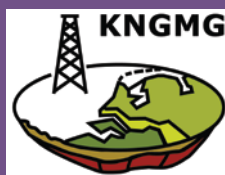




FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GEOLOGUES
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



The
Geological
Society

-serving science & profession



Geologie voor de samenleving

Juni 2015

Geologie is belangrijk!

Geologie is de studie van de structuur en de geschiedenis van de Aarde. Via onderzoek, educatie en toepassing is geologie essentieel voor de voorziening van grondstoffen voor Europa's industrieën en burgers, vertaalt het vak zich in een breed scala aan essentiële diensten, en helpt het ons om steeds beter te begrijpen hoe we duurzamer op onze planeet kunnen leven.



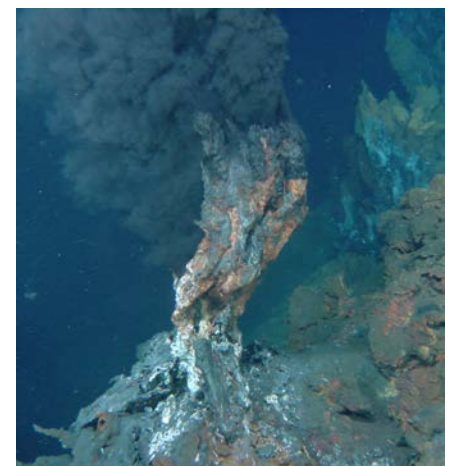
De aarde gefotografeerd door Apollo 17. ©NASA

Geologie (soms breder aangeduid als aardwetenschappen of geowetenschappen), is de studie van de structuur van onze planeet en van de processen die haar gedurende haar lange geschiedenis hebben gevormd en dit nog altijd doen. Geologische kennis ligt ten grondslag aan de voorziening van de meeste **grondstoffen** waarvan de bevolking en industrieën van Europa afhankelijk zijn, waaronder **energie, minerale grondstoffen, water** en **voedsel**. Een breed scala aan essentiële diensten is afhankelijk van een goed begrip van de geologie, zoals het beheer van ons **afval**, grondwerk voorafgaand aan de bouw van **huizen, bedrijfspanden, wegen, dijken, tunnels** en andere grote infrastructurele werken, en de oplossing van een breed scala van milieuproblemen, waaronder industriële **bodemverontreiniging**. Begrip van de relaties tussen processen in de ondergrond en aan het aardoppervlak is onontbeerlijk voor de voorbereiding op **natuurrampen** en de beperking van de effecten ervan, het veiligstellen van schoon **drinkwater** en de levering van verschillende **ecosysteemdiensten**. De leveringszekerheid van energie voor Europa is sterk afhankelijk van geologische expertise, toegepast binnen het volledige spectrum van fossiele tot hernieuwbare bronnen, inclusief de ondergrondse opslag van CO₂ en radioactief afval. Begrip van de interactie tussen een **veranderend leefmilieu** en de evolutie van het leven gedurende honderden miljoenen jaren biedt geologen een waardevol perspectief

op de veranderingen die de mens nu aan het veroorzaken is door het verbranden van fossiele brandstoffen, en op ons effect op het milieu in het algemeen. Geologen leveren ook een belangrijke bijdrage aan de **reductie van koolstofemissies**, door de CO₂ die bij gebruik van fossiele brandstoffen vrijkomt terug te brengen naar waar die vandaan kwam: de ondergrond. Juist nu we onze invloed op onze planeet steeds vollediger beginnen te begrijpen, worden grondstoffen schaarser en wordt de mens talrijker. En nu we op zoek zijn naar manieren om meer duurzaam en verantwoord te leven, ontwikkelen aardwetenschappers een meer holistische kijk op het gebruik van grondstoffen, op het beheer van het afval en de reststoffen die we produceren, en op onze complexe interacties met de ondergrond, het land, de zee, de lucht en het leven, die samen het systeem Aarde vormen.

Voor de voorziening van grondstoffen en een begrip van onze fysieke leefomgeving zijn we afhankelijk van goed opgeleide, vakbekwame geologen binnen het hele spectrum van de academische wereld tot de industrie. In Europa kennen we uitstekend geologisch onderzoek en onderwijs, wat essentieel is voor het begrip van aardse processen en het oplossen van milieuproblemen. Doorlopende investeringen in de aardwetenschappen, in onderzoek en toepasbare kennis, stimuleert economische groei en zal Europa een leidende positie geven in de aanpak van mondiale uitdagingen.

Een actieve vulkanische schoorsteen ('black smoker'), waaruit vloeistoffen en mineralen vrijkomen bij een temperatuur van ~360°, gelegen in de Rainbow hydrothermale zone ten zuiden van de Azoren, waterdiepte 2200 m, verkend tijdens de Seahma expeditie. ©FCT Portugal 2002, Creminer-LARSyS Beeldbank.



Geologie en de economie

Geologie speelt een onmisbare rol in de economie. De leveringszekerheid van energie, grondstoffen en schoon water, en een veilige en duurzame voedselproductie zijn vereist voor economische groei en stabiliteit en voor maatschappelijk welzijn. Deze vergen op hun beurt blijvende investeringen in technologie, infrastructuur, onderwijs en de ontwikkeling van expertise.

De exploratie en productie van geologische hulpbronnen is van groot belang voor het Europese BBP, belastinginkomsten en economische groei. Onze welvaart steunt op het gebruik van grondstoffen door de industrie en consumenten en van brandstoffen voor de energieproductie. Dit betekent op zichzelf al een belangrijke bijdrage aan de economie. De winning van olie, gas, kolen, minerale grondstoffen en bouwgrondstoffen maakt een significant deel uit van het BBP van de Europese landen; de bijdrage van industrieën die afhankelijk zijn van deze hulpbronnen is nog veel groter. Een voorbeeld hiervan is de economische betekenis van olie en gas uit de Noordzee en omliggende gebieden: aardgasbaten zijn van grote betekenis geweest voor de groeiende welvaart van Nederland en bedroegen in 2013 nog altijd 13 miljard EURO, 5% van de Rijksbegroting. De marktkapitalisatie van de mijnbouwbedrijven op Europese beurzen bedroeg in 2012 meer dan 23 biljoen EURO.



De Frankfurtse aandelenbeurs.

Een grondige evaluatie van de vraag, het aanbod en de kosten (zowel financieel als milieugerelateerd) van deze grondstoffen is essentieel voor goede economische plannen en besluiten. Europese en mondiale grondstoffenstatistieken, zoals die worden geproduceerd door verschillende nationale geologische diensten, spelen hierin een belangrijke rol. De EU heeft een lijst opgesteld van kritieke grondstoffen, waarvan de levering kan fungeren als een 'flessenhals' voor economische groei. Er is bijvoorbeeld een toenemende vraag naar zeldzame aarden voor hightech toepassingen zoals plasmaschermen en medische optica, en voor koolstofarme technologieën zoals windmolens en hybride voertuigen.

In de toekomst worden grondstoffen steeds schaarser en de effecten van de winning en het gebruik ervan steeds duidelijker voelbaar. Een groeiende wereldbevolking verwacht terecht meer welvaart en een meer rechtvaardige toegang tot hulpbronnen, waardoor de druk op de energie-water-voedselnexus toeneemt. De uitdagingen van een veilige en duurzame voorziening van water en energie worden nog eens vergroot door klimaatverandering. Een toenemende druk op deze voorzieningen zal belangrijke consequenties hebben, zowel voor landen als voor energie- en waterintensieve sectoren als de mijnbouw en de bouw.



Een monster geband ijzer uit Krivoy Rog, Oekraïne.

Al deze uitdagingen plaatsen vraagtekens bij de economische status quo. Maar ze bieden ook kansen voor innovatie die economische stabiliteit en groei zal stimuleren. Met blijvende investeringen in infrastructuur, onderzoek en vakbekwaamheid, en door het scheppen van de juiste voorwaarden voor innovatie, kan Europa wereldwijd een leidende positie innemen in milieutechnologie, hightech en de toepassingen daarvan. Een koolstofarm energiesysteem vraagt om een mondiale aanpak in het beheer van radioactief afval en de afvang en opslag van koolstof (CCS). Dit biedt in heel Europa kansen voor de ontwikkeling van technologieën die de potentie hebben om op grote schaal te worden geëxporteerd. Hoogstaand onderzoek en hoger onderwijs plaatst Europa in een ideale positie om een leidende rol in de mondiale kenniseconomie te spelen.

De noodzaak om naar een koolstofarme economie over te gaan is prangend. Maar tijdens deze transitie zullen we nog vele jaren afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen. Geowetenschappelijke expertise is essentieel voor elke stap van de energiecycclus, van de exploratie van energiebronnen tot hun veilige, betrouwbare productie en de daaropvolgende berging of recycling van afval en reststoffen.

Om in de toekomstige energiebehoefte te voorzien, staat Europa een drievoudige uitdaging te wachten, namelijk om CO₂-emissies drastisch te reduceren, leveringszekerheid te blijven garanderen en energie betaalbaar te houden voor industrie en consumenten.

Fossiele brandstoffen

Fossiele brandstoffen zullen op zijn minst de komende decennia belangrijk blijven in de Europese energievoorziening. Sommige landen hebben de laatste decennia enorm veel voordeel gehad van de olie- en gasvoorraden op de Noordzee. Er bestaan nog altijd aanzienlijke voorraden op zee; de succesvolle productie hiervan is afhankelijk van voortschrijdend geologisch inzicht en van de ontwikkeling van winningstechnologieën. We beginnen ook steeds beter te begrijpen hoe groot de voorraden zijn van onconventionele fossiele brandstoffen zoals schaliegas, schalieolie en methaan uit koollagen. Deze hebben de potentie om een belangrijke bijdrage te leveren aan onze energievoorziening – mits we ervoor kiezen om ze te produceren. Landen die hun binnenlandse energiebronnen niet ontwikkelen, worden echter meer afhankelijk van import wat weer nadelig kan zijn voor hun energiezekerheid. Een groot deel van de elektriciteit in Europa wordt overigens nog steeds opgewekt met behulp van steenkool.



Laag- en middelradioactief afval in de Olkiluoto bergingsfaciliteit, Finland. ©SKB, Zweden.

Schaliegas

Koolwaterstoffen (olie en gas) worden gevormd uit organisch materiaal dat miljoenen jaren geleden in sedimentlagen is afgezet en vervolgens door steeds diepere begraving is blootgesteld aan een toenemende warmte en druk. Na vorming in de diepe ondergrond bewegen gas en olie zich richting het aardoppervlak. Olie- en gasreservoirs zijn poreuze gesteenten gesitueerd onder een ondoordringbare afdekkende laag, waarin olie en/of gas blijven steken in hun opwaartse pad. Dergelijke accumulaties van koolwaterstoffen kunnen worden geproduceerd met conventionele boortechnieken. Schaliegas, daarentegen, is gas dat is blijven zitten in het schaliegesteente waarin het oorspronkelijk werd gevormd. Uit zo'n dicht, niet-poreus gesteente kan gas niet met conventionele technieken worden geproduceerd; schaliegas wordt daarom een onconventionele bron genoemd.

Schaliegas is inmiddels economisch winbaar, met behulp van horizontaal boren en hydraulisch breken van het gesteente ('fracking'). Hierbij worden water, zand en kleine hoeveelheden chemicaliën in het gesteente geperst voor het creëren en open houden van barsten waardoor gas zich kan verplaatsen en het gewonnen kan worden. Geologische kennis is essentieel om schaliegasbronnen te lokaliseren en om de mogelijke risico's van winning te beheersen, zoals geïnduceerde seismischeiteit en grondwaterverontreiniging door slechte putconstructies.

Afvang en opslag van koolstof (CCS)

De belangrijke rol van fossiele brandstoffen in onze energiemix zal op middellange termijn blijven bestaan. Daarom is dringend actie nodig om de klimaatverandering te voorkomen die wordt veroorzaakt door de CO₂ die bij de verbranding van deze brandstoffen vrijkomt. Mits op voldoende grote schaal doorgevoerd, wordt hiervoor een oplossing geboden door de CO₂ op te vangen en het veilig ondergronds op te slaan. Aan dit proces wordt vaak gerefereerd met het Engelse acroniem CCS (carbon capture and storage).

Geologen zijn op dit moment al bezig met het vinden en ontwikkelen van geschikte opslaglocaties voor CO₂. Bijna uitgedruceerde olie- en gasreservoirs op de Noordzee lijken hiervoor het meest geschikt. Deze opslagcapaciteit is potentieel zeer waardevol voor de landen rond de Noordzee, vooral als de bestaande olie- en gasinfrastructuur daar kan worden hergebruikt. Verder zullen geologen een essentiële bijdrage leveren aan de lange-termijnimplementatie van CCS en aan de monitoring van CO₂-lekkage en geomechanische deformatie. Veelbelovend onderzoek naar nieuwe geologische opslagmogelijkheden voor koolstof wordt op dit moment uitgevoerd.

Andere energiebronnen

In de transitie naar een koolstofarme economie zal hernieuwbare energie een steeds belangrijkere rol in de energiemix gaan spelen. Een grondige kennis van de omgeving, inclusief de ondergrond, is belangrijk voor de locatiekeuze en constructie van de diverse installaties die er zijn voor hernieuwbare energieopwekking, zoals windmolens, stuwdammen, geothermische centrales en getijdencentrales.

Veel van de grondstoffen die nodig zijn om hernieuwbare energie op te wekken (m.n. in windturbines, hybride motoren en zonnepanelen), vallen in de categorie kritieke grondstoffen, zoals zeldzame aarden. Voor het vinden van deze grondstoffen en om ze veilig te winnen zijn we afhankelijk van geologisch onderzoek en geologische professionals.

Kernenergie zal waarschijnlijk steeds belangrijker worden in de energiemix. Hiervoor is een betrouwbare aanvoer nodig van uranium gewonnen uit economisch winbaar uraniumerts: iets dat ook weer afhankelijk is van geologische expertise. Het veilige beheer van radioactief afval van onze bestaande kerncentrales moet op lange termijn gezekerd worden, ook wanneer er geen centrales worden bijgebouwd. In de meeste Europese landen met kerncentrales is het beleid van de overheid om dit afval geologisch op te slaan.

Geothermische energie

In sommige Europese landen met een hoog geothermisch potentieel kan aardwarmte gebruikt worden voor elektriciteitsopwekking of directe warmteproductie. In gebieden met een lager potentieel kan met warmtepompen gebruik worden gemaakt van de warmtecapaciteit van de ondergrond, door er thermische energie in op te slaan en aan te onttrekken voor respectievelijk de verwarming en koeling van gebouwen: warmte-koudeopslag (WKO). Moderne gebouwen met een WKO-installatie leveren een bijdrage aan een vermindering van de CO₂-uitstoot. Expertise van geologen is vereist om rendabele geothermische bronnen te vinden en hun capaciteit te testen. Daarnaast is hun begrip van de ondergrond nodig voor het ontwerpen en ontwikkelen van de benodigde (ondergrondse) installaties.

Geologische opslag van radioactief afval

Geologische afvalberging is isolatie in een ondergrondse opslagplaats in een geschikt gesteente, in de regel op een diepte van 200 tot 1000 meter, zodat geen schadelijke hoeveelheden straling het oppervlak kunnen bereiken. Er wordt een multi-barrièreprincipe toegepast, waarbij verpakt afval in speciaal geconstrueerde en weer opgevulde tunnels wordt geplaatst, om radionucliden voor tienduizenden jaren opgesloten te houden. De ondergrond zelf vormt hierbij dus de laatste barrière. Diverse gesteenten kunnen geschikt zijn voor geologische opslag, zoals graniet, klei en zout. Naast van geologische factoren zal het vinden van geschikte locaties afhangen van draagvlak bij burgers en (lokale) overheden. Geologen spelen een belangrijke rol bij het karakteriseren van potentiële opslaglocaties en het ontwerpen van de faciliteit.



Windmolenpark op de Thorntonbank, België. ©Deme-group.

Een veilige aanvoer van schoon zoet water is essentieel voor de volksgezondheid en ons welzijn. Geologen helpen om te voorzien in deze behoefte, in Europa en wereldwijd, door watervoerende lagen in de ondergrond en hun eigenschappen in kaart te brengen, door hun begrip van grondwaterstroming, en door het identificeren en mitigeren van grondwaterverontreinigingen.

Waterveiligheid

Zoet oppervlaktewater vormt één systeem met het grondwater, de oceanen, water in de atmosfeer en water opgeslagen als ijs.

Ongeveer 75% van de inwoners van de EU is afhankelijk van grondwater voor de watervoorziening. Het is een belangrijke maar kwetsbare bron die zorgvuldig beheerd moet worden. Daarnaast wordt gezuiverd oppervlaktewater gebruikt uit meren en rivieren, in het laatste geval zo nodig gebufferd in stuwmeren.

Grondwaterstanden variëren, afhankelijk van de hoeveelheid lokale regenval, de infiltratiesnelheid (de snelheid waarmee de ondergrond water absorbeert) en de onttrekkingssnelheid. Op sommige locaties moet grondwater als een niet-hernieuwbare bron beschouwd worden door een trage grondwateraanvulling, die kan oplopen tot vele duizenden jaren.

Wat is grondwater?

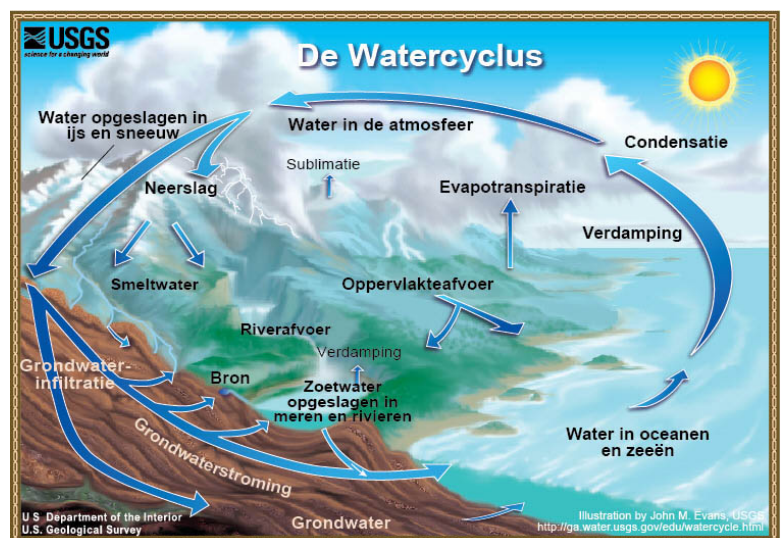
Grondwater is water dat inzigt tot onder de grondwaterspiegel, waar het wordt vastgehouden in poreuze sedimenten en gesteenten, in de zogeheten verzadigde zone. Het stroomt door de grond, vaak heel langzaam, tot het een uittreepunt bereikt zoals een artesische bron, een rivier of de zee.

Geologische formaties die winbaar grondwater bevatten worden aquifers of watervoerende lagen genoemd. Zij vormen een belangrijke bron van drinkwater. Water in aquifers kan overigens zout zijn. Overmatige grondwateronttrekking kan met name in kustgebieden leiden tot het indringen van zout water in zoete aquifers. De porositeit en permeabiliteit van gesteenten zijn van invloed op de opslagcapaciteit en stromingssnelheid van grondwater: deze factoren bepalen de kwaliteit van watervoerende lagen.

Waterkwaliteit en de watercyclus

Water kan om natuurlijke processen verontreinigd zijn, maar menselijke activiteiten vormen hiervoor een groter risico. Veel verontreinigingen zijn afkomstig van diffuse bronnen, zoals pesticiden en meststoffen in landbouwgronden, die door regenwater naar het oppervlaktewater- of het grondwatersysteem worden gebracht. Daarnaast onderscheiden we puntbronnen van verontreiniging, zoals een lekkage van chemicaliën uit industriële installaties, of van vervuild water uit rioleringen of stortplaatsen.

Een grondwaterverontreiniging kan langzaam opbouwen en zeer persistent zijn, afhankelijk van de snelheden van infiltratie, aanvulling en stroming van grondwater. De sanering van dergelijke verontreinigingen kan hoge kosten met zich meebrengen, zowel financieel als qua energieverbruik. Om toekomstige saneringskosten te minimaliseren en te blijven zorgen voor schoon water, is het essentieel om zowel de grondwaterdynamiek als de geochemische cycli van verontreinigende stoffen te begrijpen.



De watercyclus. ©USGS

De water-energie nexus

De energiesector vraagt grote hoeveelheden water voor veel van haar kernprocessen. Grondstofwinning, brandstoftransport, energieomzetting en -opwekking zijn goed voor ongeveer 35% van het mondiale watergebruik. In 2050 zal het waterverbruik voor de elektriciteitsproductie naar verwachting meer dan verdubbeld zijn. De huidige trend in de diversificatie van energiebronnen, met name het gebruik van alternatieve brandstoffen, leidt tot een grotere inzet van water-intensieve processen. Extractie van olie uit teerzanden vereist bijvoorbeeld tot 20 keer meer water dan conventionele olieproductie. Biobrandstoffen vergen duizenden malen meer water dan conventionele fossiele brandstoffen, als gevolg van intensieve irrigatie bij het verbouwen ervan.

Tegelijkertijd is energie nodig bij het produceren en leveren van schoon water. Dit geldt voor elke schakel in de leveringsketen, van het pompen van grondwater, de oppervlaktewaterbehandeling, het transport tot het verwarmen van water thuis. Het energieverbruik voor waterbehandeling zal toenemen door nieuwe verwerkings- en zuiveringstechnieken, vooral als energie-intensieve ontzilting toeneemt bij een afnemende beschikbaarheid van zoet water. Waterbedrijven in het Verenigd Koninkrijk rapporteren bijvoorbeeld een toename van meer dan 60% in het elektriciteitsverbruik sinds 1990 als gevolg van de inzet van geavanceerde waterzuiveringstechnieken en een steeds hogere capaciteit van het waterleidingnet. Op basis van conservatieve schattingen loopt dit verbruik de komende 15 jaar met nog eens 60-100% op om aan waterkwaliteitsrichtlijnen te blijven voldoen.

De invloed van milieuveranderingen

De effecten van klimaatverandering op grond- en oppervlaktewatersystemen variëren van land tot land. De interactie hiervan met andere vormen van stress op de watercyclus is niet gemakkelijk te voorspellen. Door droogte hebben verschillende Europese landen de afgelopen jaren te kampen gehad met dalende grondwaterstanden; hierdoor zal een steeds grotere druk ontstaan op de leveringszekerheid van water. Wereldwijd is deze dreiging al ernstig. Steeds grilliger weerspatronen vormen een gevaar voor de grondwateraanvulling en watervoorziening. Lage grondwaterstanden in combinatie met een trage grondwateraanvulling kunnen zeer ernstige gevolgen hebben voor de toekomstige waterveiligheid, ook in landen met een gematigd klimaat. Klimaatverandering zal naar verwachting een sneeuwbaaleffect hebben, waarbij extreme weersomstandigheden uiteindelijk nationale economieën en infrastructures in gevaar kunnen brengen.

Geologische expertise

Een begrip van de plaatselijke hydrogeologie en milieuomstandigheden is essentieel voor de watervoorziening en het waterkwaliteitsbeheer. Hydrogeologen en andere geowetenschappers onderzoeken de ondergrond en brengen die in kaart, om de beweging van het water te modelleren en begrijpen, en om watervoerende lagen te identificeren en karakteriseren. Seizoensgebonden en langdurige monitoring van het grondwater kan helpen periodes van grondwateruitputting door droogte te voorspellen en deze te beheersen. Dit inzicht kan vervolgens worden gebruikt om strategisch te plannen voor droogte, overstromingen en de watervoorziening.



Afvalwaterzuivering en de Könlbrein stuwdam en pompcentrale, Karinthië, Oostenrijk.

Minerale grondstoffen

Moderne industrieën, technologieën en consumentenproducten vereisen een breed scala aan minerale grondstoffen, waarvan de beschikbaarheid varieert tussen overvloedig en schaars. De grondstoffenwinning en -handel levert een belangrijke bijdrage aan de Europese en mondiale economie. Naarmate de bevolking en de vraag naar grondstoffen groeien, zijn meer innovatieve technologieën nodig om grondstoffen te vinden, winnen en ze efficiënter te gebruiken.

Bronnen

De delfstoffensector levert een breed scala aan producten: bouwgrondstoffen (zoals zand, grind en breuksteen), fosfaten en kalium voor meststoffen, mineralen met specifieke industriële toepassingen (zoals kwarts gebruikt voor de glasproductie en bariet gebruikt in boorvloeistoffen voor olie- en gaswinning), en ertsen waaruit allerlei metalen worden gewonnen.

Sommige minerale grondstoffen zijn relatief overvloedig aanwezig en worden in grote hoeveelheden gewonnen en verbruikt, zoals zand en grind, en metalen als koper, nikkel, aluminium en ijzer. Andere mineralen worden in geringe hoeveelheden gebruikt en kennen geen voorzieningsproblemen, zelf als ze geologisch schaars zijn. Voor sommige economisch of strategisch belangrijke mineralen, de kritische grondstoffen, bestaat echter het risico dat het aanbod onvoldoende is om aan de korte tot middellange termijnbehoefte te voldoen – meestal eerder als gevolg van economische en politieke factoren dan door een ontoereikende geologische beschikbaarheid. Er bestaan verschillende lijsten kritische grondstoffen; de EU onderscheidt er veertien. Hieronder vallen twee groepen van metaalelementen, de zeldzame aarden en de platinagroep. Verder is er bezorgdheid over de levering van fosfaten en kalium die in grote hoeveelheden worden gebruikt in meststoffen.



Zeldzame aarden

De zeldzame aarden (ook wel zeldzame aardmetalen; internationaal aangeduid met het acroniem REE: rare earth elements) zijn een groep van zeventien metaalelementen: de vijftien lanthaniden, met atoomnummers 57 tot en met 71, tezamen met Scandium en Yttrium. De wereldwijde vraag is de afgelopen tien jaar met meer dan 50% toegenomen, door hightechtoepassingen als plasmaschermen, elektronica en medische optica, en door koolstofarme technologieën als windturbines en hybride voertuigen. Deze trend zal zich naar verwachting voortzetten. In een rapport van de Europese Commissie van juni 2010 zijn de zeldzame aarden als groep op de lijst van 14 kritische grondstoffen geplaatst. China domineert momenteel de wereldwijde productie van zeldzame aarden; de meeste grote voorraden bevinden zich buiten Europa, naast in China in het Gemenebest van Onafhankelijke Staten (m.n. in Rusland, Kirgizië en Kazachstan), de Verenigde Staten en Australië.

Voor de voorziening van zeldzame aarden is de geologische beschikbaarheid waarschijnlijk niet een limiterende factor. De prijsstijgingen en wereldwijde bezorgdheid over leveringszekerheid hebben dan ook geleid tot mijnbouwinitiatieven buiten China. Maar de technische, financiële, ecologische en wettelijke uitdagingen die hierbij moeten worden overwonnen maken dit een lang en duur proces. Dit kan ertoe leiden dat de komende jaren toch schaarste op de markt ontstaat, wat een vertraging kan betekenen voor ontwikkeling en toepassing van koolstofarme technologieën die afhankelijk zijn van zeldzame aarden.

De Aitikmijn, gelegen in de buurt van de Noord-Zweedse stad Gällivare, is de grootste mijn van Zweden en de meest efficiënte dagbouwkuipermijn ter wereld. ©Boliden

Minerale grondstoffen

De Europese delfstoffensector

In de negentiende eeuw werd de groei van de grote Europese nationale economieën gedreven door de winning en het gebruik van steenkool, ertsen en andere grondstoffen. Van de meeste grondstoffen is Europa niet meer de dominante producent, maar verschillende Europese landen zijn door hun rijke en gevarieerde geologie nog wel belangrijke leveranciers van bepaalde grondstoffen. Voorbeelden hiervan zijn Pools zilver, Noors titanium, bouwmaterialen en sommige veelgebruikte industriële grondstoffen zoals zout.

Door stijgende grondstofprijzen en nieuwe winnings- en verwerkingstechnologieën kunnen kleine hoogwaardige delfstofvoorkomens, die voorheen niet rendabel te produceren waren, alsnog economische reserves worden. Om deze reden is



Perlietmijn, Pálháza, Noord-Hongarije. ©Perlit-92 Kft

een aantal mijnbouwinitiatieven gestart, waaronder bijvoorbeeld de hervatting van wolframwinning in de gesloten Hemerdonmijn in het Verenigd Koninkrijk. Slechts een zeer klein deel van kritische grondstoffen die in Europa worden gebruikt worden ook geproduceerd binnen de EU. Bepaalde minerale grondstoffen wordt vaak geproduceerd door slechts een of twee landen, bijvoorbeeld de Democratische Republiek Congo in het geval van kobalt. Dit betekent een risico voor de leveringszekerheid voor Europa.

Innovatief onderzoek naar de hele gebruikscyclus van grondstoffen kan leiden tot economisch rendabele winning van metalen uit industrieel afval- en reststromen, en tot het hergebruik van de historisch mijnbouwafval, om de mineralen die niet in eerste instantie niet konden worden geëxtraheerd alsnog te winnen. Verder kan de kringloop gesloten worden door in productontwerp rekening te houden met recyclebaarheid en reductie van afval. Onderzoek op dit gebied wordt aangejaagd door streven naar een hogere energie-efficiëntie en de vermindering van de milieueffecten van grondstofgebruik.

Landen rond de Noordzee voldoen in een groot deel van hun vraag naar zand en grind door het baggeren van deze materialen uit de zeebodem. In de diepzee bestaan hydrothermale bronnen, die door sommigen worden beschouwd als een belangrijke toekomstige bron van metalen, waaronder verschillende die als kritische grondstof aangemerkt zijn.

Voedsel voor een groeiende populatie

De geologie van een gebied is allesbepalend voor de landbouwmogelijkheden. Gewassen zijn afhankelijk van een goede kwaliteit van de bodem, die bestaat uit verweringsmateriaal vermengd met organische stof, water en gassen. Voor hun bemesting zijn daarnaast minerale grondstoffen nodig. De wereldwijde bevolkingsgroei plaats de voedselvoorziening onder een steeds grotere druk. Dit geldt zelfs nog sterker voor de voorziening van fosfaten en kalium voor de meststoffenproductie, in een tijd van toenemende spanning tussen voedsel, energie en water, veiligheid en milieuveranderingen.

De wereldwijde toename in het grootverbruik van kunstmest heeft geleid tot een grote vraag, en daarmee tot bezorgdheid over de toekomstige leveringszekerheid van fosfaten en kalium. Het grootste deel van fosfaten in de wereld wordt geleverd door enkele landen, met China als grootste producent. Nog minder landen leveren potas (een kaliumgrondstof). Het aanhoudende gebruik van fosfor kan, overigens in tegenstelling tot dat van potas, schadelijke effecten hebben voor het milieu, als ze vrijkomen in het watersysteem en daar leiden tot eutrofiëring.



Landbouw in de Riojastreek, Spanje.

Het engineeren van de toekomst

Inzicht in grondstabiliteit en hoe bouwconstructies, infrastructuur en mensen interacteren met hun geologische omgeving is essentieel om de openbare veiligheid en het welzijn te waarborgen, kosten te beheersen en oplossingen te vinden voor de problemen van een veranderend leefmilieu.

De gebouwde omgeving

Ingenieursgeologie draait om de toepassing, meestal in de bouw, van geologische principes en specialismen in combinatie met die van relevante andere technische disciplines. In de bouwsector werkt een groot aantal ingenieursgeologen, die samen met o.m. hydrogeologen en milieugeologen grondgedrag en de bredere geologische context proberen te begrijpen, om zo inzicht te verkrijgen in de wisselwerking daarvan met de gebouwde omgeving: met gebouwen, wegen, spoorwegen, dammen, tunnels, pijpleidingen, kabels, enz. Belangrijk in dit werk zijn de voorspelling van de effecten van milieuverandering, de sanering van bodem en grondwater – met name daar waar sprake is van industriële vervuiling – en natuurlijk de beoordeling en beheersing van uiteenlopende geologische risico's, variërend van aardbevingen en aardverschuivingen tot instabiliteit van slappe grond.

De onderschatting van geotechnische risico's in grote projecten is vaak de oorzaak van aanzienlijke meerkosten en vertragingen. Het identificeren en effectief beheren van ondergrondgerelateerde problemen is ook essentieel voor de volksgezondheid en de veiligheid en kwaliteit van onze gebouwde omgeving. Gezien het belang daarvan van werken geologen, ingenieurs en andere betrokkenen conform strenge professionele normen. Geotechnische risico's kunnen gevolgen hebben voor alle betrokken partijen, met inbegrip van de klant (vaak de overheid, in het bijzonder voor nationale infrastructuurprojecten), de ontwerper, de uitvoerder en het bredere publiek. Geologen zullen ook in de bouw een essentiële rol spelen in transitie naar een koolstofarme economie, bijvoorbeeld bij de plaatsing van getijdencentrales en windturbines, en bij het uitvoeren van seismische risicoanalyses in de planning van bouw van nieuwe kerncentrales.

Project OneGeology Europe

De nationale geologische diensten van Europa hebben altijd een belangrijke rol gespeeld in de exploratie van natuurlijke hulpbronnen. Voor het verfijnen en verbeteren van deze zoektocht, om de impact van natuurrampen te begrijpen en te mitigeren, en in verband met conflicterende aanspraken op de ondergrondse ruimte, is innovatie nodig in het karteren en modelleren van de ondergrond. Omdat de geologie niet wordt gehinderd door nationale grenzen, is het essentieel dat de resulterende gegevens kunnen worden gedeeld tussen verschillende landen.

Het OneGeology Europe webportaal ontsluit het werk van twintig nationale Europese geologische diensten, verenigd in hun koepelorganisatie EuroGeoSurveys, aangevuld met dat van een aantal gelieerde organisaties. Het maakt kaartgegevens van deze organisaties interoperabel en makkelijk vindbaar, door middel van één meertalig online platform dat toegankelijk is met één licentie. Een 1: 1.000.000 set geologische kaarten van de deelnemende landen is reeds voltooid. Er wordt gewerkt aan de uitbreiding van die set en waar mogelijk de verhoging van de resolutie 1: 250.000.

OneGeology Europe levert een belangrijke bijdrage aan zowel het overkoepelende wereldwijde OneGeology-initiatief als aan INSPIRE, de gemeenschappelijke Europese infrastructuur voor ruimtelijke gegevens. De resultaten zullen van grote praktische waarde zijn voor wetenschappers in de academische wereld en de industrie, en voor planners en beleidsmakers die zich bij de overheid bezig houden met de grondstoffenvoorziening, waterbeheer, stedenbouw en de ontwikkeling van grote infrastructuurprojecten.



Het engineeren van de toekomst

Stedelijke geologie voor de steden van morgen

Een steeds groter deel van de wereldbevolking leeft in steeds grotere en complexere steden. Het werk van geologen met betrekking tot het beheer van meervoudig, soms concurrerend ruimtegebruik in de stedelijke omgeving, aan het oppervlak én in de ondergrond, zal steeds belangrijker worden in ons streven naar stedelijke verduurzaming.



Bouwput voor de spoorkruising Tottenham Court Road.

Ruimte is schaars; de ondergrond wordt intensief gebruikt voor het vervoer, de bouw en de levering van goederen en diensten. De levering van water en energie en de berging van afvalstoffen betekenen grote uitdagingen voor grote steden, maar bieden ook kansen voor innovatie. De gebouwde omgeving moet worden ontworpen voor maximale energie-efficiëntie, het beheersen (en benutten) van het stedelijke hitte-eilandeffect. Grootchalige ondergrondse transportinfrastructuurprojecten, zoals de Noord-Zuidlijn in Amsterdam of de Oosterweelverbinding in Antwerpen, zijn technisch veeleisend en zijn afhankelijk van de kundigheid van een breed scala aan ingenieurs en wetenschappers, waaronder ingenieursgeologen en hydrogeologen. Door het toenemende begrip van de complexiteit van de ondergrond en de ontwikkeling van nieuwe technologieën, kan het in sommige gevallen zelfs mogelijk worden om minerale grondstoffen, grondwater en energie in de stedelijke omgeving te winnen.

In Europa wordt bij het maken van milieubeleid steeds vaker een aanpak aan de hand van ecosysteemdiensten gevolgd. Het is belangrijk om ecosystemen, het milieu en de interacties tussen de verschillende onderdelen van de natuurlijke en menselijke systemen niet alleen op de groene ruimte te betrekken. De ondergrond en abiotische aspecten van ecosystemen zijn hierbij van net zo'n fundamenteel belang, zowel in landelijke als in stedelijke omgevingen.

Gebruik van de ondergrond

Geologen zijn betrokken bij allerlei benuttingswijzen van de ondergrond, waarvan vele in het voorliggende document zijn beschreven. Deze omvatten onder meer de winning van energie, water en delfstoffen, het gebruik van de porositeit van gesteente voor opslag van geïnjecteerd CO₂ of voor aardgas, de ondergrondse berging van radioactief afval, andere vormen van afvalberging, de funderingen en kelders van de gebouwen, en het accommoderen van vervoersinfrastructuur, kabels en leidingen.

Als we de ondergrond willen gebruiken voor een steeds grotere verscheidenheid aan functies en diensten, dan moeten deze zorgvuldig worden gepland. Een bepaald volume van de ondergrond kan nodig zijn om gelijktijdig of achtereenvolgens verschillende functies te kunnen accommoderen. Dit kan leiden tot competitie om ondergrondse ruimte en conflicten tussen functies die niet makkelijk verenigbaar zijn. Geologen kunnen adviseren over deze zaken, maar beslissingen over de manier waarop we de ondergrond gebruiken zijn uiteindelijk politiek en economisch.



De Glacier Express op het Landwasserviaduct, Zwitserland.

Milieuhygiëne

Eeuwen van industriële en stedelijke ontwikkeling in Europa hebben hun sporen nagelaten op ons land, in het water en in de atmosfeer. Vervuiling kan zich verspreiden en inwerken op de biosfeer, atmosfeer, hydrosfeer en de vaste aarde, die allemaal met elkaar verbonden zijn.

Kwaliteit van land en water

Grote gebieden in Europa zijn vervuild geraakt door industriële activiteiten in het verleden. Om voormalige industriegebieden geschikt te maken voor herontwikkeling is onderzoek en sanering nodig. Locaties kunnen vrijwillig worden gereinigd door de eigenaren, door de projectontwikkelaar of, voor de zwaarst verontreinigde locaties, bij verordening.

Bij het ontwerpen van saneringsmaatregelen is het van belang na te gaan hoe deze kunnen worden beïnvloed door toekomstige veranderingen in het milieu. In situ hersteltechnieken, bijvoorbeeld permeabele reactieve wanden of de inkapseling van verontreinigingen, blijven mogelijk naar verloop van tijd niet meer stabiel, bijvoorbeeld door een toegenomen erosiesnelheid, droogte of veelvuldiger overstromingen die kunnen leiden tot het vrijkomen van verontreinigende stoffen in het milieu.

Een hoge bodem- en (grond)waterkwaliteit is essentieel voor een veilige en duurzame voedselvoorziening. Bodem en ondergrond fungeren ook als een belangrijke opslagplaats voor koolstof uit de atmosfeer, en vormen zo een natuurlijk 'archief' waarin milieuveranderingen en hun effecten in het (recente) verleden zijn geregistreerd. De bestudering van de bodem en ondergrond helpt dus om dergelijke veranderingen beter te begrijpen. De bescherming en verbetering van onze waterwegen, de oceanen en ons drinkwater zijn afhankelijk van een goed begrip van het gedrag van en de interacties aan het oppervlak tussen water, bodem, gesteente in de ondergrond.



Bodemsanering op het Antwerpse haventerrein, België.
©Deme-group

Grondwatersanering

De geologie is een bepalende factor voor de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater. Sanering van verontreinigd grondwater kan op allerlei manieren, waaronder civieltechnische isolatie, het toepassen van chemische processen en – meestal het meest kostenefficiënt – natuurlijke afbraak in situ.

Civieltechnische oplossingsmogelijkheden vergen kennis van grondgedrag en -sterkte. Het gebruik van materialen, zoals adsorberende stoffen en oxidanten, vereist een goed begrip van geochemie van water en gesteenten. Natuurlijke afbraakmethoden maken gebruik van natuurlijke fysische, chemische en biologische processen. De toepassing vergt een inzicht in de geochemie van de ondergrond en het grondwater.

Naast aan het verbeteren van de efficiëntie van de sanering zelf, kan met geologisch inzicht worden bijgedragen aan het besparen van tijd en geld voor het ontwerp en uitvoering ervan.



Chemische afvallozing in Wakefield, Verenigd Koninkrijk.

Ons industrieel erfgoed en het effect op bodemkwaliteit

De sanering en het beheer van verontreinigde terreinen en gebieden kan complex en duur zijn, vooral waar sprake is van ongereguleerde c.q. illegale lozingen van afval en gevaarlijke stoffen. Geochemisch onderzoek legt de complexiteit van industriële bodemverontreiniging bloot, maar kan ook helpen om betere technieken te ontwikkelen om deze aan te pakken. Lange-termijn, duurzaam herstel van verontreinigde bodems in Europa vraagt om innovaties in ontwerp en beleid, en om de veilige afvoer en berging van verontreinigd materiaal, dit alles gebaseerd op een robuust geologisch begrip.

Milieuwaarden en -bescherming

Milieubeleid en -beheer op basis van een ecosysteemdienstenbenadering vragen om een holistische kijk op ecosystemen en het milieu. Men ziet echter maar al te vaak het belang over het hoofd van de geologie en de ondergrond, terwijl deze in feite ons landschap bepalen, interacteren met de atmosfeer en hydrosfeer, en letterlijk de basis vormen voor het leven.

Geosysteemdiensten

Diverse ecosysteemdiensten – manieren om maatschappelijke en economische waarde vanuit het milieu te creëren – zijn afhankelijk van de ondergrond of geologische processen en kunnen daarom worden aangeduid als 'geosysteemdiensten'. Zij omvatten:

- vitale **voorzienende diensten**, zoals de levering van energie, water en minerale grondstoffen, en de grond waarop of -in onze gebouwde omgeving is gecreëerd;
- **regulerende diensten**, zoals de opslagcapaciteit voor radioactief afval en CO₂ en de natuurlijke buffering van atmosferische CO₂ in bodems;
- **ondersteunende diensten** die de basis vormen voor ecosystemen, zoals geochemische cycli en het effect van geomorfologie op de samenhang tussen natuurlijke habitats en gemeenschappen: deze zijn van essentieel belang voor de biodiversiteit;
- plezier en waardering van het landschap en andere **culturele diensten**.

Europa's rijke geologische erfgoed en diversiteit zijn belangrijke waarden in termen van onderwijs, toerisme en kwaliteit van leven. Het is essentieel dat geologisch erfgoed en wetenschappelijk belangrijke sites afdoende worden beschermd.

De bufferfuncties van de vaste aarde, de hydrosfeer en de atmosfeer zijn van onschatbare waarde voor het milieu; ons begrip hiervan staat nog in de kinderschoenen. De veerkracht van natuurlijke systemen hangt deels af van hun belasting. Zij zullen waarschijnlijk steeds meer onder druk komen te staan zolang het atmosferische CO₂-gehalte blijft toenemen, de temperatuur op aarde blijft stijgen en de oceanen zuurder blijven worden door opgeloste CO₂. Koraalriffen, behorend tot de biologisch meest diverse ecosystemen ter wereld, vormen de habitat voor grote aantallen soorten en bieden ecosysteemdiensten zoals toerisme, visserij en de kustbescherming. Zij zijn bijzonder kwetsbaar voor veranderingen in chemie van de oceaan en zijn snel aan het verslechteren.

Marijn milieu- en kustbehoud

Regelingen zoals de aanwijzing van Europese Mariene Zones kunnen bescherming bieden voor gevoelige kust- en zeegebieden. Deze hebben echter de neiging om zich vooral te richten op de levende natuur en verwaarlozen de abiotische elementen: de interacties van het aardoppervlak en de ondergrond met de zee en het leven daarin. Een meer holistische benadering van mariene ecosystemen is nodig om kwetsbare soorten en omgevingen effectief te beschermen.

Sedimenten, die door zee- en getijdestromingen van en naar estuaria worden getransporteerd, dragen verontreinigde stoffen met zich mee en beïnvloeden de chemie van het zeewater. Visserij kan leiden tot verstoringen van de zeebodem en op die manier ecosystemen ontwrichten. De aanleg van kustverdediging kan de stromingspatronen en resulterende sedimentdistributie beïnvloeden. Cycli van nutriënten als ondersteunende ecosysteemdienst zijn afhankelijk van de geochemische interacties tussen de verschillende componenten van het oppervlaktesysteem: het vaste gesteente, sedimenten, flora en fauna, de waterkolom en de atmosfeer.



Het eiland Mont Saint-Michel is inclusief baai uitgeroepen tot UNESCO Werelderfgoed, in verband met de combinatie van cultureel erfgoed en natuurschoon.

Geologische risico's

Aardbevingen, vulkaanuitbarstingen, aardverschuivingen en tsunami's, kunnen verwoestende effecten hebben op mensen, economieën en landschappen. Het begrijpen van en effectief communiceren over geologische risico's, de effecten als ze optreden en de mitigatie daarvan is essentieel voor het terugdringen van menselijk lijden.

Aardbevingen

Aardbevingen vormen met name in Zuid- en Oost-Europa een groot risico, dat kan leiden tot het verlies van mensenlevens, infrastructurele en economische schade, en maatschappelijke ontwrichting. De impact van aardbevingen is niet alleen afhankelijk van hun magnitude en diepte, maar ook van menselijke factoren: de bevolkingsdichtheid, het ontwikkelingsniveau, paraatheid en educatie. Zo leidde de aardbeving in Haïti van 2010 bijvoorbeeld tot een veel hoger dodental dan sommige veel grotere aardbevingen elders. Een grote aardbeving in de buurt van een miljoenenstad in een ontwikkelingsland kan zelfs nog desastreuzer zijn. De meest effectieve manieren om de impact van aardbevingen te reduceren zijn armoedebestrijding (vooral in ontwikkelingslanden), onderwijsverbetering, burgervoorlichting, de verbetering van infrastructuur en aardbevingsbestendig bouwen. Het verstevigen van oude gebouwen is mogelijk, maar erg kostbaar.

Door geologisch onderzoek kunnen we steeds beter voorspellen of in een bepaald gebied aardbevingen te verwachten zijn. Het is echter op dit moment niet mogelijk om te voorspellen wanneer en waar aardbevingen precies zullen plaatsvinden; de meeste geologen beschouwen dit ook niet als een realistisch vooruitzicht. Het in kaart brengen van aardbevingsrisico en het modelleren van aardbevingseffecten zijn essentieel voor de verbetering van onze paraatheid en veerkracht. Het SHARE-project (Seismic Hazard Harmonization in Europa) heeft gemeenschappelijke datastandaarden en methoden opgeleverd en zal bijdragen aan de ontwikkeling van dito normen voor mitigatie van de effecten van aardbevingen.



President Barack Obama bekijkt de aardbevingschade in L'Aquila, Italië.

Overige gevaren

Net als vulkanen kunnen tsunami's ook ver van de plek waar ze ontstaan ernstige gevolgen hebben. De geologische geschiedenis leert ons dat er langs een aanzienlijk deel van de Europese kusten grote tsunami's zijn opgetreden; dit kan in de toekomst opnieuw gebeuren.

Minder dramatische gevaren in de categorie overig omvatten onder meer slappe grond, die allerlei problemen veroorzaakt in de gebouwde omgeving en voor waterbeheer, en de vorming van zogenaamde zinkgaten door het instorten van ondergrondse ruimtes zoals grotten of mijnschachten. Hoewel dergelijke gevaren slechts zelden dodelijke slachtoffers veroorzaken, kunnen de economische gevolgen aanzienlijk zijn.



Een doline (zinkgat ontstaan door karst) in het Biržai gebied, Litouwen.

Er bestaan ook antropogene risico's, veroorzaakt door menselijke activiteiten, zoals bodemverontreiniging, delfstoffenwinning en afvalverwerking. Menselijke activiteiten kunnen ook de gevolgen van gevaren zoals (grondwater)overstromingen verergeren. Geologen vervullen een essentiële rol in de advisering over de hoogwaterbescherming, het gebruik hierbij van natuurlijke processen ('bouwen met de natuur') en inbedding in de ruimtelijke ordening.

Geologische risico's

Aardverschuivingen

In grote delen van Europa komen regelmatig aardverschuivingen voor. Hiervoor zijn allerlei oorzaken, zoals zware regenval, erosie, aardbevingen en menselijke activiteiten zoals mijnbouw, ontbossing en veranderingen in landgebruik. Aardverschuivingen kunnen een significant effect hebben op de infrastructuur en de economie en in sommige gevallen tot dodelijke slachtoffers leiden. Ook zijn aardverschuivingen verantwoordelijk voor ongeveer 15% van de tsunami's in de wereld.

Klimaatverandering leidt naar verwachting tot een verhoogd aantal aardverschuivingen, doordat extreme weersomstandigheden steeds vaker zullen optreden. Er zijn aanwijzingen dat van een toename reeds sprake is.

Vulkanen

Wereldwijd leven naar schatting 500 miljoen mensen binnen de gevarenzone van actieve vulkanen. Veel steden hebben zich ontwikkeld op de vruchtbare grond die in de buurt van vulkanen te vinden is. Actieve vulkanen die met grote populaties omwonenden zijn onder meer de Vesuvius bij Napels en Popocatepetl in de buurt van Mexico Stad.



De Vesuvius bij Napels, Italië.

Alles moet in het werk worden gesteld om het aantal slachtoffers van vulkaanuitbarstingen terug te brengen, al is dit aantal (ongeveer 300.000 dodelijke slachtoffers wereldwijd gedurende de afgelopen 200 jaar) in feite bescheiden in vergelijking met andere natuurrampen. Niettemin kunnen vulkaanuitbarstingen leiden tot aanzienlijke economische en infrastructurele schade en tot maatschappelijke ontwrichting.

Vulkanen kunnen ook op grote afstand, waar het veronderstelde risico laag is, invloed uitoefenen. Moderne geglobaliseerde samenlevingen zijn terdege kwetsbaar voor grote vulkanische erupties, waarvan de frequentie en milieueffecten onderwerp zijn van lopend vulkanologisch onderzoek.

Vulkanische as

In 2010 leidde de uitbarsting van de Eyjafjallajökull in IJsland tot een ontwrichting van de burgerluchtvaart in heel Noord- en West-Europa. Overheden en de luchtvaartautoriteiten moesten enerzijds de openbare veiligheid bewaken, maar anderzijds wilde men het vliegen om economische redenen zo snel mogelijk laten hervatten. Geologen werkten samen met meteorologen om de interactie tussen de aswolk en weersystemen te begrijpen en hielpen om inschattingen te maken over de luchtvaartveiligheid.

Over de hele wereld kunnen vulkanen dit soort problemen veroorzaken, mogelijk zelfs op een veel grotere schaal. Van belangrijke luchtverbindingen is inmiddels in kaart gebracht hoe ze liggen ten opzichte van actieve en slapende vulkanen. Voor het zeer drukke luchtverkeer in Europa en Noord-Amerika moet hierbij niet alleen aan de IJslandse vulkanen worden gedacht, maar ook die aan de Pacifische kust en het Mediterrane gebied.

Rond vulkanen zoals de Mount Saint Helens en de Vesuvius zijn uitgebreide seismische netwerken geïnstalleerd waarmee vroegtijdige waarschuwingen voor mogelijke uitbarstingen kunnen worden afgegeven. Wereldwijd worden vele vulkanen echter niet gemonitord, deze kunnen dus onverwachts uitbarsten. In Caraïbisch Nederland geldt dit bijvoorbeeld voor de Mount Scenery vulkaan op het eiland Saba.

Klimaatverandering

Het geologisch archief biedt overvloedig bewijs voor klimaatverandering in het verleden. Dit is zeer belangrijk om te kunnen begrijpen hoe het klimaat in de toekomst kan veranderen en wat voor gevolgen we kunnen verwachten van de door mensen veroorzaakte koolstofemissies.

Geologisch bewijs voor klimaatverandering in het verleden

Uit het geologische archief, dus uit de informatie die uit sedimenten en fossielen kan worden gehaald over de omstandigheden tijdens hun afzetting, valt op te maken op te maken dat de Aarde allerlei schommelingen in het klimaat heeft ondergaan gedurende minstens de laatste 200 miljoen jaar: van warmer dan nu tot veel kouder, op allerlei verschillende tijdschalen. Naast cyclische variatie veroorzaakt door dito variaties in de baan van de Aarde en door zonneactiviteit, zijn snelle klimaatveranderingen in het verleden in verband gebracht met de toename van atmosferisch koolstof. Een voorbeeld hiervan is Paleoceen-Eocene Thermische Maximum (PETM) 55 miljoen jaar geleden.

Klimaatverandering in het verleden is op allerlei manieren geologisch geregistreerd: in sedimenten die in de zee of meren worden afgezet, ijskappen, fossiele koralen, stalagmieten en fossiele boomringen. Ontwikkelingen in veldwaarnemings- en laboratoriumtechnieken en in numerieke modellering stellen geologen in staat om met toenemende zekerheid aan te tonen hoe en waarom het klimaat heeft gevarieerd. Kennis over het verleden biedt een essentiële context voor het inschatten van te verwachten veranderingen in de toekomst.



Het afsmelten van gletsjerranden in Groenland.

Lessen voor de toekomst

Door de analyse van klimaatveranderingen in het verleden zijn aardwetenschappers er steeds zekerder van dat CO₂ van grote invloed is op het klimaatsysteem. In gegevens zien we de bevestiging van het fysische principe dat de temperatuur stijgt als er grote hoeveelheden broeikasgassen zoals CO₂ in de atmosfeer terecht komen. Er is ook bewijs dat dit op zijn beurt waarschijnlijk zal leiden tot zeespiegelstijging, een toenemende zuurtegraad van de oceanen, een verminderd zuurstofgehalte in zeewater en grote veranderingen in weerspatronen.

Het leven op aarde heeft grote veranderingen in het klimaat in het verleden weten te doorstaan, maar deze zijn wel gepaard gegaan met massaal uitsterven en een grote herverdeling van soorten. Een mondiale temperatuurstijging van slechts een paar graden zal naar verwachting een enorme invloed hebben op de mens.

De precieze oorzaken van snelle klimaatveranderingen in het verleden zijn het onderwerp van lopend onderzoek, maar waarschijnlijk zijn ze geologisch geweest, denk aan perioden van intense vulkanische activiteit. De snelle stijging van atmosferische CO₂ in de afgelopen decennia kan echter niet worden toegeschreven dergelijke processen. Sinds 1750 is door menselijk handelen meer dan 500 miljard ton koolstof (dus meer dan 1.850 miljard ton CO₂) toegevoegd aan de atmosfeer, ongeveer 65% hiervan door de verbranding van fossiele brandstoffen. Bij het huidige tempo van stijging kan de concentratie atmosferisch CO₂ tegen het einde van deze eeuw opgelopen zijn tot 600 ppm (0,6 ‰), een waarde die minimaal de afgelopen 24 miljoen jaar niet bereikt is.

Geologen hebben een hier belangrijke rol te spelen, niet alleen door mechanismen van klimaatverandering steeds beter te begrijpen, maar ook door de CO₂-uitstoot te helpen verminderen (bijvoorbeeld door middel van CCS en alternatieve energiebronnen) en door adaptatiestrategieën voor klimaatverandering te helpen ontwikkelen.

Het Antropoceen

Menselijke activiteit heeft drastische effecten op het landschap, de ondergrond en andere compartimenten van het systeem Aarde gehad, en heeft significante atmosferische, chemische, fysische en biologische veranderingen veroorzaakt. Zijn deze veranderingen significant en blijvend genoeg om het begin van een nieuw geologisch tijdperk te markeren: het Antropoceen?

Antropogene veranderingen

De Internationale Stratigrafische Commissie (ICS), die de Internationale Geologische Tijdschaal en wereldwijde standaarden voor de geologische tijdsindeling vaststelt, overweegt momenteel om een nieuw geologisch tijdperk te definiëren: het Antropoceen oftewel het menselijke tijdperk, waarmee de mate van onze invloed op onze planeet onderstreept zou worden. Sommige stratigrafen stellen voor om de Industriële Revolutie als het begin van de Antropoceen te hanteren, aangezien de 1.850 miljard ton CO₂ die sindsdien door menselijk handelen is vrijgekomen gedurende een geologisch significante periode in de atmosfeer zal verblijven. Anderen zijn weer van mening dat de persistente invloed van de mens op onze planeet circa 8.000 jaar geleden begon, door de opkomst van de landbouw en sedentaire culturen. Ongeacht wat hierover wordt besloten, heeft de ontwikkeling van de menselijke samenleving het aanzicht van de Aarde veranderd door activiteiten als landbouw, bouw, kanalisatie van rivieren, ontbossing, verstedelijking en industrialisatie.

Daarnaast heeft de mens een mogelijk onuitwisbare signatuur in het geologische archief achtergelaten door de verontreiniging van de lucht, het landoppervlak, de oceanen, oppervlaktewateren en de ondergrond. Denk hieraan bij loodvervuiling door smelters, metaalverwerking en afvalverbranding. De sporen hiervan worden nu gevonden op de meest afgelegen locaties en gaan terug tot de Grieks-Romeinse tijd. Naast door het op grote schaal verbranden van fossiele brandstoffen, bracht de Industriële Revolutie een aanzienlijke mate van verontreiniging met zich mee door de mijnbouw, de metaalproductie en door het vrijkomen van verontreinigende stoffen bij overige industriële activiteiten en de afvalverwerking.

Veel onderzoekers spannen zich op dit moment in om het bereik, het type, de schaal en de omvang van antropogene invloeden op landgebruik en Aardse processen te karakteriseren, en om hun effecten en geologische betekenissen te bepalen. De combinatie van deze veranderingen en de gevolgen daarvan voor de chemie, biologie, geomorfologie, de



Luchtverontreiniging: rook uit een fabrieksschoorsteen.

ondergrond, de oceanen en de atmosfeer kan helpen bij het afbakenen van Antropoceen en zijn unieke signatuur in het milieu.

Doet dit ertoe?

Ongeacht of de ICS concludeert dat het Antropoceen voldoet aan de definitie van een nieuw geologisch tijdperk, is de term zowel binnen de geologische gemeenschap als daarbuiten gangbaar aan het worden. Hij drukt het idee uit dat de cumulatieve en gecombineerde effecten van de mensheid op onze planeet, inclusief maar niet beperkt tot klimaatverandering, persistent kunnen blijken te zijn op de geologische tijdschaal. Dit besef kan nuttig zijn bij het bepalen van onze houding ten opzichte van deze veranderingen.

De toekomst

Naar huidige inschattingen zal de wereldbevolking in 2045 zijn opgelopen tot negen miljard, wat gepaard gaat met een verhoogde druk op hulpbronnen en het milieu inclusief de ondiepe ondergrond. Dit laatste geldt met name in de gebouwde omgeving, waar de interactie met de ondergrond het grootst is en de infrastructuur complex. Leven in het Antropoceen zal ongekende uitdagingen voor de samenleving met zich meebrengen, voor samenlevingen en overheden over de hele wereld.

De communicatie van geologie: tijd, onzekerheid en risico's

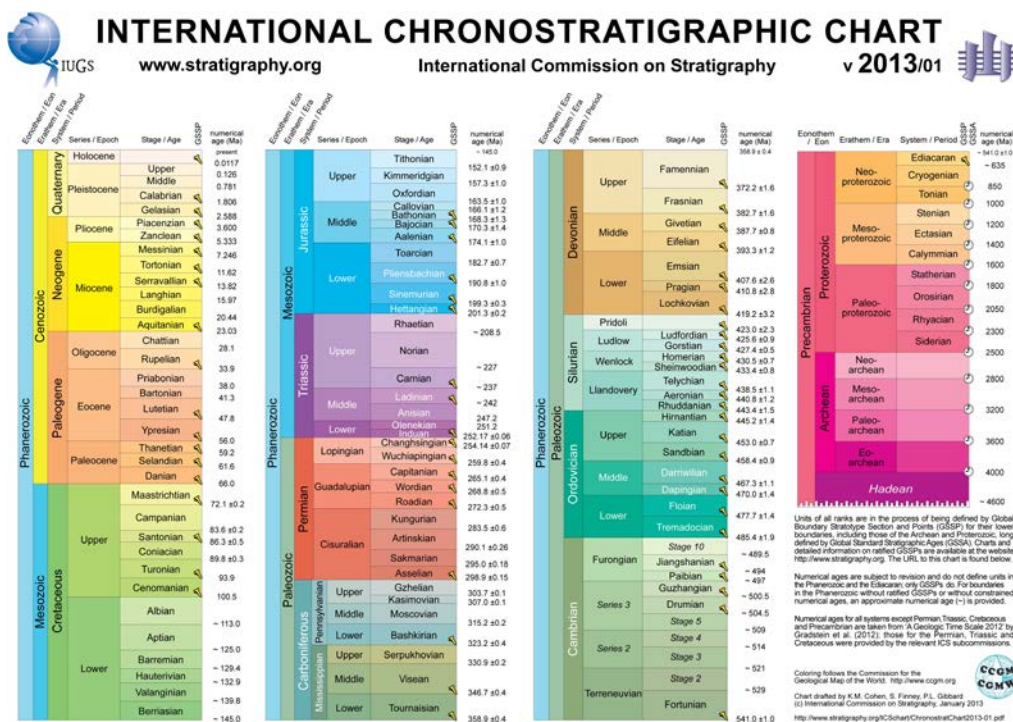
Geologische vraagstukken treden steeds op de voorgrond in het dagelijks leven van mensen in heel Europa. Geologische professionals moeten leren om beter te communiceren over hun vak, zodat het bredere publiek beter geïnformeerd in debat kan gaan.

Of het nu gaat over de winning van schaliegas of andere fossiele brandstoffen, de injectie van water voor geothermische energieproductie, de ondergrondse opslag van CO₂ en radioactief afval: geologie vormt de basis voor een aantal sleutelvraagstukken die Europa zal moeten oplossen om te blijven voorzien in onze toekomstige behoeften, om economische groei mogelijk te maken, om technische risico's en hun maatschappelijke impact te begrijpen, en om zeker te stellen dat wetgeving en technologieontwikkeling zullen bijdragen aan milieu, volksgezondheid en welvaart. Net als wetenschap en techniek in het algemeen, zijn de geologie en de ondergrond in dit verband voor de meeste mensen onbekend terrein. Als het publiek geïnformeerd wil deelnemen aan debatten en besluitvorming over oplossingsrichtingen, dan is het belangrijk dat aardwetenschappers effectief kunnen communiceren, om het publiek duidelijk te maken wat ze weten en doen, en om zelf te begrijpen wat het publiek weet en wat er bij hen leeft.

Sommige fundamentele, gevestigde ideeën en concepten die geologen hanteren en als vanzelfsprekend zijn gaan beschouwen, zijn voor de meeste mensen volstrekt onbekend. Geologen beschouwen hun begrip van de immens lange geschiedenis van

onze planeet en de processen die hem hebben gevormd vaak als een soort voorrecht. Maar dit begrip leidt ook tot een heel andere kijk op tijd dan die van niet-geologen. De meeste mensen zullen een bergingsperiode van 100.000 jaar als ontwerpnorm voor de opslag van radioactief afval in de ondergrond bijvoorbeeld zeer lang vinden, maar voor een geoloog is dit juist kort. Dit verschil in perspectief kan het vertrouwen van het publiek in de expertise, het professioneel oordeel en het advies van geologen op dit terrein doen verminderen, tenzij zij hun uiterste best doen om het perspectief en de zorgen van het publiek te begrijpen.

Ook hebben geologen doorgaans weinig moeite met het omgaan met onzekerheid en schaarse of onvolledige gegevens: het vermogen hiertoe behoort tot hun kernkwaliteiten. Over hoe zij dan toch evaluaties en voorspellingen af weten te geven (bijvoorbeeld bij de exploratie van delfstoffen of de bepaling van risico's van natuurrampen) moet open en effectief gecommuniceerd worden, anders zal het publiek openheid over onzekerheden niet zien als de expressie van begrip, maar juist van onwetendheid.



De internationale geologische tijdschaal. ©International Commission on Stratigraphy

Geologie voor de toekomst

De 21e-eeuwse samenleving staat gesteld voor ongekeerde uitdagingen, waarbij een groeiende wereldbevolking die enerzijds streeft naar een hogere levensstandaard en daarvoor grondstoffen en hulpbronnen nodig heeft, anderzijds duurzamer met de planeet zal moeten leren omgaan. Ervaren, goed getrainde geologische professionals en een sterke onderzoeksbasis zullen ons helpen om deze uitdagingen aan te pakken, en zijn van essentieel belang als Europa hierin wereldwijd concurrerend wil zijn.

Onderwijs

Geologie is van essentieel belang voor het dagelijks leven van mensen. In de meeste Europese landen is geologie geen op zichzelf staand onderdeel van het schoolcurriculum. Het is daarom nodig dat jongeren binnen reguliere vakken zoals scheikunde, natuurkunde, biologie en aardrijkskunde kennis maken met de belangrijkste processen en concepten van de aardwetenschappen, zodat ze als goed geïnformeerde 21e-eeuwse burgers mee kunnen praten over de grote uitdagingen waar de mensheid voor gesteld staat. Dit zou onderdeel moeten worden van de schoolcurricula in alle Europese landen. Basiskennis van aardwetenschappen bij scholieren is ook noodzakelijk om een volgende generatie van geologen te voort te brengen, die een fundamentele rol zal spelen in de aanpak van al deze uitdagingen. Daarnaast is goed loopbaanadvies van het grootste belang, zodat scholieren het brede scala van carrière mogelijkheden in de geologie leren kennen en zij op tijd begrijpen hoe hun vakkenkeuze hen in die richting kan helpen of juist beperken.

Aardwetenschappelijke bachelorprogramma's zorgen voor een adequate wetenschappelijke basis en vormen de eerste stap in de opleiding van de toekomstige geologische professionals. In sommige Europese landen, waaronder Nederland en België, hanteren werkgevers in verschillende sectoren een aanvullende graad als minimale kwalificatie, zoals een master in een relevant specialisme als exploratiegeologie, technische aardwetenschappen, geohydrologie of geofysica. Sommige masterprogramma's hebben een sterke beroepsgerichte focus in zich. PhD-programma's spelen ook een belangrijke rol, zowel voor diegenen die een carrière in aardwetenschappelijk onderzoek ambiëren, als voor specialisten in bepaalde sectoren van de industrie. Het is essentieel dat de Europese landen zorgen voor voldoende middelen voor geowetenschappelijk onderwijs op alle niveaus, om economisch concurrerend te blijven en om de nationale capaciteit te ontwikkelen en behouden om de uitdagingen van de toekomst aan te gaan.

Onderzoek

Concurrentiekracht en ons vermogen om toekomstige uitdagingen aan te gaan zullen mede afhangen van het behoud van Europa's geowetenschappelijke onderzoeksbasis. Het is essentieel dat we excellent fundamenteel onderzoek blijven ondersteunen, evenals toegepast onderzoek, niet in het minst om de samenleving voor te

Professionalisering in het algemene belang

De European Federation of Geologists (EFG) kent, in samenwerking met aangesloten nationale aardwetenschappelijke beroepsverenigingen, de titel European Geologist (EurGeol) toe aan aardwetenschappelijke professionals met een hoog niveau van opleiding en vakbekwaamheid, die zich committeren aan een professionele code en het aantoonbaar bijhouden van hun vakkennis. De nationale beroepsvereniging in Nederland is het Koninklijk Geologisch en Mijnbouwkundig Genootschap (KNGMG), in België is er de Belgisch-Luxemburgse Unie van Geologen (BLUG). Verschillende nationale beroepsverenigingen kennen ook hun eigen professionele titel, dit geldt echter niet voor Nederland en België. Los van erkenning waarborgt de titel dat de drager zijn werk, waarin vaak een relatie ligt met maatschappelijk veiligheid en welvaart, competent, professioneel en ethisch uitvoert.

Accreditatie van BSc en MSc programma's zorgt ervoor dat studenten kerncompetenties verwerven en kennis opdoen die van belang zijn voor werkgevers en de samenleving in zijn totaliteit. De accreditatiesystematiek verschilt van land tot land en kan worden gehandhaafd door een nationale professionele organisatie, een overheidsdienst of een externe accreditatieautoriteit. Het Euro-Ages project, gefinancierd door de Europese Commissie, ontwikkelde gemeenschappelijke normen en criteria voor de beoordeling van geologie-opleidingen, om vergelijking tussen de verschillende systemen te vergemakkelijken.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS

bereiden op nieuwe risico's en noodsituaties waarop we nog niet hebben kunnen anticiperen. Dit vraagt ons om te reflecteren op alle stadia en vormen van kennisontwikkeling, en om te investeren in een duurzame onderzoeksfinanciering, zodat jonge onderzoekers een stabiele carrière kunnen opbouwen.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



The
Geological
Society

servicing science & profession

Dit document is ontwikkeld door de Geological Society of London, in samenwerking met de European Federation of Geologists, het Koninklijk Nederlands Geologisch en Mijnbouwkundig Genootschap KNGMG en de Belgisch-Luxemburgse Unie van Geologen.

U kunt Engelstalige beleidsdocumenten, artikelen, audiovisuele bronnen en meer informatie gerelateerd aan de onderwerpen in dit rapport terugvinden op het online portaal 'Geology for Society', www.geolsoc.org.uk/geology-for-society.

Verder verwijzen we u graag naar de volgende websites:

Koninklijk Nederlands Geologisch en Mijnbouwkundig Genootschap (KNGMG)

Belgisch-Luxemburgse Unie van Geologen (BLUG)

TNO - Geologische Dienst Nederland

NL Olie- en Gasportaal

Belgische Geologische Dienst

Databank Ondergrond Vlaanderen

Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw

KNAW: Raad voor Aard- en Levenswetenschappen

Belgisch Nationaal Comité van Geologische Wetenschappen

www.kngmg.nl

www.blug-ublg.be/NL

www.dinoloket.nl

www.nlog.nl

www.naturalsciences.be/nl/science/do/25

dov.vlaanderen.be

journals.cambridge.org/NJG

www.knaw.nl/ral

www.ncgw-cnsg.ugent.be

Aardwetenschappen aan de

1. Universiteit van Amsterdam

2. Vrije Universiteit Amsterdam

3. Universit  Libre de Bruxelles

4. Technische Universiteit Delft

5. Universiteit Gent

6. KU Leuven

7. Universit  de Liège (Universiteit van Luik)

8. Universit  de Namur (Universit  de Namur)

9. Universiteit Utrecht

10. Universiteit Twente

www.uva.nl/disciplines/aardwetenschappen

www.falw.vu.nl

<http://www.ulb.ac.be/facs/sciences/dste>

www.ta.tudelft.nl

www.earthweb.ugent.be

aow.kuleuven.be

www.facsc.ulg.ac.be/cms/c_1468767/en

www.unamur.be/sciences/geologie

www.uu.nl/geo

www.itc.nl

- De Frankfurtse aandelenbeurs - Frankfurt Stock Exchange" by Pythagomath - Own work. Licensed under CC BY-SA 4.0 via Wikimedia Commons
- Een monster geband ijzer uit Krivoy Rog, Oekraïne - Banded iron formation". Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Afvalwaterzuivering en - Fine Bubble Retrievable Grid" by C Tharp - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- De K nlsbrein stuwdam en pompcentrale, Karinthi , Oostenrijk - Verbund malta" by Verbund. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Landbouw in de Riojastreek, Spanje - Tractor, La Rioja, Spain" by Ra l Hernández González. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Bouwput voor de spoorkruising Tottenham Court Road - Tottenham Court Road Crossrail - London Astoria site September 2009 CB" by carlbob. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- De Gletsjerexpress op het Landwasserviaduct, Zwitserland- CH Landwasser 2" by Daniel Schwen - Own work. Licensed under CC BY-SA 2.5 via Wikimedia Commons
- Chemische afvallozing in Wakefield, Verenigd Koninkrijk.- A big job - geograph.org.uk - 663806" by David Pickersgill. Licensed under CC BY-SA 2.0 via Wikimedia Commons
- Het eiland Mont Saint-Michel is inclusief baai uitgeroepen tot UNESCO Werelderfgoed, in verband met de combinatie van cultureel erfgoed en natuurschoon.- MtStMichel avion". Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- President Barack Obama bekijkt de aardbevingsschade in L'Aquila, Italië.- President Barack Obama tour earthquake damage in L'Aquila, Italy - Wednesday, July 8, 2009" by The Official White House Photostream - P070809CK-0208. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Een doline (zinkgat ontstaan door karst) in het Bir aigebied, Litouwen. - Geology duob " by Vilensija - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Het afsmelten van gletsjerranden in Groenland- Greenland melt pond 2 (763775560)" by NASA ICE - Greenland melt pond 2Uploaded by russavia. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Luchtverontreiniging: rook uit een fabrieksschoorsteen - Air pollution smoke rising from plant tower" by U.S. Fish and Wildlife Service. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons

Omslagfoto: Europe lights.   NPA Satellite Mapping: CGG. Alle rechten voorbehouden. Deze afbeelding mag niet worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CGG. NPA is geaffilieerd met de Geological Society of London en is gespecialiseerd in satellietbeelden, exploratie, milieu en geologische risico's sinds 1972. Zie verder npa.cgg.com.