

IJsland Expeditie

Aarde.Nu » 2010

“...alles of niets...”
- Astrid Ruiter, winnaar 2007

“indrukwekkend, koud en gezellig”
- Mariska Bos, winnaar 2007





« Op de omslag
IJsbergen in het gletsjermeer Jökulsarlón,
locatie op expeditiedag 3

IJsland Expeditie

Aarde.Nu » 2010

Expeditleiding:

Bernd Andeweg
Lucy Kerstens
Wieske Paulissen
Evelien Harmsen

Algemeen over IJsland

BASISGEGEVENS

Officiële landstaal:	IJslands
Hoofdstad:	Reykjavik
Regeringsvorm:	Republiek
Staatshoofd:	President Ólafur Ragnar Grímsson
Regeringsleider:	Jóhanna Sigurðardóttir
Religie:	Luthers 85%
Oppervlakte:	103.000 km² [1] (2,7% water)
Inwoners:	281.154 (2000)[2] 304.367 (2008)[3] (3/km² (2008))

OVERIGE

Volkslied:	Lofsöngur
Munteenheid:	IJslandse kroon (ISK)
UTC:	+0
Nationale feestdag:	17 juni
Web Code Tel.	.is ISL +354

Onderdeel geweest van Denemarken
1944 (Onafhankelijk van Denemarken)

Nederlandse - Islenskú

Ik spreek geen IJslands	<i>Eg talla ekki islensku.</i>
Bedankt	<i>Takk (Takk fyrir).</i>
Mijn naam is ...	<i>Eg heiti ...</i>
Waar kan ik telefoneren	<i>Hvar get ég hringt?</i>

Islenskú - Nederlandse

Blágri	<i>zwarte basalt</i>
Dragá	<i>runoff rivier</i>
Fjorður	<i>fjord</i>
Grágrýti	<i>grijze basalt</i>
Hverir	<i>hete bron</i>
Kaldavermsl	<i>koude bron</i>
Laugar	<i>warne bron</i>
Lindá	<i>door bronnen gevoede rivier</i>
Jökulá	<i>gletsjerrivier</i>

Uitspraak klinkers

a	= a (als in pan)
a, gevolgd door ng of nk	= au
á	= au
e	= e (als in melk)
e, gevolgd door ng of nk	= ei
é, ei en ey	= ee
i en y	= i (als in vis)
i, gevolgd door ng of nk	= ie
í en ý	= ie
o	= o (als in krom)
ó	= oo
ö	= u (als in mus)
u	= uu
u, gevolgd door ng of nk	= oe
ú	= oe
æ	= aj (als in maïs)
au	= eu, ui

Uitspraak medeklinkers

ð	= th (als Engelse them)
þ	= th (als Engelse thank)
g	= g (als Engelse go)
g	= j (tussen i of u)
v	= w

De r wordt uitgesproken als een zogenaamde tongpunt-r (rollende r). De overige medeklinkers worden uitgesproken als in het Nederlands. Hierop is echter ook weer een groot aantal uitzonderingen. De meest voorkomende zijn:

f	= v (in mid. of eind woord)
nn	= dn (na een lange klinker)
fl en fn	= resp. bl en bn
hv	= kw (aan begin v/e woord)
ll	= dl
pt	= ft
rl	= meestal dl
rn	= meestal dn

Colofon

De expeditie gids 2010 is een uitgave van Aarde.Nu voor de deelnemers aan de IJsland expeditie, betrokken stuurgroepleden en bedrijfspartners

Uitgave

Aarde.Nu

Aan deze uitgave werkten mee

Bernd Andeweg
Esther van Assen
Jan Willem de Blok
Roel Dijkstra
Jelle van Sijl
Sebastiaan de Vet

Vormgeving

Sebastiaan de Vet
Bernd Andeweg

Voorwoord en inhoud

Het is zover. De middelbare school afgerond en op de drempel van een studie. Voor velen een spannende en enerverende tijd, waarschijnlijk vol met nieuwe avonturen zoals het zoeken van een kamer. Wij maken het nog wat spannender, enerverender, avontuurlijker en unieker door daaraan deze Expeditie IJsland toe te voegen. We treden in het spoor van natuurliefhebbers, avonturiers, wetenschappers en rustzoekers. Op dit stukje van de aarde krijgt tijd en ruimte een heel andere betekenis. Bereid je voor op sprongen door geologische tijdschalen, wijde leegten, enorme vergezichten en op ontspannende zwempartijen in warme bronnen. Voor het Aarde.Nu team is het een bijzondere uitdaging om voor een groep enthousiaste scholieren (jullie dus!) een expeditie naar IJsland te organiseren. Qua locatie en ontwikkeling is IJsland een ideaal land om jullie kennis te laten maken met dan wel in te wijden in de aardwetenschappen, in (bijna) al haar facetten. Jullie worden tijdens de expeditie vergezeld door vier aardwetenschappers, die werken of studeren bij één van de deelnemende universiteiten. Daardoor krijg je niet alleen de kans om de schoonheid van IJsland te leren kennen, maar je krijgt ook te horen wat je nu precies ziet. Maar schroom vooral ook niet om te vragen, en te vragen, en te vragen... Met flink wat verhalen, vragen en discussies over en weer moeten jullie een aardig beeld van IJsland kunnen krijgen en weten we zeker dat jullie de schoonheid van IJsland nog meer gaan waarderen!

Het programma van de expeditie is samengesteld met de hulp van een echte IJslandspecialist: Willem van Blijderveen. Hij heeft ook de Dominicus Reisgids IJsland geschreven, die in jullie IJsland informatiepakketje zat. We reizen via de zuidelijke en oostelijke rondweg naar het noord oosten om van daaruit een doorsteek over het eiland te maken richting het zuiden. Het weer op de tocht op IJsland is nog veranderlijker dan in Nederland. Bij mooi weer lopen we kans dat we 18°C gaan halen en, minstens zo belangrijk, getraakteerd worden op enorme vergezichten. Dit heldere weer is geen absolute must voor het welslagen van de expeditie, maar maakt alles nog beter zichtbaar, nog mooier en nog spectaculairder. Mogen de IJslandse weergoden ons maar welgezind zijn!

Bernd, Lucy, Wieske en Evelien

Expeditieleiders

Inhoud van de gids

Voorwoord en inhoud	01
Expeditieleiding & deelnemers	02
Enkele belangrijke regels	04
Expeditie route	05
Reisplanning expeditie 2010	06
Geologie & Vulkanisme	16
Oppervlakte processen	26
IJslandse geologie	36
Weer & klimaat	44
Astronomische verschijnselen	46
De IJslandse maan; veertig jaar Apollo	50
Moeilijke niet te gebruiken woordenlijst	62
Bedrijfssponsors	64

Expeditleiding

Een kort overzicht van het enthousiaste team van de experts die deze Aarde.Nu expeditie IJsland 2010 leiden.



Bernd Andeweg
Vrije Universiteit

Docent en voorlichter aan de Vrije Universiteit. Werkzaam op het raakvlak van vwo en universiteit. Doceert aan eerste en tweedejaars veldwerk in Spanje en Ardennen en het schrijven van een wetenschappelijk verslag. Bernd is gepromoveerd op spanningen in de aardkorst (de plaattektoniek). Inmiddels is hij ook een doorgewinterde IJsland expert en Eyjafjallajokull-personality. Gaat voor de vierde keer mee op deze bijzondere IJsland expeditie en hoopt dat deze keer het ijsbergenmeer een keer in de zon te zien is!



Evelien Harmsen
Universiteit Utrecht

Ik werk op de afdeling Communicatie en Marketing van de faculteit Geowetenschappen (UU). Hier houd ik me onder andere bezig met de communicatie naar scholieren en bachelorstudenten over onze opleidingen: opleidingen over de aarde! Ik organiseer verschillende voorlichtingsactiviteiten, verzorg onze websites en schrijf teksten over interessante onderzoeken die hier gebeuren. Om dit goed te kunnen doen werk ik veel met studenten en wetenschappers samen. De onderwerpen die langskomen zijn heel interessant: van vulkaanuitbarsting tot alternatieve energiebronnen en van stedengroei tot grondwaterstromingen. Al met al dus 'een baan rond de wereld'!



Lucy Kerstens
Universiteit van Amsterdam

Werkzaam als opleidingscoördinator voor de Bachelor Aardwetenschappen en de Master Earth Sciences. Afgestudeerd als geoloog maar ook verschillende communicatiemanagement cursussen gevolgd. Nu combineer ik die twee als voorlichter en opleidingsdirecteur bij Aardwetenschappen. Ook al ben ik steeds meer organisatorisch en beleidswerk gaan doen in de loop der jaren, vind ik mijn vakgebied nog steeds een van de boeiendste ter wereld! Wat is leuker dan om te weten hoe het landschap gevormd wordt, waar bepaalde gesteenten voorkomen, waarom IJsland zo bijzonder is of hoe we verantwoord kunnen omgaan met schaarse energiebronnen? Aardwetenschappen is de rode draad in mijn leven en het blijft inspirerend om je kennis ervan te delen met iedereen die geïnteresseerd is!



Wieske Paulissen
Technische Universiteit Delft

Werkzaam sinds 2007 als promovendus aan de Technische Universiteit Delft bij de sectie toegepaste geologie. Ik onderzoek hoe het klimaat en gebergtevormingsprocessen van invloed zijn geweest op de sedimentaire invulling van een oude binnenzee dat zo'n 23-8 miljoen jaar geleden ten oosten van de Alpen lag en inmiddels volledig is ingevuld met sedimenten. Ik heb hiervoor zeer gedetailleerde metingen genomen in een 2km diepe boorput van een oliemaatschappij in een centraal gelegen punt van dit bekken. Het leuke van dit onderzoek is dat ik verschillende type geologische onderzoeken met elkaar heb moeten combineren om zo de vormingsgeschiedenis van deze oude binnenzee te kunnen ontrafelen.

Deelnemers

Een kort overzicht van de prijswinnaars van de IJsland 2010 expeditie van Aarde.Nu naar IJsland:

Margriet Lantink (Leiden)

Eva van der Voet (Lisse)

Hoe zakken we? Een onderzoek naar bodemdaling in Noord-Nederland als gevolg van aardgaswinning

Janet vd Brug (Ureterp)

Aardwarmte

Ivo Dols (Geleen)

CO2 opname door grassoorten

Jeske Walgers (Purmerend)

Heleen Vos (Purmerend)

Paleobotanie

Corine Walvoort (Aalten)

Linda Lammers (Aalten)

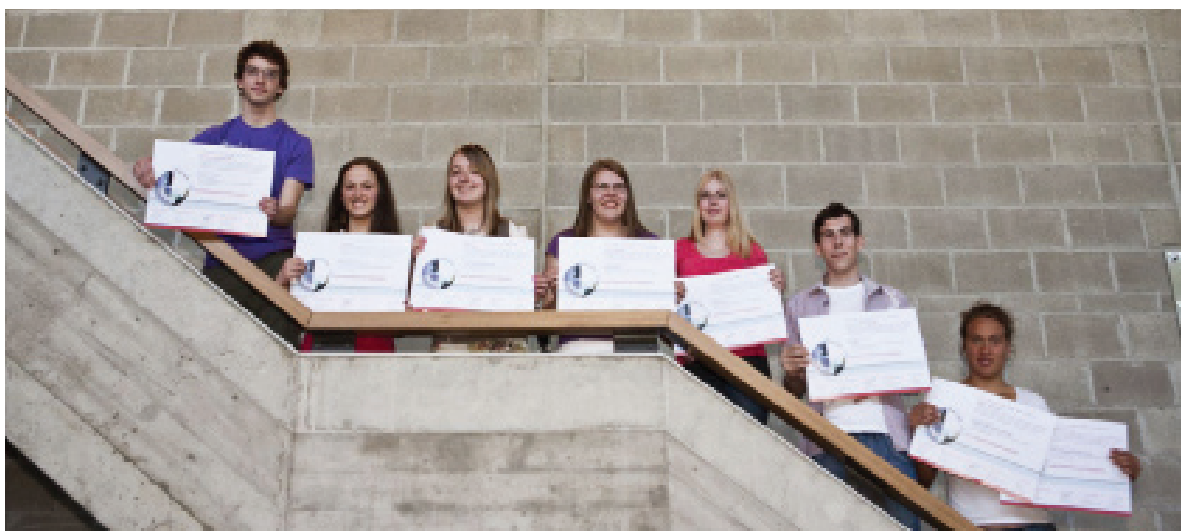
Bodem, hoe zit dat?

Anna Brouwer (Apeldoorn)

De aarde beweegt

Tom Fernhout (Dieren)

De Nederlandse aarde trilt!



(een deel van) De winnaars van de Aarde.Nu 2010 expeditie tijdens de prijsuitreiking in Utrecht

Belangrijke Regels

Even als volwassenen onder elkaar: er zijn een aantal noodzakelijke regels die iedere bezoeker van aan IJsland in acht moet nemen. Hieronder staan de belangrijkste punten die je in acht moet nemen, maar volg daarnaast ook altijd de instructies van de expeditieleiding op.

1 Veiligheid IJsland is een mooi, maar deels ook een verradelijk land. Ga nooit alleen op pad. Laat altijd weten wanneer je een wandeling gaat maken, met wie, waarheen en hoe laat je weer terug bent. In geval van nood kunnen we jullie dan makkelijker terug vinden. Ga 's avonds laat niet alleen of met een klein groepje op stap! Hoe leuk dat ook klinkt, gaat er iets mis, dan kun je op veel plekken op IJsland geen enkele hulp verwachten. Bedenk dat er op IJsland (dat ruim twee keer zo groot is als Nederland) slechts twee traumaheli's beschikbaar zijn van ICESAR om afgelegen gebieden te bereiken. Kortom, neem geen onnodige risico's tijdens het wandelen, bij watervallen en activiteiten 's nachts.

2 Wandelpaden De IJslandse grond kan heel verradelijk zijn. Grote delen van het oppervlak bestaan uit afgekoelde lava velden, waaronder of hetere grond ligt, óf zich lucht kamers bevinden, die bij druk van bovenaf kunnen instorten. Ga daarom in wandelgebieden NOOIT van de aangegeven paden af. We komen in genoeg gebieden waar je wel veilig kan rondrennen, maar blijf tijdens wandelingen altijd op de aangegeven route.

3 Natuur Nog een reden om niet van de paden af te gaan is de zeer gevoelige natuur van IJsland. In veel gebieden kost het de weinige planten die er willen groeien grote moeite om zich te ontwikkelen. Loopt er een keer een lompe Hollander met zijn wandelklompen buiten de paden, dan zal op dat stuk de komende twintig jaar geen plant meer groeien. Respecteer de natuur!

4 Stilte Gebod In deze tijd van het jaar bevinden zich veel toeristen op IJsland. Dat kan betekenen dat we samen met een aantal andere groepen op dezelfde camping overnachten. Zorg daarom dat andere gasten geen last van jullie hebben. Na 11 uur 's avonds geldt er in het algemeen een stilte gebod. Zorg dat je van je tijd op IJsland geniet, maar houdt er rekening mee dat anderen misschien vanaf die tijd willen slapen!

5 Materiaal Al het materiaal dat we bij ons hebben is gehuurd van de IJslanders. Dit moeten we logischerwijs onbeschadigd en in goede doen aan het eind van onze reis weer inleveren. Help mee alles heel en schoon te houden. Dit geldt dus o.a. voor de tenten, kookspullen en de auto's.

6 Autorijden Voor de rijbewijsbezitters onder jullie: Er schijnt nogal eens de neiging te bestaan om een keertje zelf een rondje met een Landrover te willen rijden. Sorry guys: VERBODEN TOEGANG! Bij ook maar de geringste schade aan een van de auto's zijn wij als chauffeurs persoonlijk verantwoordelijk. En de kosten die daar bij komen kijken zijn niet leuk! Roel, Ramona en Jelle zijn de enigsten die de voertuigen mogen besturen.

7 Oppassen Gaan jullie zwemmen in een zwavelrijk meer of warme bron, zorg dan datje al je sieraden van te voren afdoet. De zwavel tast dit flink aan.

Route op IJsland



① Keflavík International Airport

② Overnachtingslocaties

~ Rijroute

De route van Expeditie IJsland 2010 zal in 10 dagen tijd met 9 overnachtingen van alle prachtige landschappen van IJsland laten zien. Hieronder en op de reisplanning de pagina's hierna, een overzicht van de route.

Dagplanning

- 6 augustus Aankomst Keflavík, camping Laugardalur
- 7 augustus Watervallen en Zuidelijkste puntje van IJsland
- 8 augustus IJsbergenmeer en de gletsjer Vatnajökull
- 9 augustus Hoogste boerderij van IJsland
- 10 augustus Echorotsen en het beruchte 'muggenmeer'
- 11 augustus Krafla vulkaan complex
- 12 augustus Sprengisandur naar Landmannalaugar
- 13 augustus Landmannalaugar en Hrafninnusker
- 14 augustus Gullfoss, Geysir & Reykjavík
- 15 augustus Reykjavík, Krysuvík & terug naar Amsterdam



IJsland in 10 dagen

Expeditieplanning Aarde.NU 2010

Hieronder volgt ons dagprogramma zoals we dat nu gepland hebben. Omdat de weersomstandigheden op IJsland niet altijd optimaal zijn, zullen we langer op de lokaties blijven waar het mooi weer is, en een metalen (Landrover) achterwerk kweken wanneer de regen dat afdwingt. Het kan dus zijn dat we niet alle bezienswaardigheden uit de onderstaande planning zullen aandoen, maar daarvoor in de plaats andere bijzonderheden opzoeken.

1

Vrijdag 6 augustus, aankomst IJsland

Op deze dag worden op IJsland de eerste voorbereidingen getroffen door Jelle en Sebastian (die ons al vooruit gereisd zijn) waaronder de eerste boodschappen inslaan. De groep komt invliegen rond 15.50 uur op het vliegveld van Keflavík, IJsland. Ons reisdoel van deze dag is **Laugardalur**, de camping in de hoofdstad Reykjavík. Als de bagage uit de jeeps is geruimt, worden de tenten afgehaald en kan ons eerste kampement wordt ingericht. Eventueel nog samen een tent of twee opzetten, slaapzakken erbij, wat eten en welterusten! En maar proberen te slapen, want door de midzomernachtzon zal het nog licht zijn!

Zaterdag 7 augustus, Eyjafjallajökull, Vík en de gletsjers

8.00 uur opstaan, ontbijten en de tenten afbreken. Het wordt even trainen hoe alles het beste in de wagens en de aanhanger gestouwd kan worden, maar zo snel mogelijk routine daarin krijgen zal het beste werken. We streven naar vertrek om 9.00 uur. De route is oostwaarts, naar het zuidelijk deel van de rondweg en we proberen een flink eind te komen vandaag. Het zuidwestelijk schiereiland waar

Reykjavík op ligt, kent wat weilanden en waarschijnlijk zullen we onderweg hier en daar wet IJslandse paardjes (IJslanders) zien lopen. Nu volgen een mogelijke punten die we deze dag zullen bekijken.

Hveragerði. Dit is een kassencomplex dat geothermisch wordt verwarmd. Een van de weinige plekken in IJsland waar meer dan gras verbouwd kan worden! Verder kunnen er prima ansichtkaarten worden gekocht en verstuurd. Als je kans wilt hebben dat de kaart eerder thuis is dan jijzelf, dan moet je hier inderdaad gebruik van maken.

Eyjafjallajökull. Inderdaad, die vulkaan met de moeilijke naam die



2

vliegtuigen in heel Europa aan de grond hield. De vulkaan is -helaas- nauwelijks meer actief. Bij helder weer kunnen we de vulkaan zien liggen over de vlakte van Selfoss heen. Wie weet zien we nog een aspluimpje!

Seljalandsfoss. Zoals je wellicht hebt begrepen is ‘foss’ het IJslandse woord voor waterval. Dus iedere keer als je dat in het programma tegenkomt (minstens 1 per dag, is de gezonde dosis!), weet je wat er gaat komen. De Seljalandsfoss is de eerste uit het rijtje en is een kleine hoge waterval, vlakbij de hoofdweg richting Þórsmörk, langs de oude rondweg.



Skogafoss. Een klein stukje verder, bij Skogar, ligt direct al één van de grootste watervallen van IJsland. De Skogafoss heeft een verval van zo’n 60 meter en volgens de legende heeft de kolonist Prasi een kist met goud onder de waterval verborgen. De kist is echter nooit gevonden. Waarschijnlijk zullen we bij deze waterval lunchen. We rijden hier door een deel van IJsland dat door de Eyjafjallajökull met as bedekt is geweest. Eens zien hoeveel we er nog van kunnen vinden en meenemen!

Vík. Vlak voor Vík, we zijn bijna bij het zuidelijkste puntje van IJsland, zullen we karakteristieke basaltformaties en zwarte zandstranden gaan bekijken. Met een beetje geluk zitten er nog papegaai-duikers op de basaltrotsen!

Kirkjubæjarklaustur. Na een rit door het waanzinnige landschap van Eldhraun (de ondertussen met groen mos begroeide lavastroom die in 1783 en 1784 uit de Lakagígar stroomde bij een van de meest rampzalige uitbarstingen van IJsland) komen we aan in Kirkjubæjarklaustur. Een korte stop om wat te drinken, als daar behoefte aan is!

Skeiðarársandur. Van Núpsstaður naar Skaftafell doorkruisen we de spoelzandvlakte van de grootste gletsjer van IJsland, de Vatnajökull, vrij vertaald: de watergletsjer. De spoelvlakte Skeiðarársandur is het gebied waar het gletsjerwater door normale sedimentrijke riviertjes, maar ook door extreme vloedgolven wordt afgevoerd naar de oceaan. Het is een prachtig voorbeeld van een verwilderd riviersysteem. Je ziet heel veel stroomgeulen naast elkaar. De afvoeren van de rivieren en riviertjes kunnen erg variëren. De laatste keer dat de afvoer een catastrofale omvang had was in 1996. Onder de gletsjer vond een vulkaanuitbarsting plaats (in het Loki systeem), die ervoor zorgde dat er enorm veel smeltwater ontstond. Dit water kon niet gelijk weg, maar werd door het ijs en de kraterwand tegengehouden, tot na een paar weken dit ineens doorbrak en er een zogenaamde jökulhlaup optrad. Door de enorme krachten van dergelijke jökulhlaups was het lang niet mogelijk een weg aan te leggen over de sandrvlaktes. De IJslanders moesten daardoor enorme stukken omrijden. Door het dunner worden van de ijskap vinden de doorbraken (jökulhlaups) nu vaker plaats, maar met een geringer volume. In 1974 werd dan ook de brug over de Skeiðará aangelegd: IJslands langste brug. In 1996 werd die brug toch weer weggespoeld. Een deel ervan ligt nog langs de ringweg, waar ook een paar informatieborden staan. De Vatnajökull is na Antarctica en Groenland de grootste ijsvlakte ter wereld.



3

Zondag 8 augustus, Skaftafell - Egilsstaðir

Deze keer zelfs opstaan om 7.00 uur, vertrek om 8.30 uur! Het ritme moet er nu in komen, want we hebben soms lange dagen voor de boeg, zoals ook deze dag

Svartifoss. We zullen naar Svartifoss (de zwarte waterval) wandelen.

Jökulsarlón Ofwel: Het ijsbergenmeer. Dit meer ligt langs de de rondweg en iedere toerist die voorbij komt, moet hier tenminste even stoppen. De brokstukken van de gletsjertong vallen in het meer, drijven een tijdlang rond, smelten stukje bij beetje af en beginnen ineens met enig kabaal te kantelen. Al met al een spectaculair gezicht. Er zijn goede wandelmogelijkheden, dus als het schema het toelaat.... Kijk goed uit naar 'Trollenbrood' en de achtergrond van de openingsscenes van James Bond-film "A view to a kill" en opnieuw in "Die another day"! We lunchen waarschijnlijk ook even bij het ijsbergenmeer.

Höfn (spreek uit: Hub). In de buurt van Höfn kunnen we een mooie panorama stop maken om de verschillende tongen van de Vatnajökull op de gevoelige plaat vast te leggen. Höfn is een vissers en handelsplaats gelegen op een schiereiland. We zullen de plaats zelf waarschijnlijk niet bezoeken, tenzij we nog boodschappen moeten doen. Onderweg zien we de terrassen die gevormd zijn door elkaar opvolgende basaltuitvloeiingen. Deze uitvloeiingen vonden plaats in het Laat-Tertiair (Tertiair 65 tot 2 miljoen jaar geleden, zie geologische tijdschaal, de basalten van IJsland zijn tot 20 miljoen jaar oud) en daarmee zijn dit direct de oudste aanwezige gesteenteformaties van IJsland. Ter vergelijking: in West Europa zijn aan de kust van Frankrijk en in Schotland formaties te vinden van ruim 3 miljard jaar oud. In Zuid Afrika en West-Australië komen de oudste gesteenten ter wereld voor, bijna 4 miljard jaar oud (om precies te zijn: 3,9 miljard jaar). De Aarde zelf bestaat waarschijnlijk zo'n 4,6 miljard jaar.



Egilsstaðir. We zullen overnachten op één van de twee campings. De ene ligt vlakbij het dorp, de andere ligt in het grootste bos van IJsland. Waar we ook staan, we zullen het bos in ieder geval wel even gaan bekijken. In Egilsstaðir is een winkeltje voor de hoognodige inkopen.

Maandag 9 augustus, Egilsstaðir - Ásbyrgi

Opstaan om 7.00 uur, vertrekken voor 8.30 uur, want het wordt weer een lange reisdag.

4

Hengifoss. Even de benen strekken, en een lekkere klim in het vooruitzicht ... Deze waterval is 118 meter hoog, maar ligt wel op een behoorlijke wandelafstand. Bovendien is de hele geologische ontwikkeling van IJsland hier in een ontsluiting te zien! Daar besteden we natuurlijk 'even' aandacht aan.

Lunch! Ergens langs de oude ringweg, richting Möðrudalur. Daar ligt de hoogstgelegen boerderij van IJsland, op 460 m hoogte, en er is een cafetaria. Je krijgt hier al een aardige indruk van de immense leegte van het binnenland van IJsland. Bovendien heb je er een mooi uitzicht op de Herdubreif, een van de meest markante tafelbergen van IJsland. In het landschap vallen allerlei parallel ruggen op, die wijzen op de opening van de aardkorst in dit gebied! Vanaf Grimsstaðir verlaten we de rondweg in noordelijke richting.

Dettifoss. Alweer een waterval, maar absoluut de moeite waard: 44 m hoog en 100 m breed, met een gemiddeld waterbudget van 193 m³ water per seconde. In 2004 kwam hier bijna 400 m³ per seconde langs. Het opspatten van het vallende water zorgt zelfs voor watervallen aan de andere kant van de kloof! Erg indrukwekkend allemaal.

Ásbyrgi. De Godenburcht is een V vormige kloof met steile rotswanden. De camping zit vooraan in de kloof. Tijdens een avondwandeling kunnen we het eilandje in de kloof gaan beklimmen en gaan bedenken hoe dit zo allemaal ontstaan is. Met een beetje geluk zien we ook nog een prachtige, maar op deze breedtegraden hele langzame zonsondergang!

Dinsdag 10 augustus, Ásbyrgi - Mývatn/Reykjahlið

Traditiegetrouw staan we weer lekker op tijd op: 07.00 uur, en weer vertrek om 08.30 uur. We zullen deze dag niet heel veel kilometers maken, maar willen wel voldoende tijd uittrekken voor de excursieplekken.

5

Hljóðaklettur, de echorotsen. De eerste stop van vandaag. De basaltzuilen en rosetten zijn bloot komen te liggen na de doorbraak van een natuurlijk stuwmeer. De harde kraterpijpen van de vele kraters uit het gebied waren hier tegen bestand, de rest is weggespoeld. Het geluid van de rivier Jökulsá á Fjöllum (die ook voor Dettifoss zorgt) wordt van alle kanten weerkaatst.. vandaar de naam. Er zijn allerlei wonderlijke vormen, een brochure bij de rotsen vertelt je het verhaal achter de “trol-rots”. Vanaf de Hljóðaklettur kunnen we een kortere wandeling noordwaarts maken naar de Rauðhólar, een basalt pilaar in een gebied met rood gekleurde restanten van schildvulkanen.

Námaskjarð of Hverarönd. (‘hverir’ betekent ‘hete bron’) is een hydrothermaal gebied met kokende modderpoelen (solvataren), zwaveldampen en stoomspuiters (fumarolen). Hier moet je absoluut op de aangegeven paden blijven, als je niet in een lavapoel wil verdwijnen. De grond is hier op bepaalde plaatsen slechts een 10 30 cm dik. Dit gebied staat dan ook bekend om zijn fumarolen en zwavelwater. Houd desnoods een natte doek voor je mond als je niet tegen de zwaveldampen kan.

Mývatn. Het muggenwater, de naam zegt genoeg en hier heb je je Care Plus muggen-netje echt nodig. We hopen dit jaar er niet superveel last van te hebben, maar garanties daarvoor zijn er niet. Het weer en de tijd van dag is van invloed. Als we er last van hebben, dan is het tenminste mooi weer! We zullen 2 nachten doorbrengen op dezelfde camping bij het plaatsje Reykjahlið. Het is één van de meest toeristische gebieden van Noord IJsland.

6

Woensdag 11 augustus, omgeving Mývatn

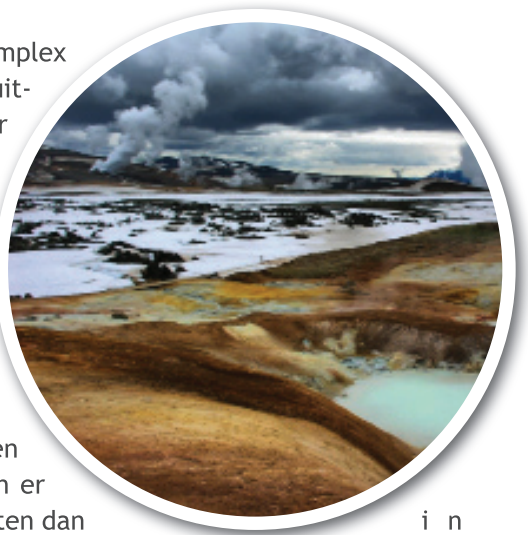
Lekker uitslapen ... Dus om 8.00 uur opstaan. Voor vandaag zijn er een aantal opties, die allemaal een ding gemeen hebben: een flink eind wandelen, afhankelijk van weer, interesse en fysieke gesteldheid. De opties staan hieronder.

Het gebied van Mývatn bestaat volledig uit een opstapeling van lavavelden. Het meer zelf beslaat een oppervlakte van 37 km², waarin zich talloze eilandjes bevinden. Alhoewel een aantal hiervan er uitzien als echte vulkanische kraters, kan het oog je hier goed bedriegen. Het zijn namelijk pseudokraters. Aan de randen van het meer kan je ook talloze voorbeelden van echt touwlava vinden, vlak naast de camping zijn prachtige voorbeelden in een lavastroom uit het jaar 1729.

Skútustaðir. Hier zullen we een aantal pseudokraters van dichtbij bekijken. Deze pseudokraters zijn overblijfselen van explosies door stoom en water toen zo’n 2000 jaar geleden lava over een moerassig gebied uitstroomde.



Krafla (spreek uit: Krabla). Een wandeling naar het Krafla complex is iets dat je waarschijnlijk niet snel zal vergeten. De laatste uitbarsting van dit vulkanische complex vond plaats in september 1984, waarbij een 9 km lange kloof zich openende en het lava zich over een groot gebied uitspreidde. Tussen 1975 en 1984 zijn er in totaal 9 erupties geweest, waarbij maar liefst 36 km² met lava is bedekt, in totaal zo'n 0,25 km³. Doordat het om redelijk vloeibare lava ging, is er geen tuf bij gevormd. De centrale vulkaan is zo'n 20 km breed, en heeft een caldera van 8 km in doorsnede. Men vermoedt dat op het moment er op een diepte van zo'n 3 - 7 km een magmakamer onder de centrale caldera bestaat. In het gebied rond Krafla ligt een hydrothermaal gebied. Door de warmte in dit gebied, groeien er meer planten, en kan de lente zich ook ieder jaar eerder inzetten dan de rest van IJsland. Overigens, de berg Hliðarfjall, net ten zuiden van het lavaveld, bestaat uit het mafische gesteente rhyoliet.



i n
Krafla

Leirhnjúkur. Aan de voet van de Leirhnjúkur, iets ten noorden van het Krafla complex ligt een prachtig hete bronnen gebied met een variatie aan kraters, hete bronnen en modderpoelen dat deel uit maakt van het systeem van de Krafla. Onder en rondom deze berg is een gigantisch systeem van vulkanische kraters en spleten die alle met een centrale magmakamer zijn verbonden. Diverse vulkanische verschijnselen komen dan ook voor in het gebied. Als je slecht tegen zwavelluchten kan, houdt dan een vochtige doek voor je mond bij het bezoek aan dit gebied.

Dimmuborgir. Dimmuborgir is IJslands voor Donkere Burcht, een naam die zeer terecht aan dit gebied is gegeven. Het bestaat uit een deels ingestort lavaveld, dat karakteristiek is door de grillig gevormde lavarotsen. Hiertussen groeien inmiddels een groot aantal (voor IJslandse begrippen dan) berkeboompjes, die het geheel een bijzondere uitstraling geven.

Hverfjall. Vanuit dit lavaveld kan je je weg gemakkelijk vervolgen naar de Hverfjall. Dit is een prachtige, ringvormige explosie krater met een diameter van ruim een kilometer. De krater, afkomstig van een eruptie die zo'n 2500 jaar geleden plaatsvond, bestaat voornamelijk uit as en puimsteen. Beklim de 150 m hoge rand van de krater, en je kan het hele gebied rond Myvatn overzien (en tegelijkertijd ook 'genieten' van de creativiteit van eerdere IJslandgangers op de bodem van de krater ...). In de krater staat een kleine heuvel die het restant is van de laatste uitbarsting van deze vulkaan.

Storagja en Grjotagja breuken. Beide spleten in de aardkorst liggen rond het plaatsje Reykjahlíð. Het gaat hier om twee lange barsten in de aardkorst met onderin verschillende kleine ruimtes, die deels gevuld zijn met (warm) water uit het meer. Een magmatische intrusie vanuit het Krafla systeem deed dit water in 1977 opwarmen tot zo'n 50°C. Je kan in een aantal gaten afdalen om de warmte zelf te voelen. Helaas is het water eigenlijk nog te heet om in te zwemmen. Dat doen we misschien 's avonds wel in een overdadig warm kunstmatig meertje bij de krachtcentrale Bjarnarflag (sieraden af!!), tenminste als je neus niet omdraait voor een vleugje zwavel.

7

Donderdag 12 augustus, Mývatn - Landmannalaugar

Weer om 7.00 uur opstaan, en om 8.30 uur vertrekken! Vandaag begint de lange doorsteek door het binnenland, maar niet voordat we toch nog even snel ons dagelijkse waterniveau hebben meegepakt.

Goðafoss. Deze waterval is niet hoog, maar vooral doordat hij vlakbij de rondweg ligt is het wel één van de bekendste watervallen van IJsland. De naam is te danken aan het feit dat, toen IJsland officieel het christelijke geloof aannam, een belangrijke boer al zijn afgodsbeelden uit de tempel bij deze waterval in de rivier gooide. Dat is inmiddels alweer zo'n 1000 jaar geleden gebeurd.

Sprengisandur. Vervolgens volgen we de F26 zuidwaarts naar Hrauneyjar, dwars over de Sprengisandur. Het mooie van deze weg is dat er eigenlijk niets te zien is. Behalve dan natuurlijk kale lavavelden, bergen, gletsjers en gletsjerrivieren. Hier zijn in het verleden landingsvoertuigen voor de Apollo missies naar de maan uitgetest. Dit jaar is het precies 40 jaar geleden dat de eerste mens een stap op de maan zetten. Achterin deze gids vind je een deel uit een boek dat de geologische training van de astronauten beschrijft waarbij ondermeer IJsland voor trainingen gebruikt werd.

Lunch! Zal ergens in deze woestenij plaatsvinden! Twee keer zullen we een rivierdoorsteek moeten maken. Heelhuids en hopelijk droog aangekomen bij Hrauneyjar vervolgen we onze weg over de F208 naar ...

Landmannalaugar. Landmannalaugar ('laugar' betekent 'warme bron') is een op redelijke hoogte gelegen dal (580 m) dat omgeven is door rhyolietbergen in diverse kleuren. Verscheidene geologische fenomenen zijn in de omgeving te zien, zoals hete poelen en stoomgaten en velden van vulkanisch glas (obsidiaan). De camping zal vermoedelijk behoorlijk druk zijn, want het is een toeristische trekpleister. Niet in het minst vanwege het beekje met warm water, waar je als je zou willen rustig een dag in kan zitten weken. Maar natuurlijk niet voordat de tenten zijn opgezet en er gegeten is. Hier zullen overigens de echte tent-opzetkwaliteiten moeten worden aangesproken, want de ondergrond is hard en stenig.

In de omgeving zijn bijzonder mooie wandelingen te maken en in de avond wandelen we, even de Bláhnúkur op, een berg in de buurt van de camping. We zullen hier vooral kijken naar de vulkanische processen in de omgeving en vooral naar de resultaten van subglaciale vulkaanuitbarstingen tijdens de laatste ijstijd. Tijdens de wandelroute zullen we langs een aantal plekken komen waarbij de interactie van het magma met de gletsjer goed te zien zijn. Vervolgens lopen we naar beneden en via de Greanagil naar beneden. Hier kunnen we een interessant samenspel van winderosie van vulkanische assen en de vorming van puinhellingen zien. De geologie en de erosie in dit gebied zijn zo bijzonder dat ze te vertalen zijn naar het oppervlak van de planeet Mars.

Vrijdag 13 augustus Omgeving Landmannalaugar

Om 8.00 uur wakker worden, tenzij we de vorige dag besloten hebben tot een lange trektocht. Dan moeten we eerder op. Vandaag zullen we duidelijke afspraken maken over het programma, want je bent zo verdwaald in de omgeving en dat hebben we toch liever niet. De meest waarschijnlijk indeling voor deze dag, na de lange dag rijden over de Sprengisandur, is een hele dag lekker wandelen door obsidiaanvelden en over rhyolietbergen.

Landmannalaugar. Direct naast de camping ligt het Laugahraun lavaveld. Deze lava van deze eruptie uit 1477



8



heeft een hele vallei geblokkeerd waardoor de rivier-
itjes in het gebied door het zachte rhyoliet gesteene-
te zijn gaan stromen. De uitbarsting van Lau-
gahraun ontstond toen lava uit de Veidivotn
scheur mixte met magma in de magmakamer van
de Torfajökull vulkaan. Door de rhyolitische
samenstelling en de het hoge silica gehalte is
een lava ontstaan met een hoge viscositeit. Hi-
erdoor is er bij deze lavasoort onvoldoende tijd
geweest om kristallen te vormen. Obisidaan of-
wel vulkanisch glas is het resultaat. Het is blau-
wzwart van kleur. De omliggende bergen bestaan
uit rhyoliet. Daar tussen groeit in groene dalletjes
wit wollegras, erg mooi allemaal! Bij half bewolkt
weer ziet het uitzicht er telkens anders uit door de
schaduwen! De prachtige kleuren van de bergen zijn het

resul-
taat van de chemische samenstelling van de lava. De Barmur
is voornamelijk geel, de Bláhnúkur is overwegend blauw, de Breinisteinsalda vooral rood, de
Suðurnámur alle kleuren van de regenboog en de Norðurnámur is groen. De rivier die door de
Bergen snijdt heet de Jökulgilskvísl. Dat is een gletsjerrivier die water van de kleine gletsjers
Torfajökull en Kaldaklofsjöll afvoert, en uiteraard water vanuit de bergen rond Landmannal-
augar. Vanaf de camping lopen we via Laugahraun naar enkele prachtige rhyoliet toppen.

Eldgja. Eldgja is een grote kloof, die deel uitmaakt van de Mid Atlantische spreidingsrug,
waar we morgen meer van zullen zien. De kloof is ontstaan in en reeks enorme uitbarstin-
gen en heeft prachtig kaal gesleten wanden. Achterin het dal bevindt zich een waterval, de
Ofaerufoss, die in twee trappen loopt. De tweede trap werd vroeger overspannen door een
natuurlijke stenen brug, maar deze brug is in 1993 ingestort. Met de jeep er komen is wel een
flinke onderneming met een paar lastige rivierdoorsteken.

Bij **Hrafninnusker** is een zijweg naar een ijsgrot. De ijsgrot wordt gevormd door warme
bronnen onder een tientallen meters dikke ijskap. Een aantal gangen leiden naar een cen-
trale ruimte van wel 40 meter in doorsnede en een opening in het dak. Soms storten delen
van de grot in, maar hij herstelt zich na een aantal jaren. In 2004 was de grot ingestort,
wellicht is er nu in 2009 inmiddels een nieuwe gevormd..

9 Zaterdag 14 augustus Landmannalaugar - Reykjavik

Vandaag gaan we zien wat de toeristen zien die IJs-
land in één dagje doen, en natuurlijk doen we even
waterval:

Gullfoss. De Gullfoss is een waterval die via twee
gekruiste trappen neerstort in één van de breuk-
spleten van de Mid Atlantische rug. De waterdamp
geeft de waterval extra schoonheid. De gletsjerkras-
sen bovenop het plateau, aan de rand van de kloof mo-
gen we niet missen!



Geysir. Geysir is de bekendste geiser van IJsland. Hij is echter niet erg actief en het
spektakel wordt dan ook gebracht door het iets kleinere broertje, de Strokkur. Het is de

kunst een foto te maken van de bel, net voor de geiser echt uitbarst en dat staat menig toerist dan ook een hele tijd te proberen. Die kunst is bij de intrede van de digitale camera met vertraagde sluiters nog moeilijker geworden! Gelukkig kunnen we iedere 5 a 10 minuten een eruptie van Strokkur verwachten.

Lunch! In de buurt van Geysir, bij een klein kerkje in een klein berkenbosje. Hier ligt een dame begraven die zich er sterk voor gemaakt heeft dat er geen dam bij Gultoss is gemaakt (Sigríður Tómasdóttir).

Pingvellir. Hier hebben we één van de mooiste uitzichten over de spreidingszone. De oostkant van IJsland hoort bij het Europese continent, de westkant bij Noord Amerika. Waar het midden dan precies ligt? Staatskundig wordt IJsland wel tot Europa gerekend. Op deze plaats, die letterlijk 'vlakte van de rechtspraak' heet, is in het jaar 930 de Alþing opgericht, ofwel de openbare volksvertegenwoordiging. Met het instellen van deze volksvertegenwoordiging is IJsland voor zover bekend de oudste democratie ter wereld. Er staat een kerkje en klein museum op de plek waar het allemaal gebeurd moet zijn. Een aantal jaar geleden is hier ook de Sterkste man ter wereld opgenomen. De heren in kwestie moesten o.a. grote keien versjouwen die een bepaalde rol speelden in het oude democratische proces.



Reykjavik, Laugardalur. Daarmee zijn we weer aangekomen op de camping van onze eerste overnachting. Morgen nog een klein tochtje op weg naar het vliegveld. We gaan uit eten in Reykjavik en zien Laugavegur, de 'kalverstraat' van Reykjavik, die in de winter sneeuwvrij blijft door buizen warm water onder het wegdek. We kunnen nog even langs de Hallgrímskirkja (de Pelgrimskerk), die zijn vorm duidelijk van de vele bazaltzuilen op IJsland heeft.

Zondag 15 augustus, van Reykjavik via Krisuvik naar huis

Opstaan!! We pakken alles in en ruimen de Jeeps alvast een beetje op. We gaan niet de kortste weg naar het vliegveld, maar rijden nog even langs een paar mooie plekken op het Reykjanes schiereiland. Onder andere langs Krisuvik en de laatste geothermische bronnen in de buurt van Reykjanes Light House en de klifkust en dan toch echt richting vliegveld. De vlucht vertrekt om 16.30 en door het tijdsverschil zijn we om 21.30 weer op Nederlandse bodem.

10

De Eyjafjallajökull breekt een dikke ijskaplaag met as uit, die het luchtverkeer in Europa ernstig frustreert. Op deze foto, genomen op 11 mei jl., werd de as zuidwaarts geblazen over minstens 450 kilometer. Een aantal Spaanse en Marokkaanse luchtvaartmaatschappijen annuleerde alle vluchten op die dag.

REUTERS/ARND BRONKHORST

Rustige uitbarsting op IJsland geeft grote problemen

Alwéér lazén we in de media over een vulkaanuitbarsting, ditmaal van de IJslandse Eyjafjallajökull. Het mag dan een rustige exemplaar zijn, hij legde het Europese vliegverkeer volledig lam. De laatste uitbarsting in 1821 duurde twee jaar. Hoe lang gaat deze eruptie ons nog bezighouden?

De Eyjafjallajökull is een samengestelde vulkaan van bijna 1700 meter hoog. Eyja staat voor eiland, fjalla voor berg (rug) en jökull voor ijskap. Die ijskap is goed zichtbaar vanaf de Westmann-eilanden voor de zuidkust van IJsland. De vulkaan die onder de ijskap uitbarst heeft eigenlijk nog geen naam, omdat het magma bij eerdere uitbarstingen op andere plekken onder het ijs naar boven kwam.

Gedurende krap een maand spóten lava-fonteinen uit twee spleten bij Fimmvörðuháls in het zadel tussen de westelijk gelegen Eyjafjallajökull en de oostelijke Katla-vulkaan. Op 13 april eindigde de activiteit daar en een dag later ontstond een nieuwe spleet onder de ijskap van de Eyjafjallajökull. Die wolk die daarbij ontstond was in eerste instantie wit, doordat de uitbarsting onder het ijs plaatsvond en er vooral stoom de lucht in ging. Toen het ijs voldoende was weggesmolten, kleurde de wolk op 15 april omstreeks 18.00 uur donker: nu konden as en puin hun weg naar buiten vinden. De uitbarsting was veel heftiger dan de eerdere uitbarsting bij Fimmvörðuháls omdat hij onder het ijs plaatsvond en ijs en water direct in contact kwam met lava. Dat geeft freato-magmatische uitbarstingen en gesteenten die op IJsland veel voorkomen. Enkele dagen later, op 19 april, was er al minder contact tussen gesmolten ijs en lava, waardoor de uitbarstingen minder explosief waren en de aswolk tot geringere hoogte in de atmosfeer werd geblazen.

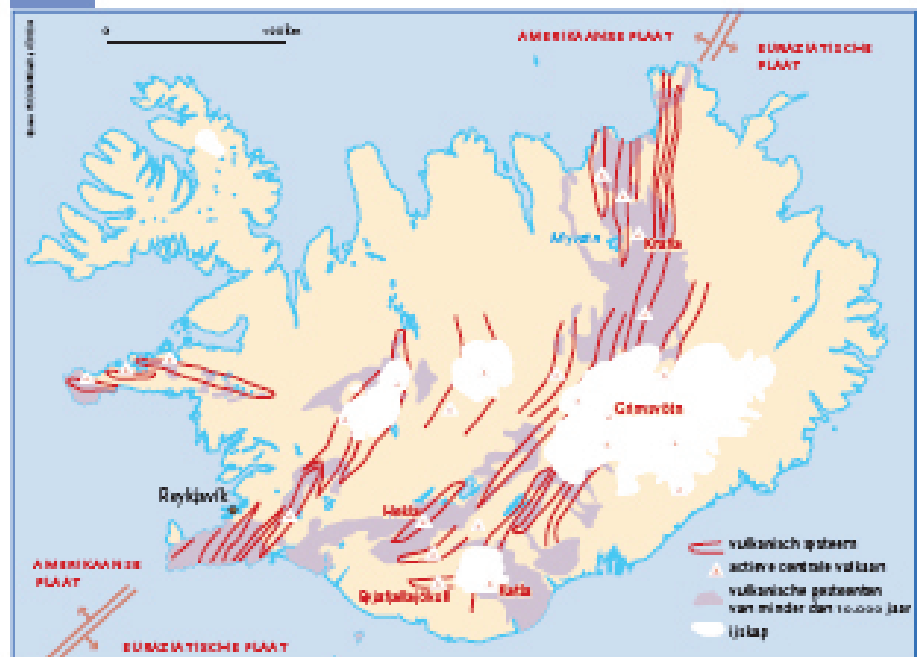
De uitbarsting onder de Eyjafjallajökull was een lichte verrassing. Er werd scherper gelet op de Katla, die in het verleden vaker actief is geweest. Van de Eyjafjallajökull zijn uitbarstingen bekend in 1821 en 1612. Na een flink aantal kleine aardbevingen door op-

stijgend magma tussen 1991 en 1999 leek de Eyjafjallajökull op scherp te staan, maar de activiteit zette destijds niet door. Nu dus wel. Elke keer dat de Eyjafjallajökull in het verleden actief was, werd de Katla ook wakker. Let wel, dat is een steekproef met $n=2$. Uiteindelijk is dat toch waar we naar kijken als aardwetenschappers: het verleden is de sleutel tot de toekomst. Natuurwetten die destijds golden, doen dat ook nu nog.

Hoe lang nog?

De laatste uitbarsting van de Eyjafjallajökull duurde van 1821 tot 1823, al ging het niet continu even erg tekeer. Het kan ook binnen

Figuur 11: Geologische kaart van IJsland



De roze kleuren geven vulkanische gesteenten van minder dan 10.000 jaar aan. Je ziet duidelijk de plaatgrens lopen van zuidwest (ten zelden van Reykjavík) naar noordoost (bij Myvatn). De Katla en Eyjafjallajökull liggen in het centraal zuidelijk deel.

een paar weken over zijn. Door opstijgend magma is de vulkaan nu wat opgetild en met GPS is nog niet waargenomen dat de lava die er momenteel uitstroomt de vulkaan weer laat inzakken: van onder wordt nog steeds magma aangevoerd. Eerdere uitbarstingen op IJsland duurden over het algemeen redelijk lang. Dat heeft te maken met de plaattektonische situatie op IJsland.

IJsland ligt op de rand van twee platen: de Amerikaanse en de Euraziatische plaat, die in IJsland uit elkaar bewegen. Er zijn plekken waar je van het ene naar het andere continent kunt springen. De platen bewegen met een snelheid van een paar centimeter per jaar, iets minder snel dan je vingernagels groeien. Dat gebeurt niet elke dag met een fractie van een millimeter, maar ineens een paar meter over enkele kilometers bij een spleeteruptie.

IJsland beweegt uit elkaar omdat de aarde sinds haar ontstaan aan het afkoelen is. Ze raakt haar warmte kwijt door convectie, het rondstromen van materiaal door warmteverschillen. Warm materiaal komt in IJsland aan het oppervlak en koelt daar af. Daardoor neemt de dichtheid toe en wil het materiaal naar beneden zakken. Dat kan niet, want er komt weer nieuwe hete magma omhoog.

Dus schuift het zijwaarts weg en zakt daarbij wat omlaag. Dit proces trekt het midden weer wat open, waardoor nieuwe spleten kunnen ontstaan. Dat betekent dus dat het midden van IJsland uit de jongstevulkanische gesteenten bestaat en het eiland naar de randen toe ouder wordt (figuur 1 op pagina 41).

Zolang het magma opborrelt, blijven spleten lang open. Daar komt bij dat het magma dat hier opwelt dun vloeibaar is, van een heel andere chemische samenstelling dan bijvoorbeeld bij subductiezones. Daar worden de onderduikende korst en het continent opgesmolten, bij IJsland komt uit de diepte van de aarde magma omhoog dat rijk is aan ijzer en magnesium en arm aan silica en gassen. Silica, dat veel in de continentale korst voorkomt, heeft de eigenschap dat het snel ketens maakt in magma, waardoor het magma snel taaiert wordt. Gassen die onder hoge druk in magma zijn opgesloten maken uitbarstingen explosief, zoals de bellen in een pan met kokende pap. Dat alles komt niet veel voor op IJsland, dus de meeste uitbarstingen zijn hier relatief rustig. De dun vloeibare lava spuit in fontein omhoog uit spleten en stroomt over het land uit. Als dat voor langere tijd vanuit één punt gebeurt,



vormt zich daar een schildvulkaan, een perfect ronde berg met een hellingshoek van 2 tot 5 graden waarover de basaltische lava keer op keer naar beneden stroomt.

Hotspot

Een mid-oceanische rug steekt normaal gesproken niet boven zee water uit, maar bevindt zich op zo'n 2500 meter onder zeeniveau. Toch kun je op IJsland heen en weer springen tussen Noord-Amerika en Eurazië. Dat komt omdat IJsland precies boven een *hotspot* ligt, een plek waar vanuit grote diepte als een soort snijbrander vanuit één punt warm materiaal opstijgt tot aan het aardoppervlak. Dit omhoog bewegende en warme materiaal tilt IJsland boven zeeniveau uit.

Het warmt een deel van IJsland van de onderkant extra op. Daarbij smelt de IJslandse korst, met water dat erin terechtgekomen is. Het magma dat hierbij ontstaat heeft een andere chemische samenstelling en is veel explosiever. Andesitisch magma heet dat, naar magma dat in de Andes grotere klappen geeft. Juist in het gebied rond de Katla treden uitbarstingen op gevoed door dit soort magma. Het Eyjafjallajökull- en Katla-vulkaanstelsel is een gemengde zone met basalt maar ook heftigere rhyoliet-uitbarstingen. Het zijn dan ook geen prototype schildvulkanen, maar samengestelde stratovulkanen. De as die uit de wolk van de actieve vulkaan neerdaalt in IJsland is in de loop van 17 april van



Winnaars van de Aarde.Na expeditie springen van het ene continent naar het andere. Links Amerika, rechts Eurazië. Locatie: Keills in het noorden van IJsland, waar in 1984 de laatste grote spleeteruptie plaatsvond.



Terwijl het Europese luchtverkeer werd langzamer door onzichtbare wolven op grote hoogte, reukte het toch al schaarse landbouwmaai van IJsland bedekt onder een deken van vulkanische as, hier in het stadje Thorvaldsen.

onder de Eyjafallajökull is dat de ijskap smelt. Dat levert stortvloed aan water op, soms met grote ijsblokken. Er is zelfs een IJslands woord voor *jökulhaup*. De ringweg 1 is in het verleden op grote stukken regelmatig weggeslagen. Daarom zijn de IJslanders overgegaan op een systeem van betonnen pilaren, waartussen houten wegdelen liggen. Bij jökulhaups worden de houten delen weggehaald of in het ergste geval weggeslagen zonder dat de pilaren zwaar beschadigen. Dan is de weg snel weer gerepareerd. *

Bron:

- Trausti Guðmundsson, A. 2007. *Living Earth. Outline of the Geology of Iceland*. Edda Publishing, Reykjavik.

Meer weten:

- Nordic Volcanological Center, met alle wetenschap achter de uitbarsting. Zie www.volcanocentre.is/page/na_Eyjafallaajokul_eruption
- De IJslandspecialist heeft een mooie pagina met alle hands media en links. Zie www.ijslandspecialist.nl/p_algemeen/alg_uitbarsting.asp

vrij donker naar grijs gegaan. Dat zou kunnen duiden op een verandering van het magma dat omhoogkomt: het wordt meer explosief.

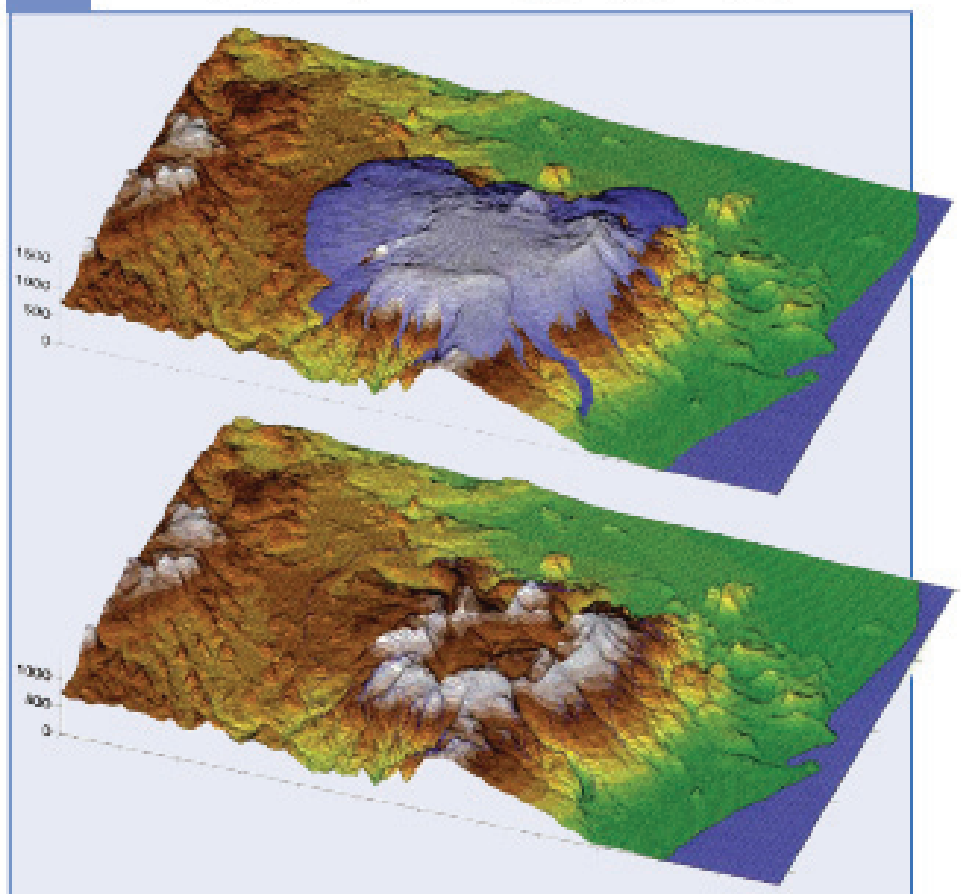
De Katla die onder de ijskap Myrdalsjökull verstopt zit is 12.000 jaar geleden met een grote klap tot uitbarsting gekomen. Dat is goed te zien in figuur 2, waar de ijsbedekking is weggehaald: er zit een grote ringvormige krater onder verstopt! De latere uitbarstingen in het Katla-systeem (1918 en 1955) zijn gelukkig weer spleeterupties geweest met minder heftige gevolgen. Voorlopig wijst niets erop dat de Katla ontwaakt, maar de vulkaan wordt natuurlijk scherp in de gaten gehouden.

Overlast op IJsland

De IJslanders zelf hebben relatief weinig last van deze uitbarsting. Dat komt door de windrichting. De as die overvloedig valt, komt nu op een van de smalste stroken vruchtbaar kustgebied in het zuiden van IJsland terecht. Mocht de wind op het eiland naar het oosten draaien, dan wordt direct de 'hooischuur' van IJsland bedreigd. Het mid-zuiden van IJsland is een van weinige plekken met flinke lappen grasland waar veel schapen grazen. Omdat de wind naar Noordwest-Europa waait, is Keflavik, de nationale luchthaven van IJsland die in het uiterste zuidwesten van IJsland ligt, gewoon open. Vluchten naar Noord-Amerika en binnenlandse vluchten gaan door!

Een bijkomstigheid van de uitbarsting

Figuur 2: De vulkaan Katla, met (boven) en zonder (onder) ijsbedekking





Gesteenten bevatten informatie over de wijze waarop ze zijn ontstaan, en van de ontwikkeling die ze daarna hebben doorgemaakt. Gesteenten kunnen daarom iets vertellen over de geschiedenis van de Aardkorst, het klimaat en over de ontwikkeling van het leven. Het landschap op IJsland heeft dankzij haar jonge ouderdom een grote rijkdom aan verschillende soorten vulkanische en glaciële landschappen met actieve en prachtige processen.

Introductie geologie & vulkanisme

Een mespuntje geologie

Hieronder vindt je een bloemlezing van geschriften die over geologie in zijn algemeenheid of de geologie van IJsland in het bijzonder handelen. Waarom laten we dit zien? Er is nog nooit iemand geweest die voet op IJsland heeft gezet, zonder zich af te vragen hoe dat land zich in 's hemelsnaam heeft kunnen ontwikkelen.

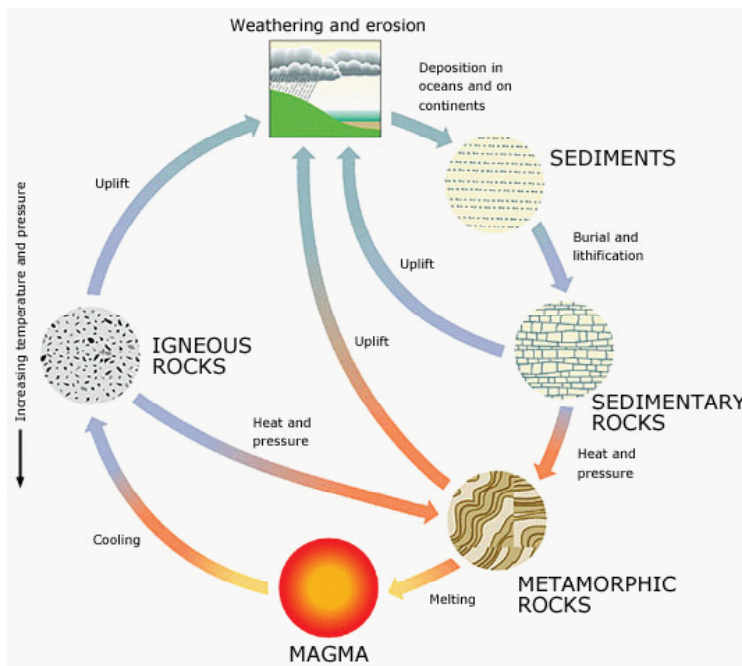
In de zesde eeuw voor Christus kwam Pythagoras al tot de conclusie dat de aarde niet plat kon zijn, maar bolvormig. Rond 200 voor Christus maakte Eratosthenes in Egypte een verrassend goede schatting van de omtrek van de aarde. Later werd deze kennis verdrongen door andere opvattingen (door de kerk opgelegd) en raakte in de vergetelheid, totdat aan het einde van de middeleeuwen, mede door ontdekkingsreizen weer naar voren kwam en min of meer algemeen aanvaard werd. Als gevolg van een interactie van allerlei mechanismes die zich in en op de Aarde voltrekken, zien wij deze derde planeet vanaf de Zon zoals ze er nu bij zweeft: een veelvoud van verschillende landschappen, zoals oceanen (ja, ook een landschap), gebergtes, laagvlaktes en alles wat zich daartussen bevindt, gehuld in een sluier die we de atmosfeer noemen. Om een idee te krijgen van het complexe systeem Aarde is het belangrijk een aantal details op een rijtje te zetten. Daarmee kunnen jullie zelf uitmaken hoe IJsland in het plaatje past. Het historisch besef van de geologie is in de achttiende eeuw door de

Schot James Hutton als volgt onder woorden gebracht: 'het heden is de sleutel tot het verleden'. Hij beseftte dat ook de sedimentaire lagen die nu verticaal staan, eens horizontaal moeten zijn afgezet: processen die we vandaag de dag waarnemen op dezelfde manier in het geologisch verleden moeten hebben gewerkt ('uniformitarianisme').

De Aarde is opgebouwd uit een kern, mantel en korst. De eerste bron van informatie over deze planeet wordt gevormd door alles wat zich op of bovenin de aardkorst bevindt. Daarbij is er sprake van drie elementaire gesteentegroepen: magmatische, sedimentaire en metamorfe gesteenten.

Vulkanisme

Magma kan verschillende chemische samenstellingen hebben en op enige diepte of aan de oppervlakte stollen. Vulkanisme is de oppervlakte expressie van gesmolten mantelmateriaal (magma) dat, gedreven door hitte en compositie, via de mantel en korst naar het aardoppervlak stijgt om als lavastromen uit te vloeien en te verharden in vulkanisch gesteente en structuren. Vulkaanuitbarstingen in de vorm van lavastromen, hete stofstromen (pyroclastische stromen) en aswolken/gloedwolken zijn de bekende voorbeelden hiervan. IJsland bestaat voornamelijk uit magmatische gesteenten!



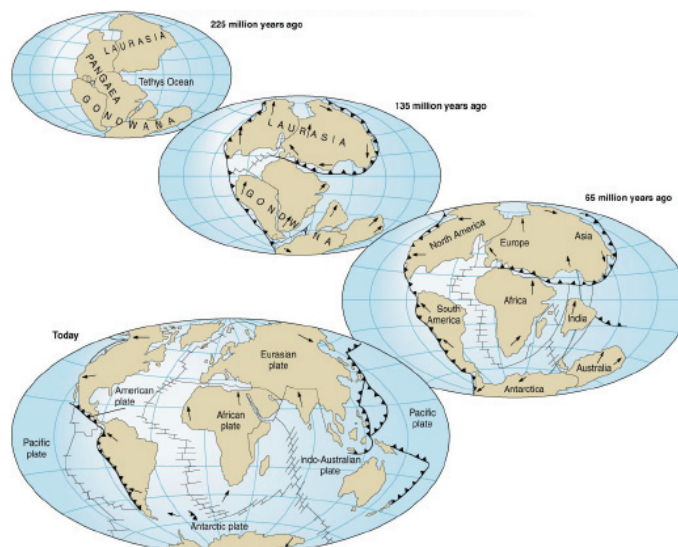
Figuur 1: Cyclus van de gesteentevormende systemen binnen de Aarde, zoals 200 jaar geleden voorgesteld door James Hutton. Onder invloed van verwerking door wind, ijs, water en temperatuur vormen gesteenten sedimenten, die getransporteerd, afgezet en begraven worden, en uiteindelijk weer verstenen. Na begraving van dit gesteente in de diepe ondergrond kan het gesteente metamorfose ondergaan of zelfs smelten. Door tektoniek komen ze dan uiteindelijk weer aan het oppervlak, waar ze de bron vormen voor nieuwe sedimenten.

Sedimentatie

Sedimentaire gesteente worden gevormd (dicht) aan het aardoppervlak. Door wind, water, ijs, temperatuur en zwaartekracht worden afbraakproducten vervoerd en afgezet. Ook kunnen organismen gesteente vormen (denk aan riffen). Hierbij wordt uitgegaan van het principe van 'horizontale depositie en superpositie', ofwel dat alle sedimenten in eerste instantie (sub) horizontaal worden afgezet en nieuwe sedimenten bovenop de oudere afzettingen komen te liggen (dit besef dateert al uit de 17^e eeuw, Nicolaus Steno beschreef het toen al). Doordat het zachte materiaal steeds dieper komt te lukken, verandert het in hard gesteente (lithificatie). Op IJsland komt maar op een beperkt aantal plekken sedimentair gesteente voor.

Metamorfose

De originele mineralogische samenstelling van een gesteente wordt omgezet als gevolg van veranderende druk en/of temperatuur. Onder die veranderde omstandigheden kunnen mineralen in het gesteente niet meer stabiel blijven en zetten ze om in andere mineralen. Zo ontstaat marmer uit kalksteen, bijvoorbeeld. Dit proces is sterk gerelateerd aan plekken waar de aarde sterk in beweging is, zoals botsingszones, dalende gebieden (bekkens, noemen geologen die) of bij gebieden waar de temperatuur met diepte sneller toeneemt dan gemiddeld (een gebied met een hoge geothermische gradiënt). Op IJsland zijn mooie vormen van hoge temperatuur, lage druk contact-metamorfose te zien: doordat warm lava over sedimenten stroomde, zijn de sedimenten



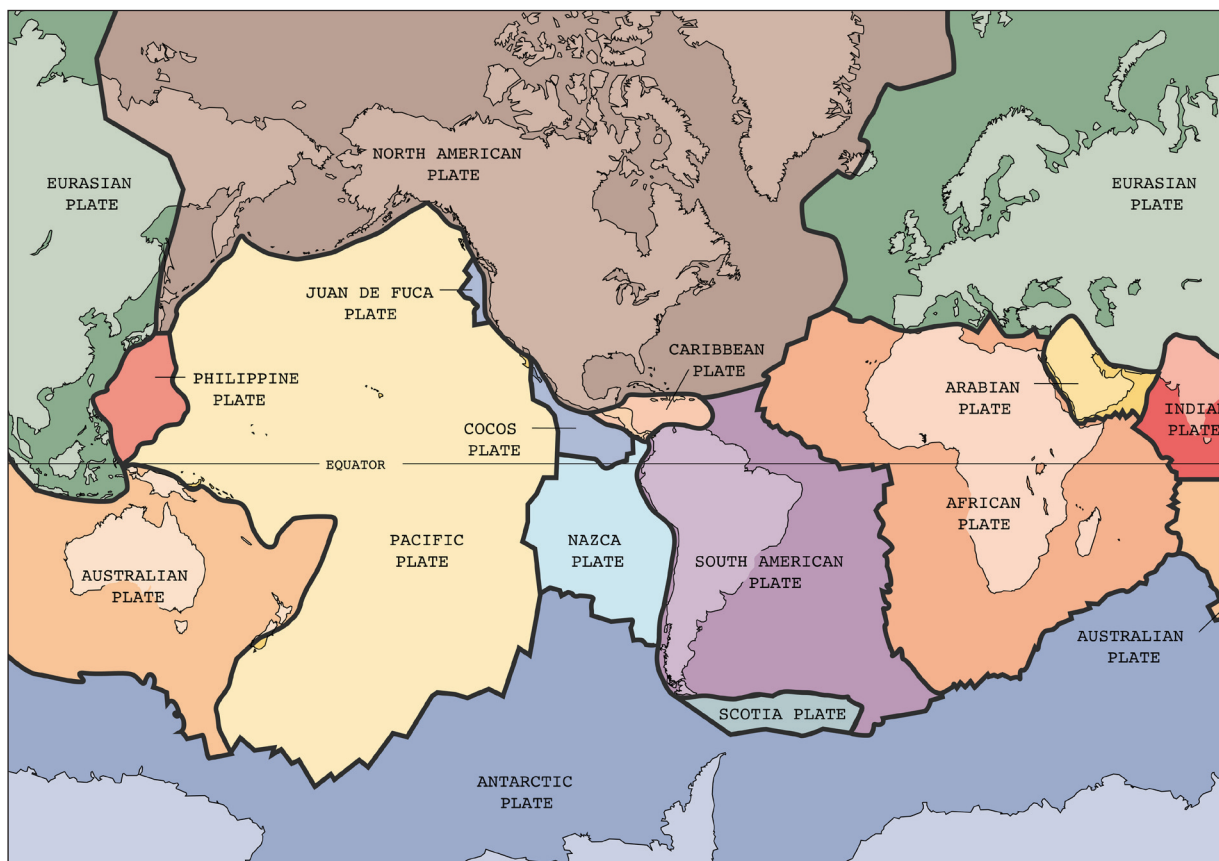
Figuur 2: Verschillende statida in de evolutie van de aarde waarbij over meerdere miljoenen jaren de grote landmassa's dankzij plaattektoniek op hun huidige positie beland zijn. Dit proces gaat continue door en Amerika en Europa drijven steeds verder van elkaar vandaan terwijl India zich steeds dieper in Azië boort.

‘gebakken’. Met de kennis van het soort gesteente kan je nu zelf de geologische processen in het landschap gaan achterhalen. De drie gesteentevormende systemen die we zojuist besproken hebben zijn tegelijk de basis van de geologie. In 1660 publiceerde Francis Bacon een rapport waarin hij opmerkte dat Zuid Amerika en Afrika twee passende puzzelstukjes leken te vormen. Alhoewel het een aantal eeuwen duurde voordat deze opvattingen serieus werden genomen, vormden Bacons’ observaties de basis voor het principe van de plaattektoniek.

De Duitse astronoom en meteoroloog Alfred Wegener zette in 1912 in een paar artikelen en in een voordracht zijn theorie van continentverschuivingen uiteen. Hij wist niet alleen aan te tonen dat sommige continenten opmerkelijk goed aan elkaar leken te passen, maar toonde ook met behulp van paleoklimatologie aan dat gebieden die nu zelfs ter hoogte van de evenaar liggen ooit bij de polen moeten hebben gelegen (fig.2). Zijn theorie ondervond aanvankelijk veel weerstand omdat de krachten die nodig leken te zijn om de continenten te laten schuiven niet geaccepteerd werden. Pas in de jaren vijftig van de vorige eeuw

werd, toen meer bekend was van radio-actieve isotopen, de theorie opnieuw van stal gehaald en werd steeds meer bewijs aangevoerd.

Ooit stelde men zich het inwendige van de aarde als een gesmolten massa voor, op grond van de vulkanische verschijnselen. Tegenwoordig weten we dat de aarde voor het allergrootste deel vast is. Er is aangetoond dat op een diepte van ongeveer honderd kilometer een laag zit die gedeeltelijk gesmolten is: de asthenosfeer. Dat is het glijvlak waarop de lithosfeerplaten (korst en bovenste deel mantel) kunnen bewegen. Het aardoppervlak bestaat uit een mozaïek van stukken aardkorst (‘platen’) die met een snelheid waarmee je vingernagels groeien (5-10 cm per jaar) ten opzichte van elkaar kunnen bewegen. Op de grenzen tussen de platen wordt nieuw materiaal gevormd of worden juist bestaande stukken afgebroken, waardoor de korst van de Aarde voortdurend in beweging is. Gebergtes zoals de Himalaya en de Alpen geven duidelijk weer wat er kan gebeuren in gebieden waar twee verschillende platen met elkaar in botsing komen. Bij botsingen en vervolgens overschuiving van platen alleen zou de Aarde steeds kleiner moeten worden.



Figuur 3: Verschillende tektonische platen van de aarde.

Lange tijd was er daarom veel onduidelijkheid over het of en hoe er mogelijk nieuwe korst zou kunnen ontstaan om deze verdwijning van korstmateriaal te compenseren. In de jaren zestig stelde de Amerikaan Harry Hess een theorie op over de opening, spreiding en produktie van de oceanische korst. Hij stelde dat langs mid oceanische spreidingsruggen (MOR's) nieuwe oceanische korst wordt gevormd door het aan het oppervlak komen van gesmolten mantelmateriaal, terwijl de beide zijden van de oceanische korst zich van deze 'produktie'zone verwijderen. In figuur 3 zijn de verschillende platen op aarde te zien. Hiermee zijn de ideeën van Hess ook goed te illustreren. Een voorbeeld van zo'n MOR is de Mid Atlantische Rug (MAR), waarop IJsland zich bevindt. De ouderdommen van het gesteente waaruit de bodem van de atlantische oceaan bestaat wordt jonger naar mate je dichterbij de spreidingszone komt (fig.4). Een bijzondere eigenschap van de MAR is dat deze eigenlijk op 2500m diepte te liggen en niet aan het oppervlak te komen. Dat kun je uitrekenen met een sommetje van de dichtheden van water, oceaankorst en continentkorst. Geologische processen zoals hiervoor genoemd spelen zich af op een tijdschaal waar wij ons als mens weinig bij voor kunnen stellen. Toch is het de wetenschap inmiddels goed gelukt om methoden te ontwikkelen waarmee een preciese tijdschaal tot stand is gebracht.

Vulkanisme

Vulkanische processen vormen een uitlaatklep van het afkoelen van de Aarde, waardoor een deel van de hitte uit de mantel en kern kan worden afgevoerd. Waar zijn vulkanische afzettingen op aarde te verwachten? Hiervoor zijn verschillende locaties mogelijk. Een eerste vereiste is dat zich in de mantel (lithosferische deel) een smelt kan ontwikkelen, die een afwijkende samenstelling van het omringende mantelmateriaal krijgt. Dit kan alleen gebeuren wanneer er een verandering in druk of temperatuur in de mantel optreedt, eventueel samen met een verandering van de chemische basiscompositie. De smelt die zich vervolgens ontwikkelt, is weer afwijkend van het omliggende materiaal, doordat niet alle mineralen bij dezelfde druk of temperatuur vloeibaar worden (partiële smelt), en moet zich daarom verplaatsen naar een nieuwe evenwichtspositie. Dit kan dus zowel ergens in de korst zijn (intrusieve afzettingen) als aan het opperv-

lak (vulkanische of extrusieve afzettingen). Er zijn twee meest voor de hand liggende locaties waar je deze vulkanische afzetting aan het oppervlak terugvindt (fig.5):

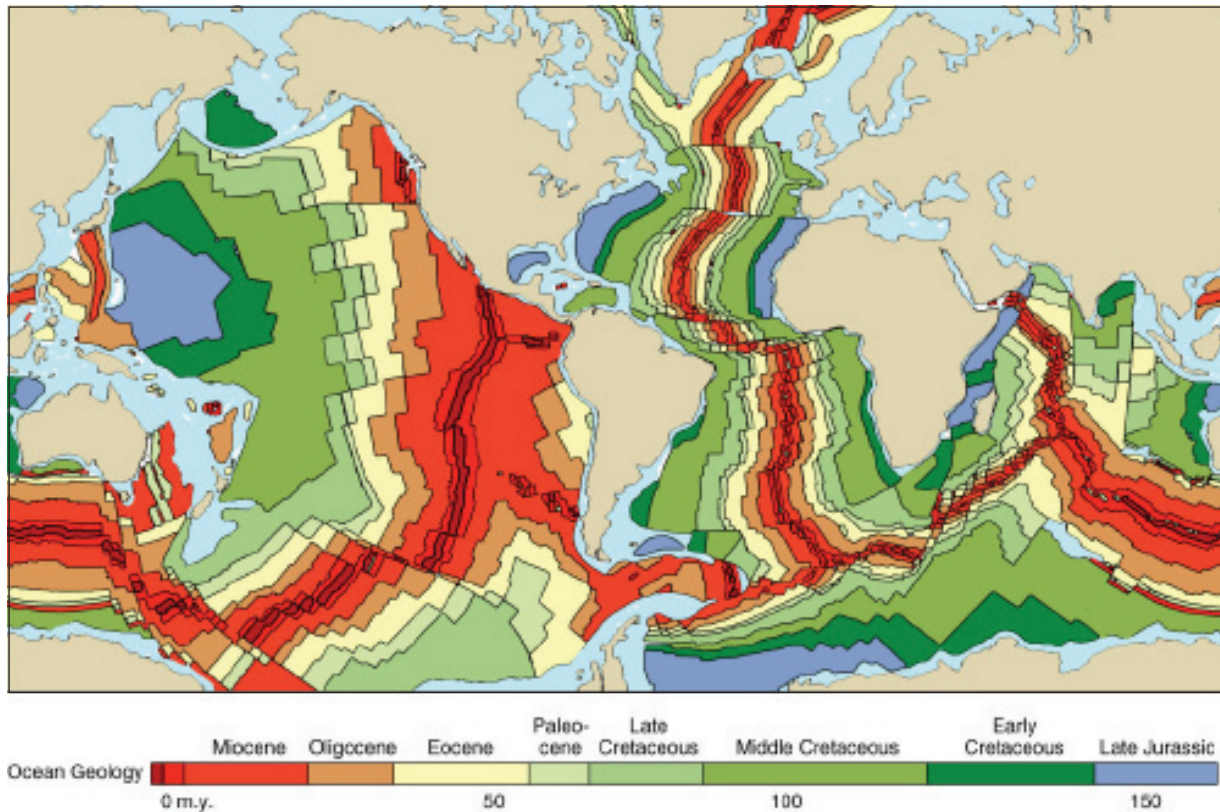
Convergente plaatgrenzen

Gerelateerd aan 'subductie' (het onderschuiven), en verdwijnen van één van de botsende platen in de mantel. Voorbeelden hiervan zijn de vulkanische eilandbogen boven verdwijnende oceanische platen van de Filipijnen en Indonesië, of de Italiaanse vulkanen, die boven een stuk gesubduceerde Afrikaanse plaat liggen.

Divergente plaatgrenzen

Ofwel spreidende platen. Hierbij komt het warme mantelmateriaal zo dicht aan het oppervlak te liggen, dat de warmte hiervan de bovenliggende korst zonder moeite doet smelten. Een voorbeeld hiervan is ... IJsland! Het begin van een divergente zone is een rift-vallei (Afrika!), waarbij de continentkorst wordt opgerekt. Als dat lang genoeg doorgaat, zal de continentkorst opbreken. Het gat dat ontstaat wordt onmiddellijk gevuld door stollend lava en vormt zo oceanische korst. Omdat oceanisch korst zwaarder is dan continentale korst (~3000 vs. ~2700 kg per kubieke meter) komt het oppervlak van de oceaankorst lager te liggen. Zo laag, dat het wel vol moet lopen met zeewater: een oceaan vormt zich! Hoe verder de oceaankorst afkoelt, hoe zwaarder die wordt. Eigenlijk wil het dus niets liever dan weer naar beneden zakken, maar dat kan niet, want van onder stijgt weer nieuw, warm materiaal op. Zijwaarts kan het wel wegschuiven, daarmee weer zorgend voor rek langs de mid-oceanische rug! Volledig afgekoelde oceanische korst hoort rond 5-5.5 kilometer onder zeeniveau te liggen: naarmate je verder van de rug bent, wordt de oceaan steeds dieper. Vulkanisme langs divergente oceanische platen heeft dus direct te maken met de produktie van oceanische korst langs de as van een Mid Oceanische Rug. Het drijvende mechanisme achter dit proces is nog steeds niet 100% duidelijk, maar omhoog komend magma, zee-watercirculatie en tektonische activiteit spelen hierbij een belangrijke rol.

De complete opeenvolging van gesteentes die zich langs de as zo'n MOR ontwikkelt, wordt een 'ofioliet suite' genoemd. Als je het ontstaan van zo'n zone onthoudt, is het mogelijk te bedenken



Figuur 4: Oceaan kaart van de aarde. Warmte kleuren zijn jonge formaties en koude kleuren zijn oude formaties. Aan de verschillende ouderdommen is te zien dat het jongste materiaal in de Atlantische oceaan gevormd wordt in de Mid atlantische Rug. De spreidingssnelheid is niet overal constaat waardoor je goed op de kaart kan zien dat het zuidelijk deel van Zuid-Amerika (Patagonië) bijvoorbeeld sneller van Afrika weg beweegt dan het noordelijk deel (kop van Brazilië, Suriname, Frans-Guyana)

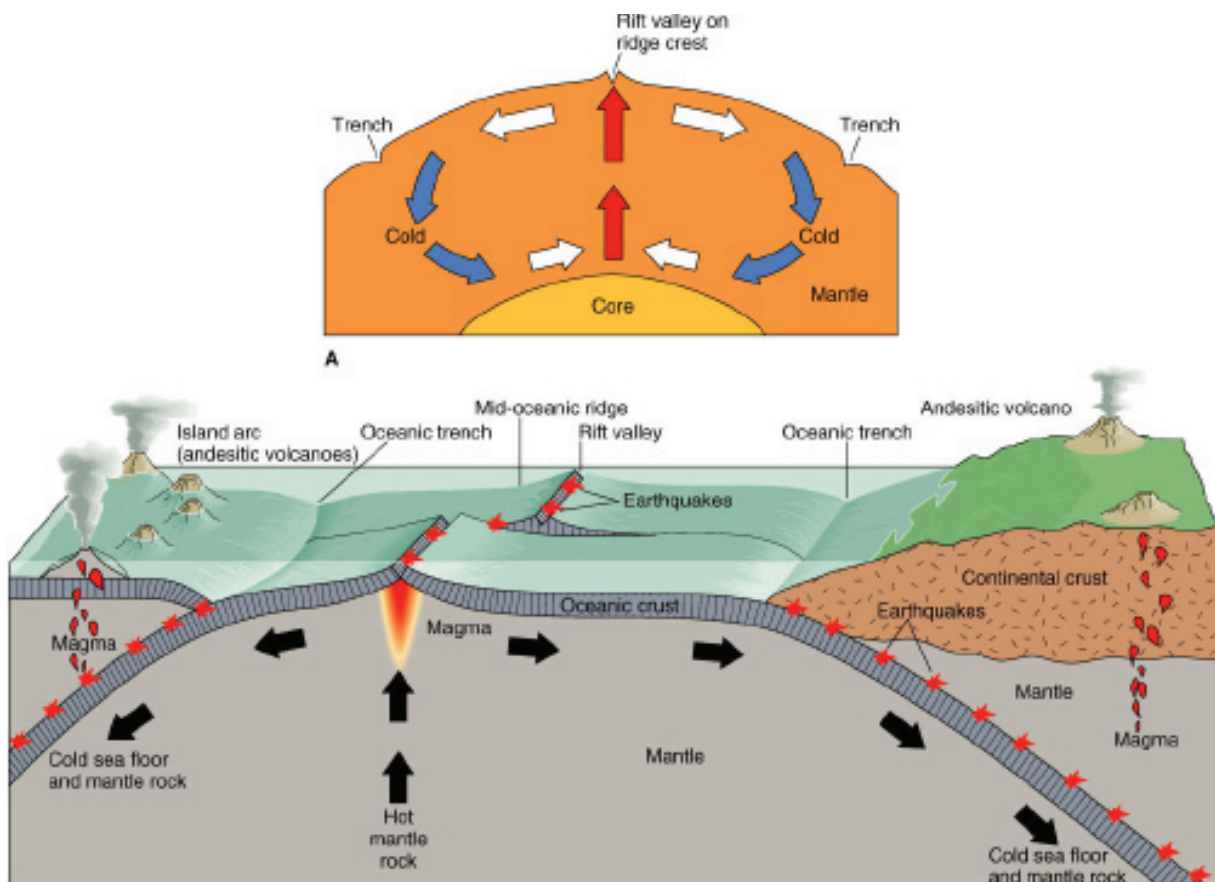
wat er allemaal te vinden moet zijn. De basis wordt gevormd door peridotieten en andere ultramafische gesteenten die vaak onderhevig zijn (geweest) aan metamorfose. Deze gesteenten representeren het bovenste deel van de mantel, net onder de Moho (een scheidingsslaag die de grens tussen mantel en korst aangeeft). Daarboven vinden we een pakket van gabbro, waarin ook aanwijzing voor metamorfose te vinden zijn. Het magmatische topdeel van de suite bestaat uit basaltpilaren met daarboven een pakket kussenlava. De suite wordt afgedekt door een dunne laag oceanische sedimenten. Als twee oceanische platen van elkaar af bewegen, ontstaan er scheuren waarlangs heet gesteentemateriaal naar boven komt en begint te smelten. Tegen de tijd dat dit materiaal op geringe diepte komt bestaat het uit een brei van ongeveer 85% kristallen en 15% basaltische smelt. Deze brei vult een kleine, ondiepe en lensvormige magmakamer van waaruit erupties als verticale dijken ontstaan. Keer op keer wringt een nieuwe dijk zich door een oude, afgekoelde, verticale dijk, waardoor een soort kaartenpak op z'n kant structuur

ontstaat. Basalt dat de oceaانبodem bereikt komt in contact met het oceaanwater waardoor het razendsnel afkoelt in de vorm van kussenlava (fig.7), die de basaltische dijken afdekken. Hier overheen komt een dunne laag oceanische sedimenten te liggen. Ondertussen koelt de basaltische 'brei' in de magmakamer verder af en stolt het aan de buitenste rand van de kamer als een grof kristallijn, basaltische gesteente (gabbro). Door verbindingen met diepere delen van de korst en mantel kan een mengsel van vloeibaar gesteente en gassen ontsnappen (smelt). Het vloeibare gesteente, of magma, hoopt zich op in een magmakamer, waarin de smelt lichter is dan het omringende materiaal en dus wil opstijgen door de bovenliggende lagen. Afhankelijk van de initiële samenstelling van de smelt en dus van het moedergesteente, en afhankelijk van de heersende temperaturen en drukken, hopen zich ook gassen op in de smelt. Tijdens de reis naar boven kan de stijgende magma in een evenwichtspositie terechtkomen, waardoor de druk om verder te stijgen verdwijnt (indien er geen nieuwe lading magma omhoog komt die de druk

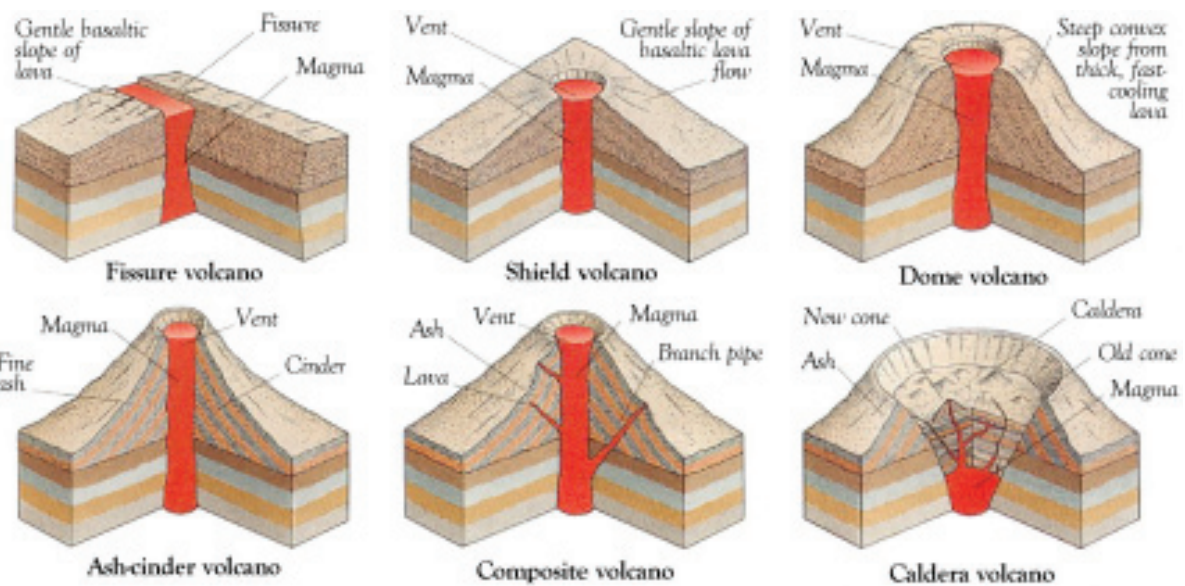
weer opvoert). Als de stijging stagneert zal de magma zich verder in horizontale en verticale richting tussen het bestaande materiaal verspreiden (intrusieve afzettingen; Fig. 9). Wanneer het magma zich wél een weg baant naar het aardoppervlak zullen lavastromen vormen. Dit gaat vaak gepaard met explosieve erupties gevoed door de grote hoeveelheid gassen die zich onder hoge druk in de smelt bevinden, alsook met aswolken die de lucht in worden gespoten. De resulterende uitvloeiingsgesteenten ('extrusiva') komen aan het oppervlak via vulkaanpijpen en diepe spleten in de korst en worden afgezet als vulkaankraters, uitlopende lavastromen en asregens (fig.6 en p.24-25)

Hoe gevaarlijk uitbarstingen zijn, is volledig afhankelijk van de vloeibaarheid (viscositeit) van het magma. Dit wordt bepaald door de chemie, vooral hoeveelheid silica (SiO_2), en de temperatuur van de smelt. Vergelijk maar eens de stroperigheid van een chocoladereep bij kamertemperatuur en tijdens een hittegolf. SiO_2 vormt lange

ketens op hoge temperaturen in de smelt. Veel SiO_2 zorgt zodoende voor taaier magma, dat meer druk kan opbouwen voor een explosie volgt. Hoe komt het dat er een verschil in de samenstelling van een smelt kan voorkomen? Dat hangt af van onder andere de diepte waarop, en het oorspronkelijke gesteente ('moedergesteente') waaruit, de smelt is ontstaan. Zo is continentale korst rijk aan SiO_2 (en daarom licht!) en levert gesmolten continent dus de gevaarlijkste, meest explosieve vulkaanuitbarstingen met zeer visceuze magma (zeer 'stroperig'), waarbij de gassen niet gemakkelijk uit de smelt kunnen ontsnappen. Dit gevaar bestaat bij zeer vloeibare (lage viscositeit) magma's niet. Bij magma dat van diep uit de mantel, of zelf buitenkern komt, is het SiO_2 -gehalte veel lager en is het magma rijk aan ijzer en magnesium en daardoor zwaarder en minder stroperig. Dus zijn bij basaltische erupties (minder dan 55% SiO_2 , tot 1200°C) minder gevaarlijke, explosieve uitbarstingen te verwachten zijn, dan bijvoorbeeld bij rhyolitische erupties (tot 70% SiO_2 , temperatuur tussen $600\text{--}800^\circ\text{C}$).



Figuur 5: Links: Convergente, actieve plaatgrens (continentaal en oceanisch) waarbij onderschuivingen (subductie) van de zwaardere oceanische plaat tot vulkanisme leiden. Midden: Divergente, of spreidende, oceanische plaatgrens, waar productie van nieuwe oceanische korst kan plaatsvinden. Rechts: Actieve convergente plaatgrens tussen twee continentale platen, met als gevolg gebergtevorming.



Figuur 6: Variatie moet er zijn, zo ook met de stijlen van eruptie en de resulterende vulkanische afzettingen. Op de afbeelding zijn verschillende soorten vulkanen te zien zoals spleet erupties en de traditionele vulkaankraters. Afhankelijk van de samenstelling van het magma ontstaan velden van vulkanisch glas, pahoehoe of touwlava.

Hoe hoger het gewichtspercentage SiO_2 , des te stroperiger de lava zal zijn. Felsische vulkanen zijn, doordat de magma stroperiger is, explosiever dan mafische vulkanen.

De Lakagígur eruptie van 1783 is een typisch voorbeeld van een mafische (basaltische) lavastroom die tientallen kilometers heeft kunnen afleggen. De Hlíðarfjal is een voorbeeld van een felsische (rhyolitische) vulkaan. De chemische samenstelling van de Hekla vulkaan wijkt af van de andere vulkanen op IJsland. Deze fameuze vulkaan produceert steevast andesiet.

De rhyolieten bevatten vaak fenokristen, en wel meestal veldspaten. Doordat bij het vloeien van de rhyoliet deze fenokristen al aanwezig zijn ontstaat vaak een soort fijne gelaagheid. Door die gelaagtheid, en door het verschil in uitzett-

ingscoëfficiënt van de verschillende mineralen in het gesteente, is rhyoliet¹ vrij gevoelig voor vorstverwerking. Het valt dan uiteen in platen.

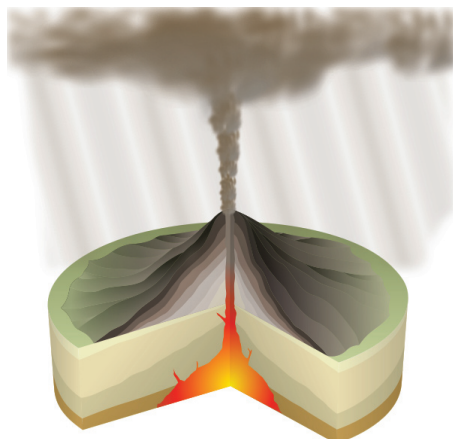
¹ De cement industrie gebruikt wat rhyoliet, met name voor de in het gesteente aanwezige silicaten. Rhyoliet als geheel is niet te gebruiken voor de productie van cement (en beton) vanwege de hoge concentraties Na en K.



Figuur 7: Verschillende soorten vulkanisch gesteenten: links een pakket kussenlava, ontstaan op de bodem van de oceaan, midden een stijlwand van pure, donkere vulkanische as, rechts een 'bom', ofwel een magmatische prop materiaal die door de hoge druk van explosieve gassen uit de krater is geslingerd.

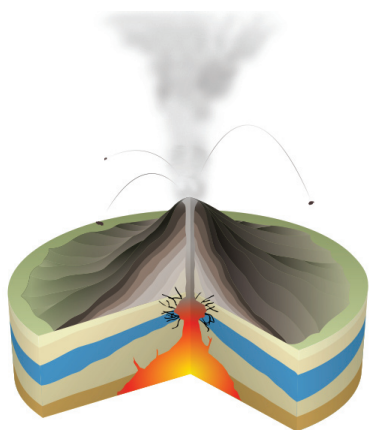
Soorten vulkaanuitbarstingen op een rijtje

Er bestaan een aantal belangrijke verschillen tussen vulkaanuitbarstingen. Hieronder de 8 belangrijkste:



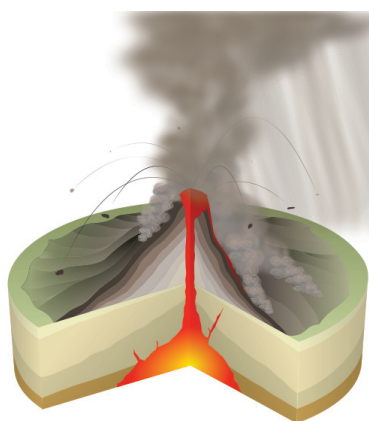
PLINISCHE UITBARSTING

één van de gevaarlijkste, zeer explosieve eruptievormen, waarbij een constante stroom van magmabrokken en magmatisch gas met hoge snelheden uit de kraterpijp(en) ontsnappen. Kenmerkend is de grote hoeveelheid pyroclastica en de hoge eruptie kolom, waarbij grote stratovulkanen gevormd worden. Waarschijnlijk is een dergelijke uitbarsting van de Vesuvius de oorzaak geweest van de begraving van Pompeï en Herculaneum. Andere voorbeelden zijn de uitbarstingen van de Krakatau (Indonesië) in 1883 en de Pinatubo (Filipijnen).



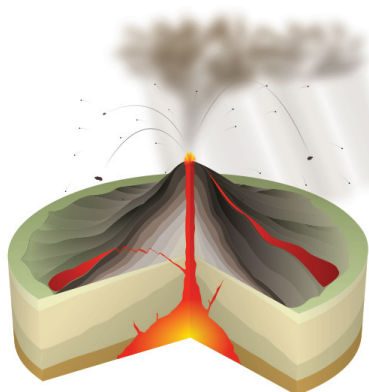
PHREATISCHE UITBARSTING

Een Phreatische uitbarsting ontstaat wanneer stijgend magma in contact komt met grondwater of oppervlaktewater. De extreem hete temperatuur van het magma (tussen 600-1170°C) zorgt voor een directe overgang naar stoom waardoor een explosie van stoom, water, as, gesteente en vulkanische bommen ontstaat. Bij de uitbarsting van de St. Helens vulkaan in 1980 gingen honderden van deze uitbarstingen vooral aan de uiteindelijke uitbarsting.



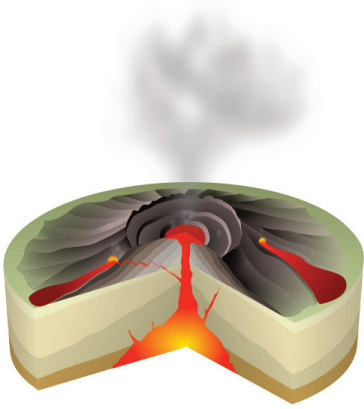
PELEÏSCHE UITBARSTING

komt voor wanneer een diepe, grote prop van afgekoeld magma met kracht uit een centrale pijp wordt geduwd. Dit kan gepaard gaan met massieve as erupties en explosies door de abrupte expansie van gassen. Pyroclastische stromen (Nuee Ardente, wat Frans is voor gloeiende wolk) zijn vrij gewoon bij deze erupties. Ook deze eruptie variant resulteert in grote stratovulkanen. Voorbeelden zijn de Mt. Pelee op Martinique (1850) en de Mt. St. Helens (USA, 1980).



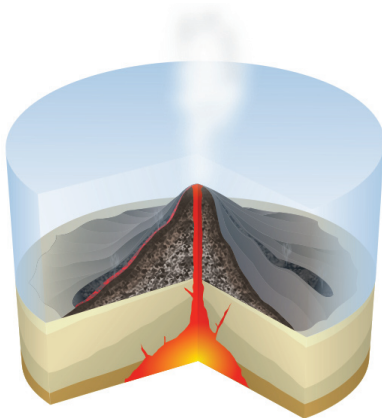
STROMBOLISCHE UITBARSTING

bij deze eruptie vorm wordt een 'fontein' van vloeibare basalt vanuit een centrale pijp de lucht in gespoten. Deze vorm is veel minder gevaarlijk in zijn eruptie stijl, maar wordt meestal gevolgd door uitvloeijing van grote lavastromen (b.v. Stromboli in Italië en de Parícutin in Mexico).



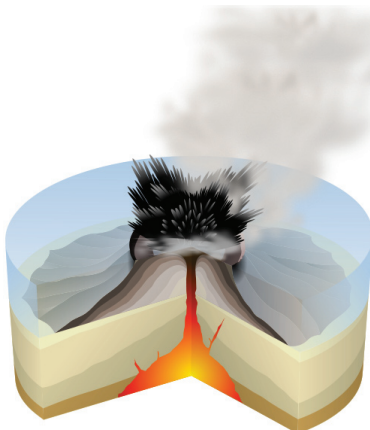
HAWAIIAANSE UITBARSTING

een van de rustigere eruptie vorm, waarbij grote lavafonteynen ontwikkelen langs open kloven, die samen komen in een centrale caldera. Dit type uitbarsting kenmerkt zich door de uitstroom van zeer hete lava met een geringe hoeveelheid silicium uit de krater. Dit soort uitbarstingen zorgt voor het ontstaan van schildvulkanen, vulkanen met een geringe helling. Een voorbeeld van het Hawaïaanse uitbarstingstype is de Kilauea op Hawaï.



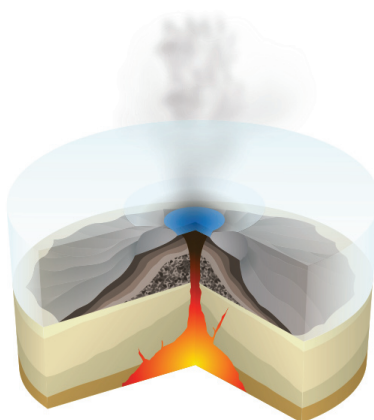
SUBMARINE (ONDERZEESE) UITBARSTING

is een type uitbarsting van lava in de oceaan. Het merendeel van de vulkaanuitbarstingen op aarde zijn van dit type, maar slechts enkele zijn er ooit waargenomen door de moeilijkheden om deze vulkanen te observeren. Het merendeel van deze uitbarstingen vinden plaats op de midoceanische ruggen.



SURTSEYAANS UITBARSTING

Een surtseyaanse uitbarsting vindt veelal plaats in ondiepe zeeën of meren. Het is vernoemd naar het IJslandse eiland Surtsey dat aan de zuidkust (nabij Vík) te vinden is. De uitbarstingen hebben veel weg van phreatische uitbarstingen waarbij grote explosies worden veroorzaakt door het contact tussen de stijgend basaltachtig of andesitische lava en water. Vaak worden ringen van tuff, pyroclastische kegels van assen gevormd die door de explosies onderbroken worden.



SUBGLACIALE UITBARSTING

Een subglaciale uitbarsting is een eruptie die onder het ijs van een gletsjer plaatsvindt. Dergelijke uitbarstingen veroorzaken vaak gevaarlijke overstromingen, lahars en Jokuhlaups. Het materiaal dat bij deze uitbarstingen ontstaat zijn kussenlava's en hyaloklastieten. Er zijn slechts 5 van dit soort uitbarstingen tot op heden waargenomen, maar restanten zijn veelvuldig zichtbaar op IJsland en andere locaties in de vorm van tuyas. Een tuya of subglaciale uitbarsting kan herkend worden aan de stratigrafie (afwisseling) van kussenlava's van basalt waarover verschillende lagen hyaloklastieten liggen in de vorm van breccias of tuff met bovenop doorgaans een normale lavastroom.

Uniek aan IJslandse is dat het het enigste eiland ter wereld is waar alle mogelijke soorten van vulkanisme en bijbehorende geologie te vinden zijn. Geen enkele andere hotspot ter wereld heeft alle bovenstaande uitbarstingsvormen!



De fysische geografie staat tussen de vakgebieden van de geologie een aardrijkskunde is en richt zich op de natuurlijke vorming en processen op het Aardoppervlak. Fysische geografie en geologie ontmoeten elkaar in de vakgebieden geomorfologie (de bestudering van de vormen van het landschap) en de sedimentologie (de bestudering van sedimenten en sedimentaire processen).

Oppervlakte processen

Landschapvorming

Naast het vulkanisme (de endogene processen, ofwel de processen die veroorzaakt worden door activiteit in de aarde) hebben de exogene processen (de processen die door klimaat en klimaatveranderingen en daarmee door de zon worden veroorzaakt) een groot stempel gedrukt op de ontwikkeling van IJsland en zijn landschap. Ten dele gebeurde dat al doordat sommige vulkanische vormen alleen ontstaan bij uitvloeiing van magma onder ijs (tafelbergen). Verder is IJsland bij uitstek een plek waar peri-glaciale ('ijsrand') omstandigheden heersen. Door de maritieme invloed (de relatief warme oceaan is nooit ver weg!) heerst er op IJsland een milder klimaat dan op grond van de noordelijk ligging te verwachten is. Hierdoor kunnen grassen domineren ('subpolaire graslanden'), bomen zijn er nauwelijks en ook maar een paar meter hoog. Het grootste deel van IJsland ligt net onder of ruim boven de boomgrens, die op deze breedtegraad relatief dicht bij zeeniveau zit.

Glaciale en periglaciale landschappen

Door het relatief milde klimaat is permafrost (altijd bevroren ondergrond) slechts sporadisch aanwezig. Toch zijn er ook van vorige ijstijden nog voldoende verschijnselen te zien zijn die te maken hebben met permafrost en het bijbehorende jaarlijks ontdooien en bevriezen van de bovenste paar meters van de bodem.

Pingo's

Pingo's zijn heuvels van een tiental meters doorsnede die ontstaan zijn door de vorming van ondergronds ijs. Onder de dunne bodem met begroeiing, ontstaat een ijslens doordat water wordt aangevoerd en bevroert. De verdergaande groei van de ijslens zorgt ervoor dat de bodemlaag openscheurt zodat uiteindelijk zonlicht het ijs doet smelten. De Pingo stort in en er ontstaat een meertje (waar nu materiaal mist) met ringvormige omwalling (waar het 'afgegleden' materiaal terecht gekomen is), een zogenaamde Pingo-ruïne. Pingo ruïnes kun je ook nog in Nederland vinden. Die dateren dus van één van de ijstijden!

Púfur

Een 'lokale variant' op dit principe, Púfur, worden gevormd door de werking van vorst op een grasvlakte. De grond zet uit door bevriezing en komt omhoog op bepaalde punten. Door erosie door smeltwater en wind wordt de grond tussen de graspollen weggevoerd en worden de pollens hoger. Komt in heel IJsland voor, bijvoorbeeld bij Leirhnúkur (Krafla) tussen de parkeerplaats en de lava.

Polygonen en vorstwiggen

Door vorst kan een scheur in de bodem zich ontwikkelen: een scheur loopt in de zomer vol water. Bij het bevriezen zet het ijs uit en drukt

de scheur open. De scheur wordt het volgende jaar weer gevuld met water, dat zich weer verder uitzet bij bevriezing in de winter daarna. Zo ontstaat in de loop der jaren een vorstspleet of wig. De scheuren vertonen aan het aardoppervlak vaak een regelmatig patroon, de zogenaamde polygonen. Deze polygonen zijn bij Landmannalaugar prima te zien als steenringen, veelhoekpatronen en lijnvormige structuren.

Water

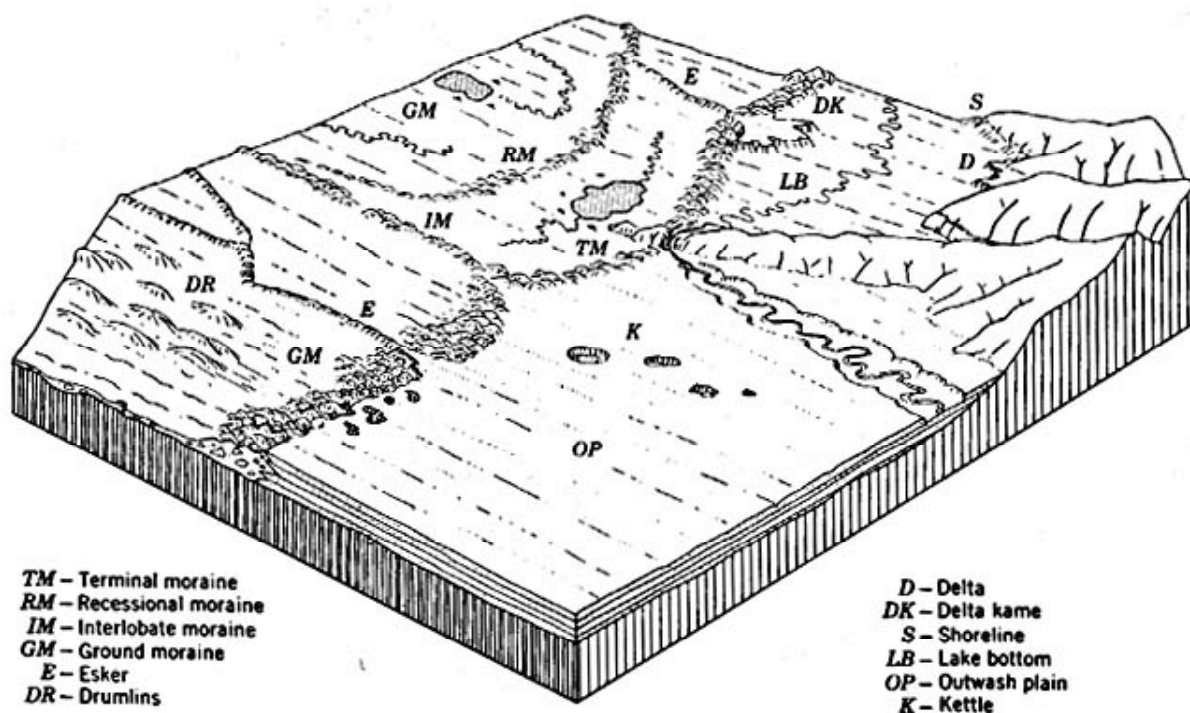
Water heeft ook gezorgd voor veel landschapsvormen. Tijdens het Weichselien (de laatste ijstijd) werd het hele eiland bedekt door een dikke laag ijs. Nu wordt nog maar ongeveer 11% van het IJslandse oppervlak bedekt door ijskappen. De Vatnajökull is met haar 8100 km² veruit de grootste, en heeft verscheidene gletsjeruitlopen zoals de Breiðamerkurjökull, Skeiðarárjökull, Skaftafellisjökull, en Svinafellsjökull. Grote delen van het IJslandse binnenland zijn ook uitgeslepen door vroegere ijskappen. Door afsmelting van de ijskappen zijn er aan de randen van de grote gletsjers ijsbergmeren te vinden in diep ingesleten dalen [Dag 3].

Wanneer een van de vulkanen onder de ijskappen uitbarst smelt een deel van het ijs. Het resulterende ijswater kan meestal tijdelijk opgeslagen worden in holtes van de gletsjer. Als de

hoeveelheid water in de gletsjer zo groot wordt dat de gletsjer op dat water gaat drijven, dan kan dat water als een grote vloedstroom een uitweg zoeken. In het geval van een jökulhlaup ("gletsjerebreuk") neemt het water ook grote hoeveelheden gruis en puin mee in haar baan naar de zee, en spoelen enorme ijsblokken en in ijs gevroren enorme stukken steen mee.

Een overzicht van dat soort ijs en rivier gerelateerde oppervlakte verschijnselen zoals in onderstaand diagram (fig. 8) geeft de mogelijkheden aan. Op de sandurs zijn veel van dit soort vormen te herkennen, je moet er alleen even naar leren kijken. We zullen ons best doen jullie dat bij te brengen!

Een prachtig voorbeeld van een landschap dat door water en ijs beïnvloed wordt, is te vinden aan de zuidzijde van de Vatnajökull. Hier bevindt zich een grote spoelvlakte (sand- of sandurvlakte) die het gevolg is van afzettingen van dergelijk puin gevoed door herhaaldelijke uitbarstingen onder de gletsjer. De laatste uitbarstingen, die plaatsvonden in oktober 1996, resulteerden in het vernietigen van delen van 'De Rondweg' van IJsland, samen met een aantal bruggen die over deze spoelvlakte waren aangelegd. Spectaculair, maar lastig en erg kostbaar voor de IJslanders (fig. 9).



Figuur 8: Geomorphologie van een gletsjer: TM= eind morene; RM= Morene gevormd toen bij het terugtrekken van het ijs, het ijs toch weer even naar voren schoof; IM= zijmorene; GM= grondmorene, keileem; E= Esker= voormalige afvoer van smeltwater onder ijskap; K= kettle= kuil in het landschap door het smelten van los ijsblok; DR= drumlin= door het ijs uitgesmeerde oudere moraine of esker.



Figuur 9: Kaart van de Grimsvötn eruptie onder de Vatnajökull in 1996. De 1996 eruptie had een grote vloedstroom (jökulhlaup) vanonder de Vatnajökull tot gevolg. Hierdoor werden grote delen van de IJslandse rondweg Skeiðarársandur (waar we ook met de route van de expeditie overheen rijden) vernietigd.

Rivieren

De rivieren en beken op IJsland kunnen gevoed worden door water wat als oppervlakte afvoer van ondoorlatend gesteente af komt, door grondwater uit poreus gesteente en als smeltwater van sneeuw en gletsjers. De Jökullsá á Fjöllum, waarin de waterval de Dettifoss te vinden is, heeft het grootste stroomgebied met een lengte van ruim 200 km en een totale oppervlakte van 7750 km². Deze rivier ontspringt aan de noordkant van de Vatnajökull en voert dus ook een deel van het smeltwater van deze gletsjer af. Verder ontvangt deze rivier, stromend naar het noorden, het nodige water van een flink deel van de Óðáhraun, het kale binnenland van IJsland. De Þjórsá is in oppervlakte van het stroomgebied de tweede rivier van IJsland met een oppervlakte van 7500 km² (lengte 230 km). In figuur 11 zie je het stroomgebied van de Þjórsá. Deze rivier ligt iets westelijk van de Vatnajökull, eigenlijk een beetje ingeklemd tussen de Vatnajökull en de Hofsjökull.

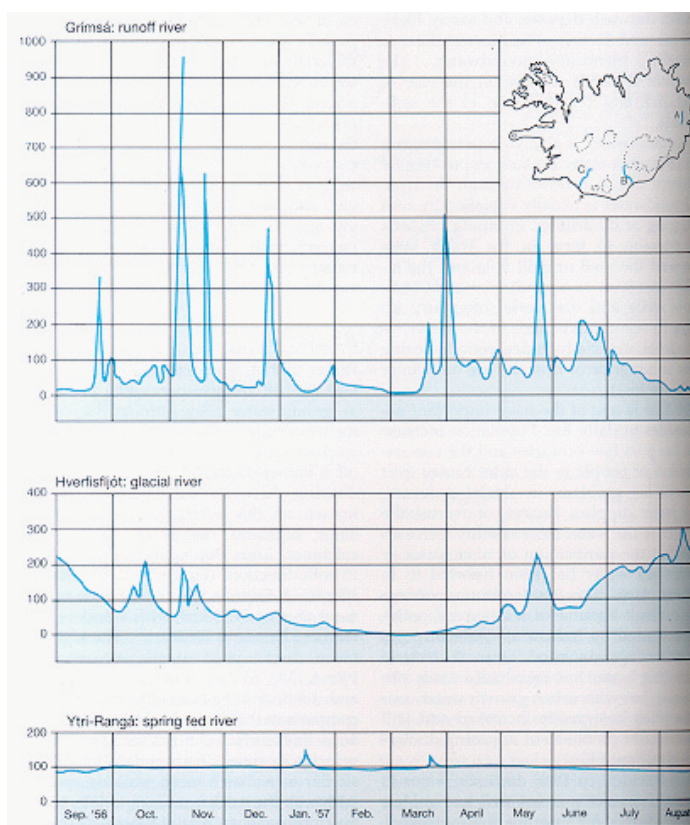
De grootte van het stroomgebied is niet alleen bepalend voor de hoeveelheid afvoer van de rivieren op IJsland. Door de grote ruimtelijke verschillen in neerslag en de relatieve aandelen van grond-, oppervlakte en gletsjerstromen is de dynamiek van de rivieren heel verschillend. De afvoer die gemeten wordt bij de monding van de Jökullsá á Fjöllum is bijvoorbeeld gemiddeld zo'n 212 m³/s, terwijl uit de Þjórsá gemiddeld zo'n 383 m³/s stroomt. Dat is bijna tweemaal zoveel dus (1.8 maal op precies te zijn). De Ölfusá, een rivier die iets oostelijk van Reykjavík in zee stroomt, voert zelfs 440 m³/s af. Ter vergelijking: de Maas voert gemiddeld zo'n 240 m³/s af.

Runoff

De rivieren die door direct runoff worden gevoed zijn beperkt tot de gebieden met ondoorlatende bedrock dicht aan de oppervlakte. Ze komen dan ook met name voor in het westen, oosten en noorden op het Tertiary Basalt Plateau. Zulke

BBC nieuwsbericht, 11 Juli 2002 (vertaling)

Een team van Britse en IJslandse wetenschappers hebben signalen waargenomen die wijzen op hernieuwde geothermische activiteit onder de ijskappen in IJsland. Deze activiteit kan volgens de wetenschappers het ontstaan van twee depressies of cauldrons in één van de ijskappen verklaren. De twee cauldrons liggen 8 km uit elkaar, op de Turigaaijökull gletsjer van de Vatnajökull ijskap. Ze hebben beiden een doorsnede van ongeveer 1,5 km en een diepte van 100 m, terwijl de gletsjer zelf een dikte van 200-300 m heeft. Dr. M. Roberts van het IJslands Meteorologisch Bureau: 'De grootste cauldron is in de laatste 24 uur qua omvang en diepte verdubbeld. We vermoeden dat de geothermale activiteit een grote hoeveelheid smeltwater onder de gletsjer heeft gegenereerd.' Het team acht de kans op een herhaling van de jökulhlaup in 1996 vrij groot. Onder de Myrdalsjökull ijskap in zuid centraal IJsland zijn seismische bewegingen waargenomen, die erop kunnen wijzen dat een eruptie niet lang op zich zal laten wachten. Er zijn aardbevingen met een kracht tot 3 op de schaal van Richter gemeten. "Tijdens de laatste eruptie in 1918, groeide de vloedstroom vanuit deze ijskap aan tot 250.000 ton water per seconde. Asregens werden toen tot in noord Europa gesignaleerd. Wanneer de Myrdalsjökull opnieuw zal uitbarsten kunnen we echter nog niet met zekerheid zeggen."



Figuur 10: De afvoer van IJslandse rivieren. De Grímsá als voorbeeld van een runoff rivier, de Hverfisfljót als voorbeeld van een glaciale rivier en de Ytri-Rangá als voorbeeld van een door bronnen gevoede rivier. De metingen lopen van september 1956 tot augustus 1957 (uit Þorleifur Einarsson: *Geology of Iceland*).

rivieren hebben vaak geen duidelijke oorsprong, maar ontspringen in kwelgebiedjes en ondiepe valleien. De afvoer van dergelijke rivieren is erg afhankelijk van de weersomstandigheden: ze nemen snel in afvoer toe als gevolg van neerslag, maar deze afvoer zakt ook weer snel in of droogt zelfs helemaal op. Dat opdrogen gebeurt zowel gedurende langere droge perioden of tijdens vorstperioden. De temperatuur van deze rivieren volgt de jaarlijkse temperatuursfluctuatie, dus relatief warm in de zomer en relatief koud in de winter. Tijdens vorstperioden kunnen deze rivieren dus bevroren of droogvallen. Tijdens de dooi kan de afvoer snel toenemen. Het water kan dan door nog achtergebleven ijsdammen heen breken. Doordat een groot deel van het water nauwelijks contact met gesteente heeft gehad is de geleidbaarheid van het water in deze rivieren laag. Een voorbeeld van een dergelijke rivier is de Grímsá in Oost-IJsland (A in fig. 10). De gemiddelde afvoer is $27 \text{ m}^3/\text{s}$, maar tijdens een piekafvoer is zelfs $645 \text{ m}^3/\text{s}$ gemeten, ofwel 24 maal de gemiddelde afvoer. Tijdens vorstperioden droogt de rivier bijna geheel op.

Bronnen

Rivieren die door bronnen worden gevoed ontspringen in de regel uit bronnen in de Holocene lava, uit bronnen uit pyroclastische afzettingen en uit Pleistocene basaltformaties. In tegenstelling tot de direct runoff rivieren hebben

ze meestal een duidelijke bron. De afvoer is vaak heel gelijkmatig gedurende het jaar en de wassertemperatuur is in de regel ook erg constant. De variatie in neerslag en temperatuur wordt dus door het grondwatersysteem goeddeels of volledig uitgedempt. Piekafvoeren komen weinig voor in dit type rivieren, en dan alleen in de winter



Figuur 11: Het stroomgebied van de Þjórsá (uit Þorleifur Einarsson: *Geology of Iceland*).

of het voorjaar wanneer de grond bevroren is en het smeltwater niet kan infiltreren. Rivieren van dit type bevriezen niet, althans niet dichtbij de bron. Verder stroomafwaarts kunnen ze wel bevriezen. Een mooi voorbeeld van een door bronnen gevoede rivier is de Ytri-Rangá (C in fig. 10), met een gemiddelde afvoer van 24 m³/s.

Gletsjers

Glaciale rivieren hebben hun oorsprong in gletsjers. De afvoer is afhankelijk van de luchttemperatuur en is groter in de zomer dan in de winter. De maximale afvoeren worden gemeten in de zomer tijdens neerslag. Verder laten dergelijke rivieren vaak een mooie dagvariatie zien. Bij de gletsjermond is de maximale afvoer zo rond 15.00 uur en de minimumafvoer bij zonsopgang. De temperatuur van glaciale rivieren is net boven de 0°C bij de gletsjermond en kan, afhankelijk van de luchttemperatuur en het debiet, oplopen tot meer dan 10°C stroomafwaarts. Ze zijn grijs in kleur door de grote hoeveelheden sediment in het water, maar kunnen tijdens vorstperioden, als de afvoer uit de gletsjers ook afneemt, helder in kleur worden. Hverfisfljót (B in fig. 10) bij Kirkjubæjarklaustur is een mooi voorbeeld van een gletsjerrivier. De gemiddelde afvoer is zo'n 38 m³/s, met een minimum afvoer van 2.5 m³/s en een piekafvoer van 282 m³/s. Het stroomgebied van de Hverfisfljót is maar 330 km² groot.

Erosieprocessen

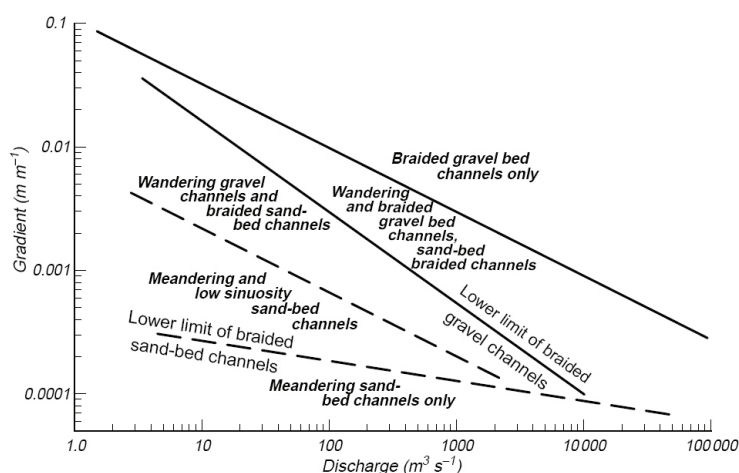
Op de plekken wat water met gesteente of sediment in contact komt, vindt erosie plaats. Dit begint al vanaf het moment dat een regendruppel inslaat op de bodem. De kracht waarmee dat gebeurd lijkt klein, maar het is de belangrijkste manier waarop materiaal zoals zand los gemaakt wordt. Het proces waardoor dat materiaal door water of door wind wordt los gemaakt is alleen niet een geleidelijk proces. Door de krachten tus-

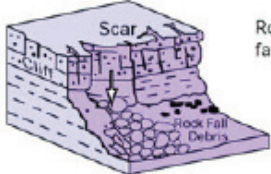
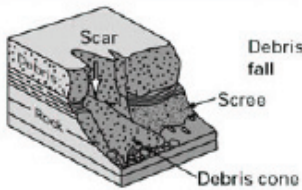
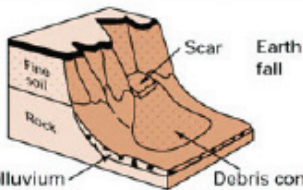
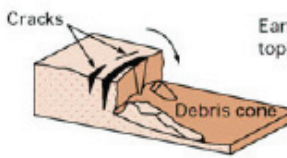
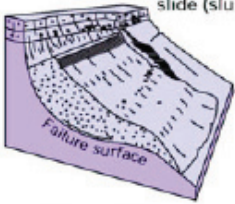
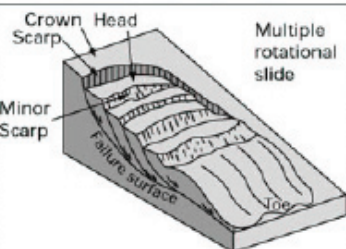
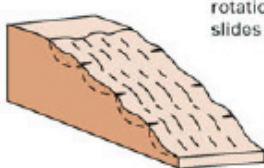
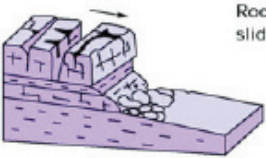
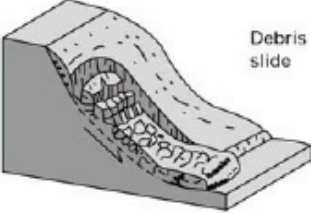
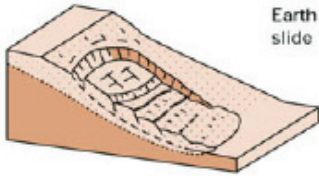
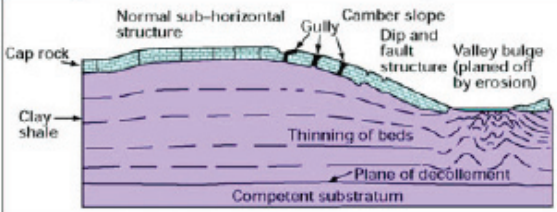
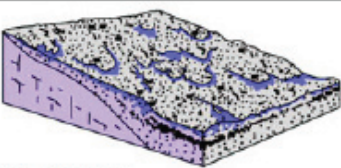
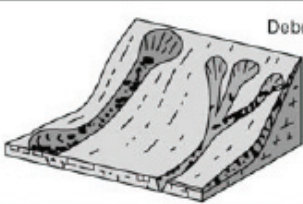
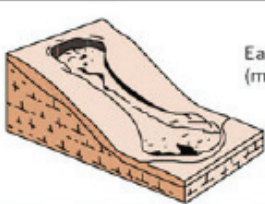
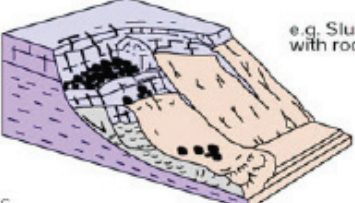
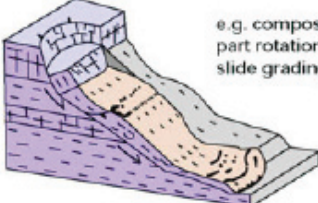
sen individuele zandkorrels, of de sterkte van het gesteente, moet de kracht waarmee bijvoorbeeld een rivier zand kan wegspoelen eerst een 'drempe' over voordat er ook echt zand of stenen losgemaakt en dan meegevoerd worden. Die kracht van een rivier hangt af van de riviereigenschappen zoals de stroomsnelheid die weer afhangt van de hoeveelheid water dat door de rivier stroomt en hoe groot en diep de rivier is. Hoe hoger die stroomsnelheid en dus de kracht van de rivier, hoe groter uiteindelijk ook de deeltjes zijn die verplaats kunnen worden. Op IJsland zullen we verschillende rivieren tegenkomen die grote hoeveelheden klei, silt, zand of nog groter materiaal op deze manier verplaatsen.

Doordat rivieren transportbanden van materiaal zijn, hangen hun vormen sterk af van de hoeveelheid en het soort materiaal die ze meenemen. De meest spectaculaire rivieren zijn de 'verwilderde rivieren' (in het engels 'braided' oftewel 'gevlochten') die veel sediment meevoeren. De rivier bij Langmannalaugar is hier een prachtig voorbeeld van. In figuur 12 is te zien hoe de vorm van een rivier afhangt van materiaal (in dit geval grind en zand), de helling van het landschap en de hoeveelheid water dat er in de rivier stroomt.

Doordat grote stukken steen kunnen alleen met veel kracht verplaatst worden en daarom zijn deze brokstukken dus vaak een indicatie van grote snelstromende piekafvoeren. Voor erosieprocessen gaat het in het algemeen vooral om het idee dat de energie (de kracht) van het systeem (rivier, wind, inslag) bepaald hoeveel en wát er losgemaakt en vervoerd wordt. Hoe groter het materiaal is, moet meer energie je immers nodig hebt in de vorm van de stroomsnelheid in rivieren of windsnelheid om het materiaal los te maken en te verplaatsen.

Figuur 12: Riviermorphologie uitgedrukt als een reatie tussen de hellingsgradiënt in mm⁻¹ en het riviervormend debiet in m³s⁻¹. Het debiet wordt meestal bepaald aan de hand van 'full-bank discharge' of als de gemiddelde jaarlijkse piekafvoer. Het figuur laat de invloed zien van sedimentverdeling (zand of grind) en de hoeveelheid water op de vorm van een rivier (from Church, 2002).



Material				
Movement type		ROCK	DEBRIS	EARTH
FALLS		 Rock fall	 Debris fall Scree Debris cone	 Earth fall Scar Debris cone Colluvium
		 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Debris cone Cracks
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Multiple rotational slide Crown Scarp Head Minor Scarp Failure surface	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS				
FLOWS		 Solifluction flows (Periglacial debris flows)	 Debris flow	 Earth flow (mud flow)
	COMPLEX	 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris	 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

BGS © NERC

Figuur 13: Verschillende vormen van massabewegingen in verschillende ondergronden. De aanwezigheid van water als smeermiddel is in veel van deze processen erg belangrijk. Veelal vinden deze bewegingen plaats op plekken waar de ondergrond gunstig is voor een massabeweging zoals resistentere lagen gesteente, het contactvlak tussen bodem en gesteente, waterdoorlaatbaarheid van gesteente of de aanwezigheid van bronnetjes. Ook het ondergraven van rotswanden door rivieren speelt een belangrijke rol in het in gang zetten van hellingsprocessen en massabewegingen.

Hellingsprocessen en massabewegingen

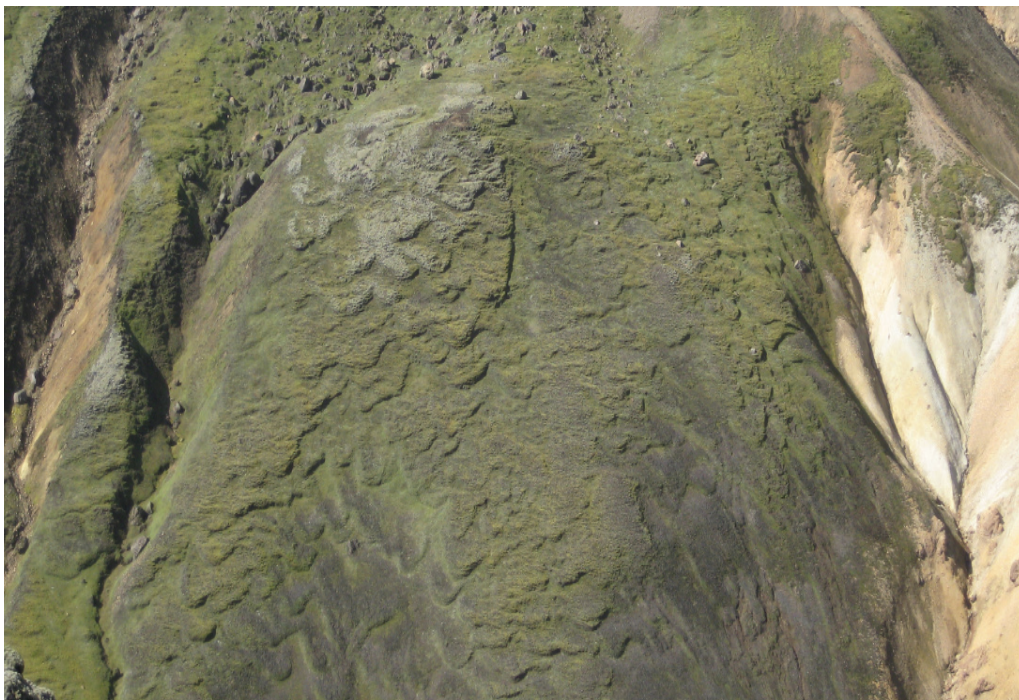
Hiervoor zagen we het belang van energie voor erosie op de schaal van individuele deeltjes zoals zand en silt of groter materiaal zoals kiezels en grotere brokstukken. Grotere hoeveelheden gesteente of bodem kunnen ook tegelijk in beweging komen. Deze massabewegingen vinden dan vooral plaats waar zwaartekracht een rol speelt; op hellingen.

Stromend water maar ook bevroren water dragen sterk bij aan de vorming van massabewegingen. Water dat in het gematigde klimaat van IJsland als regen in het landschap terecht komt kan hier afhankelijk van de ondergrond doorheen of overheen gaan stromen voordat het in rivieren terecht komt. Als er genoeg water aanwezig is waardoor het niet de bodem in kan trekken, dan kan het water over een oppervlak stromen. Hierdoor snijdt het water langzaam stroomgeulen in het oppervlak. Deze gullies of rills (afhankelijk van de diepte en afmetingen) zijn op veel plekken in de vulkanische assen op IJsland te zien.

Bij massabewegingen speelt de aanwezigheid van (te veel) water als smeermiddel in de bodem de massabewegingen in de hand. Ook in drogere om-

standigheden kunnen grote stukken gesteente of bodem in beweging komen. Doordat IJsland tegen de poolcirkel aan ligt en ondanks het gematigde klimaat toch vaak koude vriesdagen heeft, vindt er ook veel erosie plaats van de verschillende vulkanische afzettingen door water wat bevroert in scheuren, uitzet en materiaal laat afbreken.

Grote hoeveelheden gesteente en bodem gaan bewegen zodra dat materiaal losgemaakt kan worden. Dit kan op verschillende manieren voor vorstverwering, het ondergraven van een helling door een rivier, andere vormen van stromend water of verzadiging van de bodem met water. Deze massabewegingen vinden vooral plaats op plekken waar er een zwakke schakel zit in de geologie. Dit kunnen zwakkere lagen gesteente zijn, plekken waar water stagneert en niet verder de bodem in trekt maar ook het contactvlak tussen bodem en gesteente. In figuur 13 zijn een aantal verschillende vormen van erosie te zien in bergachtige gebieden met hellingen en stijlwallen van van gesteente, puin en bodems. De manier waarop materiaal naar beneden valt, omkiept, schuift of stroomt wordt vooral beïnvloedt door de hoeveelheid water die in de bodem of rotsen aanwezig is.



Energie

IJsland heeft een enorm potentieel aan energie. Overal spuit warm water de grond uit en er stromen machtige rivieren waaruit enorm veel energie opgewekt kan worden. Verwarming van huizen en straten is dus geen probleem, een paar buizen warm water en klaar! Als enige land mag IJsland na de conferentie in Kyoto meer CO₂ uitstoten dan vroeger. En is de regering bezig energieverblindende industrieën, zoals bijvoorbeeld aluminiumsmelterijen naar IJsland halen. Dat daarvoor alles over zee aan- en afgevoerd moet worden, is een bijzaak. IJsland wil verder de potentiële energie op een handigere manier inzetten: voor de productie van waterstof, waar alle auto's kunnen rond rijden. Een enorm milieuvriendelijk en voor IJsland goedkoop alternatief!

Hete bronnen hebben een watertemperatuur van meer dan 70°C. De grootste heetwaterbron is Deildartunguhver in Borgarfjörður, met een debiet van 150 l/s van 100°C heet water. Het is daarmee de grootste thermale bron ter wereld. Water van deze bron wordt gebruikt voor de verwarming van gebouwen in Akranes, Borgarnes en omgeving (Zuidwest IJsland, net ten N van Reykjavík). De grootste heetwaterbrongebieden zijn Reykir in Mosfellssveit bij Reykjavík, het Reykholt gebied in Borgarfjörður (west IJsland), Reykhólar in Reykhólasveit and Reykjanes in Ísafjarðarjúp (NW IJsland), Skagafjörður en het Fljót-gebied en Reykir-gebied in S-Pingeyarsýsla (N-IJsland).

Al heel lang wordt geothermisch water gebruikt voor verwarming en wassen. De eerste boring voor heet water is geplaatst in Þvottalaugar in Reykjavík in 1928. In 1933 is een boring geplaatst in Reykir in Mosfellsveit, zo'n 17 km oostelijk van Reykjavík. Daarna is in 1943 de Reykjavík District Heating Authority opgericht. Sindsdien zijn vele diepe boringen geplaatst in Reykjavík die, samen

een grote hoeveelheid heet water produceren. Niet alleen Reykjavík wordt van heet water voorzien, maar ook Kópavogur, Garðabær, Mosfellsbær, Álftanes en Hafnarfjörður. In totaal wonen in dit gebied 140.000 mensen, dus grofweg de helft van de IJslandse bevolking. Het gemiddelde gebruik van heet water is ongeveer 15000 l/s, wat kan worden opgevoerd tot 3000 l/s tijdens koude perioden. Verder heeft de Reykjavík District Heating Authority water van de geothermische fabriek bij Nesjavellir (zuidelijk van Þingvallavatn) waar koud water wordt opgewarmd met stoom van het lokale hoge temperatuur geothermische gebied.

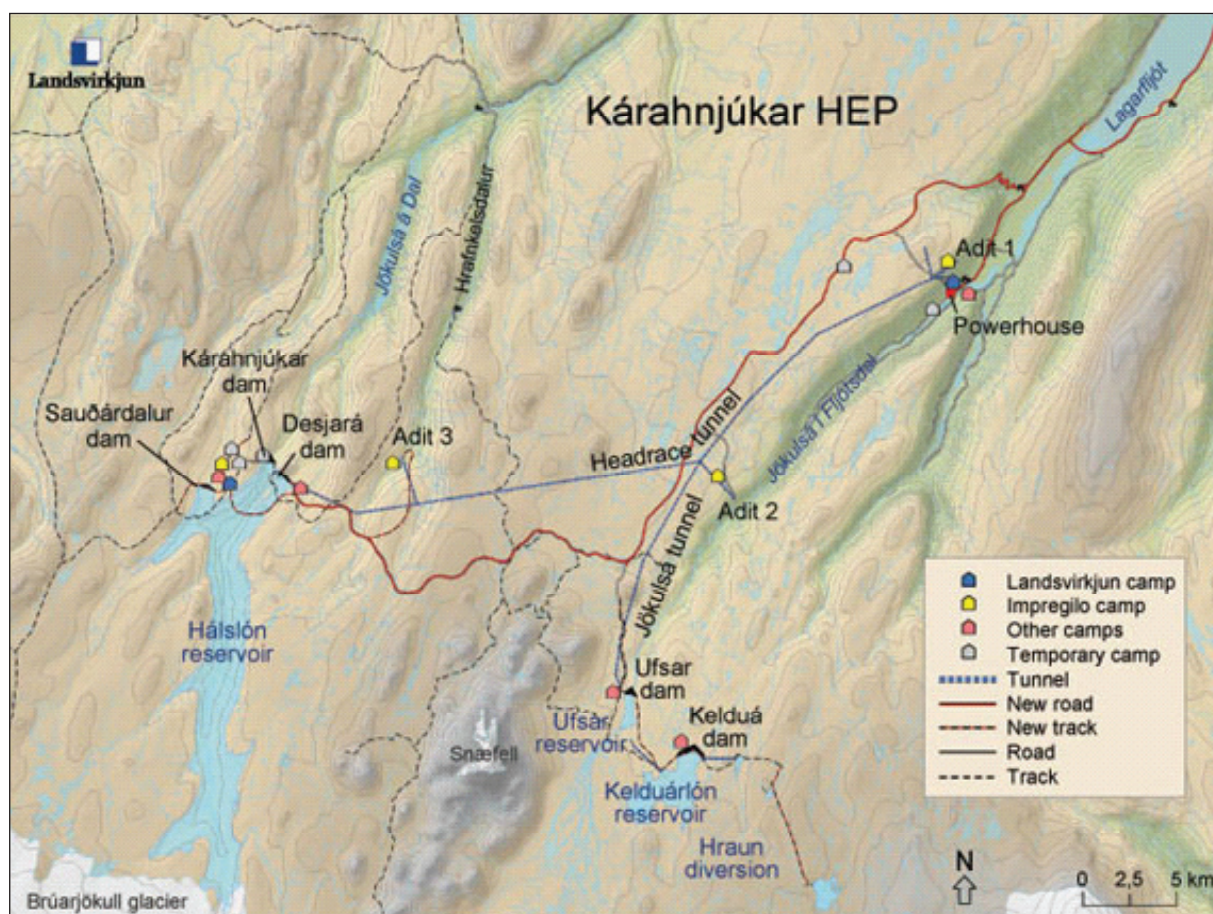
Dergelijke District Heating Authorities komen nu in het hele land voor en verzorgen samen voor meer dan 85% de warmte behoefte. Verder zijn er meer dan 100 zwembaden die geothermisch verwarmd worden en worden kassen in Zuid-IJsland ermee verwarmd. Op kleine schaal wordt elektriciteit van geothermische energie opgewekt (met stoomturbines) bij Krafla, Bjarnarflag bij Mývatn, Svartsengi bij Keflavík en bij Nesjavellir. Geothermische energie wordt ook gebruikt bij de productie van diatomeeën aarde bij Mývatn en zout in Reykjanes. In totaal staat geothermie garant voor 1/3 deel van de energiebehoefte op IJsland en is daarmee even belangrijk als hydropower.

Momenteel werkt IJsland aan een enorm hydropower project ten noorden van de Vatnajökull. Daarbij wordt er in de smeltwaterrivier de Jökulsá á Dal een stuwdam gebouwd. Het stuwmeer moet een waterkrachtcentrale voeden. De stroom gaat dan weer naar Reyðarfjörður, waar een aluminiumsmelter van een Italiaanse dochter van het Amerikaanse bedrijf Alcoa bedrijf komt te staan. Hiernaast zie je een artikel in het *NRC Handelsblad* hierover.

“Goedkope energie heeft aluminiumproducent Alcoa naar IJsland gelokt. Maar de aanleg van een groot stuwmeer en de bouw van een waterkrachtcentrale die daarvoor nodig zijn, hebben grote controverses uitgelokt. Een groot natuurgebied gat erdoor ten onder. Tussen de kale rotsen en bergen ten noorden van Vatnajökullgletsjer van Europa, is een dorp in aanbouw. Het telt nu 700 inwoners – volgend jaar 1.400 – van wie 450 buitenlandse werknemers van het Italiaanse bouwconcern Impreglio. De onderneming uit Milaan bouwt in dit ongerepte en onherbergzame natuurgebied tunnels en dammen voor een nieuwe grote waterkrachtcentrale. De centrale moet de elektriciteit produceren voor een aluminiumfabriek van het Amerikaanse Alcoa, het grootste aluminiumconcern ter wereld. Het Karahnjúkar-project is het grootste dat de IJslandse nationale energiemaatschappij Landsvirkjun ooit heeft ondernomen. Het omvat de aanleg van een stuwmeer van 57 km² en vele tientallen meters diep. Het meer wordt gevoed door het water dat twee zogenoemde glaciale rivieren en vele kleinere stromen aanvoeren vanaf de Vatnajökull. Het meer wordt afgesloten met een dam van 750 meter lang en 190 meter hoog, die wordt aangelegd in een nauwe kloof waardoor de rivier Jökulsá a Dal zich perst. De bouw van deze dam kost 228 miljoen euro. Vanuit het stuwmeer wordt het water met hoge snelheid door een 40 kilometer lange en zeven meter brede tunnel dwars door de omringende bergen geleid naar de zes grote turbines van het ondergrondse waterkrachtstation. De tunnelbouw kost ruim 285 miljoen euro. De waterkrachtcentrale kost op zijn beurt weer 140 miljoen euro. Het gebruikte water wordt via een kleine tunnel naar een andere rivier afgevoerd doe aan de noordoostelijke kust in zee stroomt. De opgewekte stroom wordt geleid naar de aluminiumsmelter van Alcoa in Reydarfjörður, ruim 79 km van het stuwmeer in het hoogland.

Een gebied van negenhonderd vierkante kilometer wordt op de één of andere manier aangetast door deze bouwwerken. Er komen nieuwe bergen van weggeboorde rots en wegen om drie gigantische boormachines aan te voeren. Mensen kwamen er voorheen nauwelijks. Het gebied werd alleen bevolkt door kleine groepen rendieren en vogels.

Een minderheid van de IJslanders vindt het project een grote en onherstelbare aantasting van een natuurgebied. Voor de regering en voor de meerderheid van de bevolking is het een droom die uitkomt. Eindelijk zal het economische achtergebleven oosten van IJsland een grote werkgelegenheidsimpuls krijgen. De schatting is dat 700 a 800 mensen werk werkzaam zullen zijn in de smelter en in afgeleide bedrijvigheid. Critici vragen zich echter af de investering van de vele miljoenen euro ooit kan terugverdienen met de levering van elektriciteit, omdat de prijs te laag zou zijn.”



Figuur 14: kaart van het Karahnjúkar-project



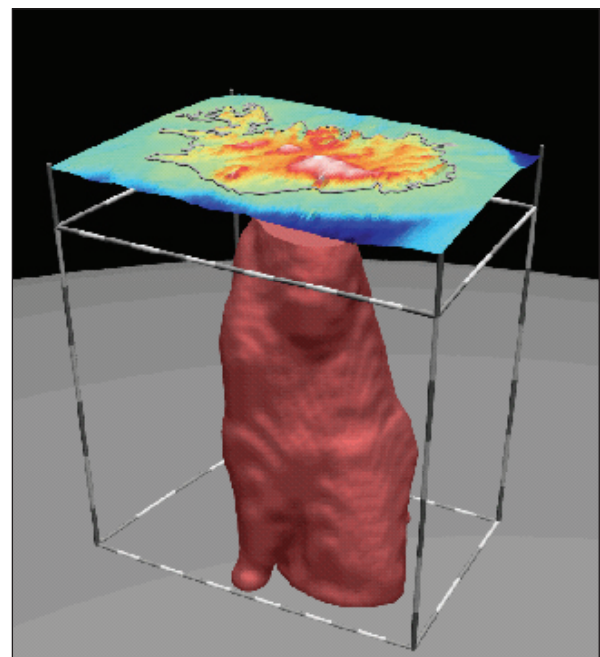
IKONOS satellietfoto van het eiland Surtsey die ontstond uit een uitbarsting onder water.

IJsland is een vulkanisch eiland gelegen in de Atlantische Oceaan tussen Groenland en Noorwegen, direct op de Reykjanes Rug (Mid Atlantische Spreidings rug). In de vallei van Þingvellir kun je de spreidingszone tussen de Europese en Amerikaanse platen ook werkelijk op land bekijken [dag 9], maar ook Leirnjúkur en bij Krafla zie je de plaatgrens. IJsland is een van de weinige plekken op de Aarde waar de Mid Oceanische Rug boven de zeespiegel uitsteekt. Andere plekken zijn van noord naar zuid gezien Ascension, St. Helena, Tristan da Cunha, Gough en Bouvet). IJsland is wel veruit het grootste eiland van die groep. Dat IJsland boven de zeespiegel uitsteekt is bijzonder omdat een rekensommetje met dichtheden van oceanische korst, zeewater en continentale korst oplevert dat een MOR eigenlijk op 2500 meter diepte dient te liggen.

Geologen hebben achterhaald dat IJsland de enige plek is waar een oceanische spreidingszone samenvalt met een 'hotspot'. Onder IJsland worden in de korst en mantel aanwijzingen gevonden voor opstijgend warm magma dat niet gerelateerd is aan de opening van de Atlantische oceaan. Deze pluim van heet, gesmolten mantelmateriaal stijgt door de mantel en verhit de al gevormde korst, die daardoor gedeeltelijk opsmelt. Het specifieke van een 'hotspot' is de vaste lokatie in de mantel ten opzichte van de bewegende platen van de korst (fig. 17). De IJsland hotspot zorgt ervoor dat de korst onder IJsland omhoog geduwd wordt, zodat het boven de oceaan uitkomt. Dezelfde hotspot zorgde er al lang geleden voor dat de korst in dit gebied was verzwakt: de Noord Atlantische oceaan opende zich daardoor uiteindelijk tussen Groenland en Noorwegen zo'n 54 miljoen jaar geleden. Bij dit openen zijn enorme hoeveelheden basalt uitgevloeid over het westen van Groenland, over IJsland, Noord Ierland en Schotland. Inmiddels zijn geologen erin geslaagd om de toestand en locatie van de hotspot te bepalen van nog voordat IJsland bestond. In figuur 15 kan je zien hoe dit eruit ziet.

IJslandse Geologie

Ook in recente tijden is IJsland een geologisch zeer actief eiland. In het Holoceen, dus de laatste 12.000 jaar, is 10.000 km² van IJsland bedekt met lava. Dat is 10% van de totale landoppervlakte. Het totale volume aan lava dat in deze periode is uitgestroomd bedraagt 400 km³. De schatting is dat er zo'n 20 erupties per honderd jaar voorkomen, dus één eruptie per vijf jaar. De Vestmannaeyjar eilanden (zullen we van een afstandje zien) zijn nog vrij recent flink aangegroeid. Van 1963 tot 1965 ontstond voor het oog van de wereld een nieuw eiland voor de kust: Surtsey (pagina links).



Figuur 15: Onder IJsland worden in de korst en mantel aanwijzingen gevonden voor opstijgend warm magma dat niet gerelateerd is aan de opening van de Atlantische oceaan

En in 1973 groeide het bewoonde eilandje Heimaey met 2 vierkante kilometer bij een flinke uitbarsting. Met zwaar materieel werd voorkomen dat de haven volstroomde met lava.

Met de combinatie van Hot Spot en Midden Oceanische Rug (MOR) kan de grootschalige geologische structuur en het verschil in vulkanische gesteenten en activiteit die op IJsland voorkomen uitgelegd worden. In figuur 18 is een versimpelde kaart te zien van de geologische hoofdstructuren. In het algemeen kan gesteld worden dat doordat midden door IJsland de Mid-Oceanische Rug loopt, in het noorden van Krafla (fig. 16) tot Askja, dan maakt de rug een sprong naar het westen, waar hij weer verder loopt van de Höf-sjökull via Pingvellir naar het schiereiland Reykjanes (ten zuiden en oosten van Reykjavik). Omdat hier de korst uit elkaar beweegt, vind je hier de jongste vulkanische gesteentes. Symmetrisch neemt van de spreidingszone weg de ouderdom van het gesteente toe (op de geologische kaart lichtgroen - Pliocene-Pleistoceen en donkerblauw - Boven Tertiair). Hekla is historisch gezien de meest actieve locatie op IJsland met verschillende uitbarstingen in de afgelopen eeuwen. De hotspot waardoor IJsland is gevormt is van zijn positie voor de kust van Groenland langzaam aan naar het oosten bewogen en bevindt zich op dit moment onder de ijskap van de Vatnajökull.

Vulkanisme is tegenwoordig voornamelijk geconcentreerd langs een NE-SW as, parallel aan de Reykjanes rug. Aan beide zijden van deze zone bevinden zich oudere basaltische afzettingen (Kwartair tot Tertiair in ouderdom). De oudste vulkanische afzettingen liggen in het noordwesten en oosten van IJsland, zijn tussen de 13 en 16 miljoen jaar oud en zijn duidelijk boven water afgezet (overstromings basalten). De Kwartaire lava's bestaan ook grotendeels uit basalten

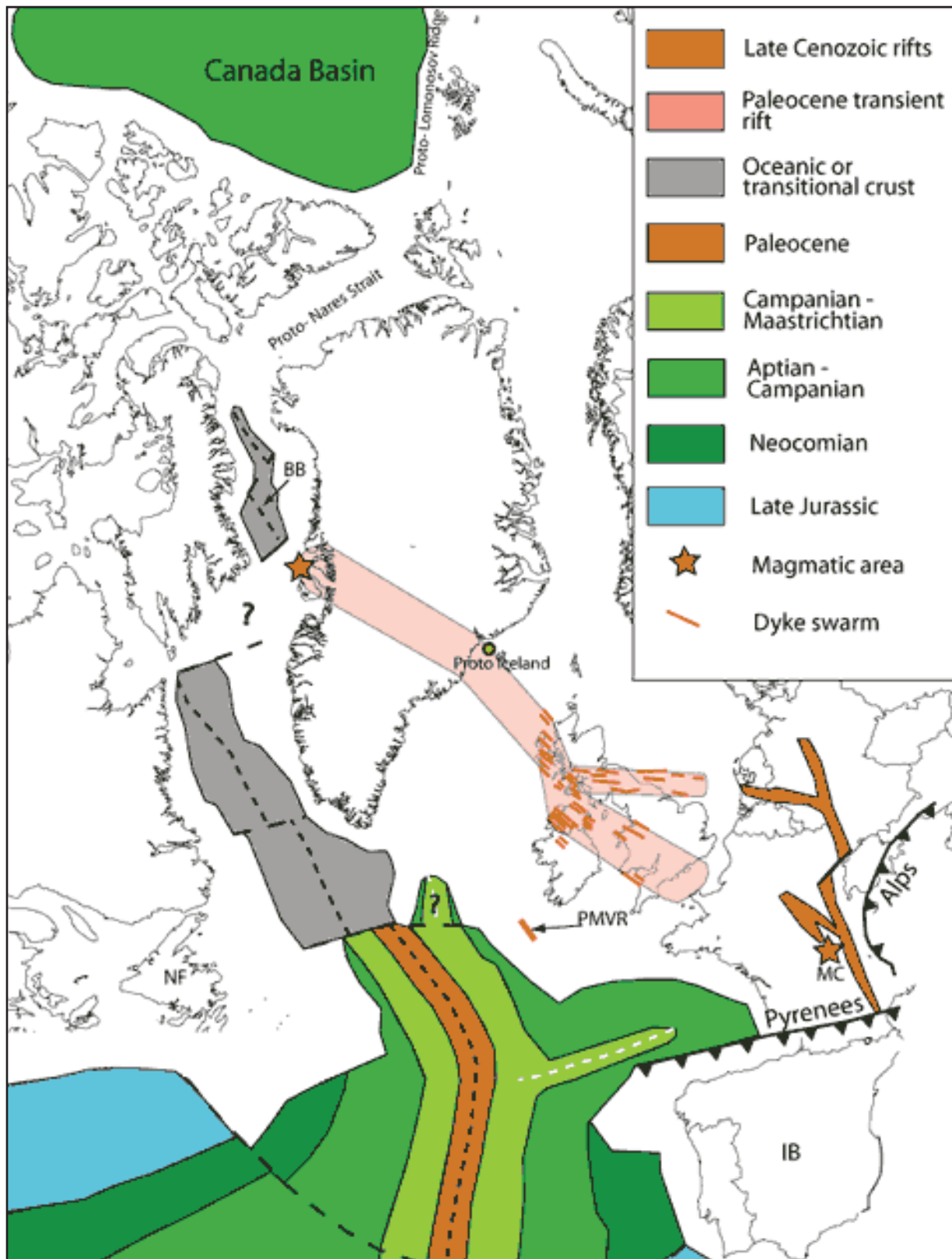
die deels in en tussen de ijskappen zijn afgezet. Overblijfselen hiervan kun je herkennen aan hun 'tafelberg' vorm. Van deze 'Tuya's' is de Herðubreið het bekendste voorbeeld. Bijzonder is dat deze tafelbergen onder de gletsjer ontstaan en langzaam hun weg naar buiten smelten. Deze vorm van subglaciaal vulkanisme komt veel voor op IJsland en er zijn verschillende locaties waar ze aan het oppervlak dagzomen. Bláhnúkur in Landmannalauagar is een mooi voorbeeld van een rhyoliet uitbarsting die we met de expeditie ook zullen beklimmen. In tegenstelling tot de basalt-achtige subglaciale uitbarsting is Bláhnúkur er niet in geslaagd om door de 400 meter dikke ijskap heen te smelten.

Materiaal dat ontstaat door opwelling uit de diepte is arm aan SiO_2 , en juist rijk aan magnesium en ijzer. Daarom noemen we deze magmas basisch of mafisch. Ze komen als dun vloeibare basalt aan het oppervlak, vaak langs spleeterupties, zonder al te veel geweld. Schildvulkanen (beste voorbeeld: Skjaldbreiður, noord van Pingvellir) en spleeterupties (Krafla) zijn typisch basaltvulkanen. De intrusieve variant van basalt heet gabbro, de mineralen olivijn en pyroxeen zijn kenmerken voor dit donker gekleurde gesteente.

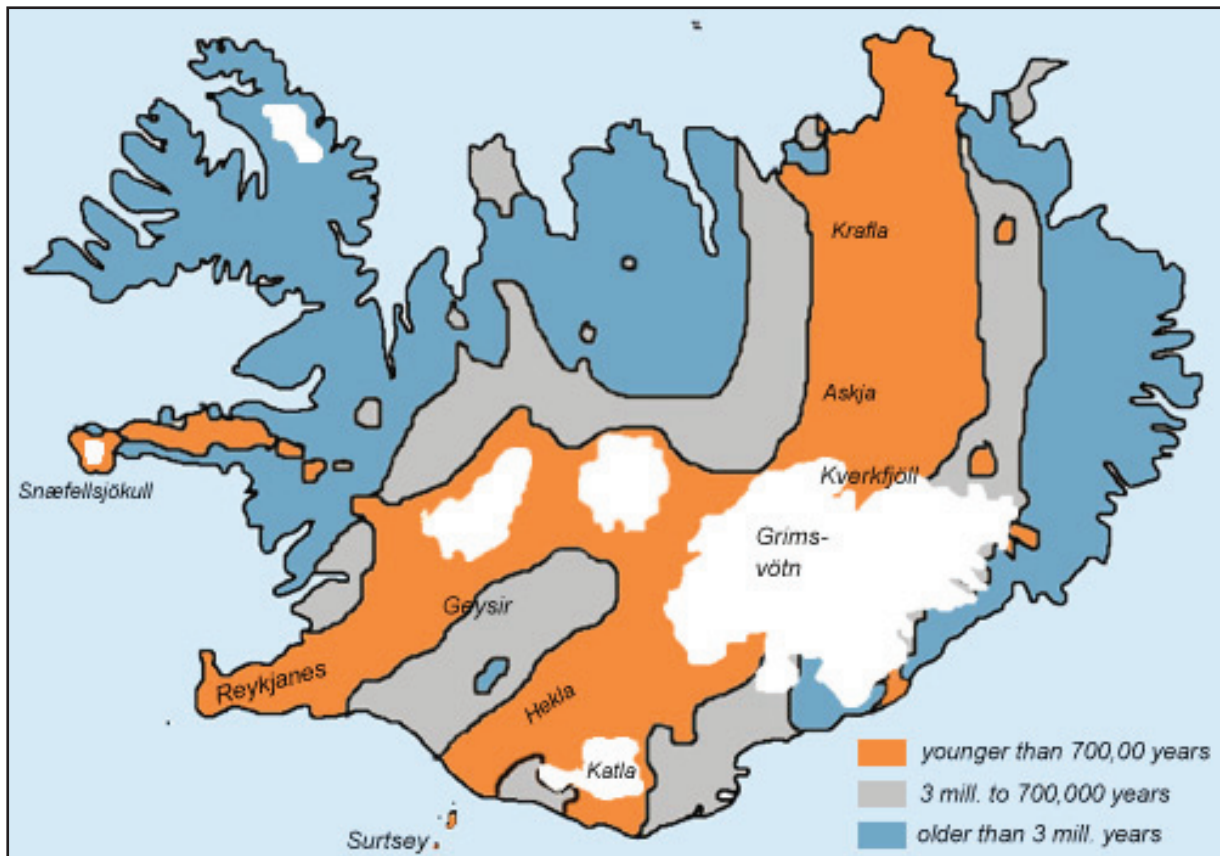
Het merendeel van het oppervlak van IJsland is gevormd door erupties van basaltische lava en ook nu is het de meeste voorkomende vorm van vulkanisme. De korst boven die vulkanische actieve gebieden wordt doorsneden door spleten. Lava komt aan het oppervlak in zogenoemde 'breukmoerassen', langs de parallelle spleten met lengtes tot wel 100 km. Aan de oppervlakte worden deze gebieden gekenmerkt door diepe smalle kloven (fissures), verzakkingen (grabens) en een aaneenschakeling van kleine kraters. De vallei van Pingvellir is zo'n breukmoeras dat op het moment een van de meest actieve gebieden



Figuur 16: Bijzondere vulkanische landschappen op IJsland. Het meer in de Krafla krater dat ontstaan is na de laatste uitbarsting van de vulkaan.



Figuur 17 Plaat reconstructie tot 60 miljoen jaar geleden met een versimpelde oceaانبodem (MOR). De keuren geven de periodes aan waarin de verschillende formaties gevormt zijn. The hoofdricting van de scheuren en uitbarstingen (Dyke Swarms) in de regio van hedendaags Groot-Britannië lopen ruwweg in de richting van West-Groenland naar de locatie van de hotspot waar later IJsland door gevormt is. Door de beweging van de platen is de hotspot (ster) in 65 miljoen jaar tijd van de west-kust van Groenland precies onder het hedendaagse IJsland komen te liggen. Wat ook blijkt uit de reconstructie is dat veel van de hedendaagse structuren in de region nog niet 100% duidelijk zijn. Ook zichtbaar zijn de breukvlakken waar langs de Pyreneeën en de Alpen zijn ontstaan. NF: Newfoundland, BB: Baffin Bay, IB: Iberia



Figuur 18 Versimpelde geologische kaart van IJsland. Hierop zijn de belangrijkste hoofdstructuren van het eiland te herkennen. De actiefste gebieden zoals Krafla, Grimsvötn, Hekla en Torfajökull zijn in de oranje gebieden te vinden.

van IJsland is. Andere centra waarbij vloeibare basaltische lava vrijkomt zijn bijv. Hekla, Krafla Eldgja en Lakagigar. Omdat de lava zo dun-stroperig is, spreidt het zich uit over het oppervlakte om brede lavastromen, plateaus en lage schildvulkanen te vormen. De Hekla is een van de grootste centrale vulkanen, die naar geologische begrippen (tijdschalen) regelmatig uitbarsten. Het is de centrale explosiekrater van een 40 km wijde en 7 km brede vulkanische vallei met dezelfde naam. Zowel qua eruptiefrequentie als hoeveelheid geproduceerde lava in kubieke meters is de Hekla de meest actieve vulkaan van IJsland. Eén van de laatste grote uitbarstingen vond plaats tussen 19 januari en 11 maart 1991. De Lakagigar bestaat uit een rij kleinere vulkanen die boven een zogenoemde korstbreuk (fissure) liggen en ieder maar 1 keer in hun bestaan uitbarsten. De Laki eruptie van 1783 is de eerste eruptie die nauwkeurig beschreven is. De Laki spleet is ongeveer 25 km lang. In totaal is zo'n 580 km² bedekt met lava. Het totale volume van de eruptie is 12 km³, met daarbij nog eens 0,25 km³ tuf. De langste lavaflow van deze eruptie is maar liefst 60 km lang! Op dag twee rijden we door dit lavaveld, dat nu begroeid is met mos, heen (Eldraun). De gevolgen van de eruptie waren enorm. Zo'n driekwart

van de veestapel van IJsland en bijna een vijfde deel van de bevolking (9000 mensen) is tijdens de eruptie omgekomen. Gedurende de 8 maanden durende eruptie was veel fluoride-rijk gas vrijgekomen, waardoor het gras was vergiftigd². Het grootste deel van de veestapel overleefde deze vergiftiging niet (12.000 koeien, 28.000 paarden en 190.000 schapen), waarna veel mensen van de honger omkwamen. IJsland was toen nog een deel van Denemarken. De Denen zijn toen serieus van plan geweest de rest van de bevolking te evacu-

² Een vulkaan stoot flinke hoeveelheden gas uit. Daar zit ook fluoride bij. Als in de pluim boven de vulkaan de temperatuur daalt, dan zal de fluoride door condensatie aan de tuf en asdeeltjes adsorberen en een klein laagje om de asdeeltjes vormen. Doordat de kleine asdeeltjes relatief een veel groter oppervlak hebben, zit er veel fluoride aan deze asdeeltjes. Asdeeltjes verspreiden zich over een veel grotere afstand dan de tufdeeltjes, zodat een groot gebied met een dun laagje as wordt bedekt. Fluoride is flink giftig. Een concentratie van 250 ppm is al dodelijk voor vee, die waarden kunnen al bereikt worden bij aslaagjes dunner dan 0,5 mm, dan kan het vee nog best grazen! Bovendien is fluoride goed in water oplosbaar, waardoor het in het watersysteem terechtkomt. Het vee krijgt zo in korte tijd grote hoeveelheden as met fluoride en drinkwater met fluoride binnen. Ook tijdens recente erupties (bijvoorbeeld in Chili) zijn hierdoor grote veestapels omgekomen.

eren en permanent op Jutland te huisvesten. IJsland zou dan weer een onbewoond eiland zijn geworden! De IJslanders wilden er echter niks van weten. De Eldgja, die in 930 uitbarstte, is nauw verwant met het Lakagigar systeem. Bij Krafla (fig. 19b) kun je zelf schitterend zien hoe een spleeteruptie plaatsvindt, de uitbarstingen van 1975 en 1983 zijn nog vers in het landschap te herkennen. De lava van 1975 is al een beetje grijs en verweerd, die van 1983 is nog zwart en scherp, alsof de uitbarsting vorige week plaats gevonden heeft.

Tussen de basaltpakketten zijn ook landafzettingen terug te vinden van maximaal Tertiaire ouderdom. Afbraakprodukten van de vulkanische afzettingen (zand, grind, klei) komen door wind, water en ijs terecht bovenop en langs de lavavelden, kraters etc., met regelmatig inschakelingen van aslagen. Deze opeenvolgingen zijn nu vaak te herkennen aan een afwisseling van rode en grijze lagen in de heuvels. Vanaf de Miocene sedimenten (24-5,33 Ma -miljoen jaar oud-) worden zelfs plantresten terug gevonden die de afkoeling van de Aarde die leidde tot de afwisseling van ijstijden in het Kwartair (gebaseerd op gegevens uit andere gebieden) bevestigen. De plantensoorten die terug gevonden zijn geven ook aan dat tussen 14-4 Ma geleden er geen ijskappen konden bestaan op IJsland. De eerste aanwijzingen voor glaciatie hebben een ouderdom van 3,8 Ma. Waarschijnlijk was er toen sprake van geïsoleerde ijskappen op de hogere vulkaantoppen, terwijl er tussen 3,2-2,48 Ma een regionale glaciatie moet hebben plaatsgevonden. Na deze 'glaciale' periode is er een regelmatige

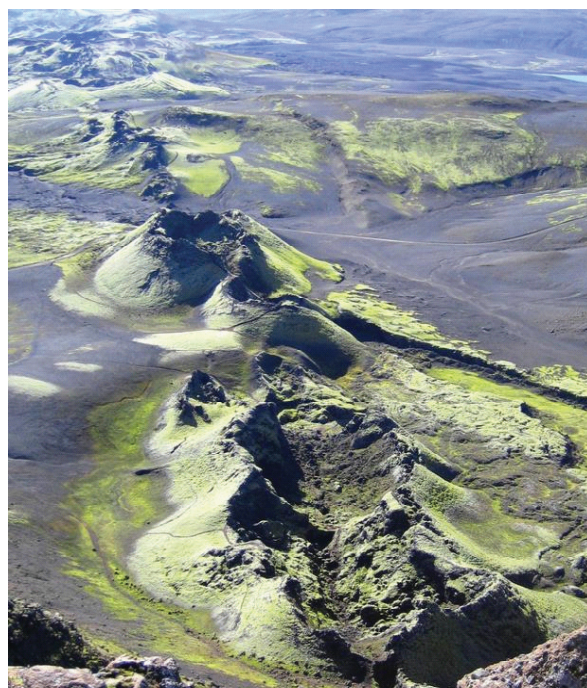
afwisseling van aanwassende en terugtrekkende ijskappen geweest. Dit soort interpretaties is gebaseerd op afwisselingen van meerafzettingen, morenen en glacio fluviale (ijs-rivier) afzettingen, zoals die nu in de sedimenten terug te vinden zijn.

Andere vulkanische gesteente zijn gerelateerd aan de hotspot, die IJsland van onder opwarmt. De korst van IJsland smelt gedeeltelijk, het magma dat hierdoor ontstaat, is rijk aan SiO_2 en dus erg taai. Erupties die hier mee te maken hebben zijn dan ook explosief en verwoestend. Gesteente dat wordt gevormd als dit magma het oppervlak bereikt (uitvloeiingsvorm) wordt rhyoliet genoemd, als het in de korst stolt voor het oppervlak wordt bereikt, dan wordt het graniet. Dit zijn allebei lichtgekleurde gesteenten doordat er veel kwarts en veldspaat in voorkomt.

Op IJsland kunnen ook de 'inwendige' afkoelings (intrusieve) gesteenten, die in de korst zijn gevormd op een aantal plaatsen aan het oppervlak bekeken worden. Dit gesteente is ontstaan als magma zover afkoelde op zijn weg naar boven dat het stonde. Je kunt deze intrusieve gesteenten dan ook vinden in gangen (als die schuin of verticaal zijn, noem je dat 'dykes', magmatische dijken) of als platen die zich tussen het al aanwezige gesteente hebben geperst. Dat betekent op IJsland meestal horizontaal. Behalve aan deze vormen als verticale en horizontale massieve basaltische lagen met een beperkte verspreiding zijn ze ook te herkennen aan een afwijkende compositie (kleur/chemie/structuur) van het omliggende gesteente. Bij de wandeling naar



Figuur 19a en 19b: Kenmerkende landschappen van IJsland; links lava veld (1975) bij Leirnjúkur, met daarover de zwart gekleurde lava uit 1983, rechts een rij kraters die tot de Laki breukvlak behoren.





Figuur 20: De as en stoomkolom van de Grimsvötn eruptie gezien vanuit een vliegtuigje op 2 november 2004. De Grimsvötn eruptie onder de Vatnajökull in 1996 zorgde voor een vergelijkbare vorming van een caldron, een lokale verzakking van de ijskap.

Hengifoss kunnen we de geologische geschiedenis in grote lijnen zien. Vaak snap je dan precies wat hier allemaal in woorden beschreven staat.

Grimsvötn is tegenwoordig IJslands meest actieve vulkaan doordat de hotspot precies onder de Vatnajökull ligt (fig.20). Gemiddeld vindt er iedere 10-15 jaar een vulkaan uitbarsting plaats. Er zijn sinds 1600 ongeveer 36 erupties geweest. De hoeveelheid geproduceerd lava en tuf is overigens vrij beperkt: zo'n 2,3 km³ als je al deze erupties optelt. Ter vergelijking, de Askja eruptie produceerde eenzelfde hoeveelheid materiaal in twee dagen tijdens de eruptie in 1875. Omdat Grimsvötn onder de grote ijskap de Vatnajökull ligt, gaan uitbarstingen vaak gepaard met gletsjerdoorbraken (jökulhlaups, fig.9). De zandvlaktes ten zuiden van de Vatnajökull zijn dan ook mede ontstaan door deze gletsjerdoorbraken. De vulkaan bestaat uit een caldera, met twee boven de ijskap uitstekende pieken met een hoogte van rond de 1700 meter. De caldera van de vulkaan is zo'n 600 m diep en, als de vulkaan 'in rust' is, gevuld met smeltwater met daarop een ijslaag van 200 à 250 meter. Bij een uitbarsting smelt deze ijslaag en ook het nodige van het omringende ijs. Als het smeltwatermeer te vol raakt, dan wordt de gletsjer door dat water opgetild en kan het meer met heel veel geweld leeglopen: de jökulhlaup. Niet alleen uitbarstingen kunnen piekafvoeren uit de gletsjer veroorzaken. In en rond de caldera van Grimsvötn komen de nodige warme bronnen en solfataren voor. Ook hierdoor ontstaan regelmatig (betrekkelijk kleine) piekafvoeren. Het smeltwater tilt het ijs langzaam op, de IJslanders die de vlakte te paard wilden oversteken, wisten dat je dat beter niet kon doen als je vanaf Skaftafell een bepaalde bergpiek niet kon zien.

Hete bronnen en fumarolen

De combinatie van dunne korst, een lage dich-

theid van de bodem, warm materiaal dicht aan het oppervlak en een grote hoeveelheid opgeslagen water (meteorisch, oceanisch en smeltwater) maakt IJsland tot een echt 'hydrothermaal' land. Op IJsland neemt de korsttemperatuur met de diepte snel toe. De gemiddelde waarde van deze geothermische gradiënt op de Aarde is 30°C per km, maar in IJsland bereikt de geotherm al waarden van 37-165°C per km, terwijl dit in vulkanische gebieden nog verder toeneemt tot ongeveer 200°C per km, met bovenin een temperatuuroename die kan oplopen tot 1°C per meter! Deze hoge temperaturen worden veroorzaakt door de langzaam afkoelende lava. Water (regenwater en smeltwater) dat door holtes en spleten de korst insijpelt, wordt opgewarmd en mineralen worden opgenomen. Door de verhitting stijgt het water weer naar de oppervlakte en komt als heet water of stoom weer aan het oppervlak in 'hete bronnen gebieden', zoals Námafjall in de buurt van Mývatn [Dag 4]. De elementen uit de opgeloste mineralen die in het neerdalende water worden opgenomen, keren deels als gassen terug naar het oppervlak (grotendeels zwavelhoudend). Als er zwavelhoudende gassen uit een fumarool komen, heet de bron een solfataar. De gassen geven een geur af als rottende eieren en neerslag hiervan geeft een veelvoud aan kleuren (fig.21). De warmte uit deze bronnen wordt onder andere toegepast als 'antivries' in de trottoirs van Reykjavík (de vertaling van het woord Reykjavík is "Rookbaai").

Gasconcentraties in fumarolen

Magma bevat altijd gas. Een deel van het gas ontsnapt al voor de eigenlijke eruptie via de fumarolen. Door bijvoorbeeld de zwavelconcentratie van fumarolen in de gaten te houden kan (hernieuwde) activiteit van een vulkaan worden vastgesteld. De zwavelconcentratie van de fumarole-gassen neemt namelijk toe als er nieuwe magma in de magmakamer terechtkomt. Het is

lastig om goede niet verontreinigde monsters te nemen van fumarolen. In 1964 is het gelukt om tijdens de Surtsey eruptie monsters te nemen (tabel 2). Tijdens de heftige (eerste) fase van de eruptie worden de gassen meegenomen in de eruptiewolk. Als de eruptie echter in hevigheid afneemt zal het gas, omdat het zwaarder is dan lucht, hellingafwaarts stromen. Een voorbeeld hiervan is de Heimaey eruptie die op 23 januari 1973 begon en eindigde op 26 juni 1973. In februari nam de hevigheid van de eruptie af en aan het eind van de maand werd er al een gevaarlijke gas-verontreiniging gemeten in de lagere delen van het nabijgelegen stadje met dezelfde naam. Gedurende dagen met weinig wind lag er een gaslaag als een blauwkleurig waas van enkele meters dik. Het bleek dat het met name bestond uit CO_2 (90 - 98%), met wat CO (tot 1%) en H_2 (tot 8%). Een dergelijk gas is uiterst giftig! Het gas dat uit de vulkaan kwam verschilde niet erg qua samenstelling van de Surtsey eruptie (zie tabel hiernaast). De samenstelling van het gas veran-

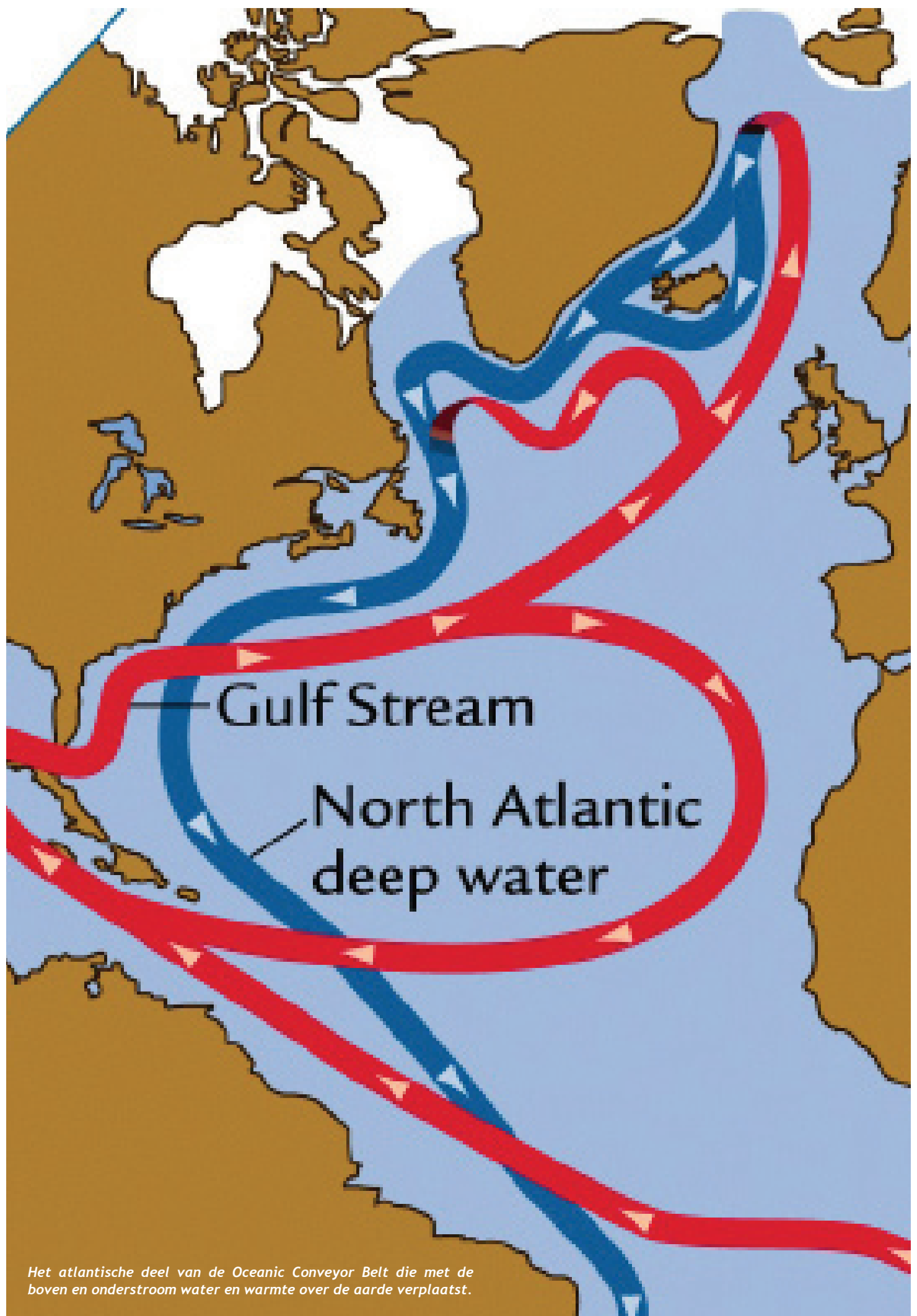
derde als het eenmaal de vulkaan had verlaten doordat de zwavel componenten verbindingen aangingen met de zuurstof en vocht in de lucht (daarmee voornamelijk zwavelzuur vormend) en dat de waterdamp en H_2 vervluchtigden, waardoor de CO_2 en CO concentratie omhoog vloog.

Tabel 2: *Overzicht van gemeten concentraties van gassen in de fumarolen van Surtsey*

	Aandeel [%]
H_2O	79,2
CO_2	9,2
SO_2	5,4
H_2	4,5
HCl	0,8
CO	0,7
N_2 en Ar	0,18
F verbindingen	< 1



Figuur 21: Links Geel gekleurde, zwavelige fumarolen en hete bronnen zijn op IJsland een bezienswaardigheid. De kleuring wordt veroorzaakt doordat opgeloste mineralen en gassen (o.a. zwaveldampen) samen met stoom aan het oppervlak komen, waar ze als een korst neerslaan op de grond.



Het atlantische deel van de Oceanic Conveyor Belt die met de boven en onderstroom water en warmte over de aarde verplaatst.

Weer & klimaat

IJsland ligt net onder de poolcirkel. Verder wordt het land aan alle kanten omgeven door de zee. Het is dan ook niet gek dat je er een koel zeeklimaat aantreft. Toch is het klimaat nog relatief mild te noemen. Dat wordt voornamelijk veroorzaakt door de warme golfstroom die vanaf de Golf van Mexico richting IJsland loopt en de Ocean Conveyor Belt (pagina links), die warm, relatief minder zout water van de Stille Oceaan naar de Atlantische Oceaan transporteert en met een diepe stroming koud relatief zout water terugbrengt naar de Stille Oceaan. De langjarig gemiddelde temperatuur op IJsland is daardoor (op zeeniveau) 4-5°C. In Reykjavík is de gemiddelde temperatuur in januari -0,4°C en in juli 11,2°C.

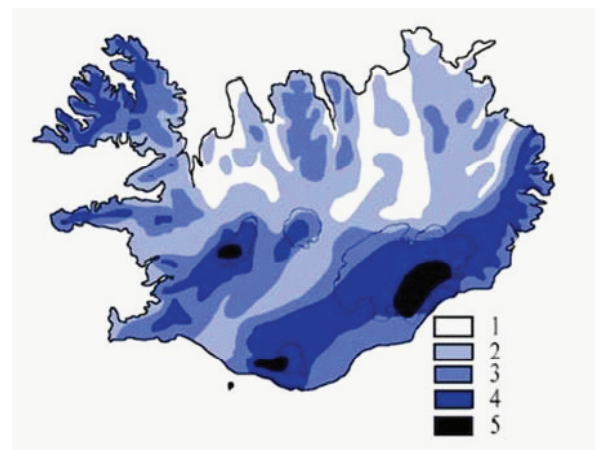
Het weer op IJsland is erg veranderlijk, wat voornamelijk komt doordat atmosferische depressies de neiging hebben om ter hoogte van IJsland de Atlantische oceaan over te steken. Een depressie die op enige afstand zuidelijk van IJsland passeert veroorzaakt relatief koel en droog weer, met name in het zuiden, terwijl een depressie die een noordelijker koers aanhoudt mild weer op IJsland tot gevolg heeft. Het weer kan ook gedurende de dag meerdere keren omslaan.

De neerslag is niet gelijkmatig over IJsland verdeeld. In figuur 22 zie je dat er delen van IJsland zijn die jaarlijks minder dan 600mm neerslag ontvangen en gebieden met meer dan 4000mm! Ook de jaarlijks gemiddelde temperatuur is niet overal gelijk. Reykjavík blijkt nog in één van de relatief warme delen van IJsland te liggen! Het binnenland van IJsland is relatief het koudste met gemiddelde jaartemperaturen die nauwelijks boven de 0°C uitkomen (fig.23).

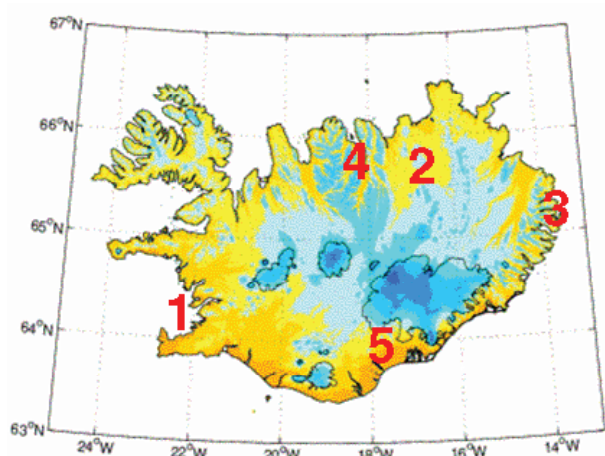
Hittegolf

Lange tijd was de hoogste temperatuur in IJsland 25,8°C, gemeten in Porvaldsstaour en in Dalatangi. Op 10 augustus 2004 steeg de temperatuur in Egilsstaðir tot 27,°C. Een zuidoostelijke wind bracht warme lucht vanuit West Europa naar IJsland. In het noordoostelijke gedeelte van het eiland steeg het kwik dinsdagmiddag tot 27,1°C. Dat was even wennen voor de bewoners van Egilsstaðir, want normaal is het hier in augustus 12,2°C. Massaal werd verkoeling gezocht in het zwembad. Ook in de hoofdstad Reykjavík was het warm met 25°C. Ook in 2009 zijn er bijzonder hoge temperaturen gemeten op IJsland. Wat het weer dit jaar in augustus brengt, is afwachten.

Weerkaartjes van IJsland:



Figuur 22: Neerslag op IJsland 1931-1960: 1. < 600 mm; 2. 600 - 1199 mm; 3. 1200 - 1999 mm; 4. 2000 - 3999 mm and 5. > 4000 mm



Figuur 23: gemiddelde jaartemperatuur op IJsland in de zomermaand juli: 1. 10,6°C; 2. 9,9°C 3. 8,0°C 4. 10,5°C 5. 11,2°C



Astronomische verschijnselen

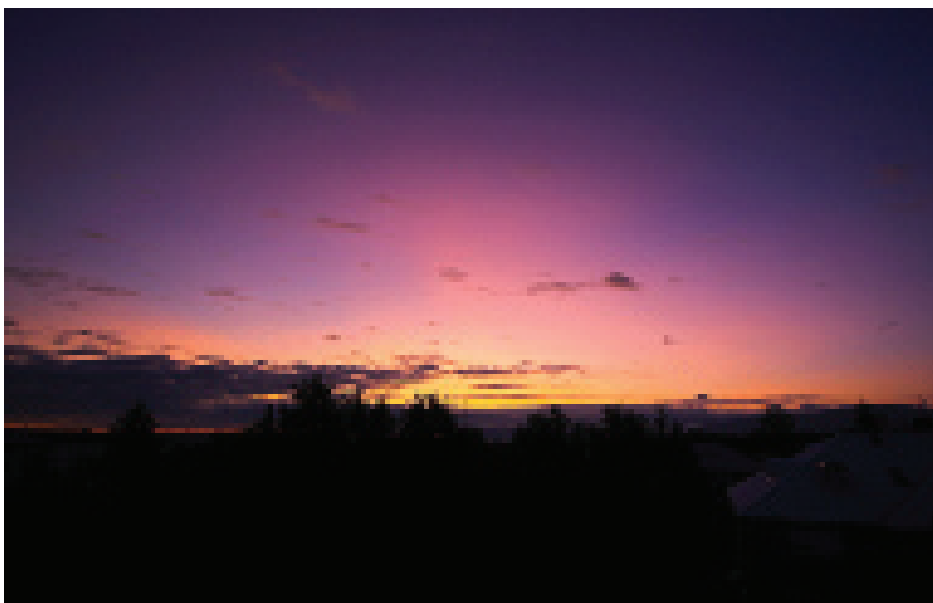
In de atmosfeer zijn vaak bijzonder kleurrijke verschijnselen te zien. De schone atmosfeer van IJsland en de geografische locatie maakt het een mooi land voor verschillende astronomisch gerelateerde hemelverschijnselen. Veel van die verschijnselen ontstaan door breking of weerkaatsing van zon- of maanlicht in ijskristallen of regendruppels. Bewolking op grote hoogte bestaande uit ijskristallen en as van vulkaanuitbarstingen zorgen vaak voor kleurrijke verschijnselen oplevert met laagstaande zon en zonsondergangen. Zo kunnen allerlei ringen, kransen, bogen in verschillende richtingen, lichtzuilen en lichtvlekken (bijzonnen) aan weerszijden van de zon ontstaan. Daarnaast zijn er ook verschijnselen als poollicht, ook wel noorderlicht genoemd dat samenhangt met uitbarstingen op de zon, waarbij grote hoeveelheden geladen deeltjes het heelal ingeslingerd worden.

Vulkanische zonsondergangen

Hoog in de atmosfeer drijven veel soorten stof en gassen rond. De afgelopen weken hing er hoog in de stratosfeer een pluim van zwaveldioxide van de uitbarsting van de Sarychev vulkaan in Rusland. De pluim heeft inmiddels het gehele noordelijke halfrond omzworven. Als gevolg hiervan zijn er op diverse breedtegraden prachtige paarsgekleurde zonsondergangen te zien.

Hoe lukt het vulkanen om zonsondergangen paars te kleuren? Het antwoord zit in de zwavelige aerosolen (stofdeeltjes) van de vulkaanuitbarsting.

Stofdeeltjes in de atmosfeer kunnen het witte licht van de zon verstrooien. Deze Rayleigh verstrooiing zorgt er voor dat de lucht overdag blauw is dat zonsondergangen meestal rood gekleurd zijn. De aerosolen die ontstaan bij vulkaanuitbarstingen doen hetzelfde. De zwavelachtige aerosolen zijn vooral goed in het verstrooien van blauw licht. Dit blauwe licht mixt met de doorgaans rode kleur van de zonsondergang waardoor een lavendelachtige tint ontstaat. De effecten van vulkaanuitbarstingen kunnen op deze manier weken lang worden waargenomen.



Figuur 24: Paarse zonsondergang boven Reykjavík op 10 juli 2009 (foto: Fredrik Holm)

Lichtende nachtwolken

Wellicht zijn tijdens het verblijf op IJsland lichtende nachtwolken bij helder weer te zien. In deze tijd van het jaar met de middernachtzon in het noorden van Europa is de kans het grootst. Het loont zeker de moeite tegen middernacht de noordelijke hemel af te speuren. Voorspellingen zijn echter onmogelijk. Het verschijnen van nachtwolken hangt van een groot aantal toevallige factoren af.

Lichtende nachtwolken zijn in deze tijd van het jaar soms te zien aan de noordelijke hemel. De wolken zitten op ongeveer 80 tot 85 kilometer hoogte. Dat is aanzienlijk hoger dan gewone wolken die tot hooguit zo'n 20 kilometer in de atmosfeer komen en meestal veel lager zitten. Na zonsondergang weerkaatsen de hoge wolken nog enige tijd zonlicht van de laagstaande zon zodat ze in de duisternis oplichten.

Het ontstaan van lichtende nachtwolken hangt samen met uiterst kleine deeltjes op grote hoogte. Dat kan stof zijn afkomstig van meteorieten. Door de zeer lage temperaturen op grote hoogte zet zich een laagje ijs af op de wolken waardoor het zonlicht wordt gespiegeld. Lichtende nachtwolken veranderen hierdoor voortdurend van vorm. Op de hoogte waarop de wolken zich voordoen komen zeer sterke luchtstromingen voor met windsnelheden van soms honderden kilometers per uur. De sterk dalende en stijgende luchtstromingen geven de wolken een zeer turbulent aanzien met golven en ribbels.

De geringe activiteit die de zon momenteel laat zien is waarschijnlijk gunstig voor de ontwikkeling van lichtende nachtwolken. Onderzoek in de afgelopen dertig jaar heeft aangetoond dat in

jaren met weinig zonneactiviteit vaker lichtende nachtwolken zijn waargenomen dan in jaren met een actieve zon en veel zonnevlekken. Tijdens een zonnevlekkenminimum koelen de hoogste delen van de atmosfeer wellicht iets meer af wat bevordelijk kan zijn voor de groei van ijskristallen op grote hoogte. Lichtende nachtwolken zijn daardoor ook vrij zeldzaam en komen zeer onregelmatig voor. Soms zijn ze meerdere keren per maand zichtbaar (zoals gedurende de maand juli van dit jaar in Nederland) maar veel zomers gaan voorbij zonder lichtende nachtwolken.

Lichtende nachtwolken zijn vanuit onze streken vooral aan de noordelijke hemel te zien omdat deze wolken alleen op hogere geografische breedten worden gevormd. Dat zegt Peter Paul Hattinga Verschure, specialist op het gebied van lichtverschijnselen aan de hemel. "In (sub-)tropische streken worden zij nooit gezien, terwijl vanuit onze gematigde breedten de Noctilucent Clouds (NLC's) daarmee in hoofdzaak in noordelijke richtingen gezien worden. Maar dit is het niet alleen: zeker in noordelijke gebieden, maar soms ook bij ons, kunnen de NLC's zich over de hele hemel uitstrekken. Maar ook dan zijn zij vooral in noordelijke richtingen te zien, eenvoudig omdat dat de richting is waar de zon zich bevindt, zodat de zonbeschenen wolken ook in die richting het langst zichtbaar blijven. Een treffend voorbeeld was 16 juni jl, toen om 23.00 uur bijna de gehele hemel boven Deventer bedekt was met NLC's, terwijl deze een half uur later alleen nog laag aan de noordnoordwestelijke hemel te zien waren. Het overgrote deel was onzichtbaar geworden omdat dat niet meer door de zon belicht werd."

bron: KNMI

Figuur 25: Een bescheiden vertoning van lichtende nachtwolken boven het Bargerveen, Drenthe



IJslandse nachten en zonnewind

De noordelijke ligging IJsland zorgt in de zomer voor bijzondere nachten met wat schemering en als je geluk hebt een paar uurtjes echte nacht. Daarnaast kan je, met een beetje geluk, genieten van de betovering van Aurora Borealis, ofwel het Noorderlicht. Je zult goed moeten kijken, want het wordt helaas niet zo donker als in de IJslandse winters, wanneer het Noorderlicht nog veel mooier schijnt te zijn. De perfecte plek om er tot diep in de nacht rustig naar te kijken, is de warme beek van Landmannalaugar.

Het poollicht hangt samen met uitbarstingen van grote hoeveelheden gas en geladen deeltjes van de zon waarbij geladen deeltjes het heelal ingeslingerd worden. Deze uitbarstingen hangen samen met de activiteit van de zon. Hoe meer zonnevlekken in er tijdens de 11-jarige cyclus zichtbaar zijn, hoe groter de kans op uitbarstingen is. Ondanks het lage aantal zonnevlekken op dit moment, is er afgelopen jaar vaak genoeg poollicht waargenomen en zijn er dus kansen om ook tijdens het verblijf op IJsland dit waar te nemen!

Het aardmagnetisch veld zorgt ervoor dat deze deeltjesstroom in de omgeving van de aarde wordt afgebogen. De stralen van ons Aardmagnetisch veld buigen op de noordpool de aarde in, waardoor de kracht per oppervlakte straling (stralingsdichtheid) van de magnetische banen

dicht bij de noordpool het grootst is waardoor het geladen zonnegas in de buurt van de noord- en Zuidpool met verhoogde snelheid de atmosfeer binnendringt.

De van de zon afkomstige deeltjes bevatten veel energie, die in de bovenste kilometers van de atmosfeer door botsingen wordt overgedragen op zuurstof- en stikstofatomen. De elektronen en protonen van de zonnewind die op dit dichte netwerk kaatsen brengen de atmosferische zuurstof en stikstof in een energetisch hoger niveau. Het hele proces dat zich afspeelt met magnetische velden en botsingen is niets meer dan een soort TL-balk effect. De energie die overgedragen wordt door de zonnedeeltjes komt uiteindelijk weer vrij en wordt op 80 tot 1000 kilometer hoogte uitgestraald in de vorm van het kleurrijke poollicht. Groene kleuren ontstaan veelal door stikstof terwijl rode tinten ontstaan door de aanwezigheid van zuurstof in de atmosfeer. De werking van dit proces werd pas in 1957 ontdekt, tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar.

Door waarnemers wordt het poollicht vaak beschreven als een lichte gloed of met licht zichtbaar als bewegende bogen, stralenbundels of gordijnen van licht en in bijzondere gevallen is het zelfs vlammen. Soms staat aan de noordelijke horizon een boog waaruit de lichtstralen als zoeklichten omhoog schieten.



Figuur 26: Poollicht boven Reykjavik



De IJslandse maan, veertig jaar Apollo

Apollo 11 was de belangrijkste missie van Project Apollo en had het doel als eerste een mens op de maan te landen. De bemanning van Apollo 11 bestond uit de astronauten Neil Armstrong, Edwin Aldrin en Michael Collins. In de Nederlandse nacht van 20 op 21 juli slaagden Armstrong en Aldrin erin veilig op de maan te landen. De vlucht met de gigantische Saturnus V raket had het drietal in enkele dagen tijd de 400.000 km laten afleggen. De raket was bij de lancering zo groot dat begin jaren '80 een afbeelding van een Saturnus V, op ware grootte tegen de Domtoren van Utrecht werd geplakt (fig.28). De hele ondernemen was astronomisch in omvang maar wordt nog steeds gerekend tot een dan de hoogtepunten uit de 20^{ste} eeuw. IJsland heeft een belangrijke rol gespeeld in de avontuurlijke ondernemen omdat het maanachtige landschap garant stond voor een ideale trainingsomgeving voor de astronauten.

Veertig jaar na Apollo 11

In de nacht van 20 op 21 juli was het veertig jaar geleden dat de Amerikaanse Apollo 11 een zachte landing maakte op de maan. De 38-jarige astronaut Neil Armstrong zette om 03.56 uur Nederlandse tijd als eerste mens voet op een ander hemellichaam. Daarbij hoorde de hele wereld via een rechtstreekste televisie-uitzending zijn historische woorden 'That's one small step for a man, one giant leap for mankind.' Samen met Buzz Aldrin verbleef Armstrong in totaal 21 uur en 36 minuten op de maan, waarvan ze 2 uur en 24 minuten buiten de maanlander doorbrachten. Op 24 juli keerden ze terug op aarde. Later zouden nog zes bemande maanvluchten

worden uitgevoerd, waarvan er vijf daadwerkelijk een landing maakten. In totaal hebben twaalf aardbewoners op de maan rondgelopen.

De landing van de Apollo 11 wordt algemeen beschouwd als een van de hoogtepunten uit de geschiedenis van de twintigste eeuw. In



Figuur 27: De missie patch van Apollo 11, ontworpen door astronaut Michael Collins. De crew wilde uitdrukkelijk niet hun namen op de patch (wat gebruikelijk was) omdat het historische perspectief veel groter was dan hun als persoon. De adelaar is afgeleid van een tekening uit National Geographic van Walter A. Weber uit 1950.

minder dan tien jaar tijd waren de Verenigde Staten erin geslaagd een compleet bemand ruimtevaartprogramma op te zetten, alle hardware ervoor te ontwikkelen, koppelmanoeuvres te oefenen, astronauten op te leiden en daadwerkelijk een mens op de maan te zetten. Het belangrijkste doel van het maanprogramma was politiek/militair: tijdens de Koude Oorlog was het van het grootste belang aan de Sovjetunie duidelijk te maken dat de Verenigde Staten heer en meester waren in de ruimte.

Maar ook voor de wetenschap is het Apollo-programma belangrijk geweest. In totaal zijn een kleine 400 kilogram maanstenen mee teruggenomen naar de aarde. Onderzoek aan het maangesteente heeft uitgewezen dat de maan zo goed als zeker ontstaan is uit de brokstukken van een catastrofale botsing tussen de pasgeboren aarde en een andere, kleinere (proto-)planeet.

De maan staat de laatste opnieuw in de belangstelling. In diepe, permanent beschaduwde kraters in het zuidpoolgebied kom mogelijk ijs voor; helium-3 van de maan kan in de (verre) toekomst wellicht gewonnen worden als goedkope energiebron, en de achterkant van de maan vormt een ideaal platform voor grote telescopen. Europa, China, Japan, India en de Verenigde Staten hebben onbemande maanverkenner in een baan om de maan gebracht; de meest recente is de Amerikaanse Lunar Reconnaissance Orbiter.

Rond het veertigjarig jubileum van de eerste bemande maanlanding worden tal van activiteiten georganiseerd. Ook verschijnen er jubileumboeken en zijn er speciale websites in de lucht gebracht. Een fantastische beschrijving over de Apollo missies en vooral het geologisch onderzoek op de maan lees je in de best-seller 'Man on the Moon' van Andrew Chaikin. Hij beschrijft op een indrukwekkende wijze aan de hand van interviews die hij hield met de astronauten zelf hoe de Apollo-astronauten getraind worden om als test-piloot eersteklas geologisch onderzoek op de maan te doen.

overgenomen en aangepast van:
Govert Schilling, www.allesoversterrenkunde.nl 18 juni 2009

Figuur 28: De afbeelding op ware grootte van de Saturnus V raket op de zijkant van de Utrechtse Domtoren. De raket zelf was met 111 meter hoog, slechts 1 meter korter dan de top van de dom.

Apollo op IJsland

Op IJsland zijn op verschillende plekken de Apollo astronauten getraind om bekend te raken met het maan oppervlak en relevante geologische formaties.

Het meer van Myvatn, in Noord IJsland dat we halverwege onze expeditie aandoen, wordt omgeven door een landschap dat zo onaards is, dat de Apollo-astronauten hier hun maanwandelingen hebben geoefend.

De Askja is ook een gebied dat voor trainingsdoeleinden gebruikt werd. Het is een actieve vulkaan in het Ódáðahraun. Askja betekent botervloot en verwijst naar een complex van meerdere caldera's die in vroeger tijden door een reeks van grote vulkanische activiteit is gevormd. Het wordt omgeven door het Dyngjufjöll gebergte en de hoogste toppen zoals de Þorvaldstindur liggen rond de 1500 meter boven zeeniveau. Het gebied is slechts een aantal maanden per jaar in de zomer te bereiken en ligt net ten noord-oosten van de Vatnajökull gletsjer. De geologische training van de Apollo astronauten is ondermeer beschreven in de best-sellers 'Man on the Moon' van Andrew Chaikin en het iets geologisch 'Moon trip' van Bert King. Hierna vind je het gehele tweede hoofdstuk van dat laatstgenoemde boek. Je kan hierin ondermeer lezen wat de astronauten op IJsland deden en hoe het landschap van IJsland in 'the big picture' past van de geologische verkenning van de maan.



MOONTRIP

by Bert King

Chapter 2: Astronaut Geology Training

We began the geology training course with 29 astronauts. John Glenn attended some of the early classes, but was not formally included since he had other obligations and was not expected to fly in the Apollo program. We began with lectures by a variety of instructors. The topics were introductory physical geology, mineralogy, petrology, and the Moon. These were presented mostly by the MSC staff and the USGS geologists. The quality of the lectures was uneven-some were good, some were awful. Some of the class members complained about a few of the instructors, and the list of lecturers was revised accordingly. The astronauts were very busy people. They had many other training courses and things to do besides study geology. We could not afford to waste their time with poorly prepared or badly presented material-this was made abundantly clear. Furthermore, the crew were not really very interested in general background; they wanted to get the information they needed for observing and collecting rocks on the lunar surface. My first lecture was delivered in February 1964. I had to cover everything they needed to know about mineralogy in a one-hour lecture. This was a tall order. I got through the material, leaving a lot of gaps out of necessity, but the astronauts seemed satisfied. I kept the roll sheet from this first class as a souvenir.

A wide range of academic ability, background, and interest existed among the group. Although we continued to lecture from time to time, we found that intensive instruction on field trips was more productive. Each instructor was assigned two or three astronauts as his students for each field trip or field exercise. That way the astronauts were not as shy about asking questions, and the instructor got to know the strengths and weaknesses of each one. We commonly made three field trips out of one. That is, all the geologist instructors, including an expert on the local area, took one trip to outline the work and compile the program. Then, usually two trips were taken with different groups of astronauts because all of them could not get together simultaneously. As crew members were named for the Gemini Program flights, we commonly lost students until after their flights. With five Gemini flights in 1965 and another five in 1966, each with a two-man crew, we were challenged to provide continuity in the instruction, but we did the best we could. We chose a set of field trip sites where there would normally be two to three days of instruction. We started with basic sites and progressed to more complicated areas and exercises. For our first field trip we selected Grand Canyon. Although this area bears no resemblance to the moon, it provides an excellent "classroom" for teaching elementary principles of stratigraphy, geologic mapping, and air photo skills. In addition, the Grand Canyon is such a scenic place that we hoped to get even the most reluctant astronaut students "hooked" on the charisma of geology and field work. Also, we could count on the help and cooperation of the Park Service in

a national park. We were pressed for time to get the canyon field trip organized.

We flew to Flagstaff and drove to the south rim. We had only one day in the canyon to plan the exercises. This meant we had to hike down and back out on the same day. We made it, but by the time we changed airplanes in Phoenix, we were hobbling around with muscle pains, leg cramps, and blisters. We could only laugh at what we must have looked like. The astronauts' better physical condition annoyed the geologists throughout the geology training course. Some of the instructors started running and exercising regularly, but it always seemed the astronauts were far ahead of us. It was particularly difficult to go from sea level in Houston to field trip localities at higher elevations. In the end, it was just a fact of life we had to accept.

Near the end of March 1964, the astronauts went on the canyon field trip, arriving with a NASA-MSC public affairs officer, Paul Haney, and a couple of NASA photographers. Several local news media representatives also were present. Everywhere we took the astronauts, the local press had to be accommodated with information, photographs, and press conference continuing problem for the field trip instructors. We hiked down the Kaibab Trail from the south rim and returned by hiking up the Bright Angel Trail to Indian Gardens, where we rode mules the rest of the way out. Mike Collins and Roger Chaffee were my students for this exercise (Photo 41). They were willing students who had no trouble grasping the concepts we wanted them to understand. The weather was



Photo 4. Astronauts Mike Collins (left) and Roger Chaffee (right) at the "Great Unconformity" in the inner gorge of Grand Canyon. Thinly bedded Paleozoic sedimentary rocks unconformably overlie much older igneous and metamorphic rocks that are deeply weathered. (Photograph by the author)

beautiful, as was the canyon. For the geologists and astronauts it was an enjoyable experience, and there was quite a bit of good-natured horsing around (Photo 5). The field work started on good footing. As we reached Indian Gardens on the way out, some of the astronauts decided to continue hiking and refused to ride mules. This small but determined group was led by Al Shepard. Feedback from the first field trip was positive. The astronauts much preferred this form of instruction to formal lectures and classes. The geologist instructors agreed that a lot of teaching and learning had been accomplished in the field with relative ease.

In April, we held another field trip to the Marathon Basin and Big Bend of Texas, with Muehlburger as the local expert. The weather was already warm and sunny in far West Texas. There, we continued to emphasize stratigraphy, but also taught some structural geology and introduced volcanic rocks (Photo 6). Like the Grand Canyon, Big Bend is a beautifully wild place, particularly in the springtime before the full heat of summer arrives (Photo 7). On the preliminary trip to Big Bend, I began to feel ill. I was having difficulty concentrating and was suffering from dizziness. When we arrived in Terlingua, an old ghost town that was once a mercury mining center, I drank a couple of cold beers, but they didn't help at all. I was eager for the day to end. It finally ended in Alpine, where I visited a local doctor who diagnosed my illness as mumps, which I never had as

a child. This was not a popular diagnosis, since several of the geologists didn't remember ever having mumps. The group lined up for gamma globulin shots as a preventive measure! I was fortunate to experience no complications and was back in action in plenty of time for the trip with the astronauts.

Most of the NASA group arrived in one of the NASA aircraft at Marfa, Texas (Photo 8), where we had to make a low pass over the runway to frighten away the antelope before landing. We proceeded via rented cars to the field trip areas. The rental cars were standard four-door sedans, not well-suited for the unimproved roads, and were returned to the rental agency

looking quite a bit worse than when we picked them up. The rental car agent was unconcerned. He simply said in a long, west-Texas drawl that he was "proud to be helpful to NASA."

There were many lessons to learn in Big Bend. One was discovered by Neil Armstrong, who hit a basalt outcrop with his rock hammer and was cut slightly on the arm by a flying rock chip. This was not the correct way to collect rock samples, either on the Earth or the Moon. Even a small cut in a space suit could have serious consequences. Wally Schirra spent a lot of time with his Haselblad "documenting" samples he collected or photographing important rock outcrops. In the cool evening, we enjoyed a few beers, a good Tex-Mex dinner, and a couple of poker games. On our way back to Marfa to board the NASA aircraft, a number of us crossed the Rio Grande into Mexico to make a "booze run" (Photo 9), taking advantage of duty-free, low Mexican prices.

About mid-year we arranged a trip to the Philmont Ranch in New Mexico, another scenic locality with good local logistical support. Jeeps were reserved from a military motor pool, there were comfortable cabins where we could stay, and breakfast and dinner were served in the cafeteria. The ranch was operated as a retreat and summer camp for Boy Scouts. The Philmont personnel were accustomed to catering to large groups, so our party would not strain their facilities. They were genuinely anxious to accommo-

date us in any way they could.

I was unable to arrive at Philmont with the rest of the group, due to a committee meeting I had to attend at the Jet Propulsion Laboratory, so I flew from Los Angeles to Albuquerque and drove to Philmont in a rented car. I had asked for the standard government-rate vehicle, but the agency was almost out of cars. They agreed to let me have a new Chevy Malibu super sport convertible for the same price. It was early evening of a clear cool night. On the radio I found Eugene Ormandy and the Philadelphia orchestra just beginning to play Scheherazade. With the top down and little traffic north of Santa Fe, the drive was memorable. Around one curve in the mountains I suddenly came face-to-face with eight deer crossing the highway. I braked and dodged--so did some of the deer. The others leaped straight up into the air. Somehow we missed each other, but I drove on at a considerably slower speed.

The geology at Philmont was pretty simple with excellent exposures of igneous and sedimentary rock types. The astronauts oriented themselves on geologic maps, measured and described stratigraphic sections (Photos 11-12), took strike-and-dip measurements, and recorded lots of field notes under close supervision (Photo 13). I spent most of my time working with Ed White, Jim Lovell, Roger Chaffee, and Al Bean, who were all good students.

Bean had heard tall stories from the locals about gold in the immediate area, and he wanted to try to pan. We didn't have any gold pans, but Bean improvised with an automobile wheel cover and an aluminum pie pan. Bean asked me to pick a place where I thought, as a geologist, that he could find gold. I told him that if I knew how to do that I would be cooling my heels on the French Riviera, rather than wandering around in the New Mexico woods. Undaunted, Bean found a place where he could pan without getting too wet (Photo 14). He was jubilant when he found some gold-colored flakes in his pie pan, but quickly came back to Earth when I identified his "gold" as weathered biotite, a black mica mineral that can weather to a soft yel-

low color but is much more brittle and much less dense than gold. During conversation at the side of the stream while "prospecting" for gold, Bean and I discovered that we had both gone through Navy ROTC at the University of Texas. Bean had been in the class two years ahead of me, but for some reason we never met during our two years of overlap at UT.

The lighthearted moments at Philmont were special. White dared the other jeeps to a race back down the mountain at the end of the day. He started off, and the challenge was quickly taken up by the other jeeps loaded with astronauts and geologists. This was not the most prudent activity for a narrow mountain road, especially with the lead jeep stopping quickly from time to time to roll a boulder or drag a dead tree into the road. During one field exercise, Lovell suddenly pretended to be overcome with emotion over geology and the great outdoors. He placed a mountain lily behind his ear, clasped his rock hammer to his breast, and managed a most noble expression (Photo 15).

At the end of one day, we stopped at a little beer joint in Cimarron. We were tired and dehydrated, and a couple of beers caught up with us in a hurry. Pete Conrad started telling jokes and kept the group completely entertained for 40 minutes. We especially liked his pilot jokes, but he soon started telling geologist jokes adapted from Texas "aggie" jokes. He was hilarious. Conrad could always work as a stand-up comic if he decided to give up the astronaut business.



Photo 14. Astronaut Al Bean attempting to pan for gold along a small creek near Philmont Ranch in northern New Mexico. (Photograph by the author)

Another day we stopped at a private museum dedicated to Kit Carson. Armstrong and I had plenty of time, so we decided to see the exhibits. They were interesting enough, but the real find was an old airplane tucked away in a corner of an old building. The plane had a wooden frame, and most of the canvas was rotted off so all the control cables and other guts of the machine were visible. Inside was a tiny internal combustion engine that looked barely capable of turning the prop. Armstrong was fascinated. It was a strange contrast to see a former X-15 rocket pilot admiring an antique open-cockpit, stick-and-rudder craft. He clearly liked flying machines.

When the Philmont trip was over, I had to drive back to Albuquerque to turn in my rental car. It also happened that Mike Collins needed a ride to Albuquerque. He had flown a jet to the Air Force base in Albuquerque on the way out, and his ride back to Albuquerque had to leave the trip early. We arrived at the Air Force base where I delivered Collins to his plane. I asked him some questions about airplanes, and he offered to show me a few things while he did his ground and cockpit checks. He performed a thorough check and then took off. I had never realized how simple small jet aircraft are. They are such elegant little craft, and it is easy for me to understand why some aeronautical engineers and pilots are so enthusiastic about them.

Field trips followed to the Bend, Oregon, area (Photos 1619) and to Valle Grande, near Los Alamos, New Mexico, to study different types of volcanic rocks. Both were excellent study areas, but working in the Valle Grande region was especially strenuous physically. Astronaut Ted Freeman (Photo 20) sprained his ankle badly. A short time later, on October 31, 1964, Freeman was killed in a flight accident near Ellington Air Force Base when his plane collided with a flock of geese.

Instruction at Meteor Crater, Arizona, and at the Atomic Energy Commission Nevada Test Site (NTS) helped prepare the astronauts for dealing with impact craters. Meteor Crater is the most recent and best preserved terrestrial impact crater, and the Sedan Crater at NTS showed many features peculiar to explosion craters, such as an overturned rim. Shoemaker, of course, was the local expert for the Meteor Crater trip. He did an excellent job of relating this structure to the impact craters on the Moon, despite the fact that Meteor Crater is formed entirely from sedimentary rocks. The overturned rim, surrounding ejecta deposits, and fall-back units could be clearly identified, and the astronauts performed

independent exercises to identify and document these and other features (Photos 21-22). Some years later, a group of astronauts toured the Ries Crater in southern Germany to see the structures and breccia textures associated with a much larger (24-kilometer diameter) impact structure.

The Hawaiian Islands offered an incomparable display of recent basaltic volcanic features. Here, except for the abundant plants and the lack of meteoritic impacts, both rough and smooth surfaces of lava flows could be compared to the Moon's surface. The landscape of the higher elevation portions of the "Big Island" could be matched only by that of central Iceland, which we visited some months later. The charm of Hawaii lured even the least interested student into remaining relatively alert and inquisitive. In January 1965, it was hard not to be excited about standing on an active volcano. Also, the astronauts were eagerly anticipating the first Project Gemini flight launch, with Gus Grissom and John Young on board, which was only two months away.

In order to study more silica-rich pyroclastic rocks, we went to Katmai National Monument in Alaska, where a huge explosive eruption of pumice and ash had filled the sky and river valley in 1912. Coming from the crater Novarupta, the eruption had drained support from under Mt. Katmai, causing the summit to collapse, thereby reducing the height of the mountain by 1300 feet (Photo 23). The ash flow deposit from the eruption had so many fumaroles and vents discharging steam that it became known as the "Valley of Ten Thousand Smokes," though no fumaroles from this deposit are active now (Photos 24-25).

We stayed at Brooks Lake Lodge and were flown each day to our exercise area on the ash flow deposit. Transportation was provided by helicopters of the Air-Sea Rescue Group based at King Salmon (Photos 26-27). Some of the flight equipment made me a little nervous because it had been pretty badly shot up, probably in southeast Asia. Though neatly patched, it was clearly stenciled "UNFIT FOR COMBAT SERVICE." The pilots knew their business, however, and our helicopter rides to and from the field areas were uneventful. The locality itself was also not without its hazards. Each evening a large bear made its way through the camp on the way to the garbage dump. We looked around carefully before walking between the dining room and the cabins. Although the bear probably would have ignored us, avoiding confrontation seemed the best policy. One of the photographers was an avid fisherman, and with

a brook full of rainbow trout and arctic grayling nearby, he was up at six every morning, tickling the water with dry flies. We all appreciated his rapport with the fish when, with the help of the cook, he provided us with a rainbow trout breakfast.

As on previous trips, we had the astronauts play the "Moon game." A pair of astronauts were placed in a field location and instructed to pretend they were on the Moon. Then they had to carry out the most important field observations: planning traverses and collecting samples. The astronauts spoke into a radio-microphone while we taped their transmissions for critical evaluation. It was an instructive exercise, and some competitive spirit quickly developed between different pairs of students. Some of the astronauts were convinced they would have a better chance of being selected for a lunar surface mission if they performed well in the geology training course.

While this perception was perfectly reasonable, I never found any evidence of this factor in the crew selection process. Comments regarding the abilities of different astronauts were off the record and were only informally passed among the geology instructors. The flight crews appeared to be selected by Deke Slayton and A1 Shepard, with Dr. Chuck Berry, the chief medical officer, empowered with final veto. Little other input seemed to bear on the selection process.

In June 1965, the selection of six "scientist astronauts" was announced by NASA, yielding to increasing pressure from the scientific community. The candidates selected had been nominated by the National Academy of Sciences and had passed numerous medical examinations. Among the group was my old schoolmate from Harvard, Jack Schmitt, the only scientist-astronaut in the group whose scientific training was in geology. The scientist-astronauts had to take jet flight training as their first task, an activity that caused considerable anxiety for some of them. We didn't see much of them for the first few months.

Early in September 1965, we camped out with a group of astronaut students in the highlands near Medicine Lake, California. Dr. Aaron Waters was the local expert in this area, as he had been in Oregon. Field exercises included the standard "Moon game" and some independent mapping. Because we were camped a long way from civilization, we had a lot of time on our hands in the evenings. Poker games became the standard recreation. You can tell a lot about a man by how he plays poker—at least you think you can. For most of us, playing poker was nothing more than diversion, with too little money at stake for anyone to take it seriously. But Buzz Aldrin came from somewhere else. He could not believe that Chaffee or I could bet 50 cents foolishly, with a pot of three dollars on the blanket, just to try to confuse him. Aldrin had earned a doctorate in astronautics from MIT,

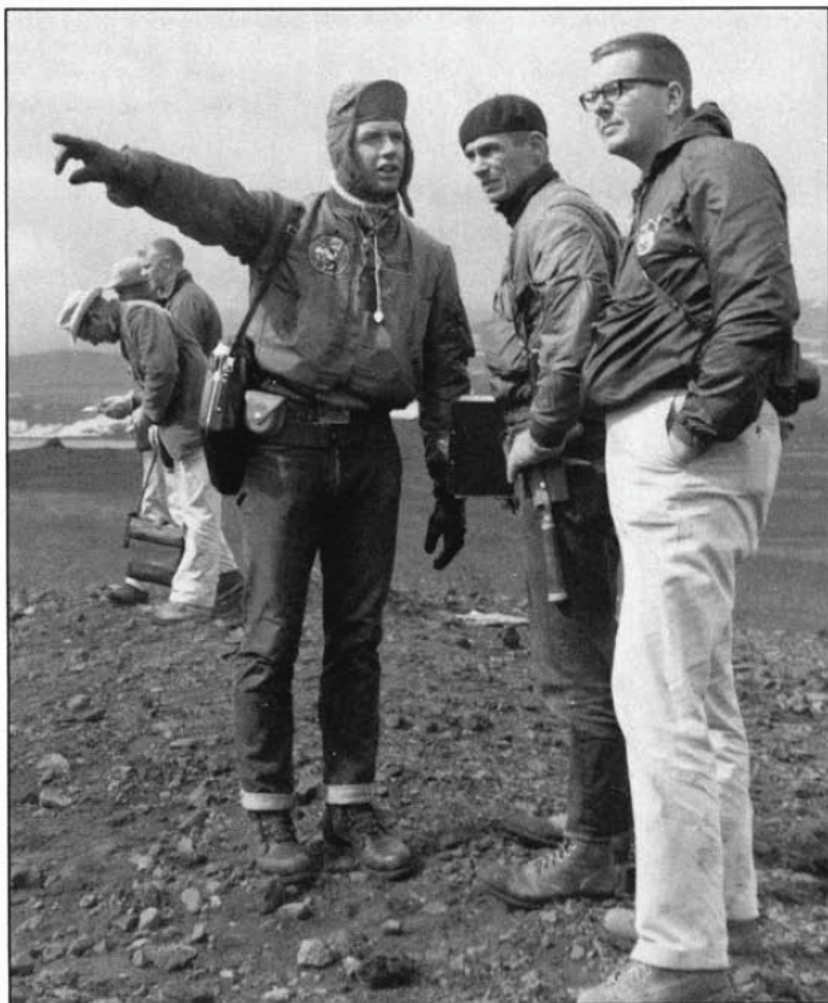


Photo 28. Astronaut Dave Scott pointing out a geologic feature to astronaut Gene Cernan (center) and the author on the rim of the Askja Caldera, Iceland. In the background, geologist-instructor Dr. Don Wilhelms (stooped over) with astronaut Rusty Schweickart and unidentified person. (NASA photograph S-65-39245)

and he played poker with the same logical, methodical technique that he had pursued academics. We had to cut the Medicine Lake trip short because a hurricane was approaching Houston and we needed to get back in time to secure our homes and families.

We took one of our best field trips to Iceland. If you want to go to a place on earth that looks like the Moon, central Iceland should be high on your list, as it beautifully displays volcanic geology with virtually no vegetation cover. The summer climate is mild and cool-particularly enjoyable if you just walked off the plane from Houston.

It was a long flight from New York to Iceland, and the airline was very generous with the liquor. We got off the plane in dense fog and stumbled around until someone found the way to the terminal. We checked into the Bachelor Officer's Quarters (BOQ) at the air base, got a few hours sleep, and went to a cocktail party and reception hosted by the base commander. It was a great party, but seemed to go on a long time. Several times I looked out the window to find that it was still daylight. So, I thought, it can't be too late, but I had forgotten how far north we were. Finally, I just couldn't party any longer and made my way back to the BOQ feeling low in spirit because I didn't have the "staying power" the astronauts had.

"We took one of our best field trips to Iceland. If you want to go to a place on earth that looks like the Moon, central Iceland should be high on your list"

When I arrived at the BOQ, I found Charlie Bassett leary out of it-talking to himself in the hall. I helped him find his room and a cot and then went to my own room feeling much better.

Our field excercises on the rim of the Askja Caldera went very well. I spent most of my time working with Dave Scott, Gene Cernan, and C. C.



Photo 29. Astronauts Dave Scott (right) and Gene Cernan (black beret) on the steep rim of a small volcanic crater in the Askja Caldera, Iceland. (Photograph by the author)

Williams. Scott and Cernan were especially adept at unraveling the sequence of geological events along the caldera rim (Photos 28-31). In addition, they knew quite a bit about the rocks.

We spent one night in sleeping bags in a little shelter hut and another night camped out in pup tents at a place called Drekagil (Photos 32-33). While erecting the pup tents, Williams read the proper procedure to us from his Marine Corps manual. He always seemed to have it with him. We had air mattresses to put under our sleeping bags, but the spiny pumice punched holes in them. Consequently, we got very little sleep that night. We also took some trips closer to Reykjavik, where we observed pillow lavas and features of basalt flows (Photos 34/35).

One advantage of working at MSC during missions was having access to the visitor room at Mission Control. However, several thousand NASA employees wanted to enter the visitor room, too. During the most interesting parts of many flights, access to the visitor viewing room was limited to a short period of time. When I mentioned my frustration over this to Ed White, he suggested I

try to get into the director's conference room because it had all the most important displays and voice circuits. I was reluctant to do so, but discovered if I just went in and sat down everyone assumed I belonged there. An "access list" existed but was rarely checked during the excitement of mission operations. The director's conference room furnished a great seat for following the Gemini orbital rendezvous in December 1965.

The increasingly frequent Gemini flight schedule made it hard to get many astronauts together very often. The pace of the field trips slowed, and we initiated a "tutorial" system. Whenever an astronaut had an unexpected schedule gap, we tried to fill it with some practical rock identification exercise or other lab practice. I was assigned to tutor astronaut Roger Chaffee. Chaffee was an eager and good student. He wanted to keep a petrographic microscope at home, so I procured one for him from the lab. My boss was concerned that we were violating law or policy by placing government equipment in private homes, but we did it anyway. We spent hours going through sets of thin sections and hand specimens, mostly of volcanic and shock-metamorphosed rocks. I was encouraged. If Chaffee landed on the Moon, he would be a capable scientific observer. On February 28, 1966, astronauts Elliot See and Charlie Bassett were killed in a plane crash in St. Louis. While trying to land in poor visibility, their plane hit a building. Both men were well-liked and had worked hard to prepare themselves for Moon exploration. That didn't seem to matter now, but we knew other crew members would make it for them.

The Gemini Program ended with the flight of

Photo 31. Astronaut Al Bean climbing up a pile of steaming volcanic cinders in central Iceland. (Photograph by the author)

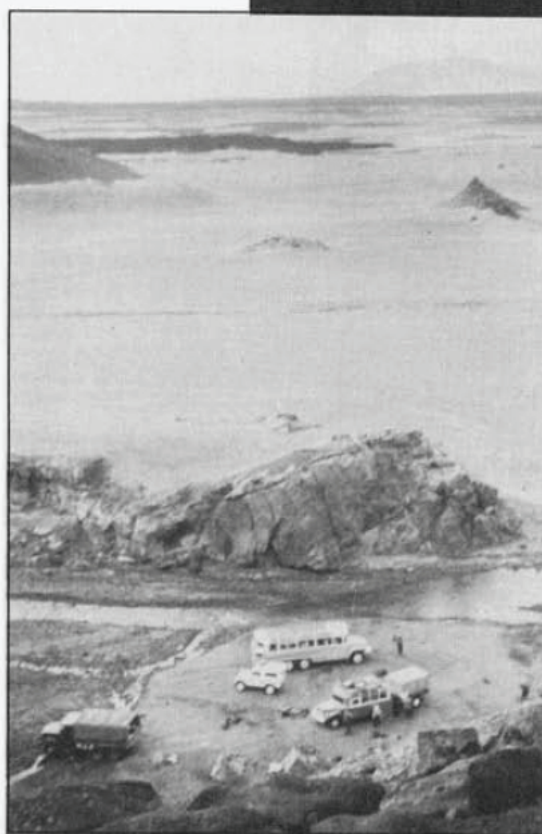
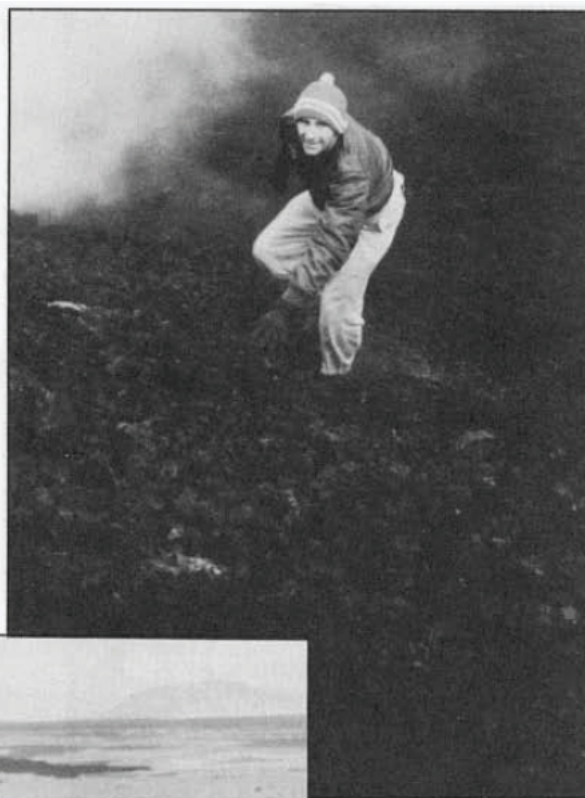


Photo 32. Field parties unloading the bus and supply trucks to set up camp at Drekgil. (Photograph by the author)

Love11 and Aldrin on board Gemini XI1 in November 1966. As with Project Mercury, Gemini was an almost flawless success. Orbital rendezvous was not only possible, it was practically routine. The Apollo-Saturn "Moon rocket" hardware would soon be prominent at the Cape. The Moon was getting closer.

A routine pad test in January 1967 at the Cape resulted in utter tragedy. Grissom, White, and Chaffee (Photo 36) were killed in a flash fire

Photo 34.
Dr. Gottmunder
Sigvaldessen (left)
and astronauts Al
Bean and Rusty
Schweickart (right)
examine the
detailed structure
of Icelandic pillow
lavas. (Photograph
by the author)



that swept through the pure oxygen atmosphere of their spacecraft cabin. We were outraged. It should have been clear to any engineer or scientist that, under high pressure, a pure oxygen cabin atmosphere would turn the slightest flame into a holocaust. It was a terrible error in judgement. I attended a funeral service in Seabrook for Ed White. The church was packed. Virtually all the teary-eyed faces were familiar. We all-too clearly remembered White and his daringspace walk. Overhead, a group of jet planes flew in formation with one plane missing. It was one of the saddest occasions I can recall.

Redesign for use of more non-flammable materials delayed the Apollo launch significantly, with the first manned flight scheduled in October 1968. In August, NASA announced the selection of a second group of scientist-astronauts, which included Brian O'Leary, a young planetary astronomer from Berkeley. O'Leary was excited to be at the space center, but his enthusiasm did not last. Only seven months later he resigned from the astronaut corps.

Now and then I was involved occasionally with some lunar surface mission planning for science experiments and experimental space suit inter-

face testing (Photos 37-38), but most of my time was spent with the Lunar Receiving Laboratory and other duties. My association with the astronaut geology training program slowly dwindled as the Apollo program moved ahead.

In October 1967, we heard that C. C. Williams lost his life in a flight accident over Florida. Once again, we were brutally reminded that flying machines are forgiving of neither pilot error nor equipment failure.

VIS VAN ONDER DE GROND

Het allersmerigste op de hele wereld: rotte haai. IJslanders, jong en oud, zijn er dol op. Alleen in te nemen met een stevig glas brandewijn.

> **Het is psychisch.** Hoe vaak hebben we dat wel niet gehoord. Net toen wij puisten kregen, kwam het in de mode om alles waar je niet aan geopereerd kon worden, psychisch te noemen. In de jaren zeventig ontstond een run op geestelijke heelmeesters die hun patiënten bevestigden dat alles aan de gecompliceerde verhouding met hun moeder lag. Patiënten blij; het lag niet aan hun eigen. Maar de eerste psychiater moet nog geboren worden die op de wezenlijke vragen het antwoord weet. Waarom gruwelt De Cocq nog altijd alleen al bij het idee van een vel op de melk. Hij had een oma die chocolademelk in een pannetje warme. Er zweefden altijd vellen in. Om die vellen wenste hij zijn oma dood.

Waar zit het hem in dat iemand iets absoluut niet eten kan, of drinken, waar anderen er niet om malen, of het zelfs heerlijk vinden. Het zit hem niet in wat men in zijn prille jeugd leerde lekker vinden, dan zou De Boer nog altijd karnemelkseppap blijven.

Aan de haven van Reykjavik op IJsland staat een betonnen gebouw, waarin elk weekend een vlooiemarkt wordt gehouden. In een hoek van de hal heeft een tiental vishandelaren een kraam. Ze hebben een fantastisch assortiment gedroogde vissen en gerookte vis. En allemaal hebben ze kleine ronde plastic bakjes met een dekseltje erop. In het bakje zitten vaalwitte blokjes vis. Het publiek mag vlokken gedroogde vis proeven. Wij kauwen er bedachtzaam op en vinden het stukken beter dan Ben Bits. Er is viskauwgum in maten en soorten. Alleen de blokjes in de plastic bakjes zien er allemaal hetzelfde uit. Ook daarvan delen de vis-



handelaren uit. Een blokje op een houten prikker.

Voor al kinderen vinden het heel lekker, zegt een visvrouw. Kinderen? Ja, als ze een jaar of drie, vier zijn, geef je ze zo'n stukje en je hebt er een tijd geen omkijken meer naar, ze kunnen er echt van genieten.

Het is verrotte haai. *Hákarl* heet het, en het wordt nergens anders gemaakt en gegeten, alleen op IJsland.

Iedereen die we een stukje op een stokje aan zien pakken, eet er van. Er worden door jong en oud bakjes met blokjes gekocht. Niet alleen kleine kleuters zijn er gek op. Maar een dame valt ons op. Niet om hoe ze er uitziet, maar om hoe ze probeert niet dood neer te vallen. Ze krijgt van een oude visboer een blokje haai aangereikt. Ze brengt het prikertje met het blokje naar zich toe. Maar op ongeveer 30 centimeter van haar kalme gezicht houdt haar hand stil.

Niets aan haar mimiek verradt wat haar overkomt. Het blokje vis verspreidt een onbeschrijfelijk smerige geur. Ze kan zich niet meer bewegen. Ze staat met het prikertje voor zich tussen mensen die dit zomaar lusten!

Het is een welopgevoede dame. Zo eentje

van de oude stempel die niet van zich af smijt wat ze niet gebruiken kan. Het is weliswaar een toeriste, maar deze doet dat nog niet. Vindt u het niet lekker?, vraagt De Cocq. De koningin van Engeland – zo ziet ze er helemaal uit en zo praat ze ook als ze weer praten kan – ontwaakt uit haar verdoving en draagt onmiddellijk het blokje vis op het stokje over. Het is haar kopje thee niet.

Hákarl wordt gemaakt van de reusachtige Groenlandse haai. Er werd voorheen op deze haaien gejaagd, maar niet voor het haaienvlees. Uit de lever werd olie gewonnen, van de huid zouden schoenen en laarzen zijn gemaakt. Het vlees is niet eetbaar. Er zit het giftige cyaan in, dat samen met waterstof het levensgevaarlijke blauwzuur kan vormen. Een Groenlandse haai weegt makkelijk 300 kilo. Het zal de arme vissers een gruwel zijn geweest om al het blanke vlees zomaar weg te gooien. Over hoe de ontdekking is gedaan, kunnen we fantaseren wat we willen, want niemand schreef het op. Het haaienvlees werd begraven. Op zich was dat niet ongewoon, er werd en wordt wel vaker vis in de grond gestopt om te bewaren voor later. Het vriest op IJsland maandenlang, de

FISKBÚÐIN MÍN



grond is een perfecte diepvrieskist. De beroemdste begraven vis is gravlax of gravad lax, dat letterlijk 'begraven zalm' betekent.

Ooit moet iemand de eerste zijn geweest die de haai opgroef om er ten einde raad, stervend van de honger, van te eten. Verrassing: hij of zij bleef in leven.

Het haaienvlees fermenteert en daarbij wordt het cyaanzuur afgebroken. De allesoverheersende geur van het gefermenteerde vlees is ammoniak. Maar wie wat langer aan zo'n blokje durft te ruiken en nog andere stanken in zijn geheugen kon opslaan, herkent ook vleugjes van een beestachtig ruikende kaassoort uit de omgeving van Herve, in België, behorend tot de topvijf van meest stinkende delicatessen ter wereld.

We hadden er een visbioloog om aangesproken. Een vriendelijke IJslandse geleerde die tot zijn pensioen bijna een halve eeuw onderzoek deed naar het gedrag van haring. Jakob heet hij, net als zijn vader, dus heet hij Jakob Jakobszoon. Of hij van hákarl wist. Jazeker, hij had het zelf weleens gemaakt. Bij zijn zomerhuisje, een kwartier rijden van

Reykjavik. Op de haaien wordt niet meer speciaal gevestigd, zei hij. Maar de beesten komen nog aan boord als bijvangst. Een buitenkansje toch nog altijd voor de vissers. Het vlees wordt in moten gesneden en zo'n moot moet de grond in, met gewichten erop. Het vraagt een rijptijd van negen maanden, daarna moet het nog wat uitwaaien in de frisse wind. Dat gebeurt na de winter. Maar het is onverstandig van me geweest, zei de visbioloog, om het bij het zomerhuisje te doen. Dat bleek een tijd lang onbewoonbaar door de lucht van deze lekkernij.

We worden uitgenodigd om bij hem thuis te komen eten. Eerst bloemkool met zalmforel, dan taart, niks aan de

hand, net Holland hier. Maar dan lijkt het of hij aarzelt. O ja, die hákarl, willen jullie daar echt van proeven? Eerlijk gezegd is dat het doel van onze reis. Op zoek naar het geheim van het smerigste product ter wereld, dat door IJslanders, jong en oud, als ultieme lekkernij gegeten wordt. Goed dan. Maar let op, zegt Jakob, ik weet de beste methode om ervan te genieten. Het moet niet in blokjes, maar in uiterst dunne plakjes op rogge-

brood. Bovendien moet het diepgevroren in plakjes worden gesneden en mogen we niet wachten tot het vlees warm is. En ten slotte dient er een glas koude brandewijn klaar te staan.

Hij wil dat we eerst zien hoe hij het zelf doet, voor we ervan eten mogen. Op een stuk brood doet hij wat plakjes rotte vis, steekt het brood in zijn mond, grijpt naar het glas brandewijn en giet het meteen in zijn geheel leeg in zijn mond. Metselen noemden wij dat, toen we melk moesten drinken bij de boterhammen.

We doen hem na en kunnen niet anders dan getuigen dat het met brandewijn erbij reuze meevalt. Het is precies wat er de volgende dag aan mankeert op de markt. De stukjes gefermenteerde haai die worden uitgedaald, zijn warm. En er is in de verste verte geen sterke drank bij te bekennen die van ons opnieuw helden maken kan.

In IJslandse supermarkten is ook hákarl te koop en zelfs op het vliegveld vonden we haai in jampotjes om er thuis van te kunnen laten proeven. Maar Jakob had ons op het hart gedrukt geen hákarl mee naar huis te nemen. Het hoort op IJsland en daar alleen moet je er van eten. Typisch psychisch. <

**een begraven haai
heeft een rijptijd
van negen maanden**

HET MOEILIK NIET TE GEBRUIKEN WOORDENBOEK

AA Een blokkige, gefragmenteerde vorm van lava in stromen van gebroken en gespleten oppervlakte. Individuele aa lava stromen zijn vaak 10 - 30 meter dik.

ANDESIET Een extrusief (uitvloeiing), intermediair vulkanisch gesteente, dat het midden houdt tussen rhyoliet en basalt; equivalent van het intrusieve (dieptegesteente) dioriet.

BASALT Een fijn kristallijn, extrusief, mafisch vulkanisch gesteente dat voornamelijk bestaat uit donkere mineralengroepen als olivijn, pyroxen en amfibool; het intrusieve equivalent is gabbro.

CALDERA Grote vulkanische depressie/verlaging, gevormd na een eruptie, waarbij de vulkaan verzakt door het (bijna) volledig legen van de onderliggende magma kamer.

CONTINENTALE DRIFT Horizontale verplaatsing of rotatie van continenten ten opzichte van elkaar.

DACIET Extrusief equivalent van granodioriet.

DIKE Een vertikaal gelaagde magmatische intrusie, die omliggende structuren en gesteenten doorsnijdt.

DIORIET Magmatisch intrusief gesteente met een intermediaire compositie tussen graniet en gabbro; extrusieve equivalent is andesiet.

ESKER Een glaciële afzetting van zand, gruis en stenen in de vorm van een continue richel, gevormd door stroming onder het ijs.

FELSISCH Een bijvoeglijk naamwoord om een lichtgekleurd, magmatisch/vulkanisch gesteente aan te duiden, dat arm is aan ijzer (Fe) en magnesium (Mg), en rijk aan feldspaten ((K,Na,Ca)AlSi₃O₈) en kwarts (SiO₂).

FELDSPAAT Silicaatdragend mineraal (SiO₄) met een 3D structuur, waarbij alle zuurstof ionen gedeeld worden ((K,Na,Ca)AlSi₃O₈)

FLUVIATIELE AFZETTINGEN Rivierafzettingen zoals klei, zand en grind.

GABBRO Een zwarte, grofkristallijn, magmatisch gesteente, bestaande uit calcische feldspaten en pyroxen (intrusieve equivalent van basalt).

GEOTHERMALE ENERGIE Energie gegenereerd door het gebruik van hitte uit de aarde komt, voornamelijk in vulkanische gebieden.

GEOTHERMISCHE GRADIËNT Een curve op een Temperatuur Druk (diepte) grafiek, waarmee beschreven wordt hoe temperatuur met druk en/of diepte in de Aarde verandert.

GEYSERIET neerslag van silica oxide bij geysers (en fumarolen).

GRANIET Een felsisch, grofkristallijn, intrusief gesteente, van kwarts, orthoklase feldspaat, natriumrijke plagioklase feldspaat en mica's (glimmers).

HOT SPOT Vulkanische uiting van een mantel pluim, een (vloeibare) warmte ontlading vanuit een vaste positie in de mantel.

HYALOKLASTIET Gebroken, glasachtige lava die tijdens subglaciële en onderzeese vulkaanuitbarstingen wordt gevormt. Het gebroken materiaal ontstaat door de snelle afkoeling en uitgassing van de lava. Veelal volgt dit materiaal kussenlava op in de stratigrafie van een subglaciële of onderzeese uitbarsting, maar wordt soms ook tussen kussenlava's gevonden.

KERN Centrale deel van de Aarde op een diepte vanaf 2900 km. De kern bestaat uit ijzer en nikkel, en onderverdeeld in een vaste binnenkern en vloeibare buitenkern.

KORST Buitenste laag van de Aarde, toplaag van de lithosfeer, bestaande uit relatief licht materiaal dat smelt bij lage temperaturen. Continentale korst bestaat grotendeels uit graniet en granodioriet, oceanische korst bestaat voornamelijk uit basalt.

LAVA Magma dat het aardoppervlak bereikt.

LITHOSFEER De buitenste harde schil van de Aarde, welke zowel de korst als het bovenste deel van de mantel bevat. De lithosfeer ligt boven de asthenosfeer, die gedeeltelijk gesmolten is.

MAFISCH Bijvoeglijk naamwoord om magma aan te duiden dat rijk is aan MAGnesium en ijzer (Fe) en relatief arm aan silica. Door de donkere mineralen die hieruit kunnen ontstaan (b.v. pyroxen, amfibool en olivijn), hebben de gesteenten vaak een donkere kleur.

MAGMA KAMER Produktie en opslag ruimte van magma (gesmolten gesteente) in de mantel of korst. Het woord is afkomstig uit het Grieks: een gekneet mengsel, vergelijkbaar met brooddeeg.

MANTEL Grootste deel van de Aarde, tussen de korst en de kern ingelezen. De overgang van korst naar mantel zit op ongeveer 35 km diepte. Op ongeveer 2900 km is de overgang naar de (buiten)kern te vinden. De mantel bestaat uit dichte, mafische silica mineralen en is opgedeeld in concentrische lagen, veroorzaakt door fase verschillen als gevolg van verschil in druk met diepte.

MEANDER Een brede, half circelvormige buiging in een rivierstroming, die zich steeds verder naar de buitenzijde en meer stroomafwaarts ontwikkelt.

METAMORFOSE Proces waarbij de originele mineralogische compositie van een gesteente omgezet wordt als gevolg van verhoogde temperatuur (> 200 oC) en druk.

MID OCEANISCHE RUG (MOR) Een langgerekte, verhoogde richel/rand op de oceaan bodem, bestaande uit kleine, iets verplaatste segmenten, met een totale lengte van 52000 km. Een MOR wordt gevonden langs divergente of spreidende plaatgrenzen, waar de korstplaten uit elkaar getrokken werden, en zich nieuwe oceanische lithosfeer kan vormen.

MORENE Een glaciale afzetting langs de rand (stuwwal) en onderzijde (keileem = till) van een ijsvlakte.

OVERSTROMINGS BASALT Een basaltisch plateau van vlak liggende, opeengestapelde gestolde stromen van basalt, gevoed door breuk erupties, en dat zich uitstrekt over tientallen kilometers.

OBSDIAAN Een gesteente gevormd wanneer magma snel afgekoeld en een hoog silica gehalte heeft waardoor er geen kristallen gevormd worden waardoor het materiaal glasachtig wordt. (Vulkanisch glas).

OFIOLIET Oceanische korst dat tijdens een gebergtevormende fase omhoog is gedrukt en nu op het land wordt gevonden.

PAHOEHOE (OF TOUWLAVA) ['pahoihoi'] Basaltische lava met glasachtig, gladde en touw vormige oppervlak.

PALAGONIET Doordat vulkanisch glas onder atmosferische condities onstabiel is, verandert het door devitrificatie (omzetting naar kristallijne vorm) en hydratatie in pelagoniet. Door deze instabiliteit is vulkanisch glas zelden ouder dan Tertiair.

PERIDOTIET Grof kristallijn, ultramafisch magmatisch gesteente, dat hoofdzakelijk bestaat uit olivijn, met kleine hoeveelheden pyroxeen en amfibool.

PINGO Heuvel ontstaan door ijsvorming in de bodem, vaak niet meer dan een tiental meters hoog. Als de bodembedekking openscheurt kan het ijs eroderen en blijft er een rond meertje met omwalling achter.

POLYGOON Regelmatige spleetpatronen aan het losse landoppervlak die aangeven dat er vorstspleten in de ondergrond zitten.

PUIMSTEEN Een soort vulkanisch glas (meestal felsisch) dat zodanig 'gevuld' is met gaten door de ontsnapping van gassen, dat het lijkt op sponsachtig materiaal.

PYROCLAST Fragment van vulkanisch materiaal dat tijdens een eruptie de lucht in wordt geslingerd.

PYROCLASTISCHE STROOM Een gloeiend hete wolk van vulkanische as, vulkanisch gesteentefragmenten en gassen die tijdens een eruptie met grote snelheid hellingafwaarts kan voortbewegen.

RHYOLIET Fijn kristallijn vulkanisch/extrusief gesteente vergelijkbaar met graniet; lichtbruin tot grijs in kleur, en vrij compact in structuur,

SANDER OF SANDR Spoelvlakte voor gletsjers, vaak doorkruist door talloze vlechtende riviersystemen.

SUPERPOSITIE PRINCIPE van het principe dat, met uitzondering van extreem gedeformeerde afzettingen, de bovenste afzettingen altijd de jongste zijn.

TILL (OF KEILEEM) Niet gelaagde (gestratificeerde) en slecht gesorteerd sediment afgezet door een gletsjer (alle maten van gesteente, van klei tot grote stenen/keien).

TILLIET Gecementeerd/gelithificeerd equivalent van een till.

ULTRAMAFISCH GESTEENTE Magmatisch gesteente bestaande uit mafische mineralen en minder dan 10% feldspaat (b.v. pyroxeen, pendentiet, amfiboliet en dunite)

UNIFORMITARISME PRINCIPE van het idee dat de mechanismes die de Aarde haar huidige vorm hebben gegeven dezelfde zijn als de processen die men nu kunnen waarnemen.

VULKANISCHE AS Een vulkanisch sediment van gesteente fragmenten (meestal glas) met een diameter kleiner dan 2 mm, dat gevormd wordt doordat ontsnappende gassen hele fijne deeltjes magma de lucht in stoten.

VULKANISCH GLAS Een gesteente gevormd wanneer magma snel afgekoeld en een hoog silica gehalte heeft waardoor er geen kristallen gevormd worden waardoor het materiaal glasachtig wordt. (Vulkanisch glas).

Bedrijfssponsors



Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek

Vernieuwing en kwaliteit. Dat zijn de speerpunten waarmee de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) werkt aan de toekomst van de wetenschap in Nederland. Samen met wetenschappers, (inter)nationale wetenschapsorganisaties en bedrijven ontwikkelt en financiert NWO onderzoeksprogramma's van topkwaliteit. Met subsidie van NWO werken in totaal zo'n 4.500 onderzoekers bij universiteiten en (NWO-)instellingen. Het budget bedraagt zo'n € 450 miljoen per jaar. NWO heeft als taak het bevorderen van de kwaliteit en vernieuwing van wetenschappelijk onderzoek, alsmede het initiëren en stimuleren van nieuwe ontwikkelingen in het wetenschappelijk onderzoek. Dat doel wordt met name door middel van toewijzing van financiële middelen aan onderzoekers en onderzoeksgroepen bereikt. Deze toewijzing van middelen richt zich in hoofdzaak op universiteiten. Daarbij let zij op het aspect van coördinatie en bevordert deze waar nodig. NWO wil bewerkstelligen dat de Nederlandse wetenschap tot de wereldtop blijft behoren en dat de huidige sterke positie verder wordt verstevigd. NWO beoogt ook een intensiever maatschappelijk gebruik van de resultaten van wetenschappelijk onderzoek, zodat de bijdrage van wetenschappelijk onderzoek aan welvaart en welzijn verder kan worden vergroot. Bij NWO en dan met name bij wetenschapsgebied Aard- en levenswetenschappen werken mensen met opleidingen zoals geofysica (TUDelft) en vanuit de aardwetenschappelijke opleidingen in Nederland.

Aard- en Levenswetenschappen (ALW) is een van de acht wetenschapsgebieden van NWO. Onderzoeksresultaten op het gebied van de aard- en levenswetenschappen zijn bepalend voor ons dagelijks bestaan. Door de spectaculaire wetenschappelijke vorderingen staat dit onderzoek wereldwijd in de schijnwerpers. Door nieuwe technieken is het mogelijk om vanuit nieuwe gezichtspunten te kijken naar het systeem Aarde en het functioneren van levende organismen.

NWO/ALW sponsort het Aarde.Nu project sinds 2004.



Deltares is het nationale advies- en kenniscentrum op het gebied van de geotechniek en heeft als missie geotechnische kennis te verwerven, te genereren en uit te dragen. Deltares heeft de ambitie om alle partijen die betrokken zijn bij bouw- en milieuprojecten optimaal te ondersteunen met kennis en ervaring over het mechanische en hydrologische gedrag van funderingsgrond en de geo-ecologische consequenties. Deltares loopt internationaal voorop wat betreft het onderzoek naar het gedrag van slappe grond (zand, klei en veen), het construeren in de grond en met grond, en het beheersen van de geo-ecologische gevolgen in de bodem. Door de grote variatie in opbouw is het gedrag van de ondergrond lang niet altijd even goed voorspelbaar. Bij bouw- en grondsaneringsactiviteiten kunnen daardoor grote risico's ontstaan. Dit geldt vooral in gebieden met een slappe ondergrond, zoals in grote delen van West-Nederland. Steeds weer blijken de eigenschappen van de ondergrond de belangrijkste onzekerheden en risico's te vormen bij bouw- en saneringsprojecten. Beheersing van die risico's staat centraal in de activiteiten van Deltares. Deltares speelt een actieve rol bij het verkennen en verleggen van de grenzen van het technisch mogelijke, het ecologisch wenselijke en het financieel haalbare. Zij adviseert over het beheersen van de risico's op het gebied van grondmechanica, funderingstechniek en geo-ecologie

Bij Deltares werken zowel specialisten (civiel-technische aardwetenschappers, geo-ecologen, hydrologen, bodemkundigen) als generalisten (projectleiders, meet en monitordeskundigen, enz).

GeoDelft sponsort het Aarde.Nu project sinds 2003.



Argo Geological Consultants is een adviesbureau op het gebied van aardgas en aardolie opsporing en winning. Onze adviseurs geven adviezen aan internationale oliemaatschappijen met betrekking tot aardgas en aardolie voorkomens, zowel in Nederland, als in de rest van wereld. Hiervoor hebben wij ervaring in verschillende disciplines van de geologie en geofysica zoals: seismische interpretatie, geologische kartering, stratigrafische studies, reservoir modelering en datamanagement van geologische en geofysische software pakketten.

Argo Geological Consultants biedt een brede range van geowetenschappelijke kennis, met name voor de olie en gas-industrie. Argo medewerkers hebben expertise in een brede range van technieken, zoals gebruikt door de grote oliemaatschappijen. Bij Argo Geological Consultants werken experts op het gebied van de productie geologie, reservoir geologie, productie seismologie, petrofysica, reservoir engineering en productie technologie. Wij werken veelal gedetacheerd op het kantoor van onze klant, waar wij dan deel uitmaken van een multidisciplinair team. Onze klanten zijn onder andere Agip, Kazakhstan North Caspian Operating Company (AGIPKCO), Clyde Petroleum Exploratie BV, Continental Netherlands Petroleum Company (Conoco), Mobil Production Netherlands Inc. (MPNI), Nederlandse Aardolie Maatschappij BV (NAM), Shell, TotalFinaElf, Universiteit Utrecht (IVA), Wintershall Noordzee BV.



TNO Bouw en Ondergrond (voorheen TNO-NITG) is het centrale geowetenschappelijke informatie- en onderzoeks-instituut van Nederland, ten behoeve van het duurzaam beheer van de ondergrond en de ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen. Het instituut behoort tot de publieke infrastructuur van Nederland. Het instituut vormt de Nederlandse component van de EuroGeoSurveys van de Europese Unie en van de andere internationale netwerken van de publieke geo-instituten.

Functies van TNO Bouw en Ondergrond omvatten verzamelen, verwerven, kwaliteitsborgen, archiveren, analyseren, interpreteren en verstrekken van geowetenschappelijke data en informatie betreffende de Nederlandse ondergrond; Verrichten van toegepast geowetenschappelijk en gerelateerd technologisch onderzoek; Complexe geowetenschappelijke advisering, waaronder als huislaboratorium advisering van het Ministerie van Economische zaken inzake exploratie en productie van delfstoffen, geothermische energie en opslag van stoffen in de diepe ondergrond; Toegankelijk maken en overdragen van niet-confidentiële geowetenschappelijke kennis en andere resultaten van onderzoek; Realiseren van een doelmatige en doeltreffende aansluiting van universitair en toegepast geowetenschappelijk onderzoek en advisering.

TNO Bouw en Ondergrond beheert één digitaal bestand van consistente geowetenschappelijke data en informatie betreffende de bodem/ondergrond van Nederland en heeft één gedocumenteerd informatiecentrum (aardwetenschappelijke bibliotheek), toegankelijk voor alle geowetenschappers. Bij TNO Bouw en Ondergrond werken onder andere geologen, bodemkundigen, milieukundigen, hydrologen en hydrogeologen samen om de ondergrond van Nederland in kaart te brengen.

TNO Bouw en Ondergrond sponsort het Aarde.Nu project sinds 2003.



Aarde.NU

...is een samenwerkingsverband van alle Aardwetenschappen opleidingen aan de Nederlandse Univeristeiten. Winnaars van de landelijke profielwerkstukwedstrijd kunnen op expeditie naar IJsland dankzij de inspanningen van de volgende partijen:



Universiteit Utrecht



WAGENINGEN UNIVERSITEIT
WAGENINGEN UR

