

De Schatkist van de Bodem

WV086



Inhoud

1. Niet te zwaar, maar wel diepgravend 4

2. Grondstoffelijke geschiedenis 6

Geologenpuzzel
Tropische omstandigheden
Een zoutmeer
De zee komt, de zee gaat
Ijstijden laten sporen na
De laatste tienduizend jaar
Homo sapiens
Rijke ondergrond

3. Duurzame ontwikkeling 16

4. Leverancier van grondstoffen 18

Grondwater belangrijke bodemschat

Vanouds belangrijke bron
Bedreigingen van het grondwater
Meetnet voor het grondwater
Geautomatiseerde databank
Hoogste tijd

Het zout der aarde

Bouwmaterialen uit de bodem

5. Bron van energie 41

Aardgas springplank naar duurzaam

Schone brandstof
Milieuvriendelijk transport
Belangrijke voorraden
Aardgas en duurzame ontwikkeling

Warmte uit de aarde

Winning aardwarmte

Opslag restwarmte

Het zwarte goud

Milieuprobleem

Ondergrondse vergassing

3

De jaknikkers van Nederland

Smeerolie in de economie

Olie en duurzame ontwikkeling

6. Ruimte in de ondergrond 55

De bodem voor verkeer en vervoer

Schoon en met weinig energie

Techniek is er klaar voor

Ondergronds bouwen

Geotechniek

Prijs voor duurzame ontwikkeling

Ondergronds energie hamsteren

Gasbuffer voor koude dagen

Veilig opgeslagen?

Ondergrondse zuivering

I. Niet te zwaar, wel diepgravend

De wereldbevolking groeit in een ongekend hoog tempo. Hoeveel mensen de aarde een menswaardig bestaan kan bieden, weten we niet. Wat intussen wel duidelijk is, is dat we echt alle zeilen zullen moeten bijzetten om de over enkele decennia verwachte tien miljard wereldburgers acceptabele leefomstandigheden te garanderen. Duurzame Ontwikkeling is het motto dat sinds enkele jaren in toenemende mate de discussies over milieu en economie bepaalt. Het werd in 1987 met grote overtuigingskracht gepresenteerd door de Commissie Brundtland.

De conclusies en aanbevelingen van het rapport 'Our Common Future' hebben de laatste jaren brede bijval gekregen. Waar het vanaf nu om gaat, is dat iedere generatie bij het vervullen van zijn wensen rekening houdt met de mogelijkheden van latere generaties om hun behoeftes te bevredigen. Over de precieze inhoud van dit belangrijke voorstel is men het nog lang niet eens. Maar de grote lijnen beginnen toch wel duidelijk te worden: voorkom uitputting van onvervangbare voorraden, zorg voor vervanging als uitputting onvermijdelijk is, bevorder zoveel mogelijk hergebruik, wees zuinig, voorkom onomkeerbare veranderingen zoals het uitsterven van soorten of het veranderen van het klimaat, breng economie, ecologie en technologie met elkaar in harmonie, kortom leef in het bewustzijn dat de aarde in allerlei opzichten zijn grenzen heeft.

Wie in Nederland woont, zal licht het idee opvatten dat voor het gebruik van de ruimte die grenzen in zicht beginnen te komen. Ons land, en vele andere vruchtbare deltagebieden elders op de wereld, zijn vol aan het raken. Iedere vierkante meter wordt intussen voor het een of andere doel benut. Wonen, werken, transport, recreatie, voedselproductie, ze eisen elk hun deel en ze eisen allemaal ook steeds een groter deel. In de provincies Noord- en Zuid-Holland en Utrecht leven per vierkante kilometer respectievelijk 900, 1120 en 740 mensen. Van het oppervlak van Nederland heeft 64 procent een agrarische bestemming, 15 procent is bedekt met huizen en (spoor)wegen, de rest is een beetje duin, bos, hei en water. In ons kleine landje ligt niet minder dan 100.000 strekkende kilometer weg. De lengte van het spoorwegnet bedraagt 2800 km.

Het leven op de korst van onze aarde beperkt zich evenwel niet tot het gekromde, tweedimensionale aardoppervlak. Er is nog een boven en een beneden, en beide zijn van onschatbare betekenis voor ons bestaan. Ze bieden ons extra ruimte, ze bevatten levensbelangrijke grondstoffen en ze hebben beide ook in verschillende vormen last van ons onduurzame optreden. In de meeste discussies over milieuproblematiek en duurzame ontwikkeling valt de nadruk op het boven, de atmosfeer in combinatie met de aardkorst. Zure regen, broeikaseffect en aantasting van de ozonlaag zijn daarbij centrale thema's. Dat voor een duurzame ontwikkeling de ondergrond wel eens net zo belangrijk zou kunnen worden, zal lang niet iedereen zich al realiseren.

5

Dit boekje houdt zich bezig met die ondergrond. Het geeft aan welke rol de ondergrond op een aantal voor de mens belangrijke gebieden speelt en legt waar zinvol een relatie met het idee van de duurzame ontwikkeling. De grond als produktiemiddel in de landbouw komt hier niet aan de orde. We moeten even graven voor we ons thema bereiken. De aardkorst is letterlijk de drager van het leven en in vrijwel alle gevallen dat we er gebruik van maken, hebben we te maken met een niet-vernieuwbare grondstof. Dat stemt tot nadenken.

De aanleiding om dit boekje uit te geven was tweeledig en lag sterk in de jubileumsfeer. In 1992 herdenkt TNO, de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek, zijn zestigjarig bestaan. De viering van dit jubileum beweegt zich rond het thema duurzame ontwikkeling (lang voor dit begrip ingang vond heeft TNO op vele gebieden onderzoek gedaan met een sterk duurzaamheidsgehalte). Tezelfdertijd beleeft het Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO zijn zilveren jubileum. Dit wetende zal het de lezer duidelijk zijn hoe het thema van dit boekje tot stand is gekomen. Het doel van het boekje is te informeren over de aard en betekenis van de grond onder onze voeten met extra aandacht voor het aspect duurzame ontwikkeling.

2. Grondstoffelijke geschiedenis

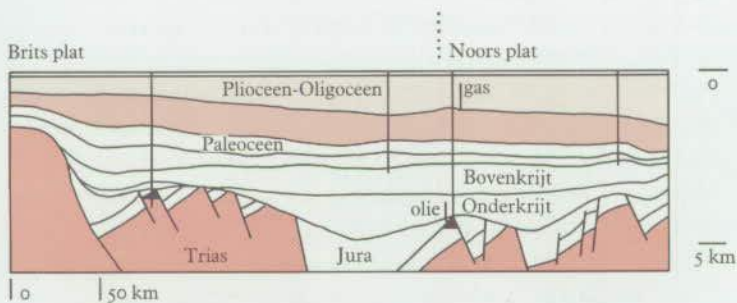
Geologenpuzzel

6

De Nederlandse ondergrond is rijk en arm tegelijk. Het is maar hoe je het bekijkt. Voor metalen en edelstenen moet je hier niet zijn. Daar zullen we nooit rijk van worden. Maar als het gaat om stoffen als steenkool, aardgas en steenzout, dan zitten we hier zo slecht nog niet. IJverig boren en scherpzinnig puzzelen heeft de geologen een duidelijk beeld opgeleverd van de ontstaansgeschiedenis van onze ondergrond. Dat dit de nodige moeite heeft gekost, kunnen we begrijpen als we bedenken dat de vorming van onze ondergrond het resultaat is geweest van twee voortdurend door elkaar heen lopende, naar menselijke maat zeer langzaam verlopende mechanismen: de zwerftocht van de landmassa's over de aardbol enerzijds met als gevolg verschillende klimaten en de daarbij behorende processen, en de verticale beweging van de aardkorst anderzijds met zijn gebergtevorming en bodemdaling, erosieprocessen waarbij het bergmateriaal elders als sediment weer wordt afgezet, en de stijgende en dalende beweging langs breuken in de aardkorst. Dit complexe gedrag van een langzaam afkoelende hete bol omringd met vloeibaar water heeft ons het zompige landje ondersteund door dikke lagen afzettingmateriaal opgeleverd. Door de druk van bovenliggende lagen onderging dieper liggend materiaal bepaalde veranderingen. De oplossing van de geologische puzzel van de vaderlandse ondergrond is in belangrijke mate het resultaat van het speurwerk van de Rijks Geologische Dienst.

Tropische omstandigheden

Ooit hebben onze streken een bergachtig karakter gekend. We moeten dan wel zo'n 500 miljoen jaar terug in de tijd. De restanten van dit oeroude gebergte treffen we aan op een diepte van vijf tot tien kilometer. Het is door erosie afgevlakt en door bodemdaling langzaam weggezakt. Het is in de loop van de tijd bedekt geraakt met sediment. De geologen hebben kunnen aantonen dat het deel van de aardkorst waarop Nederland zich nu bevindt, de afgelopen vierhonderd miljoen jaar steeds nabij de grens tussen land en zee heeft verkeerd. Nu eens lag hier een ondiepe zee, dan weer vormde zich een meren- of deltagebied. In alle gevallen betekende dat dat er in ruime mate sedimenten werden afgezet. De aardkorst daalde of steeg, scheurde en plooidde, laaggelegen gebieden werden daarbij opgevuld, hoger



Verskillende geologische processen hebben voor een complex patroon van aardlagen gezorgd. Op bepaalde plaatsen ontstonden in de loop van de tijd gunstige omstandigheden voor de vorming en opslag van olie en gas.

gelegen delen door erosie afgevlakt. Zo'n 360 miljoen jaar geleden laten de geologen een voor ons land belangrijk tijdperk beginnen: het Carboon. Nederland ligt dan middenin een langerekt bekken, dat zich uitstrekt van Midden-Engeland tot Polen. Maar let wel, het hele gebied houdt zich in die tijd op rond de evenaar! In de zee wordt kalksteen afgezet. De boormonsters tonen de restanten van koraalriffen, schelp- en schaaldieren. In de loop van het Carboon dat duurt tot 286 miljoen jaar geleden, wordt het bekken ondieper en vormt zich een uitgebreid moerasgebied. Hier wordt zand, klei en veen afgezet. De bodem van het bekken zakt dan langzaam weg. Dit gebeurt zo traag dat het gelijke tred houdt met de sedimentatie. Het gevolg is dat de aanvankelijk afgezette lagen zand, klei en veen bedekt raken met een op sommige plaatsen meer dan drie kilometer dikke laag jongere afzettingen. Het zand wordt daardoor samengeperst tot zandsteen, de klei gaat over in schalie en het veen transformeert in steenkool. Deze steenkool bevindt zich overal in het genoemde bekken, op veel plaatsen op bereikbare diepte.

Voor ons van groot belang is voorts dat later uit de steenkool ook aardgas werd gevormd. Dit verzamelde zich in de zandsteen die tijdens het Carboon ontstond. De experts spreken van het zandsteen als het reservoirgesteente voor het betreffende aardgas.

Tabel 1 laat zien hoe het verder ging. Na het Carboon komt het Perm. Een nieuw geologisch tijdperk dat ook bij ons zijn sporen achterliet. De Europese landmassa is op zijn tocht naar het Noorden dan de evenaar gepasseerd en bevindt zich in een droogtegordel. We liggen aan de rand van een

Een zoutmeer

sedimentatiebekken waar grinden en zanden worden afgezet. We zouden daar weinig aandacht aan hebben besteed, ware het niet dat het juist deze poreuze lagen zijn waarin zich het aardgas verzamelde dat we nu in Groningen en op andere plaatsen een profijtelijke doortocht naar het aardoppervlak bieden. Meer naar het midden van het bekken moet zich in die tijd een soort woestijnmeer hebben bevonden, waar naast klei vooral ook steenzout is afgezet. Later in het Perm ontstaan omstandigheden die nog gunstiger waren voor het afzetten van zout. Terwijl de bodem gestaag daalt wordt er een pakket steenzout van niet minder dan 1 kilometer dikte gedeponneerd! Aan de randen van het gebied worden ook andere materialen afgezet zoals kalium- en magnesiumzouten, gips, dolomiet en kalksteen.

De zee komt, de zee gaat

Rond tweehonderdttwintig miljoen jaar geleden, als het Trias begint, trekt de zee zich weer terug. Opnieuw wordt reservoirgesteente voor aardgas gevormd, zandsteen, dikwijls rood van kleur. Later in het Trias ontstaan ook weer mergel, kalk, steenzout en dolomiet. Kalksteen, gewonnen bij Winterswijk, en zout bij Hengelo, zijn geologische geschenken uit de Triastijd. In Winterswijk vindt men directe aanwijzingen voor het randzeekarakter van het gebied in die tijd: onder meer pootafdrukken van de in het ondiepe water van schelpdieren levende *Rhynchosauroïdes peabodyi*, een amfibisch levende sauriër.

Aan het eind van het Trias, we naderen dan de tweehonderd miljoen jaar voor nú, komt de zee weer terug met alle bijbehorende mariene afzettingen. In de Vroeg-Jura periode ontstaan kleilagen die zo rijk zijn aan organische bestanddelen dat er aardolie uit kan ontstaan. Drenthe en Zuid-Holland getuigen er ja-knikkend van.

Tijdens de Jura en het daarop volgende Krijt steeg en daalde de aardkorst in grote delen van Nederland. De onrust die ook leidde tot verschuivingen en breuken, duurde tot in het Laat-Krijt. We zijn dan in de geologische geschiedenis gevorderd tot vijftenzestig miljoen jaar geleden. De zee eiste Nederland weer op. In ondiep water werd kalksteen afgezet; die kan in Zuid-Limburg worden gewonnen. Op het eind van het Krijt werden bepaalde gebieden weer fors opgeheven.

Tijd (miljoenen jaren geleden)	Perioden	Geologie	Het leven
4600	Precambrium	Ontstaan aarde.	
3400	Precambrium	Eerste gesteenten.	
570	Cambrium	Zee bedekt een groot deel van Europa.	Primitief leven in zeeën.
435	Siluur	Gebergtevorming.	Inktvissen.
395	Devoon	Het land wint terrein.	Bomen. Beenvissen met longen.
345	Carboon	Vochtige atmosfeer met gunstige condities voor moerassige oerwouden, waaruit koollagen ontstonden en later aardgas (Groningen!).	Reptielen.
280	Perm	Lage temperaturen. Ook woestijn- omstandigheden en warme zeeën. Ontstaan zoutlagen in Noord-Nederland.	Amfibieën.
225	Trias	Afwisselend komen en gaan van zeeën. Ontstaan zoutlagen (Hengelo).	Stamvader zoogdieren duikt op.
195	Jura	Vorming Middel- europese gebergten.	Reusachtige reptielen gaan de aarde bevolken, bijvoorbeeld de Brontosaurus. Begintijd vogels.
135	Krijt	In Europa zeeën van wisselende diepten. Ontstaan lagen, waaruit in Nederland nu olie wordt geproduceerd.	Waar nu Maastricht ligt, leefde een roof- dinosauriër, die was verwant aan de Tyrannosaurus, de grootste 'rover' aller tijden.
65	Tertiair	Actief vulkanisme. Vorming grote gebergten, zoals Alpen, Pyreneeën, Kaukasus, Himalaya, Rocky Mountains, Andes. In West- Nederland vorming van aardgas.	Zoogdieren nemen de aarde in bezit. Eén miljoen jaar geleden verschijnt homo erectus, honderdduizend jaar terug homo sapiens.
2	Kwartair	IJstijden. Turfvorming.	Mammoeten, sabel- tandtijgers sterven uit. De mens gaat z'n heerschappij over de aarde vestigen.

Tabel 1
De geologisch en biologisch
belangrijke ontwikkelingen in de
loop der tijden.

Er ontstonden nieuwe plooien, breuken en overschuivingen.

Het avontuurlijke reliëf vlakke in de volgende miljoenen jaren flink af. Ons gebied begon vanaf het begin van het Tertiair, vijftien miljoen jaar terug, te dalen. Deze daling, die in het centrum meer dan drie kilometer bedraagt, duurt nog steeds voort. Er zijn tijdens het Tertiair, maar ook nog daarna, dikke pakketten klei en zand afgezet in delta's en ondiepe zeemilieus. In de pakketten zitten soms forse onregelmatigheden: de daling werd plaatselijk door stijgingen onderbroken. MiddenNederland bleef hoog, er kwamen geen afzettingen tot stand, wél erosie.

In het midden van het Tertiair veranderde het karakter van de daling doordat een systeem van breuken ontstond met een zuidoost-noordwest richting. Er vormde zich een rivierensysteem met een delta waarin de loop van de Rijn is te herkennen. Er ontstonden naast de zware klei en kleiig zand uit de ondiepe zee afzettingen van grof zand en zelfs grind. In deze periode werd in het zuidoosten van Nederland en het aangrenzende Duitsland veen gevormd dat nu in dikke lagen bruinkool is omgezet.

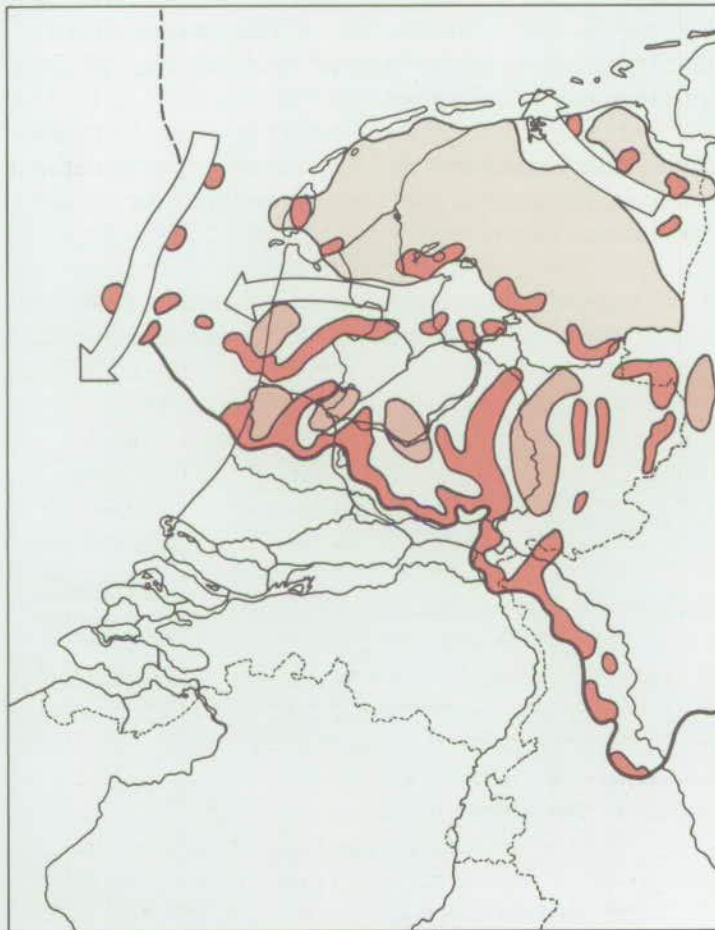
IJstijden laten sporen na

Ruim twee miljoen jaar geleden laat men het Kwartair beginnen. De situatie in onze omgeving verandert; er vormt zich één grote delta terwijl de kustlijn veel westelijker komt te liggen dan nu. En de wereld wordt kouder. Grote hoeveelheden water worden op het land vastgelegd. De zeespiegel daalt. Honderdduizenden jaren lang wordt de zee geleidelijk teruggedrongen; een half miljoen jaar geleden lag de westkust van Europa in de buurt van de Doggersbank.

Ook in onze streken ging de temperatuur omlaag. Het landijs van Scandinavië naderde langzaam maar zeker. Tegelijkertijd wijzigde zich weer het hoogte/laagte patroon: naast de voortgaande daling in het midden, was er een opheffing aan de oost- en zuidgrenzen. Koude en iets minder koude periodes, ijstijden en tussen-ijstijden, wisselden elkaar af. Bij koude periodes viel de zuidelijke Noordzee droog, werd het iets minder koud dan liep de zee onze kustgebieden weer binnen. In periodes in het Elsterien (ongeveer 400.000 en 300.000 jaar terug) bedekte het landijs

onze drie noordelijke provincies. Er werden geulen gevormd die vaak met potklei opgevuld raakten. Ze beïnvloedden thans de grondwaterstroming omdat ze vrijwel ondoordringbaar zijn.

Liet het ijs van het Elsterien aan het oppervlak geen sporen na, dat van de voorlaatste ijstijd, het Saalien, deed dat wel degelijk. Het ijs dat ons land bedekte benoorden de lijn Nijmegen-Vogelenzang (iets bezuiden Haarlem) heeft het landschap grondig veranderd. In Midden-Nederland zijn onder andere de stuwwallen van het Gooi, de Veluwe, Montferland en Nijmegen gevormd. Meer noordelijk ontstonden lagere stuwwallen als die van Texel, Wieringen



Overzicht van de landschaps-elementen die tijdens de voorlaatste ijstijd (zo'n 150.000 jaar geleden) zijn gevormd. Het landijs bedekte toen een groot deel van Nederland.

-  maximale verbreiding van het Skandinavische landijs
-  stuwwallen
-  tongbekkens
-  keileem plateau
-  glaciaal dal

0 50
km

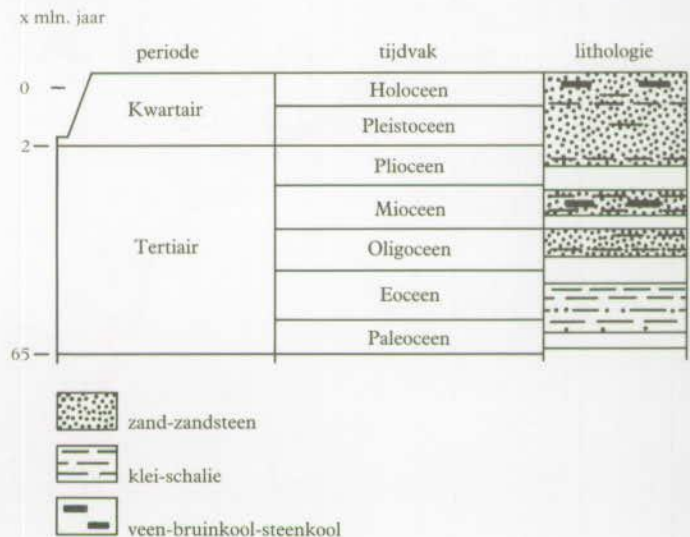
en het Gaasterland. Tussen de stuwwallen kwamen bekkens voor. Algemeen bekend is dat het ijs uit Scandinavië grote hoeveelheden stenen heeft aangevoerd, tot en met de kanjers die de hunebedbouwers gebruikten. In de laatste ijstijd haalde het landijs ons land niet, Hamburg was ongeveer het zuidelijkste punt. Wel bleef vele duizenden jaren lang de grond bevroren; op de hogere gronden erodeerde de bodem, lage gebieden werden overwaaid met dekzand. Zuid-Limburg kreeg in die tijd met de wind fijn stof aangevoerd, het daalde neer en werd löss.

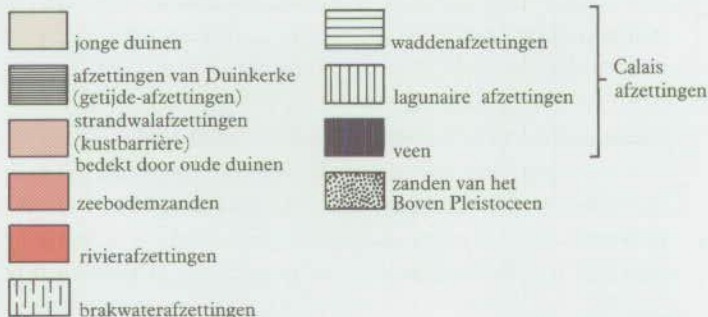
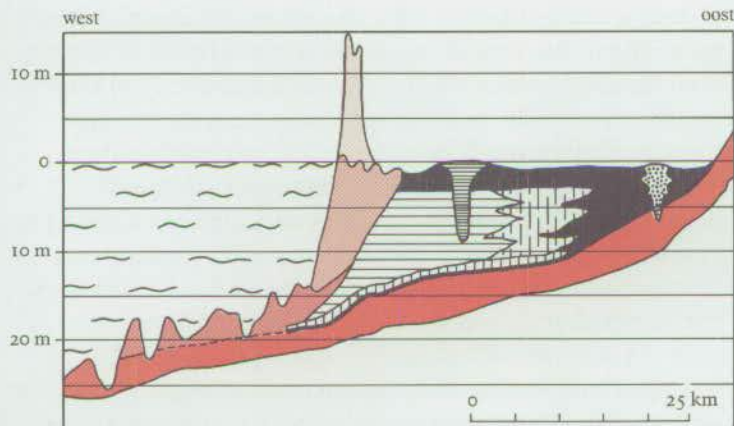
Vóór de ijstijden en tijdens de tussenliggende minder koude periodes werden op forse schaal zand- en kleilagen afgezet. Terwijl westelijke delen van het land daalden voerden Rijn, Maas en Schelde materiaal aan waartussen zich veel grind bevond. Afzettingen uit die tijd, het Pleistoceen, zorgen thans voor een stevige ondergrond voor gebouwen en infrastructuur in het westen.

De laatste tienduizend jaar

In de laatste tienduizend jaar is het zeeniveau geleidelijk gestegen. De zee zorgde met 'Hollands duin' voor stevige ondergrond (en een barrière voor zichzelf). Op de jonge gronden echter, tussen stuwwallen en duin, vormde zich een bovenlaag die voor het overgrote deel uit veen bestaat, met slechts hier en daar wat rivier- en getijde-afzettingen. Wie

De perioden van het Tertiair en het Kwartair, samen zo'n 65 miljoen jaar omvattend, zijn onderverdeeld in zogenoemde 'cenen'. Wij leven op dit moment in het Holoceen dat 12.000 jaar geleden begon. In het Tertiair en het Kwartair zijn in onze streken vooral zandsteen, klei en turf afgezet.





In het 12.000 jaar geleden begonnen Holoceen vormde het basisveen direct op de pleistocene lagen afzettingen. De kustlijn stabiliseerde zich en de vochtige gronden breidden zich uit (elzenbroekbossen). Sinds de late Middeleeuwen weet de zee op een aantal plaatsen binnen te dringen. Daar ontstaan dan klei-achtige afzettingen.

13

thans in het westen van Nederland wil bouwen, moet ervoor zorgen dat hij steun vindt op de pleistocene lagen.

Met het vormen van de duinen en het langzaam vervenen van erachter liggende gebieden zijn we gevorderd tot in het laatste deel van het Kwartair, het Holoceen. Het begint aan het eind van de laatste ijstijd, 12.000 jaar geleden en duurt in onze eigen dagen voort. Wij leven, geologisch gezien, dus in het Holoceen.

Ruim vóór de tijd dat de gletschermassa's van de laatste ijstijd zich beginnen terug te trekken, 100.000 jaar geleden, verschijnt *Homo sapiens* op aarde. Hij moet nog wat ijstijden door, ziet 33.000 jaar geleden verwante Neanderthalers uitsterven, en geeft 27.000 jaar terug met zijn grotschilderingen al blijk van een hoog ontwikkeld esthetisch gevoel. Nog 17.000 jaar verder heeft hij genoeg van voedsel verzamelen, jagen en trekken en begint hij in daartoe

Homo sapiens

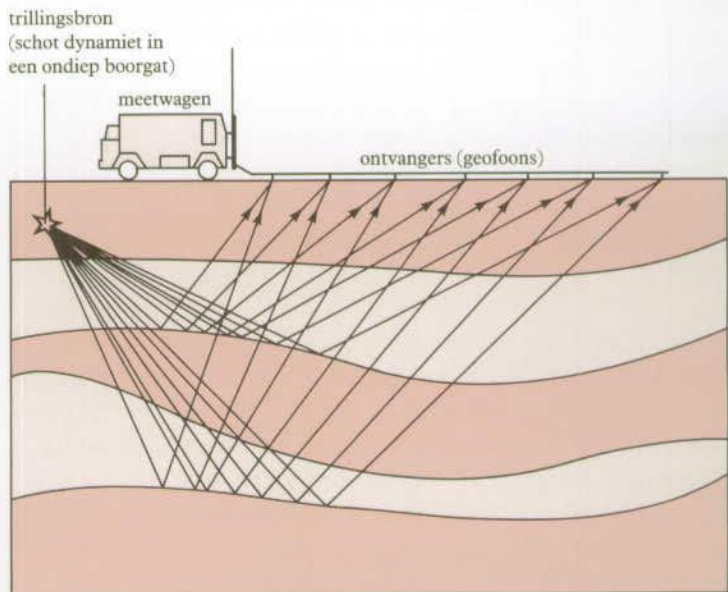
uitnodigende gebieden, in het Nabije en Midden Oosten, aarzelend met de landbouw. Hij heeft dan al geleerd de meest voor de hand liggende delfstoffen te benutten.

In onze nogal kille en moerassige omgeving komen deze ontwikkelingen wat later op gang. Als onze voorouders, enkele eeuwen na Christus, enigszins georganiseerd beginnen aan het gebruik van de grond, treffen zij een bruikbaar pakket van jonge lagen aan. Klei is niet alleen bouwgrond maar ook grondstof om stenen van te bakken en turf is een nuttige brandstof. Er is een gebied ontstaan dat voor z'n bewoners interessante mogelijkheden biedt. Honderd miljoen jaar avontuurlijke, natuurlijke ontwikkeling hadden ervoor gezorgd dat de bovenlaag van ons land, mits enigszins bewerkt, voldoende voedsel, brandstof en materiaal opleverde voor de aanvankelijk eenvoudig levende gemeenschappen.

Rijke ondergrond

Later zullen de bewoners van ons land hun totale geologische erfenis ontdekken. Onder de bovenlaag liggen de produkten van vierhonderd miljoen jaar grondstoffelijke geschiedenis gereserveerd: er zijn lagen kool, olie, aardgas, zout en zandsteen. We vinden zand en grind en niet te vergeten

Reflectie-seismisch onderzoek verschaft informatie over het verloop van de aardlagen in de ondergrond. Door de tijd te meten die de trillingen, na reflectie, nodig hebben om de ontvangers aan het oppervlak te bereiken, kan men de diepteligging van iedere laag bepalen. Door de opnamen in het veld in netwerken uit te voeren kunnen dieptekaarten van belangrijke niveaus worden gemaakt. Men zoekt vooral naar de combinatie van een afsluitende laag boven een voor olie of gas geschikt reservoirgesteente.



grondwater. Opgeslagen in de poriën van de ondergrond vormt het een voorraad van honderden miljarden kubieke meter die elk jaar op natuurlijke wijze wordt aangevuld met een kleine vier miljard kubieke meter.

Bij het onderzoek naar de ondergrond en de mogelijkheden die deze biedt, is veel gebruik gemaakt van de kennis en kunde van TNO. Op het gebied van aardkunde werkt TNO nauw samen met:

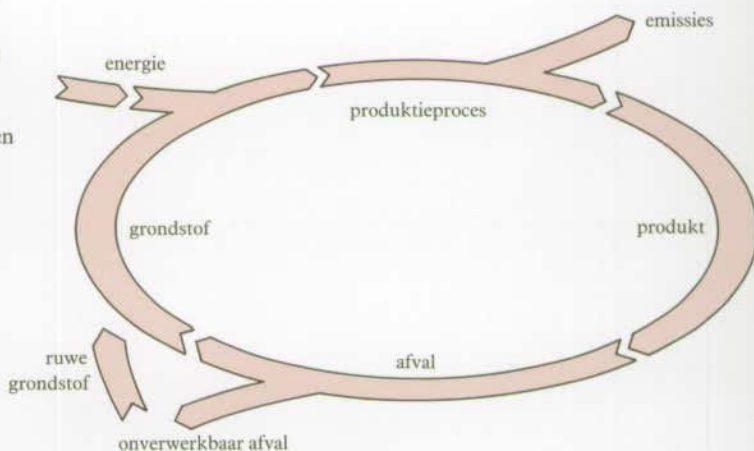
- de Rijks Geologische Dienst;
- het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne;
- het Staring Centrum DLO.

3. Duurzame ontwikkeling

Nederland en vele andere landen hebben elkaar gevonden in een ambitieus uitgangspunt voor milieubeleid: onze generatie dient de wereld door te geven aan een volgende in de staat waarin we hem aantreffen. Duurzame ontwikkeling houdt een zorgvuldig beheer in van alle grondstoffen; gebruiken we ervan dan moeten we de mogelijkheid tot vernieuwing scheppen. Zorgvuldig omgaan met de bodemschatten houdt in dat we, al gebruikend, de wegen naar alternatieven openen.

Kijken we naar ons huidig handelen met bodem en ondergrond, dan wijkt die nogal af van het ideaal van een duurzame ontwikkeling. Van duizenden chemische stoffen komt een groot deel in de vorm van afval in het milieu. Ons land telt tienduizenden gevallen van illegale giftige stortingen; legaal gaat per jaar zestien miljoen ton afval de vuilstorten op. In de landbouw wordt elk jaar twintig miljoen kilogram 'werkzaam bestrijdingsmiddel' op het land gebruikt, waarvan maar 5% het te bestrijden organisme bereikt; niet minder dan 55% gaat op weg naar het grondwater, de rest vloeit af via het oppervlaktewater! Diezelfde landbouw heeft door overdadige bemesting gezorgd voor ophoping in de bodem van vijfhonderd miljoen kg stikstof en honderdvijftig miljoen kg fosfor. De stikstof is traag maar onstuitbaar op weg naar het grondwater; veel van de fosfor zal in het oppervlaktewater voor overbemesting en zuurstofarmoe zorgen.

Schematische voorstelling van het idee Duurzame Ontwikkeling. Deze kan worden bereikt door het gebruik van niet-vernieuwbare grondstoffen en energiedragers terug te dringen en over te schakelen op secundaire grondstoffen, vernieuwbare grondstoffen en duurzame energiebronnen, met name de zon.



De landbouw is niet de enige economische activiteit die een deel van de kostprijs in het milieu deponeert: de grond onder chemische agglomeraties, onder de oude gasfabrieken en zelfs onder de vroegere loodwit- en verffabrieken, touwslagerijen en scheepswerven in de oude steden, is ernstig verontreinigd. En in die oude steden lekken bovendien onvoldoende onderhouden rioleringen er het nodige aan belastende stoffen bij.

17

Maar Nederland, op z'n vijfhonderd miljoen jaar oude bodem, heeft beterschap beloofd. De Wet Bodembescherming en de Interimwet Bodemsanering zijn uitingen van ons voornemen de bodem grondig te reinigen. In het kader van de duurzame ontwikkeling kunnen we, als we behoedzaam zijn, nog steeds profiteren van de vele mogelijkheden die de ondergrond ons biedt.

Willen we nagaan hoe het gebruik van de ondergrond van Nederland in de pas kan worden gebracht met het streven naar duurzame ontwikkeling dan dringt zich een driedeling van dat gebruik op:

- de ondergrond levert grondstoffen;
- de ondergrond levert energiedragers;
- de ondergrond levert ruimte voor vervoer en verkeer, opslag en (bepaalde) activiteiten.

In de volgende hoofdstukken wordt beschreven welke 'produkten' we winnen en hoe dat gebeurt. Daarbij zullen we ook aandacht besteden aan de vraag in hoeverre de winning en het gebruik van de produkten sporen met het streven naar duurzame ontwikkeling en wat de mogelijkheden voor de toekomst zijn.

4. Leverancier van grondstoffen

Reeds lang heeft de Nederlander dieper gekeken dan zijn spa stak. Vanaf het moment dat hij zich vestigde, zich ging bekommeren om een beschutte woonplaats, benutte hij zand, grind en klei en in bepaalde streken ook zandsteen en vuursteen. Men moet zich al spoedig bewust zijn geworden van het feit dat de bodem méér was dan een vlak waarover je kon lopen. Er zat iets onder, en in die ondergrond bevonden zich nuttige zaken.

In de loop der tijden verwierven de bewoners van ons land zich de nodige kennis. Ze leerden de grondstoffen steeds beter toe te passen; ze leerden ook ze op te zoeken en uit de bodem te halen. Thans zijn de exploratie- en exploitatie-technieken zo verfijnd dat (ook de diepe) bodem gedetailleerd in kaart kan worden gebracht en nuttige grondstoffen zorgvuldig kunnen worden gewonnen.

Grondwater een belangrijke bodemschat

De belangrijkste bodemschat van Nederland heet grondwater. Het neemt niet minder dan tweederde van de openbare watervoorziening voor z'n rekening. Een gemiddelde Nederlander gebruikt 130 liter water per dag. Een kleine 90 liter wordt geleverd door onze ondergrond, de resterende 40 liter maken we met de nodige kosten en moeite uit het oppervlaktewater.

De openbare watervoorziening is niet de enige instelling die put uit het grondwater. De tabel hieronder toont aan dat ook industrie en landbouw gretig gebruik maken van deze delfstof.

	miljoen m ³ per jaar
Bijdrage grondwater aan:	
- openbare watervoorziening	900
- industrie en winning delfstoffen	500
- kunstmatige beregening landbouw	100
	1.500

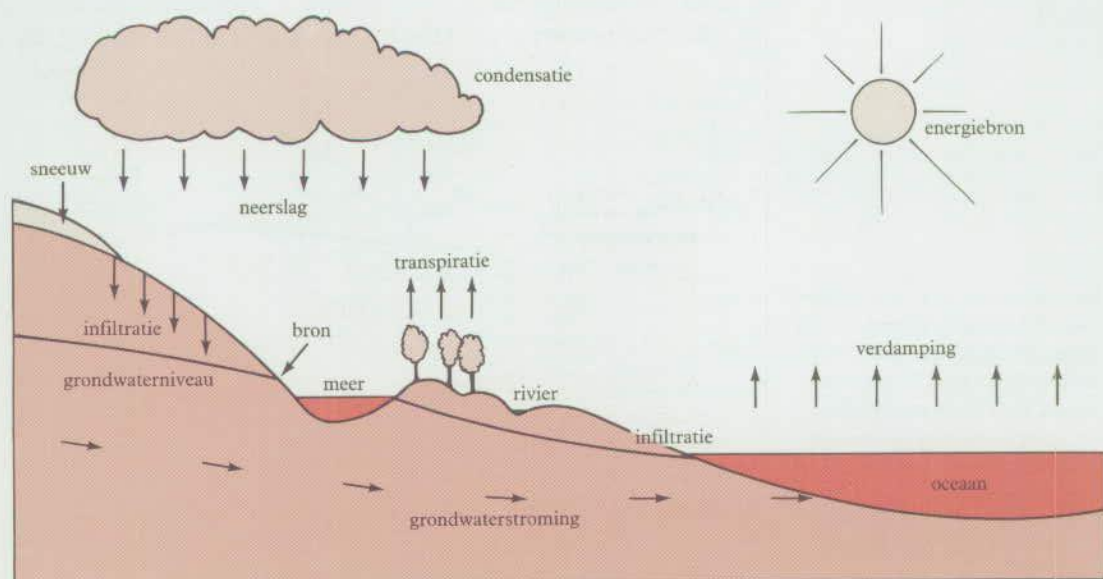
Anderhalf miljard kubieke meter water is een indrukwekkende plas. Zouden we een jaargebruik grondwater in tanks willen opslaan dan zouden we er, als we kozen voor tanks van 10 x 10 x 10 m, niet minder dan anderhalf miljoen nodig hebben. Gelukkig is dat onnodig: de poriën van de ondergrond nemen de taak voor hun rekening.

Een plezierig verschil tussen grondwater en de andere delfstoffen uit de ondergrond is dat het grondwater steeds op korte termijn wordt aangevuld. Nederland heeft een relatief vochtig klimaat: de neerslag is groter dan de verdamping, het overschot aan water infiltreert in de bodem. Eerst vullen zich de microporiën (diameter kleiner dan 30 micron) die het water capillair binden. Van het water uit deze poriën profiteren de planten op de toplaag van de bodem. De aanvoer overtreft echter veelal de opname door microporiën, het water stroomt dan via macroporiën dieper de grond in.

De natuurlijke aanvulling van de zoetwaterlaag van het grondwater bedraagt 3,8 miljard kubieke meter per jaar. Dat weegt ruimschoots op tegen de 1,5 miljard kubieke meter die we 'consumeren'. Bovendien is in de loop der tijden in onze bodem een voorraad zoet grondwater gevormd van ongeveer 800 miljard kubieke meter.

Water gaat rond in een kringloop die de volgende elementen omvat: verdamping, condensatie, neerslag, stroming en infiltratie, uitwaseming en opnieuw verdamping. De beweging van het grondwater van plaatsen met een (absoluut) hoge naar die met een lagere grondwaterstand

De hydrologische kringloop. Het grondwater beweegt met zeer geringe snelheid richting zee en sluit daarmee de cirkel. De cyclus wordt draaiend gehouden door de energie van de zon die watermoleculen vrijmaakt uit de zee (verdamping).



wordt grondwaterstroming genoemd; het is in feite het ondergrondse deel van de kringloop van het water. De illustratie geeft de kringloop schematisch weer.

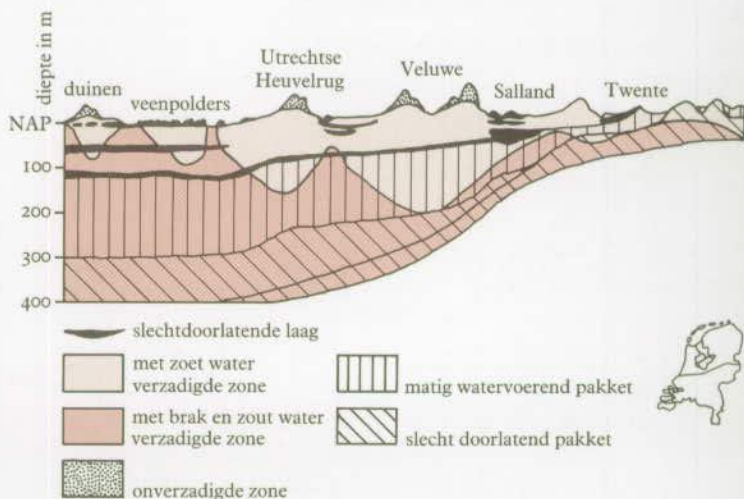
Een paar opvallende kenmerken van het grondwater zijn:

- de zeer grote afmetingen van de reservoirs;
- de soms lastige bereikbaarheid; grondwater kan wel eens diep zitten, honderden meters en meer;
- de geringe snelheid van de 'stroming'; in klei-achtige afzettingen blijft de stroomsnelheid soms beperkt tot enkele millimeters per jaar, in watervoerende lagen met veel fijn zand erin ligt de 'snelheid' tussen de 5 en 20 meter per jaar, in grof zand kan het water in één jaar zo'n honderd meter afleggen.

De karakteristieken van het grondwater illustreren dat het een traag systeem betreft, enorm van omvang en stabiel van kwaliteit. Het is echter wél bereikbaar voor vervuilende stoffen en kan, wanneer het eenmaal vervuild is, de vervuiling tientallen jaren lang met zich meedragen.

Voorkomens van grondwater zijn dikwijls deel van ecologische systemen. Was men zich dit in vroeger jaren nauwelijks bewust, onderzoek doet vermoeden dat zelfs op grotere diepten organismen in het grondwater voorkomen en op elkaar inwerken. Van belang is de structuur van de

Een geohydrologische doorsnede van Nederland langs een lijn die op het kaartje is aangegeven. Men onderscheidt zoet, brak en zout water. Voorts onverzadigde en verzadigde zones. Het ondergrondse transport van grondwater wordt bepaald door de waterdoorlatendheid van de aanwezige aardlagen. Zand is zeer doorlatend, klei nauwelijks.



ondergrond. Bepaalde lagen laten het water gemakkelijk door, andere nauwelijks. Hierdoor ontstaan reservoirs: een slecht doorlatende laag onder een goed infiltreerbare zal uiteindelijk leiden tot een zone boven de dichte laag, die met water is verzadigd.

In de Nederlandse ondergrond bevindt zich zoet maar ook zout grondwater. De voorraad zoet grondwater wordt bepaald door enerzijds de diepteligging van de basis van de waterhoudende lagen en anderzijds door het zoute/brakke grondwater. Dit bevindt zich grotendeels onder het zoete grondwater, maar bij zee en aan de randen van de veenpolders reikt het tot dicht bij de oppervlakte. De schematische doorsnede van Nederland van west naar oost geeft inzicht in de verdeling van het grondwater (zoet bevat minder dan 150 mg chloride per liter).

De natuur heeft het goed met ons voor gehad. Globaal gesproken kan met enige moeite iedere Nederlander z'n 90 liter grondwater per dag aangevoerd krijgen. Het kan zelfs zonder dat we bang hoeven te zijn dat we tornen aan de duurzame ontwikkeling: ook bij een bevolking van meer dan 15 miljoen en ook bij een waterverbruik van 130 liter per Nederlander, kunnen we door verstandig handelen een grondwatervoorraad achterlaten even groot als die welke we aantreffen.

Grondwater zorgt in bepaalde streken van ons land al geruime tijd voor een belangrijk deel voor de watervoorziening. In veel dorpen en steden staat nog steeds de pomp die de gelegenheid bood (soms nog biedt) het water omhoog te halen. Naar de pomp lopen was een nuttige bezigheid.

Het beslag op de grondwatervoorraad was tot de helft van de negentiende eeuw beperkt. Een groot deel van Nederland kon terecht bij het oppervlaktewater uit grachten en rivieren. De dichtheid van de steden nam echter na 1800 sterk toe zodat het oppervlaktewater, dat veelal ook als verzamelriool diende, zichzelf niet meer kon reinigen. Cholera-epidemieën teisterden steden als Amsterdam en Rotterdam. Het werd na verloop van tijd duidelijk dat het vervuilde water de oorzaak was van deze en andere ziekten.

Vanouds belangrijke bron

Men onderkende de positieve invloed van een lange verblijftijd in de grond op de kwaliteit van het regenwater. In 1854 werd Amsterdam aangesloten op 'het duinwater'. Toen er ook nog een riolering werd aangelegd, kreeg de cholera-bacil het moeilijk. Honderd jaar later bleek dat de duinreservoirs niet onuitputtelijk waren: de grote steden zogen ze leeg. Om het oprukken van het zoute grondwater (zoute kwel) en uitputting van de zoetwaterlaag tegen te gaan, wordt thans rivierwater dat in een fabriek in Nieuwegein is voorgezuiverd in het duingebied geïnfiltrerd. De duinen vormen daardoor een waterbuffer en tevens een barrière voor de gevaarlijk oprukkende zoute kwel. Wel heeft de nieuwe functie, die gepaard gaat met een fors aantal meertjes en meren, het duinlandschap sterk getekend. In de laatste jaren wordt bekeken hoe men de waterbuffer kan combineren met enig herstel van het oorspronkelijke duinlandschap.

Zoals in het begin van dit hoofdstuk is gezegd, voorziet het grondwater nog altijd in een substantieel deel van onze behoefte aan water. Men treft overal in ons land pompstations aan. De bereiding van drinkwater uit grondwater is betrekkelijk eenvoudig. Toch baart de toekomst zorgen. Thans kunnen de waterleidingbedrijven die over grondwater kunnen beschikken, veelal volstaan met de verwijdering van één, twee stoffen. Drinkwater uit oppervlaktewater maken is heel wat minder eenvoudig: er kunnen duizenden chemische stoffen in voorkomen, verschillend in aantal, verschillend in concentratie. Het is dan ook absoluut noodzakelijk de kwaliteit van het grondwater in stand te houden.

Bedreigingen van het grondwater

In het begin van dit hoofdstuk is beschreven hoe het water een kringloop doormaakt en hoe essentieel de grondwaterfase daarin is. Het transport door de grond heeft een zuiverende werking; bovendien biedt de ondergrond vooralsnog een veilige opslag. De huidige generaties kunnen putten uit schone bronnen en zouden, wat het uitgangspunt van duurzame ontwikkeling hen oplegt, de zich steeds aanvullende delfstof onaangetast moeten doorgeven. Maar we stuiten op problemen:

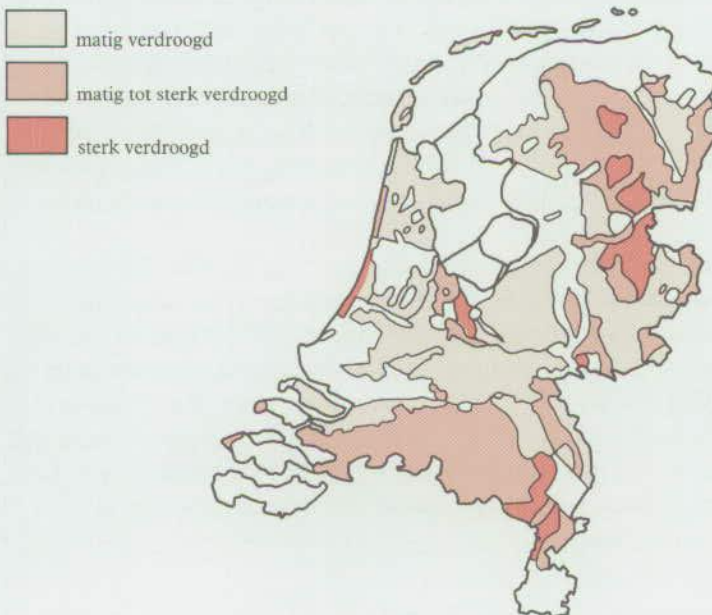
- in een aantal gebieden leggen we een te groot beslag op de

- beschikbare hoeveelheid grondwater en
- op veel plaatsen misbruiken we de bovengrond op een dusdanige wijze dat schadelijke stoffen naar het grondwater doorspoelen.

Hiervoor is al gezegd dat de waterkringloop in feite compleet is: het grondwater krijgt voldoende aanvoer om in onze behoeften te voorzien en toch z'n rol in het ecologisch systeem te blijven vervullen. In bepaalde delen van ons land wordt echter de grondwaterstand onevenredig verlaagd. De waterwinning wordt daardoor lastiger en de verlaging leidt tot verdroging van de toplagen en vervolgens tot verschraling van de natuur; er verdwijnen soorten, zelfs hele ecosystemen.

De belangrijkste oorzaak van de verstoring is de kunstmatige verlaging van de grondwaterstand na de winter. Vooral in ruilverkavelingsgebieden en daar waar de landbouwproductie voor een groot deel is gemechaniseerd, is men gebaat bij een lage grondwaterstand: de machines kunnen dan eerder het land op. Omdat de voorziening van drink- en industriewater ook zijn deel vergt en op bepaalde

23



Mate van verdroging in Nederland
(situatie 1985).

plaatsen de winning van zand en grind water vereist, is in een aantal districten de verlaging soms wel 50 cm.

Omdat de grondwaterstromen naar de zich ontwaterende gebieden trekken, grijpt de verdroging letterlijk om zich heen. Vooral hoger gelegen gebieden zoals de zandgronden in het midden en oosten van het land, de duinvalleien langs de kust en veel hoogveenreservaten zijn er slecht aan toe. De door TNO vervaardigde kaart van Nederland geeft aan hoe het met de verdroging in ons land is gesteld.

Lijkt de kunstmatige verlaging, hoe ernstig ook, op de duur wel bij te sturen door een grondwatervriendelijk beleid, méér ingewikkeld zijn de problemen veroorzaakt door een aantal sterk van elkaar verschillende soorten van vervuiling. De vermesting van de bovenlaag en de verspreiding van een groot aantal onkruid- en insectenbestrijdende stoffen werden tot voor kort gezien als zo noodzakelijk voor de landbouw dat de nadelige effecten op de koop toe werden genomen.

Het overdadig bemesten heeft geleid tot ontregeling van de fosfor- en stikstofkringlopen. Vooral de stikstof is een gevaar voor het grondwater. In tegenstelling tot fosfor, dat in de bodem weinig beweeglijk is, spoelt het gemakkelijk uit naar het grondwater. Hoewel de grootste ($\pm 70\%$ van het totaal) is de landbouw niet de enige vermester van de bodem. Ook de consumenten en het verkeer dragen bij. De vermesting leidt op een aantal plaatsen tot (te) hoge nitraatconcentraties in het ondiepe grondwater, de stabiele fosfaatconcentraties kunnen tot zuurstofarm (dood) oppervlaktewater leiden.

De verontreiniging van de bodem door het al of niet met een vergunning storten van de vele soorten afval van onze samenleving is in de laatste vijftien jaar wel onderkend als een ernstige bedreiging van het (grondwater)milieu maar de Wet Bodembescherming en de Interimwet Bodemsanering kunnen nog steeds niet voorkomen dat er op een groot aantal plaatsen een aanval in gang is gezet op de kwaliteit van het grondwater. De bronnen van verontreiniging zijn van velerlei aard:

- stedelijke concentraties
- oude gasfabrieken, verffabrieken e.d.
- lekkende rioleringen
- industriegebieden
- chemische industrie
- voedingsindustrie
- vuilstorten
- huishoudelijk afval
- allerlei koolwaterstoffen
- bouwafval
- opslagtanks
- lijnbronnen
- wegen
- spoorwegen
- landbouw en veeteelt
- onkruidbestrijdingsmiddelen
- insectenbestrijdingsmiddelen
- de zee
- oprukkende zoute kwel.

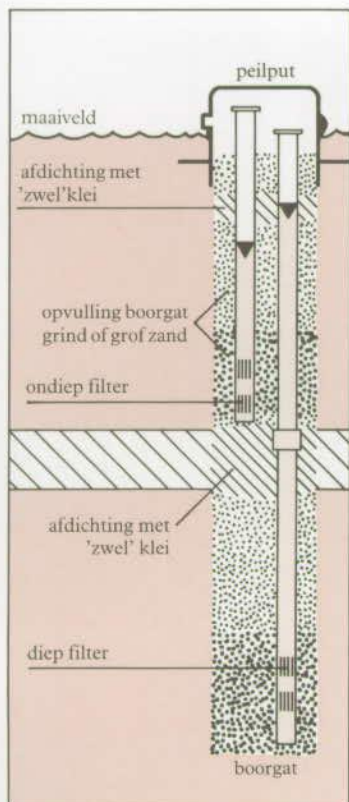
Veel gif is op weg naar het grondwater. Een enkele keer blijkt het al zo ver te zijn doorgestroomd dat het de, zorgvuldig bewaakte, kwaliteit aantast. Dan slaan de media (terecht) alarm. Grotere zorg dan deze of gene incidentele vervuiling baart de structurele vervuiling. Het is voor de kwaliteit van het grondwater van het grootste belang dat:

- er geen giftige stoffen meer in de bodems boven het grondwater terechtkomen en dat
- daar waar giftige stoffen op weg naar het grondwater zijn, ze worden verwijderd of geneutraliseerd.

Reeds in de jaren vóór de Tweede Wereldoorlog raakte men ervan doordrongen dat kennis over de bodemschat grondwater onontbeerlijk was voor een goed beleid. Kort na de oorlog, in 1948, werd het Archief van Grondwaterstanden opgericht. De activiteiten in het kader van dit Archief, dat vanaf 1967 in beheer is bij TNO, omvatten het inwinnen van grondwatergegevens én het beheer daarvan.

Meetnet voor grondwater

Het grondwatermeetnet bestaat thans uit ongeveer 16.000 waarnemingspunten, de helft ervan is in beheer bij TNO. Een uniek feit hierbij is dat bij het praktische meetwerk kan



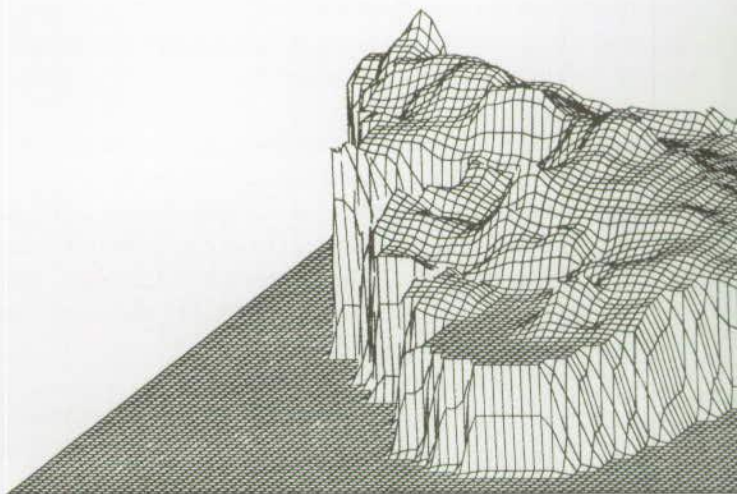
Een belangrijk hulpmiddel bij het registreren en bewaken van het grondwater is de peilput. In een peilput kan zowel de grondwaterstand als de grondwaterkwaliteit worden vastgesteld. TNO beheert in Nederland een fijnmazig net van (peil)putten alsmede het nationale archief van de grondwaterstanden, waarin de putmetingen worden vastgelegd.

worden geprofiteerd van de inzet van 4.000 vrijwilligers. De grondwaterstanden worden gemeten in welputten, brandputten, peilputten en landbouwbuizen. De peilputten en landbouwbuizen zijn zelfs speciaal aangelegd voor het meten en registreren van de grondwaterstanden en de waterkwaliteit.

In Nederland bestaan drie types grondwatermeetnetten:

- in de primaire meetnetten worden de grondwaterstanden op regionale schaal gemeten; het provinciale waterbeheer put er gegevens uit;
- in de secundaire meetnetten wordt informatie verworven over de lokale schaal; ze zijn te vinden rond de drinkwaterpompstations van de grote steden in het westen;
- tertiaire meetnetten zijn tijdelijk; ze kunnen bijvoorbeeld worden aangelegd in de buurt van een bronbemaling.

Sinds enkele jaren zijn de meetnetten voor de grondwaterstanden uitgebreid met netten waarbinnen gegevens over de kwaliteit worden ingewonnen en opgeslagen. De kennis over

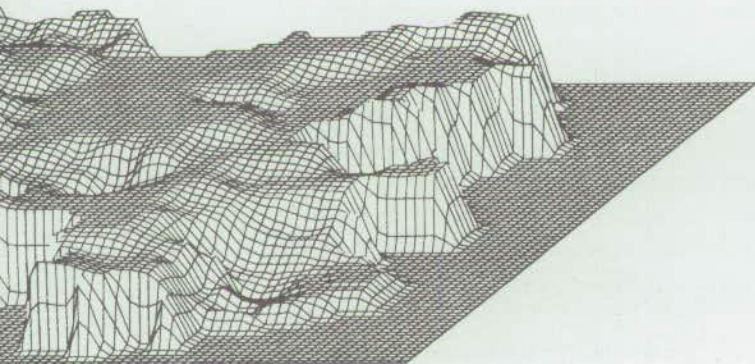


het grondwater in de ondiepe ondergrond is op dezelfde wijze geordend in primaire, secundaire en tertiaire meetnetten. Het Nederlandse grondwatermeetnet, hoe jong ook, is uniek in de wereld en staat thans velen ten voorbeeld.

Was het verzamelen van gegevens over het grondwater aanvankelijk handwerk, de moderne technologie is door TNO doelmatig benut om veel ervan te automatiseren. Permanent opgestelde elektrodes maken het mogelijk de elektrische weerstand en daarmee de waterkwaliteit te bepalen. De grenzen tussen vervuild en schoon grondwater, zoet en zout en infiltratie- en formatiewater kunnen kritisch worden gevolgd. Ook grondwaterstanden worden tegenwoordig in een deel van het net automatisch gemeten.

Omdat het zoeken naar specifieke informatie in een zo groot meetsysteem als dat van de grondwaterstanden en kwaliteiten een tijdrovende zaak is, heeft TNO de informatie ondergebracht in een geautomatiseerde databank met de vriendelijke naam OLGA (on-line grondwater archief).

Geautomatiseerde databank



De databank OLGA (On Line Grondwater Archief) beschikt over een schat aan gegevens. Via eenvoudig te bedienen menu's kunnen grafische presentaties worden gemaakt die inzicht geven in de ondergrond. De perspectiefweergave toont de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket in de provincie Utrecht.

Wie een PC heeft met een normale PTT kieslijnverbinding kan bij OLGA terecht voor de volgende gegevens:

- 12 miljoen grondwaterstanden (heden en verleden); ze zijn opgemeten in 20.000 waarnemingspunten (een deel hiervan is thans niet meer in gebruik);
- 7.000 bepalingen van het zoutgehalte, de meeste verworven in waarnemingspunten langs de kust;
- 40.000 waterkwaliteitsanalyses afkomstig uit vele duizenden monsterputten, verspreid over het gehele land;
- beschrijvingen van alle waarnemingspunten die de databank bedienen.

De gewenste gegevens kunnen in overleg worden gepresenteerd op de wijze die voor de aanvrager het meest doelmatig is.

TNO verricht ook onderzoek ten behoeve van het ontwikkelen van gebiedsgericht integraal waterbeheersbeleid. Door analyses van regionale hydrologische systemen wordt de noodzakelijke kennis verworven over het samenhangend functioneren van het geheel van oppervlaktewater, grondwater, waterbodems, oevers en eventuele technische infrastructuur, met inbegrip van de fysische, chemische en biologische kenmerken. Met behulp van dergelijke analyses kunnen maatregelen worden getroffen om de duurzame ontwikkeling van watersystemen te verzekeren.

Hoogste tijd

In de eerste zinnen van dit hoofdstuk is erop gewezen dat de belangrijke bodemschat grondwater een hoofdrol speelt bij de voorziening van ons land met drinkwater, industrieel water en beregeningswater voor de landbouw. Niet minder dan 90 van de ongeveer 130 liter water die we per persoon gebruiken komt van het grondwater.

De zo essentiële voorziening met verantwoord water loopt gevaar doordat het grondwaterpeil op bepaalde plaatsen daalt. Bovendien is een aantal bronnen vervuild en lopen zeer veel meer het gevaar vervuild te raken door de traag dalende nitraten en fosfor van de landbouw en een kwantitatief en kwalitatief slechts gedeeltelijk geregistreerd aantal vervuilingen van de bodem.

Veel van de systematiek van (grond)water is bekend en veel

gegevens zijn toegankelijk geordend. Er zijn methodes ontwikkeld waarmee de voortschrijdende vervuiling een halt kan worden toegeroepen, vervuilde bodems zijn schoon te maken via door toegepaste wetenschap reeds beproefde systemen, de landbouw kan met minder mestsoorten toe dan werd aangenomen. Er moeten echter middelen komen voor concrete maatregelen. Duurzame ontwikkeling kan hand in hand gaan met een doelmatige watervoorziening, maar het is de hoogste tijd voor een krachtige aanpak. Toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek kan daar doelmatige instrumenten voor aanreiken.

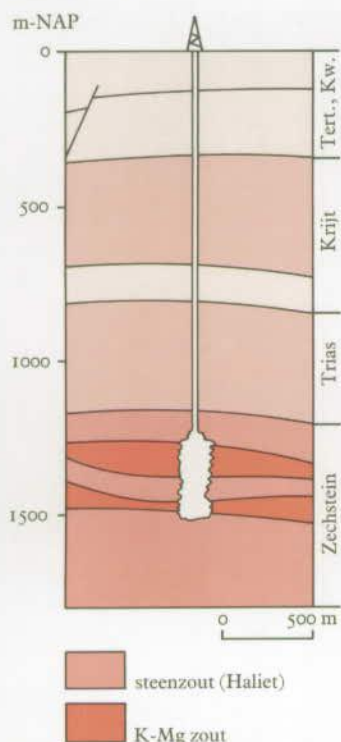
Nederland was tweehonderdvijftig miljoen jaar geleden gedeeltelijk zee en gedeeltelijk land. In lagunes die in verbinding met de open zee stonden, verdampte het zeewater en stapelden zich zoutlagen op. Er zijn in de loop van honderdduizenden jaren in het midden en noorden van ons land afzettingen ontstaan van 500 tot 2000 meter dik. Soms hebben zich uit de oorspronkelijke lagen grote zoutkussens gevormd. Doordat enkele ervan via ondergrondse opheffingen tot dicht bij de oppervlakte konden stijgen, zijn ze aantrekkelijk voor zoutwinning.

Het zout der aarde

Vanaf 1919 haalt Nederland dan ook zouten uit eigen bodem. Het gaat niet alleen om keukenzout (NaCl) maar ook om industriële zouten. Naast bekende 'zoutnamen' als Boekelo en Hengelo is er ten behoeve van de sodaproductie in Winschoten een zoutwinning opgezet. Bij Veendam zijn kalium-magnesiumzouten gevonden. Deze worden, zoals ook de andere zouten elders in ons land, via boorgaten uitgeoogd en opgepompt. De magnesiumzouten worden gebruikt als grondstof voor de produktie van het hittebestendige magnesiumoxyde.

De exploitatie van de zoutvoorkomens geschiedt door middel van 'oplossingsmijnbouw'. In veel gevallen kiest men voor twee pijpen: de ene voor het injecteren van water, de andere voor het produceren van de pekeloplossing. Een oliekussen tussen de twee pijpen voorkomt dat het bovendeele van de pekkel oplost in het 'dak' van het voorkomen. Een andere methode is die met één boorgat. De in- en uitkomende stroom gaan volgens dezelfde buis: de injectie

winning van K-Mg zouten



Toen het in deze streken nog heet en droog was, werden dikke lagen zout afgezet. Bij winning via een enkelvoudige boring wordt beurtelings water laag in de holte geïnjecteerd en uit de top ervan teruggepompt. De cilindervormige holten bereiken soms een doorsnede van 100 meter en een hoogte van wel 600 meter. Deze enorme koepels kunnen ons in de toekomst mogelijk nog nuttige diensten bewijzen.

vindt diep in de holte plaats, daarna wordt geproduceerd uit de top.

De zoutvoorraden zijn groot, tussen de vijf- en tienduizend kubieke kilometer. Ze zijn praktisch gesproken onuitputtelijk, ook al halen we per jaar niet minder dan vijf miljoen ton aan zouten uit de bodem. Zouten leveren een belangrijke bijdrage aan onze economie, vooral door de rol ervan in een aantal industriële processen.

De winning van zouten uit de ondergrondse lagen heeft tot gevolg dat er onder de stevige bovenlagen holten ontstaan. Deze kunnen fors van omvang zijn, een caverne van 100 meter doorsnee en 650 meter hoogte is geen uitzondering. Om gevaar van inzakken te voorkomen verricht men de boringen op voldoende afstand van elkaar. In de 'vroege' tijd van de zoutmijnbouw is eens (bij Hengelo) een methode gevolgd die onvoldoende garanties tegen inzakken bood, onder andere omdat men het 'dak' te dun liet worden. Sinds men (vanaf 1963) oliekuissens aanbrengt, zijn er geen inzakkingen meer geweest.

Volgens sommige deskundigen kunnen de holten waaruit het zout is gewonnen, dienen voor een (voorlopige) oplossing van een dwingend milieuprobleem. Onze samenleving produceert afvalsoorten waar we op korte termijn noch een plek, noch een verwerkinswijze voor bij de hand hebben. In het hoofdstuk 'Ondergrondse ruimte' wordt onder andere in dit verband gekeken naar enkele plannen voor het gebruik van de zoutcavernes.

Is hiervóór geschreven dat de belangrijkste bodemschat van ons land het grondwater is, de vele oppervlakedelfstoffen, die we reeds eeuwenlang aan de bodem ontnemen om ze om te zetten in gebouwen, wegen en kunstwerken, vormen met elkaar ook een indrukwekkende groep. De tabel op de pagina hiernaast, ontleend aan 'Geologie van Nederland, deel 2', laat het belang duidelijk zien. En om een kwantitatief zicht te geven op de twee topleveranciers: bij beton en metselzand gaat het om ongeveer 18 miljoen ton per jaar, bij ophoogzand om niet minder dan 40 miljoen kubieke meter.

Het is duidelijk dat Nederland, wil het ernst maken met een duurzame ontwikkeling, niet eindeloos kan doorgaan met het omzetten van de toplagen in gebouwen, wegen en kunstwerken. Van materialen als zilverzand en grind en kalksteen is er op z'n hoogst nog voor honderd jaar, alleen industriezand, ophoogzand en klei zijn in voldoende mate beschikbaar. Voor veel oppervlakedelfstoffen geldt echter dat winning alleen kan geschieden in gebieden die landschappelijk en natuurwetenschappelijk van grote waarde zijn.

Het is geen wonder dat onderzoekers van TNO en verscheidene andere instellingen en bedrijven zich hebben gericht op het ontwikkelen van alternatieve bouwmaterialen.

Bouwmaterialen uit de bodem

De oppervlakedelfstoffen in Nederland en hun toepassingen

Delfstof	Halffabrikaat	Gebruiksdoel
Grind	Asfalt	Weg- en waterbouw
	Beton	Woning- en utiliteitsbouw
Ophoogzand		Aanleg bouwterreinen en wegen
Industriezand	Beton	Weg- en waterbouw
	Metselspecie	Woning- en utiliteitsbouw
Kwartzand	Kalkzandsteen	Woning- en utiliteitsbouw
	Glas	
Klei		Aanleg van dijken en geluidswallen
Industrieklei	Bakstenen	Woning- en utiliteitsbouw
	Dakpannen	
Kalksteen	Cement	Weg- en waterbouw
	Kalkzandsteen	Woning- en utiliteitsbouw
	Kalkmeststof Voederkrijt	Landbouw
Schelpen		Landbouw
Veen	Potaarde	Tuinbouw
	Tuinturf	

Tabel 2
De oppervlakedelfstoffen in Nederland en hun toepassingen.

Studies naar hergebruik van afvalstoffen hebben aangetoond dat een groot aantal ervan in nieuwe materialen kan worden omgezet. Nú reeds wordt per jaar voor een waarde van ruim dertig miljoen 'recycled' bouw materiaal gebruikt. TNO ontwikkelde verwerkingsinrichtingen voor bouw- en sloopafval, methodes voor ééntrapsverkleining van sloopbeton en voor toepassingen van shredderstof. Ze hebben tweërlei effect: er worden grondstoffen bespaard en de afvalfen worden opnieuw gebruikt.

Het uiteindelijke doel is de grondstoffen zo te gebruiken dat ze, al of niet na een aantal bewerkingen, opnieuw een opbouwende rol kunnen vervullen. Reeds bij het ontwikkelen van produkt en constructie moet aandacht worden besteed aan de fase van afbraak en vernieuwing.



De Waddenzee bij Noordpolderzijl, de zee komt en de zee gaat. Ook in het verleden bevond Nederland zich regelmatig op de grens van land en zee. De sedimenten vormden een belangrijk deel van de ondergrond van Nederland.

De Winterwijkse Muschelkalk bevat sporen van prehistorische levensvormen die zich hebben opgehouden in de ondiepe Trias-zee. Een daarvan was een fors uit de kluiten gewassen sauriër (lengte circa 1,5 meter), die de naam *Rhynchosauroides peabodyi* heeft gekregen. De foto toont de afdruk van een voorpoot die meer dan 200 miljoen jaar geleden werd vastgelegd. (Voor meer informatie over dit boeiende stukje Nederland: Museum Freriks, Winterswijk)



In de steengroeve te Winterswijk komt een, voor Nederlandse begrippen, zeer oude aardlaag aan het oppervlak: de Muschelkalk uit het Trias, die ruim 200 miljoen jaar geleden werd gevormd. De kalksteen is gevormd uit kalkrijk riviermateriaal dat in een ondiepe zee werd afgezet. Ze wordt 'losgeschoten' en verwerkt tot vulstof voor asfalt (85%) en tot meststof voor de akkerbouw (15%). De opname toont de gelaagde structuur van de wand van groeve 3 (hoogte circa 30 meter). Er valt ook een breuk met een verschuiving te zien.





Elzenbroekbos aan de Nieuwe
Zuiderlingedijk nabij Heukelum.
Dit soort bossen leverde het
materiaal voor turf, bruinkool en
steenkool.



Waterwingebied van de N.V. Duinwaterbedrijf Zuid-Holland. Infiltratie van oppervlaktewater in duinen bij Kijfhoek/Bierlap ten behoeve van drinkwaterproductie. Deze activiteit heeft lokaal het karakter van het duinlandschap aanzienlijk beïnvloed.

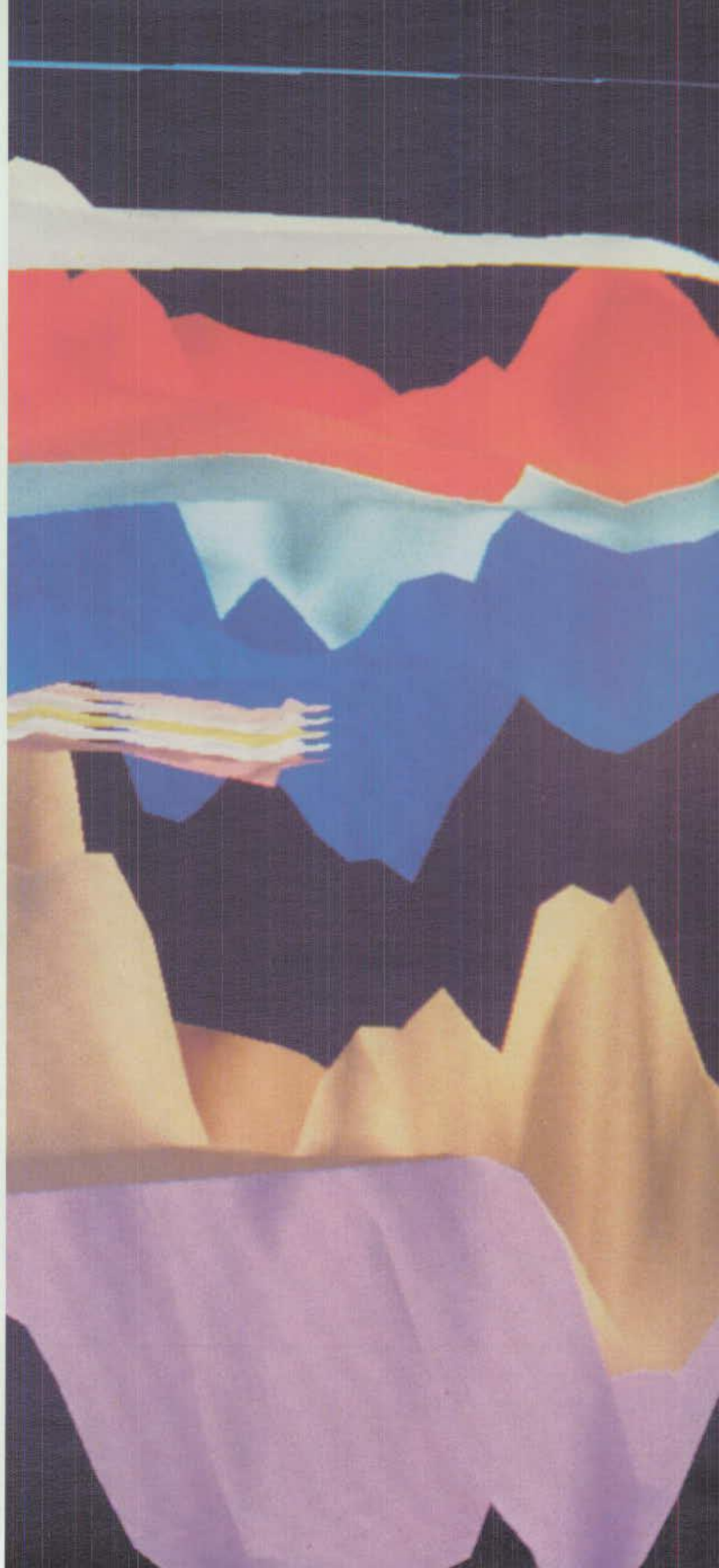


TNO'er bezig in het Edesche Bos met het tot ontsteking brengen van een springlading ten behoeve van seismisch onderzoek.

Voor het goed functioneren van een
peilput moeten de daarin aanwezige
filters worden schoongepompt.



Detail van het omslag:
Computerweergave van een
geïntegreerd geofysisch
reservoirmodel gemaakt met het
software-pakket GOCAD.





Schiphol is een knooppunt van verschillende vervoersmodaliteiten, waarbij de derde dimensie volop wordt benut. De ondergrond biedt met name het railvervoer de vereiste ruimte. De luchtfoto geeft een overzicht van de werkzaamheden aan de Schiphollijn. Het betreft een verdubbeling van het aantal lijnen in het kader van Rail 21, het grote uitbreidingsplan van de Nederlandse Spoorwegen.

5. Bron van energie

Veel ondergrond van Nederland is opgebouwd in vruchtbare periodes van duizenden eeuwen lang. Land en zee zorgden onder ideale klimaatomstandigheden voor koolwaterstoffen van velerlei soort. Die van enkele honderden miljoenen jaren geleden werden toegedekt met poreuze en gesloten lagen. Er volgden periodes van dalen en stijgen, er kwamen breuken. En alles werd overdekt en nog eens overdekt.

De allerlaatste afdekkingen van wéér nieuwe plantaardige resten, het hoogveen en het laagveen, zijn het eerst aan de beurt gekomen om 's winters verkillende bewoners van ons land aan wat extra warmte te helpen. Turf hielp velen de koude winters door. In het begin van deze eeuw kwamen hoogliggende kolenlagen in exploitatie. De Nederlandse bruinkool, in dagbouw ontgonnen, is destijds naar de achtergrond gedrongen door steenkool.

Reeds vóór de Tweede Wereldoorlog werd er door geologen op gewezen dat de geschiedenis van de ondergrond de hoop rechtvaardigde op méér fossiele energiedragers dan alleen turf en kolen. In 1943 werd het olieveld van 'Schoonebeek' ontdekt. De Duitsers wilden er hun oorlogsmachine mee smeren maar langzaam-aan-acties van het personeel zorgden ervoor dat er pas ná de oorlog kon worden geproduceerd. Schoonebeek levert nòg, zij het in 'oliegetallen' gezien bescheiden.

Vanaf 1959 kwam Nederland in de roes van het aardgas. De vondsten waren spectaculair. De miljardeninformatie sloot in 1967 op 2500 miljard kubieke meter. Na korte tijd was bijna iedereen aangesloten op het aardgasnet; voor verwarming, voor koken, voor comfortabel baden en douchen.

De grond onder Nederland is een bron van energiegrondstoffen. Die worden ook terdege benut, want per vierkante kilometer gebruiken we 1595 ton olie-equivalent, méér dan in welk ander land ook! De grote energiedichtheid van ons economisch systeem dwingt ons tot haast bij het streven naar duurzame ontwikkeling.

Aardgas springplank naar duurzaam

Nederland is ondergronds rijk. Het heeft dankzij z'n turbulente geologische geschiedenis een voorraad aardgas waar het redelijkerwijs nog een halve eeuw mee vooruit kan. Aardgas speelt de hoofdrol in onze energievoorziening: in 1991 nam het bijna 52% daarvan voor z'n rekening. Er stroomde 45 miljard kubieke meter naar de Nederlandse verbruikers, daarnaast werd 38,6 miljard kubieke meter geëxporteerd.

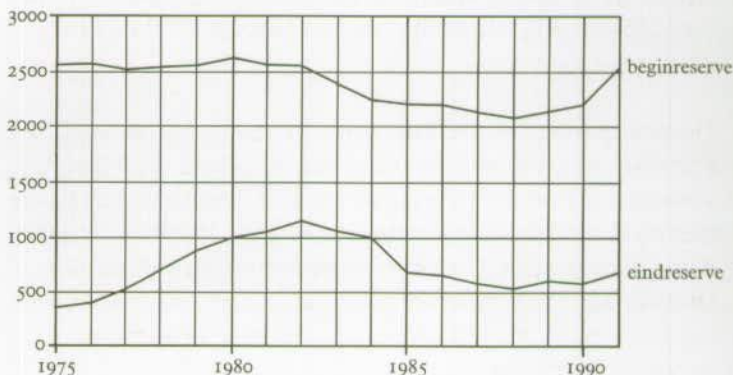
De huidige reservepositie is opvallend genoeg gelijk aan die van 1975, hoewel er in de zestien jaar tussen '75 en '91 meer dan duizend miljard kubieke meter is verbruikt en uitgevoerd. Dat de reservepositie niet is veranderd, danken we vooral aan ijverig speurwerk van de geologen: de bestaande reserves werden groter bevonden dan aanvankelijk was aangenomen. Ze konden worden opgewaardeerd en er werden nieuwe vondsten gedaan.

Aardgas levert energie aan verscheidene deelmarkten: ruim 30 procent van de aardgasstroom gaat naar de industrie, bijna 20 procent naar de centrales, 10 procent naar de tuinbouw en bijna 40 procent naar de kleine verbruikers. Aardgas voorziet in ruimt 95 procent van het primaire energieverbruik in de huishoudens.

Schone brandstof

Aardgas is een (relatief) schone brandstof. Het verbranden gaat uiteraard wel gepaard met de vorming van kooldioxyde (CO_2) en stikstofoxyden (NO_x). De vorming van de eerstgenoemde verbinding is onvermijdelijk bij een fossiele brandstof. Bij aardgas wordt hij wel beperkt door het hoge

Ondanks forse onttrekkingen blijven de gasvoorraden aardig op peil. Dit is een gevolg van nieuwe vondsten en van het feit dat voortgaand onderzoek een opwaardering van de reserves toelaat. De reservepositie van 1975 wijkt dan ook nauwelijks af van die in 1991. Beginreserve: waarde op aangegeven datum. Eindreserve: geschatte waarde 25 jaar later.



rendement waarmee het gas in energie kan worden omgezet. Het tweede verbrandingsprodukt blijkt te beïnvloeden door de verbrandingstemperatuur laag te houden.

Dragen de andere fossiele brandstoffen evenveel of meer bij aan de produktie van CO_2 en NO_x , de verbranding daarvan gaat bovendien nog gepaard met de produktie van een extra hoeveelheid vervuilende stoffen. Het zwaveldioxydeprobleem (SO_2) van onze industriële agglomeraties is grotendeels bedwongen door de inzet van aardgas door de grote industrieën; voor de uitstoot van de elektrische centrales geldt hetzelfde.

Aardgas komt onder hoge druk uit de winputten. Die druk wordt gebruikt om het ondergronds te transporteren. Er ligt in Nederland een infrastructuur van 150.000 km aardgasleidingen. Daardoor wordt het gas met een minimum aan energieverbruik en ruimtebeslag getransporteerd. Wel wordt op een achttal plaatsen de druk met compressoren op het gewenste transportniveau gebracht, maar in feite gaat het gas ondergronds van put naar brander.

Als we bedenken dat het wegvervoer een van de belangrijkste bronnen is voor verzuring en smogvorming en ook nog een aantal andere structurele vervuilingen met zich meebrengt, dan is het grote voordeel van de eigen transportdruk en het ondergrondse transportnet duidelijk. Het is moeilijk voor te stellen hoe we de bijna 1.500 petajoule (peta staat voor 10^{15}) die het aardgas per jaar aan energie oplevert, met vrachtauto's, treinen en schepen bij de miljoenen branders en brandertjes zouden moeten krijgen. Dezelfde ondergrond die ons het aardgas aanreikt, biedt tevens de ideale vervoersomstandigheden!

De geologische geschiedenis van ons land was turbulent. De kolenlagen, die zich uitstrekken van Engeland tot Polen, zijn herhaaldelijk in beweging geweest. Een breed geaccepteerde theorie is dat zich in de lagen met resten van plantaardig en dierlijk leven een onvolledig inkolingsproces voltrok. Toen later de lagen verder wegzonken, kwam de inkoling onder invloed van temperatuur en druk opnieuw op gang en vormde zich methaangas.

Milieuvriendelijk transport

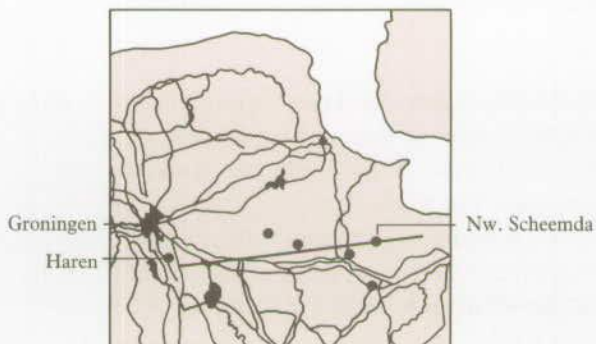
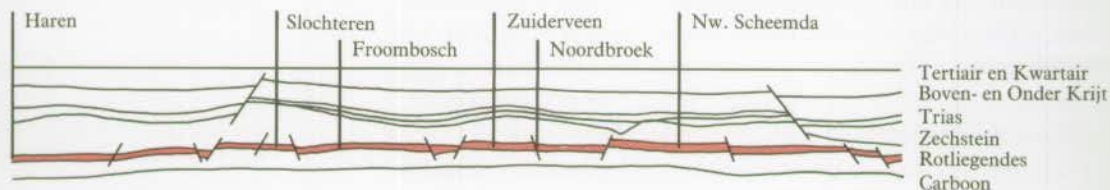
Belangrijke voorraden

Onder Groningen lagen boven deze inkolende lagen afzettingen van rode zandsteen. Het 'Rotligendes', dat 250 miljoen jaar geleden werd gevormd en laagsgewijs meedaalde, lag onder druk van dikke, gesloten zoutpakketten. Het werd als het ware volgepompt met het door na-inkoling ontstane gas. Wij profiteren nu van een gelukkige geologische combinatie: de Carboonlagen waarin het aardgas is 'gemaakt', het Rotligendes dat het aardgas voor ons 'verzamelde' en de zoutpakketten erboven die het 'deksel' op de aardgasbron legden.

Zo ziet het rijkste gasveld van Europa er in doorsnede uit. Het gas bevindt zich in het poreuze 'Rotligendes'. Het is afkomstig van het onderliggende Carboon. De weg naar boven is afgesloten door een ondoordringbare laag. Deze combinatie van bron, opslag en 'deksel' is noodzakelijk voor het ontstaan van een aardgasvoorkomen. De doorsnede loopt van Haren tot vlak bij de Duitse grens.

Aardgas vervult een hoofdrol in onze energievoorziening en het energiebeleid is erop gericht dat nog decennia zo te houden. In ieder geval zal de openbare gasvoorziening van ons land in 2016 nog kunnen putten uit een voorraad van bijna 500 miljard kubieke meter of meer. Bij een afzetniveau van 45 miljard kubieke meter per jaar zal er dus minstens tot het jaar 2030 voldoende aardgas zijn. Deze voorspelling is gebaseerd op de huidige bewezen voorraden; de praktijk leert dat die voorraden in de loop der jaren de neiging hebben groter te worden.

Er wordt nog steeds naar aardgas gezocht en er worden met



regelmaat nieuwe vondsten gedaan. De strategie van Gasunie - door aankopen van gas van elders het Groningen gas als buffer te bewaren - blijkt succes te hebben. Het gas dat nú de Nederlandse branders bereikt, is een mengsel waarvan ongeveer de helft niet uit de Groningse voorraad komt. De andere helft komt van kleine velden, onder andere uit het Noordzeeplat.

Voor het opsporen en efficiënt ontwikkelen van deze aardgasvoorkomens zijn nieuwe methodieken en technieken nodig. TNO is betrokken bij de ontwikkeling daarvan.

Als aardgas wordt verbrand, ontstaan er behalve warmte een aantal stoffen. Genoemd zijn al CO_2 en NO_x , de belangrijkste. Theoretisch kan worden gesproken van een kringloopproces want CO_2 en NO_x kunnen via planten weer grondstof voor nieuwe koolwaterstoffen worden, maar de kringloop duurt wel erg lang en is ook tamelijk onzeker. Hoe zuinig we ook met ons aardgas omgaan, we zijn wel bezig het op te maken; we geven de aardgasvoorraad niet zó door aan volgende generaties als we ze aantreffen. Aan de hoofdwet van de duurzame ontwikkeling lijkt dan ook niet te zijn voldaan.

Het Nationaal Milieubeleidsplan formuleert: 'om een duurzame ontwikkeling te bereiken, moet het gebruik van niet vernieuwbare grondstoffen en fossiele energiedragers worden teruggedrongen; het gebruik van secundaire grondstoffen, vernieuwbare grondstoffen en duurzame energiebronnen moet toenemen'. Reeds sinds 1974 propageren Gasunie en de gasdistributiebedrijven een doelmatig energiebeleid 'doe verstandig met aardgas'. Dat past keurig in het NMP-geformuleerde beleid voor duurzame ontwikkeling.

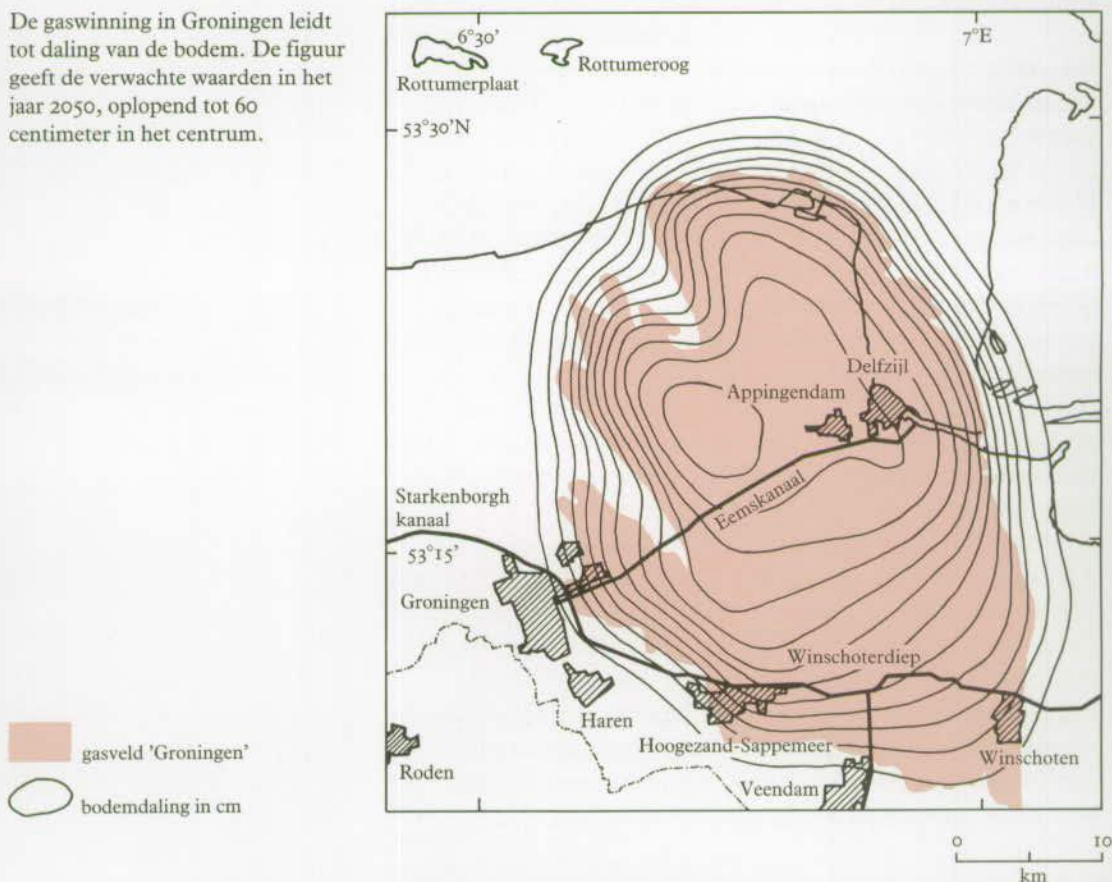
De gasindustrie verwerft specifieke kennis uit eigen en ander onderzoek over het zuinig en schoon gebruik van aardgas. Deze wordt doorgegeven aan die instellingen die er concrete resultaten mee kunnen bereiken. De energiebedrijven krijgen regelmatig informatie over nieuwe energiebesparende verwarmingstechnieken en over milieuvriendelijke apparatuur. De industrie heeft veel informatie kunnen verwerven via het Milieu-actieplan Industrie.

*Aardgas en duurzame
ontwikkeling*

Een aspect van de exploitatie van aardgas dat in het kader van duurzame ontwikkeling niet mag worden vergeten is de bodemdaling. Bij grote gasvelden kan het om tientallen centimeters gaan. Het gebied waar de bodem daalt, zal over het algemeen corresponderen met de vorm van het gasveld in de ondergrond. De daling is gelijkmatig en wordt sterker naar het centrum van het gasveld. Een recente schatting van het Groningse veld is weergegeven in het kaartje vervaardigd door de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning. De 60 cm in de omgeving van Slochteren kon wel eens minder belangrijk zijn dan de 55 cm in de omgeving van Delfzijl. Chemische industrie en zeedijken zullen aparte zorg vragen. Overigens wordt nu reeds geld gereserveerd en (gedeeltelijk) aan in dit verband relevante projecten besteed.

In het begin van dit hoofdstuk is vermeld dat er nog voor

De gaswinning in Groningen leidt tot daling van de bodem. De figuur geeft de verwachte waarden in het jaar 2050, oplopend tot 60 centimeter in het centrum.



minder dan een halve eeuw aardgas is. Het is te verwachten dat er door energiebesparing en nieuwe vondsten een aantal jaren aan kan worden toegevoegd. Hoewel er voortgang wordt gemaakt met de ontsluiting van duurzame energiebronnen vergt de brede maatschappelijke invoering van de bijbehorende technologie veel tijd. Verstandig gebruikt aardgas kan dienen als een brug naar de toekomst.

De aarde is warm; opgehangen in een kil heelal is hij een radiator waarop we kunnen leven. De temperatuur wordt hoger als we dieper in de aarde doordringen. De warmte is voor het grootste deel radiogeen, vrijgekomen bij het radioactief verval van natuurlijke isotopen van uranium, thorium en kalium. Ze komen waarschijnlijk in de gehele aarde voor maar het meest in de dikke korst. Aan de radiogene warmte wordt nog warmte toegevoegd uit de diepere lagen. De temperatuur aan het oppervlak wordt mede op niveau gehouden door de zon en de atmosfeer.

Naarmate we dieper in de aardkroon doordringen stijgt de temperatuur. In Nederland gaat dat met 2 à 3° C per 100 meter. Op 2000 meter kunnen we, afhankelijk van de plek, in ons land op temperaturen rekenen tussen de 60 en 90° C. Hoewel er verschillen zijn moet Nederland als één samenhangend geothermisch gebied worden beschouwd. Er is warmte en die warmte kan naar boven worden gehaald. Gebruikmaken van diepe watervoerende lagen, aquifers, wordt tot nu toe als de meest praktische methode beschouwd.

Het principe van de winning van aardwarmte is eenvoudig. Men boort twee pijpen de ondergrond in op zo'n wijze dat ze in de (warm)watervoerende laag terecht komen, de uiteinden ongeveer een kilometer uit elkaar. Druk op de ene pijp door middel van een injectiepomp wordt gecombineerd met 'trek' van een produktiepomp aan het eind van de andere. Het warme water uit de aquifer wordt aldus naar boven gehaald.

De warmte wordt aan de 'produktiepijp' onttrokken door een warmtewisselaar. Vanaf de warme kant van de wisselaar wordt de warmte naar de plaats geleid waar men deze kan gebruiken; een gebouwencomplex of kassengebied of een

Warmte uit de aarde

47

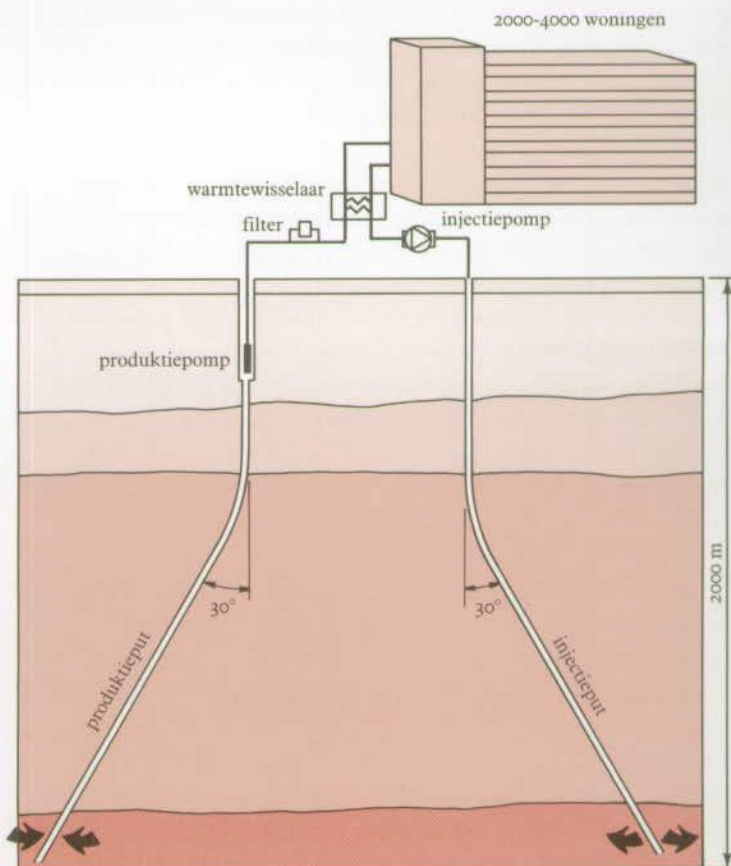
Winning aardwarmte

andere plaats waar men warmte van relatief lage temperatuur nodig heeft. Er wordt met de langs deze weg verkregen warmte nogal eens industrieel gedroogd.

Het slechts indirect inzetten van het warme produktiewater heeft het voordeel dat niet meer dan een beperkt deel van het leidingensysteem te maken heeft met het agressieve water uit de watervoerende laag. Slechts dat gedeelte behoeft te worden uitgevoerd in hoogwaardig materiaal, het secundaire systeem kan met traditionele materialen worden vervaardigd.

Om het water in het aan- en afvoersysteem door de aquifer te stuwen is een bepaalde druk vereist. Het gewenste pompvermogen is in de (warme) produktiepijp relatief laag, de injectiepijp heeft meer nodig. De druk in het reservoir

De benutting van aardwarmte is in principe eenvoudig. Er wordt koud water in een 'warme' aardlaag geïnjecteerd. Via een tweede buis wordt warm water opgepompt. De warmte wordt in een warmtewisselaar overgedragen op het secundaire circuit en kan dan bijvoorbeeld gebruikt worden voor verwarmingsdoeleinden.



zal tijdens de produktie op een bepaald niveau moeten (en kunnen) blijven. Het teruggevoerde reservoirwater is zodanig afgekoeld dat de zouten eruit neerslaan. Voor de winning levert dat nauwelijks bezwaren op. Wordt aardwarmte in Nederland nog niet gewonnen, wereldwijd levert de aarde toch al 7200 megawatt.

In de EG is Frankrijk koploper met 66 installaties die met elkaar ongeveer 300 megawatt kunnen opleveren. Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Denemarken en België experimenteren in feite met één of twee installaties. Hoewel de Nederlandse ondergrond goede kansen biedt, is het tot nu toe bij plannen gebleven.

Het is duidelijk dat de, overigens milieuvriendelijke winning van aardwarmte geen volledig duurzaam proces is. De warmte die lokaal aan de ondergrond wordt onttrokken vloeit meestal niet gelijk in compenserende hoeveelheden toe. In veel gevallen zal (zeker in ons land) na dertig jaar het temperatuurverschil met 'boven' te gering zijn geworden voor verantwoorde exploitatie.

De eindigheid van de meeste aardwarmtebronnen heeft geleid tot aanvullende technische systemen. We produceren in ons land erg veel restwarmte; een heel enkele keer maken we die voor (blok)verwarming nuttig maar het meeste komt toch ongestuurd in de omgeving terecht. Het is mogelijk de aan het grondwater onttrokken warmte te compenseren met de afvalwarmte van bijvoorbeeld een centrale of een andere overdaad-aan-warmteproducent. Een extra warmtewisselaar van waaruit de overvloedige warmte wordt afgestaan aan het water in de terugvoerpijp zorgt ervoor dat het reservoir retourwater krijgt met een temperatuur die maar weinig verschilt van de beneden heersende.

Wie zó z'n warmte weet te beheren, nadert wel degelijk de duurzame ontwikkeling.

Opslag restwarmte

De aanvulgedachte heeft een vervolg gekregen in technieken om zomerse warmte-overschotten in de (goed isolerende) bodem op te slaan om die 's winters weer in te zetten. In het hoofdstuk 'Ruimte in de ondergrond' wordt daaraan aandacht besteed.

Het zwarte goud

De zuidelijke Nederlanders wisten in hun sterk geplooid landschap met de lagen uit het Carboon en Tertiair dicht bij de oppervlakte reeds snel de weg naar de steenkool te vinden. Bij Kerkrade groeven ze al in de Middeleeuwen de steenkool op en in de achttiende eeuw werd er bij Kloosterrade reeds in een vijftal kleine schachten zwart goud gedolven.

Pas in de eerste helft van de twintigste eeuw pakte in Limburg de Staat de mijnbouw terdege aan. Zij werd daarbij gestimuleerd door een sterk ontwikkelende industrie en de wetenschap dat een goede spoorverbinding transport naar het westen van het land mogelijk zou maken. Er kwamen vier grote staatsmijnen waaruit in het topjaar 1960 niet minder dan 23 miljoen ton steenkool werd gewonnen. De prijs van de Limburgse steenkool was echter hoog: de mijnen konden niet concurreren met de import die over Rotterdam in miljoenen tonnen werd (en wordt) aangevoerd. De stroom olie uit de Golfstaten en het aardgas uit Groningen meegewogen, besloot de regering de mijnen in 1965 te sluiten. Men heeft het daarbij voor lief genomen dat we van de invoer afhankelijk werden, terwijl er bovendien een forse voorraad in de bodem werd achtergelaten.

Milieuprobleem

Kool is versteende turf; plantenresten vormen het basis-materiaal. De meeste kolen bevatten bestanddelen die bij verbranding een belasting vormen voor het milieu. Vooral de zwavel, die bij verbranding overgaat in zwaveldioxyde (SO_2), is een gevaar voor milieu en gezondheid. In Engeland heeft men het al vroeg ervaren! De luchtverontreiniging boven Londen nam reeds in het jaar 1306 dusdanige vormen aan dat de stank en overlast de burgers teveel werd. De plaatselijke autoriteiten stelden een algemeen verbod op het stoken van kolen in, de oorzaak van alle ellende. Hoewel de Engelsen steenkool als het ware voor het oprapen hadden, moesten ze overschakelen op hout. Of het daarna echt schoon boven Londen werd, vermeldt de geschiedenis niet.

Schone energie uit steenkool halen is een ingewikkelde zaak. Omdat steenkoolverbranding bij veel industriële processen een essentiële rol vervult, is in de laatste jaren veel aandacht besteed aan het verbeteren van de verbrandings- en afvoertechnieken. Kolenvergassing is volgens veel onderzoekers

de juiste weg. TNO voltooide een project over wervelbedverbranding. Hoewel de nieuwe technieken de uitworp van milieubelastende stoffen per geproduceerde joule aanzienlijk beloven te reduceren, moet ruimere toepassing in de praktijk nog aantonen dat wervelbedverbranding en vergassing schone verbranding van kolen mogelijk maken.

Kolen nemen nog altijd een belangrijk deel van de energie-opwekking in Nederland voor hun rekening; de laatste jaren wordt hun bijdrage aan de opwekking van elektriciteit zelfs groter. Van de ongeveer 2.700 petajoule die Nederland in 1988 aan energie omzette, nam steenkool zo'n 350 PJ voor z'n rekening. In het jaar 1950 zou dat meer dan de helft van alle opgewekte energie zijn geweest. In gewicht uitgedrukt gaat het nog altijd om ruim 13.000 miljoen kg steenkool.

Het ontwikkelen van het systeem van (bovengrondse) kolenvergassing heeft het betrekkelijk oude idee van ondergrondse kolenvergassing (Lenin publiceerde er al over) nieuw leven ingeblazen. Het moet mogelijk zijn in steenkoollagen op grote diepte (tussen 900 en 1800 meter) een beheerst vergassingsproces in gang te zetten. Eenvoudig gezegd komt het hier op neer: er moeten gaten in de grond worden geboord om er verbrandingslucht in te blazen en andere gaten om de verkregen gassen uit de grond te voeren. Vanzelfsprekend moeten er tussen de eerste en de tweede categorie gaten dwarsverbindingen worden geboord voor het kunnen onderhouden van een continue proces.

Degenen die steenkoolvergassing zien als een reële mogelijkheid, wijzen op de omvang van de voorraden steenkool die er onder ons land op grote diepte liggen. Een 'kunstmatig' gasveld zou het energiecomfort dat 'Groningen' biedt met tientallen jaren kunnen verlengen. Dat kolenvergassing wel degelijk van praktische betekenis kan zijn, is reeds aangetoond in Zuid-Siberië. Daar hebben twee elektriciteitscentrales gedraaid op gas dat (Lenin had z'n zin gekregen) was verkregen door ondergrondse vergassing van bruinkool en steenkool.

In Europa zal, naar verwachting van de deskundigen, vergassing nog een tijd als niet meer dan een theoretische

Ondergrondse vergassing

mogelijkheid op de plank blijven; in Nederland in ieder geval tot ná het jaar 2000. De Nederlandse aardgasvoorraden bieden de kans eventuele ondergrondse kolenvergassing geleidelijk in te passen in ons energiesysteem. Op de praktijk gericht onderzoek zal moeten aantonen of het proces een schoon produkt kan opleveren en of de 'vervaardiging' van dat produkt aan de criteria van duurzame ontwikkeling kan voldoen.

Waarschijnlijk is er ook nog een andere wijze om ondergronds energie uit steenkool te winnen. Veel steenkoollagen bevatten namelijk methaangas (moerasgas, dat in deze context ook wel wordt aangeduid als 'coal bed methane'). Door een gat in de steenkoollagen te boren en een onderdruk aan te brengen, zou dit gas kunnen worden gewonnen.

De jaknikkers van Nederland

In Schoonebeek, Rijswijk, IJsselmonde, Wassenaar, Schiebroek en Ridderkerk staan jaknikkers die er in een geduldig tempo voor zorgen dat Nederland een oliestaat(je) is. De jaknikkers trekken aan de taai door het reservoir in de ondergrond stromende olie. Het is niet overal nodig: soms komt de olie op eigen druk naar boven. Maar in ons land moet de olie meestal omhooggepompt worden.

Nederland heeft in z'n ondergrond op een aantal plaatsen olie, iets wat gezien de geologische voorgeschiedenis ook voor de hand ligt. Schoonebeek werd in 1943 het eerst ontdekt, de voorkomens in het westen volgden een aantal jaren later. De olie bevindt zich in mariene zandsteenlagen die rond de 150 miljoen jaar geleden werden gevormd.

Er is nu alles bij alles een kleine 70 miljoen kubieke meter olie uit de Nederlandse ondergrond gewonnen. De geologen schatten op 1 januari 1991 dat er nog een reserve was van 65 miljoen ton, goed voor 2700 petajoule energie. Hiermee zouden we in theorie één jaar onze energiebehoefte kunnen dekken.

Smeerolie voor de economie

In Nederland wordt veel olie gebruikt, vooral in het verkeer maar ook in andere processen. Rotterdam is de aanvoerhaven met de grote getallen. Van groot economisch belang is de petro-chemische industrie. Veel van de ruwe olie die daar

wordt verwerkt, gaat in geraffineerde vorm of omgevormd tot chemisch produkt weer de grens over. In 1988 werd voor een waarde van meer dan 15 miljard gulden aan ruwe aardolie en aardolieprodukten ingevoerd en er ging voor bijna 12,5 miljard gulden aan aardolieprodukten het land uit. De uitvoer van organische chemische produkten bedroeg daarop nog een 12 miljard. Er kan met reden worden gezegd dat olie onze economie smeert. De olie uit onze eigen bodem doet daar op bescheiden schaal aan mee.

53

Er zijn vele soorten olie: zwavelrijk, zwavelarm, glad vloeibaar, taai als teer. Olie verbranden gaat dikwijls gepaard met verontreiniging van de lucht. Er worden in ieder geval stikstofoxyden (NO_x), kooldioxyden (CO_2) en zwaveldioxyde (SO_2) gevormd, maar er komt meestal nog een 'keur' van andere stoffen bij vrij. Na de snelle bouw van de petrochemische agglomeratie in Botlek/Europoort en het grootschalig in gebruikstellen daarvan, ging het in de zeventiger jaren klachten regenen: SO_2 bleek bij metingen de grote vervuiler, de andere stoffen bleven (soms ongemeten) op de achtergrond.

Olie en duurzame ontwikkeling

Er is na die jaren veel gedaan om schoner te verbranden, op industriële schaal, maar ook op kleinere, bijvoorbeeld bij auto's via de geregelde katalysator. Toch levert de verbranding van olie nog een wezenlijke bijdrage aan grote milieuproblemen als verzuring (SO_2 en NO_x), smog (NO_x) en het broeikaseffect (CO_2).

Olie wordt gewonnen op vele plaatsen in de wereld. Er is nog voldoende voor méér dan enkele decennia. De Nederlandse bronnen die wellicht nog worden aangevuld vanuit het Continentale plat, leveren een welkome bijdrage. De rol die olie in de komende jaren in het economisch systeem zal vervullen, blijft minstens op het huidige niveau. In het kader van de duurzame ontwikkeling richt veel aandacht zich op het schoner verbranden en op het verkrijgen van een hoger rendement. De spectaculaire resultaten van de auto-industrie, die thans middenklassers produceert die toe kunnen met de helft van de benzine die ze nog maar tien jaar geleden opslochten, geven aan dat ook technologische vernieuwing hier belangrijke bijdragen kan leveren.

Voor de olie-exploratie en dito exploitatie op zee wordt naarstig gezocht naar methodes die voorkomen dat het ecologisch systeem rond een booreiland wordt verstoord. Het gaat vooral om het ontwikkelen van schone toeslagstoffen voor boorgruis en boorspoeling. Onderzoek van TNO toonde aan dat de huidige toeslagstoffen invloed hebben op het milieu van de bodem rond de booreilanden. Voor industriële verbrandingstechnieken geldt dat minder 'end-of-pipe'-technieken en méér zorgvuldige dimensionering van de verbrandingsprocessen (met inzet van sensoren en computers) steeds betere resultaten oplevert. Op weg naar duurzame ontwikkeling blijft olie, zo schoon mogelijk gewonnen en zo schoon mogelijk gebruikt, een onmisbare bodemschat.

6. Ruimte in de ondergrond

De 42.000 vierkante kilometer oppervlak van Nederland wordt zo intensief gebruikt dat we soms vastlopen in het verkeer, op spoorwegstations, op het water; zelfs in de lucht is sprake van wachtrijen. Toch is er ruimte; gaan we enkele meters onder de grond dan verveelvoudigen we de beschikbare vierkante kilometers. En willen we voor bepaalde acties flink wat dieper dan is de techniek daarvoor beschikbaar. We hebben geleerd van kolenmijnen, zoutwinning, olie- en aardgas. We zijn al aardig thuis geraakt in de ondergrond. We maken lange tunnels, metroverbindingen, parkeergarages, rivierkruisingen.

55

Soms leggen we de ondergrond voor gebruik open door middel van de aanleg van kunstwerken, soms ook heeft het gebruik uit vroeger jaren holten in de ondergrond opgeleverd waar we een toepassing voor vermoeden. We kunnen daarbij denken aan uitgeputte aardgasvelden, de zoutholten en kolenschachten maar ook, zoals eerder is beschreven, aan watervoerende lagen die 'ruimte' bieden aan de opslag van warmte. Juist projecten als de laatstgenoemde kunnen een belangrijke bijdrage leveren in het streven naar duurzame ontwikkeling.

Een bevrijdende rol kan de ondergrond vervullen als plaats voor transport. Aardoppervlak, waterwegen en luchtruim kunnen bij inzet van de ondergrondse ruimte worden ontlast en meer doelmatig worden gebruikt. Lange wachttijden (en de hoge kosten daarvan) kunnen worden voorkomen.

	energieverbruik (ton olie- equivalent)	bevolking	transport (aantal auto's)	industriële productie (\$ 1000)	vee
USA	81	23	12	42	12
Japan	892	298	47	446	30
Nw. Zeeland	38	11	4	5	226
België	1348	321	84	593	248
Frankrijk	307	97	28	174	84
Nederland	1595	334	128	568	334
UK	833	229	59	229	169
W. Duitsland	986	248	72	713	145

Tabel 3
Grote concentraties van intensief producerende, vervoerende en consumerende mensen vereisen in het kader van duurzame ontwikkeling aparte zorg. De tabel toont de milieubelastingfactoren van een aantal landen in hoeveelheden per km² (DGM VROM).

Bron: DGM VROM

In het eerste hoofdstuk is erop gewezen dat het op het oppervlak van Nederland, vooral in het westelijke deel, erg vol is. Waarom zoeken we het voor verkeer, vervoer en werk niet in de ondergrond?

In feite wordt er ondergronds al veel vervoerd. Kijken we naar de pijpleidingen onder Nederland door, dan is dat een netwerk dat in strekkende kilometers het aantal kilometers van de verharde wegen royaal overtreft. En het is zelfs een veelvoud van wat er in ons land aan spoorbaan is. De getallen zijn: leidingen 293.000 km; verharde wegen ruim 100.000 km en spoorwegen 2.800 km. De verharde wegen lopen trouwens niet allemaal bovengronds; ongeveer 55 km gaat onder het aardoppervlak door. Daar zitten, zoals onder andere voor de grote rivierkruisingen, knappe staaltjes ondergronds bouwen tussen.

We benutten de ruimte ondergronds dus reeds; de tabel hieronder uit de studie 'Goederenvervoer per pijpleiding' van het Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid geeft een goede indruk.

Ondergrondse pijpleidingen

gasleidingen	150.000 km
waterleidingen	90.000 km
rioleringen	50.000 km
leidingen voor andere goederen	3.000 km
Totaal	293.000 km

De vervoersprestatie in Nederland in 1992 is indrukwekkend: niet minder dan 15% van het goederentransport in Nederland gaat ondergronds. De tabel hieronder geeft een beeld.

aardgas	45 miljard m ³
drinkwater	1.300 miljard liter
afvalwater	1.300 miljard liter
olie- en olieprodukten	40 miljard liter
chemische produkten	2 miljard liter

Aan de vervoersprestatie voor aardgas moet nog 38,6 miljard kubieke meter voor export worden toegevoegd, benevens 9,8 miljard kubieke meter voor doorvoer. Getallen over de waarde van de vervoerde produkten moeten worden geschat: van het aardgas is het verkoopprijs bijna 19 miljard gulden; zelfs bij een conservatieve schatting is het aannemelijk dat er tussen de 30 en 40 miljard gulden aan waarde door de ondergrond wordt getransporteerd. Daarbij wordt voorbijgezien aan de bijzondere waarde. De aardgas-, drinkwater- en afvalwater-infrastructuur van Nederland geeft een draagvlak aan onze sociaal-economische activiteiten en is van groot belang voor de leefbaarheid van ons land.

57

Zoals bekend is er ook ondergronds personenvervoer. De Rotterdamse metro (netlengte 13,8 km) vervoerde in 1991 meer dan 76 miljoen passagiers. Men moet zich niet voorstellen wat het zou hebben betekend als de Rotterdamse passagiers, al was het maar een deel van de volwassenen, zouden hebben deelgenomen aan het wegverkeer. Het aantal opstoppen in de spitsuren zou zijn verveelvoudigd, de vervuiling (vorming van zomersmog) zou zijn toegenomen en er zou veel extra energie zijn gebruikt.

Vervoer ondergronds geeft slechts een beperkte milieubelasting. Door méér ondergronds te vervoeren, kan de letterlijk benauwende invloed van het verkeer op mens en natuur worden gereduceerd. Personenauto's worden weliswaar steeds schoner maar in de eerste plaats geldt dat in mindere mate voor vrachtauto's en in de tweede plaats gaat de winst van het minder uitstoten per auto verloren door het stijgend aantal auto's.

Schoon en met weinig energie

Er zijn weinig cijfers over de vervuiling van het milieu door het vervoer per pijpleiding. In een notitie 'Riolering' van de overheid wordt geschat dat 10 à 15% van de riolering is (of kan) gaan lekken door veroudering. Ook gaspijpen in oude stadsdelen zijn soms aan vervanging toe.

Bij het opwekken van de energie die (soms) nodig is voor het vervoer ondergronds, wordt het milieu in beperkte mate belast. De compressorstations van Gasunie en de pompen van de waterleidingbedrijven en de rioleringen vergen een

bepaalde hoeveelheid energie en geven enige vervuiling. Om een vergelijking mogelijk te maken van de milieuvervuiling door een aantal transportsystemen kan worden gekeken naar de energie-intensiteit van verschillende vervoerswijzen.

	MegaJoule per tonkilometer
wegvervoer	1,81
binnenvaart	0,32
railvervoer	0,54
pijpleiding	
- olieprodukten	0,11-0,18
- kolenslurry	0,17-0,33

Vervoer per pijpleiding vergt minder dan eentiende van de energie nodig voor vervoer per vrachtauto. Ook railvervoer en zelfs de binnenvaart verbruiken meer energie. Omdat de vereiste energie voor de transportdruk onder gunstige omstandigheden kan worden opgewekt, mag bovendien worden aangenomen dat de uitstoot per 'transportjoule' minder bedraagt dan die van vrachtauto of binnenvaartschip. Het railvervoer dat voor het overgrote deel z'n energie van de elektriciteitscentrales betreft, is ook zuinig met energie en relatief milieuvriendelijk. Dat geldt tevens voor de ondergrondse trein of tram.

Worden in ons land, zoals uit het voorgaande is gebleken, al verscheidene produkten ondergronds vervoerd, er is meer ondergronds vervoer denkbaar, zeker wanneer we kijken naar de transportprognoses van het Gemeentelijk Havenbedrijf van Rotterdam. Zelfs als de Europese economie niet groeit, verdubbelt de vervoersvraag op het gebied van vaste brandstoffen (kolen). Bij redelijke groei wordt de vraag naar kolen zelfs driemaal zo groot als de huidige. Voor ijzererts blijft de vraag bij een nul-groei scenario gelijk, bij redelijke groei moet er anderhalf maal zoveel worden getransporteerd. Wie transport aanbiedt, bevindt zich op een gunstige markt.

Zowel vaste brandstoffen als ijzererts kunnen gemengd met water of olie als 'slurry' uitstekend door buisleidingen worden vervoerd. Kolen worden ook wel tot capsules geperst. Beide technieken zijn in Amerika gangbaar. Bij

redelijke afstand concurreren ze gemakkelijk met vervoer over weg of rail. Methodes die zich eveneens aandienen zijn die waarbij zich sleden mechanisch door een vervoersbuis voortbewegen en grootschalige 'buisenpost'. Bij de laatste methode worden flexibele containers pneumatisch door de leiding naar hun bestemmingen gejaagd.

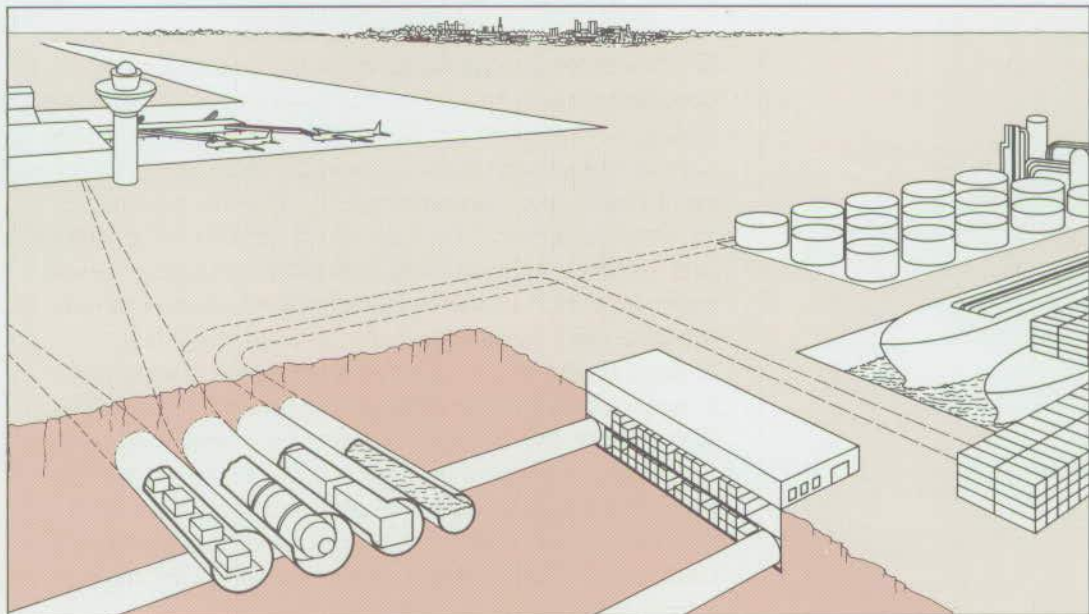
De techniek voor het aanleggen van ondergrondse transportvoorzieningen heeft in de laatste decennia een snelle ontwikkeling doorgemaakt. Was het in de zeventiger jaren nog een massale operatie wanneer een buisleiding een rivier over moest, thans zijn er horizontale boormethodes die het mogelijk maken het water te kruisen zonder dat de binnenvaart er hinder van ondervindt. Het spreekt vanzelf dat de projecten van dit type moeten worden voorbereid via zorgvuldig onderzoek van de ondergrond.

In Japan zijn ondergrondse boortechnieken reeds veelvuldig toegepast voor tunnels ten behoeve van weg- en railtransport. De methode waarbij een boorschild 'gesmeerd' met een vloeistof (slurry-shield) ruimte schept voor een enkele of dubbele buis, is de tot nu toe meest gebruikte. Ook het

Techniek is er klaar voor

59

Een niet zonder werkelijkheidszin getekende toekomstvisie op ondergronds vervoer. Voor kolen en erts is de 'slurry' vorm al ruimschoots beproefd, de ondergrondse containerisatie en 'buisenpost' lijken er aan te komen.



grondddrukschild is in zwang: voor het boren onder Tokio, waar de ondergrond niet beduidend verschilt van die onder het westelijk deel van onze randstad, zijn boormethodes ontwikkeld om de weg vrij te maken voor grote buizen (diameters van meer dan 8 meter zijn mogelijk). De stabiliteit van de ondergrond bij het doorvoeren van de tunnelbuis wordt veelal verzekerd door het injecteren van dunne mortel (jet-grouting).

Omdat het in een stad als Tokio in feite onmogelijk is de infrastructuur gedurende een lange periode te verstoren door een (metro)bouwproject van forse omvang, worden de stations aangelegd in grotendeels afgedekte bouwputten. Een station vormt dan de basis van waaruit de boorwerkzaamheden worden voorbereid en uitgevoerd.

Tokio ondergronds zal niet beperkt blijven tot de metro met z'n stations, winkelgalerijen en bijpassende voorzieningen. In aanleg is thans de 'Trans Tokyo Bay Highway', een autotunnel onder de stad door van 10 km lengte. Een schild van 14 meter diameter boort volgens de slurry-shield methode een weg. De wand van de tunnel bestaat uit prefab-segmenten met een binnenring erin die in het werk wordt gestort. Deze binnenring fungeert als extra ballast en als brandbescherming. De tunnel zal uiteraard mechanisch worden geventileerd; om de vijf kilometer staat een ventilatiegebouw.

De technici hebben thans onder andere hun aandacht gericht op het boren van nagenoeg rechthoekige doorsneden in zachte ondergrond door middel van schilden met schijven die buitenmiddelpuntig draaien (kolderschijven). Tevens wordt ernaar gekeken of men bij het werken met grondddrukschilden met samengeperste lucht milieuvriendelijk chemisch schuim kan injecteren in plaats van betoniet. Ook aan de automatisering van het boorproces wordt hard gewerkt. Een besturingsprogramma kan straks zelflerende regelingen introduceren. Punt van aandacht is daarbij het vroegtijdig detecteren van in de grond voorkomende obstakels en het ontwijken daarvan. Het gaat onder andere om het ontwikkelen van geschikte sensoren en aansluitende besturingssystemen.

Tokio onder de grond ligt op veel plaatsen diep. Op veertig meter heeft men vooralsnog niet al te veel te duchten van het 'oude' net van rioleringen, waterleiding, gas-, elektriciteit- en telefoonleidingen. Bovendien vindt men op deze diepten, zoals in het westelijk deel van Nederland, de stevige lagen waarop de nieuwe infrastructuur betrouwbaar kan rusten. In feite is de ondergrond van Tokio te vergelijken met die van het westelijk deel van Nederland. Er is van het 'Japanse model' dan ook ongetwijfeld het een en ander te gebruiken.

61

Dat Nederland zelf ook al goed onder de grond weet te bouwen bewijst de Dienst Gemeentewerken Rotterdam met de bouw van een nieuw metrostation onder 'de Kop van Zuid'. Het wordt zeventien meter diep, rond de metrobuïs in een waterdichte, droge bouwput, geconstrueerd. De open put komt vlak naast de Maas, het eerste constructieve deel wordt het dak! Dat is mede nodig om de bestaande metrobuïs te kunnen fixeren. Voor de uitbreiding van de twee bestaande Rotterdamse metrolijnen wordt thans gedacht aan de boormethode. Rekenmodellen van het bureau Geotechniek en Milieu van de gemeente Rotterdam tonen aan dat de ondergrond er niet ongeschikt voor is. Met de herinnering in het hoofd aan de opengebroken stad, die met de aanleg van de eerste lijnen gepaard ging, is boren voor de bewoners een aantrekkelijk idee.

De gemeente Rotterdam is niet de enige instelling die nadenkt over ondergronds transport van personen en goederen. Rijkswaterstaat, de NS en 'Grondmechanica Delft' willen in samenwerking een aantal ideeën onder de loupe nemen. De hogesnelheidslijn, de Betuwelijn, de spoorlijn door Delft en Rijksweg 73 tussen Venlo en Maasbracht, zouden geheel of gedeeltelijk ondergronds minder problemen opleveren dan bovengronds. In vier werkgroepen wordt gekeken naar de haalbaarheid van de ondergrondse optie. Het is duidelijk dat economische factoren een belangrijke rol spelen.

Om de mate van de betrouwbaarheid onder de grond te leren kennen, maken de ontwerpers en de aannemers van tunnels en buisleidingen gebruik van moderne geotechnische methoden. In Nederland is op dit gebied veel kennis en ervaring voor

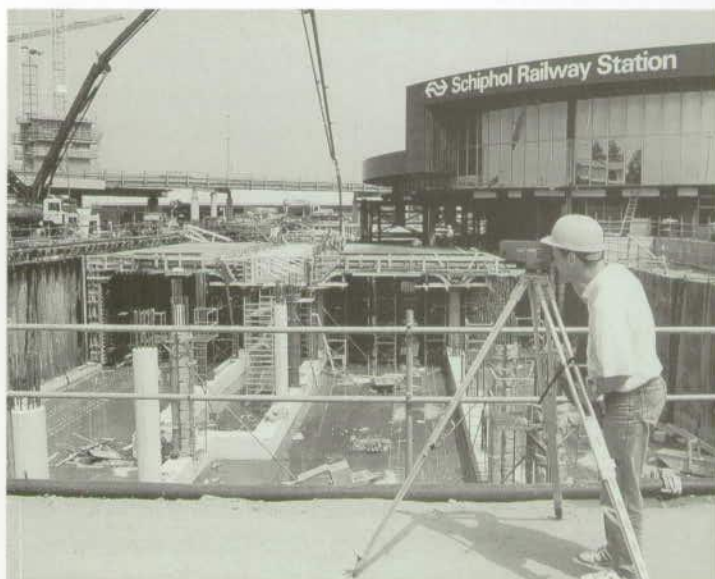
Geotechniek

handen. Het onderzoeksinstituut Grondmechanica Delft beschikt over veel expertise en toegespitste meetapparatuur. De initiatiefnemer tot meer vervoer ondergronds kan alle gewenste informatie in gemakkelijk hanteerbare vorm tot zijn beschikking krijgen.

Precieze kennis van de opbouw en structuur van de ondergrond is van groot belang. De invloed van zettingen als gevolg van tunnel- en leidingenbouw en van veranderingen in de grondwaterstand moeten van tevoren bekend zijn om sluitende berekeningen te kunnen maken. De verticale rek in de grond ter plaatse van bestaande funderingen bijvoorbeeld mag niet meer zijn dan 0,5 procent. Bij bouwen in de ondergrond van intensief met palen en leidingen doortrokken steden als Rotterdam en Amsterdam en intensief gebruikte haven- en industriegebieden is zorgvuldigheid en voortdurende bewaking vereist.

Prijs voor duurzame ontwikkeling

Een compleet ondergronds net blijkt in een dichtbevolkte stad als Tokio inderdaad de bewoners van de straat te houden. Bijna iedereen gaat met de trein of de metro naar z'n werk, in de stad zijn nauwelijks particuliere auto's aan te treffen, ook niet geparkeerd bij kantoren en andere werkplaatsen. Rijdt er een auto, dan is het bijna altijd een taxi, de



Bouwput voor de ondergrondse Schiphollijn.

gepreciseerde aanvulling van het dichte ondergrondse net.

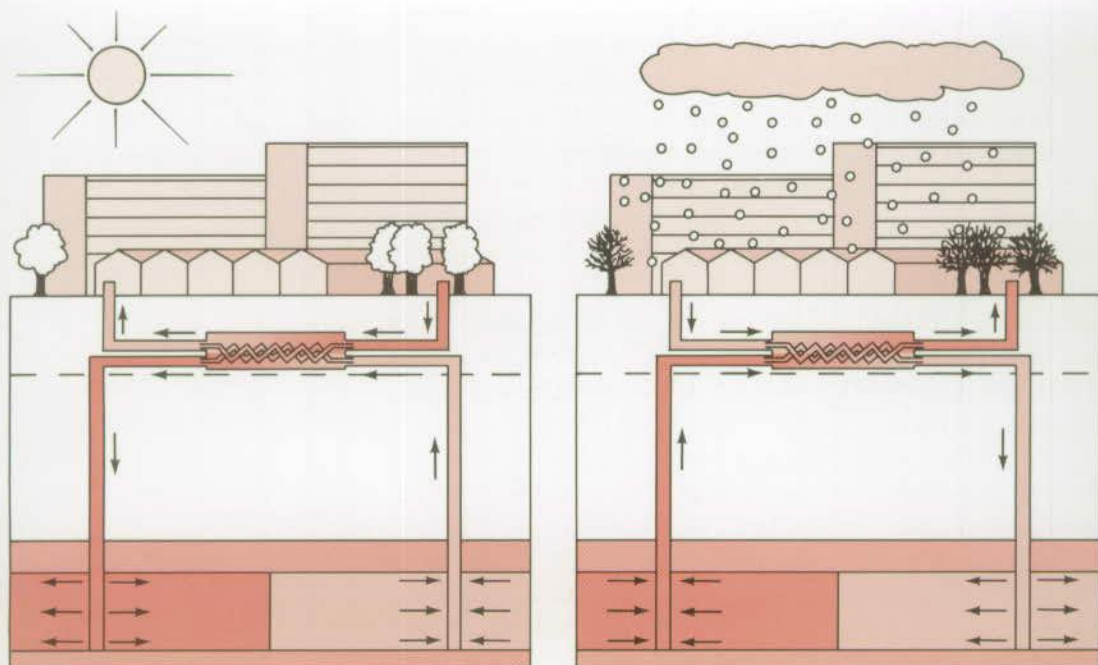
Kijken we naar de bijdrage van het ondergrondse systeem aan duurzame ontwikkeling, dan is het duidelijk dat er een beduidende energiebesparing in de verplaatsingen wordt bereikt en een overeenkomstige beperking van de uitstoot van verontreinigende stoffen. Om dit te bereiken en om het bovengrondse proces van wonen, werken, vervoeren en recreëren ongestoord te laten, zijn forse investeringen gedaan. Schattingen van het verschil tussen de aanleg van een ondergrondse verbinding via de traditionele sleufmethode en de aanleg via boren geven aan dat boren ruim anderhalf maal duurder is.

In Japan weerspiegelen de vervoersprijzen redelijk goed de werkelijke kosten: er wordt minstens kostendekkend getransporteerd. De snelle, comfortabele Shinkansen, die zeer frequent (elke tien minuten) rijden, bieden voor één persoon 500 kilometer vervoer voor 200 gulden, twee-en-een-halve kilometer voor een gulden. Duurzame ontwikkeling heeft z'n prijs, zeker als hij wordt nagestreefd in een overvolle agglomeratie.

In het hoofdstuk over aardwarmte is een methode beschreven om de ondergrond te gebruiken als opslag van overtollige warmte. De restwarmte van een industrieel proces of van een centrale wordt naar een watervoerende laag in de ondergrond gebracht; de isolerende grondlaag erboven houdt de warmte op peil. In de winter wordt het verwarmde water van de watervoerende laag omhoog gehaald en via een warmte-wisselaar overgedragen op een passend verwarmingssysteem. De 's zomers gehamsterde energie is in de winter een goedkope warmtebron.

Het systeem kent een reeks van variaties. Om te beginnen in de diepte van de boring. Omdat men de 'eigen warmte' gebruikt, is het niet altijd nodig te boren tot diepe warme gebieden. Bij het inzetten van een warmtepomp kan men zelfs met relatief geringe diepten al goede resultaten bereiken. De warmtepomp kan immers met een minimum aan energie een temperatuur van 20° à 30° C gemakkelijk opvoeren tot een goede temperatuur voor verwarmingswater.

Ondergronds energie hamsteren



De figuur schetst de mogelijkheid om de ondergrond als warmte-opslagbuffer te gebruiken. In geval van overschot wordt de warmte via een warmtewisselaar in een daarvoor geschikte aardlaag opgeslagen. Is er extra warmte nodig dan kan men de omgekeerde weg bewandelen.

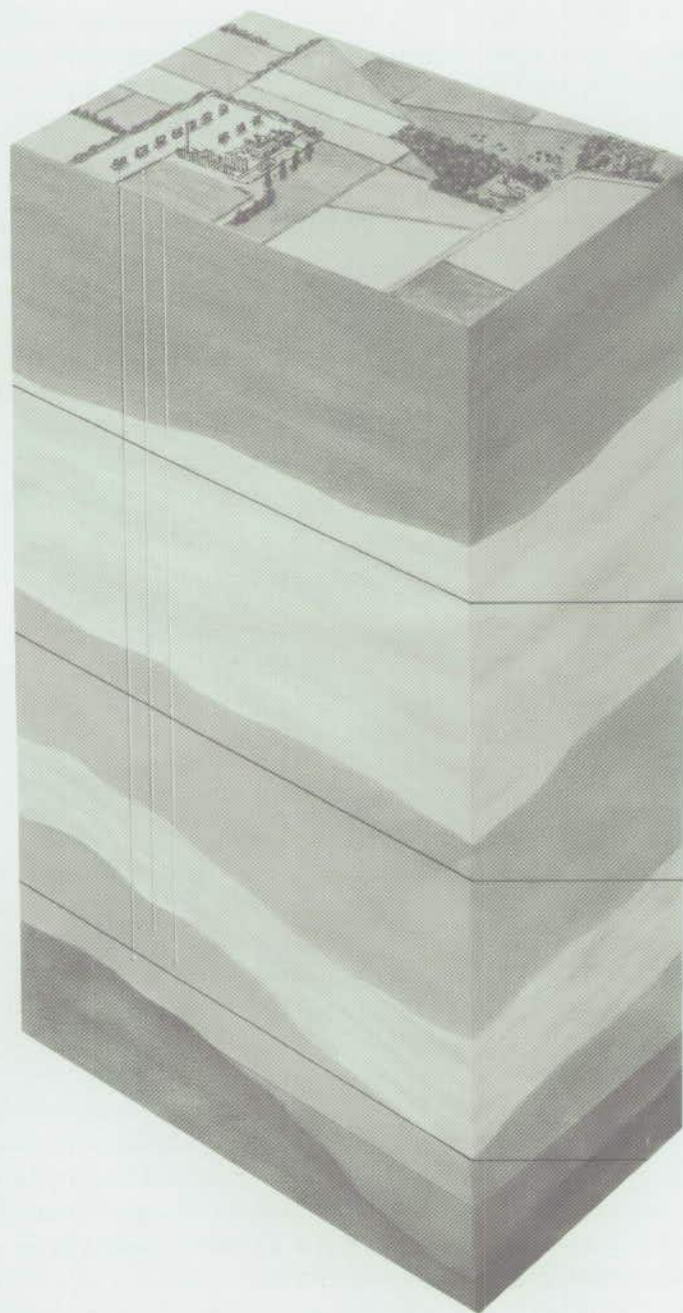
Interessant is ook het inzetten van door de zon verwarmd water als warmtevoorraad. In de woonwijk Beijum van de stad Groningen profiteert een blokje woningen van zonnewarmte die wordt opgeslagen in een fors ondergronds bassin. Zonnecollectoren leveren aldus via warmte-opslag in de ondergrond een substantiële bijdrage aan de energievoorziening. TNO was nauw bij dit project betrokken.

In gevallen als de drie bovengenoemde kan men met recht spreken van duurzame ontwikkeling.

Gasbuffer voor koude dagen

Haalt de gasindustrie het aardgas gewoonlijk uit de grond, vanaf 1994 zal de NAM in het Drentse Norg aardgas de grond in pompen. Het zal gebeuren in een thans operationeel gasveld. Met compressoren wordt het gas naar 3000 meter diep gestuwd en op een druk van 300 bar gebracht. De voorraad krijgt de normale druk van een gasveld in de vroege produktiefase.

De berging onder Norg is in eerste instantie nodig om het aardgas, dat op het continentaal plat wordt gewonnen en dat



Onder meer bij Norg creëert de Gasunie aardgasbuffers. Het aardgas wordt onder hoge druk in de bodem geperst en kan bijvoorbeeld in extreem koude winters als extra bron worden aangesproken.

niet direct op de markt wordt gebracht, op te slaan. In de eerste jaren wordt 'Norg' vervolgens gebruikt als stabilisator bij het op kwaliteit en transportdruk brengen en houden van de importgassen waarmee de 'spaarpot' Groningen wordt ontlast.

In een latere fase dient de berging als garantie voor de gaslevering in extreem koude periodes. Het Groningen veld is over een aantal jaren zover uitgebaat dat de transportdruk ervan de grote vraag niet aan zal kunnen. 'Norg', maar ook met gas gevulde zoutholten onder de provincie Groningen kunnen dan bijspringen met hoge druk en ruime voorraad, waardoor de verwarmingsketels in de Randstad hun aardgas blijven krijgen. Overigens heeft het transportsysteem nog een tweede reserve voor de koude dagen in de vorm van een (bovengrondse) opslag van vloeibaar aardgas op de Maasvlakte.

Veilig opgeslagen?

De ondergrond van Nederland biedt ruimte. Soms, zoals na zoutwinning, zijn er ware zalen in de diepe ondergrond ontstaan van honderden vierkante meters oppervlak en grote hoogten. Het is te begrijpen dat degenen die met een afvalprobleem zitten aan de zoutkoepels denken; wie radioactief afval kwijt moet wel in de eerste plaats.

In 1981 is besloten het dumpen in zee van het Nederlandse laag- en middelradioactieve afval stop te zetten. Vervolgens is gekozen voor een 'langdurige tijdelijke' opslag voor alle soorten radioactief afval op één lokatie in ons land. Uitgangspunt is de mens en zijn omgeving te beschermen tegen nadelige effecten van blootstelling aan straling.

Het hoogradioactief afval van de Nederlandse kerncentrales (bestraalde splijtstofelementen) bevindt zich thans nog voor het overgrote deel in Frankrijk en Engeland. Er zijn echter contracten die inhouden dat het afval, dat bij opwerking van de splijtstofelementen ontstaat, in de tweede helft van de negentiger jaren moet worden teruggenomen. De verantwoordelijkheid voor de opslag ligt dan weer in ons land.

Hoewel Nederland bepaald geen grote producent van radio-

actief afval is, gaat het toch om enkele duizenden kubieke meters, de gedegen 'verpakking' meegerekend. De langdurige tijdelijke opslag voor een periode van 50 tot 100 jaar is in het Sloegebied (Borsele) gepland. In die periode moeten opties voor definitieve verwijdering worden bestudeerd.

Alle categorieën radioactief afval worden opgeslagen op één plaats en één organisatie regelt dat. Met regelmaat wordt de gedachte geopperd de lege zoutkoepels te gebruiken voor het opslag van stralingsvrij verpakt radioactief afval. Het Energieonderzoek Centrum Nederland in Petten heeft modelberekeningen gemaakt die zouden aantonen dat de straling van kernafval niet van nadelige invloed kan zijn op de kwaliteit van de steenzoutformaties. Vaste-stoffysici van de Rijksuniversiteit Groningen die ook berekeningen maakten en laboratoriumproeven deden, menen dat de bestraling van de zouten chemische reacties ten gevolge kan hebben. Aanzienlijke temperatuurverhoging is dan te vrezen en zelfs het smelten van de glasverpakking van het afval.

De wetenschappelijke discussie over het gedrag van radioactief afval in zoutkoepels en van die koepels zelf lijkt nog niet afgerond. Zolang dat niet het geval is, komt bij elke suggestie aangaande het benutten van een bepaalde zoutkoepel de directe omgeving in het geding. Dat geldt trouwens ook voor het dumpen van chemisch afval in de zoutcavernes. In de pioniersjaren s een zoutkoepel bij Hengelo ingestort. In gebieden waar aardgas wordt gewonnen komt bij discussies over opslag in zoutholten de bodemdaling al snel op de agenda. Omwonenden hebben moeite te geloven in de veiligheid van de ondergrond wanneer bodemdaling tot 60 cm een aanvaarde geologische optie is. Er is méér onderzoek nodig, wil men de omwonenden kunnen overtuigen van de veiligheid van de opslag van radioactief of chemisch afval. Op zich is dat een goede zaak, want de vraag of het gebruiken van de ondergrond voor het langdurig opslaan van moeilijk of niet afbreekbare schadelijke stoffen past in het streven naar duurzame ontwikkeling, dient ook nog te worden beantwoord. Desnoods met toedeling van de functie van veilige loopplank naar 'duurzame tijden'.

Een idee van opslag in de ondergrond dat in de laatste jaren

Ondergrondse zuivering

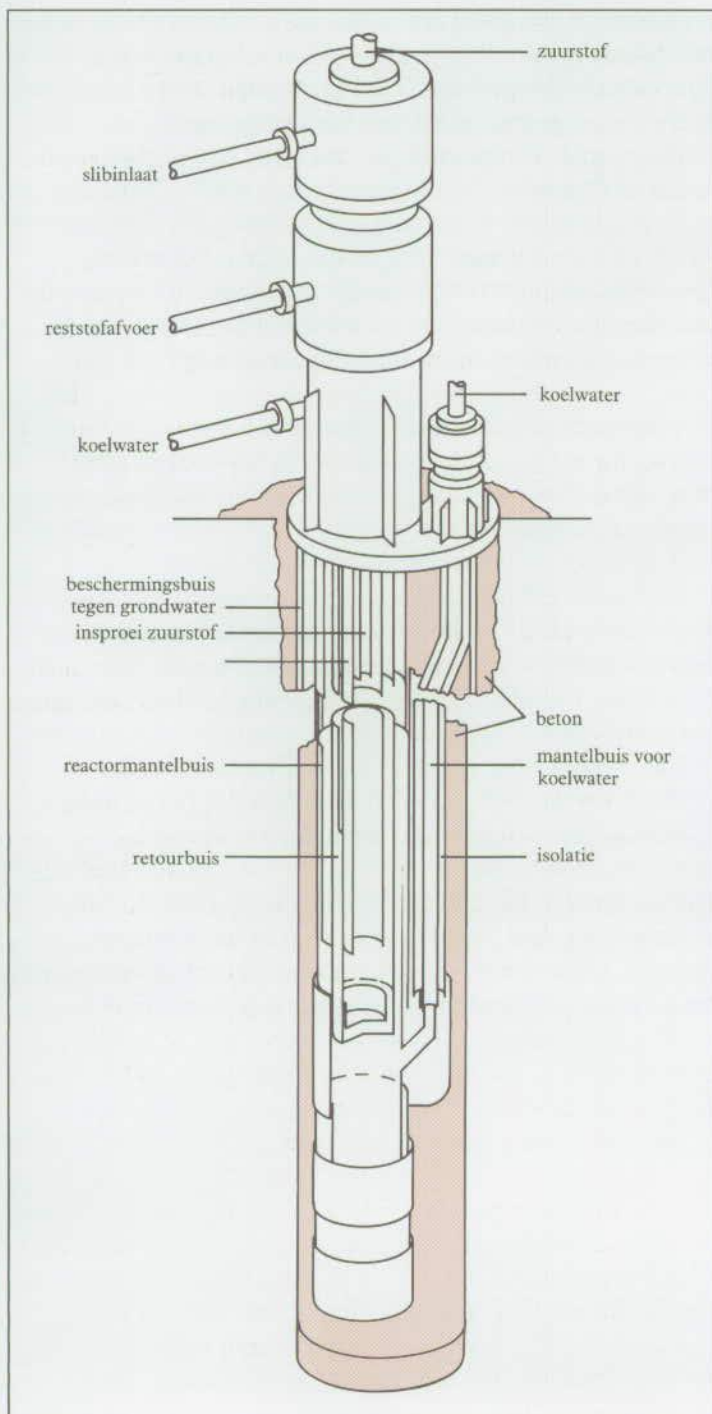
geregeld opduikt is het injecteren van afvalgassen, met name het 'broeikasgas' CO_2 , in de vrijgekomen poriën van bijvoorbeeld leeggewonnen aardgasvelden. Het milieu-bedreigende gas komt dan op een 'veilige' plek terecht en wellicht kan het bij verhoogde druk ook nog nuttig worden gemaakt.

Ruim 1200 meter onder Apeldoornse grond wordt vanaf januari 1993 bijna 10% van het Nederlandse zuiveringsslib gereinigd door middel van natte oxydatie. Hoewel na de behandeling ondergronds nog (beperkte) hoeveelheden zwaveldioxyde en ammoniak (moeten) worden verwerkt, zorgt de ondergrondse reactor voor een doelmatige reiniging. De reactor van het Zuiveringschap Veluwe behandelt al het afval van dat schap en nog een deel van het aangrenzende zuiveringschap.

De verwerking van zuiveringsslib is tot nu toe een groot probleem. Van de bijna 3600 miljoen kg die in 1990 is geproduceerd, werd ruim 910 miljoen kg gestort, 40 miljoen kg verbrand en 2650 miljoen kg opnieuw gebruikt of ergens nuttig toegepast.

Verbranden van slib is niet zonder nadelen, er kan zich dioxine vormen en er komt in ieder geval een reeks milieubelastende stoffen vrij. Daarom wordt natte oxydatie, waarbij de bestanddelen van de onderdelen van de natte massa bij een druk van 10 tot 130 bar en bij temperaturen van 180°C tot 330°C chemisch worden omgevormd, als een betere methode beschouwd. Een bovengrondse installatie die dergelijke krachten en temperaturen kan doorstaan, is echter kostbaar. In Amerika is men erin geslaagd het proces zo op te zetten dat het ondergronds kan worden gevoerd. De proeven ermee zijn goed geslaagd.

De ondergrondse installatie in Apeldoorn zal de eerste in de wereld zijn van forse schaal. Het gaat om niet minder dan 22.000 ton droge substantie per jaar. De diepte van de boring voor de installatie is 1267 m. Binnen een betonnen ommanteling worden verscheidene buizen van hoogwaardige kwaliteit in en om elkaar gevoegd. Het aangevoerde slib wordt ondergronds gemakkelijk op een



Ondergrondse behandeling van zuiveringsslib, zoals nu in voorbereiding in Apeldoorn, biedt duidelijke voordelen. Het slib wordt bij hoge temperatuur en druk met zuurstof behandeld. Een bovengrondse installatie waarmee hetzelfde bereikt zou kunnen worden, zou aanzienlijk kostbaarder zijn.

temperatuur van 280° C gebracht; op 400 meter diepte wordt een overdaad zuurstof toegevoegd. Het buizenstelsel waarin het proces verloopt, heeft een buitendiameter van een meter. In de buitenste buis wordt het nat geoxydeerde slib teruggevoerd. De ingestoken buis zorgt voor de aanvoer ervan en de aanzet van het proces. Een koelsysteem over de volle lengte maakt het proces beheersbaar. De afvoergassen bevatten weinig schadelijke bestanddelen; beperkte hoeveelheden zwaveldioxyde en ammoniak kunnen worden nabehandeld. Uiteindelijk blijven stortbare assen over alsmede (gemakkelijk) te zuiveren afvalwater.

Bovengronds is de installatie bescheiden van afmeting. Via relatief dunne pijpen wordt slib aangevoerd en reststof afgevoerd. Er wordt zuurstof ingebracht en koelwater in- en uitgeleid. Van het ondergrondse proces is boven weinig te zien, te horen of te ruiken.

De voorbereiding van het ondergrondse natte-oxydatieproject is zowel milieutechnologisch als milieuplanologisch zorgvuldig geweest. Er moest een goede bescherming van het grondwater zijn en de ondergrond mocht niet te lijden krijgen van de hoge temperaturen. De gemeente Apeldoorn voldeed aan de plicht van Milieu Effect Rapportage (MER). Uiteindelijk werden alle vergunningen verkregen.

Kijken we naar het project in het kader van duurzame ontwikkeling dan past dit uitstekend in het gewenste patroon. Uiteindelijk wordt het zuiveringsslib zo ontleed dat hergebruik en risicoloze stort van resten mogelijk is.

