

Regionale geologische variatie in samenstelling van de grond

De ondergrond wordt door mensen gebruikt en beïnvloed. Belangrijke invloeden zijn bijvoorbeeld drainage, nutriënten- en kationeninspoeling als gevolg van bemesting, verontreiniging met organische verbindingen, metalen en andere contaminanten. We willen de effecten van menselijke invloeden op de ondergrond kennen en beheersen.

Door Sophie Vermooten, Ruth Heerdink en Jasper Griffioen

Over de auteurs

drs. J.S.A. Vermooten is hydrogeoloog bij Deltares
ir. R. Heerdink is adviseur waterkwaliteit bij Deltares
dr. J. Griffioen is expert milieugeochemie bij TNO Geologische Dienst Nederland en Deltares

INLEIDING

De effecten van menselijke invloed worden onder andere bepaald door de geochemische eigenschappen van de ondergrond. Daarom werkt TNO - in het kader van haar taak van de geowetenschappelijke informatievoorziening - aan een geowetenschappelijke karakterisering van de eerste tientallen meters van de ondergrond. In 2009 en 2010 zijn hiervoor meer dan 3000 grondmonsters in Noord-Nederland en Zeeland geanalyseerd. Wat weten we nu over de natuurlijke achtergrondwaarden door deze schat aan data? Is de ondergrond geochemisch heterogener dan voorheen gedacht?

Sinds 2005 wordt op systematische wijze gewerkt aan de geowetenschappelijke karakterisering van de Nederlandse ondergrond tot circa 30 meter diep. Dit wordt door TNO de geotop genoemd en is het deel van de ondergrond waar de invloed van de mens het grootst is. Een onderdeel van dit programma is de milieugeochemische karakterisering (van Gaans et al., 2010). In Noord-Nederland en Zeeland zijn op een groot aantal locaties en op verschillende dieptes meer dan 3000 grondmonsters genomen en geanalyseerd. Deze schat aan analyses maakt het mogelijk om statistische kengetallen af te leiden en op basis daarvan te toetsen of sprake is van significante verschillen tussen gebieden en geologische eenheden. Het doel is om een referentie te creëren op regionale schaal van de geochemische samenstelling van sedimenten. Deze informatie is nuttig voor allerlei milieugeochemische vraagstukken, bijvoorbeeld kan de informatie gebruikt gaan worden bij de parametrisering van een ondergrond- of transportmodel of bij het bepalen van gebiedsspecifieke achtergrondwaarden.

METEN IS WETEN

In Noord-Nederland en in Zeeland zijn respectievelijk 2859 grondmonsters uit 75 boringen en 379 grondmonsters uit 16 boringen genomen waarop minstens een geochemische analyse is uitgevoerd. De diepte waarop de grondmonsters zijn genomen varieerde tussen 1 en 30 meter -mv. De gehalten aan (sporen) elementen, organisch materiaal, carbonaat, totaal en organisch koolstof, totaal zwavel en de korrelgrootteverdeling zijn geanaly-

seerd met standaard analysetechnieken. Een kwaliteitscontrole is uitgevoerd op de dataset door te kijken naar de totale macrosamenstelling, naar het gemeten anorganische koolstofgehalte, naar de verhouding organische stof en organische koolstof en naar de afwijking ten opzichte van natuurlijke achtergrondwaarden. In Noord-Nederland en Zeeland vielen respectievelijk 158 en 52 analyses af. Op basis van de lithologische samenstelling zijn de monsters verdeeld in 4 lithoklassen: zand, leem, klei en veen. Drie statistische methodes worden standaard toegepast op de analysegegevens: percentieplots, 'non-parametric multiple comparison'-test en factoranalyse. Zij geven inzicht in respectievelijk de frequentieverdeling van de gehalten van een element voor specifieke datagroepen, de mate waarin datagroepen statistisch significant van elkaar verschillen en de associatie van hoofd- en sporenelementen.

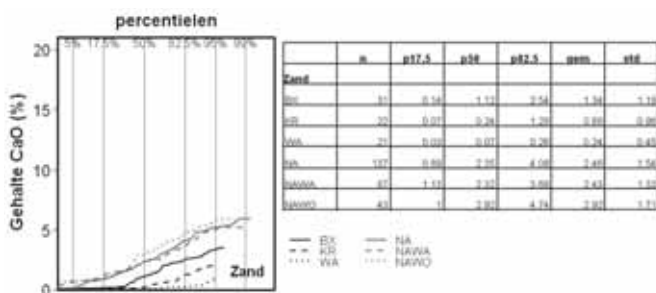


FIGUUR 1. DE GEOTOPGEBIEDEN VAN NEDERLAND EN DE LOCATIES VAN DE 16 BORINGEN IN ZEELAND EN DE 75 BORINGEN IN NOORD-NEDERLAND.

Voor Noord-Nederland en Zeeland zijn zo kengetallen opgesteld per lithoklasse, lithostratigrafische eenheid en geotopgebied voor hoofdelementen, sporenelementen en reactiecapaciteitsvariabelen. De acht berekende reactiecapaciteitsvariabelen, bijvoorbeeld de pyriet-, reactief ijzer of carbonaatgehaltenes, beschrijven de reactiviteit van de ondergrond, dat wil zeggen het vermogen om natuurlijke of antropogene stoffen af te kunnen breken. Naast de bovengenoemde kentallen is ook inzicht verkregen in de associatie van sporen- en hoofdelementen en daarmee de mogelijke geobeschikbaarheid van sporenelementen.

ARSEEN EN CALCIUM ALS VOORBEELD

De percentielenplots maken het mogelijk om gebieden en formaties of laagpakketten te vergelijken voor het twintigtal elementen dat nader beschouwd is. Voor het element arseen geldt dat de gehalten in de zand- en leemmonsters in de Formatie van Naaldwijk aanzienlijk hoger zijn dan in de Formatie van Bostel (zie kader voor geologische toelichting). Dit geldt overigens voor zowel Zeeland als Noord-Nederland. Wat deze twee formaties betreft, vinden we de hoogste arseengehaltenes terug in de leemmonsters van de Formatie van Naaldwijk (82,5 percentiel van 17 ppm voor Zeeland en 16,6 ppm voor Noord-Nederland). Als men bijvoorbeeld de verschillen bekijkt binnen de Formatie van Bostel in Noord-Nederland, dan zijn de hoogste arseengehaltenes aanwezig in de veenmonsters.



FIGUUR 2. PERCENTIELENPLOTS VAN CALCIUM EN STATISTIEKEN VOOR DE ZANDMONSTERS VAN FORMATIES EN LAAGPAKKETTEN IN ZEELAND. (BX; BOXTEL, KR; KREFTENHEYE, WA; WAALRE, NA; NAALDWIJK, NAWA; NAALDWIJK - WALCHEREN, NAWO; NAALDWIJK - WORMER).

Figuur 2 is een voorbeeld van een percentielenplot voor het hoofdelement calcium. Hier geldt ook een duidelijk verschil tussen de Formatie van Naaldwijk en de Formatie van Bostel. Calcium komt voor een groot deel voor in de vorm van calciumcarbonaat en is interessant in verband met de zuurbuftercapaciteit. De calciumgehaltenes zijn aanzienlijk hoger in de zandmonsters van de Formatie van Naaldwijk (mediaan van 2,35 % voor Zeeland en 2,56 % voor Noord Nederland) dan in die van de Formatie van Bostel (mediaan van 1,12 % voor Zeeland en 0,14 % voor Noord-Nederland). In de leem- en kleimonsters zijn de calciumgehaltenes nog hoger dan voor de zandmonsters. Wat opvalt is het verschil tussen Noord-Nederland en Zeeland wat betreft de calciumgehaltenes van de kleimonsters van de Formatie van Naaldwijk (mediaan van 6,29 % voor Zeeland en 3,91 % voor Noord-Nederland). De verklaring is dat het meeste kalk in de Holocene, mariene afzettingen afkomstig is uit het Kanaal en het gehalte afneemt vanaf Noord-Frankrijk tot Denemarken.

FACTORANALYSE; DOOR DE BOMEN HET BOS ZIEN

De factoranalyse is een statistische methode die voor een groot aantal variabelen een kleiner aantal achterliggende verklarende factoren zoekt, die een zo groot mogelijk deel van de oorspronkelijke variantie verklaren. Wij gebruiken deze analyse om de facto-

De Formatie van Naaldwijk zijn jonge mariene, lagunaire en strandafzettingen uit het Holoceen, die aan het oppervlak liggen in 'laag' Nederland. De Formatie van Bostel zijn voor het merendeel eolische afzettingen uit het Laat-Pleistoceen en Holoceen. Een groot deel van deze afzettingen wordt ook wel dekzanden genoemd en liggen in het oosten van het land aan het oppervlak en in 'laag' Nederland vaak onder de Formatie van Naaldwijk. De Laagpakketten van Wormer en Walcheren behoren tot de Formatie van Naaldwijk. Het zijn beide voornamelijk fijne zanden en kleien afgezet in getijdegeulen en op getijdeplaten. Het Hollandveen Laagpakket ligt stratigrafisch onder het Laagpakket van Walcheren en boven het Laagpakket van Wormer. (zie figuur 3)

ren te herleiden die onder anderen de variantie in gehalten aan (sporen)elementen verklaren. De associatie van sporenelementen met hoofdelementen is namelijk bepalend voor de mogelijke geobeschikbaarheid van sporenelementen en daarmee de kans op milieurisico's. Sommige mineralen verweren niet en andere lossen op in zure, oxiderende of juist reducerende omstandigheden.

alle	NAWO	
n = 79	Al/Fe	Ca
Al2O3	0.99	
TiO2	0.97	
Fe2O3	0.95	
MnO	0.71	
CaO		0.93
MgO	0.95	
Na2O	0.71	
K2O	0.96	
P2O5	0.89	
S	0.85	
C	0.78	
As	0.91	
Pb	0.92	
Zn	0.98	
Ni	0.97	
Cr	0.95	
Sr		0.89
Ba		-0.74
OS	0.92	
lutum	0.79	
silt	0.95	
SSL	14.96	3.25
VV	0.71	0.15
CVV	0.71	0.87

TABEL 1. FACTORMODEL VOOR HET LAAGPAKKET VAN WORMER VAN DE FORMATIE VAN NAALDWIJK (NAWO) IN ZEELAND MET 79 MONSTERS. (SSL = SUM OF SQUARED LOADINGS, VV= VERKLAARDE VARIANTIE, CVV = CUMULATIEVE VERKLAARDE VARIANTIE, AL/FE= ALUMINIUM/IJZER FACTOR, CA= CALCIUMFACTOR). DIT MODEL IS HET RESULTAAT VAN FACTORANALYSE, EEN STATISTISCHE METHODE DIE VOOR EEN GROOT AANTAL VARIABELEN EEN KLEINER AANTAL ACHTERLIGGENDE VERKLAARDE FACTOREN ZOEKT, DIE EEN ZO GROOT MOGELIJK DEEL VAN DE OORSPRONKELIJKE VARIANTIE VERKLAREN.

Tabel 1 geeft een voorbeeld van een factormodel voor het Laagpakket van Wormer (zie kader) van de Formatie van Naaldwijk in Zeeland. Dit model verklaart 87% van de oorspronkelijke variantie (CVV=0,87). In dit model zijn twee factoren te onderscheiden, een aluminium/ijzer factor en een calciumfactor (tweede en derde kolom). Voor dit laagpakket is organische stof sterk geassocieerd met de aluminium/ijzerfactor en strontium sterk geassocieerd met de calciumfactor. Ook verklaart de aluminium/ijzerfactor voor veel sporenelementen (arsen, lood, zink, nikkel en chroom) een belangrijk deel van de variantie. Wat opvalt, is dat de elementen fosfaat, mangaan en ijzer niet geassocieerd zijn met de calciumfactor. Een verklaring hiervoor is dat de kalk voor een groot deel al aanwezig was in de afgezette sedimen-

ten en niet later via diagenetische processen gevormd is. Voor andere formaties wordt deze associatie wel waargenomen bij de calciumfactor. Barium is negatief geassocieerd met calcium, wat betekent dat bij hoge calciumgehalten lage bariumgehalten gemeen zijn. Dit is ook in Noord-Nederland geconstateerd. In de studie is ook, gezien het grote aantal monsters, een factormodel berekend voor het Laagpakket van Walcheren van de Formatie van Naaldwijk. Deze verschilt van het factormodel van het Laagpakket van Wormer en van het factormodel van de Formatie van Naaldwijk als geheel. Gezien de lithologische gelijkenissen van beide laagpakketten verwacht men dit aanvankelijk niet. Hieruit moet geconcludeerd worden dat beide afzettingen geochemisch van elkaar verschillen. Wat de achterliggende oorzaken zijn, wordt nader onderzocht.

En wat zeggen de factormodellen over de eigenschappen van formaties in verschillende gebieden? Deze modellen kunnen ook een indicatie zijn voor verschillen in samenstelling van de mineralen in het sediment van eenzelfde formatie in Noord-Nederland en Zeeland. Tabel 2 geeft een samenvatting van de factormodellen van de Formaties van Naaldwijk en Boxtel in Holoceen Noord-Nederland en Zeeland. De factoren die uit de analyse komen en de verklaarde varianties worden vergeleken. Wat bijvoorbeeld opvalt, is dat de Formatie van Boxtel in Zeeland (met 3 factoren) andere karakteristieken lijkt te hebben dan in Noord-Nederland (met 2 factoren) als het gaat om associatie van elementen. In Zeeland is de eerste factor een calciumfactor die 40% van de variantie verklaart in tegenstelling tot Noord-Nederland waar aluminium/veldspaat de eerste factor is met een verklaarde variantie van 53% en waar geen calciumfactor aanwezig is. Dit zou kunnen betekenen dat elementen die verbonden zijn met de calciumfactor (zoals ijzer, mangaan, magnesium, fosfaat, zink, nikkel, chroom en strontium) in Zeeland makkelijker beschikbaar zijn dan in Noord-Nederland omdat deze daar voornamelijk in silikaten ingebouwd zitten.

Er bestaan systematische verschillen in geochemische samenstelling van grond tussen de geologische eenheden maar ook binnen een geologische eenheid in twee verschillende gebieden. Deze kennis is zowel voor beleidsdoeleinden van belang, zoals de implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water, als voor verbetering van modellen die het gedrag van stoffen in de ondergrond voorspellen in het kader van bijvoorbeeld gebiedsgericht grondwaterbeheer. De verbetering en verfijning van landelijke

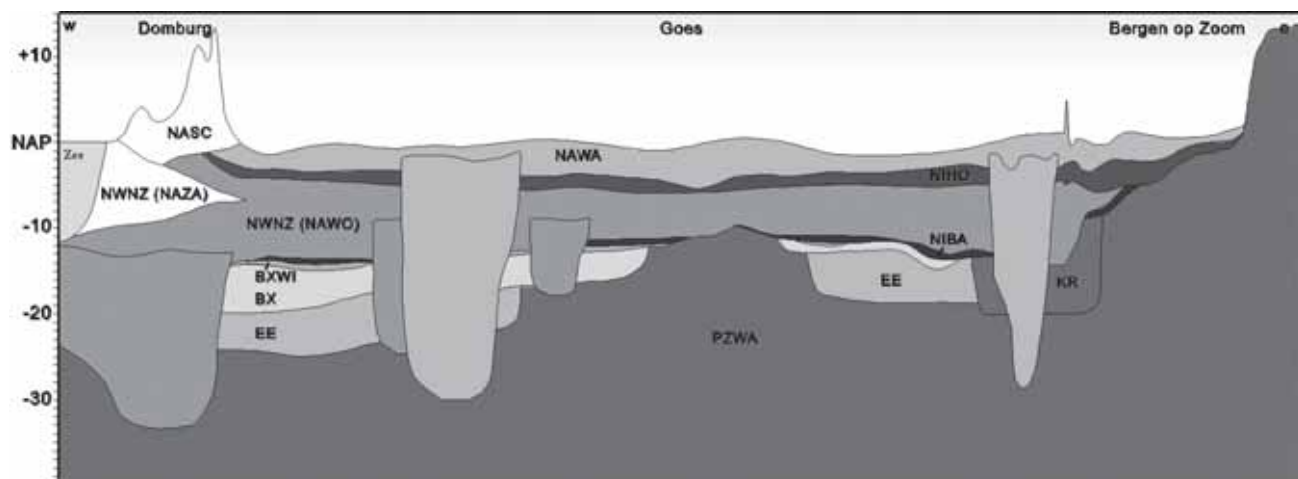
Formatie	Al/Fe	Calcium	S/OS	Lutum
Naaldwijk (Holoceen Noord-Nederland)	54%	18%	10%	
Naaldwijk (Zeeland)	60%			25%
	Al/veldspaat	Calcium	S/OS	
Boxtel (Holoceen Noord-Nederland)	53%		33%	
Boxtel (Zeeland)	30%	40%	20%	

TABEL 2. DE VERKLAARDE VARIANTIE (VV) AFKOMSTIG UIT DE FACTOR ANALYSES (TABEL 1) VOOR DE FORMATIES VAN NAALDWIJK EN BOX TEL IN HOLOCEEN NOORD-NEDERLAND EN IN ZEELAND (AL/FE= ALUMINIUM/IJZER FACTOR; S/OS = ZWAVEL/ ORGANISCHE STOF).

modellen maakt het mogelijk om deze geochemische data te gebruiken om tot een betere weergave van de realiteit te komen zodat milieुरisico's beter in beeld gebracht kunnen worden.

REFERENTIES

- Van Gaans, P.F.M., Griffioen, J. Mol, G., Klaver, G.T., Klein, J. (2010). Aanpak voor bemonstering en analyse. *Bodem* (20/4), 9-11.
- Heerdink, R., Griffioen J. (2011). Geochemische karakterisering van de geotop van Noord-Nederland (hoofdgebied 5). Gehaltes en associaties van hoofd- en sporelementen. TNO-rapport.
- Klein, J., Heerdink, R., Griffioen, J., Kiden, P. (2009). Kwaliteitstoetsing geochemische data Noord-Nederland. Deltares-rapport 0908-0087-cl.
- Klein, J., Griffioen, J. (2011). Geochemische karakterisering van de geotop van Noord Nederland (hoofdgebied 5). De reactiecapaciteit van afzettingen in de geotop van Noord-Nederland. TNO-034-UT-2010-01286.
- Stafleu, J., Maljers, D., Gunnink, J.L., Menkovic, A., Busschers, F.S. 3D modelling of the shallow subsurface of Zeeland, the Netherlands. *TNO. Verwacht in de Netherlands Journal of Geosciences*.
- Vermooten, J.S.A., Griffioen, J., Heerdink, R., Visser, A. (2011). Geochemische karakterisering van de geotop van Zeeland (gebied 1a, 1c en 1d). TNO-034-UT-2010-02397



FIGUUR 3. DWARSDOORSNEDEN VAN ZEELAND. (BX; BOXTEL, KR; KREFTENHEYE, PZWA; PEIZE/WAALRE, NA; NAALDWIJK, NAWA; NAALDWIJK - WALCHEREN, NAWO; NAALDWIJK - WORMER, NASC; NAALDWIJK -SCHOORL, NIHO; NIEUWKOOP-HOLLANDVEEN, NIBA; NIEUWKOOP-BASISVEEN, EE; EEM).