

Zeer fijne magnetische goethiet- en heematietdeeltjes in klapperstenen, geïdentificeerd met behulp van Mössbauer Spectroscopie

A.A. van der Horst, A.M. van der Kraan* en J.J. van Loef*, D.J. Liefink**, en C. Joosten+

Samenvatting

Klapperstenen vormen een ijzererts dat op grote schaal tijdens de middel-eeuwen gewonnen werd. Vindplaatsen in Nederland van deze stenen liggen veelal ten noorden van het toenmalige ijsfront van de Saale-glaciatie. Aangenomen wordt (1) dat ze gevormd worden door de oxidatie van siderietconcreties, die afgezet zijn door Pleistocene rivieren (pre-Saalien). In detail was de ware identiteit van deze minerale ijzeroxides evenwel nog niet vastgesteld. In de Mössbauer-spectra van de vijf verschillende onderzochte stenen, waarvan er één een oorsprong ten zuiden van het ijsfront heeft, domineert goethiet terwijl in de meeste ook heematiet is aangetroffen. Er zijn geen aanwijzingen voor de aanwezigheid van sideriet. In de kern van één van de stenen bleken extreem fijne magnetische deeltjes aanwezig te zijn (2). Uit

het onderzoek bleek ook dat de samenstelling van het mantelmateriaal en de kern van de klapperstenen niet hetzelfde was. In het geval van de zuidelijke steen, uit Pleistocene afzettingen langs de Maas, bleek het gehalte aan ijzer in de kern sterk af te wijken van dat in de mantel. Deze kennis zou bij kunnen dragen aan een beter begrip m.b.t. de vorming van klapperstenen. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat de vorming van de ijzeroxides in klapperstenen middels verschillende processen gaat, afhankelijk van de bodemvormende condities in het verleden.

(1) W.J. van de Burg, *Palaeo* 3, 6, 105, 1969.

(2) A.M. van der Kraan, *Proefschrift*, Delft, 1972.

Adressen van de auteurs

* Interfacultair Reactor Instituut, TUD, Delft.

** Faculteit der Mijnbouwkunde en Petroleumwinning, TUD, Delft.

+ Faculteit der Aardwetenschappen, Rijksuniversiteit Utrecht.

Oproep:

Wie bezit één of meer **gesloten** klapperstenen afkomstig uit het gebied van de Veluwe of ten noorden daarvan en wil een exemplaar aan mij afstaan voor natuurwetenschappelijk onderzoek daaraan?

Adres:

Dr. J.J. van Loef, Westplantsoen 194, 2613 GS Delft, telefoon 015-135706.

Stuwwalonderzoek met behulp van foto's; de Turtmann-gletsjer in Wallis, Zwitserland.

Jan Jaap van Dijke & Jaap J.M. van der Meer.

Glaciaal geo(morfo)logisch onderzoek van de vakgroep Fysische Geografie van de Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen heeft zich onder meer toegespitst op glaciotektonische verschijnselen. Hiertoe vindt sinds 1985 onderzoek plaats aan een stuwwal gevormd door de Turtmann-gletsjer in Zwitserland. Doordat het stuwingsproces voor 1985 is begonnen en het gebrek aan kennis over die periode het onderzoek hinderde, is er beroep gedaan op toeristen die in de periode vóór 1985 foto's hebben gemaakt van de omgeving van de snuit van de Turtmann-gletsjer. De reacties hebben er toe bijgedragen dat reeds verzameld onderzoeksmateriaal met andere ogen is bekeken en de kennis over actuele randglaciale verschijnselen op een bijzondere manier is uitgebreid.

Inleiding

Het bestuderen van stuwwallen als het produkt van glaciotektonische processen heeft tot doel het beschrijven van de wijze waarop een gletsjer of ijskap de ondergrond deformeert. Stuwwal-

len lenen zich bij uitstek voor glaciotektonisch onderzoek, omdat dit één van de weinige vormen van glaciotektoniek is die niet alleen ónder, maar ook vóór het ijs ontstaat.

Bekende voorbeelden van fossiele stuwwallen in Nederland zijn de Utrechtse Heuvelrug en het Veluwe-complex, welke het gevolg zijn van het oprukkende landijs dat gedurende de

Saale-ijstijd (130.000 jaar geleden) ons land bereikte.

De stuwwallen in Nederland zijn echter alleen geschikt om het eindresultaat van stuwning te bestuderen. De glaciologische en hydrologische condities die hebben geheerst tijdens de Saale-ijstijd zijn moeilijk te reconstrueren en leiden tot veel discussies. Zo is er nog altijd onzekerheid over de rol van permafrost bij stuwwalvorming in Nederland. Teneinde de glaciologisch en hydrologische condities te beschrijven, die aanleiding geven tot het ontstaan van stuwwallen, moeten we dus stuwwallen niet als (fossiel) verschijnsel maar als het resultaat van een (actueel) proces bestuderen.

Om meer te weten te komen over het proces van stuwwalvorming doen glaciaalgeologen onderzoek in gebieden die op dit moment vergletsjerd zijn; bijv. in IJsland (Heim, 1984; Humlum, 1985; Krüger, 1985), Noord-Canada (Kálin, 1972) en Spitsbergen (Gripp, 1929; Boulton & Van der Meer, 1979; Van der Wateren, 1992). Onderzoek in polaire gebieden ligt hierbij voor de hand, maar leidt in het algemeen tot zeer dure expedities en zorgt voor veel logistieke problemen (Van der Meer & Boulton, 1986). Een andere mogelijkheid is onderzoek in alpiene gebieden (Haeberli, 1979). Het nadeel is dat gletsjers hier veel kleiner zijn dan de grote ijskappen van de Pleistocene ijstijden en meestal op steile, vastgesteente-hellingen liggen. Daar staat tegenover dat alpiene gletsjers veel beter te bereiken zijn (Van der Meer & Boulton, 1986).

Dit maakt het mogelijk een veldwerkgebied vaker te bezoeken en het proces van stuwwalvorming nauwkeuriger te volgen.

Bij de Turtmanngletsjer in het Zwitserse kanton Wallis heeft de vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde van de Universiteit van Amsterdam een geschikte locatie gevonden voor de bestudering van stuwwalvorming. De stuwwal aan de snuit van de Turtmanngletsjer is ontstaan als gevolg van een relatief kleine gletsjeruitbreiding die begon na 1970 (Eybergen, 1987). Deze gletsjeruitbreiding is niet uniek voor de Turtmanngletsjer, maar is in die periode bij meer dan de helft van alle gletsjers in het Alpengebied geconstateerd (IAHS/UNESCO, 1977).

Het Amsterdamse onderzoek aan de stuwwal bij de Turtmanngletsjer vindt plaats sinds 1985 en duurt nog steeds voort. De nadruk bij het onderzoek ligt op het gedurende langere tijd bestuderen (monitoring) van het stuwingsproces teneinde meer te weten te komen

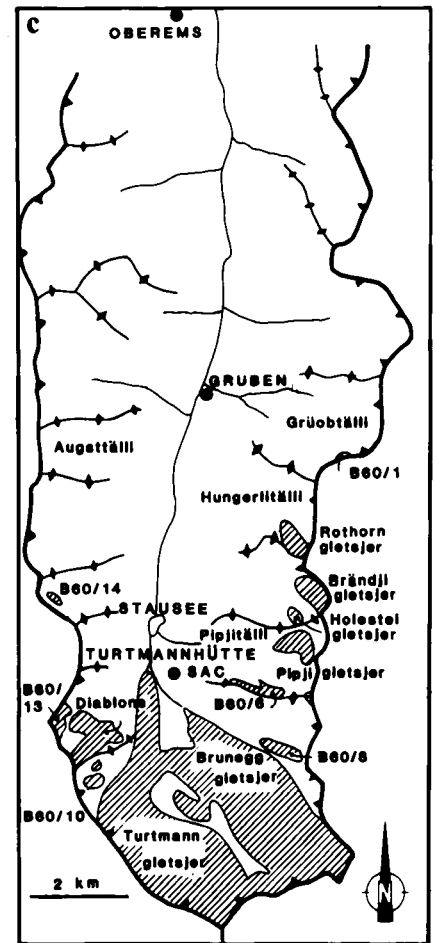
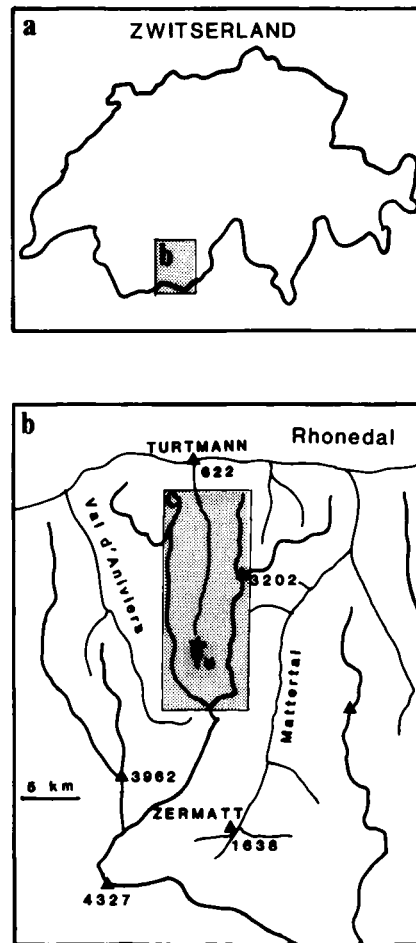


Fig. 1. De lokatie van het Turtmandal in Wallis, Zwitserland en van de daarin gelegen gletsjers. De stuwwal ligt aan het uiteinde van de Turtmanngletsjer.

over de omstandigheden die stuwwalvorming sturen.

De lokatie

Het Turtmandal is relatief klein, smal en enigszins lastig te bereiken (figuur 1). Het toerisme heeft hier dan ook nog niet zo toegeslagen als in de naastgelegen dalen. De weinige toeristische attracties bestaan uit enkele hoge bergtoppen, waarvan de Bishorn met 4153 meter de hoogste, is voor de echte bergbeklimmers en de Turtmannhütte die een doel is voor veel dagjestoeristen.

Op de flanken van de Bishorn ligt een enorm firnveld van waaruit iets lager twee gletsjers dalwaarts stromen. Oostelijk en vanuit de Turtmannhütte goed zichtbaar vinden we de Brünegg-gletsjer die eindigt op een hoogte van 2500 meter. De grootste hoeveelheid ijs wordt echter afgevoerd via de, in een iets westelijker laagte gelegen, Turtmanngletsjer. De snuit van de Turtmanngletsjer reikt ook lager en ligt op 2215 meter. Op de westelijke helling aan het eind van het Turtmandal ligt de Diablongletsjer, de laatste gletsjer van enige omvang in het dal (figuur 1). Het smeltwater dat voornamelijk via twee beken van de gletsjers stroomt,

wordt opgevangen in een klein stuwmeer dat mede gebouwd is door een aluminium-verwerkende fabriek in het Rhonedal.

De stuwwal voor de snuit van de Turtmanngletsjer is te herkennen als een kleine heuvel van ongeveer 15 meter hoog en 100 meter breed. Deze ligt op het als een drumlin gewelfde terrein tussen de twee smeltwaterbeken (figuur 2). Het oppervlak van dit terrein bestaat uit een laag zeer kleiige grondmorene, van onbekende dikte.

Dat het hier om een stuwwal gaat, is te zien aan de positie, de vorm als geheel en de specifieke detailvormen van het oppervlak en vooral in een ontsluiting aan de oostelijke zijde van de stuwwal. De ontsluiting is ontstaan doordat de oostelijke smeltwaterbeek de stuwwal hier erodeert.

Het oppervlak van de stuwwal bestaat uit een serie parallelle, kleinere ruggen. De richting van deze ruggetjes is loodrecht op de stromingsrichting van het gletsjerijs. De kleinere ruggen zijn aanwijzingen voor het in elkaar schuiven (compressie) van sediment door gletsjerbeweging. Het materiaal van het stuwwal oppervlak bestaat overwegend uit smeltwaterafzettingen in de vorm van grof, sterk afgerond grind. In

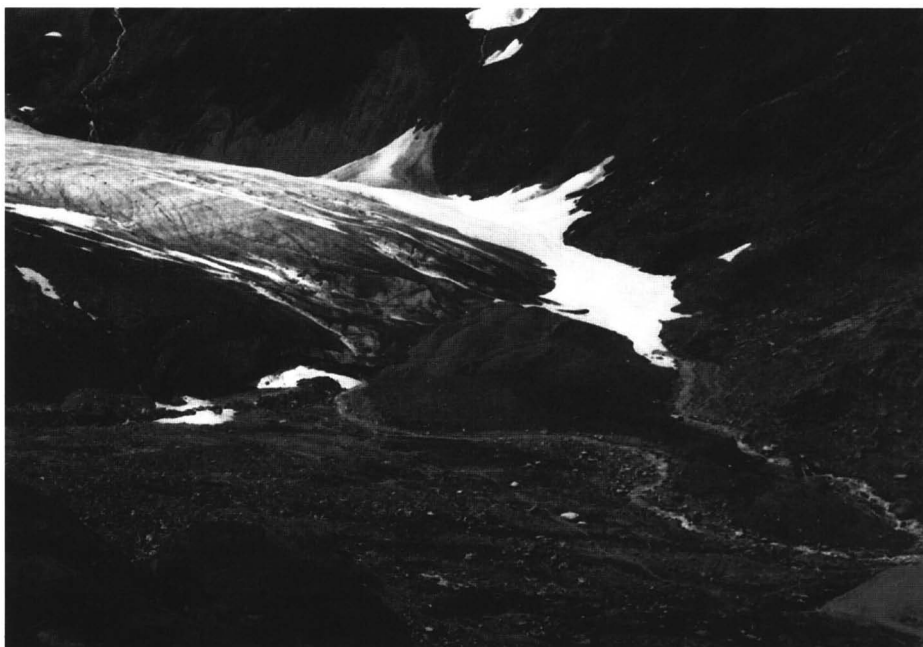


Fig. 2. De snuit van de Turtmanngletsjer in 1988 van bovenaf en uit het noordoosten gezien. De stuwwal, gelegen op het terrein tussen de twee smeltwaterbeken is duidelijk ontwikkeld. Voor het oostelijke deel van de gletsjer (rechts) ligt alleen een smalle dumpmorene.

de ontsluiting is bovendien te zien dat de onderliggende grondmorene is gedeformeerd door gletsjerbeweging. De deformatie aan de oostelijke zijde heeft geleid tot opstuwing en inschakeling van grondmorene in de smeltwaterafzettingen.

Uit metingen van de veranderingen van het stuwwaloppervlak blijkt dat gedurende de zomermaanden het stuwwaloppervlak in zakt met meerdere decimeters tot meer dan één meter. De conclusie is dat een deel van de stuwwal uit ijs bestaat. Middels enkele boringen is deze ijskern ook vastgesteld. Het blijkt dat de ijskern voor een groot deel de stuwing tijdens de winter kan verklaren. De deformatie van de stuwwal gedurende de winter is namelijk veel groter en reikt verder dan, op grond van eigenschappen van de grondmorene en smeltwaterafzettingen alleen, verwacht mag worden. De aanwezigheid van de ijskern hangt direct samen met het ontstaan van de stuwwal en kan als volgt worden verklaard. In de eerste plaats blijkt uit foto's dat er op de gletsjer een dek van puin aanwezig is geweest, die waarschijnlijk samenhangt met het uitsmelten van stroomopwaarts aan de gletsjerbasis opgenomen sediment. Ook is het mogelijk dat het hier gaat om een verzameling puin, die door bergstort of lawines op het gletsjeroppervlak terecht is gekomen; lawines komen aan de westkant van de gletsjer veelvuldig voor. In de derde plaats heeft de snuit van de Turtmanngletsjer zich op een bepaald moment in een hoeveelheid proglaciale smeltwaterafzettingen ge-

drukt, die daardoor ook deels over het ijsoppervlak kwam te liggen.

Onderzoek met behulp van foto's

De stuwwal en de gletsjer zijn vanaf 1985 regelmatig ingemeten, waardoor er op dit moment een goed beeld is verkregen van de ontwikkeling van de stuwwal vanaf 1985. Van de periode vóór 1985 weten we echter maar weinig.

Een in de aardwetenschappen veel gebruikte techniek, om veranderingen in een landschap te bestuderen, is sequentiële luchtfoto-analyse. Dat wil zeggen dat de luchtfoto's van een aantal jaren met elkaar worden vergeleken. Van de Turtmanngletsjer zijn toevalligerwijze vanaf 1970 voor elk jaar luchtfoto's beschikbaar. Dat is uiteraard eerder uitzondering dan regel. De reden dat er jaarlijks luchtfoto's zijn gemaakt van het bovenste deel van het Turtmannal hangt samen met de interesse van glaciologen in de stabiliteit van de Diablonsgletsjer, waarvan de snuit op een zeer steile helling ligt. De kans dat een deel van de snuit naar beneden stort wordt door de Zwitserse overheid serieus genomen. Het naar beneden stortende ijs zou, indien het in het stuwmeer terecht komt, een dusdanige vloedgolf kunnen veroorzaken dat dit een gevaar zou kunnen betekenen voor de veiligheid van de stuwdam en dus van de lager in het dal verblijvende bevolking.

Luchtfoto's zijn bijzonder geschikt wanneer deze gebruikt worden in stereoparen en met behulp van een stereo-

scoop worden bestudeerd. Op de luchtfoto's is de stuwwal als een zeer kleine detailvorm te zien. Vanwege de (boven het hooggebergte) noodzakelijke grote vlieghoogte is de stuwwal echter zo klein dat het diepte-effect geen invloed heeft op het stereobeeld van de stuwwal, er zijn geen details te zien. We zien alleen een accumulatie van sediment aan de snuit van de stuwwal als een duidelijk waarneembare lichtgrijze vlek. Omdat deze lichtgrijze vlek ook al zichtbaar is op de luchtfoto's van 1970, lag de conclusie voor de hand dat het hier de stuwwal betrof en dat deze dus al zeer snel, na het aanvangen van de gletsjeruitbreiding uit het begin van de zeventiger jaren, moest zijn ontstaan.

Mede omdat de stuwwal op de luchtfoto's niet in detail zichtbaar is en gedetailleerde informatie over het gletsjervoorland van voor 1985 ontbreekt, was de nieuwsgierigheid naar terrestrische foto's die van kortere afstand genomen zijn groot. Deze waren echter niet direct beschikbaar. Een oplossing voor dit probleem werd gevonden door een ingezonden brief te plaatsen in de ANWB Kampioen van januari 1990, waarin Nederlandse bezoekers van het Turtmannal gevraagd werd naar foto's uit de periode voor 1985. Uit de ingezonden reacties is gebleken, dat de oorspronkelijke interpretatie van het ontstaan van de stuwwal gewijzigd moest worden. Het blijkt namelijk dat er gedurende het begin van de jaren zeventig geen sprake was van een stuwwal, maar veeleer van een randglaciale situatie die vergelijkbaar is met de huidige toestand aan de oostelijke kant van de gletsjersnuit (zie figuur 2), nl. de vorming van een dumpmorene. Dumpmorene is een term die gebruikt wordt voor een morenewal die opgebouwd wordt uit puin dat van de gletsjer rolt, schuift of valt en waar fijn sediment aan wordt toegevoegd door modderstromen, stromend water en wind.

Op figuur 3 uit 1979 is een groot deel van de gletsjersnuit te zien, waarbij opvalt dat ook de westelijke helft van de gletsjersnuit (rechts en midden op de foto) bedekt is met een dunne laag supraglaciale puin (vergelijk de puinbedekking in figuren 2 en 3). Voor het ijs ligt een kleine ongestuwde dumpmorene. Een detaillering van deze situatie is gefotografeerd in 1981 (figuur 4). Geheel rechts op deze foto is het deel van de ijsrand te zien, waarvoor zich de kleine dumpmorene heeft gevormd. Ook is goed te zien dat het ijs boven deze morene veel vuiler is in vergelijking met de situatie in 1988 (figuur 2).

Hoewel we tot nog toe geen gedetailleerde foto's van de gletsjersnuit uit de



Fig. 3. De snuit van de Turtmanngletsjer in 1979 (foto H.P. Croes) vanuit het noorden gezien. Langs vrijwel de gehele gletsjersnuit heeft zich een dumpmorene gevormd. Het verschil met de situatie in 1988 is vooral duidelijk op het terrein tussen de twee smeltwaterbeken. De uitvergroting toont dat in een deel van de dumpmorene een ijskern voorkomt (zie de lichte vlekken in het puin midden voor de gletsjer).



Conclusie

Het gebruik van beeldmateriaal bij onderzoek naar historische gletsjer gebeurtenissen is niet nieuw. Zo is een belangrijk gedeelte van de verworven kennis over de kleine ijstijd, waarbij er een maximale gletsjeruitbreidingen is geweest aan het einde van de vorige eeuw, gebaseerd op de bestudering van schilderijen van alpiene gletsjerlandschappen, die in die periode zijn gemaakt (zie bijv. Zumbühl, 1980). Het aardige is dat die schilderijen niet speciaal gemaakt zijn voor dat doel. Iets soortgelijks geldt voor het beeldmateriaal dat beschikbaar is over de randglaciale situatie van de Turtmanngletsjer. De bezoekers van het Turtmannadal die ons foto's hebben gestuurd, waren zich wellicht op het moment dat zij hun camera's afdrukten niet bewust van de wetenschappelijke waarde van het resultaat.

Naast de wetenschappelijk waarde van het beeldmateriaal, is een belangrijke bijkomstigheid van deze onderzoeksmethode, dat de onderzoeker voor zijn bewijsmateriaal uit zijn ivoren toren moet komen. Door het veelal persoonlijke contact dat we gedurende dit onderzoek met niet-wetenschappers

periode tussen 1981 en 1985 hebben kunnen bemachtigen, is wel met zekerheid te zeggen dat het stuwingsproces pas na 1981 (na de situatie die in figuur 4 is vastgelegd) kan zijn begonnen. Doordat de stuwwal in 1985 al een behoorlijke omvang had en in 1981 er alleen nog maar een kleine dumpmorene te zien is op de foto's, lijkt het waarschijnlijk dat er pas vanaf 1982 sprake kan zijn geweest van een stuwwal. Deze schatting is onmiskenbaar een enorme verbetering ten opzichte van onze oorspronkelijke aanname. De reconstructie van de omvang en snelheid van het stuwingsproces krijgt hierdoor een heel andere dimensie.

Fig. 4. Detail van de frontale situatie in 1981 (foto J.J. Baars) genomen voor de gletsjer langs naar het westen, vanaf de oever van de oostelijke smeltwaterbeek. Het is duidelijk dat er in dit jaar alleen een dumpmorene en nog geen stuwwal voor de gletsjer ligt. De stuwwal op figuur 2 moet dus ná 1981 ontstaan zijn.



hebben gehad, is tot ons genoeg gebleken dat er bij een groot publiek veel belangstelling bestaat voor het glaciaal geo(morfo)logisch onderzoek.

Abstract

Since 1985 the formation of a push moraine by the Turtmannglacier in Wallis, Switzerland has been monitored. Because the glacier started readvancing in 1970, and annual air photo's showed some sediment accumulation at the glacier front, we worked from the assumption that push moraine formation started in that year. A request in the monthly of the Dutch Motoring and Tourist Association ANWB brought a number of terrestrial pictures from before 1985. From these pictures it became evident that until 1981 there only existed a dumpmoraine. Hence push moraine formation did not start until 1982. It demonstrates that pictures taken by tourists can be fruitfully used for scientific purposes.

Dankwoord

Graag willen wij de redactie van de ANWB Kampioen bedanken voor het plaatsen van onze oproep. Vervolgens willen wij de volgende personen en families hartelijk bedanken voor het belangeloos en in goed vertrouwen ter beschikking stellen van vakantiefoto's, dia's en zelfs films:

J.J. Baars (Hoek van Holland); P.J. Bakker (Delft); L.G.J. Boxstart (Breda); J. Bredevelde-de Boer (Zwolle); P.C. Brinkerink (Rijswijk); H.P. Croes (Voorburg); J.F.A. van Drunen (Oosterhout); S.L. de Haan-Couzy (Bennekom); W.A. Haring

(Zwanenburg); J.C. de Koning (Valkenswaard); T.J. Lankveld (Hengelo/Ov); W. Luijk (Scherpenzeel); D. Nomen (Haastrecht); F. Rhebergen (Emmen); P. Siegers (Amerongen); J.B. Sterken (Capelle a/d IJssel); H. Veerman (Steenbergen).

De medewerkers van GRID (Universiteit van Amsterdam) waren behulpzaam bij de reproductie van al het binnengekomen beeldmateriaal.

Indien u na lezing van dit artikel tot de ontdekking komt dat ook u de Turtmanngletsjer wel eens heeft gefotografeerd, kunt u alsnog contact opnemen met de tweede auteur.

Adres van de auteurs:

Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde
Universiteit van Amsterdam
Nieuwe Prinsengracht 130
1018 VZ Amsterdam

Literatuur

- Boulton, G.S. & van der Meer, J.J.M. (eds) 1979. Preliminary report on an expedition to Spitsbergen in 1984 to study glaciectonic phenomena (Glacitecs'84). Rapport No. 37 Fysisch Geografisch en Bodemkundig laboratorium, Universiteit van Amsterdam.
- Eybergen, F.A. 1987. Glacier snout dynamics and contemporary push moraine formation at the Turtmannglacier, Wallis, Switzerland. In: J.J.M. van der Meer (ed), Tills and glaciectonics. p. 217-231. Balkema Rotterdam.

- Gripp, K. 1929. Glaciologische und geologische Ergebnisse der Hamburgischen Spitzbergen Expedition. Abhandlungen der naturwissenschaftlichen Verein Hamburg 22, p. 147-247.
- Haeblerli, W. 1979. Holocene push-moraines in alpine permafrost. Geografiska Annaler 61A, p. 43-38.
- Heim, D. 1984. Stauchmorenengenese durch die Entwicklung eines Gletscherfusses am Kottljökull, Südisland. Polarforschung 54, p. 21-36.
- Humlum, O. 1985. Genesis of an imbricate push moraine, Höfðabrekkujökull, Iceland. Journal of Geology 93, p. 185-195.
- IAHS/UNESCO 1977. Fluctuations of glaciers 1970-1975 (Vol 3). International Commission on Snow and Ice of the International Association of Hydrological Sciences and UNESCO, Paris.
- Kälin, M. 1971. The active push moraine of the Thompson glacier. PhD Thesis ETH Zürich, 86 pp.
- Krüger, J. 1985. Formation of a push moraine at the margin of Höfðabrekkujökull, South Iceland. Geografiska Annaler 67A, p. 199-212.
- Meer, J.J.M. van der & Boulton, G.S. 1986. Hernieuwde belangstelling voor onderzoek van stuwwallen. Eerste resultaten van de Glacitecs'84 expeditie naar Spitsbergen. KNAG Geografisch Tijdschrift 20, p. 236-244.
- Wateren, F.M. van der 1992. Structural geology and sedimentology of push moraines. Proefschrift, Universiteit van Amsterdam, 230 pp.
- Zumbühl, H.J. 1980. Die Schwankungen der Grindelwaldgletscher in den historischen Bild- und Schriftquellen des 12. bis 19. Jahrhunderts. 279 pp. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Band XCII.

Steenkoolbed Methaangas Winning. Gas uit kool

George Snijder

In vroeger jaren werd een zware misdadiger met een vlammetje de kolenmijn ingestuurd om het mijngas tot ontploffing te brengen. Overleefde hij het, dan was hij vrij. Later zijn er subtielere manieren gevonden om het ongewenste gas uit de kolen naar de atmosfeer te laten ontsnappen.

Tegenwoordig zijn er in de Verenigde Staten alleen al meer dan 6000 putten waaruit mijngas commercieel wordt geproduceerd.

Mijngas of methaan (CH₄) is de lichtste van de koolwaterstofverbindingen, waaruit aardgas en aardolie bestaan. Ons aardgas bestaat voor 84% uit methaan en verder uit zwaardere gassen, waarin koolstofatomen en waterstofatomen met elkaar zijn verbonden en ook stikstof en kooldioxide.

Nederlandse kool

Ook in de ondergrond van Nederland zit een grote hoeveelheid kool. Afgezet tijdens het Carboon, zo'n 300 miljoen jaar geleden, toen Nederland bedekt was door moerassen.

De omgevallen bomen, varens en andere plantenresten verdwenen onder water, gingen niet rotten maar werden ingekoold.

Onder invloed van de druk van de bovenliggende lagen werd het organisch

materiaal, afkomstig van bomen en planten, omgezet in turf, vervolgens in bruinkool, steenkool en uiteindelijk in anthraciet.

De kolen uit het Carboon vormen de voornaamste bron van onze aardgasvelden. In Limburg ligt de kool dicht genoeg onder de oppervlakte om er met mijnen bij te kunnen. Ook onder de Achterhoek en de Noordoostpolder ligt de kool relatief ondiep (niet dieper dan 2000 meter).