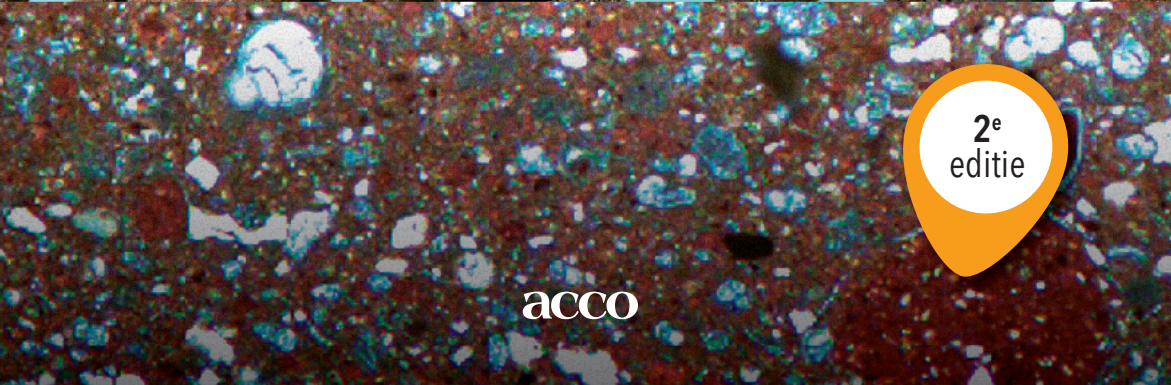




Patrick Degryse  
Anton Ervynck  
Veerle Linseele  
Peter Vandenabeele  
Gert Verstraeten

# NATUURWETENSCHAPPEN EN ARCHEOLOGIE

METHODE EN INTERPRETATIE



2<sup>e</sup>  
editie

acco

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	9
<b>Inleiding</b>	11
<b>Ecologische archeologie</b>	23
<b>1. Gesteenten, sedimenten en bodems</b>	25
1.1 Inleiding	25
1.2 Mineralen en gesteenten	26
1.3 Sedimenten	34
1.4 Bodems	36
1.5 Bodems en sedimenten als archief	43
1.6 Grootschalige geologische fenomenen	45
1.7 Economische 'rijdommen'	46
<b>2. Landschappen</b>	53
2.1 Geomorfologie	53
2.2 Het landschap als archief	61
2.3 Klimaat	62
<b>3. Planten</b>	65
3.1 Inleiding	65
3.2 Kiezelwieren	68
3.3 Pollen en sporen	71
3.4 Zaden en vruchten	91

## 6 ► Inhoud

3.5	Pollen versus zaden en vruchten bij vegetatiereconstructies	101
3.6	Fytolieten en zetmeel	102
3.7	Hout en houtskool	104
<b>4.</b>	<b>Dieren</b>	<b>109</b>
4.1	Inleiding	109
4.2	Dierenresten in de archeologie	110
4.3	Tafonomisch onderzoek: tafonomische categorieën	111
4.4	Tafonomisch onderzoek: bewaringsproblematiek	115
4.5	De bemonstering	117
4.6	Identificatie van het vondstenmateriaal	119
4.7	Observaties op het dierlijke materiaal	119
4.8	Culturele informatie uit dierenresten	124
4.9	Ecologische informatie uit dierenresten	125
4.10	Contextuele informatie uit dierenresten	127
<b>5.</b>	<b>Mensen</b>	<b>129</b>
5.1	Inleiding	129
5.2	Inzameling van menselijk materiaal	130
5.3	Observaties	131
5.4	Crematierestendonderzoek	135
5.5	Interpretaties	136
	<b>Analytische methoden</b>	<b>139</b>
<b>6.</b>	<b>Fysico-chemische analyses</b>	<b>141</b>
6.1	Energie	141
6.2	Elektromagnetische straling	142
6.3	Atomen en moleculen	145
6.4	Indeling van de analysemethoden	148
6.5	Beeldvormingsmethoden	153
6.6	Spectroscopische analysemethoden	163
6.7	Scheidingsmethoden	172
6.8	Andere analysemethoden	176
6.9	Interpretaties	182
<b>7.</b>	<b>Analyse van anorganische materialen</b>	<b>183</b>
7.1	Petrografie	183
7.2	Micropaleontologie	186

7.3	Fysische en chemische samenstelling	187
7.4	Interpretaties	190
<b>8.</b>	<b>Analyse van organische materialen</b>	<b>191</b>
8.1	Over levende organismen en biomaterialen	191
8.2	Residuanalyse	193
8.3	DNA	195
8.3.1	DNA in levende cellen	195
8.3.2	Archeologisch DNA	198
8.3.3	Menselijk DNA: interpretaties	199
8.3.4	Niet-menselijk DNA	202
8.4	Stabiele isotopen uit organisch materiaal	204
<b>9.</b>	<b>Analyse van landschappen</b>	<b>213</b>
9.1	Inleiding	213
9.2	Paleoklimatologie	213
9.3	Geoarcheologie: niet-destructieve prospectiemethoden	215
9.3.1	Geofysische prospectiemethoden	215
9.3.2	Teledetectie	225
9.4	Geoarcheologie: prospectie door staalname	242
<b>10.</b>	<b>Dateringsmethoden</b>	<b>245</b>
10.1	Inleiding	245
10.2	Relatieve dateringstechnieken	247
10.2.1	Aminozuur-racemisatiedatering of aminozuur-geochronologie	248
10.2.2	Obsidiaan- en kwartshydratatie	249
10.3	'Age-equivalente' dateringstechnieken	251
10.3.1	Paleomagnetisme	251
10.3.2	Tefrachronologie	254
10.3.3	Zuurstofisotopenchronologie	255
10.4	Incrementale absolute dateringstechnieken	256
10.4.1	Dendrochronologie	256
10.4.2	Varvenchronologie	264
10.4.3	Lichenometrie	265
10.4.4	IJslaagchronologie	266
10.5	Radiometrische absolute dateringstechnieken	266
10.5.1	Radioactieve koolstofdatering	267
10.5.2	Kalium-argonmethode	280
10.5.3	Uraniumseries	281
10.5.4	Andere radiogene dateringstechnieken	283

8 ► Inhoud

10.5.5 Luminescentie	283
10.5.6 Elektrosinresonantie of ESR	290
10.6 Eindbemerking dateringen	291
<b>Uitleiding</b>	293
<b>Bibliografie</b>	303

# Woord vooraf

Archeologie is een van de moeilijkste wetenschappen die er is. Het doel ervan is immers het leven van vroeger te reconstrueren, in al zijn aspecten. Niet alleen culturele fenomenen (kunst, filosofie, sociale processen) komen aan bod maar ook vele zaken van natuurwetenschappelijke aard (landschap, geologie, milieuproblematiek, interactie met dieren en planten). Een archeoloog moet dus de resultaten van een hele reeks van onderzoeksdisciplines kunnen incorporeren in zijn of haar verhaal. Dat is uiteraard geen makkelijke klus, waarbij de natuurwetenschappen nogal eens het meeste problemen stellen. Archeologen hebben immers hun opleiding en persoonlijke interesses vaak vanuit een menswetenschappelijke invalshoek ontwikkeld, terwijl de natuurwetenschappen hen een beetje ‘ontsnappen’. Tegenwoordig valt de krachtige bijdrage van de geografie, geologie, biologie, scheikunde en natuurkunde tot de archeologische studie echter niet meer te negeren.

Recente ontwikkelingen binnen de archeologie maken het dus nuttig (en noodzakelijk) om over een handboek te beschikken dat de bijdrage van de natuurwetenschappen tot het archeologische onderzoek inleidend samenvat. *Natuurwetenschappen en archeologie. Methode en interpretatie* wil een dergelijk handboek zijn. Het stelt zich tot taak de lezer uit te leggen welke archeologische inzichten de natuurwetenschappen kunnen bieden en welke methoden en technieken daarbij gebruikt worden. Het is niet de bedoeling na lezing van dit boek zelf met dierenbeenderen, pollen of isotopen aan de slag te kunnen gaan. Belangrijker is dat archeologen weten hoe ze met een brede waaier van onderzoeksresultaten interdisciplinair verder kunnen denken en aan hun collega's buiten de menswetenschappen de juiste vragen kunnen leren stellen.

Bij de samenstelling van dit handboek gaat, voor allerlei onmisbare hulp, veel dank uit naar collega's van de KU Leuven en daarbinnen het *Center for Archaeological Sciences*, de Universiteit Gent, het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen en het Vlaams Instituut voor het Onroerend Erfgoed. Ons respect gaat evenzeer uit naar al diegenen die in de voorbije decennia in Vlaanderen het natuurwetenschappelijke onderzoek in de archeologie hebben uitgebouwd.



# Inleiding

## Wat is archeologie?

Archeologie kan men definiëren als ‘de studie van het gedrag van de mens in het verleden, op basis van overgebleven materiële resten’. Dat is een heel brede definitie die echter vaak vrij eng wordt geïnterpreteerd. Archeologische bevindingen worden inderdaad soms gepresenteerd als een louter cultureel verhaal: de ontdekking van de ruïnes van een majestueus bouwwerk, een graf met een mysterieuze inhoud, de sporen van een prehistorische nederzetting. De hele archeologie wordt, als wetenschap, door velen nog altijd als een louter culturele oefening gezien, als de studie en reconstructie van de ontwikkeling en opeenvolging van menselijke culturen, in al hun materiële, technische, sociale en spirituele dimensies.

Het verschijnsel ‘mens’ is echter niet enkel een cultureel gegeven; het behoort ook onlosmakelijk tot de natuur. Niet alleen staat de mens altijd in relatie tot zijn of haar omgeving, onze soort gaat ook een heel diverse waaier van interacties aan met andere soorten, met het landschap of met de ondergrond. Delen van de bodem benutten we, bepaalde landschapselementen aanbidden we, sommige planten eten we en met een aantal diersoorten delen we onze woning. Bovendien is de mens een stuk natuur op zich. Een deel van onze dagelijkse activiteiten is nauwelijks cultureel te noemen, laat staan spiritueel. Mensen zijn dieren, die zich voeden, voortplanten en verouderen. Aan die biologische wetten valt vooralsnog niet te ontsnappen.

Archeologie is daarom een interdisciplinaire wetenschap, die de invalshoeken van de menswetenschappen (de ‘alfawetenschappen’ of in het Engels de ‘*humanities*’) combineert met deze van de natuurwetenschappen (de bètawetenschappen of ‘*sciences*’). Wie de archeologie louter als een mens- of cultuurwetenschap ziet, zal zich vooral richten op de studie van culturele uitingen van het vroegere menselijke gedrag: artefacten, structuren, sporen van activiteiten. Binnen een natuurwetenschappelijke benadering van het archeologische onderzoek zal men echter de nadruk leggen op de studie van biologische resten (zoals dierenbeenderen of plantenzaden), gesteenten, de bodem, het landschap, de menselijke overblijfselen zelf, of zal men de chemische



of fysische kenmerken van de vondsten als informatiebron aanspreken. Dit alles betekent evenwel niet dat er twee soorten archeologie zouden bestaan.

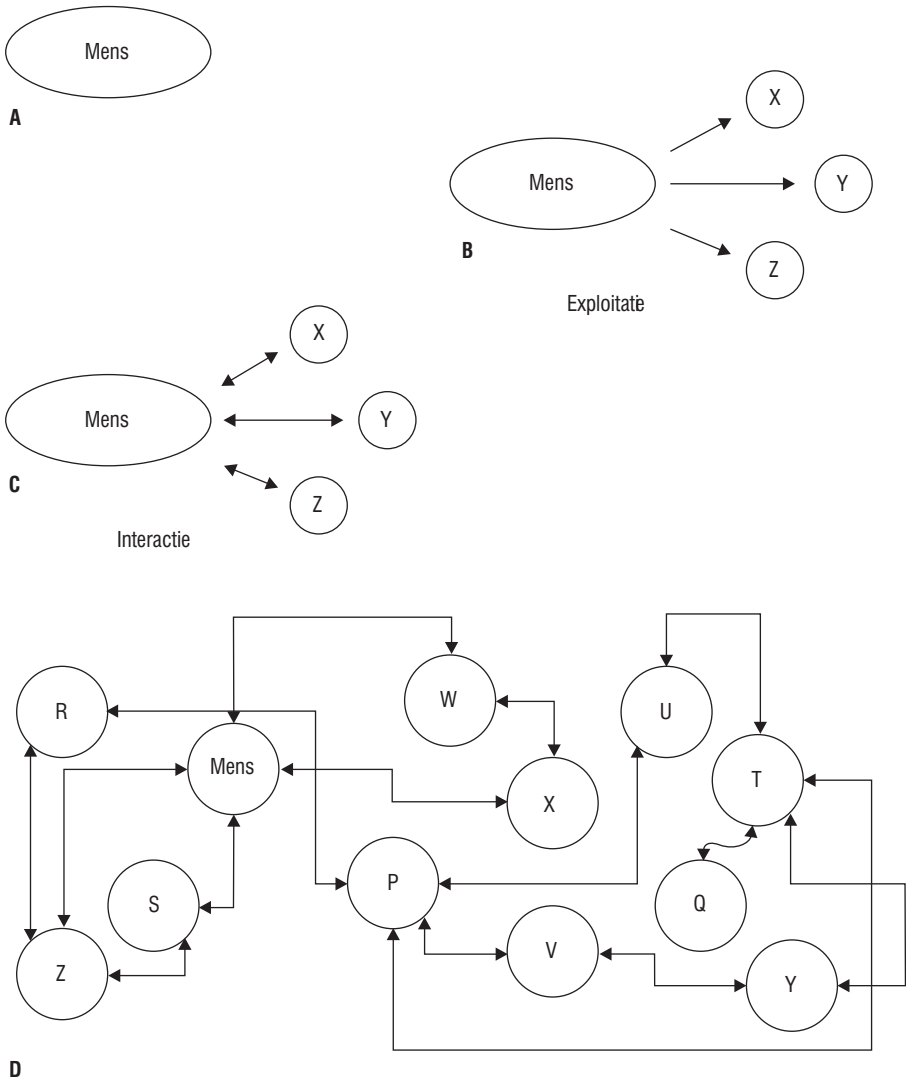
Elke benadering (cultureel of natuurwetenschappelijk) dient hetzelfde doel: de studie van het gedrag van de mens in het verleden, op basis van overgebleven materiële resten. Wat die resten ook zijn, maakt niets uit. Alle vondsten zijn waardevol als informatiebron. Het is zelfs zo dat een louter culturele of enkel natuurwetenschappelijke archeologische studie slechts een deel van het (altijd al onvolledige) verhaal kan vertellen. De combinatie van beide is dus aan te bevelen maar is tegelijk maar een eerste stap. De interactie, zelfs confrontatie tussen beide visies maakt archeologie zo boeiend, maar tegelijk ook ongelooflijk moeilijk. Een archeoloog moet inderdaad van alles op de hoogte zijn: natuur, cultuur, en dat alles liefst in één of meerdere globale, geïntegreerde visies.

Historisch heeft de archeologie zich als een duidelijk cultureel georiënteerde wetenschap ontwikkeld. De natuurwetenschappelijke benadering is pas later gegroeid en is zelfs nog niet in alle geledingen van de archeologische wereld ten volle doorgedrongen. Lang dacht men er bijvoorbeeld niet aan dat het organische consumptieafval, op een vindplaats aangetroffen, ook inzicht geeft in het gedrag van de mens in het verleden, en zelfs nu vergeet men soms nog dat men eerst het landschap moet kennen vooraleer men de menselijke activiteiten op een bepaalde plek kan begrijpen. Daarom kan het voorlopig geen kwaad de natuurwetenschappen in de archeologie enigszins te promoten, bijvoorbeeld door hun bijdrage expliciet te vermelden. Archeologie kan men aldus het best definiëren als ‘de studie van het vroegere gedrag van de mens, *in relatie tot de omgeving*, en dit op basis van overgebleven materiële resten’.

## Een ‘natuurlijke’ kijk op het verleden

Om de inbreng van de natuurwetenschappen in de archeologie te evalueren, is dus een brede kijk op het verleden nodig, en dus ook op de studie ervan. Voor een goed begrip van wat in dit handboek volgt, is het nuttig dit nog eens mits een kleine denkoefening te benadrukken. Figuur 1 dient daarbij ter illustratie en geeft allereerst op een simplistische wijze weer wat het wereldbeeld is wanneer bij de studie van het verleden de mens centraal wordt gesteld, als een geïsoleerde eenheid (figuur 1, A). Binnen dit eerste, karikaturale model wordt het verleden bestudeerd door enkel het menselijk handelen te bekijken. Het is de meest klassieke opvatting binnen de kunsthistorische of cultuurhistorische benadering van de archeologie. Dit beeld kan verruimd worden door in rekening te brengen dat ook de omgeving, en de andere organismen die daarin voorkomen, voor het menselijke bestaan van belang zijn (figuur 1, B). In eerste instantie zal men hieraan

denken wanneer onderzoeksthema's zoals voeding of het winnen van grondstoffen bij de archeologische vraagstelling worden betrokken. In dit model is de relatie tussen de mens en zijn omgeving er dus hoofdzakelijk een van exploitatie.



**Figuur 1.** Modelmatige voorstelling van verschillende visies op de mens en zijn omgeving als achtergrond bij archeologische vraagstellingen (uitleg zie tekst, uit Ervynck 2004).

De visie wordt nog ruimer wanneer men het ecologische principe in rekening brengt dat organismen ('soorten') altijd reageren wanneer zij in contact komen

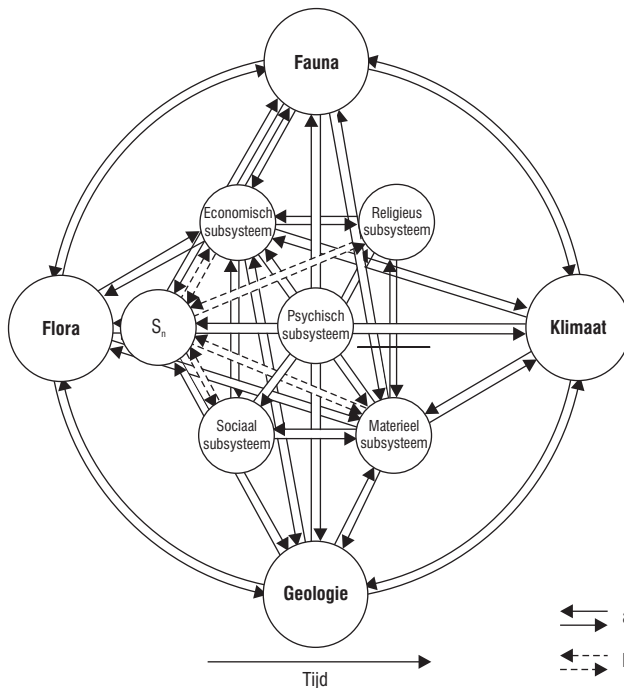
met een andere soort. Dieren en planten veranderen inderdaad onder invloed van de menselijke exploitatie, of zelfs gewoon door de menselijke aanwezigheid, en in feite geldt dit ook voor het landschap en de bodem. Levende wezens kunnen zich aanpassen aan de menselijke leefomgeving of aan door de mens nieuw gecreëerde biotopen (kolonisatie). Organismen kunnen door contact met de mens ook genetisch of inzake gedrag veranderen (adaptatie), simpelweg uitsterven (extinctie) of er kunnen zelfs nieuwe soorten ontstaan (speciatie). De inbreng van de mens kan zelfs verandering bewust tot doel hebben, zoals bij de domesticatie van planten en dieren. In het algemeen komt het er dus op neer dat in het verruimde model (figuur 1, C) de mens en andere soorten in interactie zijn, in tegenstelling tot het eenrichtingsverkeer in model B.

Ten slotte kan men de ecologische invalshoek totaal doordrukken en het leven op aarde bekijken als een ecosysteem (een gemeenschap van met elkaar interagerende organismen, met inbegrip van de omgeving waarin ze leven en waarmee ze ook interageren: figuur 1, D). De mens hoeft voor een ecooloog zelfs niet centraal te staan binnen het systeem, maar binnen een archeologische studie blijft dit natuurlijk wel het geval. De relevantie van het bestuderen van een netwerk van met elkaar interagerende organismen voor de kennis van het verleden kan bijvoorbeeld geïllustreerd worden aan de hand van de leefgemeenschap van de pestbaci, Aziatische marmot, zijderups, vlo, zwarte rat en mens. De interactie van deze soorten was er verantwoordelijk voor dat in de 14de eeuw de pest, een onschuldige ‘kinderziekte’ overgedragen door een bacteriesoort bij marmotten op de Aziatische steppe, via de zijderoute kon terechtkomen bij de zwarte scheepsrat, om vervolgens via het handelsverkeer een groot deel van de bevolking in Europa te besmetten. Via de zijderoute kwamen immers ook pelsen van marmotten richting het Westen en in die pelsen zaten vlooien, de dragers van de pestbaci. Toen de vlooien geen voedsel meer vonden in de pelsen, sprongen ze over op de zwarte ratten aan boord van de handelsschepen en brachten zo de pestbaci over. De ratten waren evenwel niet bestand tegen de ziekte, stierven en de rattenvlooien zochten een nieuwe gastheer. Aldus werden ook mensen geïnfecteerd en verspreidden mensenvlooien de aandoening steeds verder, dit alles terwijl de boten van haven naar haven gingen en bemanningen aan- en afmonsterden. De pest verspreidde zich dan ook in luttele tijd doorheen heel Europa. Hoe verregaand de economische en culturele gevolgen van deze epidemie waren, is geschiedenis.

De wereld, die uit het verleden of die van vandaag, bekijken als een interagerend systeem van soorten is nog niet het eind van het verhaal. Ook de niet-levende omgeving, zoals het klimaat of de geologische ondergrond, moet bij een alomvattende visie worden betrokken. Het leven van alle organismen in een ecosysteem wordt immers in grote mate bepaald door de ondergrond waarop ze leven en het klimaatregime waarin zij verkeren. Anderzijds beïnvloeden levende wezens mogelijk ook de ‘dode’ omgevingsfactoren, iets wat zeker het geval is voor onze soort. Dat

de mens het klimaat verandert, nemen nu zelfs de grootste sceptici aan, en onze ingreep op de natuurlijke, geologische 'rijkdommen' behoeft evenmin betoog.

Binnen de archeologie was David Clarke met de publicatie van *Analytical Archaeology* (in 1968) een van de voornaamste pleitbezorgers voor een geïntegreerde visie op mens en milieu. Clarke analyseerde het menselijke gedrag als een samenspel van vijf subsystemen (het economische, het materiële, het sociale, het religieuze en het psychische), die alle elkaar beïnvloeden, zelfs ten dele bepalen, maar ook in evenwicht houden. Deze verzameling van subsystemen, als geheel aangeduid als een 'sociocultureel systeem', bestaat echter niet op zich (wat zou neerkomen op model A uit figuur 1) maar staat in relatie tot de omgeving, waarbinnen vier entiteiten worden onderscheiden: geologie, klimaat, fauna (dierenwereld) en flora (plantenwereld). Belangrijk is dat elk subsysteem binnen het menselijke gedrag in interactie staat met de vier omgevingsfactoren. Ten slotte moet ook worden benadrukt dat dit netwerk van interagerende entiteiten evolueert in de tijd en ook beïnvloed zal worden door andere socioculturele systemen. Clarkes denkbeelden werden samengevat in een schema weergegeven in figuur 2.



**Figuur 2.** Model van het netwerk van subsystemen binnen een sociocultureel systeem en de interactie met het ecosysteem (a: interactie binnen het systeem, b: interactie met een ander, extern sociocultureel systeem 'S<sub>n</sub>'). Aangeduid is ook dat alles evolueert in de tijd (uit Bloemers & van Dorp 1991, naar Clarke 1968).

Het sociale subsysteem omvat de relaties binnen een groep mensen (verwantschap, hiërarchie, verschillen tussen man en vrouw, of tussen leeftijdsgroepen, enzovoort). Het religieuze of ideologische subsysteem omschrijft de visie op het boven- of buitennatuurlijke. Het economische subsysteem omvat alles wat met voedselvoorziening, technologie, handel en uitwisseling te maken heeft. Het materiële subsysteem houdt de materiële cultuur van een mensengemeenschap in. Het psychische subsysteem beslaat ten slotte het stelsel van ideeën, normen en waarden, en de psychologie van de menselijke geest. Het is duidelijk dat elk subsysteem inderdaad in verband gebracht kan worden met de andere (religie bepaalt de psyche, en omgekeerd, de economie bepaalt de sociale structuur van een groep, terwijl deze laatste de materiële cultuur diversifieert, enzovoort). Het is ook makkelijk om voorbeelden te vinden van hoe elk van de vijf subsystemen interageert met de vier omgevingsfactoren. Denk maar aan de religieuze betekenis van dieren, planten, landschapsvormen of weersfenomenen, of hoe, zoals gezegd, de economie de omgeving verandert (dieren worden gedomesticeerd, planten verdwijnen, de ondergrond wordt ontgonnen en het klimaat wordt door menselijk energieverbruik beïnvloed). Het landschap bepaalt de psyche van de mens; de dierenwereld bepaalt voor een deel de materiële cultuur (bijvoorbeeld bij de keuze van grondstoffen).

## De natuurwetenschappen

Vooraleer dan het natuurwetenschappelijke archeologische onderzoek te omschrijven, is het onontbeerlijk even stil te staan bij wat de natuurwetenschappen, op zich, eigenlijk voorstellen. Dat is complexer dan het op het eerste gezicht lijkt want de term ‘natuurwetenschappen’ dekt een heel diverse lading. Binnen de natuurwetenschappen onderscheidt men (vereenvoudigend) de volgende disciplines:

- wiskunde: bestudeert patronen en structuren die al dan niet in de natuur aanwezig zijn;
- natuurkunde of fysica: bestudeert de essentie (gedrag, eigenschappen) van de materie en van de krachten die erop inwerken. Dit kan gebeuren van het subatomaire niveau (elementaire deeltjes) tot het niveau van het materiële universum (kosmologie);
- scheikunde of chemie: omvat de studie van de materie en hoe ze reageert, intern en onder invloed van energie. Door de diversiteit van verschijningsvormen van de materie richt de scheikunde zich voornamelijk op de interacties tussen atomen en hoe zij moleculen vormen. Ook de interacties tussen moleculen worden vervolgens bestudeerd. Als het om levend materiaal gaat, wordt meestal de term ‘biochemie’ gebruikt;

- geologie: bestudeert de bouw en de ontwikkelingsgeschiedenis van de aarde en van de bewaarde sporen van leven;
- biologie: bestudeert de levende wezens (zowel fauna als flora);
- geografie: beschrijft de fysische, biologische en culturele kenmerken van het aardoppervlak, bestudeert hun verspreiding en analyseert de onderlinge interacties, inclusief deze tussen mens en milieu.

In wat volgt, wordt de wiskunde niet op zichzelf besproken maar toepassingen ervan zullen onvermijdelijk opduiken bij de bespreking van andere disciplines. Vele processen in de natuur moeten met behulp van statistiek worden omschreven en wanneer archeologische fenomenen modelmatig worden geanalyseerd, is men ook met wiskunde bezig. Een grondige verkenning van dergelijke mathematische analyses gaat echter aan het doel van dit inleidende boek voorbij.

Wat kunnen de genoemde natuurkunde, scheikunde, geologie, biologie en geografie, nu als deel van het archeologische onderzoek, bijdragen tot onze kennis van het gedrag van de mens in het verleden? Deze verkenning zou onmiddellijk aangepakt kunnen worden aan de hand van de in de archeologie gestelde onderzoeksvragen. Op de vraag *‘welke dieren verkoos men vroeger op te eten?’* kunnen bijvoorbeeld antwoorden geformuleerd worden vanuit ongeveer alle natuurwetenschappelijke disciplines. Het gevaar bestaat dan wel dat de diversiteit van benaderingen in eerste instantie wat verwarrend werkt. Voor wie niet vertrouwd is met natuurwetenschappelijk onderzoek, is het eenvoudiger om allereerst de verkenning per vondstencategorie te organiseren (gesteenten, sedimenten, bodems, landschappen, planten, dieren en mensen), waarvan de studie overeenkomt met de verschillende wetenschapsdisciplines (geologie, geografie, biologie). Deze oplossing gaat evenwel voorbij aan de vaststelling dat elke discipline binnen de natuurwetenschappen op zich al een heel brede waaier van onderzoeksactiviteiten omvat. Binnen de natuurwetenschappen kan men het studiemateriaal immers op heel verschillende schaalniveaus benaderen. Binnen de biologie zal men bijvoorbeeld inzake de dierenwereld studie doen op systemen van met elkaar interagerende soorten (ecosystemen), op soorten, op organismen (één individueel dier), op de organen waardoor dat organisme functioneert, op de weefsels waaruit die organen bestaan, op de cellen die samen weefsels vormen, op de moleculaire bouwstenen van de cellen, of op de atomen waaruit de moleculen zijn opgebouwd. Dergelijke schaalverschillen gelden natuurlijk niet alleen voor levend maar ook voor archeologisch materiaal, en zijn voor de andere disciplines evenzeer van tel.

Wanneer het onderzoek zich op het moleculaire, atomaire of zelfs lagere vlak begeeft, zitten we in de domeinen van de chemie en de fysica. Men kan inderdaad archeologische objecten (dieren, planten, gesteenten, bodems, landschappen) niet alleen op zich observeren en nagaan wat zij te vertellen hebben, maar men kan ook de interne structuur en samenstelling van die objecten analyseren, om er rele-

vante informatie aan te ontlokken. In de eerste aanpak worden zaden en vruchten van planten gedetermineerd om de vroegere vegetatie op een plek te reconstrueren, in de tweede zal de chemische samenstelling van een mensenbot inzicht geven in het dieet van zijn vroegere eigenaar. De eerste benadering is deze van de ecologische archeologie, de tweede deze van de analytische methoden.

## Ecologische archeologie

Ecologische archeologie (in het Engels ‘*environmental archaeology*’) is de studie van de interactie tussen de mens en zijn omgeving (fauna, flora, landschap, klimaat) doorheen de tijd, hoofdzakelijk aan de hand van de observatie van niet-culturele objecten. In de archeologische praktijk komt dat neer op een benadering die vooral vanuit de geografie, de geologie en de biologie wordt aangegeven. De toepassingen van de natuurkunde en de scheikunde liggen voor de archeologie eerder in de studie van de samenstelling en de interne opbouw van allerlei levende en dode materialen, en dat behoort, zoals gezegd, eerder tot de analytische methoden.

Door geologisch onderzoek wordt de ondergrond van een archeologische vindplaats in kaart gebracht en wordt de mogelijkheid beschreven en geëvalueerd om in vroegere tijden aardkundige materialen te gebruiken. De geologische ondergrond vormt daarnaast een basiselement van elk landschap, wat maakt dat de leefomgeving van de vroegere mens niet begrepen kan worden zonder geologische informatie. Binnen de geologie zijn er bovendien een aantal specifieke deeldisciplines die uitermate belangrijk zijn voor het archeologische onderzoek. Zo wordt binnen de archeoseismologie de interactie tussen tektonische processen (zoals aardbevingen) en de mens bestudeerd. Daarnaast is er de bodemkunde, de studie van het bovenste, ‘levende’ deel van de aardkorst (de bodem waarin planten groeien), en de sedimentologie, de studie van de kenmerken van sedimenten, antropogene (door de mens veroorzaakte) of natuurlijke afzettingen van gesteente- en bodemmateriaal die (nog) niet tot bodemvorming hebben geleid.

Tot de biologie behoren de onderzoeken van de resten van dieren en planten, die uit de archeologische contexten tevoorschijn kwamen (vaak als archeozoölogie en archeobotanie aangeduid). De bedoeling is om uit te maken in welke relatie de aangetroffen soorten tot de mens stonden en hoe dit evolueerde doorheen de tijd. Stellen de botten van een bepaald dier consumptieafval voor of dienden ze als een ander type van dierlijke grondstof? Of komen de skeletdelen van een begraafde gezelschapsdier, van een dier gebruikt in een of ander ritueel of zijn het resten van soorten die totaal aan de controle van de mens ontsnapten? Binnen het biologische onderzoek zijn er een aantal disciplines die bij uitstek voor de archeologie van belang zijn. Het gaat dan om de ecologie, de studie van de relaties

tussen levende wezens (dieren en planten), speciaal op het niveau van dieren- en plantengemeenschappen, en van de relatie van deze levende wezens met hun omgeving, om de genetica, de studie van de overerfbaarheid van kenmerken, van de variatie tussen soorten, en van de variatie binnen een soort, en om de evolutieleer, de studie van de cumulatieve veranderingen in de kenmerken van populaties of organismen, die bij genetische verwantschap optreden van generatie tot generatie.

Binnen de wetenschappen neemt de geografie een aparte plaats in omdat ze enerzijds een integratie van andere exacte wetenschappen beoogt, inclusief de geologie en de biologie, maar anderzijds ook socio-economische en culturele processen in rekening brengt. Deze wetenschap hoort daardoor, net zoals de archeologie, zowel bij de mens- als bij de exacte wetenschappen thuis. Wanneer de geografie de opbouw van een landschap tracht te verklaren binnen een tijdsdimensie, komt zij in haar onderzoek in feite heel dicht bij de archeologie. Natuurlijk is het onderwerp verschillend (het landschap versus de mens) maar omdat deze twee onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, zijn de raakvlakken tussen archeologie en geografie heel groot. Blijft evenwel het verschil in onderzoeksmethode: de archeologie richt zich op de resten en sporen van vroegere menselijke activiteit terwijl de geografie vertrekt van de huidige eigenschappen van het landschap. Maar ook dat kan overlappen. Huidige landschapskenmerken zijn dikwijls de getuigen van vroeger menselijk handelen.

Omdat de geografie zo divers is, wordt ze dikwijls opgedeeld in de menselijke of sociale geografie en de fysische geografie, waarbij in de eerste discipline de mens centraal staat en in de tweede de fysische omgeving. De menselijke of sociale geografie behandelt zaken zoals demografie, verstedelijking, welvaartsverschillen of mobiliteit en is zeker interessant vanuit het oogpunt van de studie van het verleden. Bij de praktische uitwerking van een opgraving en de studie van een site in haar landschappelijke context is evenwel vooral de fysische geografie van toepassing. Binnen deze laatste richting is een van de belangrijkste benaderingen deze van de geomorfologie, de studie van de ordening en verscheidenheid van landschapsvormen, en van de processen die hen scheppen en veranderen (erosie, sedimentatie, ...). De geomorfologie van een landschap hangt in grote mate af van de geologie van het gebied, maar evenzeer van het klimaat, de bodembedekking (vegetatie) en de factor tijd. Het is dan ook duidelijk dat er heel wat raakvlakken bestaan tussen de geomorfologie en de geologie. Overigens wordt de studie van bodems en sedimenten, soms als deel van de geologie gezien, ook vaak tot de fysische geografie gerekend. De geologie van het meest recente tijdvak, de kwartairgeologie of -geomorfologie, bestudeert gebeurtenissen ten tijde van de opkomst en verspreiding van de mens, waarbij vooral in de jongste tijden (het Holoceen, van ongeveer 11.500 jaar geleden tot nu) de menselijke invloed op de landschapsontwikkeling overduidelijk aanwezig is. Dit maakt dat de studie van het Kwartair meestal als een onderdeel van de (fysische) geografie wordt beschouwd.



Blijft dan nog de vraag waar de mens blijft temidden dit natuurwetenschappelijke geweld? Het is natuurlijk zo dat archeologen in bepaalde contexten materiaal vinden dat heel dicht bij de mens staat: de menselijke skeletresten zelf. Deze vondstencategorie is een essentieel deel van het studiemateriaal van het ecologisch-archeologische onderzoek. Het menselijk lichaam is immers een biologische entiteit en kan op dezelfde wijze bestudeerd worden zoals andere dierenresten. De studie van menselijke overblijfselen, de fysische antropologie, is inderdaad een biologische discipline. Het menselijk lichaam is uiteraard ook de ultieme omgevingsfactor voor het menselijk gedrag, een materieel kader voor elk sociaal, spiritueel of ideologisch gegeven. Veel van wat een mens tijdens het leven meemaakt, laat mogelijk sporen na op de lichamelijke resten. Voorbeelden zijn ouder worden, ziekte, geweld, fysieke arbeid of voedingspatronen.

Ten slotte moet nog benadrukt worden dat de methodiek van het ecologisch-archeologische onderzoek ook toegepast kan worden op vondsten of vindplaatsen die buiten een archeologische context worden aangetroffen. Men kan de vegetatie in een vroeger landschap reconstrueren via plantenresten uit een oude veenafzetting, of de botten bekijken van een op een natuurlijke wijze aan zijn eind gekomen, wilde diersoort. Op die manier komt men eigenlijk op het terrein van de paleontologie, de studie van het vroegere leven op aarde. Paleontologische contexten of vindplaatsen kwamen in de regel tot stand buiten het toedoen van de mens, meestal zelfs lang voor de mens op de aarde verscheen. De grens tussen ecologisch-archeologisch onderzoek en de paleontologie is echter niet strikt te trekken. Wanneer als deel van het archeologische veldwerk ecologisch materiaal wordt onderzocht uit een natuurlijke sequentie ‘*off site*’ (buiten een archeologische vindplaats gelegen), die echter qua tijds kader overeenkomt met het materiaal dat men ‘*on site*’ (op de vindplaats) onderzoekt, kan dat zowel paleontologie als ecologische archeologie genoemd worden. De *off site* context is niet door het toedoen van de mens tot stand gekomen maar toch geeft het onderzoek informatie over het natuurlijke landschap op een moment dat er in de buurt mensen voorkwamen. Dergelijk onderzoek wordt in het vakjargon vaak ‘paleo-ecologie’ genoemd.

## Analytische methoden

Natuurwetenschappelijke analysemethoden krijgen tegenwoordig een steeds grotere impact op archeologische probleemstellingen. Meestal komen die methoden en technieken zoals gezegd uit de natuurkunde of de scheikunde (inclusief de biochemie) maar hun toepassing ligt in velerlei gebieden en is essentieel bij de studie van een brede variatie van materialen. Ook binnen het geologisch-archeologische onderzoek komen de analysemethoden aan bod, wanneer bijvoorbeeld

de samenstelling en opbouw van geologisch materiaal (gesteenten, sedimenten, aardewerk, ...) in detail worden bestudeerd of wanneer chemische verschillen in bodemsamenstelling gebruikt worden om de lokalisatie van vroegere activiteiten op een vindplaats te reconstrueren. Bij de studie van archeologische artefacten worden technieken gebruikt die toelaten materialen te identificeren, hun samenstelling in kaart te brengen, de herkomst te bepalen en het gebruik door vroegere mensen te achterhalen. In het geval van metalen voorwerpen, glas of aardewerk wordt soms duidelijk hoe de productieprocessen verliepen. Vaak hebben deze materialen in hun interne structuur en samenstelling ook processen uit de omgeving geregistreerd (zoals klimaatwisselingen of vervuiling), informatie die door de analyse kan worden onttrokken. Analytisch onderzoek vanuit de biologie kan zich dan weer richten op de analyse van het genetische materiaal van vroegere mensen, dieren en planten (DNA-onderzoek) of het opsporen van resten van andere biologische stoffen (eiwitten, bloed, vetten, ...). Geografische analytische studies worden ten slotte ook steeds meer toegepast. Voorbeelden zijn weerstandsmetingen of observaties met de georadar die anomalieën in de opbouw van het landschap interpreteren als sporen uit het verleden.

Een geweldige ontdekking in de ontwikkeling van de archeologie was dat men door de samenstelling of bepaalde eigenschappen van materialen te analyseren, kon achterhalen hoe oud die objecten waren, of hoe lang het geleden is dat ze door de mens een verandering hebben ondergaan. Dateringstechnieken krijgen sindsdien een grote aandacht in de archeologie en hebben veel oude, relatieve chronologieën (meestal gebaseerd op de stijlkenmerken van cultureel materiaal) door elkaar geschud of toch sterk bijgevijsd.

## **Natuurwetenschappen en archeologie**

Zelfs zonder op een van de thema's al te zijn ingegaan, maakt deze inleiding duidelijk dat natuurwetenschappelijk onderzoek in de archeologie een complex gegeven is. De mogelijke invalshoeken zijn heel divers en het studiemateriaal kan moeilijk verscheidener zijn. En toch dienen alle studies hetzelfde ultieme doel: meer te weten komen over het vroegere gedrag van de mens, in relatie tot de omgeving. Uiteindelijk moet al dit natuurwetenschappelijke inzicht verenigd worden met het werk van de culturele archeologie (figuur 3), en zullen de natuurwetenschappelijke bevindingen zelfs hun weerslag hebben op de interpretatie van de archeologische context waaruit zij komen. Natuurwetenschappelijk onderzoek kan (voor een deel) verklaren wat de aard van een archeologische context is, op welke manier die tot stand is gekomen, wat de datering ervan is en waarom de toestand van het vondstenmateriaal is zoals hij is.

**Figuur 3.**

Artistieke impressie van een neolithische nederzetting te Schipluiden (Nl.) als resultaat van een archeologisch project waarin geïntegreerd natuurwetenschappelijk onderzoek, zowel ecologische archeologie als analytische methoden, ruime aandacht kreeg (uit Louwe Kooijmans & Jongste 2006).

Alhoewel een archeoloog dus de gegevens uit veel verschillende invalshoeken moet kunnen combineren, kan hij of zij niet al deze gegevens zelf verzamelen. Waar vroeger, bijvoorbeeld in de klassieke 19de-eeuwse archeologie, één persoon vanaf de start van de opgraving tot en met de uiteindelijke publicatie van het wetenschappelijke rapport alles zelf beredderde en bedacht, is archeologie nu groeps-  
werk geworden. De makkelijkste manier om vanuit de vele deeldisciplines als groep tot een globaal beeld te komen, is bij het onderzoek niet de nadruk te leggen op een strikte indeling van het vondstenmateriaal in specialistische vakjes, maar wel de interpretaties te organiseren aan de hand van onderzoeksvragen. Voor deze tweede benadering is bij uitstek nodig dat wetenschappers elkaars disciplines, althans qua mogelijkheden en beperkingen, enigszins kennen. Om dat doel te bereiken dient uiteindelijk dit handboek. In deze tweede editie zijn verschillende gevalstudies opgenomen waarbij niet enkel een natuurwetenschappelijke techniek wordt geïllustreerd, maar waarbij ook de archeologische interpretatie van het analytische werk duidelijk wordt gemaakt. De gebruikte voorbeelden komen uit courant onderzoek, vaak van de auteurs, en tonen aan hoe natuurwetenschappelijk onderzoek bijdraagt tot de (fundamenteel archeologische) reconstructie van het gedrag van de mens in zijn omgeving. Dit handboek is er voor natuurwetenschappers onderling, voor de cultuurarcheologen die met deze onderzoekers moeten werken, en voor elkeen die in een moderne archeologie geïnteresseerd is. Ten slotte moet het duidelijk zijn dat dit enkel een inleiding is tot een vakgebied in volle ontwikkeling. Het valt te verwachten dat er vooral langs analytische zijde de komende decennia nog echte doorbraken zullen komen. Was dit boek vijftig jaar geleden geschreven, dan zou meer dan de helft van de toepassingen niet eens vermeld zijn, omdat ze eenvoudigweg nog niet bestonden...

# Ecologische archeologie



# 1. Gesteenten, sedimenten en bodems

## 1.1 Inleiding

Geologie is de wetenschap die de bouw en de ontwikkelingsgeschiedenis van de aarde bestudeert, en van de bewaarde sporen van leven. De geologische tijdschaal, lopend van het ontstaan van de aarde tot nu, beslaat miljarden jaren, terwijl onze mensensoort slechts een rol speelt gedurende een laatste klein stukje van dit tijdsverloop. Is het dan wel zinnig voor archeologen om iets van geologisch materiaal af te weten, of om geologisch onderzoek te betrekken bij een grootschalig archeologisch project?

Het antwoord is natuurlijk 'ja'. Allereerst determineert de vormingsgeschiedenis van de aarde per lokaliteit de vorm van het landschap. De geologie van de ondergrond zal uiteindelijk het reliëf en de aanwezigheid en loop van het water (hydrologie) bepalen, en determineren welke bodems er zich zullen ontwikkelen. Deze parameters (reliëf, water, bodem) zijn uitermate belangrijk om de aanwezigheid en activiteiten van de mens op een plek te begrijpen, maar ook het belang van de ondergrond, op zich, mag niet worden vergeten. Het landschap en de ondergrond beperken de mens maar scheppen ook mogelijkheden. Aldus stuurt de geologie het gedrag van de mens. Het is duidelijk dat de ondergrond bepaalt welke grondstoffen, zowel mineraal als organisch, voor de mens beschikbaar zijn. Belangrijk hierbij is dat de mens doorheen de geschiedenis vaak op eenzelfde geologische ondergrond leeft, maar niet alle of dezelfde grondstoffen benut. Verder gaat het bij geologische processen niet steeds om 'megafenomenen' die over tijdspannen van miljoenen jaren verlopen. Kleinschaliger gebeurtenissen kunnen zich voltrekken over duizenden jaren, of zelfs een ogenblikkelijke impact hebben. Zij kunnen zich afspelen binnen de duur van de ontwikkeling van de soort 'mens', soms zelfs binnen één of slechts enkele generaties, en ook nu treden zij trouwens nog op. Mede hierdoor zijn geologische processen van belang voor de studie van het gedrag van de mens.

## 1.2 Mineralen en gesteenten

Binnen de mineralogie en de petrologie, bestudeert men mineralen (*E: minerals*) en gesteenten (*E: rocks*). Mineralen zijn de bestanddelen waaruit gesteenten zijn samengesteld; gesteenten kunnen dan ook beschreven worden als aggregaten van mineralen. De aardkorst is volledig uit gesteenten, en dus uit mineralen, opgebouwd. Hoe beter onze kennis van mineralen wordt, hoe complexer het wordt om het begrip te definiëren. In verschillende handboeken vindt men dan ook (licht) verschillende definities terug. Meestal definieert men een mineraal als een in de natuur voorkomende (niet synthetische) vaste stof (niet vloeibaar of gasvormig) met een vaste kristalstructuur en welbepaalde (maar niet vaste) chemische en fysieke eigenschappen (die dus licht kunnen variëren binnen bepaalde grenzen). Dat mineralen kristallijn zijn, betekent dat ze een vaste, geordende, inwendige structuur hebben. Dit wil zeggen dat de inwendige bouwstenen (moleculen, ionen, atomen) waaruit ze bestaan, geordend zijn in een regelmatig driedimensionaal patroon. Niet-kristallijne vaste stoffen zijn glasachtig (amorf), en hebben geen regelmatige, geordende structuur. Natuurlijke amorfe stoffen, zoals natuurlijk glas of obsidiaan, noemt men minerale stoffen (*E: mineraloids*). Een aantal mineralen wordt vanwege hun economische belang ontgonnen; dan spreekt men van ertsmineralen. De belangrijkste groepen van mineralen worden hier kort besproken:

### □ Sulfiden

Dit is een belangrijke groep van mineralen waartoe de meeste ertsmineralen behoren. Sulfiden zijn meestal ondoorzichtig met opvallende kleuren en een karakteristieke streek (*kleur van het verpoederde mineraal, gebruikt om dit mineraal te identificeren*). **Galeniet** (PbS) is het belangrijkste looderts. Dit werd in de Oudheid onder meer gebruikt als zwart pigment of als bron van zilver en lood als metaal. **Sfaleriet** (ZnS) is het belangrijkste zinkerts, dat onder andere gebruikt werd voor zink als metaal (pas vanaf de 18de eeuw) of als messing (in legering met koper, vanaf de Romeinse tijd en sporadisch daarvoor). Ook in de geneeskunde werd het gebruikt. **Pyriet** en **Markassiet** zijn FeS<sub>2</sub> met een bronsgelige kleur die lijkt op goud. **Chalcopyriet** (CuFeS<sub>2</sub>) is een belangrijk kopererts sinds vele millennia, terwijl **Cinnaber** (HgS) het belangrijkste kwikerts is.

### □ Oxiden, hydroxiden en halogeniden

De oxiden zijn een groep mineralen die meestal voorkomen in magmatische gesteenten of die als resistente detritische korrels in sedimentaire gesteenten teruggevonden worden. Hydroxiden worden voornamelijk gevonden als verweringsproducten. Halogeniden zijn een heterogene groep van chemisch verwante mineralen met een diverse geologische oorsprong. **Hematiet** (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) is het belangrijkste ijzer-

erts, maar wordt ook sinds vele millennia als rood tot roodbruin pigment gebruikt. **Limoniet** ( $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) is een veldterm voor een groep van ijzeroxiden en -hydroxiden (goethiet, lepidocrociet) gebruikt als ijzererts of als geel tot geelbruin pigment. **Cassiteriet** ( $\text{SnO}_2$ ) is het belangrijkste tinerts. **Fluoriet** ( $\text{CaF}_2$ ) is een veelvoorkomend mineraal dat een grote variëteit aan kleuren kan vertonen, meestal gebruikt als halfedelsteen. **Haliet** ( $\text{NaCl}$ ) is een zout, als bewaarmiddel of voor de smaak gebruikt.

#### □ Carbonaten en sulfaten

**Calciet** ( $\text{CaCO}_3$ ) is een zeer veel voorkomend mineraal, typisch het gesteentevormend mineraal in de gesteenten kalksteen, krijt, marmer en travertijn, veel gebruikt als bouwsteen of voor de aanmaak van mortel en cement. **Sideriet** ( $\text{FeCO}_3$ ) is een minder belangrijk ijzererts, **Smithsoniet** ( $\text{ZnCO}_3$ ) is een minder belangrijk zinkerts. **Malachiet** ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ) en **Azuriet** zijn verweringsproducten van sulfide koperertsen, en werden zelf als kopererts of als respectievelijk groen en blauw pigment gebruikt. **Gips** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) is een veel voorkomend mineraal in sedimentaire gesteenten, gebruikt voor de aanmaak van plaaster of sculptuur en stenen vazen/urnen.

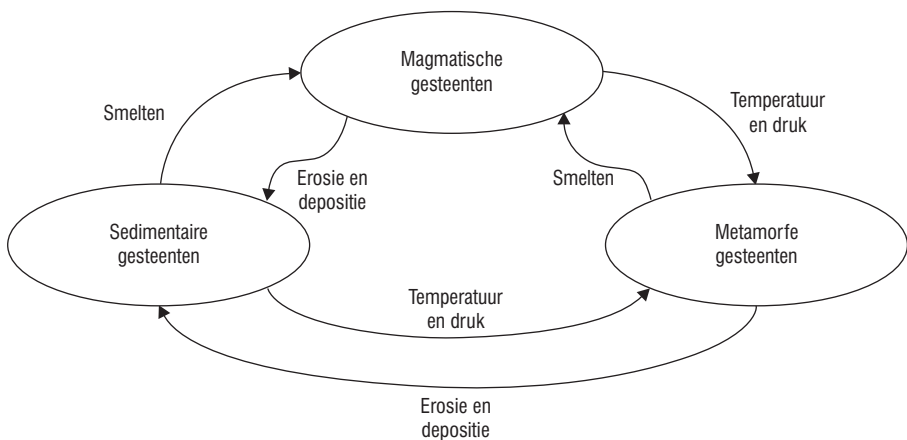
#### □ Silicaten

De silicaten zijn de belangrijkste mineraalgroep. De aardkorst is voor meer dan 95% uit silicaten opgebouwd. Silicaten worden ingedeeld naargelang de structuur van het silicanetwerk in deze mineralen. Veel silicaten werden als (half)edelsteen gebruikt, zoals geel-rode tot zwarte **Granaten** ( $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca})_3(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Cr})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ) en bruine **Stauroliet** ( $\text{Fe}_2\text{Al}_9\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O}, \text{OH})_2$ ), vooral voorkomend in metamorfe gesteenten of groen **Olivijn** ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ ) en **Epidoot** ( $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$ ), veelkleurig **Toermalijn** ( $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Li}, \text{Mg}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$ ) en veelkleurig **Kwarts** ( $\text{SiO}_2$ ), vooral voorkomend in magmatische gesteenten. Kwarts als halfedelsteen kent vele benamingen zoals bergkristal (kleurloos), amethyst (paars), roze kwarts (roze), rookkwarts (grijs tot bruin), citrien (geel) en melkkwarts (wit), en in een zeer fijne (crypto)kristallijne variëteit als chalcedoon, agaat (typisch geband) en jaspis (rood).

De belangrijkste gesteentevormende silicaten zijn **Olivijn**, pyroxenen (bv. **Augiet** ( $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ )), amfibolen (bv. **Hoornblende** ( $(\text{Ca}, \text{Na})_{2-3}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5\text{Si}_6(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), de micagroep (met het donkere **Biotiet** ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})$ )) en het bleke **Muscoviet** ( $\text{KA}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ) als belangrijkste mineralen), de kleimineralen, **Kwarts** en de veldspaten (met als voornaamste groepen de **Orthoklaas** ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), en de plagioklaasreeks: **Albiet-Anorthiet** ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ )).



Gesteenten aan het aardoppervlak variëren in ouderdom van meer dan 3 miljard jaar tot minder dan een miljoen jaar oud. Nieuwe gesteenten worden in eerste instantie gevormd uit gesmolten materiaal afkomstig uit het binnenste van de aarde, het magma. Men spreekt dan van magmatische gesteenten. Gesteenten kunnen echter ook gevormd worden uit de materie van oudere gesteenten. Bestaande gesteenten worden afgebroken (men spreekt van erosie) en het verweerde en in vaste vorm getransporteerde materiaal vormt op zijn beurt nieuwe, jongere gesteenten. Men spreekt in dit geval van detritische sedimentaire gesteenten. Wanneer een gesteente gevormd wordt door neerslag van mineralen uit een oplossing, spreekt men van chemische sedimentaire gesteenten. Daarnaast bestaan er gesteenten gevormd uit de opeenhoping van de resten van organismen. Dit zijn biogene sedimentaire gesteenten. Magma's of sedimentaire gesteentepakketten kunnen op hun beurt veranderingen ondergaan onder invloed van een verhoogde druk en temperatuur. In dat geval worden de gesteentepakketten omgevormd tot metamorfe gesteenten. Alle oudere gesteenten, zowel sedimentaire (*E: sedimentary rocks*) als magmatische (*E: igneous rocks*) als metamorfe (*E: metamorphic rocks*), kunnen als het ware gerecycleerd worden tot jongere gesteenten (door erosie), of kunnen opnieuw omgesmolten worden tot magma en aanleiding geven tot nieuwe magmatische gesteenten. Vandaar dat we spreken over de cyclus van de gesteenten (figuur 1.1).



**Figuur 1.1.** De gesteentencyclus.

#### □ Magmatische gesteenten

Deze gesteenten ontstaan door de afkoeling van magma, dit is gesmolten gesteentemateriaal. Deze gesteenten worden onderverdeeld in plutonische (intrusieve) en vulkanische (extrusieve of uitvloeiings-) gesteenten. Een tweede onderverdeling gebruikt de termen mafisch (basisch) en felsisch (zuur). Mafische gesteenten

bestaan overwegend uit donkere Mg,Fe-silicaten en zijn relatief arm aan silica, terwijl felsische gesteenten voornamelijk uit de bleke mineralen kwarts en veldspaat bestaan en relatief rijk zijn aan silica. De pegmatieten of ganggesteenten en de pyroklastische gesteenten nemen een afzonderlijke plaats in.

Plutonische gesteenten worden gevormd door de afkoeling van magma dat uit diepere delen van de aarde omhoogkomt zonder echter het aardoppervlak te bereiken. Deze gesteenten koelen relatief traag af, wat de verschillende mineralen in het magma de kans geeft relatief grote kristallen te ontwikkelen. Deze zogenaamde fanerietische textuur van de gesteenten houdt dan ook in dat het gesteente bestaat uit kristallen van ongeveer gelijke grootte voor de verschillende mineralen.

Plutonische gesteenten die voornamelijk bestaan uit mica (biotiet of muscoviet), kwarts en veldspaten (orthoklaas, plagioklaas) noemt men **graniet**. Wanneer relatief weinig kwarts en orthoklaas voorkomt, wordt het gesteente een **granodioriet** genoemd. De roze veldspaten zijn overwegend orthoklaas, terwijl de witte veldspaten overwegend plagioklaas zijn. Intermediaire magmatische gesteenten bevatten veel minder of geen kwarts, slechts plagioklazen (geen orthoklaas) en meer donkere amfibolen. Op basis van hun samenstelling worden ze gesitueerd tussen de zure en de basische gesteenten. Intermediaire plutonische gesteenten noemt men **dioriet**. Basische plutonische gesteenten bestaan voor een deel uit plagioklaas en voor het overige uit donkere pyroxenen en amfibolen. Deze gesteenten noemt men **gabbro**. Ultrabasische gesteenten die uitsluitend uit olivijn bestaan, noemt men **duniet**.

**Pegmatiet** gesteente ontstaat als laatste in het afkoelingsproces van het magma in een intrusie. Pegmatieten worden gevormd uit magma en waterige oplossingen die aangerijkt zijn in granietische mineralen (kwarts, veldspaat, mica) en elementen die geen plaats vinden in het kristalrooster van de gewone gesteentevormende silicaten (bv. B, F,  $\text{Sn}^{4+}$ ). Hierdoor komen in pegmatieten dikwijls mineralen voor zoals toermalijn met het element B. Meestal worden deze gesteenten gevormd uit een magma of uit oplossingen die zich afscheiden van de hoofdmassa van de intrusie, en aangezien de temperatuur al behoorlijk gedaald is, vrij traag afkoelen in barsten of spleten in het nevengeesteente. Door deze trage afkoeling kunnen centimeter-grote kristallen ontstaan. Er zijn zelfs veldspaten gekend met een volume van enkele kubieke meters. Omwille van de verbreiding van deze gesteenten in lange smalle spleten worden deze gesteenten ook wel ganggesteenten genoemd.

Vulkanische gesteenten worden gevormd wanneer het opstijgend magma het aardoppervlak bereikt. In dit magma zullen zich reeds een aantal goed gevormde kristallen bevinden terwijl de rest zeer snel afkoelt. Hierdoor ontstaat een zeer fijnkorrelig gesteente, met in het uiterste geval een amorf vulkanisch glas (bv. obsidiaan,  $\text{SiO}_2$ ). Deze fijnkorrelige massa heeft een zogenaamde afanietische textuur. De grote, reeds eerder gevormde kristallen noemt men fenokristen en het gesteente in zijn geheel wordt, wanneer er veel fenokristen zijn, porfierisch genoemd.

Een vulkanisch gesteente met fenokristen van zure mineralen zoals kwarts en veldspaten, wordt een **rhyoliet** genoemd. De intermediaire gesteenten met voornamelijk plagioklaasfenokristen noemt men **daciet** of **andesiet**. De basische vulkanische gesteenten met voornamelijk pyroxeen- en eventueel olivijnfenokristen noemt men **basalt**. De oppervlakkige delen van de magmastromen bevatten weinig of geen fenokristen en hebben een zeer grillig en hoog poreus uiterlijk door de grote hoeveelheid gassen die hierin voorkwamen. Deze oppervlakkige lava noemt men puimsteen indien hij voornamelijk bestaat uit zeer fijnkorrelige zure mineralen. De kleur van deze lava is bleekgrijs tot grijs. Het basische, bruine tot zwarte equivalent noemt men scoria. Bij vulkanische erupties komen niet alleen magmastromen vrij, maar ook vrij veel materiaal dat bij explosieve uitbarstingen in de lucht geslingerd wordt. Wanneer dit fijne fragmenten en stof zijn, noemt men het gevormde gesteente een vulkanische tuf. Individuele, grotere fragmenten noemt men vulkanische bommen. Voorbeeld hiervan zijn de knollen van het ultrabasisch gesteente dunit, die geheel uit olivijn bestaan, en dikwijls vanop diepere niveaus uit de vulkaan weggeslingerd worden. Deze tuffen en vulkanische bommen noemt men pyroklastische gesteenten. De term klastisch geeft reeds aan dat deze gesteenten zich, wat betreft vormingsproces, op de grens van vulkanische en sedimentaire gesteenten bevinden.

#### □ Sedimentaire gesteenten

Dit zijn gesteenten die gevormd worden bij relatief lage temperaturen en drukken. Kenmerkend voor sedimentaire gesteenten is de dikwijls gelaagde opbouw, het frequent voorkomen van fossielen en lage temperatuur mineralen. Hierbij dient opgemerkt dat foliatie of banding in metamorfe gesteenten soms kan verward worden met gelaagdheid, en dat zeer uitzonderlijk fossielen ook voorkomen in vulkanische of laagmetamorfe gesteenten. Sedimentaire gesteenten worden onderverdeeld in detrietische en chemische sedimenten.

De gelaagde opbouw van sedimentaire gesteenten komt tot uiting op alle mogelijke schalen. Zo bestaan op grote schaal de sedimentaire gesteenten in een bepaald gebied uit een afwisseling van schalies, zandstenen en kalkstenen. Deze pakketten kunnen meters tot honderden meters dik zijn. Op een kleinere schaal zullen formaties die overwegend uit één gesteente bestaan toch nog sporadisch afgewisseld worden met andere gesteenten. Op een nog kleinere schaal zullen binnen één lithologie ook korrelgrootte- of andere variaties voorkomen. Zo zijn voorbeelden voorhanden van korrelgroottevariaties (fijn tot middelgrof) in zandstenen. Sedimentaire structuren zoals golfribbels, vlamstructuren of schuine gelaagdheden zijn overduidelijke bewijzen van de sedimentaire aard van het gesteente, aangezien deze structuren de resultaten zijn van bepaalde afzettingsprocessen. Fossielen komen in de meeste sedimentaire gesteenten voor onder de vorm van macro-

fossielen, maar nog meer onder de vorm van microfossielen. Deze microfossielen zijn restanten van microscopische organismen zoals foraminiferen of diatomeeën. Macrofossielen komen dikwijls voor in kalkstenen en schalies.

#### □ Detrietische sedimenten

Detrietische sedimenten bestaan uit de erosiefragmenten die vrijkomen bij de fysische verwerking van oudere gesteenten. Dit zijn gebroken mineraal- of gesteente-fragmenten en de sedimentaire gesteenten die ze opbouwen worden ook klastisch genoemd. Deze gesteenten bestaan meestal uit weinig verweerbare mineralen zoals kwarts, maar ook uit veldspaten of kleimineralen. Af en toe komen ook kalksteenfragmenten voor. Kenmerkende parameters voor deze gesteenten zijn de korrelgrootte en de sortering. De korrelgrootte vormt de basis voor de classificatie van deze gesteenten en geeft de grootte aan van de erosiefragmenten waaruit het gesteente is opgebouwd. De sortering geeft aan of de korrelgrootte binnen een gesteente een groot bereik heeft, of beperkt is tot één bepaalde korrelgrootte. In het laatste geval spreekt men van een goed gesorteerd gesteente. Bij een slecht gesorteerd gesteente kunnen korrels voorkomen van micrometers tot centimeters groot.

Een **grind** is een los sedimentair gesteente met korrels die gemiddeld groter zijn dan 2 mm. Een voorbeeld hiervan is een grind bestaande uit platte silexkeien. Het verharde equivalent van een grind noemt men een **conglomeraat** indien de fragmenten vrij goed afgerond zijn, en een **breccie** indien de fragmenten nog vrij hoekig zijn. De eventuele afronding van het detritus, wat niet noodzakelijk betekent dat de fragmenten ook rond zijn, is het effect van verwerking gedurende het transport van de fragmenten. Grindbanken zijn typisch voor rivieren. Naarmate de transportafstand groter is, zullen in het gesteente steeds grotere proporties van harde mineralen en gesteenten teruggevonden worden. De meeste conglomeraten en grinden bestaan dan ook voornamelijk uit silex-, kwartsiet- of aderkwartskeien. Een **kalksteenconglomeraat** is eerder zeldzaam. De aanwezigheid van een kalksteenconglomeraat duidt op een relatief korte transportafstand aangezien kalksteen vrij makkelijk verweert. Meestal zijn kalksteenfragmenten weinig of niet afgerond en vormen ze een **kalksteenbreccies**.

De detrietische korrelgroottefractie tussen 2 mm en 1/16 mm noemt men **zand**, wat ook de naam is van het losse, niet gelithificeerde gesteente. Het verharde equivalent van zand is een **zandsteen**. Deze verharding treedt op door de cementatie van de korrels met  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  of Fe-oxiden. Hoewel de meeste zanden en zandstenen overwegend kwarts bevatten, komen ook kalkzandstenen en ijzerkalkzandstenen voor.

**Silt** is de korrelgrootte tussen 1/16 mm en 1/256 mm en **klei** is de fractie kleiner dan 1/256 mm. Het gelithificeerde equivalent van een klei noemt men een

**kleisteen. Siltstenen** zijn verharde gesteenten die vooral uit silfracctie opgebouwd zijn. De “zandigheid” van losse gesteenten wordt op terrein meestal getest door het sediment tussen de tanden te nemen. Naarmate het gesteente dan meer knarst, zal er meer van de grovere fractie aanwezig zijn.

Wanneer kleirijke gesteenten beïnvloed worden door druk, oriënteren de kleiplaatjes zich enigszins in een vlak. Dit veroorzaakt een onregelmatige splijting (druksplijting). Dit gesteente wordt een **schalie** genoemd. De ontwikkeling van de splijting is echter nog niet verregaand genoeg om de schalie als metamorf gesteente te klasseren.

#### □ Chemische sedimenten

Dit zijn sedimenten die ontstaan door precipitatie uit waterige oplossingen. Hierbij kan biologische activiteit een belangrijke rol spelen. De meest voorkomende chemische sedimenten zijn carbonaten (kalksteen en dolomiet). Kalkstenen ontstaan door de precipitatie van  $\text{CaCO}_3$  uit water. Dit  $\text{CaCO}_3$  werd in vele gevallen in het water gebracht door het oplossen van kalkskeletten van allerlei organismen. Soms zullen de skeletdelen zelf rechtstreeks een groot deel van de kalksteen opbouwen. Polijstbare kalkstenen worden vaak als bouwsteen gebruikt. Hun industriële namen verwijzen vaak naar gesteenten waar ze niets mee te maken hebben, zoals graniet of marmer, bv. “Petit Granit”, “Bleu Belge”, “Marbre Noire”, “Marbre Rouge”. De geologische term marmer verwijst naar een metamorfe kalksteen. Krijt is opgebouwd door  $\text{CaCO}_3$  houdende micro-organismen die coccolieten worden genoemd. Geassocieerd met krijt komen vaak silixknollen voor. Deze bestaan uit zeer fijnkorrelig  $\text{SiO}_2$  onder de vorm van kwarts of opaal, dit is niet-kristallijn (amorf)  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Het  $\text{SiO}_2$  wordt geremobiliseerd in het krijt door het oplossen van de siliciumskeletten van micro-organismen (diatomeeën, radiolarieën) of sponsspacula. Travertijn is een poreuze kalksteen gevormd door  $\text{CaCO}_3$ -neerslag uit zoet water met vaak nog herkenbare plantenresten. Travertijn wordt onder andere gevormd in snelstromende beekjes of riviertjes verzadigd aan  $\text{CaCO}_3$ . Een ander carbonaatgesteente is **dolomiet**, dat opgebouwd is uit het gelijknamige mineraal  $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$ . Dit gesteente kan primair ontstaan door neerslag uit Mg-rijke oplossingen of secundair door omzetting van kalkstenen. Een economisch zeer belangrijke groep van chemische sedimenten zijn organische sedimenten zoals steenkool, bruinkool, turf of olie.

#### □ Metamorfe gesteenten

Metamorfe gesteenten ontstaan wanneer sedimentaire of magmatische gesteenten op hoge drukken of temperaturen gebracht worden zodat de textuur en/of de mineraalinhoud van deze gesteenten zich wijzigt. We onderscheiden twee soorten

metamorfisme. De term regionaal metamorfisme verwijst naar omzettingen op grote schaal en op grote diepten (hoge druk en temperatuur), terwijl contactmetamorfisme eerder lokaal optreedt in de nabijheid van magmatische intrusies. Contactmetamorfe gesteenten ontstaan dus ten gevolge van de hoge temperaturen van het magma in de intrusie en niet zozeer door hoge drukken. Een typische textuur voor vele metamorfe gesteenten is een foliatie. Dit is een gebande, langwerpige of lensvormige afwisseling in de mineralogische opbouw van het gesteente.

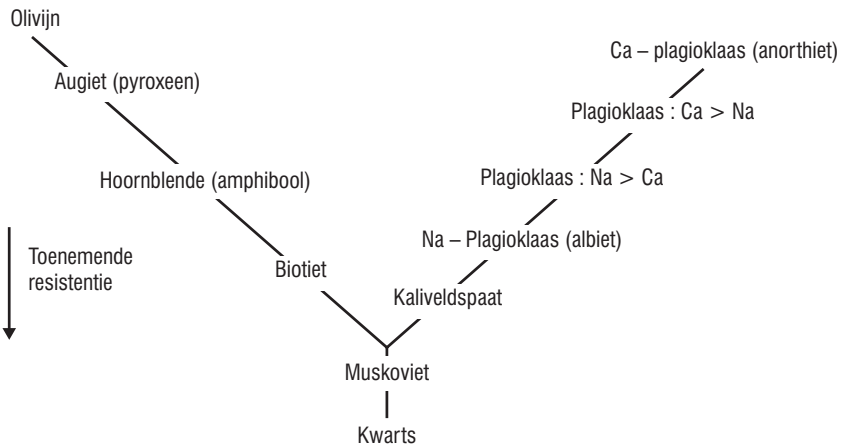
Een mooi voorbeeld van de metamorfose van sedimenten naar laag-metamorfe gesteenten is de metamorfose van zandsteen naar **kwartsiet**. In zandstenen zijn de individuele kwartskorrels nog duidelijk waarneembaar. Deze korrelgrenzen vervagen echter naarmate de metamorfose toeneemt. Ten slotte zullen de gesteenten niet meer langs de korrels breken, zoals bij zandstenen, maar dwars doorheen de korrels. Typisch voor kwartsieten is de schilferige breuk op de breukvlakken van het gesteente. Wanneer het mineraal calciet in een kalksteen onder hoge druk en/of temperatuur gaat herkristalliseren en een nieuwe structuur aan het gesteente geeft, kan **marmer** gevormd worden.

Bladvormige kleimineralen zullen zich onder invloed van toenemende druk steeds meer in één vlak loodrecht op de druk gaan oriënteren. Deze onregelmatige druksplijting, typisch bij schalie, kan, indien er weinig grof materiaal (kwartskorrels) aanwezig is, overgaan in een zeer vlakke splijting. Dit laatste komt voor bij **leiste**n. Bij verdergaande metamorfose zullen zich op de splijtingsvlakken vrij grote mica-plaatjes vormen, waarna men dit gesteente een **schist** noemt. Wanneer slechts mica aanwezig is, spreekt men van een micaschist, maar wanneer ook granaten voorkomen, noemt men dit gesteente een granaat-micaschist. Wanneer door metamorfisme zure magmatische gesteenten omgezet worden naar grofkorrelige gesteenten met duidelijke foliaties van kwarts, veldspaat en mica, spreekt men van een **gneiss**.

#### □ Gesteenten als substraat voor verwerking

Verwerking is de verzamelnaam voor fysische, chemische en biologische processen die leiden tot de afbraak van gesteenten. Bij de *mechanische* (of *fysische*) verwerking valt het gesteente slechts in kleine stukjes uiteen zonder dat de chemische of mineralogische samenstelling verandert. Belangrijker is de *chemische* verwerking, waarbij vele mineralen uit de gesteenten chemisch worden omgezet in nieuwe mineralen, zoals kleimineralen, en andere bestanddelen in oplossing worden afgevoerd. Ook hiermee gaat een afname in de grootte van de gesteentefragmenten gepaard. Daar bij de verwerking organismen een belangrijke rol kunnen spelen, onderscheidt men soms ook *biologische* verwerking (bijvoorbeeld de groei van planten op gebouwen, waarbij gesteenten aangetast worden). Belangrijke gevolgen van verwerking zijn o.a. bodemvorming, aantasting van monumenten, reliëf-

ontwikkeling... De resistentie van de mineralen ten opzichte van verwerking komt ongeveer overeen met een omgekeerde reeks van Bowen. Mineralen die het eerst uitkristalliseren in een magma (bv. olivijn) zijn het minst resistent en zullen het vlugst omzetten tot nieuwe mineralen. De laatst uitgekristalliseerde mineralen (bv. kwarts) zijn het meeste resistent bij verwerking. De intensiteit van verwerking hangt af van een samenspel van een hele reeks factoren: klimaat (temperatuur, neerslag, vegetatie...), topografie en drainage, tijd, fysische toestand van gesteenten (barsten, porositeit...).



**Figuur 1.2.** De kristallisatiereeks van Bowen.

### 1.3 Sedimenten

Sedimenten vormen de basis voor de vorming van sedimentaire gesteenten, maar in nog vrij jonge landschappen en op archeologische sites vindt men uiteraard vooral sedimenten die dat proces nog niet ondergaan hebben. Ze worden meestal ingedeeld in zandige, lemige of kleiige sedimenten naargelang de dominerende korrelgrootte die van zand, silt of klei is (zie eerder). Op archeologische vindplaatsen bestaan sedimenten echter ook voor een belangrijk deel uit door de mens aangebracht materiaal. Het aandeel van dit archeologische materiaal kan beduidend verschillen, van stortlagen die grotendeels uit consumptieafval bestaan, tot afzettingen die vrijwel alleen uit 'geologisch materiaal' zijn opgebouwd met een minieme bijmenging van antropogeen materiaal.

Een sediment kan beschreven worden aan de hand van kenmerken als kleur, waterverzadiging, korrelgrootte, structuur, stratificatie, enzovoort. Microscopisch onderzoek door middel van slijpplaatjes wordt ook gebruikt om archeologische

sedimenten te karakteriseren. Op microscopisch niveau zal men bijvoorbeeld een vloerlaagje binnen een huis herkennen aan kleine partikels houtskool en aan kleine fragmenten van organisch materiaal (o.a. dierlijke of plantaardige etensresten).

De beschrijving en karakterisatie van het sediment kunnen de basis vormen om te proberen te reconstrueren wat er gebeurd is van het moment dat het sediment is afgezet tot op het ogenblik dat het bij een opgraving wordt onderzocht. Een dergelijk onderzoek resulteert in een zogenaamde ‘*tafonomische reconstructie*’. Bij het tafonomische onderzoek dienen allereerst de depositionele processen onder de loep te worden genomen. Een van de belangrijke vragen is daarbij wat de herkomst van het afgezette sediment is. Wanneer de onderzochte laag vol archeologisch materiaal zit, is de inbreng van de mens duidelijk en spreekt men van een *antropogeen sediment*. Voor meer ‘natuurlijke’ afzettingen kan teruggerepen worden naar de geologische indeling (zie eerder). Aldus zijn er naast de antropogene sedimenten nog vier hoofdtypes. De *detritische sedimenten* zijn deze die bestaan uit een variatie van solide materialen (geologisch materiaal, organische resten) die afgezet zijn door transport, door water, wind of gewoon door de zwaartekracht. Voorbeelden zijn eolisch zand, fluviatiele grindsedimenten en klei afgezet op de bodem van een meer. *Chemische sedimenten* bestaan meestal uit de neerslag van materiaal uit oplossing, zoals bijvoorbeeld bij zoutpannen in aride bodems. *Pyroclastische sedimenten* bestaan uit materiaal dat door de werking van vulkanen is afgezet. En dan zijn er nog de *organische sedimenten*, die voor een groot deel bestaan uit de resten van ter plaatse levende organismen (zoals schelpenlagen of veen).

De processen die inwerken van zodra een sediment is afgezet, zijn heel divers. Het gaat daarbij enerzijds om fysische veranderingen zoals mechanische alteratie (door water of vorst), bioturbatie of compactie (door ontwatering), en anderzijds om chemische of biologische processen zoals de uitwisseling tussen mineralen en de omgeving, de decompositie van organisch materiaal (chemisch of door micro-organismen), de migratie van sedimentpartikels, de oplossing en migratie van kalk of van metalen. Indien sedimentdeposities aan de oppervlakte blijven liggen, kan uiteindelijk ook bodemontwikkeling optreden waardoor profielvorming ontstaat en het uitzicht van de laag langzaam verandert (zie verder). Anderzijds is het ook zo dat vele sedimenten na afzetting door de mens worden verstoord. Voorbeelden van menselijke invloeden zijn artificiële drainage, beïnvloeding van de vegetatie of bemesting.

De tafonomische studie van deze processen gebeurt het best aan de hand van micromorfologische coupes. Wanneer sedimenten veranderd zijn onder de invloed van één tafonomische factor, kan dit proces meestal makkelijk herkend worden op de coupes. Problemen ontstaan evenwel wanneer meerdere, elkaar ook beïnvloedende factoren aan het werk geweest zijn.



## 1.4 Bodems

De bodem is het bovenste, losse deel van de aardkorst, waarin de plantenwortels groeien. In sommige gebieden is de bodem meters dik, in andere (bijvoorbeeld woestijnen) ontbreekt hij volledig. De bodem bestaat uit een vaste fractie, samengesteld uit minerale (anorganische) deeltjes en humus (organisch materiaal), met daartussen bodemporiën. Deze laatste kunnen gevuld zijn met lucht of met water. De fysische en chemische eigenschappen van een bodem zorgen ervoor dat water, lucht en voedende bestanddelen ter beschikking gesteld worden van de planten die er zich op ontwikkelen.

### □ Bodenvorming

Een bodem ontstaat uit de verweringsproducten van lokale gesteenten of uit afgezette, losse sedimenten. Belangrijke bodenvormende factoren zijn dus het moedermateriaal, maar ook het klimaat, de biologische activiteit, het reliëf, de tijd en de mens. Vooral de ontwikkeling van vegetatie speelt echter een bepalende rol. Zonder planten ontstaan geen bodems. Blad- en ander plantaardig afval hoopt zich op tot een humeuze bovenlaag, wortels dringen de ondergrond in en nemen minerale bestanddelen op, de aanwezigheid van planten vormt een buffer tegen erosie.

De kenmerken van het moedermateriaal verklaren al voor een groot deel de samenstelling van de bodem. Bovenop harde gesteenten zal zich slechts een dunne bodemlaag ontwikkelen, omdat de verwerking heel traag gaat en plantenwortels moeilijk in de diepte kunnen doordringen. In losse zand- en leemsedimenten ligt dat natuurlijk heel anders. Structuur (zie verder) is echter niet de enige belangrijke eigenschap. De minerale samenstelling van het moedermateriaal zal uiteindelijk de chemische samenstelling van de zich erop ontwikkelende bodem bepalen. Aldus zullen bepaalde bodems kalkrijk zijn en andere niet, of zullen bepaalde bodems veel voor planten nuttige bestanddelen bevatten en andere dan weer niet.

Bij de klimaatfactoren, van belang voor de bodenvorming, is vooral de neerslag van belang. Regenwater werkt chemisch in en veroorzaakt oplossingsverschijnselen. Daarnaast zorgt het er ook voor dat fijne bestanddelen zoals klei of humus in de bodem (naar beneden) migreren (eluvatie). Deze neerwaartse migratie geldt trouwens ook voor de stoffen die door de inwerking van water in oplossing zijn gekomen. Zij zullen dieper in de ondergrond opnieuw neerslaan (illuvatie), bijvoorbeeld omdat daar een permanente grondwatertafel zit, of omdat op een bepaalde diepte de ondergrond verzadigd is aan een bepaald scheikundig element.

De biologische activiteit bovenop en in een bodem beperkt zich allerminst tot de plantenwereld. Het gewicht aan bodemfauna (dieren die leven in een bodem) kan

op een vruchtbare lap grond tot 25.000 kg per hectare bedragen! Het gaat dan om grote dieren zoals de mol of de regenworm, waarvan de graafactiviteiten zorgen voor doorluchting en een goede, losse bodemstructuur. Maar ook belangrijk zijn kleinere dieren, zoals insecten (bijvoorbeeld springstaarten of Collembola), die evenzeer de bodem mechanisch herwerken. Op microscopisch niveau zijn de bacteriën, schimmels, algen en microscopisch kleine wormen (bijvoorbeeld nematoden) van belang. Zij werken vooral chemisch in; door de uitwisseling van voedings- en afbraakstoffen zorgen zij bijvoorbeeld voor de afbraak van het afgezette plantenmateriaal (humus, organische stof bestaande uit afgebroken en niet meer als dusdanig herkenbare dieren- en plantenresten) en de accumulatie van de voor de vegetatie nuttige bestanddelen.

#### □ Bodemprofielen

De bodem is geen homogene laag die zich abrupt boven de geologische ondergrond heeft opgestapeld. Allereerst is de overgang naar het moedermateriaal vaak heel geleidelijk, maar anderzijds is ook de inwendige opbouw van de bodem niet egaal. Er tekenen zich in een bodem 'horizonten' af die bepaald worden door processen van fysische migratie van elementen, chemische oplossing of bioturbatie (veranderingen onder invloed van dieren of planten).

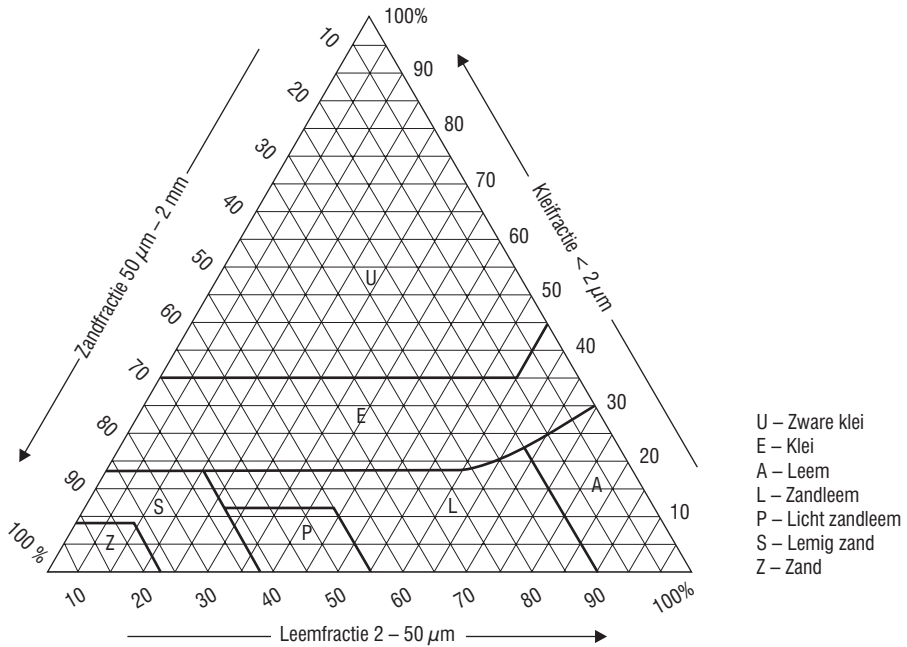
Hoe ontwikkelt een bodem zich? Op het verweringsmateriaal van gesteenten of op afgezette sedimenten groeit een vegetatie. De planten sterven af en worden vervangen door andere, en in het geval er al bomen voorkomen, is er een jaarlijkse bladval. Daardoor accumuleert bovenop de ondergrond dood plantenmateriaal, wat langzaam of snel vergaat, door de werking van andere planten, dieren, bacteriën, chemische verschijnselen en klimatologische factoren. Er ontstaat humus die doordringt in de bovenste lagen van het moedersediment of het verweerde moedergesteente. Aldus ontstaat al een gelaagdheid: een zogenaamde O-horizont met plantenmateriaal in diverse stadia van vertering, een A-horizont die bestaat uit het moedermateriaal waarin humus is doorgedrongen, en de onderliggende C- (in het geval van losse sedimenten) of R-horizont (in het geval van harde gesteenten). Na verloop van tijd wordt de bodem dieper als gevolg van de inwerking van planten en doorsijpelend regenwater. Uiteindelijk kan in een bodem met losse structuur en goede percolatie in de A-horizont een niveau ontstaan waar oplosbare of transporteerbare elementen minstens even vlug verdwijnen als zij aankomen: een zogenaamde uitlogings- of E-horizont. Op zekere diepte zal dit uitgeloopte materiaal echter weer neerslaan in een zogenaamde aanrijnings- of B-horizont. In het geval dat vooral humus in de bodem migreert, wordt een bodem met een dergelijk A-E-B-C-profiel een *podzol* genoemd (figuur 1.3). In een podzol wordt de B-horizont ook wel als 'Bh' aangeduid ('h' voor humus).



**Figuur 1.3.** Podzolbodem begraven onder een pakket stuifzanden. De bleke uitlogings- en de donkere aanrijkhingshorizonten zijn duidelijk te zien (Oud-Turnhout, B., foto OE & KU Leuven).

De bepalende factor bij *podzolisatie*, de vorming van een podzolbodem, is de percolatie. Bij een bodem onder bosbedekking zal dit proces minder vlug gaan; het regenwater wordt voor een groot deel tegengehouden door de bladeren in de boomkruinen en ook het rottende bladerdek op de grond werkt als een spons die water ophoudt. Wanneer het bos wordt gekapt, wordt de impact van percolatie evenwel groter en zal het podzolisatieproces versneld doorgaan. Een andere bepalende factor bij de vorming van podzols is de positie van de grondwatertafel. Wanneer die hoog ligt, zal het niveau van het neerslaan van migrerende elementen dicht bij de uitlogingshorizont liggen, maar wanneer het grondwater zich op een beduidende diepte bevindt, zal de profielopbouw van de bodem meer uitgesproken zijn.

Podzolisatie is typisch voor zandbodems. In leembodems gaat de afbraak van organisch materiaal veel sneller en zal er vrijwel geen humus overblijven om te migreren. In dergelijke bodems ontstaat wel kleimigratie en zal met name de B-horizont sterk worden aangerijkt met klei. In de Belgische bodemclassificatie spreekt men van een A-Bt-C-bodemprofiel, waarbij 'Bt' staat voor een B-textuur-horizont (zie verder voor 'textuur'). In Nederland worden deze bodems 'brikgrond' genoemd, terwijl dit internationaal een *luvisol* is.



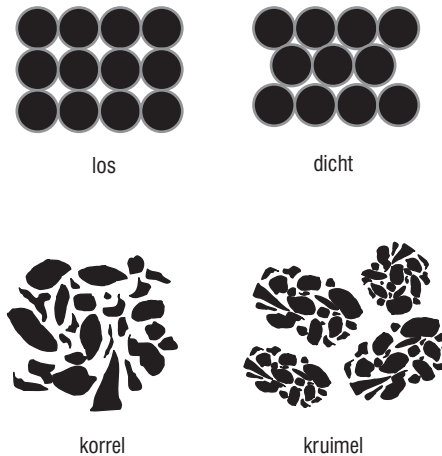
**Figuur 1.4.** Textuurdriehoek met afbakening van de in België gebruikte textuurklassen (Ameryckx *et al.* 1995).

#### □ Bodemeigenschappen

Naast de profielopbouw is de bodem gekenmerkt door een aantal beschrijvende eigenschappen. De textuur, of samenstelling van korrelgrootte, is er één van. Uiteraard bestaan bodems niet altijd uit korrels van één bepaalde grootteklasse maar vaak wel uit een combinatie daarvan. Deze samenstelling kan grafisch weergegeven worden in een driehoeksdiaagram (figuur 1.4). De overheersende korrelgroottes bepalen dan de typering van de bodem (klei, zandige klei, leem, lemig zand, zandig leem, zand). Textuur is als bodemkenmerk belangrijk omdat het mede de bewerkbaarheid van gronden bepaalt (bijvoorbeeld zandgronden tegenover polderklei), alsook de bodemverluchting en waterinfiltratie (via de ruimte tussen de korrels) en de potentiële opwarming van de bodem (via het waterbergende vermogen). Zandige, droge gronden zullen sneller opwarmen dan natte kleigronden, en dat is belangrijk voor de vegetatie die erop staat.

Een ander belangrijk kenmerk is de structuur van de bodem (figuur 1.5). Deze kan bestaan uit individuele korrels of uit kruimels, aggregaten van aan elkaar klevende korrels. In het eerste geval kan men nog los of dicht gestapelde korrels hebben. De structuur van de bodem bepaalt opnieuw het doorlaten van water en de aanwezigheid van lucht. Andere bodemkenmerken zijn de compactiegraad (in functie van

de druk die erop wordt uitgeoefend), de kleur, het humus- en stikstofgehalte, de zuurtegraad en andere chemische eigenschappen.



**Figuur 1.5.** Basisconcepten bij de structuur van bodems (Ameryckx *et al.* 1995).

#### □ Voornaamste bodemtypes in de Lage Landen

In de duinengordel langs de kust vindt men bodems die zandig, kalkhoudend en zeer droog zijn. Natte plekken komen enkel in de duinpannen voor. Er is geen profielontwikkeling en de bodems zijn weinig humushoudend. Dergelijke bodems zijn moeilijk als landbouwgrond te gebruiken en bleven vroeger dan ook meestal bos of ongecultiveerde, ‘woeste’ grond.

De bodem in de polders bestaat in regel uit kleigronden. Door de waterverzadiging (te wijten aan de lage ligging en de slechte percolatie in klei) is hier opnieuw geen uitgesproken bodemprofielontwikkeling. Dergelijke gronden lenen zich tot het aanleggen van weiland, of van akkers, mits de gronden intensief bewerkt worden.

In het binnenland zijn er streken met overwegend zandige bodems, meestal gekenmerkt door een uitgesproken B-horizont (door podzolisatie). Deze zandgronden met profielontwikkeling, die zeer droog tot zeer nat kunnen zijn, waren meestal ‘arm’ in landbouwkundige termen. Veel van deze gronden waren minder geschikt voor akkerbouw of als weiland en werden tot heidegebieden omgevormd. Ze dienden dan vooral als grasgronden voor migrerende kudden.

Langs de zuidelijke rand van het dekzandgebied bevindt zich een gordel van lemige zandbodems, zandige leembodems en uiteindelijk typische leembodems. Deze zijn, afhankelijk van de locatie, in min of meerdere mate voor akkerbouw

geschikt. Akkerbouw zal meestal ondernomen zijn op de plateaus, terwijl de vochtigere, meer kleirijke bodems in rivier valleien beter geschikt waren om als weiland te gebruiken.

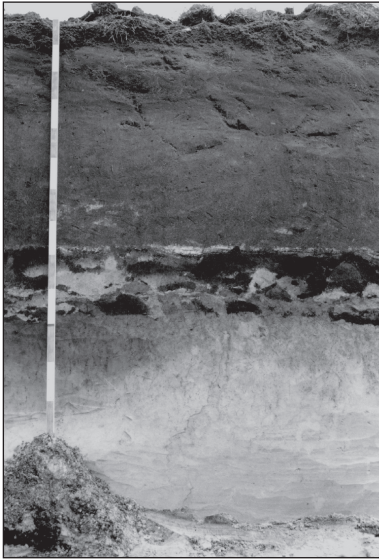
#### □ De bodem en de kansen voor de mens

De kenmerken van de bodem (textuur, structuur, waterhuishouding) bepalen voor een groot deel welke vegetatie op een terrein groeit. Wanneer de mens het landschap wil exploiteren, bijvoorbeeld door landbouw, speelt dit gegeven sterk. Droge zandbodems bieden andere mogelijkheden dan waterrijke kleigronden. Sommige bodems kunnen onder landbouw ook eerder uitgeput raken dan andere, wat wil zeggen dat ze voor de beoogde gewassen snel een tekort aan voedingsstoffen hebben. De mens heeft zijn landbouwactiviteiten dan ook steeds aan de lokale bodems aangepast. Het is geen toeval dat de eerste landbouwersgemeenschappen zich vestigden op de vruchtbare leembodems en dat de zandgronden en marginale, bijvoorbeeld waterrijke gebieden pas veel later in cultuur werden gebracht.

Waar bodems uitgeput raakten, of niet genoeg mogelijkheden boden, trachtte men dat euvel te verhelpen door voedingsstoffen aan te voeren (bemesten). Aldus konden de kenmerken van de bodem compleet veranderen. Een goed voorbeeld zijn de plaggenbodems op droge zandgronden in de Kempen en in de Nederlandse dekzandgebieden (waar ze ‘eekgronden’ genoemd worden) (figuur 1.6). Deze hebben hun ontstaan mede te danken aan de aanvoer van met mest doordrenkte gras- of heideplaggen, die in de winter onder het vee in de stallen gelegd werden. In deze plaggen zat naast plantenmateriaal en dierlijke uitwerpselen ook wat sediment waardoor de akker met plaggenbemesting ophoogde doorheen de tijd. Sommige van deze plaggenbodems kwamen zo bijna een meter of meer hoger te liggen dan het oorspronkelijke loopvlak. Andere ingrepen in de bodem omvatten het aanvoeren van pure meststoffen, zoals de inhoud van beerputten, soms georganiseerd als een transport op grote schaal vanuit de laat- of post-middeleeuwse steden. Dit verschijnsel verklaart de soms hoge frequentie van vondsten uit die periode bij de archeologische prospectie van landbouwgebieden. Het gaat dan om materiaal dat oorspronkelijk in stedelijke context werd afgezet, bijvoorbeeld in beerputten, maar dat op de velden van het buitenstedelijke gebied compleet buiten context wordt teruggevonden. Zure bodems werden soms voor landbouwdoeleinden verbeterd door er kalk op te strooien, bijvoorbeeld in de vorm van vermalen schelpen. Samen met andere ingrepen, zoals ploegen of draineren, ontstonden aldus antropogene (door de mens gecreëerde) bodems.

De invloed van menselijke activiteiten verminderde echter ook vaak (onbedoeld) de economische bruikbaarheid van de bodem. Landbouw, en zeker waar die grootschalig gebeurde, bracht vaak erosie teweeg. Bodems raakten ook vervuild,

bijvoorbeeld door nabije mijnactiviteiten. Ook veranderingen in de grondwatertafel waren vaak van betekenis. Compactie door betreding kon de waterdoorlating van bodems negatief beïnvloeden.



**Figuur 1.6.** Plaggenbodempodzol bovenop een verspitte podzol (Zondereigen, Baarle-Hertog, B., foto J. Bastiaens).

#### □ De studie van de bodem

De studie van bodems gebeurt meestal door het observeren van de wanden van een opgravingsput of door het graven van een diepe kuil. De observaties zijn in eerste instantie macroscopisch (met het blote oog) en hun kwaliteit hangt af van de ervaring van de onderzoeker. De bodemkundige observaties worden wel soms vergezeld door enige eenvoudige proefnemingen zoals het vaststellen van het kalkgehalte van de bodem of het bepalen van de pH of zuurtegraad. De kleur van de bodem (meestal een goede indicatie van de chemische samenstelling, en de waterconditie) wordt vastgesteld door vergelijking met de *Munsell Color Chart*. Bij meer gedetailleerd onderzoek worden bodemmonsters in het laboratorium geanalyseerd op korrelgrootte.

Een speciale studietechniek binnen de bodemkunde is de micromorfologie, waarbij delen van het bodemprofiel zonder verstoring worden gelicht, in plastic worden ingegoten, waarna flinterdunne coupes worden gesneden of gezaagd om door de microscoop te bekijken. Dit laat toe de opbouw van de bodem heel gedetailleerd te beschrijven en met het blote oog onzichtbare intrusies op te sporen. Deze techniek wordt trouwens ook gebruikt om archeologische sedimenten te karakteriseren.

## 1.5 Bodems en sedimenten als archief

Voor de specialist zijn bodems en sedimenten een open boek waarin veel staat neergeschreven over wat er ooit op een plek is gebeurd. Sporen van mechanische activiteiten, zoals ploegen of spitten, zijn vaak goed herkenbaar. Maar ook mechanische alteraties ten gevolge van klimaatfenomenen kunnen in bodemprofielen worden geregistreerd. Cryoturbatie, verstoringen van de bovenste lagen van de ondergrond door strenge vorst, kan naar de koude condities uit de IJstijden verwijzen. Menselijke activiteiten zoals het aanleggen van haarden of het branden van veen bij zoutwinning laten eveneens sporen na in de bodem. De grond wordt als het ware ter plaatse gebakken.

Artisanale activiteiten vertalen zich wel vaker in een opname van grotere of kleinere afvalpartikels in bodems of sedimenten. Waar een smid actief geweest is, zullen minuscule ijzerpartikels in de grond worden opgenomen. Hetzelfde geldt voor landbouwactiviteiten, zij het dan eerder op chemisch vlak. Het aanvoeren van bemesting kan zich eeuwen later nog steeds vertalen in een verhoogd fosfaatgehalte in de bodem. Het bekalken van bodems is eveneens registreerbaar. Ook chemische pollutie (bijvoorbeeld door lood) kan eeuwen na datum nog opgespoord worden. Bepaalde fenomenen, zoals een aanrijking in fosfaten, kunnen worden gebruikt bij prospectie. Zones met een verhoogd fosfaatgehalte kunnen bewoning of de aanwezigheid van de resten van een stalgebouw aanduiden.

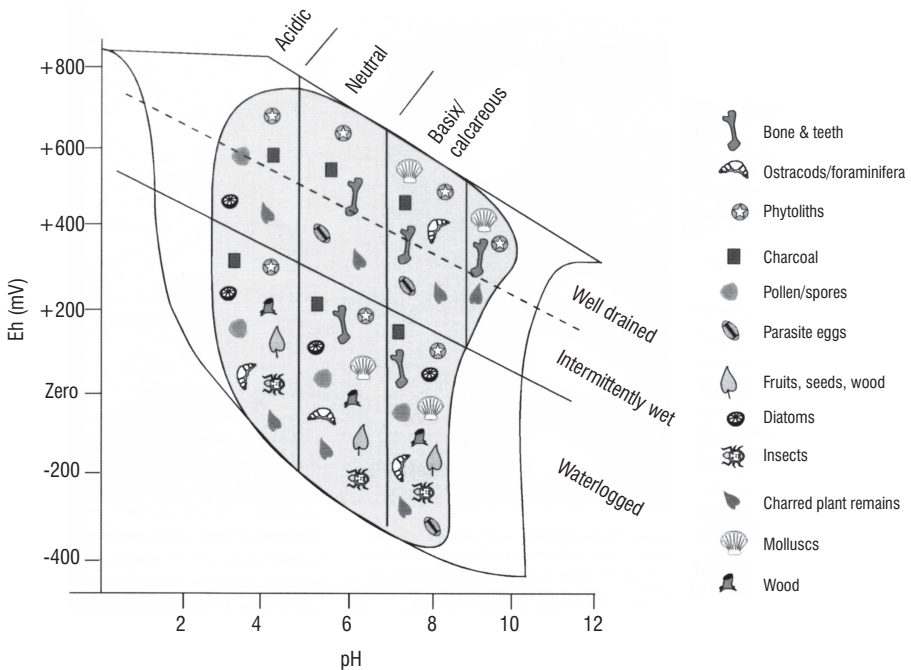
Wanneer er door natuurlijke of antropogene factoren schommelingen in de grondwatertafel optreden, bijvoorbeeld bij het draineren van waterrijke gronden, kunnen in de ondergrond processen van oplossing en neerslaan van metalen of van andere elementen ontstaan. Sommige van deze processen, zoals het neerslaan van ijzer in 'roestlaagjes', zijn onomkeerbaar, waardoor ze een getuigenis nalaten van de waterschommelingen.

Het hele proces van podzolizatie wordt, zoals gezegd, sterk beïnvloed door de vegetatie die op de bodem groeit. Onder bos, waar de doorsijpeling van water sterk wordt tegengehouden, zal dit proces beduidend minder sterk ontwikkelen dan onder een akker, waar de neerslag vrij spel heeft. Een bodem die altijd onder bos heeft gestaan, laat zich dan ook herkennen door een vrij geringe profielvorming.

Bodem en sediment vormen natuurlijk ook de vondstomgeving voor archeologisch materiaal (figuur 1.7). De kenmerken van de 'grond' zullen dan ook de bewaringskansen voor dit materiaal bepalen. Een eerste belangrijke factor is daarbij de waterhuishouding. In permanent droge bodems of sedimenten zullen vondsten gevrijwaard blijven van de inwerking van (het steeds wat zure) regenwater maar zit er in de regel veel lucht in de grond waardoor oxidatie een belangrijke aantasting kan betekenen. In permanent natte bodems zit het materiaal afgesloten van de lucht waardoor de rotting van organisch materiaal en de chemische aantasting



van veel anorganisch materiaal vrijwel stilvallen. De meeste bodems of sedimen ten bij ons kennen echter een geregelde afwisseling van droge en natte condities waardoor er een 'goed' klimaat (goede doorluchting en voldoende vochtigheid) kan ontstaan voor de oxidatie van metalen voorwerpen, of voor micro-organismen die organisch materiaal aantasten. In dergelijke contexten zullen ook oplossings- en neerslagverschijnselen optreden die leiden tot de ontkalking van bepaalde lagen of tot de migratie van metalen. De organische fractie van botmateriaal kan in dergelijke wisselende vochtigheidscondities door micro-organismen (bacteriën, plantenwortels, schimmels) worden aangetast terwijl de minerale fractie door de oplossing van kalk wordt vernietigd. Insectenresten, die goed bestand zijn tegen bacteriële aantasting of tegen chemische oplossingsverschijnselen, zullen echter mechanisch verweren door de sterke afwisseling tussen droge en natte condities.



**Figuur 1.7.** Invloed van pH en waterverzadiging (gemeten aan de elektrische geleidbaarheid, Eh) op de bewaring van ecologisch vondstenmateriaal (uit English Heritage 2002).

Een tweede belangrijke factor is de pH of zuurtegraad. Zure bodems, of ze nu nat zijn (bijvoorbeeld in vennen) of droog (zandbodems in de duinen), zijn in de regel ongunstig voor de bewaring van botmateriaal (door de oplossing van kalk). Sterk basische omgevingen, zoals de inhoud van een beerput, zijn dan weer zeer slecht voor de bewaring van metalen. Daarnaast zijn factoren zoals de textuur en

de structuur van belang, onder meer door het mede bepalen van de doorluchting van de afzettingen en de aanwezigheid van bepaalde scheikundige elementen.

Het herkennen van versturende processen draagt steeds bij tot de evaluatie van archeologische vondsten en contexten. Bioturbatie kan bijvoorbeeld een nefast effect hebben op het bewaren van de stratigrafische opbouw. Vorstwerking kan grote schade aanbrengen aan fragiel materiaal zoals insectenresten. Verstoring van de grondwatertafel kan aantastingsprocessen op gang brengen.

## 1.6 Grootschalige geologische fenomenen

Vele geologische en bodemkundige verschijnselen verlopen op vrij kleine schaal en vrij geleidelijk (erosie, sedimentatie, bodemvorming). Een andere reeks van geologische processen is zeer grootschalig en neemt enorm lange tijdperioden in beslag (bijvoorbeeld de plooiing of breuk van gesteenten). Een speciale categorie van geologische verschijnselen zijn evenwel deze die grootschalig zijn maar toch op korte tijd hun ontwikkeling kennen. Zij vallen compleet buiten de controle van de mens maar zijn vaak bepalend voor de geschiedenis van de menselijke activiteit op een bepaalde plek. Vreemd genoeg worden ze echter vaak vergeten in archeologische verhalen.

Een voorbeeld wordt gevormd door vulkaanuitbarstingen. Deze gebeuren vrijwel ogenblikkelijk en kunnen op kortere afstand de vernietiging betekenen van een heel landschap en van de menselijke cultuur die zich daar bevond. Een voorbeeld is de uitbarsting van de Thera op Santorini rond het midden van het 2de millennium BC die mogelijk, samen met de door de explosie veroorzaakte tsunami, de Minoïsche cultuur op het zuidelijkere eiland Kreta onherstelbare schade toebracht. Op middellange termijn kunnen vulkanen een invloed hebben op het klimaat omdat ze een grote hoeveelheid stofdeeltjes in de lucht brengen waardoor het doordringen van de zonnestralen wordt belemmerd. Een vulkanische afzetting kan zich in een gebied rond de uitbarsting duidelijk aftekenen in de accumulaties van culturele stratigrafie en als archeologische 'marker' fungeren. De tefra-afzettingen van de IJslandse vulkanen dienen aldus als chronologische mijlpalen in de Schotse archeologie. Hetzelfde geldt voor de aslagen van de Eifelvulkanen in de Duitse archeologie.

Een ander grootschalig fenomeen is dat van de aardbevingen. De kracht en potentiële culturele impact kan men bijvoorbeeld illustreren aan de hand van het archeologische erfgoed onderzocht in de klassieke stad Sagalassos (Turkije). Het verval van de stad werd versneld door de inwerking van krachtige aardbevingen in de 6de en 7de eeuw. Nog een ander belangrijk geologisch gegeven zijn de

eustatische bewegingen, die bijvoorbeeld in Scandinavië gerelateerd zijn met het verdwijnen van de ijskap na het eind van het Pleistoceen. Door het gewicht van het ijs was de continentale massa lager komen te liggen, een toestand waarvan ze zich nu herstelt en waardoor het land in het Noord-Baltische gebied nog steeds bijna een centimeter per jaar stijgt. Dit proces verklaart waarom de kustlijn uit de Vikingtijd er nu acht meter boven de zeespiegel ligt.

## 1.7 Economische ‘rijkdommen’

Het zal duidelijk zijn dat de geologische ondergrond meer is dan een substraat waarboven de bodem ligt en waarop de activiteiten van de mens zich ontwikkelden. De ondergrond, of producten daaruit, is vanaf een bepaald moment in de menselijke evolutie (vanaf het eerste gebruik van stenen werktuigen) ontgonnen. De mogelijkheid tot exploitatie van geologische materialen bepaalde in het verleden vaak zelfs de interesse van de mens om zich ergens te vestigen. In latere tijden verklaart de aanwezigheid van natuurlijke rijkdommen een deel van de handelsrelaties en dus soms ook de economische voorspoed. Bedenk wel dat het gebruik van geologische grondstoffen geen innovatie is door onze soort (*Homo sapiens*) maar dateert van ver voor het verschijnen van de moderne mens. Er blijken grofweg altijd al vier belangrijke toepassingsmogelijkheden van geologische grondstoffen geweest te zijn: basismateriaal voor artefacten, ertsen, bouwmaterialen (natuurlijke en artificiële) en brandstof. En daarnaast is er natuurlijk nog water.

Op een standaard geologische overzichtskaart staan de gesteenten of sedimenten gekarteerd die net onder de bodem (net onder de vruchtbare bovenlaag waarin de plantenwortels groeien, zie verder) voorkomen. Van deze gesteenten of sedimenten wordt gezegd dat zij ‘dagzomen’. Ze zijn dus makkelijk bereikbaar voor de mens. Geologisch materiaal dat dieper in de ondergrond zit, moet echter ook in rekening worden gebracht. Na verloop van tijd slaagde men er immers in om aan mijnbouw te doen, waardoor niet-dagzomend materiaal ook bereikbaar werd.

### □ Grondstoffen voor artefacten

Het gebruik van stenen artefacten is van onvoorstelbaar belang geweest in de menselijke geschiedenis. De oudste bewijzen van hun gebruik komen uit de oudste Oldowan-sites uit Afrika (2,5 miljoen jaar oud). Hout en been vormden waarschijnlijk even vroeg (of misschien zelfs vroeger) in de menselijke evolutie belangrijke grondstoffen voor de productie van artefacten, maar doordat deze stoffen nauwelijks bewaard bleven in heel oude sites, kan hun belang moeilijk geëvalueerd worden. Dit neemt evenwel niet weg dat stenen voorwerpen uit be-

paalde grondstoffen, door hun hardheid en bewerkbaarheid, in belangrijke mate de menselijke technologische evolutie hebben bepaald. In onze prehistorie, meer bepaald in de steentijden (bij ons vóór 2000 v. Chr.), was het dus zeer belangrijk te weten waar men silex of vuursteen kon vinden. Vuursteen komt bij ons voor als knolvormige concreties van een siliciumhoudend mineraal (silex), die ontstaan zijn in krijtlagen. Deze laatste zijn ooit afgezet op de zeebodem en bestaan uit de kalk- en kiezelskeletjes van kleine zeeorganismen. Krijtafzettingen dagzomen nu in de vallei van de Jeker in Oost-België en in het Mergelland in Nederlands Zuid-Limburg, waar de prehistorische mens de knollen uit de valleiwand kon halen. Op andere plekken (zoals in Henegouwen, zie de sites rond Spiennes) diende men echter aan mijnbouw te doen om de knollen te exploiteren, omdat de juiste geologische lagen niet dagzomen. In vele streken is door het ontbreken van krijtafzettingen eenvoudigweg geen silex te vinden.

Silex of vuursteen is niet in alle delen van de wereld voorhanden. De genoemde oudste Oldowan-werktuigen zijn bijvoorbeeld uit vulkanische gesteenten gemaakt (trachiet). In Mexicaanse culturen, in het Middellandse Zeegebied of bijvoorbeeld op Papoea werd dan weer veel obsidiaan (vulkanisch glas) gebruikt. Obsidiaan kan net zoals silex worden gebroken in fragmenten met een scherpe rand. Basalt (een vulkanisch gesteente) was de grondstof voor beeldhouwwerk bij de Olmeken, een centraal-Mexicaanse cultuur die bloeide van 500 tot 100 BC. Zeepsteen (steatiet, een heel zacht gesteente) werd duizenden jaren langs de kust van Labrador (Canada) gebruikt om er kookpotten, lampen en andere voorwerpen uit te maken.

De keuze van grondstoffen was geen statisch gegeven per geografische locatie, maar kan ook evolueren in de tijd. In de Franchthi-grot in Griekenland bevatten laat-mesolithische afzettingen (7250-6000 BC) een meerderheid van silex artefacten met een klein aandeel van vondsten in obsidiaan (10%), terwijl laat-neolithische lagen al 95% aan obsidiaan-artefacten opleverden. Silex kon lokaal gevonden worden, maar obsidiaan diende te worden aangevoerd en kwam van het eiland Milos, zo'n 400 kilometer verder in de Egeïsche Zee. De verschuiving in grondstofgebruik weerspiegelt dus de technologische ontwikkeling van transport én een handelsconnectie.

De voorgaande voorbeelden geven aan dat er veelal twee belangrijke criteria waren bij de keuze van geologische grondstoffen voor artefacten: hardheid (en de mogelijkheid om te breken in fragmenten met een scherpe rand) of bewerkbaarheid. Nochtans zijn soms andere eigenschappen van belang. Maalstenen die bij ons in archeologische sites van de metaaltijden tot de Middeleeuwen worden gevonden, zijn vervaardigd uit vulkanische gesteenten uit het Eifelgebied. Deze grondstof werd gekozen omdat ze door haar interne eigenschappen bewerkt kon worden tot een ruw oppervlak dat bovendien resistent was tegen afslijting.

Geologische grondstoffen werden bij de aanmaak van artefacten niet enkel om nuttige, economische doelen gebruikt. Bepaalde producten leverden enkel sieraden of decoratieve objecten op. Voorbeelden zijn de handel in zeepsteen in de Nieuwe Wereld, of het transport van amber (gefossiliseerd hars van bomen) uit het gebied rond de Baltische Zee naar Griekenland, Egypte en Mesopotamië, vele millennia voor onze tijdrekening.

Een laatste, maar daarom niet minder belangrijke categorie zijn de grondstoffen nodig voor het vervaardigen van ceramische voorwerpen en glas. In het eerste geval gaat het om kleien, waarbij de eigenschappen van het sediment grotendeels de kwaliteit van het geproduceerde aardewerk zullen bepalen. In prehistorische culturen was de keuze van de klei bij de productie van eenvoudige recipiënten wellicht wat minder cruciaal, maar wanneer het later om de productie van Romeinse *terra sigillata* of om laat-middeleeuws steengoed zal gaan, is de voorradigheid van het juiste basismateriaal van doorslaggevend belang. Bij zulke producten zien we dan ook dat de productie beperkt blijft tot bepaalde centra. Porselein kan alleen gemaakt worden uit kaoliniet, een kleimineraal met bijzondere eigenschappen, dat maar op bepaalde plaatsen kan worden gevonden. Glas bestaat uit siliciumnetwerken, met als grondstof fijne, zuivere kwartzanden. Puur kwarts heeft echter een smeltpunt van 1700°C, iets wat in vroegere technologieën niet kon worden bereikt. Daarom wordt een smeltpuntverlager (flux) toegevoegd, Na<sub>2</sub>O. Het resulterende glas is dan evenwel nog niet stabiel; dat wordt pas bereikt door bij het smelten kalk toe te voegen. Soda (Na<sub>2</sub>O) werd gehaald uit de as van zoutminnende planten, uit de as van bomen of uit mineralen, zoals trona of natron. Kalk werd gewonnen uit het verbranden van kalksteen, uit plantenas of uit kalkhoudende zanden.

Ten slotte dient nog te worden vermeld dat geologische producten niet altijd de primaire grondstof bij artisanale bereidingen zijn, maar soms wel belangrijke gebruiksproducten in bepaalde stadia van fabricatie vormen. Kalk, bijvoorbeeld verkregen uit het verbranden van kalksteen, was een belangrijk product bij het verven, net zoals bepaalde kleien. Aluin, gewonnen uit rotsen met hoge concentraties van aluniet (bijvoorbeeld op het mediterrane eiland Milos en andere plekken in het Middellandse Zeegebied), is eveneens een belangrijk product in de ververij, maar werd ook gebruikt om wit leer (van schapen of geiten) te looien.

#### □ Metaalertsen

Een ander voorbeeld van het cultuurhistorische belang van geologische grondstoffen zijn de ertsen waaruit metalen gesmolten kunnen worden. Waar men deze in de ondergrond kon bereiken, heeft in bepaalde perioden het menselijk handelen sterk beïnvloed. De Lage Landen zijn evenwel nooit rijk geweest aan metaalerts. Ertsen als zink, lood en koper zijn vroeger wel ontgonnen, maar hun exploitatie heeft nu alle betekenis verloren. IJzererts was en is wel te vinden in Belgisch

Lotharingen, maar wat de betekenis van deze exploitatie was in vroegere tijden, is moeilijk te achterhalen. In Vlaanderen komt ijzer vooral voor als deel van glauconiet, een mineraal dat tot 20% ijzer in zijn kristalrooster kan opslaan. Glauconiet kan bij ons voorkomen in Krijtlagen maar vooral in Tertiaire zanden. Door verweering komt het ijzer vrij uit het glauconiet; het lost op, migreert in de ondergrond en slaat dan dieper weer neer, waarbij ijzerkorsten worden gevormd. Een andere mogelijkheid is dat het ijzer de poriën in zandige sedimenten gaat opvullen waardoor ijzerzandsteen ontstaat. Deze is gebruikt als bouwsteen maar ook, net zoals de ijzerkorsten, als grondstof om ijzer uit te smelten. Deze exploitatie dateert, hoe kan het anders, sinds de IJzertijd maar is uiteraard nu niet meer rendabel. Daarnaast werd ijzer ook uit het zogenaamde ‘moerasijzererts’ gehaald, dit zijn concreties van ijzer, neergeslagen in poelen of beekjes.

Bij de evaluatie van de beschikbaarheid van ertsen mag men zich niet steeds door de huidige data laten leiden. Sommige metalen zijn vroeger op bepaalde plaatsen in die mate ontgonnen dat er nu geen (rendabele) exploitatie meer mogelijk is of dat het erts in kwestie zelfs volledig is uitgeput.

#### □ Bouwmaterialen

Een derde belangrijke toepassing van geologische grondstoffen is deze als bouw materiaal. Het gaat dan vooral om zandsteen, kalkzandsteen en kalksteen, of leisteen voor dakbedekking. In tijden dat er nog geen stenen gebouwen werden opgetrokken, waren vooral klei en leem belangrijk als materiaal om het houten takkenwerk van de muren van huizen mee in te strijken. Deze grondstoffen werden ter plaatse gewonnen en leem- of kleiwinningskuilen zijn dan ook een typisch verschijnsel op wat oudere sites.

Het identificeren van bouwstenen kan opnieuw op handelsrelaties wijzen. In Gent zijn vele middeleeuwse monumenten (o.a. het Gravensteen, kerken en de ‘stenen’ of patriciërshuizen) in Doornikse kalksteen opgetrokken. Dit materiaal diende via de Schelde vanuit Henegouwen aangevoerd te worden. Ook het nog veel oudere, Romeinse *castellum* van Oudenburg was uit deze steen opgetrokken. Wellicht kwam het bouw materiaal via de rivier, doorheen het estuarium, via de kustwateren, en uiteindelijk via een getijdengeul tot aan het Romeinse militaire kamp. Graniet (een zeer hard gesteente) was bij de Romeinen geliefd als grondstof voor monumentale en decoratieve bouwwerken. Belangrijke groeven (o.a. Mons Claudianus) bevonden zich in de Rode Zee-bergen in Egypte. De kolommen van de voorgevel van het Pantheon te Rome zijn uit Egyptisch graniet gehouwen. In onze uithoek van het Imperium kwamen deze bouwmaterialen echter niet voor.

In de Middeleeuwen werden stenen gebouwen eerst in natuursteen opgetrokken, bouw materiaal dat in groeven werd geëxploiteerd en dan werd gehouwen tot het

juiste formaat, om als bouwelement te kunnen dienen. Natuursteen was echter niet overal voorradig en was dus duur vanwege de transportkosten. Bovendien stelde het materiaal beperkingen inzake het formaat van de bouwelementen (kleinere stenen kappen kostte zeer veel tijd) en dus ook qua bouw mogelijkheden. Verandering kwam hierin door het gebruik van baksteen, een artificieel product verkregen door het bakken van een geologische grondstof: klei. Deze was op meerdere plekken te vinden; zowel Tertiaire klei als recentere rivier- of kustkleien konden tot stenen (of dakpannen) worden gebakken. De Romeinen hebben deze fabricatie bij ons geïntroduceerd, maar na de technologische achteruitgang van de *Dark Ages* zal het duren tot in de laat-middeleeuwse periode voor baksteenbouw weer dominant wordt. Baksteen liet decoratieve en bouwtechnologische mogelijkheden toe die natuursteen niet had.

Het stapelen van stenen tot een bouwwerk kan meestal niet zonder een verbindend element. Kalkrijke gesteenten of sedimenten werden in kalkovens verbrand om ongebluste kalk te verkrijgen, die nodig was bij de aanmaak van kalkmortel. Later werd overgegaan tot het gebruik van echte cement.

#### □ Brandstof

Geologische gesteenten of sedimenten van organische oorsprong bestaan vaak voor het grootste deel uit silicium (bijvoorbeeld afkomstig van de skeletjes van kiezelwieren) of uit kalk (bijvoorbeeld afkomstig van de kalkskeletjes van kleine organismen). Deze gesteenten of sedimenten zijn dus in de regel marien van oorsprong. In een terrestrische omgeving kan echter ook organisch materiaal accumuleren dat uiteindelijk echte afzettingen vormt. Een voorbeeld is veen (een gefossiliseerde, waterverzadigde bodem die voor het grootste deel bestaat uit nauwelijks vergane plantenresten). Waar veen nog actief groeit, is het bovenste deel uiteraard nat en los van structuur. Veenlagen die dieper in de ondergrond zitten, of die door andere sedimenten zijn bedekt, raken echter gecompacteerd en gedraineerd. Dit materiaal kan worden ontgonnen en bijvoorbeeld in blokken worden opgedeeld. Dergelijke veenblokken worden dan onder de naam 'turf' als brandstof gebruikt. Turf wordt vooral belangrijk in de Romeinse en middeleeuwse perioden, wanneer door ontbossing hout als brandstof moeilijker te verkrijgen valt (figuur 1.8).

Plantenmateriaal van geologische ouderdom, bijvoorbeeld de resten van vegetatie uit het Carboon, kan in de ondergrond sterk gecompacteerd en chemisch vervormd zijn, waardoor steenkool ontstond. Het probleem is echter dat het materiaal vaak op grote diepte, door mijnbouw, moet worden ontgonnen. In bepaalde streken in Europa zijn er steenkoollagen die vrijwel dagzomen, waardoor het materiaal veel vroeger toegankelijk was. Aldus kan steenkool ook in archeologische sites teruggevonden worden, bijvoorbeeld in het 15de-eeuwse vissersdorp te Raversijde (B.), waar steenkool vermoedelijk vanuit Noord-Engeland werd aangevoerd. De bloei van de steenkoolexploitatie ligt evenwel in de post-middeleeuwse, industriële periode.



**Figuur 1.8.** Banketten in een veenlaag te Raversijde (B.): resten van middeleeuwse veenontginning (foto 1960-1970, E. Cools & A. Mortier).

#### □ Water

De bereikbaarheid van water heeft altijd al de menselijke bewonings- en activiteitspatronen gedetermineerd. Aangezien de geologie grotendeels de opbouw van het landschap bepaalt, bepaalt ze ook waar oppervlaktewater (beken, rivieren, meren, vennen, enzovoort) in een landschap voorkomt. In streken met voldoende water stelt men zich daar weinig vragen bij, maar archeologisch veldwerk in drogere gebieden laat toe te ervaren hoe belangrijk water is als bepalende factor.

De geologische structuur van de ondergrond zal ook bepalen waar water in de diepte aanwezig is en eventueel aangeboord kan worden. De geologie verklaart dus waarom we in bepaalde streken archeologische waterputten kunnen verwachten en in andere niet, en tot op welke diepte zij aangelegd moeten worden om functioneel te zijn. Even belangrijk kan de aanwezigheid van kwelgebieden of van bronnen geweest zijn, plekken waar water spontaan uit de ondergrond tevoorschijn komt.



[Dit boek is online te koop \(klik hier\)](#)

*Natuurwetenschappen en archeologie* brengt een overzicht van de analysemethoden die gebruikt worden binnen ecologisch-archeologisch onderzoek. Die invalshoek is in het Nederlandstalig taalgebied uniek.

Archeologie bestudeert het menselijk handelen in het verleden aan de hand van opgegraven stoffelijke resten. Sinds de jaren zestig kregen natuurwetenschappelijke benaderingen daarbij steeds meer aandacht. Een reconstructie van de mens in zijn omgeving is niet mogelijk zonder een studie van planten, dieren, klimaat, landschap en materialen. Interactie met de omgeving bepaalt het menselijk denken en doen.

In deze tweede editie van *Natuurwetenschappen en archeologie* zijn verschillende gevalstudies opgenomen. Daarbij wordt telkens een natuurwetenschappelijke techniek geïllustreerd. Op die manier wordt duidelijk hoe natuurwetenschappelijk onderzoek bijdraagt tot de reconstructie van het gedrag van de mens in zijn omgeving.

**Patrick Degryse** is professor aan de afdeling Geologie van de KU Leuven. Zijn onderzoek spitst zich voornamelijk toe op het gebruik van minerale grondstoffen in de Oudheid en hun toepassing voor de productie van glas, keramiek, bouwmaterialen en metalen.

**Anton Erynck** is als onderzoeker natuurwetenschappen verbonden aan het agentschap Onroerend Erfgoed van de Vlaamse Overheid. Zijn onderzoek richt zich op de interactie tussen mensen en dieren in de Romeinse Tijd, de Middeleeuwen en de Postmiddeleeuwse periode.

**Veerle Linseele** is onderzoekster in de archeozoölogie aan de KU Leuven en het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen. Zij bestudeert voornamelijk dierenresten uit het Holoceen in Noord- en West-Afrika, met vroege veeteelt als hoofdthema.

**Peter Vandenaabeele** is chemicus en professor binnen de vakgroep Archeologie en Oude Geschiedenis van Europa aan de Universiteit Gent. Zijn onderzoek handelt over het gebruik van spectroscopische technieken voor de analyse van archeologische objecten.

**Gert Verstraeten** is professor aan de afdeling Geografie van de KU Leuven. Zijn onderzoek naar mens-milieu interacties in het verleden concentreert zich voornamelijk op het kwantificeren van geomorfologische processen en landgebruiksveranderingen. Daarbij maakt hij gebruik van veldgegevens en modelleringstoepassingen.

