

Tinafzettingen in Tasmanië, Australië

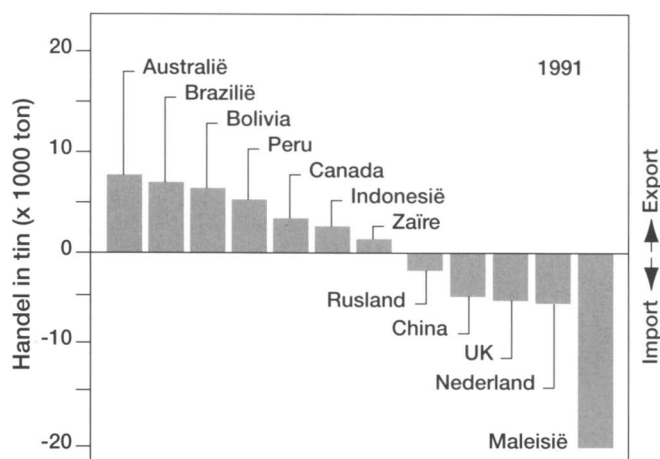
door Theo Kloprogge

Tin heeft als metaal een lange geschiedenis achter zich. Archeologen hebben het gevonden in de oude graven van Egypte. De Feniciërs waren in die tijd belangrijke transporteurs van tin in de oude wereld en zij brachten waarschijnlijk dit tin naar Egypte. Gedurende de overheersing van de Romeinen werden er grote hoeveelheden tin getransporteerd vanuit Cornwall, Engeland, naar de rest van Europa.

Tin is een zeer gewild metaal en wordt gebruikt in honderden industriële processen. De belangrijkste hiervan is de toepassing in blik en als *tinplate*, waarbij het tin als een beschermende coating op een ander metaal is aangebracht. Tin is ook een belangrijke component in diverse legeringen. Denk bijvoorbeeld maar aan brons, dat een mengsel van tin en koper is, of soldeer (tin en lood) of in zetletters in een drukkerij (mengsel van tin, lood en antimon). Daarnaast wordt het ook gebruikt in een legering met titaan in de ruimtevaart en als een ingrediënt voor insecticides. Tinsulfide, ook wel bekend als mozaïekgoud, wordt in poedervorm gebruikt voor het bronzen van artikelen gemaakt van hout of gips.

Ondanks dit alles is de wereldmarkt voor tin sinds 1960 steeds kleiner geworden. Desalniettemin, de waarde van de totale tinproductie over de gehele wereld van ongeveer 200.000 ton per jaar ligt op een respectabele 1.8 miljard Amerikaanse dollars, zelfs met de lage tinprijzen.

De reserve aan tin wordt geschat op zo'n 8 miljoen ton zuiver metaal. Het meeste hiervan bevindt zich in Zuidoost-Azië. Gezien de afnemende tinconsumptie is dit een respectabele reserve, zeker ten opzichte van diverse andere metalen. De meeste tinproducerende landen exporteren tinconcentraat. Een uitzondering hierop vormt Maleisië, dat tinconcentraat importeert en verwerkt. Maleisië is dan ook de grootste wereldproducent van tinmetaal. Andere belangrijke landen voor de verwerking van tinerts zijn vooral Groot-Brittannië en Nederland, wat wordt weerspiegeld in de hoeveelheden tinerts die deze landen importeren (afb. 1).



Afb. 1. Overzicht van de import en export van de belangrijkste landen, betrokken bij de winning van, handel in en verwerking van tin.

Hoewel tin niet kritisch is voor defensiedoeleinden wordt het toch vaak als een strategisch belangrijk metaal beschouwd vanwege de zeer beperkte geografische spreiding van de productie. Dit geldt vooral voor Noord-Amerika, waar belangrijke afzettingen

van tin ontbreken. Het relatief kleine aantal belangrijke tinproducerende landen en het feit dat geen van hen belangrijke consumenten van tin zijn heeft geleid tot de vorming van een uniek kartel, dat bekend staat als de International Tin Council, met daarin zowel de producenten als de afnemers.

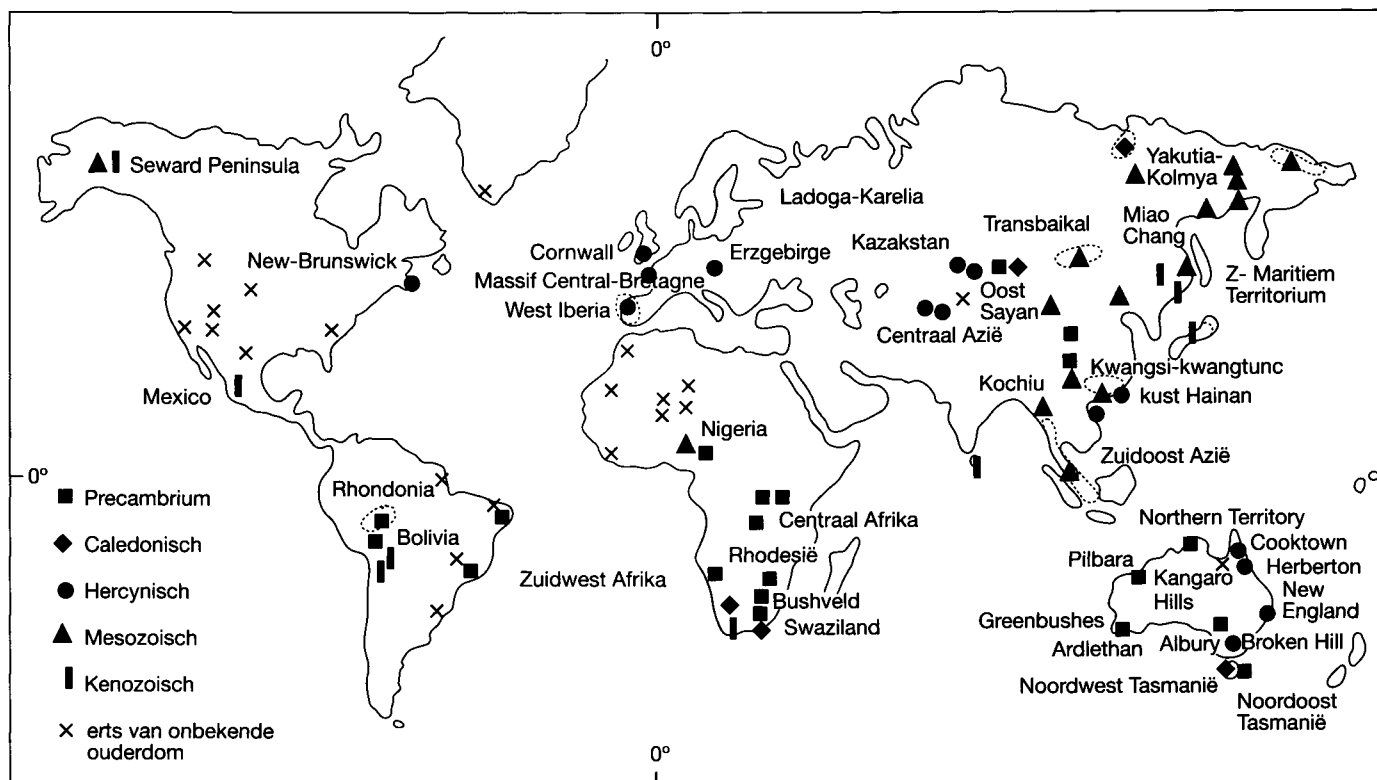
Het belangrijkste doel is het stabiliseren van de prijs van tin op een niveau dat zowel de productie alsook de afname zou aanmoedigen. Helaas is dit door de grote druk vanuit de wereldmarkt niet echt goed gelukt.

Algemene geologische achtergrond van tin

Geologen hebben altijd al een fascinatie gehad voor tin vanwege de bijzondere distributie in de aardkorst. Het belangrijkste tinmineraal is *cassiteriet* (of tinsteen, SnO_2 , hardheid 6-7, sm 6.8-7.1, streep wit tot gelig lichtbruin, diamant- tot metaalglans, onvolkomen splijting; in zuivere vorm is het wit van kleur, maar meestal gelig, bruin-donkerbruin tot zwart als gevolg van de aanwezigheid van ijzer; morfologie meestal korrelige en niervormige aggregaten van prismatische of bipiramidale kristallen; de naam is afgeleid van de Griekse woord *kassiteros* wat tin betekent). Cassiteriet komt maar in een beperkt aantal ertsvoorkomens in de wereld voor. Driekwart van de wereldproductie komt uit maar zes landen (Brazilië, Bolivia, Australië, Maleisië, Thailand en Indonesië. De laatste drie vormen eigenlijk één groot tinhoudend voorkomen, afb. 2). De reden dat tin in maar zo weinig plaatsen wordt gevonden is lang een onderwerp van discussie geweest. Over het algemeen zijn er twee belangrijke hypothesen.

De eerste hypothese zegt dat tinafzettingen alleen worden gevonden in tinrijke delen van de aardkorst als een erfenis van de vroegere geschiedenis van de aarde. De andere gaat ervan uit dat tin overal gevonden kan worden waar speciale tinconcentratie-processen actief geweest zijn. Onafhankelijk van welke hypothese correct is, in het algemeen worden tinafzettingen bijna altijd gevonden in aders bij granietintrusies, die waarschijnlijk werden gevormd door partiële opsmelting van sedimentaire gesteenten. De meest algemene afzettingen (*lode deposits*) worden gevonden in pegmatieten en kwartsaders rond *protrusies* (letterlijk: uitsteeksel) bekend als *cupolas* boven dit soort intrusies. In Cornwall, UK, komt tinerts voor met grofkorrelige muscoviet, kwarts en andere mineralen in een gesteente dat bekend staat als *greisen*. Dit wordt gevormd door omzetting van graniet bij hoge temperatuur (ongeveer 500°C). Als het gesteente rondom een intrusie uit kalksteen bestaat worden vaak sulfide-rijke tinhoudende vervangingsafzettingen gevonden (*skarn-vorming*). Dit is onder andere het geval bij afzettingen in Tasmanië en China. Tin wordt ook gevonden in aders geassocieerd met vulkanische domes, zoals in Mexico en Bolivia (denk hierbij bijvoorbeeld aan de enorme tin-zilverafzetting van Cerro Rico). Al deze typen zijn dus waarschijnlijk gevormd uit hydrothermale fluids van voornamelijk magmatische afkomst. Tin is ook een belangrijk bijproduct van wolframafzettingen en porfirische molybdeenafzettingen. Het wordt in kleine hoeveelheden ook gevonden in sommige massieve vulkanische sulfideafzettingen en in sedimentaire exhalatieve afzettingen.

Daarnaast zijn ook **sedimentaire** tinafzettingen economisch van groot belang. Cassiteriet is namelijk zeer resistent tegen verweering, met als gevolg dat bij erosie van de primaire tinafzetting er zogenaamde *placers* gevormd worden. Dit type placer-afzetting is de belangrijkste bron voor de wereldproductie van tin. De afzettingen die gedurende de erosie niet verplaatst zijn staan



Afb. 2. De belangrijkste tinafzettingen in de wereld.

bekend als **residuaire placers**. Degene die over een korte afstand bergafwaarts zijn verplaatst worden **alluviale placers** genoemd, terwijl degene die in het drainagesysteem terecht gekomen zijn bekend staan als **alluviale, stroom- of strand-placers**. De belangrijkste afzettingen van dit type bevinden zich in Noord-Brazilië en in Zuidoost-Azië.

Tasmanië

Tasmanië vormt met zijn totale oppervlak van iets meer dan 68.000 km² (inclusief alle kleine eilandjes en het subarctische vulkanische eiland Macquarie) maar ongeveer 1% van het totale oppervlak van Australië. Dit is echter toch nog ruim twee maal zoveel als het totale landoppervlak van Nederland. Tot ongeveer 13.500 tot 8000 jaar geleden vormde Tasmanië een geheel met de rest van Australië, totdat zeespiegelstijging de ondiepe Bass Strait deed ontstaan. De bergachtige topografie van Tasmanië toont aan dat het geologisch gezien nog steeds een onderdeel is van de Great Dividing Range, die doorloopt op het continentale deel van Australië. Tasmanië heeft 8 bergen hoger dan 1500 m en 28 hoger dan 1200 m. Het centrale plateau ligt gemiddeld op zo'n 900 m. Vanaf dit plateau loopt een dicht netwerk van meren en rivieren naar de lager gelegen kustvlakten.

De economie van Tasmanië draait behalve op het toerisme en de agrarische sector (vooral schapen) op de mijnbouw van, naast de tin, onder andere goud, zilver, osmium, iridium, koper, ijzer, lood, wolfram en zink.

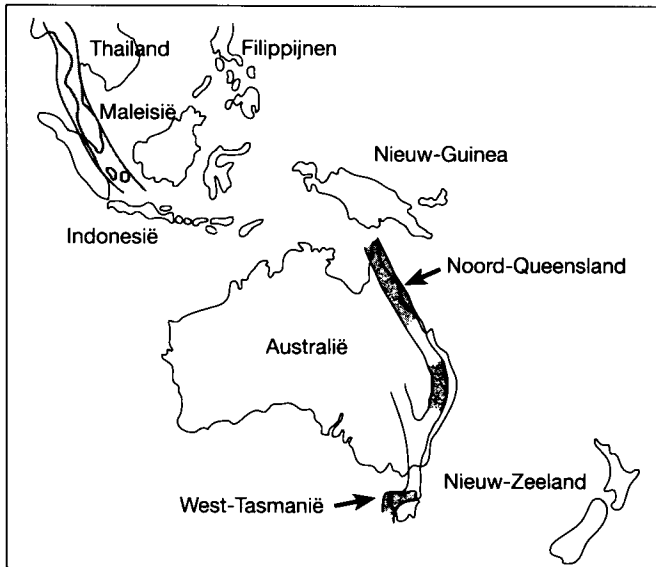
Een stukje geschiedenis met Nederlandse inbreng

Tasmanië werd meer dan 35.000 jaar geleden voor het eerst door mensen bezocht, toen aboriginals de oversteek over de toen bestaande landbrug maakten. Na het ontstaan van de Bass Strait raakten de aboriginals langdurig geïsoleerd van de andere aboriginal-volken in de rest van Australië. Rond 1600 kwamen de eerste Europeanen op Tasmanië aan. In 1603 werd in Lutjegast (Groningen) Abel Janszoon Tasman geboren. Rond 1632 nam hij dienst als navigator bij de Oost

Indische Compagnie. Na diverse expedities werd hij in 1642 door de gouverneur-generaal Anton van Diemen van de Compagnie uitgekozen om een belangrijke exploratie-expeditie te leiden op het Zuidelijk Halfrond. De bedoeling was om over de Indische en Zuidpaciïsche Oceaan te varen en de mogelijkheden te onderzoeken voor een doorgang naar Chili. Hij verliet Batavia (tegenwoordig Jakarta) op het eiland Java en zeilde in eerste instantie richting Mauritius. Na enige tijd in zuidoostelijke richting te hebben gevaren verlegde hij de koers naar het noorden. Op 24 november 1642 kwam zijn schip aan bij een eiland dat hij Van Diemen's Land noemde, het huidige Tasmanië. Tasman ging verder naar het oosten waar hij het Zuid Eiland waarnam, tegenwoordig deel van Nieuw-Zeeland. Hij passeerde door de straat tussen Noord- en Zuid Eiland en ging verder in noordoostelijke richting. Hier zag hij Tonga en de Fiji-eilanden. Gedurende deze reis heeft hij heel Australië rondgezeild zonder het ooit te zien. De officiële Britse landing op Tasmanië bij Risdon Cove (Hobart) door luitenant John Bowen vond plaats in 1803. Hij had 29 veroordeelden, 8 soldaten en 10 andere mensen bij zich, die zich daar vestigden. Hierna werd Tasmanië een vestiging voor veroordeelden voor ruim 50 jaar. In het piekjaar 1842 kwamen er zelfs 5329 veroordeelden op Tasmanië aan. Dit veranderde in 1853 en in 1856 kreeg het een eigen gouvernement, maar het verleden had wel diepe littekens achtergelaten.

Het gebied bleef relatief onbekend totdat er rond 1860 vanuit de overheid initiatieven werden ontplooid om op zoek te gaan naar mineraalvoorkomens op Tasmanië. Dit vooral om een eind te maken aan de massale uittocht van de mensen naar de goudvelden in Victoria en New South Wales (Australië). Deze eerste exploratietochten resulteerden echter niet in belangrijke vondsten. Maar de ontdekking van tin ten zuiden van de Arthur River in 1871, door de alleenwerkende prospector en ervaren bushman James Smith (bijgenaamd de filosoof), werkte als een katalysator voor het ontstaan van de mijnen in Tasmanië. Smiths ontdekking resulteerde uiteindelijk in de ontwikkeling van de Mt. Bischoff-tinmijn bij Waratah, die gedurende de jaren tussen 1880 en 1890 de rijkste tinmijn in de wereld werd. Het nieuws van deze ontdekking vormde een inspiratie voor andere prospectors om door te zoeken in vooral het zuiden en

westen van Tasmanië, wat diverse belangrijke vondsten tot gevolg had: het Heemskirk-tinveld in 1876, de alluviale afzettingen van goud en osmiridium in de zijrivieren van de Pieman in 1879, de rijke zilver-loodafzettingen van Zeehan-Dundas in 1882, de ontdekking van het Iron Blow-goudvoorkomen dat later bekend werd als de Mt. Lyell-kopermijn in 1883, de Renison-tinmijn in 1890 en het Mt. Reid-mineraalvoorkomen in 1894. Rond de belangrijkste mijnen ontstonden stadjes voor de mijnwerkers, waarvan de belangrijkste waren Queenstown (Mt. Lyell-mijn), Zeehan (Zeehan-Dundas zilver-loodmijnen), Rosebery (Renison/



Afb. 3. Belangrijkste tinprovincies in Zuidoost-Azië en Australië.

Mt. Reid), Tulla (Mt. Farrell) en Waratah (Mt. Bischoff). Belangrijke zeehavens ontwikkelden zich, zoals Remine (Trial Harbour) en Strahan aan de westkust en Burnie in het noorden voor het transport van goederen en mensen van en naar de mijnen.

Een uitgebreid netwerk van smalspoor-trein-verbindingen zorgden voor het transport tussen de mijnen en de havens. Deze treinverbindingen bleven van belang tot in de jaren '60 van deze eeuw, toen de eerste wegen naar het noorden werden aangelegd.

Een opleving van de mijnbouw in deze periode rond de jaren '60 zorgde voor de heropening van de Mt. Cleveland-tinmijn bij Luina en het begin van de winning van ijzerertsafzettingen bij de Savage-rivier. Recente exploratie heeft in 1980 geleid tot de vondst en de daaropvolgende ontginning van de zilver-lood-zinkafzettingen bij de Que-rivier en tot de ontdekking van het Hellyer zilver-loodertslichaam, waarvan de ontginning in 1986 begonnen is.

Tinafzettingen in Tasmanië

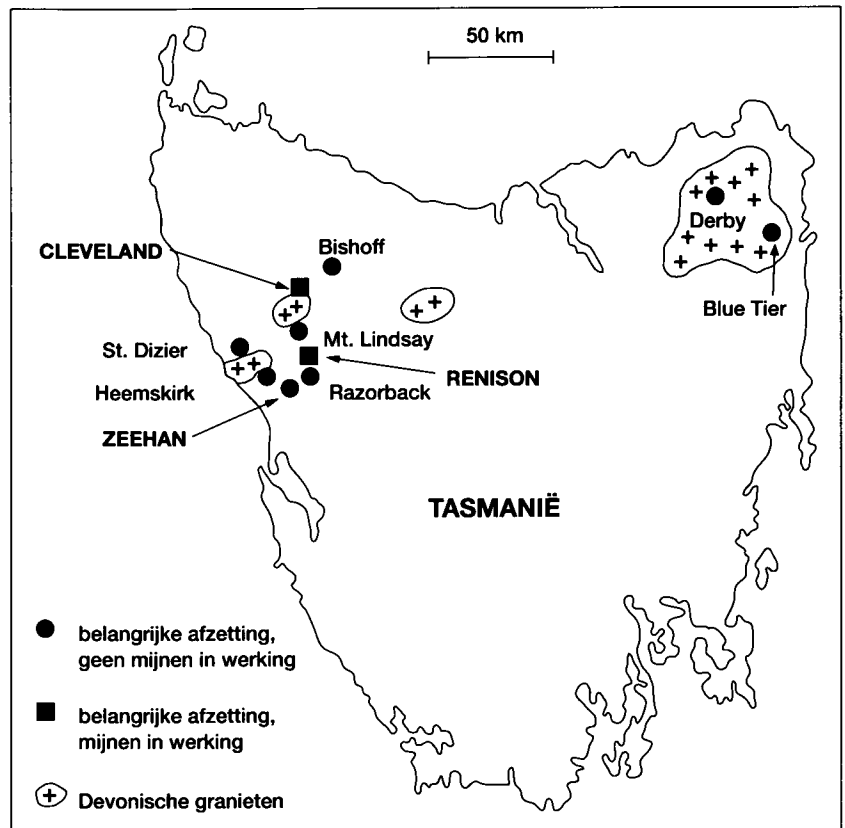
Regionale geologie

De huidige productie van tin vindt op Tasmanië voornamelijk plaats in twee grote ondergrondse mijnen in de West-Tasmaanse tinprovincie. De meeste van deze tinafzettingen komen voor als vervangingsafzettingen in Onder-Paleozoïsche

sedimenten naast Boven-Paleozoïsche granieten en voor een klein gedeelte in de granieten zelf. Ook hebben zich kleine alluviale afzettingen ontwikkeld van materiaal afkomstig van de granieten.

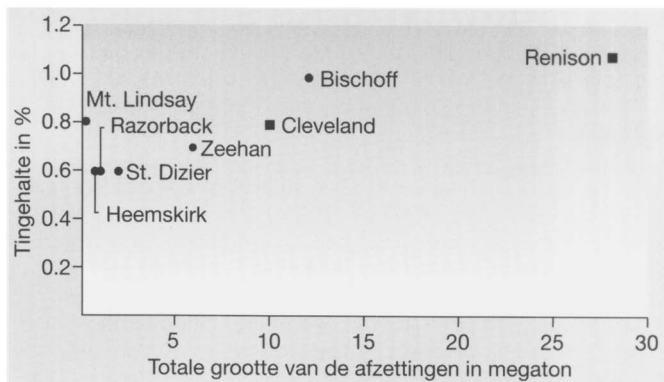
Het grootste deel van de Australische tinvoorkomens liggen in een grote geosynclinaal langs de gehele oostkust van Australië (afb. 3). De West-Tasmaanse tinprovincie vormt hiervan de meest zuidelijke uitloper. Alle afzettingen in het westen van Tasmanië liggen in een 20 km brede en 200 km lange trog van Paleozoïsche sedimenten en vulkanoklastische afzettingen, ingeklemd tussen twee blokken van Proterozoïsche gesteentes. De ongeveer 5 km dikke sedimentaire afzetting in de trog bevat onder andere conglomeraat, zandsteen, chert, schalies, grauwackes, dolomiet en kalksteen. Daarnaast komen kleine hoeveelheden lava en tuffen in deze sedimenten voor, afkomstig van de in die tijd bestaande eilandboog-vulkanen langs de oostelijke helft van de trog. In het Boven-Cambrium intrudeerde een aantal kleine ultramafische lichamen in de sedimentaire afzettingen. Gedurende het Boven-Paleozoïcum werd de regio sterk tektonisch gedeformeerd, met als gevolg grootschalige plooiing en de vorming van grote breuken, begeleid door de intrusie van diverse belangrijke granietlichamen. Hierna gebeurde er relatief weinig in het westen van Tasmanië, totdat het land zwaar onder druk kwam te staan van de Pleistocene glaciaties.

Afb. 4 laat de belangrijkste primaire tinafzettingen zien, die alle voorkomen in de granieten of in de sedimenten vlak bij de granieten. De belangrijkste mijnen bevinden zich in Renison en Cleveland. Een derde belangrijke afzetting bevindt zich bij Bischoff, maar de actieve ontginning werd daar in de jaren '20 beëindigd. Een ander groot voorkomen, dat op dit moment niet ontgonnen wordt, bevindt zich bij Zeehan. Daarnaast zijn er nog kleinere voorkomens bij Mt. Lindsay, Razorback, St. Dizier en Heemskirk. Al deze voorkomens hebben kleine hoeveelheden tin geproduceerd maar zijn op dit moment niet meer in productie. Naast deze voorkomens zijn er nog tientallen zeer kleine primaire en alluviale afzettingen, teveel om in afb. 4 te laten zien, die nog niet zijn ontgonnen. De totale hoeveelheid tin wordt geschat op



Afb. 4. Belangrijkste tinafzettingen op Tasmanië.

zo'n 60 megaton met gemiddeld 0.9 % tin, gebaseerd op de productie in het verleden en bekende voorraden. Afb. 5 laat grafisch de afmetingen van de diverse afzettingen zien, wederom gebaseerd op de productie uit het verleden en de bekende reserves.



Afb. 5. Grootte van de tinafzettingen in westelijk Tasmanië.

Beschrijving van de diverse tinafzettingen

Eerst zullen in het kort de minder belangrijke en niet meer producerende mijndistricten worden besproken, daarna volgt een meer uitgebreide beschrijving van de afzettingen bij Renison en Cleveland.

Bischoff

In december 1871 werd door James Smith bij Mt. Bischoff tin ontdekt. Smith was een Tasmaniër, die twee jaar had doorgebracht op de Mt. Alexander-goudvelden in Victoria tijdens de *goldrushes* rond 1850. Hij keerde terug naar Tasmanië en werd daar een alleenwerkende prospector, zoekend naar mineralen in vooral het noordwesten van Tasmanië. De geïsoleerde ligging maakte de ontwikkeling van de mijn bij Mt. Bischoff nogal moeilijk, maar in 1873 slaagde Smith erin om enkele zakenlieden uit Launceston te overtuigen om de Mount Bischoff Tin Mining Company op te richten. Het bedrijf startte met 12.000 aandelen

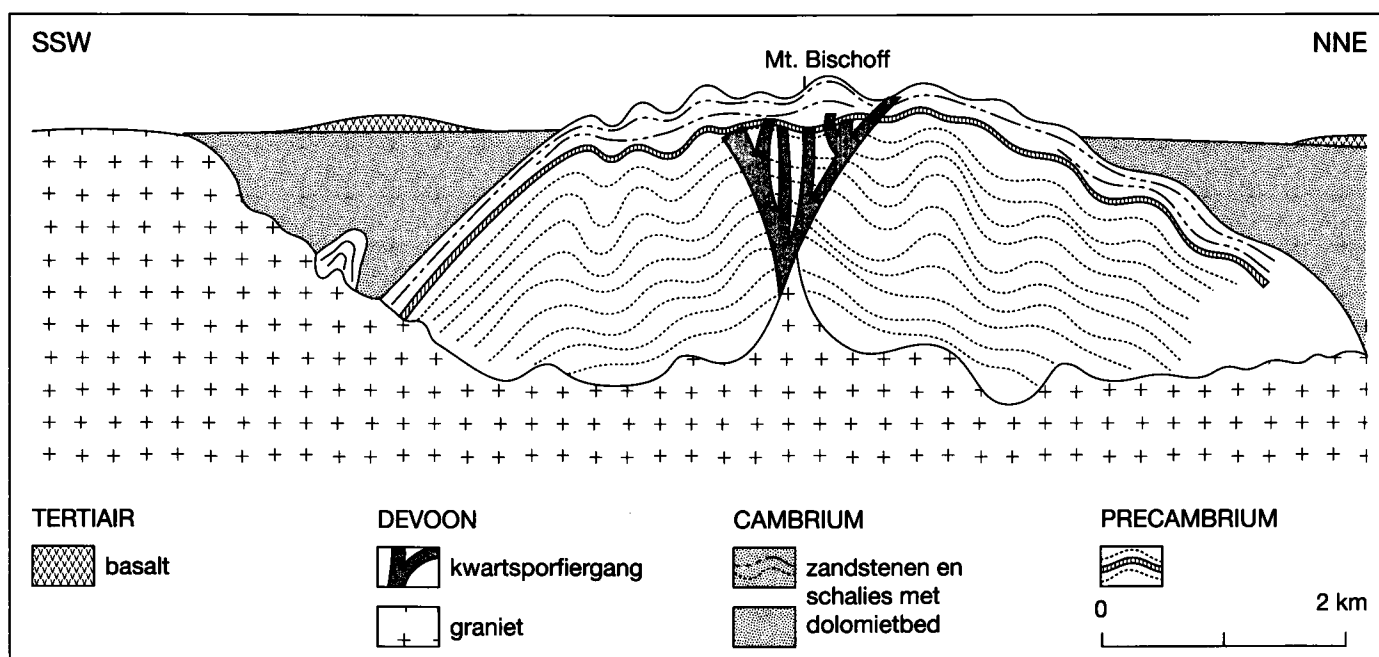
van 10 dollar, maar er werd meer dan 200.000 dollar geïnvesteerd voordat in 1878 voor de eerste keer dividend kon worden uitbetaald. Een belangrijke kostenpost vormde drie jaar lang de aanleg van een door paarden getrokken tramverbinding tussen de mijn en Burnie, een afstand van 77 km. In de periode tussen 1873 en 1942 werd er ongeveer 56.000 ton tin geproduceerd. Begin jaren '80 hebben boringen in de nabijheid van de oude mijn aangetoond, dat er nog een mogelijke voorraad van 6.1 megaton erts met gemiddeld 0.49 % tin aanwezig is. De tinafzetting komt voor in een geplooid en door breuken doorsneden sequentie van Cambrische sedimenten, waarin een zwerm van Boven-Paleozoische granitische dike's zijn geïntrudeerd (afb. 6). Binnen dit gebied zijn drie verschillende typen tinmineralisaties herkend: stratagebonden sulfide-cassiterietafzettingen die dolomietbanken vervangen, breukvullende kwarts-sulfide-cassiteriet-lichamen en cassiteriet-sulfide-afzettingen in omgezette kwarts-veldspaatdikes.

Mt. Lindsay

De primaire afzettingen bij Mt. Lindsay liggen ongeveer halverwege de afzettingen van Cleveland en Renison. Deze afzettingen werden in 1909 ontdekt, maar hebben helaas maar enkele honderden tonnen tin geproduceerd uit een serie ondiepe mijnen en groeves. De reserves zijn klein, alhoewel in de regio een potentieel grote hoeveelheid laaggradige mineralisaties voorkomen. De mineralisaties komen voor in een serie van parallelle, steil wegduikende skarn-afzettingen. Deze skarnen zijn gemiddeld tussen de 10 en 30 m dik en enkele honderden meters lang (en diep). Deze skarns werden gevormd door metasomatische effecten van hydrothermale fluids, afkomstig van de dieper liggende graniet. De skarn-afzettingen zijn op een gecompliceerde manier gezoneerd, maar de meeste cassiteriet komt voor in plaatselijke assemblages van pyrrhotiet-magnetiet-amfibool-mineralisaties.

Razorback

Enkele kilometers ten zuiden van Renison komen de tinafzettingen van Razorback voor. In eerste instantie vond de ontginning plaats in ondiepe tunnels en meer recentelijk in open groeves. Op dit moment is de ontginning stilgelegd. De aanwezige reserves zijn klein en binnen afzienbare tijd lijkt heropening dan ook niet voor de hand liggend. De mineralisaties komen voornamelijk



Afb. 6. Gegeneraliseerde doorsnede door Mt. Bischoff (naar Groves en Solomon, 1964).

voor als vervangingen in een ultramafische sill en voor een klein gedeelte in breuken en als aders in de omringende conglomeraten. De vervangingsafzetting in het ultramafische lichaam bestaat voornamelijk uit een pyriet-pyrrhotien-cassiteriet assemblage, gevormd toen hydrothermale fluids door breuken vanuit de onderliggende graniet omhoog kwamen. Hierbij werd het ultramafisch gesteente voor een belangrijk deel omgezet in talk en vond afzetting plaats van sulfides en cassiteriet.

Zeehan

De begin jaren '80 ontdekte tinafzettingen bij Zeehan komen voor in een veel ouder mijngebied van zilver, lood en zink. Deze afzettingen waren al in 1882 ontdekt, maar alweer uitgeput rond 1913. Na uitvoerig geofysisch en geologisch onderzoek toonden diepe boringen aan, dat er onder enkele van de oude mijnen waarschijnlijk nog zo'n 7 megaton erts met een gemiddeld gehalte van 0.7 % tin voorkomt in diverse afzettingen met complexe mineralogische associaties. De afzettingen komen voor in geplooide en sterk door breuken doorsneden sedimentaire en vulkanische sequenties van Cambrische en waarschijnlijk ook Proterozoische ouderdom. Er wordt aangenomen dat deze afzettingen ontstaan zijn als hydrothermale vervangingen, gegenereerd door de onderliggende en naastliggende granieten. De associaties zijn nogal variabel, maar in het algemeen zijn het complexe mengsels van sulfides (pyriet, pyrrhotien, sfaleriet, galeniet en chalcopyriet) en gangmineralen (carbonaten en kwarts). Tin komt voornamelijk voor als fijn verdeelde cassiteriet, soms met kleine hoeveelheden stanniet ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$). Men is nog niet begonnen met het mijnen van deze afzettingen.

Heemskirk

Een aantal kleine tin afzettingen komen voor rond de zuidelijke grens van de in verscheidene fases gevormde Boven- Paleozoische Heemskirk-graniet. In de tijd tussen 1880 en 1940 werd er ongeveer 300 ton tin geproduceerd in diverse kleine mijnen. Momenteel is er geen enkele mijn actief en de reserves zijn klein, waarschijnlijk minder dan 1 megaton erts met ongeveer 0.6 % tin. De mineralisaties komen voor in kwarts-toermalijn-topaas-dikes en -aders en in sulfiderijke, op pijpen lijkende lichamen. In de eerste afzettingen komt de tin voor als grofkorrelige cassiteriet. De laatste afzettingen zijn meer complex, zowel in vorm als in mineralogie. Meestal wordt een mengsel gevonden van pyriet, sfaleriet en chalcopyriet, tezamen met fijnkorrelige tin-mineralen als cassiteriet en stanniet.

St. Dizier

De St. Dizier-afzettingen liggen zo'n 20 km ten noordwesten van Zeehan aan de noordelijke grens van de Heemskirk-graniet. Deze afzettingen werden in 1877 ontdekt en op kleine schaal in kleine groeves gemijnd, maar deze liggen nu reeds vele jaren stil. De afzettingen komen voor in door breuken doorsneden steil wegduikende kalkstenen van Precambisch-Cambrische ouderdom vlak bij de Boven-Paleozoische Heemskirk-graniet. De afzettingen bestaan uit diverse discontinue lenzen van magnetiet en kleine hoeveelheden ijzersulfides. Men neemt aan, dat de carbonaten sterk zijn omgezet tot serpentienet onder invloed van hydrothermale oplossingen (met daarin opgelost allerlei elementen) uit de granietintrusie en dat de tin werd afgezet in de serpentienet gedurende een latere fase van metasomatose. Het tin komt voor zowel als cassiteriet alsook als een complexe tin-ijzer-mangaanhydroxide-verbinding. De huidige reserves worden geschat op 1 à 2 megaton erts met gemiddeld 0.6 % tin.

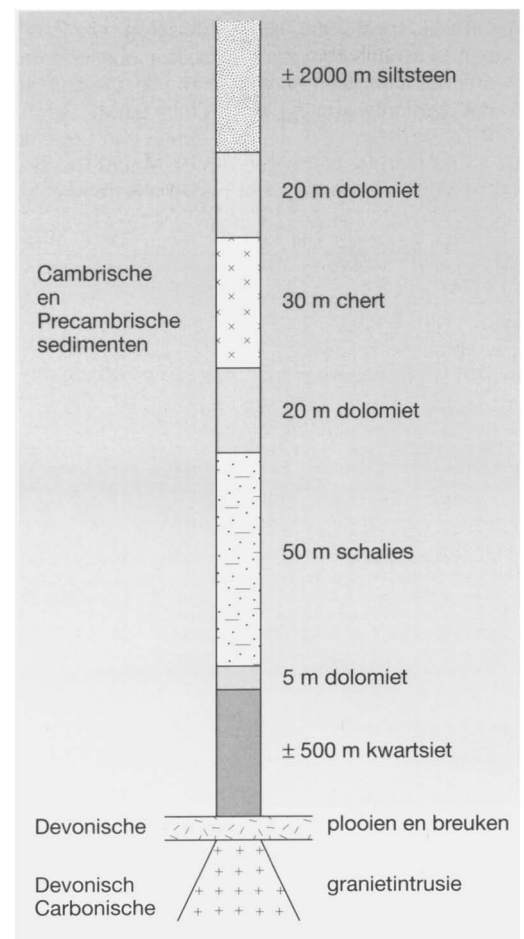
De afzettingen bij Renison

De Renison-ertslichamen werden in 1890 ontdekt in zowel alluviale als in gossan- (ijzeren hoed-) afzettingen. Kleinschalige ontginning van de laatstgenoemde afzettingen vond plaats tot 1920, toen het tin alleen nog aanwezig was in massieve ijzer-

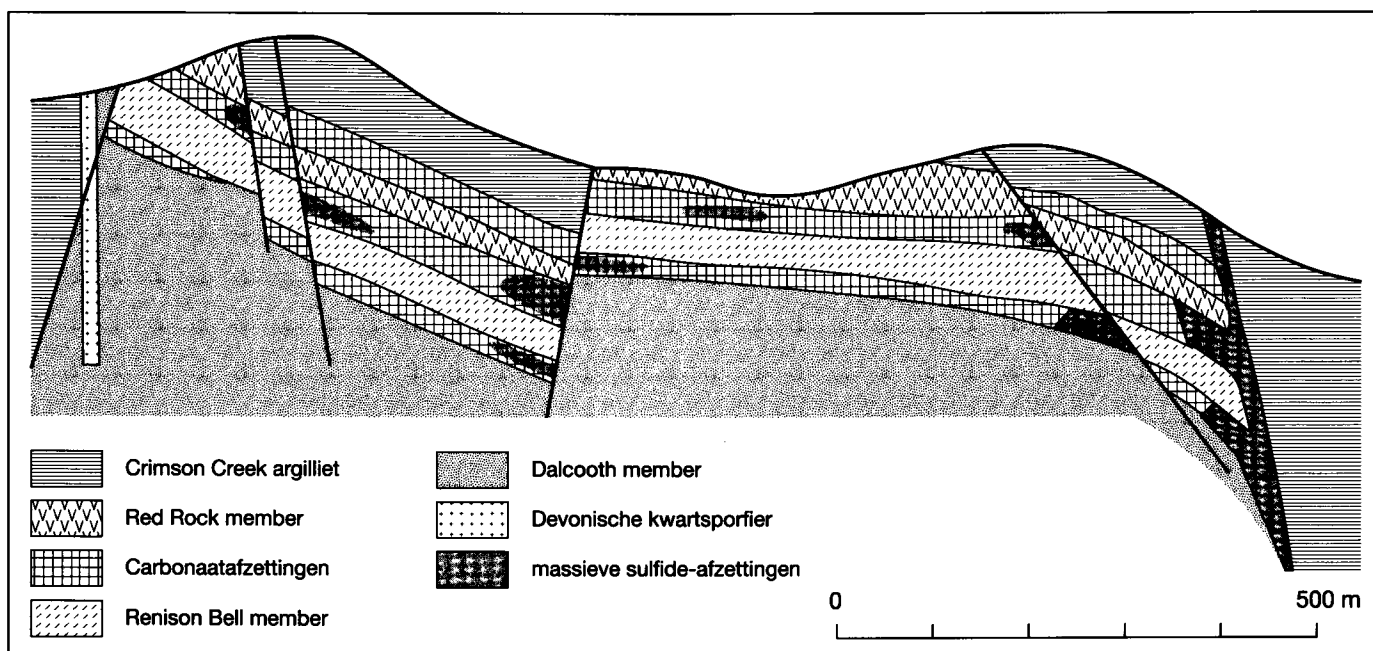
sulfide-afzettingen waaruit het zeer moeilijk te winnen was. Dit probleem werd echter opgelost in de jaren '30 en op kleine schaal vond er weer winning plaats in de cassiteriet/massieve pyrrhotien-ertslichamen, in zowel open groeves als in ondiepe mijnen. Uitgebreide exploratie in de jaren '50 en '60 toonde aanzienlijke reserves aan en het gevolg was grootschalige ondergrondse winning (sinds 1967). Momenteel is er zo'n 10 megaton aan erts gewonnen, goed voor de productie van ongeveer 80.000 ton tin. De huidige reserves worden geschat op nog zo'n 17 megaton, met een gemiddeld tingealte van 1.1 %.

Geologie

De ertslichamen komen voor in een sterk door breuken doorsneden en geplooid sequentie van Onder-Paleozoische sedimenten en vulkanische gesteenten, die later, in het Boven-Paleozoicum, werden geïntrudeerd door een graniet. Een overzicht van de stratigrafie is te zien in afb. 7. Het voorkomen bestaat uit een dikke sequentie van kwartsieten en schalies met daarboven een 5 meter dikke laag dolomiet, gevolgd door 50 meter schalie, dan 20 meter dolomiet, 30 meter hematiethoudende chert en vulkanoklastische sedimenten, wederom 20 meter dolomiet en uiteindelijk een zeer dik pakket van siltsteen en mafische vulkanoklastische sedimenten. Al deze eenheden liggen in een conforme opeenvolging en zijn waarschijnlijk van Cambrische ouderdom. In het Boven-Paleozoicum, waarschijnlijk in het Devoon, zijn de sedimenten geplooid in een noord-west georiënteerde anticline en zeer sterk gebroken. Een belangrijk breuksysteem bevindt zich in de oostflank van de anticline, terwijl een andere belangrijke set van breuken zich heeft ontwikkeld over de anticlinale as. De meeste breuken, of misschien zelfs wel alle, zijn normale danwel zogenaamde *strike-slip* breuken (met horizontale verplaatsing). Na deze deformatiefase vond de intrusie van de graniet plaats. Het granietlichaam komt aan het aardoppervlak enkele kilometers ten zuiden van de mijnen en ligt op ongeveer



Afb. 7.
Stratigrafie
in de
Renison-mijn.



Afb. 8. Dwarsdoorsnede door het Renison Mine-gebied (naar Newnham, 1973).

een kilometer diepte in de nabijheid van de ertslichamen. Een typisch profiel door de mijn is te zien in afb. 8. Een brede zone van thermische metamorfose, met de aanwezigheid van bruine toermalijn als karakteristiek, heeft zich ontwikkeld in de sedimenten waar deze door direct contact met de graniet in hornrots zijn omgezet.

Mineralisatie

Er kunnen in de Renison-ertslichamen eigenlijk drie types van mineralisatie worden onderscheiden die in de winning economisch belangrijk zijn:

- dolomiet-vervangingslichamen;
- afzettingen in de breuken;
- breccie-zones.

All drie de types van mineralisatie vinden hun oorsprong in de onderliggende graniet en zijn in diverse fasen naar de sedimentaire afzettingen gemigreerd langs de veelvuldig voorkomende breuksystemen, bij een temperatuur tussen de 300 en 350°C. Wanneer de hydrothermale oplossingen in contact kwamen met de dolomieten vond er een reactie plaats, waarbij een gasoverdruk ontstond (o.a. als gevolg van CO_2 -ontwikkeling), met als gevolg de ontwikkeling van microbreuksystemen waarin de erts werden afgezet. Op andere plaatsen vond grootschalige afzetting van de mineralisaties plaats in de breukzones en in de

gebreccieerde sedimenten. De mineralogie, en als gevolg daarvan ook de winningskarakteristieken, variëren aanzienlijk, zoals is te zien in Tabel I.

De vervangingslichamen bestaan in het algemeen uit massieve pyrrhotien met kleine hoeveelheden kwarts en talk. Het tin in deze lichamen komt voor als cassiteriet met kristallen in de orde van grootte van ongeveer 0.05 tot 0.20 mm. De ertslichamen in de breukzones zijn over het algemeen meer silicarij en bevatten ook een meer complexe sulfide-associatie met pyriet, pyrrhotien, arsenopyriet en chalcopyriet. Het tin is hier aanwezig als cassiteriet en kleine hoeveelheden stanniet. De kristal grootte van de cassiteriet is hier kleiner en ligt tussen de 0.01 en 0.10 mm. De brecciezone-mineralisaties zijn nog silicarijker met kwarts en toermalijn en ongeveer 5 tot 10 % aan de sulfides pyriet en arsenopyriet. Het tin is hier alleen te vinden als wat grovere cassiteriet met kristallen tussen de 0.10 en 0.20 mm. De individuele ertslichamen kunnen aanzienlijk in grootte verschillen. De stratagebonden vervangingsafzettingen kunnen oplopen van enkele duizenden tonnen tot massieve lagen met pyrrhotien van 300 meter breed, 200 meter lang en 5 tot 20 meter dik. De afzettingen in de breuken komen meestal verspreid voor langs het grote breuksysteem dat is ontwikkeld in de oostflank van de anticline. Dit systeem is gevarieerd gemineraliseerd over een lengte van ongeveer 2 km en tot een diepte van ongeveer 1,2 km met een dikte, variërend van 4 tot 30 meter.

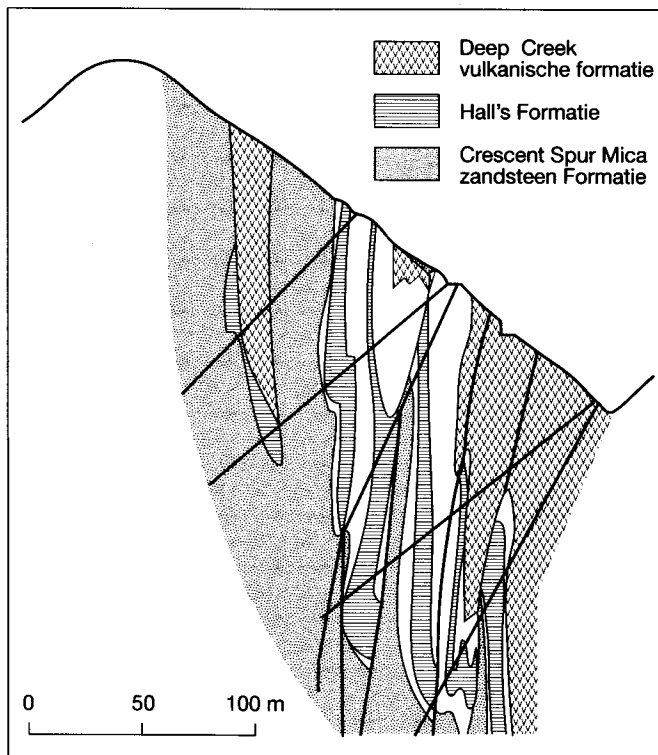
Mount Cleveland, Luina

Het Mt. Cleveland-ertslichaam werd in 1898 ontdekt door de Whyte River goudprospectors, die in eerste instantie dachten dat het om een zilver-loodafzetting ging. In 1908 werd de kleine Cleveland Tin Mining Company gevormd om de ontginning van deze afzetting ter hand te nemen. De company had echter weinig succes, want de geoxideerde zone was slechts ondiep en het onderliggende sulfide-erts was rijk aan tin, maar dat was toendertijd zeer moeilijk te winnen. Het gevolg was dat de mijn in 1914 geleased werd aan derden. De scherpe daling van de tinprijs in 1917 resulteerde in de uiteindelijke sluiting. Maar hiermee was het voor de Mt. Cleveland-mijn nog niet voorbij. In 1960 toonde Aberfoyle Tin N. L. interesse in de afzetting en zij startte tussen 1962 en 1964 een boorprogramma in het ertslichaam, tussen 1964 en 1966 gevolgd door ondergrondse exploratie, bemonstering en metallurgische testen, waarbij belangrijke reserves werden

Dolomiet-vervanging	Afzetting in breuken	Afzetting in breccies
Pyrrhotien	Pyrrhotien	Dolomiet-vervanging
	Pyriet	Pyriet
	Arsenopyriet	
Kwarts	Kwarts	Kwarts
Talk		Toermalijn
Cassiteriet	Cassiteriet	Cassiteriet

Tabel I. Ertsmineralogie in de Renison-mijnen

aangetoond. Het bedrijf bouwde in 1968 meer dan 60 nieuwe huizen bij de oude Whyte River-wijk in Luina en heropende de mijn in februari van dat jaar. Het werd de op een na grootste tinproducent van Australië (na Renison) met een jaarlijkse productie van 1500 ton tin en 500 ton koper. Echter het opleggen van quota door de International Tin Council, in combinatie met een afnemend tingehalte van het erts, resulteerde in de definitieve sluiting van de mijn in 1986. De reserves worden nu geschat op nog zo'n 10.3 megaton erts met gemiddeld 0.78 % tin en 0.32 % koper. Deze laatste mijnoperaties hebben een grote variëteit aan mineralen opgeleverd, waaronder stukken calciet, fluoriet en vivianiet van uitzonderlijke kwaliteit.



Afb. 9. Profiel door de Mt. Cleveland-mijn, kijkend naar het noordoosten.

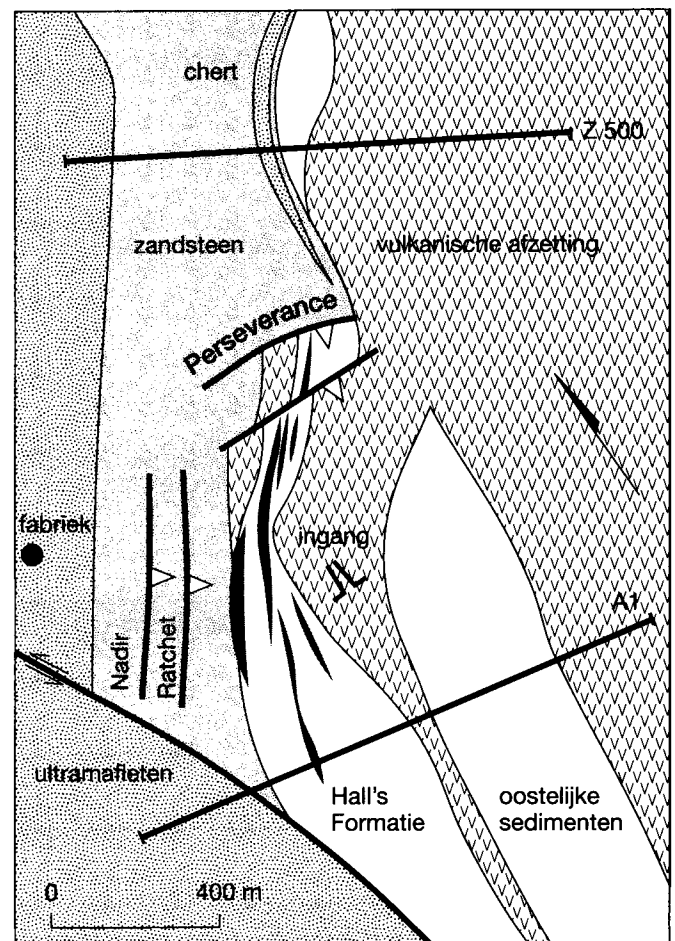
Geologie

De Cleveland tin-koperafzettingen komen voor in een N - Z-eugeosynclinale trog (de Dunas-trog) die zich gedurende het Cambrium in het westen van Tasmanië heeft ontwikkeld. In het mijnegebied komen regionaal fossielloze metasedimenten en vulkanieten voor aan de basis en in het westelijk gedeelte van de Dunas-trog. Na sterke deformatie gedurende de Onder-Midden-Devonische Tabberabberan orogene fase intrudeerde gedurende het Boven-Devoon een aantal granitische plutonen. De Mt. Cleveland-mijn ligt zo'n 4 km ten noorden van de noordelijkste grens van een van de grootste plutonen, de Meredith-graniet. Deze graniet is voornamelijk van porfiritische-biotiet/adamelliet/graniet-samenstelling en komt over zo'n 300 km² aan de oppervlakte. Rondom de graniet bevindt zich een contact-metamorf aureool van ongeveer 2.5 km dikte, voornamelijk bestaande uit albiet-epidoot- en hoornblende-hoornrots. De Mt. Cleveland-afzettingen zijn stratagebonden en komen voor als een serie van subparallele ertslichamen met pyrrhotien-pyriet-cassiteriet-stanniet-chalcopryiet-mineralisaties (in mindere mate komen ook marcasiet, sfaleriet, tetrahedriet, chalcociet en covellien voor) in goedgelaagde carbonaat-chert-schalie-eenheden (Hall's Formatie). Deze eenheid ligt conform over een turbiditische grauwwacke-schalie-eenheid (Crescent Spur Mica Formatie). Hierboven ligt een spilitische basalt-pyroklasteneenheid (Deep Creek Basische Vulkanieten) (afb. 9). De subverticale

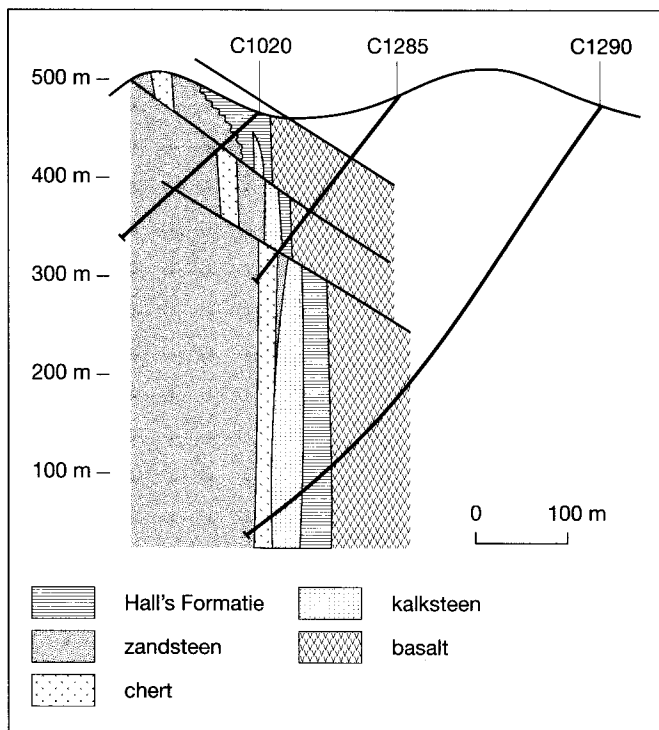
ertslichamen met een NO-strekking hebben een maximale dikte van 30 meter en een lengte van 550 meter. Deze stratagebonden ertslichamen lijken zowel in ruimtelijke verspreiding als in ouderdom te zijn geassocieerd met een pijpvormig kwartsporfier-lichaam, omringd door W-Mo-Bi- (wolfram-molybdeen-bismut-) kwartsaders in de Crescent Spur Mica-zandsteen in het centrale deel van de mijn. De zonering van de metalen en de omzettingen in het omringende gesteente duiden erop dat de mineralisatie voornamelijk na de deformatie is gevormd en is voortgekomen uit het centrale kwartsporfier-lichaam. De stratagebonden afzettingen werden gevormd door metasomatische omzetting van de carbonaatafzettingen door hydrothermale oplossingen gedurende een late fase van de Meredith-granietintrusie.

In de mijn liggen de stratigrafische eenheden ruwweg in een noordoostelijke strekking en subverticaal (afb. 10 en 11). De oudste eenheid, de Crescent Spur Mica-zandsteen, beslaat de kern van een regionale anticline waarvan de as subhorizontaal ligt ten noordwesten van de mijn. Verder naar het noorden gaat de Crescent Spur Mica-zandsteen via een breukcontact over in de geserpentiniseerde ultramafieten van het Cambrië (?) Heazlewood River Complex. Nauwkeurige bestudering van de macroscopische en microscopische structuren heeft een complexe geschiedenis aangetoond met breukvorming en plooing als gevolg van de Tabberabberan-orogeenese. Kleinschalige plooien zijn goed ontwikkeld in de fijn-gelaagde afzettingen van de Hall's Formatie (vooral de gemineraliseerde afzettingen, schalies en cherts) en in de tuffhorizonten in de Deep Creek vulkanieten.

In de mijn zijn op dit moment 11 lenzen bekend met stratagebonden sulfide-cassiteriet-mineralisaties, waarvan er acht zijn ontgonnen. De lenzen (tot zo'n 550 meter lengte, 30 meter dikte en 800 meter diep) liggen subparallel en *en echelon* ten opzichte



Afb. 10. Geologische plattegrond van de Mt. Cleveland-mijn.



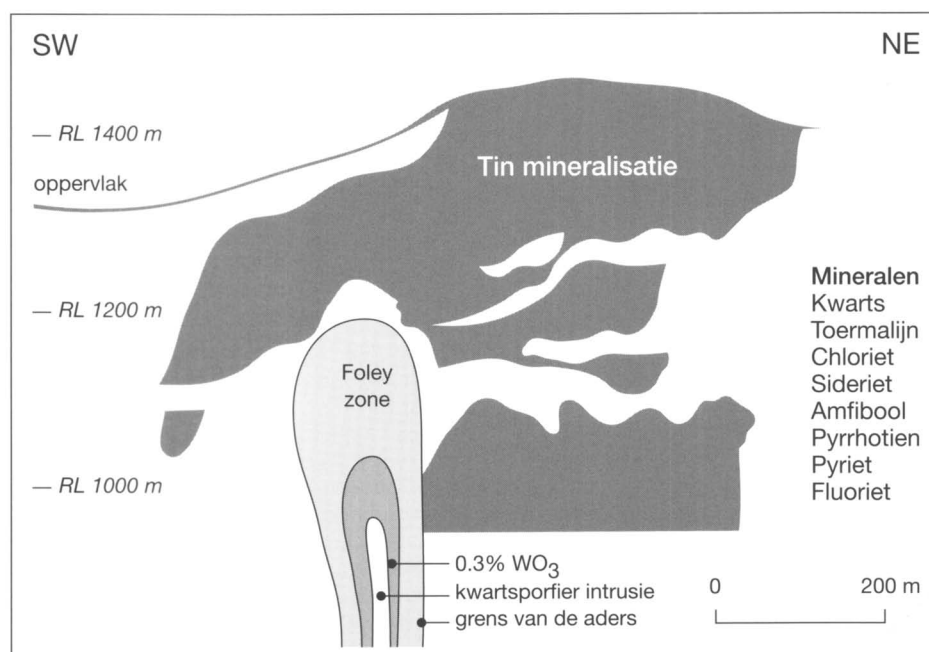
Afb. 11. Profiel door de Mt. Cleveland-mijn volgens lijn Z 500 in afb. 10.

van elkaar met toenemende diepte in zuidoostelijke richting (afb. 11). De lenzen liggen in het algemeen subverticaal. Elke lens ligt conform met de rest van de afzettingen en bestaat uit een afwisseling van gemineraliseerde lagen en chert. De contacten met de omringende gesteentes zijn scherp. De gemineraliseerde lagen vertonen een samenstellingsgelaagdheid, die de oorspronkelijke gelaagdheid weergeeft. Naast de afzettingsgebonden afzettingen komt tin in de Mt. Cleveland-mijn ook voor als een omgezette cassiteriethoudende kwarts-veldspaat-porfierintrusie (*dike*), omgeven door een netwerk van kwarts-fluoriet-aders met wolfram-molybdeen-bismut-mineralisaties. Deze staan bekend als de Foley Zone; de ontginning daarvan is op dit moment niet economisch rendabel (afb. 12).

Exploratiemethodes

Het westelijk gedeelte van Tasmanië is nogal bergachtig met veel vegetatie, het is er koud en nat. Deze combinatie van factoren maakt de exploratie van nieuwe tinafzettingen lastig en vooral ook duur. Daarnaast is de toegang tot deze gebieden moeilijk en liggen de salarissen van het personeel hoog. Veel van het transport naar de verafgelegen gebieden moet gebeuren met een helikopter.

Afb. 12. Longitudinale doorsnede door de Mt. Cleveland-mijn met lens B en de Foley Zone.



Exploratie bestaat normaliter uit een goed gecoördineerd programma van geologische kartering, geofysische en geochemische surveys en boringen. Als gevolg van de grote hoeveelheid regen ligt het grondwaterniveau hoog en er is dan ook geen ververing tot op grote diepte. Dit is een aanzienlijk voordeel bij de kartering en het geofysisch onderzoek. De meeste van de types afzettingen die hier voorkomen reageren op een groot aantal geofysische technieken, zoals magnetisch, elektromagnetisch en geïnduceerd polarisatie-anomalieonderzoek. Het gevolg is dat al deze methodes worden gebruikt. Ook geochemische methodes, voornamelijk via het nemen van bodemonsters, worden veel toegepast, echter met sterk wisselende resultaten. Boren is waarschijnlijk de meest toegepaste methode in de tinexploratie op Tasmanië. De totale lengte van alle boringen van alle tinexploratie-organisaties in het gebied ligt in de orde van grootte van zo'n 30 tot 40 km per jaar.

Geraadpleegde literatuur

- Collins, P.L.F. en Jennings (1982) A review of Tasmania's tin resources and their mineralogy. Tasmanian Mines Department publication 1982/23.
- Cox, R. en Dronseika, E.V. (1988) The Cleveland Stratabound Tin Deposits, Tasmania, Australia: A Review of Their Economic Geology, Exploration, Evaluation and Production. In: *Geology of Tin Deposits in Asia en the Pacific* (Hutchison, C.S. editor), Springer Verlag New York, 112-123.
- Haupt, J. (1988) Minerals of Western Tasmania. *The Mineralogical Record* 19, 381-388.
- Hutchison, C.S. (editor) (1988) *Geology of Tin Deposits in Asia en the Pacific*. Springer Verlag New York, pp 718.
- Newnham, L.A. (1973) *Geology of the Renison Belt Tinfield*. Unpublished report, 6 pp.
- Newnham, L.A. (1988) The Western Tasmanian Tin Province with Special Reference to the Renison Mine. In: *Geology of Tin Deposits in Asia en the Pacific* (Hutchison, C.S. editor), Springer Verlag New York, 101-111.
- Solomon, M. (1981) An introduction to the geology and metallic ore deposits of Tasmania. *Econ. Geol.* 76, 194-208.