

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research Center
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

ICW nota 1731
september 1986



nota

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen

Reisverslag van een bezoek aan IJsland

Drs. A. B. Pomper

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

INHOUD:

1. Inleiding.
 2. Het Symposium Water-Rock Interaction-5 (WRI-5).
 3. De Sessie Bodemverzuring.
 4. Overige voordrachten.
 - 4.1. Diagenese.
 - 4.2. Geothermische vloeistofchemie.
 - 4.3. Experimentele studies.
 - 4.4. Isotopenstudies.
 5. De Mid-Session Field Trip.
 6. Vulkanisme.
 - 6.1. De opbouw van de aarde.
 - 6.2. Tektoniek en vulkanisme.
 - 6.3. Het ontstaan van vulkanisme.
 - 6.4. Het vulkanisme op IJsland.
 7. De excursiepunten.
 - 7.1. Gullfoss.
 - 7.2. Geysir.
 - 7.3. Het Hekla massief.
 - 7.4. Glaciale verschijnselen.
 8. Conclusies.
 9. Literatuur.
- Bijlage

ALTERRA

Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

REISVERSLAG VAN EEN BEZOEK AAN IJSLAND.

1. Inleiding:

In verband met deelname aan het Symposium "Water-Rock Interaction-5" (WRI-5) welk in Reykjavik (IJsland) werd gehouden, werd een tiendaagse reis gemaakt (7-17 augustus). De eerste vijf dagen werden besteed aan het symposium; de volgende aan een veldbezoek. Dit laatste in verband met het bestuderen van de vulkanische verschijnselen en de geomorfologische gevolgen en de glaciële verschijnselen van het nog voorkomend landijs.

In deze nota zullen achtereenvolgens het symposium WRI-5 en het veldbezoek worden belicht.

2. Het Symposium Water-Rock Interaction-5 (WRI-5).

De werkgroep Water-Rock interaction is één van de subgroepen van de International Association of Geochemistry and Cosmochemistry. De subgroep organiseert drie-jaarlijkse symposia. Het doel van deze symposia is het vergroten van het inzicht rondom oplossings- en neerslag processen van in grondwater opgeloste stoffen in relatie met het bodem-materiaal in de breedste zin des woords.

Het programma van het symposium bestond uit vier dagen technische sessies en een dag veldbezoek. Tijdens de technische sessies werden -deels parallel- de volgende onderwerpen behandeld :

- Diagenese, ontstaan en verandering van gesteente; en grondwater;
- Actieve geothermische systemen ;
- Hydrothermale veranderingen ;
- Geothermische vloeistofchemie ;
- Bodem verzuring ;
- Erts genese ;
- Experimentele studies ;
- Isotopen studies ;
- Basalt-zeewater interactie ;
- Organische reacties ;
- Fossiele geothermische systemen ;
- Geothermische en magmatische processen ;
- Nucleaire afvalverwerking.

Een klein deel van de papers werd als posters gepresenteerd; de rest werd in korte voordrachten toegelicht.

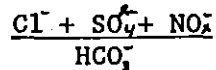
Onzerzijds werd een paper gepresenteerd getiteld "Human influences on groundwater quality in the Southern Peel, a sandy region in The Netherlands". De paper wordt opgenomen in de proceedings van het symposium en is daarnaast als Report nr.16 van het ICW verschenen. De paper presentatie had plaats onder het onderwerp "bodem verzuring".

In hoofdstuk 3 zal de sessie "bodemverzuring" uitvoerig worden behandeld, waarna in hoofdstuk 4 voordrachten uit andere sessies, die werden bijgewoond, kort worden belicht. Hoofdstuk 5-8 beschrijven veld bezoek.

3. De sessie Bodemverzuring.

Tijdens deze sessie werden zes bijdragen gepresenteerd.

THOMAS PACES (Tsjechoslowakije) behandelde de invloed van de neerslagverzuring op de bosopstand in Centraal Europa (Lit. 7). Als gevolg van de verzuring heeft een toename plaats van de gehalten van sterke zuren in het neerslagwater ten opzichte van zwakke zuren. De equivalent verhouding



is in de Elbe in Tsjechoslowakije toegenomen van 0.52 (1892) naar 1.52 (1976). De oorzaak ligt deels in de zure neerslag, deels in afval water lozingen.

Als bronnen voor de neerslagverzuring worden de bekende factoren industrie (SO_4 en NO_x) en mestverwerking (NH_4) genoemd.

Het gevolg van de toename van het protonengehalte van het infiltrerende water in de bodem is een vergroting van de verwerking van bodemmineralen, waardoor silicaten - met name aluminium silicaten - in oplossing gaan.

Ondertussen heeft door een versnelde uitloging van de bodem - gepaard gaande met een vermindering van de beschikbare Na^+ , K^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} , een sterke afname van de buffercapaciteit van de bodem plaats. De enige buffer die nog beschikbaar blijft is aluminium in kleimineralen.

Aangezien geen ionen van lagere waardigheid in het kleicomplex aanwezig zijn blijft aluminium in oplossing. Bovendien is deze buffer niet in staat de zuurgraad (pH) boven een waarde van 5 te krijgen, zodat versnelde verwerking van het vaste gesteente (bedrock) in de ondergrond plaats heeft. Hierbij moet worden gerealiseerd dat de bosgebieden in Centraal Europa vooral voorkomen op de hellingen van gebergten, waar de bodemlaag zeer dun is (meestal minder dan een meter). De laagvlakten - waar de bodemchemische situatie uit dit oogpunt veel gunstiger is - zijn vooral in gebruik als landbouwgrond.

Intussen heeft opname van aluminium door de plantwortels plaats wat leidt tot vergiftiging en boomsterfte. Genoemde verschijnselen komen in een belangrijke mate overeen met de resultaten van de schudproeven op het ICW.

NEAL (Groot Brittannië) hield een voordracht over het gebruik van tracers bij bodemverontreiniging (Lit. 6). Het onderzoek vond plaats aan de hand van waarnemingen in twee kleine stroomsystemen in Wales; zijrivieren van de Severn. De reden van het onderzoek was het nagaan van mogelijkheden voor bosbouw in het gebied. Het ene stroomgebied (Afon Hafren) was begroeid met verschillende soorten naaldhout, het andere (Afon Hore) was ontbost. Aan de hand van de verhouding tussen de concentraties van een bepaalde groep ionen enerzijds en strontium en broom anderszijds, werd de invloed van de neerslag op de grondwatersamenstelling bestudeerd.

De concentratie verhoudingen tussen de meeste ionen en de tracers was voor beide stroomgebieden ongeveer gelijk. De verschillen traden op in de concentraties van calcium en magnesium. In het ontboste Afon Hore gebied werden hoge relatieve calcium concentraties gevonden, waarbij een negatieve correlatie met de neerslag intensiteit optrad. Lange verblijftijden

van het water in de ondergrond werkte duidelijk verhogend op het calcium gehalte van het grondwater in dit gebied. In het beboste Afon Hofren gebied was het calcium gehalte constant en laag.

Ondanks de relatief hoge calcium concentraties van het grondwater in het Afon Hore gebied, heeft weinig uitspoeling naar de rivier plaats.

ROSENQUIST (Noorwegen) sprak over het effect van de verzuring van de neerslag op de kwaliteit van oppervlakte water (Lit. 10). Hij twijfelt aan de theorie dat verzuring van de meren in Scandinavië het gevolg is van de neerslag verzuring. Ook twijfelt hij aan de veronderstelling dat de verzuring van de meren een verschijnsel is van de laatste decennia, zoals algemeen wordt aangenomen.

Tijdens de voordracht werd voorgerekend dat de zuurproductie in de bodem ten gevolge van biochemische processen in de bodem veel groter is dan de zuurtoevoer via de neerslag. Door verwerking in de voornamelijk uit gneiss bestaande vaste ondergrond heeft volledige zuurbuffering plaats. Op plaatsen in de wereld waar deze zuurbuffering niet plaats heeft - b.v. in gebieden met lateritische bodems in Zuid-Amerika (Amazonegebied) -, komt zeer zuur oppervlaktewater voor. Zo is het normaal dat de zuurgraad van rivieren in het tropische deel van Amerika, een waarde heeft van ongeveer 4.

Overigens worden in Skandinavië weliswaar pH waarden van de neerslag van 4 of minder waargenomen, maar op jaarbasis is deze waarde gemiddeld veel hoger.

Effekten als vissterfte in de meren en boomsterfte in de bossen moeten eerder worden gezien als het gevolg van lokale vervuiling, wat geen nieuw probleem is (het verschijnsel wordt zelfs in de Noorse folklore genoemd). De massale boomsterfte treedt erg lokaal op en wordt gezien uit het oogpunt van de extreem doorgevoerde monocultuur in de bosbouw en de veranderde techniek (in tegenstelling met vroeger worden thans hele hellingen tegelijk gekapt en herbeplant).

SMITH (USA) gaf een uiteenzetting over de vormen waarin Aluminium (III) in de ondergrond voorkomt en de effecten op de vegetatie (Lit. 14).

In oorsprong komt Al(III) uitsluitend voor in zeer stabiele monomere kristallen. Dit aluminium kan door reactie met hydroxide ionen in polymere metastabiele aluminium hydroxide complexen worden omgezet. Inmiddels stijgt de pH, waardoor de opgeloste aluminium oververzadigd raakt en dit geeft vergroting van het instabiele microkristallijn gibbsiet. Ook kan polynucleair Al(III) worden opgenomen in kaoliniet. Zolang polynucleair Al(III) in oplossing is, is het giftig voor planten.

Zowel monomeer als polymeer aluminium kan met allerlei organische verbindingen - zowel in het grondwater als in het bodemmateriaal - reageren. De aldus ontstane aluminium verbindingen zijn weinig toxisch, zowel voor planten als voor dieren. Als deze organische aluminium verbindingen in het oppervlaktewater komen zullen zij uiteindelijk op allerlei manieren uit het water verdwijnen. Indien opgelost Al(III) in het oppervlaktewater komt zal het geleidelijk ook met organische stoffen reageren, waardoor zij hun giftige werking verliezen. Het gevolg is dat alleen in de bovenlopen van de rivieren voldoende van dergelijke stoffen aanwezig zijn om belangrijke invloed te hebben. Aangezien juist daar de, voor de rest van het aquatische systeem belangrijke, vissen hun eieren en jongen die-

ren hebben, heeft door het voorkomen van giftige stoffen in de bovenlopen van de rivier, ^{en}afname van de visstand in het gehele systeem plaats.

SKOREPA (Tsjechoslowakije) bracht een paper over het aniongehalte van grond- en oppervlaktewater in Tsjechoslowakije (Lit. 12). Het betreft een vergelijking van neerslag water uit 1974 met grond- en oppervlaktewater uit 1968 in een gebied langs de Elbe (Centraal Bohemen). De ondergrond van het gebied bestaat uit afzettingen uit het Kwartair en het Krijt. In het gebied liggen zes waterwin terreinen, waar grondwater wordt onttrokken op diepten tussen 20 en 50 meter.

Waargenomen was dat de gehalten aan chloride, sulfaat, nitraat en ammonium in het neerslagwater geen hoge waarden vertoonden (in orde van grootte van milligrammen per liter). Het oppervlakte water vertoont tien maal hogere concentraties voor chloride en sulfaat als die van neerslagwater, terwijl die van grondwater twintig maal zo hoog waren. De gehalten aan stikstof verbindingen waren in alle drie de sferen ongeveer gelijk.

De gegevens van de laatste jaren tonen aan dat er een zekere stabiele situatie is ontstaan. Alleen de stikstof gehalten van het grondwater geeft een stijging te zien. De jaarlijkse variaties in de waarden vertonen een zekere correlatie met van het neerslagwater.

POMPER legde bij de presentatie de nadruk op processen in kalkarme gronden rondom de mobilisatie van calcium uit het kleicomplex door uitwisseling met aluminium in het grondwater, aan de hand van waarnemingen in de Zuidelijke Peel (de "extended summary" is als bijlage toegevoegd). Hoewel de paper zelf (lit. 8) ook informatie geeft over het voorkomen van sulfaat en nitraat in relatie met de hydrologische situatie, werd om wille van de tijd beperkt tot het aluminium-calcium probleem, mede omdat dit het meest aansloot bij het hoofdonderwerp van het symposium Water-Rock Interaction.

Uit kolom- en schudproeven was gebleken dat onder zure omstandigheden in de onverzadigde zone aluminium(III) wordt gemobiliseerd door vertering van veldspaten. Dit proces heeft uiteraard plaats in uitgeloopte gronden, waardoor geen zuurbuifering kan plaats hebben door mobilisatie van calcium, magnesium e.d.

Aangekomen in de verzadigde zone heeft uitwisseling plaats van de Al(III) ionen tegen ionen in het kleicomplex met een lagere waardigheid, met name calcium.

Uit de waarnemingen blijkt dat de hoogste gehalten aan calcium in het grondwater niet voorkomen direkt onder de grondwaterspiegel maar een meter lager. De verklaring wordt gezocht in het feit dat het uitwisselings proces enige tijd vergt. Plaatselijk zijn gehalten van meer dan 200 mg/l waargenomen.

De hoge waarden van het calcium gehalte beperken zich tot een diepte van 7-10 meter. De ondergrens valt samen met de diepte van de zg. congruentlaag, welke diepte wordt bepaald door de drain-afstand. Binnen dit pakket wordt het overgrote deel -en daarmee de daarin opgeloste stoffen- via het oppervlakte-water afgevoerd.

Voeding van het diepere water met ionen uit bovengenoemde laag -o.a. calcium- heeft plaats door dispersie en diffusie, maar vooral doordat tijdens droge perioden een groot deel van de sloten droog valt en daardoor tijdelijk een veel diepere drainage diepte voorkomt. De dikte van deze laag wordt bepaald door de regionale grondwaterstroming en heeft in het

Peelgebied een waarde van 20-30 meter.

Dat er een duidelijke relatie bestaat met de landbouw blijkt uit het feit dat de dikte van de vanuit het landoppervlak beïnvloede laag onder de natuurgebieden veel geringer is dan onder agrarische gebieden en toeneemt in de richting van de grondwaterstroming. Binnen deze laag is er een grote correlatie tussen de gehalten aan calcium, chloride en sulfaat. Nitraat komt beneden 8 m-maaiveld in zeer geringe gehalten of helemaal niet voor.

SHEN ZHAOLI (Volksrepubliek China) presenteerde een paper over de verzuring van de neerslag in de benedenloop van de Yangtse Kiang (lit. 12).

In het dichtbevolkte sterk geïndustrialiseerde gebied heeft een sterke toename plaats gehad van het gehalte aan sulfaat en zure stikstofverbindingen in de neerslag. De oorzaak ligt in het grote gebruik van steenkool als brandstof.

Door de hoge neerslag in het gebied (1300 mm/jaar) beperkt zich de vervuulende invloed tot 600 meter rondom de vervuulingsbron. Wel verspreidt zich deze vervuiling via het grondwater, waar sterke oplossing van calcium-aluminium silicaten plaats heeft. Hierbij heeft vooral oplossing van calcium plaats, terwijl de meer stabiele aluminium silikaten in de bodem achter blijven. De reeds van nature aanwezige lateriet vorming in het gebied wordt daardoor versterkt.

DISCUSSIE : Door het sterk gecomprimeerde programma en de daardoor beperkte tijd voor discussie tijdens de sessies, speelde de discussies zich tijdens de koffiepauzes en de avond programma's af.

Belangrijk voor het werk op het ICW waren gesprekken over aluminium mobilisatie in de bodem op de natuurlijke vegetatie. Daarbij kwam duidelijk naar voren dat de dikte van de verweerde laag boven het vaste gesteente en de aard van het moeder-materiaal van het losse gesteente, van wezenlijk belang is.

Een en ander heeft ten gevolge dat de processen van plaats tot plaats sterk kunnen verschillen. In Skandinavië komt onder de dunne verweringslaag vaak gneiss voor. Gneiss is een dieptegesteente dat ontstaan is uit granitische gesteenten, die onder zeer hoge druk en temperatuur is gemetamorfiseerd. Het zo ontstane gesteente heeft een sterke drukgelaagdheid met veel scheuren. Oppervlakte water kan daardoor betrekkelijk diep in het moedergesteente doordringen en er treedt sterke verwerking op. Er heeft een belangrijke zuurbuffering plaats. De in de verweringslaag gemobiliseerde aluminium wordt gebonden in stabiele aluminium silikaten.

Anders is de situatie in gebieden waar het vaste gesteente uit kwartsrijke -al of niet gemetamorfiseerde- sediment gesteenten of dieptegesteenten bestaat. De Al(III) hoopt zich dan in de bodem op, vooral als de begroeiing uitsluitend uit naaldhout bestaat.

Doordat loofbomen veel meer organische zuren in de bodem brengen dan naaldbomen, heeft in loofbossen of gemengde bossen, vorming van de in de voordracht van SMITH genoemde niet giftige organische aluminium verbindingen plaats. Als voorbeeld noemde ROSENQVIST een situatie op een landgoed in Beieren. Het betrof een tientallen hectaren groot landgoed dat uitsluitend wordt gebruikt voor jacht. Er is een sterk gemengde bosopstand, terwijl het enige onderhoud bestaat uit het kappen van paden voor de jacht. Het bos vertoont geen enkel teken van verval. Dit in tegenstelling met het bos in de omgeving. Het

betreffende landgoed ligt in een groot gebied met productiebos, bestaande uit naaldbout (mono-cultuur) . Buiten het landgoed heeft dramatische boomsterfte plaats.

Alles overziend moet sterk worden getwijfeld of de verzuring van de neerslag, wel als enige en procesbepalende faktor bij de waargenomen veranderingen in de natuur als moet worden beschouwd -zoals tegenwoordig algemeen opgang vindt.

Eén van de Japanse deelnemers toonde grote belangstelling voor de langs de Peelrandbreuk voorkomende wijstverschijnselen die tijdens de voordracht aan de hand van een oude figuur van Ernst en de Ridder terloops werden genoemd.

4. Overige voordrachten.

Algemeen: Buiten de sessie "Bodemverzuring" werd een keuze gemaakt uit de voordrachten die -in drie sessies parallel- werden gehouden. Hierbij was het niet mogelijk alle voordrachten bij te wonen die voor het werk op het ICW van belang zouden kunnen zijn, omdat sommige van de gewenste voordrachten samenvielen. Enkele voordrachten werden gekozen voor versterking van de eigen geologische kennis. Achtereenvolgens werden voordrachten bijgewoond over de volgende onderwerpen:

- Diagenese, ontstaan en verandering van gesteente; en grondwater;
- Geothermische vloeistofchemie;
- Isotopen studies;
- Experimentele studies;
- Fossiele geothermische systemen;
- Basalt zeewater interactie.

Een aantal van deze voordrachten wordt kort belicht.

4.1. Diagenese : EGEBERG (Noorwegen) geeft een uiteenzetting over de herkomst van formatiewater uit een aantal olieboringen in de Noordzee voor de Noorse kust (lit.1). Het betreft water dat zeer grote variaties in zout concentraties vertoont : van brak tot extreem zout (brines).

De onderzochte watermonsters hebben een natriumchloride verhouding gelijk aan die van zeewater . Het betreft water dat al zeer lang , meest sedert de vorming van het gesteente (mariene kalk- en zandsteen) ondergronds is.

Als oorzaak van de verandering van de totale zoutconcentraties kan worden genoemd:

- indamping;
- membraan werking van het sediment;
- chemische reacties.

Bij dit alles moet worden opgemerkt dat de concentraties meestal met de diepte toenemen, hoewel niet bij alle boringen in dezelfde mate. Uit het feit dat er nooit een afname van het zoutgehalte met de diepte is waargenomen en het feit dat de verhouding tussen natrium en chloride praktisch gelijk blijft, kan worden aangenomen dat membraanwerking uitgesloten is. De concentraties aan natriumchloride zijn dusdanig dat geen neerslag plaats heeft.

Andere belangrijke elementen zijn calcium, magnesium en strontium. De gehalten aan deze elementen zijn sterk beïnvloed door chemische reacties met het moedergesteente en door oververzadiging. Een extra complicatie hierbij is de toename van de temperatuur met de diepte (30° C per km).

Uit modelberekeningen kwam naar voren dat te verwachten is dat de Ca-Mg verhouding zou toenemen als gevolg van dolomitatie van aragoniet. Dit is in redelijke overeenstemming met de waarnemingen.

GISLASON (IJsland) bracht een paper over de ouderdom van grondwater in relatie met de fysische eigenschappen van de aquifers in IJsland (lit.2).

De verblijftijd wordt berekend met de formule:

$$t = \frac{\Delta L^2}{kAh} - \frac{(C-C_0)r}{3K}$$

waarin:

- t - verblijftijd (sec)
- C_0 - uitgangskoncentratie van het grondwater (mol/cm³)
- C - waargenomen concentratie (mol/cm³)
- r - korreldiameter (cm)
- L - lengte van de afgelegde weg (cm)
- k - doorlaatfactor (cm/sec)
- K - lineaire oplossingscoëfficiënt (mol/cm³.sec.)
- h - stijghoogte (m)

In verband met de hoge stroomsnelheden werden convectorie en dispersie verwaarloosbaar geacht (uitgangspunten waar overigens aan getwijfeld moet worden).

In de vulkanische gesteenten worden zeer hoge doorlatendheden waargenomen, wat leidt tot gemiddelde verblijftijden van 40-400 dagen. Een en ander is gestaafd aan de hand van veldwaarnemingen en laboratoriumproeven.

4.2. Geothermische vloeistofchemie.

WHITE (USA) geeft een voordracht over de klassificatie van grondwater op basis van genetische oorsprong (lit. 17). Deze omvat:

- Meteorisch water, geïnfilteerd neerslagwater of formatiewater van fluviatiele sedimenten;
- Oceanisch water, geïnfilteerd zeewater of formatiewater van mariene sedimenten;
- Gemodificeerd conmaat water, oceanisch of meteorisch water dat door langdurig verblijf ondergronds, van samenstelling is veranderd door Water-Rock interactie;
- Metamorf water, oceanisch of meteorisch water van sedimenten die intensieve metamorfe dehydratie hebben ondergaan. Hieronder valt ook ultrametamorf water uit sedimenten die gesmolten zijn geweest;
- Magmatisch water, water dat uit magma afkomstig is; hieronder valt dus ook ultrametamorf water;
- Juveniel water, nieuw gevormd water door oxidatie van uit diepere lagen afkomstige waterstof.

Een scherp onderscheid tussen de verschillende water-soorten is om verschillende redenen niet mogelijk. Wel worden veel gegevens verkregen door bestudering van gehalten aan stabiele isotopen. Met name de verhouding ¹⁸O/¹⁶O geeft informatie over de herkomst, omdat ieder van de genoemde categorieën kenmerkende waarden voor deze verhouding geven.

4.3 Experimentele studies.

SCHUILING (RU te Utrecht) presenteerde een paper en een poster over een nieuwe techniek voor het milieuvriendelijk neutraliseren van zuren met behulp van olivijn (lit. 11).

In verband met een vraag van VROM voor het ontwikkelen van een uit milieu oogpunt verantwoorde techniek voor het neutraliseren van sterk verzuurd industrieel afvalwater, werd een techniek ontwikkeld, waarbij olivijn als zuurneutralisator wordt gebruikt. Tot op heden wordt hiervoor kalk gebruikt, wat als bezwaar heeft dat daarbij gips ontstaat, ook niet op het land kan worden gedumpt, terwijl dumping op zee binnenkort wordt verboden.

Olivijn is een magnesium-ijzer-nikkel silikaat, die op grote schaal wordt gebruikt in hoogovens. Het is een goedkoop product dat gemakkelijk in grote hoeveelheden verkrijgbaar is.

Door gebruik van olivijn als zuurneutralisator komen twee producten beschikbaar, n.l. "hydro-olivijn" dat zonder bezwaar in de bouw kan worden gebruikt, en metaalhydraten, die door de hoogovens worden gebruikt. Beide producten hebben handelswaarde en storten van afval vindt dus niet plaats.

Het olivijn wordt voor gebruik fijngemalen tot een korrelgrootte van maximaal 250 μ . Delen fijner dan 125 μ worden uitgespoeld.

Bij reactie met zwavelzuur worden H^+ -ionen uit de oplossing uitgewisseld tegen ijzer, nikkel en magnesium ionen in de olivijn. Het hierbij ontstane "hydro-olivijn" komt bovendien en kan worden afgeschept; de metaal sulfaten slaan na toevoeging van loog neer. Het proces verloopt zeer snel zodat binnen enkele uren grote hoeveelheden verzuurd afval water kunnen worden verwerkt.

Desgevraagd deelde Schuiling mede dat binnenkort proeven worden gestart voor toepassing van de methode op zwakke zuren en daarbij wordt met name gedacht aan drijfmest en glier. De methode geeft goede perspectieven omdat zij gemakkelijk en goedkoop toepasbaar is. De vrijkomende metaalverbindingen kunnen op de markt worden afgezet, terwijl het "hydro-olivijn" met de drijfmest op het land kan worden uitgereden, aangezien het materiaal inert is.

4.4. Isotopenstudies.

LAHERMO (Finland) komt aan de hand van stabiele isotopen tot een systeem van datering van in de ondergrond aanwezig zoet en zout water (lit. 4). Aangezien de ^{16}O - ^{18}O verhouding een kenmerk is voor de temperatuur van infiltrerend grondwater, kan aan de hand van klimaat diagrammen, die langs andere weg beschikbaar zijn gekomen, de infiltratieperiode worden vastgesteld.

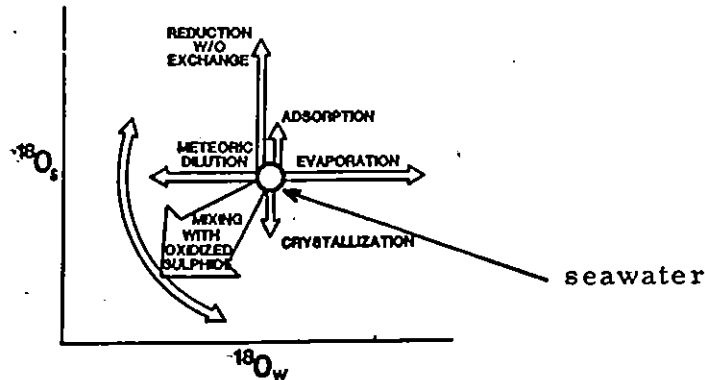
TAYLOR (USA): aan de hand van een bestudering van gehalten aan het stabiele isotoop Deuterium (2H) wordt de mate beschreven waarin magma's ontgast zijn en zo kan dus worden berekend in welk stadium een bepaald vulkanisch systeem verkeert. Ook kan informatie worden verkregen over de periode waarin intrusies in de aardkorst zijn ontstaan en gestold (lit. 15).

KROUSE (Canada) spreekt over de interpretatie van isotoop gegevens voor sulfaat in grondwater (lit. 3). Het betreft een methodiek die extra aandacht verdient omdat er elementen in voorkomen die toepassings perspectieven geven voor het geohydrochemisch grondwater onderzoek in Nederland.

Uitgangspunt is het verschijnsel dat bij overgang van een verbinding met zuurstof in een ander systeem (verdamping,

chemische reactie, enz.) de verhouding tussen de gehalten aan beide isotopen verandert (fractionering, zie MOOK (1979), lit. 5). Bij bacteriele sulfaatreductie worden ^{18}O bevattende sulfaten preferent omgezet boven de ^{16}O bevattende sulfaten. Het resultaat is dat in het achterblijvende water het gehalte aan ^{18}O groter is dan dat in de uitgangssituatie. Bij uitkristallatie van CaSO_4 treedt een preferentie op voor ^{18}O bevattende sulfaten. Dit laatste is van belang bij vorming van kleien.

Door de gehalten aan ^{18}O uit sulfaat uit te zetten tegen die van het formatiewater, kunnen vakken worden onderscheiden die kenmerkend zijn voor bepaalde processen (fig.1).



Figuur 1 : Effekten van verschillende processen op de ^{18}O gehalten van SO_4 en H_2O . Uitgangspunt is het gemiddelde ^{18}O gehalte in zeewater.

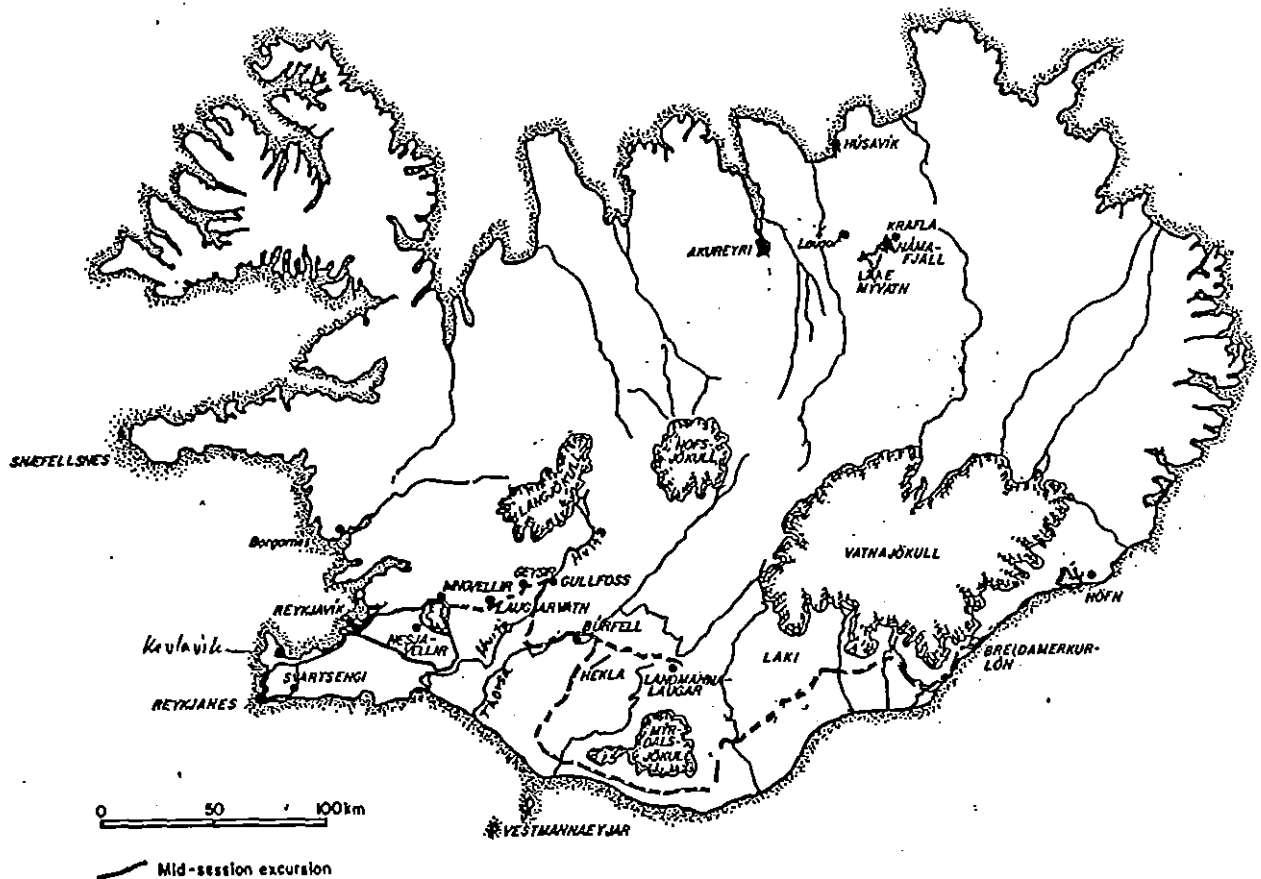
Voortbordurend op deze voordracht kan worden vastgesteld dat voor het onderscheiden van de herkomst van sulfaat- en zelfs nitraat- in het Nederlandse grondwater van deze methode gebruik gemaakt kan worden. Als bronnen van sulfaat kunnen worden genoemd :zeewater, industriële vervuiling en mest. Met name in de zandgebieden komen alle drie voor. De invloed van zeewater moet dan worden gezocht in zoutwater en oplossing van sulfaten uit mariene sedimenten.

De methode geeft ook perspectieven voor de bepaling van de herkomst van in het grondwater voorkomende nitraat. Is dit afkomstig uit mest door oxidatie van NH_4 in de onverzadigde zone dan zullen heel andere waarden voor het ^{18}O gehalte voorkomen dan als deze bijvoorbeeld afkomstig is uit reductie van organische stoffen in de verzadigde zone of zelfs helemaal geen relatie met bemesting heeft.

Een ander aspect komt ook naar voren. In de gematigde streken komen planten met een ander fotosynthese mechanisme voor dan in tropische streken (respectievelijk C3 en C4 planten). Door dit verschil hebben de C3 planten een heel andere verhouding $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ als C4 planten. Nu wil het geval dat mais een typische C4 plant is (vreemd voor deze streek dus). Aangezien aan het vee op de zandgronden in Nederland sedert de laatste 15 jaar belangrijke hoeveelheden mais zijn gevoerd, moet daarvan effecten in de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ verhoudingen in het grondwater te vinden zijn, en is langs deze weg het sedert dien beïnvloede grondwater af te grenzen.

5. De Mid-Session Field trip (zie fig. 2).

Deze field trip stond in het licht van de benutting



Figuur 2 : Overzichtskaart.

van geothermische energie in IJsland. Als gevolg van het vulkanische karakter van IJsland -daarover in het volgend hoofdstuk meer- komen in bepaalde zones van het land betrekkelijk dicht bij het grondoppervlak gesteenten van zeer hoge temperatuur voor (fig. 9 geeft de ligging van de voornaamste geothermische velden).

Grondwater dat in contact komt met het zeer hete gesteente kan daar tot zeer hoge temperaturen worden opgewarmd (100-300° C) . Hoe groter de diepte waar dit grondwater wordt aangetroffen, hoe hoger de temperatuur . Op talloze plaatsen treedt het warme water spontaan aan de oppervlakte : warme bronnen.

Economisch interessant is een situatie waarbij het verwarmde water is opgesloten in de ondergrond. Wordt een dergelijke warm water aquifer aangeboord dan kan het -meestal onder hoge druk naar boven komende- zeer warme water of stoom voor verwarmingsdoeleinden worden benut.

Het gebruik van aardwarmte voor de warm water voorziening van Reykjavik begon in 1930 toen warm water uit een aantal in de omgeving voorkomende warm water bronnen werd benut voor verwarming van huizen en voor de voorziening van huishoudelijke warm water. Sedert 1943 wordt warm water uit boorgaten benut voor de verwarmings doeleinden : verwarming van huizen, gebouwen, zwembaden, straten e.d. en voor huishoudelijk warm water.

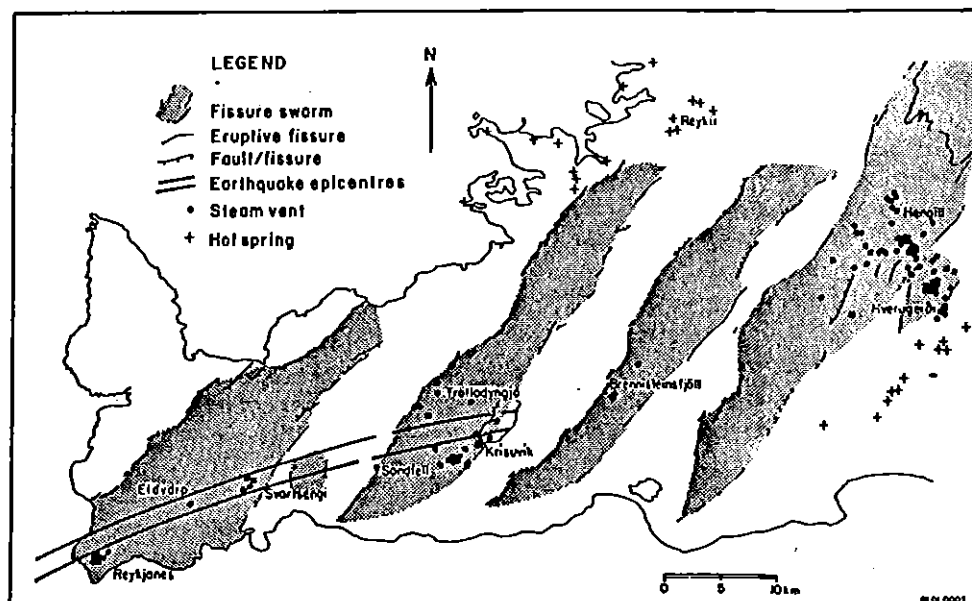
Tot heden wordt ter plaatse aangeboord warm water gebruikt en zo zijn thans binnen de gemeentegrens van de stad 24 putten tot diepten van 800-3080 meter in gebruik. Dit water komt niet spontaan naar de oppervlakte maar moet worden opgepompt. De watersamenstelling is zodanig (200-300 mg opgeloste zouten per liter) dat het zonder nabehandeling aan de gebruikers kan worden geleverd. Het water uit de productieputten wordt door menging met kouder water op een temperatuur van 85°C gebracht en bereikt de gebruikers bij temperaturen van 70-80°C. Het gebruikte water gaat gedeeltelijk weer terug naar de productiepunten waar het wordt gemengd met nieuw gewonnen warm water.

Ongeveer 40 km ten zuidwesten van Reykjavik ligt het Svartsengi geothermisch veld (zie fig. 2). Het betreft een gebied dat vrijwel geheel bedekt is met lava van spleeterupties die ongeveer 2000 jaar geleden actief waren.

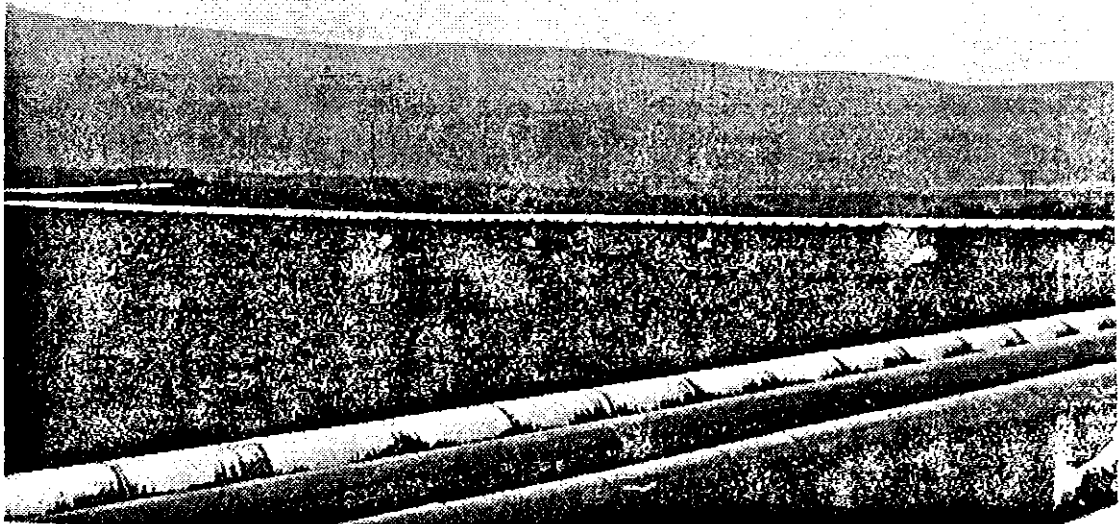
Door het gebied (fig. 3) lopen stroken met breuken en scheuren (langs een breuk hebben wel verschuivingen plaats, langs een scheur niet) van 30-40 km lang en 10 km breed ("fissure swarms"). Het lavadek, deels bestaande uit basalt, deels uit bloklava en tuffen, heeft een zeer grote doorlatendheid. Er is in dit gebied een extreem hoge neerslag met zeer grote plaatselijke verschillen (1000-2400 mm/jaar) wat door de excursie deelnemers aan den lijve werd ondervonden. De verdamping is minimaal door het vrijwel ontbreken van vegetatie en de genoemde hoge doorlatendheid. Oppervlakte water afvoer ontbreekt.

Naast neerslagwater dringt ook veel zeewater in de ondergrond door. De zoete waterlaag tot ca. 50 meter-maaiveld heeft een temperatuur van 3-5°C. Op grote diepte komt in het hete gesteente opgesloten, zeer heet water voor (250-300°C).

Het geothermisch brongebied bij Svartsengi heeft een oppervlakte van 8 km². Uit boorgaten van 450-2000 meter diep komt onder hoge druk zeer hete stoom en zeer zout water (brine) naar boven, wat gebruikt wordt voor verwarming van ter plaatse gewonnen grondwater (opgewarmd tot 90°C) en voor het aandrijven



Figuur 3 : Fissure swarms and geothermal activity on the Reykjanes Peninsula. Shaded areas are the fissure swarms with approximate boundary faults. The seismic zone is indicated by the double-line. High temperature geothermal activity is shown as dots, and low temperature hot springs as crosses. Arrows indicate spreading direction. (overgenomen uit de 'field guide)



Figuur 4: Het warme water wordt door geïsoleerde buizen naar Keflavik gevoerd.



Figuur 5 : Het afvalwater (brine) van de Svartsegi hydrothermische centrale wordt in een nabijgelegen laagte geloosd, wat een spookachtig beeld oplevert. Het water schijnt geneeskrachtige waarde te hebben.

van stoomturbines voor het opwekken van electriciteit. Het warme water (125 megawatt/jaar) en de electriciteit (8 megawatt/jaar) wordt geleverd aan de NATO-basis Keflavik en de grote woonstad er omheen (fig. 4).

De jaarlijkse 8 miljoen ton geothermische brine wordt na gebruik in een laagte bij het bedrijf geloosd, waar een spookachtig meer is ontstaan, waarvan het water geneeskrachtige werking schijnt te hebben (fig. 5). Er zijn plannen om het afvalwater terug te pompen in het energie pakket om de druk op peil te houden.

Ongeveer 30 km ten oosten van Reykjavik is een nieuw geothermisch project in ontwikkeling voor de warm water voorziening van deze stad: het Nesjaveller Geothermisch Project.

Nesjaveller (fig. 2) is net als Svartsengi, gelegen in de westelijke vulkanische zone van IJsland (zie fig. 9). Het betreft een gebied dat eveneens tot 2000 jaar geleden vulkanische activiteit heeft gehad in de vorm van een aantal grote spleetvulkanen.

De aanwezigheid van een geothermisch veld blijkt al uit het bestaan van natuurlijke warm water bronnen in de wanden van het dal, waarin Nesjaveller is gelegen.

In de zestiger jaren is in het gebied een aantal exploratie boringen uitgevoerd. In de diepste (1804 m) werd water met een temperatuur van 280°C aangetroffen. Om boortechnische redenen was het echter nog niet mogelijk het veld voor exploitatie gereed te maken.

Inmiddels is een boortechniek ontwikkeld waarbij in gesteente met extreem hoge drukken kan worden geboord. Sedert 1982 is men bezig met het boren van productie bronnen, waarvan er inmiddels 10 klaar zijn. Deze hebben een debiet van 25-50 m³/sec. geothermische vloeistof van 320°C. Het is de bedoeling deze vloeistof na warmte onttrekking terug te pompen in het pakket. De rest wordt in het oppervlakte water geloosd, wat gezien de watersamenstelling geen probleem is.

Het veld komt in het begin van de negentiger jaren gereed. Men denkt 400 megawatt/jaar aan water van 85°C aan Reykjavik te leveren, naast 40-80 megawatt/jaar aan electriciteit. Het warmteverlies onderweg bedraagt 3°C, zodat bij aankomst in Reykjavik de water temperatuur 82°C bedraagt.

De tocht tussen beide geothermische velden werd benut voor een bezoek aan het gebied rond het Thingveller meer (fig. 2). Het meer is ontstaan in een diepe slenk en is omgeven door vulkanen met bijbehorende lavastromen, die tot 2000 jaar geleden actief zijn geweest (fig. 6). Ook in het meer bevinden zich een aantal vulkanische eilanden (strato vulkanen).

Het gebied is vooral uit cultuur historisch oogpunt interessant, omdat het oudste parlement ter wereld, de Althing, in de Middeleeuwen hier haar jaarlijkse bijeenkomsten hield. Veel van de IJslandse sagen spelen in dit gebied.

De tocht eindigde met een bezoek aan het hydrothermisch verdeelstation van Reykjavik, waar Whisky werd geserveerd met warm water, wat bij de verkleumde en verregende deelnemers aan de trip goed viel.

6. Vulkanisme.

Alvorens tot een beschrijving van de vulkanische verschijnselen in IJsland over te gaan, wordt het verschijnsel in



Figuur 6 : Touwlava bij het Thingveller meer.

het algemeen behandeld. Dit kan niet los worden gezien van een globale uiteenzetting over de opbouw van de aarde als geheel.

6.1. De opbouw van de aarde:

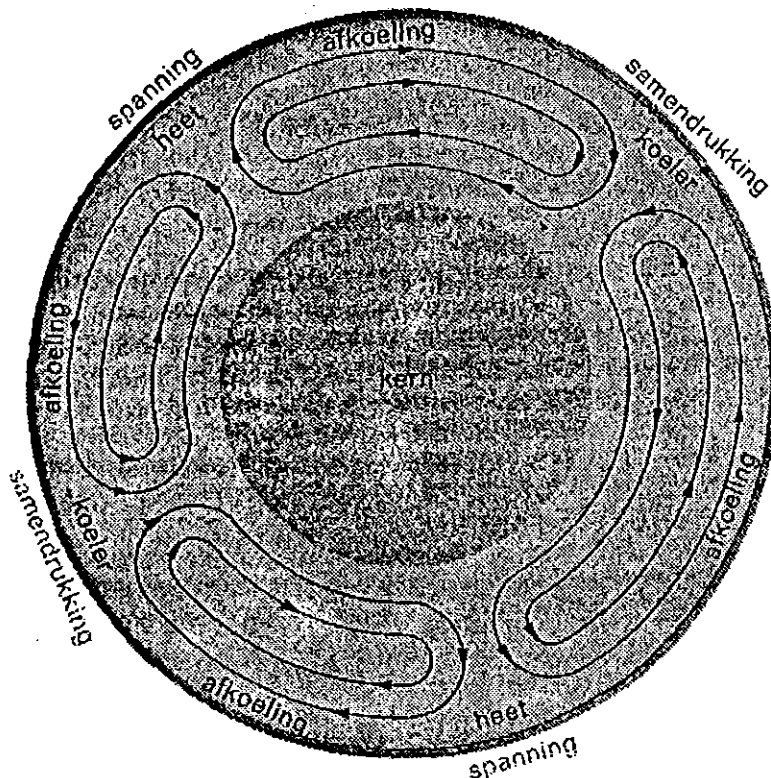
De aarde heeft een straal van gemiddeld 6371 km ; in de richting van de polen iets minder, in de richting van de evenaar iets meer (afplatting).

De aardbol (zie fig. 7) heeft een KERN met materiaal van zeer hoge dichtheid (11-13 gr/cm³). Dit bestaat naar algemeen wordt aangenomen uit voornamelijk ijzer met wat nikkel. Er heerst een zeer hoge druk en temperatuur (2300-2500°C, zie tabel 1). Het binnenste deel van de aardkern gedraagt zich fysisch als vast materiaal. Daar omheen bevindt zich de BUITENSTE KERN, bestaande uit vloeibaar materiaal.

Tabel 1: Gemiddelde temperaturen in de Aarde (STRAHLER, 1965).

diepte in km	temperatuur in °C
30	500
100	1100
200	1400
1000	1700
3000	2300
6000	2500

Daarom bevindt zich de zogenaamde MANTEL, bestaande uit vast, enigszins plastisch materiaal met grote dichtheid (3.3-5.7 gr/cm³). Ook de mantel is in twee lagen onderverdeeld. Belangrijk voor de situatie bij het aardoppervlak is dat in de mantel convectiestromen bestaan, die bepalend zijn voor de situatie in de aardkorst en bij het aardoppervlak. De stroomsnelheid van de convectiestromen is gering (enkele cm per jaar).



Figuur 7 : Schematische doorsnede van de Aarde met convectiestromen in de aardmantel. De snelheid van deze convectiestromen wordt geschat op enkele centimeters per jaar.

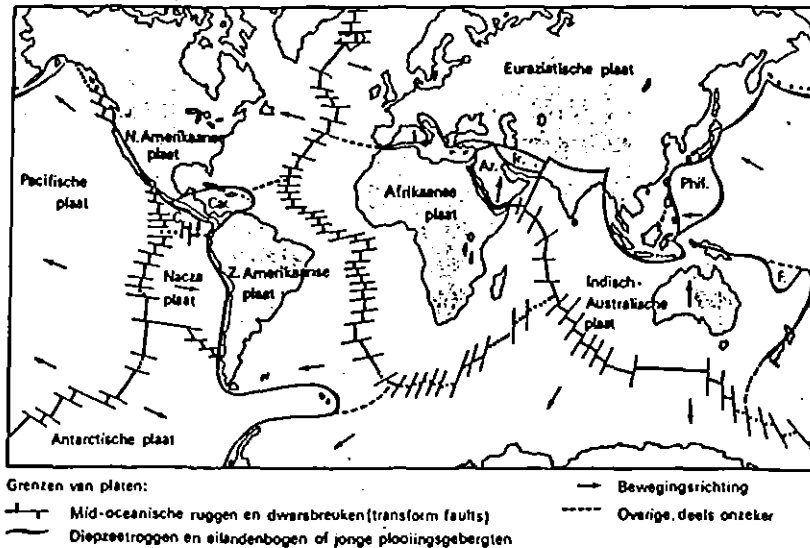


Fig 8: Configuratie van lithosfeerplaten (voorlopig schema). De pijlen geven de beweging aan t.o.v. de Afrikaanse plaat. De kartering van de grenzen tussen de platen berust vooral op de verdeling van aardbevings-epicentra. (lit. 8)

De aardkorst is relatief zeer dun en geeft een grote variatie in dikte en samenstelling te zien. Onder de oceanen is de aardkorst 4-10 km dik en bestaat uit kristallijne gesteenten en heel fijn sediment (oceanisch slib). Onder de continenten bedraagt de dikte meestal 25-35 km, maar onder de bergketens kunnen dikten voorkomen tot 50 km.

Door de relatief geringe dichtheid van de aardkorst ($2.9-3.0 \text{ gr/cm}^3$) "drijft" de aardkorst op de zwaardere mantel. Door de convectiestromen in de mantel is de aardkorst in "schollen" (platen) verdeeld, die zich min of meer onafhankelijk van elkaar bewegen. In deze beweging van de schollen ligt de grondslag van het ontstaan en bestaan van vulkanisme.

Een tweede voor de vulkanische verschijnselen belangrijk feit is dat het mantelmateriaal uit gesteente met een geringer gehalte aan silikaat bestaat dan dat van de aardkorst.

6.2. Tektoniek en vulkanisme.

Door de spanningen die in de aardkorst voorkomen, onder andere door het bewegen van de aardschollen, kunnen zônes met rek en druk optreden. Algemeen kan worden gesteld dat op plaatsen waar een neergaande beweging van de convectiestromen bestaat de druk in de aardkorst optreedt en op plaatsen van opgaande beweging rek (fig. 7).

Afgezien van grote lokale verschillen kan in de aarde een stelsel van grote breukzones worden waargenomen (fig. 8).

Op plaatsen waar schollen, naar elkaar toe bewegend, elkaar raken ontstaan gebergten en op plaatsen waar zij van elkaar af bewegen grote slenken, z.g. riftvalleys.

De processen die zich hier afspelen zijn niet alleen bepalend voor het voorkomen van vulkanisme maar ook voor de aard van de vulkanische verschijnselen.

Als gevolg van o.a. het gewicht van bovenliggende gesteente neemt algemeen de druk op het gesteente met de diepte toe. Dit heeft onder anderen ten gevolge dat fysische begrippen als temperatuur en agregatie toestand van het gesteente een geheel andere inhoud hebben als onder "aardse" omstandigheden ervaren wordt.

Een van de gevolgen is dat het materiaal in het grensgebied van aardkorst en mantel ondanks de hoge temperatuur vast is; het aardkorst materiaal meest kristallijn, het mantelmateriaal amorf (glasachting).

Als de druk in het grensgebied tussen mantel en aardkorst plotseling geringer wordt (bij voorbeeld door druk ontlasting bij een breuk) dan kan het mantelmateriaal en eventueel het aangrenzende aardkorst materieel smelten; er ontstaat MAGMA. Het vloeibare materiaal beweegt langs breuken e.d. omhoog en kan zich ergens ophopen; er ontstaat een MAGMAHAARD.

Langs de randen van de continenten schuiven de elkaar rakende schollen over elkaar. Bij de tectonische processen smelt behalve mantel materiaal ook veel aardkorst materiaal waardoor het magma een relatief hoog gehalte aan silikaat bevat (zure magma).

Op plaatsen waar de schollen zich uit elkaar bewegen gaat meestal weinig aardkorst materiaal tot smelting over; er ontstaat magma met een relatief gering silikaat gehalte (basische of basaltische lava). Dergelijke situaties doen zich onder anderen voor langs grote breukzones die zich in het midden van de oceanen bevinden. Door de opgaande richting van de convectiestromen is de aardkorst hier iets opgewelfd (mid-oceanische rug).

Zure magma's hebben over het algemeen een hoge viscositeit; basische een lage viscositeit.

In werkelijkheid is datgene wat hier beschreven is veel gecompliceerder, zodat er -in detail- veel afwijkingen van het hier geschetste beeld bestaan.

6.3. Het ontstaan van vulkanisme.

De magma in een magmahaard (magmakamer, batholiet) koelt langzaam af. Tijdens dit afkoelingsproces heeft kristallisatie plaats. Deze kristallisatie heeft in een bepaalde volgorde plaats. De lichtere kristallen hopen zich boven in de magmakamer op; de zwaardere gaan naar beneden en kunnen eventueel zelfs weer smelten. Omdat maar een beperkt aantal elementen in de kristalroosters "passen" heeft concentratie van deze elementen in het resterende magma plaats. Tot deze overblijvende elementen behoren veel gassen. Tijdens de afkoeling van de magmahaard heeft dan ook toename van de gasdruk plaats. Door de hoge druk in de magmakamer zijn deze gassen opgelost. Naarmate de magmakamer ouder is neemt het gasgehalte van de magma toe.

Ondertussen bouwt zich opnieuw een hoge druk op maar omdat het bovenliggende pakket betrekkelijk dun is kan langs bestaande of nieuwe scheuren in de aardkorst gas ontsnappen. Heeft dit geleidelijk plaats dan ontstaan gasbronnen, fumarolen, warme bronnen (als onderweg grondwater wordt meegenomen)

e.d..Moet bij de weg naar boven een zekere weerstand worden overwonnen dan heeft het ontsnappen explosief plaats : er ontstaat een vulkanische eruptie.

Vulkanische erupties beginnen derhalve met een gasfase. Heet gas van allerlei samenstelling spuit met grote kracht naar boven onder meeneming van -deels uit het ontsane kanaal afkomstige- brokstukken en stof (as, lapilli, bommen ; samengevat als THEPHRA). Later treedt ook het magma naar buiten (lava), hoewel dit niet het geval behoeft te zijn, want de magma kan te dik zijn. Bij vulkanische erupties uit zure magma's is de gasfase met bijverschijnselen (tephra) veel heftiger dan het uit treden van lava.

Deze laatste erupties zijn dan ook vaak veel dramatischer dan die uit basische magma's, omdat grote hoeveelheden fijn vulkanisch stof de dampkring in worden geblazen en zich over een groot gebied verspreiden. Bij de uitbarsting van de Tambora (Timor) in 1815 was de aswolk zo hoog in de dampkring uitgestoten dat deze zich over de gehele aarde verspreidde en op het Noordelijk halfrond de zomer van 1816 werd overgeslagen (in juli ging het weer vriezen). Op een gegeven moment kan door de grote kracht van het uit treden van het gas , onderdruk in de magmakamer ontstaan, waardoor het 'dak' instort : er ontstaat en CALDEIRA (Santorini (± 1450 v. chr.), Vesuvius (79 n. chr.), Krakatau (1883)). Ook kan het met as vermengde gas een zo groot soortelijk gewicht hebben dat het langs de helling naar beneden stroomt : er ontstaat een gloedwolk (Mt. Pelee (1902), Merapi (1920, 1930)).

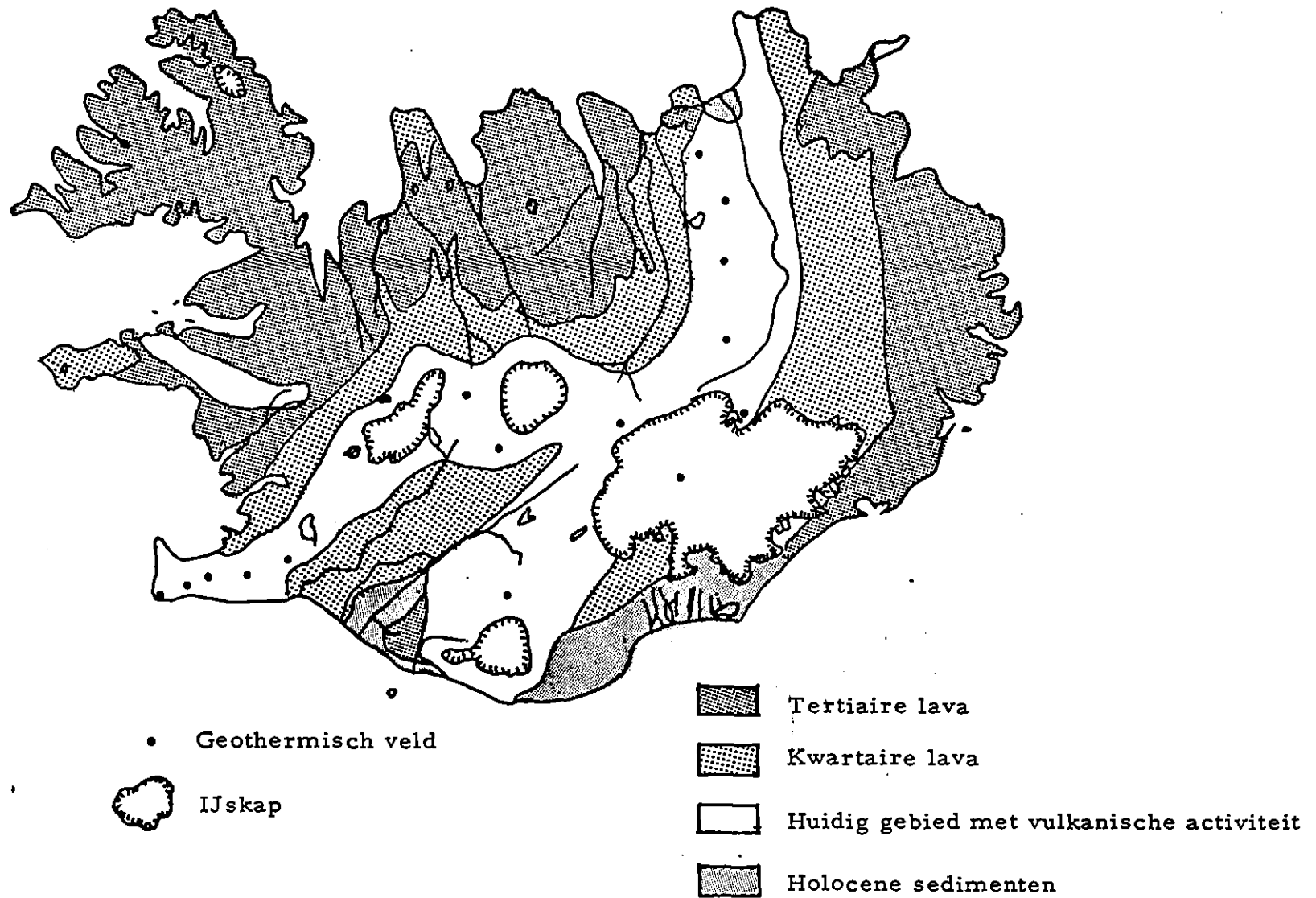
Door de geringere dikte van de aardkorst en door de aard van de magma (basisch), worden langs de midoceanische breukzones veel lagere drukken opgebouwd. Het gevolg is dat de gasfasen van de erupties meestal kort en weinig dramatisch verlopen en vrij snel lava uit treedt. Doordat deze dun vloeibaar is , vloeit zij ver uit en ontstaan uitgestrekte lavadekken (schildvulkanen).

6.4. Het vulkanisme op IJsland.

IJsland is gelegen op de Mid-atlantische breukzône, die het land van noord zuid naar noord doorkruist (fig. 8) . Hierdoor wordt het land in twee delen verdeeld, die zich met een snelheid van + 2 cm/jaar uiteen bewegen . Langs de breukzône spelen zich de vulkanische verschijnselen af, zodat de oudste vulkanische afzettingen in het uiterste westen en oosten van het eiland worden aangetroffen , terwijl naar het midden toe steeds jongere worden gevonden (fig. 9).

In het midden van het eiland bevindt zich een zuid-noord uitstreckende laagte , aan de randen begrensd door breuken. In deze laagte worden de huidige vulkanische verschijnselen aangetroffen : hete bronnen, fumarolen, geysers, vulkanen, enz.. Gemiddeld één maal per vijf jaar heeft een grote vulkanische eruptie plaats , langs een soms enkele kilometers lange spleet in de aardkorst (spleet-vulkanen). De laatste grote eruptie was die van de Hekla in 1981. Grote bodemstijgingen (1 meter in enkele dagen) langs het Myvatten meer in het noorden van het eiland, die de laatste weken plaats hebben, duiden op een nieuwe eruptie in de nabije toekomst (de vulkanologen hebben hun koffers al gepakt). Tijdens en vlak na de eruptie zakt de bodem weer terug.

De erupties hebben meestal een weinig dramatisch verloop. Heeft echter een eruptie plaats onder één van de uitgestrekte gletscher plateaux, dan kunnen door het plotseling vrij-



Figuur 9 : Geologisch overzichtskaartje met de ligging van de geothermische velden.

komen van grote hoeveelheden smeltwater rampzalige toestanden ontstaan (zie blz.29).

Bij de voor IJsland kenmerkende SPLEETVULKANEN treedt de lava over een kilometers lange spleet naar buiten. In de loop van de eruptie wordt meestal de kraterspleet korter, waarna de eruptie zich uiteindelijk concentreert op een punt. Bij de laatste eruptie bij het Myvatten meer in het noorden van IJsland was de lengte van de spleet waarlangs de eruptie plaats had 7 kilometer. De lava stroomde langs een breed front uit en verdween enkele kilometers verder in een parallel lopende niet werkende spleet die zich aan het begin van de eruptie had gevormd.

Vulkanische verschijnselen beheersen het landschap van IJsland : uitgestrekte lavavelden van tientallen kilometers lang en breed liggen rondom de veelvuldig voorkomende actieve en inactieve vulkanen. Soms blokkeert een lava stroom een rivier, waardoor dan een natuurlijk stuwmeer ontstaat. Langs de randen van de lava plateaux worden enorme watervallen aange troffen, die soms kilometers lange diepe kloven hebben doen ontstaan (zie het begin van het volgende hoofdstuk).

Basaltische lava is donker van kleur, in tegenstelling met die van zure lava die vanuit grijs tot vele andere kleuren voorkomen . Een jong vulkanisch gebied in IJsland is dan ook zwart in vele kleurnuances.

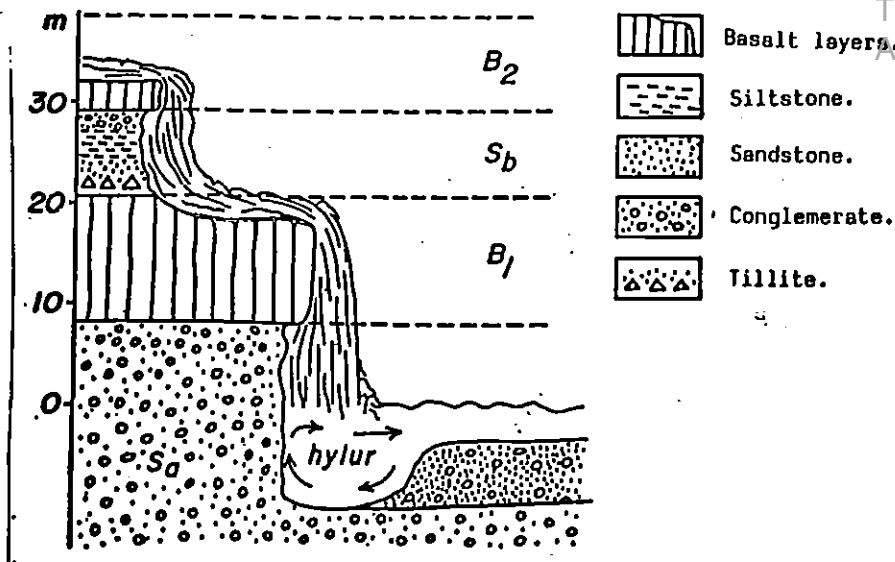
7. De excursiepunten (fig. 2).

7.1. Gullfoss (fig. 2): deze waterval is gelegen in een van de grootste IJslandse rivieren : de Hvítá. Deze rivier watert een uitgestrekt gebied af, hoewel de oppervlakte van het brongebied naar westeuropese begrippen niet in verhouding staat met de waterafvoer . Dit komt deels doordat één van de grote gletscherplateaux (Langjökull) een groot deel van haar smeltwater via deze rivier loost, deels door de hoge neerslag, gepaard gaande met een geringe verdamping. De afvoer van de rivier bedraagt gemiddeld 118 m /sec maar er zijn grote afvoerverschillen (in maart 1930 2000 m /sec).

Het oudste materiaal dat dagzoomt in de 3 km lange kloof die Gullfoss heeft doen ontstaan is een laag fijngelaagde vulkanische tuf en ongesorteerde brecci afgewisseld door kussenlava (wat duidt op afkoeling onder water of ijs) en basalt (fig. 10).

Daarboven ligt een afwisseling van lava en sediment. Vlak onder de bovenste lava laag , waarover de bovenrivier stroomt, ligt een laag fijne klei, welke gezien de pollen inhoud onder warme klimaats omstandigheden is ontstaan. De kleilaag met de daarboven liggende -beschermende- basaltlaag zijn mede verantwoordelijk voor het bestaan van Gullfoss. Uit datering van de kleilaag kan het ontstaan van Gullfoss worden gedateerd op 10 000 jaar geleden.

Uit Morfologisch oogpunt ^{is} de canyon (3 km) te lang voor de 10 000 jaar dat zij bestaat. Temeer daar de hoeveelheid meegevoerd materiaal, dat als hoofdmedium voor waterval erosie geldt, gering is (de waterval van Schaffhausen trekt zich door de bovenstroomse nabijheid van de Bodensee praktisch niet terug). Vermoed wordt dat tijdens de afsmeltperiode van de bovenstrooms gelegen Budi gletscher een aantal keren een zg. "jökulhlaup" heeft voorgedaan , een plotselinge watervloed door het leeglopen van een door het ijs afgedamd gletschermeer of door een vulkaanuitbarsting onder het ijs.



Figuur 10 : Gullfoss; vanaf een groot lavaplateau in Midden-IJsland valt het water van de Hvítá rivier in de Zuidijslandse laagvlakte. Bovenaan is de gesteente opbouw schematisch weergegeven. De verschillende lagen zijn in de rechter wand van de canyon herkenbaar.

7.2. Geysir (fig. 2): Betrekkelijk dicht bij Gullfoss ligt het grote geothermische veld van Geysir. Het hydrothermale verschijnsel dat hier voor het eerst werd beschreven door de Duitse chemicus Bunsen (1846), gaf de naam aan alle soortgelijke verschijnselen tot keukenapparaten toe.

Het Geysir veld is één van de twintig geothermische velden in IJsland. Het is gelegen in het noordelijkste deel van de Zuidijslandse laagvlakte, waarin de Hvita rivier bij Gullfoss haar water stort.

Een sluitende verklaring voor het verschijnsel van de geysers is nooit gegeven (het wachten is op een vrijwilliger die in het eruptiegat wil afdalen). Vermoed wordt dat zich ondergronds een holte bevindt die ergens via een opening in de zijkant een verbinding naar het oppervlak heeft. In de ruimte boven de uitgang bouwt zich een hoeveelheid stoom op, die op een gegeven moment zodanig gevuld is, dat een gedeelte via het eruptiegat ontsnapt en een grote hoeveelheid water meeneemt. Dat geeft dan de bekende spouter.

De tijd tussen de erupties verschilt van geysers tot geysers, maar kan ook bij eenzelfde geysers variëren. Sommige geysers vertonen een verassende regelmaat.

Tot deze behoorde ook die van Geysir. Elders in de wereld was ervaren dat het effect van de erupties kan worden verfraaid door een hoeveelheid zeep in het eruptiegat te gooien. Zoniet die van Geysir: zij hield op te werken. Alleen door het toedienen van 100 kg zeep is de geysers tot een eruptie te brengen (fig. 11).

Gelukkig kwam op 20 meter afstand van de oorspronkelijke geysers, een andere -kleinere- tot ontwikkeling, de Strokkur, die elke 7 à 10 minuten een eruptie geeft (fig. 12).

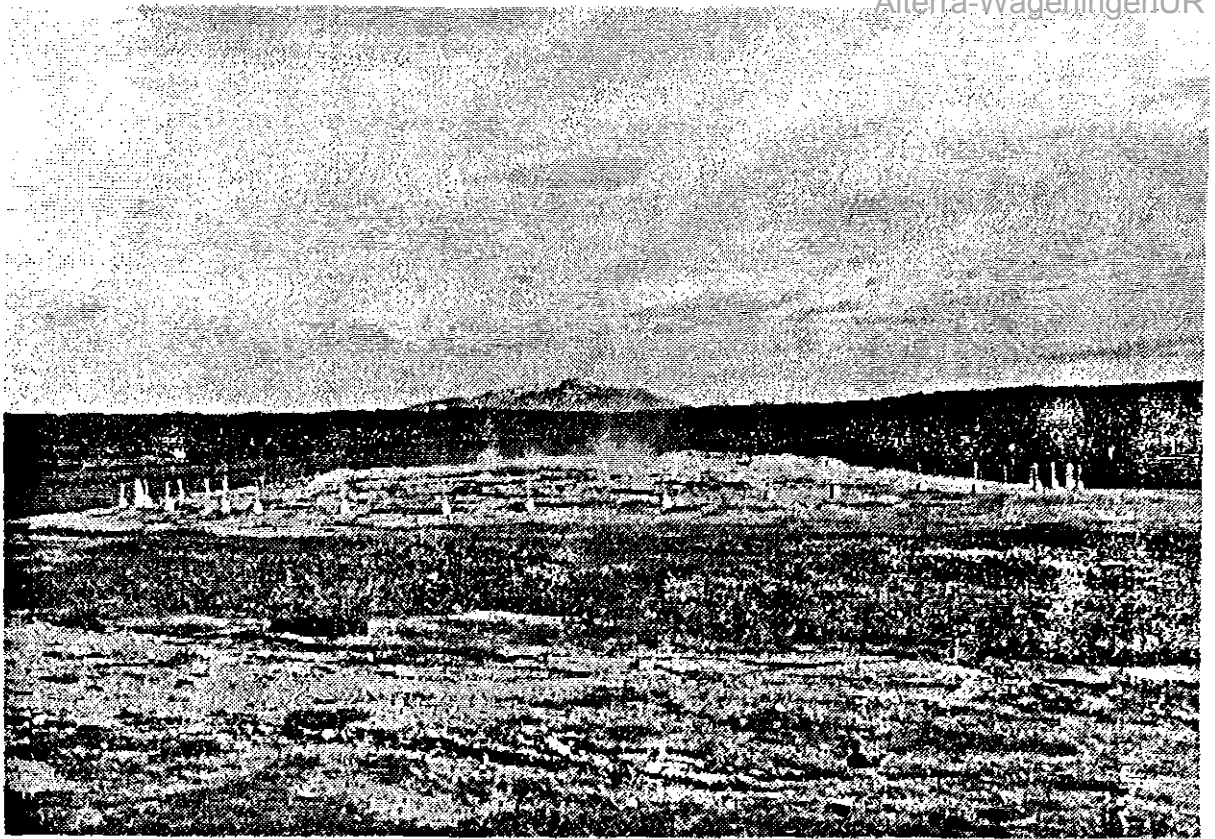
Behalve genoemde geysers komt in hetzelfde complex een groot aantal andere hydrothermale verschijnselen voor als warme bronnen, solfatoren, moddervulkaantjes (mudpots), enz..

Het gesteente rondom het geothermisch veld van geysers stamt uit het midden van het Pleistoceen, ongeveer 700 000 jaar geleden. Het bestaat uit basalt, kussen lava (die dus onder water of ijs is gestold), rhyoliet e.d..

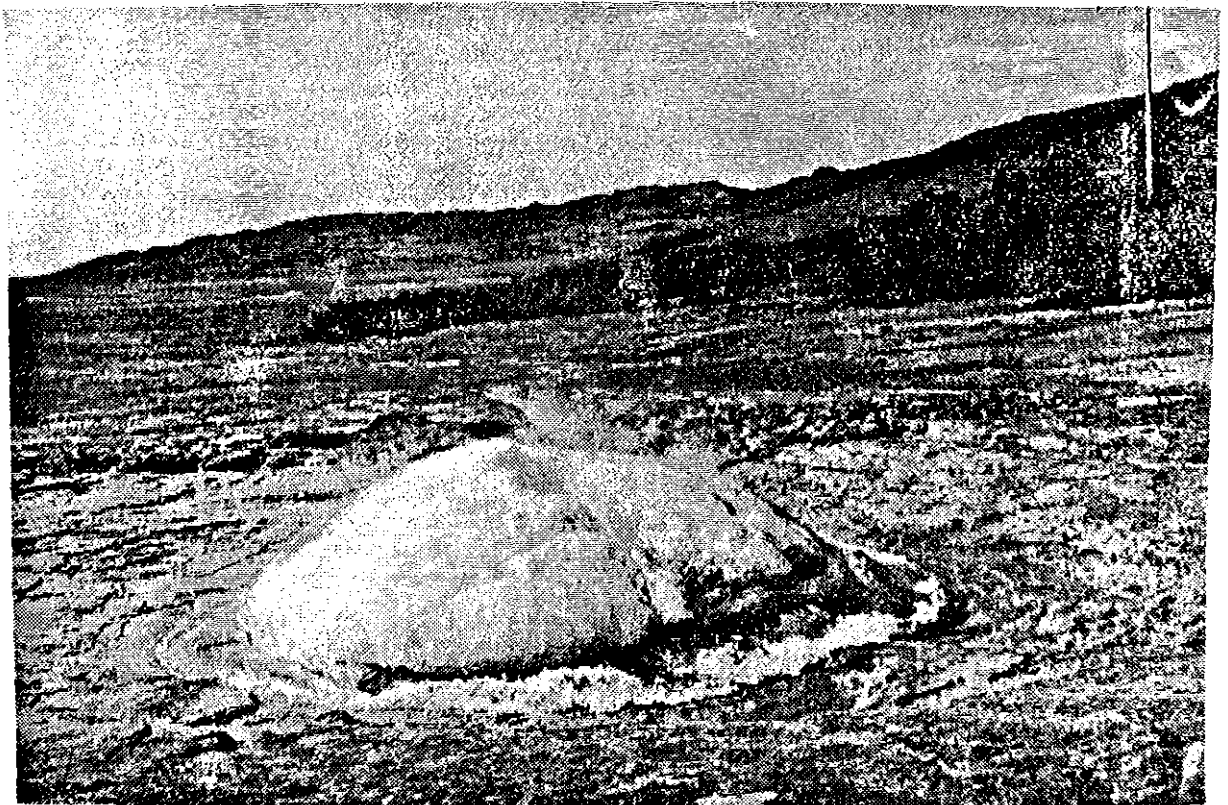
Van Geysir naar het Zuiden gaande wordt men regelmatig stoomwolkjes gewaar, die op de aanwezigheid van warme bronnen duiden. Plaatselijk benutten de boeren dit water -of dat wat aan boorgaten wordt onttrokken- voor het verwarmen van kassen. Inmiddels begint de export van tomaten en komkommers een belangrijke post op de IJslandse handelsbalans te worden.

7.3. Het Hekla massief: De hoogste vulkaantop is de Hekla (1491 m boven zeeniveau, voor de eruptie van 1947 bedroeg de hoogte 1447 m). Het betreft een typisch voorbeeld van de IJslandse spleetvulkaan. Tevens heeft het zeer lang de voor een mid-oceanische kenmerkende zeer dunne lava gehad, waardoor het massief door uitgestrekte lavavelden wordt omringd en de voor schildvulkanen kenmerkende concave helling heeft (zie fig 11). Sedert de eerste bewoning op IJsland (+ 900 n. chr.) heeft de vulkaan gemiddeld twee grote uitbarstingen per eeuw gehad.

De uitbarstingen volgen meestal een tijpisch IJslands patroon: een eruptie begint met een zeer korte gasfase waarna een lange lava periode volgt. Tijdens de eruptie van 1970 duurde de gasfase slechts 2 uur, waarin 30 miljoen m³ materiaal werd uitgestoten, waarna een lava fase van enkele maanden volgde. Geleidelijk concentreerde de eruptie zich tijdens deze periode op een eruptiepunt. Tijdens de jongste eruptie (1980-1981) open-



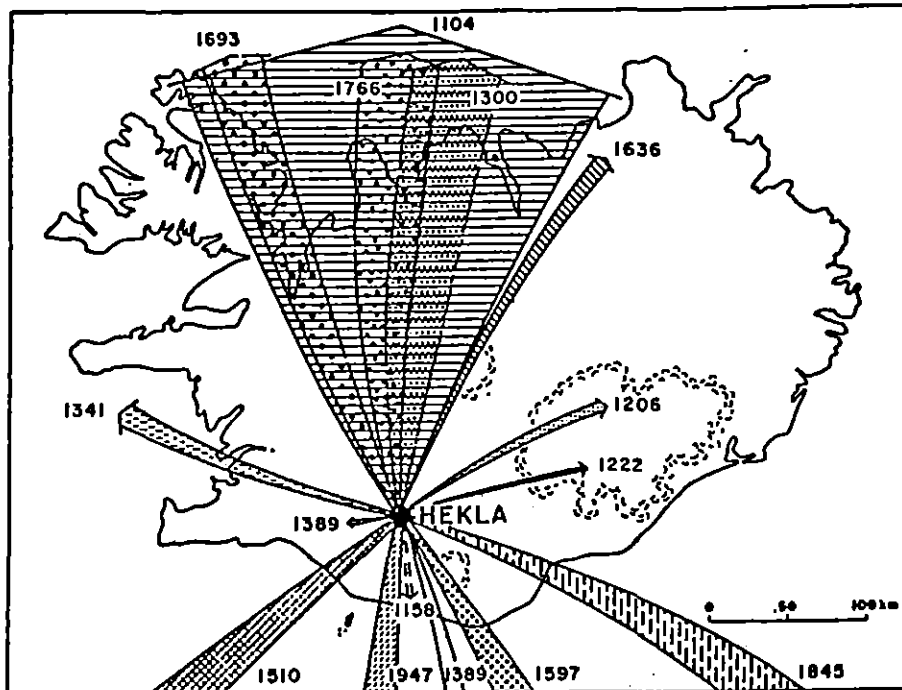
Figuur 11 : De niet meer werkende oude geyser van Geysir. Door 100 kg zeep in het eruptie gat te werpen , kan een eruptie teweeg worden gebracht. Op de achtergrond de Hekla. Duidelijk is de concave helling van de voor basaltische lava kenmerkende schildvulkaan te zien.



Figuur 12 : Het begin van een eruptie van Strokkur, gelegen op ca. 20 meter afstand van de oude geyser.

de zich een 7 km lange spleet die slechts drie dagen werkte, een jaar later gevolgd door een tweede eruptie uit dezelfde kraterspleet die zeven dagen werkte.

Hoewel de gasfasen van de IJslandse erupties maar kort duren, zijn uitgestrekte gebieden met as uit de Hekla bedekt. In 2/3 van de ondergrond van IJsland (102 000 km²) wordt materiaal van de Hekla aangetroffen, waarvan de helft in historische tijd (fig. 13).



Figuur 13 Map showing in which direction the tephra was spread during the initial phase of each of Hekla's 14 eruptions in historical times. The width of each arrow indicates the relative size (volume) of the tephra fall.

(Uit de 'Field-guide', WRI-5)

De uitbarstingen van de Hekla krijgen historisch gezien een steeds zuurder karakter. Overheersten in de beginperiode typisch basische lava's als andesiet, afkomstig uit de aardmantel, allengs neemt het silikaat gehalte toe, wat duidt op een vergroting van het gehalte aan aardkorst materiaal. Hiermede is te verwachten dat de vulkaan het einde van haar actieve periode nadert. De tephra uit de laatste uitbarstingen van de Hekla hebben dan ook niet meer het voor IJsland kenmerkende diepe zwart, maar zijn lichter van kleur: grijs, bruin, geel e.d..

Er werd een tocht om de Hekla gemaakt om een indruk te krijgen van de verschillende verschijnselen. Daarvoor werd onder anderen een uitgestrekt bloklava veld doorkruist ten noordwesten van de Hekla. Daar vielen verschillende dingen op:

- Er is praktisch geen begroeiing. Hoewel het lavaveld al honderden jaren oud is, heeft de begroeiing geen kans gekregen (fig. 14). Alleen de oudere lavavelden ten zuiden van de vulkaan hebben een schaarse begroeiing met mos, wat een legergroen landschap oplevert;



Figuur 14 : Uitgestrekte onbegroeide lava-dekken omringen de Hekla.

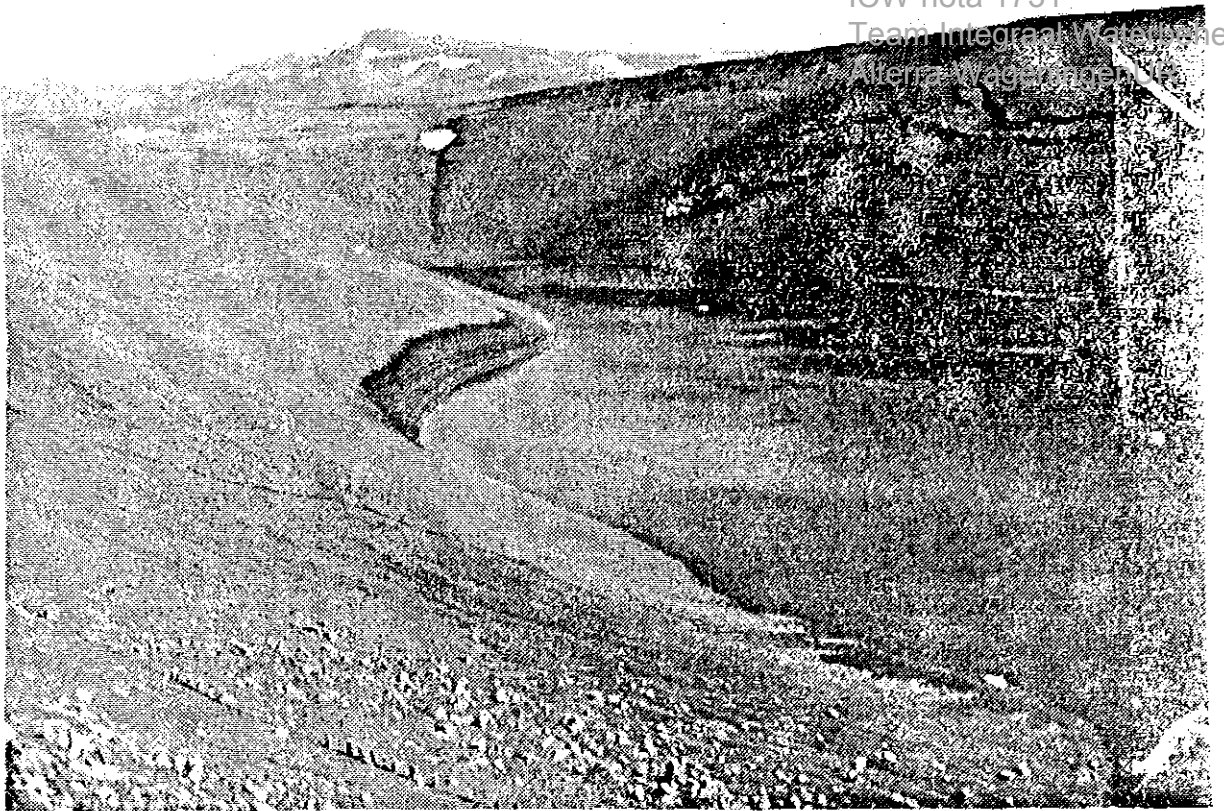
-Er is geen oppervlakte afvoer, ondanks de zeer hoge neerslag hoeveelheid (meer dan 3000 mm/jaar). De verdamping is minimaal omdat het water direkt naar de ondergrond verdwijnt. Dit water voedt de zeer grote Thjorðarivier, die langs de rand van het lavaveld stroomt. Deze rivier is op diverse plaatsen opgestuwd voor het opwekken van elektriciteit. De krachtcentrale bij Burfell aan de zuidrand van het lavaveld, werd bezocht.

Burfell zelf betreft een inmiddels gedoofde vulkaan in de vorm van een typische "tafelberg". De vulkaan was tijdens de ijstijd onder een ijskap actief wat de tijkpische vorm heeft opgeleverd.

De tocht eindigde in het Fjallabak Natuurreserveaat ten noordoosten van de Hekla. Het betreft een uitgestrekt terrein (47 000 ha) waar veel vulkanische verschijnselen zijn te zien.

Het gebied ligt ten noordwesten van de Torfajökull, een met ijs bedekte caldeira (zie blz. 18) die in voorhistorische tijd is ontstaan. Rondom deze caldeira is tot in de vroege Middeleeuwen actief vulkanisme geweest, bestaand uit kleine explosie vulkanen die meestal maar één keer tot uitbarsting zijn geweest (vergelijkbaar dus met de maren in het Eifelgebied).

Eén van die vulkanen is de Tjorðafell, die wordt beschreven als één van de fraaiste eruptie vulkanen van IJsland. De vulkaan is omstreeks 900 jaar n. chr. ontstaan. Zij rijst een paar honderd meter boven het omringende lavaveld uit. De krater heeft de typische ellipsvorm, behorend bij het voor IJsland ken-

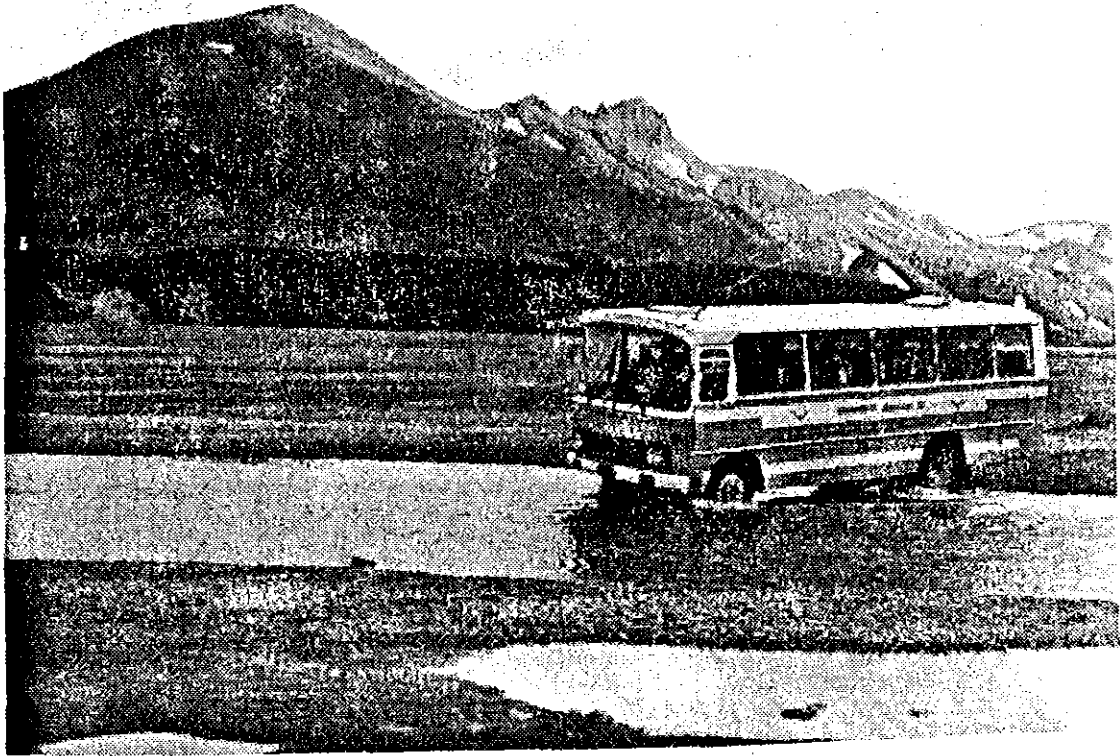


Figuur 15 : De krater van Tjorfafell. In de wand van de krater is het afdekkende lavapakket te zien boven de dikke aslaag. Duidelijk komt de elliptische vorm van de krater naar voren. De dimensie is af te lezen aan een rij wandelaars links onder op de foto.

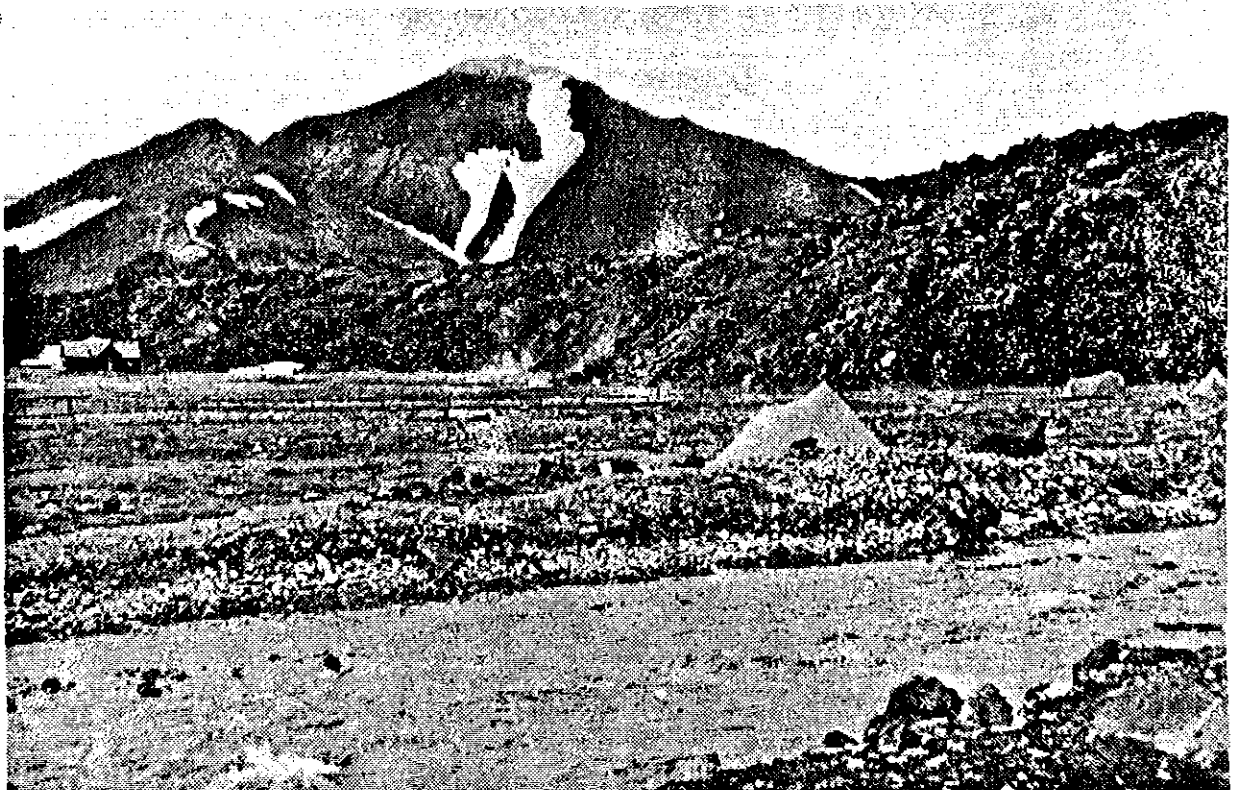
merkende spleetvulkaan type. In de kraterwand zijn de rhyolieten, die bij de uitbarsting zijn ontstaan, mooi ontsloten (fig. 15). Bij deze uitbarsting is tijdens de gasfase de vulkaankegel, bestaande uit thephra, opgebouwd, terwijl de daarna uitgevloeiende lava, de kegel tegen vertering heeft beschermd. De situatie moet ongeveer gelijk zijn geweest als bij de vulkaan Surtsey, die in 1963 bij de voor de IJslandse zuidkust gelegen Westmann eilanden, is ontstaan. Andere in die zelfde periode onstane vulkanische eilanden hadden geen lava fase en zijn inmiddels door de -mariene- erosie verdwenen.

De tocht eindigde in Landmannalaugar, waar een rivier moest worden gekruist, wat niet werd aangedurfd (fig. 16). Landmannalaugar is een klein geothermisch veld, deel uitmakend van één van de twee grootste geothermische systemen van IJsland. De warmte in het gesteente wordt afgeschermd door een dek van zure, poreuze lava (fig. 17). Op talloze plaatsen komt hete stoom samen met verhit grondwater naar de oppervlakte. Het uit-tredende water heeft een temperatuur van ongeveer 100°C.

Opvallend is de zeer rijke vegetatie in en om de bronnen. Ook in het heetste water komt leven voor. Duitse onderzoekers ontdekten zwavel afhankelijke Archaeobacterien (Thermoproteus). Deze bacterien halen hun energie uit oxidatie van zwavel en waterstof en leven bij een temperatuur van ongeveer 100°C.



Figuur 16 : Een kleine rivierkruising bij Landmannalaugar. In het centrum van IJsland zijn weinig bruggen. In de doorwaadbare plaatsen verdwijnt de auto's tot boven de wielen in het water, wat veel durf, ervaring en stuurmanskunst vereist.



Figuur 17 : Landmannalaugar. Aan de voet van de lavamassa (donkere rug midden op de foto) ontspringen warme bronnen, die een aantal meertjes voeden. Het hierdoor ontstane microklimaat heeft een weelderige plantengroei ten gevolge

Ter afsluiting van de bestudering van het vulkanisme op IJsland werd de laatste avond van de reis benut voor het bijwonen van de "Great Vulcano Show". Het betrof een filmvoorstelling in een primitieve filmzaal van de cineast Vilharmur Knudsen die net als zijn vader, bezeten is van vulkaan uitbarstingen. De meeste erupties sedert 1947 zijn door het duo Knudsen op film vast gelegd. Het resultaat was een twee uur durende voorstelling die een eneroverend beeld geeft van alles wat zich rondom vulkaan uitbarstingen op IJsland afspeelt.

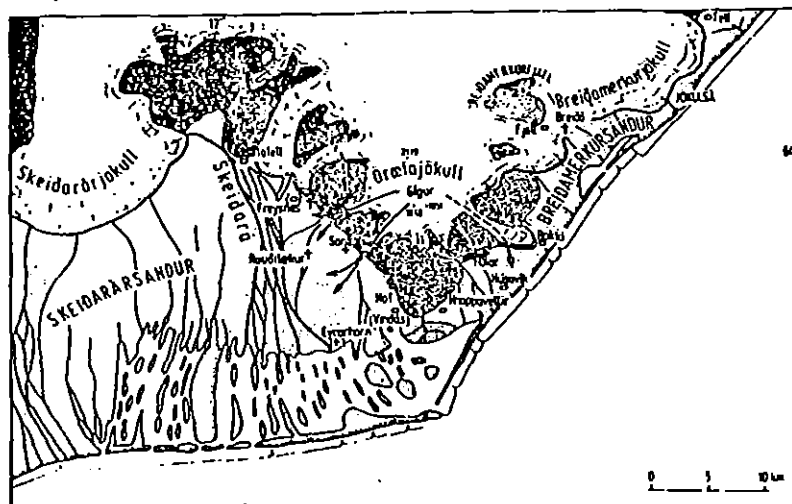
7.4. Glaciale verschijnselen : Het voorkomen van de grootste ijskap ter wereld buiten de poolstreken - de Vatnajökull - bood de unieke kans een studie te maken van het voorkomen van landijs. Daarvoor werd een bezoek gebracht aan de zuidrand van genoemd gletscher complex.

In tegenstelling met de Scandinavische ijskappen, zijn in IJsland weinig gletscher tongen maar stroomt het ijs met brede ijsfronten in het , voor het gebergte liggende laagland uit : landijs. Zo ontstaan op kleine schaal situaties die vergelijkbaar zijn met die welke tijdens het Pleistoceen in West-Europa voorkwamen. Het enige verschil met de huidige IJslandse situatie is dat het klimaat veel milder is zodat geen periglaciale verschijnselen voorkomen.

Hoewel de IJslandse gletschers niet afkomstig zijn uit een zeer uitgestrekt voedingsgebied -zoals dat destijds in West-Europa het geval was- is het sediment aanbod vergelijkbaar door de grote hoeveelheid vulkanisch materiaal dat regelmatig beschikbaar komt. Het landschap dat voor de ijsfronten is ontwikkeld, is daarom vergelijkbaar.

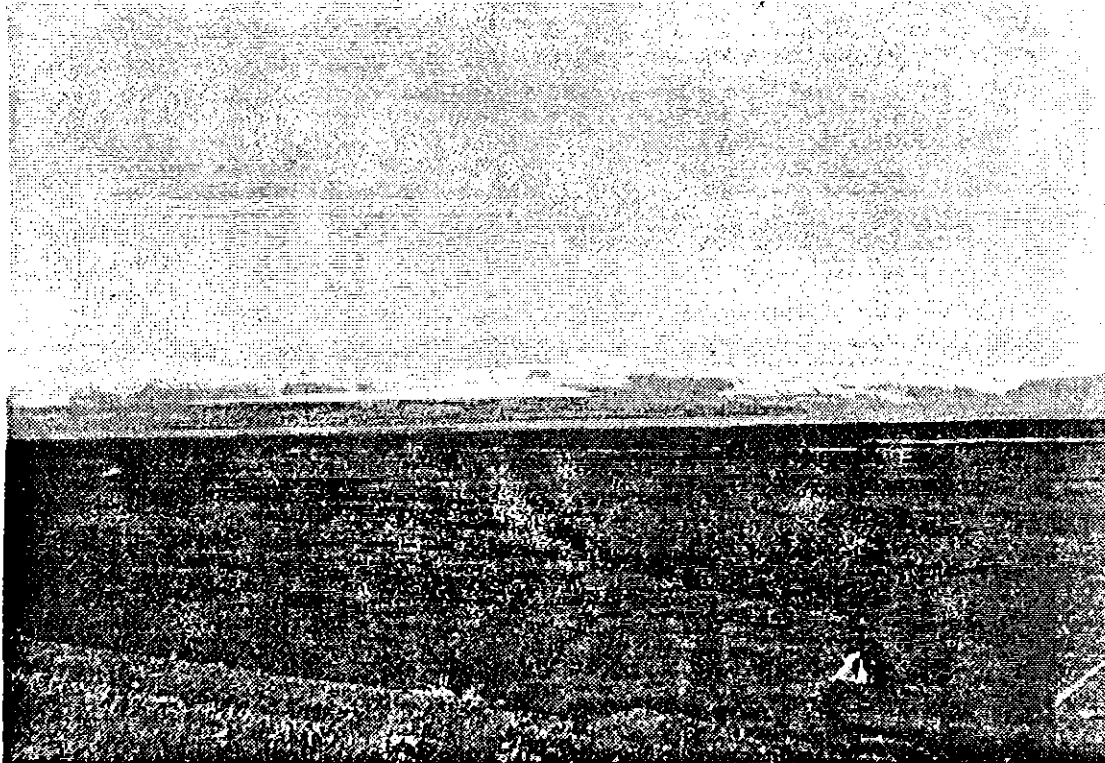
In dit verband werd een bezoek gebracht aan de Skeidararjökull (fig.2 en 18). Over een front van ca. 20 km komt het ijs hier in een brede kustvlakte. Talloze grote en kleine verwilderde rivieren (vlechtende rivieren, braiding rivers) voeren het smeltwater af.

Voor het gletscherfront ligt een sander vlakte van 50 km breed en 20 km diep . Deze is zeer vlak en alleen langs de oost- en de westrand enigszins begroeid . Verstuiving en duin-



Figuur 18 : A map showing Öraefajökul and the main courses of Jökulhlaups originating in the caldera (Gígur).

vorming komt niet voor door het hoge soortelijk gewicht van het -vulkanische- zand en door de vele overstromingen. Het gevolg is dat een uitgestrekt, zwart vlak landschap aanwezig is (fig. 19). Het enige relief dat voorkomt wordt veroorzaakt door diepe rivier insnijdingen voor het overvloedige smeltwater, naast resten van eindmoraines van de zich sedert het begin van deze eeuw terugtrekkende gletscher. In het overigens uitsluitend uit -vulkanisch- zand bestaande landschap liggen grote erratische blokken.



Figuur 19 : De Skeidararjökull met op de voorgrond de uitgestrekte sandr-
vlakke. Opvallend is het geringe relief en de afwezigheid van be-
groeiing op deze bijna eindeloos zwarte vlakke. Op de voorgrond
een -grotendeels begraven- erratisch blok.

Berucht zijn de in heel IJsland voorkomende gletscher doorbraken (jökulhlaup), waarbij plotseling zeer grote hoeveelheden water beschikbaar komen, die grote gebieden onder water zetten. Soms ligt de oorzaak in een door ijs afgedamd meer waar de druk op een gegeven moment zo groot is dat een gedeelte van de gletscher afbreekt en het meer leegloopt. In IJsland ligt de oorzaak meestal in een vulkanische uitbarsting onder het ijs.

Tijdens de twee dagen durende eruptie van de Katla vulkaan onder de Myrdalsjökull in 1918, kwam plotseling een watermassa van 200 000 m³/sec beschikbaar (de gemiddelde afvoer van de Amazone bedraagt bij de monding 10 000 m³/sec). Gigantische hoeveelheden materiaal van allerlei grootte wordt door het water geweld meegevoerd.

Dergelijke gletscher doorbraken zijn ongetwijfeld ook voorgekomen tijdens de Saale ijstijd in Nederland. Het zou bij voorbeeld een verklaring kunnen geven voor het voorkomen van erratische blokken in Noord-Brabant, waar nog steeds geen sluitende verklaring voor bestaat (het blok van Oudenbosch werd in de vorige eeuw gevonden, en staat nu na herhaaldelijk opgegraven en weer begraven te zijn in een kloostertuin in Oudenbosch).

Gemiddeld komt in de vlakte voor de Skeitharjökull één maal in de vijf jaar een grote jökulhlaup voor, naast talloze kleinere. Dit had onder anderen tot gevolg dat het tot voor kort onmogelijk was door het gebied een weg aan te leggen. Thans is een hooggelegen weg aanwezig, met onwaarschijnlijk lange bruggen en strekdammen voor het geleiden van de water massa's. Ter bescherming is de weg geasfalteerd, wat voor IJslandse begrippen uitzonderlijk is.

De Breitharmerkurjökull (fig. 20), ca 50 km meer naar het oosten, stroomde aan het begin van deze eeuw nog in zee. Thans heeft deze zich 2 km teruggetrokken en achter de oude eindmoraine heeft zich een 170 meter diep meer ontwikkeld. Brokstukken van de in het meer uitmondende gletscher, drijven in het meer tot zij vastlopen (fig. 22). Daar breken stukken af



Figuur 20 : Het meer voor de Breitharmerkurjökull. Van de gletscher afgebroken stukken ijs drijven in het meer, tot ze vastlopen tegen de bodem. Kleine stukken breken regelmatig af, die, als zij klein genoeg zijn, langs de snel stromende gletscherrivier naar zee worden gevoerd.

die klein genoeg zijn om door de snelstromende rivier naar zee te gaan . Indrukwekkend is het moment als aan ijsberg zo ver van onderen is afgesmolten dat zij omslaat en een eind verder weer vastloopt (dit werd een aantal keren aanschouwd). In de 50 meter brede rivier werd een stroomsnelheid van 2.7 m/sec. gemeten.

De meeste afvoerrivieren in het gebied zijn bruin van kleur door de hoge slibafvoeren .

8. Conclusies.

De reis kan zowel wat betreft de congres deelname als wat betreft het veldbezoek , een succes worden genoemd. Vooral ook de contacten met andere congres deelnemers en met name die met Thomas Paces (Tsjechoslowakije) hebben veel informatie opgeleverd, die bij het verdere werk op het ICW van nut zal zijn. Het boek met 'extended summaries' en (te zijner tijd) dat met de papers liggen ter inzage.

9. Literatuur.

1. Egeberg, P.E. en P.Aagaard, A chemical equilibrium model for the evolution of formation water composition applied on data from the Norwegian shelf. Transactions WRI-5, 1986.
2. Gislason, S.R. en H.P. Eugster, The age of groundwaters and the physical properties of their aquifers. Transactions WRI-5, 1986.
3. Krouse, H.R. en R.O. van Everdingen, Interpretation of isotope data for oxygen sulfates in subsurface waters. Transactions WRI-5, 1986.
4. Lahermo, P. en T. Kankainen, Elemental and isotopic geochemistry of brackish and saline groundwater in coastal areas of Finland. Transactions WRI-5, 1986.
5. Mook, W.G. (1979), Collegedictaat isotopenhydrologie. Hydrogeologie en geografische hydrologie, V.U. Amsterdam.
6. Neal, C., C.J. Smith en W.M. Edmunds, Geochemical controls on trace element behaviour in Welsh upland streams. Transactions WRI-5, 1986.
7. Paces, T., Chemical buffers in environmental acidification. Transactions WRI-5, 1986.
8. Pannekoek, A.J. en L.M.J.U. van Straaten (1982), Algemene Geologie, Wolters-Noordhoff, Groningen.
9. Pomper, A.B., Human influences on groundwater quality in the Southern Peel, a sandy region in the Netherlands. Transactions WRI-5, 1986.
10. Rosenqvist, I.Th., Importance of biochemical processes and weathering for streamwater chemistry. Transactions WRI-5, 1986.
11. Schuiling, R.D., J van Herk en H. Pietersen, Neutralisation of industrial waste acids with olivine, the dissolution of forsterite olivine at 50-103 C. Transactions WRI-5, 1986.
12. Shen, Z., M. Tang en X. Jia, On the formation of acid rainfall and its influence upon the chemical compositions of shallow groundwater in some cities along the lower reaches of the Yangtse River. Transactions WRI-5, 1986.
13. Skorepa, J. en I. Skorepova, Precipitation water quality effect on the quality of ground and surface water. Transactions WRI-5, 1986.
14. Smith, R.W., The nature and progress of aqueous aluminum (III) mobilized by acid rain. Transactions WRI-5, 1986.
15. Strahler, A.N., 1965, The earth sciences, Harper en Row, New York.
16. Taylor, B.E., Hydrogen isotope variations in magmas and magmatic fluids. Transactions WRI-5, 1986.
17. White, D.E., Subsurface waters of different origins. Transactions WRI-5, 1986.
18. Fifth International Symposium on Water-Rock Interaction, Field Guide, Reykjavik, Iceland.

HUMAN INFLUENCES ON GROUNDWATER QUALITY IN THE SOUTHERN PEEL,
A SANDY REGION IN THE NETHERLANDS

A.B. Pomper

Institute for Land and Water Management Research (ICW), Wageningen, The Netherlands

1. INTRODUCTION

The southern Peel area (35,000 ha) is a sandy region in the southwestern part of the Netherlands (Fig. 1), with conflicting land-use interests. It was originally part of an extended peat area. After peat excavation the sandy subsoil has been reclaimed and came into exploitation by farmers for mixed cattle and arable agriculture and since several decades mainly for dairying and pig breeding with high animal densities.

This resulted in an increasing input of animal food from outside the area, combined with an intensive green fodder production for winterstock (maize and hay). Large quantities of animal slurry are dumped on the agricultural lands leading to overfertilization.

Supply of surface water from the Meuse is necessary for the increasing demand of sprinkling water and water level control of some nature areas. The water is brought into the area via the larger canals along the boundaries of the investigated area.

The protection of the water resources in the area needs great attention because the area is of great importance for water extraction for public water supply and nature conservation in the many nature areas in the southern Peel. Beside woodland, there are two remnants of the original peat in the area (Grote Peel and Maria Peel, Fig. 1), having important ecological values.

The total ion concentrations in the groundwater of the area studied are low, although remarkable differences - linked with soil characteristics and land use - are observed. The natural composition of groundwater is changed by several influences:

- polluted atmospheric deposition (wet and dry deposition);
- agricultural activities (overfertilization);
- supply of polluted surface water from outside the area.

The infiltrating precipitation water has, for instance, at present an average pH of 2.8 (Appelo, 1982; Hoeks, 1986). Thanks to the buffering processes in the soil pH-values of the groundwater are much higher.

The main purpose of the present investigations is tracing the influence of agricultural activities and of acid precipitation on groundwater quality and tracing the progress of the hydrochemical processes in the saturated zone of the subsoil. Changes in the field have been simulated with column experiments in laboratory.

2. THE GEOHYDROLOGICAL AND HYDROLOGICAL SITUATION

The investigated area is divided into two parts by a fault system. East of this fault there is a fault ridge ('Horst') and west of it of a rift valley ('Slenk'). (In this paper the two parts will be indicated respectively as Horst area and Slenk area).

The subsoil of the Horst area consists of one aquifer of coarse pleistocene sands, overlain by a top layer of fine eolean sands based at 10-20 meters below ground level by underlying fine marine tertiary sediments. West of the Peel edge fault the tertiary sediments are found at depths of more than 300 meters. The geohydrological system in this part of the area consists of several aquifers separated by fine grained layers.

The hydrological situation can be read from the contour map of groundwater in the upper aquifer

The Horst area has a local groundwater system with groundwater flow in the aquifer starting from the groundwater divide near the eastern boundary of the area in western and northwestern directions. The Peel Edge fault generally acts as a hydrological barrier.

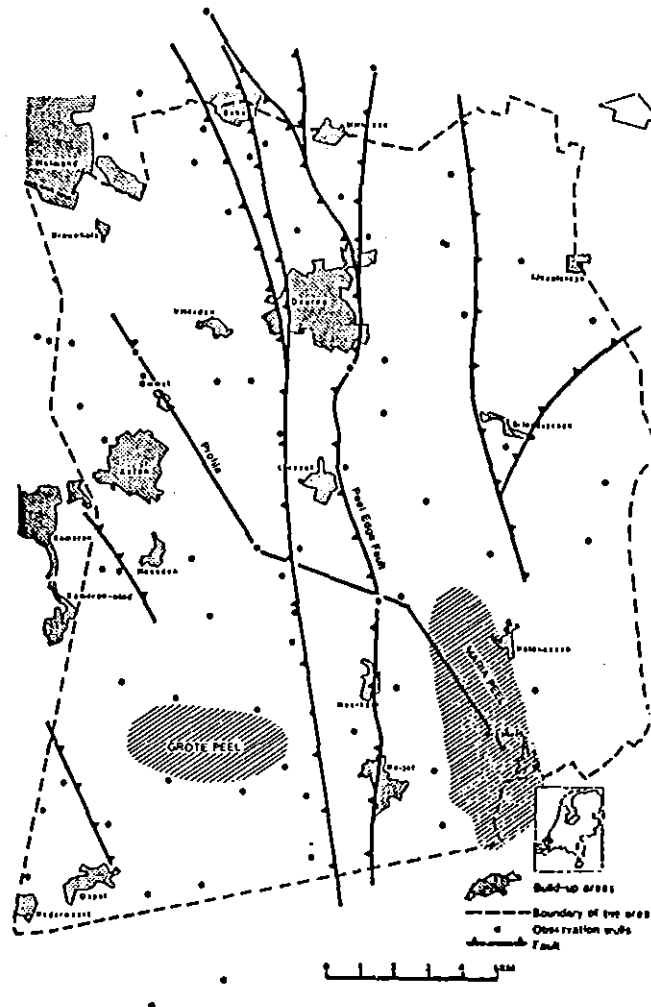


Figure 1. Location of the Peel in the Netherlands (inset) and map of the study area with observation wells. The Grote Peel and Maria Peel are remnants of the original peat deck in the studied area, having great ecological values

In the deeper aquifers of the Slenk area a super regional groundwater system is present. There deeper groundwater enters the area at the southern boundary and leaves it at the northwest. In the upper aquifer a regional groundwater system exists. Due to differences in hydraulic heads between the phreatic water and the groundwater in the upper aquifer both seepage and infiltration occur in the area.

3. SET-UP OF FIELD AND LABORATORY RESEARCH

The results used in this investigations were obtained from about 80 wells, many of which with filters at different depths, scattered across the area (Fig. 1). The larger part of the data is from the upper 40 meters of the subsoil.

In order to get information about hydrochemical processes, the sediment of some borings have been sampled completely. The samples were used to fill columns (45 x 9 cm) for laboratory experiments. These columns have been percolated, during two years with water of fixed chemical compositions. One column was filled with loamless Quar-

ternary coarse grained sand and another with loamy Tertiary sand. These soil columns were percolated at a rate of about 2.5 mm/day (i.e. 5 times the natural flow) with water (pH = 3) containing calcium, magnesium, potassium, sodium, sulphate, nitrate and chloride.

4. RESULTS

4.1. Cation concentrations

Despite the fact that the sediments in the area contain hardly no calcite, the larger part of the cations consists of calcium (about 20%). The highest values for calcium are found in the upper groundwater, especially under corn fields and intensively manured meadows and hay fields.

In the column experiments after several months of percolation, the calcium concentrations in the effluent from the coarse grained column remained at the same level as those of the influent water. In the mean time there was a strong increase in the aluminium concentration. The silty sand column shows a strong increase of the calcium concentration, while no aluminium is present in the effluent.

The theory is that in both columns, due to the low pH-values of the influent, aluminium goes into solution by weathering of minerals. In the silty column this aluminium is afterwards exchanged with calcium in the clay complex.

This explains the rather high calcium concentrations in the upper layers of the subsoil, despite of the absence of calcite. Adsorption of Al and Fe, originating from weathering of minerals in the unsaturated zone, gives desorption of cations of lower validity in the clay complex, especially Ca and Mg. Since the inflow of acid surface water (acid rain, slurry water) has taken place during the last decades, the process is still limited to the upper layers. The process of cation exchange takes some time, therefore the highest calcium concentrations occur some meters below groundwater level.

By buffering of acid in the upper layers, it is not to be expected that these processes will quickly move downward in the near future.

4.2. Anion concentrations

Chloride, sulphate, nitrate and bicarbonate are the most important anions in the groundwater of the study area. Despite the fact that chloride has no function in the hydrochemical processes, this ion was of great importance for this study as a tracer of transport processes.

The chloride concentrations of infiltrating precipitation waters amount to 7-10 ppm. In woods and cultivated land - due to the high evapotranspiration - they can rise up to 15-20 ppm (Meinardi, 1974). Due to manuring high chloride concentrations (more than 50 ppm) occur in cultivated areas. The chloride concentrations of groundwater in poor nature areas (marshes and heath) are almost equal to those of precipitation water: 7-10 ppm (Kemmers and Jansen, 1980).

It can be concluded that some kind of inflow of polluted water from the land surface exists if groundwater in the Peel area shows higher chloride contents than 20 ppm.

Sulphate originates from precipitation, animal slurry, mineralisation of organic soil material and oxidation of minerals like pyrite. From groundwater quality in the Peel area it is observed that large quantities of sulphate mostly occur in the upper 20 meters below ground level.

It appears that the relative sulphate concentration in the total ion content under woods is as high as under cultivated areas, but as the total ion concentrations of these waters are low (2 meq/l), the absolute values for sulphate concentrations also are very low.

Although in other sandy parts of the Netherlands at great depths high nitrate concentrations in groundwater have been observed, in the present study nitrate was only observed in high concentrations in samples above 5 meters below ground level. This means that under the existing anaerobic situation denitrification still prevails.

5. THE INFLUENCE OF HYDROLOGY AND LAND USE ON GROUNDWATER QUALITY

From Table 1 it can be concluded that there is a strong relation between water quality and land use. There is a remarkable contrast between the values for nature areas and those for corn fields.

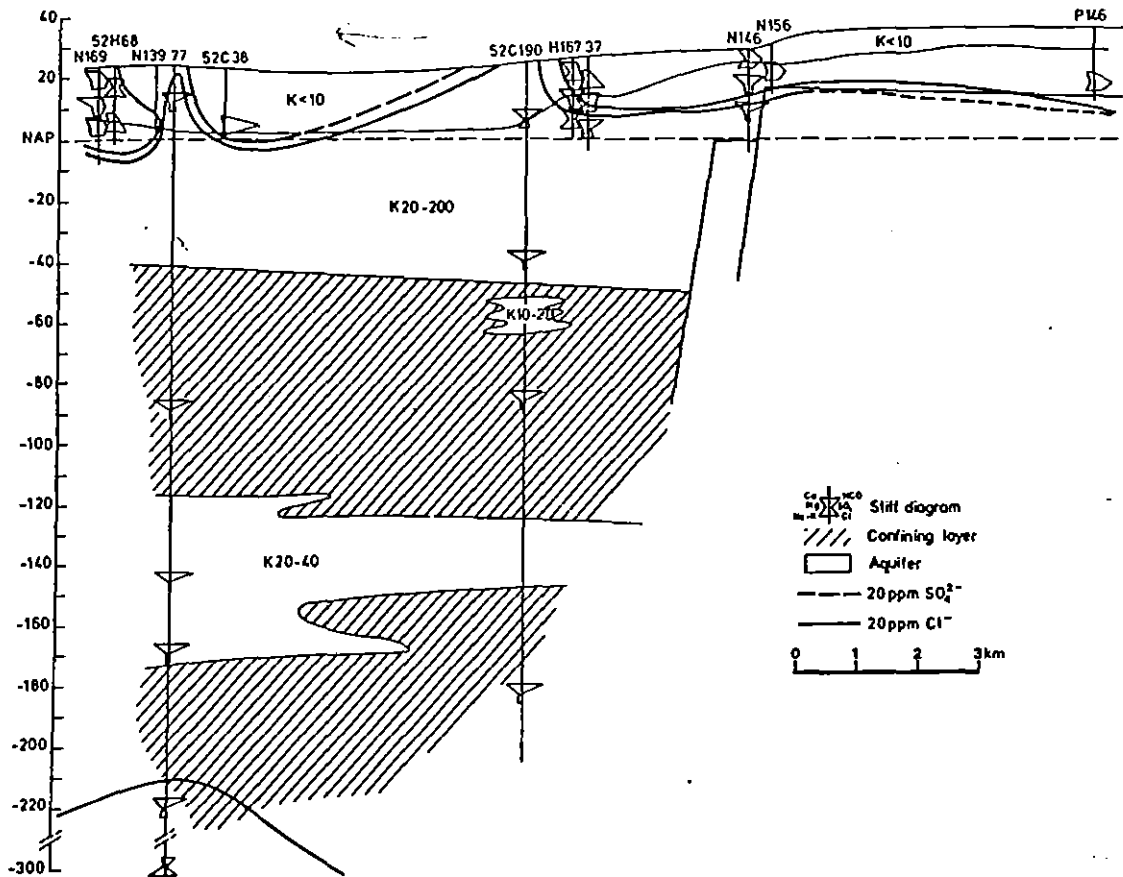


Figure 2 . Profile through the area (for location see Fig. 1) following the directions of groundwater flow in the upper aquifer compiled from the water table contour map . Beside relative water qualities, marked with stiff diagrams and the lines of 20 ppm chloride and sulphate, schematic presentation of the hydrological situation is given. The number(s) following the character K in the cross section indicate the relative values of the hydraulic conductivities expressed in m/day (NAP is Ordnance Datum - reference level in the Netherlands)

It is observed that there are great differences between the water types in the upper 20 meters of groundwater and the deeper water. The upper water is calcium sulphate water, the deeper calcium bicarbonate water.

Figure 3 gives a cross section through the area. It follows the main direction of groundwater flow (Fig. 1). It starts in the Maria Peel in the Horst area in the south-eastern part of the study area and runs to the northwestern direction. It crosses the Peel Edge fault in the central part of the area and ends at a point south of Helmond.

The Maria Peel has supply of water from outside the area. The two wells in the Maria Peel give water with a composition similar to the local surface water, which is Meuse-influenced. From the chloride concentration of this groundwater, it can be concluded that it consists for two third of Meuse water and for one third of precipita-

Table 1. The relation between land use and the average concentrations of ions in the upper 20 meters of the subsoil in the Peel area. The number of data for each type of land use is given in parentheses

	Nature (21)	Corn (28)	Meadow and hay (88)	Farmyard (22)
pH-value	5.44	5.37	5.53	5.38
Ion concentration (ppm)				
Ca ²⁺	15.33	63.89	27.84	31.32
Mg ²⁺	3.17	14.16	7.04	7.11
Na ⁺	13.93	18.34	21.00	20.42
K ⁺	2.25	20.06	8.86	6.07
Fe ³⁺	3.52	0.00	3.29	5.47
NH ₄ ⁺	2.22	1.62	3.52	1.92
HCO ₃ ⁻	27.88	78.26	43.42	80.55
SO ₄ ²⁻	37.97	81.23	75.03	84.67
Cl ⁻	26.85	35.12	40.69	39.43
NO ₃ ⁻	0.61	25.59	15.60	2.38

tion water. From other wells in the Horst area near this profile, it appeared that in the tertiary layers the calcium bicarbonate water is found, as also present in the deeper aquifers of the Slenk area.

The profile of Fig. 2 crosses the Peel Edge fault just north of an area with intense infiltration. At this location it is to be expected that there is some infiltration of surface water. From the data in this profile it can be concluded that there is supply through the fault from the deeper layers in the Horst (calcium-bicarbonate water).

At the left hand side of the illustration the profile crosses a narrow band with intense flow of water from the deeper aquifers in the Slenk area to the upper. This results in a strong upward movement of the deep calcium bicarbonate water. This water type even comes close to the groundlevel.

West of the fault there is a region with intense stock-breeding in an area with strong infiltration. The depth of pollution increases to 20-50 meters in the direction of groundwater flow. The strongest pollution is found in the upper meters of the subsoil. Most of this polluted water is drained by the local drainage system. The thickness of this layer is governed by the distance between the draining ditches.

REFERENCES

- Appelo, C.A.J. (1982). Acidification of groundwater in the Veluwe (in the central Netherlands) (in Dutch). *H₂O*, 15, 463-368.
- Hoeks, J. (1986). Acidification of groundwater in the Netherlands. Proc. Intern. conference on Water Quality Modelling in the Inland Natural Environment, Bournemouth, UK, 10-13 June, 1986. BHRA, The Fluid Engineering Centre, Cranfield, Bedford MK43 OAJ, UK. Techn. Bull. ns 38. Institute for Land and Water Management Research (ICW), Wageningen, The Netherlands.
- Jansen, P.C. (1982). The quality of surface water in the southern Peel area during the period of October 1981 - October 1982 (in Dutch). Nota 1373. Institute for Land and Water Management Research (ICW), Wageningen, The Netherlands.
- Kemmers, R.H. and Jansen, P.G. (1980). The influence of chemical parameters in groundwater and soil on several vegetation types in the state nature area 'Groot Zandbrink' (in Dutch). Nota 1180. Institute for Land and Water Management Research (ICW), Wageningen, The Netherlands.
- Meinardi, C.R. (1974). The chemical composition of groundwater in the Veluwe area (in Dutch). Meded. 74-4. Government Institute for Water Supply (RID), The Hague, The Netherlands..