

De oorsprong van aardolie

door Drs. A.G. Marschall-Wesselingh

Een beetje geschiedenis

Aardolie is al sinds mensenheugenis bekend als een smerig goedje, dat hier en daar uit de grond sijpelde. Het kon ook voor geheimzinnige eeuwige vuren zorgen of asfaltmeertjes vormen. Afb. 1.

Het gebruik van deze olie was beperkt. Men bericht over medicinale toepassingen, zowel als het breeuwen (naden dichtmaken) van scheepshuiden. Plaatsen waar de olie zo uit de grond sijpelde waren er o.a. in Iran, bij Baku in Azerbajdzjan, in Irak, in Trinidad en in Californië in de USA (Brea Tarpit en kustseeps bij Monterey).

In Pennsylvania, USA, werden een tijdlang gaten in de grond geboord, om door verdamping zout uit pekelnat, dat daar in de grond zat, te winnen. Hierbij viel het op dat er vaak zwarte vlekken op het zout voorkwamen, die vlekken bleken van aardolie afkomstig te zijn.

In 1859 werd hier voor het eerst bewust naar olie geboord door een zekere 'kolonel' Drake. Op een diepte van 69 voet werd olie aangetroffen. Binnen een jaar werden er nog 175 olieputten geboord, het olietijdperk was begonnen. Overigens werd ook in Azerbajdzjan (Kaspische Zee) al generaties eerder dan Drakes vondst, olie uit ondiepe putten gewonnen. Die olie werd, verzameld in leren zakken, verkocht als brandstof, voornamelijk als lampolie, en als smeermiddel.

In de James Bondfilm *'The world is not enough'* zijn mooie beelden van de oude Baku-velden te zien. Afb. 2.

In Nederland werd in 1923 de eerste aardolie gevonden bij Winterswijk, deze oliebron produceerde 250 liter.

In de zomer van 1938 werd in Den Haag een tentoonstelling

over oliewinning in Nederlands Indië gehouden. Op het tentoonstellingsterrein De Mient werd een complete boorinstallatie opgezet, waarmee men ook ging boren om het zo realistisch mogelijk te laten lijken. Tot ieders verrassing werden na 6 weken boren op een diepte van 450 meter sporen van olie gevonden! Dit werd het begin van de olie-opsporing onder West-Nederland.

In het begin van de vorige eeuw (en daarvoor) werden veel ondiepe olievelden ontdekt. Men dacht dat de olie in ondergrondse meren en grotten aanwezig was. Spoedig echter werd ontdekt dat de olie voorkwam in sedimentaire reservoirs, zogenaamde anticlinale structuren, en dat de koolwaterstoffen de poriën van de sedimenten vulden.

De theorie dat aardolie in anticlinale structuren gevonden kon worden ontwikkelde zich reeds omstreeks 1860. Geologische studies werden echter nauwelijks gebruikt voor het opsporen van koolwaterstoffen (olie en gas). Een uitzondering was het Cushing olieveld in de USA, dat in 1910 werd ontdekt op basis van geologisch advies.

Geofysische methoden in de vorm van zwaartekrachtmetingen werden voor het eerst in de jaren 1920-22 bij het zoeken gebruikt. Het eerste succes was het 'Nash zoutkoepelveld' in de USA in 1926. Hierna kwamen ook seismische onderzoeken, voornamelijk reflectiemethodes, op gang. Hierbij werden successen geboekt in vele gebieden, o.a. in Iran en Nederlands Indië, alsook aan de Amerikaanse Golfkust.

Met de jaren werd er door het toepassen van deze "modernere" technieken steeds meer olie gevonden en geproduceerd. Afb. 3. Maar moeilijk te definiëren structuren waren nog niet eenvoudig met deze methoden in kaart te brengen om zo additionele olie-



Afb. 1. Eeuwige olievuren in Azerbajdzjan. Foto E.F.J. Marschall.



Afb. 2. Olievelden in Baku, anno 2002.
Foto E.F.J. Marshall.

Ontstaan en preservatie van olie- en gas-moedergesteenten

In het begin van de vorige eeuw heeft men nog gedacht, dat aardolie op abiotogene (anorganische) manier kon ontstaan, maar daarna was men er toch wel van overtuigd dat dit niet zo is.

Organisch materiaal ligt ten grondslag

aan de vorming van aardolie.

Alleen onder zeer bepaalde omstandigheden kunnen in sedimenten materialen ontstaan, die later olie zullen vormen. Heel fijn organisch materiaal, b.v. plankton, algen, bacteriën en afbraakresten van zeedieren en planten, vermengd met fijne kleideeltjes, vormt de basis van het oliemoedergesteente. Alleen in min of meer stilstaand water kan dit tesamen neerslaan en in miljoenen jaren dikke lagen vormen. In woeliger water slaan alleen de grovere bestanddelen neer en blijft het fijne sediment met het organisch materiaal in suspensie om vervoerd te worden naar rustiger plaatsen om daar afgezet te worden.

Ook is een zeker gewichtsperscentage van organisch materiaal in het sediment noodzakelijk om het olievormend proces op gang te brengen. Dit werd voor het eerst gesteld door de Rus Ronov in 1958 en is sindsdien door andere onderzoekers bevestigd.

Alleen is men het niet helemaal eens over de drempelwaarde van dit gewichtsperscentage. Wat ook een rol schijnt te spelen is de dikte van het sedimentpakket. Een dik pakket klei met organisch materiaal geeft minder gemakkelijk olie af als het onder bepaalde hoge druk en temperatuur staat dan een aantal afwisselende lagen van fijn en grover materiaal. Dit hangt samen met de verdere processen van expulsie (ontsnapping) bij het 'olierijpingsproces' (zie verder).

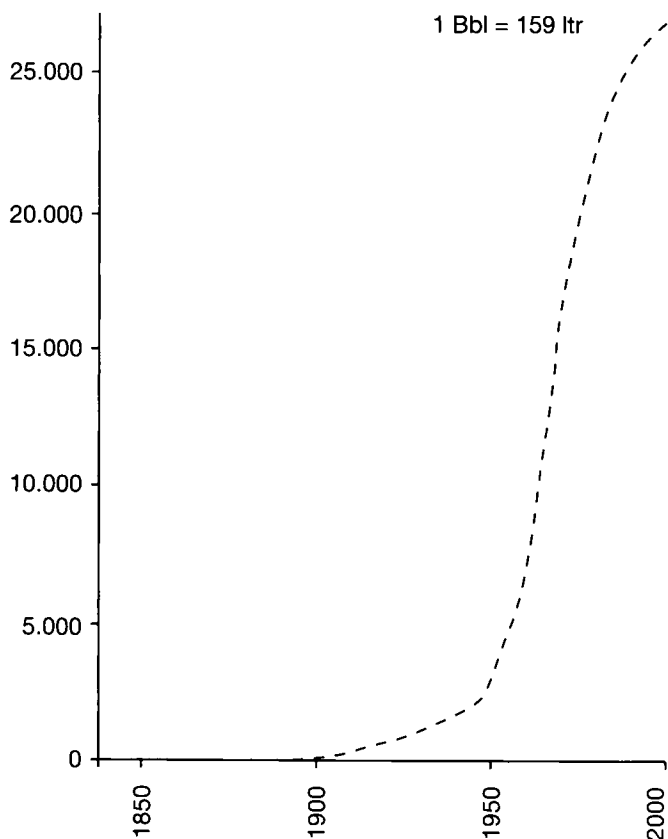
Wat is nu de ideale omgeving voor afzetting van dit materiaal?

1. Depressies in ondiepe zeebekkens, in lagunes, estuaria en moerassen waar het water verarmd is aan zuurstof door stagnatie in de watercirculatie.
2. Diepe zeebekkens met beperkte zuurstofcirculatie, e.g. Zwarte Zee.
3. Langs de randen van de continenten waar het sedimentatieoppervlak de zone verarmd in zuurstof snijdt (zie afb. 5). Deze zuurstofdepletie wordt veroorzaakt door de overmaat aan organisch materiaal, die in die zone gevormd wordt onder invloed van voedselrijk opwellend oceanisch dieptewater.

Er is nog discussie over het relatieve belang van óf anoxia (zuurstoftekort) óf organische productiviteit als voornaamste controlefactor in het proces. Hiernaast speelt ook de sedimentatiesnelheid nog een rol.

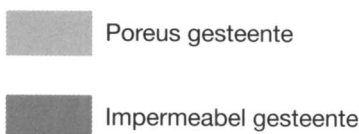
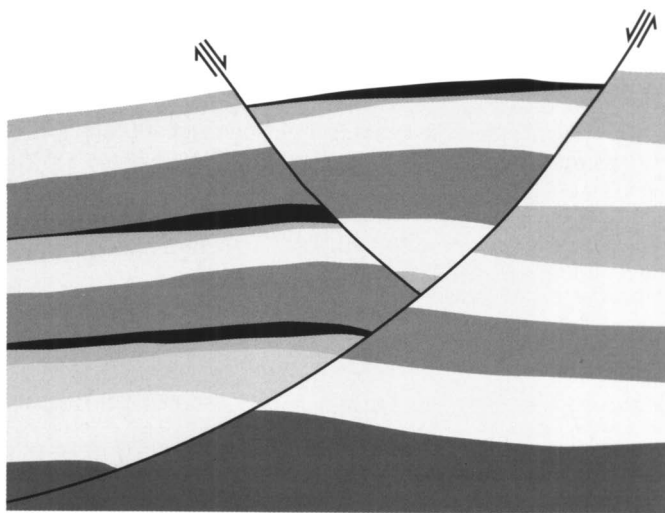
Ook is van belang op welke plaats van de aarde deze sedimenten met organisch materiaal worden afgezet. In een gebied liggend bij een lagere breedtegraad (warmer) is de kans tot vorming van oliemoedergesteentes groter. De drempel voor belangrijke olie-aanmaak varieert met de geothermale gradiënt, die door diepte en tijdsduur van het 'begraven' wordt bepaald. Het bereik is: 50 °C in de oudere bekkens van Paleozoïsche ouderdom tot 115 °C in gebieden met Mio-Pliocene sedimenten. Ook speelt de tijdsfactor een rol. De voornaamste fase van oliegeneratie kan een paar miljoen jaar na depositie beginnen, maar ook wel een 300 miljoen jaar later.

Vele van de huidige olievelden bestaan uit sedimenten van Jura,



Afb. 3. Wereldolieproductie 1850-1997 in 10¹² Bbls (1 Bbl = 1 barrel = 159 liter), inclusief NGPL (gegevens uit verschillende bronnen). (NGPL = natural gas petroleum liquids)

en gasvoorkomens te vinden. Nieuwe seismische reflectietechnieken maakten een enorme sprong vooruit in de jaren '60-'70 van de vorige eeuw met de opkomst van digitale technieken. Hierdoor kon men steeds meer ondergrondse en meer gecompliceerde structuren op steeds grotere diepte en ook op zee vinden. Maar het vinden van structuren is niet het enige criterium wat bepaalt of ergens olie en/of gas aanwezig is. Je kunt een mooie 'olietrap' hebben (een gesloten structuur waaruit de olie niet kan ontsnappen, een soort oliekuik), b.v. in sedimenten in een anticline of tegen een breuk, die ook nog eens mooie poreuze reservoirs hebben - een goede impermeabele laag erboven, die het geheel afsluit (b.v. klei of zout) - en toch zit er niets in. Oorzaak: er was in de omgeving geen oliemoedergesteente aanwezig toen de kuik zich vormde. Afb. 4 geeft een voorbeeld van een olie'trap'.



Afb. 4. Voorbeeld van een olie'trap'.

Krijt en Tertiair, terwijl de oliemoedergesteentes van variabele ouderdom kunnen zijn.

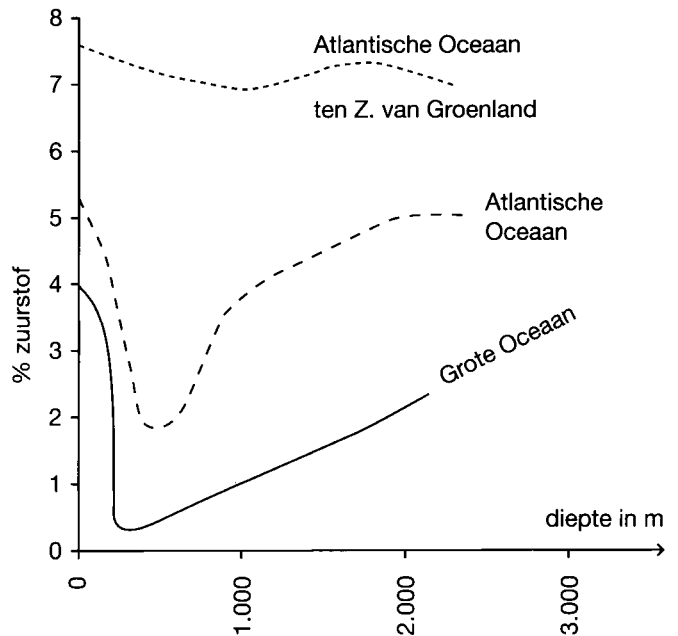
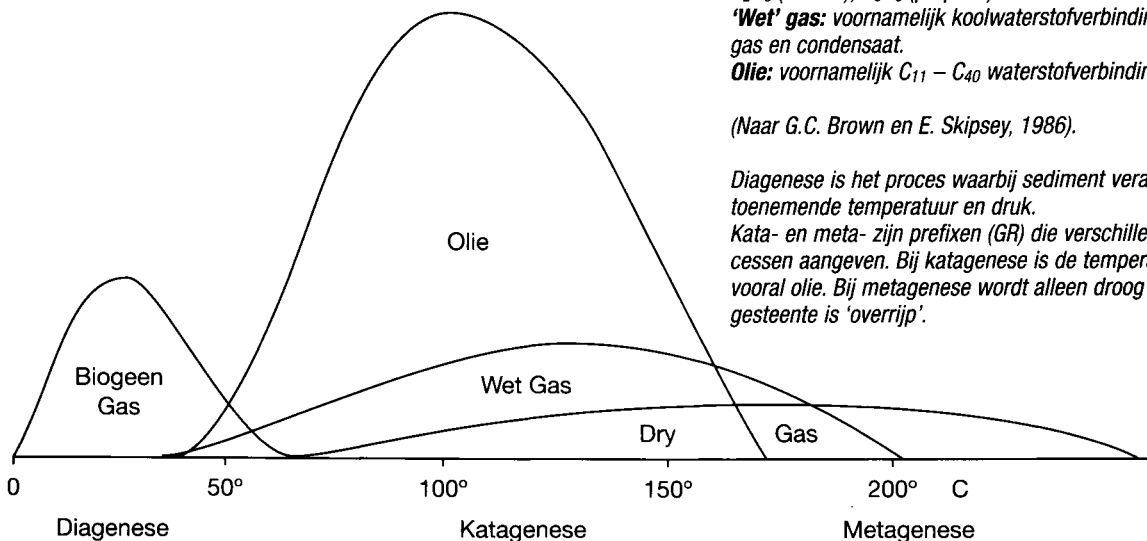
Hoe moeten we ons nu dat proces van het genereren van olie en gas uit het oliemoedergesteente voorstellen?

Zoals hierboven gezegd, we hebben een sedimentsamenstelling nodig van zeer fijne sedimenten (klei en silt) met voldoende organisch materiaal. Dit zinkt langzaam naar de bodem en naarmate deze laag dikker wordt komt het materiaal onder hogere druk te staan. Chemische reacties ontstaan, waardoor het materiaal zuurstof en stikstof afgeeft en overgaat in een vaste stof: kerogeen.

Kerogeen bestaat voornamelijk uit koolstof (C) en waterstof (H). Koolwaterstof dus. De combinaties van de (C) en (H) koolwaterstoffen kunnen vele vormen hebben.

We onderscheiden drie hoofdsoorten kerogenen:

Type I: Materiaal met relatief veel H heeft een opbrengst van koolwaterstof tot 80 % van het gewicht. Voornamelijk van oorsprong algen en/of bacteriën. Soms zijn de oorspronkelijke structuren hiervan nog terug te vinden.



Afb. 5. Zuurstofpercentages in oceaanwater als functie van de diepte. Waar weinig zuurstof meer in het water zit kunnen organisch rijke sedimenten neerslaan, die de basis voor de aardolie vormen. (Naar Diettrich 1963, uit Tissot e.a.)

Type II: Materiaal met matig veel H geeft zowel olie als gas af met een opbrengst van tot 60 % van het gewicht aan koolwaterstof. Hier zit ook veel ander organisch (afbraak)materiaal bij. Een subtype hiervan is zwavel-verrijkt. Dit geeft behalve zwavelrijke olie ook 'sour gas' (wat een stank van rotte eieren afgeeft, zoals b.v. in Alberta, Canada).

Type III: Dit materiaal is H-verarmd; het bevat vooral landplantresten. Het levert meer gas op, vooral op grotere diepte.

Afb. 6. Relatie tussen temperatuur en rijpsstadia voor verschillende koolwaterstoffen.

Biogeen gas: Voornamelijk methaan. Vormt zich alleen ondiep, bij temperaturen < 75° C.

'Dry' gas: voornamelijk C₁-C₃ waterstofverbindingen: CH₄ (methaan), C₂H₆ (ethaan), C₃H₈ (propaan).

'Wet' gas: voornamelijk koolwaterstofverbindingen van C₄H₁₀ tot C₁₀H₂₂: gas en condensaat.

Olie: voornamelijk C₁₁ - C₄₀ waterstofverbindingen.

(Naar G.C. Brown en E. Skipsey, 1986).

Diagenese is het proces waarbij sediment verandert in gesteente onder toenemende temperatuur en druk.

Kata- en meta- zijn prefixen (GR) die verschillende gradaties in deze processen aangeven. Bij katagenese is de temperatuur hoger en vormt zich vooral olie. Bij metagenese wordt alleen droog gas gegenereerd. Het gesteente is 'overrijp'.

Olie- en gasgeneratie uit de moedergesteentes

Al zeer ondiep, op een 10 tot 50 meter, kan zich gas vormen: biogeen gas. De gasvelden van Siberië bestaan voornamelijk uit biogeen gas. Veel van dit gas is ook opgeslagen in de permafrostgebieden van de wereld.

De voornaamste olie- en gasgeneratie vindt echter dieper plaats. Naarmate de sedimenten dieper komen te liggen wordt de temperatuur hoger. Dit veroorzaakt dat kerogeen van vaste stof in vloeistof overgaat, waarmee een volumetoename gepaard gaat. Dit veroorzaakt een overdruk in het oliemoedergesteente. Daardoor ontstaan barsten in dit gesteente en de ontstane olie kan zich langs deze barsten naar de grovere sedimenten verplaatsen. (Zoals eerder gezegd, de meeste moedergesteentes zijn dunne, organisch rijke laagjes klei afgewisseld met laagjes grover en organisch arm sediment, o.a. zand.) Het lijkt erop dat deze uitdrijving met horten en stoten verloopt. Gedurende dit proces, de primaire generatie, beloopt de verplaatsing (migratie) meestal slechts een tiental meters. Daar olie lichter is dan het aanwezige formatiewater kan het verder omhoog stijgen. De grotere koolwaterstofmoleculen, de olie, ontstaan eerst. Deze worden op hun beurt weer gekraakt tot kleinere moleculen en tenslotte tot de kleinste: gas. Zie afbeelding 6 voor het verband tussen de verschillende vormen en de mate van genese.

Of uit deze gevormde en uitgedreven koolwaterstoffen ooit olie-velden zullen ontstaan is afhankelijk van waar de koolwaterstoffen zich zullen bevinden. Het ondergaan van structurele veranderingen in oliegebieden speelt een belangrijke rol. Zakt het

bekken waarin deze koolwaterstoffen zich hebben gevormd en worden de druk en temperatuur veel hoger, dan is de kans groot dat gevormde olie/gas weer vernietigd raakt.

De gevormde koolwaterstof zal altijd trachten zich een weg naar boven te vormen via meer poreuze sedimenten het daarin aanwezige water verplaatsend. De olie/gascombinatie zal zich alleen ergens kunnen verzamelen als er op de weg van migratie door de sedimenten een gesloten structuur met poreuze sedimenten wordt aangetroffen, die ook nog eens wordt afgesloten door een ondoordringbare laag van b.v. zout of klei.

Maar dat is een verhaal apart.

Literatuur

Introduction to Petroleum Geology, G.D.Hobson en E.N.Tiratsoo; Scientific Press, Beaconsfield U.K.

ENERGIE; Shell uitgave van Shell Nederland Verkoopmij. B.V.1981.

Gas en Olie in Nederland, Assen; Uitgave NAM, 1992.

Petroleum formation and occurrence, 2e gerev. editie. B.P.Tissot, D.H. Welte; Springer Verlag; ISBN 3-540-13281-3; ISBN 0-387-13281-3.

Petroleum Source Rocks, Barry Katz; ed. Springer Verlag; ISBN 3-540-57864; ISBN 0-387-57864-1.

CD-rom: Geologie van de provincie Utrecht

De geologie van de provincie Utrecht, door het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (NITG) TNO. De productie van de cd-rom is mede mogelijk gemaakt door de Provincie Utrecht en de J.E. Jurriaanse Stichting. Samenstelling: dr. W. de Gans, © 2003 NITG-TNO, prijs: Euro 18,02, incl. BTW.

De cd-rom is te bestellen bij Natuur en Boek In Naturalis, tel. 071-2687691, fax: 071-5687666 of via de email: natuurenboek@naturalis.nnm.nl

De cd-rom is onderdeel van een reeks cd-roms die over de geologie van Nederland verschijnt. Deze serie wordt uitgegeven door het NITG-TNO. Via een gebruiksvriendelijk keuzemenu wordt de geïnteresseerde wegwijs gemaakt in de ontstaansgeschiedenis van de provincie Utrecht. Op deze ontdekkingstocht wordt in 7 delen de geologie van de provincie vanuit diverse invalshoeken benaderd. Bij alle afbeeldingen kan via een druk op de knop een korte en heldere beschrijving opgevraagd worden. De geologische en geografische vaktermen die hierbij gebruikt worden zijn gelinkt aan een handige verklarende woordenlijst, zodat de geologie voor iedereen begrijpelijk en inzichtelijk wordt. Ter oriëntatie kan bij veel kaarten die getoond worden de topografie als ondergrond aangeklikt worden. Alle items die de revue passeren kunnen ook nog eens afzonderlijk geraadpleegd worden via een inhoudsopgave.

De provincie Utrecht neemt door zijn ontstaansgeschiedenis een aparte plaats in binnen Nederland. Een complex samenspel van rivieren, zee, wind, landijs, permafrost, veenvorming en de invloeden van de mens heeft de provincie Utrecht gemaakt tot het landschap zoals wij dit nu kennen. Deze grote verscheidenheid aan invloeden wordt gaandeweg uitgelicht in de 7 delen, waarin onder meer de geologische processen, het ontstaan en de samenstelling van de ondergrond, en de delfstoffen behandeld worden. Wist u bijvoorbeeld dat het ophoogzand voor de aanleg van de Amsterdamse grachtengordels afkomstig is uit de omgeving van

's Gravenland, waar de bekende landgoederen als Boekenstein en Schaep en Burg gelegen zijn? Of dat de Romeinen voor de bouw van hun wegen al gebruik maakten van het meest gunstige reliëf? Eén van deze oude Romeinse routes liep vermoedelijk over de zuidelijke oeverwal van de Neder-Rijn.

Verder voert de reis langs verschillende bouwwerken die de provincie rijk is. De Dom in Utrecht, in de volksmond ook wel 'de Lange Jan' genoemd, is niet alleen opgetrokken uit baksteen, maar er zijn ook diverse natuurstenen voor de bouw toegepast zoals de Bentheimer zandsteen (Onder-Krijt), Bontzandsteen (Trias) en kalksteen (Tertiair).

Een apart deel wordt gewijd aan de aardkundige monumenten die de provincie rijk is. Dit zijn objecten in het landschap die door hun geologische waarde tot 'aardkundig erfgoed' aangemerkt zijn. In deze gebieden is de ontwikkeling van de aarde over honderden, soms wel tienduizenden jaren te aanschouwen, zoals de variaties in de ondergrond en opvallende hoogteverschillen in het landschap. Door de activiteiten van de mens, die zich met name vanaf de Romeinse Tijd inzette, zijn veel van deze waardevolle gebieden verdwenen. De provincie Utrecht heeft tot nu toe zes aardkundig waardevolle monumenten benoemd. Voorbeelden hiervan zijn onder meer de bekende Grebbeberg, een stuwwal die ontstaan is tijdens het Saalien en wordt aangesneden door de Neder-Rijn, of het actieve stuifzandgebied tussen Amersfoort en Soest, dat ontstaan is door overbewatering tijdens de Middeleeuwen.

De provincie voert een actief beleid ten aanzien van het behoud van deze waardevolle landschappelijke elementen. Het streven is om in de nabije toekomst twaalf van deze aardkundige monumenten te realiseren.

Samengevat zorgt deze cd-rom door de mooie vormgeving, de vele illustraties en de enorme hoeveelheid wetenswaardigheden voor een heel boeiende ontdekkingstocht door deze veelzijdige provincie!

Mechteld Wisse