

Colofon

Auteur: Henk Leenaers
Redactie: María Camarasa
Fotografie: Anat Zuriël
Vormgeving: Mariëtte Jongen
Projectleiding: Hans Hooghart

Deze artikelen verschenen eerder in NRC Handelsblad, Intermediair en Binnenlands Bestuur. Zij werden voor deze uitgave bewerkt.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze publicatie mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur.

Auteur en uitgever zijn zich volledig bewust van hun taak een zo volledig mogelijke uitgave te verzorgen. Voor eventueel in deze uitgave voorkomende onjuistheden kunnen zij geen aansprakelijkheid aanvaarden, noch voor schade die kan voortvloeien uit gebruik van (gegevens uit) deze publicatie.

TNO.NL

© 2007 Henk Leenaers

ISBN: 978 90 59862166

Dit boek is een uitgave in eigen beheer van Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO.

Onderste

Henk Leenaers

Druk, druk, druk is het in de delta van Rijn en Maas. Zestien miljoen mensen op een veel te klein stukje aarde, dat lijkt vragen om problemen. Zo worstelde Nederland de afgelopen jaren met door droogte bezwijkende veendijken, door zoutwinning dalende bodems en door arseen verontreinigde recreatiestrandjes. Maar steeds lukte het TNO om voor deze aardse problemen slimme oplossingen te bedenken, zodat we – ondanks alle gemodder – toch op een kluitje kunnen blijven wonen.

“Laat dit boekje een aansporing zijn voor onze beleidsmakers om echt driedimensionaal te gaan denken.” – *Salomon Kroonenberg*



TNO | Kennis voor zaken



foto Eric de Vries

Henk Leenaers (1961) promoveerde als fysisch geograaf op de bodem- en waterverontreiniging van het riviertje de Geul in Zuid-Limburg. De afgelopen 10 jaar werkte hij bij TNO Bouw en Ondergrond. Als wetenschapsjournalist schrijft hij regelmatig voor onder andere NRC Handelsblad, Intermediair en Binnenlands Bestuur.

www.henkleenaers.nl

Onderste **uəʌoɔ**



Over
post
boon
ven

Voorwoord

Alles wat wij mensen boven de grond hebben gemaakt komt uit de ondergrond. Het Binnenhof is van baksteen die als klei is uitgegraven, de glazen pui van het Tweede Kamergebouw was ooit zand, de natuurstenen wandbekleding achter het spreekgestoelte van de ministers komt uit buitenlandse steengroeven, en ook het zout op hun zachtgekookte eitjes komt uit de grond. De rails van de Betuwelijn komen uit ijzermijnen, het beton van de Oosterscheldekering komt uit de grindgaten van de Maas en de kalkgroeven van de Sint Pietersberg. En of het nu over turf, steenkool, olie, aardgas, aardwarmte of kernenergie gaat, ook vrijwel al onze energie komt uit de grond. Zelfs de plaggen voor onze vroegere hutten moesten we uitgraven. Het is alsof ons land ondersteboven is gekeerd: wat eens onder lag, staat er nu bovenop. Maar niemand die het ziet.

Onze ondergrond maakt deel uit van het aardse milieu, maar de geringe aandacht ervoor staat in schril contrast tot die voor de korenwolf, de roerdomp en het perzikbladig klokje in de bovenwereld. Waar je dassenburchten kunt vinden is welbekend, maar waar de twee miljoen kilometers ondergrondse kabels liggen is bij elke graafwerkzaamheid weer een verrassing. De ondergrond is geen *black box* waarin je lukraak kunt graven naar wat je nodig denkt te hebben, het is het enige geschiedenisboek van het ontstaan van Nederland dat er is. Maar er is geen enkel nieuw wegtalud waarin men de gelaagdheid van de aarde nu eens zichtbaar laat, in plaats van hem vol te planten met steeds weer diezelfde weerbarstige struiken. Er is geen enkele tunnel waarin men kan zien waar die doorheen is gegaan. De ondergrond is bovendien een biotoop waarvan niemand weet hoeveel en welke soorten er leven, maar geen enkele milieuorganisatie heeft zich tot nu toe opgeworpen om een stuk van de ondergrond vanwege zijn historische en ecologische waarde te beschermen tegen menselijke ingrepen.

Niet dat we niets over de ondergrond weten. In dit boekje, toepasselijk getiteld *Ondersteboven*, laat TNO-geoloog en wetenschapsjournalist Henk Leenaers in twaalf korte artikelen de vele functies van de ondergrond zien, de problemen die optreden bij de winning van energie, water en grondstoffen en bij de aanleg van infrastructurele werken, en de oplossingen die TNO, een van de grote spelers in de ondergrond, daarvoor heeft gevonden. Als je bedenkt dat er daarvoor 400.000 boorgaten door Nederland zijn gemaakt met een gezamenlijke lengte van 4.400 kilometer, als je bedenkt dat al die gegevens via internet opvraagbaar zijn, dan begrijp je niet waarom de ondergrond bij de ruimtelijke planning door provincies en gemeenten nog maar een bescheiden rol speelt. Nu het Ministerie van VROM alle meetgevens en modellen van de ondergrond binnenkort toevoegt aan de zogeheten 'nationale basisregistraties' – de vitale gegevens van de overheid – kan dat snel veranderen. Laat dit boekje daarom een aansporing zijn voor onze beleidsmakers om echt driedimensionaal te gaan denken. Het volgende Tweede Kamergebouw wordt immers aangelegd in een lege zoutcaverne.

Salomon Kroonenberg

Hoogleraar Geologie, Technische Universiteit Delft

Auteur van 'De menselijke maat – De aarde over tienduizend jaar' (Atlas, 2006)

Inhoud

Vol en leeg

De olie is nog lang niet op

Shell pompt zijn olievelden steeds verder leeg 10

Op zoek naar scherp zand

Dreigend zandtekort in de Nederlandse bouw 14

Zout en zuur

Zoutgletsjer op drift

Kruipend steenzout veroorzaakt bodemdaling 20

Roestend goud

Arseen blijkt 'natuurlijke' bodemverontreiniging 24

Nat en droog

Pompen of verzuipen

Groene Hart binnen een eeuw kopje onder 30

Schuivende kaden

Veenkaden verzwakt na langdurige droogte 34

Warm en koud

Nederland wordt een gatenkaas

Vier miljoen buisjes halen warmte uit de grond 40

Bevroren blubber

Vluchtroutes Westerscheldetunnel uitgegraven in ijs 44

Analoog en digitaal

Schatkamer van de ondergrond

4.400 kilometer boorkern bijeengebracht in Zeist 50

Dagelijks een sms'je naar DINO

Online database over bodem en grondwater 54

Leven en dood

Pollen en de politie

Stuifmeel blijkt waardevolle 'stille' getuige 60

Uitgegumd

Bulldozers vernielen geologisch geschiedenisboek 64



Vol en leeg

De olie is nog lang niet op

In een poging de ineengekrompen oliereserves weer aan te vullen, pompt Shell bestaande olievelden steeds verder leeg. “Met slimme technologie halen we straks de helft van de olie uit een veld, nu is dat nog maar één derde.”

Ondanks een recordwinst van ruim 26 miljard dollar over 2005, wist Shell topman Jeroen van der Veer bij de presentatie van de jaarcijfers niet alle beursanalisten tevreden te stellen. Want het energieconcern teert in op zijn olie- en gasreserves, zo vertellen critici in NRC Handelsblad. Voor iedere honderd vaten olie die het oliebedrijf afgelopen jaar produceerde, kon het maar zestig à zeventig aan zijn reserves toevoegen. Dat komt niet alleen doordat het oliebedrijf bij het zoeken naar nieuwe olievelden de afgelopen jaren minder geluk had dan zijn concurrenten. Nee, veel belangrijker is dat niemand in deze sector in staat is zijn olie- en gasvelden tot de laatste druppel leeg te pompen.

Gemiddeld winnen oliemaatschappijen niet veel meer dan één derde van alle olie of gas die in een veld zit. Vaak is dat zelfs aanzienlijk minder: onder Schoonebeek bleef wel 80% van de aanwezige olie in de grond achter. In Oman zijn zelfs olievelden die 90% water produceren, aldus Berend Scheffers, tot voor kort werkzaam bij TNO Bouw en Ondergrond in Utrecht: “Als operator is Shell daar eerder waterbedrijf dan olieproducent.” Samen met TNO en de Technische Universiteit Delft ontwikkelt Shell nu technologie waarmee het olie- en gasvelden veel verder kan leegpompen: door tijdens het produceren veel te meten en ondergronds de olie al van het water te scheiden met een stelsel van kleppen en kranen.

“Als operator is Shell in Oman eerder waterbedrijf dan olieproducent”

Als je als olieproducent vrijwel alle olie in de grond laat zitten, is het ook weer niet zó verwonderlijk dat de aandeelhouders mokken. Niet voor niets verdubbelde Shell zijn jaarlijkse investeringen tot 19 miljard euro en beperkt het zich niet langer tot het zoeken naar nieuwe velden en nieuwe energiebronnen. Het oliebedrijf investeert tegenwoordig ook in de ontwikkeling van ‘slimme olievelden’, zogeheten *smart fields*, waaruit met een combinatie van sensoren, en kleppen en ventielen veel meer olie kan worden gewonnen dan gebruikelijk.

“Olie produceren is net zo moeilijk als vanaf de Domtoren beneden een glas cola leegdrinken – met een rietje, in het donker”

Oliewinning gebeurt nu nog simpel: pompen via een boorgat van vijftien centimeter doorsnede (een ‘put’), geboord tot in het vaak kilometersdiepe oliereservoir. Maar alleen als zo’n reservoir er echt uit zou zien zoals menig leek het zich voorstelt – een gigantische ondergrondse parkeergarage tot het plafond gevuld met vloeibare olie – zou je het op die manier helemaal kunnen leegpompen. In werkelijkheid is een oliereservoir een opeenstapeling van met olie, gas en water gevulde poreuze gesteentelagen, soms geplooid als een ruw opzijgeschoven tapijt, soms geknapt en verschoven langs een stelsel van breuken en breukjes. En nergens is een druppel vloeibare olie te bekennen, want door de immense druk van het bovenliggende gesteente zit die goed opgeborgen in de minuscule poriën van zand-, kalk- of leisteen.

Het is eigenlijk een klein wonder dat oliemaatschappijen toch nog zoveel olie en gas uit zulke velden weten te persen. Want ondanks seismische metingen blijft de geologische opbouw van een oliereservoir vaak volstrekt onzeker. Alleen wie het zich kan veroorloven een reservoir helemaal lek te boren vóór het in productie wordt genomen, komt er achter hoe de gelaagdheid er uitziet. Waar zitten breuken, in welke lagen zit olie en in welke water: allemaal informatie die nodig is om productieputten te kunnen plaatsen waar de meeste olie zit. En om de putwand precies te kunnen openen ter hoogte van de oliehoudende laag, zodat er geen water toestroomt uit de lagen erboven of eronder. “Maar de meeste olievelden zijn maar met één of twee putten aangeboord,” aldus Berend Scheffers, “want een kilometersdiepe boring kost al gauw tientallen miljoenen euro.” Gevolg: olie, water en gas stromen tijdens het pompen ongesorteerd de productieput in, waarna men ze bovengronds moet scheiden – met alle kosten van dien. En als de toestroom van water en gas de olieproductie te veel hindert, gaat de kraan gewoon dicht – al blijft er nóg zoveel olie achter.

Samen met de Technische Universiteit Delft en TNO ontwikkelt Shell technologie om veel méér olie uit een veld te kunnen winnen dan de schamele 30% van nu. De komende vijf jaar investeren ze samen 24 miljoen euro in het verder verbeteren van *smart fields*. Net als een patiënt aan de monitor op de intensive care, wordt de binnenkant van zo'n slim olieveld continu in de gaten gehouden met sensoren. Deze meten in de verschillende gesteentelagen de druk, de temperatuur en de vloeistofstroming. Via een glasvezelkabel seinen de sensoren hun meetgegevens door naar het aardoppervlak, waar experts vaststellen of er olie of water toestroomt. Zodra een laag water of gas produceert in plaats van olie, sluit de operator de klep die de betreffende laag toegang biedt tot de productieput.

Met dit stelsel van sensoren en bedienbare kleppen heeft de operator er, ten opzichte van een traditioneel olieveld, dus een stel 'voelsprietten' en 'handen' bij gekregen. Dat was hard nodig volgens Pieter Kapteijn van Shell, want de manier waarop we nu olie produceren is net zo moeilijk als vanaf de top van de Domtoren beneden een glas cola leegdrinken – met een rietje. In het donker, wel te verstaan, maar ook daar heeft Shell een oplossing voor. Slimme olieputten kunnen namelijk geluidsgolven uitzenden. Door middel van deze seismiek 'belichten' ze lokaal de structuur van de ondergrond en aan de teruggekaatste trillingen kunnen geologen zien welke gesteenten ze kunnen aantreffen, waar breuken zitten en of er water in de grond zit. Naarmate de olieproductie in een veld vordert, neemt zo ook de geologische kennis over de ondergrond toe. Tastten petroleumgeologen tot voor kort nog grotendeels in het duister, wie vandaag de dag een 'slim' veld leegpompt verkent tegelijkertijd de ondergrond, door geluidstrillingen uit te zenden vanuit het boorgat.

Het is nog veel te vroeg om afscheid te nemen van fossiele brandstoffen

Veertig AIO's krijgen nu van Shell, TNO en de TU Delft de kans de ondergrondse meet- en regeltechniek van deze zogenoemde 'putten met stekkers' verder te optimaliseren. Berend Scheffers, (inmiddels ex- (red.)) directeur van dit samenwerkingsverband, verwacht veel van zogeheten 4D-seismiek. Met geluidstrillingen kan straks niet alleen de structuur van de ondergrond driedimensionaal in beeld worden gebracht, maar ook de inwendige gas- en vloeistofstromen. Daarmee hopen ingenieurs een veelbelovende winningsmethode als stoominjectie te kunnen verbeteren. Nu weten ze nog niet precies hoe het stoomfront zich verplaatst nadat ze stoom hebben geïnjecteerd om olie vloeibaar te maken en uit een poreus gesteente te verdrijven. Straks wel, want door teruggekaatste geluidsgolven te analyseren kunnen ze de vloeibaar geworden olie op de voet

volgen. En als dat lukt, kunnen operators de olie als het ware uit de grond masseren door er afwisselend tegen te duwen (met stoom) en aan te trekken (met pompen).

Andere ontwikkelingen zijn het ondergronds van de olie afscheiden van ongewenste gassen en vloeistoffen, zoals water, CO₂ en H₂S, en het opnieuw injecteren van deze gassen om – net als met stoom – de olie te verdrijven. Goed voor de olieopbrengst én goed voor het milieu. Uiteindelijk denkt Scheffers dat vrijwel alle activiteiten van een productieplatform onder de grond kunnen verdwijnen. Daar komt dan geen olie uit naar boven, maar alleen schone energie: "Over enkele decennia openen we de eerste ondergrondse waterstoffabriek."

Wat leveren die ondergrondse kleppen en sensoren op als je het vergelijkt met het rechttoe rechtaan leegpompen van een veld, zoals nu nog gebruikelijk? De verwachtingen zijn blijkbaar hooggespannen, want het team van 'Mister Smart Fields' Pieter Kapteijn kreeg van Shell Exploratie & Productie opdracht met deze technologie de aanvulling van oliereserves – in 2005 was dat 60 à 70% – in 2009 te verhogen met 8%. Kapteijn heeft er alle vertrouwen in dat dat gaat lukken: "Door slimme technologie aan een olieveld toe te voegen, kunnen we het straks voor de helft leegpompen. Nu is dat gemiddeld nog maar één derde." In de toekomst kan dat zelfs omhoog tot 60%, zo verwacht hij, door er met thermische en chemische technieken de laatste druppels uit te persen. "En ook daarvoor heb je slimme sensoren, kleppen en een hoop regeltechniek nodig."

Des te opmerkelijker vindt Scheffers het dat het Innovatieplatform en de Europese onderzoeksprogramma's geen cent over hebben voor dit onderzoek. "Iedere extra procent olie of gas die we uit bestaande velden weten op te pompen, is wereldwijd goed voor twee jaar energieconsumptie", aldus Scheffers. Omdat alleen al in de bestaande velden nog genoeg olie en gas zit voor een hele generatie, vindt hij het dan ook veel te vroeg om nu al afscheid te nemen van fossiele brandstoffen, zoals het kabinet lijkt te doen.

Op zoek naar scherp zand

Onder de typisch Nederlandse klei- en veenlagen zit volgens geologen één grote zandbak. Toch dreigt er in de Nederlandse bouw een tekort aan zand voor betonconstructies en metselwerk.

Zandvoortse zandkastelen, Schoorlse duinen, de Utrechtse Heuvelrug. Geluidswallen rond VINEX-wijken, dijken langs Rijn en Maas, plannen voor een Tweede Maasvlakte. Paardenstallen, zandbakken, bouwmarkten. Zand is overal, zand is er genoeg – zo lijkt het. De zandvoorraden in de eerste dertig meter van de Nederlandse ondergrond zijn gemiddeld twintig meter dik, een landsdekkende flat van zes verdiepingen hoog. Als iedere Nederlander per jaar maar zes kuub zand verbruikt, een laag tot halverwege je kuit in een doorsnee studentenkamer, vraag je je af hoe het zand ooit op kan raken. Toch vergaderde de Tweede Kamer over de schaarste aan beton- en metselzand. Lang niet al het zand blijkt namelijk geschikt om mee te metselen en lang niet iedereen is gecharmeerd van de kraters die zandwinners in het rivierlandschap achterlaten. En uitwijken naar de zandbak voor de kust, de Noordzee, lijkt makkelijker gezegd dan gedaan.

*Als iedere Nederlander
maar zes kuub zand
per jaar verbruikt
vraag je je af hoe het zand
ooit op kan raken*

Hoe langzamer een rivier stroomt, hoe kleiner de zandkorrels die hij – rollend, stuitend en zwevend – meevoert. Afdalend uit de Ardennen stroomt de Maas bij Maastricht nog snel genoeg om grind te vervoeren; voorbij de Zuid-Limburgse heuvels, ter hoogte van Roermond, is zand het grofste materiaal dat het langzaam stromende water nog weet te verplaatsen. De Rijn brengt vrijwel geen grind mee uit Duitsland, zo traag

passeert hij de grens. Vier van de vijf winningen van beton- en metselzand – rivierzand dat nét iets minder grof is dan grind – liggen dan ook langs de Rijn en de Maas, in de driehoek tussen Zutphen, Tiel en Boxmeer. Onder enkele meters klei ligt daar een laag van twintig meter grof zand, die met zandzuigers gretig wordt opgebaggerd. Vrijwel de hele Nederlandse behoefte aan beton- en metselzand, ongeveer vijftien kruiwagens per inwoner per jaar, wordt daar gewonnen langs honderdvijftig kilometer rivier. Maar omwonenden en natuurorganisaties willen voorkomen dat hun geliefde rivierlandschap straks hetzelfde lot treft als het gebied van de Plassenmaas bij Roermond – wie niet beter weet zou denken dat daar een dinosaurus heeft rondgehinkeld, zo diep en talrijk zijn de kraters van grindwinningen. De plannen voor de nieuwe zandwinning Maasbommel, met voldoende capaciteit voor acht jaar metselwerk en betonconstructies, wisten ze al tegen te houden. Mocht deze overwinning het begin hebben ingeluid van een reeks, dan moeten bruggenbouwers op zoek naar andere zandleveranciers.

*“Een zandwininput op zee
ligt bij niemand in de achtertuin,
dat scheelt een hoop protesten”*

Nu komt vrijwel al het beton- en metselzand nog uit winningen langs Rijn en Maas. Omdat het zand in het oosten wordt gewonnen en in het westen wordt verwerkt – grootverbruiker is de uitdijende Randstad – zijn de lasten en lusten op de zandmarkt nu niet eerlijk verdeeld. “Delen van de pijn is dan ook het uitgangspunt van het huidige bouwgrondstoffenbeleid”, legt Michiel van der Meulen uit, tot voor kort werkzaam bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat en nu in dienst van TNO Bouw en Ondergrond. Simpel gezegd komt dat beleid erop neer dat iedere provincie een steentje moet bijdragen aan de nationale productie van beton- en metselzand; Gelderland, Noord-Brabant en Limburg iets meer dan de rest vanwege de grofzandige ondergrond. In 1998 besloot het rijk de taakstellingen te verlagen tot beneden de Nederlandse zandbehoefte, in de hoop dat schaarste het gebruik van alternatieve materialen, zoals bouw- en sloopafval, zou bevorderen. Hoe duurzaam hergebruik van bouwpuin ook is, de extra moeite en kosten om ongesorteerd afval te vergruizen tot het juiste mengsel van scherpe zanden, houden toepassingen anders dan als ophoogmateriaal vooralsnog tegen. Omdat het toch ergens vandaan moet komen importeert Nederland nu rivierzand, onder andere uit Nordrhein-Westfalen. Met gemor van buurlanden tot gevolg – waarom zouden zij opdraaien voor het Nederlandse zandtekort? Zandimport blijkt dus geen oplossing om op te bouwen, zo moeten de provincies hebben gedacht toen ze het initiatief namen om alternatieve vindplaatsen te verkennen, zoals in de Noordzee.

Al meer dan dertig jaar zoeken Cees Laban en zijn collega's van TNO naar zand en grind op de Noordzee. Als marien geoloog bij de Rijks

Geologische Dienst bracht hij het fijne ophoogzand in kaart dat is verwerkt in de IJpolder. Toen Laban eind jaren negentig door de provincies werd gevraagd naar grof zand te zoeken, had hij net een nieuw boorsysteem ontwikkeld waarmee hij sneller en dieper kon boren. Het fijne ophoogzand lag tot een meter of tien onder de zeebodem, binnen het bereik van de bestaande boor. Om te zoeken naar grof rivierzand voor de kust van Zeeland en Zuid-Holland kwam de nieuwe boordiepte van vijftig meter goed van pas – begraven als deze zandlaag ligt onder een metersdik pakket jonge afzettingen. Dat is niet het enige kansrijke zoekgebied voor grof zand in de Noordzee, vertelt Laban: “Langs de kust van Noord-Holland ligt zand en grind uit de voorlaatste ijstijd, aangevoerd door smeltwaterrivieren onder het landijs, en bij de Waddeneilanden verwachten we door de zee omgewerkte glaciale zanden.” Tijdens de zoektocht naar zand vonden Rijkswaterstaat en TNO de afgelopen jaren genoeg grof zand om Nederland vier à vijf jaar van betonzand te voorzien. Laban: “Maar nu heeft Verkeer en Waterstaat het schip naar de kant gehaald en de geldkraan dichtgedraaid.”

In de laatste bezuinigingsronde besloot Verkeer en Waterstaat het geld voor de zoektocht naar grof zeezand in eigen zak te houden – waarom zou het Rijk opdraaien voor de kosten en de zandwinners de baten laten opstrijken? – en beroofde de provincies zo van een aantrekkelijk alternatief voor de zandwinningen op eigen grondgebied. Daar houdt het provinciebestuur procederende omwonenden en natuurorganisaties liever te vriend. Nadat V&W in 2003, na een reorganisatie, haar handen definitief van het zandbeleid had afgetrokken, grepen de provincies hun kans en bliezen de speurtocht naar zand op de Noordzee nieuw leven in. Van der Meulen van TNO denkt dat daar maar één reden voor is: “Een put

Pingpongballen stapelen

In het Natuurmuseum van Nijmegen wijst Joop van Dijk naar een foto van één van de twaalfduizend zanden die hij de afgelopen twintig jaar verzamelde. Vijftig maal vergroot onder een microscoop lijkt het zand uit Egmond in niets op het grauwe gruis dat na een dagje strand in je handdoek achterblijft. Gitzwarte, glimmende knikkers liggen in een bedje van paarse, oranje en gele kiezels – als verdwaalde dropjes in een pot zuurtjes. “De zwarte korrels komen uit de Eifel, de gele uit de Ardennen”, zo verklaart Van Dijk de herkomst van de zware mineralen waaruit het zand bestaat.

“Probeer maar eens duizend pingpongballen op te stapelen en je begrijpt waarom je van strandzand geen sculptuur kunt maken”, vervolgt Van Dijk. “Zandkunstenaars nemen dan ook rivierzand mee naar de kust. Daarmee lukt het wél.” Om ze stevig te kunnen stapelen moeten zandkorrels hoekig zijn, zodat de randjes en richeltjes in elkaar kunnen grijpen. ‘Scherp’ noemen veldgeologen rivierzand, als ze het wrijvend tussen hun vingers beoordelen; duinzand is na vele zandstormen ‘rond’ geworden. Bij bouwers is scherp zand populair omdat je er steilere taluds mee kunt aanleggen, voor betonproducenten is het een onmisbaar ingrediënt voor een ‘dicht’ beton.

Recept voor één kubieke meter beton

Meng 520 liter zand en 780 liter grind met water en cement, giet het mengsel in de gewenste vorm, verdicht het met een trilstaaf en laat het héél langzaam uitharden. Gestapeld grind vormt in het beton het skelet, zand is het vulmiddel ertussen en cement plakt het geheel aan elkaar. Voor de sterkte van het beton is verdichting belangrijk, het mechanische trilproces dat grillig gevormde zandkorrels in elkaar doet grijpen door met hun hoekjes en randjes alle tussenruimtes te bezetten. Wie wel eens een pak roodmerk in een krap blik heeft proberen te passen weet dat een ferme tik tegen het aanrecht wonderen doet: de koffie zakt gewillig naar beneden. Betonmengers weten dat verdichten het best lukt met scherp rivierzand dat bestaat uit korrels uit het hele bereik tussen 63 micrometer, één haar dik, en 4 millimeter, een halve pinknagel.

op zee ligt bij niemand in de achtertuin, dat scheelt een hoop protesten en proceduretijd.” Maar ook in de Noordzee neemt het aantal ruimteclaims snel toe, vertelt Laban, die met zijn boorschip alert is op de ligging van olie- en gasleidingen, electriciteits- en telecomkabels: “Nu al moeten we aan weerszijden van kabels en leidingen een veiligheidszone van vijfhonderd meter in acht houden. Met de plannen voor een windmolenpark en een luchthaven in zee wordt het buitengaats

*Gestapeld grind vormt
in beton het skelet,
zand is het vulmiddel ertussen
en cement plakt het
geheel aan elkaar*

steeds drukker.”

Ook de kwaliteit en de ligging van zeezand brengen problemen met zich mee: het aandeel grove korrels in de zandlagen – essentieel voor beton – neemt af van oost naar west. En de laag fijn zand op het winbare betonen metselzand wordt richting Engeland steeds dikker. “Voor iedere kruiwagen beton- en metselzand uit zee moet je tien kruiwagens laagwaardig ophoogzand verplaatsen,” vertelt Van der Meulen, “terwijl in Oost-Nederland betonzand vrijwel kant-en-klaar voor het opscheppen ligt.” Zolang zandimport kan rekenen op verzet van buurlanden moet de politiek straks dus kiezen uit twee kwaden: óf de toenemende weerstand tegen zandwinningen in Oost-Nederland voor lief nemen óf uitwijken naar de zandwinning op de Noordzee – wetende dat grote partijen laagwaardig ophoogzand onnodig worden opgepakt en weer teruggelegd. Die laatste oplossing scoort in ieder geval laag op duurzaamheid. Tenzij er op zee zélf een grote behoefte aan ophoogzand ontstaat, zegt Laban: “Het zou bijvoorbeeld ideaal zijn om een winning van grof zand op zee te combineren met de aanleg van de Tweede Maasvlakte.”



Zout en zuur

Zoutgletsjer op drift

Twintig keer zo snel als verwacht kruipen de stroperige steenzoutlagen in de diepste zoutmijn ter wereld.

Na sluiting van de Friese mijn veert de onvoorziene bodemdaling mogelijk weer terug.

Eind 1996, een jaar na het begin van de zoutwinning, moeten ze flink zijn geschrokken bij Frima Zout BV, de voormalige eigenaar van de Friese zoutmijn bij Barradeel. De eerste landmeetkundige controle wees toen op een bodemdaling van een halve centimeter, vijf keer zoveel als verwacht. De tweede meting in oktober 1997 bevestigde de gevreesde trend met nog eens twee centimeter bodemverzakking. Acht meetjaren later bleek het diepste punt van het schotelvormige dalingsgebied met vier centimeter per jaar zelfs vijf keer sneller te dalen dan de grond boven het Groningse gasveld; de totale daling was begin 2006 opgelopen tot drieëndertig centimeter – nog twee centimeter en de maximaal toegestane daling is bereikt. Hoewel de zoutvoorraad nog vijftig jaar productie toestaat, verplaatste de huidige eigenaar Frisia Zout BV noodgedwongen de zoutwinningsactiviteiten. Wat is er aan de hand in de twee Friese zoutcavernes, ondergrondse holtes ontstaan door het oplossen van steenzout?

*Nederlands zout
is in het buitenland populair
vanwege de zuiverheid
van 99,9%*

Jaarlijks verbruikt de gemiddelde wereldburger ruim dertig kilo zout. Zelfs wie royaal strooit met het zoutvat verbruikt daarvan maar een fractie via zijn voedsel; zout wordt namelijk ook verwerkt in consumentenproducten als glas, haarverf, medicijnen en vaatwastabletten, en verbruikt bij de industriële productie van PVC, plastic, aluminium en zeep. Met vijf miljoen ton per jaar valt Nederland net buiten de top 10 van wereldzoutproducenten, samen goed voor jaarlijks ruim 200 miljoen ton,

maar het is wél een van de grootste exporteurs. Chemiereuzen als Akzo Nobel houden de binnenlandse vraag op peil en bij importerende landen is Nederlands zout populair vanwege het hoge keukenzout-gehalte: het heeft een zuiverheid van maar liefst 99,9%. Voldoende redenen voor Frisia om, ondanks de snelle bodemdaling, de zoutwinning in de loop van 2004 naar het oosten uit te breiden.

*“Ook na veel gepuzzel
hield ik zout over”*

Bodemdaling boven een zoutmijn is het gevolg van ‘kruip’, het traag vloeien van zout bij hoge temperatuur en onder invloed van grote drukverschillen. Millimeter voor millimeter kruipt het stroperige zout in de richting van een caverne, waardoor de bodem erboven langzaam inzakt. Aan het maaiveld ontstaat zo, na tientallen jaren productie, een bodemdalingsschotel van enkele kilometers doorsnede en enkele centimeters diep.

Maar de daling verloopt in Friesland veel sneller dan elders in de wereld. “Oplosmijnen in bijvoorbeeld de Verenigde Staten en Frankrijk groeien uit tot kolossale pekelbellen, zonder dat het maaiveld merkbaar meebeweegt,” zegt Jaap Breunese van TNO Bouw en Ondergrond, “maar daar zijn cavernes zelden dieper dan anderhalve kilometer. Met drie kilometer is de Friese zoutmijn de diepste ter wereld.”

Tweehonderdvijftig miljoen jaar geleden lag Nederland aan de zuidrand van de Permzee, net zo zout als de Dode Zee, maar vele malen groter. In het toenmalige woestijnklimaat kon door indamping van zeewater en daling van de zeebodem een zoutpakket ontstaan van honderden tot duizend meters dik. De zuidgrens van dat ondergrondse zout loopt nu langs de lijn Alkmaar-Enschede verder Duitsland in, richting Polen. Waar het zout in de loop van de geologische geschiedenis werd opgestuwd kwam het binnen bereik van graafmachines en gangenstelsels. Daarom wordt bij Leipzig het zout, dat er maar vijfhonderd meter onder de grond zit, gewonnen als ware het Zuid-Limburgse steenkool: door uithakken in droge mijnen. Maar de Friezen moeten eerst tot drie kilometer diep water de grond inspuiten voordat ze hetzelfde zout kunnen winnen, door indamping van opgepompt pekelwater. Aan het uiteinde van de pijp die het water in het zout injecteert ontstaat na verloop van tijd een verticale, langwerpige holte of ‘caverne’, hoog genoeg om de Eiffeltoren in op te bergen.

Als adviseur van het Ministerie van Economische Zaken raakte Breunese van TNO bij het Friese zoutonderzoek betrokken nadat sonarmetingen hadden uitgewezen dat het inwendig volume van de cavernes, ondanks de zoutwinning, niet groeide. Hij vermoedde dat dit was te wijten aan het versneld kruipen van zout op grote diepte: “In de zoutlaag onder Barradeel is de temperatuur veel hoger dan in een doorsnee oplosmijn, zout kan daardoor wel twintig keer zo snel kruipen als in minder diepe

mijnen.” Onder invloed van een drukverschil van enkele honderden bar tussen het pekelwater in de caverne en het zoutgesteente in de cavernewand, kan zout uit de eerste vijftig meter van de zoutlaag toevloeien. Toch lukte het hem niet ervaringsfeiten uit andere mijnen – uitgedrukt in centimeters bodemdaling per miljoen kubieke meter zoutproductie – helemaal in overeenstemming te brengen met landmetingen aan het Friese bodemoppervlak. Tot zijn ergernis kreeg de fysicus zijn materiaalbalans niet sluitend: “Ook na veel gepuzzel hield ik zout over,” herinnert hij zich, “het volume van de bodemdalingsschotel leek kleiner dan het volume van het gewonnen zout.”

de hoge temperatuur en grote drukverschillen, doorgegeven van korrel naar korrel. “Een zoutgletsjer op drift.”

Na ijking van het model met de royale voorraad meetgegevens pasten de puzzelstukjes weer in elkaar. Het brongebied van het kruipende zout bleek vele malen groter, met een ruimere, maar minder diepe bodemdalingsschotel tot gevolg. “De dalingskom wordt uitgesmeerd over een veel groter oppervlak”, aldus Van Eijs. Toen Frisia Zout BV begin 2004 een start maakte met het inrichten van het nieuwe zoutwingebied, zorgde het er dan ook voor dat de twee nieuwe cavernes ruim zes keer zo

Eenmaal op drift laat de ondergrondse zoutgletsjer zich niet makkelijk stoppen

Bij Breunese rees het vermoeden dat hij getuige was van een bijzonder, pas recent in het laboratorium waargenomen, kruipfenomeen. Hij zocht contact met aardwetenschappers van de Universiteit van Utrecht om de fysica te beschrijven en schakelde TNO-collega Rob van Eijs in om een stromingsmodel te bouwen. “Het is uniek in de zoutwereld dat er zoveel meetgegevens beschikbaar zijn om een model te ijken,” glundert Van Eijs, “tien jaar meten door Frisia maakt van deze zoutcavernes een gigantisch kruiplaboratorium.” Anders dan het al langer bekende kruipmechanisme in het kristalrooster van natrium- en chloride-ionen is de nieuwe zoutbeweging mogelijk het gevolg van materiaaluitwisseling *tussen* zoutkorrels. “Op het grensvlak tussen twee korrels lost zout op in het fossiele water uit de Permzee dat nog aanwezig is in de poriën van het zoutgesteente,” legt Van Eijs uit, “om op de volgende zoutkorrel weer neer te slaan.” Minuscule zoutpakketjes worden zo, onder invloed van

ver uit elkaar kwamen te liggen als de twee bestaande: drie kilometer straks in plaats van vijfhonderd meter nu. Zo voorkomt het bedrijf dat de bodemverzakkingen van beide winpunten elkaar versterken.

Uit nieuwsgierigheid rekenden Van Eijs en Breunese nog enkele decennia zouttoekomst door met het nieuwe kruipmodel. Om te constateren dat, eenmaal op drift, de ondergrondse zoutgletsjer zich niet makkelijk laat stoppen. Hun model voorspelt dat de helft van de nu ontstane bodemdaling binnen één generatie teniet wordt gedaan. “Het appelstroop-effect”, noemt Breunese dit terugveren van de bodem onder invloed van kruipend zout: “Traag sluit de stroop weer aaneen nadat het mes uit de pot is getrokken.”

Roestend goud

Menig bouwproject in de kustprovincies loopt vertraging op na de vondst van arseen in de bodem. Milieunormen houden er geen rekening mee dat deze ‘verontreiniging’ al duizenden jaren van nature in de grond zit.

“Een akelig gezicht, die rode vlekken op het zand.” Jan Gunnink wijst naar een foto van een recreatiestrand dat is opgespoten met zand uit de Noordzee. Roestkleurige, slijmerige modder ligt in plassen tussen pionierende planten, in de verte wuift een rietkraag. “Brokjes veen in het zeezand bevatten het mineraal pyriet, een natuurlijke bron van ijzer. In contact met lucht roest pyriet, waarna ijzer in het water oplost en een rode kleur veroorzaakt”, vertelt Gunnink, als fysisch geograaf werkzaam bij TNO Bouw en Ondergrond. Maar uiteindelijk is het niet de kleur die mensen aan het schrikken maakt: “Veel mensen denken aan rattengif als ze horen dat er arseen vrijkomt door de reactie van deze goudkleurige ijzer-zwavel-verbinding met zuurstof,” zegt Gunnink, “maar dat is ten onrechte.” Het valt hem niet mee die angst weg te nemen. De milieunormen zijn er namelijk niet op berekend dat arseen zeker al sinds de laatste ijstijd in de bodem zit. Van nature.

“Ten onrechte denken mensen bij arseen direct aan rattengif”

Het opgespoten recreatiestrand staat niet op zichzelf. Te veel natuurlijk arseen zat er ook in het opgepompte grondwater bij de aanleg van de Schipholtunnel, in de baggerspecie die in de Horstermeerpolder op het land is gebracht en in de als ‘schone grond’ verkochte kavels in een nieuwbouwwijk in Zuid-Holland. “Steeds gaat het om hoge concentraties, tot boven de interventiewaarde”, vertelt Carl Denneman van Provincie Noord-Holland. Boven die norm spreekt het Ministerie van VROM over ‘ernstige bodemverontreiniging’, die volgens de Wet bodembescherming moet worden gesaneerd. “Vaak ontstaat daardoor paniek, zeker als de Inspectie Waren en Veterinaire Zaken afraadt om andijvie uit eigen moestuin te eten.”

In opdracht van de provincie onderzocht de Vrije Universiteit Amsterdam in 2000 de risico's van arseen en concludeerde dat kool, sla, waspeen, komkommer en graan weliswaar arseen uit de bodem opnemen, maar dat dit – andijvie uitgezonderd – geen gevaar voor de volksgezondheid oplevert. Daarvoor zijn de concentraties in de gewassen te laag, bevestigt het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu in Bilthoven. “Het is een bizar schijnprobleem,” bromt Denneman, “want ondertussen blijft de norm voor arseen wél streng. Dat vertraagt bouwprojecten en infrastructurele werken en veroorzaakt onnodige kosten.” Een voorbeeld daarvan is de Gooiboog, een spoorlijn van twee kilometer die de Gooilijn en de Flevolijn met elkaar verbindt. “Vanwege de kosten voor grondtransport ligt die nu op een peperdure dijk. Het is toch raar dat je de goedkope grond ernaast, alleen omdat daar al eeuwenlang arseen in zit, niet een paar meter mag verplaatsen.”

“Arseen in de grond is een normenprobleem: de kans op gezondheidsschade is nihil”

“Ruim 10.000 jaar geleden, in het laat-Pleistoceen, ontstond ‘ijzeraarde’ of ‘ijzeroer’ op laaggelegen plekken in het landschap waar ijzerrijk grondwater opkwelde”, vertelt Gunnink die het arseenprobleem in 2003 in kaart bracht. Vanaf 800 voor Christus, het begin van de IJzertijd, tot 1938, het jaar waarin 56.563 ton ijzeroer vanuit Delfzijl naar Finland en Engeland werd geëxporteerd, heeft dit ‘moerasijzererts’ een belangrijke rol gespeeld in de economische ontwikkeling van ons land. In de hoogtijdagen produceerde Nederland drie miljoen kilo ijzer per jaar. Gunnink vervolgt zijn les ondergrondse scheikunde: “Ijzer en lucht verbonden zich in de zandgrond tot ‘banken’ van dertig tot vijftig centimeter dik: samengekitte zandkorrels met een huid van roestig ijzer.”

Dit nieuwgevormde mineraal, ijzerhydroxide, heeft aan de buitenkant enkele plekken om in het grondwater opgeloste deeltjes, zoals arseen, aan zich te binden. Zolang er zuurstofrijk regenwater infiltreert in de bodem, houdt de ijzeroer het arseen stevig in zijn greep. Wordt er zuurstofarm kwelwater aangezogen, zoals in de diepe droogmakerijen na de winning van turf, dan gaat een deel van dit ‘roest-type’ arseen weer in oplossing, met hoge concentraties ijzergebonden arseen in het grondwater tot gevolg. Uit metingen van TNO blijkt dat het arseen daardoor stijgt tot boven de drinkwaternorm van de Wereld Gezondheids Organisatie (WHO). “Gelukkig drinken we in Nederland geen ongezuiverd grondwater,” zeg Gunnink geruststellend, “maar in Bangladesh hebben duizenden mensen huidziektes opgelopen na jarenlang drinken van arseenrijk water.”

“Ten tijde van de veenvorming in het vroeg-Holoceen”, vervolgt Gunnink de arseengeschiedenis met een tweede ontstaanswijze, “overstromden

grote delen van Nederland door de stijgende zeespiegel. Het door de zee meegevoerde zwavel wist in het zuurstofloze moeras ijzer uit kwelwater aan zich te binden en vormde zo pyriet.” *Fool’s gold* wordt dat goudkleurige mineraal wel genoemd, met zijn kandij-achtige structuur populair bij verzamelaars. Gunnink spreidt duim en wijsvinger: “Wel twee centimeter groot vind je die brokjes nepgoud terug in de ondergrond van België. Vele malen kleiner zijn de pyrietdeeltjes in het Nederlandse basisveen op het pleistocene zand, twintig meter diep langs de Nederlandse kust en enkele meters diep langs de Utrechtse Heuvelrug.” Omdat arseen en zwavel zich in de afwezigheid van zuurstof vrijwel hetzelfde gedragen, werd ook een paar procent arseen ‘ingebouwd’ bij de vorming van pyriet. “Daar zie je verder niets van,” zegt Gunnink, “maar breng je het veen weer in contact met lucht door het op te spuiten, dan kleuren ijzer en arseen het zand rood als ze in water oplossen.” Hij vat zijn betoog samen: “Boor je langs de Hollandse kust een gaatje in de grond, dan vind je op vijftien tot twintig meter een pakket veen met arseenhoudend pyriet, daaronder zit zand met roestige knollen ijzeroer, op de plekken waar destijds water opkwelde.”

Of het natuurlijke arseen vandaag de dag uit de bodem in het grondwater terechtkomt, hangt dus af van twee factoren: het type arseen, pyriet of roest, en de aanwezigheid van zuurstof. Arseen lost op in water als zuurstof wordt toegevoegd aan pyriet, dat zo ‘oxideert’, of als zuurstof wordt onttrokken aan ijzeroer, dat daardoor ‘reduceert’. Om deze geochemische kennis te kunnen toepassen, moet bekend zijn waar arseen in de bodem zit en waar zuurstof in het grondwater. Dat brachten de onderzoekers van TNO in kaart door het landschap uit de tijd van de mammoet en de wolharige neushoorn te reconstrueren. Tienduizenden boringen gebruikten ze om een digitaal model te maken van het reliëf kort na de laatste ijstijd. Richting en omvang van toenmalige kwelstromen berekenden ze met een grondwaterstromingsmodel; aangroei en erosie van basisveen schatten ze in met boorgegevens en geologische kennis. Het resultaat van het onderzoek is een set kaarten met de verspreiding van arseen in de kustprovincies Groningen, Friesland, Noord- en Zuid-Holland en Zeeland. Tienduizend jaar terugkijken levert geen haarscherp kaartbeeld op, bij TNO praten ze daarom liever over een ‘verhoogde kans’ op arseen. “Vijftig procent”, schat Gunnink de kans dat in de donkergroen gekleurde gebieden arseen in het grondwater zit. “De aannemer die bij de aanleg van een tunnel grondwater oppompt om zijn bouwput droog te houden, hoeft zich dus niet meer te laten verrassen.” Vindt hij toch arseen in een watermonster, dan blijkt dat in de praktijk vaak een tijdelijk probleem, een kwestie van dagen of weken. In contact met lucht slaan ijzer en arseen immers direct weer neer; ze vormen opnieuw het ijzerhydroxide waaruit ze eerder waren opgelost.

Volgens Sytske Postma, destijds als beleidsadviseur van DHV betrokken bij het TNO-onderzoek, moet er meer gebeuren om onnodige vertraging in bouwprojecten te voorkomen. “Nu we kunnen voorspellen waar arseen in grond en grondwater zit, kunnen we er wel wat soepeler mee omgaan, net als met lood”, vergelijkt ze arseen met een algemeen geaccepteerde

Arseenvergiftiging in Bangladesh

In Bangladesh drinken zestig miljoen mensen, anders dan in Nederland, wél ongezuiverd, arseenhoudend grondwater – afkomstig van tien tot vijftig meter onder de grond. Omdat het oppervlaktewater altijd een belangrijke bron was van ziektes als diarree en cholera, is de drinkwatervoorziening de afgelopen twintig jaar overgeschakeld op grondwaterputten. De Britse Geologische Dienst schat het aantal grondwaterputten op zes tot elf miljoen; in bijna de helft daarvan wordt de drinkwaternorm van de WHO overschreden.

Het duurt tien jaar voordat blootstelling aan arseen leidt tot het eerste huidletsel, zoals zwarte vlekken, uitslag en het breken van de huid. Na twintig jaar kan zich huidkanker ontwikkelen. Omdat de meeste grondwaterputten nog geen twintig jaar oud zijn, is het nog te vroeg voor het op grote schaal optreden van deze niet-dodelijke vorm van kanker. Schattingen van het aantal patiënten met door arseenvergiftiging veroorzaakt huidletsel variëren van 100.000 tot 150.000.

De kans op het ontwikkelen van huidkanker bij de dagelijkse inname van een liter water met een arseengehalte van 50 $\mu\text{g/l}$, een gangbare blootstelling in Bangladesh, is één tot twee per duizend. De kans om bij deze waterconsumptie een dodelijke, interne vorm van kanker te ontwikkelen is 1 op 100.

Het vooruitzicht dat miljoenen mensen over enkele jaren de grens van twintig jaar blootstelling overschrijden, vraagt om snelle maatregelen. Zolang er geen betrouwbaar alternatief is voor grondwater wordt er met een omvangrijk analyseprogramma in de kleine dorpen naarstig gezocht naar schone, arseenvrije drinkwaterputten. Onderzochte putten krijgen een rood label als het water alleen geschikt is voor de was, groen betekent dat het opgepompte water ook drinkbaar is. Speciale chemicaliën worden verspreid onder dorpsbewoners, waarmee ze zelf arseen uit het water kunnen laten neerslaan. Op de lange termijn moet Bangladesh op zoek naar een andere bron van drinkwater. Kandidaten zijn regenwater, gezuiverd oppervlaktewater en diep grondwater, afkomstig van 150 tot 200 meter onder de grond.

bodemverontreiniging in historische binnensteden. “Grond kan best verplaatst van A naar B als de bodemkwaliteit op beide plekken hetzelfde is. Dat voorkomt onnodig onderzoek en oponthoud.” Gunnink is het daarmee eens: “Arseen in de grond is een normenprobleem. Pas als de bodemnorm van VROM met een factor 10 wordt overschreden treedt er mogelijk gezondheidsschade op. De kans daarop is vrijwel nihil.” Die landelijke norm is dan ook helemaal niet bedoeld om risico’s voor de mens te voorkomen, het is een ecologische norm. Gunnink: “Maar waarom zou je de natuur beschermen tegen een stof die van nature in de bodem zit? In het Geuldal beschermen we toch ook het zinkvioletje? Dat groeit daar juist omdat de grond is verontreinigd. Soms zou je wensen dat er langs de Hollandse kust een zeldzame arseenorchidee wordt gevonden.”



Nat en droog

Pompen of verzuipen

Door zeespiegelstijging en bodemdaling rijst het grondwater in West-Nederland de komende eeuw met twee meter. “Daar is uiteindelijk niet tegenaan te pompen” volgens Marc Bierkens van TNO.

Over honderd jaar bereikt de bezitter van een nieuwbouwhuis zijn voordeur via een loopplank. De bewoners van West-Nederland leven in woonboten en de nieuwste VINEX-wijk heet Waterstad. In oude binnensteden en op bedrijfsterreinen heeft men nog droge voeten, maar het Groene Hart staat grotendeels onder water. Niet door de wateraanvoer van Rijn of Maas, die veroorzaken maar één of twee keer per jaar wateroverlast, maar door het onzichtbare, rijzende grondwater. Centimeter voor centimeter kruipt het omhoog, meebewegend met de stijgende zeespiegel. “Daar is uiteindelijk niet tegenaan te pompen” volgens Marc Bierkens van TNO Bouw en Ondergrond, tevens hoogleraar geografische hydrologie aan de Universiteit van Utrecht.

*Centimeter voor centimeter
kruipt het grondwater omhoog,
meebewegend met
de stijgende zeespiegel*

Regent het een paar weken flink in de Ardennen, dan zetten de bewoners van Itteren en Borgharen de zandzakken klaar om het Maaswater buiten de deur te houden. Vanaf de Servaasbrug in Maastricht zijn in zo'n geval schuimkoppen zichtbaar op de snelstromende rivier, die binnen een dag via Den Bosch de Noordzee bereikt. Zo snel als de Maas reageert op een zomerse wolkbreuk in België, zo traag beweegt het onzichtbare grondwater mee met de zeespiegel. Als twee communicerende vaten staan de Noordzee en het grondwater onder West-Nederland met elkaar in verbinding. De met zout water gevulde zandlaag onder het Groene Hart, die vanaf de Hollandse duinenrij reikt tot Utrecht, dempt de waterbeweging van eb en vloed, maar volgt de door het broeikaseffect

veroorzaakte zeespiegelstijging. Het zoute grondwater in de zandlaag duwt daardoor steeds harder tegen de onderkant van klei- en veenlagen in de polder, waarin zich zoet grondwater bevindt. Toename van deze 'kweldruk' is meetbaar met een peilbuis in het zand: jaarlijks stijgt het grondwater in zo'n buis een centimeter.

*Kan Nederland
de strijd tegen het water
nog wel betalen?*

Bierkens heeft uitgerekend dat Nederland steeds verder kopje onder gaat. Nu ligt een kwart van het landoppervlak onder de zeespiegel, de komende honderd jaar komt daar een gebied ter grootte van Noord-Brabant bij. Niet alléén door de zeespiegelstijging overigens; in klei- en veengebieden daalt de bodem zodat het stijgende water zich makkelijk kan verspreiden. Per meter veen daalt de bodem tot 16 millimeter per jaar door inklinking en oxidatie – het 'verbranden' van veen dat door grondwaterverlaging in contact komt met lucht. Ligt er een meter veen in een polder in West-Nederland, dan verwacht Bierkens daar de komende eeuw twee meter stijging van de grondwaterstand: “Eén meter door de zeespiegelstijging en één meter door bodemdaling.” De dikte van het veen varieert enorm, van enkele decimeters tot wel drie meter in de Alblasserwaard. Is de veenlaag dun, dan bestaat het risico dat deze de kweldruk niet meer kan opvangen. “Barst de veenlaag open, dan is het einde verhaal,” zegt Bierkens, “en kun je de zaak net zo goed onder laten lopen en er een plas van maken.”

“Waterschappen moeten steeds harder pompen om de polders droog te houden”, vervolgt Bierkens. Hoe groter het hoogteverschil dat een gemeentelijk moet overbruggen, hoe meer pk's nodig zijn om dezelfde hoeveelheid water weg te pompen. “Dat kan aardig in de papieren lopen: alleen al het installeren van voldoende pompen om het effect van zeespiegelstijging en de toename van de neerslag op te vangen, kost Nederland eenmalig 2 à 3 miljard euro”, rekent Bierkens voor. Tel je daar de onderhoudskosten bij op, dan kom je uit op een veelvoud van dat bedrag. “En dan houd ik nog geen rekening met het effect van bodemdaling en de aanleg van nieuwe bergingsreservoirs.” Hij vraagt zich af of dat het allemaal wel waard is: “Want wat krijgen we er eigenlijk voor terug? Landbouw brengt in ieder geval niet genoeg op om al die kosten te dekken. Kunnen we ons de luxe wel permitteren om het veenweidelandschap met zijn molens en weidevogels in stand te houden? Ik zou eerst eens een kosten-batenanalyse willen zien. Ik heb een dijkgraaf in Noord-Nederland al horen zeggen dat het voordeliger is om land onder water te laten staan dan om extra gemalen te plaatsen.” Kan Nederland de strijd tegen het water nog wel betalen?

Delftse ingenieurs denken voor de komende eeuw te beschikken over een betaalbaar plan: pomp het water terug naar zee nog vóór het de polder

bereikt. Cees van den Akker, in zijn voormalige functie van hoogleraar ingenieurshydrologie aan de Technische Universiteit Delft. “Als je langs de hele Hollandse kust, vijfhonderd meter landinwaarts, zout grondwater oppompt en terugstuurt naar zee, dan compenseer je daarmee het effect van zeespiegelstijging. Zo beheers je de grondwaterstand en blijven landbouw en woningbouw mogelijk.” Hoeveel grondwater hij wil trakteren op een retourtje Noordzee is nog onbekend: “Met modelonderzoek moeten we het plan verder optimaliseren. Worden het één of twee rijen grondwaterputten? Hoe ver kunnen we het water in de duinen laten zakken zonder schade voor natte natuur? Dat zijn onderwerpen van verder onderzoek.” Maar zelfverzekerd wijst hij erop dat de extra kosten laag zijn vergeleken met de kosten die we nu al maken: “We pompen nu jaarlijks twee miljard kubieke meter kwel- en regenwater uit de polder naar zee, in dit plan komen daar hooguit enkele procenten bij, niet meer dan een fractie van het totaal.”

Marc Bierkens gelooft minder in de maakbaarheid van het watersysteem. Hij pleit voor een leidende rol van grondwater in de ruimtelijke ordening: “Zorg eerst voor de juiste functie op de juiste plaats. Bouw geen woonwijk op de laagste plekken van Nederland, zoals de geplande 30.000 woningen zeven meter beneden NAP in de Zuidplaspolder, maar reserveer zo’n gebied voor extensieve landbouw of waterberging. Bouw je die woningen daar toch, dan zit je technisch op het randje. Het leidt beslist tot wateroverlast in kelders, op straten en pleinen.” Technologie komt op de tweede plaats in de zienswijze van Bierkens, die onnodig pompen liever voorkomt.

*Het is onvermijdelijk
dat Nederland
stukken land teruggeeft
aan de zee*

Maar hoeveel we ook pompen, over honderd jaar is de rek uit het grondwatersysteem, daarover zijn beiden het eens. Bierkens: “Bebouwing moet de hoogte in, dat is onvermijdelijk, denk aan drijvende woningen en wegen op palen. Anders moeten we de koffers pakken.” Natuur en landbouw wachten een ander lot: pompen of verzuipen. Van den Akker: “Hoeveel aardappelen we in de volgende eeuw nog zelf produceren is uiteindelijk een politieke keuze.” Hij trekt een parallel met de drinkwatervoorziening: “In de extreem droge zomer van 1976, toen Amsterdam kampte met een watertekort, sloeg de Nederlandse regering het aanbod van Noorwegen af om per schip drinkwater aan te voeren. Het Noorse water was nota bene goedkoper dan het Nederlandse! Zélf kunnen voorzien in drinkwater mag blijikbaar wat kosten.” De vraag is hoeveel Nederland over heeft voor Bintjes van eigen bodem.

Kosten en baten

Twee jaar geleden leverde een gezelschap van achthonderd wetenschappers in Utrecht stevige kritiek op het waterbeheer in het Groene Hart. De slotverklaring van een internationale conferentie over laaggelegen moerasgebieden, zogeheten wetlands, opent met de constatering dat eeuwenlang bedijken en droogpompen in West-Nederland heeft geleid tot een ingrijpende verstoring van het natuurlijk functioneren van dit eens drassige deltagebied. Gevolg: bodemdaling, inklinking van veen, vernietiging van het waterzuiverend vermogen en een toenemend overstromingsrisico. Het is dan ook onvermijdelijk dat Nederland stukken land aan de zee teruggeeft, aldus een van de aanwezige ecologieprofessoren. Toch stemde het Ministerie van VROM in met de bouw van bijna vierduizend woningen op het diepste punt van het Groene Hart, de Zuidplaspolder, en koos daarmee – tegen het waterwetenschappelijke advies in – voor nóg enkele generaties lang pompen. En omdat de zeespiegel nog wel even zal doorstijgen, moet het pompenarsenaal zelfs flink worden uitgebreid om de voeten ten westen van Gouda droog te houden.

Omdat Nederland grotendeels onder de zeespiegel ligt zou je hier heel wat wetlands verwachten. Maar alleen de Waddenzee staat op het lijstje wetlands van internationale betekenis, temidden van de Everglades en de Donaudelta, want het Groene Hart is de afgelopen eeuw vrijwel helemaal droog gepompt. Wetlands zijn belangrijk als rustplaats voor trekvogels en als kraamkamer voor vissen, maar wetenschappers benadrukken steeds vaker het belang van deze slecht toegankelijke moerasgebieden voor de mens. Net als de uiterwaarden langs een bedijkte rivier bufferen wetlands het overvloedige water dat tijdens een wolkbreuk of hoogwatergolf niet kan worden afgevoerd. Blijft het water lang genoeg staan, dan maken bacteriën organische verontreinigingen als olie onschadelijk en fungeert het moeras als biologische waterzuivering. De afgelopen jaren gaan er bovendien stemmen op dat wetlands wel eens een belangrijke *sink* van atmosferisch koolstof zouden kunnen zijn, doordat ze kooldioxide uit de atmosfeer omzetten in veen. Daarmee lossen veengebieden dus ook nog een stukje van het broeikasprobleem op. De totale baten van moerassen kunnen oplopen tot enkele tienduizenden euro per hectare per jaar, aldus berekeningen die ecologen in *Nature* publiceerden. Dat is een veelvoud van de 500 à 1.000 euro die een melkveehouder nu jaarlijks verdient aan een hectare grasland in het Groene Hart.

Schuivende kaden

Toen in de droge zomer van 2003 in Wilnis een veenkade bezweek, was Nederland in verwarring: een dijkdoorbraak door droogte? Maar de veenkades in Noord- en Zuid-Holland zijn geen door de mens aangelegde dijken, zoals die langs de grote rivieren, maar de laatste restanten van het afgegraven veenlandschap.

“Voor het kilometervak rond Wilnis zijn gegevens van 43 boringen beschikbaar, maar je hebt er aan twee genoeg om het systeem te begrijpen”, zegt Henk Weerts van TNO Bouw en Ondergrond. Als fysisch geograaf was hij intensief betrokken bij de landelijke, geologische kartering van de voormalige Rijks Geologische Dienst in Haarlem. Bijna veertig jaar lang zijn met de hand honderdduizenden gaatjes geboord in de slappe, Nederlandse bodem. Toen het boorwerk in 1997 voortijdig werd stopgezet was de bovenste vijf meter van West-Nederland al in kaart gebracht. Weerts wijst naar één van de twee boorbeschrijvingen bij Wilnis: “De dorpskern staat op het oude land, vier meter boven de omgeving. Hier is het veen niet afgegraven, verderop in de wijk Veenzijde wel. De onderuitgezakte kade heeft dezelfde bodemopbouw als naast de kerk: vier meter rietveen op een ondergrond van klei.”

Tijdens de veenontginning in Zuid-Holland, gestart na de bedijking van de Oude Rijn in 1122 en voortdurend doorgezet tot in de negentiende eeuw, bleven stroken rietveen als ‘dijken’ langs de veenriviertjes achter. De brandbaarheid van het rietveen, in het veld herkenbaar aan zijn vaalbruine kleur, had flink te lijden onder ingespoelde kleideeltjes, afkomstig van de Oude Rijn. “Na het stoken van drie turven rietveen moest je de asla alweer leegmaken”, vertelt Piet Cleveringa, de veendeskundige collega van Weerts. Rietveen ontstaat als rietkragen afsterven en zich daarna ophopen in zuurstofloos water. Zodra een ondiepe plas gevuld raakt met riet kunnen ook bomen als de elms zich gaan vestigen en ontstaat bosveen. “Die pioniers houden niet van het hele jaar

natte voeten”, legt Cleveringa uit. Pas als de afstand tot het grondwater zo groot is dat veengroei afhankelijk wordt van regenwater, ontstaat het bij turfwinners populaire mosveen. Cleveringa: “Een perfecte brandstof, vrij van klei.”

*“De geologische grenslagen
in veenkades
zijn zo glad
als een glijbaan”*

Hoe belangrijk het was om als turfwinner afstand tot de rivier te bewaren en zo het kleihoudend rietveen te vermijden, is nu nog terug te zien in het Zuid-Hollandse polderlandschap. Weerts legt uit: “Aan weerszijden van de Oude Rijn tussen Woerden en Alphen ligt eerst een kilometerbrede strook zand, dat zijn de oude rivieroeveren. Pas twee kilometer vanaf de rivier ligt een steilrand naar de twee meter diepe veenaafgraving. Tussen het afgegraven mosveen en de rivieroever ligt een onontgonnen strook rietveen, ongeveer een kilometer breed. Dezelfde ondergrond als in Wilnis. De oude kern bouwde men óp het rietveen, door er een sleuf in te trekken ontstond de ringvaart.”

Door ingenieurs ontworpen dijken bestaan uit een kern van verdicht zand met een bekleding van klei, aan de zijkant soms verzaagd met blokken basalt. “De vrijwel verticale laagovergangen tussen zand en klei vangen de zijwaartse waterdruk op,” vertelt Weerts, “maar in een kade van onontgonnen rietveen zitten geologische laagovergangen, die zijn juist horizontaal. Neemt de druk van het water in de ringvaart toe of de tegendruk van de dijk af, dan wordt zo’n grenslaag opeens een glijbaan.” Dat de meeste veenkades toch al vierhonderd jaar stabiel zijn schrijft hij toe aan de vorm van de taluds: “De kades zijn eigenlijk de voormalige oevers van drooggelegde veenplassen. Omdat zo’n plas flauwe oevers had, hebben de veenkades nu een brede voet. Die biedt genoeg tegenwicht aan de waterdruk uit de ringvaart.” Wat er misgaat als door langdurige uitdroging het gewicht van de veenkade te ver afneemt bleek in augustus 2003 in Wilnis, waar een veenkade bezweek. Cleveringa vraagt zich af of uitgedroogde veenkades geholpen zijn met een regenbui: “Volledig uitgedroogd veen is waterafstotend, regenwater loopt er van af. Pas na enkele dagen kan het rietveen weer water opnemen en brengt de veenkade langzaam zijn gewicht op peil. Intussen neemt de waterdruk in de ringvaart wél snel toe.”

“Enkele duizenden van de veertienduizend kilometer secundaire waterkering bestaan uit veenkades,” schat Weerts, kijkend naar een kaart met droogmakerijen in Noord- en Zuid-Holland, “en achter die kades ligt niet alleen de luchthaven van Schiphol, maar wonen ook honderdduizenden mensen in jonge steden als Zoetermeer, Hoofddorp

en Purmerend.” Hij pakt de tweede boorbeschrijving erbij: “Kijk, de huizen van die mensen staan op de kleilaag onder het afgegraven veen. Na het droogmaken van de veenplassen waren deze kleipolders lange tijd de graanschuur van Holland. De wegen van vóór de veenaafgraving liggen nog op de oorspronkelijke hoogte en steken, net als de HSL, enkele meters boven het polderlandschap uit.” Aarzelend relateert Weerts de gebeurtenis in Wilnis: “Hoe erg het ook is voor de mensen die er wonen, dit is niet te vergelijken met het doorbreken van de dijken in New Orleans. Het ergste wat er kan gebeuren als een kade in het rietveen doorbreekt, is het onderlopen van een voormalige veenplas.”

*“Het **ergste** wat er kan gebeuren...*

*...als een kade
in het rietveen **doorbreekt,***

*is het **onderlopen**
van een voormalige veenplas”*



Warm en koud

Nederland wordt een gatenkaas

De komende jaren gaan vier miljoen buisjes de grond in om bodemwarmte naar boven te halen.

Vindt de aarde al dat geboor en gerommel in haar ingewanden eigenlijk wel prettig?

Tweehonderdtachtig gezinnen in Houten hebben geen gasmeter in hun meterkast en geen CV-ketel op zolder. In de in 2002 gereedgekomen nieuwbouwwijk Hofstad worden kraanwater en binnenlucht op temperatuur gebracht met bodemwarmte, afkomstig van veertig meter onder de grond. Opgepompt grondwater verwarmt het water in de leiding die via de kruipruimte deze woningen binnenkomt. Een warmtepomp op zolder onttrekt warmte aan het leidingwater en geeft het weer af aan de verwarming en de boiler. Het water dat de woning verlaat is vier graden afgekoeld, tot acht graden Celsius. Anders dan een koelkast, die de lucht opwarmt terwijl melk en bier worden gekoeld, onttrekt een warmtepomp juist warmte aan zijn omgeving. Een omgekeerde koelkast dus, die – als de temperatuur van het aangevoerde water te laag is – hulp krijgt van een elektrisch verwarmingselement. In de Houtense nieuwbouwwijk zijn alle 280 warmtepompen aangesloten op één collectieve grondwaterbron. Dat is uitzonderlijk, veel vaker tapt ieder huis zijn eigen warmte uit de grond. Niet het grondwater zélf wordt dan rondgepompt, maar de koelvloeistof in een gesloten circuit van twee verticale, kunststof buizen. Zo'n bodemwarmtewisselaar is een hoofdletter U: via de ene buis gaat koude vloeistof omlaag, via de andere warme vloeistof omhoog. Onder de grond warmt de koelvloeistof op, dat is gratis energie. Duurzame energie?

In Kyoto is afgesproken dat 10% van alle energie in 2020 duurzaam is

Om aan de Kyoto-afspraken over CO₂-reductie te kunnen voldoen, moet in 2020 10% van de totale energievoorziening afkomstig zijn uit duurzame bronnen zoals windenergie, zonne-energie en bodemwarmte. In 2001 was dat nog maar 1,3%. Bodemwarmte speelt nu alleen achter de komma een rol in de totale binnenlandse productie: van de 42,97 petajoule (PJ oftewel 1.015 Joule) duurzame energie in 2001 is slechts 0,66 PJ afkomstig uit de ondiepe ondergrond. Als het aan de regering ligt produceren we over vijftien jaar vijftig keer zoveel bodemwarmte. Tot 2020 wordt de helft van alle nieuwbouwwoningen daarom uitgerust met een bodemwarmtewisselaar: straks zijn er zo'n half miljoen huizen met bodemwarmte, tegenover negenduizend in 2003. Voor de kantoorbouw zijn de doelstellingen minstens zo ambitieus. Om driekwart van alle utiliteitsgebouwen in Nederland met bodemwarmte te stoken, zijn maar twintigduizend bodemwarmte-installaties nodig. Maar waarom zijn er in de woningbouw zo veel meer installaties nodig?

Raken de ingewanden van moeder Aarde niet van streek door al dat geboor en gepomp?

“Voor een eigen bodemwarmtewisselaar onder je huis is geen vergunning nodig in het kader van de Grondwaterwet,” legt Vincent van Hoegaerden uit, “dat is het belangrijkste motief om te kiezen voor een klein systeem met kunststofbuizen.” Bij TNO Bouw en Ondergrond was hij enkele jaren adviseur over warmte- en koude-opslag in de ondergrond. Bij de aanleg van universiteiten en ziekenhuizen pakt men de zaken grootschaliger aan. Dertig tot honderd centimeter dik en minimaal vijftig meter diep boren twee buizen (een ‘doublet’) een watervoerende laag aan. Geen koelvloeistof, maar grondwater wordt opgepompt door die buizen: in de zomer koud water voor de airco, in de winter warm water voor de verwarming. “Per doublet kun je een aardig kantoor verwarmen,” zegt Van Hoegaerden, “ga maar na: een bodemwarmte-installatie van 25 megawatt met dertig doubletten verwarmt en koelt de hele Technische Universiteit van Eindhoven.” Veel minder boorgaten, veel meer vermogen. Zat de grondwatervergunning niet in de weg, dan zou één grootschalige bodemwarmte-installatie een hele woonwijk kunnen verwarmen, net als in Houten. Waarom subsidieert de overheid dan toch de aanschaf van kleinschalige installaties door consumenten?

“Het rendement van een bodemwarmtewisselaar en een warmtepomp ligt 40 tot 60% hoger dan de huidige, gasgestookte hoogrendementsketels.” Aan het woord is Dominic Brügemann, adviseur bodemenergie bij Joule Consult. “Maar ook architecten zijn blij met warmtepompen, omdat je

daarmee de energie prestatie coëfficiënt (EPC) flink vermindert”, vervolgt hij. “Woningen moeten een in het Bouwbesluit vastgestelde EPC hebben, en die wordt steeds lager. Om onder de 0,8 te komen moet je een enorm pakket aan passieve maatregelen nemen, zoals isolatie en kleine ramen. Met een warmtepomp kom je in één klap op 0,6. Dat levert de architect veel vrijheid op bij het ontwerpen.” Goedkope bodemwarmte, zo lijkt het, vermindert de noodzaak van energiezuinig ontwerpen. Maar zijn de effecten van het afkoelen en opwarmen van de ondergrond wel voldoende gewogen? Raken de ingewanden van moeder Aarde niet van streek door al dat geboor en gepomp?

Van Hoegaerden: “Het aanbrengen van de kunststofbuizen onder de grond is vaak een probleem. Per woning zijn dat er al gauw vijf. Bij het boren van de gaten prik je de kleilagen tussen grondwaterpakketten lek. Zeker bij goedkopere boortechnieken, zoals spuitboren, is het moeilijk om de doorboorde klei weer goed op de buis te laten aansluiten. Daardoor kan zoet grondwater uit de ene laag mengen met zout grondwater uit de andere. Hetzelfde geldt voor schoon en vuil grondwater.” De natuur houdt niet van kwaliteitsveranderingen van het grondwater: een zoetwaterplant legt het loodje na een slokje brak water. En drinkwaterbedrijven schrikken als ze een ondiepe grondwaterverontreiniging aantreffen in een diepe waterwinning, want dat brengt extra zuiveringskosten met zich mee. “Effecten op het grondwater zijn nog niet goed bekend,” vervolgt Van Hoegaerden, “voorspellingen zijn meestal gebaseerd op extrapolaties van buitenlandse studies. Maar wat zegt dat over de slappe Nederlandse ondergrond? Boor je een gat in de polder dan komt eerst de vrije grondwaterspiegel (‘freatisch’ water). Daaronder zitten meestal nog twee ‘watervoerende’ zandlagen, gescheiden door kleilagen. En dat allemaal in de eerste vijftig meter. Over de grens zit hard gesteente direct onder het maaiveld, in Nederland honderden meters diep.”

Met bulldozers verwijderen we nu het eerste hoofdstuk uit het ondergrondse geschiedenisboek, straks maken we gatenkaas van de rest

Op weg naar beneden komt een boor eerst een natuurlijk archief tegen. Sporen van klimaatveranderingen, menselijke bewoning en milieumomstandigheden liggen opgeslagen in fijne laagjes zand, klei en löss. Kennisinstituut Alterra heeft berekend dat door menselijk graven per dag tien hectare van deze ‘aardkundig waardevolle gebieden’ verdwijnt. In dit tempo is 70% van het archief binnen één eeuw vernietigd. Met bulldozers verwijderen we nu het eerste hoofdstuk uit het ondergrondse geschiedenisboek, straks maken we gatenkaas van de rest. Voor een

Aardwarmte

Naast de hiervoor beschreven benutting van ondiepe bodemwarmte, is het ook mogelijk op een diepte van twee tot vier kilometer aardwarmte te winnen. De temperatuur in de aardkorst neemt toe met de diepte, in Nederland met zo’n 30 °C per kilometer. Rekening houdend met een gemiddelde jaartemperatuur aan het aardoppervlak in Nederland van ongeveer 10 °C, betekent dit dat de temperatuur op twee kilometer diepte zo’n 70 °C bedraagt.

Deze aardwarmte kan worden gewonnen door warm water op te pompen uit watervoerende lagen met een voldoende hoge temperatuur. Watervoerende lagen zijn in nagenoeg de gehele ondergrond van Nederland aanwezig. Het probleem is dat voor de winning van aardwarmte grote hoeveelheden warm water nodig zijn. Een economisch rendabele aardwarmte-installatie moet zo’n vier tot vijf miljoen liter per dag produceren, genoeg voor de verwarming van ongeveer 3.500 woningen.

In het buitenland wordt deze vorm van aardwarmte vooral toegepast voor het verwarmen van huizen, kantoren en kassen en op beperkte schaal voor het opwekken van elektriciteit. In de Derde Energie nota 1996 wordt gesteld dat in 2020 in Nederland 10% van het huidige verbruik van fossiele brandstoffen vervangen moet zijn door inzet van duurzame energie. Hieraan moet aardwarmte 1% bijdragen, overeenkomend met ca. 2 petajoule.

aparte bodemwarmte-installatie onder de helft van alle nieuwbouwwoningen moeten we vier miljoen gaten boren, tientallen meters diep. Dat is evenveel als al die TV-antennes die ooit de stadshorizon ontsierden. De kabel-variant van bodemwarmtewinning, zoals gebruikelijk in de kantoorbouw, vergt maar twee boorgaten per 1.000 woningen: één warme en één koude bron. Een distributiesysteem (‘de kabel’) voorziet daarmee een hele woonwijk van warmte. Opgeteld levert dat hoogstens enkele duizenden boringen voor een half miljoen woningen.

Maar is dat nou veel, duizenden of zelfs miljoenen nieuwe boringen? Navraag bij de beheerder van DINO, de database met alle Data en Informatie van de Ondergrond van Nederland, leert dat de afgelopen eeuw ruim 400.000 boringen zijn verricht, het grootste deel ondieper dan tien meter. Met de regeringsplannen komen daar in twintig jaar nog eens tien keer zoveel boringen bij, gemiddeld vijf keer zo diep. “Als we ooit besluiten die vier miljoen buizen weer te verwijderen, bijvoorbeeld vanwege lekkage van antivries, dan worden die gaten nog twee keer zo groot,” volgens Van Hoegaerden van TNO, “want dat kan alleen zoals je een klokhuis uit een appel haalt: door er een groter gat omheen te boren.”

Bevroren blubber

Om op zestig meter diepte vluchtroutes te kunnen uitgraven tussen de twee buizen van de Westerscheldetunnel, werd de kleigrond eerst bevroren.

Wie een autorit maakt door de 6,6 kilometer lange Westerscheldetunnel, begeeft zich op heuvelachtig terrein: komend uit het zuiden daalt de reiziger in de eerste kilometer af naar zestig meter diepte om de Pas van Terneuzen, een vaargeul, onderlangs te passeren. Na een korte klim twintig meter omhoog volgt weer een geleidelijke afdaling om, vlak voor de finish in Ellewoutsdijk, nog één keer vijftig meter te stijgen naar NAP. De twee dalende en stijgende tunnelbuizen, één voor heen en één voor terug, zijn geboord in de kleigrond onder de Westerschelde. Als de sporten van een ladder zitten er 26 dwarsverbindingen tussen die buizen: de vluchtwegen. Om die te kunnen graven is de kleigrond eerst bevroren. “Om een hoekje boren kunnen we nog niet”, verklaart Richard Rijkers van TNO Bouw en Ondergrond, “en ook veilig graven en bouwen lukt niet in natte klei. Op een diepte van zestig meter is bevroering eigenlijk de enige oplossing. Daarmee maak je de grond stevig genoeg om toch te kunnen graven.”

Had het graafwerk op tien of twintig meter diepte in de polder moeten plaatsvinden, dan was men ongetwijfeld anders te werk gegaan. Grondwater zit wel vaker in de weg in West-Nederland: als het een keer flink doorregent lopen kelders onder en staat de snelweg blank. Een verstandige bouwer plaatst daarom altijd om zijn bouwput een verticale damwand die het water tegenhoudt. Daarmee voorkomt hij niet alleen dat klei in blubber verandert, het is ook een stuk goedkoper: grondbevroering kost meer dan tien keer zoveel als een damwand. Ook andere grondverbeteringstechnieken, zoals injectie van een betonsuspensie (grout) of het samendrukken van de grond door trillingen, waren onder de Westerschelde onuitvoerbaar. Rijkers: “Voor groutinjectie is de kleigrond niet doorlatend genoeg en om te compacteren is het te diep, je kunt er niet goed bij. Grondbevroering is de enige manier om de klei zo stijf te maken dat je er een buis in kunt leggen,” zegt Rijkers, “maar daar betaal je wel een flinke prijs voor.”

Veiligheid is een tweede grote kostenpost voor de Westerscheldetunnel. De dwarsverbindingen zijn noodzakelijk om vluchtroutes te creëren.

De richtlijn Tunnelveiligheid, opgesteld door de Europese Commissie, stelt hoge veiligheidseisen aan de honderden tunnels in Europa om ongelukken zoals in de Mont Blanc-tunnel in 1999 te voorkomen. Er vielen toen tientallen doden en de economische schade in Italië bedroeg 300 miljoen euro. In de Westerscheldetunnel worden, om botsingen tussen elkaar tegemoetkomende auto's te voorkomen, de transportstromen gescheiden: heen door de ene buis, terug door de andere. “Veiliger, maar ook duurder en complexer,” legt Rijkers uit, “je moet een keer extra boren. Daar komt bij dat in het eerste ontwerp om de vijfhonderd meter een vluchtweg was voorzien. Maar na de brand in de Mont Blanc tunnel verkleinde Rijkswaterstaat die afstand tot tweehonderdvijftig meter. Alles bij elkaar gaat een derde van het budget op aan de vluchtwegen.”

Een derde van het budget gaat op aan de vluchtwegen

Komt het Elfsteden-bestuur al hoopvol bij elkaar na een paar nachten strenge vorst en een decimeter ijs op een Friese sloot, de bouwers van de Westerscheldetunnel stelden hogere eisen. Om zonder instortingsgevaar van de ene tunnelbuis naar de andere te kunnen graven, is rondom het te graven gat een ijsdikte nodig van minimaal twee meter. Dat ijs lieten de bouwers in vijf weken langzaam aangroeien rond tweeëntwintig buizen gevuld met vriesvloeistof: calciumchloride met een temperatuur van –36 tot –38 graden Celsius. Als kleuters in een kring die versneld opgroeien tot zwaarlijvige volwassenen, zo werden de horizontale ijslichamen dikker en dikker, tot ze samen één massieve ijscilinder vormden. Vanuit een van de hoofdtunnelbuizen haptten kleine graafmachines zich door de bevroren grond een weg naar de andere buis, waarna tegen de binnenwand een laag spuitbeton van twintig tot dertig centimeter werd aangebracht. Een halve meter gewapend beton maakte de wand ten slotte sterk genoeg om – nadat de bevroren grond weer was ontdooid – stand te houden tegen de druk van buiten.

Na de mislukte poging bij de aanleg van de Amsterdamse metro, in de jaren '70, stond grondbevroering in Nederland in een slecht daglicht. Uitzetting van klei door bevroering was toen de oorzaak van schade aan ondergrondse constructies, die onder grote spanning kwamen te staan. In het buitenland liet men de moed niet zakken na zo'n duwtje van een homp bevroren klei: Canada bouwde fundamentele kennis op over het gedrag van bevroren grond, Noorwegen en België ontwikkelden laboratoriumtesten voor gronduitzetting en Japan deed praktijkervaring op bij de aanleg van een boortunnel bij Osaka. Na twintig jaar toekijken langs de zijlijn, importeerde Nederland deze kennis voor de aanleg van een ondergrondse infrastructuur: de Westerscheldetunnel had de primeur, maar ook de bouwers van de Botlektunnel (ook met dwarsverbindingen) en de toekomstige Noord-Zuidlijn maken gaatjes in bevroren klei.

Toch zijn nog niet alle problemen opgelost. Het buitenlandse onderzoek richtte zich vaak op de bevriezing van zand, een grondsoort die amper uitzet bij bevriezing. Net als in Amsterdam dertig jaar geleden, zijn in West-Nederlandse klei- en veengrond opnieuw problemen te verwachten: door de slechte waterdoorlatendheid en ongelijkmatige uitzetting kan de grondspanning flink oplopen en de tunnelbuis beschadigd raken.

*“14, 15, 16 millimeter indrukking:
als je die getallen
zo ziet oplopen,
wordt het toch spannend”*

Ter versteviging zijn de hoofdtunnelbuizen bij de dwarsverbinding daarom van staal, niet van beton. Het grootste risico was dat de hoofdbuizen zouden worden ingedrukt door de bevroren grond ertussen. Water zet bij bevriezing uit met 9%, voor waterverzadigde klei is dat minder, maar nog steeds 3% – genoeg om een flinke deuk in een tunnelsegment te drukken. Opdrachtgever Rijkswaterstaat hanteerde voor de indrukking een grens van 20 millimeter, daarboven zou de bouw worden stopgezet. Bij de eerste dwarsverbinding werd het direct al spannend voor Rijkers van TNO: “Het bevroren duurt ongeveer veertig dagen. Met meetapparatuur volgden we de indrukking van de tunnelbuis van dag tot dag: 14 millimeter, 15 millimeter, 16 millimeter. Door laboratoriumexperimenten kenden we het uitzettingsgedrag van klei, in verschillende richtingen. Maar als je die getallen zo ziet oplopen, wordt het toch spannend. Uiteindelijk hebben we een maximale indrukking van 20 millimeter gemeten, precies op de grens.” Een deuk van vier of vijf centimeter kan tot grote schade aan de tunnelbuis leiden, en zelfs lekkage veroorzaken. Ook al was staal beter dan beton in staat de druk van de bevroren grond op te vangen, het had ook een onvoorzien bijeffect. De bevroren klei hechtte niet aan het staal van de tunnelwand, net zomin als een bolletje vanille dat doet aan de lepel van de ijsboer. Het staal bleek namelijk als warmtebron te fungeren. Grondwater komt het eerst naar binnen langs zo’n zwakke plek, de naad tussen ijs en staal. Dat bleek overigens makkelijk te verhelpen. Rijkers van TNO: “Met een laag isolatie tegen de binnenwand van de hoofdverbinding, net als in de spouwmuur van een huis.”

Niettemin is er nog veel niet duidelijk. Rijkers: “Zo weten we te weinig over het uiteindelijke effect dat bevriezing heeft op de klei. Wat gebeurt er met de korrelstructuur? Verandert die onomkeerbaar, net als bij uitdroging? En wat is het effect daarvan op de stijfheid ná bevriezing? Daling van het maaiveld is een mogelijk gevolg van wat we vries-dooi consolidatie noemen: het zetten van de klei waarvan de korrelstructuur is veranderd. Net als uitzetting en lekkage is dat een risico om in de gaten te houden. Niet voor niets is grondbevriezing zo duur. Grondonderzoek, laboratoriumtesten, temperatuurmetingen: het kost bakken met geld.”

Bevroren klei hecht niet

aan een stalen tunnelwand,

net zomin als

een bolletje vanille

aan een ijslepel



Anal oog en digitaal

Schatkamer van de ondergrond

Op zoek naar olie, gas en zout boren de NAM en AKZO kilometersdiepe gaatjes in de aardkorst onder Nederland en de Noordzee. Omdat er voor klimaatonderzoekers later nog veel meer aan valt te onderzoeken, bracht TNO alle boorkernen op één plek bij elkaar.

Wie na een korte zoektocht over een Zeister bedrijfsterrein opeens oog in oog staat met het TNO-logo, kan niet vermoeden dat hij op het punt staat Nederlands grootste collectie grondmonsters te bezoeken. Tussen de grauwe blokkendozen verwacht je eerder een opslag van autobanden of een machinefabriek, al zou de witte garagedeur ook een noodlijdende wasstraat kunnen verbergen. Wat je in ieder geval niet verwacht: drommen mensen. Toch ziet beheerder Rob de Wilde die regelmatig in de Leeuweriklaan aan zich voorbij trekken. “Het lijkt hier wel de Kalverstraat”, grapt hij als hij me ontvangt in zijn met stenen, schelpen en fossielen volgestouwde kantoor. Het ene gezelschap na het andere leidt hij rond in deze twee verdiepingen tellende geologische schatkamer. Want sinds kort zijn de 4.400 kilometer boorkern die hier liggen, meter voor meter terug te vinden. Via barcodes, net als waspoeder en pindakaas in de supermarkt.

Bijna tweehonderd jaar nadat Napoleon in 1820 zijn Mijnbouwwet afkondigde zijn alle publieke collecties grondmonsters uit Nederland en de Noordzee op één plek bij elkaar: in het zogeheten kernhuis in Zeist. Weliswaar was de voormalige Rijks Geologische Dienst (RGD) sinds jaar en dag de enige overheidsinstantie die boorgegevens verzamelde en beheerde, de monstercollectie raakte versnipperd over de hoofdvestiging in Haarlem en de regionale districten in o.a. Zwolle, Nuenen en Heerlen. In totaal waren er 26 opslagplaatsen, waaronder de koelruimte van een voormalig slachthuis.

Een jaar na de fusie tussen de Rijks Geologische Dienst en TNO Grondwater en Geo-Energie tot het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (TNO-NITG), werd in 1998 besloten tot het op één locatie samenvoegen van alle deelcollecties. Ogenscheinlijk gebeurde dat met horten en stoten, in werkelijkheid is de grote monsterverhuizing steeds zo goed mogelijk ingepast in de bedrijfsvoering van het

nieuwgevormde TNO-instituut. Zo werd al in 1999 – vanwege het afstoten van de hoofdvestiging van de RGD – de Haarlemse opslag tijdelijk overgebracht naar een hangar van het zojuist failliet verklaarde Fokker. En zijn de lakprofielen (met lijm gemaakte afdrucken van de wand van een kuil) en monstercollecties uit Nuenen en Zwolle pas in 2002 – ná het opheffen van deze districten – overgebracht naar de definitieve eindbestemming: het kernhuis in Zeist. Na vier jaar verhuizen bevat het kernhuis sinds juni 2003 de grootste en meest veelzijdige collectie grondmonsters van Nederland: niet alleen ruim vierduizend kilometer boorkern in 110.000 verpakkingen, maar ook zo'n 300.000 liter boorgruis en ontelbare slijpplaatjes, lakprofielen, lakkernen en andere waardevolle collecties. Mocht de aardkorst onder Nederlands grondgebied niet het best zijn onderzocht, dan is die in ieder geval zo lek als een mandje.

Tweehonderd jaar nadat Napoleon zijn Mijnbouwwet afkondigde zijn alle grondmonsters uit Nederland nu op één plek bij elkaar

De Wilde ontvangt nogal eens TNO-managers die na een reorganisatie een bezoek brengen aan dit onbekende bedrijfs onderdeel; in rustiger tijden zijn het vooral collega's en klanten die op grote uitlegtafels boorkernen komen bestuderen of bemonsteren. Kind aan huis zijn de biogeologen: altijd speurend naar gefossiliseerde restanten van micro-organismen waarmee ze klimaatcondities in het verleden kunnen reconstrueren. Maar ook exploratiegeologen van olie- en gasreuzen als Wintershall, Petroland en de NAM lopen regelmatig binnen om eigen boorkernen opnieuw te bekijken. Interpretaties van sedimentaire structuren veranderen namelijk in de loop der tijd, en dan is het handig als je een oude boring weer uit de kast kunt halen. Wie wat bewaart, die heeft wat, zo luidt niet voor niets een oud-Hollands gezegde, en kan bovendien een hoop geld besparen. Want een kilometersdiepe olie- of gasboring kost al gauw een paar miljoen euro. Voordat je zo'n bedrag investeert loont het om een oude boring eerst nog eens grondig te bestuderen.

Achter de gesloten garagedeur staan twaalf pallets, tot een meter hoog volgeladen met langwerpige, houten dozen – groot genoeg om een rijtje magnum champagneflessen in te schuiven. Zojuist heeft AKZO deze partij diepe zoutboringen aangeleverd. Net als alle andere bedrijven die regelmatig ondergronds een gaatje prikken, is het zoutbedrijf volgens de Mijnbouwwet verplicht om een derde deel van het opgeboorde materiaal af te staan aan het Rijk. Tot 1997 bewaarde de Rijks Geologische Dienst namens de Staat der Nederlanden al deze monsters; tegenwoordig voert TNO Bouw en Ondergrond de gedelegeerde overheidstaak uit om alle

dozen met boorkernen en zakken met boorgruis te beheren.

Namens het Ministerie van Economische Zaken gebruikt TNO de gegevens zelf om zich een beeld te vormen van de structuur van Nederlandse ondergrond en vragen te beantwoorden als ‘Hoe groot zijn onze olie-, gas- en zoutvoorraden?’, ‘Waar zitten actieve breukzones?’ en ‘Welke gebieden zijn geschikt voor de aardwarmtewinning?’. Maar ook bedrijven profiteren na verloop van tijd van dit geologisch archief. Want volgens de nieuwe Mijnbouwwet zijn de boorgegevens na 5 jaar ook vrij beschikbaar voor anderen. Iedere oliemaatschappij kan hier dan op zijn gemak de boringen van zijn concurrent besnuffelen.

Iedere oliemaatschappij kan hier dan op zijn gemak de boringen van zijn concurrent besnuffelen

Voordat De Wilde deze monstercollectie met barcodes toegankelijk kon maken moest hij eerst nog een monnikenklus klaren: ál het in zo’n honderdentwintig verschillende soorten dozen, zakjes en bakjes opgeboorde heeft hij met de hand overgebracht naar een drietal standaardverpakkingen van ca. tien liter. Niet alleen kan hij zo de plankruimte veel efficiënter benutten, ook voorkomt hij daarmee rugklachten – verpakkingen van rond de tachtig liter zijn met de hedendaagse Arbo-regels uit den boze. Net als een boek in de bibliotheek kreeg iedere verpakking daarna een unieke barcode en een unieke plek, namelijk een plank met dezelfde code. Per verpakking registreerde Rob ook nog de naam van de boring, de boordiepte, de monsterdiepte, het type materiaal (boorgruis of boorkern) en het kaartbladnummer, allemaal gegevens die via de barcode in zijn PC weer zijn terug te vinden. De barcodes verbinden de ‘fysieke’ opslag van boorkernen met de ‘virtuele’ ondergrondgegevens op internet. Wie daar het webportaal DINO (www.dinoloket.nl) bezoekt om alle Data en Informatie over de Nederlandse Ondergrond te raadplegen, vindt dus niet alleen alle mogelijke boorbeschrijvingen en meetgegevens, maar via barcodes binnenkort ook verwijzingen naar de boorkernen zélf. Handig voor iedereen die een nieuwe interpretatie wil toetsen of een extra analyse wil uitvoeren.

Als damschilden liggen stukjes zandsteen losjes op een rij in een langwerpige houten bak die De Wilde heeft opengemaakt. Dit is één van de 1.065 kisten die ieder één meter van de diepste kernboring van Nederland bevatten. Dit topstuk uit de Zeister collectie is afkomstig uit de buurt van Oldenzaal, waar destijds tot een diepte van 3.200 meter onder maaiveld gesteentekernen zijn opgeboord. De boring van dit zogeheten Lutte-project neemt ruim vijftientig meter stellingkast in beslag, aldus

De Wilde, die niet zonder trots vertelt dat de stratigrafie van Nederland (het classificatiesysteem dat de opeenvolgende gesteentelagen beschrijft) grotendeels aan deze ene boring is opgehangen. Een eindje verderop staan we tussen een collectie lakprofielen. Hier voelt De Wilde zich helemaal thuis: niet alleen heeft hij als voormalig veldmedewerker een groot deel van de lakprofielen zelf gemaakt, het door hem ontworpen opbergstelsel bekroonde het Ministerie van Economische Zaken ooit met een prijs. Maar bovenal geniet hij van de schoonheid van de in lak gevangen korrels. De fijne structuren en patronen en de wisselende tinten grijs en bruin – “In strijklicht kun je zelfs begraven stroomstelsels herkennen”, aldus De Wilde – trokken ook de aandacht van menig kunstenaar en kunstverzamelaar. Op het profiel van een begraven vorstswig uit een van de laatste ijstijden is zelfs ooit een bod gedaan: maar liefst tienduizend euro had die liefhebber er voor over.

Olieplatforms zijn belangrijke leveranciers van nieuw boormateriaal. Wekelijks komt er één pallet boorgruis of boorkernen bij, laatst nog uit IJmuiden. “Maar ze zijn overal bezig, zo lijkt het wel”, zegt De Wilde, terwijl hij wijst naar de rode en groene vlekken op de kaart met olie- en gasvindplaatsen op het Nederlands Continentaal Plat. Ook de eigen boorploegen van TNO en die van opdrachtnemers als Haitjema leveren regelmatig een partijtje opgeboord materiaal uit de ondiepe ondergrond – tot maximaal vijfhonderd meter. Hoe blij De Wilde ook is met alle nieuwe leveringen, hij ziet toch aankomen dat er weer materiaal moet worden afgestoten. De diepe boringen nemen nu al ruim de helft van de totale opslagcapaciteit in beslag; en in het huidige tempo zit het binnen de kortste keren vol. En dus zit er niets anders op dan materiaal weg te gooien. Geen gemakkelijke klus, weet De Wilde uit ervaring: “Vraag het nooit een geoloog, want die gooien nooit iets weg.” Daarom hakt hij zelf wel eens een knoop door: “Hebben we twintig boringen in één en dezelfde vierkante kilometer, dan kan er best eentje weg,” zegt hij pragmatisch, “en laatst heb ik een paar vrachtwagens boormateriaal teruggegeven aan collega’s in Denemarken: kernen uit Groenland, daar werd hier niets meer mee gedaan.”

Misschien dat toepassing van nieuwe technologie in de toekomst het ruimteprobleem kan helpen verkleinen. Zo zijn er plannen om alle lakprofielen en boorkernen te fotograferen en via DINO te ontsluiten. En over niet al te lange tijd is het zelfs mogelijk om CT-scans te maken van boorkernen. Dat is dezelfde techniek waarmee Egyptologen in mummies kunnen kijken – zonder ze af te wikkelen. Met zo’n driedimensionale röntgenfoto kun je dan – ook zonder een bezoek aan het kernhuis – in een boorkern kijken naar korrelstructuren, barsten en poriën. Maar zolang het beheer van het kernhuis nog een overheidstaak is en geen commerciële activiteit, is dat waarschijnlijk nog te duur. Want al investeerde TNO jarenlang in het ontsluiten van de geologische schatten onder Nederland en neemt het gebruik van deze schatkamer snel toe, op een enkele uitzondering na is de toegang gratis. Net als een bezoek aan de Kalverstraat.

Dagelijks een sms'je naar DINO

Nu het zijn bestand met Data en Informatie van de Ondergrond van Nederland (DINO) goed heeft gevuld, richt TNO zich op het ontwikkelen van specialistische bodem- en grondwaterdiensten.

Brabantse boeren zagen het uitdrogen van de bodem afgelopen zomers op tijd aankomen. Want na het extreem droge jaar 2003 besloot de Provincie om grondwaterstanden online beschikbaar te maken voor een breed publiek. Op 1 juni 2005 was de door TNO ontwikkelde webapplicatie gereed. Sindsdien kan iedereen zelf een kijkje nemen in de database met Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond (DINO) om daar de grondwaterstand van vijftig Brabantse meetpunten van dag tot dag te volgen. Door metingen in het nú te vergelijken met metingen uit het verleden, ziet de gebruiker in één klap of er sprake is van extreem natte of droge situatie. Zo weten waterschappen op tijd of ze het waterpeil in poldersloten moeten verhogen en kunnen provincies op het juiste moment een beregeningsverbod afkondigen.

*Dataverstrekking alléén is passé,
dus voortaan biedt DINO
ook online diensten aan*

Klikkend en tikkend baant Martin Peersmann zich een weg door de in- en uitzoomende kaarten en in- en uitklappende menu's van DINOloket, het webportaal van DINO. Hij is hoofd van de TNO-afdeling die namens de rijksoverheid alle publieke gegevens over de ondergrond beheert en herinnert zich nog goed hoe het in 1997 allemaal begon: "Destijds wilden we dat klanten met één druk op de knop onze gegevens konden ontvangen. We waren helemaal gericht op data, zonder franje." En dus verstuurde TNO gezipte ASCII-bestanden met getallen in eindeloze rijen en kolommen aan eenieder die daar via een X- en Y-coördinaat om vroeg. En ook al heeft DINOloket inmiddels een gelikt grafisch interface voor burgers en beleidsmakers, veel oude getrouwe grootgebruikers halen nog iedere dag een gigabyte van deze 'platte' data op. Meestal zijn dat GIS-reuzen als

RIZA, RIVM, en de grote ingenieursbureau's, op zoek naar input voor hun datahongerige modellen en geografische informatie systemen. Maar met 28 terabyte aan data online weet DINO die honger aardig te stillen. "We zijn goed in data," besluit Peersmann dit DINO-hoofdstuk dan ook met trots, "hier hebben we onze naam mee opgebouwd."

*Met de 3D-viewer
kan iedere gebruiker
de ondergrond
als een cake doormidden snijden*

"Provincie Gelderland is ons vóór geweest", bekent zijn collega Hans van der Meij als hij uitlegt hoe TNO de Brabantse grondwaterstanden via telemetrie en een online koppeling met DINO op het internet laat verschijnen. "Maar wat zij eerder al voor elkaar kregen vergt nogal wat handwerk. Wij hebben het hele proces nu geautomatiseerd." En dat proces begint buiten, in het veld, waar sigaarvormige meetapparaatjes zijn opgehangen in geperforeerde PVC-buizen onder de grond. De uit de neus van de Joint Strike Fighter afkomstige meetsigaren registreren hier niet de luchtdruk, maar de waterhoogte in de peilbuis, de zogeheten 'stijghoogte'. Dat meetsignaal geven ze via een draadje door aan een datalogger, die dagelijks een sms-bericht doorseint naar DINO. Niet alleen de grondwaterstand bereikt TNO via zo'n tekstboodschap, maar ook de batterijspanning, de temperatuur en enkele parameters over de prestaties van de meetlocatie. "En dat is maar goed ook," verzucht Van der Meij, "want onze opstellingen worden regelmatig gesloopt." Soms rijdt een boer er per ongeluk tegenaan bij het maaien, maar hij maakte ook al mee dat een peilbuis met beton werd volgestort.

Op de kaart van Nederland vormen achttienduizend grondwaterputten, één rode stip per put, samen een flinke bloedvlek. Martin Peersmann vervolgt al demonstrerend zijn verhaal. Dataverstrekking alléén is passé, zo luidt zijn stellige overtuiging, dus voortaan wil hij DINO ook gebruiken om kaarten te maken en – nog beter – om diensten aan te bieden. Niet voor niets zette TNO de grondwaterstanden in Noord-Brabant online. Maar wat heeft DINO te bieden wanneer je niet in Brabant woont, maar bijvoorbeeld in de stad Utrecht? Peersmann klikt op één van de roodgekleurde puntjes in een woonwijk aan de oostkant van de stad, opent zo eerst de metadata en dan de database zélf. Op het scherm verschijnt een kolom met bodemgegevens in tinten geel en bruin. Peersmann frons: "Hm, ruim vier meter klei en veen, wie hier wil bouwen moet flink heien." Een paar muisklikken later heeft hij ook de grondwatergrafiek van dezelfde plek te pakken: een licht golvende lijn met een scherpe daling in 1998, waarschijnlijk het gevolg van een plaatselijke grondwateronttrekking. Wiens huis hier op houten palen staat mag zich zorgen gaan maken over paalrot, zo concludeert hij,

want zodra de kop van zo'n paal droogvalt, eet menig schimmel zijn buikje rond.

De meetfrequentie maakt het verschil tussen Brabant online en de stad Utrecht offline. Want door grondwaterstanden op afstand te registreren kan de provincie de grondwatergegevens dagelijks automatisch verversen, in plaats van twee keer per maand handmatig zoals in de rest van het land. Dat is een groot voordeel, zeker in tijden van crisis. Want als bestuurders moeten beslissen over het inlaten van zout water in het Groene Hart – zoals in de extreem droge zomer van 2003 – dan is actuele en betrouwbare grondwaterinformatie absoluut onmisbaar.

Maar nodig of niet, telemetrie is onomkeerbaar, aldus Hans van der Meij van TNO: “Het is steeds moeilijker om vrijwilligers te vinden die in het veld grondwaterstanden willen opnemen. En al willen rattenvangers en kantoniers ons soms uit de brand helpen, ook die mensen zien we langzaam verdwijnen. De technologie van op afstand meten komt dus op een uitstekend moment.” Voor moeilijk bereikbare meetlocaties overweegt hij nu nog om vervoersbedrijf Connexxion te hulp te vragen – met ‘lezers’ uitgeruste bussen kunnen onderweg meetgegevens ophalen bij dataloggers – maar in de toekomst verwacht hij meer van een breedband data-infrastructuur zoals ontwikkeld voor het LOFAR-project in Drenthe. Daar probeert een netwerk van spiegeltelescopen ‘babyfoto’s’ van het heelal te maken, met vele terabytes aan dataverkeer tot gevolg. Vijfentwintig sms-berichten per dag passen daar nog wel bij, zo hoor je Van der Meij denken.

Net als het opvragen van ASCII-bestanden via coördinaten is de grafische selectie van boorgegevens via een kaart op scherm al weer bijna verouderd. Want voor het visualiseren van gegevens uit de diepe ondergrond ontwikkelde TNO een zogeheten ‘3D-viewer’. Na een beetje oefenen kan iedere gebruiker de ondergrond daarmee als een cake doormidden snijden, openleggen en van binnenuit bekijken. Ook kan hij kolossale blokken ondergrond draaien, kantelen en roteren – met hetzelfde gemak waarmee Obelix een menhir optilt en weggooit – en zich zo een globaal beeld vormen van de ligging van watervoerende pakketten, oliehoudende zandsteenlagen en breuken in de harde aardkorst. Wil hij echt het naadje van de kous weten, dan moet hij overigens zijn portemonnee trekken, aldus Martin Peersmann: “Want gratis laten we wel een ‘quick-and-dirty’-dwarsdoorsnede van Nederland zien, maar wie betaalt krijgt topkwaliteit.”

Na de ‘platte’ 1D-ASCII-bestanden, de 2D-selectie op scherm en de 3D-viewer voor de diepe ondergrond is DINO nu volop bezig met de ontwikkeling van 4D-webservices. Want de online verstrekking van grondwaterstanden in Noord-Brabant is slechts één voorbeeld van het verbinden van tijdreeksen met kaartbeelden. Zo experimenteert de bij TNO werkzame Utrechtse hoogleraar Marc Bierkens met een vijfdaags hydrologisch weerbericht, inclusief een bodemvochtvoorspelling voor boeren. En via de LOFAR-datainfrastructuur registreert DINO continu bevingen en trillingen in de ondergrond, om straks sneller en beter te

Imposant bestand

DINO is ontstaan in 1997, het jaar van de fusie tussen de Rijks Geologische Dienst en TNO Grondwater en Geo-Energie tot het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (TNO-NITG). Het beheer van alle publieke ondergrond- en grondwatergegevens is een door het rijk aan TNO gedelegeerde overheidstaak. Negen jaar later is dit gegevensbestand uitgegroeid tot een omvang die bijna even imposant is als zijn naam: DINO bevat zo'n 38 miljoen grondwaterstanden, 423 duizend boorgaten met beschrijving van de bodemopbouw, 100 duizend chemische grondwateranalyses, 56 duizend waarnemingsputten grondwater, 13 duizend geoelektrische metingen, 20 duizend sonderingen en 200 seismische *surveys*. Alles bij elkaar nemen die gegevens nu al 28 terabyte schijfruimte in, binnenkort zelfs 42 terabyte als alle seismische gegevens aan het bestand worden toegevoegd. Al die gegevens worden zonder winsttoegewinst beschikbaar gesteld aan de Nederlandse samenleving, namelijk tegen verstrekkingskosten.

TNO krijgt deze gegevens van bedrijven, organisaties en instellingen die boringen en metingen verrichten in bodem, ondergrond en grondwater. De verplichte aanlevering van gegevens uit de diepe ondergrond, te weten dieper dan 500 meter beneden maaiveld, is geregeld in de op 1 januari 2003 vernieuwde Mijnbouwwet, waarin de vertrouwelijkheidstermijn is ingekort van 10 naar 5 jaar; grondwatergegevens moeten volgens de Grondwaterwet aan de staat worden afgestaan. Gegevens uit de bovenste 500 ondiepe meters van de Nederlandse bodem verzamelt TNO zelf of wint ze in via afspraken met grote spelers zoals Rijkswaterstaat, dat aanlevering van gegevens aan DINO in aanbestedingscontracten tegenwoordig verplicht stelt.

Dagelijks maken zo'n 1.100 abonnees gebruik van het webportaal DINOloket, waarbij ze al werkend een slordige gigabyte aan gegevens downloaden. Onder de gebruikers bevinden zich onderzoeksinstituten als KIWA, advies- en ingenieursbureaus als Oranjewoud en Royal Haskoning, Waterschap Regge en Dinkel, bedrijven als Gaz de France en vele universiteiten en hogescholen. Zij gebruiken de gegevens uit DINO om funderingsadviezen uit te brengen en warmtewinningsinstallaties aan te leggen, om olie en gas op te sporen en beton- en metselzand te winnen, om waterbeleid te ontwikkelen en leerlingen op te leiden. Zelf gebruikt TNO deze schat aan gegevens natuurlijk ook: om de ondergrond van Nederland in kaart te brengen, om het Ministerie van Economische Zaken te adviseren over de olie- en gasvoorraden en om haar eigen onderzoeksfunctie te kunnen uitoefenen.

kunnen reageren op door gaswinning veroorzaakte aardbevingen. Als het aan Martin Peersmann ligt zijn al die diensten binnenkort niet alleen beschikbaar via een vaste verbinding met het web, maar ook mobiel. Bluf? Nee, want enkele minuten later demonstreert hij op zijn met GPS uitgeruste personal digital assistant al een bèta-versie van de applicatie *e-Earth*. Met enkele tikjes op zijn mini-beeldscherm tovert hij pardoes de plaatselijke boorgegevens uit DINO te voorschijn.

DINOloket: www.dinoloket.nl



Leven en dood

Pollen en de politie

Menig crimineel draagt op zijn huid en in zijn neus stuifmeelsporen met zich mee, afkomstig van de plek van het misdrijf. In opdracht van het Nederlands Forensisch Instituut doen biogeologen daarom steeds vaker stuifmeelonderzoek bij delicten.

“Wat heeft zij het laatst gegeten en waar ging zij dood? Of je nou onderzoek doet naar het meisje van Yde, het beroemde veenlijk uit Drenthe, of het meisje van Nulde: de onderzoeksvragen zijn hetzelfde.” Aan het woord is Frans Bunnik, als bioloog werkzaam bij TNO: “Een telling van het stuifmeel in de longen verklapt waar de dode was toen hij het laatst inademde, in een dennenbos of op de hei.” Het stuifmeel van bomen, grassen en onkruid laat ongemerkt sporen achter op lichamen, kleren en voorwerpen. Sporen die vertellen in welk bos iemand heeft gewandeld en welke route hij heeft afgelegd. Werd dit onderzoek tot voor kort toegepast op de maaginhoud en het longweefsel van veenlijken en gletsjermannen, tegenwoordig gebruikt de politie die microscopisch kleine pollensporen ook om misdaden op te lossen. Want de crimineel die een slachtoffer in een weiland achterlaat, neemt een hele serie pollensporen met zich mee: op zijn huid, in het profiel van zijn schoenen en in het luchtfilter van zijn auto.

*“Als ik niet oppas,
zet ik de politie
op een dwaalspoor
naar Rusland”*

Sinds enkele jaren telt Bunnik, in opdracht van het Nederlands Forensisch Instituut (NFI), pollenkorrels op menselijke huid, neusslijmvlies, kledingstukken en tassen. Zijn bijdrage aan het researchewerk is simpel. Stel: een vrouw wordt vermist, de verdachte heeft een schop in zijn schuur en verklaart dat de moddersporen afkomstig zijn uit zijn tuin.

Bunnik vergelijkt in zo'n geval het pollenbeeld van die modder met dat van de tuinaarde. “Als je zo een verklaring van een getuige helpt bevestigen of ontzenuwen, dan komt er vaak beweging in een zaak”, zegt Bunnik. Maar de zaak is dan nog niet rond. “Want waar heeft de verdachte dan wél gegraven? Zo'n vraag kunnen we nog niet beantwoorden. Ook kan een pollenbeeld je op het verkeerde been zetten. Een groot deel van de Nederlandse tuinaarde wordt uit het Oostblok geïmporteerd. Dus als ik niet oppas, zet ik de politie op een dwaalspoor naar Rusland.”

*Een groot voordeel is
dat je een boomzaadje
of een stuifmeelkorrel
niet om toestemming hoeft te vragen
voor een DNA-onderzoek*

Een mannelijke plant produceert miljoenen stuifmeelkorrels, ofwel pollenkorrels ('het pollen' kent geen meervoud). Gemiddeld is zo'n korrel 30 tot 50 micrometer in doorsnede, te klein om met het blote oog te zien. Uitzonderlijk grote korrels zoals die van de zilverspar zijn tien keer zo groot, ongeveer 1/3 millimeter, en nog net zichtbaar. De verspreiding varieert. De den heeft bijvoorbeeld een pact gesloten met de wind voor het verspreiden van zijn genenmateriaal. Honderden kilometers ver, tot in de Atlantische Oceaan, kom je dennenuitstroom tegen. Vind je stuifmeel van een roos, dat wordt verspreid door insecten, dan is er ook een rozenstruik te vinden binnen enkele tientallen meters. Stuifmeel is herkenbaar aan de structuur van de pollenwand, het omhulsel van de mannelijke kern met genetische informatie. Net als plastic is het een polymeer, maar door de buitengewone resistentie lijkt het meer op glazuur. De openingen en deukjes in de pollenwand verraden van welke plant of boom het stuifmeel afkomstig is. Voordat het stuifmeel uit een bodemmonster onder een microscoop wordt herkend, moet het eerst een reeks chemische aanvallen doorstaan: een zoutzuurbad, een loogdouche en een spoeling van fluorwaterstof verwijderen achtereenvolgens kalk, klei en zand uit het monster, maar tasten de pollenwand niet aan. Een lichte verkleuring maakt de wandstructuur juist makkelijker herkenbaar onder de microscoop. Vierhonderd keer vergroot zie je waarom de wind het stuifmeel van de den zo ver meeneemt: twee bultige ballonnetjes flankeren de gladde stuifmeelkorrel.

Gebruik van DNA-technologie en gedetailleerde databestanden moeten de prestaties in dit nieuwe vakgebied naar een hoger plan tillen. “Zie je dat rijtje populieren daarbuiten?”, vraagt Bunnik. “Dat zijn allemaal klonen van één en dezelfde boom. Als we bomenfamilies genetisch kunnen onderscheiden, kun je iedere pollenkorrel weer terugbrengen naar het

bosje waar hij vandaan komt. Vergelijk het met een goede wandelkaart, met ongeveer dat detail kun je straks ook een bomenkaart maken. Ik zag op een documentaire op Discovery Channel al wat je daarmee kunt doen: een bijzonder boomzaadje uit de auto van het slachtoffer bracht de politie via DNA-onderzoek op de plek van de misdaad, tot op de boom nauwkeurig.” Een groot voordeel is dat je een boomzaadje of een stuifmeelkorrel niet om toestemming hoeft te vragen voor een DNA-onderzoek. Bunnik: “Van het slijmvlies in je neus kun je zeggen dat het tot je lichaam behoort, van de stuifmeelkorrels in het slijmvlies is dat nog maar de vraag.”

Samen met BIAAX Consult in Zaandam, een adviesbureau gespecialiseerd in archeologisch onderzoek, stelde TNO in 2003 richtlijnen op voor monsternamen op de plek van een misdrijf: ‘Guidelines for Forensic Botany’. “Geleidelijk aan komen we er achter waar je allemaal informatie uit kan halen”, vertelt Bunnik. “Neem de rouwranden onder de nagels van een verdachte. Als hij heeft gegraven zitten die vol grond, en dus vol stuifmeel. Knip je die nagels, dan heb je een schat aan informatie over waar hij heeft zitten woelen en hoe diep. Net als haren en vezels, kun je stuifmeelkorrels op huid en kleding met tape bemonsteren. Eigenlijk moet je ook direct op de plaats van het delict bodemonsters nemen. Constateer je een verschil tussen lijk en vindplaats, dan weet je bijna zeker dat er met het lichaam is gesleept. Drie maanden later bemonsteren levert niks meer op. Het pollenbeeld verandert van seizoen tot seizoen. Veel bomen bloeien in het voorjaar, gras bloeit in de zomer. Het zou daarom mooi zijn als stuifmeelonderzoek voortaan standaard wordt uitgevoerd bij delicten.” Drie jaar later lijkt die wens van Bunnik uit te komen. Onder invloed van de toegenomen publiciteit via bijvoorbeeld Discovery Channel dringt bij het Openbaar Ministerie en de politiediensten steeds meer het besef door dat stuifmeelonderzoek zorgvuldig en volledig dient plaats te vinden. Dat heeft inmiddels, medio 2006, geleid tot voorschriften aan de technische recherche bij het verzamelen van monstermateriaal op de plaats van het delict.

*Rouwranden
onder de nagels
van een verdachte
bevatten een schat
aan informatie*

Stuifmeel houdt van nattigheid

Stuifmeel is herkenbaar aan de structuur van de pollenwand, het plastic-achtige omhulsel van de mannelijke kern met genetische informatie. De openingen, deukjes, haakjes en richeltjes op de pollenwand verraden van welke plant of boom, van welk onkruid of gewas, het stuifmeel afkomstig is. Net als de houten palen waar Amsterdam op is gebouwd, houdt stuifmeel ook het meest van nattigheid: onder de waterspiegel, waar geen zuurstof is om het rottingsproces te voeden. In een drassig veengebied of op de bodem van een meer blijft een pollenwand dan ook miljoenen jaren intact. Maar ook in een zuurstofrijke omgeving kan een pollenkorrel het enkele eeuwen uithouden. Daarvoor heeft hij wel hulp nodig. Door herhaald opeten en uitpoepen, verkitten regenwormen de pollenkorrels en blijven ze ook in goed doorluchte bodems geconserveerd.

In bodems met een regelmatig aanvoer van nieuwe pollenkorrels ontstaat een tijdreeks van oud naar jong, van onder naar boven. Een pollenanalyse is een interpretatie van deze tijdreeks: welke pollenkorrels zaten op welk moment in de lucht? Turend door zijn microscoop turft een palynoloog geduldig de pollenkorrels in één druppeltje van het pollenconcentraat. Hij onderscheidt grasland van bos, de linde van de beuk, de walnoot van de kastanje. En daarmee reconstrueert hij de begroeiing uit een ver verleden. Uitgezet in een grafiek vertellen de opeenvolgende pollentellingen spannende geschiedenisverhalen. Zo illustreert een snelle afname van akkers en grasland in het pollendiagram van een dorp langs de Roer de totale uitroeiing van de bevolking in 53 voor Christus, direct na de inval van Julius Caesar.

Uitgegumd

Om grond bouwrijp te maken egaliseren bulldozers de laatste hoogteverschillen in het toch al vlakke, Nederlandse landschap. Zo wordt het geschiedenisboek van de geoloog, met verhalen over oprukkend landijs, koude poolwinden en meanderende rivieren, steeds minder goed leesbaar. Ook deze ‘dode’ natuur verdient bescherming, aldus TNO en Alterra.

Het referendum over woningbouw op de Steenwijker Kamp gaat niet door, zo besloot Burgemeester Apotheker, voormalig landbouwminister. Maar de omwonenden die bezwaar maakten tegen de bouw van 540 woningen op de stuwwalboog waar ze nu over uitkijken, geven hun verzet niet op. “We vechten door, desnoods tot de Kroon”, tekent een lokale krant eind 2003 op uit de mond van een woordvoerder.

De Steenwijkse stuwwalboog is ontstaan tijdens het Saalien, de voorlaatste ijstijd, toen uit het noorden oprukkend landijs als een knedende handpalm de plaatselijke zandbodem voor zich uit duwde.

Na het smelten van de ijslob bleef het opgestuwde zand als een tien meter hoge boog in het landschap liggen; waar eerst ijs lag ligt nu achter de wal een zogeheten ‘glaciaal bekken’. Een volgende ijstong ‘overreed’ de stuwwal en legde er *en passant* een laag keileem bovenop – onder het ijs meegevoerde grondmorene uit Scandinavië, het brongebied van het landijs. In het Weichselien, de laatste ijstijd, deponeerden koude poolwinden manshoge ‘dekzandkopjes’ bovenop de rug, die nu steil uit het vlakke veenlandschap oprijst. Op de flank van de stuwwal ligt de stad Steenwijk, de grootste groeikern in gemeente Steenwijkerland.

Op de vloer van haar werkkamer in Wageningen ontvouwt landschaps-ecoloog Hanneke van den Ancker een geologische kaart van Europa. “Stuwwallen uit het Weichselien zijn er in overvloed,” zegt ze terwijl haar vingers een boog beschrijven van Denemarken, via Hamburg en Dresden, naar Warschau, “maar die uit het Saalien liggen vrijwel allemaal in Nederland.” Bekend uit de aardrijkskundeles is bij velen de stuwwalboog van de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe, die het tongbekken van de

Geldersche Vallei omsluit. Tientallen meters hoog markeert die rug de zuidgrens van het landijs. De Steenwijker Kamp is het kleine broertje van deze zandgigant en is exemplarisch voor een tussenfase in de ijsuitbreiding tijdens het Saalien. “Bebouw je de Kamp, dan zijn de bewoners hun uitzicht kwijt en verdwijnen de dekzandkopjes op de stuwwal voorgoed. Een platte pannenkoek is alles wat overblijft van dit unieke werelderfgoed”, aldus Van den Ancker, die als voorzitter van de Werkgroep Aardkundige Waarden de protesterende Steenwijkers hier over adviseerde.

“*Bebouw je de Kamp,
dan is een platte pannenkoek
alles wat overblijft
van dit unieke werelderfgoed*”

“Er is in Nederland verbazingwekkend veel reliëf, meer dan de meeste mensen denken”, zegt Arjan Koomen van Alterra, het kennisinstituut voor de groene ruimte. Hij bracht de afgelopen zeven jaar de landschapsvormen van Nederland in kaart. Het resultaat, de Geomorfologische Kaart van Nederland, overhandigde hij op 27 november 2003 aan zijn opdrachtgever, het Ministerie van LNV. Met zijn uitspraak doet Koomen niet alleen op de honderden meters hoge heuvels in Limburg en de stuwwal van de Veluwe, maar ook op het kleinschalige reliëf dat enkele decimeters tot meters boven de omgeving uit torent: dekzandruggen op de hoge zandgronden en rivierduinen in het laagland tussen Maas en Rijn. “Dat zijn in het veld herkenbare restanten van natuurlijke processen onder invloed van wind, ijs en water. Ze helpen ons het ontstaan van het landschap te begrijpen.” Zo zijn de bulten in de A15 bij Ridderkerk, die auto’s doen opveren alsof ze een drempel passeren, in werkelijkheid kreekruggen. Door inpoldering zijn deze voormalige getijdegeulen – vergelijkbaar met die in de Waddenzee – drooggevallen. Toen de zeekei ernaast door ontwatering inklonk, bleef de zandige geul als zogeheten ‘kreekrug’ in het landschap achter. “Deze omkering van het reliëf”, aldus Koomen, “is kenmerkend voor het internationaal zeer zeldzame polderlandschap van West-Nederland.”

“In de delta van Rijn en Maas is de invloed van de wind, de rivieren, het landijs, de permafrost en de zee nog duidelijk in het landschap zichtbaar”, doceert Wim de Gans van TNO Bouw en Ondergrond. Hij houdt een recent in Siberië genomen foto van een ijswig – een met ijs gevulde scheur in de grond – naast die van een zandzuigerij in Schoonoord. “Als twee druppels water”, klinkt het triomfantelijk als hij wijst op een wigvorm in de wand van de Drentse groeve. De rivierterrassen langs de Maas, de pingoruïne van het Uddelermeer, het beekdal van de Drentsche Aa: stuk voor stuk illustreren deze vormen in het landschap een verhaal uit de recente geologische geschiedenis, het verhaal over de ‘dode’ – zogeheten abiotische – natuur. “Net als taal is ook de geologische geschiedenis bepalend voor onze nationale identiteit,” zegt De Gans, “en daarin speelt reliëf een sleutelrol.

Denk alleen maar aan de slag om de Grebbeberg in de Tweede Wereldoorlog en de watersnood in 1953.”

“Een kwart van het natuurlijk reliëf hebben we de afgelopen decennia geëgaliseerd,” berekende Koomen met zijn kaart, “en van het restant heeft slechts tien à twintig procent een beschermde status.” Het grote vergraven kende een hoogtepunt in de jaren zeventig, de tijd van de ruilverkavelingen. “De Vier Noorderkoggen”, herinnert Koomen zich de alleen per boot bereikbare polder uit zijn jeugd, “is toen van een vaarpolder veranderd in een rijpolder. De kreekruggen in het oude, agrarische landschap van West-Friesland zijn daarbij letterlijk ‘uitgegumd’.” Rond 1850 was al een begin gemaakt met het afgraven van de strandwallen van Noord- en Zuid-Holland, aldus De Gans. “Voor zover er geen steden op zijn gebouwd is er door zandwinning niets meer over van de driehonderd kilometer strandwal langs de Hollandse kust”, verzucht hij. “Jammer, want die markante, lange wallen vertelden het verhaal van de snelle kustuitbouw tussen drieduizend en tweeduizend voor Christus, toen de zee zand naar de kust bracht in plaats van andersom, zoals nu.” De wetenschap dat Alkmaar en Haarlem op oude strandwallen zijn gebouwd spreekt volgens De Gans minder tot de verbeelding dan de aanblik van een tien meter hoge rug in het vlakke polderland. “Hoewel ik al menig Hagenaar verraste met de reden waarom de Laan van Meerdervoort zo lang en recht is. Inderdaad, ook ’s-Gravenhage ligt op een door de branding opgeworpen zandrug.” De laatste onbebouwde strandwal, die van Spaarnwoude, is inmiddels zo bijzonder dat Provincie Noord-Holland er een heus Aardkundig Monument van maakte.

*“Stop een beekdal niet weg
in een betonnen goot,
maar laat hem als een groene strook
door een woonwijk slingeren”*

Pim Jungerius, emeritus hoogleraar geomorfologie aan de Universiteit van Amsterdam, las vele rijksnota’s over natuur en landschap en kwam daarin vaak het woord ‘beleving’ tegen. “Beleving en reliëf gaan hand in hand”, zegt hij, en verwijst naar een in opdracht van LNV uitgevoerd onderzoek naar de natuurwensen van recreanten, ‘Operatie Boomhut’: “Bos en open water staan op één en drie in de top 5 van meest gewaardeerde landschappen. De andere drie zijn rijk aan reliëf: duinen, heuvels en heidevelden.” Ook de flora is dol op reliëf, zo weten natuurorganisaties, want hoogteverschillen zorgen voor gradiënten – van nat naar droog, van kwel naar infiltratie, van kalkrijk naar kalkarm – en dat bevordert de biodiversiteit. Met lede ogen ziet Jungerius aan dat Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten die kennis aangrijpen om de schop ter hand te nemen. “Overall worden dezelfde poeltjes en hellinkjes aangelegd, ook al hebben ze geen enkele relatie met het oorspronkelijke landschap.” Ook fysisch geograaf Arthur de Groof, die begin jaren negentig voor

provincie Noord-Holland een brochure over aardkunde maakte, verbaasde zich destijds over het gegraveerd en gewroet op de terreinen van Natuurmonumenten: “Ik heb in hun beeldarchief bij wijze van spreken moeten zoeken naar een foto zonder bulldozer. Raar, want natuur is toch wat je overhoudt als je afblijft van het landschap?” Koomen van Alterra ziet het geschuif met grond de laatste drie à vier jaar verminderen. Natuurorganisaties ontdekken de waarde van het reliëf voor de levende natuur en graven met meer overleg: “Als er nu grond op de schop gaat is dat om de oude loop van een ooit meanderende beek te herstellen. Die beek komt dan weer tot leven en gaat zijn buitenbocht eroderen. Een steile oever is een ideale broedplaats voor de ijsvogel, dus uiteindelijk profiteert ook de fauna van het natuurlijk reliëf.” Het tij lijkt dus te keren, aldus Koomen, en hij ziet die ontwikkeling bevestigd door de ondertekening door Natuurmonumenten van het Aardkundig Manifest, een pleidooi voor meer aandacht voor bodem en reliëf in de ruimtelijke ordening.

Om VINEX-wijken en spoorlijnen aan te leggen nemen we per dag vijftig hectare grond in gebruik, waarvan er tien aardkundig waardevol zijn, aldus berekeningen van Alterra. Gaan we nog honderd jaar in dit tempo door, dan blijft maar 30% van het natuurlijk reliëf over. Ook al is dat nog niet altijd het geval, de Ecologische Hoofdstructuur zou ook het microreliëf van oeverwallen en dekzandkopjes moeten beschermen volgens Koomen. Hij maakt zich dan ook vooral zorgen over het reliëf buiten de Veluwe, het Mergelland en het Rivierengebied: “Door de snelheid en de schaal van het graafwerk komt het ‘point of no return’ in West-Nederland dichtbij. Zelfs de laatste kreekrug moet straks wijken voor de uitdijende Randstad.”

Dat het moeilijker is een internationaal bijzondere, honderdvijftigduizend jaar oude zandrug te beschermen dan een zeggekorfslak of kamsalamander, ondervonden de protesterende bewoners in Steenwijk. Zelfs de beschermde status van de stuwwal in het bestemmingsplan was onvoldoende om de bouwplannen tegen te houden. Wim de Gans van TNO denkt dan ook dat geologen en geomorfologen eieren voor hun geld moeten kiezen: “Probeer niet elke stuwwal te beschermen, we moeten ten slotte ergens wonen en werken.” Hij ziet meer in een onafhankelijke lijst met unieke landschapsvormen, een top 50 van het natuurlijk reliëf: “Wijs bijzondere gebieden aan, ompaal ze en blijf er verder van af.” In de jaren tachtig zijn de honderd aardkundig meest waardevolle gebieden al eens op kaart gezet, maar wettelijke status kregen ze niet. Arjan Koomen van Alterra heeft zijn twijfels over die aanpak: “Door dat soort lijstjes houd je straks een museumlandschap over met hier en daar een anecdotisch hoekje, alsof je een oude schoolkaart conserveert.” Hij gaat liever een stap verder. “Neem het reliëf ook mee bij de inrichting en herinrichting van landschappen. Stop een beekdal niet weg in een betonnen goot, maar laat hem als een groene strook door een woonwijk slingeren.” Hoe het niet moet illustreert hij met een voorbeeld uit eigen omgeving: “Na veel graafwerk en grondverzet is op een bedrijventerrein tussen Ede en Veenendaal een weg op een hoge rug gelegd. Voor het benodigde zand hebben ze eerst een dekzandrug afgegraven. Leg die weg daar dan op!”, zegt hij verontwaardigd. “Die weg is dan niet kaarsrecht, maar het werk van de wind blijft wel in het landschap herkenbaar.”

