duinenrijen. De opbolling van de grondwaterspiegel maakt dat duinvalleien van nature erg nat zijn en soms ook open water hebben. De samenstelling van het water in de zoetwaterlens is over het algemeen kalkhoudend doordat het duinzand kalkrijk is afgezet. Ontkalking van bovenaf maakt het mogelijk dat ook ondiep kalkarm water voorkomt. In de natte duingebieden zijn daardoor in het ondiepe grondwater gradiënten te verwachten tussen kalkarm, kalkrijk en zout water.

## 4. Samenvatting en conclusies

In de geohydrologische opbouw van Noord-Nederland zijn in de regel twee watervoerende pakketten te onderscheiden, waarvan de voornaamste wordt gevormd door fluviatiele Pleistocene afzettingen van tientallen meters dikte. De basis van het geohydrologisch systeem ligt op ongeveer 200 m diepte. In het Holocene deel van Noord-Nederland is een slechtdoorlatend afdekkend pakket aanwezig. In het Pleistocene deel ligt op het Drents Plateau een discontinue, dunne slechtdoorlatende keileemlaag. Deze laag is er de oorzaak van dat het neerslagoverschot op het plateau voor het grootste deel ondiep naar de beekdalen wordt gevoerd en als oppervlaktewater het plateau verlaat.
Op het Drents Plateau zijn grondwaterstromingsstelsels op regionale schaal het duidelijkst te onderscheiden. Op deze regionale systemen zijn de stromingsstelsels van de beekdalen gesuperponeerd. Voorts zijn in het Pleistocene deel van Noord-Nederland ook nog de stelsels van de stuwwalresten en van het Oostgroninger dekzandgebied te onderscheiden. De eerste zijn kleine, radiale systemen, het tweede is een over tientallen kilometers noordwaarts gericht systeem. In het Holocene deel van Noord-Nederland worden grondwaterstromingsstelsels voor een belangrijk deel bepaald door de polderpeilen. Een aanzienlijk gedeelte van dit gebied heeft zout water in de ondergrond. Dit wordt waarschijnlijk aangevuld door toestroming vanuit de Waddenzee. Een aparte plaats nemen de Waddeneilanden in doordat het geïsoleerde gebieden zijn welke grondwaterstromingsstelsels kennen die nauw samenhangen met de struktuur van de duincomplexen en polders. Op kleinere schaal is binnen de duincomplexen de afwisseling van duinen en duinvalleien van belang. Behalve zout-zoet gradiënten komen in het ondiepe grondwater van de Waddeneilanden ook kalkrijk - kalkarm gradiënten voor.


## Verantwoording

Dank is verschuldigd aan prof. dr. A.W.L. Veen voor zijn opmerkingen bij het concept van dit artikel.


## Literatuur


Bakker, T.W.M. (1984), Het Dwingelderveld. Deelrapport Geohydrologie. Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten.

Beukeboom, Th.J. (1976), The hydrology of the Frisian island, Rodopi, Amsterdam.

Broers, H.P. (1987), Grondwaterstromingsstelsels in Zuid Friesland, Provincie Friesland, Limnologisch Instituut, Vrije Universiteit

Colenbrander, H.J. (Ed.) (1986), Water in the Netherlands. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague.

Engelen, G.B. (1984), Hydrological systems analysis. A regional case study. Dienst grondwaterverkenning TNO, Delft

Engelen, G.B., J.M.J.Gieske, S.O.Los (1989), Grondwaterstromingsstelsels in Nederland. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij /s-Gravenhage.

Grootjans, A.P. (1985a), Changes in groundwater regime in wet meadows. Diss. Rijksuniversiteit Groningen

Grootjans, A.P. (1985b), De invloed van ingrepen in de waterhuishouding op de verspreiding van moeras- en hooilandplanten. Laboratorium voor plantenoecologie, RUG, Haren.

Langeweg, F. (eindred.) (1989), Zorgen voor morgen. Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieuhygiene, Bilthoven

Provinciaal bestuur van Friesland (1986), Grondwaterplan Friesland.

Provincie Groningen (1987), Grondwaterplan provincie Groningen.

Provincie Overijssel (1986), Grondwaterplan provincie Overijssel.

TAUW Infra Consult B.V. (1986), Modelonderzoek toename kwel door bodemdaling. Deventer

Technische Werkgroep Grondwaterplan (1985), Grondwaterplan Drenthe. Assen.

Vries, J.J. de (1974), Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands. Diss. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Werkgroep Regionaal Geohydrologisch Onderzoek in de Provincie Drenthe (1978), Regionaal geohydrologisch onderzoek in de provincie Drenthe. R.I.D., Voorburg.

Wit, G.J. de (1987), Grondwaterkaart van Nederland. Waddeneilanden. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

Wit, N.H.S.M. de, W. Bleuten (1988), Ruimtelijke effecten van bemesting via ondiep grondwater in het Noordelijk Zandgebied en de Veenkolonien


# KLEI

B. Van Heuveln

**Een naam, afgeleid van een grondvorm klaija, hetgeen kleverig vocht betekent. Als we ons het blauwzwarte, weke stinkende slijk van het wad voor ogen halen, is de naam een goede karakteristiek voor het ongerijpt, vers aangevoerde zwavelhoudende bezinksel uit vele overspoelingen met de vloedstroom. Door het slijm van ontelbare kokkels en het aangepaste vastleggende vermogen van diatomeeën, blijft bij elke eb meer slib achter dan met de ebstroom wordt afgevoerd. De klei heeft dan al een lange weg afgelegd, van Scandinavië naar het Duitse middelgebergte en terug met de Rijn naar de zee. Van steen tot mica.**

Vele miljoenen jaren geleden is het oude Noord Europese continent, bestaande uit kristallijne stollingsgesteenten, geleidelijk aan verweerd. De aardkorst bestaat voor 98% uit slechts 8 chemische elementen. In tabel 1 staan ze genoemd.

Zuurstof 46½%
Silicium 27½%
Aluminium 8%
IJzer 5%
Calcium 3½%
Natrium 3%
Kalium 2½%
Magnesium 2%

Tabel 1 Gemiddelde chemische samenstelling van de aardkorst.

De meeste elementen hebben zich met een of meer andere tijdens hun ontstaan in de gloeiende smelt verbonden tot mineralen. Mengsels van mineralen in verstarde vorm vormen een gesteente. De belangrijkste mineralen in een stollingsgesteente zijn in de linkerkolom van tabel 2 gegeven.

| | Stollingsgesteente | Afzetting |
|---|---|---|
| Veldspaat | 59 | |
| Amfibolen en pyroxenen | 17 | 27 |
| Mica | 4 | |
| Kwarts | 12 | 38 |
| Limoniet | - | 1 |
| Kleimineralen | - | 10 |
| Carbonaten | - | 20 |
| Andere mineralen | 8 | 5 |

Tabel 2 Gemiddelde samenstelling van mineralen in stollingsgesteente en sedimenten.

Gesteenten en mineralen verweren aan de oppervlakte als een soort compensatie tegen de hoge druk en hoge temperatuur, waaronder ze zijn gevormd. Druk wordt gecompenseerd door volumevermeerdering. Temperatuurswisselingen, het uitzetten van bevriezend water, erosie door wind en water en de vermalende werking van bewegend landijs, vergruizelen het gesteente. Het losse puin verzamelt zich aan de voet van de rotsformaties. Temperatuurcompensatie vindt plaats door spontaan op gang komende chemische reacties van mineralen met voorhanden zijnd water, kooldioxyde en zuurstof. Zo komen uit het veldspaat orthoklaas kalium, aluminium en silicaat vrij.

Intermezzo 1.
Chemische structuur formule van de hydrolyse van orthoklaas:

$$K\,Al\,Si_3\,O_8 + H\,O\,H \rightarrow K\,O\,H + H\,Al\,Si_3\,O_8$$
$$H\,Al\,Si_3\,O_8 + H\,O\,H \rightarrow Al(OH)_3 + 3H_2\,Si\,O_3$$

Het verweringsmateriaal wordt door verkleining van de steenbrokjes tot grind, zand, leem en glimmers omgevormd. Door reacties van chemische afbraakproducten treedt nieuwvorming op, o.a. van kleimineralen. De rechterkolom van tabel 2 toont de omvang van de verandering in de omzetting van stollingsgesteente naar sediment. Opvallend is de afname van de groep veldspaten, amfibolen en pyroxenen en mica, en de toename van de kwartsgroep. Nieuwkomers in het pakket zijn de kleimineralen en de carbonaten. De carbonaten worden in sedimenten grotendeels biogeen verrijkt door kalkbehoeftige organismen.

## De herkomst van kleimineralen.

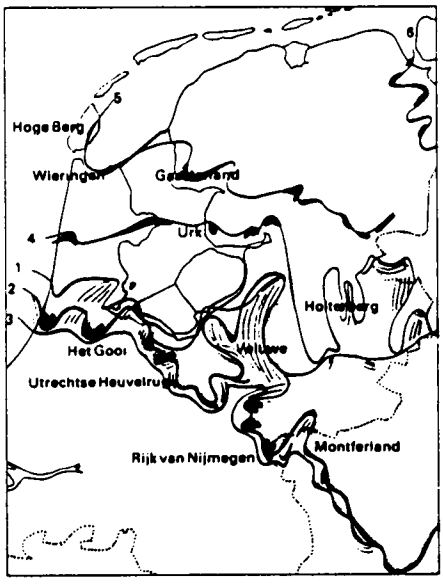
In het rijtje grondsoorten zand, leem, veen en klei stelt klei een sterk samenhangende, vervormbare, homogene, lichtgekleurde substantie voor. Dit zijn zeker een paar belangrijke karakteristieken, maar het belangrijkste onderscheid met leem, zand en veen wordt zichtbaar bij het uitsmeren van een kluitje vochtige klei tussen duim en wijsvinger. Dan ontstaat een glimmend glad oppervlak, in tegenstelling tot een mat, korrelig ruw oppervlak bij leem en zand, en een rul, donker, vaak vezelig oppervlak bij humus en veen. Die kleiglans ontstaat doordat vele honderden microscopisch kleine kleiplaatjes allemaal in de wrijfrichting worden gerangschikt en als samengestelde spiegel het licht reflecteren.
Klei in zijn zuivere vorm is een verzameling plaatjes ter grootte van 0.002 mm en ter dikte van 7 Ångstrom van een plaatvormig mineraal uit de groep van de silicaten.
Deze kleiplaatjes zijn in Nederland grotendeels afkomstig van de glimmers uit verweerd en verpulverd gesteente. De glimmers zijn goed zichtbaar in grof kristallijne gesteenten als granieten. De donker glimmende plaatjespakketten worden biotiet genoemd. De kleurloze zijn als muscoviet bekend. Ze worden wel samengevat met de term mica.

## Smeltwaterklei.

In de tweede ijstijd, het Elsterien, bereikte het landijs Nederland in het noorden. Van deze ijstijd zijn geen stuwwallen bekend en slechts hier en daar een kenmerkende keileem als grondmorene van de gletschers. Veel belangrijker zijn de smeltwaterafzettingen, die waarschijnlijk in grote tunneldalen onder het ijs zijn afgezet. Deze smeltwaterafzettingen zijn de potklei en het Peelo-zand. De potklei is een taaie, vaak zwarte, klei, die in de buurt van Boerakker, Roden en bij Onstwedde aan de oppervlakte komt, maar in de ondergrond in een brede zone tussen het Westerkwartier in Zuidwest Groningen en de Lüneburgerheide in de Bondsrepubliek voorkomt. De zwarte kleur wordt veroorzaakt door bijmenging van bruinkool die het ijs in Sleeswijk-Holstein en Denemarken opnam.
Opvallend zijn bij het uitstrijken van een potkleimonster in de hand, de met het blote oog zichtbare kleiplaatjes, die vooral bij het kantelen van de hand in de zon opschitteren. Al vroeg in de historie van Noord-Nederland is de potklei ontdekt als een uitstekende bakklei. Het blijkt dat deze kleisoort naast de fijnverdeelde mica's veel kwartsmeel bevat. Bij het bakken van de klei tot steen functioneert het kwartsmeel als een fijn poreus stevig skelet en de smeltende klei als vulling. Het klooster van Aduard groef al in de 13de eeuw de Munnikensloot naar het Leekstermeer om de potklei voorkomens in Roden te kunnen exploiteren. Ook in het kleibos bij Roderwolde lag gemakkelijk aan te graven potklei. Tot voor enige tientallen jaren lag het verschepingshaventje nog zichtbaar in het bosje. Van de gevormde stenen met hand- of duimafdruk zijn in de buurt nog verschillende in omloop.

Voor de tunneldalen spreidde het smeltwater zich in een brede waaier, waarin zand tot afzetting kwam: het Peelo Zand. Ook dit zand, dat vooral in Westerwolde over grote oppervlakken dagzoomt, vertoont de duidelijke zichtbare glimmerplaatjes tussen de zandkorrels.

In de Holsteintijd, het interglaciaal tussen de Elster- en de Saale-ijstijd, zijn deze smeltwaterzanden verwaaid tijdens droge koude perioden met weinig vegetatie. Zoals later ook zal gebeuren met de keileem uit de Saale-ijstijd, wordt tijdens deze zand- en leemstormen het verstuivende materiaal door de wind in twee etages getransporteerd. De zwaardere zandkorrels worden bij iedere windstoot opgenomen en vallen bij de volgende afname van de wind een korte afstand verder weer op het oppervlak. Dit springeffect wordt zandsaltatie genoemd en er ontstaan daarbij zandduinen van dekzand. De stoffractie van het Peelo Zand en de leem, bestaande uit de deeltjes kleiner dan 1/20 mm en de




Stadia in de landijsbeweging

Tongbekken-flanken

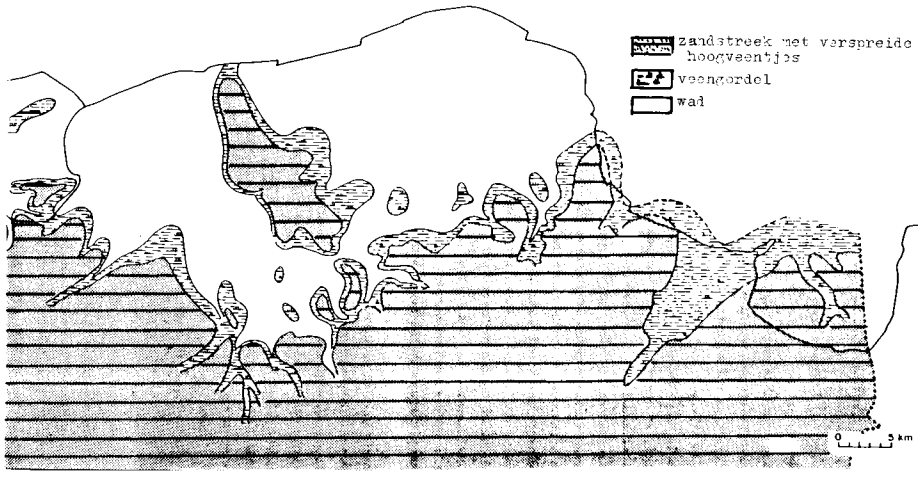
Hoge stuwwallen

**Figuur 1 De verschillende stadia van de landijs-verbreiding tijdens de Saale-ijstijd.**

kleiplaatjes van 0.002 mm, wordt door de wind in stofwolken over grote afstanden verplaatst. Het komt als een lössdeken in Midden Europa tot afzetting over het bestaande relief. Op bijzondere plaatsen in de luwte van vrij hoge ruggen of koppen, komt het ook dichter bij huis tot kleine lössvlakken. De bekendste is de oosthelling van het Onstwedderholt in de buurt van het gelijknamige dorp in Westerwolde. De lössafzettingen met hun relatief hoge percentages glimmerdeeltjes spelen een belangrijke rol als bron voor de later te formeren rivier- en zeeklei.

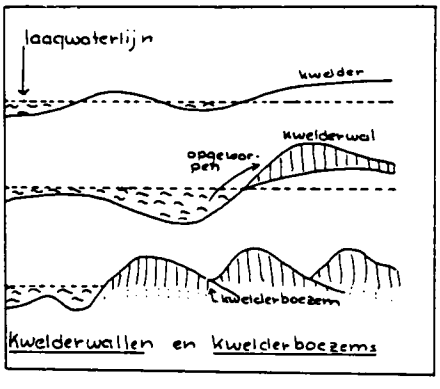
## Keileem, löss, rivier - en zeeklei.

Tijdens de Saale-ijstijd schoven landijsgletschers door de toen nog noord-zuid gerichte rivierdalen van Rijn en Maas ons land binnen. De ijslobben stuwden de oevers op tot de bekende wallen van Overijssel, Veluwe, Gooi, Montferland en Rijk van Nijmegen. Tijdens het terugtrekken en afsmelten van de dikke ijslagen bleef de bekende keileem als grondmorene achter. Deze keileem vormde een onbegroeide kale vlakte. Tijdens het terugtrekken van het ijs in de stadia, die fig. 1 weergeeft, stroomden voor de smeltfronten langs brede afvoerstromen, de oerstroomdalen van Rijn en Waal, de Vecht en de Hunze.
Het waren brede verwilderde rivieren met veel zandbanken. Aan de ijszijde overgaande in sandrs, zandwaaiers opgebouwd door het onder het ijs wegstromende smeltwater. Dit dooilandschap raakte in de Eemtijd dicht begroeid. Het dal van de Hunze raakte met veen gevuld en in het noordelijk deel zelfs met zeeklei volgeslibd. In het daarop volgende Würmglaciaal werden de door bodemvorming in de Eemtijd los geworden keileembovengronden een gemakkelijke erosiebasis voor de modderstromen naar de dalen. Vooral in de eerste vochtig-koude helft zijn veel dalen gevuld met instromend hellingmateriaal. In de droogkoude tweede helft verwaaide dit afgevlakte landschap en ontstond hier het dekzandlandschap uit de salterende zandkorrels, en bedekten de enorme stofstormen veel verder zuidelijk o.a. het ingesneden krijtland van België en Zuid-Limburg.
Deze lössstreken zijn in het vijfde millennium voor het begin van de jaartelling als eerste door de mens in permanente landbouw gebruikt.
Het bos werd gerooid en grote oppervlakken bouwland werden aangelegd op de hellingen van de Midden Duitse en Belgische middelgebergten. De kale hellingen vielen in het regenrijke klimaat van het laat Atlanticum ten prooi aan grootscheepse erosie. Dit is een verschijnsel dat ook thans nog op grote schaal leidt tot landverlies. Beruchte voorbeelden zijn de Gele Rivier in China en de erosieproblemen van het Midden Westen van de V.S.
De geelbruine modder kwam terecht in de zijrivieren van Maas en Rijn en leidde tot een enorm slibtransport naar Midden Nederland. Dat slibtransport gaat door tot op de huidige dag. De verwilderde rivieren uit de ijstijden waren gekalmeerd tot rustig meanderende stromen in het onbedijkte rivierenland. Het slib werd naar zee afgevoerd en met de rondgaande vloedstroom in de Noordzee, samen met fijn zand uit de zeebodem, in rustige delen langs de kust afgezet: de zeeklei. Bij hoog opperwater na het afsmelten van de sneeuw in de Alpen, Ardennen en Duitse middelgebergten traden de meanderende rivieren buiten hun oevers. Het snelstromende water uit het rivierbed verloor snelheid bij die overstroming en liet eerst zijn zwaarste ballast vallen, de zandige klei.
Langs de meanders ontstonden natuurlijke oeverwallen van zavel en lichte klei.
Verder van de stroomdraad af kwam het overstromingswater tot rust en bezonken de lichtere kleideeltjes in de kommen tot dikke pakketten zware komklei.
Na 1000 wordt dit natuurlijke overstromingssysteem te bezwaarlijk voor de dichtere bewoning in dit rivierengebied en verrijzen de bandijken als waterkering. Tussen de bandijken komt nu in de uiterwaarden de rivierklei, een mengsel van zand en klei, terecht. Wederom, evenals bij de potklei, een ideaal mengsel om er stenen van te bakken. Maar wat gebeurt er met het zeeslib? Het transport staat onder invloed van het tij en bovendien -om de ruim 500 jaar-van een actieve transgressieperiode.
In de dekzandondergrond van het noordelijk zeekleigebied liggen diepe dalen naast hogere ruggen. De Middelzee, de Hunzeboezem en de Fivel boezem zijn gescheiden door hoger liggende zandruggen van de Friese Wouden en dat merkwaardige zandeiland tussen Sauwerd en Usquert. Geleidelijk aan steeg de zeespiegel in het Holoceen door het afsmelten van het landijs. De natuurlijke oever lag aanvankelijk nog ver in de Noordzee. De snelle zeespiegelrijzing van meer dan 25 cm/eeuw veroorzaakte stijging van het grondwater in het achterland. Veenvorming over grote oppervlakken onder het huidige zeekleilandschap was het gevolg. Maar het zandeiland




**Figuur 2 De situatie in het noordelijk zeekleigebied omstreeks 5600 v. Chr.**

van Winsum lag als een door moerassen omgeven zandfort nog droog zoals in fig. 2 geschetst. De Hunze- en Fivelbaai lagen open en hadden in de streek van het huidige Bedum verbinding met elkaar. Over de oevermoerassen heen kwam naderhand de eerste zeeklei tot afzetting. De riet- en wilgenmoerassen langs de toenmalige kust veranderden in wadden. Grote slijkvlaktes met een zeer ingewikkeld stelsel van geulen en prielen, waarlangs het water heen en terug stroomde. Per saldo meer slib achterlatend dan weer meevoerend. De zeespiegelstijging neemt omstreeks 3000 v. Chr. af tot 5 cm per eeuw. Het wordt enerzijds rustiger op het wad, anderzijds worden de transgressies duidelijker gevoeld. Op de hoogste delen van her wad verschijnen stukken die alleen nog maar tijdens stormvloed onder water komen, de kwelders. Ook tegenwoordig zij ze buitendijks goed te onderscheiden door hun vlakke ligging en begroeiing met kweldergras. Soms breekt de kwelder abrupt af en gaat over in het wad van nauwelijks begroeid slijk met uitgesproken zoutplanten als zeekraal en schorrekruid.
Tijdens transgressies stijgt de zeespiegel tijdelijk sneller en wordt de stormvloedfrequentie groter. Door de branding van de zee tijdens stormvloeden woelen de kantelende golven zand en slib op en smijten dat over het bestaande wad. Figuur 3 laat de verschillende stadia zien, die dan leiden tot een kwelderwal. Er zijn twee soorten kwelderwallen. De eerste soort omkranst het bestaande vaste land. Zo ontstaan de kwelderwallen langs de Middelzee, langs de oevers van de Hunze in het Westerkwartier en langs het Reitdiep tussen Sauwerd en Warffum en langs




**Figuur 3 Schema van het ontstaan van een kwelderwal over de oude kwelder.**

de oevers van de Fivelboezem boven het Eemskanaal en tussen Usquert en Huizinge. Deze kwelderwallen zijn tegen 600 v. Chr. zo hoog opgewassen dat ze bewoonbaar worden. Uit West Friesland en de zandstreken treedt een migratie op van boeren die zich vestigen op de kwelderwallen. Later zullen ze zich verdedigen tegen de toch regelmatig optredende stormvloeden door het opwerpen van wierden. Deze kwelderwallen bestaan uit lichte zavel. Het bouwland op de wierden krijgt de naam valge. Achter de kwelderwallen ligt de oude, niet opgehoogde kwelder, in een relatief lage positie, die kwelderboezem wordt genoemd. Door overslaand zeewater dat stagneert in de afvoer komt slib tot afzetting. Op deze wat zwaardere gronden worden de vinnen (het weiland) en de meeden (het hooiland) later ontgonnen.

## Knipklei en katteklei.

Aan de paradijselijke toestand van nederzettingen temidden van uitermate vruchtbare gronden komt abrupt een einde aan het eind van de derde eeuw na Chr. Een ongekend hevige transgressie overspoelt het hele bewoonde kleigebied en overdekt grote delen met een zware stugge klei, de knipklei. Daarbij moet worden bedacht dat de Hunze - en Fivelboezem ook toen nog grotendeels open lagen. Het lage land achter de kwelderwallen werd overspoeld met zeewater. Dit lage land kreeg vanuit het achterland zuur water uit de hoog venen van het Bourtanger Moor toegevoerd. Er ontstonden dus brakke stilstaande slibhoudende kommen, waarin heel langzaam de slibdeeltjes bezonken in een kalkarm milieu en een zware klei vormden. Het van nature kalkrijke zeewater werd ontkalkt door de grote hoeveelheid organische stof die het veenwater aanvoerde. Nog desastreuzer was de toestand in het achterland, waar de knipklei terecht kwam in het regelrechte veen, bv. in de omgeving van Hoogkerk en tussen de stad Groningen en het Schildmeer.
Hier werd de kalk uit het zeewater zo sterk door de organische stof van de veengronden gebonden, dat zelfs de zwavel uit het zeeslijk niet kon worden geneutraliseerd. Er ontstaan dan de beruchte kattekleien, de giftig-geel gekleurde kleilagen op de overgang van veen naar de kleibovengrond. Deze zijn zo zuur dat er geen plant op kan groeien. Een schoolvoorbeeld ligt aan de Ebelsweg tussen Haren en Waterhuizen. Deze weg kruist op een gegeven ogenblik de Hunzebedding, die daar met katteklei was gevuld. De opdracht bij de wegaanleg was het veen tot het zand verwijderen en opvullen met schoon zand. De uitgebaggerde specie werd gedumpt op een stortterrein langs de Ebelsweg en is nu, 20 jaar na het storten, nog steeds onbegroeid.
De knipklei is in het lage gebied tussen de oude kwelderwallen Sauwerd - Warffum en Usquert - Hunzinge later op grote schaal afgegraven, geticheld, voor de fabricage van de typisch Groningse frisrode baksteen. Dat betreft het gebied rondom Onderdendam. De zure werking van de katteklei neutraliseren de boeren door bekalking met landbouwkalk.

Intermezzo 2.
Het zwarte slijk vlak onder het dunne geoxydeerde toplaagje ruikt naar zwavel. In het zeewater worden de biogene eiwitten afgebroken en de zwavel daaruit bindt zich in het zuurstofarm milieu tot het zwarte zwavelijzer. Onder kwelderomstandigheden, dus een groot deel van het jaar boven gemiddeld hoog water liggend, oxydeert het zwavelijzer tot ijzersulfaat. Dit reageert met de aanwezige kalk, afkomstig van schelpdieren en vormt gips en roest. In formules:

$$2FeS + 4O_2 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3$$

$$2Fe_2(SO_4)_3 + 3CaCO_3 \rightarrow 2Fe_2(CO_3)_3 + 3CaSO_4$$

$$Fe_2(CO_3)_3 + 6HOH \rightarrow H_2CO_3 + FeOH$$

Wanneer echter geen kalk (CaCO) ter beschikking staat voor de neutralisatie van het ijzersulfaat, verloopt de reactie via het sterke zwavelzuur naar een complexe verbinding van ijzer en zwavelzuur tot jarowisiet, een mineraal dat de gele kleur van katteklei veroorzaakt. In formule:

$$2FeS + 4O_2 \rightarrow FeSO_4$$

$$FeSO_4 + HOH \rightarrow H_2SO_4 + FeOH$$

zwavelzuur

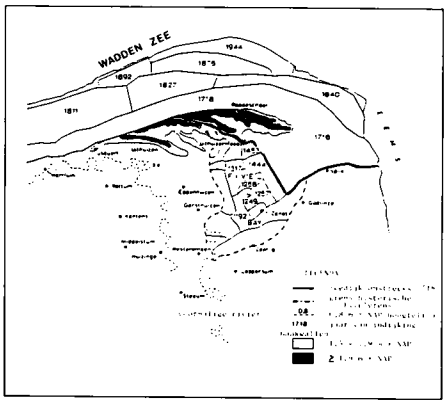
$$FeOH + H_2SO_4 \rightarrow FeOHSO_4$$

jarowisiet

## Jonge kalkrijke zeekleigronden.

Een tweede soort kwelderwallen ontstond tijdens het dichtslibben van de grote zeeboezems, de Middelzee-Hunze-en Fivelboezem, na de grote inbraak van het Lauwersmeersysteem omstreeks 800 n. Chr. Er begonnen zich toen ingewikkelde kwelderwallen te vormen. Enerzijds groeide voor de mondingen van de open boezems een haakwal, zoals fig. 4 toont voor de Fivelboezem. Telkens schoof een nieuwe haak het wadlandschap in, waarna door zeestromingen weer een nieuw verlengstuk werd opgebouwd, dat op zijn beurt met een haak werd afgerond. Vanaf Usquert zijn zeven van zulke haken te onderscheiden. Het mooist is zo'n haak ontwikkeld achter de Menkemaborg in Uithuizen. De zg. Moeshorn strekt zich een paar km uit tussen de Moeshornweg en de Heerdweg en wordt aan de zuidkant door het Meedstermaar bespoeld. Diep in de boezem werden streepvormige kwelderwallen opgebouwd, allereerst in het gat van Bedum. Achtereenvolgens

woelt de open zee daar de wallen van Langeweer en Stedum op. Maar ook in het noorden bij Doodstil en Zandeweer



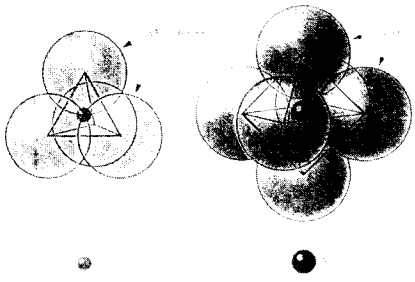

**Figuur 4 De haakwal boven de Fivelboezem.**

ontstaan kwelderwallen, die samen de westhelft van de Fivelboezem opvullen. Langs de Fivel ontwikkelen zich oeverwallen, waartussen geleidelijk de wadden worden opgehoogd. In de Hunzeboezem ligt de situatie wat ingewikkelder. Ook daar vormde de zee kwelderwallen, bv. die van Wehe den Hoorn en later bij Kloosterburen. De Hunze raakte daardoor van de zee afgesloten en boog bij Winsum een oude inbraakgeul in naar Zoutkamp. De Fivel boog naar het oosten langs de laatste haakwal van Roodeschool en mondde als Tjariet uit in de Dollard. Veel van deze zeer jonge boezemvullingen zijn kalkrijk. Ze onderscheiden zich van de oudere kleigronden door hun lichte kleur.

## Kleimineralen

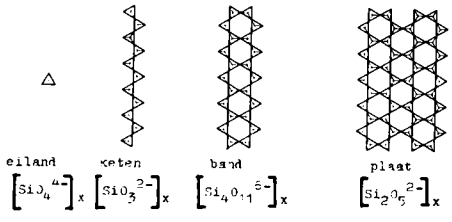
In het voorgaande hebben we gesproken over klei als kleine glimmerplaatjes ter grootte van 0.002 mm gemengd met zand en leemdeeltjes. We hebben bewust gesproken over glimmers, dus over brokstukken van het natuurlijk mineraal uit het stollingsgesteente muscoviet of biotiet. Daarnaast komen ook secundaire kleimineralen voor, die nieuw worden gevormd uit aluminium en silicium.
De belangrijkste zijn:
Kaoliniet: genoemd naar de berg Kauling in China, waar deze klei al eeuwenlang als porceleinaarde wordt gewonnen.
Illiet: genoemd naar de Amerikaanse staat Illinois, waar ze het eerst is beschreven.
Montmorilloniet: genoemd naar de Franse vindplaats Montmorillon.
Glauconiet: genoemd naar de groene kleur (in het Grieks betekent glaucos groen).
Vermiculiet: genoemd naar de eigenschap dat deze klei wormachtig opkrult bij verhitting. (In het Latijn betekent vermis: worm).
In de Nederlandse kleigronden komen deze kleimineralen in wisselende verhouding voor. Een voorbeeld is de samenstelling van wadslik, die in tabel 3 is gegeven.

Kleimineralen zijn silicaten, die in hun grondvorm bestaan uit siliciumzuurstof viervlakken, zoals in fig. 5 is geschetst. In het centrum van het viervlak zit het siliciumatoom. Silicium heeft 4 plusladingen (zie noot*), kort geschetst als $Si^{4+}$. Op de hoekpunten van het viervlak zit een zuurstofatoom. Zuurstofatomen hebben 2 minladingen, kort aangegeven als $O^{2-}$. In zo'n viervlak neutraliseren dus de O-atomen elk één ladingseenheid van het Si-atoom. Dan



**Figuur 5 Si-viervlakken en Al-achtvlakken.**

blijft dus op de vier hoekpunten van het viervlak elk één minlading over, die op een andere manier gebonden kan worden. Kort geschreven $[SiO_4]^{4-}$
In fig. 5 is ook de andere component van de kleimineralen gegeven, het achtvlak met een aluminiumatoom in het centrum en op de zeshoekpunten een hydroxydeatoom. Aluminium heeft drie plusladingen, kort geschetst als $Al^{3+}$. De hydroxydeatomen hebben één minlading, geschreven als $OH^-$. In zo'n achtvlak neutraliseren dus drie van de $OH^-$ atomen het centrale Al ion, en blijven de andere drie minladingen onverzadigd en kunnen op een andere manier gebonden worden. Kort geschreven dus $[Al(OH)_3]^{3-}$.
Doordat de Si viervlakken zich rang-



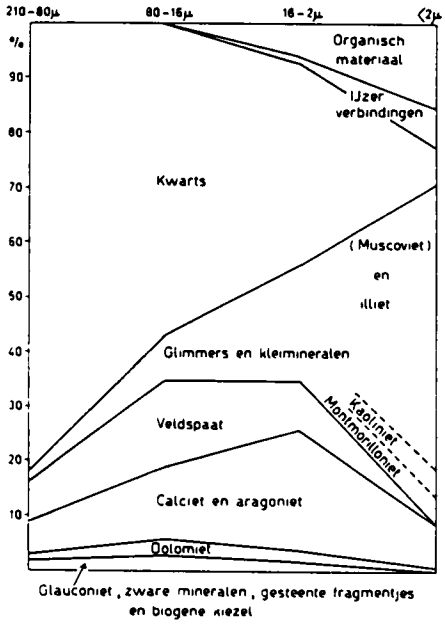

**Figuur 6 Schema van de ruimtelijke rangschikking van de Si-viervlakken in de belangrijkste silikaten**

schikken in lagen, met daartussen de Al achtvlakken, ontstaan sterk gelaagde mineralen, zoals we al bij de natuurlijke mineralen muscoviet en biotiet als eigenschap tegenkwamen.

Intermezzo 3
Niet altijd heeft het kernatoom van Si vier O-atomen met een minlading om zich heen. Fig. 6 laat zien dat ook combinaties van viervlakken kunnen voorkomen tot ketens. Hierin zijn twee hoekpunten van het viervlak aan elkaar verbonden door een gezamenlijk O-atoom. De groep donker gekleurde augieten, bv. de pyroxenen, behoren tot deze structuur. De samenhang tussen de ketens wordt door atomen met twee plusladingen, bv. Calcium, verzorgd. Een wat ingewikkelder samenhang is die van banden. Zoals uit fig. 6 blijkt, zijn dan twee ketens van Si viervlakken om en om met twee of met drie gezamenlijke O-atomen verbonden. Deze bandstructuur komt voor bij de ook donker gekleurde mineraalgroep der amfibolen, bv. de hoornblendes. Nog een stap verder in het gemeenschappelijk gebruiken van eenzelfde O-atoom is de laagstructuur. Hierbij zijn alleen de tophoeken van de Si viervlakken nog door één O-atoom met een minlading ingenomen, de andere drie in het grondvlak zijn gemeenschappelijk. Heel ingewikkeld worden de silicaten van structuur als ook het laatste O-atoom met een vrije lading wordt verzadigd. Dan ontstaat een compacte structuur. De veldspatengroep, bv. de lichtgekleurde orthoklazen en plagioklazen hebben deze structuur. In tabel 4 zijn de silicaatstructuren nog vertaald in mineraalsoorten.

Een gelaagd kleimineraal, zoals bv. het heldere glinsterende muscoviet, bestaat dus in principe uit twee lagen Si-viervlakken met daartussen een Al achtvlakkenlaag. Deze pakketjes van drie lagen worden bij elkaar gehouden door K-atomen. Dat is een belangrijke eigenschap, want zoals in fig. 7 is aangegeven kunnen deze K-ionen uit de lagen worden opgelost door uitwisseling met watermoleculen. Dat gaat gemakkelijk omdat water ongeveer dezelfde grootte heeft als K, nl. 1.33Å. Kalium is een zeer belangrijk plantenbouwelement. Als meststof wordt het in de kaliummijnen van Elzas en Thuringen gewonnen. Kleigronden heb-

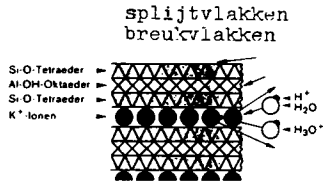
**Tabel 3 De samenstelling van kleimineralen van wadslib.**



**Tabel 4**

| Naam | Structuur | Chemische formule | kleur |
|---|---|---|---|
| Olivijn | eiland | $(Mg,Fe^{II})_2SiO_4$ | groen |
| Augiet (pyroxenen) | keten | bijv. $Ca(Mg,Fe^{II})Si_2O_6$ | donker |
| Hoornblendes (amfibolen) | band | bijv. $Ca_2(Mg,Fe^{II})_5Si_8O_{22}(OH)_2$ | donker |
| Glimmers | plaat | | |
| Muskoviet | | $KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ | licht |
| Biotiet | | $K(MgFe^{II})_3(AlSi)_3O_{10}(OH)_2$ | donker |
| Veldspaten | compact | | |
| Orthoklaas | | $KAlSi_3O_8$ | licht |
| Albiet | | $NaAlSi_3O_8$ plagioklaas | licht |
| Anorthiet | | $CaAl_2Si_2O_8$ | licht |

ben van nature een K voorraad. Fig. 7 geeft de gebeurtenissen weer bij muscoviet maar ook het omgekeerde komt voor. Als namelijk alle K aan de klei is onttrokken, zoals bv. in de wilgengrienden van de grote rivierkommen voorkomt, en daarna bij ontginning tot grasland met kali wordt bemest, dan worden de K atomen weer ingebouwd en zg. gefixeerd.
Nu is er nog een aspect bij de kleimineralen dat niet is belicht, en dat is de vervanging van het kern Si-atoom in de viervlakken, of van het kern Al-atoom in de achtvlakken, door andere atomen. Deze zg. isomorfe vervanging van Si en Al door gelijkvormige atomen als Mg, Fe en ook van Si door Al, heeft consequenties voor de eigenschappen van de kleimineralen. Zo heeft het kaoliniet bijna geen vervanging van de kernatomen. Daardoor heeft het mineraal een zeer lage activiteit bij zwel en krimp in vochtige, resp. droge omstandigheden. Dit maakt het voor de porceleinbakkerij bijzonder geschikt. Montmorilloniet daarentegen heeft een uitgebreide vervanging in de Al achtvlakken door Mg. Daardoor heeft het een enorm zwelvermogen en daarmee kan het veel water binden.
Tegelijkertijd is het ook chemisch zeer actief bij de afgifte en opname van vrij bewegende ionen in het bodemvocht.
Illiet heeft een vervanging in het Si viervlak door Al. Dit zeer veel voorkomende mineraal in de Nederlandse kleien heeft slechts een beperkt zwelvermogen, ook de chemische activiteit is beperkt. Vermiculiet lijkt veel op montmorilloniet in zijn eigenschappen, maar is zeer actief bij K toevoer door bemesting bv. Het mineraal trekt dan helemaal dicht. Voor een belangrijk deel is dit mineraal dan ook verantwoordelijk voor de K fixatie in de zware rivierkleigronden.
In tabel 5 zijn de kenmerken nog eens samengevat.




**Figuur 7 Oplossen van K-ionen uit het kristalrooster van muscoviet.**

**Tabel 5 Kenmerken van enige kleimineralen.**

| kleimineraal | verhouding van viervlaklagen tot de achtvlaklagen | chem. activiteit | Isomorfe vervanging | Structuur formule |
|---|---|---|---|---|
| Kaoliniet | 1:1 | 8 | geen | $(OH)_8\ Si_4Al_4O_{10}$ |
| Montmorilloniet | 2:1 | 100 | Mg voor Al in achtvlaklaag | $(OH)_4\ Si_3\ (Al_{3.34}Mg_{0.66})\ O_{20}$ |
| Illiet | 2:1 | 30 | Al voor Si in viervlaklaag | $(OH)_4\ K_2\ (Si_6Al_2)\ Al_4O_{20}$ |
| Vermiculiet | 2:1 | 50 | Mg en Fe voor Al in achtvlaklaag | $(OH)_2\ (Si_3Al) \left\{ \begin{matrix} Mg_{2.61} \\ Fe_{0.10} \\ Al_{0.29} \end{matrix} \right\} O_{10}$ |

* Plus- en minladingen betekenen dat er een electron te veel of te weinig is op de electronenschillen rondom de atoomkern. Zit er een electron te weinig op de schil, dan heeft de systeemkern t.o.v. de schil een pluslading (overschot). Omgekeerd als er een electron teveel op de schil zit heeft de systeemkern t.o.v. de schil een minlading (tekort). Plus- en minlading kunnen elkaar compenseren door gezamenlijk in een schil deel te nemen.

Adres van de auteur:
Verweylaan 12
9752 GM Haren

## Literatuur

Griede, J.W., 1978: Het ontstaan van Frieslands Noordhoek. Diss. Amsterdam V.U.

Heuveln, B. van, 1960: Potklei en grumbotil, Boor en Spade X, Mededelingen van de Stichting voor Bodemkartering.

Kuyer, D.C., 1972: Enkele historische en bodemkundige opmerkingen over de kleiwinning voor de baksteen-industrie in Westergo. Boor en Spade 18, Mededelingen van de Stichting voor Bodemkartering.

Roeleveld, W., 1974: The Groningen coastal area. Diss. Amsterdam V.U.

Straaten, L.J.M.U. van, 1964: De bodem der Waddenzee. Het Waddenboek.

Wallenburg, C. van, 1975: Kattekleigronden en potentiële katteklei in droogmakerijen in het westen van Nederland. Boor en Spade 19, Mededelingen van de Stichting voor Bodemkartering.

Zagwijn, W.H. et al., 1985: Atlas van Nederland. Deel 13. Geologie.