

Water als minerale grondstof

door Prof. Dr. Joris F. Geys
Universiteit Antwerpen, RUCA

Water als mineraal

Een "mineraal" is volgens Webster's New International Dictionary: "any of various naturally occurring homogeneous or apparently homogeneous substances, obtained from the ground". Water beantwoordt volledig aan die definitie. Meer zelfs: water is het meest voorkomende en het meest belangrijke mineraal, dat deze planeet ons biedt. Zonder water is immers geen enkele vorm van economische activiteit mogelijk; het is dan ook een hoeksteen voor 's lands economie. Ja, zelfs het leven zelf is volkomen afhankelijk van de beschikbaarheid van water, in vloeibare toestand. Water komt zowel boven, als onder het aardoppervlak voor. Het water in zeeën, meren, waterlopen, kunstmatige reservoirs, enz. noemt men oppervlaktewater. In zeewater zijn zoveel zouten opgelost, dat zijn bruikbaarheid voor industriële, agrarische en huishoudelijke doeleinden zeer beperkt is. Slechts 3% van de voorraad vloeibaar zoet water op aarde bestaat uit oppervlaktewater. Veruit de belangrijkste voorraad zoet water, in de ganse wereld, wordt gevormd door het grondwater. Grondwater wordt zeer intens ontgonnen en gebruikt voor irrigatie, als drinkwater en voor industriële doeleinden. Het beheer van de beschikbare voorraden gebeurt niet altijd even oordeelkundig, zodat in sommige gebieden de watervoerende lagen ongeschikt worden, of uitgeput dreigen te raken. Door een behoorlijke kennis van de hydrogeologie, d.i. de deelwetenschap die zich bezighoudt met de studie van het grondwater, kan veel narigheid voorkomen worden.

De hydrologische kringloop

Het eeuwigdurende spel van verdamping en condensatie, waardoor water onophoudelijk over deze planeet circuleert, wordt de hydrologische kringloop genoemd (afb. 1). De drijfkraft wordt daarbij geleverd door de straling van de zon. Onder invloed van die straling verdampt immers een deel van het zeewater. Tengevolge van vrij ingewikkelde atmosferische processen condenseert een deel van de waterdamp in de atmosfeer, eerst tot wolken en nadien tot neerslag. De aanvoer van water op het landoppervlak van de aarde bestaat vrijwel geheel uit neerslag. Dit water wordt soms ook "meteorisch water" genoemd. "Juveniel water", dat van magmatische oorsprong is, is weinig belangrijk. Water, dat samen met sedimenten werd afgezet en in de poriën van het gesteente achterbleef, noemt men "connaat water". Het water dat op de vastelanden wordt aangevoerd vloeit gedeeltelijk langs het oppervlak af en dringt gedeeltelijk in de bodem. Een deel van deze laatste fractie wordt door capillaire krachten, en ook ten gevolge van de activiteit van de planten, weer aan het

oppervlak gebracht, waar het kan verdampen. Deze terugkeer naar de atmosfeer van een deel van het neerslagwater, door een complex van anorganische en organische factoren, wordt "evapotranspiratie" genoemd.

Het gedeelte van het ingesijpelde water dat niet aan het aardoppervlak terugkeert zakt onder invloed van de zwaartekracht dieper en dieper de grond in, tot een zone bereikt wordt, waarin alle poriën van het gesteente met water zijn gevuld. Dit is het grondwaterreservoir. De bovenzijde ervan noemt men de "grondwaterspiegel". Op die plaatsen waar de grondwaterspiegel door natuurlijke of kunstmatige hellingen van het terrein aangesneden wordt komt het grondwater aan de oppervlakte. Dit zijn dan bronnen. Een geboorde put die de grondwaterspiegel bereikt, en waarin zich grondwater verzamelt, wordt eveneens een bron genoemd.

Bronnen en neerslag voeden de waterlopen, waardoor het water weer naar de zee vloeit. De hydrologische eigenschappen van watervoerende gesteenten worden vervalpt in een aantal parameters, waarvan de porositeit en de permeabiliteit de belangrijkste zijn.

De meeste gesteenten bestaan niet alleen uit vast materiaal, maar ook uit holten. Het zijn deze holten, die gasvormige of vloeibare bestanddelen kunnen bevatten: bodemlucht, aardgas, aardolie, of, in veruit de meeste gevallen, grondwater. Men kan daarbij een onderscheid maken tussen syngenetische en postgenetische holten.

Syngenetische holten ontstaan bij de vorming van het gesteente. Het zijn o.a. de poriën waardoor de minerale korrels van elkaar worden gescheiden, of de gasblaasjes die men aantreft in sommige lava's. **Postgenetische** holten ontstaan nadat het gesteente gevormd werd, o.a. ten gevolge van breuktektoniek en oplossingsverschijnselen. Breuken, diaklazen en grotten behoren tot de tweede groep.

De porositeit (α) van een gesteente is het volumeprocent dat ingenomen wordt door de holten (w), t.o.v. het totale volume (V): $\alpha = 100 w / V$. Het is tevens een maat voor de grootst mogelijke hoeveelheid water die het gesteente bevatten kan, nl. het volume dat nodig is om alle poriën volledig te vullen.

Vele holten hebben capillaire of subcapillaire afmetingen, zoals de fijne haarscheurtjes en de poriën tussen zand- en kleikorrels. Grote holten worden gevormd door bijv. belangrijke barsten en grotten. Men kan daardoor zowel een micro- als een macroporositeit onderscheiden. In zand en klei is de microporositeit van belang wegens het voorkomen van syngenetische poriën. Vele kalkstenen daarentegen vertonen in de eerste plaats een macroporositeit, dank zij het bestaan van een netwerk van postgenetische oplossingsholten en grotten. De microporositeit van kalkstenen kan daarentegen zeer klein zijn.

In losse sedimenten hangt de porositeit ook in grote mate af van de manier waarop de korrels gestapeld zijn en van hun sorteringsgraad. Wanneer de zandkorrels compact gestapeld zijn is het poriënvolume, en dus ook de porositeit, klein. Bij slecht gesorteerde sedimenten wordt een groot deel van het poriënvolume tussen de grotere korrels ingenomen door kleinere minerale fragmenten. Ook in dat geval is een kleine porositeit het resultaat.

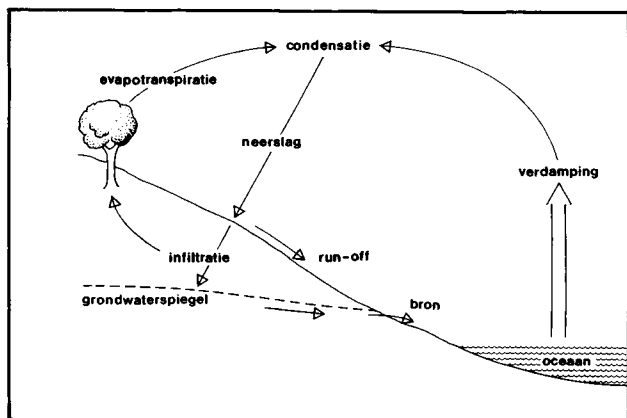
De porositeit van de meeste gesteenten ligt tussen 0 en 60%:

klei:	45 - 55 %;	zandsteen:	10 - 20 %
leem:	40 - 50 %;	leisteel:	1 - 10 %
zand:	30 - 40 %;	kalksteen:	1 - 10 %

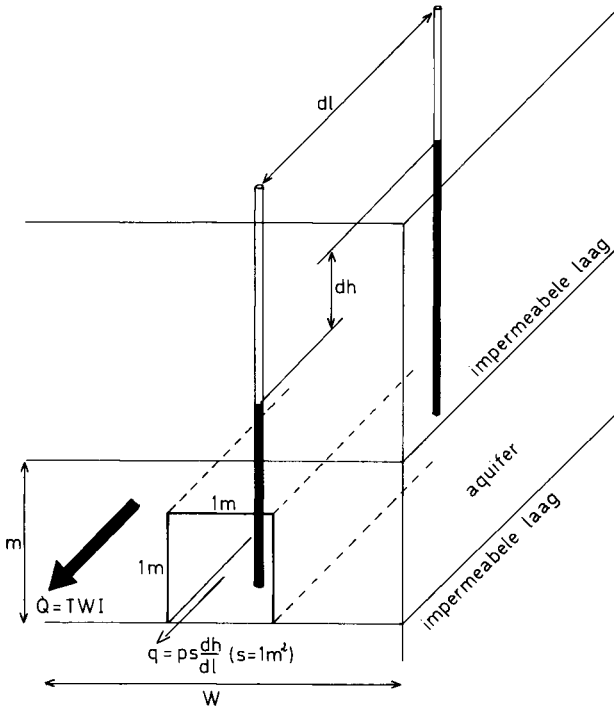
Permeabiliteit

Om de ontginning van water mogelijk te maken, is het niet voldoende dat een gesteente water bevat. Dit water moet ook een voldoende grote beweeglijkheid bezitten om uit het gesteente te kunnen vloeien. Die beweeglijkheid kan in hoge mate geremd worden door o.a. sterke capillaire krachten, of door het ontbreken van verbindingen tussen de waterhoudende holten. De porositeit

Afb. 1. De hydrologische kringloop.



alleen zegt dus niet voldoende over waterhoudend gesteente. De permeabiliteit is een parameter die informatie verschaft over de beweeglijkheid van het grondwater in het gesteente. Klei heeft een zeer grote porositeit (zie tabel), maar een uiterst geringe permeabiliteit. De poriën tussen kleipartikels zijn immers zo klein, dat alle water door capillaire en moleculaire krachten wordt vastgehouden. Men zegt daarom dat klei impermeabel, of ondoorlaatbaar is. De permeabiliteit van een gesteente wordt geformuleerd in de wet van Darcy. Zie hiervoor afb. 2 met bijschrift. Permeabiliteit wordt uitgedrukt in m per dag.



Porositeit en permeabiliteit zijn op geen enkele wijze functie van elkaar. Zo kunnen gesteenten met verschillende porositeit toch nog een vergelijkbare permeabiliteit bezitten, of omgekeerd. Bij losse sedimenten speelt de korrelgrootteverdeling wel een grote rol. Een gering gehalte aan klei of leem kan een zand al weinig of niet doorlaatbaar maken. De fijne fractie verstopt immers de poriën en belemmert de beweging van het water. Toch is de permeabiliteit niet af te leiden uit eenvoudige zeefproeven. Zulke analyses houden immers geen rekening met o.a. de stapelwijze, de vorm en de oppervlaktekenmerken van de korrels, terwijl deze factoren toch een grote invloed kunnen hebben op de permeabiliteit. Ongerode steekmonsters geven betere inlichtingen. In onderstaande tabel wordt van enkele gesteenten de permeabiliteit gegeven:

klei	$1 \cdot 10^{-5}$ à $1 \cdot 10^{-7}$ m/dag;
leem	$1 \cdot 10^{-1}$ m/dag;
fijn zand	$1 \cdot 10^{-1}$ à 10 m/dag;
grof zand	1 à 200 m/dag;
grind	1 à 1000 m/dag.

Afb. 2. Schematische voorstelling van de wet van Darcy. Door een willekeurige oppervlakte s (hier 1 m^2), loodrecht op de stroomrichting in de aquifer, stroomt per dag een hoeveelheid water, gegeven door $q = p \times s \times (dh : dl)$. dh wordt gegeven door het verschil in stijghoogte van het grondwater in twee piëzometers (peilbuizen) en dl door hun onderlinge afstand; p is de permeabiliteit. Uitgebreid over de gehele aquifer geeft de wet van Darcy: $Q = T \times W \times l$, waarin $T = P \times m$, de transmissibiliteit; $l = dh : dl$, het piëzometrisch verhang en W de breedte van de laag. De permeabiliteit van een gesteente kan dus worden omschreven als de hoeveelheid water in m^3 die per dag door 1 m^2 stroomt, onder een piëzometrisch verhang van $1 : 1$ en bij een temperatuur van 15°C .

Afb. 3. Het opmeten van de waterstand in een piëzometer. Op foto 3A wordt de sonde getoond, die in de peilbuis zal worden neergelaten. Op foto 3B gaat het lichtje van het meetapparaat branden, zodra de sonde het wateroppervlak bereikt.



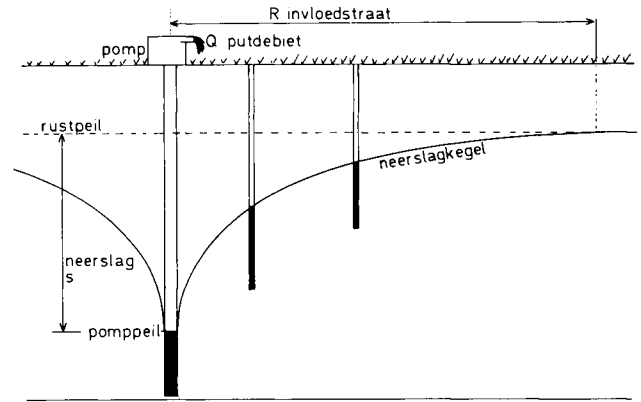
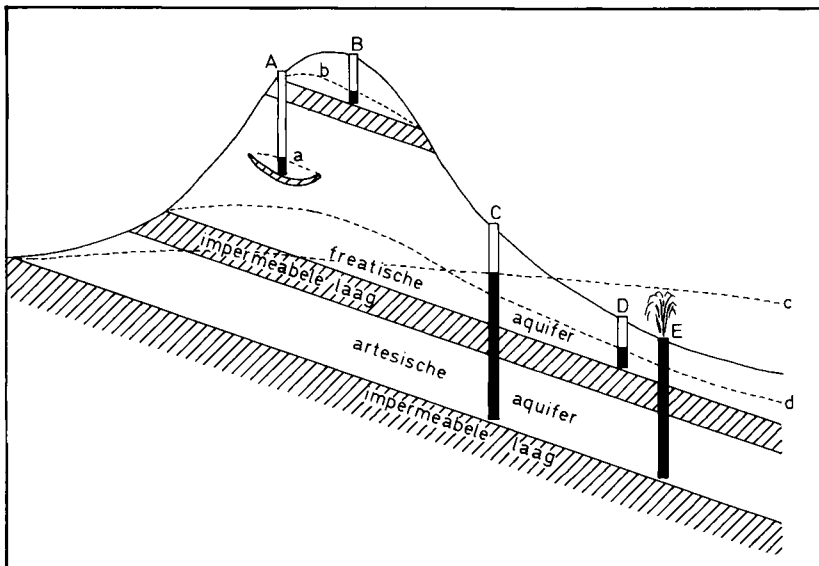
Aquifers

Een gesteentelaag of een formatie waaruit water kan worden gewonnen, wordt een aquifer genoemd. Een aquifer moet een voldoende grote transmissibiliteit bezitten en dus bestaan uit gesteenten met een hoge permeabiliteit en een hoge porositeit. Zand- en grindlagen zijn dikwijls erg geschikte aquifers. Het zijn vooral dergelijke lagen die ontgonnen worden in Vlaanderen en in Nederland: Tertiaire mariene zanden, zandige fluviaatle valleiopvullingen, duinformaties, terrasgronden, enz. De porositeit en de permeabiliteit van kalksteen kunnen van plaats tot plaats zeer sterk verschillen. In sommige kalksteenformaties is een groot gedeelte van het gesteente door oplossing verdwenen. De holten die op die manier ontstaan zijn kunnen veel water bevatten. Zelfs magmatische gesteenten, zoals sommige bazalten, kunnen soms goede aquifers vormen, zodra ze maar voldoende barsten en spleten vertonen waarin het water kan circuleren. De porositeit en permeabiliteit van kristallijne en metamorfe gesteenten zijn meestal zo klein, dat deze vrijwel geen water leveren. Kleiige sedimenten vormen eveneens slechte aquifers, door hun kleine permeabiliteit. Het zijn impermeabele, of ondoorlatende, gesteenten, die de ondergrondse beweging van het grondwater belemmeren of stuwten.

In een aquifer die tot aan het aardoppervlak reikt vult het water alle poriën, tot aan de grondwaterspiegel. De hydrostatische druk van het grondwater is er overal in evenwicht met de atmosferische druk. Een dergelijke aquifer wordt een "freatische" laag genoemd. De hydrostatische druk in een aquifer kan gemeten worden met behulp van piëzometers. Dit zijn vertikaal in de grond geplaatste buizen met een poreus gedeelte, dat in de aquifer doordringt. De stijghoogte van het water in de piëzometer wordt gemeten met behulp van een sonde. Af. 3 A en B. Als men piëzometers zou kunnen aanbrengen op een zeer groot aantal plaatsen, in dezelfde aquifer, dan zouden de stijghoogten daarin een denkbeeldig vlak bepalen, dat de hydrostatische druk in elk punt aangeeft. Dit vlak wordt het "piëzometrisch oppervlak" genoemd. In een freatische aquifer valt het piëzometrisch oppervlak ongeveer samen met de waterspiegel.

In sommige gevallen is de hydrostatische druk groter dan de atmosferische. Dit gebeurt wanneer de aquifer naar boven toe is begrensd door een impermeabele laag. De waterspiegel valt dan samen met de top van de aquifer, maar het piëzometrisch oppervlak ligt dan veel hoger, zodat het water in de piëzometers zal opstijgen. Zulke aquifers noemt men "artesisch". Het kan gebeuren dat het piëzometrisch oppervlak zelfs boven het maaiveld ligt. Het water spuit dan op, uit het boorgat (afb. 4).

Afb. 4. Waterspiegels en aquifers. a. hangende waterspiegel; b. stuwwaterspiegel; c. freatische waterspiegel; d. piëzometrisch oppervlak van de artesische aquifer. A, B, C, D en E zijn piëzometers; C en E zijn artesische putten; E is een spuitende bron. Impermeabele lagen zijn gearceerd.

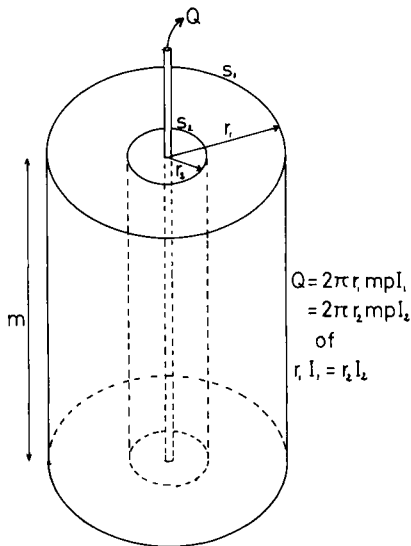


Afb. 5. Rondom de pompput ontstaat een neerslagkegel, waarvan de vorm en de afmeting kan worden vastgesteld in piëzometers.

Boven geïsoleerde, impermeabele lenzen kunnen kleine, afzonderlijke waterspiegels met freatische kenmerken gevormd worden (afb. 4). Dit zijn hangende waterspiegels. Het volume van hangende waterspiegels is meestal zo klein dat ze, bij ontginning, gauw uitgeput zijn. Hetzelfde geldt voor stuwwaterspiegels, die hier en daar in een heuvel, boven een impermeabele laag, voorkomen (afb. 4). De aanwezigheid van stuwwater is dikwijls afhankelijk van het seizoen. Dergelijke watervolumes ontstaan en groeien in het natte seizoen, maar krimpen en verdwijnen zelfs geheel in het droge seizoen.

De waterput en zijn gedrag

Veruit het meeste water voor huishoudelijk en agrarisch gebruik wordt gewonnen in kunstmatig geboorde waterputten. In vele gevallen is dit niet meer dan een vertikaal in de grond geplaatste buis, waarop gepompt wordt. Het gedeelte van de buis dat in de aquifer doordringt is poreus (de filter); het gedeelte boven de waterspiegel, of buiten de aquifer, is gesloten en ondoorringbaar. Om de elementen te bepalen voor de keuze van een definitieve waterput voert men dikwijls een proefboring en een proefbemaling uit. Aan de hand van hetgeen men gedurende die proefnemingen waarneemt kan men de kenmerken van de aquifer berekenen (o.a. zijn transmissibiliteit), zodat een oordeelkundige keuze van de inplanting van de definitieve waterput mogelijk wordt. Bij een proefbemaling kunnen de volgende gegevens rechtstreeks gemeten worden (afb. 5):

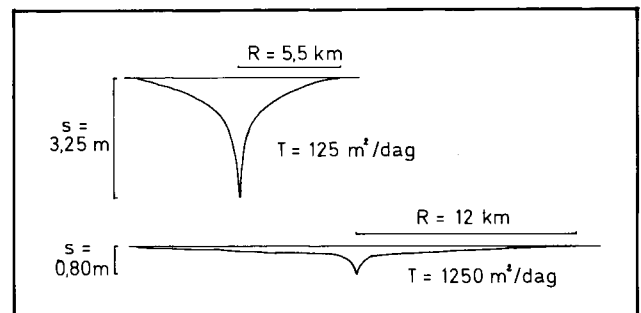


Afb. 6. Wanneer het grondwater naar de pompput toe wordt gezogen, stroomt het daarbij door concentrische cylinderoppervlakken, die kleiner worden naar de put toe. Ten gevolge daarvan neemt het piëzometrisch verhang toe, naarmate de afstand tot de put kleiner wordt.
 $Q = 2\pi r_1 m p I_1 = 2\pi r_2 m p I_2$ of $r_1 I_1 = r_2 I_2$
 r is hierbij de afstand tot de pompput. Omdat $I = dh / dl$, impliceert dit een toename van dh , dus een verlaging van het piëzometrisch oppervlak ter plaatse.

Het putdebiet Q is het volume water dat per tijdseenheid door de put wordt afgegeven. Het wordt uitgedrukt in m^3/uur .
 Het rustpeil noemt men de stand van de waterspiegel in de put, wanneer geen water aan het reservoir onttrokken wordt. Het wordt aangegeven in m onder maaiveld.
 Het pompeil is de stand van de waterspiegel in de put, wanneer er gepompt wordt. Het wordt eveneens aangegeven in m onder maaiveld.

De neerslag of peilverlaging (s) is het verschil tussen het rust- en het pompeil, in m . Het stelt het drukverschil voor, dat ontstaat door de werking van de pomp. Dit drukverschil doet het water, door de aquifer, naar de pompput stromen.
 De specifieke capaciteit, of het specifiek putdebiet $Q : s$, is het putdebiet per eenheid van neerslag. Het wordt uitgedrukt in $m^3/uur/m$.

De invloedstraal R is de afstand van het centrum van de pompput tot het punt waar de invloed van de pomping zich nog net doet voelen.
 Zodra het pompen begint, ontstaat in de omgeving van de punt een onderdruk, waardoor het water uit alle richtingen wordt aangezogen. Naarmate dit water dichterbij de put komt, dient eenzelfde volume door steeds kleinere cilindervormige oppervlakten te stromen, om het debiet constant te houden. Uit afb. 6 met bijschrift blijkt, dat, indien de afstand tot de pompput afneemt, het piëzometrisch verhang in dezelfde mate moet toenemen. Met andere woorden: het piëzometrisch oppervlak daalt, naarmate men de pompput nadert. Het krijgt de vorm van een omgekeerde kegel: de depressiekegel of neerslagkegel. De vorm en de afmetingen ervan hangen af van het pompdebiet Q en van de transmissibiliteit T . In aquifers met kleine transmissibiliteit is de kegel scherp en heeft hij een kleine basis. Bij grote transmissibiliteit is de kegel sterk afgeplat met een brede basis (afb. 7).



Afb. 7. De vorm en de afmeting van de neerslagkegel en de invloedstraal zijn functie van de transmissibiliteit, en dus van het watervoerende gesteente.

Om de invloed van een proefbemaling op de omgeving na te gaan worden rondom de pompput, en op verschillende afstanden ervan, waarnemingsputten of piëzometers geplaatst. Hierdoor kan men de vorm van de depressiekegel vaststellen. Uitgaande van die gegevens kunnen transmissibiliteit en gemiddelde permeabiliteit van een aquifer berekend worden.

LITERATUUR

Brouwer, H. (1978): Groundwater Hydrology, 480 p., Tokyo: McGraw-Hill & Kogakusha (0-07-066186-3).
 Freeze, R.A. & J.A. Cherry (1979): Groundwater, 604 p., Englewood Cliffs: Prentice Hall (0-13-365312-9).
 Matthes, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers, 324 p., Berlin: Borntraeger (3-443-01006-7).

De Shetland-eilanden

Geologische ervaringen van een Gea-lezer

door H. Perdeck

Enkele jaren geleden heb ik met een vriend een tiendaags bezoek aan de Shetland Isles gebracht. Op deze Schotse eilanden hebben we enkele tientallen vindplaatsen bezocht, vrijwel allemaal afkomstig uit de regionale gids Orkney and Shetland, en wel uit het gedeelte over economische geologie en excursiebeschrijvingen. De voornaamste reden voor dit bezoek was het voorkomen van een Devonische vis, die op Orkney en in de rest van Schotland ontbreekt. Ook wilden we de voorkomens van chroom- en nikkelmineralen, van stauroliet, magnetiet, kyaniet, granaat, serpentijn, talk etc. bezoeken.
 Vissen hebben we er niet gevonden, maar wel een aantal aparte en mooie mineralen. Hiervan zullen enkele vindplaatsen worden gegeven.

Ligging en bewoning

De 50 x 110 km grote eilandengroep ligt 165 km ten NO van het Schotse vasteland en 340 km ten W van het Noorse Bergen en is bereikbaar vanuit o.a. Aberdeen. Onze heenreis ging van Hull, via N-Engeland en Z-Schotland naar Aberdeen en per veerdienst naar Lerwick, de hoofdstad van Shetland. We gingen terug met een vrachtschip dat enige passagiers-accommodatie had naar Stromness (Orkney) en daarvandaan per veerboot naar Thurso op het Schotse vasteland.
 Er bestaat trouwens een bootdienst Hirtshals (Denemarken) - Schotland - Orkney - Shetland - Fär Öer - IJsland - Bergen (Noorwegen) - Hirtshals.