

Geo .brief 2

maart 2024

**Datareeksen als rampenvoorspeller
Druk op de Nederlandse bodem
Geoloog in de Zwitserse Alpen**

Paardenpraat / Er zijn grenzen aan wat een mens kan verduren. Zo woon ik samen met vier dames, mijn vrouw en drie dochters. We hebben het goed en het gaat goed. Maar... de vier dames hebben een gemeenschappelijke hobby. Het is meer dan een hobby: een passie, namelijk paardrijden. Mijn vrouw rijdt al jaren paard en is sinds haar aanstelling als neuroloog in het bezit van een schimmel. Niet de vriendelijke schimmel dit geassocieerd wordt met de folklorerondom 5 december, maar een eigenwijs paard, met de nodige nukken en onrust in haar donder. Leuk detail is dat dit beest rustig wordt in mijn aanwezigheid, waarmee ik een officieuze en ongewilde paardenfluisteraar ben. Onze oudste dochter studeert diergeneeskunde en heeft de ambitie zich te specialiseren in, u raadt het al, het paard. De middelste dochter heeft na afronding van haar VWO, ten tijden van COVID, bedacht dat studeren niet bij haar past en heeft een directe weg genomen naar deze merkwaardige industrie van hoefsferen, mest en strass. Dan blijft de jongste over, die vult haar oudere zusters aan en is de rots in de branding als het over de toewijding en de verzorging gaat met betrekking tot deze viervoeters. De essentie is dat het gesprek bij ons thuis vaak over paarden gaat: ijzers, wormenkuren, zadels, hoofdstellen, jurering van wedstrijden, kreupel of niet-kreupel, moet de deken op of af, etc etc. Samengevat: we hebben het hier over paardenpraat. Af en toe is het genoeg en roep ik het een halt toe. Maar alternatieven op paardenpraat zijn niet altijd beter. Want wanneer ik de paardenpraat een halt toe roep dan gaat het snel over andere vrouwenzaken waar ik ook niet over mee kan praten. Dan is mijn rol als paardenfluisteraar opeens een verlichting die net zo ver weg is als gewenst.

Kan het erger dan paardenpraat? Het is mijn inschatting dat de meesten mensen die gestudeerd hebben wel een geneeskundestudent in hun vriendenkring hebben of gekend hebben. Deze studenten zijn inmiddels vaak praktiserende dokters en zijn altijd sociaal, betrokken, geïnteresseerd en toegankelijk. Over het algemeen is er geen vraag over jouw gezondheid die ze gewild of ongewild en met geduld en toewijding niet willen beantwoorden. Alles gaat goed, totdat ze hun collega tegenkomen, dan vliegen de medische termen je om de oren. Onbegrijpelijke en onbekende woorden maken je langzaam klein en confronteren je met je eigen beperkingen en gebrek aan kennis. Interventies en interrupties hebben weinig zin, is mijn ervaring. Meepraten heeft wisselend succes. Op zoek gaan naar een nieuw gesprekspartner is vaak effectief.

Wat me intrigeert als ik het medische equivalent van paardenpraat waarneem bij geneeskundestudenten, is de gezamenlijk drive voor het vak, de zorg voor de patiënt en de trots op hun professie. Ik zie de liefde voor het vak en de trots in de aardwetenschappen vaak, maar mis wellicht de gezamenlijke verantwoordelijkheid voor de patiënt bij ons. Want let wel, onze patiënt is van slag. Ze is vaak gedehydrerd, afgewisseld met periodes van hevige transpiratie

waar geen maat op staat. Koude rillingen en koorts wisselen elkaar rap af, resulterend in lethargisch gedrag. De trend is dat de temperatuur stijgt, dat kan geen goed teken zijn. De verzuring van de oceanen is het aardwetenschappelijke equivalent van hoge bloeddruk en is zeer verontrustend. De diagnose is dankzij onder andere het IPCC gesteld. Second opinions en third opinions zijn er geweest. Het is tijd voor helder beleid, ingrepen en monitoren. Daar mogen we het best vaker met elkaar over hebben.

In 2007 stond ik samen met collega's en studenten van de TU Delft aan de wieg van het Spiegelzee paviljoen, op het strand van Katwijk. Het paviljoen bestaat uit een ingenieus netwerk van trappen die de zeespiegelverandering vanaf het Eemien, circa 6 meter boven NAP, tot het niveau van vandaag de dag verbeeldt. Inclusief het Last Glacial Maximum (LGM) met de laagstand van circa 120 meter onder NAP. Een beeld dat mijn verbeelding blijft uitdagen en deels ook een maat is voor de amplitude waarmee we rekening zouden moeten houden. Mijn punt is dat als gevolg van paardenpraat mijn sympathie voor de voorlichter bij de faculteit enorm is toegenomen. Want zij vond dat ik het woord sediment niet mocht noemen in onze publieksgerichte communicatie. Ondanks hevig verzet mijnnerzijds is de term sediment in alle teksten toen vervangen door klei en zand.

Bob Hoogendoorn





Datareeksen als rampen-voorspeller

Jana Lim uit Singapore kreeg in februari de Escherprijs voor de beste aardwetenschappelijke masterscriptie van 2022-2023. Aan de Universiteit Twente gebruikte ze ‘deep-learning’-algoritmen om aardverschuivingen te voorspellen op basis van regenval en terreineigenschappen. ‘De combinatie van methodologie en toepassing vind ik heel boeiend.’

De beelden zijn regelmatig in het nieuws: hele stukken helling die naar beneden zijn gegleden. Met bos en al, soms zelfs met huizen en al. Aardverschuivingen komen regelmatig voor, van Spitsbergen tot in de tropen. En naar verwachting neemt hun frequentie alleen maar toe, voorspelde het IPCC in 2022. De risico’s worden namelijk steeds groter, door een combinatie van landgebruik (bijvoorbeeld boskap en mijnbouw) en klimaatverandering, met meer en extremere regenval.

Jana Lim deed hier onderzoek naar voor haar masterscriptie aan de Universiteit Twente, in een samenwerking met Deltares. Een staaltje *next-level*-datawetenschap: ze onderzocht in hoeverre je langere reeksen van regenvaldata, in combinatie met terreineigenschappen, kunt gebruiken om aardverschuivingen te voorspellen.

En met succes: eind februari werd haar werk bekroond met de Escherprijs, de prestigieuze jaarlijkse KNGMG-scriptieprijs. De prijs is vernoemd naar de Leidse hoogleraar algemene geologie Berend Escher (1885-1967) en wordt uitgereikt sinds 1994. Naast een geldbedrag van 2.500 euro krijgt de winnaar een uitnodiging om te publiceren in *The Netherlands Journal of Geosciences*.

“Wat een geweldige leuk nieuws”, reageert Jana Lim per mail vanuit Singapore, waar ze Chinees Nieuwjaar aan het vieren is. Een paar dagen later is ze terug in Nederland, in Delft, waar ze inmiddels voor Deltares werkt, naast een promotieplaats in Twente.

Je bent dus in Nederland blijven ‘plakken’ na je masteronderzoek?

“Ja. Ik won een beurs, de Twente Graduate School Award, om in Twente een PhD te halen. Tegelijkertijd bood Deltares me een baan aan. Ik kon niet kiezen, dus ik heb ze allebei aangenomen, allebei parttime. Ik doe nu PhD-onder-



Aardverschuiving in Turkije.

Foto: Hakan Tanyas

Jana Lim (Singapore, 1995) studeerde Environmental Earth Systems Science aan de Nanyang Technological University in Singapore. Daarna haalde ze een Erasmus Mundus Masters aan de Universiteit van Lund (Zweden) en de Universiteit Twente: Geoinformation Science and Earth Observation for Environmental Modeling and Management. Ze werkt nu als junior-adviseur bij Deltares en doet promotieonderzoek in Twente. Jana houdt van lezen en maakt graag lange wandelingen terwijl ze naar podcasts luistert. Waar ze ook komt is ze voortdurend op zoek naar lekker eten – een typisch Singaporese hobby.

zoek aan de Universiteit Twente, in feite een verdieping van mijn masteronderzoek. En ik werk als junior-adviseur bij Deltares.”

Wat doe je precies bij Deltares?

“Het is heel breed – ik voel mij als een kind in een snoepwinkel. Ik heb enorm veel vrijheid om binnen de organisatie zelf op zoek te gaan naar projecten die aansluiten bij mijn wetenschappelijke interesses. Ik werk bij de afdeling Datawetenschap en Waterkwaliteit, maar dat is vrij arbitrair. Die afdelingen zijn op zichzelf al vrij fluïde, en ik mag ook over de muren van de afdelingen heen kijken. Ik kom dus in aanraking met allerlei soorten projecten. Het in kaart brengen van het risico op aardverschuivingen, maar ook bijvoorbeeld baggerprojecten en de beoordeling van klimaatrisico’s.”

Een kennisinstituut werkt veelal toepassingsgericht. Kun je een voorbeeld noemen?

“Ik ben toevallig net begonnen met een baggerproject in de haven van Rotterdam. We proberen te kijken of we datawetenschap kunnen inzetten om patronen te ontdekken in de samenhang tussen baggeractiviteiten en milieuomstandigheden. Uiteindelijk hopen we dat mensen daarmee betere beslissingen kunnen nemen rondom het baggeren.”

Ik onderzoek in hoeverre je langere reeksen van regenvaldata in combinatie met terreineigenschappen kan gebruiken om aardverschuivingen te voorspellen

Hoe kwam je eigenlijk in Nederland terecht?

“In Singapore heb ik een bachelor gehaald in *environmental earth systems science*. Ik specialiseerde me in de interacties tussen mens en omgeving. Tijdens die bachelor deed ik een stage bij het Danish Hydraulic Institute, waar ik kennismaakte met GIS en remote sensing. Ik mocht meewerken aan een aantal projecten die deze technieken inzetten in de context van riviermorfologie. Geweldig interessant. Ik wilde graag verder met GIS en remote sensing en wilde daarom graag een master halen. Het liefst in het buitenland, om me zo breed mogelijk te ontwikkelen. Europa was altijd al een droom van me, vooral de faculteit ITC (Geo-informatie en Aardobservatie) van de Universiteit Twente. Die staat heel hoog aangeschreven. Ik had het geluk dat ik een Erasmus Mundusbeurs kon krijgen voor een duaal masterprogramma: het eerste jaar was in Lund, in Zweden, en het tweede jaar in Twente.”

Maar in je scriptie richtte je je weer op Azië: op aardverschuivingen in Vietnam. Ben je daar ook geweest?

“Nee, hoewel ik dat wel heel graag had gewild! Ik werkte met data die er al waren, afkomstig van NASA. Dat waren remote-sensingdata van tien provincies in Vietnam, voornamelijk in het noorden van het land. Die regio’s kennen een hevig regenseizoen tussen mei en oktober, en dat is ook de periode dat daar de meeste aardverschuivingen plaatsvinden. NASA heeft daar de aardverschuivingen semi-automatisch in kaart gebracht op basis van veranderingen in vegetatiebedekking, gekoppeld aan rapportages over daadwerkelijke aardverschuivingen. Die gegevens combineerden wij met data omtrent



regenval, en omtrent het landschap: onder meer reliëf, hellingshoek, afstand tot de dichtstbijzijnde breuklijn, grondsoort en vegetatiebedekking.”

Hoe kan je uit die brei van data nuttige informatie destilleren?

“Haha, ja, dat is precies de methodologische uitdaging! Het leukste stukje zit hem wat mij betreft in de regenvaldata. We keken naar langere tijdreeksen van verschillende regenvalparameters, bijvoorbeeld de maximum of juist cumulatieve regenval in een bepaalde tijdseenheid. Zulke reeksen kun je opvatten als een signaal, een onregelmatige golfbeweging. We lieten ons inspireren door software voor spraakherkenning. Gesproken commando's die mensen geven aan een virtuele assistent, zoals Siri, kun je ook beschouwen als een signaal. Om dat te

verwerken gebruiken computers een neuraal netwerk: een zelflerend computermodel dat beslissingen neemt op een manier die je kunt vergelijken met de werking van onze eigen hersenen. Een neuraal netwerk dat oorspronkelijk was ontwikkeld voor spraakherkenning, hebben wij losgelaten op het regenvalsignaal, en een ander neuraal netwerk op terreineigenschappen.”

En, kwam daar iets uit?

“Ja: de gecombineerde uitkomst van die twee netwerken blijkt een goede voorspeller te zijn van aardverschuivingen. Wat ik heel interessant vind is dat die neurale netwerken de hele context meenemen, net als onze hersenen. Wij nemen beslissingen op basis van alle beschikbare informatie. Volgens diezelfde systematiek kun je AI trainen om patronen te herkennen die *alle* context meenemen. Dus in dit geval neemt het neurale netwerk de hele regenvalcontext mee, dat wil zeggen, een langere tijdreeks van verschillende regenvalparameters.”

En hetzelfde geldt voor de terreinkarakteristieken?

“Ja. We gebruiken een neuraal netwerk met een ruimtelijke component en een tijdscomponent. Voor die eerste gebruiken we de terreinkenmerken, die we samenbrengen in wat een *fully connected neural network* heet. Voor de tweede gebruiken we een zogeheten gated recurrent unit. Beide netwerken brengen we vervolgens samen in een nieuw *fully connected neural network*, dat dus ruimtelijke en tijdsaspecten combineert.”

En op basis van die twee kun je dus aardverschuivingen voorspellen?

“Ja. Maar voorlopig hebben we dit alleen retrospectief getest. We keken alleen of deze aanpak geschikt is voor het verwerken van dergelijke data en of je daarmee een link kunt vinden met aardverschuivingen. Dat is gelukt. Het is een proof of concept, een eerste stap richting daadwerkelijke voorspelling. Uiteindelijk is het doel dat we op basis hiervan een *early warning system* kunnen ontwikkelen. Dus een systeem dat van tevoren kan voorspellen wanneer er een aard-



Jana Lim bij de San Diao Ling Waterfall trail in Taiwan.

Foto: Jana Lim.



Jana Lim bij een waarschuwingsbord voor aardverschuivingen.

Foto: Jana Lim

verschuiving komt, waar precies, op welke schaal, et cetera. Dat is iets wat in de praktijk levens kan gaan redden. Er bestaan al wel elementaire waarschuwingssystemen voor aardverschuivingen, maar alleen op basis van regenvalparameters, en niet in combinatie met terrein kenmerken.”

Is dat waar je PhD-onderzoek ook over gaat?

“Ja, deels. Mijn masterscriptie ging alleen over aardverschuivingen; nu werk ik aan zogeheten *multihazard forecasting*, dus het voorspellen van combinaties van natuurrampen. Bijvoorbeeld overstromingen en aardverschuivingen. Ook daarbij willen we *deep learning*-technieken gaan inzetten.”

Komt hier ook geen veldwerk bij kijken?

“Nee, ook hierbij gebruiken we bestaande data van andere partijen, of data die nog verzameld gaan worden. Dat komt doordat deep learning-technieken vragen om enorme hoeveelheden data. Die verzamel je niet zomaar even in het veld – daar heb je echt remote sensing voor nodig. Maar ik zou niet aarzelen om die gebieden te bezoeken als de gelegenheid zich voordoet: het is heel belangrijk dat je de hele omgeving ziet. Er is zoveel complexiteit in de omgeving die je niet eenvoudig in een model kunt samenvatten. Een model is altijd een simplificatie van de terrein- en milieuumstandigheden.”

Zie je jezelf meer als geowetenschapper of als datawetenschapper?

“Op dit moment durf ik mezelf nog geen van beide te noemen, omdat ik nog zoveel moet leren. Maar het liefste word ik uiteindelijk allebei! Beide vakgebieden vind ik om hun eigen redenen interessant. Dat is waarom de combinatie van deze twee banen nu voor mij zo perfect is.”

En ook de uiteindelijke toepassing vind je blijkbaar belangrijk.

“Dat klopt. Ik ben van nature heel nieuwsgierig, en dat is waarom wetenschap zo goed bij mij past. Maar ik voel ook heel sterk dat onderzoek ten goede moet komen aan de hele gemeenschap. Die overtuiging geeft betekenis aan mijn werk en motiveert mij om steeds beter te willen worden in wat ik doe. Het werk hier bij Deltares is heel toepassingsgericht, dat is voor mij ideaal. Door mee te draaien in concrete projecten hoop ik te leren hoe ik mijn onderzoek kan afstemmen op waar de echte wereld om vraagt.”

Lukt dat, qua tijd...? Een PhD-onderzoek is toch behoorlijk intensief?

“Ja, het lukt, want dankzij deze parttime-regeling mag ik in totaal zes jaar over mijn PhD doen. Maar het lukt ook vooral doordat ik heel veel steun en begrip ervaar van mijn begeleiders, zowel aan de Universiteit Twente – Luigi Lombardo en Anton Vrieling – als bij Deltares: Gior-

gio Santinelli. Zij begeleiden mijn masterscriptie en moedigen me ook aan wat betreft het combineren van deze twee banen. In die context wil ik ook heel graag Petter Pilesjö van Lund University nog even noemen: die was niet alleen een heel goede docent maar heeft er ook voor gezorgd dat de samenwerking met Deltares van de grond kwam, binnen mijn Erasmus Mundus-master. Daar was best een bijzondere constructie voor nodig. Daarom zie ik de Escherprijs die ik nu heb gewonnen ook niet als een verdienste van mijzelf, maar meer als een gezamenlijke verdienste van al die mensen die mij al die jaren hebben gesteund.”

Hoe zie jij je toekomst? Zou je terug naar Singapore willen?

“Misschien, ooit! Er zijn daar dingen die ik mis, natuurlijk. Vooral het eten en het tropische klimaat, haha! Ik heb wel moeite gehad om te wennen aan de druilerige winters hier. Maar het was een heel bewuste keuze om nu hier te blijven, in dit stadium van mijn leven. De professionele werkomgeving in Twente en bij Deltares vind ik heel fijn. Ik ben hier omringd door zoveel capabele en inspirerende collega's, en er is hier nog zoveel te leren. Alles is nieuw en verfrissend voor mij. Voorlopig zie ik dus nog geen reden om terug te gaan.”

Blijf je werken in de datawetenschap, denk je? En in de geowetenschap?

“Ik vind beide vakgebieden fascinerend, dus het kan nog alle kanten op gaan. Ik denk dat een belangrijkere vraag is: wil ik hiermee doorgaan in een bedrijfscontext, of in de academische wereld? Voorlopig ben ik heel blij dat ik me kan ontwikkelen in beide werelden, dankzij de hybride constructie waarin ik nu werk. Het is niet altijd even makkelijk, die constructie, maar uiteindelijk denk ik dat het de moeite waard zal zijn. Ik stel de beslissing dus graag nog even uit!”

Nienke Beintema

Druk op Nederlandse bodem

Milad Naderloo en Aukje Veltmeijer.

Foto: Adam Klugkist

De grond onder onze voeten is perfect voor de opslag van hernieuwbare energie. Maar voordat deze onderaardse reservoirs ingezet kunnen worden, moeten we ze door en door begrijpen. Want aardbevingen zoals bij het winnen van gas in Groningen, dat moeten we voorkomen. Promovendi in Applied Geophysics & Petrophysics Milad Naderloo en Aukje Veltmeijer onderzoeken of aardbevingen, veroorzaakt door menselijk ingrijpen, voorspeld én voorkomen kunnen worden.

In een lab staat een gigantische metalen deur op een steekkarretje. Het doet denken aan de voorkant van een zwaarbeveiligde kluis. “Hij weegt 900 kilogram, we hebben hem gewogen,” zegt Milad Naderloo lachend.

De deur is onderdeel van een krachtige machine waarmee Naderloo samen met mede-PhD'er Aukje Veltmeijer de enorm hoge druk op zo'n 2500 meter diepte gaat simuleren. Naderloo: “Niet veel mensen krijgen de kans om met zo'n fancy machine te werken.” Deze diepte is geologisch gezien interessant, want hier bevinden zich onderaardse reservoirs, zoals bijvoorbeeld de gasbel in Groningen. Maar ondergrondse reservoirs kunnen ook gebruikt worden om duurzame energie in op te slaan.

Een voorbeeld is waterstof. Dit gas is erg belangrijk voor de energietransitie, omdat het

DeepNL

Het onderzoek van Naderloo en Veltmeijer is onderdeel van DeepNL, jaren geleden in het leven geroepen naar aanleiding van de aardbevingsproblematiek in Groningen. Daarnaast draagt DeepNL, via inzicht in processen en de ontwikkeling van modellen en methodieken, bij aan een kennisbasis voor een veilig gebruik van de Nederlandse ondergrond voor bijvoorbeeld de winning van geothermische energie en ondergrondse opslag van CO₂ en waterstof.

Het doel van het onderzoeksprogramma is het vergaren van fundamentele kennis over de gevolgen van menselijk handelen op de dynamiek in de diepe aardlagen. De projecten richten zich onder meer op het ontwikkelen van geologische modellen van de Nederlandse ondergrond, het bestuderen van processen die kunnen leiden tot geïnduceerde aardbevingen en op het ontwikkelen van modellen die deze aardbevingen kunnen voorspellen. In totaal zijn er zo'n twintig projecten gaande op universiteiten verspreid door het hele land.

Binnen het project CrossScale onderzoekt Sebastian Geiger (TU Delft) samen met collega's nieuwe technieken om met reeds beschikbare meetgegevens en gesteentemonsters betere modellen van de ondergrond te bouwen. Deze modellen dienen om geothermieprojecten of CO₂-opslag op een veilige en duurzame manier uit te rollen. Diepe geologische reservoirs kunnen worden gebruikt voor CO₂-opslag of aardwarmte-winning. Voor veilige en duurzame ondergrondse activiteiten is gedetailleerde kennis van deze ondergrondse reservoirs essentieel. Directe metingen aan de ondergrond zijn echter moeilijk te verkrijgen omdat de hoeveelheid gesteentemonsters beperkt is. Dit project ontwikkelt nieuwe technieken om reeds beschikbare gegevens, zoals uit het Groningenveld, te gebruiken voor het bouwen van betere ondergrondmodellen.

Ranjit Ghose wil samen met Karel van Dalen (TU Delft) een betere voorspelling maken van de beweging van het aardoppervlak door aardbevingen, in het project DAMPINGSOIL. Deze bewegingen worden mede bepaald door de dempingsratio en de rekafhankelijke modulus- en dempingcurves. De beweging van het aardoppervlak vanwege een aardbeving heet de "site response" en wordt grotendeels bepaald door lokale grondeigenschappen. Nauwkeurige voorspelling van deze response is belangrijk voor het voorkomen van constructieschade en slachtoffers, en voor bijbehorende beleidsmaatregelen. Twee belangrijke inputparameters, de dempingsratio en de rekafhankelijke modulus- en dempingcurves, worden momenteel niet goed in de voorspellingen betrokken vanwege moeilijkheden in de bepaling ervan. Dit veroorzaakt grote onzekerheid in de site response, en dus risico's. Dit onderzoek combineert seismische inversie, grondmonsteronderzoek en modellering om de ontbrekende parameters wel te verkrijgen en de lokale site response nauwkeurig te bepalen.

Femke Vossepoel (TU Delft) combineert met haar onderzoeksproject NEPTUNUS beschikbare waarnemingen van aardbevingen boven het Groningenveld met aardbevingsmodellen, om zo meer zicht te krijgen op het ontstaan van geïnduceerde aardbevingen. Met deze kennis willen zij en haar mede-onderzoekers het risico op aardbevingen bij de winning van aardwarmte beperken.

"We begrijpen steeds beter de fysische processen die zorgen voor aardbevingen bij ondergrondse activiteiten, toch weten we nog niet precies welke eigenschappen van ondergrondse reservoirs en de breuken daarin echt van belang zijn. Geïnduceerde aardbevingen hebben een fundamenteel ander karakter dan aardbevingen met een natuurlijke oorzaak. Dit project verkent de

mogelijkheden om beschikbare waarnemingen van aardbevingen boven het Groningenveld in combinatie met aardbevingsmodellen te gebruiken om bij de winning van aardwarmte het risico op aardbevingen te beperken."

Juan Carlos Afonso (Universiteit Twente) brengt samen met collega's de Nederlandse ondergrond beter in kaart voor het project INTEGRATION. Het nieuwe model dat hij hiervoor ontwikkelt gebruikt bestaande, niet vaak gebruikte data, om de potentie van de Nederlandse ondergrond voor groene energie en opslag van koolstofdioxide en waterstof zichtbaar te maken.

Rob Govers (Universiteit Utrecht) ontwikkelt samen met collega's uit Utrecht en de TU Delft een model om verzakking te voorspellen. Bodemdaling is een belangrijk probleem in het gebied van het gasreservoir in Groningen en heeft invloed op het milieu, gebouwen, infrastructuur en waterbeheer. De verdunning van het reservoir blijft zorgen voor verzakking, maar er zijn ook andere, ondiepere aardprocessen die aanzienlijk hieraan bijdragen. Geodetische waarnemingen (InSAR, GPS, waterpassing) meten de totale verzakking. In dit onderzoeksproject werken ze samen om de afzonderlijke bijdragen te bepalen uit de geodetische tijdreeksen en antwoord te krijgen op vragen als hoelang de bodemdaling doorgaat na stoppen met de gasproductie, en hoeveel het zal zijn.

Mark van der Meijde (Universiteit Twente) kijkt samen met collega's van meerdere universiteiten naar de effecten van ondiepe aardbevingen, zoals bij de Groningse gasvelden. In het SHAWave-onderzoek bestuderen ze deze effecten, en kijken ze hoe ze deze kennis kunnen gebruiken om aardbevingsrisico's beter in te schatten bij toekomstig gebruik van de ondergrond, zoals voor geothermie.

André Niemeijer (Universiteit Utrecht) onderzoekt samen met collega's van de Universiteit Twente geïnduceerde aardbevingen door menselijke activiteiten in het project FastSlip. Deze aardbevingen zijn het resultaat van snelle beweging langs bestaande breuken in de ondergrond, vaak gevuld met fijnkorrelig poeder. De processen die ertoe leiden dat de beweging snel is, zijn tot nu toe niet duidelijk. Door experimenten op de schaal van 1 korrel tot miljoenen korrels te combineren met computermodellen willen ze de actieve processen tijdens snelle breukbeweging bepalen, om zo het gevaar van aardbevingen beter in te kunnen schatten.

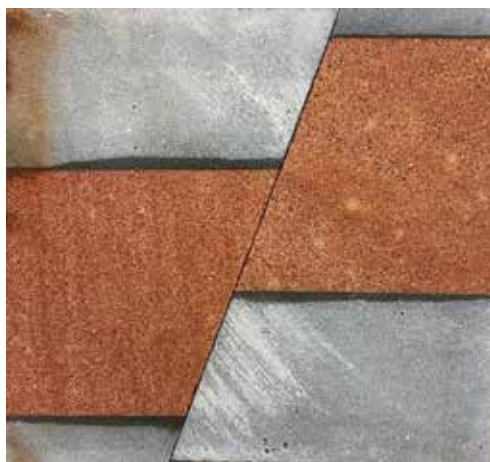
Jeannot Trampert (Universiteit Utrecht) ontwikkelt samen met Federico Toschi (TU Eindhoven) een numeriek model dat in staat is om waargenomen seismiciteit (grootte, tijd, locatie) te voorspellen op basis van breukgeometrie en spanningsverdeling. Grondversnellingen uit hun numerieke model gebruiken ze om een Machine-Learning-tool te ontwikkelen dat de timing en grootte van een volgende beving voorspelt.

Bron: TU Delft/NWO

een manier is om (duurzaam opgewekte) energie op te slaan. Waterstof onderaards opslaan biedt mooie kansen: het is goedkoop, er is veel ruimte onder de grond en het kan voor lange termijn worden ingezet.

Ondergronds reservoir imiteren / Het gebruik van de reservoirs moet wel veilig gebeuren. "Situaties zoals in Groningen willen we nooit meer," zegt Naderloo. Daarom doen Veltmeijer en Naderloo fundamenteel onderzoek naar het ontstaan van aardbevingen veroorzaakt door menselijk ingrijpen. Ook zoeken ze manieren om de aardbevingen te voorkomen. Veltmeijer: "Ik hoop te kunnen voorspellen waar een aardbeving gaat plaatsvinden." Dan kan een waarschuwingssysteem gemaakt worden. Vervolgens kan er iets aan de voorspelde aardbeving gedaan worden. Naderloo: "Ik wil een manier vinden om een heftige aardbeving om te zetten in een stuk of tien die zo klein zijn dat we ze niet voelen." Maar hoe imiteer je een onderaards reservoir in het lab?

Harley Quinn samples / Het lab met de gigantische machine staat vol stukken steen. De ene grijsbruin, de andere rood. Veel onderzoekmonsters hebben meerdere lagen in ver-



Breuklijn in zandsteen.
Foto: Adam Klugkist

schillende kleuren. "We noemen ze gekscherend 'Harley Quinn samples'", zegt Naderloo. De meeste bestaan uit twee schuin afgezaagde delen die op elkaar staan.

De steensamples zijn stuk voor stuk 'mini-reservoirs'. Een onderaards reservoir bestaat uit poreuze zandsteen die als een soort spons werkt, in de kleine poriën kan water of gas aanwezig zijn. "Als dat water of gas de poriën verlaat, staat er minder druk op. Doordat de aardlagen er van boven op drukken, wordt het reservoir ingedrukt," legt Veltmeijer uit.

Het risico op spanningen is het grootst bij een natuurlijke breuklijn, de plek waar aardlagen ten opzichte van elkaar verschoven zijn. In de monsters is dit de schuine zaagsnede. Zakt bij zo'n breuklijn het gesteente in, dan kunnen de aardlagen gaan schuiven en kan een aardbeving ontstaan.

Veltmeijer en Naderloo onderzoeken de precieze samenhang tussen het inzakken van het gesteente en het ontstaan van aardbevingen. Andere - bij DeepNL betrokken - wetenschappers kwamen dankzij modellen met de theorie dat de aardbevingen ontstaan langs de breuklijn, daar waar de ene steensoort in de andere overgaat. Naderloo en Veltmeijer toetsen deze theorie nu in het Geoscience & Engineering lab. Vele experimenten met kleine stukjes zandsteen gaven hun eerst een globaal inzicht in het voorspellen en voorkomen van aardbevingen. Daarna was het tijd om het mastersample te maken. Het duurde uiteindelijk twee jaar om een testopstelling te ontwikkelen.

Poging één / De grootste uitdaging van Veltmeijer en Naderloo: hoe zet je steen van binnenuit onder druk? Het idee was om water in het gesteente te pompen, maar dan moet het reservoir niet lekken. Poging één: de zandsteen omringen met beton. Dat ging niet zoals gehoopt. Om te testen of de zandsteen waterdicht was afgesloten, bevestigden Naderloo en Veltmeijer twee kranen aan de zandsteen en pompten zo water met blauwe inkt in en uit het sample. Het beton bezweek al snel onder de druk en de inkt vloeyde aan alle kanten naar buiten.

Het beton verstevigen was geen optie. Velt-

meijer: “IJzerdraad zou het akoestische signaal verstoren. Dat is een probleem, omdat we een aardbeving of verschuiving in het monster waarnemen met geluidssensoren.” Labtechnicus Marc Friebel kwam met een nieuw idee. Hij bedacht een rubberen rand om de zandsteen heen te maken, ingeslepen in beton. “Dat werkte verrassend goed,” zegt Veltmeijer. “Maar mogelijk beïnvloedt het rubber hoe het gesteente bij de breuklijn heen en weer schuift,” zegt Naderloo. Dus de zoektocht ging verder.

Mastersample / De oplossing bleek een soort hoes van aluminium. Het voordeel is dat aluminium de geluidssignalen niet dempt, en het materiaal ook onder druk niet scheurt. “We waren zo blij toen we het blok eindelijk hadden *gesealed!*,” vertelt Naderloo. De zandsteen, omringd door beton en een jasje van aluminium, werd met *nóg* een laag beton vergroot tot exact dertig bij dertig centimeter. Zo paste het precies in de drukmachine. Naderloo: “Na elke laag beton moest het meer dan een maand uitharden.” Tijdrovend, want de eerste keer barstte het beton. Maar na nog een poging was het *mastersample* eindelijk klaar.

De druk opvoeren / Met het mastersample kunnen ze nu de theorie van de modellers gaan testen. Naderloo: “Een spannend moment.” Ze zetten het sample in de drukmachine. Friebel takelt de enorme deur op zijn plek en brengt het sample geleidelijk op druk, alsof het zich op zo’n drie kilometer diepte bevindt. Via de kranen wordt water tot hoge druk in de steen gepompt - en er plots weer uitgelaten. Ondertussen meten twintig geluidssensoren in de machine of er een verschuiving - of zelfs een kleine aardbeving - gaande is. Er zijn vier weken voor nodig om alle data van de sensoren, opgeslagen in een hoge toren van harde schijven, te verwerken. De uitslag na de eerste test: geen verschuiving, geen aardbeving. Het blijft voorlopig dus nog de vraag of de aardbeving exact op het voorspelde punt plaatsvindt. De onderzoekers laten zich er niet door uit het veld slaan en gaan de proefopstelling nu aanpassen om de blokken toch in beweging te laten komen.



Milad en Aukje voor de machine

Foto: Adam Klugkist

Ze lopen in het lab nog even langs hun mastersample. “Er moet weer water op”, zegt Veltmeijer. Het sample is zorgvuldig met natte doeken omwikkeld, om het goed te houden voor nieuwe experimenten. Veltmeijer en Naderloo doen er alles aan om te voorkomen dat het beton uitdroogt en opnieuw barst.

TU Delft

Ik hoop te kunnen voorspellen waar een aardbeving gaat plaatsvinden

Virtual 3D Geoscience / Hoge resolutie 3D-foto's van ontsluitingen over de hele wereld / V3Geo is onderdeel van de Virtual Outcrop Geology (VOG) Group, een samenwerkingsverband tussen het Noorse onderzoekscentrum in Bergen (NORCE) en de universiteit van Aberdeen in Schotland (UoA). Er is informatie verzameld van meer dan 500 virtuele ontsluitingen waarvan er 350 openbaar zijn.

<https://v3geo.com>



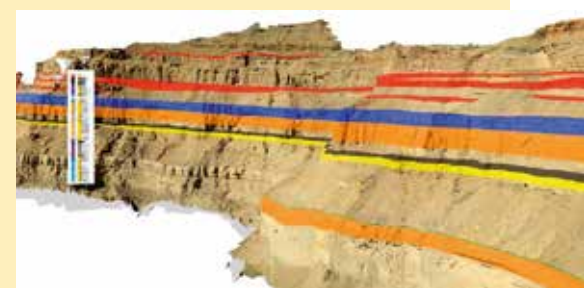
Wereldkaart met locatie van beschikbare modellen



Algemene beschrijving van een ontsluiting, met auteur, referenties en parameters



Detailopname van Hoyazo de Nijar, Spanje



Interpretatie van een ontsluiting in LIME

Wat voor gegevens? / Het samenwerkingsverband VOG is gestart in 2004 en heeft het online platform in 15 jaar ontwikkeld met als doel hoge resolutie 3D-data van ontsluitingen te delen met de geowetenschappelijke gemeenschap. De lancering van de database in maart 2020 viel samen met het begin van de COVID-19 pandemie die ervoor zorgde dat geologisch veldwerk en excursies werden stopgezet. VOG werd zeer afhankelijk van de aanlevering van geowetenschappelijke veldgegevens door organisaties van over de hele wereld. De database is in deze periode gegroeid tot meer dan 500 ontsluitingen. Voordat de publieke data beschikbaar wordt gemaakt is er een technische review om de datakwaliteit te garanderen. De focus ligt met name op de resolutie en de daarmee gepaard gaande 3D-triangulatie die van belang is om de data in detail te kunnen bekijken. De schaal, georeferentie en grootte worden ook geverifieerd.

Waarvoor? / De virtuele database is ontwikkeld om gebruikers een platform te bieden voor hogeresolutiegegevens van onder andere laser scans, fotografie en LiDAR. Deze bestanden (van vele gigabytes groot) kunnen met V3Geo eenvoudig online gedeeld worden door het gebruik van gespecialiseerde algoritmes. De ontsluitingen zijn vooral geschikt als onderdeel van publicaties, om voorbeelden te geven tijdens cursussen en ter voorbereiding van geologische excursies. De projectsponsors hebben een eigen afgeschermd omgeving waarin modellen in meer detail geanalyseerd en beschreven kunnen worden.

Welke data is beschikbaar? / De 350 openbare datasets zijn onderverdeeld in 7 hoofdcategorieën en 29 subcategorieën. Deze (sub)categorieën volgen op dit moment geen standaardconventie. Verder wordt onderscheid gemaakt in geologische tijd en land waar het model vandaan komt. In het kaartbeeld is de verspreiding van de ontsluitingen zichtbaar en kan ook een model geselecteerd worden (fig. 1). Na selectie wordt in een nieuw scherm de beschrijving van de ontsluiting geopend met referentie naar literatuur, de parameters (grootte en resolutie) en categorieën (fig. 2, Piesberg Duitsland). Vervolgens kan de full-screen 3D-viewer worden geopend om de ontsluiting in detail te bekijken (fig. 3, Hoyazo de Nijar, Spanje). Er kan gevarieerd worden met een aantal instellingen om het beeld te optimaliseren. De 'interpretations' sectie is nog niet geactiveerd, maar zal in de toekomst wel beschikbaar komen voor de openbare data.

Extra informatie / De VOG groep wordt gesponsord door 11 E&P bedrijven, met behulp hiervan zijn de Safari DB (<https://safari-db.com/home>) en de LIME technologie ontwikkeld (<https://virtualoutcrop.com/lime>). Het stelt de gebruiker in staat om de eigen dataset te interpreteren en te voorzien van extra informatie, zoals loginterpretaties (fig. 4). Ook kan er een ingesproken virtuele excursie gemaakt worden, voornamelijk voor educatieve doeleinden. De LIME software heeft een gratis try-out periode van 30 dagen.

Wenche Asyee

Kaap Agrilaos

Griekenland





38°01'40" Noord en 22°51'10" Oost / De Alpiene orogenese in Centraal-Griekenland kan grosso modo worden onderverdeeld in twee stadia, namelijk een Vroeg-Tertiaire compressieve fase gekenmerkt door dekbladvorming en lokale metamorfose, gevolgd door een neotektonische fase met grootschalige 'back-arc' extensie vanaf het Vroeg-Mioceen. Deze intense rektektoniek heeft geleid tot de vorming van een complex patroon van horsten en slenken, gescheiden door diepe breukzones. Gelijktijdig onderging de continentale korst in West- en Centraal-Griekenland een kloksgewijze rotatie van circa vijftig graden. Deze geodynamische ontwikkeling leidde tot markante variaties in verticale bewegingen van verschillende breukblokken, zowel in tijd als ruimte, en gaat tot de dag van vandaag gepaard met hoge seismische activiteit.

Bijgaande foto toont de puntvormige Kaap Agrilaos met de Melagavi-vuurtoren, gebouwd in 1897 met een lichthoogte van 58 meter. Deze kaap vormt het westelijke uiteinde van het door actieve afschuivingen begrenste Perachora schiereiland in het oostelijk deel van de Golf van Korinthe. Kaap Agrilaos bestaat voornamelijk uit Laat-Pleistocene biohermen van zoetwateralgen die groeiden langs een breukzone met CaCO_3 - en CO_2 -rijke bronnen. De biohermen zijn bedekt door een dunne mariene laag met koralen. Deze ongeveer 125 duizend jaar oude kalkafzettingen werden vervolgens vele tientallen meters opgeheven, en een deel verschoof langs de zuidhellende rekbreek (met glijspiegels) die de oost-west-rotswand op de foto definieert. Datering van opgeheven Holocene inkepingen, ontstaan door golfslag en bio-erosie op zeeniveau (zie links van het moderne piertje), wijst op 110 centimeter verplaatsing langs deze breuk tussen 4400 v.Chr. en 400 n.Chr.

Langs de zuidflank van Kaap Agrilaos bouwden de oude Grieken een heiligdom ter ere van Hera, de vrouw van Zeus. Dit 'Heraion' heiligdom, opgegraven door Britse archeologen in 1930-1933, bestond uit een kleine haven omgeven door meerdere gebouwen met behalve tempels ook een ritueel bad, een ondergronds waterbekken en een eetzaal. Uiterst rechts op de foto zijn de oudste restanten zichtbaar, een altaar uit de negende eeuw v.Chr. Links daarvan liggen de fundamenten van de Dorische hoofdtempel uit de zesde eeuw v.Chr. met daarin een aparte kamer voor het hier gezetelde orakel. De positie tegen het breukvlak suggereert dat dit orakel gebruik maakte van opborrelend water en/of gas, net zoals in Delphi. Rond de vierde eeuw v.Chr. verschoof een deel van de tempel, waarschijnlijk tijdens een aardbeving. Achter het piertje liggen de overblijfselen van pelgrimsverblijven. Later plaatsen Romeinen hier olijfpersen, maar na een destructieve aardbeving in de tweede eeuw n. Chr. werd Heraion verlaten.

In de vierde en zesde eeuw n.Chr. werd deze regio opnieuw getroffen door zware aardbevingen waarbij onder meer de stad Korinthe werd verwoest. De laatste honderd jaar zijn er minstens elf sterke bevingen ($M_s > 6.0$) geweest, met in 1981 zelfs drie bevingen (M_s 6.3-6.7). De co-seismische verplaatsingen langs de gereactiveerde breukvlakken op het Perachora schiereiland liepen op tot 150 centimeter. Het cumulatieve effect van zulke episodische breukbewegingen over een langer tijdsinterval is indrukwekkend: in horstblokken langs de zuidrand van de Golf van Korinthe (linksachter op de foto), een relatief jong riftbekken met een waterdiepte tot negenhonderd meter, zijn Laat-Pliocene ondiep mariene sedimenten opgeheven tot duizend meter hoogte.

Foto en tekst: Jeroen Peters

From back-arc basin to mineral deposits



Anouk Beniest opent het symposium met de Stanglezing 'The back-arc region: how this tectonic setting impacts society'.

Foto: Marianne Leeuwis

KNGMG Stanglezing en symposium

Opkomend aardwetenschappelijk talent en winnares van de Vening Meineszprijs Anouk Beniest van de Vrije Universiteit gaf op 17 januari 2024 de Stanglezing. Gezien Anouks specialiteit van back-arc basins, geologische bekkens op de oceaانبodem, en politieke interesse in critical raw materials, koos het KNGMG in overleg met Anouk voor het thema "From back-arc basin to mineral deposits".

Back-arc basins ontstaan daar waar een tektonische plaat onder een andere tektonische plaat schuift. Het zijn gebieden met een hoog risico op bijvoorbeeld aardbevingen en onderzeese landverschuivingen. Vloeistof-gesteente-interactie, nodig voor de vorming van economisch interessante mineralen, kan daar plaats vinden over de geologische tijdschaal. Deze cross-over van onderwerpen staat hoog op de agenda in binnen en buitenland. Het onderwerp hangt samen met de grote uitdagingen binnen de hedendaagse geologie: is het mogelijk om de grondstoffen, nodig om onze maatschappij te verduurzamen, duurzaam te winnen?

Het symposium werd bijgewoond door zo'n vijftig deelnemers, afkomstig uit heel Nederland en in verschillende stadia van hun carrière, van student tot gepensioneerde. Dit diverse publiek past ook goed bij Anouk Beniest die zich al jaren inzet voor inclusiviteit binnen de academische omge-



Spreker Sabine Gollner heeft een mangaanknol meegenomen, afkomstig uit de diepzee.

Foto: Marianne Leeuwis



Een opengebroken mangaanknol.

Foto: Marianne Leeuwis

ving, zowel nationaal als internationaal. Anouk Beniest trapte het symposium af met een uitgebreide, sterk geologisch getinte lezing over drie verschillende back-arc basins en de rol die ze spelen in onze maatschappij.

Tektonische processen / Zo is het openen en sluiten van het back-arc basins bijvoorbeeld belangrijk voor de oceaanstromingen in de wereldzeeën, hetgeen een sterke impact op het klimaat heeft. Dit blijkt al uit het geologische verleden, maar speelt ook voor de betrouwbaarheid van klimaatmodellen die de toekomst voorspellen een rol. In bijvoorbeeld twee bekkens, in de Egeïsche zee, vinden complexe tektonische processen plaats, die gepaard gaan met veel – en grote! – aardbevingen, bijvoorbeeld in Turkije en Griekenland. Een beter begrip van de geologie van back-arc basins kan ook daar voor verbeteringen van seismische risi-

co's zorgen. Tot slot reizen we af naar het Lau bekken, op de Australisch-Pacifische plaatgrens. Hier zorgen hoge spreidingsnelheden voor grootschalig vulkanisme, en daarmee gepaard gaande vloeistof-gesteente-interactie en dus mineralisatie. Er zijn elf spreidingscentra vertelt Anouk ons, en door het gebruik van de structuur van de korst kunnen we de lokale dikte van de korst beter bepalen, en daarmee de geothermische gradiënt. Daarnaast zorgt een hogere breuk-dichtheid voor een hoger vloeistoftransport dat, samen met de juiste thermische omstandigheden, zorgt voor mineralen die interessant zijn voor de maatschappij. In deze lezing is overduidelijk dat Anouk van meerdere geologische markten thuis is, en dat door de combinatie van disciplines – en een passie voor maatschappelijk relevant onderzoek – er nog een hoop van haar te verwachten valt in de komende jaren.

Mangaanknollen / De tweede spreker van de dag was Lingli Zhou (Vrije Universiteit Amsterdam). Met Lingli duiken we in de type afzettingen die we kunnen verwachten bij verschillende tektonische settings. We gaan van de vorming van onderzeese mangaanknollen naar black smokers, met een korte stop bij massieve sulfide afzettingen. Deze vormen allen in hun eigen tektonische setting. Mangaanknollen groeien langzaam op de bodem van de diepzee, door precipitatie vanuit het zeewater zelf, of door sediment-zeewaterinteractie. Black smokers vormen bij mid-oceanische ruggen, daar waar mineraalrijk water met gas door hydrothermale schoorstenen stroomt, en waarmee enorme hoeveelheden sulfide neerslaan. Massieve sulfide afzettingen ('Volcanogenic Massive Sulfide Ore deposits, of VHMS-deposits') zijn stratiforme accumulaties door hydrothermale vloeistoffen, waarin voornamelijk koper en zink gevonden kunnen worden.

Diepzeemijnbouw / Lingli werd gevolgd door Mike Buxton (TU Delft), die een goed overzicht gaf over het meer geo-politieke speelveld voor onderzeese mijnbouw, en welke spelers er op de markt zijn. ‘Standaard’ grootmachten op het gebied van mijnbouw zoals Australië en de Verenigde Staten spelen in de diep-zee bijvoorbeeld nauwelijks mee, maar meer onbekende spelers zoals Polen en Bulgarije juist weer wel. Dat zorgt voor een interessant speelveld. Verder leren we dat de wetenschap achter diepzeemijnbouw al in 1870 van de grond begon te komen, maar de commerciële interesse tegen de jaren '60 van de twintigste eeuw pas op gang kwam. Er zijn een aantal technieken om knollen van de grond op te rapen, ook op grotere dieptes, maar die gaan meestal gepaard met het opzuigen van meer dan alleen de knollen, en met een bijbehorende onderwateruitstoot van stof. Hier kleven overduidelijk milieurisico's aan. Het meest veelbelovend zijn recente ontwikkelingen gebaseerd op AI-herkenning van knollen, maar dit soort technieken met camera's en selectief oppakken van nodules staat nog in de kinderschoenen. Daarbij is het ook nog niet duidelijk hoe de regelgeving wordt, of de bijbehorende handhaving, en hoe de knollen dan naar land getransporteerd én geraffineerd gaan worden.

Habitatverlies / Na dit heldere verhaal over duidelijkheden en onduidelijkheden vertelt Sabine Gollner hoe het staat met de milieueffecten van mijnbouw op de zeebodem. Ze liet in bewegend en fotografisch beeld zien wat voor ongelooflijke soortenrijkdom er bestaat – en hoe weinig soorten er nog ontdekt zijn. In de afgelopen vijf jaar zijn daar maar liefst 5000 soorten dieren en planten ontdekt. Elke keer als zij en haar collega's op expeditie gaan en met robots en camera's een nieuw stukje zeebodem bekijken, ontdekken ze meer onbekende dan bekende soorten. Het daadwerkelijk kwantificeren van milieueffecten is dus heel erg ingewikkeld: we weten niet eens wie waar leeft, en hoe de wisselwerking is van de verschillende soorten in een ecosysteem. De gevaren zijn duidelijk: zowel direct habitatverlies door het oprapen van knollen waar verschillende beesten en micro-organismen aan

vastkleven, maar ook indirect – en lateraal wijder verspreid - habitatverstoring door het stof dat vrijkomt bij mijnbouw. Een aantal eerste tests, waar 26 jaar geleden strips gemijnd zijn, laten zien dat de bodem op die plekken nog steeds niet hersteld is naar het voormalige dierenaantal en diversiteit. Kortom: de tijdschaal waarop we schade toe kunnen brengen is lang, maar kan in de duizenden of zelfs miljoenen jaren lopen, en ook de laterale extensie van de schade, bijvoorbeeld door neerdalend stof, is nog onduidelijk. Sabine sloot af met een aantal absoluut fascinerende filmpjes van hoe de zeebodem er op kilometers diepte uitziet, en hoe een gangenstelsel met fauna zichtbaar wordt als een deel van de zeebodem opgetild wordt. Dus niet alleen op, maar ook in de zeebodem leeft van alles!

Gezien de nieuwsberichten van de afgelopen tijd rondom diepzeemijnbouw (bijvoorbeeld de beslissing van de Noorse regering om exploratie-vergunningen te verlenen voor Noors grondgebied) en de soms heftige reacties daarop, nam dagvoorzitter Anne Pluymakers (KNGMG-bestuurslid) een korte enquête af vóór de lezingen en ook daarna. Dit liet zien dat in dit gemiddelde publiek de initiële mening vrij eensgezind is, dus gebaseerd op de geologische en algemene kennis van de deelnemers. Dit verandert lichtelijk door de vakkennis van de sprekers op het symposium, met name op de vraag of diepzeemijnbouw inderdaad een belangrijke rol gaat spelen op wereldschaal. In de daaropvolgende discussie werd duidelijk dat met name de technische onderbouwing van Mike Buxton daarin meegespeeld heeft. De tijd zal het leren!

Anne Pluymakers

In Geo.brief 3 vertelt Anouk Beniest meer over haar onderzoek



De Glarusoverschuiving in de Helvetische Alpen ten zuiden van Elm in Zwitserland.



Geoloog in de Zwitserse Alpen

In Zwitserland ontpopte Venice Akker zich als structureel geoloog. Zij sloeg het academische pad in met geologisch veldwerk in de Zwitserse Alpen, spannend onderzoek naar de ondergrondse opslag van radioactief afval en met avontuurlijk veldwerk aan de actieve plaatgrens in Alaska.

Van Amsterdam naar Zürich /

Toen mijn bacheloropleiding aardwetenschappen aan de VU in Amsterdam op zijn einde liep begon het grote oriënteren op masteropleidingen. Een studievriend vertelde mij over de masteropleidingen Earth Sciences aan de ETH in Zürich en zodoende begon ik mij in de mogelijkheden te verdiepen. Van docenten aan de VU hoorde ik dat deze opleiding hoog aangeschreven stond en hij werd mij zeker aangeraden als ik interesse had in een academische loopbaan. Die interesse had ik, al vroeg aangewakkerd tijdens mijn bachelorstudie. Door veldwerken naar Spanje, het enthousiasme van de docenten aan de VU, mijn interesse voor het begrijpen van processen in de diepe aarde en het toepassen van exacte wetenschap, was het voor mij snel duidelijk dat ik na mijn studietijd in het wetenschappelijk onderzoek terecht wilde komen. Ik stortte mij dan ook volledig op mijn bachelorscriptie op het Griekse eiland Syros, waar ik structurele geologie en geochemie combineerde om de tektonische en metamorfe geschiedenis van de gesubduceerde blauwschisten te achterhalen. Terwijl de eerste geochemische data van de blauwschisten uit de microprobe in Amsterdam kwamen rollen, schreef ik mij in voor de opleiding aan de ETH, want ik was vastbesloten mijn kennis over de vaste aarde te verdiepen en mijn onderzoeksvaardigheden verder uit te breiden.

Met volgeladen boedelbak kwam ik begin september 2014 aan in Zürich en met trillende benen stond ik op het nogal indrukwekkende Polyterrasse voor de ETH. Eenmaal aangekomen drong het eindelijk tot mij door dat ik hier de komende twee jaar door zou brengen. De studievakken aan de ETH waren talrijk en technischer dan ik gewend was, van alpengeologie en ertsafzettingen tot thermodynamisch modelleren, maar samen met mijn studiegenoten ploegde ik mij door de hoor- en werkcolleges heen. De colleges werden rijkelijk afgewisseld met veldwerken en excursies. Naar de Alpen, op maar een uur afstand van Zürich, maar ook naar het Jebel Akhdargebergte in Oman en de goudmijnen in Bulgarije. Alhoewel het grote departement aan de ETH ruime opties bood voor het kiezen van een masterthesis kwam ik toch weer

uit in de structurele geologie en onderzocht ik de amphiboliet boudins in de oude marmergroeves van Evora in Portugal. Ik leerde nauwkeurig metamorfe facies te modelleren en dateerde de gesteenten in het lab. Nog steeds vastbesloten verder te gaan in het academische onderzoek pakte ik nog voor het afmaken van mijn masterthesis een optie voor een PhD aan de Universiteit van Bern aan.

Een PhD in de Zwitserse Alpen /

Inmiddels voelde ik mij thuis in Zwitserland en genoot ik van de bergen en de natuur, ik leerde Zwitserduits en dus was de stap van Zürich naar Bern een logische keuze om nog wat langer in dit prachtige land te kunnen wonen. Mijn PhD-project onderzocht de Flyschsedimenten in de Glarus Alpen, net onder de zo bekende Glarusoverschuiving. Dit sedimentpakket is gedeformeerd in de accretionary wedge die zich vormde tijdens de subductie van de Europese Plaat. Ik paste een breed scala aan analytische technieken toe om de microstructuren van de fijnkorrelige schalies te correleren aan seismische processen zoals die vandaag te dag vinden zijn in de actieve plaatgrenzen zoals in Japan en Nieuw-Zeeland. Ondertussen vormde ik een internationaal netwerk van collega-geologen die ik leerde kennen tijdens workshops, excursies en conferenties. Ik sloot mijn PhD af met een uitwisseling naar Australië, waar ik samen met collega's de Flyschsedimenten onderzocht met de Synchrotron. Deze unieke methode toont in gesteente sporenelementen aan en liet voor de eerste keer calcietaders op microschaal zien, die nooit eerder ontdekt waren. De resultaten waren voor groot belang in het begrijpen van deformatie en fluid-rock interaction in accretionary wedges en om een link te maken naar seismische en a-seismische processen aan convergente plaatgrenzen.

De ondergrondse opslag van radioactief afval / Ik heb het altijd interessant gevonden mijn geologische kennis toe te passen in het duurzaam gebruik van geo-resources en de energietransitie. Dit bracht me na mijn PhD in contact met het National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra). Die organisatie doet onderzoek naar de onder-



Met de packrafts naar ons onderzoeksgebied aan de voet van een grote gletsjer in Kenai, Zuid-Alaska.

grondse opslag van radioactief afval in Zwitserland. Samen met hen zette ik mijn postdoctoraal onderzoek verder aan de Universiteit Bern en onderzocht ik de Opalinus Klei, de potentiële host-rock voor een mogelijke ondergrondse opslagplaats. Ik bestudeerde microstructuren in boorkernen en beoordeelde de geohydrologische eigenschappen van breuken in het kleigesteente en daarmee de veiligheid van ondergrondse opslag in de klei. Een spannend en concreet project om aan mee te werken, vooral in deze kritische fase waarin een keuze werd gemaakt voor de uiteindelijke locatie van een ondergrondse opslagplaats in Zwitserland. Dit project laat het belang van nauwkeurig geologisch onderzoek in de energietransitie zien en hoe verschillende vakgebieden samen moeten komen om aan oplossingen te werken voor zulke complexe maatschappelijke vraagstukken.

De subductiezone in Zuid-Alaska / En zo rol je van het ene project in het andere en werd ik benaderd voor een volgend



Op veldwerk in de Zwitserse Alpen.

Postdocproject waar ik nu aan werk. Daarvoor ging ik terug naar de ETH in Zürich, voor mij een op het eerste oog bekend terrein, maar waar ondertussen een hele nieuwe structurele geologiegroep zich had gevestigd. In dit project zet ik mijn onderzoek naar laaggradige deformatie (<350°C) voort in de fossiele accretionary wedge in de Chugach mountains in Zuid-Alaska. Door het terugtrekken van de gletsjers zijn nieuwe ontsluitingen tevoorschijn gekomen. Ons onderzoeksgebied ligt net aan de voet van een gletsjer op het schiereiland Kenai. Het veldwerk vraagt om de nodige logistieke voorbereidingen, fysieke conditie en avontuur. Het door zwarte beren bewoonde eiland kan alleen bereikt worden via een boot vanuit Homer en een *packraft* (opblaasbare kayak) over het gletsjermeer. De waanzinnig gepolijste ontsluitingen bestaan uit 'subduction mélanges' van Juraouderdom; zeer chaotische 'block-in-matrix' shearzones met basalt, chert en argillitische opeenvolgingen. Centraal in dit project staat de vraag wat de rol is van sedimenten op de reologie van het onder-



Microscopisch onderzoek aan de ETH Zürich.

schuivingsvlak en hoe zich dit vertaalt in seismische processen die nu nog steeds actief zijn in de Aleutian trench. Om dit vraagstuk op te lossen, maken we gebruik van 3D-geologische modellen gebaseerd op dronebeelden, piek metamorfe temperaturen door middel van Raman Spectroscopy en dateringsmethoden die dentritisch zirkoon gebruiken.

Nu, bijna tien fenomenale jaren in Zwitserland verder, heb ik mijn plek hier in het academische onderzoek gevonden. Ik geniet van het onderzoek, haal energie uit het lesgeven en begeleiden van studenten en ben bestuurslid van de Zwitserse Geologische Vereniging, waar ik mijn passie voor geologie door middel van activiteiten en excursies doorgeef aan een nieuwe generatie geologen. Zo hoop ik te inspireren en te laten zien dat geologie van alle tijden is en van onmisbaar belang in maatschappelijk relevante vraagstukken en in de aanstaande energietransitie.

Vénice Akker

Links:

- Link naar de opleidingen Earth Sciences aan de ETH:
<https://erdw.ethz.ch/en/>
- Link naar mijn wetenschappelijke artikel over de micro-calcietaders in de Flyschsedimenten in de accretionary wedge: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2023GC010873>
- Link naar mijn wetenschappelijke artikel over de geologie van de host-rock voor de ondergrondse opslag van radioactief afval in Zwitserland:
<https://sjg.springeropen.com/articles/10.1186/s00015-023-00438-z>
- Link naar de structurele geologie en tektoniekgroep aan de ETH die werkt in onder andere Zuid-Alaska:
<https://structuretectonics.org/>



Begeleiden van studenten in het veld, Braunwald, Zwitserland.

KNGMG Jaarverslag 2023



Ook het afgelopen jaar zat weer boordevol leuke KNGMG-activiteiten en natuurlijk prijswinnaars. Hieronder vinden jullie een beknopt overzicht van de hoogtepunten.

NAC / Het Nederlands Aardwetenschappelijk Congres (NAC) werd dit jaar gehouden op donderdag 23 en vrijdag 24 maart in Utrecht. Het NAC werd georganiseerd door NWO met binnen het programma ruimte voor het KNGMG om sessies te organiseren. De door het KNGMG georganiseerde activiteiten waren een keynote lecture door Walter Immerzeel (UU) met de titel 'Beyond snow and ice on the roof of the world', over hydrologische processen in de Himalaya. Verder werd door het KNGMG samen met Young Women Of Geoscience (YWOG), het netwerk voor jonge vrouwelijke onderzoekers aan de Universiteit Utrecht, een workshop georganiseerd over de positie van vrouwen binnen ons werkveld. De titel van de workshop luidde 'Gender disbalance in

Earth Sciences?' en werd geleid door Tamara van de Ven (TNO) en Manon Verberne (UU).

Kern van het KNGMG / Tijdens het NAC heeft Bernard Westerop (NWO) de Kern van het KNGMG ontvangen. Bernard is jarenlang de drijvende kracht geweest achter de organisatie van het NAC, maar heeft na het NAC van 2023 het stokje overgedragen aan collega's. Bernard heeft door keer op keer een geweldig congres neer te zetten een sterk verbindende rol vervuld binnen de aardwetenschappen – een ware kern voor ons vakgebied dus!

Jelgersma- en Escherprijs / Ook dit jaar zijn de Jelgersma- en Escherprijs weer uitgereikt tijdens de award-ceremonie van het NAC. De Jelgersmaprijs voor de beste Nederlandse aardwetenschappelijke bachelor thesis 2021-2022 is gewonnen door Rosa Westra (VU). Haar scriptie is getiteld: 'Local vegetation on changes during the transition from the late

Uitreiking van de Van Waterschoot van der Gracht Penning aan René Fraaije (midden) door voorzitter Bob Hoogendoorn (rechts) en Evert van de Graaff (links).

Allerød to early Younger Dryas in Leusden-Den Treek, the Netherlands'. Een interview met Rosa is te lezen in Geo.brief 4-2023. Eise Nota van de Universiteit Utrecht is de winnaar van de Escherprijs 2021-2022. Zijn master thesis is getiteld: 'The effects of soil physical characteristics on debris flow-soil interaction through laboratory experiments'. Zijn interview staat in Geo.brief 3-2023. Eise is de eerste student die zowel de Jelgersma- als de Escherprijs heeft gewonnen, chapeau!

Van Waterschoot van der Gracht Penning / Kees Kasse heeft in april de Van Waterschoot van der Gracht Penning ontvangen voor zijn bijdragen op het gebied van academisch onderwijs en onderzoek (Kwartairgeologie). De penning werd uitgereikt op een speciaal voor hem georganiseerd symposium op de Vrije Universiteit Amsterdam met als



Uitreiking van de Van Waterschoot van der Gracht Penning aan Kees Kasse door bestuurslid Marc Hijma.

titel 'Zien we het landschap?'. Op het symposium traden verschillende sprekers uit de Kwartairgeologie aan. Een interview met Kees is te lezen in Geo.brief 4-2023.

In oktober ontving René Fraaije de Van Waterschoot van der Gracht Penning. René ontving de penning omdat hij als oprichter en directeur van Het Oertijd Museum in Boxtel een ongekende bijdrage heeft geleverd aan het promoten van ons vakgebied bij een zeer breed publiek. Voorafgaand aan de uitreiking werd een symposium gehouden met als thema 'Maastrichtien'. Een interview met René is te lezen in Geo.brief 7-2023.

Symposia / In september organiseerde het KNGMG het 'Building Bridges' symposium bij TNO in Utrecht. Het symposium behandelde verschillende dilemma's waarmee aardwetenschappers tegenwoordig geconfronteerd worden. Vragen zoals: 'Kan je verantwoord grondstoffen winnen? Wat is belangrijker: de energietransitie of behoud van biodiversiteit? Hoe weeg je belangen af?' passeerden de revue. Dit leverde naast interessante lezingen ook goede discussies tussen de aanwezigen op. Het laatste symposium van het jaar vond plaats in november, bij de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) in Amersfoort. Dit symposium, met als titel 'Aardkundige Waar-



Uitreiking prijs voor het beste NJG-artikel op het NAC aan Robin Schaumann door NJG-hoofdredacteur Henk Kombrink.

den' werd naast de RCE en KNGMG, medegeorganiseerd door Wageningen Environmental Research (WenR) en TNO. Met een (digitale) opkomst van enkele honderden mensen was dit een groot succes. Een verslag van het symposium is te lezen in Geo.brief 8-2023.

NJG / Op het NAC werd tevens door Henk Kombrink, de hoofdredacteur van het Netherlands Journal of Geoscience (NJG), de prijs voor het beste NJG-artikel uitgereikt. Deze prijs ging naar Robin Schaumann (Universiteit Bonn) en co-auteurs voor hun artikel getiteld 'The Middle Pleistocene to early Holocene subsurface geology of the Norderney tidal basin: new insights from core data and high-resolution sub-bottom profiling (Central Wadden Sea, southern North Sea)'. De redactie van NJG lauwerde Robin om het feit dat dit artikel tot de best geciteerde NJG-artikelen van het afgelopen jaar behoort en omdat dit artikel is voortgekomen uit zijn bachelorscriptie. Een hele prestatie dus! Het verhaal achter dit winnende artikel, en vele andere, zijn terug te luisteren via de podcastserie 'Paper Trail'.

NJG-hoofdredacteur Henk Kombrink heeft samen met het redactieteam afgelopen jaar er ook weer voor gezorgd dat er interessante NJG-publicaties en podcasts zijn verschenen.

Het KNGMG-hoofdbestuur bedankt Henk en allen die dit mogelijk hebben gemaakt ten zeerste.

Geo.brief / In 2023 is een gedeeltelijk vernieuwde redactie van Geo.brief aan de slag gegaan. Onder hun regie zijn prachtige Geobriefedities verschenen. In het najaar van 2023 is hoofdredacteur Ceciel Fruijtier afgetreden. Het KNGMG-bestuur wil Ceciel, de overige redactieleden, de vormgever en drukker hartelijk bedanken voor hun inzet.

Dankwoord / Het KNGMG bedankt Shell en TNO voor het sponsoren van respectievelijk de Escherpijs en Jelgersmaprijs 2021-2022 en bedankt de begunstigers EBN, NAM, TNO, Total E&P Nederland, Panterra en Deltares voor hun bijdragen. Verder bedanken we TNO voor de werktijd van de hoofdredacteur van de Geo.brief en de secretaris van het hoofdbestuur. NWO danken we voor de bijdragen aan de Geo.brief.

Kay Koster
Secretaris

Het eerste tijdsafhankelijke grondwatermodel met hoge resolutie ter wereld

Grondwaterwetenschappers en modelontwikkelaars van de Universiteit Utrecht en Deltares maakten samen het allereerste wereldwijde grondwatermodel van 1 kilometer. Dit is een belangrijke stap richting een betere weergave van grondwater in wereldwijde water- en klimaatmodellen.

97% van het niet-bevoren zoetwater op aarde is opgeslagen als grondwater in watervoerende lagen onder de grond. Grondwater speelt een essentiële rol bij het aan de gang houden van rivierafvoer tijdens droogte en voor de gezondheid van wetlandecosystemen. Het is ook de bron voor de helft van het irrigatiewater wereldwijd, met name in droge gebieden.

Effecten op watervoorraden / Toch komt grondwater er bekaaid vanaf in de wereldwijde water- en klimaatmodellen die de effecten van klimaat- en sociaal-economische veranderingen op watervoorraden inschatten.

Grondwater wordt helemaal niet meegenomen, of simplistisch behandeld. Het nieuw ontwikkelde model GLOBGM is daarom een belangrijke stap voorwaarts omdat het de wereldwijde grondwatersystemen modelleert met de hoge ruimtelijke resolutie van 30 boogseconden (~ 1 km).

Softwarecode / Jarno Verkaik, promovendus aan de Universiteit Utrecht en grondwatersoftware-expert bij Deltares, gebruikte een computercluster voor het maken van dit gedetailleerde model. “Ik heb de onderliggende softwarecode van het model aangepast, zodat deze efficiënt parallel draait op meerdere processoren van een computercluster. We zijn nu in staat om met een beperkte rekenkracht 60 jaar in 1 nacht door te rekenen.”

Vooroplopen / “Met deze ontwikkeling lopen we voorop in de wereldwijde grondwatermodellering”, zegt co-auteur Marc Bier-

kens, hoogleraar Hydrologie aan de Universiteit Utrecht. “Het combineert mooi de kracht van Deltares in het ontwikkelen van modelleringstools met die van de grootschalige modelleringsexpertise en wereldwijde datasets van onze groep.”

Relevantie voor regionale waterbeheerders / “Daar blijft het niet bij”, vult Gu Oude Essink, grondwaterexpert bij Deltares en gasthoofddocent aan de Universiteit Utrecht, aan. “In toekomstig werk willen we meer geologische details en zoveel mogelijk lokale gegevens toevoegen, inclusief grondwateronttrekkingen, en het zoute grondwater in watervoerende lagen aan de kust meenemen. Op deze manier maken we de weg vrij voor toekomstige wereldwijde watermodellen die goed genoeg zijn om relevant te zijn voor regionale waterbeheerders.”

De redactie

Aardwetenschappen Universiteit Utrecht voor het eerst in het Guinness Book of World Records

Voor het eerst heeft onderzoek onder leiding van een Utrechtse aardwetenschapper – Dan Palcu – een plek gekregen in het Guinness Book of World Records. Zijn onderzoek toont de immense proporties van het grootste meer dat de aarde ooit heeft gezien: de Paratethys. Guinness World Records publiceerde een hele pagina over het ‘Grootste meer ooit’ op hun website en besteedde er ook aandacht aan in de gedrukte editie.

Palcu en het Paleomagnetisch Laboratorium Fort Hoofddijk van het departement Aardwetenschappen speelden een essentiële rol bij het bepalen van de exacte afmetingen van het Paratethysmeer. De Utrechtse onderzoekers gebruikten magnetostratigrafie om sedimentlagen uit het verre verleden te dateren. Hierbij konden zij de grootte en het volume van Paratethys vaststellen.

Zo’n 11 miljoen jaar geleden zag het Europese continent er heel anders uit dan nu. Door het ophogen van de bergketens van Midden-Europa werd de oude Paratethys-zee van de oceaan afgesneden en zo ontstond dus het megameer Paratethys, het grootste meer ooit.

Tien keer het volume van alle huidige zout- en zoetwatermeren

Palcu en zijn collega’s beschreven de afmetingen van het megameer in een studie die ze publiceerden in juni 2021. Op zijn hoogtepunt strekte Paratethys zich uit over een gebied van ongeveer 2,8 miljoen vierkante kilometer, gevuld met meer dan 1,8 miljoen kubieke kilometer brak water. Dit is meer dan tien keer het volume van alle huidige zout- en zoetwatermeren samen.

Paratethys kende een tumultueuze geschiedenis, die gekenmerkt werd door meerdere

hydrologische crises en uitdrogingsperiodes, het gevolg van klimaatschommelingen. “We stuiten op een ecosysteem dat acuut reageert op klimaatschommelingen. Door de rampen te onderzoeken die dit oude megameer heeft doorstaan, weten we beter hoe we moeten omgaan met de huidige en toekomstige crises in zuurstof-arme zeeën, zoals de Zwarte Zee”, zegt Dan Palcu. De Zwarte Zee is vandaag de dag namelijk een afspiegeling van de penibele omstandigheden van zijn oude tegenhanger, Paratethys. Grotendeels verstoken van zuurstof herbergt de diepte waterstofsulfide. Bovendien bevatten de sedimenten ‘bevroren’ methaan.

Palcu benadrukt dat het begrijpen van de Paratethys niet alleen een reis naar het tragische verleden is, maar ook een baken van hoop voor de toekomst: “De Zwarte Zee heeft

. recent verschenen

Artikelen in het *Netherlands Journal of Geosciences* verschijnen niet meer in geprinte vorm. Via deze rubriek informeren wij KNGMG-leden welke publicaties er recentelijk in het NJG zijn verschenen.

A nomenclatural note on *Mosasaurus hoffmanni* (Squamata, Mosasauroidea)

by A.S. Schulp, D. Slootjes, J.W.M. Jagt, E.W.A. Mulder and N. Bardet

DOI: <https://doi.org/10.1017/njg.2023.13>

The historically important mosasaur fossil (known as 'le grand animal fossile des carrières de Maestricht') has been known as *Mosasaurus hoffmanni* for almost two centuries now. Recently, it has been proposed to amend the spelling of the species name, by adding a second 'i' to the species epithet. In this paper, the authors present historical evidence to the contrary, and recommend, following article 33.2.3.1 of the ICZN, to retain the specific epithet *hoffmanni*.

Thermo-hydro-mechanical simulation of cooling-induced fault reactivation in Dutch geothermal reservoirs

by B. Matur, H. Hofmann, M. Cacace, G.A. Hutka and A. Zang

DOI: <https://doi.org/10.1017/njg.2023.12>

The authors of this paper investigate the relative influence of temperature and key geological and operational parameters on the slip tendency of pre-existing faults. This is done through coupled thermo-hydro-mechanical simulations of the injection and production processes in synthetic geothermal reservoir models of the most utilized and potentially exploitable Dutch geothermal reservoir formations: Slochteren sandstone, Delft sandstone and Dinantian limestone.

. personalia

VERHUISD

C. Bremmer
L. Veenstra

NIUWE LEDEN

E. Jorissen
A. Selçuk
M. Berg
T. Schmiedel
R. Westra
E. Karlas
F. van Lieshout
T. van Wijgerden
S. Hassing

OVERLEDEN

J. Nieuwenhuis

De redactie

het potentieel om een van de grootste natuurlijke koolstofreservoirs van de aarde te worden. De stabiliteit ervan is van het grootste belang voor toekomstige initiatieven op het gebied van koolstofopslag.”

Het veroveren van een plaats in het Guinness Book of World Records is geen geringe prestatie en laat een groot publiek kennismaken met de wetenschap rond dit megameer.

<https://www.uu.nl/nieuws/aardwetenschappen-universiteit-utrecht-voor-het-eerst-in-het-guinness-book-of-world-records>

. agenda

11 april

International Geotechnical Seminar door Deep Foundation Institute en the Danish Geotechnical Society: "Successes and Failures; what did we learn?" Locatie: Tivoli Congress Centre, Copenhagen, Denemarken. Meer info: <https://www.ingeokrings.nl/evenementen/>

12 april

Lezing over 'De Messiaanse Zoutwatercrisis' door sedimentair geoloog Gijs van Dijk. Locatie: Dorps-huis de Geist, Sint Pancras. Bijdrage: 5 euro. Meer info en aanmelden: ngv.afd.westfriesland@gmail.com

20 april

Lezingendag over 'Maastrichtien en Krijt/Paleo-geengrens'. 9.30-14.10. Prijs LGVA-leden/studenten: 10 euro. Niet leden: 20 euro. Locatie: Oertijdmu-seum Boxtel

21 mei

Exploratie in Myanmar, lezing door Bram Bruijn bij Kring Noord

3 september

Introductie Zuid-Limburg excursie (KNGMG Noord bestuur)

7-9 september

Zuid-Limburg Excursie

8-11 september

Conferentie naar aanleiding van het 175-jarig bestaan van het Maastrichtien. Locatie: Centre Céramique en het Natuurhistorisch Museum Maastricht. De term Maastrichtien werd voor het eerst gebruikt als stratigrafische eenheid in de zomer van 1849 door professor André Hubert Dumont, bij het in kaart brengen van het Belgisch/Nederlandse grensgebied, net ten zuiden van Maastricht. De wetenschappelijke bijeenkomst is gewijd aan de stratigrafie en paleontologie van deze fase. Ijsbreker receptie - 8 september 2024 (locatie: Natuurhistorisch Museum Maastricht
Mondelinge presentaties en postersessie - 9 en 10 september 2024 (Centre Céramique)
Symposiumdiner - 10 september 2024
Excursie per bus naar Maastrichtien en Krijt-Paleo-geen (K/Pg) grens - 11 september 2024
Aanmelden via: <https://www.nhmmaastricht.nl/maastrichtian-anniversary/>



**Geo.brief is de nieuwsbrief van
KNGMG en NWO
48e jaargang, nummer 2, maart 2024**

Geo.brief is een gezamenlijke uitgave van het Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap (KNGMG) en NWO-domein Exacte en Natuurwetenschappen. Verschijnt 8 maal per kalenderjaar. ISSN 1876-231X. Oplage 1800.

Deze Geo.brief wordt verstuurd aan alle leden van het KNGMG, aan geadresseerden van NWO en aan ca. 120 instituten, verenigingen en andere relaties. Voor informatie over het lidmaatschap van KNGMG zie: www.kngmg.nl www.facebook.com/groups/kngmg

Redactie / Frederique van Schijndel-Goester, Sytze van Heteren, Wenche Asyee, Martine Zeijlstra (eindredactie) / e-mail: geobrief@kngmg.nl

Vormgeving / Harry Harsema, Uitgeverij Blauwdruk, Gen. Foulkesweg 72, 6703 BW Wageningen. Tel. 0317 425890 / e-mail: harry@uitgeverijblauwdruk.nl.

Lithografie / Hans Dijkstra, GAW ontwerp+communicatie.

Druk / Drukkerij Modern, Bennekom
Aandragen kopij / verschijningsdata 2024 onder voorbehoud: nr. 3: 29-3/3-4; nr 4: 10-5 / 14-6

Hoofdbestuur KNGMG / Bob Hoogendoorn (voorzitter), Annemieke van den Beukel (penningmeester), Kay Koster (secretaris), Sanneke van Asselen, Anne Pluymakers, Marianne Leeuwis

Secretariaat KNGMG / KNGMG p/a TNO afd.

Geomodelling, Princetonlaan 6, 3584 CB Utrecht.
Postbus 80015, 3508 TA Utrecht. / e-mail: kngmg@kngmg.nl IBAN: NL62 INGB 0000040517

NWO / Laan van Nieuw Oost-Indië 300, 2593 CE Den Haag. Postbus 93460, 2509 AL Den Haag. Tel: 070 3440 619 / b.westerop@nwo.nl

Bestuur NWO-domein Exacte en Natuurwetenschappen / Jan de Boer (voorzitter), Karen Aardal, Ilja Arts, Peter van Bodegom, Ferdinand Grozema, Rob Hamer, Maarten van Steen, Bas Zwaan.

**Aardverschuiving
Vietnam.**

Foto: Grooble via
Flickr



Word lid van
KNGMG
en scan de
QR code

