaffect in de gang.

Naar aanleiding van de vraag of de radioactiviteit gebruikt kan worden als hulpmiddel bij de prospectie naar fosfaat werd met Mr.C.Scobie, quarry-captain der Mijn Mij.Curaçao, aan de O- en W-zijde van de Tafelberg met de scintillometer geprospecteerd naar fosfaat. Het bleek dat ook zeer lage fosfaatgehalten, zij het met enige moeite, konden worden opgespoord.

De "finished product", het concentraat van de concentration plant (82-84% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), de "waste" van deze plant die naar zee wordt gepompt, en de "kilnfeed" (35-40% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) op de transportband in de tunnel vertoonden alle geen noemenswaardige uitslag. Het is dus niet onwaarschijnlijk dat bij het concentratieproces door vermaling en verhitting van de fosfaat dochterproducten als radon, die de meeste radioactiviteit veroorzaken, worden verwijderd.

Aruba

Voorkomen

Aan de uiterste Zuidoostpunt van het eiland Aruba - thans in de Lago-concessie gelegen* - komen fosfaatafzettingen voor met een enigszins ander karakter dan die van Curaçao (afb.5). De Seroe Colorado en de Seroe Culebra zijn van 1881 tot 1914 ontgonnen op fosfaat. Het gesteente van de Seroe Colorado is roodbruin, door de aanwezigheid van ijzermineralen. De exploitatie is destijds gestaakt vanwege het te hoge ijzergehalte.

Uit het profiel, dat in de groeve van de Seroe Culebra is ontsloten en uit boringen van de Longyear Cy. in de Seroe Colorado blijkt dat de fosfaat direct ligt op diorietconglomeraat en dioriet, die beide zelf tot op zekere diepte gefosfatiseerd zijn. Op de fosfaat, waarin koralen en schelpfragmenten voorkomen, ligt een kalksteen met een grote hoeveelheid fosfaatbrokken. De fosfaat zelf heeft dus een submersie ondergaan.

Mineralogie

Volgens analyses door Longyear Cy. zijn de voornaamste fosfaat-mineralen van de Seroe Colorado

Crandalliet	$\text{CaAl}_4(\text{PO}_4)_2\text{OH}_8 \cdot (\text{H}_2\text{O}?)$	33%
Apatiet	$\text{Ca}_5(\text{OH},\text{F})(\text{PO}_4)_3$	30%
Arrojadiet	$\text{Na}(\text{Mn},\text{Fe})\text{PO}_4$	2.5%

Het laatste mineraal bevat vooral Na en Fe.

* De directie der Lago op Aruba was zo goed vergunning te verlenen voor het onderzoek van de op het Lago-terrein gelegen fosfaten.

Voorts wordt de aanwezigheid van Sr en F opgegeven. De fosfaat-mineralen zijn zeer verschillend van die van Curaçao. De fosfatisering van de dioriet op Aruba zal aanleiding gegeven hebben tot de vorming van het Al-fosfaat crandalliet en het Fe,Na fosfaat arrojadiet.

Radioactiviteit

Afbeelding 5 geeft de radioactiviteitsmetingen. De straling is aanmerkelijk hoger dan op Curaçao. Een zone van hogere radioactiviteit ligt rond de fosfaatontsluitingen.

U r a n i u m e n f l u o r i n g u a n o - f o s f a a t

Altschuler, Clarke en Young wijden in hun publicatie van 1959 een paragraaf aan "Secondary uptake of Uranium and Fluorine in island phosphorites". In fosfaten afkomstig van guano vinden zij een uraniumgehalte van 0,001% of 0,001% (Angaur en Mona Island). Volgens Altschuler c.s. is dit vrij lage uraniumgehalte toe te schrijven aan het zeer geringe uraniumgehalte in de kalksteen waaruit de uranium door subaerische processen van oplossing en vervanging in de fosfaten is opgenomen. Hogere uraniumconcentraties kunnen uit circulerende oplossingen of uit besproeiing door zeewater zijn opgenomen.

De Curaçaose fosfaat heeft volgens Davidson en Atkin (1953) een gehalte van 0,002% $U_3O_8^*$, dat dus hoger is dan van de "island phosphorites" onderzocht door Altschuler.

Fluor is geen primair bestanddeel van subaerische fosforieten en kan derhalve gebruikt worden als een indicatie van secundaire vervanging (post-depositional replacement).

Er is in de fosfaten die Altschuler c.s. onderzochten geen constante verhouding tussen de toename aan fluor en die van uranium. Dit is mogelijk te verklaren door het verschil in structurele opname van de fluor en de uranium. De F vervangt de OH; de U vervangt, volgens Altschuler, de Ca. Het is echter wel zo dat secundaire opname van U en F samenhangt met het zelfde geologische proces en zich in de zelfde tijd voltrekt. Dit wordt geïllustreerd door het diagram met U, F en P_2O_5 analyses op fosfaten van Mona Island, Puerto Rico (afb.6).

Bepalingen van uranium-, fluor- en fosfaatgehalte van monsters van de Tafelberg Santa Barbara kunnen leiden tot een beter inzicht omtrent het proces van uranium-opname, terwijl tevens meer opheldering verkregen kan

* $x\% eU_3O_8 = x\%$ equivalent U_3O_8 d.w.z. de radioactiviteit van het onderzochte monster komt overeen met de radioactiviteit van $x\% U_3O_8$ in radiometrisch evenwicht.

worden over de correlatie van het U- en het F-gehalte. Voorkomen en mineralogie maken waarschijnlijk dat de fosfaten van Curaçao en Aruba afkomstig zijn van guano. De fosfaatoplossingen uit de guano kunnen uranium uit de onderliggende kalksteen en de dioriet (Aruba) hebben opgenomen. Het vrij hoge uraniumgehalte doet echter vermoeden dat de uranium tevens door secundaire ionenwisselingsprocessen uit zeewater is opgenomen in de fosfaat bijv. door onderdompeling of besproeiing, Arubaanse fosfaten hebben een aanmerkelijk hogere radioactiviteit dan de Curaçaose. Het staat vast dat de Arubaanse fosfaten een periode van submersie hebben ondergaan waarin een grotere uranium-verrijking kan hebben plaats gevonden. Ook in het fosfaatvoorkomen van de Tafelberg zelf zijn, zoals reeds vermeld, verschillen in radioactiviteit geconstateerd. Het is daarom niet onwaarschijnlijk dat de rubble-fosfaat en de hoog-radioactieve rotsfosfaat invloed van zeewater hebben onderhouden in tegenstelling tot de practisch niet-radioactieve oölitische grotafzettingen op het 200 m niveau aldaar.

Een bepaling van de reserve aan uranium in de fosfaatvoorkomens is niet zonder meer mogelijk, omdat de voorraadcijfers van de fosfaat niet ter beschikking staan en een radiometrische gehaltebepaling geen juist percentage van uranium weergeeft. Het is namelijk waarschijnlijk dat in de geologisch jonge fosfaten de uranium nog niet in evenwicht is met zijn dochterproducten, zodat een te lage radioactiviteit kan worden gemeten. Wel kan opgemerkt worden dat slechts in gebieden met een zeer grote fosfaatproductie, zoals bijv. Florida (U.S.A.), de uranium als nevenproduct wordt gewonnen.

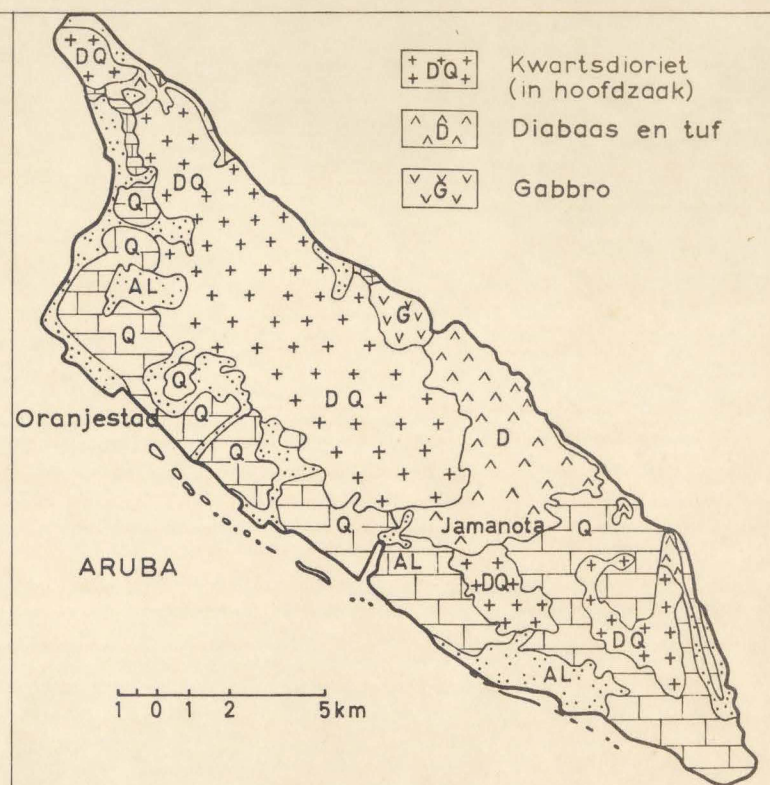
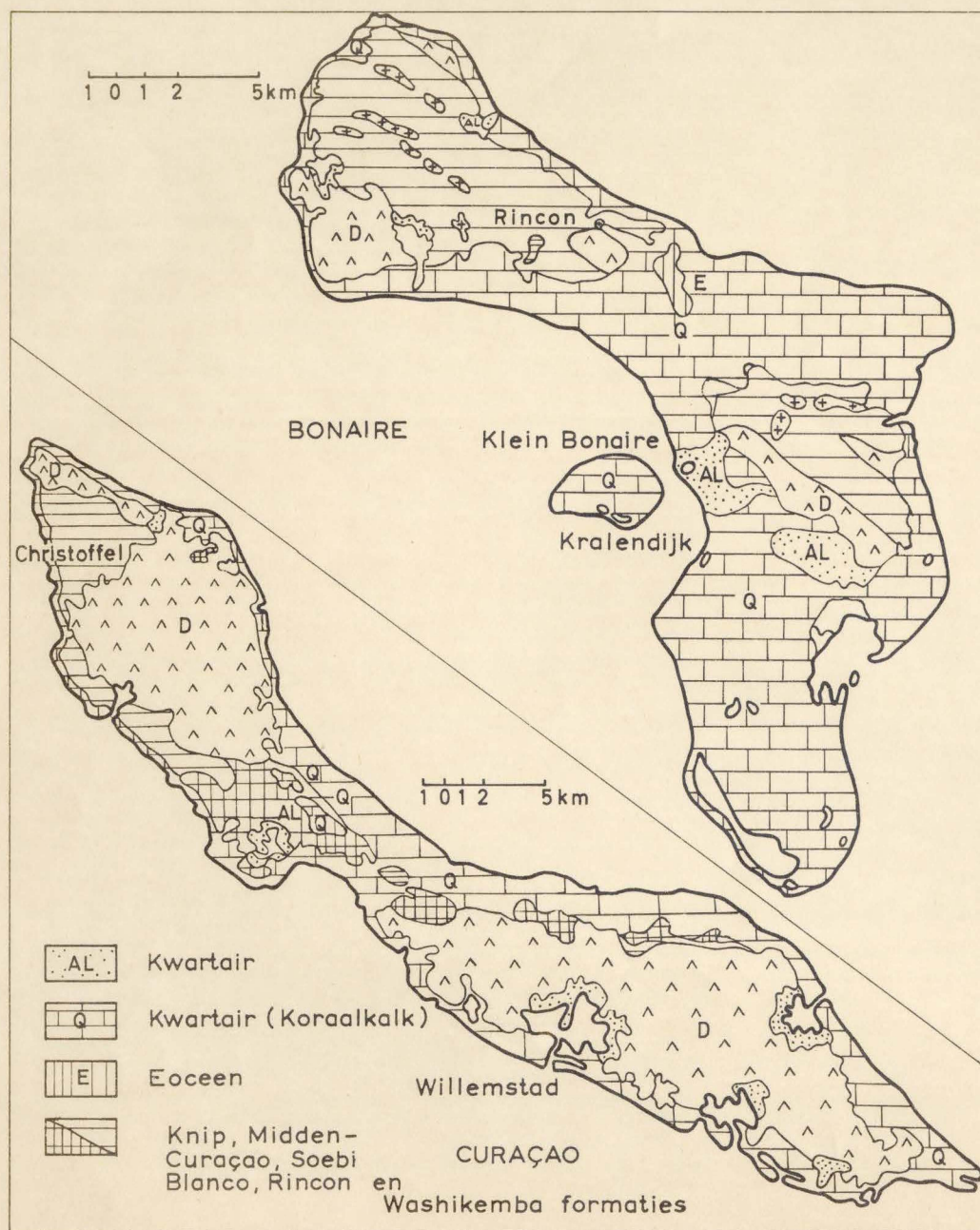
V. BELANGRIJKSTE RESULTATEN

1. De radiometrische onderzoeken op Curaçao, Bonaire en Aruba hebben geen indicaties van uraniumvoorkomens opgeleverd. Wel blijken de fosfaten een verhoogde radioactiviteit te vertonen.
2. Tussen de Nederlands-Antilliaanse gesteenten is een opmerkelijk verschil in radioactiviteit geconstateerd; deze verschillen komen overeen met verschillen in gemiddeld uraniumgehalte van vergelijkbare gesteentetypen elders.
3. De verhoogde radioactiviteit van de fosfaten van Curaçao en Aruba ten opzichte van de koraalkalk waarin zij voorkomen kan eventueel gebruikt worden bij de prospectie naar fosfaat.
4. Een onderzoek naar het verband tussen uranium-, fluor-, en fosfaatgehalten kan wellicht een beter inzicht verschaffen in de genese van de fosfaat en het daarin voorkomende uranium en fluor.

VI.

L I T E R A T U U R

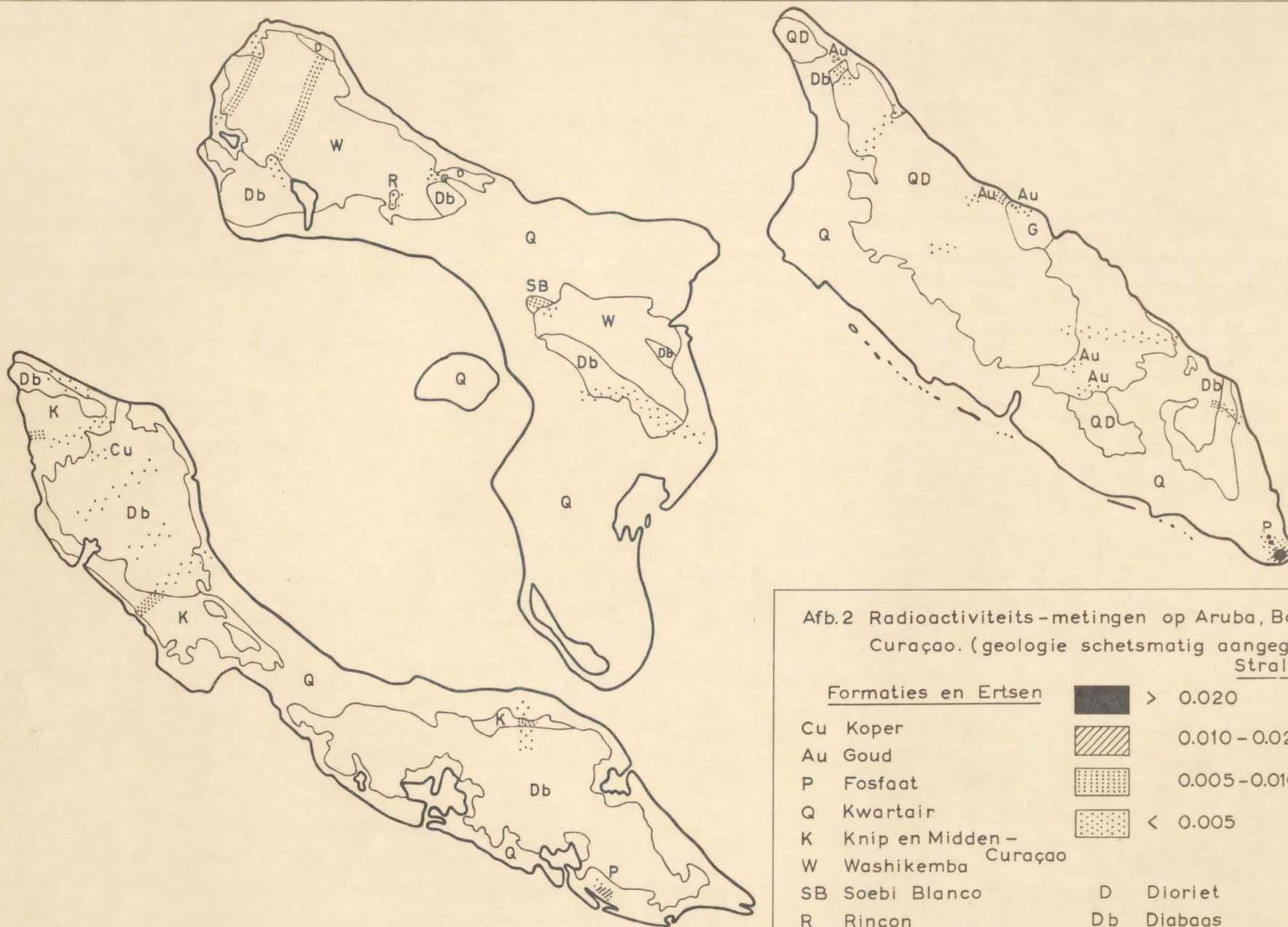
- Altschuler, Z.S. & Clarke, R.S. & Young, E.J., 1959: The geochemistry of uranium in apatite and phosphorite. U.S.G.S. prof. paper 314, p.45-89.
- Beets, D.J.: Geologische kaart van Curaçao. (in voorbereiding)
- Butterlin, J., 1956: La constitution géologique et la structure des Antilles. C.N.R.S., Paris.
- Davidson, C.F. & Atkin, D., 1953: On the occurrence of uranium in phosphate rock. C.R. Congr. Géol. Inst., sect. XI, p.13-31.
- Faul, H. ed., 1954: Nuclear Geology. New York.
- Grutterink, J.A., 1928: Phosphate in Dutch Antilles, in: Rés. Mond. Phosphates, XIV^{me} Congr. Géol. Int. 2.
- Hutchinson, G.E., 1950: Survey of contemporary knowledge of biochemistry. 3. The biochemistry of vertebrate excretion. Bull. Am. Mus. Nat. Hist. 96.
- Molengraaff, G.J.H., 1929: Geologie en geohydrologie van het eiland Curaçao. Delft.
- Molengraaff, G.J.H., 1930: Een korte opmerking over de genese en verspreiding van kopererts en op het eiland Curaçao. Mijnwezen 8, 1, p.1-2.
- Pijpers, P.J., 1933: Geology and palaeontology of Bonaire. Utrecht.
- Westermann, J.H., 1932: The geology of Aruba. Utrecht.
- Westermann, J.H., 1949: Overzicht van de geologische en mijnbouwkundige kennis der Nederlandse Antillen. Med. Kon. Ver. Ind. Inst. 85.



Afb. 1

Geologische schetskaartjes van Aruba,
Bonaire en Curaçao

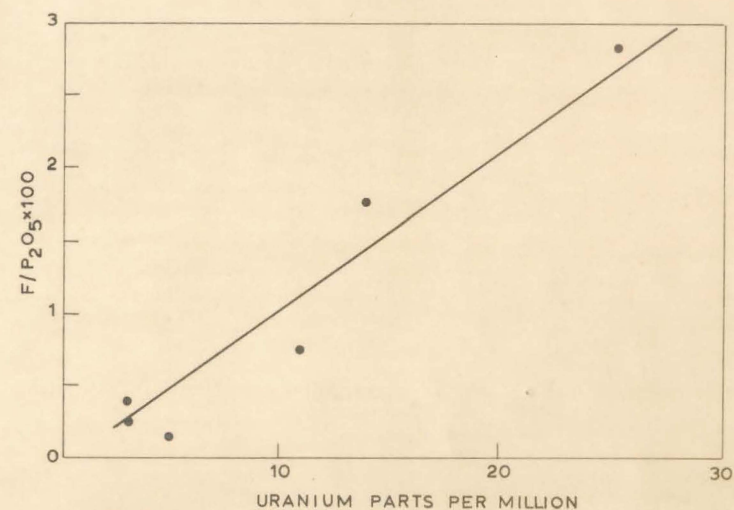
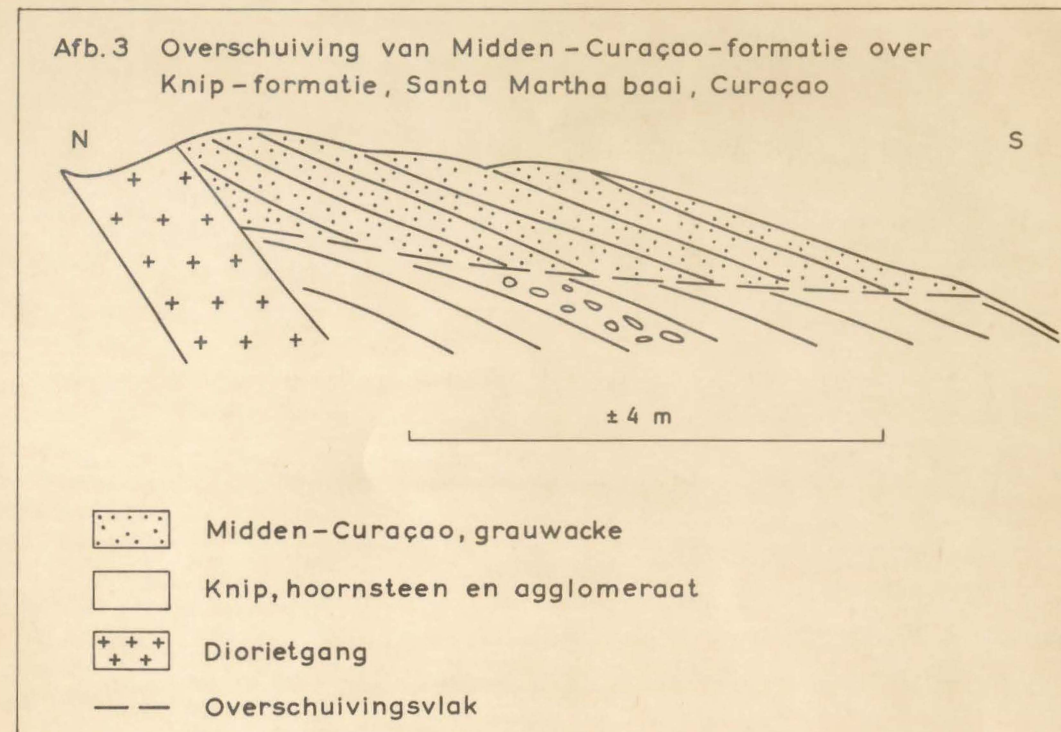
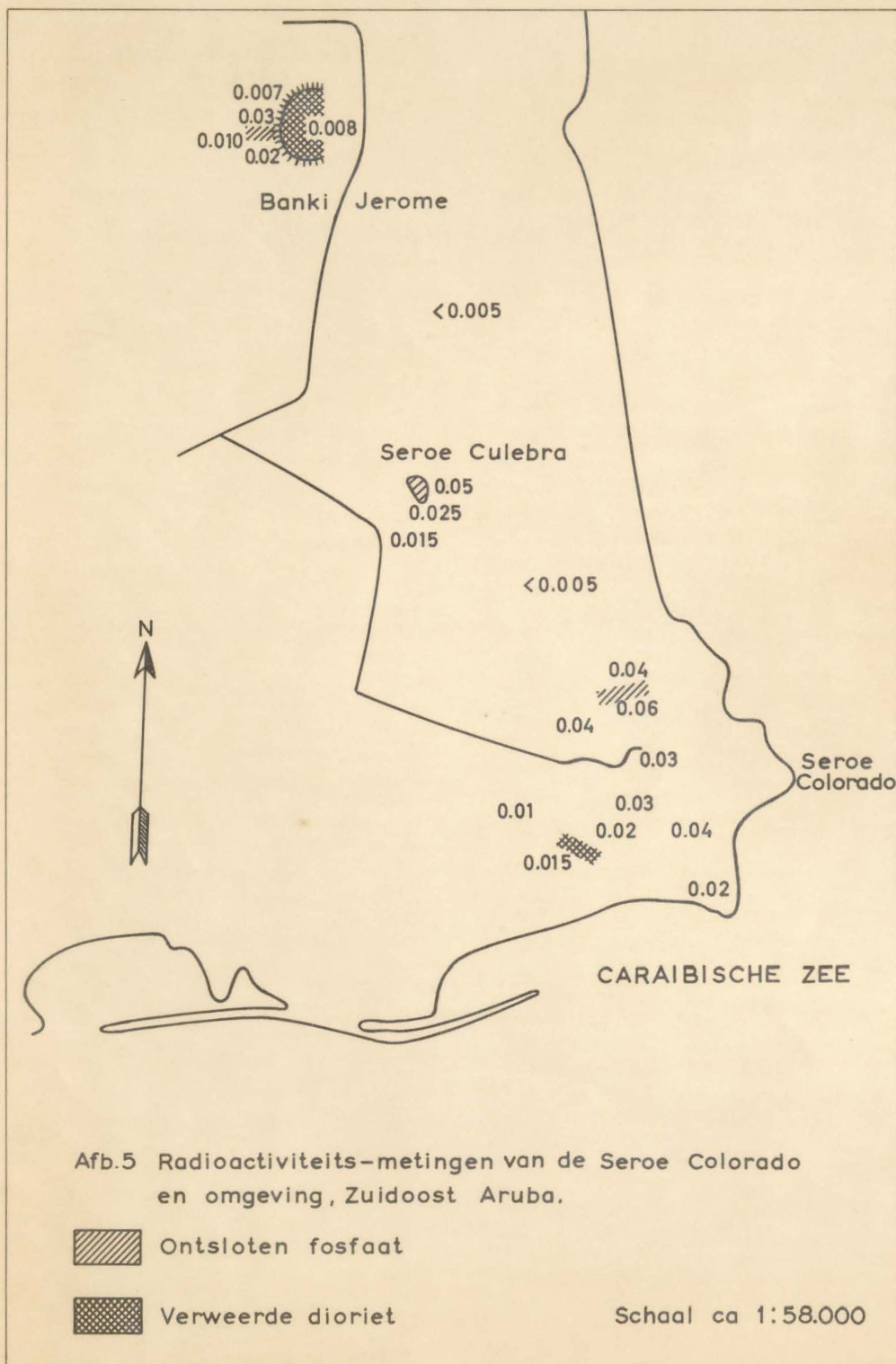
(naar Westermann, 1949)



Afb.2 Radioactiviteits-metingen op Aruba, Bonaire en Curaçao. (geologie schetsmatig aangegeven)

Straling:

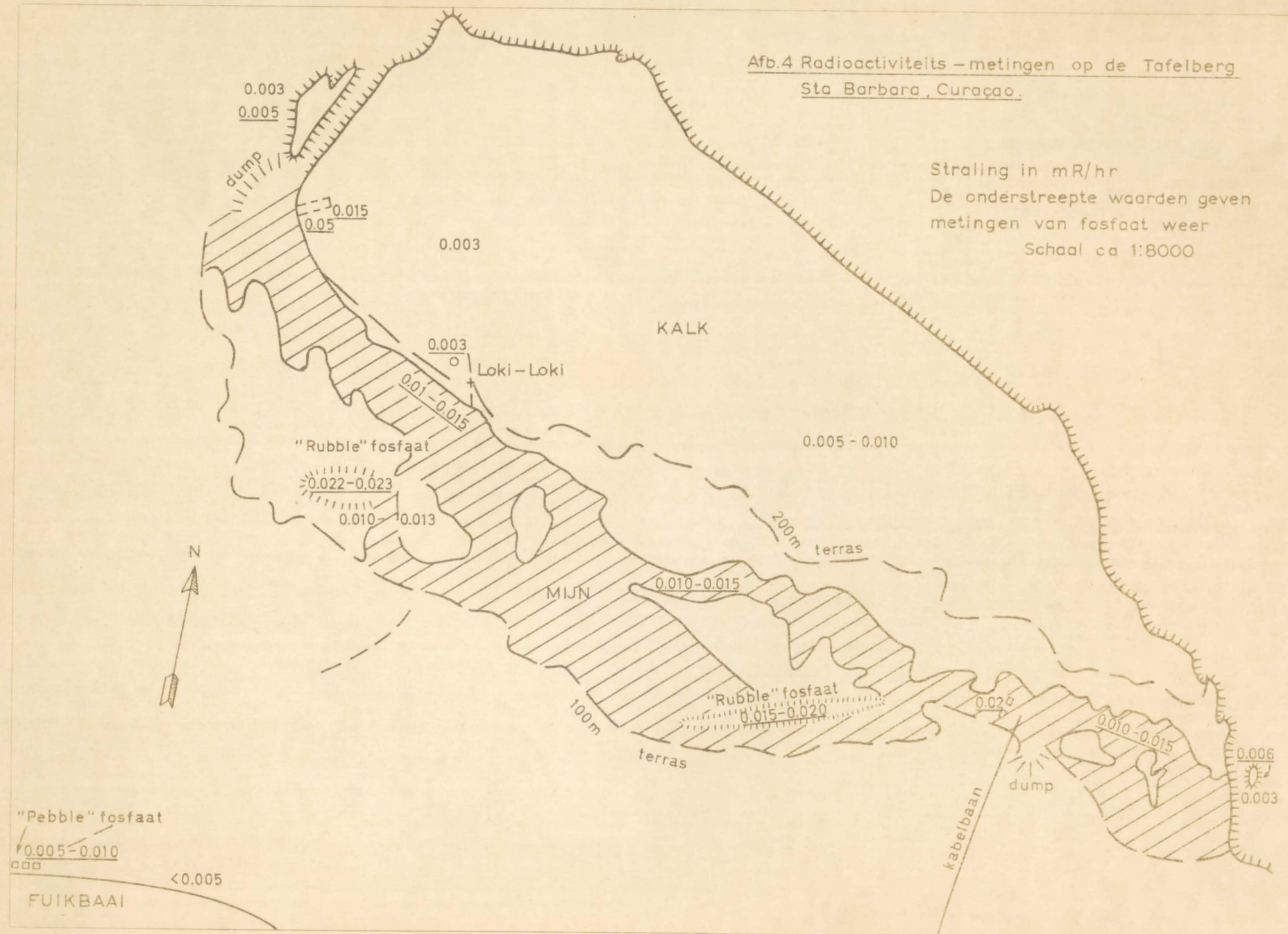
Formaties en Ertsen		Straling:	
			> 0.020 mR/hr
Cu	Koper		0.010 - 0.020 "
Au	Goud		0.005 - 0.010 "
P	Fosfaat		< 0.005 "
Q	Kwartair		
K	Knip en Midden -		
W	Washikemba		
SB	Soebi Blanco		
R	Rincon		
QD	Kwarts dioriet		
		D	Dioriet
		Db	Diabaas
		G	Gabbro



(Altschuler, 1959)

Afb.4 Radioactiviteits - metingen op de Tafelberg
Sta Barbara, Curaçao.

Straling in mR/hr
De onderstreepte waarden geven
metingen van fosfaat weer
Schaal ca 1:8000



	ARUBA (Westermann 1932)			CURAÇAO (Molengraaff 1929, Beets 1962)			BONAIRE (Pijpers 1933)		
	Formatie	Gesteente	Radio-activiteit in mR/hr	Formatie	Gesteente	Radio-activiteit in mR/hr	Formatie	Gesteente	Radio-activiteit in mR/hr
PLEISTOCÉEN	Kwartaire formatie	Koraalkalk, etc.	0,004	Seroe Domi, Asiento	Koraalkalk, etc.	0,003	Kwartaire formatie	Koraalkalk, etc.	<0,005
EOCEEN	Intrusiva	Kwartsdioriet	0,004	Seroe di Cueba en Mainsjie	Mergels kalksteen, klei		Intrusiva	Kalkmergels bij Porto Spañó	
		Hooibergiet	0,004	Intrusiva	Vintliet e.a.	0,005		Dioriet	0,005-0,008
(BOVEN-) KRIJT		Gabbroïde gesteenten	0,004	Midden-Curaçao	Conglomeraten, zandsteen, schalie, zandige hoornsteen, kiezelige zandsteen, hoornsteen, tuffen	0,005-0,010 (Ronde Klip) 0,005-0,010 (Cas Abau) 0,008-0,010 (Knip)	Soebi Blanco	Conglomeraat	0,005-0,010
					Hoornsteen, jaspis, zandsteen, conglomeraten, tuffen, kalksteen (S. Teintje)	0,005 (jaspis 0,005-0,008)		Kalk-conglomeraat	<0,005
					Knip (incl. Seroe Teintje)			Hoornsteen	0,005-0,010
	Diabaas	Diabaas en diabaastuf Conglomeratistische diabaas Metamorfe diabaas	<0,005 0,003 0,002	Diabaas	Diabaas en tuffen	0,003	Washikemba	Porfieriet } Diabaas }	0,003-0,008

TABEL I. De gesteenteformaties van Aruba, Curaçao en Bonaire met hun natuurlijke radioactiviteit.