

**GISTEREN WAS VANDAAG MORGEN**

**Dynamiek van landschap en bodem in ruimte en tijd**

**Inaugurele Rede**

**uitgesproken bij  
de aanvaarding van het ambt van  
gewoon hoogleraar in de geologie  
aan de Landbouwhogeschool te Wageningen  
op donderdag 24 november 1983**

**door**

**Dr. S.B. Kroonenberg**

## GISTEREN WAS VANDAAG MORGEN

*Perhaps, if the future existed, concretely and individually, as something that could be discerned by a better brain, the past would not be so seductive: its demands would be balanced by those of the future. Persons might then straddle the middle stretch of the seesaw when considering this or that object. It might be fun.*

*Vladimir Nabokov, Transparent things.*

## GISTEREN WAS VANDAAG MORGEN

### *Geachte toehoorders*

Ik ben blij u allen hier vandaag te kunnen begroeten. Was u gisteren of morgen gekomen, dan had u ontdekt, dat mijn dynamiek zodanig is, dat u mij hier niet had aangetroffen. Nemen wij het "gisteren" en het "morgen" wat minder letterlijk, dan ben ik natuurlijk ook weer niet zo dynamisch, dat de functie waarin Hare Majesteit de Koningin mij "gisteren" heeft benoemd, "morgen" weer vacant is. Dát morgen, in die zin, is maximaal over dertig jaar, zoals degenen die mijn leeftijd uit het benoemingsbericht hebben onthouden, zullen bevestigen. Of het echter bevorderlijk is voor de dynamiek van de Landbouwhogeschool als een hoogleraar automatisch dertig jaar blijft zitten, is nog maar de vraag.

Of wij dynamiek inderdaad als zodanig ervaren hangt dus af van de aard van de processen en van de tijdseenheden waarover wij spreken. Nu heeft onze tijdsbeleving helaas zijn zwakke kanten.

In de eerste plaats tikt ons horloge de tijd wel lineair weg, maar wij beleven hem allesbehalve lineair. In de loop van een mensenleven lijkt de tijd integendeel steeds sneller te gaan. De Amsterdamse fysisch geograaf Peter Riezebos heeft mij eens uitgelegd hoe dat komt. Als kind van vier jaar oud is een jaar een kwart van de tijd die je al geleefd hebt. Toen ik tien jaar oud was was een jaar maar een tiende deel meer van mijn totale levenservaring. Het was toen dat ik als hulpje in de Boekhandel van Klaveren in Goes op de rug van een boek de titel zag die ik ook aan deze oratie heb meegegeven. En nu gaat de tijd alweer meer dan drie keer zo snel.

Het nare van deze versnelde tijdsbeleving is, dat iets dat langer geleden is, vaak ook minder interessant lijkt. Het leven van onze ouders en grootouders is nog wel te overzien, maar alleen degenen met een genealogische tik gaan verder terug. Voor de historicus is de geologische tijd een grauwe massa vergetelheid met veel nullen, waarbij het er niet eens meer toe doet of iets nu zoveel jaar voor Christus was of voor nú. Voor de bodemkundige en de kwartairgeoloog is het oudste geologische tijdperk, het Precambrium, een vage kokende soep

met vetogen van aardkorst erin. Het omgekeerde komt echter ook voor; de Guyanese geoloog Christopher Barron heeft eens verklaard: everything on top of the Precambrian is soil.

Een tweede defect van onze tijdsbeleving is zijn asymmetrie. Wij kunnen dan nog wel onze familiegeschiedenis in dimensies van tientallen jaren overzien, koninkrijken zien ontstaan en vergaan in honderden jaren, en, met wat meer moeite, continenten zien verschuiven in miljoenen jaren. Maar we zijn niet in staat diezelfde dimensies aan te wenden voor de toekomst. Een grafiekje uit het rapport van de Club van Rome laat zien dat het slechts aan de visionairen is gegeven om in termen van enkele tientallen jaren vooruit te zien. Wie zich over die drempel begeeft bevindt zich al snel in het domein van de science fiction. Ook George Orwell's toekomstvisie van 1984 kon in 1949 nog tot de science fiction gerekend worden, voorlopig tot geruststelling van zijn tijdgenoten. Wel, volgend jaar is het dan zo ver, vlugger dan iedereen had gedacht, en men kan op zijn minst zeggen dat de maatschappelijke en technologische ontwikkelingen een wending hebben genomen die ons heel wat dichterbij heeft gebracht bij wat Orwell voorspelde dan we toen hadden durven dromen.

Maar wij staan regelmatig voor vragen op nog langere termijn. Wij geven ons er rekenschap van dat de gevolgen van het handelen van de mens op aarde voor langere perioden merkbaar zullen zijn dan wij zelf in staat zijn te bevatten. Wat zijn de gevolgen van het kappen van het tropisch regenwoud in het Amazonegebied voor klimaat, bodem en waterhuishouding? Tasten drijfgassen van spuitbussen de ozonlaag om de aarde aan? Zorgt het grootscheeps opstoken van fossiele brandstoffen voor een blijvende opwarming van het klimaat? Hoe lang kan radioactief afval in zoutkoepels worden opgeslagen zonder gevaar op te leveren voor de mensheid?

Laten we beginnen met vast te stellen dat het op zichzelf al een heel belangrijk winstpunt is dat we deze vragen kunnen stellen. Het betekent dat wij geleerd hebben om de aarde als één systeem in dynamisch evenwicht te zien, waarin kleine verstoringen grote gevolgen kunnen hebben voor het systeem als geheel. Wanneer verschuivingen in het evenwicht met een meetbare snelheid plaats vinden, zoals de toename van het CO<sub>2</sub> gehalte in de atmosfeer, kunnen wij met behulp

van modelberekeningen een prognose voor de toekomst maken.

Alleen, het probleem is, dat vele van deze processen zich zó langzaam voltrekken dat wij vaak niet eens met zekerheid kunnen voorspellen in welke richting zij zich bewegen. Meteorologische waarnemingen zijn er voor zeer weinig plaatsen van enkele honderden jaren, voor de meeste slechts van enkele tientallen jaren. Hoe kunnen we daaruit afleiden hoe het klimaat zich op langere termijn ontwikkelt? De tijd van vandaag en de tijd van morgen laten zich niet samendrukken zoals die van gisteren. Hoe kunnen wij dan voorspellingen doen voor het morgen van de lange termijn?

De benaderingswijze die ik in deze rede wil volgen is: maak van de nood een deugd. Laten wij proberen gebruik te maken van die indikking van de verleden tijd die zich in onze geest afspeelt. Als we niet kunnen zeggen wat de processen van vandaag morgen voor effect zullen hebben, laten we dan op zijn minst proberen om die processen die zich gisteren hebben afgespeeld, en die we noodgedwongen in versneld tempo voor ons oog afdraaien, te vergelijken met de huidige situatie. Want gisteren was vandáág morgen.

U kunt natuurlijk tegenwerpen: ja, maar wat de mens de aarde nu heeft aangedaan is nog nooit eerder gepresteerd. Wij hebben natuurlijke evenwichten verbroken die niet meer te herstellen zijn. Wij hebben stoffen geproduceerd die niet meer afgebroken kunnen worden. Toch, wanneer wij bereid zijn om het ontzag voor de schijnbare eindeloosheid van de geologische tijd te overwinnen, dan vinden wij ook in de aardgeschiedenis voorbeelden van gebeurtenissen die de veerkracht van de aarde als dynamisch systeem zwaar op de proef hebben gesteld. Een vergelijking van die gebeurtenissen met de huidige toestand is zinvol, net zo goed als het zinvol is om de huidige economische crisis te vergelijken met die van de dertiger jaren.

De dynamiek van het aardse ecosysteem wordt bepaald door de processen die zich afspelen in de lithosfeer, de atmosfeer, de hydrosfeer en de biosfeer. Het ontmoetingspunt van al deze sferen is het landschap, met zijn kruimelige korstje, de bodem. In de bodem zijn de gezamenlijke inspanningen van de vier sferen gesublimeerd. Grondleggers van de moderne bodemkunde zoals Dokuchaev en Jenny hebben

deze relaties vastgelegd door de bodem te beschouwen als een functie van de vijf bodemvormende factoren klimaat, organismen, moeder-materiaal, topografie en tijd.

Zo gesteld, zijn de bodemvormende factoren in zekere zin een reeks variabelen, waarvoor men de waarden moet vast stellen voor een bepaalde plaats op aarde, om de vergelijking op te lossen. De factor "tijd" wordt daarbij gezien als de tijd die beschikbaar is voor de bodemvormende processen, zoals voor de ontkalking van zeeklei na de afzetting daarvan.

Als wij echter de dynamiek van lithosfeer, atmosfeer, hydrosfeer en biosfeer in het geologisch verleden willen blootleggen, aan de hand van landschap en bodem, krijgt de tijd als bodemvormende factor een andere betekenis. Klimaten veranderen met de tijd; organismen zijn zelf het produkt van een langdurige evolutie. De topografie en het moedermateriaal zijn het resultaat van een voortdurend krachtenspel tussen endogene processen van binnenuit de lithosfeer, en exogene processen als erosie, transport en sedimentatie. De tijd grijpt als het ware over de andere bodemvormende factoren heen, en in plaats van variabelen waarvan de waarden alleen geografisch verschillen, worden het zelf processen, die met de bodemvormende processen interfereren. Sommige van die processen, zoals de evolutie van de biosfeer, gaan veel langzamer dan de bodemvorming zelf, maar andere, zoals erosie, kunnen zóveel sneller gaan dan de bodemvorming dat de bodem het loodje legt. De relatie tussen de bodemvormende factoren en de bodem zelf is dus eigenlijk veel dynamischer dan de simpele vergelijking suggereert. Ik wil dit nu illustreren door een aantal van die bodemvormende factoren te volgen door de uitgestrektheid van de geologische tijd.

Als wij naar de vroegste geologische tijd teruggaan, op zoek naar de oorsprong van de bodemvorming, dan stuiten wij meteen op een bodemvormende factor die in Dokuchaev's en Jenny's tijd zó vanzelfsprekend was dat men hem niet eens in beschouwing nam, namelijk de *samenstelling van de atmosfeer*. Er zijn echter aanwijzingen, dat de atmosfeer in de eerste helft van de aardgeschiedenis een totaal andere samenstelling had dan tegenwoordig. Tot zo'n 2 miljard jaar ge-

leden bevatte de atmosfeer namelijk geen zuurstof, en er heerste een reducerend milieu aan het gehele aardoppervlak. Waaruit heeft men dat nu kunnen afleiden? Wel, in de eerste plaats kent men in Zuid-Afrika verharde grindpakketten, de Witwatersrandconglomeraten, waarin afgeronde korreltjes van de mineralen pyriet en uraniet voorkomen. De afgeronde vorm van deze korreltjes wijst erop dat zij door toenmalige rivieren zijn getransporteerd. Maar pyriet en uraniet zijn zeer instabiele mineralen in het huidige oxyderende milieu, zodat men ze in recente rivierafzettingen nooit aantreft. De atmosfeer moet dus toen waarschijnlijk reducerend zijn geweest. Dit is geen puur academische kwestie, want de Witwatersrandconglomeraten herbergen ook de grootste goud- en uraniumvoorraden van Zuid-Afrika.

Een tweede argument is, dat in de periode tot 2 miljard jaar geleden zeer dikke pakketten gelaagde ijzerertsen waren afgezet, die uit massief ijzeroxide bestaan, afgewisseld met laagjes silica. Deze ijzerertsen vormen de belangrijkste reserves voor dit metaal op aarde, en komen voor o.a. in de VS, Australië, Venezuela en Brazilië. Onder de huidige oxyderende omstandigheden zou nooit voldoende ijzer gemobiliseerd kunnen worden om zulke dikke pakketten af te zetten. Maar in gereduceerde ferro-vorm is ijzer veel mobieler dan in geoxideerde ferri-vorm, dus bij een reducerende atmosfeer is een dergelijke concentratie wél aannemelijk.

Verwerking en bodemvorming onder zo'n reducerende atmosfeer zouden ertoe leiden dat ijzer net zo gemakkelijk uit het gesteente wordt vrijgemaakt als bijvoorbeeld kalk tegenwoordig. In Zuidelijk Afrika zijn fossiele bodems uit dat verre geologisch verleden gevonden van wel 15 m dik. Op granietische gesteenten bestaan ze voornamelijk uit kwarts en sericiet, een gerekristalliseerde variant van het kleimineraal illiet. Op basische vulkanische gesteenten is er een sterke aanrijking van aluminium zichtbaar, zoals in het Pongola-systeem in Swaziland: hier komen 3 miljard jaar oude bodems voor die uit diaspoor, pyrophylliet en andalusiet bestaan, dat zijn alle aluminiumoxiden en aluminiumsilicaten; de metamorfe equivalenten van de belangrijke bodemmineralen gibbsiet en kaoliniet. In alle gevallen werd een sterke uitloging van ijzer geconstateerd, en het is natuurlijk datzelfde ijzer dat via riviertransport uiteindelijk in de zee terecht kwam en aanleiding

gaf tot de precipitatie van de dikke ijzerertslagen.

Pas zo'n twee miljard jaar geleden begint de grootscheepse ijzeraccumulatie te tanen, en tegelijkertijd treden de eerste pakketten rode zandstenen op. De rode kleuren van deze rivier- en wind afzettingen wijzen op een oxiderende atmosfeer. Het langzaam stijgen van het zuurstofgehalte in de atmosfeer dat voor ons als een opluchting lijkt te komen, wordt door Lovelock in zijn opzienbarende boek Gaia een rampzalige luchtvergiftiging genoemd. Immers, de organismen die zich tot dan toe met zwavelwaterstof of ammonia hadden gevoed, zouden massaal afgestorven moeten zijn. Maar kennelijk heeft de primitieve biosfeer zich aan de nieuwe situatie aangepast, en nieuwe levensvormen ontwikkeld die zuurstof kunnen verbruiken, zoals wij.

Het is aan de basis van deze rode zandsteenpakketten dat we de eerste "bodems" aantreffen die enige gelijkenis vertonen met huidige bodems, zoals bijvoorbeeld in Suriname onder de Roraima-zandstenen, welbekend door Conan Doyle's "Lost World". De belangstelling voor Precambrische bodems onder rode zandstenen is de laatste tijd enorm toegenomen, sinds men er in 1968 uraniumaanrijking in aantrof. In Saskatchewan, Canada en Northern Territory, Australië, zijn zulke grote hoeveelheden erts gevonden, dat dit 'unconformity-type' uraniumerts nu een kwart van de totale wereldreserves van uranium vertegenwoordigt. Deze bodems zijn ontwikkeld op grafiethoudende metamorfe gesteenten, en bevatten veel kaoliniet en hematiet, mineralen die ook nu nog in de bodem worden gevormd. Bij de concentratie van het uranium hebben oxidatie en reductie tengevolge van wisselende grondwaterstanden een rol gespeeld. We krijgen hier als het ware éven een close-up van gebeurtenissen aan het landoppervlak zo'n anderhalf miljard jaar geleden. Die close-up hebben we dan wel te danken aan de economisch-geologen, die een groot deel van het onderzoek naar fossiele bodems hebben uitgevoerd.

Ondertussen is die vergeten bodemvormende factor, de samenstelling van de atmosfeer, nu weer uiterst actueel geworden, nu door de zure regen stoffen in de bodem worden gebracht zoals ammoniumsulfaat, die het karakter van de bodemvorming totaal doen veranderen, en in zekere zin een terugkeer betekenen naar de situatie van vóór twee miljard jaar geleden.



De geleidelijke toename van het zuurstofgehalte in de atmosfeer moet worden toegeschreven aan de fotosynthese door primitieve organismen als blauwgroene algen in zee. Het plantenleven op land is pas een veel latere ontwikkeling. Als wij de bodem strikt definiëren als dat gedeelte van de aardkorst dat door planten wordt doorworteld of doorworteld kan worden, dan mogen we de processen die zich in het Precambrium hebben afgespeeld niet eens bodemvorming noemen. Maar het is niettemin niet uitgesloten dat er in die tijd sprake was van primitieve vormen als algen en bacteriën op het land.

De ontwikkeling van *organismen* op het land, en daarmee van de volgende bodemvormende factor, is met zekerheid terug te voeren tot 475 miljoen jaar geleden, het Boven-Ordovicium. Recentelijk zijn in Libye sporen en weefsel van primitieve landplanten uit die periode gevonden. De eisen die aan de landplanten gesteld werden weken aanzienlijk af van die van hun mariene voorgangers. Zij konden niet langer over hun hele huidoppervlak voedingsstoffen opnemen, zwendend in het zeewater, maar moesten een wortelstelsel ontwikkelen om voedingsstoffen en water aan de bodem te kunnen onttrekken, en daarmee begon de bodemvorming in de moderne zin, de ontwikkeling van de eerste humusrijke bovengronden. Het succes van de nieuwe formule blijkt wel uit het feit dat 100 miljoen jaar later, in het Carboon, zulke uitgebreide kustmoerassen ontstonden dat wij de fossiele resten daarvan nog steeds gebruiken om ons mee te verwarmen.

Het gedetailleerde onderzoek naar de steenkoollagen bracht ook aan het licht dat veel koolbanken aan de onderzijde begrensd worden door wat men "wortelhorizonten" noemde. De afdekking met steeds nieuwe lagen sediment hebben ervoor gezorgd dat wij deze fossiele bodems ook nu nog kunnen bestuderen. Het zijn echte bodemprofielen, waarin men soms de fijnste haarwortels van *Stigmara*-planten nog kan herkennen, en waarin duidelijk chemische en mineralogische veranderingen van boven naar onderen optreden. Ingeschakelde laagjes vulkanische as zijn vaak totaal omgezet in kaolien door de inwerking van humuszuren. We mogen speculeren, dat die humussoorten vrij ongunstig geweest zullen zijn, niet alleen door de doorgaans natte ligging van die bodems, maar ook, omdat de vegetatie nog

uitsluitend bestond uit sporeplanten en naaktzadigen, die ook nu nog veel zuurdere humustypen geven dan de bedektzadigen, de bloeiende planten. Deze laatste begonnen zich pas 200 miljoen jaar later, in het Onder Krijt, te ontwikkelen.

Een verdere evolutie vond plaats in het Tertiair, toen met name in het Mioceen, zo'n twintig miljoen jaar geleden, de grassen tot grote ontwikkeling kwamen. De verbreiding van de grassen over de aardbol valt niet alleen af te leiden uit de veranderingen van de fossiele flora, maar is ook goed af te lezen uit de aanpassing van de gebitten van de zoogdieren, die in deze periode met hun grote bloeitijd begonnen. De landbouwgewassen die zich uit die eerste grassoorten ontwikkelden zijn nog steeds onontbeerlijk voor dat grote zoogdier mens.

Het is moeilijk zich de aarde voor te stellen zonder de immense grasvlakten van de steppe, de pampas en de prairies. Als we nu kijken wat voor bodems we in die grasvlakten aantreffen, dan zijn dat vooral de chernozems (zwarte aarde) en de vertisolen. We mogen speculeren dat die bodemtypen tegelijkertijd met de grassen voor het eerst opduiken in de geologische geschiedenis, en dus relatief 'jonge' bodems zijn. Een grote onbekende daarbij is echter de rol van de bodemfauna, want wegens het doorgaans ontbreken van fossiliseerbare delen is de evolutie daarvan zo goed als onbekend. Maar niettemin is het duidelijk dat de evolutie van de biosfeer ook heeft geleid tot een evolutie van de bodemsoorten door de geologische tijd.

De evolutie in de biosfeer is vermoedelijk zeer langzaam gegaan. Maar soms ook treedt er een dramatische versnelling op. Het uitsterven van de grote reptielen aan het einde van het Krijt is lang de toetssteen geweest voor de controverse: is de aardgeschiedenis er een van voortdurende catastrofes, of van een langzame evolutie. Sinds Darwin zijn wij eraan gewend geraakt vooral in termen van evolutie te denken. Maar wij beschikken nu over een veel verfijnder apparaat om de geologische tijd te meten door middel van de isotopengeologie. We kunnen nu ook een veel grotere scala organismen bestuderen, waarbij vooral de mariene planktonsoorten een veel gedetailleerder beeld geven dan vroeger mogelijk was. En uit alle nieuwere gegevens blijkt in de eerste plaats dat het uitsterven van de grote reptielen helemaal niet zo'n geleidelijke gebeurtenis is geweest. En in de tweede plaats, dat

vele andere diersoorten, met name meer dan de helft van alle mariene organismen, vrijwel tegelijkertijd zijn uitgestorven. De doorbraak in het onderzoek naar de oorzaak daarvan kwam, toen een team van Amerikaanse en Italiaanse geologen in Italië in een kleilaagje precies op de overgang tussen het Krijt en het Tertiair exorbitant hoge gehalten vonden van de edelmetalen iridium en osmium, leden van de platinagroep. Naderhand is op verschillende plaatsen op aarde, zoals in Nieuw Zeeland, Denemarken en in boorkernen uit de bodem van de oceanen, een soortgelijke iridiumanomalie gevonden. Het lijkt er dus op dat het een wereldwijd verschijnsel is. Nu zijn iridium en osmium zeldzame metalen op aarde maar ze komen in veel grotere concentraties voor in meteorieten. De hypothese die door het onderzoeksteam werd opgesteld was dan ook dat er in die tijd, zo'n 65 miljoen jaar geleden, een grote meteoriet op aarde is gevallen. Zou hij op het land gevallen zijn, dan zou een gigantische inslagkrater aan het aardoppervlak gevormd moeten zijn. Dergelijke structuren zijn inderdaad bekend, zoals de Manicouagan krater van 65 kilometer middellijn in Canada.

Zou hij in zee gevallen zijn, dan zouden kilometers hoge vloedgolven over het land gespoeld moeten zijn. De effecten van de meteorietinslag die tot de massale sterfte geleid zouden moeten hebben, variëren, al naar gelang de hypothesen, van jarenlange verduistering van de atmosfeer, tijdelijke sterke opwarming, chemische reacties in de atmosfeer en de oceanen, zure regen, en vele andere. Wat er precies gebeurd is, is nog volop in onderzoek, maar waar men het over eens is, vooral na een congres in oktober 1981 in de VS waarbij geologen, biologen, ecologen, geofysici, astronomen en klimatologen waren verzameld, is dat het een milieuramp van de eerste orde is geweest.

Denkend aan die catastrofale gebeurtenis, is men onwillekeurig geneigd een parallel te trekken met die andere milieuramp, waar óók sprake is van het uitsterven van vele dier- en plantensoorten, opwarming van de atmosfeer en vergiftiging van de bodem met zware metalen. Kan het verleden ons hier iets omtrent het heden leren? Welke organismen hebben de stress doorstaan, en waarom? Wat zijn de lange termijnveranderingen ervan geweest voor klimaat en bodem? De antwoorden op deze vragen zijn net zo goed van belang voor het gisteren

als voor vandaag.

Ook bij andere gelegenheden is de aarde blootgesteld geweest aan zeer snelle veranderingen in de biosfeer. Dat blijkt uit de geschiedenis van het *klimaat* als bodemvormende factor.

De klimaten op aarde zijn in het geologisch verleden aan sterke fluctuaties onderhevig geweest. We kunnen daarbij ruwweg fluctuaties van drie golflengten onderscheiden, een van 200 miljoen jaar, een van 100.000 jaar en een groep van 5.000 à 500 jaar. De meeste van deze klimaatschommelingen kunnen geen aanspraak maken op een wiskundige regelmaat, vandaar dat zij niet zonder meer bruikbaar zijn om voorspellingen te doen over de nabije toekomst. Maar niettemin kunnen wij door de klimaatsfluctuaties in het verleden te bestuderen te weten komen hoe de aarde reageert op dergelijke veranderingen in het milieu.

De meest langgolvige fluctuaties van 200 miljoen jaar is men het eerst op het spoor gekomen doordat men afzettingen van het landijs, die we zo goed kennen uit het recente geologische verleden, ook in veel oudere perioden tegenkwam, met name in het Perm, het Ordovicium en verscheidene malen in het Precambrium. In de tussenliggende warme perioden waren er zelfs in het geheel geen ijskappen op de polen, en waren de oceanen warm tot op de bodem. Afzetting van kalken vond op veel uitgebreidere schaal plaats dan tegenwoordig. Perioden van grote droogte, waarin dikke zoutpakketten werden afgezet, werden afgewisseld door vochtige perioden waarin uitgestrekte venen werden gevormd die uiteindelijk verhardden tot steenkool.

Een belangrijke plaats in de paleoklimatologische reconstructie nemen de bauxieten en laterieten in, want in tegenstelling tot de gesteenten die ik zo juist noemde geven bauxieten en laterieten directe informatie over zowel temperatuur als regenval op het landoppervlak zelf: het zijn indicatoren voor een tropisch vochtig klimaat. Bovendien kunnen bauxieten en laterieten gemakkelijk herkend worden, en ondubbelzinnig worden toegeschreven aan intensieve chemische verwerking, want er is geen enkel ander geochemisch proces dat in staat is op deze wijze aluminium te concentreren. Zelfs bauxieten en laterieten die diep in de aardkorst metamorfose hebben ondergaan

onder temperaturen van enkele honderden graden Celsius en onder drukken van enkele kilobaren zijn nog als zodanig te herkennen. Zo is de beroemde zwarte amarilsteen van het Griekse eiland Naxos die reeds door de Egyptenaren als slijpsteen werd gebruikt, niets anders dan een mengsel van aluminiumoxiden en ijzeroxiden, ontstaan als bauxiet, en door metamorfose omgezet in korund, het eigenlijke slijpmiddel, en magnetiet. Ook hier zijn het overigens weer de economisch-geologen, die ons de weg wijzen, want het verweringsproces kan naast aanrijking van aluminium en ijzer ook winbare concentraties opleveren van mangaan, koper en nikkel.

Door nu de ligging van deze bauxiet en laterietvoorkomens voor een bepaalde periode op de kaart te zetten, krijgt men niet alleen een beeld van de ligging van de klimaatgordels, maar ook als het ware een paleo-bodemkaart. Zo'n paleo-bodemkaart voor bijvoorbeeld het Jura-tijdperk, een van de warmste perioden in de aardgeschiedenis, zo'n 150 miljoen jaar geleden, zou natuurlijk een totaal ander beeld geven dan een bodemkaart van nu. In de eerste plaats vallen de gereconstrueerde klimaatgordels niet meer samen met de huidige, omdat er sindsdien aanzienlijke wijzigingen zijn opgetreden in de ligging van de continenten ten opzichte van elkaar en ten opzichte van de polen, tengevolge van de plaattektoniek. Zo is bijvoorbeeld aangetoond dat de bauxieten van Les Baux, het stadje in Zuid-Frankrijk waaraan deze gesteenten hun naam ontleenen, en vele andere bauxieten in het Middellandse Zeegebied, op veel lagere geografische breedte zijn ontstaan dan waar zij zich nu bevinden.

Maar ook na het terugschuiven van de continenten naar de toenmalige positie blijven grote verschillen bestaan. In de eerste plaats geven de warmteindicatoren aan dat de tropische gordels toen veel breder waren dan tegenwoordig. Landijskappen ontbraken geheel, en uitgestrekte veenmoerassen kwamen voor van de Nieuwsiberische eilanden tot Graham Land op Antarctica, waarvan de vegetatie maar weinig verschilde van die rond de toenmalige evenaar. Typische bodems van de huidige gematigde streken zoals podzolen en alfisolën zullen van ondergeschikt belang geweest zijn, niet alleen vanwege de geringere omvang van de gematigde klimaatzone, maar ook vanwege het ontbreken van de geschikte moedermaterialen. Tegenwoordig vinden we deze

bodems vooral op dekzanden respectievelijk lössen, materialen die tijdens de ijstijden door de wind als een deken over het landschap werden heengelegd. In het Jura-tijdperk waren de omstandigheden voor de afzetting van dergelijke materialen niet aanwezig, zodat ook de daarbijbehorende bodemtypen schaars geweest zullen zijn. Zo treden tegelijkertijd met de klimaatsschommelingen ook variaties op in het voor bodemvorming beschikbare moedermateriaal.

Vanaf het Tertiair, zo'n 60 miljoen jaar geleden, begint een zekere verkoeling in het klimaat op te treden. Aanvankelijk was het klimaat nog warm en vochtig genoeg om op uitgebreide schaal bauxieten te laten ontstaan, zoals degene die nu in Suriname worden ontgonnen. Maar daarna treedt een duidelijke verdroging op, die gekenmerkt wordt door de uitbreiding van de grasvegetatie, zoals we al hebben gezien. Zo'n tien miljoen jaar geleden begon de ijskap op Antarctica zich te vormen, en koud smeltwater stroomde naar de bodem van alle oceanen. Maar het is pas 2,5 miljoen jaar geleden dat de verkoeling zo'n wereldwijd effect kreeg, dat koudwaterorganismen zich in de Noordelijke zeeën begonnen te vermenigvuldigen, en de tropische tot subtropische vegetatie van het Europese vasteland werd vervangen door meer gematigde soorten. Op dat moment laten we ook het jongste geologische tijdperk beginnen, het Kwartair. Het is pas in het Kwartair, dat de resolutie van onze tijdmeting groot genoeg wordt om de klimaatsschommelingen van de tweede orde van grootte van 100.000 jaar, te kunnen onderscheiden.

Het Kwartair is het tijdperk van de ijstijden. Zwitserse boeren wisten al in het begin van de vorige eeuw dat de gletsjers in de Alpen vroeger veel groter geweest moesten zijn dan nu, maar het duurde tot omstreeks 1860 voor het ook onder geologen een algemeen geaccepteerd feit was. Aanvankelijk meende men nog dat er één enkel tijdperk van sterke gletsjeruitbreiding was geweest. Maar toen men fossiele bodems vond tussen twee lagen glaciële afzettingen in Illinois begon men in te zien dat er meerdere ijstijden geweest waren. Zodoende heeft de paleopedologie, de leer der fossiele bodems, een belangrijke rol gespeeld in de kwartairgeologie. In de Verenigde Staten hebben fossiele bodems dezelfde stratigrafische status gekregen als sedimenten.

Ook hier in Nederland wordt het voorkomen van een fossiele

bodem uit de warme Eemtijd gebruikt om de löss uit de voorlaatste, Saale ijstijd te onderscheiden van die van de laatste, Weichsel ijstijd. Maar sinds men de beschikking heeft over boorkernen van de sedimenten uit de diepzee, die een continue registratie hebben opgeleverd van de laatste paar miljoen jaren geologische geschiedenis, blijkt dat de op het land gebruikte criteria hun beperkingen hebben. In plaats van 3 of 4 koude perioden, heeft men er nu 22 onderkend, met een periodiciteit van zo'n 100.000 jaar. Dat het tot nog toe niet mogelijk is geweest om deze fluctuaties aan de hand van glaciale afzettingen en paleobodems op het land te reconstrueren, komt niet in het minst door het feit dat de glaciaties gaandeweg strenger zijn geworden, zodat de meer ingrijpende veranderingen in landschap en bodem van een volgende ijstijd de sporen van de mildere vorige periode grotendeels uitwisten. Alleen in bijzondere gevallen, zoals in sedimenten van diepe meren, heeft men kans gezien om de klimaatsveranderingen op het land te volgen aan de hand van de fossiele stuifmeelkorrels die in die meren terechtgekomen zijn.

Op deze cyclus van 100.000 jaar is een nog fijnere golving van klimaatsfluctuaties gesuperponeerd met een periodiciteit van ruwweg 500-5.000 jaar, de stadialen en interstadialen. Alleen voor de laatste 70.000 jaar is onze tijdmeting verfijnd genoeg om deze rimpelingen aan te tonen, maar er is geen enkele reden om aan te nemen dat de wisselingen verder terug in het verleden niet net zo snel zijn geweest. En daarmee komen we aan een belangrijke vraag toe: hóe snel kunnen dergelijke veranderingen plaatsvinden? Zijn ze vergelijkbaar met de veranderingen die we nú op zien treden? Laten we de veranderingen aan het eind van de laatste ijstijd eens op de voet volgen. Als wij 18.000 jaar teruggaan in de geologische geschiedenis, bevinden wij ons in het strengste deel van de Pleistocene winter. Noord-West Europa, was deels met ijs bedekt, en in onze streken heerste een poolklimaat waarbij alleen de meest geharde toendraplantten het uit konden houden. Het Middellandsezegebied was grotendeels bedekt met steppen, en alleen in de Balkan kwamen gebieden voor, waar naaldwouden en loofwouden konden overwinteren. De klimaatsverbetering die daarna optrad, zag eerst de berk uit deze refugia terugkomen, na diverse aarzelingen, daarna de den, en tenslotte het eiken- en beuken

loofbos. Als wij ons nu voorstellen hoe die kolonisatie plaatsvond, dan moeten wij denken aan een naar het noorden oprukkend front dat zich in hooguit tweeduizend jaar over een afstand van duizenden kilometers naar het noorden verplaatste: minstens een kilometer per jaar!

Een dergelijke razendsnelle kolonisatie is niet alleen in Europa aan-nemelijk. Ook het gigantische tropische regenwoud van het Amazone-gebied is een betrekkelijk recente creatie. Biogeografen van de meest uiteenlopende pluimage komen tot de conclusie, dat in die perioden waarin het landijs noordelijke streken bedekte, het klimaat in het Amazonegebied zó droog was, dat daar uitgestrekte grassavannen waren, met slechts hier en daar plukjes bos. Pas in de laatste 10.000 jaar is er weer sprake van een vrijwel aanééngesloten bosgebied. "Eeuwig zingen de bossen" is geologisch gezien dus maar een betrek-kelijke zaak.

De snelheid van de uitbreiding van het bosgebied tengevolge van de klimaatsverbetering aan het einde van de laatste ijstijd wordt helaas geëvenaard door de snelheid waarmee nu het woestijngebied zich uit-breidt in de Sahel en andere randgebieden van de Sahara. Analyse van de sedimenten in nu opgedroogde meren in de Sahara toont aan, dat de huidige periode van extreme droogte pas 5000 jaar geleden een aanvang nam. Daarvoor was het nog een steppegebied. Aan de huidige verslechtering van de omstandigheden in de randgebieden heeft de mens zeer zeker bijgedragen, maar als natuurverschijnsel heeft zo'n snelle verschuiving in vegetatiegrenzen vele precedentes in de geolo-gische geschiedenis.

In feite is er vrijwel geen plek op aarde aan te wijzen die niet in de laatste tien-twaalfduizend jaar ingrijpende wijzigingen in het vegetatie-dek heeft ondergaan. Voor de vorming van een goed ontwikkelde pod-zolbodem is zo'n duizend jaar nodig, voor een alfisol zo'n 3000 jaar, en voor rode tropische gronden rekent men in de orde van grootte van tienduizenden jaren. Zeer veel gronden aan het aardoppervlak hebben dus meerdere wijzigingen in klimaat en vegetatiedek meegemaakt tij-dens hun vorming, ook vóórdát ze door de mens in gebruik werden genomen.



Het vegetatiedek speelt een zeer belangrijke rol in de stabilisatie van het landoppervlak; het beschermt de bodem tegen erosie, en de aan- of afwezigheid van een vegetatiedek bepaalt voor een groot gedeelte de overlevingskansen van een bodem die op een helling ligt. Daarmee komen we terecht bij een volgende bodemvormende factor, *topografie* of *reliëf*. Het reliëf bepaalt de absolute hoogteligging, de hellingshoek en tevens de ligging van de bodem ten opzichte van het grondwater. Maar net als de andere bodemvormende factoren is ook het reliëf het produkt van een lange evolutie, van een voortdurende strijd tussen endogene krachten van binnenuit de aardkorst, en exogene krachten vanuit de atmosfeer, hydrosfeer en biosfeer, en die strijd gaat nog steeds door.

De revolutie die in de zestiger en zeventiger jaren in de aardwetenschappen heeft plaatsgevonden heeft tot het inzicht geleid dat zeer vele endogene processen in de aardkorst in verband te brengen zijn met de plaattektoniek. De aardkorst en het bovenste gedeelte van de aardmantel bestaan uit een achttal grote en vele kleinere lithosferische platen, of schollen, met een dikte van 100-150 km. Deze platen bewegen met snelheden tussen één en tien meter per eeuw langs het aardoppervlak, dat is doorgaans heel wat sneller dan de diktegroei van een boom en even snel als de groei van een vingernagel. Waar zij uiteen wijken langs de midoceanische ruggen, wordt nieuwe oceanische korst gevormd. Waar zij naar elkaar toe bewegen, treden botsingen op, waarbij eilandenbogen en gebergtekets kunnen ontstaan. De verticale opheffingen, die van dergelijke confrontaties het gevolg zijn, en die nog steeds aan de gang zijn, zijn een orde van grootte kleiner dan de horizontale bewegingen van de platen. Maximale waarden van ruim één meter per eeuw zijn vastgelegd door precisieingen in o.a. de Kaukasus en Nieuw-Zeeland. De opheffing van de Ardennen en de Eifel, die zelf weer een afgeleide is van de opheffing in de Alpen, bedraagt maximaal 16 centimeter per eeuw. De opheffing die Zuid-Limburg in de periode 1875-1925 ten opzichte van Amsterdam heeft ondergaan komt omgerekend op 8 cm/eeuw. Gebieden als Scandinavië en Canada die door het enorme gewicht van de landijskappen in het Pleistoceen sterk omlaag werden gedrukt, veerden op bij het afsmelten daarvan met snelheden die aanvankelijk zelfs 9 tot 10 meter

per eeuw bedroegen.

De tegenspeler van de opheffing in het spel van endogene en exogene krachten is de erosie. Als u na de vorige uiteenzetting naar de Alpen gaat en daar vol ontzag naar die bergen kijkt, die kennelijk nog steeds hoger worden, dan moet u wel onder de indruk komen van die gigantische endogene krachten die dat bewerkstelligen. Maar dan is het de taak van de geomorfoloog om u te leren een berglandschap niet te zien als een verzameling hoge pieken en kammen, maar als een complex van zeer diepe dalen, door rivieren en gletschers uitgevreten. Als u in staat bent om dit pseudoskopische trucje uit te halen, dan ziet u geen berghellingen meer, maar dalwanden; geen ruggen, maar waterscheidingen. Dan is het moment gekomen om evenzeer onder de indruk te geraken van wat de erosie vermag teweeg te brengen, van de enorme volumes gesteentemateriaal die door de verwerking zijn losgemaakt, door de rivieren zijn afgevoerd en elders neergelegd. En dan komt de onvermijdelijke vraag - wie is er aan de winnende hand?

Wel, die vraag heeft generaties geomorfologen bezig gehouden, en het enige kwantitatieve gegeven dat daar tot voor enkele decennia is uitgekomen, is een indrukwekkend aantal strekkende meters drukwerk op de boekenplank. Maar sinds men begonnen is systematisch de hoeveelheid sediment te meten, die per tijdseenheid het stroomgebied van een bepaalde rivier verlaat, kan men ook de erosie kwantificeren, uitgedrukt als de verlaging van het totale landoppervlak van het stroomgebied per eeuw. Daardoor wordt een vergelijking mogelijk met de waarden voor de korstbewegingen die we zojuist hebben besproken.

Een van de hoogste waarden die tot nu toe zijn gemeten is die van de Kosi-rivier die de Mount Everest afwatert: die vervoert zóveel sediment, dat dat omgerekend neerkomt op een oppervlakteverlaging van 10 cm per eeuw. Andere bergachtige gebieden geven waarden tussen de 10 en de één cm per eeuw. Dat is een orde van grootte kleiner dan de waarden die we voor opheffing hebben gevonden in de actieve bergteggordels van de wereld. Laaglandrivieren bereiken doorgaans geen grotere waarden dan 0.2-0.5 cm per eeuw, en ook dat is een orde van grootte kleiner dan de korstbewegingen in dit soort gebieden. Daarbij moeten we nog aantekenen dat de hoeveelheid sediment die nú wordt

afgevoerd twee tot vijf maal hoger is dan die in de periode vóór de ingebruik name van vele gebieden door de landbouw. Als we nu het cijfer van Bennett hanteren, waarbij voor de vorming van een humeuze bovengrond van 2,5 cm dik 300 jaar nodig is onder natuurlijke omstandigheden, d.w.z. 0,8 cm/eeuw, dan volgt daaruit dat bodems in laagland redelijke overlevingskansen hebben, zolang de mens de vegetatiebedekking ongemoeid laat, of althans het land op een verantwoorde manier gebruikt. Men hanteert vaak een norm voor maximaal toelaatbare bodemerosie van 12.5 ton/ha/jaar, wat neerkomt op een oppervlakteverlaging van 5 cm/eeuw. Echter, de erosie wint het van de bodemvorming in de bergen, wat iedereen daar trouwens op een wandeltocht kan waarnemen. Maar alleen in de allerhoogste gebergten op aarde komt de kracht van de erosie in de buurt van de kracht van de opheffing. De Amerikaanse geomorfoloog Bloom speculeert zelfs dat een gebergte op aarde niet veel hoger zou kunnen worden dan de Mount Everest, omdat dan erosie en opheffing zózeer aan elkaar gewaagd zijn dat er geen netto verhoging meer zou optreden.

Er is nog een andere factor van belang voor het aanzien van het reliëf, een factor die deels van endogene, deels van exogene oorsprong is: de hoogte van het zeeniveau, en daarmee de ligging van de erosiebasis, het theoretische eindpunt tot waar een landschap door de erosie afgevlakt zou kunnen worden.

We hebben al gezien, dat op de plaatsen, waar lithosferische platen uit elkaar wijken, nieuwe oceaankorst wordt gevormd. Die oceaankorst is gedurende de eerste tijd na zijn vulkanische ontstaan nog relatief warm en dus soortelijk licht, maar naarmate hij ouder wordt koelt hij af en krimpt hij in. Dat heeft een buitengewoon belangrijk gevolg: op plaatsen waar de oceaankorst oud is, en dus sterk ingekrompen, is de oceaan veel dieper dan boven nieuwgevormde korst. Toen in het Mesozoicum het grote supercontinent Pangaea in aparte platen uiteendreef, is zeer veel nieuwe oceaankorst ontstaan. Dit had een sterke stijging van de zeespiegel tot gevolg, zodat aan het eind van het Krijt de zeespiegel minstens 300 m hoger lag dan tegenwoordig. Na het Krijt is de zeespiegel gestaag gedaald. Oliegeologen hebben recentelijk een gedetailleerde curve gepubliceerd van de schommelingen van het zeeniveau gedurende de laatste 600 miljoen jaar, en het

blijkt dat de zeespiegel op dit moment, in vergelijking met grote delen van de geologische geschiedenis, abnormaal laag staat. Daar komt nog bij, dat, zoals we gezien hebben, er na het Krijt een geleidelijke temperatuurdaling is opgetreden die uiteindelijk heeft geleid tot de vorming van ijskappen op de polen: ook daarbij is een heleboel water opgeslagen dat uiteindelijk aan de oceanen is onttrokken. Beide effecten werken dus in dezelfde richting.

Gedurende de laatste ijstijd lag de zeespiegel nog eens honderd meter lager dan tegenwoordig.

De snelheid waarmee veranderingen in de zeespiegelstand zich kunnen voltrekken, kunnen we vooral goed afmeten aan de zeespiegelstijging die zich voltrok aan het einde van de laatste ijstijd, toen door de snelle klimaatsverbetering grote hoeveelheden smeltwater van de ijskappen aan de oceanen werden toegevoegd. De stijging verliep aanvankelijk zeer snel, meer dan twee meter per eeuw, wat voor Nederland overeenkomt met een landinwaartse verplaatsing van de kustlijn van 100 m per jaar. Maar de stijging verminderde geleidelijk, en is nu zó gering dat men het er niet over eens is of het zeeniveau constant blijft dan wel lichtelijk stijgt. Maar we moeten wél constateren, dat de veranderingen in de ligging van de erosiebasis zich met een veel grotere snelheid voor kunnen doen dan de snelheid waarmee de rivieren het reliëf op aarde kunnen afvlakken.

We zien dus dat het ritme van de veranderingen in het reliëf gedicteerd wordt door de verticale en horizontale bewegingen van de aardkorst en door de zeespiegelschommelingen, en dat de erosie er als een ijverige werkster achteraanloopt om de sporen weer uit te wissen. De bodem is daarbij haar eerste slachtoffer. De Amerikaanse geomorfoloog Schumm heeft eens berekend dat wanneer er geen verdere tektonische verstoringen op zouden treden, het grondgebied van de Verenigde Staten in een periode van 15-110 miljoen jaar tot zeeniveau zou zijn geërodeerd. Maar de dynamiek van korstbewegingen en zeespiegelschommelingen laat niet toe dat het ooit zover zal komen.

Zelfs op de schijnbaar stabiele korstgedeelten die wij schilden noemen, zoals het grootste deel van het Afrikaanse continent en geheel Zuid-Amerika ten oosten van de Andes, zijn relictten van zeer oude landschapsvormen schaars, wat ook niet verwonderlijk is als men

bedenkt dat zij zich tengevolge van de plaattektoniek horizontaal langs het aardoppervlak verplaatsen met een snelheid die het duizendvoudige is van de snelheid waarmee zij door de erosie worden afgevlakt.

Daar komt nog bij, dat, zoals we gezien hebben, veel gebieden waarvan de natuurlijke vegetatie nú uit bos bestaat, in de laatste ijstijd veel droger waren, en met een steppe of savannevegetatie waren bedekt. Als we nu aan de hand van de curve van Langbein en Schumm bezien wat voor invloed het vegetatiedek op de denudatiesnelheid van vergelijkbare gebieden heeft, dan kunnen wij speculeren dat de denudatiesnelheid in die droge perioden aanzienlijk groter was dan tegenwoordig. Voor de gematigde streken is dat welbekend, daar was in koude perioden van het Pleistoceen de ondergrond bevroren, waardoor sterke hellingbewegingen op konden treden. Maar ook in die gebieden die nu door tropisch regenwoud zijn bedekt, zal onder de savannevegetatie van de drogere perioden in het Pleistoceen de bodemerosie aanzienlijk groter geweest zijn dan tegenwoordig. De bodemerosie die nú optreedt in die gebieden doordat het regenwoud wordt opgeofferd aan de hamburgerindustrie, is dus in zekere zin een herhaling van wat zich hier twintigduizend jaar geleden heeft afgespeeld.

Door de dynamiek van aardkorst, zeespiegel, klimaat en vegetatiedek zijn zeer weinig landschapsvormen en de bodems die zij dragen, ouder dan vijftig miljoen jaar, en is het merendeel zelfs slechts enkele duizenden tot honderdduizenden jaren oud. Het huidige landschap licht ons dus hooguit in over de laatste één procent van de aardgeschiedenis. Het feit dat wij hierboven gewag hebben kunnen maken van Precambrische en andere oude bodems is dan ook alleen te danken aan het optreden van toevallige factoren, waardoor een bodem kort na zijn ontstaan werd afgedekt door een sedimentlaag. Deze oude bodems zijn onze voornaamste getuigen van de interactie tussen lithosfeer, atmosfeer, biosfeer en hydrosfeer in het landschap in de overige 99 procent van de aardgeschiedenis.

De snelheid waarmee veranderingen in klimaat, organismen, topografie en moedermateriaal zich kunnen voltrekken, is niet zelden vele malen groter dan de snelheid waarmee bodemvorming optreedt. Men kan dus niet simpelweg stellen dat het de bodemvormende factoren

zijn die het aanzicht van de bodem bepalen. De bodemvormende factoren vertegenwoordigen elk voor zich een complex processen die net zo dynamisch zijn als de bodemvorming zelf. De bodem is zodoende één onderdeelje van het dynamische systeem dat de gehele aarde omvat.

De prehistorische mens heeft een groot aantal van de boven beschreven ingrijpende veranderingen in zijn leefmilieu meegemaakt. Hij heeft de stuwwal waar we ons nu op bevinden door het landijs opgeduwd zien worden. Hij heeft vulkanische uitbarstingen meegemaakt in Auvergne en de Eifel en heeft de as op Nederland zien neerdalen. Hij heeft van Nederland naar Engeland kunnen lopen over de droge bodem van de Noordzee zonder natte voeten te krijgen, en hij heeft gebruik gemaakt van de droogliggende Beringstraat om een nieuw continent te bevolken. Hij heeft zijn woonplaatsen bedreigd gezien door het wassende water, maar tegelijkertijd de bossen op het land zien terugkomen. Op het moment dat hij de eerste eiken rooide om landbouw te bedrijven stond er pas hooguit 2000 jaar bos op die plaats.

De moderne mens leeft in een periode waarin een zekere stabilisatie is opgetreden in het klimaat. De stijgingscurve van het zeeniveau is tot onze geruststelling sterk afgezwakt bij de nadering van de moderne tijd. Maar we moeten ons daardoor niet laten misleiden: er is geen natuurlijk nulpunt, dat wij als referentie kunnen gebruiken als wij het milieu willen terugbrengen in zijn "natuurlijke staat". Door ons op gang gebrachte processen als de toename van het CO<sub>2</sub> gehalte van de atmosfeer zijn praktisch gesproken irreversibel, en we moeten bij het beschouwen van de gevolgen daarvan niet alleen rekening houden met geléidelijke veranderingen in het klimaat, maar ook met de mogelijkheid dat op een gegeven moment een bepaalde drempel wordt overschreden waardoor de klimaatsveranderingen in een stroomversnelling terecht komen zoals we die gekend hebben kort na de laatste ijstijd.

Wij zijn in een rijdende tram gesprongen met onbekende bestemming, en op knooppunten kunnen wij proberen een wissel om te gooien, maar de rails van beide alternatieven liggen verankerd in de aarde.

Wij zijn gehouden om de veranderingen die wij waarnemen en ver-

oorzaken op de voet te volgen met alle middelen die ons daarbij ten dienste staan, van satelliet tot microscoop. Wij moeten aan de hand daarvan modellen opstellen over de snelheid en de richting van die processen. Maar we moeten tegelijkertijd de geschiedenis van ons leefmilieu bestuderen, van Precambrium tot Kwartair, om te weten of de uitkomsten van onze modelberekeningen plausibel zijn in het licht van de dynamiek van het aardse ecosysteem. Dat laatste is de essentie van datgene wat ik u met de titel van deze rede duidelijk heb willen maken.

*Geachte toehoorders,*

Op 1 oktober van dit jaar was het precies 50 jaar geleden dat C.H. Edelman op dertigjarige leeftijd werd benoemd tot hoogleraar in Wageningen, om onderwijs te geven in de mineralogie, de petrologie, de geologie en de agrogeologie, een leeropdracht die later gewijzigd zou worden in de Bodemkunde. In het overzicht dat prof. Osse in 1958 wijdde aan de eerste vijf en twintig jaar van Edelman's hoogleraarschap, onderscheidde hij een tweetal fasen in de wetenschappelijke loopbaan van prof. Edelman. In de eerste fase, die culmineerde in zijn promotie en zijn benoeming tot hoogleraar, hadden sedimentpetrologie, mineralogie en geologie zijn voornaamste aandacht. In de tweede fase daarna, wist hij de bodemkartering, en met name de ruimtelijke verbreiding van de verschillende bodemsoorten in relatie tot de geologische ontstaanswijze, tot grote hoogte te brengen. Prof. Osse zag een derde fase groeien, waarin Edelman's belangstelling voor de historische geografie op de voorgrond trad. Men zou dus kunnen stellen, dat in het raakvlak van geologie en bodemkunde, achtereenvolgens de bodemsamenstelling, de ruimtelijke samenhang en de tijdsfactor het brandpunt vormden van Edelman's belangstelling. Het zijn nog steeds deze drie pijlers waar ons booreiland op de Duivendaal op rust. Ik beschouw het als een grote eer om vanuit de geologie aan de dynamiek van landschap en bodem in ruimte en tijd verder reliëf te mogen geven. Ik wil daarom Hare Majesteit de Koningin hartelijk danken voor mijn benoeming tot hoogleraar in de geologie aan de Landbouwhogeschool.

*Mijnheer de Rector Magnificus, Mijne Heren leden van het College van Bestuur,*

Ik heb met instemming vernomen, dat u bij het ploegen op wintervoor, niet zonder meer het Haagse Ros Beiaard als ploegpaard wilt inspannen, maar gepleit heeft voor de handhaving van de autonomie van de universitaire instellingen, en de creativiteit hoog in het vaandel heeft geschreven. In de geologie en de bodemkunde is er niets dat de creativiteit en de inventiviteit zozeer bevordert als de voortdurende



confrontatie met het veld. In deze tijd van schaarser wordende geldmiddelen wordt er wel eens met een zuinig oog gekeken naar onze dure excursies en veldprojecten. Maar het geven van onderwijs in geologie en bodemkunde zonder veldwerk is even onmogelijk als het geven van zwemles uit een boekje. Ik wil u, en de leden van de benoemingscommissie hartelijk danken voor het vertrouwen dat u in mij heeft gesteld.

*Hooggeachte De Jong, Beste Jan,*

Toen ik dertien jaar geleden bij jou in Leiden tentamen aflegde in de sedimentologie, vroeg je me naar de karakteristieken van een klassieke delta. Ik had toen niet kunnen vermoeden, dat ik na tien jaar in het buitenland naar jouw meest geliefde delta zou terugkeren om in je voetspoor te treden. Ik heb een vol jaar inwerken nodig gehad om de enorme omvang van het werk dat je verricht hebt, ten volle te beseffen, en om de uitstraling van je bezielende docentschap naar waarde te kunnen schatten. De wijze waarop jij mij vrijwel vanaf het uur van mijn aankomst in Nederland hebt ingewerkt en later met raad en daad hebt bijgestaan was voor mij een zeer grote steun. Dankzij jou en je vrouw Roni is de overgang naar het nieuwe buitenland dat Wageningen voor ons was soepel verlopen.

*Dames en Heren, leden van de vakgroep Bodemkunde en Geologie,*

Toen ik nog in Colombia, van u een studiegids en andere bescheiden mocht ontvangen om mij een beeld te vormen van de taak die mij op de Landbouwhogeschool te wachten stond, zat ik met mijn handen in het haar. Ik wist niet wat een owel was, een rompprogramma, een KA student, een ROC, de FR, de tweefasenstructuur, de kleine enquête en het stond nergens uitgelegd. Ik zal u eerlijk zeggen dat het mij dan ook somber te moede was toen ik reeds in de eerste weken na mijn aankomst met een vloedgolf van straffe vergaderingen werd overspoeld, waarin niet alleen dit merkwaardige jargon voor normale omgangstaal moest doorgaan, maar waarin zaken als de herprogrammering van de studie, en de voorwaardelijke financiering ook om snelle be-

slissingen vroegen. Ik ben u dan ook zeer dankbaar voor het geduld dat u jegens mij betoond hebt, zodat ik mij daar gaandeweg in heb kunnen inwerken. Toen ik laatst in een gesprek met een Amsterdamse collega het woord 'onderwijselement' uit de mond liet vallen, zei deze: "ik zie dat je je dat rare taaltje al helemaal eigen hebt gemaakt." Ik vond dat niet leuk, maar hij had gelijk, en ik hoop dat onze samenwerking niet gekenmerkt zal worden door dergelijke bureaucratische cryptogrammen, maar door creativiteit en dynamiek.

De hartelijke wijze waarop u mij reeds op de dag van mijn aankomst uit het buitenland ontving, is tekenend voor de goede sfeer in de vakgroep. Dat geldt des te meer, als ik in aanmerking neem, dat toen ik die dag, moegereisd na een doorwaakte nacht in het vliegtuig, het gebouw aan de Duivendaal langs de achterkant wou binnengaan, u mij aanvankelijk aanzag voor de loodgietersknecht. Ook ben ik onder de indruk gekomen van de hoge wetenschappelijke kwaliteit van het werk dat door de vakgroep verricht wordt. Ik wil de reeds onder prof. de Jong op gang gebrachte integratie van geologische en bodemkundige 'onderwijselementen' krachtig steunen. In het onderzoek wil ik vooral op het gebied van de geomorfologie, de kwartairgeologie en de teledetectie de gezamenlijke inspanningen versterken, naast de reeds uitstekende samenwerking die er in de vakgroep bestaat op het gebied van de mineralogie en de hydrogeologie. Het zijn daarbij niet de scheidslijnen tussen de verschillende onderdelen van de aardwetenschappen die mij interesseren, maar het brede perspectief van ruimte en tijd.

*Dames en heren studenten,*

In het middelbaar onderwijs wordt een klassegrootte van dertig leerlingen als maximaal beschouwd voor een optimale kennisoverdracht. Het spijt mij meer dan ik u zeggen kan dat in het hoger onderwijs een dergelijke maatstaf niet bestaat. Ik ben mij daar elke keer pijnlijk van bewust als één van u mij vriendelijk groet, al wandelend in de Hoogstraat, en ik u niet herken als één van de driehonderd uit de grote collegezaal van de Drieyen. Het is doorgaans pas in de grindgroeven van

Limburg en op de vulkaantoppen van Auvergne dat enig nader contact kan ontstaan. Dat éénrichtingsverkeer bedroeft mij des te meer, omdat ik zelf nog maar net het stadium ben ontgroeid dat ik 'u' tegen mijn leermeesters zei, terwijl zij het nu normaal vinden dat ik ze tutoyeer. Hoewel het leeftijdsverschil tussen u en mij numeriek hetzelfde zal blijven in de toekomst, zult u ervaren dat door onze gebrekkige tijdsbeleving die afstand in feite steeds kleiner wordt. Ik hoop dat proces ook in wetenschappelijk opzicht nog te versnellen, door zoveel als mogelijk met u van gedachten te wisselen over dat gemeenschappelijke studieobject dat ons na aan het hart ligt, de aarde.

Ik dank u voor uw aandacht.