VOORDRACHTEN GEHOUDEN IN DE ZESDE WETENSCHAPPELIJKE BIJEENKOMST VAN DE SECTIE NEDERLAND VAN DE INTERNATIONALE BODEMKUNDIGE VEREENIGING OP 8 OCTOBER 1938 HAARLEM

GEOLOGIE EN BODEMKUNDE

DOOR

Dr. P. TESCH

De bodemkunde is niet voortgekomen uit de geologie; beide takken van natuurwetenschap zijn zelfstandig ontkiemd, de eerste wat later dan de tweede, en hebben zich naast elkander ontwikkeld, weliswaar niet zonder wisselwerking. Niettemin is het grensgebied vaag en onduidelijk omlijnd, ook voor de geologen en bodemkundigen zelf. De oorzaak daarvan ligt in de moeilijkheid voor het begrip bodem een alles en allen bevredigende definitie te geven. Voor eigen gebruik heb ik in den loop der jaren een omschrijving aangenomen, welke ik hier ter discussie wil stellen:

> De bodem is het uiterst dunne vliesje van de buitenste lithosfeer, waarin de biosfeer nog kan doordringen.

Ook hiertegen zijn velerlei bedenkingen in te brengen, maar deze zijn toch veelal ontleend aan ongewone complicaties, abnormale omstandigheden, uitzonderingsgevallen. Wanneer men voor een tot de oppervlakte reikende ontsluiting van voldoende grootte staat, zijn te onderscheiden: het onverweerde gesteente, dat nog niet aan de bodemvorming deelneemt en de — geheel of gedeeltelijk — tot bodem vervormde zone, waarin het organische leven kan doordringen. Hoe vaster het onverweerde gesteente, hoe meer de overgang tusschen de onderzoekingsgebieden van geologie en bodemkunde tot een raakvlak nadert.

Voor zoover buiten rechtstreeksch toedoen van den mensch ontstaan, is de bodem een natuurproduct afgeleid uit verweerd gesteente; als de mensch door herhaalde ophooging, omwerking, bemesting (samengevat in bodembewerking, cultiveering) ingegrepen heeft, is de bodem mijns inziens een kunstproduct.

De beteekenis van de bodemkunde voor de geologie is van verschillenden aard. Ik wijs op de volgende drie gezichtspunten.

Ten eerste is de verweering (de puinvorming) de voorbereiding voor de denudatie (de puinverplaatsing), tengevolge waarvan elders nieuwe sedimenten worden opgebouwd. De studie der verweeringsprocessen draagt op deze wijze bij tot verdieping van het inzicht in de werking der uitwendige natuurkrachten op de aardoppervlakte, welke in eerste instantie afbrekend en in tweede instantie opbouwend is.

Ten tweede heldert het onderzoek der bodemvormende processen de wijze van verweering op en vergroot aldus de kennis der gesteen-

ten. In het geval bijvoorbeeld, dat twee oogenschijnlijk gelijksoortige zandsteenen onder dezelfde klimatologische omstandigheden op uiteenloopende wijze verweeren, wijst deze waarneming op verschillen, welke niet dadelijk zichtbaar zijn.

Ten derde bevordert de bodemkunde de herkenning van vroegere landoppervlakten, welke (bij uitzondering) in de reeks der aardlagen voorkomen. Dit is het geval, wanneer iets van de bodemkenmerken of oppervlakte-verschijnselen bewaard blijft, nadat de rol van bodem door een andere laag is overgenomen.

De beteekenis van de geologie voor de bodemkunde ligt daarin, dat de geologie kennis verschaft aangaande het uitgangsmateriaal, waaruit en het medium, waarin de bodem is ontstaan.

Kan men het in theorie bestaande hoofdverschil tusschen bodemkunde en geologie niet kort en bondig in deze woorden samenvatten: voor de bodemkunde is het gesteente het gegevene, de bodem het gevraagde; voor de geologie is het gesteente het gevraagde?

BODEMVORMING UIT ONVERWEERD GESTEENTE ONDER VERSCHILLENDE KLIMATOLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN

DOOR

Prof. dr. E. C. J. MOHR

Het heeft zijn nut, van tijd tot tijd een aantal bekende feiten in een voordracht samen te vatten, opdat het onderlinge verband duidelijker aan het licht trede. Zulks wordt ook nagestreefd met hetgeen hieronder volgt; echter tevens, de gelegenheid te benutten, eenige problemen, het in den titel genoemde onderwerp rakende, naar voren te brengen. Misschien, dat deze of gene zich aangetrokken gevoelt, een oplossing daarvan te probeeren.

Onverweerde gesteenten van allerlei aard komen aan de aardoppervlakte onder den invloed der bodemvormende krachten. Het weer, dit is het geheel dier atmosferische, hier beter gezegd: klimatologische krachten, doet hen verweeren, een proces ondergaan, waarbij zij *vèr-wééren*, dit wil zeggen als gesteenten verdwijnen, terwijl in de plaats ervan verweeringsproducten verschijnen, waaruit weer de bodem ontstaat.

Eerst dus iets over die gesteenten, daarna iets over die klimatologische krachten, en vervolgens iets over de resultaten der inwerking dier krachten op de gesteenten.

De gesteenten moeten wij onderscheiden in stollingsgesteenten en afzettingsgesteenten, omdat die zoo verschillend verweeren. De meta-

morfe gesteenten, vooral, wanneer zij door en door veranderd en omgekristalliseerd zijn, brengen wij dan voor dit geval in de buurt van de stollingsgesteenten.

De stollingsgesteenten verweeren verschillend, als gevolg van onderlinge verscheidenheid in minerale samenstelling, bouw en structuur.

De bouw kan zijn homogeen, zooals bij obsidiaan; of niet-homogeen, zooals bij graniet, tufsteen, breccies. Homogeniteit is dan een betrekkelijk begrip; wij beschouwen het hier uit een oogpunt van verweering. Niet-homogeen zijn dus voor ons alle gesteenten, die uit verschillende mineralen bestaan. Bij de verweering, de physische zoowel als de chemische, gedragen die mineralen zich namelijk in hooge mate onafhankelijk van elkaar; zij trekken zich niets van elkaar aan. Daarom hebben wij hier eigenlijk meer met de mineralen te maken, dan met de gesteenten en wanneer een totaal-analyse van een stollingsgesteente niet tevens een aanwijzing, in groote lijnen, ware van de mineraal-samenstelling, zou zij voor onze beschouwingen hier van zeer geringe beteekenis zijn.

De mineralen, waar het dus hier om gaat, zijn er in hoofdzaak slechts een dozijn, waarbij dan als dertiende is aan te geven: de minerale substantie, die nog niet tot bepaald mineraal kristalliseerde: het vulkanische glas. Nooit komen zij echter alle 13 in één gesteente voor; bv. is olivijn rijkelijk aanwezig, dan ontbreekt kwarts, en omgekeerd.

Wat de *structuur* der gesteenten en mineralen betreft, is het volgende belangrijk: De snelheid van verweering is een functie van de oppervlakte, waarover de mineralen contact hebben met het verweeringsmedium. Geheel compacte mineralen en gesteenten, zooals men overwegend bij de diepte-gesteenten aantreft, verweeren dus langzaam; sneller poreuze uitvloeiingsgesteenten, nog sneller schuimige puimsteen of fijn verstoven asch.

De *afzettingsgesteenten* bestaan in hoofdzaak uit vier bestanddeelen: kalk, compact of poreus, samengesteld uit organische resten of althans van organogenen oorsprong; klei, waarover straks meer; kwartszand en puin van nog onverweerde stollingsgedeelten. Het feit, dat zij in de kou gevormd, en niet in het vuur gesmeed zijn, maakt, dat zij relatief weinig bestand zijn tegen desintegratie en verweering.

Komende tot de klimatologische invloeden, die de verweering bewerken, zullen wij voornamelijk het oog vestigen op de verschillen, die op onze aarde — in de vrije atmosfeer, vlak bij den bodem, in den bodem — zijn te constateeren, en dat wel ten aanzien van: de temperatuur — den zonneschijn — den wind — de relatieve vochtigheid der lucht — de verdamping — den regen (regenhoeveelheid, regenverdeeling, samenstelling van het regenwater). Daaraan sluiten dan aan: de door klimatologische omstandigheden bepaalde levensobjecten, namelijk de makro- en mikro-flora en -fauna, zoomede de mensch; uitloopende in de organische stof op en in den bodem en het bodemwater. Dat zijn, te samen bezien, een respectabel aantal *tot het klimaat behoorende en door het klimaat bepaalde factoren,* welke hier vanzelfsprekend slechts aanstippender wijze kunnen worden besproken.

De uiterste temperaturen, aan de aardoppervlakte waargenomen, mag men op ongeveer + 80° en — 70° stellen; binnen deze marge van 150° C liggen dus alle lucht- en bodemklimaten. Hoofdzakelijk naar de breedtegraden en de hoogte boven zee, vindt men hooge tot lage jaargemiddelden, van boven de 30° tot beneden — 30°. Al naar men te doen heeft met een vastelands- of een zeeklimaat, is de marge, over het jaar gerekend, groot of klein. Al naar de lucht zeer droog of zeer vochtig is, is de dagelijksche marge ruim of nauw. Mèèr nog is de dagelijksche marge aan de bodemoppervlakte afhankelijk van de vegetatie.

De directe zonneschijn speelt daarbij een groote rol; wanneer namelijk in de tropen of subtropen onder dicht bosch de temperatuur aan de oppervlakte van den bodem op een stillen, fel stralenden zonnedag hoogstens enkele graden varieert, kan zij op kleinen afstand daarvan op kaal terrein binnen enkele uren een verschil van 40 tot 50° vertoonen. Voor de verweering is dus de meteorologische temperatuurbepaling van weinig waarde; zooveel te meer die aan de onmiddellijke oppervlakte der rotsen of van den bodem.

Over den wind, over de relatieve vochtigheid der lucht en de verdamping zal te dezer plaatse niet worden uitgeweid, maar van den regen moet iets in het algemeen worden gezegd. Vaak bepaalt men zich tot beschouwing van den gemiddelden jaarlijkschen regenval; dat cijfer is echter betrekkelijk onbelangrijk. Méér heeft men reeds aan den maandelijksche regenval, nog meer aan den regenval van dag op dag, de intensiteit per uur en eindelijk de intensiteit per minuut. Wat zegt ons bv. dat ergens 90 mm in een bepaalde maand is gevallen? Stel, dat de bodem aldaar 5 mm per uur kan opnemen. Valt er dan 90 mm in één bui van twee uur, dan gaan 10 mm den grond in, en 80 mm stroomen weg. Valt echter 30 dagen lang dagelijks 3 mm, dus ook 90 mm, dan kan de bodem alles opnemen en niets stroomt af. In het algemeen gesproken, is dus veel minder belangrijk hoeveel regen er gemiddeld in een jaar of een korteren termijn valt, dan wel, op welke wijze die regen valt en wat er bijgevolg met het regenwater gebeurt. Op de *regenverdeeling in den tijd* komt het dus aan!

In den laatsten tijd begint men hier en daar meer aandacht te geven aan een mogelijkheid, waarop de minerale aardoppervlakte zich vocht kan aanschaffen uit de atmosfeer, anders dan in den vorm van regen. Daar is ten eerste de dauw, die soms kwantitatief van meer belang schijnt te zijn dan men vroeger meende. In de tweede plaats echter schijnt de hygroscopische verdichting van atmosferische vochtigheid meer aandacht te verdienen; zij is vanzelfsprekend het belangrijkste bij hooge relatieve vochtigheid der lucht. Waarnemingen en experimenteele gegevens in die richting zijn er echter nog pas zeer weinige.

Nog één complex van krachten en invloeden, van groote beteekenis voor de verweering en bodemvorming, moet ik noemen, aleer ik tot de kern van mijn betoog kan komen; dat is *het leven,* aan den dag tredende in groote groepen van vormen als de makroflora, de mikroflora, de mikrofauna en de makrofauna.

Wij zullen deze groepen straks nader in hun uitwerking bezien; hier echter slechts even aanstippen, dat vooral de flora, en dan nog voornamelijk door middel van haren afval een opmerkelijken invloed heeft op het water, dat op en in de verweeringsprodukten en den bodem verkeert. Die afval, min of meer veranderd samengevat in het woord „humus", heeft grooten invloed op de *pH* [1]; veroorzaakt, kort gezegd, of het bodemwater alkalisch of zuur reageert en bepaalt daardoor mede, in welke richting de bodemvormingsprocessen zullen verloopen. Hoe, daarover straks meer.

Komende tot de quintessens van dit betoog: de verweering en bodemvorming, in de eerste plaats iets over de *physische verweering.* Men vindt haar van de polen tot de tropen, maar verschillend in aard; echter steeds neerkomende op vergruizing, desintegratie.

De groote temperatuursverschillen zijn hoofdzakelijk in de tropen en subtropen te vinden. In den fellen zonnegloed stijgt de temperatuur der oppervlakte van rotsen soms tot 80°, om misschien een uur later in een stortbui af te koelen tot 20° of nog minder. Zulke plotselinge overgangen veroorzaken radiaale barsten, gevolgd door tangentiale barsten, wanneer een nieuwe dag van hooge verhitting volgt. Resultaat: de zoogenaamde bolschaalverweering, waarbij van gesteente-brokken steeds de hoeken afspringen en meer en meer schijnbaar afgeronde steenen overblijven. Opbouw der gesteenten uit verschillende kristallen, witte en zwarte, veroorzaakt temperatuursverschillen, verschillen in uitzetting, snelle desintegratie van het gesteente in de componenten.

In de koudere zones der aarde werkt de afwisseling van dooi en vorst in hooge mate desintegreerend langs barsten, die door uitzettend ijs uiteengeperst worden. In de tropen geschiedt dit slechts in het hooggebergte bij de sneeuwsgrens. Waar echter in den Himalaya boven die grens nooit zon komt, de temperatuur dus steeds onder 0° blijft, kan daar dit type van verweering niet werken. Wèl dat der temperatuurverschillen tusschen zegge — 10° en — 60°.

Vraagt men nu, waar doet de physische verweering zich sterk, waar zwak gelden, dan zijn het vooral de gebieden met vastelandsklimaten, met groote temperatuursverschillen van dag en nacht en van de verschillende jaargetijden, die sprekende voorbeelden hiervan vertoonen; ook landen met veel onbewolkten hemel overdag en 's nachts. Gebieden met zeeklimaten daarentegen met weinig zon, eeuwig motregen en altijd maar weinig schommelende temperatuur zijn veel minder onderhevig aan de physische verweering; maar zooveel te meer aan de chemische.

Een paar woorden over de mechanische vergruizing in stroomend water (of ijs) en in den wind. Nog menigeen meent, dat rivieren boven in het gebergte beginnen met groote steenblokken af te voeren, iets verder zijn die al afgeslepen tot kleine steenen, dan nog wat

1) Zie ook blz. 56 en 68.

verder tot grof grind, dan tot fijn grind, Lekzand bv., tot dat eindelijk zand de zee in gaat, dat strand en duinen levert, en klei, die veel verder weg wordt gevoerd. — Zóó is het echter *niet*. In de rivier en haar zijrivieren komen van de kanten af groote en kleine steenen plus fijner gesteente-detritus in de rivier terecht. Met de sorteering in verband met stroomsnelheid, enz. houden wij ons nu niet op; maar wel met de verguizing en dan is merkwaardig, dat volkomen gelijke en gelijkwaardige steenen elkaar 't minste kwaad doen. Is echter steen A van twee tot vijf maal kleiner diameter dan steen B, dan gaat A bij een flinke botsing eraan, hij wordt gebroken, gekraakt. Hoe grooter het verschil in diameter, hoe sneller de kleinere steenen en steentjes er aan moeten gelooven en hoe minder geschonden, hoogstens wat gekrast of gepolijst, de grootere eraf komen. Precies als in een kogelmolen: neem een aantal gelijk groote granietkogels daarin benevens een gelijk gewicht grof granietzand, verder water en laat draaien; na voldoenden tijd is al het zand tot stof vermalen en de kogels zijn slechts minimaal in gewicht afgenomen. Voor het slijpen en krassen speelt natuurlijk de hardheid der mineralen een groote rol.

Ten aanzien van den corrosieven invloed van zand in den wind laten zich soortgelijke beschouwingen houden, waarop hier niet nader zal worden ingegaan.

Ik kom thans tot de *chemische verweering,* aangrijpende de rotswanden, groote en kleine steenen, en het fijne gruis door de physische verweering ontstaan, of zooals in het geval van vulkanische asch, in Indië van zoo groote beteekenis, van meet af aan aanwezig.

Ieder mineraaloppervlak, komende in contact met water, treedt daarmede in reactie. Soms is deze reactie dermate gering, dat men haar verwaarlozen kan; bv. bij kwarts, of zirkoon, of diamant. Praktisch, noemt men die mineralen bestand tegen de chemische verweering, al zal blijken dat zelfs zij dat in sommige omstandigheden niet zijn. Water werkt in eerste instantie hydrolyseerend, ionen als natrium, kalium, calcium en magnesium worden opgelost, waterstof treedt er voor in de plaats. Bij kalk lost dan het gevormde calciumbicarbonaat betrekkelijk zeer gemakkelijk op; wordt het water verversch, dan kan het proces regelmatig doorgaan. Bij silikaten lost het door de verwijdering der basen vrijkomende kiezelzuur niet zoo vlot op en vormt dus een beschuttende huid om het versche mineraal. Waterverversching houdt het proces echter ook hier aan den gang. Stagnatie in de waterverversching doet een evenwicht bereiken. Bevat echter het watermilieu van elders méér basen, dan met dat evenwicht overeenstemt, dan worden er daarvan weer opgenomen. Dan kan het zijn, dat het oorspronkelijke mineraal geregenereerd wordt, als het ware aangroeit; maar óók, dat nieuwe waterstofhoudende mineralen ontstaan (zeolithen).

Kortom — wat er op elk moment gebeurt, hangt af van het milieu, de de mineralen omspoelende vloeistof. Van groote beteekenis is daarbij haar waterstofionenconcentratie, haar pH.

Systematisch nagaan wat er gebeurt met alle elementen in kwestie, bij pH's tusschen lager dan 3 en hooger dan 8, zou mij hier te vèr voeren. Liever vraag ik: hoe staat het met die verweeringsvloeistoffen onder de aangeduide, verschillende klimatische omstandigheden?

Aan de polen en op de hooge sneeuwtoppen is de temperatuur laag en is er geen vegetatie.

Hoe kouder het is, hoe lager de reactiesnelheden zijn en voor de meeste stoffen, ook de oplosbaarheid in het water. Dit water, op hooge breedten slechts sneeuwwater, kan wat koolzuur bevatten, maar veel zal het niet zijn. Als de temperatuur dus al eens even boven 0° komt, dan zal dat koude sneeuwwater, met een pH van zegge even onder de 7, niet veel doen. Maar op den duur bereikt de uitwasschende werking toch wel eenig resultaat: basen gaan weg, ijzeroxydule neemt zuurstof op en wordt ijzerhydroxyde, dat als bruinroode huidjes overblijft; aluminiumhydroxyde blijft ook in die huidjes. De volgende vorst werkt uitdrogend op die hydroxyden: het ijzeroxyde wordt rood. De gesteenten loopen rood aan, de roode poolkleur der rotsen van Spitsbergen is daar een voorbeeld van.

Op minder hooge breedten dan de poolcirkels, en voor nog warmer landen nabij of beneden de sneeuwgrens, komt een vegetatie in het geding. Bacterien, algen, korstmossen, mossen, varens, en hoogere planten volgen elkaar op, naarmate meer uren, dagen en maanden van het jaar de temperatuur boven 0° komt, en meer zonneschijn onder hoogeren hoek invalt. Die vegetatie bouwt haar organische geheel op uit minerale bestanddeelen en water uit den bodem en uit koolzuur uit de atmosfeer. Wat er van die vegetatie afsterft, wordt op en in den grond een prooi van schimmels, bacteriën, enz. Wat er zoodoende op en in den bodem overblijft, vatten wij kortheidshalve samen in het woord „humus".

Deze humushoeveelheid in den bodem is het verschil van hetgeen van boven bijkomt en hetgeen er van onderen, dit is onder de bodemoppervlakte, afgaat. De aanvulling is een functie van de intensiteit der vegetatie en daarom duidelijk een klimaatfunctie, te splitsen in factoren, waarvan de bestraling door de zon, de temperatuur, en de watervoorziening, dus hoeveelheid regen en regenverdeeling, de voornaamste zijn. De humusverteering is evenzoo een klimaatfunctie, namelijk afhankelijk van de temperatuur, de vochtvoorziening en de luchtvoorziening in den bodem. Daarnaast echter een functie van de hoeveelheid humus en de verdeeling van deze in den bodem, ondiep of diep.

De overwegende factoren voor de humus*vermeerdering* zijn echter zeer waarschijnlijk wel de totale zonnestraling in den loop van het jaar, en voor de humus*vermindering* de temperatuur in den bodem, benevens de luchtvoorziening. Mag men door den invloed der zonnestraling rekenen met een van poolcirkel tot evenaar in één curve aan te geven stijging, voor de humusvermindering in den bodem zal men met een combinatie van twee curven moeten rekening houden. Want wie zorgen er voor die processen? Drie verschillende vegetatie-

vormen, drie flora's. Organische stof wordt gevormd door de chlorophylhoudende planten, des te meer, naarmate de zonneschijn intensiever is en langer duurt; de temperatuur van den bodem behoeft daarvoor niet hoog te zijn, mag zelfs onder de 10° C blijven. Secundair is een hoogere temperatuur wel gunstig, omdat zij de wortels activeert, zoodat meer water en voedingsstoffen uit den bodem worden opgevoerd.

Op en in den bodem leven in het donker echter tal van saprophyten, die ik nu maar kortheidshalve zal samenvatten in twee woorden: schimmels en bacteriën. Die twee groepen onderscheiden zich van elkaar in twee opzichten: schimmels hebben gemiddeld hun temperatuur-optimum tusschen 10° en 20°; onder 5° en boven 25° doen zij niet veel. De bodembacteriën beginnen pas bij ca. 15° op dreef te komen, en hun activiteit stijgt sterk naar een optimum boven 30°; ja verder: 40°, 50° voor diverse soorten. Wanneer nu de wijze van verbruiken van organische stof voor schimmels en bacteriën gelijksoortig ware, zou de totale humusvernietiging zoo tusschen 15° en 30° vrijwel dezelfde blijven. Maar nu komt het verschil: 1e werken bacteriën sneller, alzijdiger, actiever en 2e behouden zij in hun eigen lichamen maar ongeveer 2 % van de organische stof, die zij verteren, terwijl schimmels daarvan nog wel 40 tot 70 % bewaren. Daarom begint boven 20° de humusvernietiging overwegend te worden, en neemt deze boven 25° (om zoo te zeggen) onrustbarende vormen aan. Gevolgen daarvan zijn:

Waar, zooals in de tropen — altijd bij voldoende lucht en vocht in den bodem — zelfs onder intensieve vegetatie als oerwoud, de bodemtemperatuur boven 25° is, overweegt het bacterie-leven in den bodem en voert tot relatief snelle vertering der van boven af toegevoerde organische stof. Men heeft wel uit mijn gezegde: „het consumptievermogen van humus in den bodem overtreft het productievermogen der bovengrondsche vegetatie", de conclusie getrokken, dat er dan in die omstandigheden in het geheel geen humus in den grond zou zijn. Dat is natuurlijk fout; 1e om te kunnen worden geconsumeerd, moet die humus als stationair doorgangsstadium voorhanden zijn; en 2e tellen de consumenten, in casu de bacteriën, in den grond in onze analyses zelf mee als humus! — die, als er niets anders meer is, zichzelve consumeert, zooals in boschgrond na ontwouding gebeurt. Men zegt dan dat „de zon den humus verbrandt". Ook dat is onjuist; de zon doet alléén dit, dat zij de bodemtemperatuur van kalen grond verhoogt, gemiddeld een paar graden, en daarmede de bacteriën stimuleert tot intensiever consumptie van alles, wat ze maar machtig kunnen worden. Het resultaat is inderdaad hetzelfde: snelle vermindering van het totale humusgehalte, want de aanvoer ontbreekt en het verbruik is vermeerderd.

Waar echter, zooals hier in Nederland, de bodemtemperatuur niet ver van 10° afwijkt, daar kan onder bosch de aanvoer van humus grooter zijn, dan de vertering in den grond en men krijgt humusophooping. Alles wat de bacteriën tegenwerkt, bevordert die ophooping:

1° een weinig doorlatende grond, zoodat luchtgebrek optreedt; dit kan zijn reden vinden in: *a*) te hoog grondwater; onder water staan; de subhydrische humusophooping wordt dan op den duur laag veen; *b*) ouderdom, vèrregaande uitwassching van basen, lage pH in het bodemwater; dit leidt tot oligotrooph veen; *c*) armoede aan ijzerhydroxyde in den bodem, leidende tot bleeke ondoorlatende klei, waarop ook veen kan ontstaan.

De verweeringsgrond uit basische gesteenten met veel ijzerhydroxyde, met bij nòg zoo veel regen toch steeds veel lucht in den verweeringsbodem, met een pH die van 7—8 aanvankelijk, later niet verder daalt dan tot 5½, is echter voor de bodembacteriën een dusdanig goed milieu, dat daarin en daarop van blijvende accumulatie van humus geen sprake is.

De pH, die zooals wij zagen, sterk beïnvloed wordt door de in het bodemvocht opgeloste organische stof, is ook afhankelijk van de minerale stof, als ik dat zoo noemen mag. Zoolang veel onopgeloste, maar oplosbare natrium-, calcium-, kalium- en magnesium-ionen ter beschikking staan, is de pH hoog; zijn die ionen door waterstof vervangen, dan is de pH laag. Nu vormen zich uit aluminiumhoudende silikaten als alkalivelds*p*aten en glimmers bij de verweering, onder loslating dier genoemde vier basen, de zoogenaamde klei-mineralen, waarvan kaoliniet en montmorilloniet de voornaamste schijnen te zijn. Wanneer krijgt men nu het eene, wanneer het andere? Daar weet men met eenige zekerheid nog niets van. Er is echter een hypothese, die in staat is, verscheidene verschijnselen te verklaren. Zij zegt: in alkalisch milieu vormt zich montmorilloniet, en in zuur milieu kaolien. Welnu, dan moet het in zwaar uitloogende omstandigheden op en uit compact gesteente, dus bij pH kleiner dan 7, tot kaolien komen (bv. in Bangka en Biliton) en in slechts bevochtigende klimaten of in zeewater, dus bij pH grooter dan 7, tot montmorilloniet. In tusschenklimaten tot mengsels van beide (beidelliet?).

Montmorilloniet is plastisch, vet, geeft aanleiding tot volkomen ondoorlatendheid van den bodem. Kaoliniet is te minder plastisch, naarmate hij duidelijker, grover, gekristalliseerd is. Montmorilloniet heeft een groot absorptievermogen voor basen, kaolien een gering.

Welnu — de klei van rooden, rosen en zelfs witten grond van Bangka en Biliton heeft weinig absorptie-vermogen. Klei uit kalkrijke mergels, gewezen zeeklei, gevormd bij grooter pH dan 7, dus montmorilloniet-houdend, is zeer vet, plastisch en ondoorlatend met groot absorptie-vermogen, vooral in de streken van Oost-Java met intensieven drogen moesson. Waar in Banjoemas of West-Java die klei permanent is uitgeloogd en de pH onder de 7 ligt, is de kleur niet zwart of grauw, maar geel of lichtrood; de klei is minder vet en ondoorlatend; oorspronkelijk montmorilloniet loopt misschien om in kaolien.

Bleekaarde met groot absorptie-vermogen verkrijgt men mijns inziens het best in semi-aride streken, waar de klei montmorilloniet is, verzadigd met veel basen; die klei ontneemt men dan zijn basen met

zoutzuur en de bleekaarde is gereed. Landen als Billiton leveren geen behoorlijke bleekaarde.

Ontleding van eruptiefgesteenten door koolzuurbronnen, „Säuerlinge", is aanleiding tot de vorming van kaolien (Saksen) en niet van montmorilloniet.

Kortom, het komt mij voor, dat het aanbevolen mag worden, na te gaan of in deze richting de hypothese door de ervaring wordt bevestigd of — omvèr geworpen.

De algemeene opmerkingen ten aanzien van de bodemvorming uit onverweerd gesteente zouden niet volledig zijn, (voor zoover dat in een vluchtig overzicht mogelijk is), zonder den van het klimaat zoozeer afhankelijken factor der *erosie,* die de verweeringsproducten weer wegvoert, naar gelang zij zich vormen. In natte streken levert het water, in droge streken de wind de erodeerende kracht: dat is algemeen bekend. Minder bekend is, dat de erosie het ernstigst is in afwisselend natte en droge streken; daar is zij niet om zoo te zeggen 50—50, maar misschien wel 200—200; in totaal dus viermaal zoo sterk als wanneer de bodem òf doorloopend nat gehouden òf doorloopend droog gehouden wordt. Van bandjirs in Indië voert de éérste na scherpen drogen tijd een veel grooter hoeveelheid vaste stoffen af, dan alle volgende van dezelfde sterkte. — Doorloopend nat gehouden, zware klei spoelt niet erg af; dat ziet men vaak op den bodem van bergbeken. Maar volgt een tijd, waarin die klei straf wordt uitgedroogd, dan krimpt en scheurt zij, en vergruist tot dobbelsteentjes, ja verder, tot korreltjes en stof, dan krijgt de droge wind daar vat op, en na den drogen tijd de eerste zware regenbui.

Ten aanzien van de erosie is van groote beteekenis, of het onverweerde gesteente compact is als granietkoppen, of het tegendeel als bv. vulkanische efflaten. Op den graniet verloopt de verweering en bodemvorming betrekkelijk langzaam, zelfs in de tropen; daar kan de erosie de bodemvorming bijhouden. Gevolg: op alle terrein, dat maar eenigszins helt, een dun verweeringsgrondje of niemendal. Vulkanische asch verweert echter zóó snel, dat de erosie, vooral onder het zich al spoedig vormende bosch, de bodemvorming niet kan bijhouden en daar ontwikkelen zich dus diepgrondige bodemsoorten. Echter ook al weer niet voor de eeuwigheid; de bodem verarmt door uitlooging, de vegetatie wordt ijler, de erosie neemt eerst den humeuzen bovengrond weg, waardoor de bodem degradeert, de vegetatie nog minder wordt en de erosie steeds ernstiger wordt. Zij stopt pas, wanneer een vaste bank, in den diepen ondergrond gevormd, de oppervlakte wordt, gelijk met de laterietische ijzerertsbanken in het Merengebied van Celebes, in ZO.-Borneo, maar ook in West-Afrika het geval is. Intusschen is onder zulk een bank de verweering van en bodemvorming uit het moedergesteente allang weer aan den gang.

In het kort laat zich nu het volgende zeggen:

De bodemvorming uit onverweerde gesteenten hangt 1° af van de mineralen, waaruit die gesteenten bestaat; dus *niet* van de elementen,

die er in zitten. Bv. het ijzer in magnetiet of ilmeniet gedraagt zich primair geheel anders dan dat in pyroxenen, amphibolen of glimmers; aluminiumoxyd evenzoo geheel anders of het in alkaliveldspaten zit, dan wel in amphibool; kiezelzuur eveneens of het in zoogenaamde bisilikaten zit, dan wel als kwarts voorhanden is.

Als nu in eerste instantie door hydrolyse uit de mineralen bepaalde ionen worden afgescheiden, ten deele in oplossing gaan, ten deele in onopgeloste resten achterblijven, dan wordt, wàt er oplost en wat niet, bepaald door het verweeringsmilieu, het bodemvocht; nader bepaald door de hoeveelheid water en de waterverversching, in één woord: de „waterhuishouding", door de pH in dat bodemvocht en door de temperatuur. Die waterhuishouding, die temperatuur en die pH zijn alle geheel afhankelijk van de klimatologische omstandigheden, zooals in het voorafgaande is geschetst; waarbij tevens bleek, welk een overwegende rol èn de vegetatie én de mikroflora in den bodem spelen. Daardoor loopen de pH's uitéén van 2½—8½, en verschilt tevens kwalitatief en kwantitatief, wat er in het water oplost en wat onopgelost achterblijft, geordend in zeer verschillende vormen.

Is het, gelet op het voorafgaande, al niet eenvoudig, uit te zoeken, welke verweeringsmineralen men in zeker stadium in den verweeringsbodem van een bepaald gesteente, onder bepaalde klimatologische omstandigheden zal aantreffen en welke niet, zoo vertroebelen, aanvoer en afvoer door erosie en ander transport de uitkomst nog verder.

Ten slotte een paar woorden over nòg een, wel zéér eigenaardigen klimaatsfactor, dit is de mensch. Van alle wezens op aarde treedt hij wel het intensiefste natuurwijzigend op; het minst in de barre, onherbergzame streken als de poolstreken, de woestijnen, het steile koude hooggebergte; het meest daar, waar bodem en klimaat de grootste vegetatieve productiviteit tot stand brengen. Ware het maar omgekeerd! Want het improductieve laat de mensch in hoofdzaak onaangeroerd en het productieve wordt door hem maar al te vaak op groote schaal in onverstand verknoeid en onherstelbaar bedorven.

Maar er zijn lichtpunten: op reusachtige ontwoudingen volgen nu hier en daar reeds bescheiden reboisaties; op phenomenale bodemvernielingen door erosie, door den mensch op gang gebracht, volgen nu maatregelen tot bodemherstel. Rivieren, die van nature het gansche jaar door kalm en waterrijk stroomden, werden door menschenwerk, namelijk ontwouding en bodemvernieling, veranderd in een serie van banjirs, afwisselende met droge steenbedding; maar nu reboiseert men het bovenstroomgebied en reguleert de waterloopen, om ten minste iets van vroeger terug te winnen.

De mensch brengt water in te droge gebieden, draineert moerassen en zwoegt wat hij kan om den landbouw productiever te maken. Maar dat alles geschiedt voornamelijk in de vlakten. Waar hij ingrijpt in de bodemvorming uit onverweerd gesteente, daar bevindt men zich

grootendeels in het bergland en daar werkt de mensch steeds meer destructief dan opbouwend. Wanneer diezelfde menschheid, die geholpen door haar vee, den verweeringsbodem van de rotsen af trapt en af krabt, den grond echter beneden in de vlakten weer weet op te vangen en zich ten nutte te maken, dan kunnen wij ook daar weer eenigszins vrede mede hebben.

In elk geval is wel duidelijk, dat èn de natuur èn de mensch den *gevormden bodem nergens met rust laten; rustige eindpunten* worden niet bereikt; de processen van vorming en vervorming gaan eindeloos door; zoodat ik mag eindigen met de paradox: het eenige bestendige aan den bodem is zijn veranderlijkheid!

BODEMVORMING IN NEDERLAND UIT JONGE ZEE-AFZETTINGEN

DOOR

Dr. A. J. ZUUR

Hiervóór is door prof. Mohr een algemeen overzicht gegeven over de wijze, waarop een bodem ontstaat, en over de veranderingen, die deze daarna ondergaat. De taak van de derde inleiding is nu, dit proces aan de hand van een Nederlandsch voorbeeld meer in details te behandelen; dus de vorming en vervorming van een bodem in het gematigde humiede Nederlandsche zeeklimaat te bespreken.

Zooals haast vanzelf spreekt, is hiervoor de vorming van een marienen kleigrond uit slik gekozen. Immers bij deze grondsoort kan vrijwel stap voor stap nagegaan worden, hoe zich uit het door de zee aangevoerde slik langzamerhand een bodem vormt, en welke veranderingen deze bodem in den loop der eeuwen ondergaat. De vorming van *mariene gronden uit slik* is het beste bestudeerd aan de kusten van den Dollard. De namen van Stratingh en Venema, van Bemmelen, Hissink en Maschhaupt zijn aan deze studie verbonden; in de laatste jaren gaven Edelman en Oosting bovendien nog enkele beschrijvingen van profielen van den Dollardpolder. Aan hun aller werk, in het bijzonder aan dat van Hissink, die aan de bodemvorming bij den Dollard een zeer uitvoerige studie wijdde, is dan ook het materiaal voor deze inleiding ontleend.

De Dollard is een oude landstreek in het Noordoosten van de provincie Groningen, waar in den loop van de Middeleeuwen (ongeveer van 1300—1500) de zee is ingebroken. De bodem bestond er overwegend uit veen, dat over groote terreinen tot aanmerkelijke diepte werd weggeslagen. Er ontstond daardoor een groote tweekommige zeeboezem; daarnaast werden nog uitgestrekte terreinen voor korteren of langeren tijd overstroomd en door het meegevoerde zeeslib in

den regel opgehoogd. Na de beteugeling van den zeeboezem vonden daarin geleidelijk aanslibbingen plaats, die in den loop der jaren successievelijk ingedijkt zijn, zoodat er een aantal polders van verschillenden ouderdom zijn ontstaan.

In de westelijke kom is de bodemtoestand het beste bestudeerd. De oudste indijking, die daar nog met zekerheid als een nieuwe vorming aangezien kan worden, is die van het Oudland, dat omstreeks 1626 is

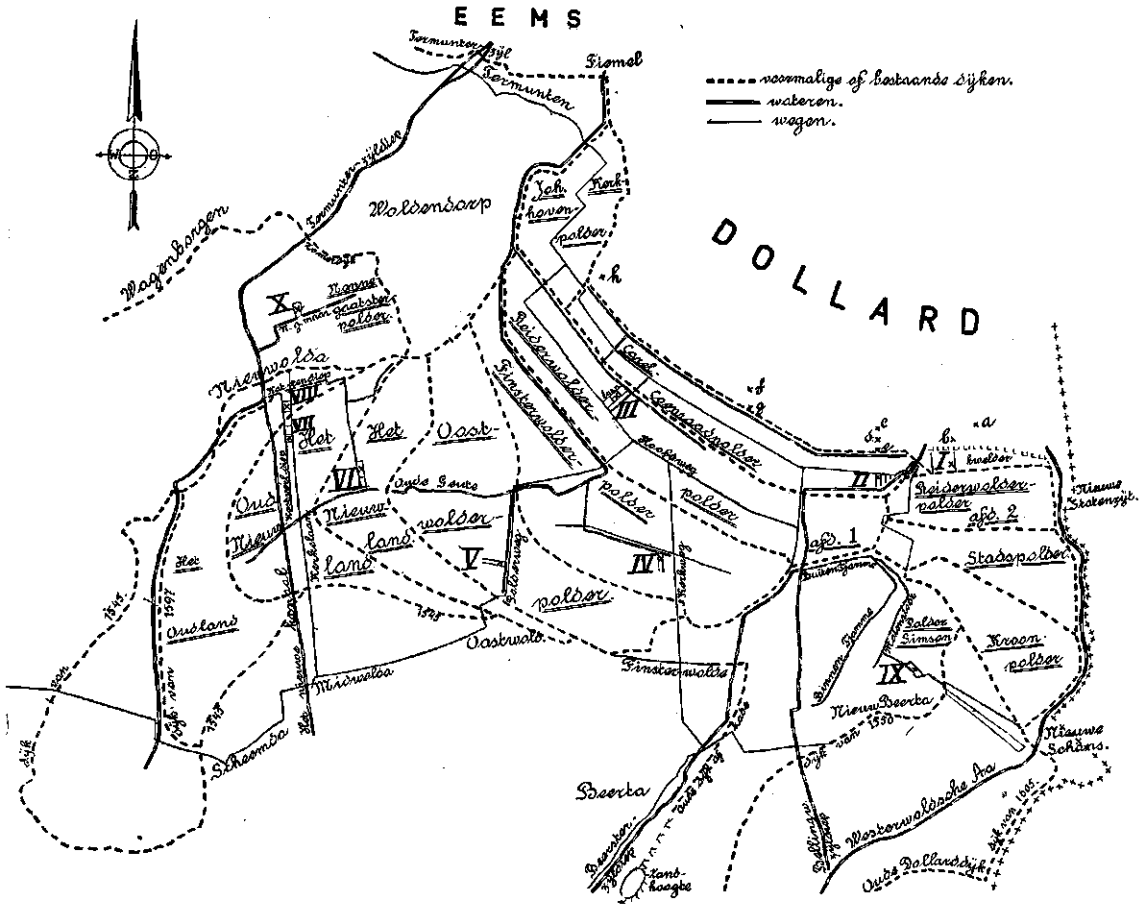

Fig. 1

ingepolderd. Nog oudere grond, die zoo goed als zeker ook tot aanzienlijke diepte uit jonge aanslibbingen bestaat, wordt gevonden in de binnenlanden onder Beerta; de inpoldering van deze terreinen wordt op 1550 gesteld. Na het Oudland is dan het Oud-Nieuwland ingedijkt in 1665; het Nieuwland in 1701; de Oostwolderpolder in 1769; de Finsterwolderpolder in 1819; de Reiderwolderpolder A in 1862; terwijl de laatste indijking, de Carel Coenraadtpolder, in 1924 plaats

vond, zie fig. 1, die ontleend is aan het werk van Hissink: De bodemkundige gesteldheid van de achtereenvolgens ingedijkte Dollardpolders.

Voor een goed begrip van hetgeen volgt is het noodig, op de aanslibbing van deze gronden iets nader in te gaan. Buiten den dijk van een jongsten Dollardpolder begint niet onmiddellijk de zee. Er bevindt zich daar nog een strook land, de kwelder, die dicht bij den dijk zelfs op 1.40 à 1.70 m boven N.A.P. ligt. Dicht bij den dijk is deze kwelder hoofdzakelijk met kweldergras begroeid en zij wordt slechts af en toe bij hooge vloeden overstroomd.

Naar zee toe helt de kwelder af; vanaf 1.40 m + N.A.P. is geen grasgroei meer mogelijk en de kwelder is dan tot 1 m + N.A.P., dat is tot even beneden volzee, begroeid met zeeaster en dichter bij de zee met zeekraal. Lager is geen plantengroei mogelijk; en vóór de zeekraal strekt zich dan ook het onbegroeide weeke slik uit, dat dicht bij de kust uit zware klei bestaat, evenals de kwelder zelf. Verder naar zee toe wordt de grond lichter (op minstens 1 km uit de kust wordt nog zware zavel gevonden), totdat ten slotte de zandige wadvlakte bereikt is, die in vrijwel de geheele huidige Dollardkom aan de oppervlakte gevonden wordt, en die alleen bij eb droogvalt.

Zooals gezegd, wordt dit heele gebied door de zee opgehoogd. Elke vloed voert slib aan, waarvan bij eb een kleiner of grooter gedeelte achterblijft. De zone, waar plantengroei mogelijk is, breidt zich daardoor geleidelijk uit, terwijl de kwelder zelf bij hooge vloeden opgehoogd wordt. De grens tusschen kweldergras en zeeasters en die tusschen zeekraal en naakt slik schuift daardoor steeds verder naar zee toe. Is de met gras begroeide strook grond breed genoeg, dan wordt de kwelder ingedijkt.

De bovenste 65 cm van den poldergrond wordt dus gevormd door slib, dat in kleine vlokjes zwevende op den begroeiden grond is afgezet; en deze bovenste 65 cm is dus doorstrengeld — of liever doorstrengeld geweest, want de planten vergaan vrij snel — met de plantenresten van de kwelder. Overigens is het materiaal, waaruit de kwelder is opgebouwd, hetzelfde als dat van het slik, dat zich voor de kust zonder plantengroei afzet. En dit slik is dus als het uitgangsmateriaal van de bodemvorming te beschouwen.

De successies, die aan den Dollard gevonden worden, zijn dus slik, kwelder, jonge poldergrond, oudere poldergrond. Deze oudere polders zijn ook uit kwelders ontstaan, terwijl het materiaal hetzelfde kleigehalte heeft als dat, wat tegenwoordig op de kwelders afgezet wordt. Aangenomen kan daarom worden, dat de oudere polders éénmaal in denzelfden toestand verkeerd hebben als waarin zich nu de jongere, respectievelijk de kwelders bevinden. Door het bestudeeren van de successievelijk ingedijkte en nog in te dijken gronden, is het dus mogelijk het verouderingsproces van de Dollardgronden over ongeveer 400 jaar te volgen.

Welke zijn nu de veranderingen, die het slik bij de bodemvorming en -vervorming ondergaat? Uit de inleiding van prof. Mohr is ge-

bleken, dat Nederland in een humied klimaat ligt, en dat één van de typische verschijnselen bij de bodemvorming in humiede klimaten de uitwassching met al haar nevenverschijnselen is, die het bodemmateriaal ondergaat. Deze uitwasschingsverschijnselen vinden wij dan ook heel duidelijk bij de vorming der Dollardgronden.

Minder algemeen bekend, omdat zij alleen bij zeer jonge gronden opvallen, zijn de veranderingen in de pakking van de deeltjes, waarmede wijzigingen in de doorlatendheid en structuur samenhangen. Deze beide groepen van verschijnselen: de uitwassching van voor den bodem belangrijke stoffen, en de verandering in de pakking der deeltjes, zullen nu achtereenvolgens besproken worden.

De uitlooging begint uiteraard met de gemakkelijkst uit te waschen stoffen: de oplosbare zouten. Het onbegroeide slik, regelmatig overstroomd door de zee, is geheel doordrenkt met zout (in hoofdzaak keukenzout), zoodat de zoutconcentratie van het bodemvocht ongeveer die van het zeewater is; bij de door Hissink onderzochte slikken bedroeg zij ongeveer 17 g zout per liter bodemwater. En ook het op de kwelder gedeponeerde slik is bij het afzetten natuurlijk doordrenkt met zeewater van eenzelfde concentratie. De kwelder bevindt zich echter boven volzee. Zij wordt slechts af en toe bespoeld en doorzegen door zeewater; in den regel overweegt de uitlooging door het zoete regenwater. Het zoutgehalte van het bodemwater is er daardoor in den bovengrond reeds aanmerkelijk lager dan in het slik, zooals uit de volgende tabel blijkt.

Tab. 1 [1]). ZOUTGEHALTE IN G PER LITER BODEMWATER OP VERSCHILLENDE DIEPTEN BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Diepte in cm	Ouderdom van den polder in jaren:										
	0 (slik)	0 (kwelder)	3	8	70	113	163	231	268	306	380
bouw-											
voor	17	10	1	0	—	—					
30	G	10	1	0							
50	G	12	3	0							
70	G	16	4	1							
90	G	19	9	1	0						
120	G	G	T	3	1	0	0	0	0	0	
170	G	G	T	T	6	3	2	2	0	0	1
220	G	G	T	T	11	6	4	4	1	0	

G = zoutconcentratie vermoedelijk van gelijke orde
T = zoutconcentratie vermoedelijk naar beneden toenemend

1) De cijfers in deze en volgende tabellen zijn ontleend aan het werk van Hissink: „De bodemkundige gesteldheid van de achtereenvolgens ingedijkte Dollardpolders". Ter wille van een gemakkelijk overzicht zijn de cijfers steeds voor vaste diepten gegeven, waartoe het origineele cijfermateriaal vaak, en dan in den regel vrij onzuiver, geïnterpoleerd moest worden. Voor nauwkeurige cijfers zij verwezen naar het origineele werk van Hissink.

Na de indijking wordt de grond zeer goed ontwaterd, zoodat het regenoverschot van ongeveer 300 mm per jaar vrijwel geheel dóór den grond naar de drains en greppels afgevoerd wordt. En daar de grond dan ook niet meer met zeewater doorzegen wordt, daalt het zoutgehalte zeer snel. Drie jaar na de indijking waren de bovenste 40 cm van den grond al practisch zoutvrij; acht jaar na de indijking de bovenste meter. Uit deze cijfers blijkt duidelijk, dat het Nederlandsche klimaat zoo humied is, dat de stoffen, die werkelijk opgelost zijn in het bodemwater, zeer snel uitspoelen.

Merkwaardig is, dat de daling van het zoutgehalte in den dieperen ondergrond daarna zeer langzaam gaat; nog na 100 jaar wordt beneden 1½ m diepte zeer merkbaar zout aangetroffen en na 200 jaar nog beneden 2 m. Dit beteekent, dat de diepe ondergrond door zeer weinig regenwater doorstroomd wordt; een punt, waarop later nog zal worden teruggekomen.

Behalve een uitspoeling van het keukenzout vindt ook betrekkelijk snel een uitlooging van de koolzure kalk en magnesia plaats, waarop reeds door van Bemmelen gewezen is (Koolzure kalk en magnesia zijn hierna steeds, zooals gebruikelijk is, met den naam van het hoofdbestanddeel koolzure kalk aangeduid). Zooals bekend, is koolzure kalk in zuiver water slecht oplosbaar. Het in den bodem circuleerende water bevat echter koolzuur, afkomstig uit de lucht, van de afscheiding der wortels en van de oxydatie van de afgestorven plantenresten. In dit koolzuurhoudend water lost de koolzure kalk langzamerhand op onder vorming van calciumbicarbonaat of dubbelkoolzure kalk, welke stof behoorlijk oplosbaar is; en dit opgeloste calciumbicarbonaat wordt evenals het keukenzout door het wegzakkende water uitgeloogd.

Het vóór de kwelder liggende en dus ook het op de kwelder gedeponeerde slik bevat ongeveer 11 % koolzure kalk. Reeds op de kwelder vindt vermoedelijk eenige uitlooging van koolzure kalk plaats, maar belangrijk is de afneming pas na het indijken, zooals uit de volgende tabel blijkt:

Tab. 2. KOOLZURE KALKGEHALTE IN G PER 100 G DROGE STOF OP VERSCHILLENDE DIEPTEN BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Diepte in cm	Ouderdom van den polder in jaren:									
	0 (slik)	0 (kwelder)	8	70	113	163	231	268	306	308
bouwvoor	10.9	9.5	8.7	8.1	7.3	6.0	2.3	0.1	0.0	0.0
30		10.4	9.1	10.4	9.5	8.0	6.5	0.7	0.0	0.0
50		10.9	10.1	10.5	9.2	8.6	6.3	4.6	2.1	0.6
70		11.0	11.2	10.4	9.8	9.4	5.7	5.2	3.6	1.1
90		12.2		10.9	10.3	8.7	6.7	4.8	5.2	0(?)

De koolzuurafscheiding der wortels, en de opbouw en afbraak van organisch materiaal vinden in hoofdzaak in de bouwvoor plaats; en in deze laag ontstaat dan ook het meeste koolzuur. Dit koolzuur lost op in het bodemwater en wordt met het regenwater via den ondergrond afgevoerd, waarbij het onderweg, zooals gezegd, de koolzure kalk aantast. Daar het koolzuur hoofdzakelijk in de bouwvoor ontstaat, en er vóór zijn afvoer soms lang in verblijft, vindt daar een intensieve aantasting van de koolzure kalk plaats, waarbij het koolzuurgehalte van het bodemwater afneemt; en zoolang de bouwvoor nog veel koolzure kalk bevat, zakt slechts een zwakker zure en reeds gedeeltelijk met kalk verzadigde koolzuuroplossing naar beneden. Het gevolg daarvan is, dat de koolzure kalk in de bovenlagen sneller oplost dan in de diepere.

In de bouwvoor gaat de uitlooging van de koolzure kalk vrij regelmatig. Reeds van Bemmelen heeft berekend, dat in de Dollardpolders uit de bouwvoor ongeveer 1 % koolzure kalk per 25 jaar uitspoelt; en dit cijfer geldt ook ongeveer voor de nieuwere onderzoekingen van Hissink en Maschhaupt. In ruim 250 jaar heeft de bouwvoor dus al haar koolzure kalk verloren.

Hoewel in den ondergrond reeds vanaf het begin eenige uitlooging van koolzure kalk plaats vindt, krijgt dit proces door de hierboven genoemde oorzaak pas groote beteekenis, als de bovengrond het grootste gedeelte van zijn koolzure kalk verloren heeft: dat is na ongeveer 200 jaar. Doordat de homogeniseerende werking van de ploeg ontbreekt, schijnt de uitlooging daar ook minder regelmatig te verloopen dan in de bouwvoor; de cijfers zijn ook misschien te weinig talrijk om een gedetailleerd beeld toe te laten. Het belangrijkste is, dat na misschien 300 jaar de direct onder de bouwvoor gelegen laag ook al haar koolzure kalk verloren heeft, maar dat dit bestanddeel dan nog steeds in den dieperen ondergrond gevonden wordt. Zelfs bevat de oudste polder nog iets koolzure kalk in den dieperen ondergrond; beneden 70 cm bestaat de grond daar niet meer uit zuivere Dollardklei, zoodat niet bekend is of nà 400 jaar de grond op 90 cm geheel ontkalkt kan zijn.

Aan deze cijfers over de uitspoeling van de koolzure kalk laat zich goed demonstreeren, wat ook voor de andere hierna te behandelen eigenschappen geldt: namelijk dat het tempo, en misschien soms ook wel de aard, van de veranderingen in den bodem afhangt van een aantal omstandigheden, die niet overal gelijk behoeven te zijn. Zooals gezegd, geldt dit voor alle eigenschappen van den grond, maar voor de koolzure kalk zijn althans enkele cijfers beschikbaar.

De snelheid van uitlooging van de koolzure kalk wordt bepaald door de hoeveelheid water, die door den grond wegzakt, het koolzuurgehalte van dit water, de aantastbaarheid van de koolzure kalk, en de fijnheid van de in den grond aanwezige kalkdeeltjes. Alle vier factoren kunnen verschillen, en tengevolge daarvan kan de ontkalkingssnelheid van plaats tot plaats soms sterk uiteenloopen. Zoo vond Maschhaupt bv. op IJselmonde, dat omstreeks 1500 à 1600 op de zee

gewonnen polders in de bovenste laag nog regelmatig 4 à 6 % koolzure kalk bevatten. Cijfers, die voldoende zijn, om de betrekkelijke waarde van de in den Dollard gevonden uitloogsnelheid in het licht te stellen: immers de Dollardgronden uit dien tijd hebben in hun bovenlaag al lang alle kalk verloren. Het schijnt, dat vooral de intensiteit van de ontwatering van grooten invloed is op de uitloogingssnelheid van de koolzure kalk.

Behalve de in water oplosbare zouten en de koolzure kalk zijn ook de zoogenaamde uitwisselbare basen van den grond aan de uitloogende werking van het wegzakkende water onderworpen. Zooals bekend, is de klei- en humussubstantie in den grond in zekeren zin als een zwak zuur te beschouwen, welk zuur in meer of mindere mate door basen, de zoogenaamde uitwisselbare basen, verzadigd wordt. Is een grond goed met basen verzadigd, wat voor een Nederlandschen zeekleigrond wil zeggen met ongeveer 40 milli-aequivalenten basen per 100 g kleihumus, dan reageert deze zwak basisch; de zuurgraad of pH is dan ongeveer 7.5. Door zuren zijn de aan de klei gebonden basen uit den grond te loogen; de pH van den grond daalt dan. Er is bij zeekleigronden een zeer nauw verband tusschen het gehalte aan basen van de kleihumussubstantie en de zuurgraad, zoodat de pH een maat is voor het gehalte aan uitwisselbare basen [1]).

Deze basen, die aan de klei-humussubstantie gebonden zijn, kunnen, indien de grond behandeld wordt met een vloeistof die veel andere basen bevat, tegen de basen van die vloeistof uitwisselen; vandaar de naam uitwisselbare basen. Indien de uitwisselbare basen van een grond grootendeels uit kalk bestaan, wat meestal het geval is, en deze grond wordt bv. met een keukenzoutoplossing behandeld, wisselt de

---

1) Zuren (bv. koolzuur, zoutzuur) zijn stoffen, die zuur smaken en blauw lakmoes rood kleuren. Zij danken deze eigenschap aan het vermogen, waterstofionen af te splitsen. Met basen (bv. gebluschte kalk) vormen deze zuren zouten (koolzure kalk bv. is een zout gevormd, uit het zuur koolzuur en de base kalk). Als bij een zuur zooveel base gevoegd wordt, dat het zuur geheel in zout is overgegaan, zegt men wel dat het zuur geneutraliseerd of geheel met basen verzadigd is. In den grond spelen de basen kalk (aangeduid met het symbool CaO), magnesia (MgO), kali (K_2O) en natron (Na_2O) de hoofdrol.

De hoeveelheid waterstofionen, die een zuur afsplitst, bepaalt de sterkte van het zuur. Deze sterkte wordt uitgedrukt in de maat pH. Heeft een stof een pH=7, dan is zij noch zuur, noch basisch; hoe lager de pH is, hoe zuurder de stof wordt. Bodemkundig is een pH=4 reeds sterk zuur; een stof met die pH is voor de tong echter nog zoo zwak zuur, dat zij geen zuren smaak heeft.

Door een sterker zuur is een zout van een base en een zwak zuur te ontleden; wordt bv. het zout koolzure kalk behandeld met zoutzuur, dan maakt dit zoutzuur zich meester van de kalk uit de koolzure kalk (onder vorming van zoutzure kalk), terwijl het zwakke zuur koolzuur vrijkomt. Het zeer zwakke klei- en humuszuur is onoplosbaar; als het zout van deze zuren door koolzuur ontleed wordt, vormen zich oplosbare dubbelkoolzure zouten van de aan de klei en humus gebonden basen (kalk, magnesia, kali en natron) en deze kunnen uitgespoeld worden.

De hoeveelheid van een zout, zuur of base wordt in de scheikunde vaak uitgedrukt in milli-aequivalenten (afgekort m.e.); een maat die bedoelt de vergelijking tusschen verschillende stoffen te vergemakkelijken. Een m.e. kalk is 28 milligram.

uitwisselbare kalk uit den grond voor een grooter of kleiner deel om met de natron van het keukenzout; het gehalte aan uitwisselbare kalk is gedaald en dat aan uitwisselbare natron gestegen.

In normale jonge Nederlandsche zeekleigronden bestaan deze uitwisselbare basen grootendeels (voor ongeveer 87 %) uit kalk; de rest is magnesia (7 %) en kali en natron. In dezen toestand verkeeren het versch afgezette slik en de kwelder nog niet; voordat de grond in den hiervóór genoemden normalen toestand overgaat, hebben zich daarin reeds een aantal processen afgespeeld, die hier niet nader besproken, alleen genoemd kunnen worden. Door de doordrenking met het sterk magnesia- en natronhoudende zeewater bestaan de uitwisselbare basen in den slik- en kweldertoestand voor een belangrijk deel uit natron en magnesia; en pas na de indijking wordt dit te veel aan natron en magnesia door het bij de uitlooging van de koolzure kalk ontstane calciumbicarbonaat of dubbelkoolzure kalk teruggedrongen.

Uitgangspunt van deze beschouwingen is dus de normale jonge poldergrond met een pH van ongeveer 7.5 en een uitwisselbare basengehalte van ongeveer 40 m.e. per 100 g klei-humus, waarvan ongeveer 87 % uit Ca bestaat. In dezen toestand verkeert de bovenlaag van den 70 jaar ouden Reiderwolderpolder; in den ondergrond is zelfs dan nog de invloed van de voormalige zeewaterdoordrenking merkbaar.

Hiervóór is reeds opgemerkt, dat deze uitwisselbare basen door zuren uit den grond geloogd kunnen worden, waarbij de pH van den grond daalt. Ook koolzuurhoudend water is tot deze werking in staat, zoodat in het Nederlandsche klimaat de uitwisselbare basen de neiging hebben door het regenwater uitgewasschen te worden. Merkwaardig is nu, dat ondanks deze uitloogende werking van het koolzuurhoudende wegzakkende water het totale gehalte en dat van de afzonderlijke uitwisselbare basen zoo lang gelijk blijft, zooals uit de volgende tabel blijkt:

Tab. 3a. TOTAAL GEHALTE AAN UITWISSELBARE BASEN IN MILLI-AEQUIVALENTEN PER 100 G KLEI-HUMUS OP VERSCHILLENDE DIEPTEN BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Diepte in cm.	Ouderdom van den polder in jaren:									
	0 (slik)	0 (kwelder)	8	70	113	163	231	268	306	380
Bouwvoor			36	37	37	36	38	38	39	30
30			39	38	38	37	36	39	38	38
50			38	39	39	37	38	40	40	40
70				38	39	37	40	39	41	43
90				38	38	37	40	42	41	38

Tab. 3b. GEHALTE AAN UITWISSELBARE KALK (EERSTE CIJFER) EN MAGNESIA (TWEEDE CIJFER) IN MILLI-AEQUIVALENTEN PER 100 MILLI-AEQUIVALENTEN UITWISSELBARE BASEN OP VERSCHILLENDE DIEPTEN BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Bouwvoor									
			66/26	86/9	89 8	86/9	88/8	79/19	80/17	71/24
30			53/31	84/13	89/9	88/8	90/7	84/15	82/16	72/24
50			42/30	78/18	86/12	87/10	89/8	84/14	81/15	72/25
70				72/25	83/14	85/11	86/10	85/13	83/15	72/25
90				67/27	77/18	84/13	84/13	86/13	82/15	71/24

Tab. 3c. ZUURGRAAD (pH) OP VERSCHILLENDE DIEPTEN BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Bouwvoor									
		7.7	7.7	7.8	7.7	7.8	7.2	7.4	5.9
30		8.1	7.7	7.7	7.6	7.7	7.4	7.3	6.8
50		8.3	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	7.6	7.2
70			7.8	7.7	7.6	7.7	7.6	7.6	7.6
90			7.9	7.8	7.7	7.6	7.7	7.7	7.1

In de bouwvoor blijft het totale gehalte en dat van de afzonderlijke uitwisselbare basen gelijk, tot de koolzure kalk en magnesia daaruit practisch verdwenen zijn. Of de uitwisselbare basen worden door het koolzuur niet aangegrepen, zoolang de grond koolzure kalk bevat; òf zij worden steeds weer aangevuld uit de mineralen van den grond en uit de koolzure kalk en magnesia. Merkwaardig is, dat nà het verdwijnen van de koolzure kalk het gehalte aan uitwisselbare kalk afneemt, maar dat dat aan uitwisselbare magnesia zooveel toeneemt, dat het totale gehalte aan uitwisselbare basen, en dus ook de zuurgraad, vooreerst gelijk blijft.

Dit proces hangt blijkbaar samen met de samenstelling van de mineralen in den grond. Deze mineralen bevatten weinig kalk en natron, maar wel veel magnesia en kali. In den loop der tijden komen deze magnesia en kali ten deele vrij; de kali wordt door de planten verbruikt en de magnesia houdt den verzadigingsgraad van de kleihumus op peil. Aanvulling van het gehalte aan uitwisselbare basen met de magnesia uit de mineralen is blijkbaar slechts tot zekere hoogte mogelijk. Het gehalte aan uitwisselbare magnesia stijgt niet verder dan tot ongeveer 7 à 10 milli-aequivalent per 100 g klei-humus. En bij de voortgaande uitlooging van de uitwisselbare kalk, die niet aangevuld kan worden, daalt het totale gehalte aan uitwisselbare basen en daarmede de zuurgraad. Dit punt is eigenlijk pas in den oudsten polder bereikt, waar de pH tot 5.9 is gedaald en de klei-humus per 100 g 30 milli-aequivalenten basen bevat.

Ook bij de uitwisselbare basenhuishouding worden bij de onder de bouwvoor gelegen laag dezelfde verschijnselen gevonden als in de boowvoor zelf, maar in vertraagd tempo. Na 380 jaar is de zuurgraad er nog slechts even beneden pH 7 gedaald. Wel heeft ook in deze laag bij de uitwisselbare basen een sterke verschuiving van de onderlinge verhouding tusschen kalk en magnesia plaats gevonden ten gunste van de magnesia. In de diepere lagen is het totale gehalte aan

uitwisselbare basen nog dat van jonge polders gebleven; en de pH ligt daar nog boven 7. Trouwens, op 50 cm diepte wordt nog merkbaar koolzure kalk gevonden. Wel is ook in de diepere lagen de onderlinge verhouding der uitwisselbare basen sterk ten gunste van de magnesia verschoven; maar het is moeilijk uit te maken of deze vele magnesia van de vroegere bedekking met zeewater of van de latere verweering der mineralen stamt.

Het verlies van de koolzure kalk en de afneming van het uitwisselbare basengehalte is van groot belang voor de structuur van den grond. In zware gronden kleven de gronddeeltjes in drogen toestand aan elkaar. Door de indroging, bewerking en den plantengroei ontstaan er in deze gronden aggregaten, scheuren en wortelkanalen, het geheel waarvan men met den naam structuur aanduidt. Vochtigheid, en vooral stroomend water hebben de tendenz dit gedifferentieerde geheel van aggregaten en ruimten weer te doen samenvloeien.

Een grond, die nog voldoende koolzure kalk bevat, waarin deze koolzure kalk door de aan de uitlooging voorafgaande oplossing mobiel is, en die nog goed met basen verzadigd is, is nu tegen deze afbrekende werking van het water veel beter bestand, dan wanneer de bovengenoemde eigenschappen ontbreken. In kalkhoudende gronden hebben de kleideeltjes daardoor veel meer de neiging om in vochtigen toestand aan elkaar te blijven kleven dan in ontkalkte, waar zij zich gemakkelijk in water verdeelen.

Men kan dit verschil in bindend vermogen zeer fraai zien op zandige ontkalkte kleigronden, waarop een bekalkingsproefveld is aangelegd. Na een natten winter hebben de niet bekalkte veldjes een witte kleur; door den regen zijn in de bovenlagen de kleideeltjes van de zanddeeltjes losgespoeld en van de oppervlakte weggevoerd, zoodat een film van zandkorreltjes de oppervlakte vormt. Op de gekalkte veldjes zijn de kleideeltjes daarentegen aan de zandkorrels blijven kleven en de grond ziet egaal grijs. Bovendien zijn de ongekalkte veldjes in tegenstelling met de gekalkte vaak in elkaar geslempt.

Ook de Dollardgronden ondergaan de afbrekende werking van het water met haar kleitransport en ineenslemping, zij het dat de verschijnselen daar niet zoo opvallen als bij de lichtere gronden. Ook bij deze gronden is het proces het ernstigste, als de grond zijn koolzure kalk verloren heeft, en nog meer, als het gehalte aan uitwisselbare basen beneden de normale waarde daalt. Door bekalking tracht men dan bij gronden van het type als den 380 jaar ouden polder uit tabel 3 het gehalte aan uitwisselbare basen weer op peil te brengen; dit met zichtbaar gunstig gevolg voor de structuur. Deze invloed van de uitlooging van de koolzure kalk en van de daling van het gehalte aan uitwisselbare basen op de structuur van den grond worden bij de behandeling van de physische veranderingen nader besproken.

Behalve de koolzure kalk en de uitwisselbare basen zijn in ons klimaat nog meer stoffen aan uitlooging onderworpen. Al deze punten kunnen hier niet besproken, alleen genoemd worden; voor uitvoerige gegevens zij verwezen naar de origineele publicatie van

Hissink. Zoo is het humusgehalte in het slik en in den kweldergrond vrij hoog. Na het inpolderen daalt dit humusgehalte binnen 70 jaar tot een waarde, die dan niet meer verandert; vorming en afbraak van organische stof houden elkaar dan blijkbaar in evenwicht, bij de Dollardgronden in de bouwvoor op 3.5 à 4 %.

Ook het gehalte aan de voor de plantenvoeding zoo belangrijke stoffen kali, fosforzuur en stikstof daalt na het inpolderen van den grond.

In het algemeen is de verandering van den grond dus een verarming. Toch vindt men niet bij alle eigenschappen een achteruitgang. Er zijn gronden, waar bij het ouder worden het gedeelte van de klei, dat de uitwisselbare basen bindt, het zoogenaamde adsorptiecomplex, waarin zich vele voor de planten belangrijke reacties afspelen en dat als buffer en bindend element een zoo belangrijke rol speelt, afgebroken wordt. Bij de Dollardgronden is hiervan nog niets te merken. In de bouwvoor, waarin alle verouderingsprocessen het eerst optreden, is het adsorptiecomplex na 400 jaar nog volkomen intact; althans als men als maat voor dit intact zijn de hoeveelheid basen neemt, die de grond volgens de methode van Hissink kan binden. Volgens deze methode van Hissink bedraagt het basenbindend vermogen nl.:

Tab. 4. BASENBINDEND VERMOGEN IN MILLI-AEQUIVALENTEN PER 100 G KLEIHUMUS BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Diepte in cm	Ouderdom van den polder in jaren:									
	0 (slik)	0 (kwelder)	8	70	113	163	231	268	306	380
Bouwvoor			85	81	79	80	82	85	86	93

Er zijn ook gronden, waar bij het ouder worden onder medewerking van den zuren humus, die in die gronden ontstaat, o.a. ijzer uit den grond geloogd wordt. Ook hiervan is bij de Dollardgronden niets te merken; de 306 jaar oude polder bevat in de bouwvoor volgens onderzoekingen van Van der Spek per 100 g klei 8.4 % ijzer (oplosbaar in 10 % zoutzuur) en de 8 jaar oude polder eveneens.

De physische veranderingen, die optreden bij de vorming van een bodem uit marien slik, hangen in de eerste plaats samen met de veranderingen in het watergehalte. Het slik, dat vóór en op de kwelder bezinkt, heeft zelfs nog na het uitzakken een zeer hoog watergehalte; per 100 g klei bevat het dan ongeveer 180 g water. De structuur van dit slik moet men zich voorstellen als die van een fijnmazig net van kleine deeltjes, waartusschen de openingen zoo fijn zijn, dat het water er onder normale omstandigheden niet uitloopt. Met dit water vormt het slik een tamelijk stabiel geheel.

Toch is dit systeem van klei en water niet bestand tegen de krachten, die er in den loop der tijden op werken. In de eerste plaats worden de diepere lagen samengedrukt door de hoogere; en in de tweede plaats wordt door de verdamping en de transpiratie der planten in den zomer water aan den grond onttrokken. Tengevolge van capillaire werkingen, met de afneming van het watergehalte gepaard gaande, wordt het fijnmazige net van kleideeltjes in elkaar getrokken, waardoor het poriënvolume en dus ook het waterbergend vermogen van een grondkluit afneemt.

Bij toenemende vochtigheid, dus in den winter, zet het kleinet zich bij het water opnemen wel weer uit, maar dit uitzetten gaat niet zoo gemakkelijk als het in elkaar trekken, vooral niet als het kleinet nog zeer los en betrekkelijk wijdmazig is. Dit is bij het slik het geval; en het gevolg is, dat het watergehalte van een grondkluit, in een grafiek uitgezet tegen den tijd, volgens een zigzaglijn daalt, tot het ten slotte nog slechts om een evenwichtstoestand schommelt. Daar bij kleigronden met een lagen grondwaterstand het watergehalte van den grond hoofdzakelijk bepaald wordt door dat van de afzonderlijke, grootendeels massieve grondkluiten, daalt ook het watergehalte van den grond volgens een zigzaglijn.

Deze indroging begint reeds op de kwelder, waar het watergehalte door de hoogere ligging en de begroeiing aanmerkelijk lager is dan op het slik, zooals uit de volgende tabel blijkt.

Tab. 5. WATERGEHALTE IN G PER 100 G KLEI OP VERSCHILLENDE DIEPTEN BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM:

Diepte in cm	Ouderdom van den polder in jaren:									
	0 (slik)	0 (kwelder)	8	70	113	163	231	268	306	380
Bouwvoor	180	151	73	54	58	52	54	38	49	48
30		127	83	53	53	54	59	35	44	49
50		130	85	59	60	66	68	52	56	56
70		145	118	81	67	71	76	62	70	62
90		144		92	80	77	89	97	84	75

Doch ook na het inpolderen daalt het watergehalte nog aanzienlijk; het sterkste in den eersten tijd. Evenals bij alle tot nu toe besproken processen schrijdt ook de indroging van boven naar beneden voort, zoodat de afneming van het watergehalte boven inzet en daar aanvankelijk het grootste is.

Wanneer de toestand bereikt is, dat het watergehalte nog slechts om een evenwichtstoestand schommelt, is niet gemakkelijk te zeggen. De reversibele schommelingen zijn op het laatst grooter dan de irreversibele indroging. De in de tabel onderstreepte cijfers zijn op

ongeveer denzelfden tijd bepaald, zoodat deze zich wel in de eerste plaats voor een vergelijking leenen. Uit deze onderstreepte cijfers krijgt men den indruk, dat de irreversibele indroging in de bovenste 50 cm binnen 70 jaar afgeloopen is, maar dat dit punt daar beneden pas na ongeveer 100 jaar bereikt wordt. Merkwaardig is, dat ook in dezen evenwichtstoestand het watergehalte in den ondergrond zeer merkbaar hooger is dan in den bovengrond.

Met de indroging van den grond gaat, zooals gezegd, een samentrekking van het kleinet gepaard. Bij dit proces klinkt de grond in verticale richting, terwijl in horizontale richting scheuren ontstaan. Op den duur worden deze scheuren door opvulling met van boven afkomstigen grond min of meer opgevuld, zoodat de horizontale krimp in verticale klink omgezet wordt. Door de indroging wordt de pakkingsdichtheid van den grond dan ook grooter en neemt het poriënvolume af, zooals blijkt uit de volgende tabel, waarin het poriënvolume voor een grond met 70 % klei is opgenomen:

Tab. 6. PORIËNVOLUME IN PROCENTEN OP VERSCHILLENDE DIEPTEN BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Diepte in cm	Ouderdom van den polder in jaren:									
	0 (slik)	0 (kwelder)	8	70	113	163	231	268	306	380
Bouwvoor	76	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30		73	69	56	54	53	57	50	49	50
50		73	72	58	57	61	60	57	55	53
70		73	70	66	59	62	61	61	59	58
90		75		67	62	63	62		61	61

Deze cijfers vertoonen in het algemeen hetzelfde beeld als die van het watergehalte. De afname van het poriënvolume is het sterkst bij den overgang van slik naar kwelder en in den eersten tijd na het droogvallen. Ook hier is na ongeveer 70 jaar in den bovengrond en na 100 jaar daar beneden een poriënvolume bereikt, dat verder nog slechts zeer weinig verandert. En evenals bij het watergehalte, neemt dit evenwichtsporiënvolume met de diepte toe.

De veranderingen in watergehalte en poriënvolume staan in nauw verband met de wijzigingen in de structuur; en deze structuurveranderingen zijn misschien wel het meest typische van de bodemvorming. Zooals reeds opgemerkt, vormt het slik een zeer fijnmazig homogeen net van kleideeltjes; de mazen van dit net zijn zoo fijn, dat het water in normale omstandigheden niet uit de poriën loopt en grond en water practisch één geheel uitmaken.

Een dergelijke toestand is bodemkunstig zeer slecht; grootere ruimten bevat het slik niet, en daar de kleinere altijd met water gevuld zijn en een eventueele beweging van dit water door de groote wrijving

in de nauwe ruimten uiterst traag verloopt, zijn deze kleinere ruimten voor den bodem waardeloos. Het slik bevat daardoor te weinig zuurstof (verkeert in anaeroben toestand) en daar de bacteriën voor haar levensprocessen zuurstof noodig hebben, ontleenen zij deze zuurstof aan het gips, dat in het zeewater voorkomt. Gips is opgebouwd uit verschillende elementen, waaronder zwavel. De zwavel van het van zijn zuurstof beroofde gips bindt zich met ijzer uit den grond tot zwavelijzer, dat zwart is en het slik zijn typische zwarte kleur geeft. Scheikundig kan men de reactie als volgt voorstellen:

$$CaSO_4 + Fe(OH)_3 + CO_2 + 9\,H = FeS + CaCO_3 + 6\,H_2O.$$

Zooals gezegd, zijn de poriën in een homogene kleimassa zoo klein, dat zij altijd met water gevuld zijn, terwijl elke waterbeweging daarin zoo traag gaat, dat deze kleine poriën bodemkundig in veel opzichten als steriel te beschouwen zijn. Waarde hebben in kleigronden alleen de grootere ruimten. Deze ontstaan nu in het slik op tweeërlei wijze.

In de eerste plaats krimpt het kleinet bij den overgang van slik in kwelder en na de inpoldering in, waardoor op de plaatsen van den geringsten weerstand scheuren ontstaan. Dit proces begint zelfs al in het onbegroeide slik; het slik bevat dan veel nauwe haarscheurtjes, waardoor het in kleine brokjes te breken is. Door de scheuring ontstaat de ruimte voor een verdere verbrokkeling en verkruimeling, te danken aan verdere indroging, aan reversibele veranderingen in het watergehalte en in den bovengrond ook aan de vorst. In de tweede plaats ontstaan grootere ruimten door den plantengroei. De wortels dringen in den grond, boren zich ruimten in de kleisubstantie en na hun vergaan blijft een met lucht gevulde gang over.

Door de vorming van scheuren en wortelgangen is de doorluchting van de kwelder veel beter dan die van het slik. Hoewel de kwelder, vergeleken met het slik, al veel water verloren heeft, merkt men er van het scheurvormingsproces, dat zoo karakteristiek is voor jonge gronden, niet zooveel als in den poldergrond. Dit komt, omdat het slik telkens als een dun laagje op de kwelder gedeponeerd wordt en eventueele scheuren direct weer dichtspoelen met nieuw slik. Dieper in den grond worden de scheuren door de persing der hoogere lagen misschien dichtgedrukt.

Toch komen ook in den kweldergrond al veel scheurtjes voor. In de bovenste 80 cm laat de grond zich zeer gemakkelijk verbrokkelen in de kleinere en grootere prismatische elementen, die zoo typisch zijn voor gronden, die onder invloed van het grondwater verkeeren. Maar de doorluchting in den kweldergrond zal toch wel in hoofdzaak te danken zijn aan de oude gangen van plantenresten. Deze zijn in kweldergrond talrijker dan in andere gronden, omdat de bovenlagen altijd veel sterker doorworteld zijn dan de diepere en de diepere bij kwelders vroeger ook bovengrond geweest zijn.

Door het ontstaan van deze grootere ruimten is de kweldergrond veel beter doorlucht dan het slik; en door de overmaat aan zuurstof neemt het zwavelijzer weer zuurstof op en worden de uitgangspro-

ducten gips en ijzerhydroxyde weer teruggevormd. Het proces geschiedt volgens onderstaande vergelijking:

$$2\,FeS + 2\,CaCO_3 + 9\,O + 3\,H_2O = 2\,Fe(OH)_3 + 2\,CaSO_4 + 2\,CO_2.$$

Het bij de oxydatie ontstane ijzerhydroxyde zet zich vooral rondom de oude plantenresten af, waar de doorluchting het beste is. Beneden ongeveer 80 cm is de toestand nog ongeveer als in het slik: de grond is daar nog zwart; scheuren en plantengangen komen er weinig voor.

Een verdere ontwikkeling van de structuur treedt op na de inpoldering van de kwelder; en deze is hoofdzakelijk te danken aan de met de inpoldering gepaard gaande betere ontwatering en sterkere begroeiing. Zooals hiervoor behandeld, droogt de grond daardoor sterk in; en als gevolg daarvan vormen zich groote scheuren in den grond, zoodat de ondergrond dan zelfs in schotsen kan staan. Door de afwisseling van drogere en nattere perioden, de vorst, den wortelgroei en de werking van in den grond levende dieren worden deze schotsen verder verbrokkeld.

Door den invloed van het nabije grondwater blijft deze verbrokkeling, althans beneden de bouwvoor, staan bij de vorming van hoekige prismatische elementen. Deze structuurelementen kunnen wel veel naaldfijne poriën hebben, afkomstig van vergane wortels, maar bestaan overigens uit het hiervóór beschreven homogene altijd met water gevulde kleinet. Boven zijn de structuurelementen vrij klein, misschien 1 cm in doorsnede, maar naar beneden worden zij door de grootere nabijheid van het grondwater grooter; de prisma's zijn daar sterk in de lengte gerekt en pilaarvormig.

Door deze scheuring en verkruimeling wordt de landbouwkundig zoo belangrijke doorlatendheid van den grond voor lucht en water beter. Het gemakkelijkst zichtbaar uit zich dit hierin, dat de zone van volkomen anaerobiteit, kenbaar aan de zwarte kleur van het zwavelijzer, dieper in den grond komt te liggen. Bij den door Hissink onderzochten 8 jaar ouden polder lag zij al op 115 cm tegen op 80 in de kwelder; in de nog oudere polders ligt zij algemeen op 150 cm. Dieper in den grond vindt geen structuurvorming plaats.

In den grond zijn ook krachten werkzaam, die de structuurvorming te niet trachten te doen. De grootere ruimten hebben de neiging om weer opgevuld te worden met grond, die er van boven af invalt of inspoelt. Ook het woelen van dieren werkt in dezelfde richting. De opvulling geschiedt voornamelijk in droge tijden, als de scheuren wijder zijn dan normaal en ook de invallende grond een klein volume heeft. Als in natte tijden de grond dan weer uitzet, worden de structuurelementen tegen elkaar aangedreven en weer verkit tot een homogene dichte massa.

Door deze werkingen doorloopt de structuurmogelijkheid bij poldergronden een maximum. In zeer jongen toestand bestaat de bodem uit een grootendeels homogene kleisubstantie zonder veel grootere ruimten. Er komt dan een tijd, dat de vorming van grootere ruimten overweegt over de opvulling er van, doordat de grond indroogt. Op den

duur moet de opvulling der grootere ruimten overwegen over de vorming van nieuwe; ten slotte wordt, als de overige omstandigheden in den grond gelijk blijven, een toestand bereikt, waarbij de structuurregenereerende krachten als de afwisseling van droge en nattere perioden, de vorst en de borende werking van plantenwortels en dieren evenwicht maken met de structuurvernietigende verplaatsing van gronddeeltjes naar beneden. Als door de ontkalking van den grond het transport van gronddeeltjes met het naar beneden zakkende water toeneemt, komt het evenwicht weer op een lager niveau te liggen.

Het is moeilijk om precies aan te geven, wanneer en in welke mate dit structuurverval, dat landbouwkundig en bodemkundig zoo belangrijk is, begint op te treden. Als men een profiel van een ouden en van een jongen Dollardgrond vergelijkt, ziet men vrij duidelijke verschillen: groote scheuren komen niet meer voor, de grond laat zich niet zoo gemakkelijk verkruimelen en maakt een dichteren indruk. Maar het is moeilijk deze eigenschappen zoo te omschrijven, dat een quantitatief beeld van de veranderingen ontstaat.

Het beste beeld over de structuurveranderingen geven misschien nog de cijfers over de doorlatendheid, zooals die door Hissink bepaald zijn: een cylinder wordt in den grond gedrukt en uitgegraven; op dezen cylinder wordt dan water gegoten. Daar de zeer kleine poriën in het kleinet practisch niet deelnemen aan de waterbeweging, is de hoeveelheid water, die door den grond loopt, een maat voor de hoeveelheid grootere ruimten. Voor de laag, waarin de structuurveranderingen het beste nagegaan kunnen worden, die van ± 25—75 cm onder maaiveld, zijn de volgende cijfers gevonden:

Tab. 7. DOORLATENDHEID IN M PER ETMAAL PER 7 CM BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Diepte in cm	Ouderdom van den polder in jaren:									
	0 (slik)	0 (kwelder)	8	70	113	163	231	268	306	280
25-75		17	63	93	82	165	33		28	20

Hoewel aan de cijfers geen al te groote waarde gehecht moet worden, wijzen zij er toch duidelijk op, dat na het inpolderen van den grond de doorlatendheid sterk toeneemt en dat deze daarna de eerste 150 jaar niet minder wordt. Men krijgt uit de tabel den indruk, dat het structuurverval na ongeveer 200 jaar inzet, maar de in den 231 jaar ouden polder bemonsterde plek representeert niet geheel den normalen toestand. Vermoedelijk begint pas na 250 jaar een zeer merkbare verslechtering van de structuur en doorlatendheid op te treden, terwijl in de oudste polders de toestand beslist minder is dan in de jongere.

Een zelfde beeld geven de cijfers van het luchtgehalte van den grond, dat, mits op één zelfde tijdstip bepaald, eenigszins een relatieve maat

is voor het gehalte aan grootere ruimten bij kleigronden. In de polders van verschillenden ouderdom werden in de laag van ± 25—75 cm de volgende luchtgehalten gevonden, waar bij de in denzelfden tijd van het jaar bemonsterde plekken gelijk onderstreept zijn:

Tab. 8. LUCHTGEHALTE IN VOLUMEPROCENTEN BIJ TOENEMENDEN OUDERDOM

Diepte in cm	Ouderdom van den polder in jaren:									
	0 (slik)	0 (kwelder)	8	70	113	163	231	268	306	380
25-75		4	11	13	10	11	8		6	5

Ook uit deze cijfers krijgt men den indruk, dat ernstig structuurverval niet vóór 250 jaar na het inpolderen optreedt. Dus ongeveer op hetzelfde oogenblik, waarop de koolzure kalk uit de bouwvoor verdwijnt. Dat beide verschijnselen samenhangen, is wel waarschijnlijk, maar laat zich niet nader bewijzen.

In het voorgaande zijn de veranderingen geschetst, die het mariene slik na de afzetting en inpoldering in de eerste 400 jaar ondergaat. Kort samengevat komt deze verandering neer op een verarming van den grond aan waardevolle bestanddeelen en op een ineenkrimpen van het kleinet, waardoor de structuurmogelijkheid eerst beter en daarna slechter wordt. De vraag is nu, of in deze 400 jaar al een eindstadium bereikt is.

Chemisch is er niets, dat er op wijst, dat dit reeds het geval zou zijn. Integendeel; de 400 jaar oude grond bevat in den ondergrond nog steeds koolzure kalk, terwijl het dan nog geen 150 jaar geleden is, dat de koolzure kalk, die de uitlooging van de andere bestanddeelen en de structuurverslechtering tegenhoudt, uit de bouwvoor verdwenen is. Het proces van de verarming aan uitwisselbare basen is dan nog geen 100 jaar aan den gang; en de toestand van den oudsten polder is merkbaar slechter dan die van den op één na den oudsten polder. Als men de cijfers over het watergehalte en het poriënvolume beschouwt, krijgt men den indruk, dat ten aanzien van die eigenschappen na 100 à 150 jaar een eindpunt bereikt wordt; maar de met deze eigenschappen samenhangende structuur is dan zeker nog niet constant geworden.

Hoe de veranderingen in den grond nà 400 jaren verloopen, is aan de Dollardgronden niet na te gaan, omdat er geen oudere Dollardgronden zijn. Wel zijn er in de provincie Groningen nog oudere kleigronden, maar deze zijn lang niet in die mate bestudeerd als de Dollardgronden. In verband met dit onderwerp kan men in de provincie Groningen 3 soorten kleigronden onderscheiden:

1 *Zeer oude kleigronden.* Deze hebben een zeer hoog kleigehalte en

vormen een zoom om het Diluvium. Het is de vraag, of deze gronden wel door de zee afgezet zijn.

2 *Jongere, maar nog zeer oude kleigronden.* Deze zijn meestal veel lichter dan de oudere kleigronden en dan de Dollardgronden. Zij liggen aan de zeezijde van de oudere kleigronden en zijn ongetwijfeld door de zee afgezet.

3 *Jonge, tot zeer jonge kleigronden.* Hiertoe behooren de Dollardgronden, maar ook veel aanslibbingen aan de Noordkust van Groningen. De historie van deze gronden, waartoe de aanslibbingen vanaf misschien 1600 behooren, is over het algemeen goed bekend.

Bij de gronden uit de tweede periode komen er voor, die minstens 1000 jaar oud zijn. Als men die gronden vergelijkt met de oudste Dollardgronden, blijken de verschillen in chemisch opzicht, voor zoover bestudeerd, niet groot te zijn. In den regel wordt bij deze gronden op 50 à 60 cm diepte al koolzure kalk aangetroffen, dus op dezelfde diepte als in de oudste Dollardpolders. Ook de pH, die bij niet bekalkte gronden een goede maat is voor den basentoestand van den grond, ligt niet op een lager niveau dan bij de Dollardgronden, al moet wel bedacht worden, dat veel van deze gronden al eens mèt kalk bemest zijn. De laagste door het Bodemkundig Instituut in de bouwvoor aangetroffen pH is 5.8, dus even hoog als in de Dollardpolders. Ook de verhouding van de uitwisselbare magnesia tot de uitwisselbare kalk, die in oude gronden steeds meer in de richting van de magnesia verschuift, is ongeveer dezelfde als in de Dollardgronden: namelijk 1 op 3 à 4.

Groot zijn de verschillen in chemisch opzicht dus niet. Zooals echter reeds opgemerkt, is de snelheid van de veranderingen in den grond niet alleen een factor van den tijd, maar ook van andere omstandigheden, o.a. van de ontwatering. Het is dus niet onmogelijk, dat deze 1000 jaar oude gronden, bodemkundig gesproken, niet veel ouder zijn dan de oudste Dollardpolders.

De structuur van de gronden uit de tweede periode is vaak minder dan die van de oudste Dollardpolders, terwijl ook de ondergrond vaak erg ondoorlatend is. Gronden met een lager kleigehalte zijn échter meer aan structuurbederf onderhevig dan zwaardere, zoodat het niet zeker is, dat deze slechtere structuur een gevolg is van den grooteren ouderdom.

Ook bij de oudste kleigronden, die in den laatsten tijd door Van der Spek bestudeerd zijn, aan wiens werk de hier volgende cijfers ontleend zijn, vinden wij pH's, die zich niet wezenlijk onderscheiden van de oudste Dollardgronden: in de allerbovenste laag van 5.5 en 6 en daarboven, op 30 cm diepte in de buurt van 6.5 en op 50 cm diepte in de buurt van 7. Zelfs wordt beneden 60 cm nog wel vaak koolzure kalk aangetroffen.

Physisch onderscheiden deze oude kleigronden zich evenwel sterk van de oudste Dollardgronden. Zij zijn berucht door hun dichte ligging en zware bewerkbaarheid. In den ondergrond komen vaak zeer dichte lagen voor: de zoogenaamde kniklagen, die practisch ondoorlatend zijn voor water.

Verschillende onderzoekers, o.a. Schucht, hebben gedacht, dat deze knikgronden het eindstadium van de veroudering van marien slik, dus het eindpunt van de bodemvorming, zouden voorstellen. Nadat de koolzure kalk uit den grond geloogd is, zouden de kleideeltjes in beweging raken en deze zouden alle poriën en grootere ruimten in den ondergrond verstoppen. Vooral in wat nu de kniklaag is, zouden deze kleideeltjes zijn blijven hangen. Inderdaad vindt men in de zoogenaamde kniklaag vaak een hooger kleigehalte dan daaronder en daarboven, maar een vaste regel is dit niet. En het is natuurlijk ook nog mogelijk, dat dit hoogere kleigehalte daar primair aanwezig was. In deze kniklagen is het poriënvolume ook lang niet altijd kleiner dan daaronder en daarboven, zelfs niet kleiner dan in de oudste Dollardgronden in den bovengrond; en dit pleit ook niet voor de opvatting, dat de kniklagen door inspoeling van deeltjes van boven ontstaan zijn.

De verklaring van deze kniklagen is daarom ook zoo moeilijk, omdat het nog niet eens zeker is, dat deze oudste kleigronden wel op normale wijze door de zee afgezet zijn. Edelman ten minste twijfelt hieraan volgens mondelinge mededeeling; en ook het onderzoek van Van der Spek heeft aanwijzingen in die richting gegeven.

Een voorspelling, welke veranderingen de Dollardgronden bij toenemenden ouderdom zullen ondergaan, is daarom zeer gewaagd. Het is wel waarschijnlijk, dat de eventueele verdere wijziging in chemische eigenschappen zich uiterst langzaam, en zonder het karakter van den grond ingrijpend te wijzigen, zal voltrekken. Voor de physische eigenschappen is slechts te hopen, en hiermede kan deze voordracht besloten worden, dat de Dollardgronden niet te eeniger tijd het lot wacht van de reeds half versteende knikgronden.

LITERATUUR,

waaruit bij het schrijven van deze voordracht geput is:

J. M. van Bemmelen: Bouwstoffen tot de kennis van de kleigronden der provincie Groningen. (Scheikundige verhandelingen en onderzoekingen, uitgegeven door G. J. Mulder; Derde deel, Tweede stuk; 1863).

C. H. Edelmann en W. A. J. Oosting: Programma van de vijfdaagsche bodemkundig-geologische excursie door Gelderland, Twenthe, Drenthe, Groningen, Friesland en Noord-Holland (Gecyclostyleerde mededeeling Landbouwhoogeschool Wageningen; 1935).

D. J. Hissink en J. van der Spek: Bijdrage tot de kennis van knikgrond (zal dijkte Dollardpolders. (Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen, 41 B; 1935).

D. J. Hissink en J. van der Spek: Bijdrage tot de kennis van knikgrond (zal vermoedelijk verschijnen in de Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen).

J. G. Maschhaupt: Verslag van een onderzoek naar de gesteldheid van den bodem in den Dollard met het oog op inpoldering. (Bijdragen tot de kennis van de provincie Groningen en omgelegen streken; 1923).

——: De cultuurgronden op IJsselmonde. (Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen, 39; 1933).

F. Schucht: Über das Vorkommen von Bleicherde und Ortstein in den Schlickböden der Nordseemarschen. (Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, III; 1913).

G. A. Stratingh en G. A. Venema: De Dollard of geschied-, aardrijks- en natuurkundige beschrijving van dezen boezem der Eems (1855).