

# Geologische Processen achter Diepzee-voorkomens

**J.H.L. Voncken**



*TU Delft,  
Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Afdeling Geotechnologie  
Sectie Toegepaste Geologie  
Stevinweg 1  
2628 CN Delft*



# Soorten Afzettingen

- **Onderzeese ertsafzettingen** kunnen worden onderverdeeld in een aantal soorten:
  1. *Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen.*
  2. *Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.*
  3. *Afzettingen gerelateerd aan subductieprocessen.*
  4. *Sedimentaire afzettingen in zeewater.*

# 1. Afzettingen Gerelateerd aan Magmatische Processen

# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

- Deze categorie bestaat uit de ertsen gerelateerd aan **onderzees vulkanisme**.
- Vulkanisme kan **metaalhoudende waterige vloeistoffen genereren (waterige hydrothermale oplossingen)**.
- Door de hitte van magma kunnen deze waterige oplossingen in de **zeebodem gaan percoleren** in de vorm van **convectiecellen**.
- De percolerende oplossingen kunnen uit het zeebodemgesteente **metalen oplossen**.
- Ook kan er menging optreden met **magmatische (hydrothermale) vloeistoffen**.

# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

- De vloeistoffen raken zo aangerijkt aan **Fe, Cu, Zn** en **S**.
- Temperaturen van deze oplossingen zijn ongeveer **275°C - 350°C**.
- De **metalen** komen in de oplossingen voor als **chloridecomplexen**.

# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

- Deze hydrothermale systemen komen via **rekbreuksystemen** weer aan de **oppervlakte (zeebodem)**.
- Daar treedt versnelde **afkoeling** op en als gevolg daarvan slaan sulfides als **chalcopyriet** ( $\text{CuFeS}_2$ ), **sfaleriet** ( $\text{ZnS}$ ), en **pyriet** ( $\text{FeS}_2$ ) neer.



**Chalcopyriet** ( $\text{CuFeS}_2$ )



**sfaleriet** ( $\text{ZnS}$ )



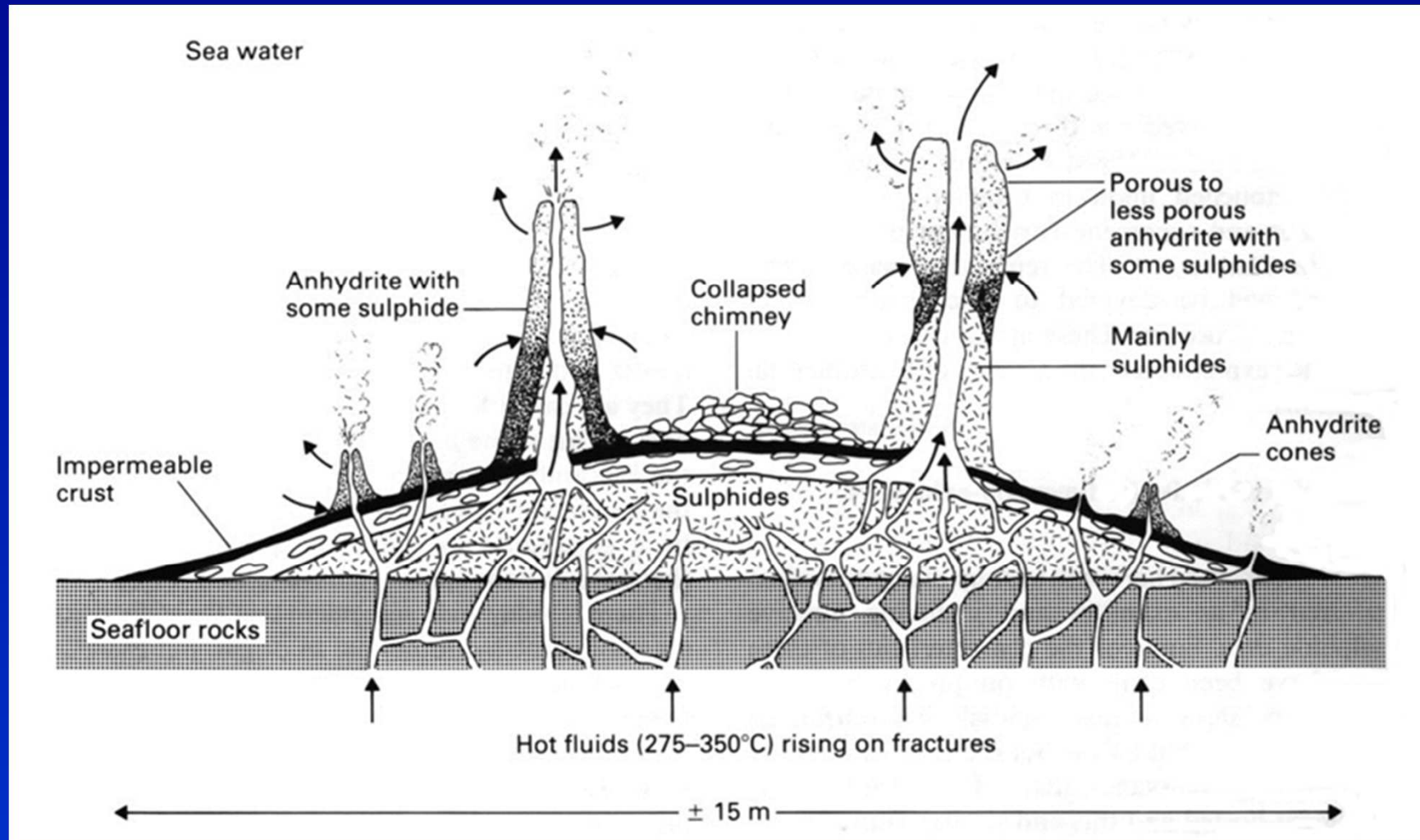
**pyriet** ( $\text{FeS}_2$ )

# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

- **Reactie** van de hydrothermale oplossingen met **zeewater** leidt tot vorming van  $\text{CaSO}_4$ -rijke **kegels**.
- Ook **deze** bevatten **sulfide**.
- De oplossingen uit deze kegels zien er **zwart** uit door de grote hoeveelheid **sulfide** die **uitgestoten** wordt.
- Toen men deze voor het eerst waarnam, zag men een analogie met **schoorstenen** met **zwarte rook**.
- Ze worden daarom “**Black Smokers**” genoemd.
- De sulfides **accumuleren** nabij de **kegels** en vormen zo onderzeese **massieve sulfide-afzettingen**.



# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen





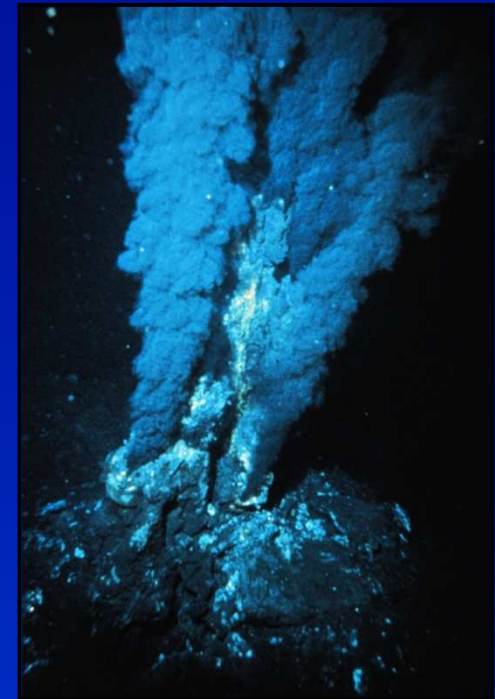
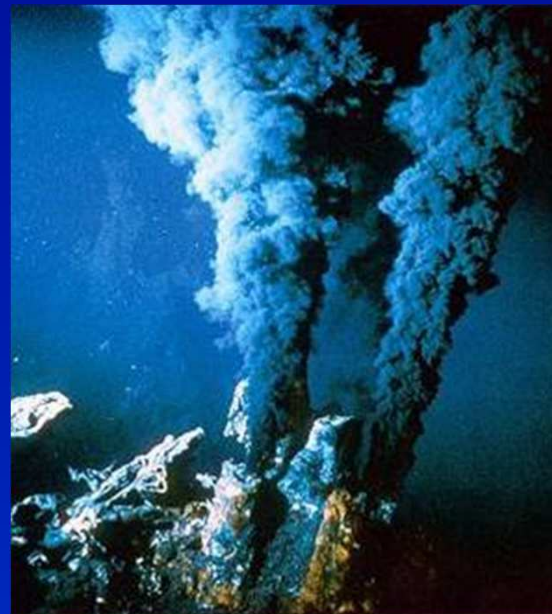
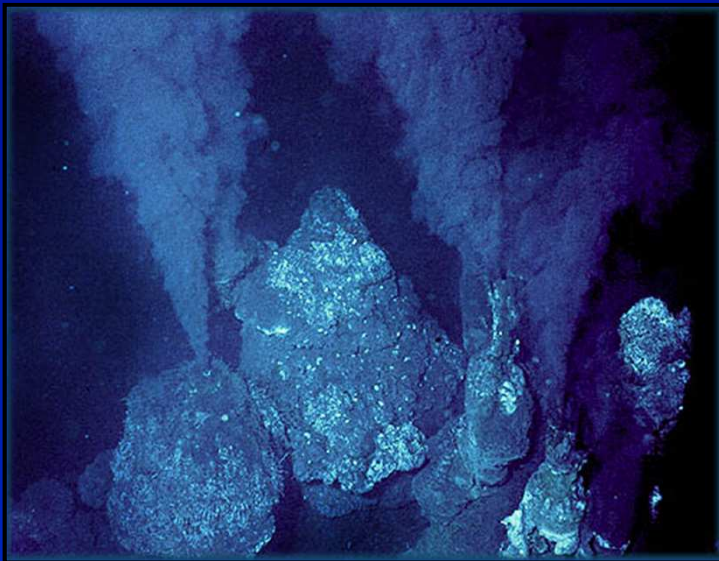
# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

- **Periodieke instorting** van de schoorstenen draagt bij aan de **accumulatie van sulfides** op de zeebodem.
- Dergelijke massieve afzettingen worden **Vulcanogene Massieve Sulfide afzettingen (VMS-afzettingen)** genoemd.
- Ook de term **Sea Floor Massive Sulphide afzettingen (SMS-afzettingen)** wordt hiervoor gebruikt.
- Het betreft dus met name **koper- en zinkertsen**, maar ook **lood en goud en zilver** komen erin voor.

# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

- Interessant detail is dat vlak bij deze schoorstenen (op een diepte waar geen licht meer doordringt) **leven** voorkomt, en dat er **compleet aparte ecosystemen** zijn ontstaan. (Chemosynthese i.p.v. fotosynthese).
- Men vind er bijvoorbeeld een verder niet voorkomende soort van **kokerworm**, en diverse **aangepaste soorten** van (blinde) **zeedieren**.

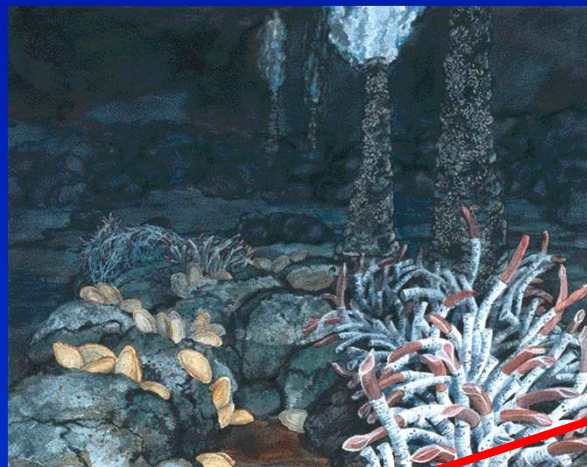
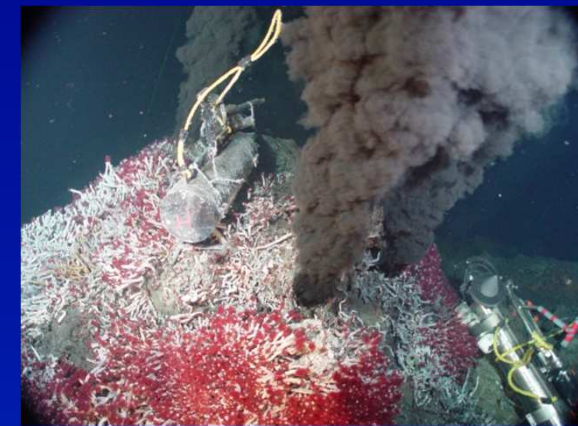
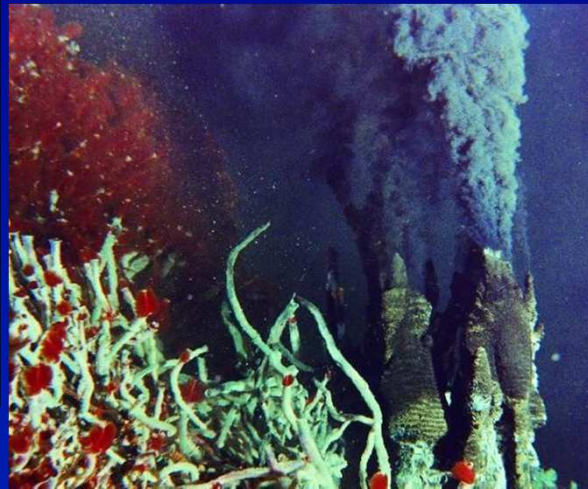
# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen



## Black Smokers

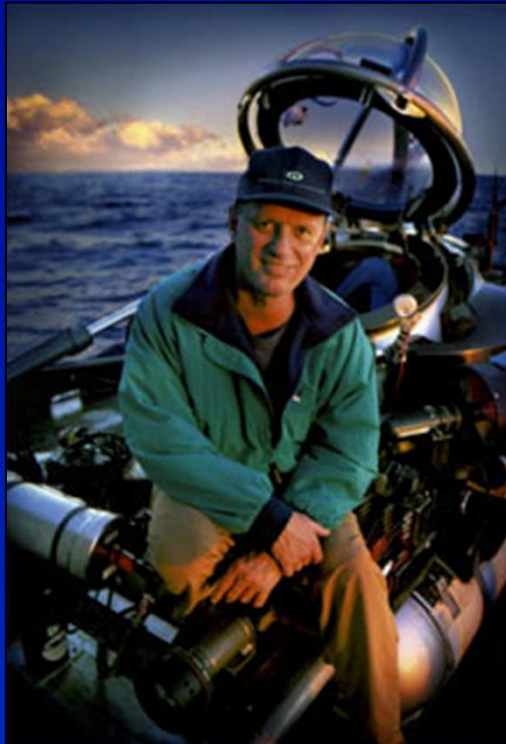


# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen



Kokerwormen (en een blind kreeftje) in het hete milieu bij een Black Smoker.

# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen



- Black Smokers en hun ecosystemen zijn **ontdekt** door een **team van wetenschappers** met o.a. de beroemde Amerikaanse oceanograaf **Robert Ballard** tijdens duikbootexpedities bij de **Galápagos Rift**.
- Temperaturen tot **350 °C** werden gemeten.
- **Publicatie:** *Submarine Thermal Springs on the Galápagos Rift. Science (1979) Vol. 203. no. 4385, pp. 1073 -1083*

# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

- Een ander onderzees type erts zijn de zogenaamde **fosforieten**.
- Deze afzettingen kunnen een **hydrothermale** of een **biogene** oorsprong hebben.
- **Hydrothermale fosforieten** bevatten hoofdzakelijk **fluor-apatiet** (  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  ).
- **Biogene fosforieten** bevatten **hydroxyl-apatiet** (  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  ).



# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

## Nieuwe Ontdekking (2011):

**REE-rijke en Y-rijke modder (REY-mud)** komt voor in de Oostelijke Zuid-Pacific en de centrale Noord-Pacific.

- **REY-mud** bevat **1000 – 2300 ppm totaal REY**.
- **HREE** komen hier twee keer zoveel in voor dan in de **Chinese afzettingen**.
- **Diktes** variëren van **30 tot 70 meter**.
- **Voorkomen tot op 50 m onder zeebodem-oppervlak**.



# Afzettingen gerelateerd aan magmatische processen

- Bovendien zijn deze modders rijk aan V, Co, Ni, Zn, Mo en Mn (2 ordes van grootte meer dan gemiddelde continentale korst afzettingen).
- De afzettingen zijn mogelijk gerelateerd aan Mid-Ocean Ridge hydrothermale activiteit.
- Bron: Y. Kato, K. Fujinaga, K. Nakamura, Y. Takaya, K. Kitamura, J. Ohta, R. Toda, T. Nakashima, H. Iwamore, (2011)  
Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience, Vol. 4, p. 535 – 539.*

## 2. Afzettingen Gerelateerd aan Geochemische Processen in Zeewater.

# Mangaanknollen

# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.

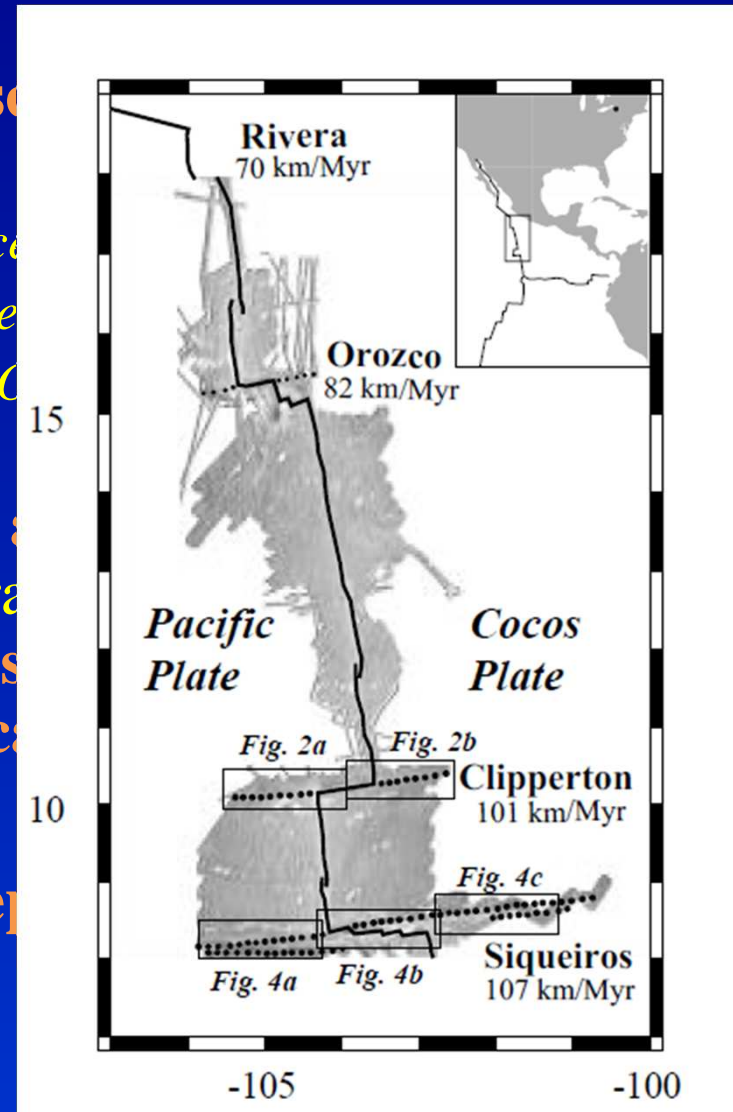
- De belangrijkste ertsen uit deze groep zijn de zogenaamde **Mangaanknollen**.
- De **oppervlakte van de oceanbodem** is 320 miljoen km<sup>2</sup>.
- **Gemiddelde diepte** > 3.8 km.
- Levensduur ongeveer **1 x 10<sup>7</sup> jaar** (10.000.000 jaar).
- **Zeer weinig sedimentatie** (< 7 μm/jaar).

# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.

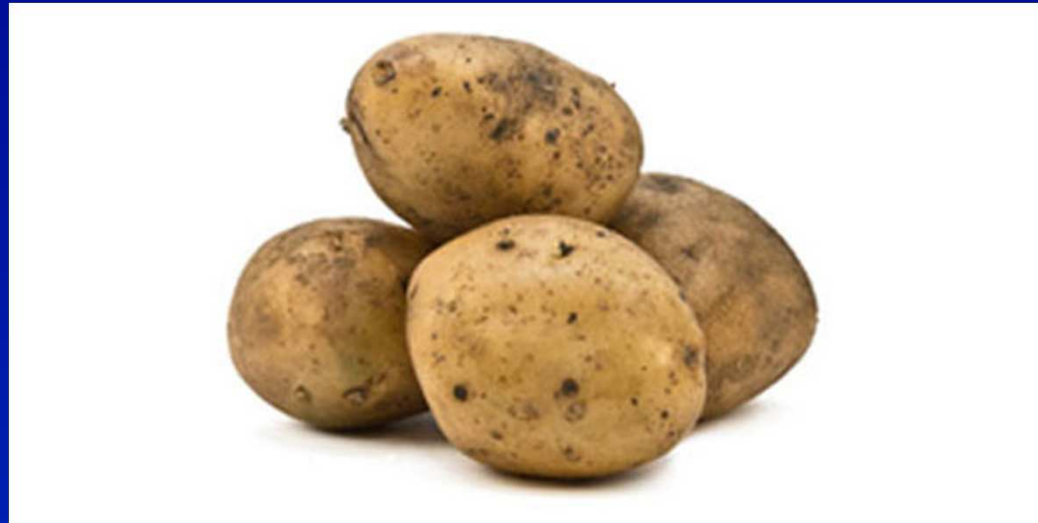
- **Faeces en overblijfselen van oppervlakte-biota** vallen op de oceaانبodem.
- Deze bevatten **spore-hoeveelheden van metalen**.
- **Onderzees vulkanisme** draagt ook bij aan de concentratie **metalen in zeewater**.
- Opgelost **Fe** en **Mn** precipiteren als **oxides** op vaste deeltjes zoals **zandkorrels** en **haaietanden**.
- Er ontstaan **concentrische lagen** rond deze nucleï: **concentrische bal** of **nodule**.
- De **aangroeisnelheid** van de nodules is **zeer laag**. Ze vormen zich over een tijdsbestek van **miljoenen jaren**.

# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.

- **Nodule-afzettingen van economisch belang** in de volgende gebieden:
  - De noordelijke centrale Pacifische Oceaan
  - Het Peru Bekken in de Zuid-Oostelijke Oceaan
  - Centrum van de noordelijke Indische Oceaan
- De meest veelbelovende van deze sites is de **Clipperton Breukzone** van de Oostelijke Pacific tussen **Hawaii en Midden-America**.
- De nodules komen voor op een diepte van 1000 tot 2000 m.



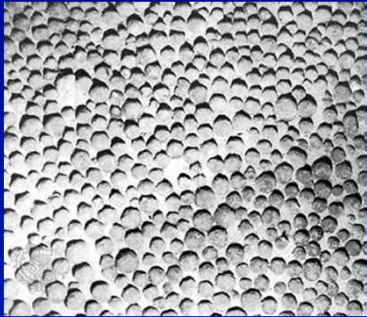
# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.



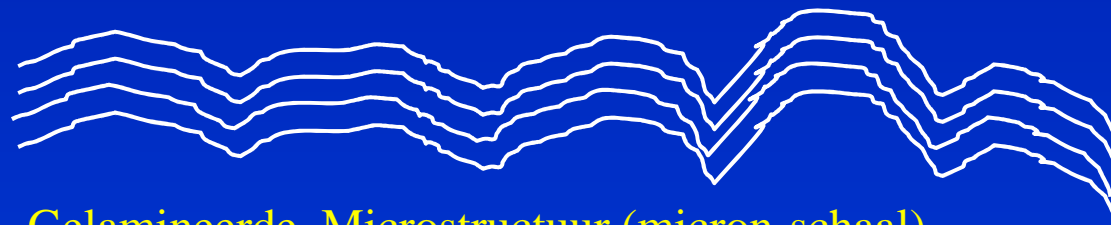
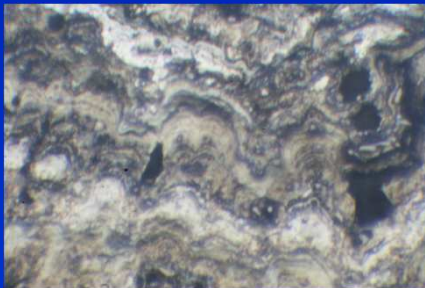
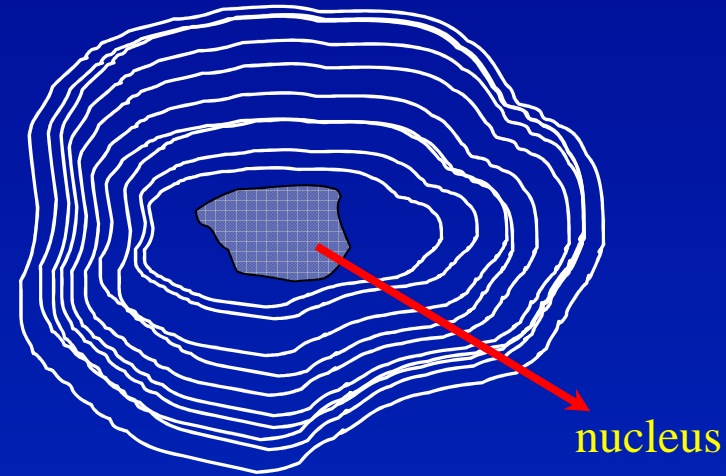
**Mangaanknollen hebben afmetingen vergelijkbaar met die van aardappels.**



# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.



Geïdealiseerde doorsnede



Gelamineerde Microstructuur (micron-schaal)

# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.

- Belangrijkste Mn-oxides:

**vernadiet** ( $\delta$ -MnO<sub>2</sub>),

**todorokiet** Na<sub>0.2</sub>Ca<sub>0.05</sub>K<sub>0.02</sub>Mn<sup>4+</sup><sub>4</sub>Mn<sup>3+</sup><sub>2</sub>O<sub>12</sub>•3(H<sub>2</sub>O)

**birnessiet** (Na,Ca,K)<sub>x</sub>(Mn<sup>4+</sup>,Mn<sup>3+</sup>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>•1.5(H<sub>2</sub>O).

- **Fe** komt er ook in voor, meestal als **FeOOH** (goethiet).
- De samenstelling van de nodules kan **variëren**.

# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.

- **Winning op grote schaal** heeft men geprobeerd in de **jaren zeventig**, maar men is er mee **opgehouden**. De winning was **economisch niet rendabel**.
- De ratificatie van de **VN Conventie over het zeerecht** in 1982 (**UNCLOS = United Nations Conference on the Law(s) of the Sea**) heeft ook sterk bijgedragen aan de terugloop van het interesse in mangaanknollen.
- Als gevolg van de UNCLOS is de **EEZ** ingesteld. Dit is de **Exclusive Economic Zone**, een gebied **200 mijl offshore** van kusten, waarin **kuststaten** exclusieve rechten hebben.

# Kobalt-rijke Korsten op Seamounts

# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.

- **Hellingen** van onderzeese **bergen** en **vulkanen** in de Stille Oceaan zijn bedekt met een korst van **kobalt, titanium, cerium, mangaan** en **nikkel**.
- **Het belangrijkste metaal is kobalt. Ook mangaan komt veel voor.**
- Ook deze afzettingen zijn, zo denkt men, grotendeels neergeslagen uit **zeewater**, waarschijnlijk onder invloed van **bacteriële activiteit**.
- **De vormingstijd ligt in de tientallen miljoenen jaren.**

# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.

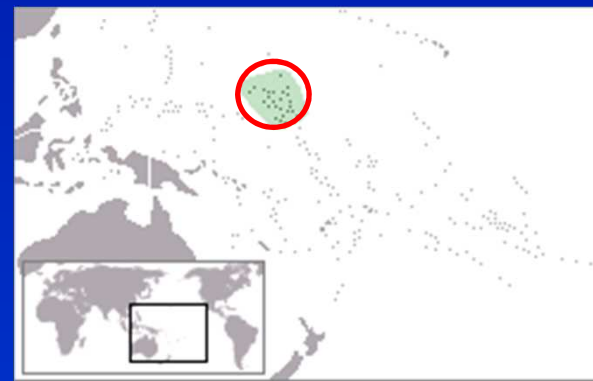
- De korsten komen **niet** voor op plaatsen waar **sediment** op de oceaانبodem **aanwezig** is. Waterdieptes variëren van **400** tot **4000** meter.
- De **dikste korsten** die het **rijkst** aan **kobalt** zijn, komen voor op de **terrassen** aan de **buitenkant** van **seamounts**, en in **brede zadels** op de **toppen** ervan.
- De diepten bedragen **800 – 2500** meter.

# Afzettingen gerelateerd aan geochemische processen in zeewater.

- De korsten zijn zo'n **25 cm** dik. Als **1.7%** van de oceaankorst ermee bedekt is, betekent dat ongeveer **1 miljard ton kobalt**.
- De **centraal equatoriale Pacific** is het meest geschikt voor mijnbouw, in het bijzonder de **EEZ** rond **Johnston Island** en **Hawaii**, de **Marshall Eilanden**, **Micronesië**, en de **internationale wateren** van de mid-Pacific.



**Johnston Island**



**Marshall Eilanden**

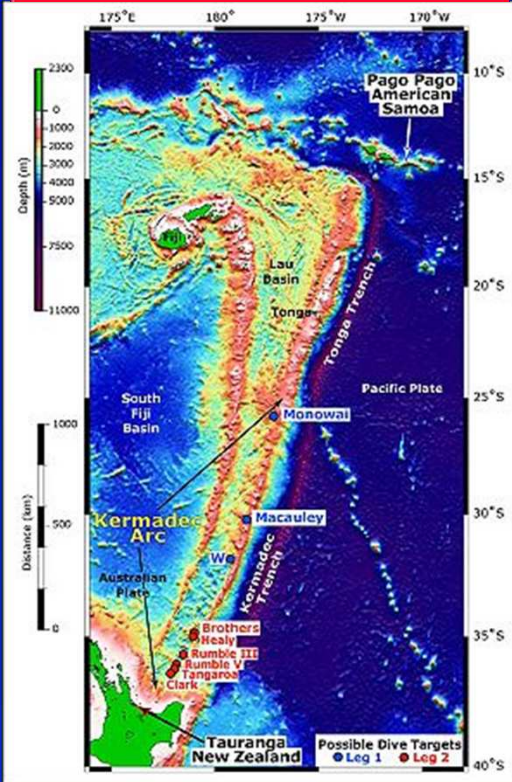
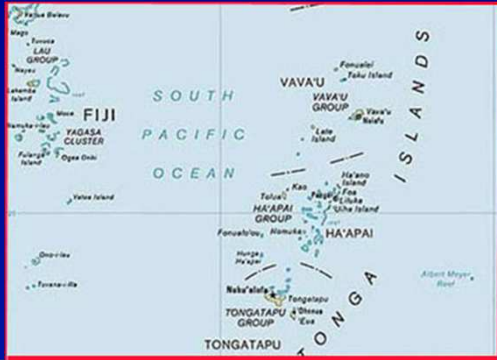


# 3. Afzettingen Gerelateerd aan Subductieprocessen.

# Afzettingen gerelateerd aan subductieprocessen.

- **Onderzeese hydrothermale mangaanafzettingen** komen voor in een aantal **island arc settings**. (Tonga-Kermadec Rug, Ogasawa trog, Bonin boog, Mariana boog, Bismarck Archipel.
- Grote volumes aan waterige oplossingen komen vrij als gevolg van de **ontwatering van sedimenten** onderhavig aan **subductie**.
- Uit dergelijke oplossingen precipiteren **hydrothermale mangaan afzettingen**.

# Afzettingen gerelateerd aan subductieprocessen.



Tonga-Kermadec Rug



Ogasawa trog + Bonin boog,



Mariana boog



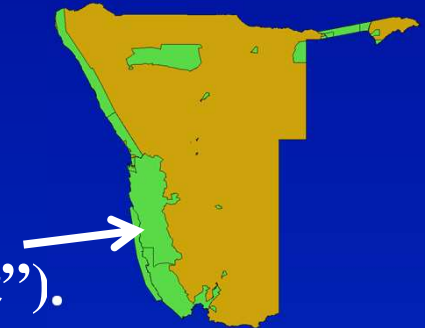
Bismarck Archipel

# 4. Afzettingen Gerelateerd aan Sedimentaire Processen

# Placers & Heavy Mineral Sands

# Afzettingen gerelateerd aan sedimentaire processen

- **Placers of placer-afzettingen** zijn accumulaties van waardevolle mineralen als gevolg van zwaartekrachtscheiding gedurende sedimentaire processen.
- **Diamant-placers** komen voor langs de kust van **Namibië** (zowel onshore en offshore). Deze worden ontgonnen door **De Beers Marine, Sakawe Mining Ltd. (Samincor), en Diamond Fields Namibia.** (Zogenaamde “Sperrgebiet”).
- **Onderzeese tin-placers** (met het mineraal **cassiteriet  $\text{SnO}_2$** ) komen voor in **China, Thailand, Burma, Maleisië, en Indonesië (Bangka en Belitung, “Billiton”).** Deze landen leveren ongeveer **80 %** van het tin in de wereld.



# Afzettingen gerelateerd aan sedimentaire processen

- Ook van belang zijn de zogenaamde “**Heavy Minerals**”.
- Afgezien van het al genoemde **cassiteriet** ( $\text{SnO}_2$ ) gaat het om:
  - **rutiel** ( $\text{TiO}_2$ ),
  - **monaziet**  $(\text{Ce, La})\text{PO}_4$ , met ook andere lichte REE, zoals Pr en Nd.
  - **zirkoon** ( $\text{ZrSiO}_4$ ),
  - **granaat**  $(\text{X}_3\text{Y}_2(\text{SiO}_4)_3$  met  $\text{X} = \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}$ ) en  $\text{Y} = (\text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+})$ ,
  - **ilmeniet** ( $\text{FeTiO}_3$ ),
  - **chromiet** ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ )





# Fosforieten

# Afzettingen gerelateerd aan sedimentaire processen

- Ook van groot belang zijn de onderzeese **fosforieten**.
- Dit zijn **gesteenten** die hoofdzakelijk bestaan uit **fluor-apatiet** ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ) of **hydroxyl-apatiet** ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ).
- De afzettingen kunnen een **biogene** (beenderen van vertebraten en tanden) of **hydrothermale** oorsprong hebben.
- Fosforieten van **hydrothermale** oorsprong bevatten **fluorapatiet**.

# Afzettingen gerelateerd aan sedimentaire processen

- Het betreft doorgaans **zeer fijnkorrelige gesteenten** (cryptokristallijne gesteenten), met een **korrelgrootte  $< 1 \mu\text{m}$** .
- **Fosforieten** komen ook veel op het **land** voor, en dit zijn de **meest ontgonnen afzettingen**.
- Commerciëel ontgonnen fosforieten op het land bevinden zich in **Frankrijk, België, Spanje, Marokko, Tunesië, Algerije en Jordanië**. Vroeger werden ook in **Florida (VS)** fosforieten ontgonnen.

# 5. Mijnbouwbedrijven

# Mijnbouwbedrijven

- **Onderzeese Mijnbouw** wordt uitgevoerd door grote mijnbouwbedrijven zoals:

- **Anglo-American Plc,**



- **BHP Billiton,**



- **Rio Tinto Minerals,**



- maar ook door het

- **Nederlandse IHC (IHC Deep Sea Dredging & Mining).**





# Mijnbouwbedrijven

- Verder zijn de kleinere bedrijven **Nautilus Minerals Inc. (Canada)** en **Neptune Minerals (VS)** van plan om mijnbouw te bedrijven in de wateren rond Nieuw Guinea en Nieuw-Zeeland.
- Zij zijn geïnteresseerd in de SMS-deposits.
- In deze bedrijven zijn grote spelers als Anglo American Plc. aandeelhouders.





