



**Geo.brief is de nieuwsbrief van
KNGMG en NWO
48e jaargang, nummer 6, september 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, Arthur Koolkwartier 19, 6711 VH Ede. Tel. 0318 784730 / e-mail: harry@uitgeverijblauwdruk.nl. Lithografie / Hans Dijkstra, GAW ontwerp+communicatie.
Druk / Drukkerij Modern, Bennekom
Aandragen kopij / verschijningsdata 2024 onder voorbehoud: nr 7: 4-10/8-11

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.

**Geothermische
Krachtcentrale
Hellesheidi,
IJsland.**

Foto: Lydur Skulason
via Flickr



Word lid van
KNGMG
en scan de
QR code



Geo .brief 6

september 2024

**Aardwarmte: een wereldwijde schone energievoorziening
Heldere keuzes voor de toekomst van Nederland
Zoeken naar de Zenne
Smeltgedrag van gesteente**

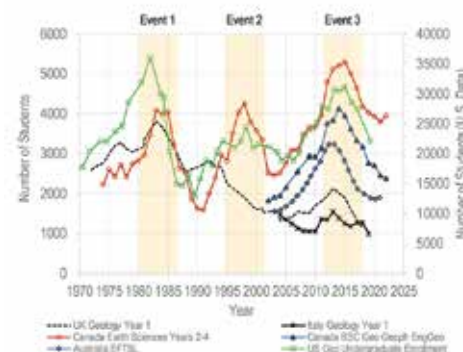
Essentieel voor de toekomst / “Aardwetenschap-
pen; essentieel voor de toekomst van de samenleving”. Zo luidt de
openingszin van de website van Aardwetenschappen van de VU. En
toch staan de Aardwetenschappen onder druk in Amsterdam.
Bezuinigingen in het hoger onderwijs dreigen te leiden tot ingrij-
pende veranderingen in zowel onderwijs als onderzoek. Volgens de
decaan Aletta Kraneveld (Ad Valvas, Juli 2024) “is gebleken dat de
manier waarop het onderzoek en onderwijs nu is georganiseerd bin-
nen de afdeling Aardwetenschappen en binnen de huidige financiële
kaders van de VU, niet (financieel) duurzaam is”. De bezuinigingen
zijn mede ingegeven zijn door een terugloop van de studentenaan-
tallen.
Staf en studenten van de VU, samen met het KNGMG en vele vakge-
noten, maken zich zorgen. Een actiegroep ‘Red de Aardwetenschap-
pen’ is inmiddels opgericht, die online en in de gedrukte media zeer
actief is. In september wordt een educatieve protestactie georgani-
seerd waar ook onze voorzitter Bob Hoogendoorn zal spreken.
De opleiding en het onderzoek aan de VU zijn van hoge kwaliteit.
Juist nu, in tijden van grote uitdagingen op het gebied van klimaat,
energie, grondstoffen, en waterhuishouding is het essentieel om dit
onderzoek en onderwijs te ondersteunen. Daarbij is het belangrijk
om een langetermijnblik op de kosten en baten te houden – het niet
oplossen van de grote problemen van deze tijd is op de lange termijn
mogelijk kostbaarder dan eventuele kortetermijnbesparingen.
Bovendien is er nu al een tekort aan geologen in Europa, zoals
onlangs duidelijk beschreven in een voorpagina-artikel in dagblad
Trouw (3 juli, met medewerking van o.a. Hein Raat).
Het is inderdaad nuttig om deze uitdagingen in Europees of groter
verband te bekijken. Niet alleen de Aardwetenschappelijke uitda-
gingen op het gebied van klimaat en energie trekken zich niets aan
van landsgrenzen, ook het imago van Aardwetenschappen, de
terugloop van de studentenaantallen, en het sluiten van opleidingen
is niet beperkt tot Nederland. De Geological Society van het Ver-
enigd Koninkrijk bracht hier enkele jaren geleden al een rapport
over uit (enrolment strategy.pdf (geolsoc.org.uk)). Kort gezegd
lopen ook in het VK de studentenaantallen Aardwetenschappen
hard terug: 43% sinds 2014 – zelfs meer dan de 33% reductie in

bachelorstudenten in Nederland (2014-2022, ref. Hans de Bresser
via linked-in). Op een bijeenkomst in 2020, georganiseerd door de
Geological Society, bogen representanten vanuit de wetenschap,
het onderwijs, en de beroepspraktijk zich over oorzaken en moge-
lijke oplossingen van dit probleem. In zijn recente artikel ‘Think
Twice’ in de ‘Geoscientist’, zeg maar de Geo.brief van de Geological
Society, observeert Dr Davide Elmo van de University of British
Columbia echter dat de studentenaantallen wereldwijd al sinds de
jaren 70 aan pieken en dalen onderhevig zijn (Think twice - GEO-
SCIENTIST). Het is niet onredelijk om aan te nemen dat we nu op
de bodem van het dal zitten, en we hier de komende jaren gestadig
uit zullen klimmen. Dat gaat uiteraard niet vanzelf. De suggesties
die de Geological Society doet, kunnen ook voor Nederland rele-
vant zijn. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om bekendheid van het vak,
en de relevantie hiervan voor de uitdagingen van deze tijd, zowel bij
jonge mensen, opleiders, als bij beleidsmakers; om het bieden van
attractieve carrièrepaden door het bedrijfsleven, die beginnen bij
goede stages, en het aannemen en opleiden van jonge mensen; en
om effectieve samenwerking tussen de verschillende belangengroe-
pen.
Wat het laatste betreft, lijkt het dat de acties rond de VU een
behoorlijke katalysator voor samenwerking zijn. Hopelijk hebben
de acties het gewenste effect voor de VU, en kunnen al te grote
ingrepen vermeden worden. Want zoals ook Dr Davide Elmo in zijn
artikel schrijft (in mijn vertaling): “het belang van een academisch
veld is niet altijd evenredig met de populariteit ervan. De prioriteit
moet liggen bij kennis die intrinsieke waarde biedt voor een duur-
zaam begrip en gebruik van de aarde”. Daarnaast kunnen de acties
wellicht bijdragen aan een breder debat over het versterken van de
Aardwetenschappen in Nederland. Wat kunnen wij als KNGMG, u,
en ik nog meer doen voor de bekendheid van het vak, het bieden
van carrièrepaden, en het versterken van de samenwerking? We
gaan graag met u in gesprek.

Annemieke van den Beukel



Think twice - GEOSCIENTIST –
Dr Davide Elmo PhD, PEng,
FGS, University of British
Columbia



‘Heldere keuzes nodig voor de toekomst van Nederland’

. interview



Uiterwaarden Olst.

Foto: Gerhard Aberson via
Wikipedia.

Delta-expert Esther Stouthamer houdt dit jaar de
Staringlezing. Ze onderzoekt bodemprocessen
in rivierdelta’s, waaronder bodemdaling. ‘We
lopen aan tegen de grenzen van het bodem- en
watersysteem.’

Er is geen vierkante centimeter in de Rijn-Maas-
delta die niet onder invloed staat van de mens.
Al eeuwenlang is het de mens die hier bepaalt
hoe de rivieren lopen, hoe en waar de beken
afwateren en hoe hoog het grondwaterpeil staat.
Daarmee is deze Nederlandse delta misschien
wel de meest ‘gestuurde’ laaglanddelta ter
wereld – en zeker ook de best onderzochte.
Al een kwart eeuw geleden beschikten geowe-
tenschappers over tweehonderdduizend grond-

boringen uit de Rijn-Maasdelta. Fysisch geograaf Esther Stouthamer schreef er een proefschrift over. Daarin reconstrueert ze tot in detail hoe de delta zich sinds het laatste glaciaal heeft ontwikkeld onder invloed van onder meer de grote rivieren, tektoniek en zeespiegelstijging – maar ook door menselijke invloeden, zoals inpoldering, kanalisering en ontwatering. Het was het begin van een carrière die Stouthamer de hele wereld over bracht en een Utrechts hoogleraarschap opleverde. Aan haar universiteit is ze een van de grondleggers van het onderzoeks- en onderwijsthema ‘Water, Climate and Future Deltas’. Daarnaast leidt ze een groot nationaal onderzoeksprogramma rondom bodemdaling: Living on Soft Soils: Subsidence & Society (LOSS). Het programma loopt van 2020 tot 2026 en is onderdeel van de Nationale Wetenschapsagenda. Dit jaar houdt Stouthamer op 17 oktober de Staringlezing: de jaarlijkse KNGMG-lezing, in combinatie met een symposium, rondom een actueel geotheema. De lezing is vernoemd naar W.C.H. Staring (1808-1877), een van de pioniers van de Nederlandse geologie. Dit jaar is het thema ‘Kwartaire Rivieren en Delta’s’.

Het symposium en uw lezing gaan niet alleen over de Rijn-Maasdelta?

“Nee. Er zijn wereldwijd veel delta’s met interessante bodemprocessen, waar menselijke invloe-



Esther Stouthamer.
Foto: Christine Geense.



Mekongdelta, Vietnam. Foto: Mary Newcombe via Flickr.

den een rol spelen en waar die invloeden ook weer gevolgen hebben voor de mensen die daar leven. Bijvoorbeeld de Mekongdelta: ook daar aan hebben mijn collega’s en ik onderzoek gedaan. En ik heb een *visiting professorship* gedaan in Shanghai, in de Yangtze-rivierdelta. Maar de delta waar ik het meeste van weet, en ook het meest aan heb gewerkt, is de Rijn-Maasdelta.”

Wat fascineert u zo aan rivierdelta’s?

“Ik vind de ontwikkeling van die delta’s in de tijd heel interessant, en de daaruit voortvloeien- de opbouw en eigenschappen van de ondergrond. De opbouw van de ondergrond is vaak heel complex, heel heterogeen. Die opbouw ver- raadt wat er in het verleden allemaal is gebeurd,

Esther Stouthamer (1974) studeerde fysische geografie aan de Universiteit Utrecht. Daar schreef ze ook een proefschrift over rivierverleggingen in de Rijn-Maasdelta in het Holocene. Nu is ze in Utrecht hoogleraar Delta-evolutie en Ondergrondprocessen. Haar onderzoek richt zich op de vorming en opbouw van de ondergrond van Holocene delta’s, de invloed van de mens op bodemprocessen in delta’s, de gevolgen daarvan voor de mens, en manieren om negatieve invloeden te beperken.

welke processen er nu in de ondergrond spelen, en hoe die zich vertalen in wat je aan de oppervlakte ziet gebeuren. Met die kennis kun je beter begrijpen wat je waarneemt in het heden – bijvoorbeeld veranderingen waar wij last van hebben, zoals bodemdaling en zand dat bij hoogwater wegspoelt onder dijken.”

Hoe ontstaat bodemdaling eigenlijk?

“Vaak door menselijke ingrepen. Door ontwatering kunnen klei- en veenbodems bijvoorbeeld inklinken. In de Flevopolder is de kleibodem daardoor één tot twee meter gezakt. In West-Nederland liggen veel veengebieden. Door ontwatering komt daar zuurstof bij, waardoor het organisch materiaal oxideert en de bodem daalt. Dat is al eeuwen aan de gang. In Groningen heb je daarnaast ook bodemdaling door gaswinning. En dan zijn er nog processen in en langs riviergeulen en onder dijken die kunnen leiden tot instabiliteit.”

Die ontwatering is dus niet iets van de laatste decennia?

“Al in de Romeinse tijd zijn er in Nederland veengebieden ontwaterd. Daar zijn interessante archeologische bewijzen voor gevonden, zoals klepduikers: holle boomstammen met een klep erin waardoor het water er maar in één richting doorheen kan stromen. Die ontwatering is een belangrijke oorzaak van het ontstaan van de Hollandse IJssel en de Lek. Vanaf zo’n duizend jaar geleden zijn we echt structureel begonnen de grondwaterstand te verlagen. De bevolking



Shanghaidelta, China. Foto: ESA.

groeide toen sterk, dus was het nodig op grote schaal moerassige gebieden te gaan ontwateren en ontginnen. En dat ontwateren zijn we blijven doen. Hoewel er in recente jaren wel een omslag heeft plaatsgevonden.”

In welk opzicht?

“Het concept ‘bodem en water sturend’ heeft zijn intrede gedaan: de notie dat niet de wensen van de mens, maar de eigenschappen van bodem en water leidend moeten zijn bij ruimtelijke ontwikkelingen. Dat is eind 2022 formeel verankerd in het nationaal beleid. Veel mensen begrijpen nu wel dat er iets moet veranderen in de manier waarop we met bodem en water omgaan, maar wát, hoeveel en waar precies en wat hiervan de effecten zijn, dat is vaak de vraag. Daar is in veel gevallen ook nog aanvullend onderzoek voor nodig.”

Waarom is bodemdaling nu ineens een probleem?

“Het speelt natuurlijk al veel langer, maar de laatste jaren is het om allerlei redenen steeds pranger geworden. Het probleem is dat we nog steeds maaiveldhoogte verliezen, terwijl de zee-

spiegel stijgt. Zo’n half miljoen gebouwen in Nederland hebben nu funderingsproblemen. Ook de kosten van het onderhoud van straten en wegen nemen toe als gevolg van verzakking. De kosten direct gerelateerd aan bodemdaling zullen in de komende decennia verder oplopen tot vele miljarden euro’s. Bovendien gaat er door veenoxidatie in Nederland jaarlijks extra CO₂ de lucht in, wat bijdraagt aan klimaatverandering. In totaal is dit misschien maar twee tot drie procent van de gehele Nederlandse emissie, maar wel iets wat je kunt aanpakken. En het mooie is: als je bodemdaling aanpakt, dan pak je allerlei problemen tegelijk aan.”

Welke dan allemaal, naast schade aan huizen en infrastructuur en CO₂-emissie?

“Bodemdaling veroorzaakt ook scheuren in de bodem, waardoor zoute kwel een kans krijgt naar boven te komen en er verzilting optreedt. Nu al zien we dat het huidige landgebruik op sommige plekken niet meer mogelijk is. En dan heb je de woningbouw. Nederland wil de komende jaren bijna een miljoen huizen gaan bouwen. Die staan onder meer gepland in West-

Nederland, in laaggelegen polders, op plekken met een zachte ondergrond. Vanuit het perspectief van bodemdaling zijn dit niet de meest geschikte plekken. Bodemdaling raakt dus in feite aan veel grote uitdagingen waar Nederland voor gesteld staat. Het lastige is vaak dat er veel partijen zijn met verschillende belangen.”

U leidt het grote onderzoeksprogramma Living on Soft Soils (LOSS). Wie doen daaraan mee?

“Verschillende onderzoeksgroepen van de Universiteit Utrecht, de TU Delft en de Wageningen Universiteit. Heel erg leuk, uitdagend en leerzaam, want dat maakt het meteen al heel interdisciplinair. Verder doen Deltares, TNO en Wageningen Environmental Research mee; STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer) en twee waterschappen; de ministeries van Binnenlandse Zaken en Infrastructuur en Waterstaat; het Platform Slappe Bodem, met daarin een aantal gemeenten, waterschappen en de provincies Noord- en Zuid-Holland; de provincie Utrecht; adviesbureaus Tauw en Sweco; en de NAM.”

Wat is het doel van het programma?

“Het doel is: een integrale aanpak te ontwikkelen om te komen tot haalbare, legitieme en duurzame oplossingen voor het beheersen van de negatieve maatschappelijke effecten van bodemdaling in Nederland. Daarmee reiken we bouwstenen aan voor kennis-onderbouwd beleid en goed geïnformeerde besluitvorming. We ontwikkelen handelingsperspectieven voor de korte, middellange en lange termijn, en een integrale methodiek die niet alleen technische aspecten meeneemt, maar ook juridische en governance-gerelateerde.”

Een hele mond vol. Maar wat gaan jullie nu precies doen?

“Kort gezegd doen wij als consortium een aantal dingen. Ten eerste ontwikkelen we methoden en technieken om bodembeweging te meten en te kwantificeren. Verder onderzoeken we bodemdalingsmechanismen, gevolgen van bodemdaling nu en in de toekomst, en mogelijke maatregelen in zowel het stedelijk als het landelijk gebied. Op basis van bestaande en nieuwe kennis willen we vervolgens handelingsperspectieven ontwikkelen. Onderdeel daarvan is dat we inzichtelijk maken hoe je bepaalde doelen, zoals het realiseren van bijvoorbeeld 0 mm/jaar bodemdaling of de minste economische schade, zou kunnen bereiken door maatregelen toe te passen op basis van scenariomodellering.”

Doen jullie dat allemaal in het lab?

“Het gedrag van materialen kun je voor een deel in het lab onderzoeken, maar het is belangrijk om dat ook in het veld te doen. Op grotere schalen gebeuren toch vaak andere dingen, onder meer door de horizontale dimensie in plaats van alleen de verticale, door feedbackmechanismen en door andere factoren die het materiaalgedrag beïnvloeden. Daarnaast gebruiken we computermodellen om de verschillende processen op verschillende schalen te modelleren.”

Kijken jullie ook naar sociaal-wetenschappelijke aspecten, zoals gedragswetenschap en verandermanagement?

“Nee, niet in dit programma, maar wel in een



Grondboringen langs de Hollandse IJssel en de Lek, door Esther Stouthamer en Kay Koster.

Foto: Harm Jan Pierik

ander project dat volgend jaar start: een samenwerking tussen de Universiteit Utrecht en het Planbureau voor de Leefomgeving. Hoe pak je bijvoorbeeld stakeholderparticipatie aan? Ook in andere programma's wordt daar al wel naar gekeken, en daar kunnen wij natuurlijk van leren. Deze 'transitiewetenschap' is nog vrij nieuw. Als het gaat over de transitie van een gebied in relatie tot bodemdaling is het belangrijk om eerst de situatie en mechanismen goed in beeld brengen, en de mogelijke maatregelen: wat doen die met de bodemdaling? Aan de volgende stap zijn wij nog niet toe. Hoe we in Nederland willen omgaan met bodemdaling is deels ook een politieke keuze.”

Ja? Op welk vlak?

“De belangrijkste vraag is nu eigenlijk: welk Nederland zien wij voor ons, in de nabije en de verre toekomst? Daarin moeten we nu zo snel mogelijk heldere keuzes maken. We lopen namelijk tegen de grenzen van het bodem- en watersysteem aan door de manier waarop we er

nu mee omgaan. Er is voor heel Nederland een visie nodig. Een collega gebruikte laatst de metafoor van een schip dat op een ijsberg afvaart. We kunnen nog heel even doorvaren, maar we weten dat het misgaat als we keuzes te lang uitstellen. Er komt een moment dat je moet beslissen: gaan we er links- of rechtsom omheen? Je móet kiezen welke kant je het roer opdraait. Op dat punt zitten we nu.”

Maar er worden toch ook al keuzes gemaakt? Bijvoorbeeld in het Deltaprogramma?

“Ja, dat klopt. In 2026 is er een nieuwe herziening van het Deltaprogramma, waarbij keuzes worden vastgelegd voor de lange termijn. Dat komt heel mooi uit, want tegen die tijd hebben onze PhD-studenten en postdoc-onderzoekers hun onderzoek af en kunnen wij concrete resultaten laten zien, bijvoorbeeld van de scenariomodellering. Die resultaten delen wij met het Deltaprogramma, en we hopen ze in 2026 ook te presenteren op het Nationaal Deltacongres. Daarnaast denken we met de adviesbureaus na over manieren om de kennis ook daadwerkelijk te laten landen in de praktijk. Bijvoorbeeld door sessies te organiseren met stakeholders, en door praktijkpilots te ontwikkelen samen met waterschappen. Dus er komt een spannende en opwindende periode aan.”

Het klinkt wel alsof wij in Nederland voor een haast onmogelijke opgave staan. Bent u optimistisch?

“Ja, ik ben sowieso altijd optimistisch ingesteld. Het is inderdaad allemaal heel complex, maar er worden al flinke stappen gezet. Wel vind ik het heel belangrijk dat we als land écht durven te beslissen over de koers die we willen, en wat die concreet betekent voor de besluitvorming. En dat we beslissingen nemen op basis van de juiste kennis en informatie. Die moet er dan wel zijn, en op orde zijn. Daar willen wij met ons onderzoek een belangrijke bijdrage aan leveren.”

Nienke Beintema



AARDWARMTE nuttig en noodzakelijk voor een wereldwijde schone energievoorziening

Aardwarmte, ook wel geothermie genoemd, is sinds duizenden jaren een essentiële energiebron voor de mens. Van oude Romeinse baden tot moderne geothermische energiecentrales, deze energiebron heeft zich ontwikkeld tot een betrouwbaar, duurzaam en steeds belangrijker onderdeel van de wereldwijde energiemix. Zowel voor elektriciteit als ook voor warmte en koeling.

onderzoek

Hellisheidi Geothermische Krachtcentrale, IJsland.

Foto: Sirgr via Wikipedia

De basis: waar komt het vandaan? / Geothermische energie is afkomstig van twee primaire bronnen: het verval van radioactieve elementen in de aardkorst en voor een kleiner gedeelte de restwarmte van de vorming van de aarde. De geothermische gradiënt, de toename van de temperatuur met de diepte, is gemiddeld 25-30°C per kilometer diepte in stabiele continentale gebieden. In stukken land met tektonische activiteit, zoals in riftzones, subductiezones of hot spots, kan de gradiënt echter aanzienlijk hoger zijn. In deze regio's manifesteert geothermie zich bijvoorbeeld als warmwaterbronnen, geisers en vulkanische activiteit, zoals langs de Ring of Fire (fig. 1).

Gebruik van geothermie: geologische condities / Geologen spelen een cruciale rol bij het identificeren en beoordelen van geothermische bronnen. Bij de exploratie en ontwikkeling van geothermische energie moet rekening worden gehouden met verschillende geologische factoren:

- **Temperatuur en druk:** Het bepalen van de thermische en drukomstandigheden van het reservoir helpt bij het inschatten van het energiepotentieel.
- **Permeabiliteit en porositeit:** Een hoge permeabiliteit en porositeit zorgen voor een betere vloeistofstroom in het reservoir, wat essentieel is voor efficiënte energiewinning.
- **Gesteente en breuken:** Bepaalde gesteentetypes (bijv. vulkanisch, metamorfisch, carbonaat) en de aanwezigheid van breuken kunnen het vermogen van het reservoir om warmte op te slaan en door te geven vergroten.

Geothermische bronnen worden ingedeeld op basis van hun temperatuur, en op basis van de temperatuur en de samenhang met het energiepotentieel wordt vaak de volgende classificatie aangehouden:

- **Bronnen met een lage temperatuur (<90°C):** Vaak gebruikt voor directe toepassingen zoals het verwarmen van gebouwen, kassen en zwembaden.
- **Middentemperatuurbronnen (90-150°C):** Geschikt voor zowel direct gebruik als elektriciteitsopwekking met behulp van binaire technologie (in opkomst).



Fig. 1: Subductiezones, hotspots en de 'Ring of Fire' (vulkanisme aan de randen van de tektonische platen van de Stille Oceaan). De nummers geven de centrales weer die genoemd worden in de tekst.
Bron: International Geothermal Association, 2023



Fig. 2: Piero Ginori Conti in 1904 in Larderello.
Bron: archief ENEL (www.enel.it)

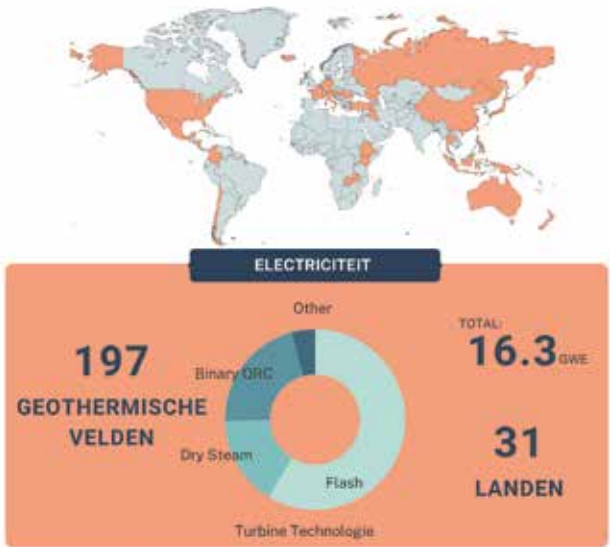


Fig. 3: Overzicht van 31 landen die elektriciteit produceren met geothermie.
Bron: International Geothermal Association, Proceedings van World Geothermal Congress, 2023

teitsopwekking met behulp van binaire technologie (in opkomst).

- **Bronnen met een hoge temperatuur (>150°C):** Voornamelijk gebruikt voor elektriciteitsopwekking in conventionele geothermische energiecentrales (droge stoom- en flash-stoomcentrales).

Wie zijn de pioniers? / In 1890 is de eerste stadsverwarming aangelegd in Boise, Idaho, Verenigde Staten, tijdens de vijf maanden koude winter. Ooit begonnen met twee artesische waterputten die met vijfendertig liter per seconde uit honderdtwintig meter diepte warm water pompen (gemiddeld 85 graden) uit een felsische ryoliet, is het systeem nu geoptimaliseerd met vierentwintig boringen en een ingenieus watermanagement (aquifer reinjectie programma) voor zo'n driehonderd huizen. Maar de echte impuls om tot industriële ontwikkeling over te gaan, kwam door de behoefte aan elektriciteit voor de opkomende industrie. Het begon allemaal op zo'n tachtig kilometer ten zuiden van Pisa. In deze hotspotregio

begonnen de pioniers met het exploreren naar aardwarmte en het benutten van de geothermische stoom voor elektriciteit. Op 5 juli 2024 vierde men in Larderello, een gehucht in het Toscaanse binnenland, de honderdtwintigste verjaardag van de eerste geothermische elektriciteitscentrale. Op 5 juli 1904 slaagde Piero Ginori Conti er namelijk voor het eerst in om met een simpele dynamo op basis van geothermische stoom vijf lampen te laten gloeien (fig. 2). In 1913 was de centrale klaar en leverde die de stroom voor de plaatselijke textielindustrie. ENEL Group heeft in 1962 de Larderellocentrale overgenomen en in een zorgvuldig exploratie en productieprogramma tweehonderd putten geboord en dertig centrales aangelegd. Het verzorgt nu ruim 35% van de elektriciteitsvoorziening in Toscane. Ook maken 15.000 huishoudens gebruik van de warmte en is er 26.000 hectare aan kassen gerealiseerd voor de productie van groenten en fruit. Een magmatische plutoon (een batholiet), die zich onder het vulkanische systeem van de Mount Amiata bevindt, is de warmtebron voor het sedimentaire carbonaatreservoir van deze zeer succesvolle aardwarmte-winning. De putten boren stoom aan tussen 150 en 275 graden, op een diepte variërend tussen een en vier kilometer, en geven tot op heden geen enkel teken van verminderde opbrengst.

Hoe wint men aardwarmte? / Geothermische energie kan rechtstreeks worden gewonnen uit reservoirs (vaak tussen een en vier kilometer diepte), waaruit heet water of stoom kan worden geproduceerd (hydrothermale reservoirs) of waarin men koud water injecteert en na opwarming het hete water produceert (hot dry rock ofwel petrothermale reservoirs). Deze technieken maken gebruik van zogenaamde open systemen waarbij interactie met het reservoir plaatsvindt. In de centrale wordt de energie van het water of de stoom gebruikt voor het aanjagen van turbines of warmtewisselaars. Daarnaast is men aan het experimenteren op het gebied van innovatieve boor- en productietechnologie om met een gesloten systeem op basis van warmteconductie in de ondergrond warmte te 'mijnen'. Hierbij vindt geen interactie plaats



Fig. 4: Overzicht van 88 landen die geothermie inzetten voor warmte en koelen. In totaal is er 173,3 GWthermal geïnstalleerd, waarvan 87% voor de gebouwde omgeving ingezet wordt.
Bron: International Geothermal Association, Proceedings van World Geothermal Congress, 2023

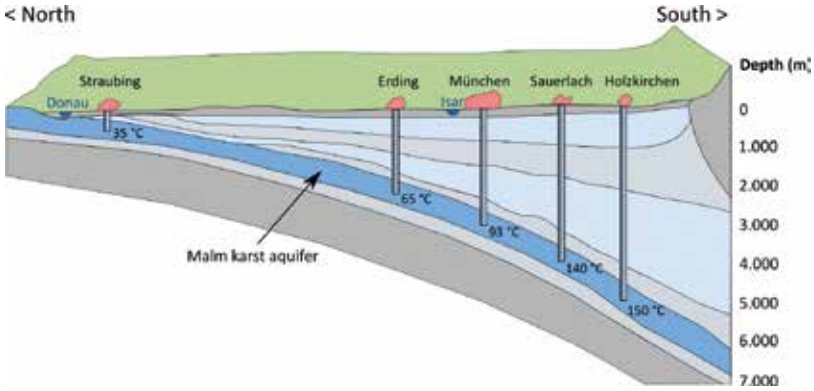


Fig. 5: Molassebekken in Beieren met de Malmaquifer die 90% van de warmte levert in Zuid-Duitsland.
Bron: <https://geothermie-allianz.de/en/geothermal-in-bavaria/>

met het gesteente. Het eerste demonstratieproject is momenteel bezig in Duitsland, in Geretsried, en heeft als doel zowel elektriciteit als warmte te leveren aan huishoudens.

Wie ontwikkelen aardwarmte voor elektriciteit – een rondje langs de Ring of Fire / De meeste landen aan de zogenaamde Ring of Fire (zie fig. 1), of landen gelegen boven een bekende hot spot, hebben een keuze gemaakt om aardwarmte toe te voegen aan hun elektriciteitsvoorziening (zie fig. 3). In 2024 staat de stand op 31 landen die gezamenlijk uit 197 verschillende geothermische velden een totaal van 16,3 GWe aanleveren in de elektriciteitsvoorziening. Deze centrales staan op zeven verschillende tektonische platen. De grootste elektriciteitscentrale staat in Californië en heet The Geysers, waar Calpine Corp in totaal 850MWe capaciteit heeft geïnstalleerd in een gebied van 115 vierkante kilometer. Vulkanische activiteit in het Kwartair (1,3 miljoen jaar geleden) heeft geleid tot een intrusie van silica-rijk magma tot ongeveer een kilometer onder het aardoppervlak. Deze intrusie is de bron van de warmte voor het reservoir, een zandsteen (greywacke) die zich boven de intrusie bevindt, en die op het diepste punt (rond de vier kilometer) tussen de 350 en 400 graden warm is. The Geysers is een stoomveld en wordt sinds twintig jaar met een aantal injectieputten

van water voorzien. In de jaren negentig liep de productie terug (door depletie), maar door innovatie in de productietechnologie is dit veld weer helemaal up-to-date en stelt het de elektriciteitsvoorziening van Californië weer veilig. In Chili staat op 4500 meter boven zeeniveau een geothermische elektriciteitscentrale genaamd Cerro Pabellón, in de Atacama Woestijn. Het gebied bevindt zich in de Andes Centrale Vulkanische Zone (ACVZ), een subductiezone waar de Nazca Plaat onder de Zuid-Amerikaanse Plaat schuift. Het geothermische veld stamt uit het Pliocen tot Pleistoceen. Tijdens de exploratiefase werd een zeer interessante temperatuur/diepteprofiel gelogd van 215 graden op een diepte van vijfhonderd meter, waardoor het economisch gezien haalbaar werd om verder te gaan met het productieplan. Sinds 2017 is Cerro Pabellón in gebruik en inmiddels zijn elf productieputten geboord die op 2,5 kilometer diepte voor drie verschillende centrales stoom produceren. In totaal is er 80MWe geïnstalleerd. De Oost-Afrikaanse Riftzone is enkele duizenden kilometers lang en strekt zich uit van Malawi in het zuiden tot aan de Afardriehoek in Ethiopië, waar de rift overgaat in de Rode Zee Rift en de Golf van Aden. Een rift, ofwel slenk, is een extensiezone, waarin een verdunning optreedt in de korst. Hier ontstaat vaak vulkanisme. Bekende voorbeelden in de Afrikaanse

Slenk zijn de Kilimanjaro (Tanzania) en Mount Kenya. Kenia is een land dat zich bijzonder gericht heeft op geothermie als energiebron. Op dit moment wordt ruim 45% van de elektriciteitsvoorziening verzorgd door geothermie. Alle geothermische verschijnselen met hoge temperaturen in Kenia zijn voornamelijk geassocieerd met Kwartair-vulkanen, waarbij de relatief ondiepe magmakamers van deze vulkanen de warmtebronnen zijn voor de reservoirs. Olkaria is het meest belangrijke geothermische veld, 34 van de veertig centrales zijn hier aangelegd. Tweehonderd boringen zorgen voor een geïnstalleerd vermogen van zo'n negenhonderd MWe. Indonesië: Dit archipelvormige land, gelegen op het zuidelijke deel van de Euraziatische Plaat, is het tweede in de lijst van landen met de meeste geothermische installaties in werking ter wereld. Ongeveer 48 afzonderlijke energiecentrales zijn actief in achttien geothermische velden, verspreid over vier eilanden: Java, Sumatra, Sulawesi en Flores-Nusa Tenggara. Alle velden zijn hydrothermaal. Op West-Java ligt het grootste individuele veld Gunung Salak dat in totaal door 51 boringen, waarvan 32 productie- en 19 injectieputten, een vermogen levert van 376,8 MWe, verspreid over zes energiecentrales. De Salakvulkaan vormt het noordoostelijke deel van het Salak-Perbakti-Gagak vulkaanmassief, dat bestaat uit Boven-Pleistocene tot recente stratovulkanen en freatomagmatische kraters.

.....
Ook in Nederland gaat geothermie een nuttige en noodzakelijke rol spelen

De laatste uitbarsting van Gunung Salak was in 1938. Tot slot komen we uit bij IJsland – de hot spot voor geothermie. Gelegen op de Mid-Atlantische spreidingszone waar de Noord-Amerikaanse en de Eurazische Platen uit elkaar gaan, komt veel magma naar boven, waarschijnlijk door de aanwezigheid van een diepe mantelpluim: een zogenaamde hot spot. Sinds de jaren zestig is IJsland actief bezig met geothermie als bron van schone energie voor zowel elektriciteit als warmtevoorziening. Talloze geothermische systemen zijn gerelateerd aan de vulkanen, waarbij de samenstelling van het water varieert van zoet tot zout en van warm tot superkritisch in temperatuur. Er zijn minstens 25 gebieden met een hoge temperatuur geïdentificeerd binnen de vulkanische zones met $\geq 200\text{ °C}$ op $\leq$ duizend meter diepte. Bovendien zijn er ongeveer 250 afzonderlijke lage- en midden-temperatuurgebieden ($\leq 150\text{ °C}$ op $\leq$ duizend meter diepte) in het land, meestal gelegen op de flanken van actieve vulkanische zones, en zijn er meer dan zeshonderd warmwaterbronnen met temperaturen $\geq 20\text{ °C}$ gelokaliseerd. IJsland heeft een geïnstalleerd vermogen van bijna een GWe en heeft enkele imposante centrales in beheer die zowel de arctische kou als de complexe geologie goed weten te doorstaan, zoals de centrale Hellisheidi van Reykjavik Energy, die zowel de elektriciteit als de warmtevoorziening levert aan de hoofdstad Reykjavik op dertig kilometer afstand.

Pionieren in de warmte / In de loop van de twintigste eeuw is het steeds belangrijker geworden om naar de warmte- en koelingsvraag te kijken in steden, en voor de proces- en wellnessindustrie. Wereldwijd wordt er in 88 landen gebruik gemaakt van geothermie voor warmte en koeling (zie fig. 4).

China loopt voorop / Ook al is men in de Verenigde Staten begonnen met het aanleggen van een centraal stadswarmtenetwerk, gevoed door warmwaterbronnen, op dit moment is China de stuwende kracht achter de opkomst van geothermie voor warmte en koeling. Samen met IJsland is een expertisecentrum

opgericht waarin vooral gekeken is naar het uitsfaseren van kool als belangrijkste bron voor de binnenstedelijke warmtevoorziening. Sinds 2007 is het staatsbedrijf Sinopec samen met IJslandse bedrijven bezig om dit verder te ontwikkelen en uit te rollen. China staat op nummer één met honderd GWthermal geïnstalleerde capaciteit waarvan zo'n 30% door diepe geothermie en 70% uit ondiepe geothermische aquifers gevoed wordt. Het merendeel van de geothermische installaties staan in de provincies Hebei en Henan – beide provincies maken gebruik van hydrothermaal warmen en koelen met behulp van vele duizenden boringen (diep en ondiep) in zowel zand als carbonaat (karst), gelegen op een tot twee kilometer diepte.

Europa en de warmtetransitie / Europa is duidelijk bezig om invulling te geven aan de warmtetransitie en kijkt goed naar voorbeelden die komen uit Parijs en München als het gaat om de binnenstedelijke ontwikkeling. Het Ile-de-France (in Parijs) maakt al vijftig jaar gebruik van stadsverwarming op basis van geothermie. Het Dogger Kalk pakket en zandsteen uit het Krijt zijn de twee belangrijkste reservoirs van Parijs. Temperatuur van het water op 2,5 kilometer diepte is rond de 75 graden, op dit moment zijn er zo'n 79 warmtecentrales actief, die voor ruim een miljoen mensen in het Ile-de-France warmte en koeling aanleveren. Bijna elk geothermisch project in Frankrijk is een dubbelstelsysteem met een productie- en een injectieput om het reservoirsysteem semi-gesloten te houden. Het afgekoelde water wordt tussen de dertig en vijftig graden weer geïnjecteerd – vaak in hetzelfde reservoir als de productieput. Tot op heden is er weinig tot geen verlies van temperatuur in de productieputten te meten, hetgeen suggereert dat het vele decennia duurt voor een eventuele 'cold water breakthrough' de capaciteit van de productieput kan beïnvloeden. In Frankrijk, in de Elzas, net ten zuiden van Straatsburg, wordt uit graniet op vijf kilometer diepte warmte gewonnen op basis van het 'Hot Dry Rock' principe. Het graniet wordt hydraulisch gestimuleerd, waarna koud water wordt geïnjecteerd. Het (zeer!) warme water uit de productieput wordt omgezet naar elektriciteit

en voorziet zowel het elektriciteitsgrid als de lokale industrie met warmte voor de procesindustrie. In Beieren maken ze graag gebruik van het warme water uit het Malm (carbonaat, karst), gelegen in het Molasse Bekken. In München exploiteert Stadtwerke (stedelijk utiliteitsbedrijf) met doublet systemen het Malmreservoir dat op drie tot vier kilometer diepte ligt, om de stad te verwarmen en koelen. Het water is rond de negentig graden en wordt op drie verschillende locaties verwerkt tot een capaciteit van 50 MWthermaal. In totaal zijn ongeveer 80.000 huishoudens aangesloten. In heel Beieren wordt de warmtevoorziening voor 90% door geothermie verzorgd – er zijn dertig centrales aangelegd, die allemaal in doublet uit de Malm hun warmte en koeling halen (fig. 5).

Tot slot Nederland ... / In Nederland is aardwarmte vooral ingezet als betrouwbare energiebron voor de kassenbouw. Inmiddels zijn er 39 projecten op 27 locaties die jaarlijks zorgen voor 6,8 PJ (petajoule) aan energie, waardoor Nederland bovenaan staat in het inzetten van geothermie voor de productie van groenten en fruit. In Den Haag staat de Haagse Aardwarmte Leyweg Centrale die aan vierduizend huishoudens warmte levert en volgens de landenorganisatie Geothermie Nederland is de geothermieprojectenpijplijn met honderd projecten goed gevuld. Onder de Randstad zijn de zandstenen uit het Onder-Krijt en de Trias de meest veelbelovende reservoirs om miljoenen huishoudens van warm water te voorzien. De overheid heeft als doelstelling om geothermie een pijler van de warmtevoorziening te maken: 25% van de warmtevraag in de gebouwde omgeving en 50% van de warmtevraag voor de Nederlandse kassen dient door geothermie geleverd te worden. Het zal een kwestie van tijd worden, maar ook in Nederland gaat geothermie uiteindelijk een nuttige en noodzakelijke rol spelen.

Marit Brommer
(Executive Director van de International Geothermal Association)

Steenrijk Drenthe

52°55'33" Noord en 6°48'41" Oost / Meerdere Pleistocene ijs tijden hebben duidelijke sporen achtergelaten in het Nederlandse laagland, zowel aan het oppervlak, als in de ondergrond. Voorbeelden zijn de westwaartse afbuiging van de Rijn en Maas, de stuwwallen van de Veluwe en de Utrechtse en Sallandse heuvelruggen, en de langgerekte glaciële bekkens onder de steden Haarlem en Amsterdam. Ook het langgerekte Hondsruggebied in Drenthe heeft een glaciële oorsprong. Ongeveer 150 duizend jaar geleden, aan het einde van de Saale-ijstijd (Marine Isotope Stage 6), was hier een noordnoordwest-zuidzuidoost strekkende gletsjertong actief tussen twee omvangrijke 'doodijs' velden. De combinatie van snel bewegend landijs en grote hoeveelheden smeltwater resulteerde in de vorming van een aantal parallelle keileemruggen ('megaflutes') met veel grind en keien afkomstig van het Fenno-Scandinavische Schild, met name Zweden, Finland, de Oostzee en de Botnische Golf.

De grootste Saalien megaflute, de Hondsrug sensu stricto, heeft een lengte van bijna zeventig kilometer en een maximale hoogte van ruim dertig meter boven NAP, nabij de stad Emmen. De zwerfstenen in de keileem zijn voornamelijk Precambrische dieptegesteenten (pegmatitische granieten en gabbro's) en hoogmetamorfe gesteenten (migmatieten en gneisen), maar ook (fossielhoudende) Onder-Paleozoïsche sedimenten en jongere gesteenten komen voor in deze afzetting.

Tijdens het Laatste Glaciële Maximum (ca. twintig duizend jaar geleden) van de Weichsel-ijstijd (MIS 2) reikte het landijs niet tot onze noordelijke provincies. Een belangrijk deel van Nederland was in die tijd een koude poolwoestijn waar lokaal fijnkorrelige eolische dekzanden werden afgezet. In Drenthe sneden smeltwater-stromen zich in tussen de eerder gevormde ruggen, resulterend in de beekdalen van de Drentsche Aa en Hunze.

In de loop van het Holoceen werd het Hondsruggebied gecultiveerd door het agrarische Trechterbekervolk. In de periode van circa 3400 tot 3000 voor Christus bouwden zij hier hunebedden, imposante grafheuvels van grote zwerfstenen die oorspronkelijk waren afgedekt met een laag aarde. De term hunebedden is waarschijnlijk afgeleid van 'huynen' (reuzen), aan wie deze bouwsels werden toegeschreven in de middeleeuwen. Van de geschatte tachtig oorspronkelijke hunebedden zijn er 54 bewaard gebleven, waarvan 47 op de Hondsrug. Bijgaande foto toont hunebedden D28 en D29 in het centrale deel van deze heuvelrug (iets ten oosten van Borger), één van de zestien 'hunebed-tweelingen' in Drenthe. Hunebed D28 op de voorgrond heeft nog alle acht draagstenen, plus drie dekstenen en twee sluitstenen. Hunebed D29 daarachter wordt gekenmerkt door twee grote platte dekstenen waarvan er één het graf is ingegleden.

Op basis van de unieke geologie en het redelijk goed bewaarde oerlandschap is het Hondsruggebied in 2013 uitgeroepen tot Europees Geopark (oppervlakte: duizend vierkante kilometer). Vervolgens verkreeg dit park in november 2015 als eerste in Nederland de status van UNESCO Global Geopark. Het Hunebedcentrum in Borger, gelegen naast het grootste hunebed van ons land (D27), heeft onder meer een Geopark-expositie over de (glaciële) geschiedenis van deze regio met een grote collectie (gezaagde) zwerfstenen. Naast dit museum ligt een uitgebreide keientuin met duizenden Drentse zwerfstenen waarvan een redelijk aantal is gedetermineerd. Informatie over de petrologie, ouderdom en herkomst van deze keien staat aangegeven op bordjes, zodat bezoekers een goed beeld kunnen krijgen van de rijke variatie aan zwerfstenen, waaronder ook prachtige ijskanters met gletsjerklassen.

Foto en tekst: Jeroen Peters



Zuurstof beïnvloedt het smeltgedrag van gesteente



Eruptie op IJland.
Foto: Mzagerp via Flickr.

Het zuurstofgehalte in een gesteente in het inwendige van de aarde heeft grote invloed op de temperatuur die nodig is om dat gesteente te doen smelten. Dat blijkt uit een nieuwe experimentele studie van een groep onderzoekers uit China, Duitsland en Nederland, onder wie Wim van Westrenen (VU Aardwetenschappen). Hij legt uit hoe de experimenten zijn gedaan, en wat de resultaten betekenen voor modellen van de evolutie van de aarde (en andere planeten).

De temperatuur waarboven een gesteente of een metaal begint te smelten (formeel ‘de solidustemperatuur’) is een belangrijke parameter in veel modellen voor de evolutie van het inwendige van de aarde. De eerste pogingen om deze temperatuur te bepalen, vonden plaats in (industriële) ovens en dus bij atmosferische druk. Vanaf halverwege de vorige eeuw konden ook experimenten bij hogere druk worden gebruikt om inzicht geven in de temperatuur die nodig is om magma te produceren. Kennis van de solidustemperatuur is essentieel als je, bijvoorbeeld, de temperatuur wil schatten in de mantel van de aarde door de samenstelling van basaltisch gesteente te bestuderen. En experimentele metingen van de solidustemperatuur van ijzerrijk metaal als functie van druk voor verschillende mogelijke metaalsamenstellingen, worden vergeleken met de

uit de seismologie afgeleide druk op de grens tussen de vaste binnenkern en de vloeibare buitenkern van de aarde, om de temperatuur op die diepte af te leiden. Door de gestage toename van onze kennis van de thermodynamische eigenschappen van zowel mineralen als magma wordt het ook steeds beter mogelijk om de solidustemperatuur van een bepaald gesteente op een bepaalde diepte uit te rekenen, in plaats van in het laboratorium te meten.

Smelttemperatuur van de mantel – bekend of niet? / Door de jaren heen zijn er honderden experimenten uitgevoerd om de mantelsolidus te bepalen als een functie van druk. Dit werd vooral gedaan om de vorming van basalt onder midoceanische ruggen en in mantelpluimen te begrijpen. Daarnaast werd veel energie gestoken in het kwantificeren van het effect van water op smelttemperaturen, onder andere om vulkanisme bij subductiezones te modelleren. Waarschijnlijk heeft iedere aardwetenschapper wel een keer een fasendiagram gezien waarin zowel de droge mantelsolidus als de verschuiving van die solidus naar lagere temperaturen bij toevoegen van water zijn weergegeven als een functie van diepte in de mantel. En geofysici werken al tientallen jaren met parametrisaties van die meetgegevens om te bepalen waar in hun

druk-temperatuurmodellen voor de evolutie van het inwendige van de aarde magma kan worden gevormd. Eigenlijk vroeg niemand zich meer af of al deze meetgegevens wel klopten – de solidus van de aardmantel werd bekend verondersteld. Tot er in Amsterdam een paar experimenten werden gedaan met hele vreemde uitkomsten.

Geluk bij een ongeluk / Tijdens de coronapandemie kon maar beperkt tijd worden doorgebracht in het experimentele petrologielaboratorium van de VU. Toenmalige VU-postdoc Yanhao Lin besloot daarom om experimenten, in hogetemperatuurovens bij atmosferische druk, in twee verschillende opstellingen tegelijk te starten: in een oven waarin de hoeveelheid zuurstof tijdens smeltexperimenten gecontroleerd laag kon worden gehouden; én in een oven waarin gewone lucht aanwezig was (met veel zuurstof). Vreemd genoeg vond Yanhao dat voor het smelten van een synthetische basalt bij hoge hoeveelheden zuurstof in de atmosfeer veel lagere temperaturen nodig waren dan voor het smelten van dezelfde basalt bij lagere hoeveelheden zuurstof. Later bleek dat dit onverwachte resultaat helaas voor een groot deel te wijten was aan een slecht functionerende thermometer in de ‘gewone lucht’ oven. Maar onze interesse was gewekt. Voor de nu gepubliceerde resultaten zijn hogedrukexperimenten gedaan in samenwerking met collega’s van het Bayerisches Geoinstituut, met voor elk experiment precies dezelfde beginsamenstelling (gebaseerd op de samenstelling van de beroemde ‘KLB-1’ mantelperidotiet uit New Mexico) en precies dezelfde opstelling – het enige verschil tussen de experimenten was de hoeveelheid zuurstof in het systeem. Die hoeveelheid zuurstof hebben we precies gemeten in China, door te bekijken hoeveel ijzer er oplost in hele kleine stukjes iridium-metaal dat we aan sommige experimenten hebben toegevoegd – hoe minder zuurstof een experiment bevat, hoe meer ijzer er oplost.

Spectaculaire resultaten / Na ieder experiment konden we zien of er onder bepaalde omstandigheden wel of geen smelt gevormd was. We concludeerden dat de smelttemperatuur van KLB-1 heel erg afhangt van de hoeveelheid zuurstof in het gesteente: hoe meer

zuurstof, hoe makkelijker de steen smelt. Dit effect is groot (zie fig. 1): als je de mantel met veel zuurstof op een diepte van zeshonderd kilometer onder de grond wilt smelten, moet je hem verhitten tot minstens 1900 graden. Maar gesteente met weinig zuurstof op dezelfde diepte moet je verhitten tot boven de 2200 graden om magma te maken. Door onze resultaten vielen verschillende puzzelstukjes in elkaar. Eerder hadden verschillende onderzoeksgroepen bij steeds hogere drukken de solidustemperatuur van de aardmantel bepaald, en die resultaten gingen steeds meer van elkaar verschillen. Die eerdere onderzoeken letten niet op de hoeveelheid zuurstof in het gesteente, en de verschillende gehalten verklaren de verschillende uitkomsten.

Implicaties / Maar leuker dan het verklaren van verschillen tussen eerdere uitkomsten van verschillende groepen is het nadenken over wat dit betekent voor modellen van smelten in de aarde. Een raadsel dat we bijvoorbeeld nu denken te kunnen oplossen is dat Archaische vulkanische gesteenten op aarde relatief veel zuurstof bevatten, terwijl modellen voor de evolutie van de aarde allemaal stellen dat het inwendige van de jonge aarde nog zuurstofarm was. Waarschijnlijk kon in die tijd vulkanisme eigenlijk alleen maar ontstaan op plekken waar net wat meer zuurstof in de aarde aanwezig was. We vinden geen Archaisch zuurstofarm vulkanisch gesteente omdat zuurstofarm gesteente veel moeilijker smelt. De onderzoeksresultaten suggereren verder dat er op planeten met mantels die zuurstofrijker zijn dan de aarde, zoals bijvoorbeeld Mars, gemakkelijker magma kan ontstaan. Het zuurstofgehalte in gesteenten is tot nu toe als relatief onbelangrijk beschouwd. We hopen dat ons werk ervoor zorgt dat zuurstof geen ondergeschoven kindje meer is in het onderzoek naar de vorming van magma.

Wim van Westrenen

Referentie: Lin, Y., Ishii, T., van Westrenen, W., Katsura, T., Mao, H.-k. Melting at the base of a terrestrial magma ocean controlled by oxygen fugacity. Nature Geoscience 17, 803–808 (2024). <https://www.nature.com/articles/s41561-024-01495-1> (Open Access)

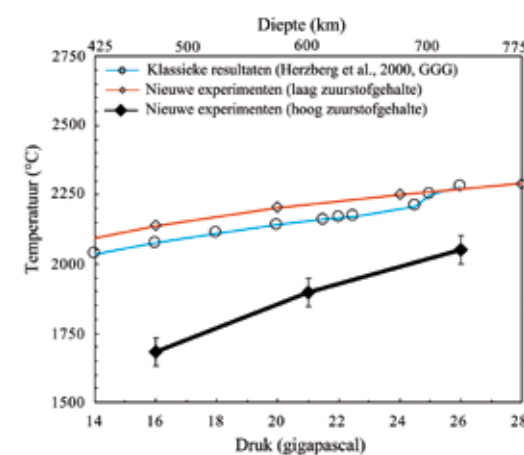


Fig. 1: Experimentele metingen van de solidustemperatuur van de mantel van de aarde.



Rosso di Verona in het stadhuis van Neuss.



Rosso di Verona in het stadhuis van Neuss.

Rosso di Verona / De Rosso di Verona van de steenhandel is de Rosso Ammonitico Veronese van de geologen. Een marmer voor de een, -want goed polijstbaar-, een kalksteen voor de ander. Net als andere goed polijstbare kalkstenen verliest hij buiten zijn polijst, en de vorstbestendigheidheid wordt ook als twijfelachtig beschouwd. Het is daarom vooral een interieursteen, al zijn er wel enkele toepassingen aan winkelpuien in bijvoorbeeld Namen (Rue Saint-Loup 8) en Brussel (Henri Mausstraat 24). In interieurs is Rosso di Verona met name gebruikt voor vloeren, zoals in het stadhuis van Hengelo van J.F. Berghoef en J.F. Hondius uit 1958-1963. Bijzonder fraai is de toepassing, niet als vloer maar als lambrisering van de entreehal en voor de trappartij van het in 1954 gereedgekomen stadhuis van het Duitse Neuss, een Wederopbouwontwerp van architect Friedrich Fassbender.

De Rosso Ammonitico Veronese Formatie bestaat uit drie eenheden. De onderste bestaat uit massieve, (pseudo) nodulaire kalksteen en is afgezet in het Boven-Bajocien – Onder-Callovien. De middelste, afgezet in het Boven-Callovien – Midden-Oxfordien omvat goed gelaagde, niet-nodulaire en vuursteenhoudende kalkstenen. De bovenste, uit het Midden-Oxfordien – Tithonien, is nodulair en klei-rijk. De bouwsteen Rosso di Verona is nodulair. Veel meer dan ammonieten trekken de nodules de aandacht. Rozige tot oranje onregelmatige nodules drijven in een donkerder, rode matrix. Soms zijn in de oranje-rode steen bruine banden aanwezig, veroorzaakt door accumulatie van ijzer- en mangaanoxides, soms ook ontkleurde witte banden.

Tekst en foto's: Timo G. Nijland

De onzichtbare ziel van de Zenne / Deel 1

. expeditie



De Grote Molen van Arenberg in Rebecq, met zijn schoepenrad van 7,5 meter.

Parijs heeft zijn chique Seine, Zaan-dam zijn naamgevende Zaan, beide door Claude Monet vereeuwigd. De goed verstopte hoofdriever van Brussel gaat als Senne en Zenne door het leven, etymologisch verbonden aan die twee buitenlandse verwanten. Ruim honderd kilometer gekronkel scheiden haar bron van het punt waar ze in de Dijle verdwijnt, daar al beïnvloed door eb en vloed en nog maar twee etappes (Rupel en Schelde) verwijderd van de Noordzee. We volgen de rivier stroomafwaarts tot ze in een tunnel verdwijnt.

Bescheiden begin / In de natte aarde van het Henegouwse Naast, niet ver van Petite Hollande, ontspringt in een moerasbosje een onvervuild stroompje dat lang geleden ten grondslag lag aan de noordwaartse nattigheid van Bruocsella of Broekzele, ons voorlopige eindpunt. De Eocene *Formation de Mons-en-Pévèle*, fijn glauconiethoudend zand met forams en kleilaagjes, wordt hier kleinschalig omgewerkt tot *alluvions modernes*. Je zou het Paleozoïcum waarschijnlijk met een handboor kunnen bereiken. Niet ver onder het maaiveld gaat zuidelijk Viséen over in noordelijk Tournaisien. In het dal van de Sennette, een zijriviertje van de Zenne, ligt die grens volgens de geologische kaart lokaal zelfs aan het maaiveld. Vanuit Naast heb je goed zicht op de *Carrière Tellier des Prés*. Daar wordt Pierre Bleue Belge gewonnen, de beroemde kalksteen die ook als petit granit of arduin bekend staat. Zelelies

aaneen gekit met cement van microkristallijn calciet, blauwgrijs door een fractie plantaardig materiaal. Grind in diverse maten rolt hier van de band. Grotere stapelblokken worden op een andere manier getransporteerd. De bekende kasseien van Parijs-Roubaix hebben ooit hier in de ondergrond gezeten, nog niet als zodanig herkenbaar natuurlijk. Al in de negentiende eeuw zijn ze op transport gegaan naar Noord-Frankrijk.

Van klein naar minder klein / In het stadje Soignies is de Zenne al slingerend over korte afstanden voor het eerst overweld. Al een eeuw mag het rivierwater daar op een aantal plekken het licht niet zien. Stroomafwaarts, in Rognon, is het meanderende karakter wel weer aan het oppervlak zichtbaar, heel goed zelfs. Vanaf een oude spoorbrug bespeur je een verdieping lager spiegelend water dichtbij, en parallel-



Voor en tussen de bomen bij Naast loopt een onopvallend beekje.

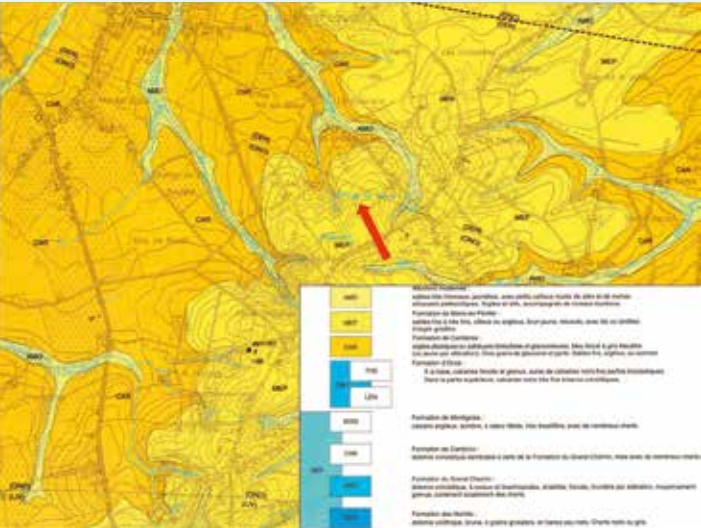
le bomenrijen in de verte. Nog een aantal kilometer verder, in Rebecq, is al sprake van een energiek riviertje dat sterk genoeg is om een paar watermolens aan te drijven. Hier werd graan gemalen. Het groene gesteente onder deze ‘Roosbeek’ is een tijd lang gerekend tot de Ordovicische *Formation de l’Hospice de Rebecq*, zo’n 455 miljoen jaar oud. Een onvergetelijke lithostratigrafische naam die alleen in het Frans zo goed klinkt, maar recent onderzoek wierp genoeg vraagtekens op om deze interpretatie aan de kant te schuiven. Nu wordt gedacht aan de Cambrische *Formation de Oisquercq* waarin het Nederlandse Oostkerk de boventoon voert.

Te klein en smerig voor een wereldstad? / Tussen Robecq en Brussel voegt zich hier een rau en daar een beek bij de Zenne. Na passages door Quenast, Tubize, Lembeek, Halle, Buizingen, Lot, Beersel en Ruisbroek bereikt het allang niet meer zo schone water met gemiddeld ruim vijf m³ per seconde de verfransde faciliteitengemeente Drogenbos. La Senne is hier steeds meer de gangbare naam, als je haar tenminste weet te vinden. En opeens is ze weg. Drie donkere gaten markeren het begin van een voorlopig ondergrondse rivier die zowel overwelfd als verlegd is. Van de

oorspronkelijke meanderende loop is ook ondergronds niets meer over. Het Groot Eiland, ooit ingeklemd tussen twee armen, staat nu voor het abstracte ‘meer inclusie op het werk’: we *grow brussels*. Van fluviatiel verleden naar een betere toekomst voor kansarmen in anderhalve eeuw. Ook het Paleozoïcum is uit zicht, begraven onder meer dan veertig meter Cenozoïsch sediment waarvan drie meter fluviatiel Holoceen aan het maaiveld. Het ontwerp voor de oorspronkelijke overwelling, tussen voormalige treinstations in Brussel-Zuid en Brussel-Noord, werd in 1865 voorgesteld door de in Amsterdam geboren Léon-Pierre Suys. De Zenne was al tientallen jaren extreem vervuild. Vooral arbeiders waren daarvan het slachtoffer. Zij woonden in dichtbevolkte wijken langs dit openluchtriool, en bezweken met duizenden aan verschillende cholera-epidemieën. Door toenemende bebouwing langs de oevers werd de stroming dusdanig belemmerd dat alle vuiligheid onder normale omstandigheden niet werd afgevoerd. Maar ook pickdebielten, tot meer dan honderd m³ per seconde, vormden een probleem. Overstromingen kwamen regelmatig voor: meters hoog vies water vormde een dubbel probleem. Efficiëntere afwatering was enerzijds noodzaak

en bood anderzijds de gelegenheid aan stadsbestuurders om de armste wijken te slopen. Meer dan duizend onteigeningen gingen aan de grootschalige herinrichting vooraf, en de meeste van de ruim honderd bierbrouwerijen langs de rivier verdwenen met hun bron. Tussen 1866 en 1871 werd de kleinste Zenne-arm gedempt en de grootste zowel rechtgetrokken als afgedekt, onder leiding van de in *stukje steen* genoemde Henri Maus. Boven een twee kilometer lange overwelling met bakstenen bogen vond men nieuw aangelegde brede lanen veel fraaier ogen dan de steegjes en verouderde huizen die daarvoor moesten wijken. Weg met dat middeleeuwse hart, was de gedachte, net als eerder in Parijs. Aan de naar de burgemeester vernoemde Jules Anspachlaan werd de imposante Beursgebouwd. Statige huizen opgetrokken uit blauwsteen maakten de cirkel rond. Bezwaren van de verjaagde bewoners deden er niet toe. Die betaalden nauwelijks belasting en hadden geen stemrecht. Ook lang niet alle ingenieurs waren echter op voorhand overtuigd van het plan Suys. Sommigen van hen maakten zich zorgen over de geologie, met stugge Eocene klei en waterverzadigd Kwartair zand als grootste

De bron van de Zenne ligt volgens Blad 46 1/2 van de Carte géologique de Wallonie in een heuvelachtig landschap, uitgesleten in Paleogeen sediment met daaronder zuidwaarts hellend Carboon.



Een kleine rivier die je snel uit het oog verliest.

potentiële boosdoeners. Hun twijfel bleek achteraf slechts deels gegrond. Er was wel een ander probleem: de overwelling bleek alleen een plaatselijke oplossing. Aan het noordeinde van de tunnel kwamen verontreinigd Zennewater en gevaarlijke gassen onverdund in een ander stadsdeel terecht. Tientallen kilometers van die schone bron in Henegouwen maar nog ver verwijderd van de riviermonding ten noordwesten van Mechelen, waar de Zenne nog altijd de meest vervuulende zijrivier van de Schelde is.

Tekst en foto’s:
Sytze van Heteren en Vera van Lancker



Landbouw en mijnbouw vormen een samenspel van lijnen.



Vanaf de Drie Fonteinestraat zijn paarse bloemen en zwarte gaten te zien.

De kloven en vulkanen van Armenië

Buitenlandse aardwetenschappelijke excursie Armenië van de Utrechtse Aardwetenschappen Vereniging

Op 15 augustus vertrokken 19 enthousiaste aardwetenschappers van de Utrechtse Aardwetenschappen Vereniging voor hun buitenlandse aardwetenschappelijke excursie naar Armenië. Daar maakten ze een 18-daagse die startte en eindigde in de hoofdstad Jerevan. De reis werd gesponsord door KNGMG en de Universiteit Utrecht. Met Geo.brief delen ze hun rondreis in foto's.

Meya Kersten

Ab Actis der Utrechtse Aardwetenschappen Vereniging



Negentien enthousiaste aardwetenschappers van de Utrechtse Aardwetenschappen Vereniging tonen trots hun vlag vlakbij de top van het Dimatsgebergte (2379 meter), in het noorden van Armenië.



Tijdens de wandeling naar de top van het Dimasgebergte liepen de aardwetenschappers langs kudde koeien, velden wilde bloemen en hadden ze een schitterend uitzicht op het Ijevangebergte met de Shaghotwaterval aan de ene kant, en het verre Dilidzjan aan de andere kant.



Bij Dsegh zagen de aardwetenschappers de prachtige plateau's en kloven van Dsegh, waar ze ook nog hebben geraft op de Debetrivier die door deze kloof heen stroomt.



De aardwetenschappers beklommen ook de Aragatsvulkaan. De Aragatsvulkaan is een slapende stratovulkaan in het westen van Armenië met een hoogte van 4090 meter. Daarmee is hij ook het hoogste punt van het land. Vanaf het Karimeer, dat zich op zo'n 3185 meter bevindt, zijn ze over de moraines en tussen de sneeuw door naar de zuidelijke top van de vulkaan geklommen. Vanaf de top was er uitzicht op de krater en was zelfs de Araratvulkaan in Turkije te zien.



Lawrence Percival ontvangt Starting Grant om oceanische plateaus te bestuderen

La Gomera, Canarische eilanden.

Foto: Jörg Bergmann via Flickr

“Een nog grotere vraag is of soortgelijke plateaus al eerder in de geschiedenis van de aarde bestonden. Er is bijna geen oceaankorst over van voor ongeveer tweehonderd miljoen jaar geleden, dus we weten heel weinig over eventuele plateaus die vóór die tijd bestonden, hun omvang of hun impact op de wereldwijde koolstofcyclus, het klimaat en het mariene milieu.”

SEA-VOLC onderzoek / Percival en zijn team zullen de chemische samenstelling van sedimenten van anoxische gebeurtenissen gebruiken om precies te bepalen hoe deze vulkanische plateaus het aardoppervlak hebben beïnvloed. Te beginnen met de bekendste voorbeelden van 120-90 miljoen jaar geleden. Tegelijkertijd onderzoekt het team oude sedimenten waarin grote verstoringen in de koolstofcyclus zichtbaar zijn, waar van sommige lijken op anoxische gebeurtenissen in de oceanen. Het team zoekt naar bewijs van onderzees vulkanisme dat kan wijzen op het bestaan van oudere, inmiddels verdwenen, oceanische plateaus.

Percival's interesse in de verbinding tussen oceanische plateaus en het milieu van de aarde gaat meer dan tien jaar terug, naar zijn tijd als promovendus aan de Universiteit van Oxford in het Verenigd Koninkrijk. Daar onderzocht hij mogelijke sporen van vulkanische activiteit in oude gegevens van anoxische gebeurtenissen en massa-uitstervingen. Na postdoctorale onderzoeksposities aan de Universiteit de Lausanne in Zwitserland en de Vrije Universiteit Brussel in België, kwam hij in oktober 2023 als assistent-professor naar de Vrije Universiteit Amsterdam. Hier zet hij zijn werk voort aan de verbanden tussen grote vulkanische gebeurtenissen, de koolstofcyclus van de aarde en de geschiedenis van veranderende klimaten en milieus, via projecten zoals SEA-VOLC.

Bron: VU

Aardwetenschapper Lawrence Percival (VU) ontvangt een Starting Grant van de European Research Council (ERC) voor zijn onderzoek naar oceanische plateaus en hoe deze de klimaat-, milieu- en koolstofcyclus van de aarde door de geschiedenis van onze planeet hebben beïnvloed. De ERC verstrekt Starting Grants om getalenteerde beginnende wetenschappers te ondersteunen bij het uitvoeren van baanbrekende projecten gedurende een periode van vijf jaar, van €1,5 miljoen.

Het onderzoeken van oude aardlagen naar lang verloren oceanische plateaus opent nieuwe deuren om vulkanische uitbarstingen en hun invloed op de aarde beter te begrijpen. Als wordt ontdekt dat deze plateaus bestonden in een tijd waarin we bijna niets weten over de oceanen, krijgen de onderzoekers nieuwe inzichten over de geschiedenis van onze planeet en hoe het binnenste van de aarde in verbinding staat met het leven aan de oppervlakte.

Massale vulkaanuitbarstingen / Door de geschiedenis van de aarde heen zijn veel uitstervingen en zuurstofarme (anoxische) gebeurtenissen in de oceanen (wanneer het zuurstofgehalte in zeewater wereldwijd sterk daalde) waarschijnlijk samengevallen met enorme vulkaanuitbarstingen die veel groter zijn dan wat mensen ooit hebben meegemaakt. Soms bedekten de lavastromen gebieden zo groot als Nederland. Sommige van deze uitbarstingen vormden tussen 120 en 90 miljoen jaar geleden grote rotsplateaus in de oceanen, wat leidde tot herhaalde dalingen in het zuurstofgehalte van het zeewater, klimaatopwarming en verzuring van het zeewater.

Minder bestudeerde oceanische plateaus / “Omdat deze plateaus in de oceanen werden gevormd, zijn slechts kleine delen ervan boven het zeeoppervlak bewaard gebleven, waardoor ze minder worden bestudeerd of begrepen dan soortgelijke enorme vulkanische gebeurtenissen die op land plaatsvonden”, legt Percival uit.

Geachte redactie Geo.brief,

In Geo.brief 5/2024 trok het artikel over de start van nieuw baanbrekend onderzoek naar het klimaat mijn aandacht. Het artikel refereert aan Embracer, een naam die op internet vooral is gekoppeld aan een ontwikkelaar van computerspellen. Naam of mailadres ontbraken bij de ondertekening. Want het verbaasde me hogelijk dat het allerbelangrijkste broeikasgas, namelijk waterdamp, niet werd genoemd en dat de focus vooral op CO₂ en methaan is gericht. Onder anderen heeft de Nobelprijswinnaar J.F Clauser overtuigend

aangetoond dat een hogere temperatuur tot meer wolkenvorming leidt en die wolken reflecteren zoveel zonnewarmte dat de aarde op die manier weer afkoelt. De waterdamp in de atmosfeer is als het ware de thermostaat. Ik mag hopen dat de wetenschappers van deze nieuwe onderzoeksgroep zich niet alleen beperken tot de sporen CO₂ en methaan in de atmosfeer.

Leo Minnigh

Oproep Escher- en
Jelgersmaprijs

Escherprijs (beste aardwetenschappelijke masterscriptie) en Jelgersmaprijs (beste aardwetenschappelijke bachelorthesis) inzen-dingen voor het academische jaar 2023-2024 kunnen tot en met 1 december 2024 ingediend worden bij kngmg@kngmg.nl.

Quaternary Rivers and Deltas

Honorary Staring lecture by Esther Stouthamer
(Utrecht University)

Followed by a symposium with:

Jan Peeters (University of Michigan)
Nile River dynamics and ancient Egyptian landscapes

Elizabeth Chamberlain (Wageningen University)
Ganges River avulsions by neotectonics

Marc Hijma (Deltares)
Drowned North Sea river and coastal landscapes

+ more tba

When: Thursday 17 October 2024
Where: TNO Utrecht
Check KNGMG website for more details and registration





. 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.**

New records of Diplomoceras (Ammonoidea, Diplomoceratidae) from Koryak Upland, North-West Pacific Province: taxonomic, biostratigraphical and palaeogeographical implications
by E.A. Jagt-Yazykova, A.A. Zolina and L.B. Golovneva
DOI: <https://doi.org/10.1017/njg.2024.14>

DOI: <https://doi.org/10.1017/njg.2024.13>
Although the heteromorph ammonite genus *Diplomoceras* ranks amongst the more important, globally distributed taxa during the latest Cretaceous, its precise stratigraphical range still is uncertain. In this paper, which is part of the Maastricht Special Issue, the authors review its geographical and stratigraphical distribution within the North-West Pacific Province.

Please note that the Netherlands Journal of Geosciences has a new publisher: Open Academia.
From now on, manuscripts can be submitted through <https://www.openacademia.net/index.php/njg>
You can also listen to podcasts with authors about their recently published papers. Check out thepapertrail.buzzsprout.com for the recordings.

. agenda

17-18 oktober 2024
Palynologendagen. Thema: Landschapsontwikkeling oostelijke Veluwe

17 oktober
13.00-13.30: Ontvangst met koffie
13.30-14.00: Harm Smeenge & Ariet Kieskamp (Bosgroepen): landscape ecological/historical ecological characteristics of bogs in the eastern slopes of the Veluwe
14.00-14.30: Roy van Beek (WUR): Archeological, archeobotanical and morphological aspects of the Celtic Field complex of Vaassen (Veluwe)
14.30-15.00: Koffiepauze
15.00-15.30 Jasper Candel (WUR): Geophysical research in the push moraine of the Veluwe and relation with peat development in valley mires
15.30-16.00: William Gosling (UvA): On the use of spores of coprophilous fungi in characterizing herbivory past and present in Dutch landscapes
16.00-17.30: Borrel
Locatie: hotel Wipselerberg

18 oktober
Fietsexcursie rondom Emst, Vaassen. Excursiepunten: Nijmolense Beek, Wisselse Veen en Gulbroek. Locatie: De Weerdt Rijkswielen. Kosten deelname: 17 + 18 okt: € 140,- p.p. (studentleden € 115,- p.p.) Deelname lezingenmiddag 17 okt, incl. borrel: € 45,- p.p. (studentleden € 35,- p.p.). Deelname lezingenmiddag 17 okt, incl. borrel en diner: € 70,- p.p. (studentleden € 50,- p.p.). Deelname fietsexcursie 18 okt, incl. lunch: € 20,- p.p. (studentleden € 10,- p.p.). Opgeven via: Nelleke van Asch (secretaris Palynologische Kring): Info@palynologischekring.nl

5 november 2024
Lezing: “Dinosauriërs: een 200-jarig jubileum met een stoffig einde” door Pim Kaskes. Geologische Vereniging Amstelland. Ontmoetingscentrum De Meent, Orion 3, Amstelveen. Aanvang: 20:00 uur. Kosten: 1,50 euro.

10 november 2024
Leidse Winterlezing: Metalen en mineralen voor de energietransitie door Frank Beunk (VU). Rijksmuseum van Oudheden, Leiden. Aanvang: 13:00 uur. Entreeticket museum verplicht.

20 november 2024
Lezing: Dryland vs humid tropical fluvial systems in the Gharif Formation, Sultanate of Oman. Abstract door David Alsop (Sydney University en Adelaide University, 37 jaar wereldwijde ervaring in de olie en gasindustrie). Locatie: Millers, Plein 10, Den Haag. Aanvang: 17:30 uur.

29 november 2024
Reünie Stichting Geologisch Instituut Amsterdam De Instituutslezing wordt uitgesproken door Wouter Kool: “Hardrock Geology; het vak van de toekomst? Hoe closed loop geothermie kan bijdragen aan de energietransitie”. Locatie: de Sportkantine ASV Swift, Plantage Parklaan 20A te Amsterdam. Aanvang: 18:00 uur.

3 december 2024
Zoutcavernes, lezing door Heijn van Gent (SODM)

8 december 2024
Leidse Winterlezing: Modderstromen op Mars door Lonneke Roelofs (UU). Rijksmuseum van Oudheden, Leiden. Aanvang: 13:00 uur. Entreeticket museum verplicht.

1 januari 2025
Leidse Winterlezingen: Het grootste Triceratops massagraf ter wereld door Jimmy de Rooij (Naturalis). Aanvang: 13:00 uur. Entreeticket museum verplicht.

9 februari 2025
Leidse Winterlezingen: Snowball Earth (en primitief leven) door Bas van der Schootbrugge (UU). Aanvang: 13:00 uur. Entreeticket museum verplicht.

16 januari 2025
Maandelijkse lezing PGK, verzorgd door Myrna Staring & Sanket Bhattacharya (Fugro). Lokatie: Millers, Plein 10, Den Haag. Aanvang: 17:30 uur.