

de bijzondere plaats die de Aarde in het zonnestelsel inneemt duidelijk geworden. Het is de sterk van andere planeten afwijken- de atmosfeer die de Aarde uniek doet zijn. Deze atmosfeer maakt het Leven mogelijk; dit leven is echter aan zeer enge grenzen gebonden. Er moet dan ook een wereldwijd regelsysteem bestaan, dat factoren als temperatuur en samenstelling van de dampkring binnen deze perken gebracht heeft en ze ook daarbinnen houdt. De rol van koolzuurgas, dat voornamelijk door vulkanisme wordt geproduceerd, is hierin evident. De evolutie van levende organismen heeft de samenstelling van de atmosfeer sterk beïnvloed: door de fotosynthese van bepaalde bacteriën en later de planten is het zuurstofgehalte in de loop van zo'n 4 miljard jaar dusdanig

toegenomen, dat van lieverlee hogere diergroepen en de mens zich konden ontwikkelen.

Aan de hand van interessant feitenmateriaal wordt aangegeven, hoe de materie en het leven elkaar beïnvloeden en in evenwicht houden. Hoe toevallige en onbedoelde processen de evolutie stimuleerden. Het uiteindelijke produkt: de mens, is in staat dit alles in een filosofie te omvatten; hij is ook in staat in het systeem Aarde ten kwade in te grijpen.

Met welke achtergrond men ook tegen de Aarde en het Leven aankijkt, het is verruimend, van dit boekje kennis te nemen. Het is een aanschaf ten volle waard.

J.S.-v.B.

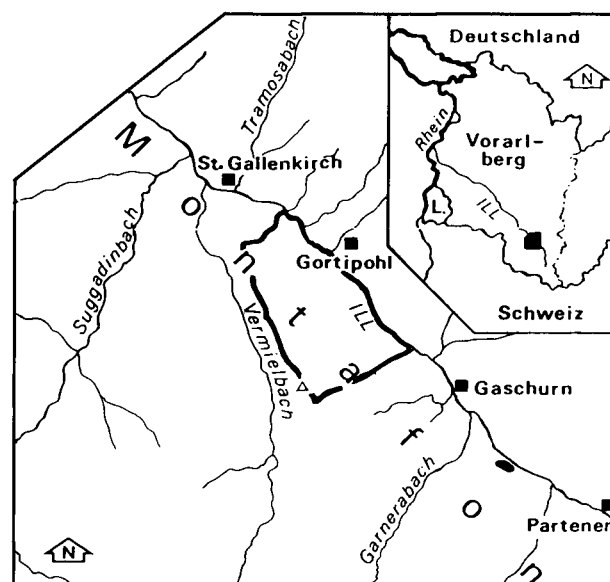
Wegaanleg op uiteenvallend metamorf gesteente: een geotechnische puzzel

door A.C. Seijmonsbergen en J. Rupke
Universiteit van Amsterdam *)

Inleiding

Als vervolg op het artikel over natuurgevaren die in een alpien landschap kunnen voorkomen (zie *Gea*, vol. 25, nr. 4, dec. 1992), willen we met dit artikel ingaan op het op grote schaal desintegreren van metamorf gesteente. Dit proces van uiteenvallen van het gesteente, dat in een alpien landschap voornamelijk onder invloed van druk-ontlasting van glaciaal versteilde hellingen plaatsvindt, is in de geologische en geomorfologische handboeken een ondergesneeuwd, maar meer waarschijnlijk, een niet onderkend onderwerp. Toch is dit wel degelijk een belangrijk landschapsbepalend proces; de groeiomstandigheden voor bomen op dit type hellingen kunnen sterk wisselen, afhankelijk van de mate van desintegratie en de beschikbaarheid van bodemvocht. Bosbouwkundig betekent dit, dat bosbestanden op dit soort "ongunstige" hellingen minder opbrengsten in m³ hout per tijdseenheid opleveren. Minstens zo belangrijk is de beschermende functie ten aanzien van lawines op steile hellingen (*Schutzwald*); de minder vitale bospercelen hebben heel duidelijk meer te lijden van lawineschade. Daarnaast geven deze gedesintegreerde gesteente-hellingen bij de aanleg van constructies (boswegen, ski-pistes, rioleringen, etc.) vaak niet-voorziene problemen, zowel tijdens de aanleg als bij het onderhoud.

Zeker in de huidige tijd, met zijn uitbreiding van constructies t.b.v. toerisme en toenemende bevolkingsdruk, is het van groot belang dat de geologische gesteldheid van de ondergrond op z'n juiste waarde wordt geschat. De helling, die in dit artikel ter sprake komt, vormt een extreem voorbeeld van een massabewegings-gebied waar men, wanneer men er voor het eerst doorheen klimt, door de chaotische verspreiding van bomen en de snel wisselende vormen en onregelmatigheden, letterlijk en figuurlijk het bos niet meer ziet. De enige zinnige manier om, ruimtelijk gezien, een aanbeveling te kunnen doen omtrent de lokatie en het traject van aan te leggen boswegen, is om met een op het probleem toegesneden legenda, op gedetailleerde schaal het gebied in kaart te brengen. Dit vergt uiteraard een intensieve veldcampagne. Door de lokale bosbouwdiensten in Vorarlberg (Oostenrijk) werd de Alpine Geomorphology Research Group van de Universiteit van Amsterdam gevraagd, een dergelijke analyse te geven en moge-



Afb. 1. Lokatiekaartje met daarop aangegeven de in kaart gebrachte instabiele helling.

lijk alternatieve aanbevelingen te doen. Een beknopte weergave van de aanpak en analyse van dit geotechnische probleem wordt hieronder besproken.

De probleemstelling

De bewuste met bos begroeide helling bevindt zich op de schaduwzijde (zuidhelling) direct ten zuiden van de dorpjes St. Gallenkirch en Gortipohl (zie afb. 1 en 2), die deel uitmaken van het bekende ski-gebied Montafon in Vorarlberg (Oostenrijk). Het gebied wordt doorgaans aangeduid met de naam Garfrescha,

*) Dr. J. Rupke
Dr. A.C. Seijmonsbergen
Alpine Geomorphology Research Group
Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, UvA
Nieuwe Prinsengracht 130
1018 VZ Amsterdam



Afb. 2. Overzicht van het gebied. Links van het midden de met bos bedekte, instabiele hellingen van Garfrescha. Vanaf het midden naar links onder toe is de met gras begroeide skipiste van Versella duidelijk herkenbaar. Op de voorgrond het dorp St. Gallenkirch. Opnamerichting naar het zuiden.

naar de lokale skipiste die zich aan de rand van het gebied bevindt. Sinds jaar en dag werd het bos op traditionele manier, met de hand, onderhouden. Door het ontbreken van handarbeid in de huidige tijd is elders het bosonderhoud sterk gemechaniseerd. Deze machines kunnen op deze steile hellingen niet efficiënt gebruikt worden, diensgevolge werd het onderhoud van deze bossen verwaarloosd. Dit heeft tot gevolg gehad, dat een groot deel van het bosbestand nu bestaat uit bomen van 70 jaar en ouder. Dit is bosbouwkundig gezien zeer ongunstig, omdat diversiteit ontbreekt. Ook kunnen dit soort bomen, wanneer ze te oud en te zwaar worden, bij hoge windsnelheden makkelijk omvallen. Men spreekt dan in het Duits van een "Windwurf". Het uitgangspunt was om het onderhoud van het bosbestand met moderne hulpmiddelen weer mogelijk te maken. Hiervoor zijn toegangswegen noodzakelijk. Op grond van de afstand van de lokale waterscheiding tot de dalbodem zou de beste oplossing zijn om drie boswegen aan te leggen op onderling gelijke afstand. In de praktijk betekende dit dat er antwoord moest komen op de volgende vragen:

- Welke wegtrajecten kunnen zo goedkoop mogelijk worden aangelegd?
- Welke trajecten waarborgen een optimale veiligheid tijdens de aanleg van de wegen en daarna?
- Bij welke trajecten is het toekomstig te verwachten onderhoud het geringste?
- Langs welke trajecten vindt er bij aanleg een zo min mogelijk verlies aan houtbestand plaats?

Om op al deze vragen een onderbouwd antwoord te kunnen geven werd besloten om een zeer gedetailleerde geomorfologische kartering uit te voeren, schaal 1:7.500. De ruimtelijke verspreiding van de diverse geologische en geomorfologische fenomenen en de hierin herkenbare patronen kunnen dan op hun waarde worden beoordeeld. Deze kaart dient dan als uitgangspunt voor een gevaren-zoneringskaart. Op grond van de gevaren-zoneringskaart wordt dan de uiteindelijke trajectkeuze vastgelegd. Hierbij aansluitend werden in het veld structuurmetingen aan het gesteente uitgevoerd en in de analyse meegenomen.

Geologie

De geologie van het gebied Garfrescha is bijna volledig op geologisch kaartblad 169 Partenen Oost (1:25.000) te vinden. Dit blad is in 1984 gepubliceerd door de Geologische Bundesanstalt Wien (zie adres in literatuurverwijzing). Hierop is te zien, dat de helling onderdeel uitmaakt van het Silvretta dekblad. Dit dekblad bestaat volledig uit kristallijne gesteenteformaties en is uit zuidelijke richting over sedimentaire pakketten heengeschoven tijdens de Alpine gebergtevorming, zo'n 10-20 miljoen jaar geleden (Mioceen). Het gebied ligt niet ver van het beroemde "venster van Gargellen", waar men de contacten tussen bovenliggend metamorf gesteente en onderliggende kalksteenpakketten heel duidelijk kan waarnemen.

Opmerkelijk op de geologische kaart van het gebied is de in oppervlak geringe weergave van "vast gesteente", d.w.z. gesteente dat niet door enigerlei hellingprocessen, zoals afschuiven en opbreken in kleinere eenheden, is aangetast. Wel is over het grootste gedeelte van deze helling zogenaamd hellingpuin, dat is afbraakmateriaal van het gesteente, als een dek over de helling aangegeven. Dat dit niet overal klopt, wordt uit de geomorfologie duidelijk.

Het gesteente bestaat grotendeels uit hoornblendegneis en amfiboliet-houdende formaties, zoals het merendeel van het Silvretta dekblad. De mineralogische samenstelling van de aangetroffen gesteenteformaties is relatief beperkt. De volgende associaties worden aangetroffen:

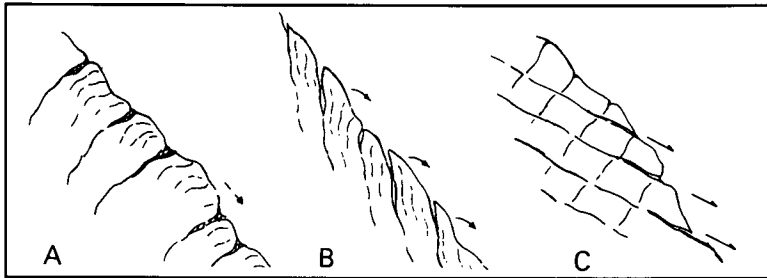
- Plagioklaas-amfiboliet met grote hoeveelheden hoornblende; kwarts is tot bijna 5% aanwezig. Epidoot-amfibolietrijk gesteente (met minder dan 5% carbonaat) en granaat-amfibolietrijk gesteente (met een aandeel van meer dan 35% granaat) komen ook voor.
- Hoornblende gneis is minder belangrijk; ingeschakelde sericiet-chlorietgneis-voorkomens zijn ook waargenomen.

Het uitgangsgesteente (moedergesteente) van de huidige metamorfe series moet van sedimentaire oorsprong zijn geweest. Dit is waarschijnlijk, temeer daar de originele, door kwartsmineralen bepaalde gelaagdheid nog gemakkelijk in het veld herkenbaar is. Tijdens de regionale metamorfose en tectogenese heeft nauwelijks plooïing plaatsgehad; de gelaagdheid binnen het gehele gebied is vrij constant en helt tussen de 22° en 42° naar het noorden tot noordoosten. De splijtvlakken zijn goed ontwikkeld in de ingeschakelde glimmerschisten en minder goed in de meer kwartshoudende formaties.

Ondanks deze vrij monotone mineralogische opeenvolging van gesteentelagen zullen we zien, dat de diversiteit van breuk- en diaklaasvlakken in het gesteente vaak de oorzaak is van het instabiele gedrag van de helling. Een belangrijke factor, die vaak wordt vergeten, is de schurende werking van voormalige dalgletsjer-systemen. Deze heeft tot zeer steile hellingen geleid en heeft de instabiliteit langs breuk- en diaklaasvlakken vergroot. Dit proces van reageren van het gesteente op post-glaciale drukontlasting van de steilwanden werkt ook nu nog door. Inzicht in de processen die tijdens en na de laatste ijstijd (in dit gebied zijn de gletsjers zo'n 10.000 jaar geleden verdwenen) gespeeld hebben is daarom van groot belang.

Geomorfologische processen

Tijdens de laatste Pleistocene glaciatie in de Alpen (d.i. de Würm glaciatie) hebben de vroegere gletsjersystemen het dal tot een hoogte van 1800 m uitgeslepen. Daarbij zijn de dalhellingen enorm versteild door deze *glaciale erosie*. Erosie door rivieren of door de zwaartekracht neigt ertoe, steeds minder steile hellingen te vormen: de processen streven naar een evenwichtssituatie op een helling, die afhankelijk is van het type materiaal waaruit zo'n helling bestaat. Glaciale erosie evenwel kan zeer steile hellingen vormen. Dit komt voornamelijk, omdat de helling een tegendruk (gewicht) van de ijsmassa's ondervindt. Wanneer de ijsdruk uiteindelijk door afsmelten van de gletsjer wegvalt, is deze tegendruk op de blootgekomen helling weggevallen en nemen zwaartekracht en erosie door water de procesgang op de hellingen weer over. Onder invloed van de zwaartekracht gaat het gesteente als het ware "terugveren" (Eng.: tensional rebound), om de verstoorde spanningsverhoudingen binnen het gesteente weer in een nieuwe staat van evenwicht te brengen, parallel aan de



Afb. 3. Drie veelvuldig voorkomende vormen van instabiliteit in het gekarteerde gebied. Zie de tekst voor uitleg.

Rekspleten

Het proces van *rekspleetvorming* bepaalt het aanzicht van grote delen op de helling. Er zijn spleten gekarteerd die verscheidene kilometers lang en tien tot twintig meter breed zijn. De terrehelling blijft vaak parallel te zijn aan de geologische laaghelling.

Dit kan onder natuurlijke omstandigheden leiden tot

een situatie, waarbij het gesteente door langzame bewegingen via een netwerk van rekspleten uiteen wordt getrokken. Karakteristiek voor dit fenomeen is het onregelmatige, uit enorme blokken bestaande terrein zonder bodembedekking. Deze blokken werden traditioneel aan bergstortingsprocessen toegeschreven. Dit proces verklaart het voorkomen van deze blokkenhellingen eigenlijk door het in situ desintegreren van het gesteentemateriaal. Op dit soort hellingen (zie afb. 4) wortelen bomen evenwijdig aan de spleetsystemen, terwijl de helling in zijn geheel naar beneden beweegt. Op luchtfoto's verraadt de lineaire vegetatiestructuur dan vaak de aanwezigheid van rekspleten op zo'n helling. De diepte van deze rekspleetsystemen kan aanzienlijk zijn. Uit reconstructie met behulp van hellingprofielen blijkt, dat het gesteente tot meer dan 100 m diep door deformatie beïnvloed kan zijn.

Geomorfologische beschrijving van het gebied

Een gedeelte van de gedetailleerde geomorfologische kaart op schaal 1:10.000 (verkleind tot 70%) is in afb. 5 getoond. Voordat deze kaart gereed kwam zijn de volgende stappen doorlopen:

- Vooraf een grondige interpretatie van bestaande zwart/wit luchtfoto's, schaal 1:25.000, met behulp van een stereoscoop, dat is een apparaat waarmee men twee opeenvolgende, elkaar 60% overlappende luchtfoto's drie-dimensioneel kan interpreteren.
- Uitvergroten van de voorhanden zijnde hoogtelijnen van de topografische ortho-fotobasiskaart tot schaal 1:7.500 waarop in het veld getekend kan worden.
- Een eerste terreinverkenning waarbij de legenda wordt bijgesteld en de algemene relaties tussen geologie, geomorfologie, instabiliteit, vegetatie en de patroonanalyse van de zwart/wit luchtfoto's wordt geverifieerd.
- Dit laatste wordt herhaald met aanwezige infra-rood luchtfoto's, schaal 1:10.000.
- Dagelijks werden doorsteken door het gebied gemaakt, waarbij herhaaldelijk een terugkoppeling werd gemaakt met de infra-rood luchtfoto's.
- In zeer kritische stukken werden veldmetingen verricht; deze geologische structuurmetingen en terrehellingmetingen werden in zgn. stereografische projecties weergegeven.

oorspronkelijke, vóór de vergletsjering aanwezige, toestand. De structuur binnen het gesteente, met name de aanwezigheid van diaklazen, breuken, spijltvlakken, de richting en dichtheid en de staat van verwerking waarin deze voorkomen, bepalen uiteindelijk of en welk type massabeweging in gang wordt gezet.

In het gebied Garfrescha blijkt de hoek tussen diaklaasvlakken en de terrehelling van doorslaggevend belang te zijn. Afb. 3 laat drie situaties zien. Doorsnede A is een min of meer stabiele situatie. De diaklaasvlakken hellen het gebergte in en doorsnijden het oppervlak volgens een gunstige, omhooggerichte hoek. Massabeweging zal beperkt zijn tot het zeer langzaam hellingafwaarts bewegen van de bovenste gesteentelagen, waarbij ombuiging aan het oppervlak kan plaatsvinden. In situatie B echter, ontstaan instabiele gesteenteblokken doordat de diaklaasvlakken steiler hellen en in dezelfde richting als de terrehelling. In deze situatie kunnen rekverschijnselen (zgn. "rekspleten") gevormd worden, die het uiterlijk van een helling volledig gaan bepalen. In de derde situatie C dagzomen de geologische laaghellingen of diaklaasystemen en hellen in dezelfde richting, maar minder steil dan het terreinoppervlak. Hierbij kunnen grote gesteenteblokken instabiel worden. Dit vormt de meest bedreigende situatie in het gebied Garfrescha.

Naast de bovengenoemde factoren zijn er een aantal andere processen en fenomenen die een bepalende rol spelen in de hellingontwikkeling in dit gebied. Dit zijn met name:

Verwerking

Het proces van *verwerking*, waardoor gesteentemateriaal fysisch maar ook chemisch gezien uiteen valt onder invloed van temperatuursveranderingen en oplossing. Ook verwerking is een proces dat het gesteente naar een nieuwe evenwichtssituatie wil brengen. Het metamorfe gesteente is gevormd bij zeer hoge drukken en temperaturen en gedraagt zich onder die omstandigheden stabiel ten opzichte van zijn omgeving. Wanneer zo'n gesteente echter aan het oppervlak komt, zijn temperatuur en druk totaal anders als ten tijde van de vorming van het gesteente. De omzetting van fyllitische mineralen ("bladsplijters") in kleimineralen is van belang. Deze nieuwgevormde kleimineralen kunnen water binden aan hun plaatstructuur. Binnen dit metamorfe pakket gesteente kunnen deze kleiige verweringszones als schuifvlakken gaan dienen, waarover de bovengeslagen massa's gaan afglijden.

Water

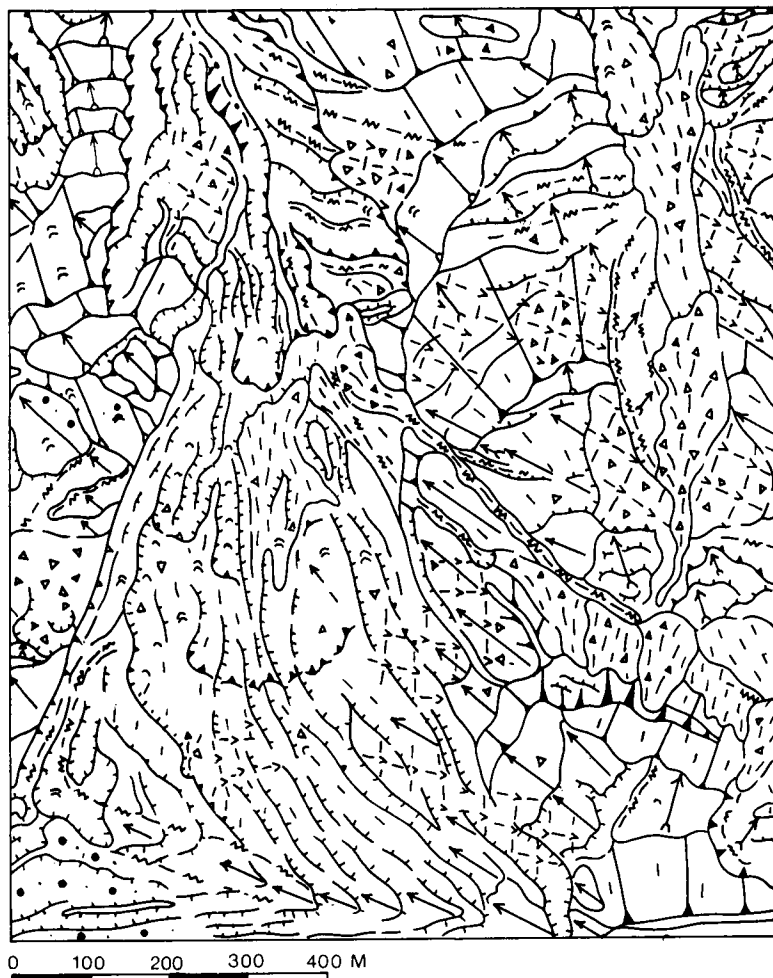
De rol van *water* is vaak een cruciale factor in de hellingstabiliteit. Het beschikbare water kan de sterkte van het gesteente langs diaklaasvlakken enorm reduceren. Uiteraard moet het water deze vlakken kunnen bereiken. In dit gebied is dat, door het proces van rekspleetvorming (zie hieronder), bijna overal het geval. De aanwezigheid van de nieuwgevormde kleimineralen op potentiële glijvlakken met water vormt een zeer ongunstige combinatie, die snel tot instabiele situaties kan leiden. Zones waar dit speelt zijn in de gevaren-zone-ringskaart apart aangeduid.

Afb. 4. Voorbeeld van desintegrerende metamorfe gesteentehellingen, die leiden tot een ruwe, met grote blokken bedekte helling. De groeiomstandigheden voor bos zijn op dit soort hellingen niet optimaal.



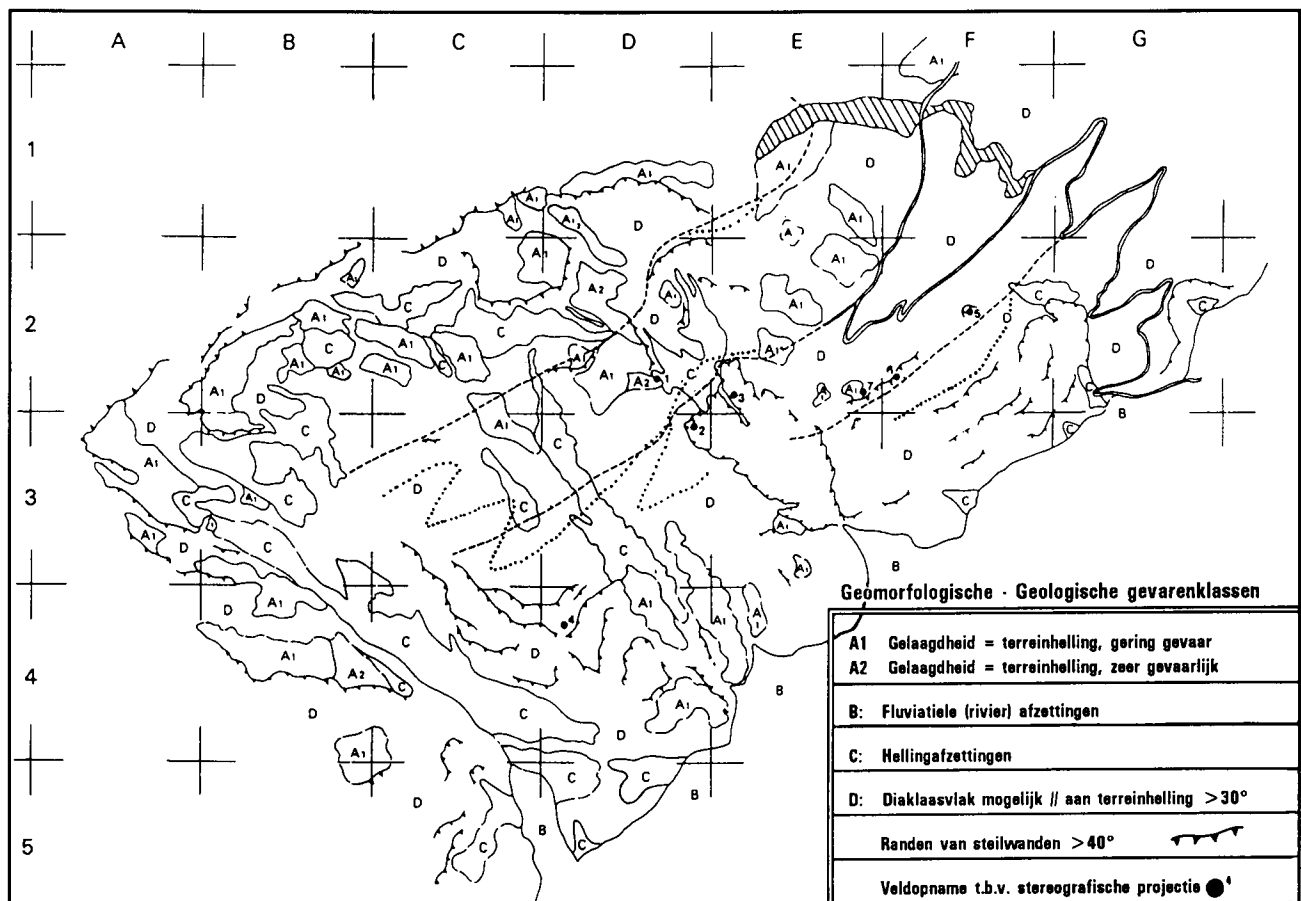
Het kan gesteld worden, dat massabeweging de huidige procesgang op de hellingen bepaalt. Dit betekent, dat relictten van glaciële accumulatie- of erosievormen niet meer in het huidige landschap te herkennen zijn. Op enkele plaatsen werd nog ablatie-morene aangetroffen. Dit is een mengmoes van gesteentefragmenten van allerlei grootte, die aan de randen van gletsjers zijn uitgesmolten en op het aangrenzende gesteenteoppervlak zijn achtergelaten. Op een enkele helling is nog de originele, door het langsstromende ijs gladgeschuurde helling te herkennen. Deze glaciële relictvormen zijn op de geomorfologische kaart in oranje afgebeeld. Vooral in het bereik van de Versetla skipiste is dit nog aantoonbaar. De ligging van de skipiste is eveneens op de kaart (zwart gearceerd) aangegeven. Deze gebieden worden op de afgeleide gevarencarta als stabiel aangeduid. Een duidelijke scheiding in oppervlakkige en diepreikende massabeweging kan worden aangebracht. Kartering leert, dat oppervlakkige massabeweging van ondergeschikt belang is. Veel meer van belang zijn die processen, die zich niet tot het bovenste verweringsdek beperken, maar die zich diep in het onderliggende gesteente voortzetten, vaak meer dan enige tientallen meters. De belangrijkste doorgaande breuk- en rekspleetsystemen in het terrein zijn over meer dan 2 km te vervolgen en overbruggen een hoogteverschil van bijna 800 m. Deze grotere scheuren bepalen het raamwerk waarbinnen allerlei kleinere, maar daarom niet minder belangrijke rekspleten en afschuivingsschollen voor kunnen komen. Om dit raamwerk van scheuren visueel te benadrukken en daarmee patronen te kunnen aantonen is in de originele gekleurde kaartversie een okerkleur voor rekspleten gebruikt. Een zeer belangrijk fenomeen in dit gebied is het voorkomen van "dipslopes". Dit zijn hellende gesteentelagen die de terreinhelling bepalen. Deze zijn op de kaart als afgegrensde eenheden aangegeven en met een pijl voorzien over de gehele lengte van de dipslope helling en in de richting van de geologische laaghelling. Een volgend belangrijk element is het voorkomen van *slumpschollen*. Dit zijn min of meer homogene (gesteente)pakketten, die langs een enkelvoudig afschuivingsvlak hellingafwaarts verplaatst zijn. De

interne sterkte van de afgeschoven eenheid blijft daarbij nog grotendeels intact. Dit fenomeen van "slumping" kan zowel volgens een translatiebeweging (verschuiving evenwijdig aan de basis) als volgens een roterende beweging plaatsvinden. Beide types komen in het gebied voor. De slumps zijn op de kaart aangegeven als omgrensde eenheden met daarin een pijl in de bewegingsrichting van de afglijdende massa. Deze pijl heeft een bruine kleur en een half boogje aan de hellingopwaartse zijde, zodat verwarring met dipslopes, ook in zwart-wit kopieën, onmogelijk is.



Afb. 5. Zwart-wit uitsnede van de geomorfologische kaart met de gebruikte legenda.

AFWATERING	MORFOMETRIE/MORFOGRAFIE	MATERIALEN	PROCESSEN, GENESE
rivier	hellingsymbool	Dalbodemopvulling	solifluctienis/waaier
intermitterende beek	waterscheiding	Puinwaaierafzetting	areale solifluctie
voormalige stromrichting	bovenbegrenzungen < 10m, onduidelijk	Puinhelling, vormbepalend	afschuiving, slumpschol
	< 10m, duidelijk > 10m, steil, duidelijk	puin als oppervlakkige bedekking	afschuiving, te klein om op schaal te duiden
bron	Erosiegeul	Blokwerk	rekspleet, begrensd
stagnerend water	kloofdalen	solifluctieafzetting	rekspleet, niet begrensd
vochtig gebied	Nisvorm	morenemateriaal	uiteengesloopt terrein
	depressie	terrasafzetting	dipslopes
	heuvel, rugvorm		weg
	hellingknik		skipiste



Afb. 6. Gevarenkaart met legenda. De oorspronkelijke wegstreepen zijn gestreept aangegeven, de uiteindelijke trajectkeuzes zijn gepuncteerd.

Opvallend is de afwezigheid van uitgebreide fluviatiele afzettingen (rivierafzettingen), zoals *puinwaaiers*, op de overgang van helling naar de onderliggende dalbodem. Puinwaaiers ontstaan normaal gesproken wanneer bergbekken hun meegevoerde sediment (zand, grind etc.) laten liggen op de overgang van steile hellingen naar bijvoorbeeld een vlakke dalbodem, doordat de stroomsnelheid, en daarmee de transportcapaciteit, afneemt. Hierbij ontstaat altijd een typisch waaivormig sedimentoppervlak, de *puinwaai*. De afwezigheid ervan is als volgt te verklaren: afbraakmateriaal van de berghellingen moet getransporteerd worden door oppervlaktewater wil het aan de hellingvoet afgezet worden. De totaal uiteengescheurde hellingen erboven hebben een zodanige doorlatendheid tot gevolg, dat er zich überhaupt geen oppervlakkig afwateringsstelsel kan ontwikkelen. De diepreikende massabeweging voorkomt in feite de vorming van een drainagestelsel. Daardoor kunnen er geen grote hoeveelheden los puinmateriaal getransporteerd worden.

De tijdsrelaties tussen individuele landschapsvormen, maar ook tussen grotere eenheden, worden door deze gedetailleerde patroonanalyse een stuk duidelijker en maken het mogelijk om een afgeleide kaart te maken waarin de relatieve activiteit van een bepaald terreindeel opgenomen wordt.

Stereografische projecties zijn in feite niets anders dan projecties van driedimensionale ruimtelijke elementen, zoals vlakken (hier: breuken, diaklazen en terreinhelling) en lijnen in een tweedimensionaal vlak. In de geologie wordt hiervan uitgebreid gebruik gemaakt, bijvoorbeeld om de stand van laaghellingen, plooiasen van gesteentes enz. regionaal te kunnen beoordelen en te voorspellen waar bepaalde gesteenteformaties zullen dagzomen. Dit vindt o.a. zijn toepassing in de ertsgeologie. Ook kan, zoals hier gedaan is, bekeken worden welke combinatie van diaklaas- en

breukvlakken bij welke terreinhelling een bepaald type afschuiving veroorzaakt. Deze methodiek is al langer bekend en wordt op grote schaal bij de aanleg van havens, stuwdammen en andere grote constructies gebruikt.

Het blijkt, dat op grond van metingen in het veld de diverse potentiële breuk- en glijvlakken opgenomen kunnen worden. Op grond hiervan is dan een analyse mogelijk, waarbij gevaarlijke hellingen vooraf gewaardeerd kunnen worden. Zie de afgeleide kaart van afb. 6.

Analyse en trajectkeuze

In afb. 6 is het gebied volgens een op het probleem toegespitste legenda onderverdeeld in vier klassen.

- 1) In zones A worden die gebieden aangegeven, waar de geologische laaghelling vrijwel samenvalt met de terreinhelling; hier zijn translatie-afschuivingen te verwachten. Afb. 8. Een verdere onderverdeling van A bleek mogelijk in minder gevaarlijke en zeer gevaarlijke hellingen. Wanneer uitdrendend water en afwezigheid van vegetatie werd vastgesteld, werd de helling als zeer gevaarlijk geclassificeerd (A2).
- 2) Met B worden alle door lokale rivieren en beekjes afgezette materialen aangegeven. Dit geeft dus ook de mogelijke locaties van overstromingen tijdens intensieve onweersbuien aan.
- 3) C omvat alle hellingafzettingen, zoals grof bergstortingsmateriaal, hellingpuin en door lawines meegesleurde gesteentefragmenten. Dit is vooral van belang in verband met toekomstig onderhoud van de aan te leggen boswegen.
- 4) Met D zijn die hellingen aangegeven waar theoretisch gesproken afschuivingen voor kunnen komen indien diaklaasvlakken samenvallen met de terreinhelling. Over het algemeen is de activiteit in deze zones beperkt.

Verder zijn op de afgeleide kaart de hellingen aangegeven die meer dan 45° hellen en langer zijn dan 10 m. Dit zijn hellingen die uit kostenoverwegingen beter vermeden kunnen worden. Deze voorgestelde legenda is toegepast op de geomorfologische

kaart, wat in de afgeleide kaart van afb. 7 resulteerde. Oorspronkelijk is deze afgeleide kaart in transparante vorm afgedrukt, zodat altijd een vergelijking met de originele geomorfologische opname mogelijk is.

Het traject van drie boswegen, dat in eerste instantie voor de ingenieur-geomorfologische opname voorgesteld was, is grotendeels uit bosbouw-economisch oogpunt gekozen. Wanneer we de hoogste bosweg in beschouwing nemen, dan wordt er over een afstand van ongeveer 100 m een zeer actief hellingdeel gekruist (A2-zone). De lokale helling is hier steiler dan de geologische laaghelling; daarbij werden kleine bronniveaus waargenomen. Elke vorm van uitgraving in deze helling zal de instabiliteit verhogen en het risico, dat tijdens constructie voor de arbeiders dreigt, is onaanvaardbaar. Op vergelijkbare gronden, plus door het feit dat er te steile delen in voorkomen, is het af te raden om het onderste trajectvoorstel te handhaven. De keuze van het middelste traject is met enige aanpassingen te handhaven.

Om de gebieden, die anders door de bovenste en onderste bosweg ontsloten zouden worden, toch te kunnen exploiteren, is er een alternatieve oplossing aangegeven (zie afb. 7). Deze gaat uit van twee aftakkingen van de middelste, en een beperkte aanleg van de onderste en bovenste weg. Via een aantal bochten kan op deze manier toch het boven gelegen gebied ontsloten worden. Met lieren en sleepinstallaties is het verder mogelijk de tussen- en omliggende bosgebieden te bereiken. Voor de onderste weg is een ietwat veiliger route aangegeven, zo'n 50 m lager gelegen dan het oorspronkelijke idee.



Afb. 7. Wanneer de geologische laaghellingen vrijwel parallel aan de terreinhelling verlopen, kan dit tot actieve afglijdingen leiden. Het blijkt, dat de hellingklassen groter dan 30° voor dit proces extra gevoelig zijn.

Conclusies

De belangrijkste conclusies die getrokken kunnen worden uit dit onderzoek zijn:

- Ongeveer 75% van het gebied wordt ingenomen door (uiteengevallen) gesteente dat door min of meer diepreikende massabewegingsprocessen is verplaatst.
- Door een gedetailleerde ingenieur-geomorfologische opname en patroonanalyse van het terrein is er een ruimtelijk model zichtbaar geworden, dat gebruikt kan worden om als basis te dienen voor de van de geomorfologie afgeleide gevarenkaart.
- Het werd mogelijk om zones van groot gevaar af te scheiden van minder gevaarlijke zones en om de voorgestelde trajectkeuze te evalueren.
- Deze evaluatie heeft geleid tot een nieuw voorgestelde route, die kostenbesparend werkt en tijdens de aanleg minder risico met zich meebrengt. Daarnaast is het te verwachten onderhoud minimaal.

Literatuur

Bertle, G. Fuchs, H. Loacker & H. Pirkle (1984): Geologische Karte der Republik Österreich 1:25.000, Blatt 169 Ost Partenen. Herausgegeben von der Geologische Bundesanstalt Wien, Rasumofskygasse 23, A-1031 Wien.

Rupke, J. & A.C. Seijmonsbergen (1991): Geomorphological/geotechnical mapping of the Versetla/Garfreschen slope, St. Gallenkirch, Vorarlberg, Austria. Report to Stand Montafon. Alpine Geomorphology Research Group, University of Amsterdam, 16 pp., 5 annexures.

KRISTAL: meer dan 2.000 jaar geheimzinnig

door Rudolf Rijkart *)

vertaling: J. Stemvers-van Bommel

Onze taal is één van de spannendste vindplaatsen. Veel woorden komen ons voor als nutteloos nevengeesteente — maar als wij een stuk ervan beetpakken en het onder de loep houden, zijn wij vaak verrast, wat wij er allemaal in vinden.

Laten wij bijvoorbeeld het woord "KRISTAL" nemen. Natuurlijk weten wij allemaal wel wat kristal is; op z'n minst zijn we toch wel een beetje zeker van onze zaak. Maar als we met verzamelaars en onderzoekers uit voorgaande eeuwen zouden praten, zou onze zekerheid

gauw verdwenen zijn. Laten we eens ruim 2000 jaar geleden in Griekenland beginnen.

De kou van de bergen, de hitte van de Oriënt

In de 4^e eeuw voor onze jaartelling leefde de Griekse filosoof Aristoteles. Hij verkondigde, dat alle materie uit vier elementen ontstaat: vuur, water, lucht en aarde. Volgens de traditionele leer van de filosofen vóór Socrates verkeren deze vier elementen in een voortdurende kringloop en gaan ze in elkaar over. Deze elementen bewaren hun existentie door de eigenschappen "koud" en "warm", "droog" en "vochtig":

- het vuur is warm en droog,