

# Vulkanisme en CO<sub>2</sub> in de Eifel

Geologische (wandel)excursies



Ronnie van Overmeeren

# **Vulkanisme en CO<sub>2</sub> in de Eifel**

**Geologische (wandel)excursies**

Ronnie van Overmeeren

Uitgave Universiteit Utrecht/CATO2

Foto's op voorblad:

- Minerale bron *Vulkania* in *Dreis*
- Koudwater geiser van *Wallenborn*
- Tuf- en slakkenwal en versteende basaltische lava in de krater van de *Rockeskyller Kopf*
- Uitzichtpunt Landesblick met zicht op het *Meerfelder Maar* en de slakkenkegels van de *Mosenberg*

© 2014 Universiteit Utrecht/CATO2

Voor meer informatie: [Eifel@co2-cato.nl](mailto:Eifel@co2-cato.nl)

***Disclaimer***

CATO heeft de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht om met copyrighthouders tot overeenstemming te komen aangaande het gebruik van de in deze publicatie voorkomende figuren. Mocht er hierbij toch op enige wijze inbreuk worden gemaakt op uw rechten dan verzoeken wij u vriendelijk hierover contact met ons op te nemen via [info@co2-cato.nl](mailto:info@co2-cato.nl)

Voor Gertrudis



*“Hoe graag trok ik met hem\* door de Eifel, om datgene helder te aanschouwen, wat nog altijd als een probleem voor mij staat\*\*. Waarom ben ik niet meer zo goed ter been als in de tijd, waarin ik die nutteloze reizen naar Zwitserland maakte, daar men geloofde iets groots gedaan te hebben, wanneer men bergen beklommen en met verwondering gadegeslagen heeft.”*

Brief van Johann Wolfgang Goethe aan Christian Gottfried Daniel Nees von Esenbeck, Weimar, 31 oktober 1823



*Halfreliëf in ignimbriet op de gevel van hotel Maria Laach ter herinnering aan bezoek van Goethe en Baron vom Stein in 1815*

- \* De mineraloog en geoloog Johann Jakob Nöggerath (1788 – 1877) uit Bonn.
- \*\* Een wetenschappelijke twist over de ontstaanswijze van basalt tussen *Neptunisten* (basalten zijn sedimentaire gesteenten die zijn afgezet in water) en *Plutonisten* (basalten zijn van vulkanische oorsprong); zie excursiepunt IV-1 (Laacher See).

In warme herinnering aan wijlen Professor Dr. Emile den Tex (1918-2012), in leven hoogleraar Petrologie, Mineralogie en Kristallografie, Universiteiten van Leiden en Utrecht.



# Inhoudsopgave

*Voorwoord*

*De auteur*

*Dankbetuiging*

## **Deel 1: Inleiding**

- CO<sub>2</sub> en opwarming
- Vulkanen en klimaat
- De Eifel en CO<sub>2</sub>
- De geologie van de Eifel in 4 alinea's
- Een geologisch bezoek aan de Eifel
- Op excursie: de Eifel GeoRoutes
- Hoogtepunten
- Geo-informatiecentra
- Verantwoording
- Literatuur en verwijzingen

## **Deel 2: Beknopte geologie van de Eifel**

1. Geologische processen
  - 1.1. De aarde
  - 1.2. Tektonische platen
  - 1.3. Vulkanisme
  - 1.4. Gebergtevorming
  - 1.5. Bloktektoniek
2. De Eifel
  - 2.1. Tijd en plaats
  - 2.2. Het Paleozoïsch grondgebergte
  - 2.3. Het Mesozoïsch dekgebergte
  - 2.4. Tertiair vulkanisme
  - 2.5. Kwartair vulkanisme
    - 2.5.1. Maarvulkanen
    - 2.5.2. Slakkenkegels en lavastromen
    - 2.5.3. Caldera's
    - 2.5.4. Fonolietkoepels
    - 2.5.5. Kwartaire vulkanische bouwsteen
    - 2.5.6. De kans op herhaling
  - 2.6. CO<sub>2</sub> en mineraalwater
    - 2.6.1. CO<sub>2</sub>
    - 2.6.2. Mineraalwater
    - 2.6.3. Typen mineraalwater
    - 2.6.4. De naamgeving van mineraalwater in Duitsland
    - 2.6.5. Gebotteld mineraalwater uit de Eifel
    - 2.6.6. Mofetten
3. Verwijzingen
4. Geologische woordenlijst

## **Deel 3: Eifel GeoRoutes**

1. Korte samenvattingen van alle Eifel GeoRoutes (app)
2. Voorbeeldwandelingen met routebeschrijving
  - 2.1. Deelgebied I: Mosenberg (I-2)
  - 2.2. Deelgebied II: Dauner maaren (II-1)
  - 2.3. Deelgebied III: Duppach (III-3)
  - 2.4. Deelgebied IV: Laacher See (IV-1)





## Voorwoord

Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) als natuurlijk, vulkanisch verschijnsel zichtbaar maken: dat was de drijfveer achter de excursie voor een groep jonge onderzoekers uit het CATO onderzoeksprogramma en journalisten van een aantal landelijke dagbladen in het voorjaar van 2011 naar de Eifel die de kiem heeft gelegd voor deze wandelgids. CATO is een acroniem voor 'CO<sub>2</sub> Afvang, Transport en Opslag'. Dit acroniem verwijst naar een aantal technologieën die betrekking hebben op het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen bij industriële processen en bij de opwekking van elektriciteit. Omdat dit onderzoeksprogramma ook het thema ondergrondse CO<sub>2</sub>-opslag onderzoekt, was een excursie naar de Eifel een goede gelegenheid om meer te leren over de natuurlijke aanwezigheid van CO<sub>2</sub> in de ondergrond en de gevolgen van ontsnappend koolstofdioxide. Ronnie van Overmeeren was ter plaatse onze enthousiaste gids en deelt nu zijn kennis en ervaring in dit boekje en de aan dit boekje geassocieerde **Eifel Georoutes** applicatie

Door de bril van geologische kennis neem je het lieflijke landschap van de Eifel ineens heel anders waar. Een heuvel blijkt een vulkaan te zijn, en onder een groot meer ligt een magmakamer die nog niet uitgedoofd is. Je realiseert je dat deze magmakamer wellicht ooit zal exploderen en verbaast je over de overal zichtbare grote gevolgen van zo'n explosie.

Zowel deze gids als de **Eifel Georoutes** applicatie zijn aantrekkelijk voor zowel leken als (amateur) geologen. Technische kennis staat in kaders, en een geologische woordenlijst helpt de lezer met minder kennis van het jargon bij het begrijpen van de fascinerende verschijnselen die het landschap van de Eifel hebben vormgegeven.

Ik hoop dat u dit boekje en de app met veel plezier zult gebruiken.

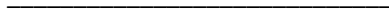
Jan Brouwer  
Programmadirecteur CATO-2



**De auteur**

Ronnie van Overmeeren heeft geologie in Leiden gestudeerd en zich daarbij gespecialiseerd in petrologie, vulkanologie en geofysica. Hij heeft bij de Verenigde Naties en TNO gewerkt en is het grootste deel van zijn 37-jarige loopbaan actief geweest als geofysicus in grondwaterprojecten in Zuid-Amerika, Afrika, Azië en Nederland.

De eerste veldexcursie als Leids student was naar de Eifel en de daar opgewekte fascinatie voor dat gebied is nooit meer verdwenen.

**Dankbetuiging**

De auteur is veel dank verschuldigd aan Marlies Verlinde-van den Berg (CATO) voor het nauwgezet en betrokken redigeren van de concepttekst. Dit is sterk ten goede gekomen aan het begrijpelijk maken van de thema's voor een breed publiek en haar bijdrage was daardoor een extra stimulan.



# Inleiding

## Deel 1: Inleiding



*CO<sub>2</sub> geiser*



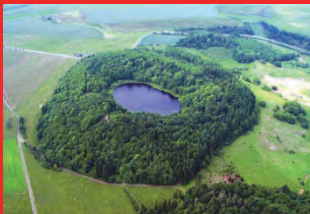
*CO<sub>2</sub> bron*



*CO<sub>2</sub> mofette*



*CO<sub>2</sub> winning*



*Kwartaire slakkenkegel*



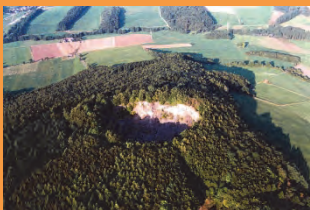
*Kwartaire maartrechter*



*Kwartaire caldera*



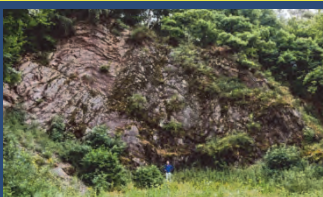
*Kwartaire lavakoepel*



*Tertiaire vulkaan*



*Mesozoïsch dekgebergte*



*Paleozoïsch grondgebergte*

- *CO<sub>2</sub> en opwarming*
- *Vulkanen en klimaat*
- *De Eifel en CO<sub>2</sub>*
- *De geologie van de Eifel in 4 alineas*
- *Een geologisch bezoek aan de Eifel*
- *Op excursie: de Eifel GeoRoutes*
- *Hoogtepunten*
- *Geo-informatiecentra*
- *Verantwoording*
- *Literatuur en verwijzingen*



# Inleiding

---

*Foto's voorblad:*

*CO<sub>2</sub> geiser: Wallenborn*

*CO<sub>2</sub> bron: Bodenbacher Drees*

*CO<sub>2</sub> mofette: Laacher See*

*CO<sub>2</sub> winning: Wehrer Kessel*

*Kwartaire slakkenkegels: Windsborn (foto Thomas Reichhart)*

*Kwartaire maartrechter: Pulvermaar (Archiv Natur- und Geopark Vulkaneifel GmbH)*

*Kwartaire caldera: Laacher See (foto Walter Müller)*

*Kwartaire lavakoepel: Olbrück*

*Tertiaire vulkaan: Arensberg*

*Mesozoïsch dekgebergte: groeve Wolfskaul*

*Paleozoïsch grondgebergte: groeve Pantenburg*

# Inleiding

## CO<sub>2</sub> en opwarming

CO<sub>2</sub> en de invloed van dat gas op het klimaat is een zeer actueel thema. In de discussies hierover gaat het vooral over de uitstoot van koolstofdioxide door menselijke activiteiten, zoals het grootschalig gebruik van fossiele brandstoffen en de ontbossing. Naar schatting bedroeg in 2010 de wereldwijde industriële uitstoot 30 gigaton (=  $30 \times 10^{12}$  kg). Door ontbossing stijgt dit getal zelfs tot 36 gigaton. De menselijke uitstoot in Nederland bedroeg in dat jaar ongeveer 200 megaton ( $0,2 \times 10^{12}$  kg). In het algemeen wordt aangenomen dat de toename van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer opwarming van de aarde en daarmee klimaatverandering teweegbrengt. Dat komt omdat koolstofdioxide licht doorlaat, maar infrarode straling tegenhoudt. Terwijl overdag zonlicht ongehinderd door CO<sub>2</sub> de aarde opwarmt, bemoeilijkt CO<sub>2</sub> 's nachts afkoeling via infrarode straling naar de ruimte. Dit wordt het broeikaseffect genoemd.

## Vulkanen en klimaat

Naast menselijke uitstoot van koolstofdioxide komt er ook op natuurlijke wijze CO<sub>2</sub> in de atmosfeer en een belangrijke bron van dat natuurlijke CO<sub>2</sub> is vulkanisme. Koolstofdioxide is één van de gassen die in vloeibaar gesteente, magma, zijn opgelost. Andere magmatische gassen zijn vooral waterdamp (H<sub>2</sub>O) en zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) of waterstofsulfide (H<sub>2</sub>S) en, meestal beduidend minder, fluor (F), chloor (Cl) en methaan (CH<sub>4</sub>). De gassen spelen een belangrijke rol bij de bewaking van actieve en slapende vulkanen. De concentraties van de verschillende gassen worden daartoe met een spectrometer vanuit de lucht boven een vulkaan gemeten. Veranderingen in de onderlinge verhoudingen van de concentraties van de verschillende gassen zijn vaak voorbode van een naderende eruptie.

Wanneer vloeibaar magma afkomstig uit de aardmantel langs spleten en breuken in de aardkorst naar boven komt, neemt de druk in het magma af, waardoor gassen die bij hoge druk in het magma opgelost zijn, vrijkomen. Veel vulkaanuitbarstingen zijn gewelddadig, omdat de gassen op geringe diepte in een kraterpijp uitzetten en explosief ontsnappen.

Dat vulkanische uitbarstingen het klimaat beïnvloeden is bekend van verslagen van en onderzoek naar extreme vulkaanuitbarstingen. Benjamin Franklin (1706-1790), Amerikaans wetenschapper en politicus, opperde als een van de eersten dat vulkanen het klimaat en het weer kunnen beïnvloeden. De beruchte eruptie in zijn tijd van de **Laki** vulkaan op IJsland in **1783** bevestigde die vermoedens. De uitstroom van lava was de grootste in historische tijden. Er kwamen gassen vrij die IJsland en ook het Europese continent maandenlang in een blauwe nevel hielden. Giftige fluor en zwavelhoudende gassen verontreinigden het gras op IJsland, waardoor 75% van het daarop grazende vee stierf en uiteindelijk 10.000

mensen door hongersnood omkwamen, eenderde van de bevolking. Benjamin Franklin was tijdens de extreem koude winter van 1783-1784 in Frankrijk en suggereerde dat de fijne assen en gassen die door de eruptie de atmosfeer ingeblazen waren, de zonnestraling daar tegenhielden en zo het extreem koude weer veroorzaakten.

Niet lang daarna, in **1815**, barstte de **Tambora** op het eiland Soembawa in Indonesië uit. Het was één van de grootste vulkaanuitbarstingen in de geschiedenis; het directe dodental was 10.000, maar door de verwoesting door asregens van de rijstvelden op Soembawa en naburige eilanden kwamen daarna nog eens vele tienduizenden mensen om door hongersnood en ziektes. De gassen en assen van de vulkaanuitbarsting beïnvloedden het weer wereldwijd en veroorzaakten hongersnood in Europa en Amerika, waar het jaar 1816 bekend kwam te staan als het jaar zonder zomer met veel zware regenval en sneeuw in juni in New England (USA). Landschapschilders maakten dankbaar gebruik van de ongewone kleuren, fraaie luchten en zonsondergangen die ontstonden door verhoogde aerosolniveaus in de atmosfeer (zie onder). Een bekend voorbeeld is Turner's 'Sunset' gemaakt gedurende een actieve vulkanische periode begin jaren 1830.



*Sunset van J.M.W. Turner (rond 1830, Tate Modern)*

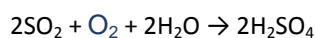
Honderd jaar na Laki, in **1883**, volgde de catastrofale uitbarsting van de **Krakatau** in de Soenda zeestraat tussen Java en Sumatra. De eruptie veroorzaakte een tsunami metloedgolven die de kusten van Java en Sumatra overspoelden en waarbij 36.000 mensen omkwamen. Enorme hoeveelheden assen en gassen bouwden een aswolk, die tot 50 km hoogte kwam en de omgeving verduisterde. De stratosferische aswolk cirkelde daarna rond de wereld en vormde uiteindelijk een dek over 70% van het aardoppervlak. Ook nu weer ontstonden vreemde en intense kleuren en halos rond de zon en maan.



## Inleiding

Wereldwijd daalde de gemiddelde temperatuur in het erop volgende jaar met gemiddeld  $1,2^{\circ}\text{C}$ .

Sindsdien heeft de reusachtige uitbarsting van de **Pinatubo** op de Filippijnen in **1991** dankzij satellietbeelden belangrijke aanwijzingen gegeven over het verband tussen vulkaanuitbarstingen en klimaatverandering. De 34 km hoge as- en gaswolk die de Pinatubo uitgespuwde, reikte tot hoog in de stratosfeer, boven wolken en regenzones. Deze gassen waren bijzonder rijk aan  $\text{SO}_2$ . In de stratosfeer ontstond een nevel van zeer fijne deeltjes (diameter 1 micrometer), een zogenaamde aerosol die bestaat uit uiterst kleine druppeltje zeezout, silicaatstof en zwavelzuur. Zwavelzuur ontstaat door oxidatie van zwaveldioxide:



Deze aerosol onderschept het zonlicht. Hierdoor wordt de stratosfeer opgewarmd, maar koelen de atmosfeer en het aardoppervlak juist af. De aerosol van de Pinatubo had binnen 3 weken de hele aarde omcirkeld, waarna de nevel zich gedurende het erop volgende jaar verder over het aardoppervlak uitbreidde. Dit veroorzaakte drie jaar lang wereldwijd een daling van de temperatuur met gemiddeld  $0,4^{\circ}\text{C}$ .

Het korte-termijn-effect van vulkaanuitbarstingen op het weer en klimaat is dus een temperatuursverlaging, die enkele jaren kan aanhouden. De hoofdrolspeler bij de bovengenoemde vulkanische gebeurtenissen is zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ). Maar daarnaast worden bij vulkaaneruptions ook grote hoeveelheden koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ) in de atmosfeer gebracht. Op langere termijn veroorzaakt deze toename van koolstofdioxide door het broeikas effect waarschijnlijk opwarming van de aarde. De bovengenoemde voorbeelden betreffen enorme, zeer gewelddadige vulkaaneruptions, die wereldwijd gedurende enkele jaren invloed op het klimaat hadden. De Krakatau en de Tambora zijn caldera vulkanen, waarbij een grote, relatief ondiepe magmakamer in korte tijd door zeer explosieve erupties geleegd wordt, waarna het dak boven de lege magmakamer langs randbreuken instort en een reusachtige cirkelvormige instortingskrater, een caldera, ontstaat. De doorsnede van de caldera van de Krakatau is 6 km. Uit de prehistorie zijn nog veel grotere caldera uitbarstingen bekend. Zo is 650.000 jaar geleden voor het laatst de **Yellowstone** vulkaan met een caldera van 20 km doorsnede uitgebarsten. Dergelijke mega-eruptions van supervulkanen hadden een veel grotere uitwerking op het klimaat. Ook nu nog zorgt Yellowstone voor een enorme uitstoot van  $\text{CO}_2$ , die geschat is op ruim 16.000 kiloton/jaar (Werner & Brantley, 2003). Dat is ongeveer 6% van de wereldwijde  $\text{CO}_2$  emissie door vulkanen, die geschat is op 285.000 kiloton/jaar. Daarmee blijft deze supervulkaan echter nog ver achter bij de **Etna**, die met

44.000 kiloton/jaar wereldwijd de hoogste  $\text{CO}_2$  uitstoot heeft; dat is 15% van alle vulkanische  $\text{CO}_2$  emissies.

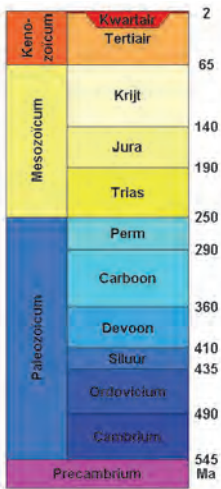
### De Eifel en $\text{CO}_2$

Dicht bij huis, in de Eifel, ligt de **Laacher See** vulkaan. Ook dit is een echte caldera, die nog maar **12.900 jaar** geleden met veel geweld uitbarstte. De krater heeft de vorm van een acht als gevolg van twee ten opzichte van elkaar verschoven eruptiecentra. De twee overlappende kraters hebben een diameter van 1,5 en 2 km. De Laacher See eruptie is één van de laatste en één van de meest explosieve vulkaanuitbarstingen in de Eifel. Evenals Yellowstone is de Laacher See vulkaan niet uitgedoofd en vulkanologen verwachten dat beide vulkanen vroeg of laat opnieuw tot uitbarsting zullen komen. Van voortdurende vulkanische activiteit getuigt het  $\text{CO}_2$  gas, dat afkomstig is uit de aardmantel en langs de randbreuken van de caldera naar boven komt en het water van het kratermeer doet borrelen. Bij de uitbarsting van de Laacher See vulkaan werd ruim  $6 \text{ km}^3$  magma uitgestoten, meer dan bijvoorbeeld bij de geruchtmakende eruptie van Mount St. Helens in 1980 ( $1 \text{ km}^3$ ) en van de Vesuvius in 79 n.Chr. ( $3 \text{ km}^3$ ). De  $\text{CO}_2$  uitstoot, geschat op 2,5 kiloton/jaar, kan zich echter niet meten met Yellowstone. Niet alleen bij Laacher See, maar overal in de twee jonge (Kwartaire) vulkaanvelden van de Eifel komt  $\text{CO}_2$  naar boven, meestal opgelost in mineraalwater, maar soms ook in 'droge' gasbronnen, zogenaamde mofetten. De totale uitstoot van natuurlijk  $\text{CO}_2$  in de Eifel wordt geschat op 750 kiloton/jaar (May, 2002).

Er is nog een tweede parallel te trekken tussen de Yellowstone en de Eifel vulkanen. Yellowstone is vooral beroemd om zijn heetwater geisers, die gevoed worden door infiltrerend grondwater dat door heet magma in de ondergrond onder druk superverhit wordt en periodiek uit de ondergrond omhoog spuit. Het kokende water van de **Old Faithful** geiser van Yellowstone bereikt een hoogte van 56 meter. Ook in de Eifel zijn twee periodiek spuitende geisers. Ze worden echter niet door heet water aangedreven, maar door  $\text{CO}_2$  gas dat koud grondwater met tussenpozen naar boven stuwt. De geiser van Andernach die vlakbij Laacher See in het Rijndal ligt, bereikt ook een hoogte van ca. 50 meter.

# Inleiding

## De geologie van de Eifel in 4 alinea's



De Eifel wordt begrensd door de Rijn en de Moezel en ligt grofweg binnen de vierhoek gevormd door de steden Aken, Bonn, Koblenz en Trier. De Eifel is één van de landstreken op het Rijnmassief. De andere zijn de Hunsrück (zuidelijk van de Moezel) en het Westerwald en de Taunus (oostelijk van de Rijn). Het Rijnmassief, ook wel leisteenplateau genoemd, is een oud plooiingsgebergte. Het bestaat uit gesteenten die 400 miljoen jaar (400 Ma) geleden, in het Onder-Devoon zijn afgezet en 100 Ma later, in het Boven-

Carboon, geplooid en opgeheven werden. In de miljoenen jaren daarna werd het gebergte door verwerking en erosie weer afgebroken en uiteindelijk vrijwel geheel afgevlakt tot een rompsgebergte. Het vormt nu het **Paleozoïsch grondgebergte** van het Rijnmassief (lichtgrijze en blauwgeruite gebieden op onderstaande geologisch kaart).

In het Trias (250 Ma geleden) werd het grondgebergte in de Eifel overdekt door zandige erosieproducten van omringende gebergtes, die in een droog woestijnklimaat werden aangevoerd door af en toe watervoerende rivieren (*wadi's*) en wind. Hernieuwde erosie verwijderde deze tot zandsteen verharde lagen weer grotendeels en alleen in een dalingszone in de Westeifel zijn ze bewaard gebleven. Deze zogenaamde bontzandsteen heeft geen perioden van plooiing en gebergtevorming doorgemaakt, zodat de lagen nog steeds vrijwel horizontaal liggen. Ze vormen het **Mesozoïsch dekgebergte** (gele gebieden).

In het Tertiair en vooral in het Kwartair werd het Rijnmassief opgeheven als randeffect van de Alpiene gebergtevorming verder zuidelijk. Daarbij werden oude breuken gereactiveerd en ontstonden ook nieuwe breuken. Door drukvermindering smolten delen van het gesteente in de mantel en steeg het magma langs de breukvlakken naar het aardoppervlak. Op die manier ontstonden 40-20 Ma geleden in deze streek twee **Tertiaire vulkaanvelden** (paars gekleurd):

- de *Hocheifel* met de Tertiaire Hohe Acht basaltkop (747 m, de hoogste bergtop van de Eifel)
- het *Zevengebergte* ten oosten van de Rijn in het Westerwald.

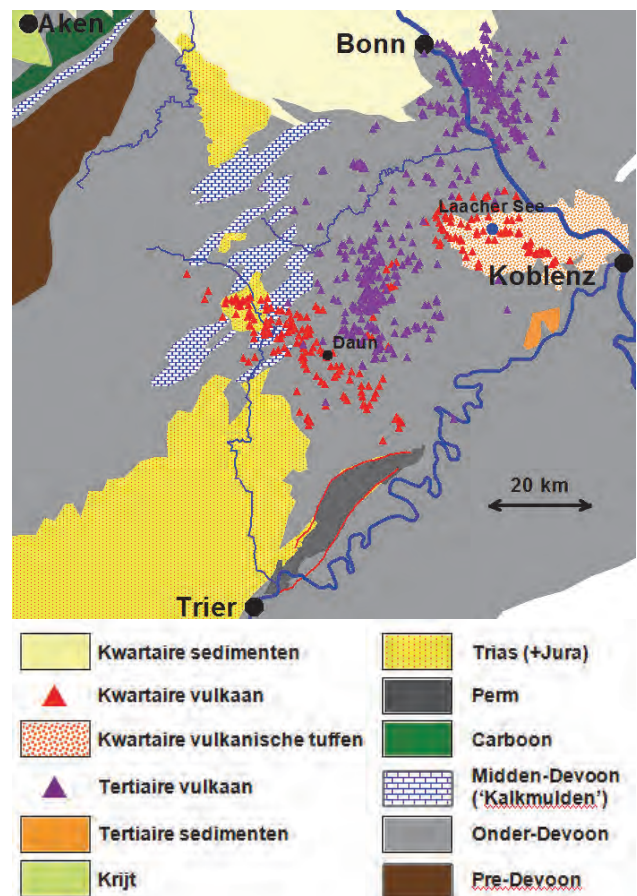
Tientallen miljoenen jaren later ontstonden op dezelfde manier twee **Kwartaire vulkaanvelden** (rood gekleurd):

- het *Westeifel vulkaanveld* met 240 eruptiecentra
  - het *Oosteifel vulkaanveld* met 60 uitbarstingspunten.
- De oudste Kwartaire vulkanen ontstonden 700.000 jaar geleden; de laatste vulkaanuitbarsting vond nog maar

11.000 jaar geleden plaats tijdens het Holoceen (*Ulmener Maar*). Er zijn flinke verschillen tussen de beide Kwartaire vulkaanvelden. In de Westeifel domineren basaltische slakkenkegels, vaak met daaruit gevloede lavastromen en maarvulkanen, waarvan een tiental nog een maarmeer in de krater heeft. In de Oosteifel is in grote magmakamers silica- en alkalirijk magma ontstaan. Een dergelijk 'zuur' magma is zeer taai-vloeibaar (stroperig, viskeus), waardoor het niet als lavastromen uitvloeit, maar in de kraterpijp of krater stolt en zogenaamde lavakoepeles (Engels: *lava domes*) creëert. Door het taai-vloeibare magma kunnen de in het magma opgeloste gassen moeilijk ontsnappen. Daardoor wordt in de loop van de tijd een enorme gasdruk opgebouwd, die uiteindelijk tot zeer gewelddadige en explosieve uitbarstingen kan leiden. Daarbij wordt de magmakamer snel geleegd, waardoor het dak erboven instort en caldera's ontstaan, zoals de *Laacher See vulkaan*.

Kortom, er zijn vier geologische eenheden die de belangrijkste bouwstenen vormen van de Eifel:

- Paleozoïsch grondgebergte
- Mesozoïsch dekgebergte
- Tertiaire vulkaanvelden
- Kwartaire vulkaanvelden



Vereenvoudigde geologische kaart van de Eifel

## Inleiding

Deze eenheden vormen samen met CO<sub>2</sub> gas en mineraalwater de basis voor de opzet van de hier gepresenteerde geologische (wandeling)excursies. Het CO<sub>2</sub> gas in de Eifel is van magmatische oorsprong en afkomstig uit de aardmantel, waar het in magma is opgelost. Het meeste mineraalwater in de Eifel is ontstaan doordat een deel van het CO<sub>2</sub> in grondwater oplost onder vorming van koolzuur (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Dit zuur lost stoffen op uit de nevengeesteen. De minerale bronnen van de Eifel zijn dus gekoppeld aan het Kwartaire vulkanisme. In het hoofdstuk volgend op de inleiding wordt de geologie van de Eifel uitvoeriger besproken. De beschrijvingen bij de excursiepunten verwijzen regelmatig naar deze achtergrondinformatie. In de geologische toelichting, die vanwege het karakter van een excursiegids nog altijd beknopt moet worden gehouden wordt in gele blokken op een aantal onderwerpen wat dieper ingegaan. Aan het eind van de gids is een lijst opgenomen van geologische begrippen.

### Een geologisch bezoek aan de Eifel

Voor geïnteresseerden in geologie, vulkanen en CO<sub>2</sub> is een bezoek aan de Eifel uiterst lonend. Geen ander gebied in Europa is zo toegankelijk gemaakt voor geotourisme als de Eifel. Honderden kilometers georoutes, die deels wandelend of fietsend dan wel per auto kunnen worden gevolgd, zijn uitgezet, bewegwijzerd en op geografische kaarten gemarkeerd. De meer dan 400 ontsluitingen en excursiepunten in de Eifel zijn voorzien van duidelijke en uitgebreide informatieborden, die kunnen worden aangevuld met een bezoek aan de geologische musea en informatiecentra, die in ieder van de deelgebieden van de Eifel aanwezig zijn. Bovendien zijn voor sommige deelgebieden lokale (Duitstalige) excursiegidsen beschikbaar en wordt het Eifelvulkanisme uitgebreid behandeld in een aantal populairwetenschappelijke boeken (zie onder).

Hoogtepunt van de Eifelgeologie is natuurlijk het, deels nog zeer recente, vulkanisme dat in verschillende vulkaantypen en -vormen getoond wordt. In de hier gepresenteerde georoutes wordt het vulkanisme gecombineerd met de andere aspecten van de geologie, zoals de vorming van het Paleozoïsch grondgebied en het Mesozoïsch dekgebied, om de bezoeker een samenhangend beeld te geven van de opbouw van de Eifel. Daarmee kan het ontstaan van het Eifellandschap en het voorkomen daarvan van de verschillende soorten CO<sub>2</sub> houdende minerale bronnen en gasbronnen beter begrepen worden.

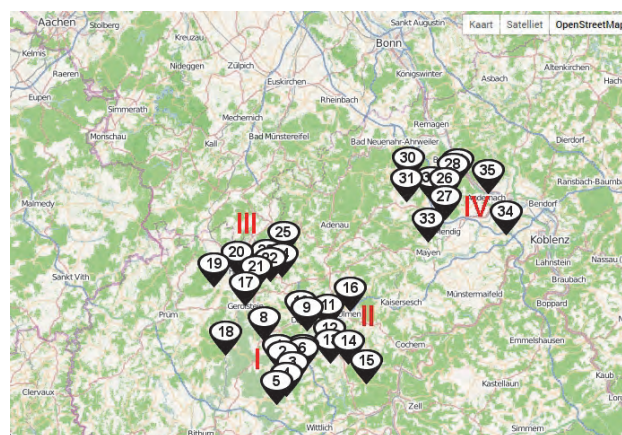
### Op excursie: de Eifel Georoutes

Door de omvang van de 35 uitgebreid beschreven en geïllustreerde georoutes zou een gedrukte uitgave van alle wandelingen een te omvangrijk boekwerk opleveren, i.p.v. een oorspronkelijk beoogde handzame wandelgids. Om die reden is ervoor gekozen de georoutes digitaal te ontsluiten in de vorm van de applicatie **Eifel GeoRoutes** en deze (gratis) beschikbaar te stellen voor zowel iPhone als Android. Het nu gedrukte deel geeft algemene en geologische achtergrondinformatie en is bedoeld als naslagwerk. Daarnaast ondersteunen overzichten en korte samenvattingen van alle routes het maken van keuzes voor bepaalde gebieden of onderwerpen.



**Eifel GeoRoutes** leidt de bezoeker van de Eifel langs 35 geologische excursieroutes; de meeste zijn wandelroutes, enkele zijn korte autotochten, soms gecombineerd met wandeldelen. De excursieroutes zijn opgedeeld in vier deelgebieden, drie (I-III) in de Westeifel (ook Vulkaneifel genoemd) en één (IV) in de Oosteifel:

- I Manderscheid (8 GeoRoutes)
- II Daun-Bad Bertrich (8 GeoRoutes)
- III Gerolstein-Hillesheim (9 GeoRoutes)
- IV Laacher See (10 GeoRoutes)



Overzicht van de 35 GeoRoutes in de 4 deelgebieden.

In elk deelgebied is geprobeerd de meest illustratieve voorbeelden te vinden van elk van de geologische bouwstenen en CO<sub>2</sub> fenomenen, die in dat gebied voorkomen; onderstaande tabel geeft een overzicht. Sommige elementen zijn echter beperkt tot een enkel gebied. Zo komen caldera's en daarbij behorende pyroclastische stroomafzettingen en lavakoepels (fonolietkoepels) alleen in de Oosteifel voor, terwijl Kwartaire maaren grotendeels tot de Westeifel beperkt zijn. Van Tertiaire maaren is slechts weinig overgebleven; hun tufwallen

# Inleiding

zijn ondertussen door erosie geheel verdwenen. Tertiaire basaltkoppen zijn dankzij de harde lava wel deels bewaard gebleven; ze zijn grotendeels geconcentreerd in de Hocheifel die zich bevindt tussen de beide Kwartaire vulkaanvelden. Midden-Devonische kalk- en dolomietgesteenten en Mesozoïsche Bontzandsteen zijn alleen in een N-Z gerichte dalingszone in de Westeifel bewaard

gebleven. Vrijwel al het mineraalwater in de Eifel is koolzuurhoudend waterstofcarbonaat water; alleen in het zuiden bij Bad Bertrich komt sulfaathoudend mineraalwater voor. Op een enkele plaats is het bronwater thermaal (warmer dan 20°C). Onderstaand schema groepeert alle excursieroutes naar geologische eenheid of thema.

	<i>I Manderscheid</i>	<i>II Daun-Bad Bertrich</i>	<i>III Gerolstein-Hillesheim</i>	<i>IV Laacher See</i>	
<b>Kwartair</b>	<b>Geiser (CO<sub>2</sub>)</b>	I-8 Wallenborn		IV-10 Andernach	
	<b>Mofette (CO<sub>2</sub>)</b>		III-1 Gerolstein III-6 Altstraßbachtal	IV-1 Laacher See IV-7 Wehrer Kessel	
	<b>Minerale bron (CO<sub>2</sub>)</b>	I-3 Dreisborn	II-2 Dauner bronnen II-6 Strotzbüsch	III-1 Gerolstein III-3 Duppach III-8 Dreiser Weiher III-9 Dreimühlen	IV-3 Bad Tönisstein IV-4 Brohldal IV-7 Wehrer Kessel IV-9 Bassenheim
	<b>Caldera en pyroclastische stromen</b>			IV-1 Laacher See IV-2 Wingertsbergwand IV-3 BadTönisstein IV-6 Weibern IV-7 Wehrer Kessel	
	<b>Fonolietkoepel</b>			IV-6 Weibern	
	<b>Maar</b>	I-1 Meerfeld	II-1 Dauner maaren II-4 Pulvermaar II-5 Strohn II-8 Ulmen	III-3 Duppach III-8 Dreiser Weiher	
	<b>Slakkenkegel en lavastromen</b>	I-2 Mosenberg	II-5 Strohn II-7 Bad Bertrich	III-1 Gerolstein III-5 Rockeskyll	IV-8 Ettringen IV-9 Bassenheim
<b>Tertiair</b>	<b>Maar</b>	I-7 Eckfeld			
	<b>Basaltkop</b>	I-7 Eckfeld	II-3 Steineberg	III-7 Arensberg IV-5 Steinberg	
<b>Mesozoïsch dekgebergte</b>	<b>Trias Bontzandsteen</b>	I-4 Limmerborn		III-2 Densborn	
		I-5 Salmdal		III-4 Wolfskaul	
<b>Paleozoïsch grondgebergte</b>	<b>Midden-Devoon</b>		III-1 Gerolstein III-9 Dreimühlen		
	<b>Onder-Devoon</b>	I-6 Pantenburg	II-1 Dauner maaren (Lieserdal)	III-2 Densborn	
		I-7 Eckfeld (Lieserdal)	II-7 Bad Bertrich		IV-1 Laacher See IV-3 Bad Tönisstein IV-4 Brohldal

Langs de eerste GeoRoute van elk deelgebied ligt een hooggelegen excursiepunt, dat goed zicht biedt op enkele kenmerkende geologische aspecten van de omgeving. Hier wordt ook een overzicht gegeven van de verschillende geologische bouwstenen en CO<sub>2</sub> emissies die in het deelgebied aanwezig zijn. Bij deze overzichtspunten worden de excursiepunten langs de route in de ruimte en tijd geplaatst door respectievelijk een geologische kaart en een geologische tijdschaal waarin gekleurde vakken de betreffende perioden aangeven. Van iedere excursieroute wordt het startpunt (met parkeermogelijkheid) in coördinaten gegeven, zodat een GPS u ernaar toe kan leiden. Verder staat er een inschatting van de mate van inspanning bij elke wandeling. Na het starten van de app

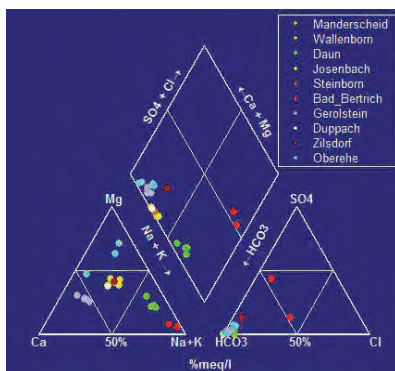
worden de route en excursiepunten (*highlights*) op een OSM (*OpenStreetMap*) kaartje afgebeeld. En de GPS in de smartphone leidt u langs deze route. Bij elke wandeling staat bovendien aangegeven welke 1:25.000 wandelkaart van de 'Eifelverein' extra route ondersteuning kan geven.

De gids geeft ook gedetailleerde informatie over de samenstelling van het mineraalwater in de Eifel. Deze wordt vooral bepaald door het type gesteente in de ondergrond (bijvoorbeeld kalksteen of zandsteen) en het moment waarop opstijgend CO<sub>2</sub> gas grondwater tegenkomt. In de gids wordt dit geïllustreerd door een geleidelijke opbouw van (Piper-)diagrammen van de chemische samenstelling van het mineraalwater. Deze beginnen

# Inleiding

met een enkel punt bij de eerste beschreven bron in een vulkaanveld. Door er de daarop volgende bronnen stapsgewijs aan toe te voegen, ontstaat uiteindelijk een voor het vulkaanveld karakteristiek diagram met specifieke clusters. Dit is afzonderlijk uitgevoerd voor de Westeifel (zie voorbeelddiagram) en de Oosteifel.

Er is niet alleen aandacht voor de natuurlijke uitstoot van CO<sub>2</sub> in de Eifel, ook natuurlijke klimaatverandering op geologische schaal komt aan de orde bij het Tertiaire Eckfelder Maar (I-7) en vooral bij Densborn (III-2), waar paleobodems getuigen van een verandering van een woestijnklimaat in het Trias (Mesozoïcum) naar een regenrijk, tropisch warm klimaat in het Tertiair. Deze veranderingen zijn terug te voeren op de verschuiving van tektonische continentale platen.



## Hoogtepunten

Voor de bezoeker met weinig tijd is een lijstje met hoogtepunten samengesteld. Een bezoek aan deze tien punten omvat voorbeelden van vrijwel alle vulkanische fenomenen van de Eifel:

- Maaren
- Slakkenkegels en lavastromen
- Een caldera
- Pyroclastische stroomafzettingen
- Fonolietkoepels en fonolitische tuffen
- CO<sub>2</sub> houdende minerale bronnen
- CO<sub>2</sub> gasbronnen (mofetten)
- CO<sub>2</sub> aangedreven koudwater geisers.

Daarnaast wordt een groeve in een basaltische kraterpijp van een Tertiaire vulkaan bezichtigd en voert een stukje van een route door het fraaie Lieserdal bij Daun langs ontsluitingen in het geplooid Paleozoïsche grondgebte.

Hoogtepunt	Nr	Onderwerp
Meerfeld	I-1	Overzicht geologie Eifel en maar-vulkaan
Mosenberg	I-2	Slakkenkegels, een kratermeer en een lavastroom
Dauner maaren	II-1	De 'Ogen van de Eifel' en Paleozoïsch grondgebte (Lieserdal)
Duppach	III-3	Verland maar en CO <sub>2</sub> -minerale bronnen
Arensberg	III-7	Tertiaire basaltkop
Laacher See	IV-1	Caldera, CO <sub>2</sub> mofetten en natuursteen
Bad Tönisstein	IV-3	Pyroclastische stromen (Traß) en CO <sub>2</sub> bronnen
Weibern	IV-6	Fonolietuffen en -koepels
Ettringen	IV-8	Basaltische slakkenkegel en lavastromen
Andernach	IV-10	CO <sub>2</sub> geiser

Het laatste excursiepoint is uit het oogpunt van CO<sub>2</sub> het meest spectaculair: de 50 meter hoog spuitende Geysir van Andernach (IV-10). Een bezoek aan de fraaie expositie, waarin alles rondom CO<sub>2</sub> zeer begrijpelijk en illustratief wordt uitgelegd, sluit de geologische excursies in de Eifel passend af.

In deel 2 van deze gids wordt een beknopte samenvatting gegeven van de geologie van de Eifel, die vooral als naslagwerk gebruikt kan worden. In deel 3 wordt een overzicht gegeven van alle Eifel GeoRoutes, zoals die met de app gedownload kunnen worden. Bij elke route wordt een korte kernmerkende beschrijving van de inhoud van de excursie gegeven. Tenslotte worden 4 van de hoogtepunten als voorbeeldwandelingen gepresenteerd, één in elk deelgebied:

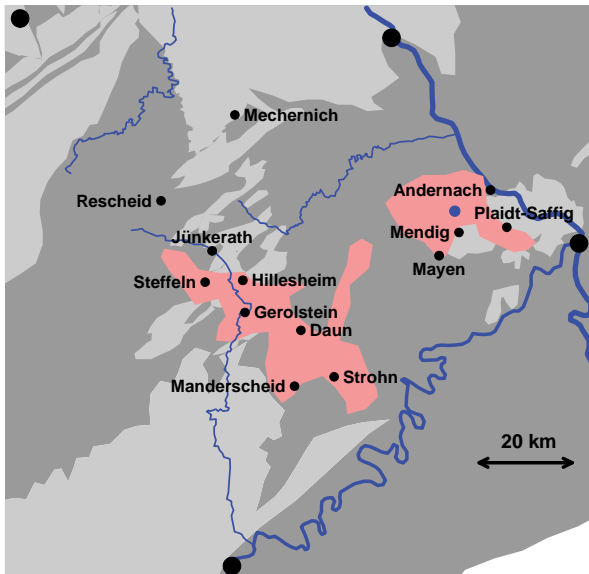
- I-2 Mosenberg
- II-1 Dauner maaren
- III-3 Duppach
- IV-1 Laacher See

In deze papieren versie van de GeoRoutes is de GPS van de smartphone vervangen door een gedetailleerde routebeschrijving. Zoals al aangegeven in bovenstaande tabel, komen in deze 4 wandelingen de hoofdbestanddelen van de geologie van de Eifel aan de orde, namelijk slakkenkegels, maaren, CO<sub>2</sub> in minerale bronnen en mofetten en caldera's.

## Geo-informatiecentra

Naast de talrijke geologische ontsluitingen en minerale bronnen zijn er in de Eifel volop geo-informatiecentra en geologische musea (zie het onderstaande kaartje en het volgende overzicht).

# Inleiding



*Geo-informatiecentra en -musea in de Eifel (geologische kaart met in rood de Kwartaire vulkaanvelden).*

## Deelgebied I: Manderscheid (Westeifel)

Maarmuseum Manderscheid, Wittlicher Str. 11, D-54531 Manderscheid

[www.maarmuseum.de](http://www.maarmuseum.de)

## Deelgebied II: Daun-Bad Bertrich (Westeifel)

Eifel-Vulkanmuseum Daun, Leopoldstraße 9, D-54550 Daun

[www.vulkaneifel.de/eifel-vulkanmuseum/](http://www.vulkaneifel.de/eifel-vulkanmuseum/)

Vulkanhaus Strohn, Hauptstrasse 38, D-54558 Strohn  
[www.vulkanhaus-strohn.de](http://www.vulkanhaus-strohn.de)

## Deelgebied III: Gerolstein-Hillesheim (Westeifel)

Naturkundemuseum Gerolstein, Hauptstraße 42, D-54568 Gerolstein

[www.geopark-vulkaneifel.de/index.php/geomuseen/naturkundemuseum-gerolstein](http://www.geopark-vulkaneifel.de/index.php/geomuseen/naturkundemuseum-gerolstein)

Geologisch-Mineralogische Sammlung Hillesheim, Burgstraße 20, D-54576 Hillesheim

[www.geopark-vulkaneifel.de/index.php/geomuseen/geologisch-mineralogische-sammlung-hillesheim](http://www.geopark-vulkaneifel.de/index.php/geomuseen/geologisch-mineralogische-sammlung-hillesheim)  
Vulkangarten Steffeln, 54597 Steffeln  
[www.steffeln.de](http://www.steffeln.de)

## Deelgebied IV: Laacher See (Oosteifel)

Lava-Dome Deutsches Vulkanmuseum Mendig, Mendig: Brauerstraße 1, D-56743 Mendig  
[www.lava-dome.de](http://www.lava-dome.de)

Vulkanpark Infozentrum Rauschermühle, Rauschermühle 6, D-56637 Plaidt(-Saffig)

[www.vulkanpark.com/infozentrum](http://www.vulkanpark.com/infozentrum)

Eifelmuseum mit Deutschem Schieferbergwerk Genonevaburg, D-56727 Mayen

[www.mayen.de](http://www.mayen.de)

Geysir Erlebniszentrum, Konrad-Adenauer-Allee 40, D-56626 Andernach

[www.geysir-andernach.de](http://www.geysir-andernach.de)

## Overige

Bergbaumuseum Mechernich, Bleibergstrasse 6, D-53894 Mechernich

[www.bergbaumuseum-mechernich.de](http://www.bergbaumuseum-mechernich.de)

Eisenmuseum Jünkerath, Römerwall 12, D-54584 Jünkerath

[www.vulkaneifel.de/eisenmuseumneu/](http://www.vulkaneifel.de/eisenmuseumneu/)

Besucherbergwerk „Grube Wohlfahrt“, Aufbereitung II Nr. 1, D-53940 Hellenthal-Rescheid

[www.bergbaumuseum-mechernich.de](http://www.bergbaumuseum-mechernich.de)

## Verantwoording

Voor de samenstelling van deze gids zijn twee boeken uitgebreid geraadpleegd: “Geologie der Eifel” van Wilhelm Meyer (1994) en “Vulkanismus” van Hans-Ulrich Schmincke (2010a). Het eerste boek is een klassiek standaard- en naslagwerk dat alle aspecten van de geologie van de Eifel uitvoerig behandelt, zowel de geologische gebeurtenissen in het Paleozoïcum en Mesozoïcum, als het vulkanisme in het Tertiair en Kwartair. Het tweede, schitterend geïllustreerde populairwetenschappelijke boek beschrijft op zeer heldere wijze alle aspecten van de moderne vulkanologie, waarbij ook het vulkanisme in de Eifel en de uitbarsting van de Laacher See vulkaan 12.900 jaar geleden diepgaand aan de orde komen.

Veel informatie over de chemie van de minerale bronnen en Mofetten is ontleend aan wetenschappelijke publicaties van Langguth & Plum (1984), Plum (1989) en May (2002) en de gidsen van Stoffels & Thein (2000) en Pfanz (2008).

Daarnaast is veel informatie gebruikt uit de plaatselijke (Duitstalige) geologische gidsen (zie onder) en informatieborden langs de wandelroutes.

## Literatuur en verwijzingen

Blum, W. & Meyer, W., 2006. Deutsche Vulkanstraße; 280 erlebnisreiche Kilometer im Vulkanland Eifel. FloH-Verlag, Geisenheim / Görres Verlag, Koblenz, 244 p.

Eschghi, I., 1999. GEO-Infoband Vulkaneifel. GEO Zentrum Vulkaneifel und Landkreis Daun, 217 p.

Eschghi, I., Kasig, W. & Laschet, Ch., 2000. Begleitbuch zum GEO-Pfad der Verbandsgemeinde Hillesheim/Vulkaneifel, 226 p.

Frey, M.-L., 1996. GEO-Reportagen Route 2: Ablagerungsgesteine und Vulkanismus im Nordwesten des Gerolsteiner Landes. Verbandsgemeinde Gerolstein.

Frey, M.-L. & Schneider, J., 1995. GEO-Reportagen Route 3: Nutzung einer Landschaft aus geowissenschaftlicher Sicht. Verbandsgemeinde Gerolstein.

Frey, M.-L. & Schneider, J., 1997. GEO-Reportagen Route 4: Umweltgeowissenschaftliche Vielfalt und Zeitzeug-

## Inleiding

---

- nisse: Salmwald bis Kylltal. Verbandsgemeinde Gerolstein.
- Frey, M.-L. & Schneider, J., 1998. GEO-Reportagen Route 1: Munterley Plateau von Gerolstein und seine Umgebung. Verbandsgemeinde Gerolstein, 2<sup>de</sup> druk.
- Ippach, P., Mangartz, F., Schaaff, H., 2002. Krater und Schlackenkegel. Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Mainz, 100 p.
- Langguth, H.R. & Plum, H., 1984. Untersuchung der Mineral- und Thermalquellen der Eifel auf geochemische Indikationen. Bundesmin. Forsch. u. Technol., Forschungsber. T 84-019, Karlsruhe, 176 p.
- May, F., 2002. Säuerlinge der Vulkaneifel und der Südeifel. Mainzer geowiss. Mitt. 31, 7-58.
- Meyer, W., 1994. Geologie der Eifel. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 618 p.
- Meyer, W., 2000. Geologischer Führer zum Geo-Pfad "Vulkanpark Brohltal / Laacher See". Verbandsgemeinde Brohltal, Niederzissen.
- Pfanz, H., 2008. Mofetten; Kalter Atem schlafender Vulkane. Deutsche Vulkanologische Gesellschaft e. V., Mendig, 85 p.
- Plum, H., 1989. Genetische Klassifikation und geochemische Interpretation der Mineral- und Thermalwässer der Eifel und Ardennen. Mitt. Ing.- u. Hydrogeol., 34, Aken, 170 p.
- Schmincke, H.-U., 2010a. Vulkanismus. Primus Verlag Darmstadt, 264 p.
- Schmincke, H.-U., 2010b. Vulkane der Eifel; Aufbau, Entstehung und heutige Bedeutung. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 160 p.
- Spielmann, W., 2003. Geologische Streifzüge durch die Eifel; Gesteine prägen Landschaft und Architektur. Rhein-Mosel Verlag, Alf, 127 p.
- Stoffels, M. & Thein, J., 2000. Die Mineral- und Heilquellen der Region Brohltal/Laacher See. Verbandsgemeinde Brohltal, Niederzissen.
- Werner, C. & Brantley, S., 2003. CO<sub>2</sub> emissions from the Yellowstone volcanic system. Geochem. Geophys. Geosyst., Volume 4, Number 7.

## Deel 2: Beknopte geologie van de Eifel

### Inhoudsopgave

1. Geologische processen .....	1
1.1 De aarde.....	1
1.2 Tektonische platen.....	1
1.3 Vulkanisme .....	2
1.4 Gebergtevorming.....	3
1.5 Bloktektoniek.....	4
2. De Eifel.....	5
2.1 Tijd en plaats.....	5
2.2 Het Paleozoïsch grondgebergte.....	6
2.3 Het Mesozoïsch dekgebergte .....	9
2.4 Tertiair vulkanisme .....	12
2.5 Kwartair vulkanisme .....	17
2.5.1 Maarvulkanen.....	17
2.5.2 Slakkenkegels en lavastromen.....	18
2.5.3 Caldera's .....	20
2.5.4 Fonolietkoepels.....	24
2.5.5 Kwartaire vulkanische bouwsteen.....	25
2.5.6 De kans op herhaling .....	25
2.6 CO <sub>2</sub> en mineraalwater.....	28
2.6.1 CO <sub>2</sub> .....	28
2.6.2 Mineraalwater .....	30
2.6.3 Typen mineraalwater.....	31
2.6.4 De naamgeving van mineraalwater in Duitsland.....	33
2.6.5 Gebotteld mineraalwater uit de Eifel .....	34
2.6.6 Mofetten.....	34
3. Verwijzingen .....	36
4. Geologische woordenlijst .....	37

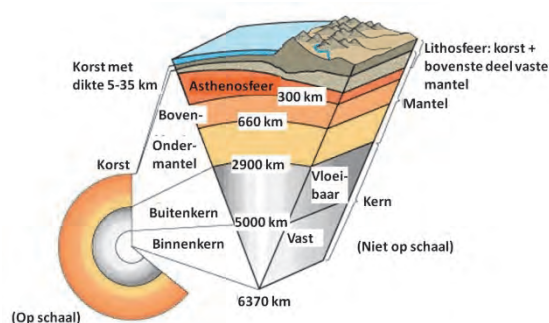
### Leeswijzer

Deel 1 van dit hoofdstuk geeft uitleg over de algemene geologische processen die zorgen voor gebergtevorming, vulkanisme en dergelijke. De gele tekstblokken zijn wat technischer van aard dan de hoofdtekst. Dat geldt ook voor de gele blokken in het tweede deel, dat beschrijft hoe de Eifel is ontstaan en welke verschijnselen van vulkanisme, CO<sub>2</sub> en mineraalwater daarmee samenhangen. Voor lezers die minder vertrouwd zijn met geologische begrippen is achterin de gids een woordenlijst toegevoegd.

## 1. Geologische processen

### 1.1 De aarde

De aarde is opgebouwd uit een aantal schillen. Elke schil heeft zijn eigen chemische en fysische eigenschappen, zoals de mineralogische samenstelling, de dichtheid en stromingscapaciteit. De binnenste schil is de *kern*; daarom heen ligt de *mantel*, die wordt afgedekt door de *korst*.



De opbouw van de aarde (US Geological Survey)

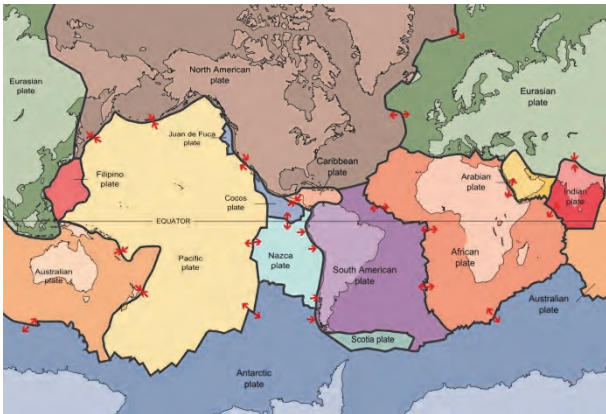
De vaste binnenkern bestaat uit ijzer (Fe) en nikkel (Ni), de vloeibare buitenkern uit ijzer en zwavel (S). De mantel is samengesteld uit magnesium- (Mg) en ijzer- (Fe) silicaten (Si<sub>m</sub>O<sub>n</sub>) en het belangrijkste mantelgesteente is *peridotiet*, dat bestaat uit de mineralen *olivijn* en *pyroxeen*. De mantel wordt op grond van mineralogische verschillen verdeeld in de onder- en bovenmantel. De bovenste 80 km van de mantel is vast en wordt samen met de eveneens vaste aardkorst *lithosfeer* genoemd. Daaronder is de mantel tot 300 km diepte plastisch en wordt *asthenosfeer* genoemd.

### 1.2 Tektonische platen

De lithosfeer is opgebroken in een aantal rigide schollen, de z.g. *lithosferische* of *tektonische platen*, die 'drijven' op de asthenosfeer. Door warmte aangedreven convectiestromen in de mantel zorgen ervoor dat de tektonische platen langzaam over het aardoppervlak schuiven. Deze bewegingen van de aardplaten worden *plaattektoniek* genoemd. Langs sommige plaatgrenzen bewegen de platen naar elkaar toe (*convergentie*), op andere van elkaar af (*divergentie*).

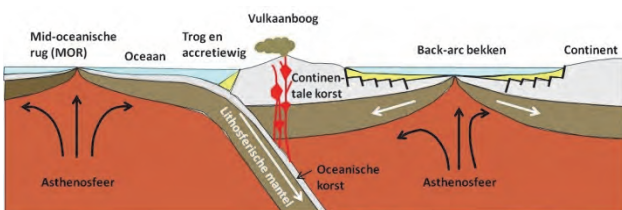


# Geologie van de Eifel



De belangrijkste tektonische platen van de aarde; rode pijltjes geven de bewegingsrichting bij de plaatgrenzen aan (US Geological Survey).

Tektonische platen bestaan uit twee soorten materiaal: oceanische korst en continentale korst. Oceanische korst bestaat voor een groot gedeelte uit het zware basalt, met een dichtheid van  $3,3 \text{ g/cm}^3$ . Continentale korst is lichter; een groot deel is graniet met een dichtheid van  $2,2\text{-}2,9 \text{ g/cm}^3$ . Wanneer een oceanische plaat en een continentale plaat *convergeren* (botsen), dan duikt de zwaardere oceanische plaat onder de lichtere continentale plaat. Dit wordt *subductie* genoemd. Tussen de subducerende plaat en het continent ontstaat een *diepzeetrog*. Deze processen doen zich voor op veel plaatsen rondom de Pacifische Oceaan. De subducerende plaat duikt diep de mantel in. Met toenemende diepte wordt het gesteente steeds verder opgewarmd. Daardoor wordt het plastisch vervormbaar en lichter en kan het weer opstijgen naar het aardoppervlak. Door de afnemende druk zal daarbij het gesteente gedeeltelijk smelten (zie onder: mantelpluimen).

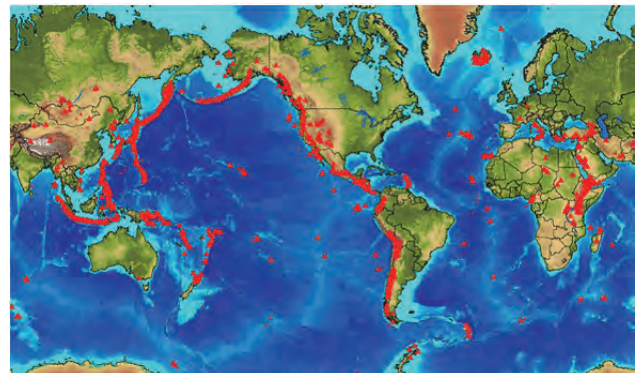


Subductie van een oceanische onder een continentale plaat (naar Northwestern University, Illinois).

## 1.3 Vulkanisme

Bij subductie smelten delen van het gesteente al in de bovenste delen van de mantel, op dieptes van zo'n 80 à 100 km. Dat komt door een verlaging van de smeltemperatuur door de aanwezigheid van water. Dit water wordt met de naar beneden duikende plaat meegevoerd in de sedimenten die zijn afgezet op de basaltische lagen. Het gesmolten gesteente stroomt omhoog en verzamelt zich in magmakamers in de continentale korst, waarna het vandaar uit vulkaanuitbarstingen teweegbrengt. Een bekend voorbeeld van dit *subductie vulkanisme* is de

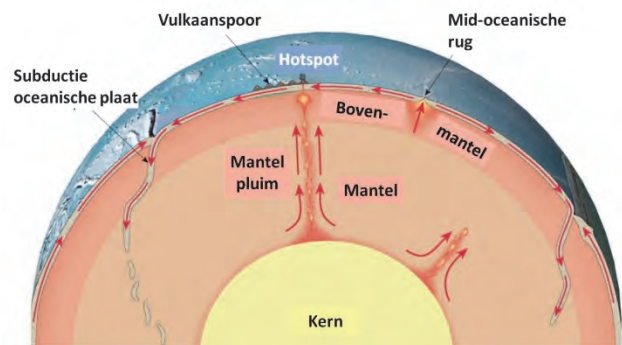
'Ring of Fire', die is samengesteld uit een groot aantal vulkanen en vulkaanbogen (*volcanic arcs*) rondom de Pacifische Oceaan.



Actieve vulkanen in de wereld (rood) met de 'Ring of Fire' rond de Pacifische Oceaan (Smithsonian Institution).

Een tweede type vulkanisme doet zich voor op plaatsen waar de convectiestromen het basaltische gesteente van de oceanische platen weer terug naar het aardoppervlak voeren. De uitgestroomde gestolde basalt vormt hier mid-oceanische ruggen op de bodem van de oceanen. De toevoer van basalt drijft de oceanische tektonische platen hier uit elkaar (*divergentie*) en voegt daar nieuwe oceanische korst aan toe. Een voorbeeld van een dergelijke spreidingszone is de *Mid-Atlantische rug*, waar de Euraziatische plaat en de Noord Amerikaanse plaat en de Afrikaanse plaat en de Zuid Amerikaanse plaat uit elkaar worden gedreven. De meeste eruptiecentra langs deze *vulkanische oceanische ruggen* liggen diep onder de zeespiegel, maar op sommige plaatsen bereikt het vulkanisme de oppervlakte, bijvoorbeeld op de Azoren en IJsland.

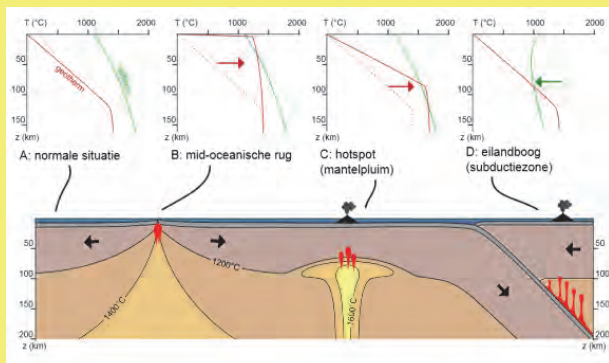
Een derde type vulkanisme is niet gebonden aan de tektonische plaatgrenzen en wordt veroorzaakt door gedeeltelijk gesmolten gesteente, dat opstijgt vanuit de diepere delen van de ondermantel. Deze *mantelpluimen* vormen aan het aardoppervlak *hotspots*, waar oceanische of continentale *intraplaat vulkanen* worden gevormd. Voorbeelden van de eerstgenoemde zijn de vulkanen van Hawaï; een voorbeeld van het continentale type is de Yellowstone caldera in de Verenigde Staten.



Hotspot vulkanisme boven mantelpluim (US Geological Survey).

## Drie typen vulkanisme

Het onderstaande schematische profiel en de bijbehorende grafieken verduidelijken de drie prototypes van vulkanisme op aarde (Woudloper, 2010).



(Woudloper, 2010; Wikimedia)

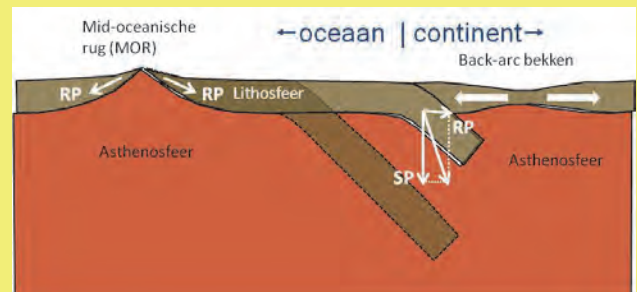
De horizontale as van de grafieken geeft de temperatuur weer en de verticale as de diepte in de aarde. De groene lijn is de *solidus*, de grens tussen de vaste fase en de (gedeeltelijk) vloeibare fase van het gesteente. Links van de lijn is al het gesteente gestold; rechts ervan gaat het in toenemende mate smelten. Aan het aardoppervlak begint mantelgesteente (*peridotiet*) te smelten bij 1100°C. Dieper in de aarde wordt het smeltpunt hoger als gevolg van de toenemende druk. De rode lijn is de *geothermische gradiënt* die de verhouding aangeeft tussen de temperatuur van het mantelgesteente en de diepte. In de normale, *niet vulkanische situatie (grafiek A)* ligt de temperatuur van het gesteente tot een diepte van 150 km ver onder de *solidus* en is het gesteente dus vast. Op de *mid-oceanische ruggen (grafiek B)* stijgt hete (1200-1400°C), plastische basaltische lithosfeer naar het aardoppervlak. Bij dieptes van minder dan 40 km ligt deze temperatuur hoger dan de *solidus*, zodat het opstijgende gesteente gedeeltelijk smelt en basaltische lava uit de zeebodem kan stromen. Uit de ondermantel opstijgende *mantelpluimen (grafiek C)* zijn nog enkele honderden graden heter, waardoor het gesteente al aan de ondergrens van de lithosfeer (ca. 80 km) gedeeltelijk smelt. Bij *subductie vulkanen (grafiek D)* wordt water met de sedimentbedekking van de subducerende oceanische plaat mee de diepte in getransporteerd. Dit zorgt voor een aanzienlijke verlaging van de *solidustemperatuur*. Het gevolg is dat ook hier het gesteente op dieptes van 80 – 100 km gaat smelten.

## 1.4 Gebergtevorming

Bij de subductie van een oceanische plaat ontstaan rekrachten langs de randen van de continentale plaat, waardoor hier een smal, langgerekt bekken ontstaat, een *back-arc* bekken. Zandige en kleiige erosieproducten van het continent worden door rivieren naar het bekken getransporteerd en vullen het bekken, zodat daar een delta- of waddenmilieu ontstaat. Zolang de subductie van de oceanische plaat voortduurt houden de rekrachten aan, waardoor het bekken langzaam daalt. Als de daling gelijke tred houdt met de sedimentatie kunnen de sedimentpakketten in de loop van miljoenen jaren enorme diktes bereiken. In diepere, verder van het continent

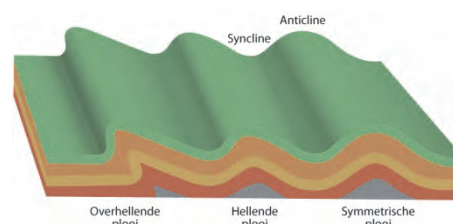
## Back-arc bekken

Gebergtevorming (*orogenese*) is het directe gevolg van de botsing (*collisie*) tussen twee continentale tektonische platen. Maar het proces begint al vele miljoenen jaren eerder tijdens de subductiefase, waarbij een zwaardere oceanische plaat onder een lichtere continentale plaat schuift. Daarbij ontstaat namelijk langs de rand van het continent een smal, langgerekt bekken, dat langzaam daalt. Vroeger, vóór de ontwikkeling van de theorie van de plaattektoniek in de jaren zestig van de 20<sup>ste</sup> eeuw, werd dit een *geosynclinaal* bekken genoemd. Omdat de zwaartekracht een verticale kracht (*SP = slab pull*) op de duikende plaat uitoefent, die groter is dan de duwende horizontale kracht (*RP = ridge push*) van de spreidende plaat verschuift het ombuigingspunt van de plaat in de richting van de oceaan; dit wordt *roll-back* genoemd. Hierdoor ontstaan rekrachten aan de randen van de continentale plaat, waardoor een *back-arc* bekken wordt gevormd tussen de subductievulkanen en het continent. (zie ook 1.2 Tektonische platen)

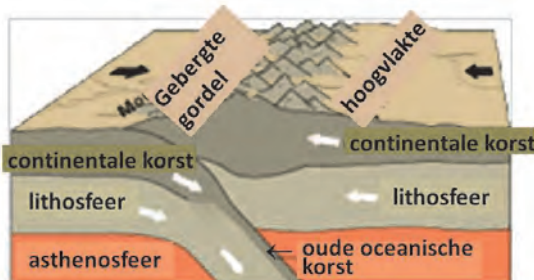


(naar Beunk & de Vries, ©2000 Stichting Geologische Activiteiten)

gelegen delen van het bekken wordt ook kalksteen afgezet. De subductie komt tot een eind, wanneer continentale korst op de duikende plaat de subductiezone bereikt. Dan maakt subductie plaats voor botsing tussen twee continentale platen, die qua dichtheid gelijkwaardig zijn (*continentale collisie*). Het dikke pakket van verharde sedimenten in het smalle *back-arc* bekken tussen de continenten wordt hierdoor samengeperst. Door de hoge druk kunnen de zandsteen- en kleisteenlagen plastisch worden vervormd en geplooid. Het geplooid laagpakket wordt vervolgens opgeheven tot een plooiingsgebergte, zoals de geologisch nog jonge Alpenketen, die in het Tertiair werd gevormd. Behalve plooiing treedt ook veelvuldig breukvorming op en worden door de grote druk gesteentelagen over elkaar heen geschoven. Gebergtevorming of *orogenese* is het proces waarbij gesteentelagen sterk vervormd en vervolgens opgeheven worden.



*Plooiing van plastische gesteentelagen (naar: University of Waikato, New Zealand)*



Gebergtevorming door botsing van continentale platen en plooiing en opheffing van sedimentpakketten uit een back-arc bekken (US Geological Survey). Foto: plooiing in de Wildhauser Schafberg (Alpstein) in de Zwitserse Alpen.

Er zijn in de geologische geschiedenis sinds het Cambrium (545 miljoen jaar geleden) in Europa drie belangrijke perioden geweest van gebergtevorming. De oudste, de *Caledonische orogenese* had plaats tijdens het Siluur (450 miljoen jaar geleden). Daarop volgde in het Carboon (300 miljoen jaar geleden) de *Hercynische* of *Variscische orogenese* en in het Tertiair (30 miljoen jaar geleden) de *Alpiene orogenese*. Door vertering en erosie zijn vooral de oudere gebergten sterk geërodeerd en afgebroken; grote delen daarvan zijn nu bedekt door jongere sedimenten. Overblijfselen van de *Caledonische orogenese* zijn grote delen van Scandinavië, Schotland en Ierland. *Hercynisch* vervormde massieven liggen vooral in Midden-Europa, bijvoorbeeld het Rijnmassief, het Zwarte Woud en de Vogezes, het Centraal Massief en grote delen van het westelijk Iberisch Schiereiland. Naast de Alpen zijn ook de Pyreneeën, de Betische Cordillera in het zuiden van Spanje en de Atlas in Noord-Afrika ontstaan tijdens de *Alpiene orogenese*.

De Eifel is een onderdeel van het Rijnmassief, dat tijdens de Hercynische orogenese een plooiingsgebergte werd en daarna weer grotendeels is afgebroken en afgevlakt.

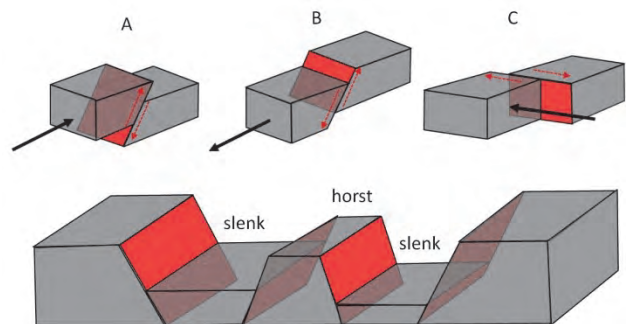


Gebergtegordel	Terrane	Terrane	Terrane
Alpien	Noord-Amerika	Afrika	Phanerozoïsche sedimenten
Hercynisch	Siberië	Arabië	Profielspuren
Caledonisch	Baltica / Europa		

Tektonische kaart van Europa met de Caledonische, Hercynische en Alpiene gebergtegordels (Pfiffner, 2009).

## 1.5 Bloktektoniek

Botsing (*collisie*) van continentale lithosferische platen heeft niet alleen de vorming van plooiingsgebergten tot gevolg. Collisie veroorzaakt ook, tot op grote afstand van de plaatgrenzen, verticale en horizontale bewegingen van blokken van de aardkorf, die door min of meer verticale breukvlakken van elkaar zijn gescheiden. Dergelijke blokken kunnen afmetingen tot honderden kilometers hebben. Horizontale druk leidt daarbij tot opwelling en rek tot inzinking. Een blok dat vergeleken met nevenstaande blokken is opgeheven wordt *horst* genoemd en een gezonken blok *slenk*.



Verticale en horizontale blokbewegingen langs steilstaande breukvlakken (rood). A: opschuiving, B: afschuiving, C: horizontaalverschuiving. Combinaties van afschuivingen creëren horsten en slenken (onder).

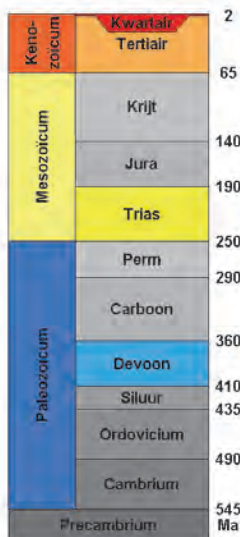
In de Westeifel is een voorbeeld te vinden van een zone die is achtergebleven bij de verticale bewegingen van het Rijnmassief die volgden op de plooiingsfase van de Hercynische orogenese. In deze Noord-Zuid lopende zone zijn Midden-Devonische kalksteen en dolomiet in synclinale structuren bewaard gebleven. Vooral tijdens het Tertiair en het Kwartair onderging het Rijnmassief sterke verticale tektonische bewegingen als gevolg van

de Alpiene orogenese. Het grootste deel werd sterk opgeheven, maar de Rijndalslenk bleef daarbij achter.

## 2. De Eifel

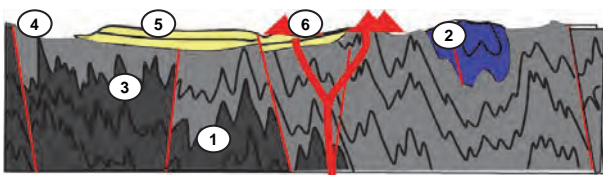
### 2.1 Tijd en plaats

Geologie is de studie van de geschiedenis van de aarde. En bij geschiedenis horen jaartallen, die de gebeurtenissen in de tijd plaatsen. De geschiedenis van de aarde duurt nu al 4,6 miljard jaar en een geologische tijdschaal omvat dan ook tijdvakken van vele miljoenen jaren. De grenzen tussen die eenheden markeren belangrijke veranderingen, die vaak wereldwijd plaatsvonden.



De geologische tijdschaal; in kleur de belangrijkste tijdvakken voor de geologie van de Eifel.

De geologie maakt gebruik van zowel relatieve als absolute tijdsbepaling. Bij relatieve tijdsbepaling wordt de volgorde van geologische processen vastgesteld: wat is het eerst gebeurd (ouder) en wat volgde later (jonger)? In het onderstaande voorbeeld van een eenvoudig geologisch profiel, dat model kan staan voor de geologische geschiedenis van de Eifel, was de volgorde: (1) afzetting van sedimentaire lagen, waarbij oorspronkelijk jongere lagen (2) op oudere liggen; (3) plooiing, breukvorming en opheffing van die laagopeenvolging; (4) verwerking, erosie en uiteindelijk afvlakking; (5) hernieuwde sedimentatie, waarbij horizontale lagen op de geplooiide formaties komen te liggen; (6) vulkanisme, dat door de oudere afzettingen heen breekt.



De volgorde van geologische gebeurtenissen in de Eifel.

Ook fossielen kunnen voor relatieve ouderdomsbepaling worden gebruikt, omdat ze deel uitmaken van een organische evolutie. Planten en dieren hebben slechts gedurende bepaalde, kortere of langere perioden van de aardhistorie bestaan. Zo zijn *brachiopoden* (armpotigen, schelpdieren) vooral karakteristiek voor het Paleozoïcum; in de Eifel worden deze fossielen dan ook vaak gevonden in de Devonische lagen.



Fossiele brachiopoden markeren Devonische lagen in de Eifel.

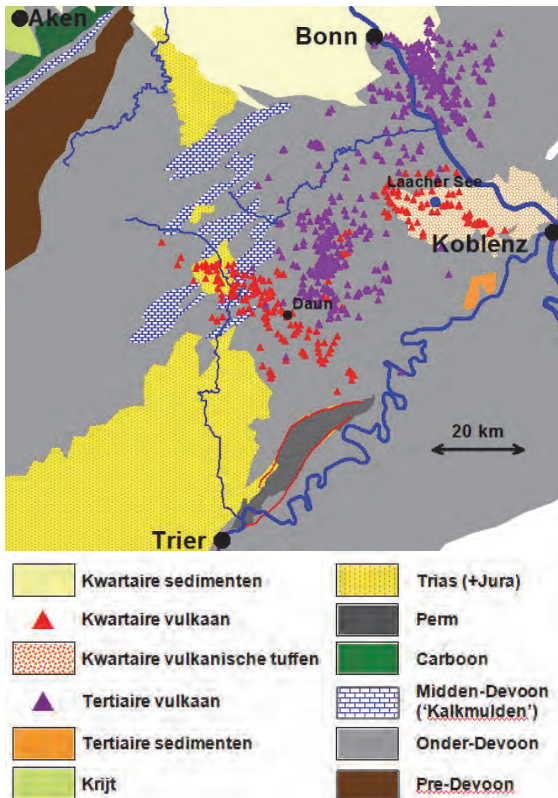
De absolute ouderdom van gesteenten, zoals in miljoenen jaren (Ma = Mega annum) is aangegeven naast de tijdschaal, kan worden bepaald door radiometrische datering met behulp van isotopen (bv. het verval van  $^{40}\text{K}$  naar  $^{40}\text{Ar}$  in veldspaat- en micakristallen met een halveringstijd van  $1,2 \times 10^9$  jaar). Veruit de meeste gesteenten in de Eifel zijn afkomstig uit één van 4 volgende periodes, die in de bovenstaande geologische tijdschaal door een kleur gemarkeerd zijn:

- I het Devoon in het Paleozoïcum
- II het Trias in het Mesozoïcum
- III het Tertiair
- IV het Kwartair

Dit in het oog houdend, is het niet moeilijk om een beeld te krijgen van de geologische geschiedenis van dit gebied. Daarbij moet in acht worden genomen dat in de tussenliggende perioden andere processen plaatsvonden die vooral afbraak tot gevolg hadden van eerder gevormde gesteentepakketten door verwerking en erosie.

Naast de geologische tijdschaal is de geologische kaart een tweede belangrijk instrument van de geoloog waarmee de verschillende gesteenteformaties van diverse ouderdom in de ruimte worden geplaatst. Onderstaande vereenvoudigde geologische kaart laat zien waar in de Eifel de gesteenten uit de verschillende periodes voorkomen.

# Geologie van de Eifel

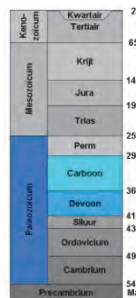


Vereenvoudigde geologische kaart van de Eifel.

Hieronder volgt nu een beknopte beschrijving van de geologische ontwikkelingen in de Eifel tijdens de genoemde periodes.

## 2.2 Het Paleozoïsch grondgebte

Door de subductie van een oceanische plaat onder een noordelijker gelegen continentale plaat ontstond in het **Onder-Devoon** (410 Ma geleden) langs de zuidrand van het continent een smal, langgerekt en ondiep zeebekken (*back-arc* bekken), dat geleidelijk daalde. Rivieren transporteerden zandige en kleiige erosieproducten van een oud gebergte op de continentale plaat naar dit bekken, waarin zich een delta- en waddegebied ontwikkelde. Verder zuidelijk, in de huidige Moezelstreek, was het zeebekken wat dieper. De afzetting van zand en klei hield gelijke tred met de daling van het bekken, waardoor het sedimentpakket een totale dikte van meer dan 5000 m bereikte. Door de druk van het laagpakket verhardden de sedimenten zich in de loop van lange tijd tot zandsteen, schalie of leisteen.



### Sedimentaire gesteenten

*Klastisch* sediment en sedimentair gesteente is opgebouwd uit brokstukjes van verveerd en geërodeerd ouder gesteente en wordt ingedeeld naar korrelgrootte (diameter):

Diameter (mm)	Sediment	Sedimentair gesteente
256	blokken	conglomeraat (afgerond) of breccie (hoekig)
64	keien	
2	grind	
0,064	zand	zandsteen
0,002	silt	schalie, leisteen
	klei	

### Zand en zandsteen

Zanden (0,064-2 mm) hebben vaak een lange transportweg afgelegd, zodat hoofdzakelijk harde, verweringsresistente mineralen als kwarts ( $\text{SiO}_2$ ) zijn overgebleven. De poriënruimte tussen de korrels biedt plaats aan vloeistoffen of gassen. Los sediment zoals zand kan in de loop der tijd, als het bedekt en samengedrukt wordt door een bovenliggend pakket van later afgezette sedimenten, verharden tot een vast (*geconsolideerd*) gesteente, zandsteen. Cementatie van het sediment komt tot stand mede onder invloed van grondwater, waaruit mineralen zoals calciet ( $\text{CaCO}_3$ ), silica ( $\text{SiO}_2$ ) en ijzerhydroxides en -oxides (o.a. het roodkleurende hematiet  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) worden afgezet in de poriën tussen de korrels waardoor deze aaneengekit worden. Dit proces wordt diagenese genoemd. De Onder-Devonische zandsteen in de Eifel, afkomstig uit het *back-arc* bekken, bevat naast kwarts ook veldspaat en kleimineralen, is daardoor donker gekleurd en wordt vaak als *grauwacke* aangeduid.

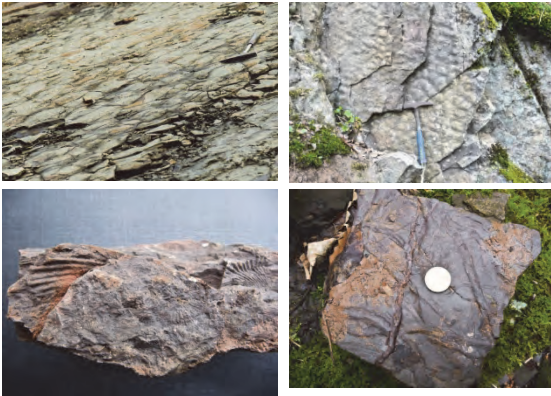
### Klei, schalie en leisteen

Klei bestaat uit zeer kleine (<0,002 mm), plaatvormige kristallen van kleimineralen (o.a. illiet, montmorilloniet en kaolinit), die zijn ontstaan door chemische verwerking van gesteenten. Aan deze natrium-, kalium-, calcium- of magnesiumhoudende aluminiumsilicaten zit hydroxide (OH) gebonden. Door een negatieve lading wordt ook water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in het kristalrooster opgenomen, waardoor kleien makkelijk kunnen zwellen en veel water kunnen bergen. De *porositeit* van klei is dus groot (45-90%), maar door de structuur van dicht op elkaar gestapelde plaatjes van de kleimineralen is de doorlatendheid (*permeabiliteit*) daarentegen zeer klein, waardoor kleilagen vrijwel ondoorlatende barrières voor grondwaterstroming vormen. Door druk van bovenliggende sedimentpakketten verhardt klei tot schalie, waarbij de kleimineralen deels worden omgezet in eveneens plaatvormige mica's (zoals chloriet, muscoviet) en het gesteente een splijtbaarheid in dunne laagjes (*cleavage*, zie onder) verkrijgt. Daarnaast bevat schalie ook zeer fijnkorrelige kwarts. Bij nog grotere druk en verhoogde temperatuur tijdens gebergtevorming worden kleien schalielagen gerekristalliseerd tot donkere, zeer fijnkorrelige leisteen. Dit bestaat uit vooral kwarts en mica's, met de kenmerkende perfect-gladde slijtingslaagjes. Deze mineralogische omzetting is een lichte graad van *metamorfose*.

Bewijs voor een ondiep waddenmilieu wordt geleverd door fossiele schelpenbanken en primitieve (spo-

## Geologie van de Eifel

ren)planten, versteende graafsporen van wormen en fossiele golfribbelpatronen en krimp-scheuren.



Fossiele krimp-scheuren (linksboven), golfribbels (rechtsboven), schelpafdrukken (linksonder) en graafsporen (rechtsonder) in Onder-Devonische schalie en zandsteen.

Tijdens het volgende tijdvak, het **Midden-Devoon** (390 miljoen jaar geleden) breidde de zee zich uit. Hierdoor kwam de kust verder van de huidige Eifel te liggen en werd daar minder zandig en kleiig sediment aangevoerd. In de wat diepere zee werd kalk afgezet en kregen mariene organismen, zoals koralen en sponsdieren (*stromatoporen*), de kans om kalkriffen te bouwen, vergelijkbaar met het huidige Grote Barrière Rif bij Australië. De kern van een fossiel kalkrif bestaat uit een stevig aaneengegroeid bouwsel van bijvoorbeeld koraalkolonies en wordt gekenmerkt door een gebrek aan gelaagdheid. Midden-Devonische kalksteenafzettingen ( $\text{CaCO}_3$ ), deels omgezet in dolomiet ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) door magnesiumrijk grondwater, zijn bewaard gebleven in een serie bekkens ('*kalksynclines*') in een Noord-Zuid lopende tektonische depressie in de Westeifel (zie de blauw geruite zones op de geologische kaart in paragraaf 2.1).

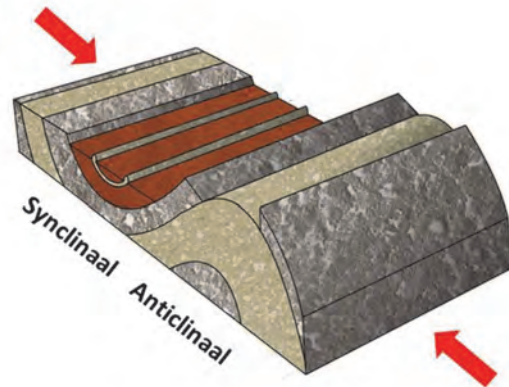


Midden-Devonische massieve kalksteen- en dolomietbanken van het Paleozoïsch grondgebergte bij Gerolstein.

In het **Boven-Carboon** (300 miljoen jaar geleden) bereikte het continentale deel van de subducerende

plaat de rand van het zeebekken. De subductie maakte plaats voor een botsing tussen twee oercontinenten. Het tussenliggende zeebekken werd in elkaar geschoven en de Devonische gesteentelagen werden intensief geplooid en opgeheven. Deze periode van gebergtevorming wordt *Hercynische orogenese* genoemd.

Onder hoge druk wordt gesteente plastisch en kan het in plooien vervormd worden. Naar boven gesloten plooien worden *anticlinalen* of *anticlines* genoemd en naar beneden gesloten plooien *synclinalen* of *synclines*.

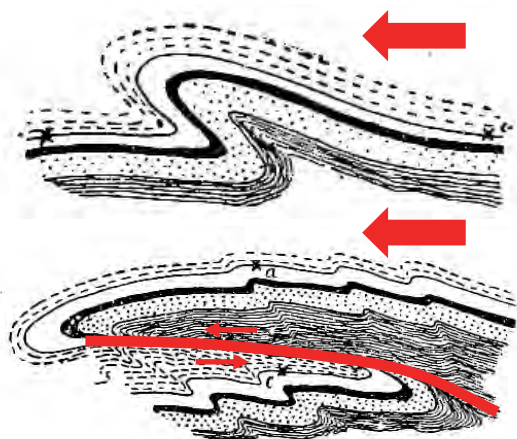


Een synclinale en anticlinale plooï (Wikimedia, Gašper Šubelj, 2006).

In de Eifel kwam de grootste druk uit het zuidoosten met als gevolg dat de plooïen asymmetrisch zijn en naar het noordwesten hellen (zie figuur in paragraaf 1.4). Bij toenemende druk gaan de plooïen overhellen en uiteindelijk ontstaan breukvlakken. Hierlangs schuift de bovenliggende flank omhoog en vormt een overschuiving.

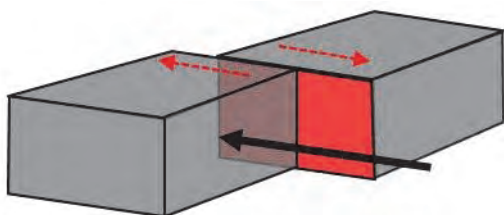


Asymmetrische anticlinale plooï in de Eifel met een vlakliggende ZO flank en een steil staande NW flank.



Boven: *asymmetrische, overhellende ploi*. Onder: *overschuiving langs breukvlak (rode lijn)* (naar Heim, 1908).

Naast plooien en overschuivingen hebben zich tijdens de Hercynische gebergtevorming verticale breuken gevormd, waarlangs horizontale verschuivingen plaatsvonden.



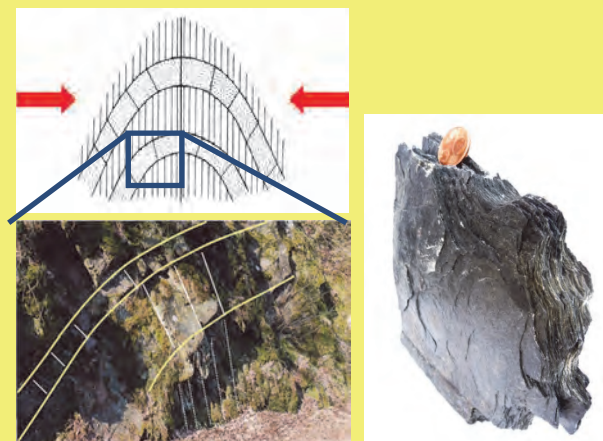
*Horizontaal verschuiving.*

Bij deze verticale breukzones, die tot honderden meters diep in de aardkorst reiken, overheerst een NW-ZO richting. Deze oude Paleozoïsche breukzones zijn in het Tertiair en het Kwartair bij de opheffing van het Rijnmassief gereactiveerd. Magma heeft van deze breukzones gebruik gemaakt om zich een weg naar het aardoppervlak te banen, zodat plaatselijk een aantal vulkanen langs een rechte lijn in NW-ZO richting liggen. Dergelijke spleet-erupties hebben bijvoorbeeld plaats gevonden bij Manderscheid, waar een aantal slakkenkegels en een maar in deze richting oplijnen. Maar ook op regionale schaal is deze richting duidelijk te herkennen in de oriëntatie van de Kwartaire vulkaanvelden van de Oost- en vooral de Westeifel (rode driehoekjes op de geologische kaart in paragraaf 2.1).

Tijdens de plooiing van het Paleozoïsche grondgebte zijn onder invloed van gerichte druk splijtvlakken in het gesteente ontstaan, die vaak een hoek maken met de grensvlakken tussen de sedimentlagen. Kleiige lagen zijn daarbij omgezet in donkere dunplaatige leisteen. Grote delen van het Rijnmassief bestaan uit leisteen; vandaar dat dit gebied vaak ook met leisteengebergte of -plateau (Duits: *Schiefergebirge*) wordt aangeduid. Leisteen komt vooral veel voor in de zuidelijk van de Moezel gelegen *Hunsrück* en is daar in veel steengroeven ontgonnen voor dakbedekking en gevelversiering.

### Splijting (*cleavage*)

Bij hoge druk en temperatuur kunnen mineralen in een gesteente door rekristallisatie worden omgezet in andere mineralen. Dit wordt *metamorfose* genoemd. Als daarbij, zoals bij gebergtevorming, een gerichte druk een hoofdrol heeft gespeeld, zijn de mineralen in metamorfe gesteenten duidelijk gericht. In fijnkorrelige en vooral in kleiige sedimentgesteenten ontstaan daarbij gladde, evenwijdige en dicht op elkaar liggende splijtvlakken, waarbij kleimineralen worden omgezet in plaatvormige kristallen, zoals mica's (biotiet) en chloriet. Deze oriënteren zich langs vlakken loodrecht op de heersende druk en daarmee parallel aan het assenvlak van de ploi. Langs deze vlakken kan het gesteente gemakkelijk splijten en men noemt deze vlakken dan ook splijtvlakken. Voor dit proces van splijting wordt vaak de Engelse term *cleavage* gebruikt. Pure kleilagen worden zo metamorf omgezet in leisteen, dat een perfecte, zeer dunplaatige splijting vertoont dankzij de parallelle oriëntatie van de mica's, loodrecht op de drukrichting. Dit wordt *leisplijting* genoemd. Splijting in grovere, meer silt of zand houdende, bossere sedimentlagen wordt *breuksplijting* of *fracture cleavage* genoemd. Splijtvlakken maken in het algemeen een hoek met de oorspronkelijke gelaagdheid.



Links: *anticlinale ploi met splijting; grove divergerende breuksplijting in de zandige lagen (witte lijnen) en fijne verticale leisplijting in de kleiige lagen (witte stippellijnen). Gele lijnen markeren laaggrenzen.* Rechts: *dungelaagde cleavage in leisteen van het Rijnmassief.*

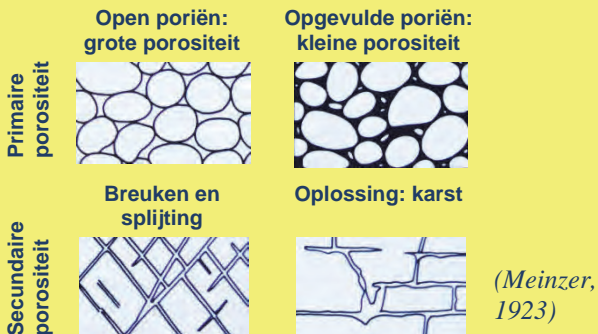
In de sterk verkitte en geconsolideerde Paleozoïsche zandsteen en schalielagen bepalen breukzones en splijtvlakken in belangrijke mate de doorlatendheid van het Paleozoïsch grondgebte. Ze spelen daarom een hoofdrol bij de stroming van vloeistoffen en gassen in de ondergrond van de Eifel.

# Geologie van de Eifel

## Secundaire porositeit en permeabiliteit

Poriën tussen de korrels van zand of zandsteen verschaffen het gesteente een *primaire* porositeit en permeabiliteit (doorlatendheid, zie 2.3). Na verloop van tijd kan een gesteente deze primaire eigenschappen geheel of gedeeltelijk verliezen door:

- Opvulling van de poriën door klei of door neerslag van calciet ( $\text{CaCO}_3$ ) of silica ( $\text{SiO}_2$ ).
- Samendrukking van het sediment door later afgezette, bovenliggende gesteentepakketten.
- Rekristallisatie door hoge druk en temperatuur bij gebergtevorming.



Dit is ook gebeurd met de Paleozoïsche gesteenten in de Eifel. Latere processen hebben dit gesteente een *secundaire* porositeit en permeabiliteit gegeven:

- Vorming van breuken en *diaklazen*. *Diaklazen* zijn barsten in een gesteente waarlangs geen of nauwelijks verplaatsing heeft plaatsgevonden. Naast tektonische krachten is vooral vorstwerking de oorzaak van het ontstaan van *diaklazen*.
- Vorming van splijtvlakken (*cleavage*).
- Oplossing van bijvoorbeeld kalksteen waarbij spleten en holtes ontstaan. Dit wordt *karst* genoemd.



Secundaire porositeit door breuken (linksboven, rode lijn), oplossing (rechtsboven), splijting (onder, gele lijnen) en diaklazen (rechtsonder, witte lijnen); oranje lijnen: geplooide laaggrenzen.

Voorbeelden van secundaire porositeit en permeabiliteit in het Paleozoïsch grondgebergte van de Eifel zijn breuken, diaklazen en splijtvlakken in de Onder-Devonische zandsteen en leisteenlagen en karst in de Midden-Devonische kalksteen- en dolomietlagen.

Aan het eind van de Hercynische orogenese werd het plooingsgebergte als één groot blok opgeheven. Niet alle delen stegen in gelijke mate, waardoor het Rijnmassief in een aantal tektonische blokken werd opgedeeld. Zo bleef in de Westeifel een Noord-Zuid lopende zone achter die een steeds duidelijkere depressie ging vormen.

De afbraak van het Hercynische plooingsgebergte onder invloed van verweringskrachten als water, wind en temperatuur begon vrijwel direct na zijn ontstaan, waarbij duizenden meters sediment weer werden afgevoerd. Gedurende miljoenen jaren stond het grootste deel van de Eifel en omgeving bloot aan erosie zodat uiteindelijk slechts een zogenaamd *rompgebergte* overbleef, waarin de bovenliggende Midden-Devonische kalksteenlagen alleen in komvormige bekkenstructuren (*synclines*) bewaard zijn gebleven. Dit *rompgebergte* vormt nu het *Paleozoïsch grondgebergte* van de Eifel. Pas aan het begin van het Mesozoïcum, in het Trias, zou in de Eifel opnieuw sedimentatie plaatsvinden.

## Paleozoïsche bouwsteen

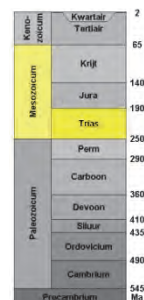
Onder-Devonische zandsteen is in de Eifel op grote schaal in de bouw toegepast. Leisteen is vooral gebruikt als dakbedekking en gevelversiering. Midden-Devonische kalksteen wordt in de Eifel ontgonnen voor de productie van ongeblijste kalk ( $\text{CaO}$ ) en cement.



Links: de burchtruïnes van Manderscheid (12<sup>e</sup> eeuw) liggen in het diep in het Paleozoïsch grondgebergte ingesneden Lieserdal; ze liggen bovenop en zijn gebouwd met Onder-Devonische zandsteen (foto Gertrudis Araque). Rechts: decoratieve Onder-Devonische leisteen.

## 2.3 Het Mesozoïsch dekgebergte

De grens tussen het Paleozoïcum en het daarop volgende tijdperk, het Mesozoïcum (250 Ma geleden) markeert een belangrijke klimatologische en biologische overgang. Wereldwijd stierven massaal veel planten- en diersoorten uit. Vrijwel al het Paleozoïsche leven in zee en het overgrote deel van het leven op land verdween. Het maakte plaats voor vooral dinosau-





## Geologie van de Eifel

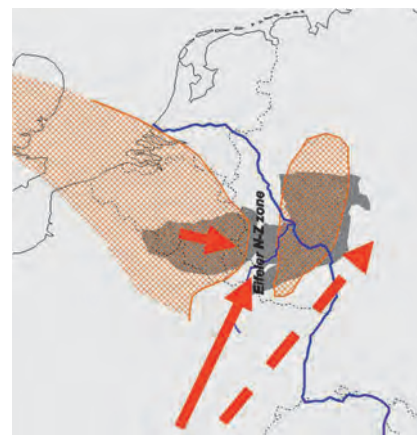
riërs op land en in zee schildpadachtige reptielen en een in een schelp opgerolde, uitgestorven soort inktvissen, ammonieten. Een van de vele hypothesen voor de oorzaak van deze grootste massa-extinctie in de geschiedenis van de aarde schrijft een belangrijke rol toe aan de gevolgen van intens, grootschalig basaltisch vulkanisme in onder andere Siberië. Daarbij kwamen grote hoeveelheden schadelijke gassen vrij, vooral koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ), zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ) en chloor (Cl). Door de zure aërosolen die deze gassen vormden, mengsels van zeer fijne vloeistofdruppels en gas, veranderde het klimaat in grote delen van de wereld in een warm en in de regel droog woestijnklimaat. Zo ook in de streken rond de Eifel, waar, in het vroegste tijdvak van het Mesozoïcum, het **Onder-Trias**, slechts enkele, door spaarzame regenbuien gevoede rivieren en meren permanent water bevatten. Aan de oevers daarvan leefden kleine sauriërs en amfibieën en groeiden naaldbomen en varens.






Woestijnachtige omstandigheden en incidenteel watervloeiende, verwilde rivieren in Kirgizië (foto Marli Miller, <http://marlimillerphoto.com/geopix.html>)

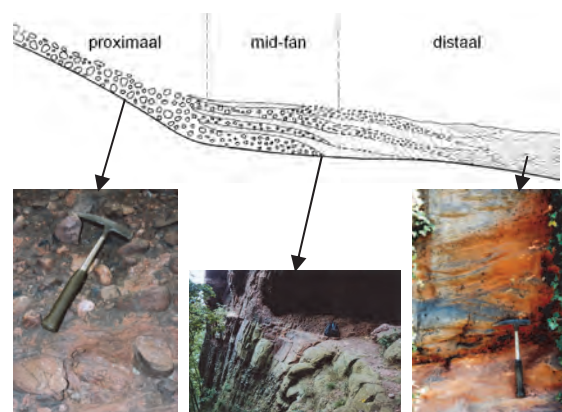
Door de grote dagelijkse temperatuurverschillen in de woestijnen verweerden dikke toplagen van de Paleozoïsche gebergtes van het huidige Europa. Wijdvertakte, verwilderde rivieren en wind vervoerden de zandige verwerkingproducten naar lagere delen van het afgevlakte grondgebied, zoals de Noord-Zuid lopende inzinking in de Westeifel. Het meeste naar de Eifel getransporteerde sediment is afkomstig van het Centraal Massief in Frankrijk. De uit het zuiden komende, met sediment beladen rivieren splitsten zich in een hoofdstroom door een slenk ten oosten van het Rijnmassief en een nevenstroom door de Noord-Zuid zone in de Eifel. De aangevoerde sedimenten waren vooral zanden die tijdens het lange transport door veelvuldige botsing tussen de zandkorrels onderling, goed afgerond zijn. Daarnaast werd ook erosiemateriaal vanuit de nabije Paleozoïsche massieven zoals de Ardennen naar het sedimentatiebekken van de Eifel aangevoerd. Langs de relatief steile hellingen van de Noord-Zuid zone ontstonden puinwaaiers ('alluvial fans') met veel grof, eveneens door riviertransport afgerond materiaal. In de loop der tijd zijn deze sedimenten verkit tot zeer grove, rolkeien-rijke conglomeraten, die vooral

zijn afgezet en bewaard gebleven in de Noordeifel. Op grotere afstand van de bekkenrand worden de conglomeraten afgewisseld door zandsteenlagen met veel kiezelstenen en interne scheve gelaagdheid (*cross-bedding*) terwijl in het centrum van het bekken zandsteenlagen met trogvormige scheve gelaagdheid overheersen. Scheve gelaagdheid in de Trias afzettingen van de Eifel getuigt van sedimenttransport door rivieren, maar plaatselijk ook door wind. Onder invloed van het (semi)aride klimaat werd ijzer geoxideerd waardoor deze afzettingen uit het (Onder-)Trias de oranje-roodbruine kleur kregen waaraan hun naam is ontleend: **Bontzandsteen**. In de miljoenen jaren die volgden, verkitte en verhardde het zand tot zandsteen. Het bindmiddel van bontzandsteen is, naast ijzeroxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), vooral silica ( $\text{SiO}_2$ ).



-  Huidige Rijnmassief (+Ardennen)
-  In het Trias opgeheven Paleozoïsche massieven
-  Aanvoerrichting sedimentstromen

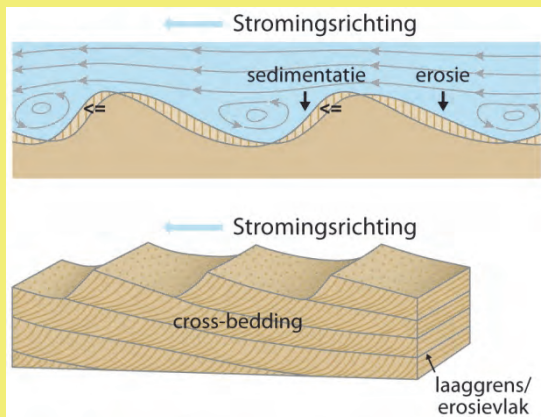
De herkomst van de Bontzandsteen afzettingen in de Eifel gedurende het Trias (naar Meyer, 1994).



Boven: schematische dwarsdoorsnede (McGowen & Groat, 1971) door een bekken met bontzandsteen afzettingen met langs de randen puinwaaiers met zeer grove conglomeraten (foto links), gevolgd door laagafwisselingen van conglomeraten met zandsteenbanken (foto midden) en in het dal zandsteenlagen met (trogvormige) scheve gelaagdheid (foto rechts).

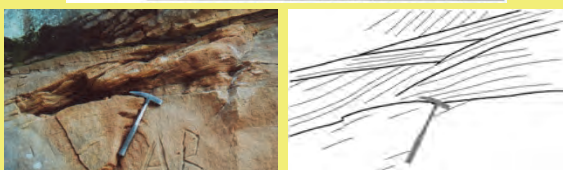
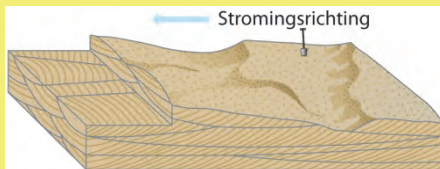
## Scheve gelaagdheid (*cross-bedding*)

Sedimentaire structuren ontstaan door verschillende vormen van gelaagdheid en zijn vaak indicatoren voor de transportwijze en het afzettingsmilieu van het sediment. Scheve gelaagdheid of *cross-bedding* is één van de meest voorkomende sedimentaire structuren in zandsteen. Deze ontstaan bij transport door wind of stromend water en zijn daarmee kenmerkend voor wind- (*aeolische*) en rivier- (*fluvia-tiele*) afzettingen en voor ondiepe getijdenafzettingen dicht bij de kust. Turbulente (=wervelende) stroming veroorzaakt stroomribbels of duinen. Aan de vlakke, stroomopwaarts gerichte loefzijde worden deze duinen voortdurend geërodeerd, terwijl het losgemaakte sediment samen met nieuw aangevoerde sedimentdeeltjes op schuine vlakken aan de steile, stroomafwaarts gerichte lijzijde wordt afgezet. Door veranderingen in de sedimentaanvoer ontstaan de grensvlakken tussen de individuele scheefstaande laagjes. Zo ontstaat een serie inwendige, schuin afgezette dunne laagjes (*laminae*), die een hoek maken met de hoofd-gelaagdheid. Een laag met scheve gelaagdheid wordt van aangrenzende lagen meestal gescheiden door erosievlakken.



(schema boven: naar © 2014 Frank Wagemans)

Variaties in stromingsrichting, bijvoorbeeld door verlegging van de stroombeddingen in verwilderde rivieren veranderen de hoeken van de scheve laagjes in lengtedoorsneden (evenwijdig aan de stromingsrichting). Bij duinvorming verandert de hoek door wisselende windrichtingen. Trogvormige scheve gelaagdheid in verwilderde rivieren kan worden waargenomen in dwarsdoorsneden, loodrecht op de stromingsrichting.



Scheve gelaagdheid in een bontzandsteen ontsluiting bij Gerolstein (schema boven: naar Harms et al., 1975)

Door latere opheffing vergezeld door hernieuwde erosie zijn in de Eifel grote delen van de bontzandsteen weer verdwenen. Bontzandsteen is vooral bewaard gebleven aan beide uiteinden van de Noord-Zuid lopende inzinkingszone en vormt daar de Triasdriehoek in de Noordeifel en de Trierer Bocht in het zuiden (zie de gele gebieden op de geologische kaart in paragraaf 2.1). Daartussen zijn erosieresten van de bontzandsteen overgebleven bij Hillesheim en Stadtkyll. Omdat de bontzandsteenlagen sinds hun afzetting alleen onderhevig zijn geweest aan verticale blokbewegingen in het Tertiair en Kwartair, zijn deze gesteenten niet of nauwelijks vervormd en liggen ze nog in nagenoeg horizontale positie als een deken over het geplooidde grondgebied heen (*Mesozoïsch dekgebergte*, zie schematische doorsnede door de Eifel op pag. 5).



Horizontale bontzandsteenlagen, zoals in deze voormalige groeve bij Neidenbach in de Trierer Bocht, vormen het Mesozoïsch dekgebergte van de Eifel.

Ook de primaire porositeit en permeabiliteit van de bontzandsteen is weinig aangetast. Dankzij een goede bergingscapaciteit en doorlatendheid is de bontzandsteen het belangrijkste grondwaterreservoir (*aquifer*) van de Eifel.

## Mesozoïsche bouwsteen

De makkelijk bewerkbare bontzandsteen is in de Eifel op grote schaal als decoratieve bouwsteen toegepast; maar ook veel wegkruisen en sommige bronfittingen van minerale bronnen zijn uit bontzandsteen vervaardigd.

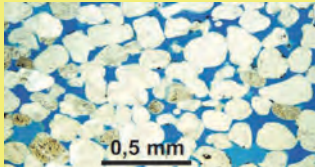


Toepassingen van bontzandsteen; links: bouwsteen met scheve gelaagdheid (Alte Bahnhof Oberbettingen); rechts: bronfitting (Römerbrunnen Wassenach).

## Primaire porositeit en permeabiliteit

De *porositeit* is de verhouding tussen het poriënvolume en het totaal volume en is maatgevend voor de totale hoeveelheid water of gas die een sedimentaire laag kan bergen. De *permeabiliteit* is de doorlatendheid voor stromend water of gas in het sediment en is afhankelijk van de ruimtelijke verbinding tussen de poriën. Het poriënvolume hangt af van de ruimtelijke relaties van de korrels tot elkaar, de sedimentaire textuur, die vooral wordt bepaald door:

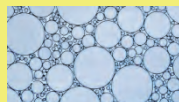
- De korrelgrootteverdeling (sortering)
- De korrelvorm (mate van afronding)



(©Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover)

De mate van sortering wordt bepaald door het transport. Hoe langer het transport door wind of water, des te beter de sortering. Een goed gesorteerd sediment heeft een grote porositeit; in een slecht gesorteerd sediment vullen kleinere korrels de ruimtes tussen de grotere op met als gevolg een kleinere porositeit. De porositeit van onverhard zand ligt meestal tussen 20% en 40%. Ook de mate van afronding wordt door het transport bepaald, waarbij veelvuldige harde botsingen in wind de korrels meer afrondt dan transport in water.

### Goede sortering (32%) Slechte sortering (17%)



(Davis & DeWiest, 1970)

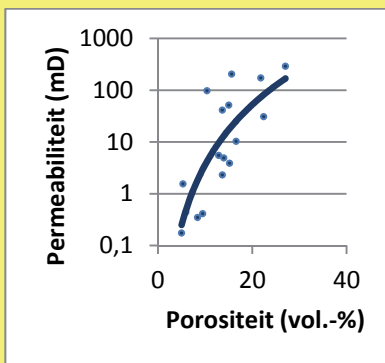
Afgerond

Hoekig



(US Geological Survey)

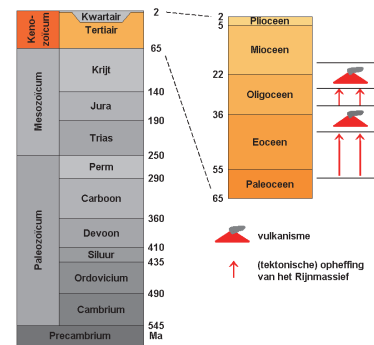
Door cementatie en consolidatie wordt de poriënruijme tussen de korrels en daarmee de porositeit en permeabiliteit van het gesteente gereduceerd. De porositeit van geconsolideerde zandsteen ligt meestal tussen 10% en 20%. De permeabiliteit, die vaak wordt uitgedrukt in millidarcy (mD), neemt meestal toe met de porositeit. Dat blijkt ook uit gegevens van fluvia-tiele (rivier) bontzandsteenafzettingen in Thüringen:



(naar gegevens van Beyer et al., 2012)

## 2.4 Tertiair vulkanisme

Net zoals het begin van het Mesozoïcum, wordt het eind ervan, 65 miljoen jaar geleden, gemarkeerd door een catastrofale uitsterving, waarbij o.a. de dinosauriërs



geheel verdwenen. De oorzaak van deze catastrofale gebeurtenis wordt meestal toegeschreven aan een grote meteorietinslag. Bij de inslag op het schiereiland Yucatan in Mexico ontstonden enorme stofwolken van verpulverd gesteente, die rondom de aarde cirkelden en het klimaat veranderden. Hiervan getuigen dunne kleilaagjes met een zeer hoog gehalte aan het op aarde zeldzame metaal *iridium*, die uit de stofwolken zijn afgezet en over de hele wereld zijn teruggevonden. Maar ook grote hoeveelheden uitgestroomde lava, vergelijkbaar met die aan het begin van het Mesozoïcum kunnen door de uitstoot van vulkanische gassen (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl) een doorslaggevende factor zijn geweest voor het uitsterven van fauna en flora. Een nieuw tijdperk, het Kenozoïcum, brak aan. In de eerste periode van dat tijdperk, het Tertiair, was het Rijnmassief, en daarmee de Eifel, een laagvlakte met bijna geen dalen. Onder invloed van een vochtig en warm, nagenoeg tropisch klimaat was het Paleozoïsch grondgebergte onderhevig aan intensieve en diepreikende verwerking, waardoor schalies werden omgezet in een tientallen meters dikke kleiige bodem (*kaolien*).



Fossielen van palmen (lengte 13 cm) en krokodillen (bovenkaakbeen, lengte 10 cm), gevonden in afzettingen van het Tertiaire Eckfelder Maar getuigen van het tropische klimaat tijdens het Vroeg-Tertiair (Lutz et al., 1998).

Verder zuidelijk dreef de Afrikaanse lithosferische plaat tegen de Euraziatische plaat, waardoor in de loop van het Tertiair het Alpiene plooingsgebergte werd gevormd. Noordelijk van de Alpen veroorzaakte dit krachtenveld vooral verticale tektonische bewegingen, waarbij de oude Hercynische massieven van Midden-Europa, waaronder het Rijnmassief, werden opgeheven. Het Tertiair kende twee tekto-

# Geologie van de Eifel

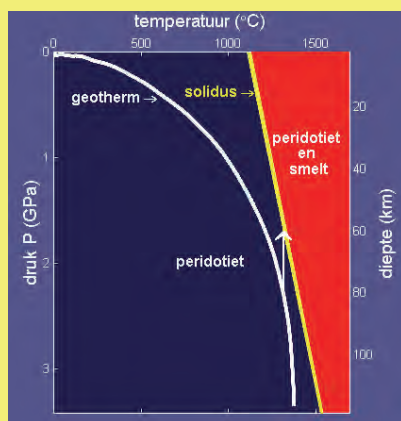
nische fasen (zie geologische tijdschaal): één in het Vroeg-Tertiair (vooral in het Eoceen) en één in het midden van het Tertiair (Oligoceen). Beide tektonische periodes werden gevolgd door intensief vulkanisme. Vulkanisme ontstaat doordat in de ondergrond gesteente smelt en magma wordt gevormd. Eén van de mechanismen die een gesteente doet smelten is verlaging van de druk (zie geel blok onder). Er zijn verschillende processen denkbaar die hiertoe aanzetten; in de laatste paragraaf ('De kans op herhaling') wordt hier nader op ingegaan.

## De vorming van magma door drukverlaging

Een vast gesteente kan (gedeeltelijk) smelten door:

- Een verhoging van de temperatuur (T)
- Een verlaging van de druk (P)
- Een verandering van de chemische samenstelling, zoals door toevoeging van een vloeistof- (water) of gasfase (CO<sub>2</sub>)

Langs de horizontale as van de onderstaande grafiek is de temperatuur weergegeven en langs de verticale as de druk met toenemende diepte in de aarde. De gele lijn is de *solidus*, de grens tussen de vaste fase (donkerblauw gebied) en de (gedeeltelijk) vloeibare fase (rood gebied) van het gesteente, hier mantelgesteente (*peridotiet*, dat grotendeels uit de mineralen *olivijn* en *pyroxeen* bestaat). Links van de lijn is al het gesteente gestold; rechts van de lijn gaat het in toenemende mate smelten. De gele lijn laat zien dat met toenemende diepte (druk) een hogere temperatuur nodig is om het gesteente te doen smelten.

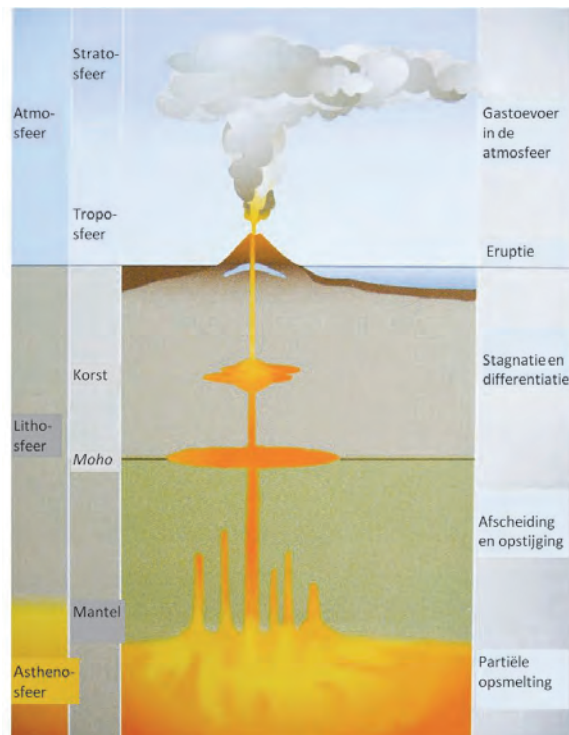


(naar Schmincke, 2010)

De witte lijn is de *geotherm* die de temperatuur van het gesteente tegen de diepte aangeeft. In de normale, niet vulkanische situatie ligt de temperatuur van het gesteente onder de *solidus* en is het gesteente dus vast. Een afname van de druk in de aardmantel (verticale pijl) zorgt voor een verlaging van de smeltemperatuur waardoor een deel van het mantelgesteente smelt en magma wordt gevormd. De druk in de aardmantel kan afnemen door verticale opheffing van delen van de aardkorst (zie bloktektoniek, paragraaf 1.5) of door het uitrekken en daardoor dunner worden van de continentale korst van het Rijnmassief (zie ook hoofdstuk "De kans op herhaling"). Het magma dat zo ontstaat door het smelten van mantelgesteente (*peridotiet*) heeft een basaltische samenstelling (zie ook paragraaf 1.3, grafiek Woudloper)

Gebruik makend van oude en nieuwe breukzones in de ondergrond steeg gesmolten gesteente, magma, vanuit de aardmantel door het grondgebergte naar het aardoppervlak, waar het vulkanen vormde. De eerste periode van Tertiair vulkanisme, die 42 miljoen jaar geleden begon, concentreerde zich in het centrale deel van de Eifel, de **Hocheifel**. In 8 miljoen jaar tijd ontstonden er ongeveer 290 eruptiecentra, waaronder de *Hohe Acht*, met 747 m de hoogste berg van de Eifel en de *Nürburg*. Weer 8 miljoen jaar later werden, in de tweede actieve periode, in het oostelijk deel van het Rijnmassief de vulkanen van het **Zevengebergte** gevormd, die zo'n 60 eruptiecentra omvatten, waaronder de *Drachenfels*.

Bij vulkanisme stijgt gesmolten gesteente met een temperatuur van 1100-1300°C vanuit de bovenste delen van de aardmantel naar het aardoppervlak. Magma's afkomstig uit de mantel zijn silicaatsmelten, met als hoofdbestanddelen silicium (Si) en zuurstof (O). Magma dat direct afkomstig is uit de aardmantel heeft een basaltische (basische of mafische) samenstelling, die wordt gekenmerkt door een relatief laag gehalte aan silica (SiO<sub>2</sub>) en alkalimetalen (Na, K) en een hoog gehalte aan magnesium (Mg) en ijzer (Fe). Daardoor heeft basaltisch magma een grote vloeibaarheid (lage viscositeit). In de meeste gevallen stijgt magma niet rechtstreeks naar het aardoppervlak, maar verzamelt het zich in magmakamers op dieptes van enkele tientallen kilometers, bijvoorbeeld op de grens aardmantel/korst (de *Moho*), maar ook veel ondieper, tot op enkele kilometers diepte in de aardkorst. Van daaruit bereikt magma via de kraterpijp het aardoppervlak, waar het kraters vormt.



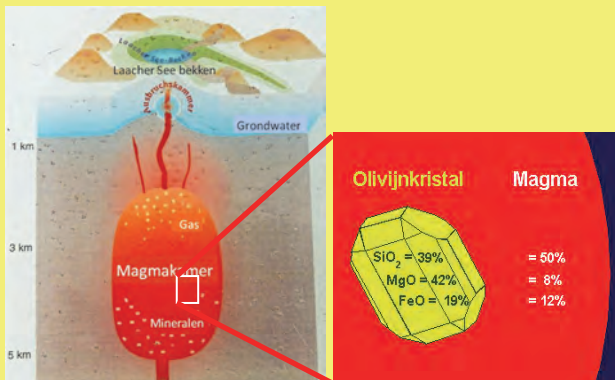
Magma en vulkanisme (Schmincke, 2010)

# Geologie van de Eifel

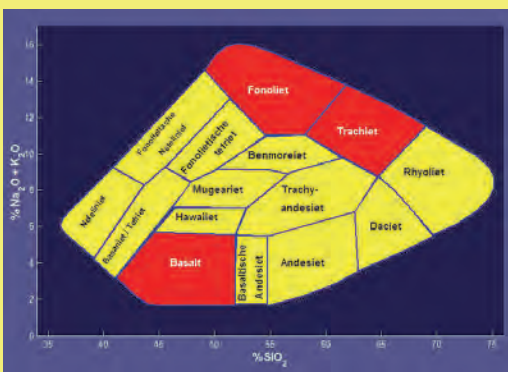
In magmakamers koelt het oorspronkelijk homogene, basaltische magma af en kristalliseert het. Hierdoor blijven restsmelten over met een andere chemische samenstelling. Dit wordt **magma-differentiatie** genoemd. Dit fundamentele vulkanische proces ligt ten grondslag aan de grote verscheidenheid aan vulkanische activiteiten, explosiviteit en gesteentetypen.

## Magma-differentiatie

In magmakamers verandert een oorspronkelijk homogeen basaltisch magma door afkoeling en kristallisatie in restsmelten met een andere chemische samenstelling. Mineralen in een magma stollen bij verschillende temperaturen. Bij de afkoeling kristalliseren eerst die mineralen uit, die relatief arm aan silica en rijk aan ijzer en magnesium zijn, zoals olivijn en pyroxeen. Door hun grotere gewicht zakken deze eerst-uitgekristalliseerde kristallen (*eerstelingen* of *fenocrysten*) naar de bodem van de magmakamer, waar zo een kristalrijk magma wordt gevormd. Het nog niet gekristalliseerde restmagma heeft nu een andere, silica- en/of alkalirijkere ('zuurder', zo aangeduid vanwege kiezelduur:  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) samenstelling gekregen. Uit het oorspronkelijke, basaltische uitgangsmagma ontstaat bij deze magma-differentiatie een reeks van steeds verder gedifferentieerde gesteenten. Een karakteristieke differentiatiereeks van vulkanische gesteenten van midden op een tektonische plaat gelegen (*intraplate*) vulkanen loopt van basalt via andesiet naar fonoliet of trachiet.



(Vulkanpark GmbH, Koblenz)



Classificatie van vulkanische gesteenten gebaseerd op silica- en alkaligehalte (Cox et al., 1979). Rode velden: in de Eifel veel voorkomende vulkanische gesteenten.

Tijdens de geleidelijke kristallisatie en stolling in de magmakamer wordt het overblijvende magma langzamerhand armer aan ijzer (Fe) en magnesium (Mg) en rijker aan silica ( $\text{SiO}_2$ ) en alkalimetalen (Na, K). Uit deze restmagma's kristalliseren gesteenten, die zijn samengesteld uit veel lichter gekleurde mineralen, zoals veldspaat. *Trachiet* is een in de Tertiaire vulkaanvelden van de Eifel wijdverbreid vulkanisch gesteente, dat op deze wijze gevormd is. Een voorbeeld in de Hocheifel is de lichtgekleurde trachiet van de *Selberg* bij *Quiddelbach*, die duidelijk contrasteert met de donkere Tertiaire basalt van de nabij gelegen *Hohe Acht*. De silica-rijke, taai-vloeibare (strokerige, *viskeuze*) trachietlava van de Selberg is niet uitgestroomd maar heeft vlakbij het aardoppervlak een koepelvormig lichaam gevormd. Hierin is de lava is afgekoeld en zijn door inkrimping dikke, vooral 5- en 6-zijdige zuilen ontwikkeld.

mafisch (*basisch*)  
(donkergekleurd)

intermediair

felsisch (*zuur*)  
(lichtgekleurd)

Fe, Mg

Na, K, (Al),  $\text{SiO}_2$

basalt

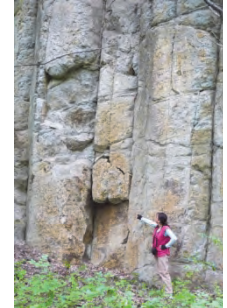
→ fonoliet

→ trachiet

trachiet



Tertiaire basalt op de top van de Hohe Acht (Hocheifel).

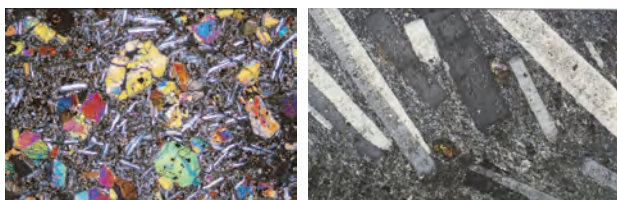


Tertiaire trachiet op de Selberg (Hocheifel).

Zolang het magma in een magmakamer blijft en daar langzaam afkoelt zullen de kristallen blijven groeien en kristalliseren steeds weer nieuwe mineralen uit door de veranderende samenstelling van de restmagma's. Uit een oorspronkelijk basaltisch magma zijn dat na olivijn en pyroxeen respectievelijk plagioklaas (calciumhoudende veldspaat) en magnetiet (ijzeroxide). Als al het magma binnen de magmakamer gestold is, hebben alle kristallen zich goed kunnen ontwikkelen. Mineralen in het gesteente zijn dan met het blote oog herkenbaar. Zo'n in de diepte gekristalliseerd gesteente met grote kristallen wordt een **dieptegesteente** of **plutoniet** genoemd. Een ander type gesteente ontstaat wanneer het magma naar het aardoppervlak opstijgt en daar als lava uitvloeit. Dan vindt een snelle afkoeling plaats, waarbij de kristallen zo klein blijven, dat ze een fijne grondmassa vormen, waarin de mineralen alleen onder de microscoop herkend kunnen worden. In een dergelijk **uitvloeiingsgesteente** of **vulkaniet** zijn alleen de eerste, al in de magmakamer uitgekristalliseerde mineralen (zoals olivijn, pyroxeen)

## Geologie van de Eifel

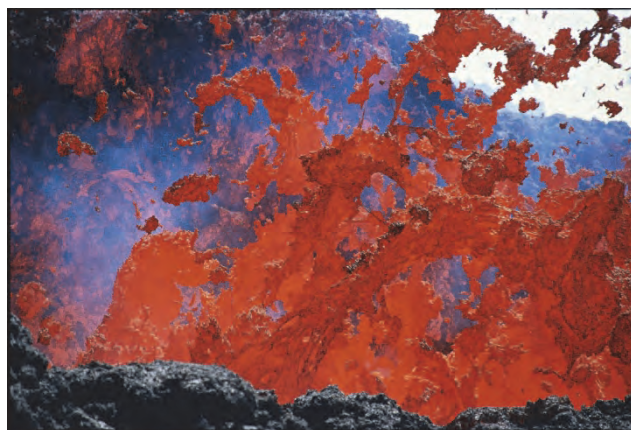
met het blote oog te herkennen. Basalt is een donkergekleurd uitvloeiingsgesteente dat vooral is samengesteld uit de mineralen pyroxeen en plagioklaas, vaak met grote kristallen van het eerst uitgekristalliseerde olivijn. Trachiet is een lichtgekleurd uitvloeiingsgesteente, met hoofdcomponenten (kali)veldspaat en mica.



Vulkanisch gesteente onder de microscoop (met gepolariseerd licht); links basalt met grote gekleurde kristallen van pyroxeen en grijs-witte naalden van plagioklaas rechts trachiet met grote eerstelingen van kaliveldspaat in een fijne grondmassa van veldspaat en mica.

Een derde type vulkanisch gesteente ontstaat bij explosieve erupties. Door een nog snellere afkoeling van fijne lavadeeltjes en grovere lavaflodders in de lucht heeft de lava geen tijd om te kristalliseren. Hierbij ontstaat vulkanisch glas (zoals *obsidiaan*) met een ongeordende, amorfe structuur. Vooral puimsteen (gestold magmaschuim) bestaat grotendeels uit vulkanisch glas.

In een magma zijn ook gassen opgelost, vooral waterdamp (H<sub>2</sub>O) en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en in mindere mate zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en chloor (Cl). Deze gassen spelen een hoofdrol bij explosieve vulkaanuitbarstingen. Bij stolling van het magma komen deze gassen vrij en verzamelen ze zich in de bovenste delen van de magma-kamer samen met de silicarijke en kristalarme restsmeelt. Wanneer de gasdruk groot genoeg is, stijgt het magma via breuken in de aardkorst verder naar de oppervlakte. De samenstelling van het magma is bepalend voor de explosiviteit van een vulkaanuitbarsting. Uit een basisch magma kunnen gassen vrijwel onbelemmerd ontsnappen, zodat er geen grote gasdruk wordt opgebouwd. Basaltische erupties zijn daarom in het algemeen weinig explosief en produceren kalm uitvloeiende lavastromen. Daarentegen zijn zure, silica- of alkalirijke magma's taai-vloeibaar, wat de mobiliteit van gassen belemmert. In een felsisch magma kan daardoor een zeer hoge gasdruk worden opgebouwd, die uiteindelijk kan leiden tot zeer gewelddadige uitbarstingen. Bij een dergelijke uitbarsting expandeert het gas explosief waardoor het magma uiteenspat; dit wordt **magma fragmentatie** genoemd. De uitgestoten fragmenten en gassen vormen een lavafontein of eruptiezuil, waarin de lavadeeltjes afkoelen en stollen, waarna ze als **pyroclasten** (= 'vuur fragmenten') terugvallen op het aardoppervlak.



Gefragmenteerd magma wordt als lavaflodders uitgestoten door de Etna (foto Casper Peter, National Geographic, 2002).

### Pyroclastische gesteenten

Pyroclastische gesteenten (Grieks: door vuur (πυρ) gebroken (klastos: κλαστος)) bestaan uit losse gesteentefragmenten, die door vulkanen explosief zijn uitgeworpen. Dit is een brede reeks gesteenten van zeer verschillende afmetingen, samenstellingen en ontstaansmechanismen. Onafhankelijk van de afmetingen en samenstelling worden onverharde (ongeconsolideerde) pyroclastische afzettingen tefra genoemd en verhard (geconsolideerd) pyroclastisch gesteente tuf. Tefra wordt naar afmeting onderverdeeld in:

Diameter (mm)	Tefra
	bommen, blokken
64	lapilli
2	as



Tefra: (links naar rechts) as, lapilli en bommen (USGS via website: [www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Tephra.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Tephra.html); foto rechts: J.P. Lockwood)

Pyroclastische gesteenten kunnen zijn afgezet uit bv. asregens uit eruptiezuilen, uit pyroclastische stromen en uit schokgolven, die worden opgewekt door freatomagmatische (gas-water) explosies (zie paragraaf 2.5). Bij explosieve erupties wordt meestal niet alleen het magma gefragmenteerd, maar wordt ook het nevengeesteente rond de kraterpijp verbrijzeld en mee naar buiten geslingerd. De meeste tefra en tuffen zijn daardoor mengsels van magmatische en sedimentaire bestanddelen.

Nadat het meeste gas uit het magma verdwenen is, wordt een explosieve eruptiefase gevolgd door kalmer, effusief vulkanisme. Daarbij stroomt magma door de kraterpijp naar boven en stolt aan of dichtbij het aardoppervlak tot lava. Silicarijke, felsische lava's zijn vaak te

## Geologie van de Eifel

taai om naar buiten te vloeien en blijven als een knotsvormige lavaprop ('*Quellkuppe*') in de eerder gevormde tufkegel steken.

Ook de beginfase van basaltische erupties is aanvankelijk gasrijk. De lavaflarden worden door de ontwikkende en sterk uitzettende gassen in lavafonteynen naar buiten geslingerd. De lavabrokken koelen in de lucht af en stollen tot poreuze slakken. Rond de krater hopen ze zich op en vormen slakkenkegels. In de gasarme, effusieve fase stroomt vloeibare basaltische lava door de kraterpijp naar boven en dringt de eerder gevormde slakkenkegel binnen. In de Hocheifel en het Zevengebergte is niet alleen de trachietische, maar ook de meeste basaltische Tertiaire lava in de kraterpijp of slakkenkegel blijven steken en zijn er, in tegenstelling tot de Kwartaire vulkanen, geen duidelijke Tertiaire basaltische lavastromen. Na verwerking en erosie is meestal alleen de basaltprop bewaard gebleven die in de tuf- of slakkenkegel was binnengedrongen en goed bestand was tegen verwerking. Dergelijke uitgerepareerde, basaltische 'vulkaanruïnes' worden basaltkoppen genoemd.

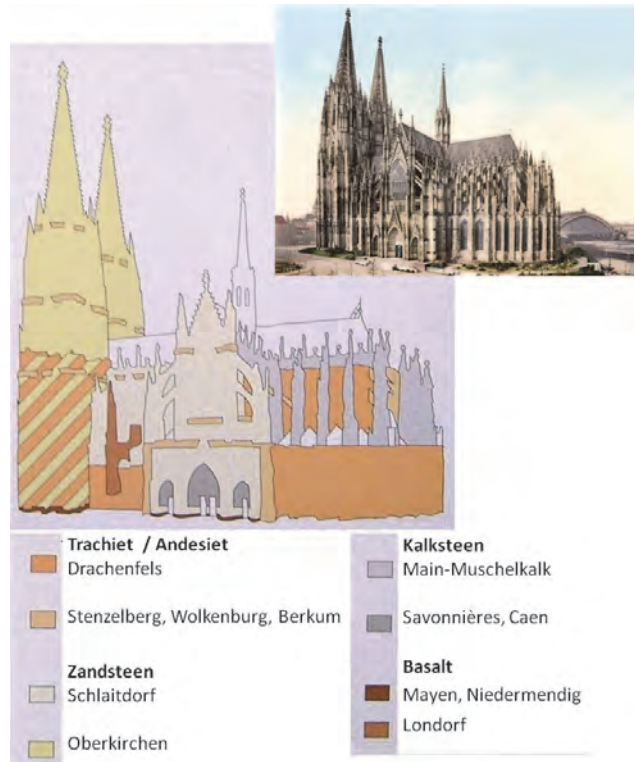


Tertiaire vulkanen in het Rijnmassief; links: de Drachenfels trachietkoepel aan de rechter Rijnsoever; rechts: de Arensburg basaltkop bij Hillesheim (Archiv Natur- und Geopark Vulkaneifel GmbH).

Alle Tertiaire, 20-40 Ma geleden gevormde vulkanen van de Eifel zijn sinds lange tijd uitgedoofd en spelen bij het CO<sub>2</sub> en mineraalwater geen rol. Deze gids besteedt daarom slechts aandacht aan enkele voorbeelden van Tertiaire basaltvulkanen langs de randen van de Kwartaire vulkaanvelden.

### Tertiaire vulkanische bouwsteen

De licht gekleurde Tertiaire trachiet was een zeer geliefde bouwsteen. Trachiet zowel van de *Drachenfels* als uit de *Hocheifel* (bij Reimerath) is toegepast bij de bouw en restauratie van de Dom van Keulen. De zeer harde, nauwelijks poreuze Tertiaire basalt was een moeilijk te bewerken natuursteen. Toch is ook deze basalt in een aantal steengroeven ontgonnen. Tertiaire basaltblokken zijn bijvoorbeeld in de Eifel terug te vinden in de oude stadsmuur van Hillesheim. Ook voor de dijkversterking van de Nederlandse kust is op grote schaal gebruik gemaakt van dit gesteente.



In de Dom van Keulen is lichtgekleurde trachiet gebruikt in de onderbouw en de achterrampen aan de zuidzijde van het schip en in het transept en het koor (The Cologne Cathedral - A Geological Point of View: geocaching.com).



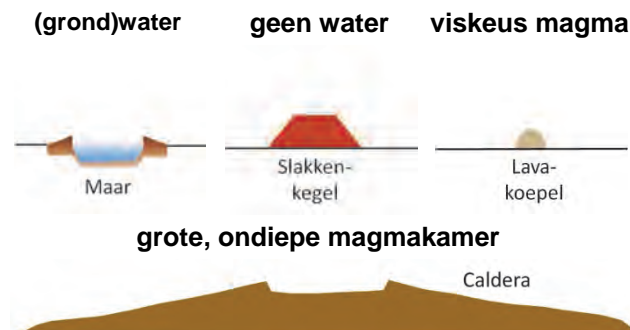
Herinneringen aan de exploitatie tussen 1920 en 1943 van Tertiaire basalt van de Steinberg. De basaltblokken werden per kabelbaan (boven) naar het Brohldal vervoerd en vandaar per smalspoor (rechtsonder) naar de havens aan de Rijn. Veel werd naar Nederland getransporteerd voor de dijkbouw (linksonder).

## 2.5 Kwartair vulkanisme

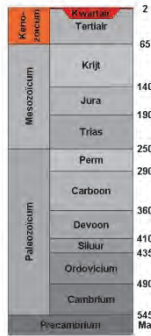
Na een pauze van ruim 17 miljoen jaar brak in het Kwartair, de periode die de laatste 2 miljoen jaar van de geschiedenis van de aarde omvat, een nieuwe periode van intensief vulkanisme in de Eifel aan. De eerste Kwartaire vulkanen ontstonden ca. 700.000 jaar geleden; de laatste uitbarsting (*Ulmener Maar*) vond nog maar 11.000 jaar geleden plaats. Er ontwikkelden zich twee gescheiden vulkaanvelden, het Westeifel vulkaanveld met 240 en het Oosteifel vulkaanveld met 100 eruptiecentra. Door rek in de aardkorst, werden oude Hercynische breuken in het Paleozoïsch grondgebied gereactiveerd en ontwikkelden zich nieuwe breuken. Magma heeft van deze breukzones gebruik gemaakt om naar het aardoppervlak te stijgen, wat heeft geleid tot de NW-ZO oriëntatie van beide vulkaanvelden (zie geologische kaart op blz. 6). Er zijn twee soorten vulkanen in de Westeifel:

- trechtervormige explosiekraters (*maarvulkanen*), ontstaan door contact tussen opstijgend magma en (grond)water.
- *slakkenkegels*, gevormd door ophoping van uit de krater geworpen en gestolde magmaflodders. Uit sommige slakkenkegels zijn lavastromen gevloeid.

In de Oosteifel ontstonden daarnaast enkele grote, ondiepe magmakamers, waarin zich bovenin gasrijke, 'zure', en daardoor taai-vloeibare magma's ontwikkelden met een fonolitische samenstelling, waaruit lavakoepels en caldera's voortkwamen. Een caldera is een vulkaanbekken, dat ontstaan is doordat de aardkorst boven een magmakamer instortte nadat deze grotendeels leeg is geraakt door grote explosieve erupties. Een dergelijke caldera is 12.900 jaar geleden ontstaan bij de eruptie van de Laacher See vulkaan, de grootste Laat-Kwartaire vulkaanuitbarsting in Midden-Europa (Schmincke, 2010).



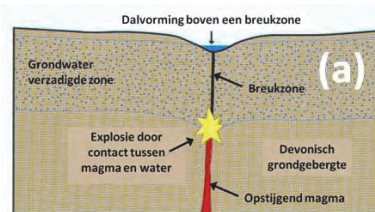
De vier vulkaantypen in de Eifel: maar, slakkenkegel, lavakoepel of lavadome en caldera. Boven de schetsen is de doorslaggevende factor aangegeven, die het ontstaan en de vorm van het vulkaantype bepaald hebben (naar Schmincke, 2010).



Hieronder worden de verschillende Kwartaire vulkaantypen van de Eifel nader besproken.

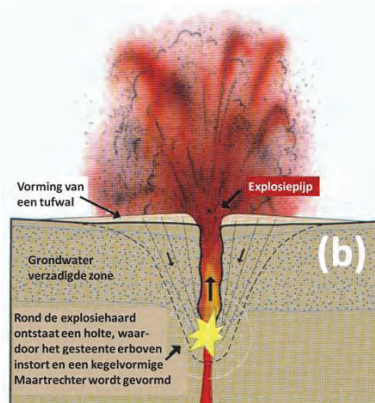
### 2.5.1 Maarvulkanen

Maarvulkanen zijn explosiekraters, die ontstaan wanneer opstijgend, gloeiend heet magma op weg naar het aardoppervlak in aanraking komt met water, bijvoorbeeld langs breukzones in het Paleozoïsch grondgebied. Dit veroorzaakt zware explosies van snel expanderende waterdamp, waarbij de gesteentewand rond de kraterpijp wordt verbrijzeld en instort en het gesteentegruis naar buiten wordt geworpen. Series opeenvolgende, heftige waterdampexplosies vormen zo uiteindelijk een trechtervormige krater in het grondgebied. Een deel van het verbrijzelde gesteente valt terug op de bodem van de krater, terwijl het fijnere, verpulverde gesteente een ringvormige tufwal rond de krater opwerpt. Bij krachtigere explosies worden ook grotere gesteenteblokken naar buiten geslingerd. Deze volgen een ballistische, parabolische kogelbaan en vormen bij het vallen inslagkraters in de tefralagen; uit de invalshoek kan de herkomst van de gesteenteblokken, dus de plaats van de krater, worden afgeleid. Tufringen zijn voor het overgrote deel opgebouwd uit verpulverd gesteente van het grondgebied en bevatten in het algemeen slechts weinig magmatisch materiaal. Vulkaanrupties die het gevolg zijn van contact van magma met water worden *freatomagmatische* erupties genoemd.

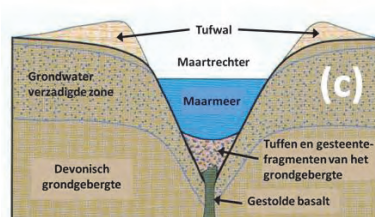


#### Maarvorming (Eschghi, 1999)

(a) Opstijgend magma treft een waterrijke zone, waarbij het tot een waterdampexplosie komt.



(b) Door het verbrijzelen en instorten van het gesteente rond de kraterpijp ontstaat een kegelvormige maartrechter.



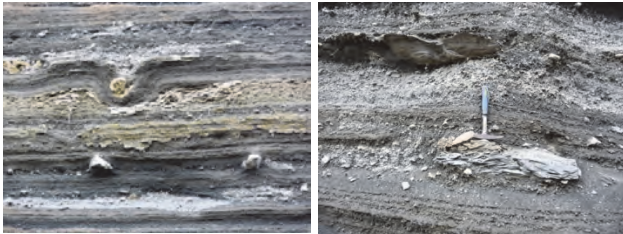
(c) De verpulverde, uitgeworpen gesteentefragmenten vormen een tufwal rond de krater en grond- en oppervlaktewater vullen een maarmeer.



Het explosiegeweld van freatomagmatische maarvormende erupties wordt geïllustreerd door uitgeworpen *peridotietbommen* (ook 'olivijnknollen' genoemd), die vaak in de tufwalen worden aangetroffen. *Peridotiet* is mantelgesteente, dat is samengesteld uit olijfgroene *olivijn* en donkergroene *pyroxeen*. De uitgeworpen



brokstukken zijn dus vanaf dieptes van meer dan 30 km met een snel opstijgend magma direct vanuit de mantel, dus zonder stagnatie in een magmakamer, naar het aardoppervlak gebracht.



*Het Pulvermaar met de beboste ringvormige tufwal (foto Archiv Natur- und Geopark Vulkaneifel GmbH), die bestaat uit gelaagde verbrijzelde tuffen met inslagbommen (linksboven) en grote brokstukken van het Paleozoïsche nevangesteente (rechtsboven).*

Na de eruptie vullen maarkraters zich met grond- en regenwater en ontstaan de idyllische maarmeren. De schrijfster *Clara Viebig* (1860-1952, Trier) omschreef ze als 'de ogen van de Eifel'. Slechts 10 van de in totaal ruim 60 Eifelmaaren hebben nu nog een meer. Alle andere zijn ondertussen met sediment opgevuld en verland. Daarbij is allereerst een groot deel van de opgeworpen tufwal door wind en water geërodeerd en weer terug de krater ingespoeld en ingewaaid. Vervolgens zijn veel kraters opgevuld met *tefra* van latere vulkaaneruptions in de buurt. In de oudere maaren is tijdens de Pleistocene ijstijden bovendien veel fijnkorrelige *löss* de kraters in-

gewaaid. De afzettingen in de maarmeren bestaan uit millimeter dunne laagjes of laminae (*varven*). Deze varven vertegenwoordigen elk de afzettingen van één jaar en zijn opgebouwd uit een zomer- en een winterlaagje, die onderling verschillen in kleur, samenstelling en textuur. Varvenchronologisch onderzoek van boorkernen van maarafzettingen verschaft zo waardevolle informatie over de vegetatie- en klimaatvariaties tijdens het Kwartair. Deze periode kenmerkt zich door de afwisseling van koude (glaciale) en warme (interglaciale) perioden.

### 2.5.2 Slakkenkegels en lavastromen

Wanneer opstijgend magma weinig of geen water tegenkomt kan het uiteindelijk het aardoppervlak bereiken. *Magma* dat het aardoppervlak bereikt wordt *lava* genoemd. Het grootste deel van het Kwartaire magma in de Eifel is basaltisch van samenstelling. In de hete magma's zijn gassen, zoals waterdamp ( $H_2O$ ) en koolstofdioxide ( $CO_2$ ) opgelost. Bij opstijgend magma komt door drukverlaging het gas vrij (er ontstaat naast een vloeibare fase een gasfase). Het meeste gas komt eerder naar buiten dan het basaltische magma. Soms komt echter een groot deel van het in de smelt overgebleven gas explosief vrij, wanneer het magma snel stijgt en er daardoor een plotselinge drukverlaging optreedt. Het expanderende gas fragmenteert het magma en stoot dit naar buiten in lavafonteynen. Dit proces is te vergelijken met het openen van een fles mineraalwater nadat de fles geschud is. Deze stijl van vulkaanuitbarstingen wordt, naar zijn actuele voorbeeld, 'Stromboliaanse eruptie' genoemd. De lavafloorders worden tientallen tot honderden meters de lucht in geworpen. Daar koelen ze snel af, waarna ze als gestolde slakken op de grond terugvallen en zo rondom de krater een slakkenkegel opbouwen. Door de snelle stolling zijn er gasbellen ingesloten, waardoor slakken meestal zeer poreus zijn. Slakkenkegels zijn kenmerkend voor continentale vulkaangebieden. Ze ontstaan in korte tijd (meestal enkele weken tot maanden) en vormen vaak groepen van vulkanen, vulkaanvelden, zoals die van de West- en Oostefifel.

De hoogte van de lavafonteynen vermindert als de gasdruk na enige tijd afneemt. Hierbij ontstaan lasslakken (Duits: 'Schweißschlacken'): de uitgeworpen lavafloorders vallen in nog gedeeltelijk vloeibare of plastische toestand vlak bij de kraterrand op elkaar, waardoor ze afgeplat en aan elkaar gesmolten of gelast worden. Een mooi voorbeeld van een slakkenkegel met aan de kraterrand goed ontsloten 'lasslakken' is de Windsborn, één van de Kwartaire vulkanen van de Mosenberg vulkaangroep bij Manderscheid. De Windsborn is bovendien de enige vulkaan in Midden-Europa met een kratermeer. Net als de andere slakkenkegels in de Eifel is ook de 35.000 jaar oude Windsborn geheel begroeid. Elders in de wereld, op Hawaï, geeft de kleine actieve slakkenkegel *Pu'u O'o* ('klein gat') op de *Kilauea* vulkaan een beeld van hoe de vulkaan er oorspronkelijk uitzag.

# Geologie van de Eifel



Boven: lavastromen op de Mauna Loa vulkaan op Hawaï (foto Katia en Maurice Krafft in Van Rose & Mercer, 1991); onder: gestolde Kwartaire basaltzuilen van een lavastroom van de Hochsimmer vulkaan bij Mayen (die Ahl, Oost-eifel).



Slakkenkegels zoals (onder) de Mosenberg vulkaangroep bij Manderscheid met op de voorgrond het Windsborn kratermeer (foto Erich Justra/Tourist-Information Manderscheid) ontstaan door Stromboliaanse activiteit. Een voorbeeld van een actieve slakkenkegel is Pu'u O'o op de Kilauea vulkaan van Hawaï (midden, <http://geomaps.wr.usgs.gov/parks/sunset/sunsetft7a.html>). Rechtsboven: lavafontein op de Stromboli (1970, foto Jürg Alean, SwissEduc); linksboven: as-, slakken- en bommenregen op de Etna (foto Carsten Peter, National Geographic, 2002).

Wanneer de gasdruk nog verder afneemt aan het eind van een eruptiecyclus, zal het magma niet langer gefragmenteerd worden en kan de lava rustig (*effusief*) uit de krater vloeien. Bij afkoeling ontstaan krimpscheuren en stolt de lava in karakteristieke, meestal vijf- of zeszijdige basaltzuilen.

Onderstaand overzicht vat tenslotte de essentiële verschillen tussen slakkenkegels en maaren nog eens samen.

	Maar	Slakkenkegel
<b>Morfologie (vorm en bouw)</b>	In het grondgebeg- te geslagen explo- sietrechter	Op het grondgebeg- te gebouwde kegel
<b>Samenstelling tefra</b>	Tufwal van groten- deels sedimentair nevangesteente	Kegel van groten- deels magmatisch gesteente (basalt)
<b>Vulkanisme</b>	Freatomagmatisch (contact water- magma)	Stromboliaanse lavafonteinen
<b>Explosiegas</b>	Waterdamp (H <sub>2</sub> O)	Koolstofdioxide (CO <sub>2</sub> )
<b>Explosiviteit</b>	hoog	Matig
<b>Effusief vulkanisme</b>	-	Lavastromen
Schema: Eschghi, 1999	Foto Erich Justra / Tourist-Information Manderscheid	Foto Erich Justra / Tourist-Information Manderscheid

## 2.5.3 Caldera's

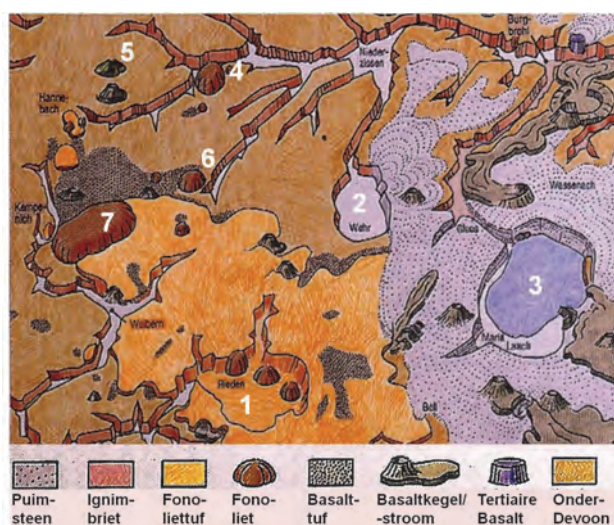
In het centrum van het vulkaanveld van de Oosteifel hebben zich in het Kwartair op geringe diepte (5 km) in de aardkorst drie grote magmakamers gevormd. In de magmakamers vond sterke magma-differentiatie plaats en kon zich bovenin een zeer gasrijk en vrijwel kristalloos magma ontwikkelen (zie paragraaf 2.4). Het eindproduct van deze differentiatie was een magma met een 'zure', fonolitische samenstelling, die wordt gekenmerkt door een hoger silica- ( $\text{SiO}_2$ ) en veel hoger alkaligehalte (Na, K) dan het basaltische uitgangsmagma. Deze samenstelling maakte dit restmagma zeer taai-vloeibaar (stroperig, viskeus), waardoor de gassen die uit het magma vrijkwamen moeilijk konden ontsnappen en er een hoge gasdruk werd opgebouwd. Door deze druk ontstonden ringvormige breuken boven de randen van de magmakamer, waarlangs magma verder kon opstijgen. Heftige waterdampexplosies waren het gevolg van het contact van dit gloeiend hete magma met grondwater, dat langs dezelfde breuken infiltreert. Deze openden de breukzones verder, waardoor de druk plotseling afnam en  $\text{CO}_2$  en andere vulkanische gassen explosief vrijkwamen. De gassen fragmenteerden het magma en bliezen de assen tientallen kilometers hoog, in magmatische eruptiezoulen, de atmosfeer in. Door deze explosieve magmatische erupties werden grote delen van de magmakamers in korte tijd geleegd en stortte het gesteentedak boven de magmakamers in. Hierdoor ontstond een door breuken begrensde instortingskrater, een *caldera*. Zeer grote caldera's met een diameter van tientallen kilometers vormen supervulkanen. Het bekendste voorbeeld daarvan is de caldera van Yellowstone in de Verenigde Staten met een diameter van 60 km, die 640.000 jaar geleden ontstaan is. Een fraai Europees voorbeeld is de veel kleinere caldera van het Griekse eiland Santorini met een diameter van 10 km en de voor caldera's karakteristieke steile binnenwanden; deze caldera is 3.600 jaar geleden gevormd ten tijde van de Minoïsche beschaving.

In de Oosteifel zijn drie Kwartaire caldera's gevormd: 400.000 jaar geleden de *Riedener Kessel* (1 op blokdiagram), 150.000 jaar geleden de *Wehrer Kessel* (2) en nog maar 12.900 jaar geleden de *Laacher See* (3). De jonge Laacher See caldera is nog gevuld met water, maar de twee oudere calderakraters zijn ondertussen geheel verland. De caldera uitbarstingen waren uiterst explosief. Daarom is een groot gedeelte van het Oosteifel vulkaanveld bedekt met tientallen meters dikke lagen lichtgekleurde fonolitische tuf en puimsteen.

*Geologisch blokdiagram van het Laacher See gebied in de Oosteifel met de caldera's van Rieden (1), Wehr (2) en Laacher See (3), de fonolietkoepels Olbrück (4), Perlerkopf (5), Schellkopf (6) en Engelter Kopf (7), en tufafzettingen en slakkenkegels met basaltische lavastromen (Meyer, 1994; Vulkanpark Brohltal-Laacher See, Niederzissen).*



*Schematische voorstelling (Schmincke, 2010) van de vorming van een caldera boven een grote, ondiepe gezoneerde magmakamer met daarboven voorbeelden van Santorini (Courtesy MacGillivray Freeman Films from their large-format film GREECE: Secrets of the Past, midden) en Laacher See (foto Walter Müller, boven).*



# Geologie van de Eifel

De eruptie van de Laacher See vulkaan was de laatste vulkaanuitbarsting in de Oostelijke Eifel en de meest gewelddadige in de jongste aardgeschiedenis van Midden-Europa. Explosieve erupties vanuit kraters die elkaar overlaptten binnen het huidige Laacher See bekken produceerden een wijdverbreide tefradeken die in het centrum meer dan 50 meter dik was. Het volume van meer dan 6 km<sup>3</sup> uitgestoten tefra is aanzienlijk meer dan het totaal van alle 300 slakkenkegels en hun lavastromen in beide vulkaanvelden van de Eifel samen. Het is ook meer dan de tefra die geproduceerd werd door de Vesuvius in 79 n.Chr., waarbij Pompeji verwoest werd en door de recente uitbarsting van Mount St. Helens in de Verenigde Staten (1980).

## Explosiviteit van vulkaanuitbarstingen

Het totale volume van uitgeworpen tefra en de hoogte van eruptiezuilen zijn twee belangrijke indicatoren voor de gewelddadigheid van vulkaaneruptions. De explosiviteit wordt uitgedrukt in de vulkanische explosiviteitsindex (VEI). Dit is een logaritmische schaal, zodat opeenvolgende eenheden een 10 keer zwaardere uitbarsting aangeven. Voorbeelden van explosieve uitbarstingen zijn:

Vulkaan	Hoogte eruptiezuil (km)	Volume uitgeworpen tefra (km <sup>3</sup> )	VEI
Mt. St. Helens (1980)	25	1	5
Vesuvius (79 nC)	>25	3	5
Laacher See	>30	6	5
Santorini	>40	60-100	6-7
Yellowstone	>50	>1000	8

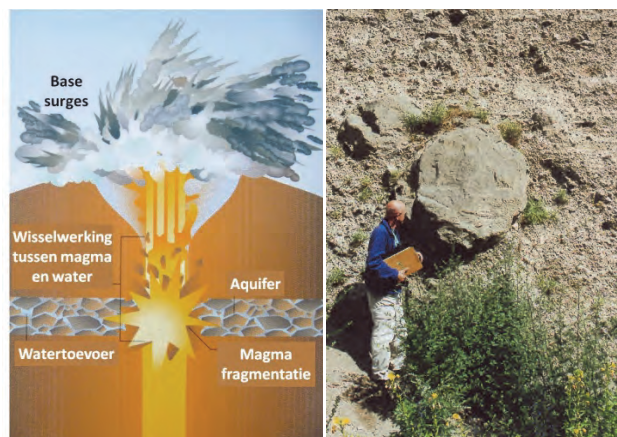
De eruptie van de Laacher See vulkaan, die slechts enkele dagen tot enkele weken duurde, vormde de climax van het vulkanisme in de Eifel. Uit grondige studies (Boogaard & Schmincke, 1985, Schmincke, 2010) van de vulkanische afzettingen is een gedetailleerd beeld tevoorschijn gekomen van de vulkanische gebeurtenissen van 12.900 jaar geleden. De afzettingen laten duidelijk de verschillende vulkanische activiteiten zien die bij caldera erupties plaatsvinden, en markeren drie duidelijke fasen:

1. Een *freatomagmatische* beginfase
2. Een *magmatische* hoofdfase met Pliniaanse eruptiezuilen en pyroclastische stromen
3. Een *freatomagmatische* eindfase

### De freatomagmatische beginfase

Nadat CO<sub>2</sub> en andere gassen een voldoende grote druk in de magmakamer hadden opgebouwd om het gesteente in de bovenliggende aardkorst te breken kon het magma langs deze breukzones verder omhoog stromen. Op circa 1 km diepte kwam het gloeiend hete magma daarbij in contact met grondwater, waardoor een serie hevige waterdampexplosies werden opgewekt, die

gepaard gingen met zich snel langs het aardoppervlak voortplantende drukgolven (*base-surges*). Deze freatomagmatische erupties markeerden de buitengewoon explosieve beginfase van de Laacher See vulkaanuitbarsting. De grote hoeveelheden gesteentefragmenten die uit het grondgebergte zijn gesprongen en de naar buiten geslingerde grote gesteenteblokken getuigen hiervan.

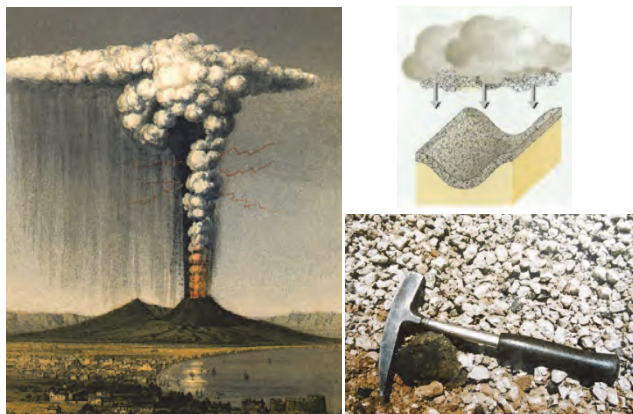


De beginfase met freatomagmatische waterdampexplosies, waarbij veel nevengeesteente verbrijzeld werd en grote gesteenteblokken door drukgolven getransporteerd werden (schema: Schmincke, 2010; foto in de groeve Wingertsbergwand).

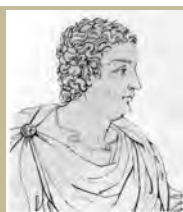
### De magmatische hoofdfase

Tegenover de waterdampexplosies van een freatomagmatische eruptie staat een magmatische eruptie, waarbij in magma opgeloste gassen zoals CO<sub>2</sub> de hoofdrol spelen. Plotselinge drukverlaging leidt tot hevige ontgassing, waarbij het magma wordt gefragmenteerd en in lavadruppels en -flodders, samen met het gas, naar buiten wordt geworpen. Dit gebeurt met zo'n kracht dat aanhoudende, kilometers hoge pluimen ontstaan van hete gassen en assen, de **Pliniaanse eruptiezuilen**. Pliniaanse eruptiezuilen zijn genoemd naar *Plinius de Jongere* (AD 62-114) die de catastrofale uitbarsting van de Vesuvius in 79 n.Chr. uitvoerig in brieven aan *Tacitus* heeft beschreven. In de lucht koelen de lavafragmenten af en vallen gestold terug naar beneden. Afzettingen uit een dergelijke **asregen** (Engels: *fallout* of *fall deposits*) bedekken de oppervlakte gelijkmatig met een deken van assen, lapilli en puimsteen, waarbij de dikte van deze tefra afzettingen onafhankelijk is van het bestaande reliëf.

## Geologie van de Eifel



Een Pliniaanse eruptiezuil boven de Vesuvius in 1822 (Historische tekening uit 1862 van George Julius Poulett Scrope), waaruit gelijkmatig as- en lapilliregen (schets rechtsboven, Schmincke, 2010) valt zoals de puimsteen lapilli van de Laacher See vulkaan (rechtsonder).



Plinius de Jongere (Epistulae VI.16)

“...er verscheen een wolk met een zeer ongewone grootte en vorm [...]. Op verre afstand was moeilijk vast te stellen welke berg de wolk voortbracht, maar later bleek dat het de Vesuvius was. Ik kan je geen nauwkeurigere beschrijving van de verschijningsvorm geven dan door die te vergelijken met een [Mediterrane] pijnboom, want hij schoot omhoog in de vorm van een lange boomstam, die zich bovenin verspreidde in verschillende takken. Ik stel me voor dat een kortstondige luchtstoot hem omhoog blies, waarna die vervolgens in kracht afnam en de wolk, mogelijk ook onder invloed van zijn eigen gewicht, aanstichtte zich lateraal te verspreiden en op te lossen. Soms was de wolk wit, dan weer donker en gevlekt, alsof het assen of slakken mee omhoog had gevoerd.”

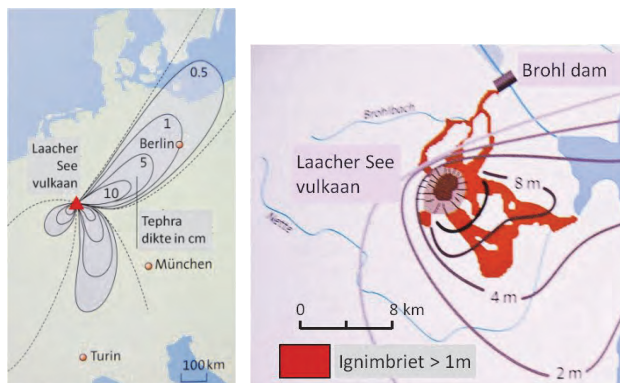
De dikte van de lagen en de korrelgrootte nemen af met de afstand tot de krater. De eruptiezuil van de Laacher See vulkaan bereikte in de hoofdfase een hoogte van meer dan 35 km. Luchtstromingen in de troposfeer en stratosfeer transporteerden de fijne tefra over meer dan 600 km naar het zuiden tot in Italië en 1000 km naar het noorden tot in Scandinavië, waar ze in dunne lagen (mm tot cm dik) bewaard zijn gebleven in hoogveen- en meerafzettingen. Ze vormen daarin waardevolle tijdsmerkingen omdat Laacher See tefra eenduidig geïdentificeerd wordt door glasscherven met een fonolitische samenstelling en een karakteristieke combinatie van mineralen.

Zolang de aanvoer en uitstootsnelheid van magmatisch materiaal constant blijft wordt een Pliniaanse eruptiezuil in stand gehouden. Wanneer de aanvoer echter toeneemt of de uitstootsnelheid, bijvoorbeeld door vermindering van de gasdruk, afneemt, stort de zuil door de zwaartekracht ineens en verandert daarbij in **pyroclastische stromen**. Dit zijn mengsels van hete gassen (tot 500°C) en assen die met grote snelheid (tot 150 km/uur)

langs de vulkaanhellingen naar beneden razen om daarna hun weg lager te vervolgen door depressies en dalen. Door het grote gehalte aan tefra hebben deze stromen een hoge soortelijke massa, zodat ze door de zwaartekracht gestuurd worden. Pyroclastische stroomafzettingen, die **ignimbrieten** worden genoemd, zijn daarom grotendeels gebonden aan dalen, waar ze grote diktes kunnen bereiken. De dikte neemt snel af op de dalhellingen. Het zijn massieve, meestal tot tuf verharde ongeordende massa's van assen en puimsteen. De Laacher See ignimbrieten, lokaal **Traß** genoemd, zijn in de dalen rond de Laacher See afgezet, waar ze diktes tot 60 meter bereikten.



Een pyroclastische stroom (Mt. St. Helens, 1980; USGS, foto Peter W. Lipman) met ongelijkmatige dalopvullingen, zoals te zien in de lichtgekleurde ignimbriet in een groeewand (Wingertsberg) bij de Laacher See (schema ignimbriet Schmincke, 2010).



Links: verbreiding door luchtstromingen van tefra uit eruptiezuilen van de Laacher See vulkaan (dikte in cm); rechts: tuffen (ignimbriet of Traß) afgezet uit pyroclastische stromen door radiale dalen rond Laacher See (Schmincke, 2010).

Tijdens de magmatische hoofdfase wisselden convecierende Pliniaanse eruptiezuilen en pyroclastische stromen door instorting daarvan elkaar voortdurend af onder invloed van steeds wisselende omstandigheden. De eer-

ste eruptiefasen maakten gebruik van een krater in het zuidelijk deel van de caldera, terwijl de activiteiten zich daarna naar het noorden verplaatsten. De twee elkaar overlappende eruptiecentra zijn duidelijk te herkennen in de achtvormige omtrek van de caldera (zie foto op pagina 20).

In de vulkanische afzettingen van de Laacher See uitbarsting kunnen verschillende zones worden onderscheiden, die verschillen in kristalgehalte, gasgehalte, chemische samenstelling ('basisch/zuur') en kleur. De zonering is omgekeerd aan die van de magmakamer. Immers, het lichtgekeurde magma in de bovenste zone werd het eerst uitgeworpen en is dus bedekt door de later uitgeworpen donkere tefra.



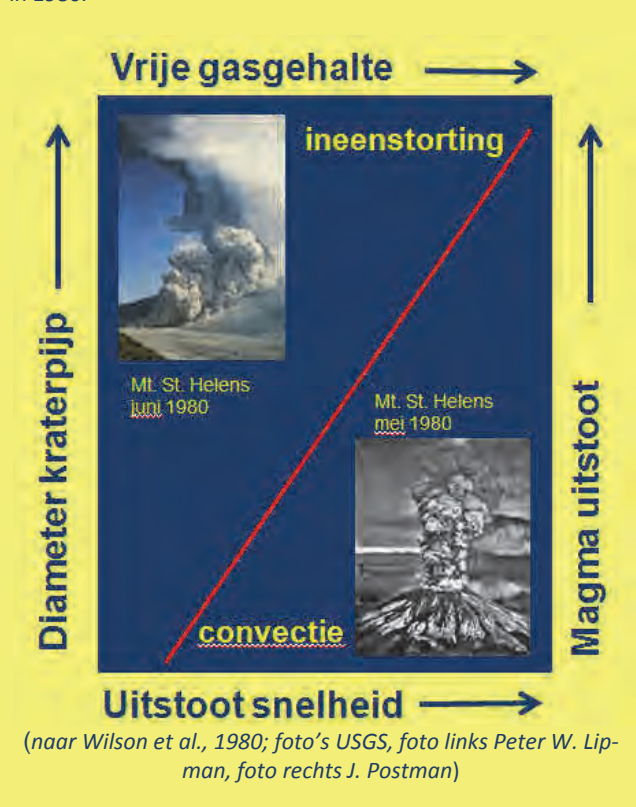
De pyroclastische afzettingen van de Laacher See vulkaanruptie vertonen een zonering (donker gekleurd op licht gekleurd), die omgekeerd is aan die van de magmakamer, waaruit ze zijn uitgestoten. (schema magmakamer: Schmincke, 2010).

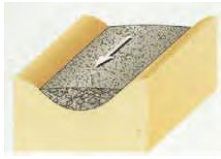
Grote explosieve vulkaanuitbarstingen gaan vaak gepaard met hevige regen- en onweersbuien (zie litho van de Vesuvius op pagina 22). Dit is een gevolg van de oplading met statische elektriciteit van asdeeltjes in een eruptiezuil. De regenbuien creëren modderstromen, lahars. Deze vaak woeste, met gesteentepuin en ontwortelde bomen beladen modderstromen veroorzaken de meeste slachtoffers van vulkaaneruptions, na basesurges (zie onder) en pyroclastische stromen. Eerdere vulkanische afzettingen, zoals de ignimbrieten uit pyroclastische stromen worden door de erosieve modderstromen uitgeslepen. Het geërodeerde materiaal wordt daarbij omgewerkt en vervolgens weer op de overgebleven sedimenten afgezet. Lahars kunnen ook ontstaan wanneer pyroclastische stromen zich in de dalen mengen met het water van beken en rivieren, of in glaciële gebieden wanneer sneeuw en ijs smelten door vulkaanhitte.

Ook de Laacher See vulkaan heeft modderstromen geproduceerd. De *Brohlbach* heeft ten noorden van Laacher See erosiegeulen uitgeslepen in de pyroclastische afzettingen (*Traß*) en die vervolgens weer opgevuld met laharafzettingen, die bestaan uit een chaotisch mengsel van omgewerkte ignimbriet en fragmenten van andere gesteenten.

## Eruptiezuilen en pyroclastische stromen

In de hoofdfase van explosieve vulkaanuitbarstingen worden *Pliniaanse eruptiezuilen* gevormd, waarin vulkanische gassen een *convecterende* stroming aandrijven van gefragmenteerde lava, die tot tientallen kilometers hoogte kan reiken. De onderstaande grafiek schetst de factoren die bepalend zijn voor het in stand houden van zo'n eruptiezuil. De uitstootsnelheid (m/s) is grotendeels afhankelijk van het gasgehalte (%), terwijl de magma uitstoot (kg/s) sterk samenhangt met de diameter van de krateropening (m). Hoe nauwer de krateropening en hoe groter het gasgehalte des te hoger de eruptiezuil zal reiken. Hoe meer magmatisch materiaal, des te zwaarder is de kolom en des te meer energie is nodig om deze in de lucht te houden. Bij afname van het gasgehalte of toename van de aanvoer van magma, wordt de eruptiezuil zwaarder en zal deze uiteindelijk instorten. Dat kan ook gebeuren door vergroting van de krater. Onder invloed van de zwaartekracht zal de hete aswolk langs de vulkaanhelling naar beneden stromen. Omdat de astroom zwaarder is dan lucht, zal hij vooral door de dalen rond de vulkaan verder naar beneden stromen. Dit zijn de *pyroclastische stromen*, die beruchte zijn vanwege de hoge temperaturen van honderden graden Celsius en grote snelheden van meer dan 100 km/uur. Illustratieve afbeeldingen van eruptiezuilen en pyroclastische stromen zijn gemaakt van de uitbarsting van Mount St. Helens in 1980.





Afzettingen van vulkanische modderstromen of lahars. Linksboven: gesteenteblok en boomstammen in laharafzettingen van de 1980 eruptie van Mount St. Helens (USGS, foto Lyn Kopinka). Onder: Traß afzettingen in het Brohldal; links: de witte afzettingen onderin zijn de resten van de oorspronkelijke ignimbrieten; de gele stippellijn markeert erosiegeulen, die door de modderstroom van de Brohlsbach ingesneden en vervolgens opgevuld zijn met laharafzettingen, die naast omgewerkte ignimbriet veel grote basaltblokken (rechtsonder) bevatten. (schema lahar rechtsboven: Schmincke, 2010).

### De freatomagmatische eindfase

De eindfase van de eruptie van de Laacher See vulkaan werd gekenmerkt door (**base**)surges. Dit zijn zeer gasrijke en hete drukgolven die zich over de bodem voortbewegen, voorafgaand aan de pyroclastische stromen. Ze ontstaan bij zeer explosieve erupties, die worden opgewekt door contact tussen magma en water. Surges bevatten veel minder assen dan pyroclastische stromen. Ze zijn daardoor veel lichter en niet aan dalen gebonden. Met snelheden tot meerdere honderden kilometers per uur behoren ze tot de meest gevaarlijke en verwoestende vulkanische fenomenen. Zo waren ze de belangrijkste oorzaak van het grote aantal slachtoffers in Pompeji (2.000 doden) en rond Mt. Pelée op Martinique in 1902 (29.000 doden).



“...Spoedig daarna leek de wolk af te dalen naar de aarde, en de zee te overdekken...As begon op ons neer te vallen, hoewel vooralsnog niet in grote hoeveelheden. Ik keek om en zag achter ons een dichte, zwarte rookwolk, die achter ons aan kwam rollen als een stortvloed...”

Plinius de Jongere  
(Epistulae VI.20)

Afzettingen van individuele surges zijn meestal erg dun (cm tot dm) door het geringe gehalte aan gesteente-fragmenten en de hoge snelheid waarmee ze zich voort-

planten. Door de hoge snelheden worden surge afzettingen vaak gekenmerkt door scheve gelaagdheid en duinstructuren. De freatomagmatische eindfase van de Laacher See vulkaanuitbarsting kende talrijke surges, getuige het dikke pakket tefra met dergelijke stroomstructuren. Deze freatomagmatische erupties waren het gevolg van het binnendringen van water, onder meer afkomstig van het hevige onweer dat de eruptiezuilen vergezelde, in de deels geleegde magmakamer. Basesurges en pyroclastische stromen werden tijdens deze fase ook opgewekt door het instorten van de magmakamer, waardoor de Laacher See caldera ontstond.



Links: basesurge die zich radiaal over het zeeoppervlak uitbreidt aan de basis van een eruptiezuil (Capelinhos, Azoren, 1957; Waters & Fisher, 1971); rechtsboven: door een surge van Mt. St. Helens (1980) ontwortelde bomen (USGS); rechtsonder: surge afzettingen van de Laacher See uitbarsting met karakteristieke duinstructuren.

### 2.5.4 Fonolietkoepels

De grote caldera-uitbarstingen van de Eifel zijn dus het gevolg van de ontwikkeling van een taai-vloeibaar (viskeus) fonolietisch magma in de grote, ondiepe magmakamers waarin zich een hoge gasdruk opbouwt. Daardoor heeft de tefra van de asregens en pyroclastische stromen een fonolietische samenstelling. Maar niet al het fonolietische magma is explosief uitgestoten en op sommige plaatsen heeft fonolietische lava het aardoppervlak bereikt. Het was echter te stroperig (viskeus) om net als basaltische lava in grote lavastromen uit te vloeien en is daardoor in lavakoepels (of: lava domes) blijven steken. Voorbeelden van dergelijke fonolietische lavakoepels zijn de fraaie, door een markante burchtruïne gekroonde Olbrück, de Engelter Kopf, de Perlerkopf en de Schellkopf (zie blokdiagram op pagina 20). De lichtgekleurde fonoliet bevat veel kalium, natrium en aluminium. In de felsische lava zijn grotere, vroeg-gekrystalliseerde mineralen te herkennen (eerstelingen of *fenocrysten*) in een lichtgekleurde, fijne grondmassa.

# Geologie van de Eifel



De fonolitische lavakoepel Olbrück en fonolitische lava met eerstelingen van donkere, grijs-blauwe noseaan in een fijne, lichtgekleurde grondmassa.

## 2.5.5 Kwartaire vulkanische bouwsteen

De relatief zachte, lichtgekleurde fonolitische tuffen zijn veel toegepast in de bouw omdat ze makkelijk te bewerken zijn. Het fraaiste voorbeeld daarvan is de 13e-eeuwse Benedictijner abdij Maria Laach aan de oever van Laacher See. Het kleurcontrast tussen deze gesteenten en de donkere basalt levert een verrassend architectonisch beeld op. De fonolitische muurvlakken staan als het ware los, door het contrast met de basaltische pilaren. Het resultaat is een uitzonderlijke harmonie tussen landschap en architectuur.



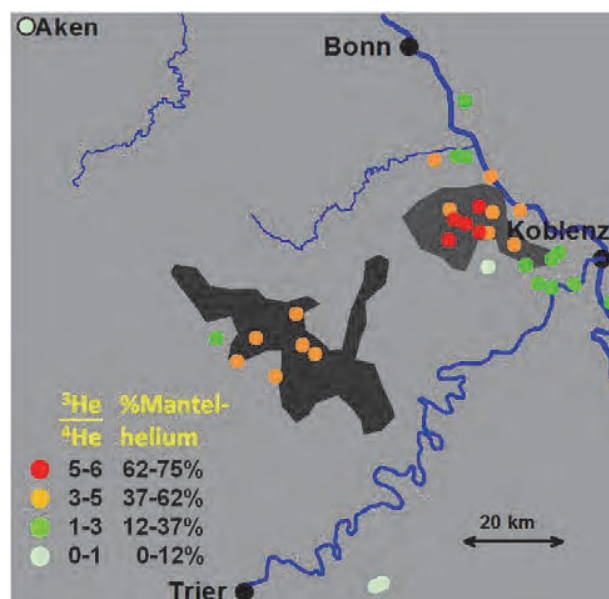
De grotendeels uit lokale vulkanische natuursteen in de 13e eeuw gebouwde Maria Laach abdij aan de oever van de Laacher See (© Buch- und Kunstverlag MARIA LAACH).

## 2.5.6 De kans op herhaling

De vele vulkanische eruptiecentra, de geologisch zeer recente laatste uitbarsting van het *Ulmener Maar* (11.000 jaar geleden) en de niet veel eerdere (12.900 jaar geleden), gewelddadige uitbarsting van de *Laacher See* vulkaan roepen de vraag op hoe groot de kans is op hernieuwde vulkaanuitbarstingen in de Eifel. En bij de wandelaar langs de mofetten van Laacher See rijst ongetwijfeld de vraag of het intensieve borrelen van de gasbellen een voorbode is van meer vulkanische activiteit.

Er zijn twee belangrijke aanwijzingen die erop duiden dat de Laacher See vulkaan niet is uitgedoofd, maar slechts slaapt. De eerste aanwijzing is de isotopensamenstelling van de vulkanische gassen in de Oostefel; de tweede de aanwezigheid van heet en mogelijk deels vloeibaar magma onder de Eifel. Er zijn twee mogelijkhe-

den voor de herkomst van het CO<sub>2</sub>-gas in de mofetten van Laacher See. Het kan afkomstig zijn uit de relatief ondiepe magmakamer in de aardkroon, waaruit het vrijkomt door het afkoelen en vervolgens stollen van het magma. In dat geval markeert de CO<sub>2</sub>-ontgassing het eindstadium van het actieve vulkanisme. Het is echter ook mogelijk dat het CO<sub>2</sub>-gas wordt aangevoerd in magma dat vanuit grotere diepten in de aardmantel opstijgt. In dat geval vormt het een onderdeel van een voortdurende magmatische activiteit, die uiteindelijk weer tot vulkanisme kan leiden. Isotopenonderzoek van de vulkanische gassen kan waardevolle aanwijzingen geven voor de herkomst daarvan. De meest eenduidige informatie wordt verkregen uit de isotopen van heliumgas, dat samen met CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten. Uit de verhouding tussen de isotopen <sup>3</sup>He en <sup>4</sup>He kan het percentage aan helium afkomstig uit de mantel worden afgeleid. Onderstaand kaartje laat de resultaten zien. In de vulkaanvelden van de Eifel is meer dan 37% van het heliumgas afkomstig uit de mantel en in de drie caldera's van de Oostefel zelfs meer dan 62%. De isotopenverhouding van koolstof in het CO<sub>2</sub>-gas geeft vergelijkbare informatie en ondersteunt deze conclusie (zie twee onderstaande gele tekstvakken).



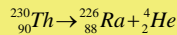
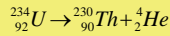
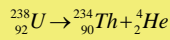
Kaart met helium isotopenratio's (R/Ra) gemeten in en rond de vulkaanvelden van de Eifel (gegevens uit Griesshaber et al., 1992).



## De herkomst van de vulkanische gassen in de Eifel

### (1) Helium (He)

Naast CO<sub>2</sub> komt in de minerale bronnen en mofetten van de Eifel ook heliumgas vrij. De verhouding tussen de heliumisotopen <sup>3</sup>He en <sup>4</sup>He geeft aanwijzingen over de herkomst van het gas. <sup>3</sup>He is 4,5 miljard jaar geleden gevormd bij het ontstaan van de aarde en is vooral bewaard gebleven in de mantel. <sup>4</sup>He ontstaat daarentegen bij het verval van radioactief Uranium (U) en Thorium (Th). Door geochemische processen bevat de aardkorst veel U en Th, zodat daar <sup>4</sup>He geproduceerd wordt:



Daardoor is de isotopenverhouding <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He in de aardkorst (2 x 10<sup>-8</sup>) veel lager dan in de mantel (10<sup>-5</sup>). In de praktijk wordt de heliumisotopenratio genormaliseerd naar de verhouding in lucht (Ra = 1,4 x 10<sup>-6</sup>):

$$\frac{R}{R_a} = \frac{{}^3\text{He}/{}^4\text{He}}{({}^3\text{He}/{}^4\text{He})_{\text{air}}}$$

R/Ra bedraagt 0,03 in de aardkorst en 8 in de mantel. Daarmee kan uit de isotopenverhouding in het heliumgas uit de minerale bronnen en mofetten worden afgeleid of het uit de aardkorst of uit de mantel afkomstig is. Enkele waarden van de ratio R/Ra en de daaruit berekende percentages mantelhelium in de beide vulkaanvelden van de Eifel wijzen duidelijk op een herkomst uit de mantel. Ter vergelijking zijn in onderstaande tabel ook de waardes gegeven van Bad Honnef, dat buiten de vulkaanvelden ligt (gegevens Griesshaber et al., 1992).

Locatie gasemissie	R/Ra	Mantel He (%)	Mantel δ <sup>13</sup> C <sub>CO2</sub> (‰)
Laacher See	5,4	68%	-3,0
Wehrer Kessel	5,6	70%	-4,7
Daun	4,0	50%	-5,7
Bad Honnef	2,3	29%	-10,2

Het CO<sub>2</sub>-gas wordt dan samen met plastisch mantelgesteente naar boven getransporteerd. Om de aanwezigheid van heet plastisch of deels gesmolten gesteente onder de Eifel verder aannemelijk te maken is geofysisch onderzoek verricht in het *Eifel Plume* project (Ritter et al., 2001). Met seismische tomografie, een methode vergelijkbaar met die van een medische CT-scan, is een driedimensionaal beeld verkregen van de snelheidsvariaties van seismische golven in de ondergrond. Seismische golven planten zich in de bodem voort met een snelheid, die wordt bepaald door de dichtheid van het gesteente. De snelheden zijn relatief laag in los sediment en hoog in vast, geconsolideerd gesteente. Koud gesteente heeft een grotere dichtheid dan heet of deels gesmolten gesteente. In een zone met heet of deels gesmolten

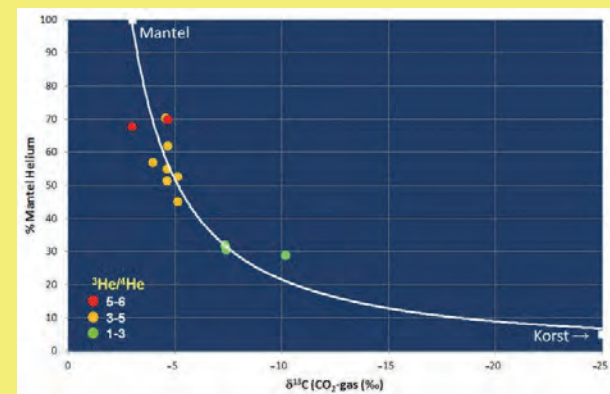
## De herkomst van de vulkanische gassen in de Eifel

### (2) Koolstof (C)

Op vergelijkbare wijze kan de isotopenverhouding <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C van koolstof aanwijzingen geven over de herkomst van CO<sub>2</sub>-gas. De δ<sup>13</sup>C<sub>CO2</sub> waarde geeft de afwijking weer van een monster t.o.v. een standaard. Een veel gebruikte standaard is de PDB isotopenverhouding van fossiele inktvisskeletten (Belemnieten) uit het Krijt in de Pee Dee formatie in South Carolina. De koolstof isotopenratio, uitgedrukt in promille (‰), wordt gedefinieerd als:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = \frac{({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{CO}_2} - ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{PDB}}}{({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{PDB}}} \times 1000$$

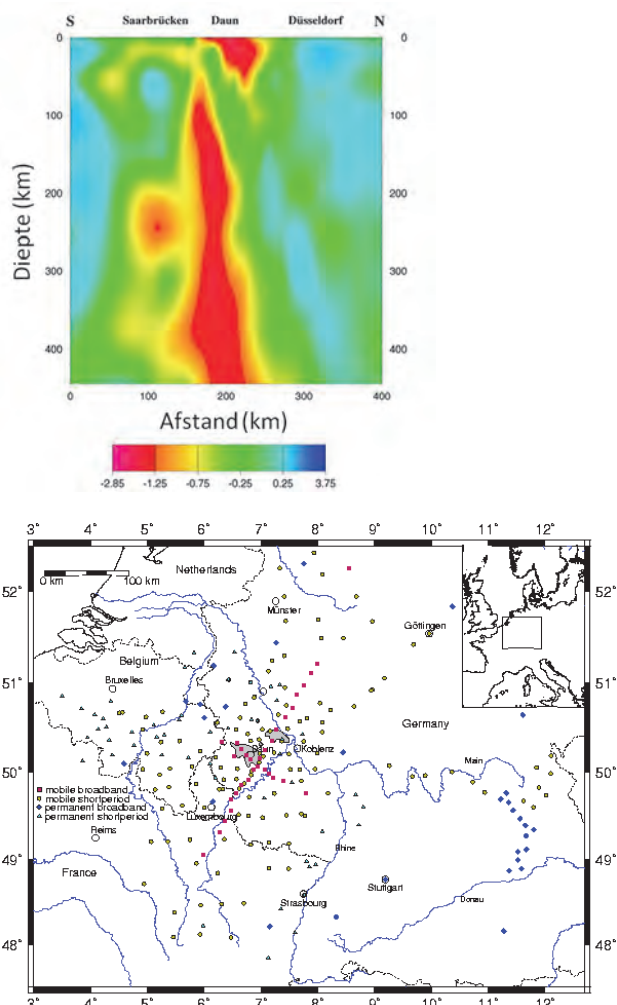
Omdat de <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratio van PDB extreem hoog is zijn de meeste δ<sup>13</sup>C waarden sterk negatief. Zo liggen de waarden van veel organische koolstof tussen -30‰ en -15‰. De meeste waarden in de Eifel vulkaanvelden variëren tussen -6‰ en -3‰. Dit zijn karakteristieke waardes voor mantel C, die liggen tussen -4‰ en -8‰. De δC waarden zijn echter minder eenduidig dan de heliumwaarden. De beste aanpak is dan ook ze met de heliumgegevens te combineren in een grafiek (zie onder; data: Griesshaber et al., 1992). De kleuren komen overeen met de <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He schaal op bovenstaande heliumkaart van de Eifel.



gesteente planten seismische golven zich dus langzamer voort.

In de periode 1997-98 heeft een uitgebreid netwerk van seismometerstations in Duitsland, België, Luxemburg, Frankrijk en Nederland 8 maanden lang de aankomsten geregistreerd van seismische golven afkomstig van natuurlijke aardbevingen. Seismische golven die een zone met een lagere snelheid doorkruisen, komen met vertraging aan bij de seismometers. Computerbewerkingen van de gegevens van 66 geregistreerde aardbevingen maken onder de Eifel een duidelijke, zuilvormige zone zichtbaar waarin de snelheden tot 2% lager zijn dan die in het omringende gesteente.

## Geologie van de Eifel



Het waarnemingsnet (onder) van seismometer stations gebruikt voor het Eifel Plume project en een N-Z doorsnede (boven) door de uit seismische tomografie afgeleide zuilvormige zone met relatief lage voortplantingssnelheden onder de Eifel; schaal: procentuele afwijking van omringend gesteente (Ritter et al., 2001).

De (rode/gele) zone met relatief lage seismische snelheden heeft een doorsnede van gemiddeld 100 km en kon worden vastgesteld tot een diepte van 400 km. De snelheidsvermindering kan worden herleid tot een temperatuurverhoging van 150 à 200°C, die groot genoeg is om basaltisch magma gedeeltelijk te doen smelten (zie druk-temperatuurdiagram in paragraaf 2.4).

Er lijkt dus inderdaad sprake van een zone met heet of (deels) gesmolten gesteente onder de Eifel. Voor de oorsprong daarvan zijn twee hypothesen. De eerste hypothese gaat uit van de aanwezigheid van een mantelpluim. Mantelpluimen (Engels: *mantle plumes*) zijn zuilvormige stromen van heet en plastisch gesteente, die vanuit de onderste delen van de aardmantel, dus vanaf dieptes van meer dan 2000 km, opstijgen. De plaatsen waar deze mantelpluimen aan het oppervlak komen heten *hotspots* (zie ook paragraaf 1.3). Bij de grens tussen mantel en kern heersen temperaturen van naar schatting 3.000°C. De stijging van het hete mantelge-

steente zou zo snel gaan (verondersteld wordt 10-100 cm/jaar) dat onderweg slechts weinig warmte aan het koudere nevengeesteente wordt afgegeven, zodat met afnemende druk op geringere diepte de temperatuur hoog genoeg is om de gesteentepluim gedeeltelijk te doen smelten. De resultaten van het seismisch onderzoek en tomografische afbeeldingen van de cilindrische zone met lage snelheden zijn eerst geïnterpreteerd als een ondersteuning van de hypothese van een mantelpluim onder de Eifel als bron van het vulkanisme. Deze zone is echter slechts aangetoond tot een diepte van 400 km, dus tot in de Boven-Mantel. Op grotere diepte lijkt een dergelijke lage-snelheidszone afwezig.

Deze en andere afwegingen hebben ertoe geleid dat recentelijk een andere wetenschappelijke hypothese is geopperd, die gebaseerd is op het krachtenveld dat is ontstaan door de bewegingen van tektonische platen (Meyer & Foulger, 2007; zie geel kader). In deze hypothese smelt het mantelgesteente niet door temperatuurverhoging (opwaartse stroming van heet, vast gesteente) maar door drukverlaging (verdunning van de lithosferische plaat). Hetzelfde krachtenveld verklaart het omhoogkomen van de oude massieven zoals het Rijnmassief en het ontstaan daarin van smalle langgerekte slenken zoals de Rijndalslenk.

Het aantrekkelijke van de plaattektonische hypothese is dat de vulkaanvelden en tektonische fenomenen goed op elkaar aansluiten en passen in het totaalbeeld van de processen rond plaattektoniek en gebergtevorming. Ook in dit tektonische model zijn de vulkanische gassen zoals CO<sub>2</sub> en helium afkomstig uit de mantel, en wordt het meegevoerd met kleine convectiestromen van het plastische gesteente in de bovenmantel. Deze convectiestromen met heet of gedeeltelijk gesmolten gesteente zouden dan verantwoordelijk zijn voor de seismisch aangetoonde lage snelheidszone onder de Eifel.

De opheffing van het Rijnmassief zette zich versneld voort in het Kwartair en bedroeg in die periode 300 m. Rivieren hebben zich diep in dit massief insneden en daar V-vormige dalen in gesneden. Zo ontstond het middelgebergte dat samen met de verschillende vulkaanvormen het huidige Eifellandschap tekent. De tektonische bewegingen in het Rijnmassief duren ook nu nog voort. Metingen geven aan dat de Noordeifel gemiddeld met 1,6 mm/jaar en de Zuideifel met 0,4 mm/jaar stijgen, terwijl de gebieden in de Rijndalslenk, ten noorden en ten zuiden van het massief dalen. Deze bewegingen zijn niet geleidelijk maar treden periodiek op en gaan gepaard met lichte aardbevingen met een sterkte van minder dan 3 op de schaal van Richter.

Zolang er opwaartse stroming van heet mantelgesteente aanwezig is, door een mantelpluim afkomstig uit de ondermantel of door convectiestroming in de bovenmantel onder de uitgedunde korst in de Eifel, blijft toekomstig vulkanisme mogelijk. Het CO<sub>2</sub>-gas uit de mantel

## Eifel vulkanisme door Alpiene bewegingen van tektonische platen.

De mantelpluim hypothese onder de Eifel is de laatste jaren in toenemende mate ontkracht door de volgende argumenten:

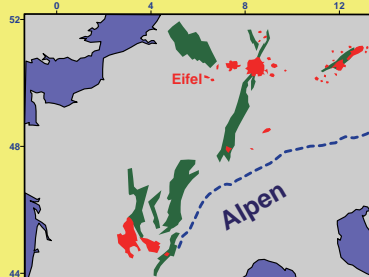
- De seismisch aangetoonde zone met lage snelheden lijkt zich niet verder voort te zetten dan tot 400 km diepte, dus slechts tot in de Boven-Mantel.
- De Midden-Europese vulkaanvelden vertonen niet de lineaire verplaatsing in de tijd (*tracks*), die karakteristiek is voor in de mantel verankerde *hotspots*.
- De heliumratio in de Eifel ( $R/R_a = 6$ ) is lager dan die op mid-oceanische ruggen ( $R/R_a = 8$ ) en veel lager dan die van klassieke hotspots met een diepe mantelpluim, zoals Hawaï en Yellowstone ( $R/R_a > 10$ ). De lagere waarde in de Eifel zou wijzen op 'verontreiniging' met gesteenteresten uit de continentale korst en een ondiepere herkomst.

Meyer & Foulger (2007) geven een plaattektonische verklaring voor het vulkanisme in Midden-Europa. In hun model splitst bij de Alpiene botsing de Europese continentale korst zich in tweeën. Het onderste deel (LCC) duikt samen met de lithosferische mantel onder de Adriatische plaat. Door deze subductie ontstaan in het noordelijke Alpiene voorland, waaronder de Eifel, rekkrachten die de taai-ervormbare diepere lithosfeer uit elkaar trekt en dunner maakt, waardoor de plastische asthenosfeer omhoog komt. Tegelijkertijd worden oude Paleozoïsche breukzones in de lithosfeer gereactiveerd. Door de drukverlaging onder de verdunde lithosfeer smelten delen van het opstijgende mantelgesteente en kan het magma langs de heropende breuken naar het aardoppervlak stijgen.



Model voor een plaattektonische hypothese voor de oorsprong van vulkanisme in de Eifel (Meyer & Foulger, 2007)

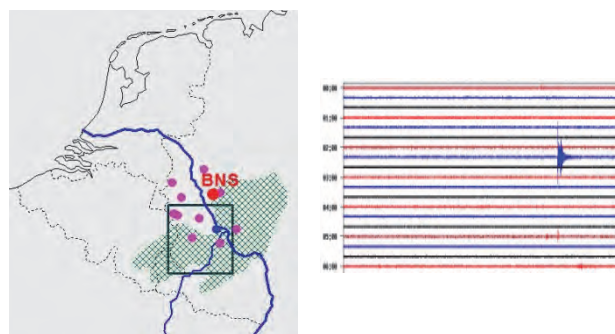
Het bovenste, meer rigide deel van de Europese korst (UCC) botst tegen de Adriatische korst, waardoor het Alpiene plooiingsgebied wordt gevormd. In het voorland ontstaan smalle en langgestrekte, door breuken begrenste slenken of *rif zones* door noordelijk gerichte druk in de bovenste brosse delen van de continentale korst, zoals de N-Z gerichte Rijndalslenk. De Eifel en andere vulkaanvelden van Midden Duitsland en Tsjechië liggen daarentegen in een zone loodrecht op deze riftzone.



Kenozoïsche rif zones (groen) en vulkaanvelden (rood) in het N voorland van de Alpen (Naar Dèzes, Schmid & Ziegler, 2004).

in de Laacher See caldera en de aanwezigheid van de lage snelheidszone met heet of gedeeltelijk vloeibaar gesteente vormen aanwijzingen dat de vulkanen in de Eifel niet zijn uitgedoofd, maar slechts slapen. In de Eifel gespecialiseerde vulkanologen achten toekomstige erupties dan ook uiterst waarschijnlijk (Schmincke, 2010).

De gevolgen van een uitbarsting als die van de Laacher See vulkaan 12.900 jaar geleden kunnen catastrofaal zijn vanwege de bevolkingsdichtheid in het gebied en de nabijheid van grote steden als Koblenz en Bonn. Monitoren van het vulkanisme in de Eifel is dan ook nodig. Vulkanen geven, in tegenstelling tot aardbevingen, meestal signalen af bij een naderende uitbarsting. Het monitoren kan met verschillende methoden. De belangrijkste hulpmiddelen zijn seismometers. Die kunnen ook zwakke trillingen registreren, die voortkomen uit een toename van de druk van opstijgend magma en gassen, waardoor vaak kleine breuken in het nevengeesteente worden veroorzaakt. Het aardbevingsstation *Bensberg* bij Keulen monitort daarom niet alleen de tektonische bewegingen maar ook de vulkanische trillingen met een aantal seismometers in de Nederrijnse Bocht en Oost-eifel. Op dit moment is er geen enkele aanwijzing dat een uitbarsting in de Eifel ophanden is.



Kaart met aardbevingsstation Bensberg (BNS) en seismometerstations (magenta) in de Eifel en Nederrijnse Bocht (blauwe rechthoek); blauwe stip is Laacher See. Rechts: geregistreeerde tektonische beving bij Plaidt (Oost-eifel) met een magnitude van 2,4 op de schaal van Richter op 21 februari 2012 om 02:34 uur (gegevens: Erdbebenstation Bensberg).

## 2.6 CO<sub>2</sub> en mineraalwater

Een magma bestaat uit vloeibaar gesteente en de gassen, die daarin opgelost zijn. Waterdamp (H<sub>2</sub>O) en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) leveren de grootste bijdrage aan deze magmatische gassen. Andere veelvoorkomende gassen zijn zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) of waterstofsulfide (H<sub>2</sub>S), stikstofgas (N<sub>2</sub>), chloor (Cl), argon (Ar), helium (He), neon (Ne) en methaan (CH<sub>4</sub>).

### 2.6.1 CO<sub>2</sub>

In de Eifel wint de firma Carbo natuurlijke CO<sub>2</sub> voor industriële toepassingen. Het gas wordt afgevangen en van meekomend water gescheiden in absorptietorens boven boorputten in de Wehrer Kessel, waarna het

# Geologie van de Eifel

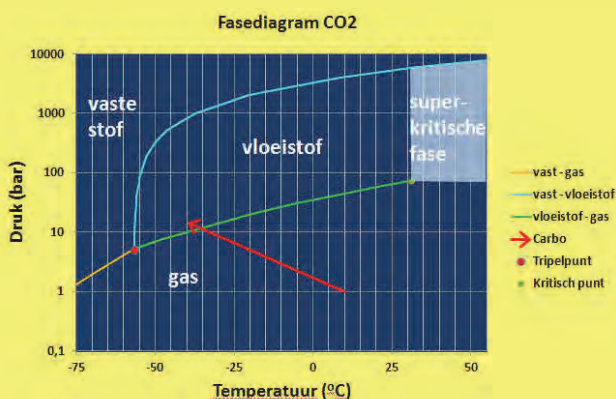
vloeibaar wordt gemaakt door temperatuurverlaging van circa +10 tot -40°C en drukverhoging van 1 tot 15 bar (rode pijl in onderstaand fase-diagram), zodat het in tankwagens en in cilinderflessen vervoerd kan worden naar de gebruikers.



Afvang van CO<sub>2</sub>-gas in absorptietorens en transport van vloeibare CO<sub>2</sub> in tankwagens bij Carbo in Wehr. (foto rechts: CARBO Kohlensäurewerke GmbH & Co, Bad Hönningen).

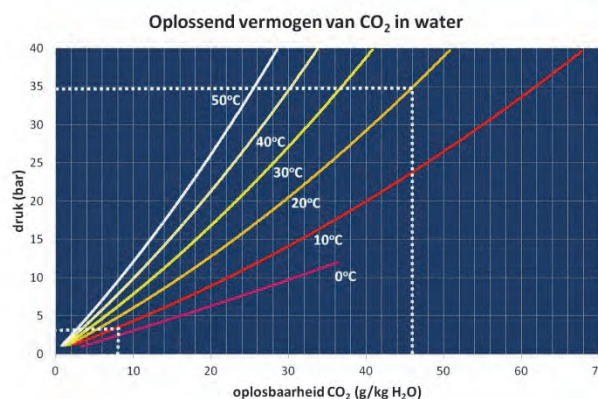
## CO<sub>2</sub>

Koolstofdioxide is bij kamertemperatuur en druk een kleurloos gas. Het is met een soortelijke massa van 1,97 kg/m<sup>3</sup> bij 0°C en 1 bar zwaarder dan lucht (78% stikstofgas en 21% zuurstofgas; soortelijke massa 1,29 kg/m<sup>3</sup>) en kan daardoor eenvoudig in reageerbuisjes worden overgegoten. Afhankelijk van de druk en temperatuur komt CO<sub>2</sub> voor in vaste, vloeibare of gasvormige toestand. Dit wordt geïllustreerd in een fase-diagram. Bij gewone temperatuur (20°C) en druk (1 atmosfeer ≈ 1 bar) is CO<sub>2</sub> een gas. Onder -78,5°C, het *sublimatiepunt*, gaat het gas direct over in vaste stof; het 'desublimeert'. Vaste CO<sub>2</sub> wordt koolzuursneeuw of 'droogijs' genoemd en wordt gebruikt als koelmiddel. De directe overgang van vaste CO<sub>2</sub> naar gas wordt sublimatie genoemd en wordt gebruikt om nevel-effecten te creëren bij theatervoorstellingen. Om CO<sub>2</sub>-gas in een vloeibare toestand te brengen, moet de druk verhoogd worden, bij 20°C tot 60 bar. Bij een druk van 5,2 bar en een temperatuur van -56,5°C, het *tripelpunt*, kunnen de vaste, vloeibare en gasfase naast elkaar bestaan, ze zijn dan in evenwicht. Boven een druk van 73,8 bar en een temperatuur van 31°C komt CO<sub>2</sub> in een superkritische toestand, waarin geen onderscheid meer bestaat tussen vloeistof en gas. Dit is het kritisch punt in het fase-diagram.



Fasediagram van CO<sub>2</sub>; rode pijl toont faseverandering tussen afvang (gasfase) en vervoer (vloeistoffase) door Carbo (data fasegrenzen uit Span & Wagner, 1996).

CO<sub>2</sub> is goed oplosbaar in water. Het overgrote deel van het gas lost op door *hydratatie*, waarbij CO<sub>2</sub> aan de vloeistof (water) wordt gebonden zonder in ionen te splitsen. Slechts een heel klein deel lost op door de vorming van het zwakke zuur H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (koolzuur), waarna ionisatie plaatsvindt. De hoeveelheid koolstofdioxide die in water kan oplossen neemt toe met de druk en af met de temperatuur.



Grafiek van het oplossend vermogen van CO<sub>2</sub> in water bij verschillende druk en temperatuur (data uit Duan & Sun, 2003).

CO<sub>2</sub> is op talrijke plaatsen aanwezig in het grondwater zowel in de West- als de Oosteifel. Voorbeelden zijn de vele koolzuurhoudende minerale bronnen, de 'droge' CO<sub>2</sub>-gasbronnen (*mofetten*) en de twee koudwater geisers, die met boringen zijn opgewekt. In de Westeifel bij Wallenborn lost CO<sub>2</sub> op in het water van een 30 m diepe boorkolom, met een druk van 3 bar en een temperatuur van 9°C. Uit bovenstaande grafiek volgt dat onder die condities circa 8 g CO<sub>2</sub>/kg water in oplossing kan gaan. Verder toestromend CO<sub>2</sub> zorgt vervolgens voor een gaslift. Daarbij neemt de druk in de waterkolom weer af zodat steeds meer CO<sub>2</sub> uit het water ontwijkt en de gaslift het water in een alsmar grotere versnelling brengt, waardoor uiteindelijk de *Wallende Born* elk half uur het water tot maximaal 4 meter omhoog spuit. Bij Andernach is het boorgat ruim 10x dieper en stroomt CO<sub>2</sub>-gas een 350 m hoge waterkolom binnen. Op die diepte bedraagt de druk 35 bar en is de temperatuur van het grondwater 20°C, zodat ongeveer 46 g CO<sub>2</sub>/kg water kan oplossen. Bij drukverlaging tot 1 bar door gaslift ontsnapt dit gas weer expansief en spuit het elke 2 uur een koudwater fontein een meter of 50 m omhoog.

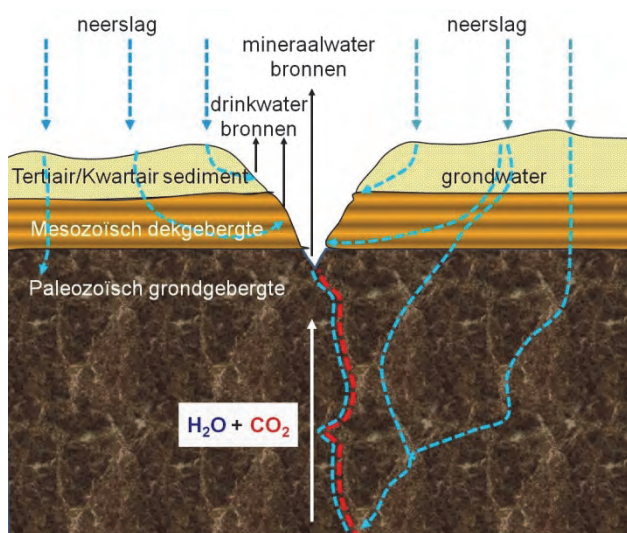


Geysir Andernach

## 2.6.2 Mineraalwater

In Duitsland moet mineraalwater aan de bron gebotteld worden. Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) dat van nature aanwezig is in het bronwater mag daarbij uit het mineraalwater worden afgescheiden om het later in de gewenste concentratie weer toe te voegen. *Gerolsteiner Sprudel*, bijvoorbeeld, bevat 7 g/l koolstofdioxide. Bij een temperatuur van 20°C vereist dit een druk van 4 bar (zie bovenstaande grafiek). Onder deze druk zijn in de afgesloten fles bij kamertemperatuur geen gasbubbel aanwezig. Bij het openen van de fles, valt de druk weg en scheidt het CO<sub>2</sub>-gas zich af van het water. De gasbellen zetten uit en stijgen bruisend in de vloeistof op.

Mineraalwater is grondwater, dat door natuurlijke processen in de aarde verrijkt is met opgeloste mineralen en gasen. CO<sub>2</sub> speelt een hoofdrol in het ontstaan van mineraalwater, dankzij het (kleine) deel dat bij oplossing in water koolzuur (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) vormt. Dit zwakke zuur is verantwoordelijk voor het oplossen van mineralen in het nevengeesteente, waarin koolzuurhoudend grondwater circuleert.



Het ontstaan van minerale bronnen

CO<sub>2</sub>-gas kan ontsnappen uit magma, dat in ondiepe magmakamers geleidelijk afkoelt en stolt, of het wordt samen met nieuw magma aangevoerd vanuit de mantel. Het gas stijgt omhoog in de aardkorst langs breuken, barsten en spleetvlakken in het Paleozoïsch grondgebergte. In de hogere zones komt het in contact met grondwater dat langs diezelfde paden infiltreert. Het gashoudende grondwater is nu lichter en stroomt naar boven en lost onderweg mineralen uit het Paleozoïsch nevengeesteente op. Uit zandsteen en schalie zijn dat chloriet en veldspaat en uit kalksteen calciet en dolomiet. Hoe langer de weg, des te hoger de concentratie wordt van opgeloste mineralen.

Op deze manier zijn in de Eifel meer dan 300 bronnen met mineraalwater gevormd (Meyer, 1994). Onderstaand kaartje laat zien, dat ze weliswaar duidelijk ban-

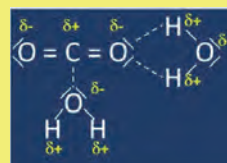
den hebben met de beide vulkaanvelden, maar dat ze zich daartoe niet geheel beperken. Duidelijk zijn een aantal oplijningen te herkennen van series bronnen, die duiden op breukzones waarlangs het mineraalwater naar het aardoppervlak is gestroomd (Stoffels & Thein, 2000).

### Oplossing van CO<sub>2</sub>-gas in water

CO<sub>2</sub>-gas lost op twee manieren op in water. Het meeste gas mengt zich in het water via hydratatie; slechts een klein deel door ionisatie na de vorming van koolzuur.

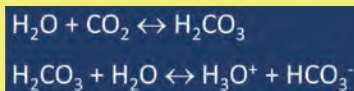
#### Hydratatie

In een CO<sub>2</sub> molecuul vormt koolstof een stevige, polaire binding met elk van de beide zuurstofatomen via gemeenschappelijk gebruik van twee elektronenparen (de streepjes tussen de atomen in onderstaande formule). Door de grotere kernlading van de zuurstofatomen bewegen deze elektronen zich dichterbij de zuurstofkernen dan bij de koolstofkernen waardoor de zuurstofatomen een beetje negatief geladen zijn (δ<sup>-</sup>) en de koolstofatomen een beetje positief geladen (δ<sup>+</sup>). Ook het watermolecuul is een polaire binding met eveneens een negatieve lading van het zuurstofatoom en een positieve lading van de beide waterstofatomen. Bij oplossing van een gas in water door hydratatie worden de positief geladen koolstofatomen van CO<sub>2</sub> aangetrokken door de negatief geladen zuurstofatomen van H<sub>2</sub>O terwijl de negatief geladen zuurstof van CO<sub>2</sub> de positief geladen waterstofatomen van H<sub>2</sub>O aantrekt. Bij oplossing door hydratatie blijven de CO<sub>2</sub> moleculen dus intact terwijl ze door H<sub>2</sub>O moleculen omgeven zijn.



#### Vorming en ionisatie van koolzuur

Bij het oplossen van CO<sub>2</sub> in water wordt koolzuur (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) gevormd. Koolzuur splitst zich in een positief geladen H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ion (hydronium) en een negatief geladen HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ion. H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is een zwak zuur dat verantwoordelijk is voor het oplossen van mineralen uit de gesteenten waar het water doorheen stroomt en voor het oplossen van kalksteen (CaCO<sub>3</sub>), waardoor karstgebieden en druipsteengrotten ontstaan.



Dat koolzuur slecht oplosbaar is in water, blijkt uit de evenwichtsconstante van deze reactie bij 25°C:

$$K_{25^\circ\text{C}} = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{CO}_2]} = 1,7 \times 10^{-3}$$

Met andere woorden, slechts 0,17% van het CO<sub>2</sub> dat in het water is opgelost is omgezet in koolzuur.

# Geologie van de Eifel

## Oplossing van mineralen in CO<sub>2</sub>-houdend grondwater

De aanwezigheid van koolstofdioxide in grondwater is cruciaal voor de verwerking van het nevangesteente, waarbij koolzuur alkali- en aardalkali-ionen uit de silicaatmineralen oplost. Zo worden uit de zandsteen en schalies van het Onder-Devonisch grondgebergte de weinig verweringsresistente mineralen veldspaat en chloriet opgelost, waarbij H<sup>+</sup> wordt opgenomen en kleimineralen, kiezelzuur en natrium, kalium, calcium en magnesium vrijkomen en in oplossing gaan:

Veldspaat → kaoliniet + kiezelzuur + Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Ca<sup>2+</sup>

Chloriet → kaoliniet + kiezelzuur + Fe<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>

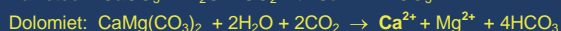


Een eenvoudig voorbeeld is de chemische reactie bij de omzetting van kaliveldspaat naar kaoliniet:



Bij de verwerking van plagioklaas komt ook Ca<sup>2+</sup> vrij, terwijl uit chloriet ook Mg<sup>2+</sup> in oplossing gaat. Minerale water met als belangrijkste positief geladen ionen Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> en Ca<sup>2+</sup> is het meest voorkomende type bronwater in de Eifel. Een voorbeeld is het *Dauner* mineraalwater.

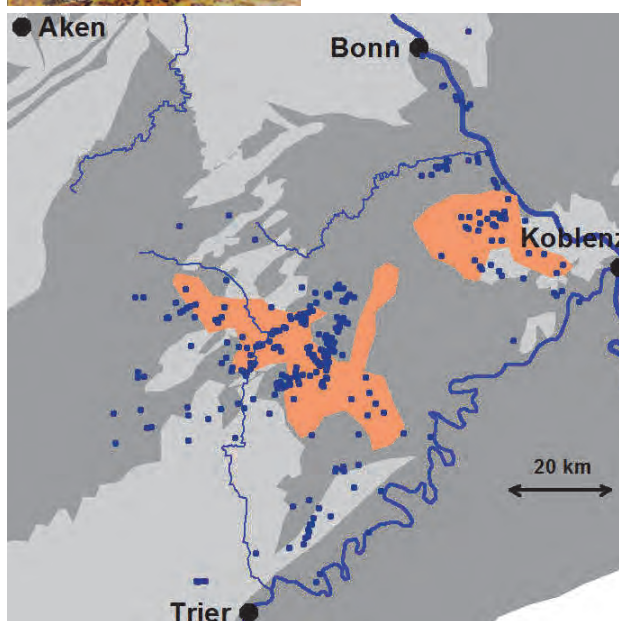
De kalksynclines in de Westeifel vormen het Midden-Devonisch grondgebergte, dat bestaat uit kalksteen en dolomiet. Hieruit worden vooral calcium en magnesium opgelost:



Hoge gehalten aan calcium en magnesium zijn dan ook kenmerkend voor het bekendste merk mineraalwater uit de Eifel, *Gerolsteiner*.



Langs diepe randbreuken van het Rijndal stroomt zout grondwater de Eifel binnen, zodat naast HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ook Cl<sup>-</sup> in de ionen van het mineraalwater voorkomt. Daarnaast vindt ionenuitwisseling plaats tussen de aangevoerde Na<sup>+</sup> en de aanwezige Ca<sup>2+</sup> en Mg<sup>2+</sup> ionen. Hierdoor wordt het natriumgehalte in het gesteente geregenereerd, zodat Na<sup>+</sup> door het koolzuurhoudende grondwater voortdurend kan worden opgelost. In het extreemste geval kan hierbij mineraalwater van het type 4 (zie tabel hiernaast) ontstaan: Na-HCO<sub>3</sub>, zoals het geval is bij één van de *Oranienbronnen* in Brohl, waar *Brohler* mineraalwater gewonnen wordt.



- Minerale bron
- vulkaanveld

*De verbreiding van minerale bronnen in de Eifel (gegevens Westeifel: May, 2002; Oosteifel: Meyer, 1994 en Langguth & Plum, 1984). Boven: de afgewerkte Vulkania-bron bij Dreis en een veldbron bij Wallenborn.*

### 2.6.3 Typen mineraalwater

De aanwezige ionen bepalen de classificatie van het mineraalwater. In de Eifel behoren de meeste minerale bronnen tot één van de volgende klassen: (Langguth & Plum, 1984; May, 2002; Stoffels & Thein, 2000):

Type	Hoofdelementen en -verbindingen	Ionen
1	Calcium-Magnesium-Waterstofcarbonaat	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
2	Natrium-Calcium-Magnesium-Waterstofcarbonaat	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
3	Natrium-Magnesium-Waterstofcarbonaat	Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
4	Natrium-Waterstofcarbonaat	Na-HCO <sub>3</sub>
5a	Natrium-Magnesium-Waterstofcarbonaat-Chloride	Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
5b	Natrium-Waterstofcarbonaat-Chloride	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
6	Natrium-Waterstofcarbonaat-Sulfaat	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>

# Geologie van de Eifel

De chemische samenstelling van mineraalwater kan op verschillende manieren grafisch worden weergegeven. Het meest gebruikt zijn *Piper*- en *pie*diagrammen. *Piper*diagrammen zijn vooral nuttig om clusters te onderscheiden, die elk een ander type mineraalwater vertegenwoordigen. Dit wordt geïllustreerd in onderstaand diagram met series analyses van mineraalwater uit het Onder-Devonisch grondgebied in de omgeving van Daun, Steinborn en Wallenborn, het Midden-Devonisch

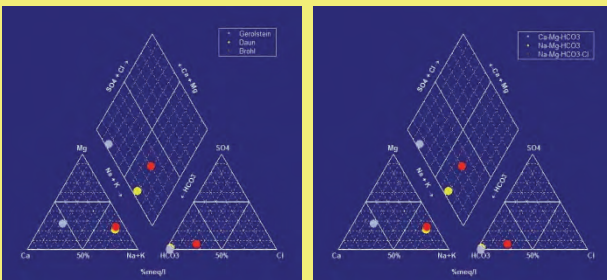
grondgebied bij Gerolstein en uit de omgeving van Brohl, waar natriumchloride houdend grondwater zich in het mineraalwater mengt langs de randbreuken van het Rijndal.

## Chemie van mineraalwater: (1) het Piperdiagram

Een *Piper*diagram bestaat uit twee driehoeken en een ruit. De linker driehoek wordt gebruikt voor de positief geladen elementen, de rechter voor de negatief geladen elementen en de ruit om alles te combineren. De hoekpunten van de driehoeken vertegenwoordigen de belangrijkste elementen die in mineraalwater zijn opgelost: de positieve ionen  $\text{Na}^+$  (+  $\text{K}^+$ ),  $\text{Ca}^{++}$  en  $\text{Mg}^{++}$  en de negatieve ionen  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  en  $\text{SO}_4^{2-}$ . Om de bijdrage van de verschillende ionen onderling goed te kunnen vergelijken worden de concentraties omgerekend van mg/l naar milli-equivalenten/l (mEq/l) volgens de formule:

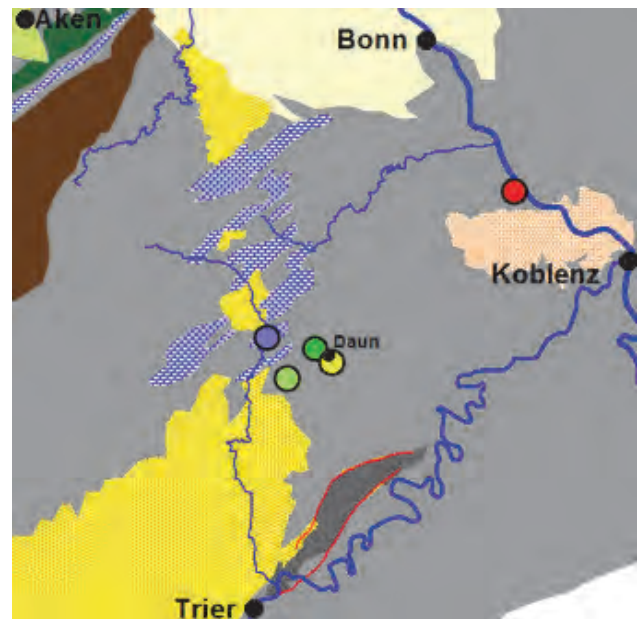
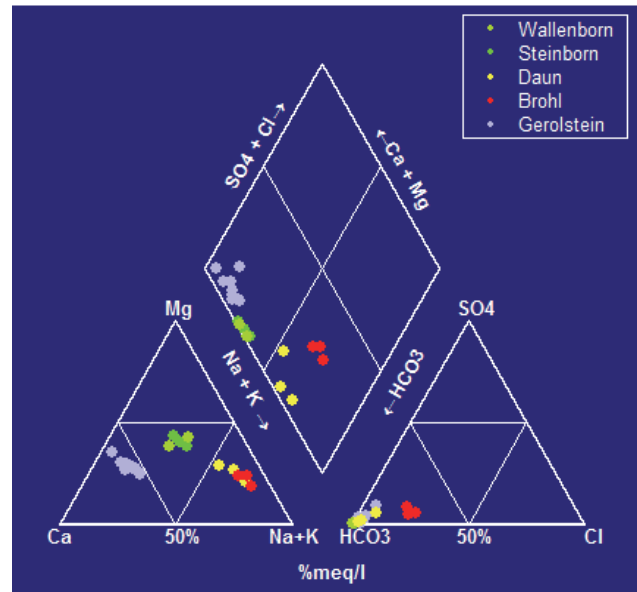
$$[n_{eq}] = \frac{[n]}{MW} \cdot z$$

waarin  $[n_{eq}]$  de concentratie van een ion in milli-equivalent/l,  $[n]$  de concentratie in milligram/l, MW de moleculaire massa en z de lading van het ion is.



Onderstaande tabel geeft een voorbeeld van de berekeningen van de chemische samenstelling van de Dunarisbron in Daun, die leiden tot de gele punten in het *Piper*diagram en een classificatie als Na-Mg-HCO<sub>3</sub> mineraalwater, type 3. Het verschilt duidelijk in positieve ionen van de Helenenbron in Gerolstein (blauwe punten, type 1) en in negatieve ionen van de Oranienbron in Brohl (rode punten, type 5a). Gegevens: Plum, 1984; May, 2002).

	positieve ionen				negatieve ionen		
	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
Ionmassa.	23,0	39,1	40,1	24,3	35,5	96,1	61,0
Ionlading	1	1	2	2	1	2	1
Eq.mass.	23,0	39,1	20,0	12,2	35,5	48,0	61,0
<b>Daun mg/l</b>	<b>771</b>	<b>31,2</b>	<b>95,9</b>	<b>126,6</b>	<b>58,5</b>	<b>43,9</b>	<b>2887</b>
mEq/l	33,5	0,8	4,8	10,4	1,7	0,9	47,3
Σ				49,5			49,9
<b>%mEq/l</b>	<b>67,7%</b>	<b>1,6%</b>	<b>9,7%</b>	<b>21,0%</b>	<b>3,4%</b>	<b>1,8%</b>	<b>94,8%</b>

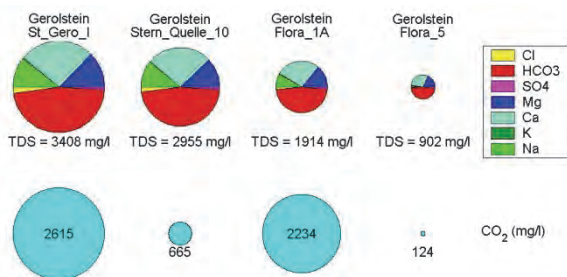


- Trias: zandsteen
- Midden-Devon:: kalksteen
- Onder-Devon: zandsteen, schalie

*Piper*diagram met clusters (boven) en de locaties (onder) van enkele minerale bronnen bij Daun (geel), Steinborn (groen), Wallenborn (lichtgroen), Gerolstein (blauw) en Brohl (rood). Gegevens: Plum, 1984; May, 2002.

*Piper*diagrammen geven echter geen informatie over de concentraties van de zouten en het CO<sub>2</sub>-gas. Daarvoor zijn *pie*diagrammen geschikter. Hoe groter de *pie*, des te meer opgeloste stoffen het mineraalwater bevat. Het-

zelfde geldt voor de *moondiagrammen* die het totaal aan opgelost CO<sub>2</sub>-gas laten zien. Een goed voorbeeld van het nut van *pie-* en *moondiagrammen* zijn onderstaande diagrammen van een viertal productieputten van *Gerolsteiner Sprudel*. De *piediagrammen* laten zien dat de chemische samenstelling van de putten niet veel verschilt; alle produceren calcium-magnesium-waterstofcarbonaat water. De totale hoeveelheid opgeloste stoffen verschilt daarentegen aanzienlijk: 3400 mg/l in St.Gero\_1 en slechts 900 mg/l in Flora\_5. Datzelfde geldt voor het gehalte aan opgeloste CO<sub>2</sub>: slechts 665 mg/l bij Sternquelle\_10, dat met bijna 3000 mg/l TDS 50% meer opgeloste stoffen heeft dan Flora\_1A, terwijl dit laatste bronwater een ruim 3 keer hoger opgelost CO<sub>2</sub> gehalte heeft. De bron Flora\_5 is met een TDS van 900 mg/l en een CO<sub>2</sub> gehalte van 124 mg/l slechts weinig gemineraliseerd.



*Pie- en moondiagrammen van een viertal productieputten in Gerolstein.*

Met de *piediagrammen* kunnen een beperkt aantal analyses goed vergeleken worden, maar grotere aantallen worden onoverzichtelijk. Dat maakt *piediagrammen* ongeschikt voor het onderscheiden van clusters.

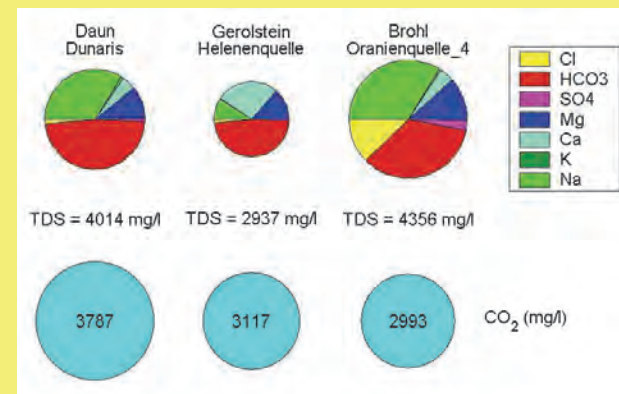
## 2.6.4 De naamgeving van mineraalwater in Duitsland

In Duitsland is de naamgeving van gebotteld water aan strenge normen gebonden. De criteria voor mineraal and medicinaal water zijn vastgelegd in een '*Mineral und Tafelwasserverordnung*'. Veel van onderstaande informatie over de bronnen in de Oostefifel komt uit Stoffels & Thein (2000). Water mag in Duitsland *mineraalwater* worden genoemd als de totale hoeveelheid opgeloste stoffen (TDS) meer dan 1000 mg/l bedraagt, of als sommige hoofdelementen bepaalde drempelconcentraties overschrijden, bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> meer dan 250 mg/l, calcium meer dan 150 mg/l of magnesium meer dan 50 mg/l. De brongebieden van mineraalwater dienen beschermd te zijn tegen verontreiniging en alle in mineraalwater opgeloste bestanddelen moeten een '*geo-origine*' hebben. Mineraalwater moet direct bij de bron gebotteld worden en ongewenste oorspronkelijke bestanddelen mogen alleen verwijderd worden als deze een negatieve invloed hebben op de kleur of geur (zoals ijzer, mangaan en zwavel). Als de hoeveelheid opgeloste CO<sub>2</sub> meer is dan 1000 mg/l, en dat is in het merendeel van het mineraalwater van de Eifel het geval, dan wordt

## De chemie van mineraalwater: (2) het piediagram

Het Piperdiagram toont de onderlinge verhouding tussen de belangrijkste positieve en negatieve ionen in mineraalwater. Het is een handig visueel middel voor de chemische classificatie van mineraalwater waarmee snel de verschillen tussen de typen mineraalwater zichtbaar worden. Maar deze diagrammen geven geen informatie over de opgeloste hoeveelheden mineralen en tonen evenmin de hoeveelheden in het water opgeloste CO<sub>2</sub>. Deze informatie wordt grafisch overzichtelijk weergegeven in *piediagrammen*, aangevuld door *moondiagrammen* voor het opgeloste CO<sub>2</sub>.

In een *piediagram* (taartpunt-diagram) wordt 'de taart verdeeld' tussen de positieve ionen Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> en Mg<sup>++</sup> en de negatieve ionen Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Evenals in de Piperdiagrammen, worden ook hier de concentraties van de ionen omgerekend van mg/l naar mEq/l. *Piediagrammen* van meerdere analyses kunnen naast elkaar worden weergegeven en vergeleken. De diameter van de *piediagrammen* is evenredig met de concentraties (in mg/l) van het totaal aan opgeloste stoffen (TDS = *Total Dissolved Solids*). De *piediagrammen* met de ionenconcentraties kunnen worden aangevuld met *moondiagrammen*, waarin de concentraties van in het water opgelost CO<sub>2</sub> worden weergegeven, eveneens met diameters die evenredig zijn met de concentraties. In onderstaande *pie-* en *moondiagrammen* zijn dezelfde drie analyses van Daun, Gerolstein en Brohl weergegeven, als in bovenstaand voorbeeld van Piperdiagrammen.



In één oogopslag is te zien dat de positief geladen ionen van Daun en Brohl in samenstelling en absolute hoeveelheden (TDS) vergelijkbaar zijn, maar dat de negatief geladen ionen verschillen door het hoge chloridegehalte van het bronwater in Brohl. Daun en Gerolstein daarentegen verschillen vooral in de positieve ionen. De eerste wordt gedomineerd door natrium, terwijl bij Gerolstein calcium en magnesium het grootste aandeel aan mineralen leveren. Het totaal aan opgeloste stoffen is 30% lager in Gerolstein dan in Daun. Alle drie de bronnen worden gekenmerkt door een zeer hoog gehalte CO<sub>2</sub>.

het mineraalwater een '*Säuerling*' genoemd (zuur water). *Bronwater* is water dat evenals mineraalwater een ondergrondse oorsprong heeft en via natuurlijke bronnen of geboorde putten gewonnen wordt. Bronwater hoeft niet te voldoen aan de mineraalwaterverordening, maar wel aan alle eisen die aan drinkwater worden gesteld. Ook bronwater wordt aan de bron gebotteld. *Tafelwater* is in tegenstelling tot mineraalwater en bronwa-



ter geen natuurproduct. Het kan op een willekeurige plaats worden samengesteld door kunstmatige toevoeging van stoffen aan leidingwater. Om verwisseling met mineraalwater te voorkomen, mag op de etiketten van tafelwater geen vermelding staan van de plaats van herkomst en evenmin mag de chemische samenstelling vermeld worden. **Geneeskrachtig water ('Heilwasser')** is in Duitsland onderworpen aan officiële erkenning en legalisering door het 'Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte'. Van *Heilwasser* moet aangetoond worden dat het een gunstig effect heeft op de genezing, verlichting of preventie van ziektes. Belangrijk in geneeskrachtig water zijn niet alleen de dominante ionen, maar ook, en misschien wel belangrijker, sommige sporelementen zoals fluor (F), jodium (I), zwavel (S) en radon (Rn). Voor erkenning als *Heilwasser* gelden drempelwaarden van de concentraties van deze elementen. Afhankelijk van de elementen die een geneeskrachtig water bevat, kan het worden aanbevolen voor specifieke gezondheidsproblemen.

De temperatuur van grond- en mineraalwater in de Eifel varieert gewoonlijk tussen 7,9 en 11,9°C. Mineraalwater dat het aardoppervlak bereikt met een temperatuur van meer dan 20°C wordt **thermaal water** genoemd.

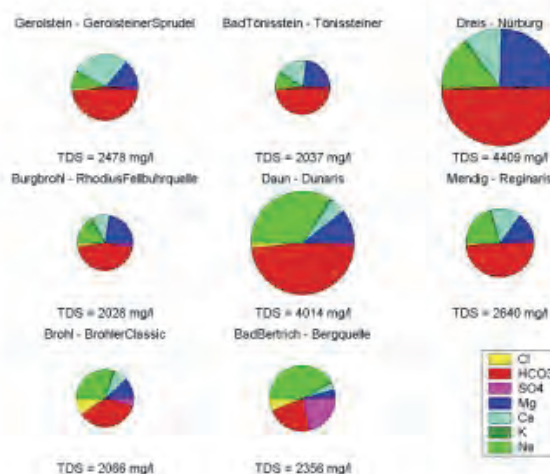
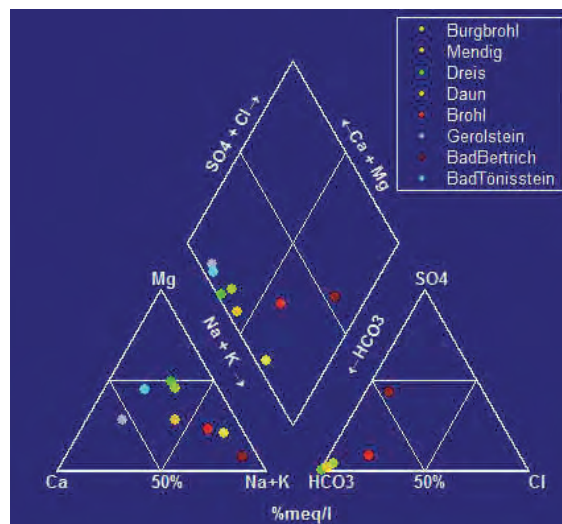
Geneeskrachtig, mineraal en thermaal water worden in de Eifel gebruikt sinds de Romeinse tijd. De Romeinen bezochten de bronnen om gezondheidsredenen, om te ontspannen of, zoals blijkt uit de vele gevonden geldstukoffrandes, voor religieuze rituelen. Mineraalwater treedt in de Eifel aan het aardoppervlak naar buiten in natuurlijke bronnen en wordt daarnaast door boringen ontsloten. Vooral in de 18e en 19e eeuw bestond veel belangstelling voor mineraalwater en *Heilwasser*, zowel voor gezondheidsbaden als voor drinkkuren. Ook nu nog worden beide producten in Duitsland veel genuttigd.



Romeinse munt (76 n.Chr.) gevonden bij de Römervonnen van Wassenach in de Oost-Eifel. (Vulkanpark Brohltal/Laacher See).

## 2.6.5 Gebotteld mineraalwater uit de Eifel

Onderstaande diagrammen tonen de chemische samenstelling van acht soorten mineraalwater die in de Eifel worden geproduceerd. De positieve ionendriehoek van het Piperdiagram laat zien dat het gebottelde mineraalwater uit de Eifel zeer divers van samenstelling is. De *piediagrammen* onderstrepen dit nog eens en tonen daarnaast de onderlinge verschillen in de totale concentratie van de opgeloste stoffen (TDS).



Piper- en *piediagrammen* van gebotteld mineraalwater in de Eifel.

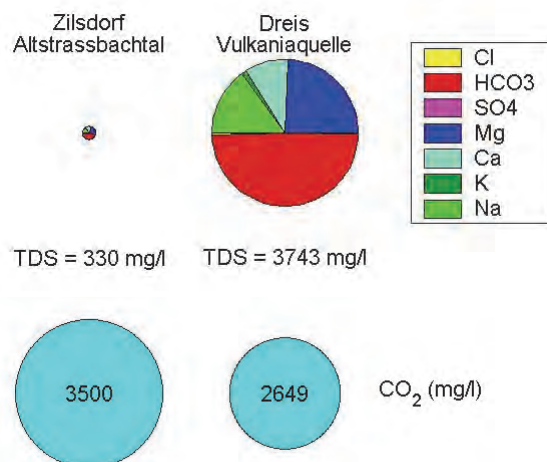
Gerolsteiner Sprudel en Tönissteiner worden gedomineerd door calcium en magnesium. Het mineraalwater van de Nürburgquelle in Dreis en de Rhodiusquelle in Burgbrohl wordt gekenmerkt door een hoog magnesiumgehalte. Bij Daun Dunaris speelt natrium de hoofdrol. Het meeste mineraalwater in de Eifel heeft een min of meer gelijke verdeling van natrium, calcium en magnesium. Dat is ook het geval bij de Reginarisbron bij Mendig. In al deze gevallen is waterstofcarbonaat vrijwel het enige negatieve ion. Alleen bij de Oranienquelle van Brohl en de Bergquelle van Bad Bertrich vormen respectievelijk chloride en sulfaat een belangrijk aandeel in het mineraalwater.

## 2.6.6 Mofetten

Als opstijgend CO<sub>2</sub> pas laat, dus op geringe diepte, grondwater treft, lost slechts weinig op en bereikt het gas direct het aardoppervlak in 'droge' gasbronnen of **mofetten**. Een voorbeeld is de *Mofette am Altstrassbachtal*. De *pie-* en *moondiagrammen* van deze gasbron en de 2½ km oostelijk gelegen Vulkaniquelle illustreren

## Geologie van de Eifel

het verschil tussen een mofette en een mineraalwaterbron. Het totaal aan opgeloste stoffen in het bronwater van de mofette is minder dan 10% van dat van de Vulkaniaquelle, terwijl de CO<sub>2</sub>-uitstoot 30% groter is.



*Pie- en moondiagrammen van de Vulkaniabron in Dreis (Mg-Na-Ca-HCO<sub>3</sub> mineraalwater) en de Mofette Am Altstrassbachtal.*

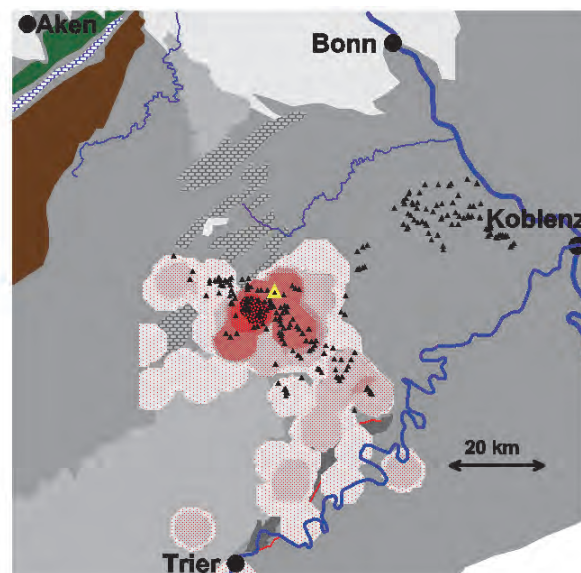
De bekendste mofetten van de Eifel liggen langs de oostelijk oever van de Laacher See. CO<sub>2</sub>-gas stijgt hier op langs de randbreuken van de caldera en laat het water van het meer flink borrelen. Naar schatting produceren de mofetten van Laacher See jaarlijks ongeveer 2500 ton CO<sub>2</sub>, net zoveel als 2 retourtjes per vliegtuig Amsterdam-New York.



*CO<sub>2</sub>-gasbellen aan de oever van Laacher See*

De Oostefiel is een van de belangrijkste CO<sub>2</sub> producerende regio's van Europa door de hoge uitstoot van CO<sub>2</sub> in de caldera's van Wehr en Rieden en in de rondom liggende dalen, zoals het Brohldal en Geeser dal. May (2002) heeft een inventarisatie en berekeningen gemaakt van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de Westeifel. Dit wordt weergegeven op het onderstaande kaartje van de stroomdichtheid van koolstof. De stroomdichtheid is een maat voor de hoeveelheid koolstof(dioxide), die gemiddeld per oppervlakte-eenheid in een bepaalde tijd uitstroomt. Hij wordt uitgedrukt in het aantal mol koolstof (C) dat over een oppervlak van 1 m<sup>2</sup> in 1 seconde wordt uitgestoten (mol/m<sup>2</sup>s). Uit May's kaart van de stroomdichtheid van koolstof, blijkt dat de *Mofette am Altstrassbachtal* (gele driehoek) in het gebied met de grootste uitstoot ligt. Dit gebied komt overeen met de grootste concentratie van vulkanen in het Westeifel vulkaanveld.

De totale hoeveelheid CO<sub>2</sub> die jaarlijks in de gehele Eifel vrijkomt wordt geschat op 750.000 ton.



*Kaart van de stroomdichtheid van koolstof (C) in de Westeifel. De overgangen in de kleurintensiteit markeren intervallen van meer dan 90, 50, 10, 5, 1 en 0% van de maximale waarde (naar May, 2002). Zwarte driehoekjes zijn Kwartaire vulkanen. Gele driehoek markeert de Mofette am Altstrassbachtal.*

## 3. Verwijzingen

- Aeschbach-Hertig, W., 1994. Helium und Tritium als Tracer für physikalische Prozesse in Seen. Dissertatie. ETH, Zürich.
- Beunk, F. & de Vries, W., 2000. Plaattektoniek: motor van het 'systeem aarde'. GEA, vol 33, nr. 2, 35-47.
- Beyer, D., Kunkel, C., Hilse, U., Aehnelt, M., Pudlo, D., Voigt, Th. & Gaupp, R., 2012. Reservoir properties and fluid circulation in Buntsandstein aquifer sandstones of the Thuringian Basin in Central Germany. Friedrich Schiller University, Jena
- Bogaard, P. v.d. & Schmincke, H.-U., 1985. Laacher See tephra: a widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Geol. Soc. of America Bulletin*, 96, 1554-1571.
- Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin, Londen, 450 p.
- Davis, S.N. & DeWiest, R.G.M., 1970. Hydrogeology. John Wiley & Sons, Inc., New York, 463 p.
- Dèzes, Schmid & Ziegler, 2004. Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. *Tectonophysics* 389 (2004) 1–33.
- Duan, Z. en Sun, R., 2003. An improved model calculating CO<sub>2</sub> solubility in pure water and aqueous NaCl solutions from 273 to 533 K and from 0 to 2000bar. *Chem. Geol.*, 193: 253-271.
- Eschghi, I., 1999. Geo-Infoband Vulkaneifel. GEO-Zentrum Vulkaneifel, Daun, 217 p.
- Foulger, G.R., 2010. Plates vs Plumes: a geological controversy. Wiley Blackwell, 328 p.
- Francis, P., 1998. Volcanoes, a planetary perspective. Clarendon Press, Oxford, 443 p.
- Frey, M.-L., 1994. GEO Reportagen Route 2, Ablagerungsgesteine und Vulkanismus im Nordwesten des Gerolsteiner Landes. Verbandsgemeinde Gerolstein, 51p.
- Griesshaber, E., O'Nions, R.K. en Oxburgh, E.R., 1992. Helium and carbon isotope systematics in crustal fluids from the Eifel, the Rhine Graben and Black Forest, F.R.G., *Chemical Geology*, 99, 213-235.
- Harms, J.C., Southard, J.B., Spearing, D.R. and Walker, R.G., 1975. Depositional Environments as Interpreted from Primary Sedimentary Structures and Stratigraphic Sequences. SEPM Short Course 2.
- Heim, Alb., 1908. Der Bau der Schweizeralpen, Vortrag gehalten im Rathause Zürich den 24. Jan. 1907. Fäsi & Beer in Komm., Zürich, 26 p.
- Krafft, M., 1993. Volcanoes – Fire from the earth. Abrams Discoveries, New York.
- Langguth, H.R. & Plum, H, 1984. Untersuchung der Mineral- und Thermalquellen der Eifel auf geochemische Indikationen. Bundesmin. Forsch. u. Technol., Forschungsber. T 84-019, Karlsruhe, 176 p.
- Lutz, H., Frankenhäuser, H. & Neuffer, F.-O., 1998. Fossilfundstätte Eckfelder Maar, Landessammlung für Naturkunde Rheinland-Pfalz/Naturhistorisches Museum, Mainz, 51 p.
- May, F., 2002. Säuerlinge der Vulkaneifel und der Südeifel. *Mainzer geowiss. Mitt.* 31, 7-58.
- McGowen, J.H. & Groat C.G., 1971. Van Horn Sandstone, West Texas: an alluvial fan model for mineral exploration. Report of Investigations, 72, pp. 57. Bureau of Economic Geology, University of Texas, Austin.
- Meinzer, O.E., 1923. The occurrence of groundwater in the United States. USGS Water Supply Paper 489, Washington DC.
- Meyer, W., 1994. Geologie der Eifel. 3. Auflage 1994 bzw. 4. Auflage 2013. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 618 p.
- Meyer, W., 2007. Geologischer Führer zum Geo-Pfad „Vulkanpark Brohltal/Laacher See. Verbandsgemeinde Brohltal, Niedertzissen, 126 p.
- Meyer, R. & Foulger, G.R., 2007. The European Cenozoic Volcanic Province is not caused by mantle plumes. [www.mantleplumes.org/Europe.html](http://www.mantleplumes.org/Europe.html).
- National Geographic, 2002. Etna explodeert (tekst Marco Pinna; fotografie: Carsten Peter). National Geographic, februari 2002, 89-107.
- Pfiffner, O.A., 2009. Geologie der Alpen. Haupt Verlag Bern, 359 p.
- Plum, H., 1989. Genetische Klassifikation und geochemische Interpretation der Mineral- und Thermalwässer der Eifel und Ardennen. *Mitt. Ing.- u. Hydrogeol.*, 34, Aken, 170 p.
- Ritter, J.R.R., Jordan, M., Christensen, U.R. and Achauer, U., 2001. A mantle plume below the Eifel volcanic fields, Germany. *Earth and Planetary Science Letters* 186, 7-14.
- Schmincke, H.-U., 2010, uitgave 3, herziene oplage 2010, © WBG, Darmstadt, Primus Verlag, 264 p.
- Span, R. en Wagner, W., 1996. A New Equation of State for Carbon Dioxide Covering the Fluid Region from the Triple-Point Temperature to 1100 K at Pressures up to 800 MPa. *Journal of Physical and Chemical Reference Data; Journal Volume: 25; Journal Issue: 6.*
- Stoffels, M. & Thein, J., 2000. Die Mineral- und Heilquellen der Region Brohltal/Laacher See. Verbandsgemeinde Brohltal, Niedertzissen, 74 p.
- Šubelj, G., 2006. Anticlinale. Wikipedia: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Syncline>
- Van Rose, S. and Mercer, I.F., 1991. Volcanoes. British Museum of Natural History, Harvard University Press, 61 p.
- Wagemans, F., 2014. <http://scheldeschorren.be/cms/land-en-water/land>.
- Waters, A.C. & Fisher, R.V., 1971. Base surges and their deposits: Capelinhos and Taal Volcanoes. *Journal of Geophysical Research*, Volume 76, Issue 23, 5596–5614.
- Wilson, 1980. Wilson, L., Sparks, R.S.J., Walker, G.P.L., 1980. Explosive volcanic eruptions, IV. The control of magma properties and conduit geometry on eruption column behaviour. *Geoph.J. Roy. Astron.Soc.* 63, 117-148.
- Woudloper, 2010. [commons.wikimedia.org/wiki/File:Partial\\_melting\\_asthenosphere\\_NL.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Partial_melting_asthenosphere_NL.svg)

## 4. Geologische woordenlijst

(Samengesteld door Marlies Verlinde)

### A

**Aërosol:** mengsel van zeer fijne vloeistofdruppels of stofdeeltjes en gas

**Afschuiving:** Bij afschuivingen beweegt een blok over het breukvlak omlaag. De bodem wordt hierdoor als het ware uit elkaar getrokken, waarbij laaggelegen gebieden ontstaan.

**Asregen:** lavafragmenten uit een *Pliniaanse eruptie* vallen gestold terug op aarde (Engels: fallout, of: fall deposits).

**Asthenosfeer:** de plastische mantel van 80-300 km diep. Anticlinaal: *plooi* waarbij het gesteente naar binnen toe juist ouder wordt (i.t.t. *synclinaal*); naar boven gesloten plooï.

**Aquifer:** watervoerende laag in de ondergrond.

### B

**Back-arc bekken:** *bekken* dat ontstaat tijdens de *subductiefase*, tussen de *subductievulkanen* en het continent.

**Basesurges:** drukgolven die zich snel langs het aardoppervlak voortplanten.

**Bekken: of sedimentair bekken;** in de geologie een gebied waar netto accumulatie van sediment door sedimentatie plaatsvindt of plaatsvond. Dit zijn meestal gebieden die topografisch lager liggen dan de omringende gebieden.

**Breukspijting:** *splijting* in wat grovere, brossere sedimentlagen, waarbij de splijtvlakken een hoek maken met de oorspronkelijke gelaagdheid.

**Bronwater:** water met een ondergrondse oorsprong dat via natuurlijke bronnen of geboorde putten wordt gewonnen.

### C

**Caldera:** een grote komvormige krater, die na een vulkaanuitbarsting ontstaat wanneer het dak van de magmakamer niet meer ondersteund wordt. Hierdoor zakt het dak en valt het in de magmakamer. Kenmerkend zijn o.a. de steile binnenwanden.

**Cementatie:** proces waardoor de poriën in een *sediment* dichtgegroeid raken door de neerslag van bepaalde mineralen. Zoals bij elke neerslagreactie vormen deze mineralen kristallen, meestal te klein om met het blote oog te zien. Het gevolg is dat de losse deeltjes (*klasten*) waaruit het sediment bestaat aan elkaar gekit raken en het sediment consolideert.

**Cleavage:** vorming van *splijtvlakken*.

**Collisie:** botsing van twee continentale tektonische platen.

**Consolidatie:** proces waarbij sedimenten of bodems onder hun eigen druk inkrimpen. Als eindresultaat kan

het sediment uiteindelijk worden omgevormd tot een *sedimentair gesteente*.

**Convectiestroming:** verschijnsel in de *mantel*. Mantelgesteente staat bloot aan een naar boven gerichte warmtestroom vanuit de *aardkern*. Doordat gesteente onder de drukken en temperaturen die in de mantel heersen *plastisch deformeert* kan er in de mantel, in tegenstelling tot de *korst*, stroming plaatsvinden van vast gesteente (millimeters tot enkele centimeters per jaar).

**Convergentie:** *schollen* die naar elkaar toe bewegen langs de plaatgrenzen.

**Cross-bedding:** scheve gelaagdheid van sedimentaire structuren in zandsteen; ontstaat bij transport door wind of stromend water.

### D

**Depressie:** relatief laaggelegen gebied.

**Depressie, tektonische:** gebied dat lager ligt dan de gebieden eromheen door tektonische veranderingen (zie *slenk*; wordt ook wel *graben* genoemd).

**Diagenese:** elke chemische, fysische of biologische verandering die een sediment ondergaat nadat het afgezet is (uitgezonderd verweering), bij relatief lage temperatuur en druk. Hierdoor verandert de mineralogie en textuur van het gesteente.

**Diaklaas:** barst in een gesteente waarlangs geen of nauwelijks verplaatsing heeft plaatsgevonden (door tektonische krachten of vorstwerking).

**Dieptegesteente:** zie *plutoniet*.

**Diepzeetrog:** ontstaat bij *subductie* tussen de subducerende plaat en het continent.

**Divergentie:** *schollen* die van elkaar af bewegen langs de plaatgrenzen.

**Drukontlasting:** zodra het bovenliggende gesteentepakket is verdwenen (door erosie) en het gesteente niet langer door de bovenliggende gesteenten wordt samengedrukt, ontspant het gesteente en zet het uit.

### E

**Eerstelingen:** zie *fenocrysten*.

**Effusief vulkanisme:** relatief rustig vulkanisme waarbij vloeibare lava naar buiten stroomt.

**Eolisch:** afzetting van *sediment* door de wind.

**Eruptie, freomagmatische:** vulkaaneruptie door het contact van magma met water (waarbij een *Maarvulkaan* wordt gevormd).

**Eruptie, Plinische:** gekenmerkt door een zware explosie van hete magmatische gassen die voorafgaat aan de lavastroom. Plinische erupties gaan gepaard met de uitstoot van veel materiaal (in de vorm van Pliniaanse eruptiezuilen) en scoren daarmee hoog op de Vulkanische explosiviteitsindex (VEI).

**Eruptie, Stromboliaanse:** bij snelle stijging van basaltisch magma ontstaat een plotselinge drukverlaging. Hierdoor komt een groot deel van het gas explosief vrij en stoot magma naar buiten in lavafonteinen.

## F

**Felsisch:** lichtgekleurde gesteenten of mineralen die relatief veel silica ( $\text{SiO}_2$ ) en relatief weinig magnesium of ijzer bevatten (werd vroeger ook wel 'zuur' genoemd).

**Fenocrysten:** eerstelingen; mineralen als olivijn en pyroxeen die het eerst in een magma kristalliseren en naar de bodem zakken van de *magmakamer*. Hierdoor ontstaat *magma differentiatie*.

**Fonoliet:** een intermediair (tussen mafisch en felsisch) uitvloeiingsgesteente dat zeer veel alkali's bevat, vooral kaliveldspaat en meer dan 10% nefelien. De naam betekent: klanksteen.

**Fonolitisch:** type magma tussen *mafisch* en *felsisch* in.

**Fluviatiel:** afzetting van *sediment* door een rivier.

## G

**Geconsolideerd gesteente:** vast gesteente (bijvoorbeeld zand dat verhardt tot het geconsolideerde gesteente zandsteen).

**Geiser:** een door aardwarmte verwarmde natuurlijke heetwaterbron, die op min of meer gezette tijden een mengsel van heet water en stoom de lucht in spuit. Het is een vulkanisch verschijnsel (zie ook koudwatergeiser).

**Gelaagdheid:** de door de afzetting van sedimenten gevormde structuur van aardlagen in de korst.

**Gelaagdheid, scheve:** zie *cross-bedding*.

**Geologische kaart:** kaart waarop structuren en lagen in de ondergrond worden aangegeven. Een goede geologische kaart geeft een driedimensionaal inzicht van de ondergrond door projecties op het vlak van de kaart.

**Geotherm:** lijn in een grafiek die de *geothermische gradiënt* aanduidt.

**Geothermische gradiënt:** de toename van de temperatuur met de diepte in de ondergrond.

**Graben:** zie *slenk*.

**Grauwacke:** Onder-Devonische zandsteen in de Eifel die donker gekleurd is door o.a. veldspaat en kleimineralen.

**Grondgebergte:** (Engels: basement) het hardere gesteente dat onder afzettingsgesteentes, gesedimenteerd in bekken, te vinden is. Dit is doorgaans metamorf gesteente, stollingsgesteente of een combinatie. In de Eifel bestaat het grondgebergte uit geplooide, licht-metamorfe Paleozoïsche zandsteen of leisteen.

## H

**Heilwasser:** (geneeskrachtig water) water met een aangetoond gunstig effect op de genezing, verlichting of preventie van ziektes.

**Hercynische orogenese:** periode van gebergtevorming in het Boven-Carboon (300 miljoen jaar geleden), waarbij (door een botsing tussen twee oercontinenten) de Devonische gesteentelagen intensief werden geplooid en opgeheven.

**Horizontaalverschuiving:** Bij horizontaalverschuivingen (Engels: strike-slip) bewegen twee blokken alleen maar

langs elkaar. Het verschuivende blok laat een laagte achter terwijl het de bodem omhoog duwt aan de kant waar het naar toe beweegt.

**Horst:** een door breuken begrensd geologisch blok van de aardkorst dat omhoog is gekomen.

**Hotspot:** een plek waar vulkanisme plaatsvindt dat niet gerelateerd is aan plaatbewegingen zoals die in de plaattektoniek gelden. Het is de plaats waar een *mantelpluim* het aardoppervlak bereikt.

## I

**Ignimbrieten:** afzettingen gevormd door *pyroclastische stromen*. De ignimbrieten van de Laacher See uitbarsting worden plaatselijk *Traub* genoemd.

**Intraplaat vulkaan:** opstijgende *mantelpluimen* vormen *hotspots*, waar oceanische of continentale vulkanen worden gevormd die niet gebonden zijn aan de tektonische plaatgrenzen (daarom: intraplaat, op een tektonische plaat gelegen).

**Isotopen:** atomen van hetzelfde chemische element, en dus met hetzelfde aantal protonen, waarin het aantal neutronen verschilt.

## K

**Kaolien:** kleiige bodem waarin veel van deze zogenaamde chinaklei voorkomt (een aluminium-fylosilicaat;  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ .)

**Karst:** oplossing van kalksteen, waarbij spleten en holten ontstaan.

**Kern:** binnenste schil van de aarde.

**Klastisch:** is opgebouwd of bestaat uit fragmenten van afgebroken gesteente (zogenaamde klasten).

**Koudwatergeiser:** koudwaterbron die uitbarst als een natuurlijke *geiser*, vanwege het vrijkomen van opgelost koolstofdioxide in het water.

**Korst:** buitenste schil van de aarde.

## L

**Lahar:** modderstroom die kan ontstaan na regen- en onweersbuien door (en na) een grote, explosieve vulkaanuitbarsting.

**Lava:** magma dat het aardoppervlak bereikt.

**Lavafontein:** ontstaat bij een *Stromboliaanse eruptie*.

**Lavakoepel:** koepelvormige vulkanische structuur die bestaat uit visceus lava. Alleen *felsische* vormen van lava zijn visceus genoeg om lavakoepels te vormen. (Engels: lava dome)

**Leisplijting:** *splijting* van kleiige, makkelijke deformeerbare gesteenten waarin gladde, evenwijdige en dicht op elkaar liggende splijtvlakken ontstaan.

**Leisteen:** donker, fijnkorrelig gesteente met perfecte . dunplattige splijting, veroorzaakt door metamorfose van een kleig sediment.

**Lithosfeer:** de aardkorst samen met de vaste, bovenste 80 km van de mantel.

## M

**Maarvulkaan:** explosiekrater die ontstaat wanneer naar het aardoppervlak opstijgend gloeiend heet magma in contact komt met water. Door series opeenvolgende, heftige waterdampexplosies ontstaat een trechtersvormige krater.

**Maarmeer:** door regen- en grondwater opgevulde krater van een Maarvulkaan.

**Mafisch:** donkergekleurde gesteenten of mineralen die relatief veel magnesium en ijzer bevatten, en relatief weinig silica ( $\text{SiO}_2$ ). Per definitie is een gesteente mafisch wanneer het tussen de 52 en 45 massaprocent silica bevat. (werd vroeger ook wel 'basisch' genoemd).

**Magma:** gesmolten gesteente onder het aardoppervlak.

**Magmadifferentiatie:** proces waardoor een homogeen basaltisch magma een andere samenstelling krijgt, door afkoeling en (partiële) kristallisatie in *smelten*. Vorming van *fenocrysten* en (zuurder) *restmagma*.

**Magma fragmentatie:** na de opbouw van een zeer hoge gasdruk in een *felsisch* magma spat het magma explosief uiteen. Eerst is er een lavafontein of eruptiezuil te zien van de uitgestoten fragmenten en gassen; na het afkoelen van de lavadeeltjes vallen ze gestold terug op aarde als (meestal zeer poreuze) *pyroclasten*.

**Magmakamer:** plaats op dieptes van enkele kilometers tot enkele tientallen kilometers onder het aardoppervlak waar magma zich verzamelt.

**Mantel:** Schil van de aarde tussen de kern en de korst. Neemt 83% van het volume van de Aarde in en bevat 67,5 % van haar massa.

**Mantelpluim:** gedeeltelijk gesmolten gesteente dat opstijgt uit de diepere delen (meer dan 2.000 km diep) van de ondermantel.

**mD: milliDarcy,** maat voor de *permeabiliteit* van een gesteente.

**Metamorfose:** verandering van gesteenten door chemische reacties en faseovergangen.

**Mica:** (andere naam: glimmer) is de naam voor een grote groep mineralen (fylosilicaten) die een belangrijk gesteentevormend onderdeel zijn van vulkanische gesteenten, zoals graniet.

**Mineraal:** een stof die in gelijkmatige vaste vorm in de vrije natuur voorkomt.

**Mineraalwater:** water met een *TDS* van meer dan 1000 mg/l, of  $\text{CO}_2$  meer dan 250 mg/l, calcium meer dan 150 g/l of magnesium meer dan 50 mg/l (Duitse definitie).

**Mofette:** droge  $\text{CO}_2$  gasbron.

**Moho:** grens *aardmantel/aardkorst*. Volledige naam:

**Mohorovičić** discontinuïteit Hier neemt de snelheid van seismische golven plotseling toe, omdat het mantelgesteente een grotere dichtheid heeft dan het gesteente in de korst. In mantelgesteente stijgt het veel lichtere gesmolten gesteente makkelijk op. Eenmaal op de grens met de korst neemt het dichtheidscontrast plotseling af, waardoor het gesmolten gesteente moeilijker opstijgt.

**Moondiagram:** schema dat informatie geeft over de concentratie  $\text{CO}_2$ -gas in mineraalwater. Zie ook *pedia-gram*.

## O

**Obsidiaan:** zwart vulkanisch glas met een ongeordende, amorfe structuur.

**Olivijn:** een *mineraal* met als chemische formule  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ , waarbij de eindleden tussen magnesium en ijzer worden gevormd door de mineralenreeks forsteriet (rijk aan Mg) en fayaliet (rijk aan Fe). Een van de mineralen in het mantelgesteente *peridotiet*.

**Opschuiving:** Bij opschuivingen beweegt een blok over het breukvlak omhoog. Hierdoor komen oude lagen boven op jongere lagen te liggen. De bodem wordt dan dus korter en dikker.

**Orogenese:** gebergtevorming.

**Overschuiving:** een type opschuiving met een helling kleiner dan  $30^\circ$ . (Engels: thrust fault).

## P

**Peridotiet:** het belangrijkste gesteente in de *mantel*; het bestaat uit de *mineralen olivijn* en *pyroxeen*.

**Peridotietbom:** uitgeworpen olivijnknollen die vaak worden aangetroffen in *tufwallen* rond een *Maarvulkaan*, na een *freatomagmatische eruptie*.

**Permeabiliteit:** doorlatendheid; beschrijft in welke mate een gesteente een andere (vloei)stof of gas door laat.

**Piedigram:** schema dat informatie geeft over de concentraties in mineraalwater van de opgeloste zouten. Zie ook *moondiagram*.

**Piperdiagram:** schema dat de samenstelling van mineraalwater toont. De linker driehoek is voor de kationen (positief geladen elementen), de rechter voor de anionen (negatief geladen elementen), en de ruit combineert alles. In de hoekpunten van de driehoeken staan de belangrijkste in mineraalwater opgeloste elementen.

**Plaat:** zie *schol*.

**Plaattektoniek:** de wetenschappelijke theorie die zowel de geografische ligging van continenten, oceanen, gebirgen en andere structuren in het aardoppervlak verklaart als de geologische structuren in de aardkorst en de plek waar aardbevingen en vulkanisme voorkomen. Volgens de theorie is de *lithosfeer* verdeeld in tektonische platen of "*schollen*", die onafhankelijk van elkaar over het aardoppervlak bewegen. De beweging wordt aangedreven door stromingen in de onderliggende *asthenosfeer*.

**Plastische deformatie:** materiaal vervormt onder invloed van een kracht. Dit gebeurt bijvoorbeeld in de mantel. Deze is niet vloeibaar, maar door plastische deformatie zijn er toch *convectiestromingen* mogelijk.

**Plooi:** een ombuiging in oorspronkelijk horizontale lagen (zoals sedimentaire lagen).

# Geologie van de Eifel

---

**Plutoniet:** een in de diepte (in een magmakamer) gekristalliseerd gesteente met grote kristallen (dieptegesteente).

**Porositeit:** maat voor de hoeveelheid poriën in een gesteente, uitgedrukt als percentage 'ledigheid' ten opzichte van de vaste stof.

**Puimsteen:** gestold schuim dat ontstaat bij de hevige ontgassing van *felsisch* magma. Het bestaat uit glazige huidjes rond voormalige gasbelletjes. Daardoor heeft puimsteen een soortelijke massa van minder dan 1 gm/cm<sup>3</sup> en drijft het op water.

**Pyroclast:** betekent letterlijk 'vuurfragmenten'; losse gesteentefragmenten die door vulkaanexplosies zijn uitgeworpen. Zie ook *tefra* en *tuf*.

**Pyroclastische stromen:** fase ontstaan door het instorten van Pliniaanse eruptiezuilen, waardoor mengsels van hete gassen en assen met grote snelheid langs de vulkaanhellingen naar beneden stromen.

**Pyroxeen:** mineraal dat zich kenmerkt door een structuur van enkele silica ketens in tetraëders (inosilicaat).

## R

**Restmagma:** tijdens *magma differentiatie* gevormd na het ontstaan van *fenocrysten*; is silica- en/of alkalirijker, en armer aan magnesium en ijzer, dan het oorspronkelijke magma. Hieruit kristalliseert bijvoorbeeld *trachiet*.

**Rompgebergte:** oud, dus afgesleten, gebergte.

## S

**Schalie:** een sedimentair gesteente dat bestaat uit verharde, geconsolideerde klei.

**Schol:** gedeelte van de *lithosfeer* dat 'drijft' op de *asthenosfeer*. Andere naam: lithosferische of tektonische *plaat*.

**Secundaire porositeit en permeabiliteit:** verandering van de oorspronkelijke, primaire eigenschappen van het gesteente, bijvoorbeeld door breuken, slijtvlakken en karstvorming.

**Sediment:** de benaming voor door wind, water en/of ijs getransporteerd materiaal (wordt ook wel *afzetting* genoemd).

**Sedimentair gesteente:** ontstaat wanneer *sediment* wordt afgezet, door *cementatie*- of *consolidatie*processen.

**Slakkenkegel:** na een *Stromboliaanse eruptie* ontstaat rondom de krater een slakkenkegel van gestolde, vaak erg poreuze, lavafloorders.

**Slenk:** een tektonische vallei ontstaan door twee ruwweg evenwijdige afschuivingsbreuken met een tegenovergestelde hellingsrichting (ook *Graben* genoemd).

**Smelt:** gesmolten gesteente.

**Solidus:** grens tussen de vaste fase en de (deels) vloeibare fase van het gesteente.

**Sortering:** korrelgrootteverdeling in een *sediment*.

**Splijting:** zie *leisplijting* en *breuksplijting*.

**Splijtvlak:** kristallen splijten of breken bij voorkeur langs bepaalde vlakken. Bij mineralen is de oriëntatie van de splijtingsvlakken afhankelijk van de roosterrichting.

**Subductie:** verschijnsel wanneer een (zwaardere) oceanische plaat botst met een (lichtere) continentale plaat, waarbij de oceanische plaat onder de continentale duikt. Hierbij ontstaat een *diepzeetrog*.

**Subductie vulkanisme:** water dat met een subducerende plaat mee wordt gevoerd de mantel in, verlaagt de smeltemperatuur van gesteente. Het gesmolten gesteente is lichter, stijgt op en verzamelt zich in magmakamers in de continentale korst. Daarvan uit ontstaan vulkaanuitbarstingen. Zie ook *back-arc bekken*.

**Supervulkaan:** zeer grote *caldera* met een diameter van tientallen kilometers.

**Surges:** zeer gasrijke en hete drukgolven die zich snel langs het aardoppervlak voortplanten (ook wel: *basesurges*).

**Synclinaal:** een *plooi* in een gesteentelaag, waarbij het gesteente aan de binnenkant van de plooi jonger is dan dat aan de buitenkant; naar beneden gesloten plooi.

## T

**Tafelwater:** in tegenstelling tot *bronwater* en *mineraalwater* geen natuurproduct; gemaakt door kunstmatige toevoeging van stoffen aan (leiding)water.

**TDS:** Total Dissolved Solids; maat (in miligram/liter) voor het totaal van de opgeloste vaste stoffen in mineraalwater.

**Tefra:** onverharde (=ongeconsolideerde) *pyroclasten*.

**Tektonische plaat:** zie *schol*.

**Thermaal water:** mineraalwater dat aan het aardoppervlak komt met een temperatuur van meer dan 20°C.

**Tijdbepaling, absoluut:** bepaling van de absolute ouderdom van gesteenten. Dit kan bijvoorbeeld worden bepaald door radiometrische datering met isotopen.

**Tijdbepaling, relatief:** vaststelling van de volgorde van geologische processen, die worden geordend op een schaal van oud(er) naar jong(er). Hiervoor worden bijvoorbeeld fossielen gebruikt.

**Tijdschaal, geologische:** indeling van de geschiedenis van de aarde met tijdvakken die belangrijke, vaak wereldwijde, geologische veranderingen markeren.

**Trachiet:** vulkanisch gesteente dat veel voorkomt in de Tertiaire vulkaanvelden van de Eifel en is ontstaan door kristallisatie van restmagma's.

**Traß:** zie *ignimbrieten*.

**Tuf:** verharde (=geconsolideerde) *pyroclasten*.

## U

**Uitvloeiingsgesteente:** zie *vulkaniet*.

## V

**Varven:** millimeter dunne laagjes afzetting in een *Maarmeer* die te onderscheiden zijn in een zomer- en een winterlaagje.

## Geologie van de Eifel

---

**Varvenchronologie:** het opstellen van een tijdschaal met boorkernen van Maarafzettingen om informatie te krijgen over de vegetatie- en klimaatvariaties tijdens het Kwartair.

**VEI:** Vulkanische ExplosiviteitsIndex; logaritmische schaal met twee indicatoren, namelijk de hoogte van de eruptiezuil en het volume uitgeworpen tefra.

**Viscositeit:** stroperigheid.

**Vulkaniet:** gesteente dat zich vormt wanneer lava aan de aardoppervlakte uitvloeit en afkoelt, met kleine kristallen (uitvloeiingsgesteente).

**Vulkanisme:** verzamelnaam voor geologische processen aan het oppervlak, die het gevolg zijn van het omhoog

komen van heet, gesmolten materiaal uit het binnenste van de aarde. Zie ook: *subductie vulkanisme; vulkanische oceanische rug; intra-plaat vulkaan.*

**Vulkanische oceanische rug:** door toevoer van basalt drijven de oceanische tektonische *platen* uit elkaar (*divergentie*); er vormen zich mid-oceanische ruggen met eruptiecentra.

### W

**Warven:** zie varven

**Warvenchronologie:** zie varvenchronologie

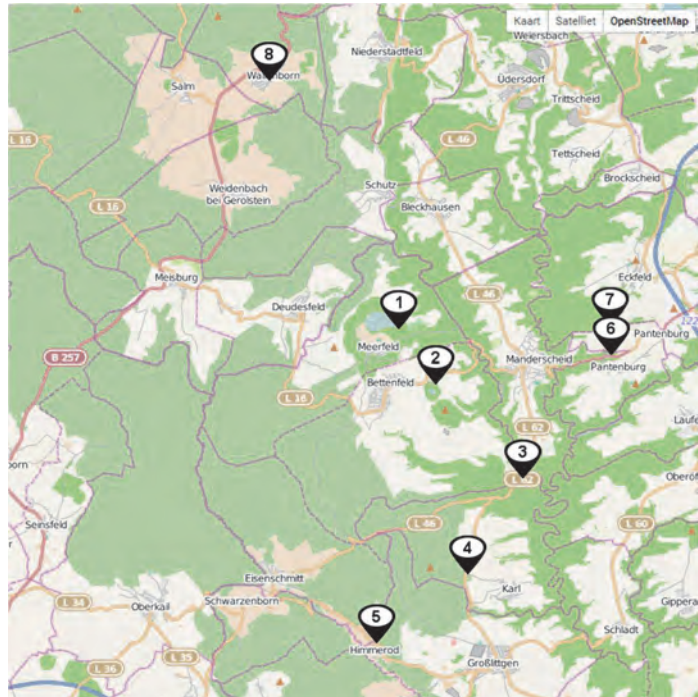




## Deel 3: Eifel GeoRoutes

### 1. Korte samenvattingen van alle Eifel GeoRoutes (app)

#### Deelgebied I: Manderscheid



#### I-1 Meerfeld



Foto Erich Justra, Touristinfo Manderscheid

#### Een unieke blik op de geologie van de Vulkaaneifel

Het Meerfelder Maar is met een doorsnede van 1700 m en een trechterdiepte van 400 m de grootste maarvulkaan van de Eifel. De maartrechter is ontstaan door waterdampexplosies die zijn opgewekt door het contact van gloeiend heet magma met grondwater. Het Meerfelder Maar is de enige maarvulkaan in de vulkaangroep van Manderscheid. De overige vulkanen zijn slakkenkegels die behoren tot de Mosenberg vulkaangroep. Ze zijn ontstaan uit lavafonteynen, die werden aangedreven door gassen (vooral CO<sub>2</sub>) die uit het opstijgende magma vrijkwamen. Het Meerfelder Maar ligt samen met de slakkenkegels langs een rechte breuklijn. Het maarmeer neemt iets minder dan de helft van het oppervlak van de maartrechter in beslag. Het oppervlak van het meer ligt 100 m onder het omringende Paleozoïsch maaiveld. De binnenwanden van de maartrechter bestaan uit Paleozoïsche zandsteen en schalies. De gesteentefragmenten die bij de vulkaanuitbarsting werden verbrijzeld en uitgeworpen over de randen, vormen nu een ringvormige tufwal rond het maar. De tuffen zijn ontsloten in een groeve aan de westzijde van de trechterwand. De huidige diepte van het maarmeer is 17 m. Een, ook letterlijk, hoogtepunt langs deze route is het uitzichtpunt Landesblick op het hoogste punt (515 m) van de ringvormige tufwal rond het Meerfelder Maar. Het biedt een spectaculaire en unieke blik op een aantal van deze geologische componenten en de daarbij behorende processen die tot het huidige Eifellandschap hebben geleid.

#### I-2 Mosenberg

#### Een wandeling langs slakkenkegels, een kratermeer, lavagangen en een lavastroom met basaltzuilen

De Mosenberg vulkaangroep bestaat uit vier grote slakkenkegels en drie kleinere, oudere eruptiecentra. Slakkenkegels ontstaan bovenop het bestaande



Foto Erich Justra, Touristinfo Manderscheid

landoppervlak uit lavafonteinen, die door magmatische gassen (vooral CO<sub>2</sub>) omhoog worden gestuwd. De hoogste top van de Mosenberg steekt met 517 m zo'n 90 m boven de oppervlakte van het grondgebergte uit. De Mosenberg zelf is een dubbelvulkaan, elk met een slakkenkegel en een krater. Direct ten noordwesten hiervan ligt de fraaie Windsborn slakkenkegel met zijn kratermeer (foto), dat uniek is in Midden-Europa. De wandeling voert vervolgens langs de Mosenberg waarin een verticale en een horizontale basaltgang de slakkenafzettingen zijn binnengedrongen en komt langs een oude groeve waarin de slakken zijn ontsloten en een modern informatiecentrum is ingericht. Daarna volgt de route een lavastroom die uit de Mosenbergvulkaan tot in het dal van de Kleine Kyll is gevloeid. Een korte afdaling in de indrukwekkende Wolfsschlucht leidt naar oude groeves waarin de verzuilde basalt fraai ontsloten is. Kolk-gaten in rotsblokken in de bedding van de Kleine Kyll tonen aan dat deze rivier door de lava geblokkeerd is geweest, waardoor een waterval ontstond waarin meegevoerd grind en keien gaten in de rotsbodem uitslepen. De wandeling start en eindigt bij het Hinkelsmaar, dat in tegenstelling tot zijn naam geen maar, maar een slakkenkegel is.

### I-3 Dreisborn



#### **Een oude minerale bron langs de breuklijn van de vulkaangroep van Manderscheid**

In het verlengde van het Meerfelder Maar en de Mosenberg vulkaangroep ligt op dezelfde tektonische breuklijn de oude minerale bron Dreisborn, die mogelijk al gebruikt werd door de Romeinen. De bronfitting, gemaakt van bontzandsteen dateert van 1784. De bron levert zeer mineraalrijk water op met vooral natrium en magnesium. Het gehalte aan opgelost CO<sub>2</sub> benadert 1000 mg/l. De minerale bron ligt nu verscholen in het Prembadal aan de zoom van het uitgestrekte Staatsbosgebied van Manderscheid, dat voor een groot gedeelte op poreuze Mesozoïsche bontzandsteen ligt. De bron zelf ligt in het Paleozoïsch grondgebergte, dat goed ontsloten is in de dalhellingen van de beek.

### I-4 Limmerborn



#### **Een grondwaterbron zonder CO<sub>2</sub> in de bontzandsteen**

De bron Limmerborn ligt precies op de grens tussen bosrijke heuvels in het westen en gras- en akkerland in het oosten. De ondergrond van dit laatste gebied is samengesteld uit fijnkorrelige schalies en zandsteen van het Paleozoïsch grondgebergte. Deze sedimentlagen zijn door gebergtevorming geplooid en samengeperst, waardoor ze vrijwel geen poriën hebben en grondwater niet kunnen opslaan of doorlaten. De bosrijke heuvels bestaan uit bontzandsteenlagen, die veel jonger zijn en als een deken over het door langdurige erosie afgevlakte grondgebergte heen liggen. Bontzandsteen is poreus en doorlatend, zodat regenwater er goed in infiltreert. De bontzandsteen is dan ook het belangrijkste grondwaterreservoir van de Eifel. Het grondwater kan aan de voet van de heuvels weer naar buiten stromen en zo natuurlijke zoetwaterbronnen vormen. Omdat het grondwater bij de Limmerborn niet in contact is gekomen met opstijgende magmatische gassen is het bronwater niet CO<sub>2</sub> houdend en is het evenmin verrijkt met stoffen die door koolzuur zijn opgelost uit het nevengeesteente. De Limmerborn is dus in tegenstelling tot de Dreisborn (I-3) geen minerale bron. De wandeling verduidelijkt het verband tussen watervoerende lagen (bontzandsteen), de slecht doorlatende ondergrond daarvan (geplooid Onder-Devoon) en natuurlijke grondwaterbronnen.

### I-5 Salm dal

#### **De rode bontzandsteen van het Mesozoïsch dekgebergte bij de Abdij Himmerod**

De rivier de Salm doorsnijdt de noordelijke punt van de Trierer Bocht. In dit uitgestrekte gebied is het Mesozoïsch dekgebergte bewaard gebleven en overdekt dit in horizontale lagen het afgevlakte Paleozoïsch grondgebergte.



Langs de oever van de Salm zijn de roodbruine bontzandsteenlagen van het Onder-Trias ontsloten. Vanwege de grote porositeit en permeabiliteit vormen de bontzandsteenlagen het belangrijkste grondwaterreservoir (aquifer) van de Eifel. In het Salmdal bevinden zich veel geboorde waterputten. De fraai gekleurde bontzandsteen is gemakkelijk te bewerken en is in het verleden veel in de bouw gebruikt, vooral voor decoratie. Zo bestaan de pilaren aan de buitenzijde en langs het middenschip van de kloosterkerk Himmerod uit bontzandsteen. Ook de oude Romeinse brug over de Moezel in Trier is in de 2e eeuw n.Chr. gebouwd met bontzandsteen. Veel van de wegkruisen in de Eifel zijn uit bontzandsteen uitgehouwen.

### I-6 Pantenburg



#### **Plooiing en overschuiving in het Paleozoïsch grondgebirge**

De gesteenten van het Paleozoïsch grondgebirge van het Rijnmassief zijn afgezet in een ondiep zeebekken. Dit daalde geleidelijk, waardoor zich in de loop van de Devonische tijd (400 Ma geleden) een duizenden meters dik sedimentpakket vormde. Zo'n 100 Ma later, in het Boven-Carboon, vond gebergtevorming plaats. Hierbij werden de Devonische sedimentaire lagen geplooid, gebroken en over elkaar heen geschoven. Loodrecht op de gebergtevormende druk groeiden nieuwe, plaatvormige kristallen, mica's, waardoor vlakken ontstonden waarlangs het gesteente makkelijk kon splijten. De scheefgestelde laaggrenzen, de breukvlakken en de splijtvlakken creëerden in de Eifel de paden waarlangs CO<sub>2</sub>-gas afkomstig uit de mantel en diepe magmakamers kan stijgen naar ondiepere delen in de aardkorst en uiteindelijk naar het aardoppervlak.

### I-7 Eckfeld



Lutz et al., 1998

#### **Twee Tertiaire vulkanen en een uniek Eoceen klimaatarchief met fossielen uit een maarmeer**

Het Tertiaire vulkaanveld van de Eifel is de Hocheifel, het gebied dat tussen de twee Kwartaire vulkaanvelden in ligt. In de westelijke uitloper daarvan, liggen vlak bij elkaar nabij Manderscheid twee verschillende typen Tertiaire vulkanen: een Tertiair maar en een Tertiaire basaltkop. Het Eckfelder Maar is beroemd geworden dankzij het grote aantal fossielen dat in de voormalige krater van de maarvulkaan is gevonden, waaronder een klein oerpaardje (foto in kop). De grote hoeveelheden fossiele kevers, bijen, bloemen, zaden, planten en pollen geven een uniek beeld van de ecologie en het klimaat 45 miljoen jaar geleden. De wandeling voert door een spectaculair deel van het Lieserdal langs ontsluitingen in het diep ingesneden Paleozoïsch grondgebirge.

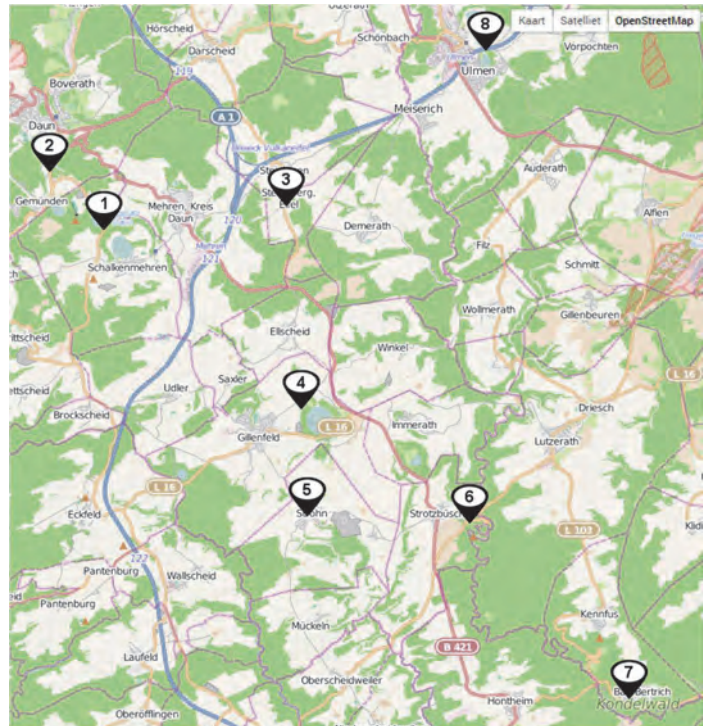
### I-8 Wallenborn



#### **Een periodiek spuitende, door CO<sub>2</sub> aangedreven koudwatergeiser**

Het plaatsje Wallenborn is genoemd naar de 'Wallende Born' (Duits: borrelende bron). Daar zorgt CO<sub>2</sub>-gas met regelmatige tussenpozen van ongeveer een half uur voor een 4 meter hoog spuitende fontein. De bron, ook wel de Brubbel genoemd, is één van de twee koudwatergeisers van de Eifel; de andere bevindt zich in het Rijndal bij Andernach (zie IV-12). Het CO<sub>2</sub>-gas en het water bevinden zich in holtes en spleten die hier in het Onder-Devonisch grondgebirge zijn aangeboord. Het gas lost in toenemende mate op in de waterkolom in de boorbuis. Wanneer het water met CO<sub>2</sub> verzadigd is, dringt het CO<sub>2</sub> verder als gasbellen de boorbuis binnen. Het lichte gas stijgt in de boorbuis op en door de daarmee gepaard gaande afname van de druk, zetten de gasblaasjes steeds verder uit. Daardoor komt de gaslift in een steeds grotere versnelling waarbij het water in de buis mee naar buiten wordt gedreven. De vulkanische oorsprong van het CO<sub>2</sub> wordt hier ondersteund door de onmiskenbare geur van zwavel(waterstof), een ander vulkanisch gas, dat met de koolstofdioxide naar boven komt

## Deelgebied II: Daun - Bad Bertrich



### II-1 Dauner maaren



Archiv Tourist-Information  
Daun

### De 'Ogen van de Eifel'

De drie maaren van Daun liggen dicht bij elkaar en behoren tot de landschappelijk meest bekoorlijke plekken van de Eifel. Ze inspireerden, dankzij het opmerkelijke feit dat ze alle drie nog een meer herbergen, de schrijfster Clara Viebig (Trier, 1860-1952) tot de poëtische omschrijving 'de Ogen van de Eifel'. De Dauner maaren liggen in het centrum van de Vulkaaneifel en zijn 20.000 tot 30.000 jaar geleden na elkaar ontstaan langs een breukzone. Opstijgend magma stuitte hier op grondwater, wat leidde tot heftige waterdampexplosies. Deze sloegen grote, trechtervormige gaten in de ondergrond. Het verbrijzelde gesteente vormde een ringvormige tufwal rond de maaren, die zich vervolgens vulden met regen- en grondwater. De streek tussen Daun en Bad Bertrich wordt gekenmerkt door veel maaren waarin nog een meer in de explosietrichter is overgebleven. De Eifel telt ongeveer 60 maarvulkanen, maar verreweg de meeste zijn verland en slechts een tiental maarmeren zijn bewaard gebleven. Tussen het Weinfelder Maar en het Gemündener Maar bij Daun ligt de Mäuseberg (561 m), een tufwal met op elkaar gestapelde tuffen afkomstig uit beide maaren. Op deze tufwal staat de Dronketurm, een met basaltblokken gebouwde toren en een goede plek om over dit deel van de Vulkaaneifel uit te kijken. Deze omgeving ligt buiten de Noord-Zuid lopende dalingszone van de Westeifel en herbergt geen resten van het Midden-Devonisch grondgebergte, noch van het Mesozoïsch dekgebergte. Het uitzichtpunt maakt het onderscheid helder tussen maaren en slakkenkegels, de twee typen vulkanen van de Westeifel. Het Westeifel vulkaanveld concentreert zich in een NW-ZO lopende zone. Die richting wordt bepaald door diepreikende breukzones in het Paleozoïsch grondgebergte. Langs deze breuken steeg magma op naar het aardoppervlak en infiltreerde regenwater in de ondergrond. CO<sub>2</sub>-gas maakt nog steeds gebruik van deze toegangswegen naar het aardoppervlak, zodat ook de huidige minerale bronnen vaak langs NW-ZO georiënteerde lijnen liggen.

## II-2 Dauner bronnen



### Een autorit door het brongebied van het Dauner mineraalwater

Veel van de minerale bronnen in Daun zijn afgewerkte putten, waar mineraalwater voor Dauner Quellen wordt opgepompt. Het meest bekende mineraalwater van Daun, 'Dunaris Heilwasser', is medicinaal en heeft een publiek toegankelijk aftappunt in het Kurpark in het zuiden van Daun. De Dunarisbron heeft een zeer hoog  $\text{CO}_2$ -gehalte van bijna 5000 mg/l. Tegenover deze bron ligt een groot aantal andere geboorde putten, die herkenbaar zijn aan de witte pomphuisjes die erboven staan. Het mineraalwater in deze omgeving is bijzonder rijk aan natrium en vergelijkbaar met het mineraalwater van de Dreisborn bij Manderscheid. Dit in tegenstelling tot de bronnen noordelijk van Daun, waar calcium en magnesium de voornaamste elementen zijn. Dat geldt voor de niet-afgewerkte bronnen in het Josenbachdal en de afgewerkte put in het centrum van het dichtbij Daun gelegen Steinborn. Al dit mineraalwater is rijk aan ijzer. Extreem ijzerrijk mineraalwater ontspringt bij de Rengener Drees.

## II-3 Steineberg



### Eifelvulkanisme in het Tertiair

De Steineberger Ley is een Tertiaire basaltkop op de rand van het Tertiaire vulkaanveld van de Hocheifel. Op deze 558 m hoge, 30-35 miljoen jaar oude vulkaantop staat een 24 m hoge toren die uitzicht biedt op het glooiende heuvelland gevormd door het Paleozoïsch grondgebergte en de daarboven uitstekende Kwartaire slakkenkegels in het zuidwesten en Tertiaire basaltkoppen in het noordoosten (foto in kop). Bij helder weer zijn in het noorden de toppen zichtbaar van de Tertiaire vulkanen Nürburg (op een afstand van 20 km) en Hohe Acht (op een afstand van 25 km). De laatste is met 747 m de hoogste berg van de Eifel. Dichtbij in het westen ligt de Kwartaire slakkenkegel Hoher List, met op de top een sterrenwacht. In het zuiden kunnen we de vulkanen van Strohn en Bad Bertrich zien, die de volgende geologische bestemmingen in dit deelgebied uitmaken. Omdat maarvulkanen explosietrechters in het grondgebergte hebben gevormd en door beboste tufwallen worden omringd, worden ze hier aan het oog onttrokken.

## II-4 Pulvermaar



Archiv Natur- und Geopark  
Vulkaneifel GmbH

### De perfecte maarvorm

Vooraf uit de lucht presenteert het Pulvermaar bij Gillenfeld zich met een bijna perfecte cirkelvorm, die geaccentueerd wordt door de beboste gesloten tufwal rond het maarmeer. Het Pulvermaar heeft met een doorsnede van 650 m het grootste wateroppervlak van de Eifelmaaren; de trechterdiepte is minstens 200 m en de waterdiepte bedraagt 74 m. Het maar en de tufwal zijn zo goed bewaard gebleven omdat de maarvulkaan relatief jong is. Direct ten zuiden van het Pulvermaar liggen ook nog een kleine slakkenkegel, de Römerberg en een klein verland maar, het Strohn Märchen. Tuffen van het Pulvermaar zijn aangetroffen te midden van moerasafzettingen van het Strohn Märchen en zijn ook bewaard gebleven op de Römerberg. Het Pulvermaar is dus jonger dan de andere twee eruptiecentra. In de tuffen van het Pulvermaar zijn fossiele vorstwiggen aangetroffen, die op een ijstijd wijzen ten tijde van de vulkaaneruptie; daarmee wordt de ouderdom van het Pulvermaar geschat op ongeveer 20.000 jaar. Aan de zuidwestzijde van het Pulvermaar zijn tufafzettingen in een oude groeve ontsloten. Ze omvatten fijngelaagde opeenvolgingen van vulkanische asregen ('fall-out') en drukgolfafzettingen van waterdampexplosies met de daarbij kenmerkende duinstructuren en ballistisch ingeslagen gesteenteblokken. Samen met de vulkanen van Strohn liggen de drie vulkanen bij Gillenfeld langs een NNW-ZZO gerichte breukzone, waarlangs magma kon opstijgen.

## II-5 Strohn



### Een wandeling door de idyllische Strohner Schweiz

De grootste trekpleister van Strohn is zijn 'lavabom', een basaltbol van 120 ton, die gevonden is in een steengroeve van de Wartgesberg vulkaan (foto in kop). Daarnaast beschikt het dorp over het 'Vulkanhaus'. In dit boeiende vulkaanmuseum kan men meer gesteenten uit de omgeving bekijken en veel over de geologie van deze streek te weten komen. Maar een bezoek aan Strohn biedt ook de mogelijkheid tot een mooie wandeling door een spectaculair deel van het dal van de Alf, de Strohner Schweiz, waar de rivier zich door een lavastroom heen heeft gesneden. De wandeling loopt langs een interessante groeve in één van de slakkenkegels van de Wartgesberg, een vulkaangroep die ontstaan is door een serie min of meer gelijktijdige erupties langs een toevoerspleet die door een breukzone is gevormd. De slakkenkegels zijn nu grotendeels ontgonnen. Ten slotte voert de wandeling naar het verlande Sprinker Maar en een nabijgelegen minerale bron met een bijzondere chemische samenstelling.

## II-6 Strotzbüsch



### Uitzonderlijke Eifelbronnen in het dal van de Üßbach

In het zuidelijke deel van het Üßbachdal liggen twee minerale bronnen waarvan de samenstelling en temperatuur voor de Eifel afwijkend zijn. Het mineraalwater van de Strotzbüscher Quelle wordt gekenmerkt door een hoog natrium- en chloridegehalte. Met een temperatuur van 19,2°C is het bronwater warmer dan normaal (<15°C), maar de officiële grens van thermaalwater (20°C) wordt net niet bereikt. Naast een bezoek aan de bron biedt deze wandeling enkele indrukwekkende uitzichten op het door de Üßbach diep ingeslepen dal, waaronder het panoramaplatform Eifelblick Achterhöhe met één van de mooiste panorama's van de Eifel. Elders zijn in de dalhellingen langs het pad steilstaande sedimentaire lagen ontsloten van het Paleozoïsch grondgebied. Tien km zuidoostelijk van Strotzbüsch ligt Bad Bertrich, een bekend en traditioneel Kurort, dankzij de voor Duitsland uitzonderlijke samenstelling en temperatuur van het bronwater van de Bergquelle. In tegenstelling tot vrijwel alle minerale bronnen in de Eifel waar waterstofcarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ) het enige significante negatieve ion is, bevat het mineraalwater van de Bergquelle veel sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en aanzienlijk minder waterstofcarbonaat. Ook qua temperatuur is de Bergquelle bijzonder. Hij levert water van 32°C dat naar de "Vulkaneifel Therme" en diverse klinische thermale baden wordt geleid.

## II-7 Bad Bertrich



### Een wandeling langs hooggelegen slakkenkegels en door sprookjesachtige diepe beekdalen met lavastromen

Aan het zuidoosteinde van het Westeifel vulkaanveld ligt de Kwartaire vulkaangroep van Bad Bertrich. Deze is samengesteld uit 6 slakkenkegels en een maar, die oplijnen langs een NW-ZO gerichte breukzone, waarlangs magma naar het aardoppervlak kon stijgen. Dichtbij de kraterranden van de slakkenkegels waren de uit lavafonteynen teruggevallen lavaflooders nog nauwelijks gestold en daardoor plastisch vervormbaar. Ze zijn als koeienvlaaien afgeplat en aan elkaar gelast en vormen zogenaamde lasslakken. Lavastromen uit de slakkenkegels zijn zowel in noordwestelijke als in zuidoostelijke richting het Üßbachdal ingevloed en vervolgens in fraaie basaltzuilen gestold (foto in kop). De zuidoostelijke stroom is zelfs tegen de helling in een zijdal ingestroomd. Verticale basaltzuilen die bovendien langs horizontale krimpscheuren verweerd zijn vormen bij de Elfengrot pilaren van op elkaar gestapelde 'kazen'. De freatomagmatische uitbarsting van het Hardt Maar was de laatste vulkanische gebeurtenis bij Bad Bertrich. Daarbij werden delen van de slakkenkegels weggeblazen, zodat steile, goed ontsloten slakkenwanden ontstonden. De slakkenkegels en basaltstromen liggen op het Onder-Devonische grondgebied, dat op diverse plaatsen langs het Üßbachdal ontsloten is.

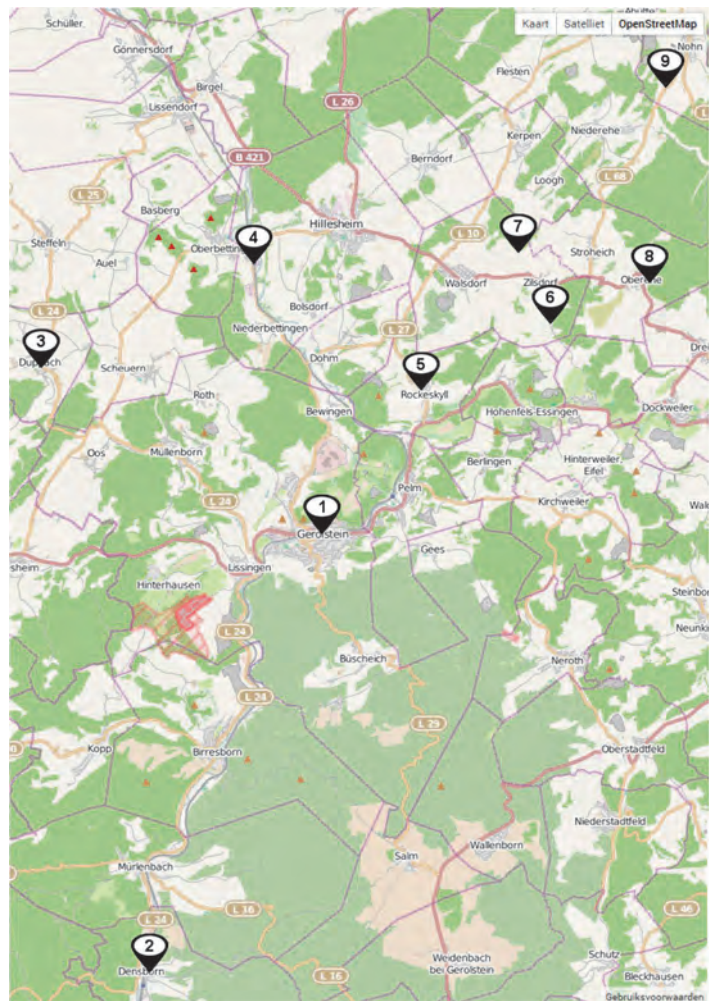
## II-8 Ulmen



### De jongste vulkaan van de Eifel

Het Ulmener Maar ligt iets buiten het deelgebied Daun-Bad Bertrich. Een blik op het geologisch kaartje laat direct zien dat dit maar ook buiten het Westeifel vulkaanveld valt en eigenlijk in het gebied van de Tertiaire vulkanen van de Hocheifel ligt. Er zijn echter twee doorslaggevende redenen om een bezoek aan het Ulmener Maar in deze gids mee te nemen. Ten eerste is dit de jongste vulkaan van de Eifel; de uitbarsting vond nog maar 11.000 jaar geleden plaats. Het maar met een maartrechter van 86 m diepte is dan ook nog tot een diepte van 36 m met water gevuld en ook de tufwal is erg goed bewaard gebleven (foto in kop). Een korte idyllische wandeling rond dit maarmeer met een doorsnede van 500 x 350 m is snel gemaakt. De tweede reden is dat de dorpsstraat die direct aan de westzijde langs het maar loopt een insnijding in de tufwal maakt, waardoor die bijzonder goed ontsloten is. Een zorgvuldige observatie daarvan leert veel over de heftige gebeurtenissen die tijdens de eruptie met freatomagmatische waterdampexplosies plaatsvonden.

## Deelgebied III: Gerolstein-Hillesheim





## III-1 Gerolstein



### De 'Gerolsteiner Dolomieten'

De imposante kalksteen- en dolomietkliffen van de Munterley (foto in kop), Hustley en Auberg vormen het markante decor van Gerolstein. Twee uitzichtpunten op het Munterley plateau bieden een geologisch panorama van de omgeving. Vanaf de veranda bij een schuilhut (492 m) kijken we uit over Gerolstein en drie geologische eenheden: de zuidelijke flank van een synclinale plooistructuur in het Midden- en Onder-Devonisch grondgebied, een klein restant van het Mesozoïsch dekgebied en enkele Kwartaire vulkanen. Het tweede uitzichtpunt 'Eifellandschap' (523 m) ligt iets noordelijker op het plateau en toont een panorama met een aantal Kwartaire slakkenkegels en het Gerolsteiner Maar, waarin een groot complex ligt van de bottelarij van 'Gerolsteiner'. De vulkanen hebben het geplooid en daarna afgevlakte Paleozoïsch grondgebied en het daarop liggende Mesozoïsch dekgebied doorboord. De vele minerale bronnen in deze streek zijn rijk aan CO<sub>2</sub> en worden gekenmerkt door hoge concentraties van calcium en magnesium, die uit de Midden-Devonische kalksteen- en dolomietlagen in het grondwater zijn opgelost.

## III-2 Densborn



### Een wandeling door het Onder-Devoon van het Paleozoïsch grondgebied

Rond Gerolstein zijn vooral Midden-Devonische kalksteen- en dolomietlagen van het Paleozoïsch grondgebied ontsloten. De omgeving van het 15 km zuidelijker gelegen Densborn is het meest geschikt voor het bekijken van het daaronder liggende Onder-Devonische grondgebied. Iets ten noordwesten van het dorp ligt een fraaie ontsluiting van een asymmetrische, anticlinale plooi (foto in kop). Ten oosten van Mürtenbach, in het dal van de Rimmelbach, onthullen fossiele schelpen en wormsporen het milieu waarin deze Onder-Devonische zandsteen en schalies zijn afgezet. De hoeve Herscheiderhof biedt een fraai zicht op het golvende, afgevlakte oppervlak van het Paleozoïsch grondgebied. Dit landschap is ontstaan door langdurige verweering en erosie van het gebied dat in het Boven-Carboon (300 miljoen jaar geleden) geplooid is. Twee grote veranderingen in het klimaat sinds die tijd zijn hier waarneembaar. In de akkers bij de hoeve is een rode (paleo)bodem bewaard gebleven, die tijdens het Trias (250 miljoen jaar geleden) is ontstaan onder invloed van een droog woestijnklimaat. Zo'n 200 miljoen jaar later, in het Tertiair, is deze bodem deels uitgespoeld en omgezet in beige-gekleurde kaoliniet toen er juist sprake was van een erg regenrijk, tropisch klimaat. De route komt langs de Bertradaburg van Mürtenbach en de kerk van Densborn: mooie voorbeelden van het gebruik in de bouw van zowel Paleozoïsche als Mesozoïsche sedimentaire gesteenten uit deze omgeving.

## III-3 Duppach



### Een karakteristiek Eifellandschap met (verlande) maaren en CO<sub>2</sub>- en ijzerrijke bronnen

In het deelgebied Gerolstein-Hillesheim zijn alleen verlande maartrechters overgebleven. Eén daarvan is het Gerolsteiner Maar ten noorden van Gerolstein, dat vanaf de Munterley zichtbaar is. Dat maar is echter een volgebouwd industrieterrein met onder andere de bottelarij van Gerolsteiner Sprudel. Het Duppacher Maar ten noordwesten van Gerolstein is landschappelijk een aantrekkelijker voorbeeld van een verland maar in dit gebied. Op kaarten en Google Earth valt direct de cirkelvorm van de Duppacher maarvulkaan op. Aan de oostkant van het maar ligt de Duppacher Drees, een minerale bron die zeer rijk is aan CO<sub>2</sub>. In het dal van de Gussbach ten noorden van Duppach liggen nog twee bronnen, die vooral rijk zijn aan ijzer. Tussen de beide bronnen doorstroomt de beek ook het kleine Eichholzer Maar dat ook al lang verland was, maar waarin het nu herstelde maare meer de landschaps- en natuurwaarde sterk vergroot heeft. De wandeling komt onderweg langs twee hooggelegen punten die een fraai zicht bieden op het karakteristieke vulkanische

Eifellandschap.

## III-4 Wolfskaul



### De leefomgeving van de Eifelosaurus triadicus

Tijdens het Onder-Trias werden zandige erosieproducten afkomstig van oudere gebergtemassieven door (sporadische) rivieren en wind getransporteerd naar een noord-zuid gericht bekken in de Westeifel. Daar werden ze afgezet bovenop het afgevlakte Paleozoïsch grondgebergte. Deze horizontaal liggende lagen vormen het Mesozoïsch dekgebergte. In het gebied van de huidige Eifel heerste in die tijd, 250 miljoen jaar geleden, een droog woestijnklimaat, waardoor ijzer in het water oxideerde en neersloeg en de sedimenten een bruinrode kleur kregen. Deze zandsteen wordt daarom bontzandsteen genoemd. In de daarop volgende miljoenen jaren werd het grootste deel van deze afzettingen door erosie weer verwijderd, maar in de Westeifel zijn aanzienlijke delen van de bontzandsteen bewaard gebleven in de Trierer Bocht in het zuiden en in een Triasdriehoek in het noorden (gele gebieden op het geologisch kaartje). Daartussen zijn slechts beperkte zandsteenplakken overgebleven, waarvan de grootste bij Hillesheim. De fraai gekleurde en makkelijk te bewerken bontzandsteen is al eeuwenlang een geliefde bouwsteen en werd ontgonnen in een aantal groeves ten westen van Hillesheim, waaronder de Wolfskaul (foto in kop). In één van deze groeves werd in 1904 het fossiele skelet van een kleine brughagedis aangetroffen, de Eifelosaurus triadicus. Kwartaire vulkanen, zoals de dichtbij gelegen Lühwald slakkenkegel, zijn door het grond- en dekgebergte heen gebroken. In de onderste tufafzettingen zijn daarbij verbrijzelde brokstukken van de bontzandsteenlagen terecht gekomen.

## III-5 Rockeskyll



### Een monumentale verticale groevewand in het hart van een slakkenkegel

De vele ontsluitingen die door de exploitatie van vulkanische gesteenten in de Eifel zijn ontstaan, maken geologische excursies naar deze streek uiterst lonend. Helaas heeft dit soms ook geleid tot het volledig verdwijnen van vulkanen. Gelukkig zijn er nu afspraken gemaakt om de afbouw te reguleren en interessante ontsluitingen te conserveren. Een spectaculaire vulkanische ontsluiting is een verticale groevewand in de krater van de Rockeskyller Kopf, waar sterk versmolten en aan elkaar gelaste lavaflarden de naar buiten hellende as- en lapillilagen van de slakkenkegel bedekken (foto in kop). Er is weinig fantasie voor nodig om je hier in het midden van de krater van een actieve vulkaan te wanen. Even verderop is in een andere groeve een lavastroom ontsloten die uit de Rockeskyller Kopf is gevloeid en in basaltzuilen is gestold. De Rockeskyller Kopf is een vulkaan met meerdere eruptiecentra. Dat is aan het licht gekomen bij de grootschalige ontginning van de slakkenkegel voor de wegenbouw.

## III-6 Altstraßbachtal



### Een CO<sub>2</sub>-rijke mofette in een bronbunker

De mofette Am Altstraßbachtal ten zuiden van Zilsdorf is een 'droge' gasbron, waar veel CO<sub>2</sub> en weinig bronwater naar boven komt. De bronfitting van de mofette bevindt zich in een bunker (foto in kop). Omdat deze de bron afschermt tegen de wind zakt het CO<sub>2</sub> naar de bodem van de bunker en kan het daar een onzichtbare gaslaag met een dikte van enkele decimeters vormen. De toegang tot de bunker is daarom met een hek afgesloten. De aanwezigheid van een CO<sub>2</sub>-laag kan met een uitdovend kaarsje of waxinelichtje worden aangetoond. May (2002) heeft de uitstroom van CO<sub>2</sub>-gas in de Westeifel gemeten en berekend. Daaruit blijkt dat de mofette Am Altstraßbachtal zich bevindt in de meest productieve zone. Het CO<sub>2</sub>-gas is met opstijgend magma aangevoerd naar magmareservoirs op de grens tussen aardkorst en mantel en komt daaruit weer vrij bij het afkoelen en stollen van het magma.

## III-7 Arensberg



### Omringd door basaltzuilen in de kraterpijp van een Tertiaire vulkaan

De dichtbeboste Arensberg ten oosten van Hillesheim is een 32 miljoen jaar oude, Tertiaire basaltvulkaan (Google Earth afbeelding in kop). Hij behoort tot het uitgedoofde, Tertiaire vulkaanveld van de Hocheifel, maar ligt nog in de Westeifel en is daarmee de meest westelijk gelegen Tertiaire Eifelvulkaan. Een voormalige steengroeve in de kraterpijp biedt de unieke kans om de interne structuren van een Tertiaire basaltkop te bekijken. Aan alle zijden steken basaltzuilen uit de groevewanden. De Arensberg kende twee eruptieperiodes met een tussenpoos van 8 miljoen jaar! Tot het begin van de ontginning, rond 1850, werd de basaltkop getooid door een kapel en een klein kerkhof, maar al veel eerder werd de vulkaan druk bezocht. Daarvan getuigen de vele vondsten op de top die stammen uit de Romeinse tijd en de Middeleeuwen.

## III-8 Dreiser Weiher



### CO<sub>2</sub>-rijke minerale bronnen rond een groot verland maar

De Dreiser Weiher is een grote maarvulkaan. Tot het begin van de 20e eeuw had deze maartrechter nog een meer, maar dat werd drooggelegd om mineraalwater te winnen. Aan de noordzijde ligt nu het grote complex van Nürburg Quelle, een belangrijke mineraalwaterproducent in de Eifel. De Vulkaniaquelle aan de noordwestrand (foto in kop) is een oudere bron, die ook mineraalrijk water met een hoog CO<sub>2</sub>-gehalte levert. Daarnaast bevat dit mineraalwater een groot aantal bijzondere elementen, waardoor het officieel als geneeskrachtig (Heilwasser) erkend is. Een andere bijzonderheid is de hoge temperatuur van 18,9°C, waarmee de bron bijna thermaal is. Ten noorden van de Dreiser Weiher, bij Oberehe, liggen vier minerale bronnen. Een vergelijking daartussen is illustratief voor de vorming van mineraalwater.

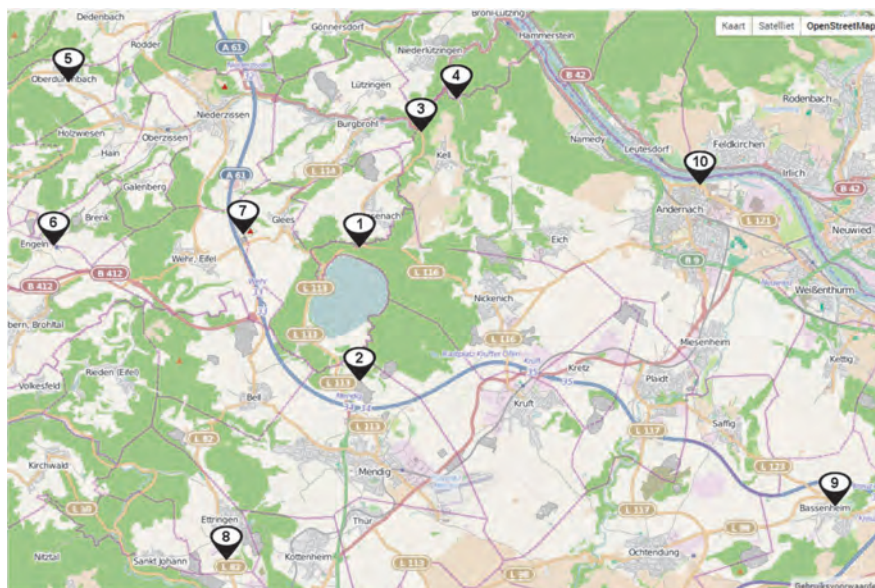
## III-9 Dreimühlen



### Karst en travertijnvorming

De Dreimühlen waterval is kunstmatig aangelegd door het bronwater uit drie nabij gelegen koolzuurhoudende bronnen naar deze plek te geleiden. Een bezoek aan Dreimühlen is de moeite waard vanwege de schoonheid van de waterval over de met bladmos begroeide wanden, maar ook vanwege het proces van travertijnvorming, waarin CO<sub>2</sub> een belangrijke rol speelt. Travertijn, of kalksinter, is kalksteen dat ontstaat door neerslag van kalk uit calciumcarbonaatrijk bronwater. Op de kalksteenwanden van de waterval groeien kalkminnende bladmos. Nieuwe kalk wordt daar overheen afgezet, waarna de mos afsterven en holtes overblijven. Deze holtes geven travertijn de karakteristieke poreuze structuur.

## Deelgebied IV: Laacher See



### IV-1 Laacher See



Foto Walter Müller

#### Langs de randen van een caldera

De Laacher See is het fascinerende vaandel van het Oostefiel vulkaanveld. Met enige verbeeldingskracht is het mogelijk zich hier in te leven in de spectaculaire en geweldadige gebeurtenissen tijdens het ontstaan van de caldera. Een blik op de caldera vanuit de lucht is een eerste stap. Dat kan het best vanuit een helikopter, maar de uitkijktoren op de noordrand van de krater, de Lydiaturm, biedt een goed alternatief. Het eerste dat opvalt is de vorm van de Laacher See, geen cirkel, maar een acht, die gevormd is door een eruptiecentrum dat zich tijdens de uitbarsting verplaatst heeft. De beboste heuvels rond het meer bestaan niet alleen uit de tuffen van de Laacher See eruptie, maar ook uit een serie slakkenkegels, die enkele honderdduizenden jaren ouder zijn dan de Laacher See vulkaan. Langs de binnenwanden van de caldera zijn Onder-Devonische gesteentelagen ontsloten; ze getuigen van de vorming van de caldera door instorting van het dak boven een grote, relatief ondiepe (enkele kilometers) magmakamer. Daardoor ontstond een hoge eruptiezuil die gassen, assen en puimsteen de lucht in blies. Weer instortende eruptiezuilen veroorzaakten pyroclastische stromen die in de radiale dalen rond de caldera naar beneden raasden. Nadat zo een beeld gevormd is van een calderavulkaan is een tweede stap het bekijken van de afzettingen uit de eruptiezuil en pyroclastische stromen. Deze onthullen veel over wat zich hier, nog maar 12.900 jaar geleden, afspeelde. Het Laacher See vulkanisme is niet uitgedoofd. Onder de Eifel is tot een diepte van meer dan 400 km de aanwezigheid van heet en mogelijk deels gesmolten mantelgesteente vastgesteld. Ook het CO<sub>2</sub>-gas dat langs de oostelijke randbreuken van de caldera borrelend naar boven komt, is afkomstig uit de mantel. Alle reden om de Laacher See vulkaan in dit dichtbevolkte gebied goed te monitoren. Het eind 11<sup>e</sup> eeuw gestichte Benedictijner klooster Maria Laach vormt een architectonisch hoogtepunt in de Eifel. Een cruciale bijdrage aan de architectonische uitstraling van de kloosterkerk is de toepassing van vulkanische natuursteen uit de directe omgeving. Goethe bezocht Maria Laach in 1815 uit belangstelling voor het Eifel vulkanisme en ter toetsing van twee in die tijd sterk conflicterende hypothesen over het ontstaan van basalt.

## IV-2 Wingertsbergwand



### De heftige en wisselvallige eruptiegeschiedenis van de Laacher See vulkaan zichtbaar gemaakt

De Wingertsbergwand is beroemd in de geologische wereld. Het is de meest spectaculaire vulkanische ontsluiting van de Eifel, omdat de daarin blootgelegde afzettingen met grote helderheid en tot in detail de vulkanische gebeurtenissen weerspiegelen die zich hier 12.900 jaar geleden hebben afgespeeld. Essentieel voor deze gebeurtenissen was de vorming van een silicarijck ('zuur') fonolitisch magma in een grote magmakamer op een diepte van slechts 3 tot 5 km. De afzettingen van de Laacher See vulkaan wijzen op drie kenmerkende eruptiefasen: een freatomagmatische beginfase, een magmatische hoofdfase en een freatomagmatische eindfase. voorvoelen

## IV-3 Bad Tönisstein



### Een wandeling door een pyroclastisch stroomdal met minerale bronnen

De uitbarsting van de Laacher See vulkaan produceerde een serie pyroclastische stromen die met grote snelheid naar beneden raasden door bestaande rivierdalen. Hierdoor werden de dalen opgevuld met dikke lagen as en puimsteen, die uit deze pyroclastische stromen werden afgezet. Deze pyroclastische stroomafzettingen worden ignimbrieten of (lokaal) Traß genoemd. Sinds de Romeinse tijd werd deze Traß op grote schaal ontgonnen, omdat het materiaal geschikt is als cement in water. De Romeinen maakten bovendien gebruik van de vele minerale bronnen in de omgeving vanwege de geneeskrachtige eigenschappen van het mineraalwater en als gewijde plaatsen voor offerandes aan de goden. De wandeling voert door de fraaie en wilde Wolfsschlucht langs hoge wanden van Traß.

## IV-4 Brohldal



### De wieg van de commerciële CO<sub>2</sub>-winning in de Eifel

In het Brohldal komen op veel plekken grote hoeveelheden CO<sub>2</sub>-gas spontaan naar buiten. Daarom werden er al vroeg in de 19e eeuw initiatieven ontplooid om het gas commercieel te winnen. In 1828 voerde de firma Rhodius in Burgbrohl de eerste boring uit naar het gas, dat oorspronkelijk werd gebruikt voor het maken van de veel gevraagde verfstof loodwit. Nu heeft dit bedrijf de toepassing van CO<sub>2</sub> verlegd naar de productie van koolzuurhoudende dranken. Andere producenten, zoals CARBO en Air Liquide, verhandelen het zeer zuivere gas in drukgasflessen. Later zijn er verder oostelijk in het Brohldal nieuwe mineraalwaterproducenten bij gekomen. Dat zijn Tönissteiner Sprudel in het Pönterbachdal bij Bad Tönisstein en Brohler in Brohl-Lützing bij de uitmonding van de Brohlbach in het Rijndal. Vlakbij de drie locaties van CO<sub>2</sub>-bronnen die zijn geselecteerd voor deze excursie is te zien dat de geplooiden lagen van het Onder-Devonische grondgebergte steil staan, waardoor toegangswegen worden gecreëerd naar het aardoppervlak voor de gassen (IV-4b). De huidige geboorde putten van Tönissteiner Sprudel liggen wat dieper in het Pönterbachdal en kunnen met een mooie, groene wandeling bereikt worden (IV-4a). Deze wandeling is vooral landschappelijk erg aantrekkelijk en loopt deels door beekdalen en deels over de velden op de Paleozoïsche hoogvlakte. Hij illustreert de ligging van minerale bronnen in beekdalen. Als toegift is tenslotte een korte wandeling beschreven over de goed bewaarde en fraai gevormde slakkenkegel van de Bausenberg (IV-4c).

## IV-5 Steinberg



### Weerspiegeling van Tertiaire basaltzuilen in de Königssee

Op de grens tussen de Oosteifel en de Hocheifel ligt de Tertiaire basaltkop Steinberg. De fraaie basaltzuilen zijn vroeger ontgonnen. In de voormalige groeve heeft grondwater nu de Königssee gecreëerd. Vanuit de lucht lijkt deze omboste Tertiaire vulkaan daardoor erg op de Windsborn slakkenkegel en zijn kratermeer of op de maarvulkanen van de Westeifel. De Steinberg is echter 35 miljoen jaar ouder. Ook de Tertiaire basaltvulkanen hadden een gasrijke, explosieve beginfase waarin lavafonteynen slakkenkegels opwierpen. Daarin drong in een volgende, gasarmere fase lava naar binnen, die langzaam afkoelde en stonde. Omdat gestolde lava een kleiner volume heeft dan vloeibare lava, ontstaan loodrecht op de afkoelingsvlakken vijf- en zeszijdige krimpscheuren, waardoor zuilen worden gevormd. Tertiaire basalt is minder poreus en dus compacter dan Kwartaire basalt en daarom moeilijker te bewerken. De basalt van de Steinberg werd ondermeer gebruikt voor de afdekking van de Hollandse dijken.

## IV-6 Weibern



### Taai-vloeibare lava en reusachtige tufpakketten

Het vulkaanveld van de Oosteifel onderscheidt zich van dat van de Westeifel door de aanwezigheid van lichtgekleurde fonolitische lava en tuffen, naast donkere basaltische lava en tefra. Fonolitisch magma ontstaat in grote magmakamers doordat bij afkoeling eerst donkere ijzer- en magnesiumhoudende mineralen kristalliseren, waardoor het overblijvende magma in toenemende mate overheerst wordt door silica en alkali's. Dit felsische of 'zure' magma is zeer viskeus (taai-vloeibaar) en belet gassen uit het magma te ontsnappen. Wanneer daardoor de gasdruk te groot wordt, ontstaan scheuren boven de magmakamer waarlangs de magmatische gassen zoals CO<sub>2</sub> kunnen ontsnappen. Door de plotselinge drukverlaging expandeert het gas explosief, waardoor de lava gefragmenteerd wordt en in hoge eruptiezuilen de lucht in wordt geblazen. Bij afname van de gasdruk stort de eruptiezuil in en vormen de hete assen en gassen pyroclastische stromen, die zich met grote snelheid over de bodem voortbewegen. De afzettingen uit zulke pyroclastische stromen, ignimbrieten, vormen de dikke fonolitische tuflagen rond Weibern. Fonolitische lava is te stroperig om grote lavastromen te kunnen vormen en dringt daarom alleen in koepels of 'domes' naar buiten. Fonolietdomes, zoals de karakteristieke Olbrück, tekenen het landschap rond Weibern. De lichtgekleurde en makkelijk te bewerken fonoliettuflagen van Weibern zijn eeuwenlang ontgonnen (foto in kop) voor de bouw en voor architectonische decoratie en beeldhouwwerk.

## IV-7 Wehrer Kessel



### CO<sub>2</sub>-winning in een verlande caldera

Iets ten westen van de Laacher See caldera liggen nog twee caldera's, de Riedener Kessel en de Wehrer Kessel (Spaans: caldera). Vergeleken met de Laacher See uitbarsting van 12.900 jaar geleden zijn deze caldera's echter aanzienlijk ouder: respectievelijk 400.000 jaar en 200.000 jaar. Beide zijn volledig verland. De Wehrer Kessel is de grootste natuurlijke CO<sub>2</sub>-vindplaats in Europa. Sinds 1966 wordt het veld commercieel geëxploiteerd door Carbo, die het gas wint uit acht geboorde putten. De putten zijn te herkennen aan de ontgassingsketels of absorptietorens, waarin het gas van het meekomende mineraalwater wordt gescheiden (foto in kop). Ze steken boven de vlakke calderakom uit. Een demonstratiegeiser op het industriecomplex laat zien hoe CO<sub>2</sub>-gas water 40 m hoog de lucht in spuit. Net als bij Laacher See wordt de caldera omgeven door oudere slakkenkegels. Eén daarvan is de Dachsbusch, met een ontsluiting van een fraaie afglijdingsploop, die het gevolg is van tijdelijke ontthooing van de bovenste delen van een permanent bevroren (permafrost) bodem in een Pleistocene ijstijd, het Saale glaciaal.

### IV-8 Ettringen



#### **Een slakkenkegel met een kraterwand die is doorbroken door uitgevloeiende lavastromen**

De 200.000 jaar oude Ettringer Bellerberg is een Kwartaire slakkenkegel met een kraterwand, die uit twee helften bestaat. De westelijke flank is de Bellerberg, de oostelijke wordt Kottenheimer Büden genoemd. De helften zijn ontstaan doordat de kraterwand zowel aan de noord- als aan de zuidzijde is doorbroken door uitstromende lava. Diep in de krater verborgen ligt een actieve slakkengroeve. Vanaf de kraterwand op de Bellerberg is het beste zicht op de slakkenkegel, die bestaat uit harde, erosieresistente laslakken ('Schweißschlacken'; foto in kop). Beide uitgestroomde basaltische lavastromen zijn geëxploiteerd sinds de Romeinse tijd. De steenhouwers braken de basaltzuilen en bewerkten ze tot molenstenen en bouw- en plaveistenen. De groeve Kottenheimer Winfeld is uitgehouwen in de naar het noorden uitgestroomde basaltlava; in de groeve Ettringer Lay is de zuidelijke basaltstroom ontgonnen. Beide groeves tonen zeer fraaie voorbeelden van basaltzuilen met als hoogtepunt de spectaculaire 25 m hoge wand van enorme verticale basaltzuilen in de Ettringer Lay.

### IV-9 Bassenheim



#### **De markante Karmelenberg slakkenkegel in het vlakke Neuwieder bekken**

De Karmelenberg ten westen van Bassenheim is dankzij de markante, asymmetrische vorm een opvallende verschijning in het vrij vlakke Neuwieder bekken en daardoor van veraf herkenbaar. Dat komt ook doordat in deze streek veel slakkenkegels geheel of voor een groot deel zijn afgegraven voor de winning van basaltlava en -slakken ten behoeve van de bouw. In de wand van een oude groeve is te zien hoe de kegelvormig gelaagde slakken in het centrum worden onderbroken door de kraterpijp, die chaotisch is opgevuld met slakken. Vrijwel overal in de Oostelijke Eifel zijn aanzienlijke basaltische lavastromen uit de Kwartaire slakkenkegels gevloeid. Dat is ook het geval bij de verschillende eruptiecentra van de Karmelenberg. In een groeve ten noordoosten van de Karmelenberg is de basalt van een lavastroom ontsloten, die in verticale zuilen is gestold (foto in kop). De wandeling vanuit Bassenheim loopt door een lange laan met een groot aantal eeuwenoude bomen (de Baumallee) en vandaar naar de top van de Karmelenberg, waar een fraaie barokke Mariakapel ligt. Bij Bassenheim doet de route tenslotte twee minerale bronnen aan.

### IV-10 Andernach



#### **Een periodiek tot 60 m hoog spuitende, door CO<sub>2</sub> aangedreven koudwatergeiser**

Eén van de meest illustratieve plaatsen om de aanwezigheid van CO<sub>2</sub> in de ondergrond van de Eifel waar te nemen is het schiereiland Namedyer Werth in het Rijndal bij Andernach. Met intervallen van bijna 2 uur spuit hier een 50 tot 60 m hoge koudwatergeiser uit een boorgat omhoog. Een spectaculaire schaalvergroting van het openen van een fles champagne! Het mechanisme van deze koudwatergeiser is te vergelijken met dat van Wallenborn (I-9), maar is aanzienlijk krachtiger. Naast de fraaie ligging en indrukwekkende fontein heeft de Geysir Andernach als extra aantrekkingskracht het gloednieuwe Geysir-Erlebniszentrum, waar alle informatie over de spuitende bron, de geologische en vulkanologische achtergrond en de interactie tussen water en CO<sub>2</sub> in de ondergrond op een heldere en educatieve manier wordt gepresenteerd. Vanaf dit informatiecentrum wordt het schiereiland met de geiser bezocht via een kort bootreisje op de Rijn.

---

## 2. Voorbeeldwandelingen met routebeschrijving

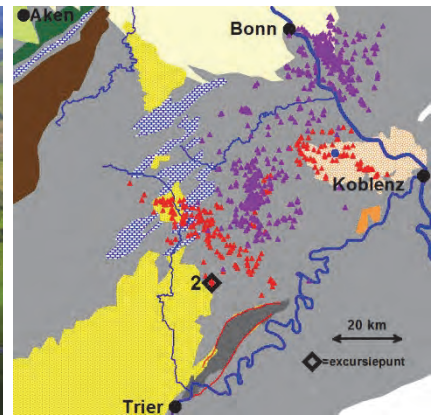
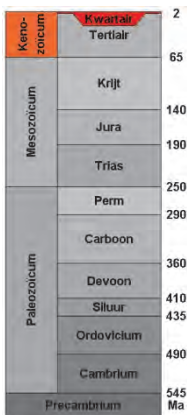
- 2.1. Deelgebied I: Mosenberg (I-2)
- 2.2. Deelgebied II: Dauner maaren (II-1)
- 2.3. Deelgebied III: Duppach (III-3)
- 2.4. Deelgebied IV: Laacher See (IV-1)





# Omgeving Manderscheid

## I-2 Mosenberg



### Een wandeling langs slakkenkegels, een kratermeer, lavagangen en een lavastroom met basaltzuilen

De Mosenberg vulkaangroep bestaat uit vier grote slakkenkegels en drie kleinere, oudere eruptiecentra. Slakkenkegels ontstaan bovenop het bestaande landoppervlak uit lavafonteynen, die door magmatische gassen (vooral CO<sub>2</sub>) omhoog worden gestuwd. De hoogste top van de Mosenberg steekt met 517 m zo'n 90 m boven de oppervlakte van het grondgebergte uit. De Mosenberg zelf is een dubbelvulkaan, elk met een slakkenkegel en een krater. Direct ten noordwesten hiervan ligt de fraaie Windborn slakkenkegel met zijn kratermeer (foto), dat uniek is in Midden-Europa. De wandeling voert vervolgens langs de Mosenberg waarin een verticale en een horizontale basaltgang de slakkenafzettingen zijn binnengedrongen en komt langs een oude groeve waarin de slakken zijn ontsloten en een modern informatiecentrum is ingericht. Daarna volgt de route een lavastroom die uit de Mosenbergvulkaan tot in het dal van de Kleine Kyll is gevloeid. Een korte afdaling in de indrukwekkende Wolfsschlucht leidt naar oude groeves waarin de verzuilde basalt fraai ontsloten is. Kolkpaten in rotsblokken in de bedding van de Kleine Kyll tonen aan dat deze rivier door de lava geblokkeerd is geweest, waardoor een waterval ontstond waarin meegevoerd grind en keien gaten in de rotsbodem uitslepen. De wandeling start en eindigt bij het Hinkelsmaar, dat in tegenstelling tot zijn naam geen maar, maar een slakkenkegel is.

**Startpunt:** P (50,08691°-6,77769°); grote parkeerplaats 400 m na de inrit bij de Kratersee langs de L16, te bereiken via Manderscheid of Bettenfeld.

**Duur:** 4 uur

**Lengte:** 9 km

**Zwaarte:** matig inspannend; lange stijging van Heidsmühle naar parkeerplaats (P). Bij nat weer is de afdaling over een trap van gladde basaltblokken in de modderige Wolfsschlucht niet ongevaarlijk.

#### Lokale geogidsen:

- Infoborden langs de route van het Geopark Vulkaneifel

**Wandelkaart:** Wanderkarte Nr. 33 des Eifelvereins: Vulkaneifel um Manderscheid, 1:25 000

Kaart (OSM) met de wandelroute en excursiepunten bij de vulkaangroep van Manderscheid (Uit de app Eifel GeoRoutes)

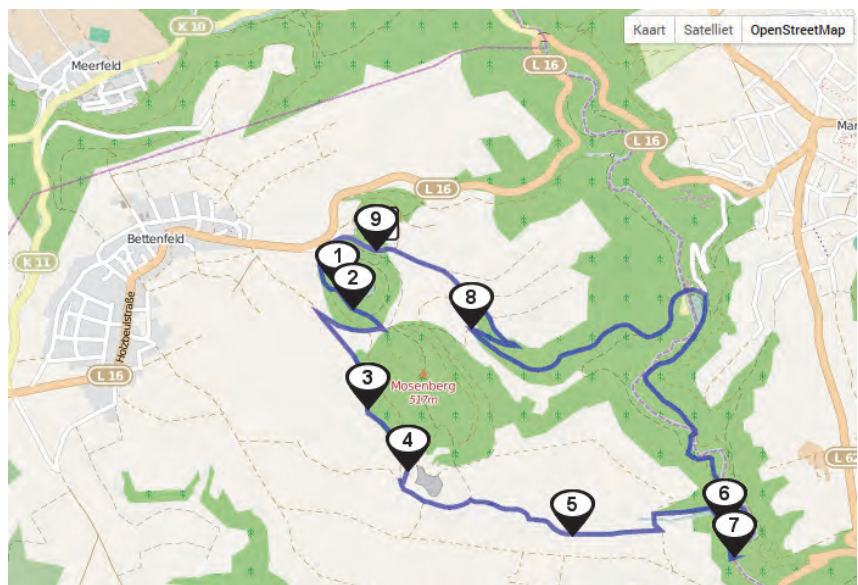


Foto in kop: Erich Justra / Touristinfo Manderscheid

# Mosenberg

## Overzicht excursiepunten

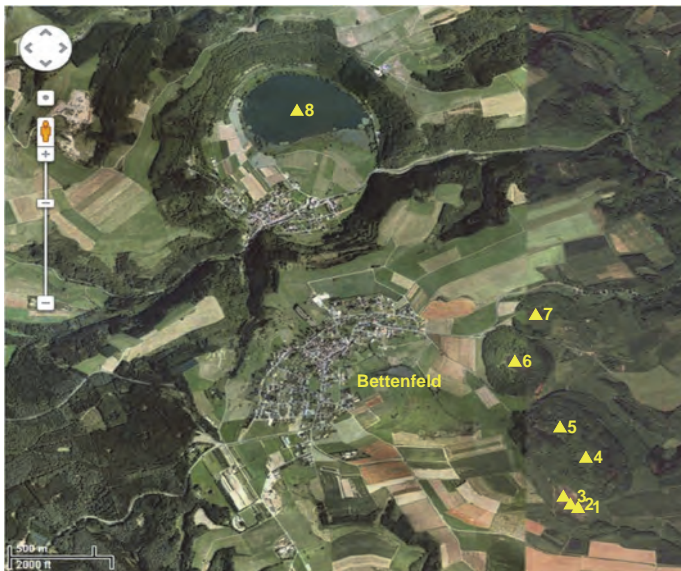
Het **Windsborn kratermeer** (I-2.1) is in tegenstelling tot de meren in de maartrechters een echt kratermeer, dat omgeven is door magmatisch gesteente (basalt). De Windsborn is één van de 7 eruptiecentra van de Mosenberg vulkaangroep. Boven langs de kraterrand vormen aan elkaar gekitte **lasslakken** (I-2.2) een harde bescherming van het kratermeer. Lava stroomt niet alleen uit de vulkaankraters, maar kan ook de slakkenafzettingen als gang binnendringen; de wandelroute passeert twee typen **lavagangen** (I-2.3). De **Mosenberg slakken** (I-2.4) zijn ontsloten in een oude groeve, waarin een modern informatiecentrum is ingericht. Hier vlakbij is een lavastroom door de kraterwand van de zuidelijke **Mosenberg** heen gebroken. De route volgt deze lavastroom door de

**Horngraben** (I-2.5), waar de basalt grotendeels onder een verweringsbodemp verborgen is en in de **Wolfschlucht** (I-2.6), waar in oude groeves de verzuilde basalt fraai ontsloten is. In het dal van de **Kleine Kyll** rivier kwam de lavastroom uiteindelijk tot stilstand. De versperring door de lava creëerde een waterval, die **kolkaten** (I-2.7) uitsleep in de rotsbedding. Het pad loopt door het dal van dit riviertje en daarna terug omhoog door de **Johannisgraben** (I-2.8) over een, eveneens verborgen, lavastroom afkomstig uit de noordelijke Mosenberg. Naast de parkeerplaats (P) ligt het **Hinkelsmaar** (I-2.9), dat ondanks de naam een slakkenkegel en geen maar is. De wandeling kan goed worden aangevuld met een bezoek aan de nabij gelegen minerale bron **Dreisborn** (I-3) of aan het maarmuseum in Manderscheid.

De wandeling begint bij de inrit van de parkeerplaats (P) bij een rood infobord van de **Deutsche Vulkanstrasse**. Volg het bospad ('**VulkaMaar Pfad**') naar het **Windsborn kratermeer** en ga bij een bankje links omhoog. Na enkele minuten biedt een tweede bankje mooi zicht op het kratermeer.

Op de onderstaande Google Earth afbeelding zijn de 7 eruptiecentra van de slakkenkegels van de **Mosenberg vulkaangroep** (I-2.1) aangegeven. Met het **Meerfelder Maar** (8) in hun verlengde liggen ze langs een NW-ZO strekkende breukzone (zie ook het blokdiagram bij excursiepunt I-1). De zuidelijke slakkenkegel van de Mosenberg dubbelvulkaan is gedeeltelijk afgegraven. Daarbij zijn onder de tuffen en slakken basaltische kraterpijpvullingen van drie kleine slakkenkegels tevoorschijn

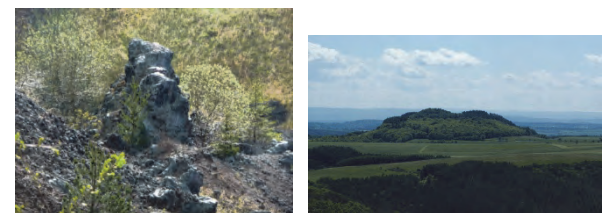
gekomen. Dit zijn de oudste eruptiecentra, waarvoor met radiometrische (K/Ar) datering een leeftijd van 43.000 jaar is vastgesteld. Naar het noordwesten toe worden de vulkanen jonger. Op de foto in de kop is heel duidelijk is te zien hoe de **Hinkelsmaarvulkaan** bij de eruptie een 'hap heeft genomen' uit de Windsborn slakkenkegel en dus jonger moet zijn. De ouderdom van dit jongste eruptiecentrum van de Mosenberg vulkaangroep is bepaald op 29.000 jaar (Meyer, 1994).



Google Earth afbeelding van de Mosenberg vulkaangroep en het Meerfelder Maar



6 Windsborn (foto Thomas Reichart, 2007) 7 Hinkelsmaar



1 / 2 / 3 Kraterpijpen van kleine slakkenkegels 4 / 5 Mosenberg Dubbelvulkaan

Verder omhoog lopend wordt enkele minuten later het hoogste punt van de Windsborn slakkenkegel bereikt, dat gemarkeerd is met een **Gipfelkreuz**.

**Slakkenkegels** zijn vulkanen die ontstaan wanneer basaltisch magma het aardoppervlak bereikt. De beginfase van de vulkanische activiteit van een slakkenkegel is matig explosief, omdat gasrijk magma door drukverlaging bij het omhoogkomen snel ontgast (vergelijk het openen

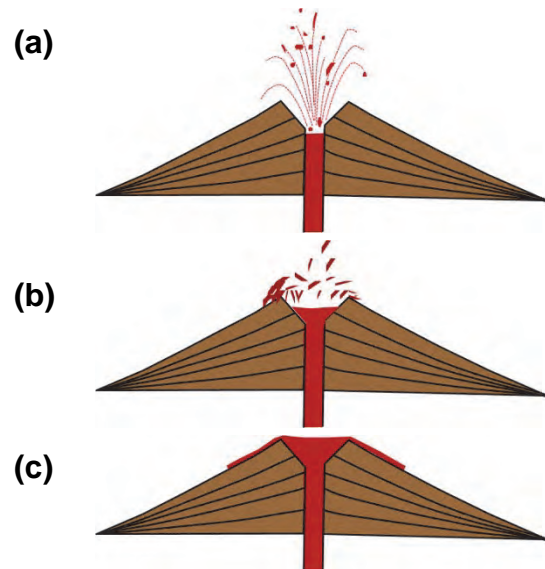
van een fles mineraalwater) waardoor het magma uitspat. De met de gassen uitgeworpen lavafloeders vormen lavafontein. De erupties van de **Stromboli** zijn bekende actuele voorbeelden van lavafontein en dit type eruptie wordt daarom Stromboliaanse activiteit

## Omgeving Manderscheid

genoemd. De lavafloorders koelen in de lucht af en stollen tot assen en, vanwege het relatief hoge gasgehalte, zeer poreuze, slakken. Teruggevallen op het aardoppervlak hopen de slakken zich kegelvormig op. Na enige tijd neemt de gasdruk af en worden de lavafloorders minder hoog de lucht in geworpen. Ze hebben daarom minder tijd om in de lucht af te koelen en vallen in nog gedeeltelijk vloeibare of plastische toestand dichtbij de kraterwand terug op de bodem, waarbij ze als koeienvlaaien worden afgeplat en aan elkaar worden gelast.



Deze aan elkaar gekitte lasslakken (Duits: 'Schweißschlacken') zijn minder poreus en beter bestand tegen erosie. Ze vormen dan ook de hoogste top op de **kraterwand van de Windsborn (I-2.2)**. Ten zuiden van het kratermeer zijn ze goed ontsloten



*De vorming van een slakkenkegel; (a) gasrijke, explosieve beginfase met Stromboliaanse lavafontein; (b) bij afnemende gasdruk vallen lasslakken in vloeibare of plastische toestand neer bij de kraterwand; (c) na vrijwel volledige ontgassing uitvloeiing van lavastromen (naar: Infobord Geo-Route Manderscheid).*



*Hoogste punt van de kraterwand van de Windsborn vulkaan met resistente lasslakken, waarvan linksboven een detail.*

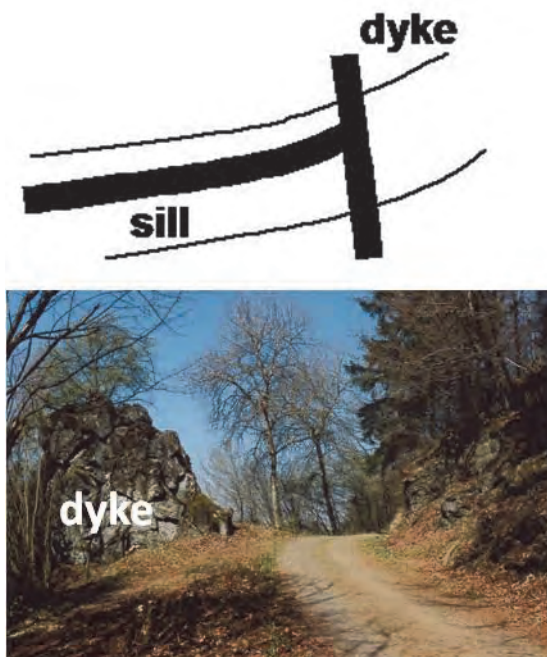
Vervolg vanaf het *Gipfelkreuz* het pad naar beneden en ga aan de voet van de *Windsborn* slakkenkegel op een 5-sprong scherp rechts (u verlaat hier het *VulkaMaar Pfad*, dat rechtdoor gaat). De beboste heuvel recht vooruit is de *Holzbeuel*, de vooruitgeschoven punt van het Mesozoïsch dekgebergte van *bontzandsteen*, dat op het Paleozoïsch grondgebergte ligt (zie I-1). Sla beneden aan het eind scherp linksaf en volg het pad langs de ZW rand van de *Mosen-*

# Mosenberg

*berg*. Na ca. 5 minuten is een verticaal staande basaltgang ontsloten en ca. 3 minuten verder een horizontale basaltgang (I-2.3).

Met het verder afnemen van de gasdruk zal in de laatste eruptiefase, bij voldoende aanvoer, magma als rustig stromende lava naar buiten vloeien. Dit wordt in tegenstelling tot *explosief* vulkanisme, *effusief* vulkanisme genoemd. Uit de kraters van de *Mosenberg* vulkaan zijn verschillende lavastromen uitgevloeid door de rivierdalen ten oosten van de vulkaangroep. Lang niet alle lava bereikt echter het aardoppervlak; veel lava blijft steken in verticale breukzones of dringt zich min of meer hori-

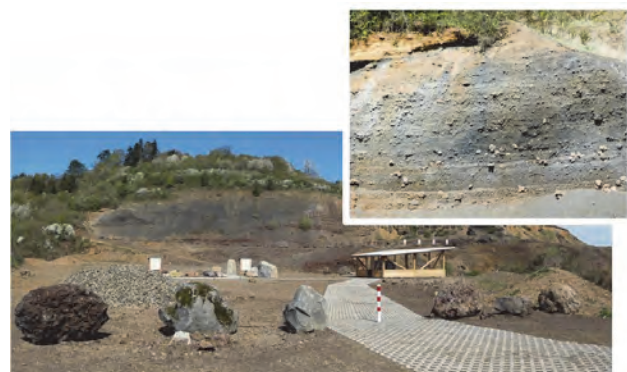
zontaal tussen de zachtere as- en slakkenlagen. Eenmaal daar gestold vormt ze steilstaande **basaltgangen (I-2.3)**. die *dykes* worden genoemd en een hoek maken met de slakkenlagen en laagparallele, min of meer horizontale basaltgangen of *sills*'. Ze bieden een betere weerstand tegen erosie dan de zachte assen en slakken en blijven daardoor na enige tijd uitgeprepareerd achter. Aan de ZW zijde van de noordelijke Mosenberg slakkenkegel zijn zowel een *dyke* als een *sill* goed ontsloten.



*Basaltgangen in de Mosenberg vulkaan; linksonder: verticale gang (dyke); rechts: horizontale gang (sill) en detail daarvan ter illustratie van het verschil tussen de massieve lavagang en de basaltische slakken daarboven (hamer in gele cirkel voor schaal).*

Ca. 5 minuten na de horizontale basaltgang bereikt u een voormalige groeve in de zuidelijke slakkenkegel van de Mosenberg (I-2.4). met het vulkaaninformatiecentrum 'Vulkanerlebnispark Mosenberg'.

In de wand van de **Mosenberg groeve (2.4)** zijn de gelaagde, donkere, basaltische slakken met grote basaltbommen ontsloten en ook blokken van nevengeesteente. Slakkenkegels zijn opgebouwd uit voornamelijk magmatische gesteenten en de door basalt donkergrijs gekleurde groeewand contrasteert dan ook met de lichtgekeurde tuflagen van de ringwallen rond maarvulkanen, die vooral uit verbrijzelde sedimentaire nevengeesteenten (zoals zandsteen) zijn opgebouwd (zie I-1.3: groeve Leyendecker). De tentoonstelling besteedt aandacht aan karakteristieke vulkanische gesteenten van de Eifel, zoals de lavaslakken en -bommen, met fraaie voorbeelden van door hitte en ijzeroxidatie roodgeblakerde basaltbommen. Ook zijn er voorbeelden van sedimentaire nevengeesteenten, zoals Onder-Devonische zandsteen en schalie en bontzandsteen uit het Trias. In het zuidelijk deel van de groeve zijn de resten te zien van de basaltische kra-



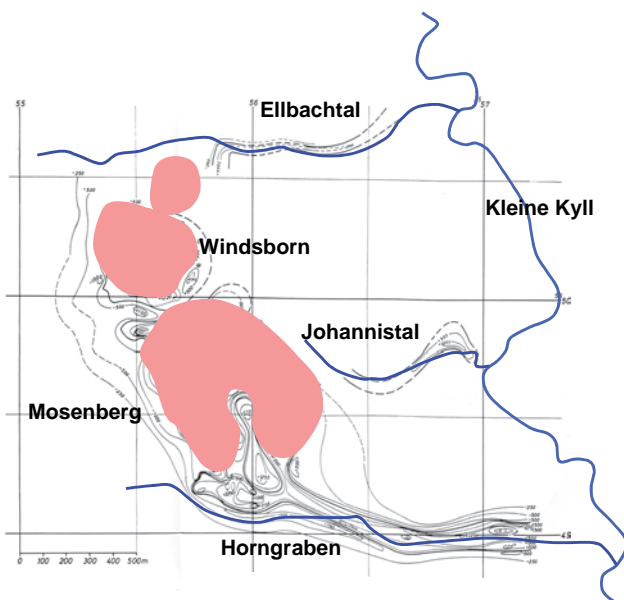
*Nieuw informatiecentrum (in aanleg, april 2011) in de voormalige groeve in de Mosenberg slakkenkegel met karakteristieke voorbeelden van Eifel gesteenten. Inzet: detail slakkenwand.*

## Omgeving Manderscheid

terpijp opvullingen van de drie oudste slakkenkegels (zie Google Earth afbeelding bij I-2.1).

Verlaat de groeve aan de ZW zijde en volg het pad naar links bij de wegwijzer ('Wolfsschlucht 2,2 km') achter het rood-witte toegangspaalje (zie bovenstaande foto). Negeer een pad naar rechts en ga vóór het open veld rechtsaf ('Wolfsschucht, 1,8 km') langs de bosrand het beekdal van de *Horngraben*. Terugkijkend aan het begin van dit dal naar de Mosenberg valt een depressie in de slakkenkegel op. Hier is de krater doorbroken door de lavastroom, die door het *Horngrabendal* naar beneden is gestroomd. Direct na het passeren van een houten bruggetje vallen de basaltische blokken op langs de beboste rechter rand van het dal (I-2.5).

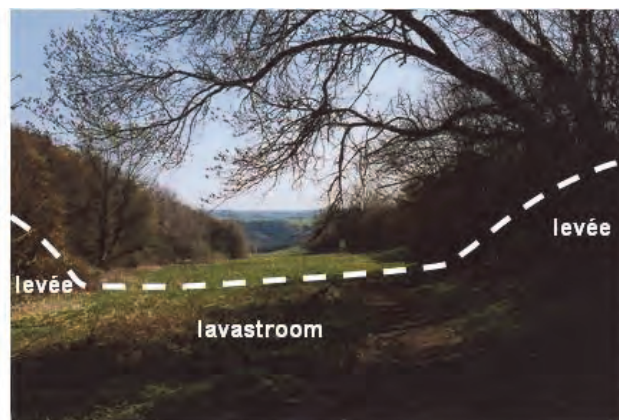
Eén van de lavastromen is uit de zuidelijke Mosenberg vulkaan door de kraterwal heen gebroken en door het *Horngrabendal* (I-2.5) over een afstand van 1,5 km naar het oosten uitgevloeid tot in het dal van de *Kleine Kyll*. De enkele tienduizenden jaren oude lavastroom is ondertussen grotendeels overdekt door een verweringsbodem en vegetatie, maar de loop van de basaltstroom is vastgesteld met magnetische metingen aan het aardoppervlak (Hunsche, 1973). Alleen onder de steile helling van de slakkenkegel lijkt hij afwezig te zijn; waarschijnlijk is de afkoelende, maar nog plastische lava onder invloed van de zwaartekracht afgegleden tot in het dal (Meyer, 1994). Basaltische lavastromen veroorzaken een afwijking, een anomalie, in het aardmagnetisch veld dankzij een hoog gehalte aan ijzeroxide (*magnetiet*,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) in dit gesteente. De anomalieën komen in onderstaand kaartje naar voren in de lijnen van gelijke magnetische sterkte. Magnetische anomalieën gemeten in de twee beekdalen ten noorden van de *Horngraben* (*Johannistal*, *Ellbachtal*) geven aanwijzingen dat ook door deze dalen basaltstromen zijn uitgevloeid.



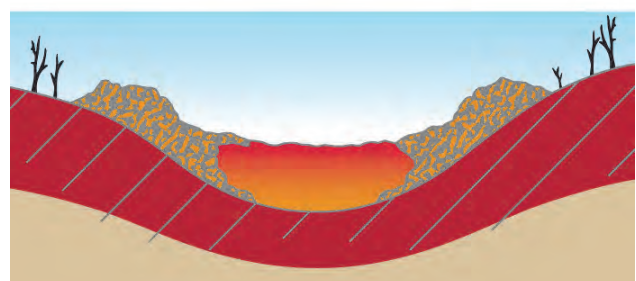
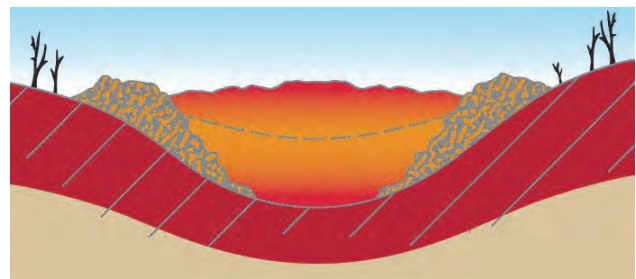
*Magnetische anomalieën gemeten over de Mosenberg slakkenkegels (rood) en de daaruit in het Horngrabendal uitgevloeide lavastroom (Hunsche, 1973)*

De *Horngraben* lavastroom is niet alleen door magnetische metingen te traceren, maar komt plaatselijk heel duidelijk naar voren uit de vorm (*morfologie*) van het landschap. Bij een lavastroom ontstaan namelijk aan weerszijden zogenaamde *levées*. Dit zijn natuurlijke wal-

len, gevormd door de snel afgekoelde, gestolde en verbrossende randen van de lavastroom. Levées zijn vergelijkbaar met de zijmorenes van een gletsjer. Ze blijven als hoge wallen achter nadat de lavatoevoer uiteindelijk is afgenomen en de achtergebleven lavastroom door afkoeling is gestold en daardoor gekrompen.



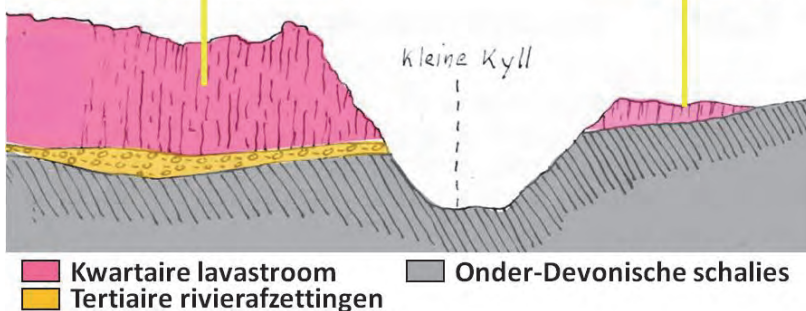
*De Horngraben met aan weerszijden van de begraven lavastroom de wallen van verbrossende lava (levées).*



*De vorming van natuurlijke wallen (levées) langs een lavastroom; boven: gestolde en verbrossende lava door snelle afkoeling aan de randen; onder: door afname van de lavatoevoer en verdere stolling vormt zich een inzinking in het centrum van de basaltstroom (naar: Geo-Route Manderscheid).*

# Mosenberg

Het pad door de *Horngraben* komt aan het eind uit op een dwarspad. Ga op deze T-kruising even linksaf tot aan de bosrand. Ga daar rechtsaf en loop naar beneden om uit te komen bij een houten balustrade op de rand van de *Wolfsschlucht* ('*Wolfsschlucht 0,2 km*'). Daal af via een serie (**let op**: vaak gladde!) trappen in basaltblokken naar de oude steengroeves. Links achter het 2<sup>e</sup> houten bruggetje zijn fraaie basaltzuilen van de lavastroom zichtbaar.

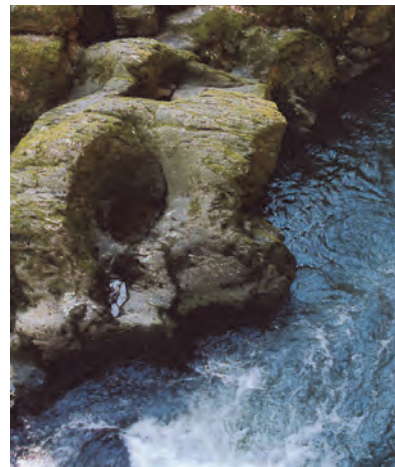


De lavastroom heeft het *Horngrabendal* gevolgd tot waar dit dal uitmondt in de *Kleine Kyll* en is tegen de dalwand aan de overzijde uiteindelijk tot stilstand gekomen. Na afkoeling is de lava gestold in polygonale (meerzijdige, vaak vijfzijdige) zuilen. Ze zijn ontsloten in oude groeves in de *Wolfsschlucht* (I-2.6), maar ook op enkele plaatsen aan de overzijde van de *Kleine Kyll*.

De in verticale basaltzuilen gestolde *Horngraben* lavastroom in de *Wolfsschlucht* (links) en aan de overzijde van de *Kleine Kyll* (rechts)

Het pad komt uit bij de *Kleine Kyll*. Ga hier even naar rechts de brede brug over tot aan de volgende brug (*Germanenbrücke*), waaronder gesteenteblokken liggen met grote kolkgaten.

Door de lavastroom werd de *Kleine Kyll* geblokkeerd, zodat bovenstrooms een natuurlijk stuwmeer ontstond en aan de andere zijde het water in een waterval naar beneden stortte in het oorspronkelijke dal. De daarbij meegevoerde keien slepen aan de voet van de waterval *kolkgaten* (I-2.7) in de rotsen uit. Nu, 40.000 jaar later, heeft de *Kleine Kyll* zijn oorspronkelijke loop teruggewonnen door zich door de basalt heen te snijden tot in de onderliggende Onder-Devonische gesteenten (zie bovenstaande dwarsdoorsnede).



*Kolkgaten in de bodem van de Kleine Kyll op de plaats waar voorheen een waterval over de Horngraben lavastroom naar beneden stortte.*

Keer terug en volg de *Kleine Kyll* stroomopwaarts. Aan de overzijde van de beek zijn resten ontsloten van de basaltstroom. Houd op een driesprong rechts ('*Heidsmühle 1,5 km*') en op de daarop volgende splitsing weer rechts. Steek de houten brug over de *Kleine Kyll* over en ga linksaf langs de andere zijde van de beek naar hotel-restaurant *Heidsmühle*. Steek bij het hotel de *Kleine Kyll* weer over en ga rechtdoor ('*Mosenberg*'). Houd bij een splitsing rechts ('*Windsborn Kratersee*'). Dit is het *Johannisdal*.

Net als in de *Horngraben*, ligt ook hier in het *Johannisdal* (I-2.8) een lavastroom afkomstig uit de *Mosenberg* begraven onder los sediment. De vorm van het dal maakt het eenvoudig zich hier een voorstelling van een lavastroom te maken. Het eerder getoonde kaartje van de magnetisch metingen (zie boven I-2.5) bevestigt de afwijking (anomalie) in het aardmagnetisch veld, die op de aanwezigheid van ijzerhoudend gesteente duidt. Meyer (1994) veronderstelt dat de *Johannisdal* lavastroom uit

de noordelijke *Mosenberg* slakkenkegel is gevloeid. De *Horngraben* lavastroom is afkomstig uit de zuidelijke slakkenkegel.

## Omgeving Manderscheid

---



*Het Johannisdal*

Ga aan het eind in een haarspeldbocht scherp rechts ('*Bettenfeld*') en in de volgende haarspeldbocht scherp links. Ga op een viersprong rechtdoor naar de parkeerplaats (P) bij het *Hinkelsmaar*.

Noordelijk van de *Windsbornkrater* ligt óp het grondgebergte het ***Hinkelsmaar (I-2.9)***, dat dus in tegenstelling tot zijn naam geen maarvulkaan, maar een slakkenkegel is. Mogelijk verklaart een kruisende breuk (NNO-ZZW gericht) de verschuiving van dit eruptiecentrum ten opzichte van de hoofdas van de vulkaangroep van Manderscheid (zie I-1 Meerfeld). De misleidende naam vindt zijn oorsprong in een meer dat de krater tot 1840 vulde. In dat jaar is een kunstmatige afvoer gegraven om de turfslagen te winnen. De krater is nu verder verveend en vormt een kratermoeras.



*De slakkenkegel Hinkelsmaar*

### Aanbevelingen

- De dichtbij gelegen oude minerale bron ***Dreisborn*** staat in (tektonisch) verband met de vulkaangroep van Manderscheid en is te bereiken via een korte wandeling vanaf een parkeerpunt dichtbij (zie I-3).
- Bezoek het ***Maarmuseum*** in Manderscheid om meer te zien van de geologie en het vulkanisme rond Manderscheid.

### Verwijzingen

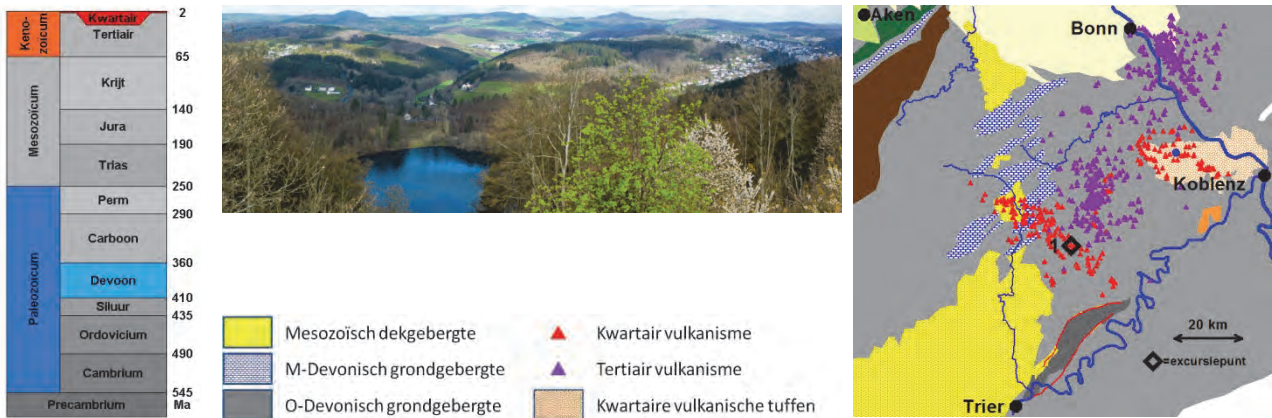
Hunsche, H., 1973. Geomagnetische, geoelektrische und magnetotellurische Messungen in Rahmen einer Exkursion zum Mosenberg und Meerfelder Maar in der Westeifel. Gamma 2. Braunschweig

Meyer, W., 1994. Geologie der Eifel. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 618 p.





## II-1 Dauner maaren



### De 'Ogen van de Eifel'

De drie maaren van Daun liggen dicht bij elkaar en behoren tot de landschappelijk meest bekoorlijke plekken van de Eifel. Ze inspireerden, dankzij het opmerkelijke feit dat ze alle drie nog een meer herbergen, de schrijfster Clara Viebig (Trier, 1860-1952) tot de poëtische omschrijving 'de Ogen van de Eifel'. De Dauner maaren liggen in het centrum van de Vulkaaneifel en zijn 20.000 tot 30.000 jaar geleden na elkaar ontstaan langs een breukzone. Opstijgend magma stuitte hier op grondwater, wat leidde tot heftige waterdampexplosies. Deze sloegen grote, trechtersvormige gaten in de ondergrond. Het verbrijzelde gesteente vormde een ringvormige tufwal rond de maaren, die zich vervolgens vulden met regen- en grondwater. De streek tussen Daun en Bad Bertrich wordt gekenmerkt door veel maaren waarin nog een meer in de explosietrichter is overgebleven. De Eifel telt ongeveer 60 maarvulkanen, maar verreweg de meeste zijn verland en slechts een tiental maarmeren zijn bewaard gebleven. Tussen het Weinfelder Maar en het Gemündener Maar bij Daun ligt de Mäuseberg (561 m), een tufwal met op elkaar gestapelde tuffen afkomstig uit beide maaren. Op deze tufwal staat de Dronketurm, een met basaltblokken gebouwde toren en een goede plek om over dit deel van de Vulkaaneifel uit te kijken. Deze omgeving ligt buiten de Noord-Zuid lopende dalingszone van de Westeifel en herbergt geen resten van het Midden-Devonisch grondgebergte, noch van het Mesozoïsch dekgebergte. Het uitzichtpunt maakt het onderscheid helder tussen maaren en slakkenkegels, de twee typen vulkanen van de Westeifel. Het Westeifel vulkaanveld concentreert zich in een NW-ZO lopende zone. Die richting wordt bepaald door diepreikende breukzones in het Paleozoïsch grondgebergte. Langs deze breuken steeg magma op naar het aardoppervlak en infiltreerde regenwater in de ondergrond. CO<sub>2</sub> gas maakt nog steeds gebruik van deze toegangswegen naar het aardoppervlak, zodat ook de huidige minerale bronnen vaak langs NW-ZO georiënteerde lijnen liggen.

**Startpunt:** P (50,173195°-6,851826°).

Parkeerplaats aan de zuidoostzijde van het Weinfelder Maar langs weg L64 van Eckfeld naar Daun.

**Duur:** 4 uur

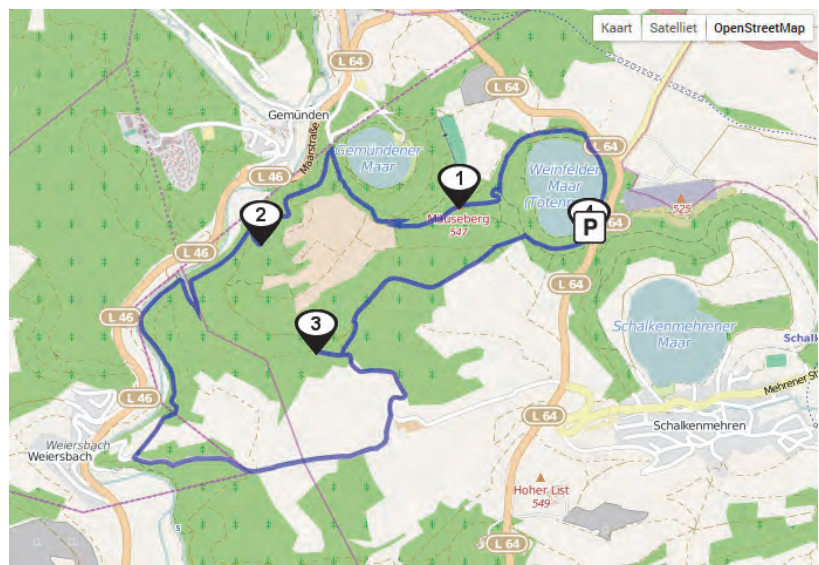
**Lengte:** 10 km

**Zwaarte:** matig inspannend

**Lokale geogidsen:**

- GEO-Infoband Vulkaneifel (Eschghi, 1999)

**Wandelkaart:** Wanderkarte Nr. 20 des Eifelvereins: Daun, Rund um die Kraterseen, 1:25 000



Kaart (OSM) met de wandelroute en excursiepunten bij de Dauner maaren (uit de app Eifel Georoutes)

## Dauner maaren

### Overzicht excursiepunten

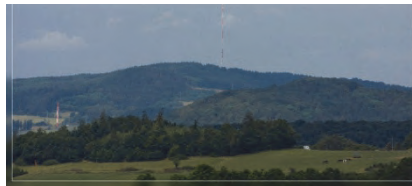
De drie *Dauner maaren*, het *Gemündener*, *Weinfelder* en *Schalkenmehrener Maar*, vormen de hoofdattractie van Daun. De wandelroute omcirkelt gedeeltelijk de eerste twee. Tussen de twee maarvulkanen zijn tuffen uit beide eruptiecentra op elkaar gestapeld. Hierdoor heeft zich een hoge rug gevormd, de *Mäuseberg* (561 m). Hierop staat de *Dronketurm* (II-1.1). Vanwege de dichte begroeiing rond de *Dronketurm* is dit uitzichtpunt minder spectaculair dan dat op *Landesblick* bij Manderscheid (zie I-1.1). Maar de toren biedt wel zicht op de belangrijkste geologische fenomenen in de streek rond Daun, in het

centrum van de Vulkaaneifel. Na de toren voert de route door een stukje van het fraaie *Lieserdal*, waar in de dalhellingen gesteenten van het **Onder-Devonische grondgebergte** (II-1.2) zijn ontsloten. Hierna buigt het pad weer terug en voert via de minerale bron *Am Winkelbach* (II-1.3) terug naar de parkeerplaats bij het *Weinfelder Maar* (II-1.4). Aan de overzijde van de weg kijkt men op het diep beneden gelegen *Schalkenmehrener Maar*. Een bezoek aan het Vulkanmuseum in Daun sluit goed aan bij deze veldexcursies en plaatst het vulkanisme van de Eifel ook in een bredere context van plaattektoniek en vulkanisme wereldwijd.

Direct ten noorden van de parkeerplaats (P) ligt bij het *Weinfelder Maar* een houten uitzichtplatform. Loop van daar tegen de klok in langs de oostelijke oever rond het maar. Ga bij splitsing rechts omhoog naar de witte kapel en loop daar onderlangs. Ga op de schuine kruising na de kapel rechtdoor omhoog en op de daarop volgende T-splitsing rechtsaf verder omhoog. Sla boven aan het eind van het pad op een open plek rechtsaf naar de *Dronketurm*.



**Nerother Kopf (647 m)**



**Scharteberg (691 m)**



**Ernstberg (699 m)**



Uitzicht vanaf de *Dronketurm* over het *Gemündener Maar* en de daarachter gelegen slakkenkegels ten noordwesten van Daun.

### *Dronketurm* (II-1.1)

#### Overzicht: maaren en slakkenkegels

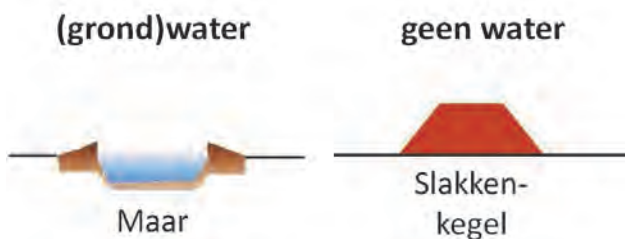
De uit basaltblokken opgetrokken *Dronketurm*, gebouwd ter nagedachtenis aan de oprichter van de Eifelvereniging, dr. A. Dronke († 1898), staat in het centrum van het Kwartaire vulkaanveld van de Westeifel (zie hoofdstuk 2.2.5). Noordwestelijk van de uitzichttoren ligt op de voorgrond het meer van het *Gemündener Maar*. Dit uitzichtpunt ligt op een 561 m hoge tufwal van opeengestapeld, verbrijzelde gesteente, afkomstig uit zowel de eruptie van de *Gemündener* als van het *Weinfelder* maarvulkaan. Het meer vult een diep gat dat bij de uitbarsting in de ondergrond is geslagen.

*De Dronketurm.*



## Omgeving Daun – Bad Bertrich

De totale diepte van de maartrechter is 117 m; het meer heeft een maximale diepte van 39 m en het wateroppervlak ligt op een hoogte van 406 m. Als we in dezelfde noordwestelijke richting wat verder kijken dan zien we bulten boven het glooiende oppervlak van het Onder-Devonisch grondgebergte uitsteken. Dit zijn slakkenkegels, die een aanzienlijk grotere hoogte bereiken: de **Nerother Kopf** met 647 m, de **Scharteberg** met 691 m en de **Ernstberg**, met 699 m de hoogste berg van de Westeifel en op de **Hohe Acht** (747 m) na de hoogste vulkaan van de gehele Eifel. Tussen het oppervlak van het gat van het maar dat uit het grondgebergte is geslagen en de op het grondgebergte gevormde bulten van de slakkenkegels zit dus een hoogteverschil van bijna 300 m. De erupties van de **maarvulkanen** ontstaan door contact tussen opstijgend magma en grondwater, waardoor waterdampexplosies worden opgewekt, die gaten in het grondgebergte slaan. Het uit de trechter geworpen materiaal vormt een ringvormige tufwal rondom de krater die voor het grootste deel uit verbrijzeld (Onder-Devonisch) nevangesteente bestaat. **Slakkenkegels** daar tegen ontstaan door het explosief uit magma vrijkomen van vulkanisch gas, vooral CO<sub>2</sub>, dat de lava aan flarden uiteen scheurt en waarbij lavafontein worden gevormd. De uit de krater geworpen slakken bouwen een vulkaankegel **op** het grondgebergte op die voor het grootste deel dus bestaat uit gestolde basaltische lava.

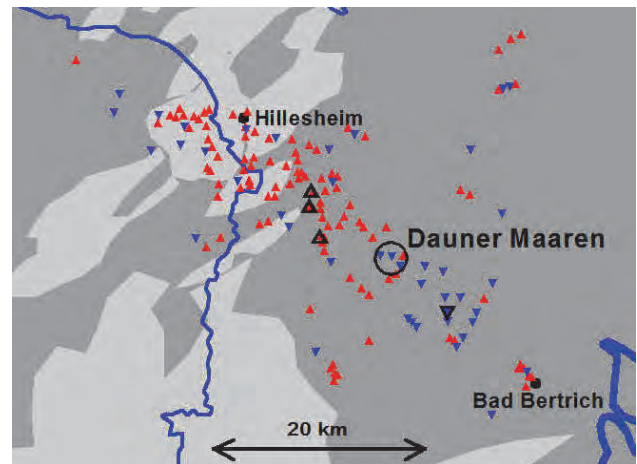


Vorm van de twee vulkaantypen van de Westeifel: maaren en slakkenkegels, (naar Schmincke, 2010)

De doorslaggevende factor die bepaalt of vulkanisme een maar of een slakkenkegel vormt, is dus de aanwezigheid van water. Als het opstijgende magma vóór het bereiken van het aardoppervlak (grond)water tegenkomt, ontstaan door waterdampexplosies maarvulkanen. Als het magma het aardoppervlak bereikt zonder op water te stuiten, dan veroorzaakt uitzettend CO<sub>2</sub> gas lavafontein, die slakkenkegels bouwen. Zowel het opstijgend magma als het in de bodem infiltrerende water maken vaak gebruik van breuken in de aardkorst. Om die reden vertonen de vulkaanvelden van de Eifel een door breuken bepaalde NW-ZO voorkeursrichting. Dit zijn vaak oude breuken, ontstaan tijdens gebergtevorming in het Paleozoïcum, die gereactiveerd zijn in het Tertiair en Kwartair tijdens de opheffing van het Rijnmassief als gevolg van de Alpiene gebergtevorming verder zuidelijk.

Onderstaand kaartje laat in één oogopslag zien dat we hier bij de **Dronketurm** en de **Dauner maaren** staan op een scheidslijn tussen een noordwestelijke zone waar slakkenkegels domineren en een zuidoostelijke zone waar maarvulkanen overheersen. Vanaf het uitkijkpunt

zijn echter de in de ondergrond geslagen maartrechters afgeschermd door de omringende topografie. In het noordwesten liggen opvallende hoge slakkenkegels. Diagonaal daar tegenover, op gelijke afstand van de Dronketurm, ligt in het zuidoosten het **Pulvermaar** bij **Gillensfeld**. Dit maar is beroemd vanwege de fraaie, bijna perfect ronde vorm. Een bezoek aan het **Pulvermaar** (II-4) is ook zeer de moeite waard omdat de tufwal van dat maar, in tegenstelling tot de tufwallen van de Dauner maaren, door een voormalige groeve goed ontsloten is en de eruptieprocessen van het maarvulkanisme goed illustreert.



Het NW-ZO georiënteerde Westeifel vulkaanveld met slakkenkegels (rode driehoekjes) en maaren (blauwe driehoekjes); de met zwarte driehoekjes gemarkeerde slakkenkegels zijn de Nerother Kopf, de Scharteberg en de Ernstberg; het met een omgekeerd zwart driehoekje gemarkeerde maar is het Pulvermaar.

Als we op Google Earth inzoomen op het maargebied ten zuidoosten van de **Dronketurm**, dan vallen onmiddellijk de acht blauwe, met water gevulde maaren op. Het **Meerfelder Maar** is excursieroute I-1 en het **Ulmener Maar** II-8.



Google-Earth afbeelding van de omgeving van Daun met opvallende blauwe maarmeren en de diep ingesneden en beboste N-Z gerichte dalen van rivieren en beken.

Het satellietbeeld maakt nog andere geologische facetten van dit gebied aanschouwelijk. Zo wijzen land-

## Dauner maaren

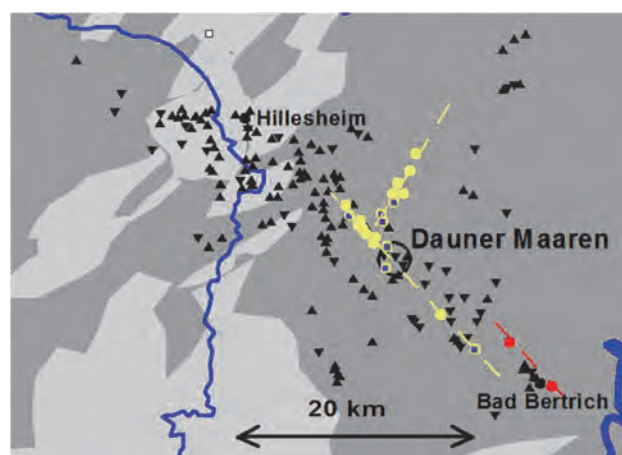
bouwgebieden op vruchtbare bodems die kernmerkend zijn voor de zandsteen- en schalielagen van het Onder-Devonisch grondgebied. De beboste gebieden markeren de steilere hellingen van slakkenkegels, tufwallen en de zeer illustratieve V-vormige insnijdingen van rivieren en beken, die het gevolg zijn van opheffing van het Rijnmassief in het Tertiair en Kwartair. De vier meest opvallende, N-Z stromende rivieren zijn de *Kleine Kyll* ten oosten van het Meerfelder Maar, de langs de Dauner maaren stromende *Lieser*, de *Alf* ten zuiden van het Pulvermaar en de *Üßbach* ten oosten van het Immerrather Maar. Al deze rivieren monden verder zuidelijk uit in de Moezel. Deze rivieren hebben niet alleen diepe insnijdingen gemaakt in het Paleozoïsch grondgebied (*Lieser*: I-4, I-7 & II-1; *Üßbach*: II-6 & II-7) maar zijn ook dwars door basaltische lavastromen heen gebroken (*Kleine Kyll*: I-2; *Üßbach*: II-7; *Alf*: II-5).

### Overzicht CO<sub>2</sub>

Niet alleen magma benut de breukzones in het Onder-Devonisch grondgebied om het aardoppervlak te bereiken. Ook grondwater en CO<sub>2</sub>-gas gebruiken deze storingszones als stromingskanalen. Bijgevolg kunnen op veel locaties oplijningen van minerale bronnen geïdentificeerd worden, die kenmerkend zijn voor de hoofdrichtingen van breuken in de Eifel. Dat is ook het geval bij Daun, zoals nevenstaand kaartje laat zien. Ten noordwesten van de Dauner maaren ligt een serie bronnen op een rij. Dit zijn bronnen in *Gemünd* (*Winkelbach*, II-1.3), *Pützborn*, *Neunkirchen* en *Steinborn* (II-2.3). De laatste drie locaties bevinden zich in het dal van de *Pützbach*. Dat is het dal achter het Gemündener Maar, dat in de richting van de Ernstberg loopt en dat duidelijk te zien is vanaf de Dronketurm (zie bovenstaande panoramafoto). Als we de lijn in zuidoostelijke richting verlengen, dan komen we daar nog twee bronnen tegen, één bij Gillen-

feld en de ander bij Strohn, beide in het dal van de Alf. Langs een tweede tektonische breukrichting, die NNO is gericht, liggen in het bovenstroomse dal van de Lieser een serie bronnen in *Daun*, het *Josenbachdal*, *Rengen*, *Nerdlen* en *Neichen*. De bronnen die besproken worden bij excursieroutes II-1 (Gemünden), II-2 (Dunaris Quelle, Josenbach Stausee en Kaserne, Steinborn en Rengen) en II-5 (Strohn) zijn met een blauwe stip in de gele cirkels op het kaartje gemarkeerd.

Ook de twee thermale bronnen in het dal van de Üßbach bij Bad Bertrich (II-6) lijnen op in een NW-ZO richting. Ze liggen echter niet in het verlengde van de Dauner bronnen, maar parallel daaraan.



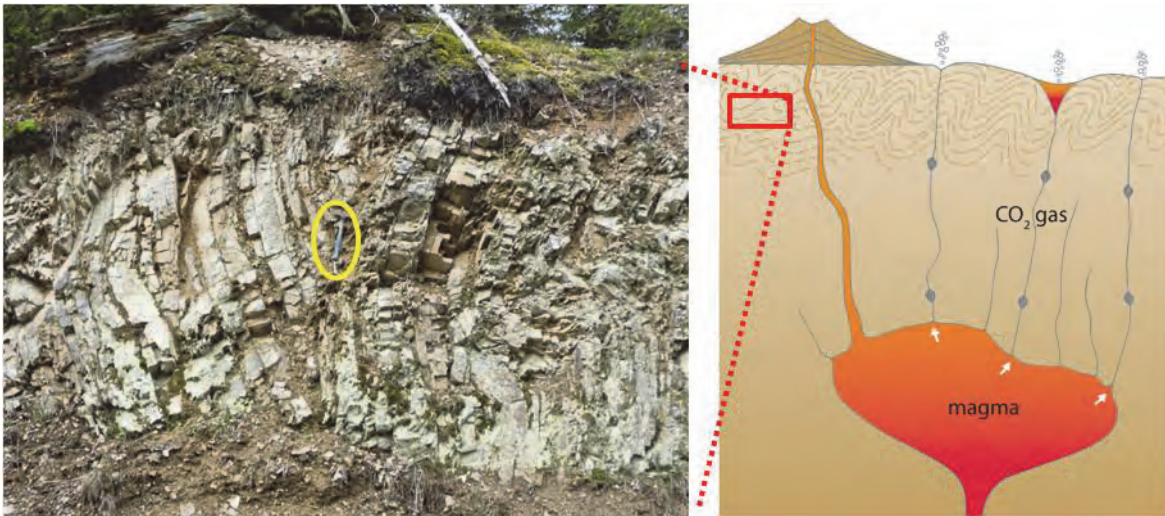
Het Westeifel vulkaanveld (zwarte driehoekjes) met minerale en thermale bronnen in de omgeving van Daun en Bad Bertrich (gele en rode cirkeltjes) langs lijnen bepaald door tektonische breuken; gele cirkels met blauwe stip: bronnen van excursieroutes II-1, 2 en 5.

Vervolg de route vanaf de toren langs het pad in westelijke richting (dus **niet** het steil afdalende pad naar het noorden). Op kruising bij bankje vóór akker scherp rechts en 50 m verder scherp links. Op een schuine kruising rechtdoor (omlaag). Aan de linkerhand zijn Onder-Devonische gesteenten ontsloten in de kraterwand van het Gemündener Maar; een bewijs dat de (freatomagmatische) vulkaanexplosie een gat in het grondgebied heeft geblazen. Bij het *Waldcafé* is een fraai uitzicht op het *Gemündener Maar* en de *Dronketurm* hoog daarboven. Ga vlak vóór dit *Waldcafé* op de T-splitsing linksaf het Lieserpad op. Neem bij splitsing het rechter pad (met slagboom) en blijf dit min of meer horizontaal lopende Lieserpad volgen. Houd rechts aan in de bocht na het passeren van de 2<sup>e</sup> zijbeek. Direct aan de linkerhand zijn de bijna verticaal staande zandsteenlagen ontsloten van het Onder-Devonisch grondgebied (II-1.2).

Zoals besproken in het overzicht bij de Dronketurm (II-1.1) bestaat de geologische basis van het gebied rond Daun uit Onder-Devonische gesteenten van het Paleozoïsch grondgebied. Door de opheffing van het Rijnmassief in het Tertiair en Kwartair, een neveneffect van de Alpiene gebergtevorming, hebben rivieren en beken zich in het grondgebied ingesneden. Dankzij deze insnijding zijn hier de gesteentelagen van het **Onder-Devonisch**

**grondgebied (II-1.2)** ontsloten. Direct springt de vrijwel verticale stand van de gesteentelagen in het oog; door intensieve plooiing in het Boven-Carboon, 300 miljoen jaar geleden, zijn de zand- en schalielagen in deze verticale positie gezet. Daarnaast zijn ze ook gebroken en over elkaar geschoven. De verticale stand van de laaggrenzen bevordert transport van water en gas uit de ondergrond naar het aardoppervlak.

## Omgeving Daun – Bad Bertrich



Links: bijna verticaal staande zandsteen- en schalielagen van het Onder-Devonisch grondgebergte, ontsloten in het Lieserdal bij Gemünden (hamer voor schaal); rechts: schematische weergave van toegangswegen in het grondgebergte naar het aardoppervlak van zowel het magma van de vulkanen als de koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) van de minerale bronnen in de Eifel, die beide hun herkomst vinden in diep in de aardkorst liggende magmakamers (naar: Geo-route Mander-scheid).

Vervolg het pad en sla in het volgende zijdal een (**let op:** klein) paadje in, schuin naar beneden naar rechts. Steek de beek over via een houten bruggetje (*Winkelborn Brücke*). Volg het Lieserpad langs de linker oever van de rivier en negeer alle zijpaden. Het laatste deel van het pad ziet uit op de grote basaltgroeve van *Üdersdorf*, die nog in bedrijf is. Einde pad (bij bankje en wegkruis) linksaf (verhard). Volg dit verharde pad gedurende ca. 1½ km. Bij het verlaten van het bos biedt het open veld fraai zicht op de omgeving en de beboste tufwal van het *Gemündener Maar* met op het hoogste punt, grotendeels achter bomen verscholen, de *Dronketurm*. Ga 100 m vóór de manege (*Barninerhof*), in een haakse bocht naar rechts, linksaf op een onverhard pad. Houd links over het beekje. Houd bij het einde van de viskweekvijvers op splitsing links en ga even verder op een 5-sprong rechtdoor. Ca. 200 m verder en aangegeven door een houten wegwijzer op een boom (*'Zum Sauerbrunnen'*) ligt links van het pad en naast de beek de minerale bron *Am Winkelbach* (II-1.3), die direct opvalt door de rode kleur van het neergeslagen ijzer.

De **Quelle am Winkelbach (II-1.3)** ligt in een breukzone, waarlangs grondwater en CO<sub>2</sub>-gas het aardoppervlak kunnen bereiken. Zowel de ligging als de afwerking van de ijzerrijke bron is fraai. Van het mineraalwater is geen analyse gepubliceerd, maar May (2002) geeft een samenstelling van natrium-magnesium-calcium-waterstofcarbonaat (Na-Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>) mineraalwater. Dat wordt geclassificeerd als type 2 en is vergelijkbaar met dat van sommige andere minerale bronnen in de omgeving van Daun (zie II-2).



*De bron Am Winkelbach*

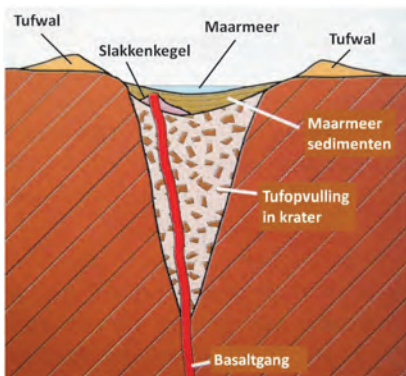
Loop van de minerale bron *'Am Winkelbach'* 200 m terug naar de 5-sprong. Ga daar schuin links op de met een V gemarkeerde *Vulkanweg*, die flink stijgt naar de rand van de tufwal van het *Weinfelder Maar*. Het pad komt na 200 m uit op een breder pad; sla hier rechtsaf. Bij het bereiken van het open veld gaat het pad over in een smal paadje langs grasland. Ga op de kruising rechtdoor en op de volgende kruising met een breder pad links en dan gelijk rechts, steil omhoog. Einde weg, op de rand van de tufwal, rechtsaf. Dit is de hoge rondweg van het *Weinfelder Maar*, die terugvoert naar de parkeerplaats (P). Vlak vóór de parkeerplaats is een platform dat een goed zicht biedt op het fraaie maar (II-1.4).

## Dauner maaren



Het Weinfelder Maar

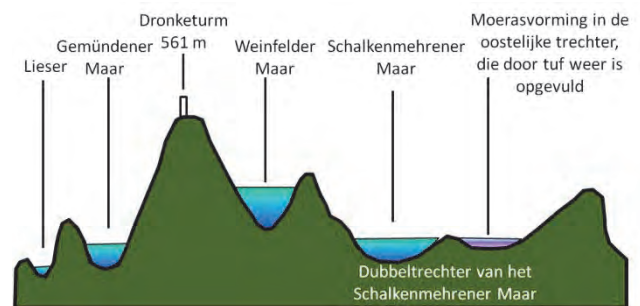
Het **Weinfelder Maar (II-1.4)** is het middelste van de drie Dauner maaren. De maaren zijn ontstaan door explosief contact tussen magma dat langs breuken opstijgt en water, dat langs diezelfde breuken in de ondergrond infiltrert (zie hoofdstuk 2.5). Bij deze *freatomagmatische* erupties zet de gevormde waterdamp explosief uit, waardoor het omringende gesteente verbrijzeld en uitgeblazen wordt, zodat er een trechtervormig gat in de grond ontstaat. Veel van het uitgeworpen, verpulverde materiaal verzamelt zich rond het gat in een lage, ringvormige tufwal. Het gat wordt weer grotendeels gevuld met teruggevallen gesteentegruis en vanaf de rand teruggespoelde tuffen. Wanneer al het water verdampt is, komt een eind aan de explosieve fase en kan magma verder omhoog dringen en op de bodem van de maarkrater een slakkenkegel bouwen. De teruggespoelde fijne assen vormen tenslotte een vrijwel ondoorlatende bodem, zodat regenwater in de krater een meer vult.



Schematische doorsnede van een maar bij Daun (Schalkenmehrener Maar), waarin aan het eind van de maaruitbarsting opstijgend magma in de krater een kleine slakkenkegel creëerde (Eschghi, 1999)

Op een steenworp afstand van het uitkijktplatform ligt het **Schalkenmehrener Maar**. Vanaf de overzijde van de weg heeft men daar fraai zicht op. Dan valt ook direct op dat het meer van dit maar beduidend lager ligt dan het **Weinfelder Maar**. Het niveau van het **Gemündener Maar** ligt zelfs nog iets lager en verschilt bijna 80 m met het **Weinfelder Maar**. De maaren zijn hydraulisch van elkaar gescheiden door de fijne vulkanische assen op de bodem

van de meren en de slecht-doorlatende Onder-Devonische gesteenten daaronder.



Hoogteverschillen tussen de Dauner maaren (naar infobord Tourist-Information Daun)

De Dauner maaren liggen langs een NW-ZO gerichte breuk, waarlangs basaltisch magma vanuit een gemeenschappelijke magmakamer naar boven kwam. De maaren volgen daarmee de hoofdrichting van het Westeifel vulkaanveld (zie hoofdstuk 2.5). Het Schalkenmehrener Maar is in feite samengesteld uit drie maaren (zie onderstaande kaart): de twee droge oostelijke maaren en ten westen daarvan een met water gevuld maar. De eerste twee zijn gedeeltelijk weer gevuld met de tuffen van de latere uitbarstingen en hebben daarnaast een langer verlandingsproces doorgemaakt. Ze zijn dus ouder dan de watervoerende maaren. Onderzoek van de tufwallen, de krateranden en de meerbodems wijst op een ouderdom van 20.000 tot 30.000 jaar, waarmee de erupties in de laatste ijstijd (het *Weichsel* Glaciaal) worden geplaatst. Studies van de bodems onder de vulkanische afzettingen bevestigen door de afwezigheid van planten het koude klimaat en recente radiometrische  $^{14}\text{C}$  dateringen komen met deze ouderdom overeen (Büchel, & Krawczyk, 1986). De eruptievolgorde van de Dauner maaren blijkt onder andere uit de afsnijding van de tufwallen door latere maaren, zoals is afgebeeld op onderstaand kaartje van Eschghi (1999). Jongere maaren nemen successievelijk een 'hap' uit oudere. Bij de **Dronketurm** op de **Mäuseberg (II-1.1)** worden de tuffen van het **Gemündener Maar** overdekt door die van het **Weinfelder Maar**, dat daarmee dus jonger moet zijn.

## Omgeving Daun – Bad Bertrich



De Dauner maaren (van links naar rechts: Gemündener Maar, Weinfelder Maar, Schalkenmehrener Maar); boven: geologische kaart (Eschghi, 1999); onder luchtfoto (Archiv Touristinformation Daun)

Onderstaande tabel vat de gegevens over de afmetingen van de maaren samen en plaatst hen in volgorde van hun ontstaanseruptions.

Volgorde eruptie	maar	diame-ter (m)	diepte (m)	diepte meer (m)	hoogte waterspiegel (m)
5	Weinfelder	700	90	51	484
4	Gemündener	620	117	39	406
3	Schalkenmehrener (W)	1100	90	21	420
2	Schalkenmehrener (ZO)	600	40	-	430
1	Schalkenmehrener (NO)	500	70	-	423

De Dauner maaren vertonen een onderling sterk verschillend landschap. De steile trechter van het *Gemündener Maar* is dicht met bos bedekt (zie foto). Lage struiken, waaronder veel brem, kenmerken de omtrek van het *Weinfelder Maar*, terwijl de *Schalkenmehrener Maaren* in een moerassige vlakte met open struikgewas liggen, waarin op enkele plaatsen landbouw wordt bedreven (Meyer, 1994). De maaren worden bedreigd door *eutrofiëring*, vergroting van de voedselrijkdom van het water door fosfaten en nitraten. Het *Weinfelder Maar* is voedselarm, *oligotroof*, zoals het heldere water van het 51 m diepe meer laat zien. Toch werd ook dit maar jarenlang bedreigd door intensieve sportvisserij.

Het *Gemündener Maar* met een waterdiepte van 39 m was *oligotroof* tot 1910, maar er vond onvoldoende menging met zuurstofrijk grond- of oppervlaktewater plaats. Hierdoor vormde zich een bodemlaag van rottende modder, zodat het meer *eutroof* werd. Drainage van het diepe water heeft sindsdien de waterkwaliteit weer doen verbeteren. Het *Schalkenmehrener Maar*, 21 m diep, had te lijden van organische voedingsstoffen afkomstig van de omliggende landbouw. Er is geprobeerd de *eutrofiëring* te doen afnemen door milieuvriendelijker landbouw op de aangrenzende percelen te stimuleren.

Steek (**voorzichtig!**) de autoweg over voor een mooie blik op het derde van de *Dauner maaren*, het *Schalkenmehrener Maar*.

### Aanbeveling:

Bezoek het **Vulkanmuseum** in Daun om meer te zien van het boeiende vulkanisme in de Westeifel en elders in de wereld.

### Verwijzingen:

- Büchel, G. & Krawczyk, E., 1986. Zur Genese der Dauner Maare im Vulkanfeld der Westeifel. Mainzer geowiss. Mitt., 15: 219-238, Mainz.
- Eschghi, I., 1999. Geo-Infoband Vulkaneifel. GEO-Zentrum Vulkaneifel, Daun, 217 p.

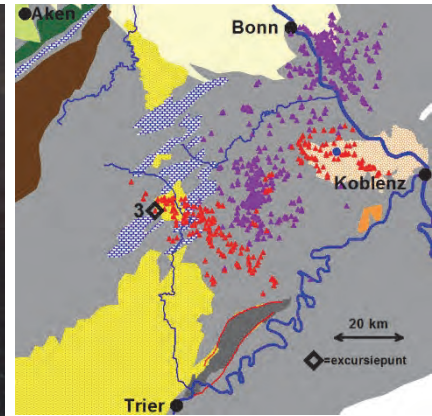
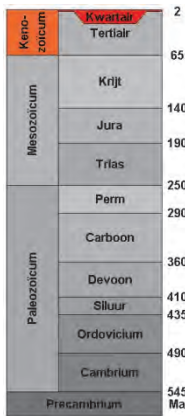
- May, F., 2002. Säuerlinge der Vulkaneifel und der Südeifel. Mainzer geowiss. Mitt. 31, 7-58.
- Meyer, W., 1994. Geologie der Eifel. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 618 p.
- Schmincke, H-U., 2010. Vulkanismus. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 264 p.





# Omgeving Gerolstein - Hillesheim

## III-3 Duppach



### Een karakteristiek Eifellandschap met (verlande) maaren en CO<sub>2</sub>- en ijzerrijke bronnen

In het deelgebied Gerolstein-Hillesheim zijn alleen verlande maatrechters overgebleven. Eén daarvan is het Gerolsteiner Maar ten noorden van Gerolstein, dat vanaf de Munterley zichtbaar is. Dat maar is echter een volgebouwd industrieterrein met onder andere de bottelarij van Gerolsteiner Sprudel. Het Duppacher Maar ten noordwesten van Gerolstein is landschappelijk een aantrekkelijker voorbeeld van een verland maar in dit gebied. Op kaarten en Google Earth valt direct de cirkelvorm van de Duppacher maarvulkaan op. Aan de oostrand van het maar ligt de Duppacher Drees, een minerale bron die zeer rijk is aan CO<sub>2</sub>. In het dal van de Gussbach ten noorden van Duppach liggen nog twee bronnen, die vooral rijk zijn aan ijzer. Tussen de beide bronnen doorstroomt de beek ook het kleine Eichholzer Maar dat ook al lang verland was, maar waarin het nu herstelde maarmeer de landschaps- en natuurwaarde sterk vergroot heeft. De wandeling komt onderweg langs twee hooggelegen punten die een fraai zicht bieden op het karakteristieke vulkanische Eifellandschap.

**Startpunt: P (50,25978°-6,56564°).** Parke- ren op de parkeerplaats tegenover de kerk in Duppach, te bereiken over de L24 vanaf Gerolstein.

**Duur:** 4 uur

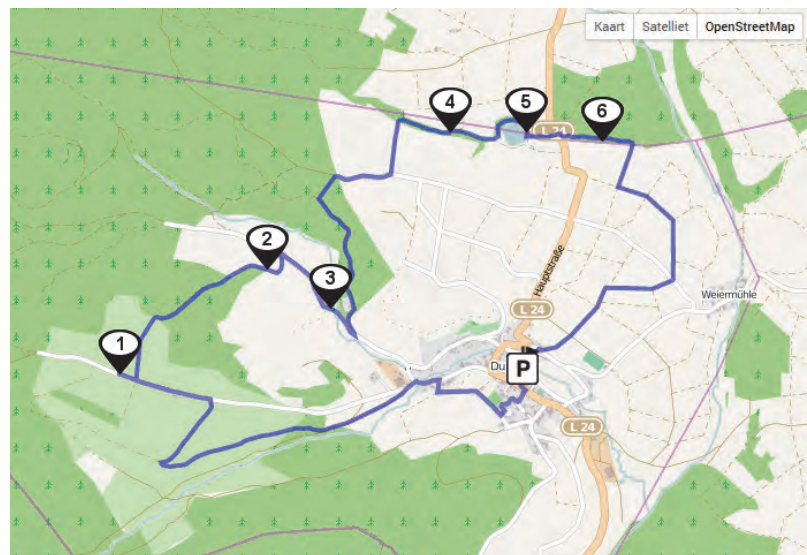
**Lengte:** 10½ km

**Zwaarte:** matig inspannend met aan het begin een lange klim naar excursiepoint 1.

#### Lokale geogidsen:

- GEO-Reportagen Verbandsgemeinde Gerolstein, Route 2 (Frey et.al, 1996).
- GEO-Infoband Vulkaneifel (Eschghi, 1999)

**Wandelkaart:** Wanderkarte Nr. 17 des Eifelvereins: Prümer Land, 1:25 000



*Kaart (OSM) met de wandelroute en de excursiepunten in de omgeving van Duppach (uit de app Eifel GeoRoutes).*

#### Overzicht excursiepunten

De wandelroute begint met een lange klim naar de 612 m hoge heuvel 'Auf Heilert' (III-3.1) met een panoramisch zicht op de wijde omgeving van Duppach. Vervolgens voert de route eerst rond het verlande **Duppacher Maar** (III-3.2), doorsnijdt daarbij de beboste westelijke en oostelijke tufwal en passeert de **Duppacher**

**Drees** (III-3.3), de minerale bron in het maar. Het tweede deel van de wandeling begint ook weer met een uitzicht over het Eifellandschap en leidt daarna langs twee natuurlijke bronnen met ijzerrijk, licht gemineraliseerd water, de **Steffelner Drees** (III-3.4) en de **Aueler Drees** (III-3.6) met daar tussenin het kleine en fraaie **Eichholzer Maar** (III-3.5).

## Duppach

Loop vanaf de parkeerplaats tegenover de kerk (P) de omhoog lopende straat 'Auf dem Langen Garten' in. Ga vlak vóór een kleine rotonde aan het eind van de straat rechtsaf omhoog. Einde weg rechts. Negeer alle zijwegen en volg dit grindpad dat verderop overgaat in een geasfalteerde weg tot deze aan het eind met een knik uitkomt op de hoofdstraat. Ga hier einde weg linksaf. Sla na de brug over de beek linksaf ('Im Flürchen') en houd na 40 m op een splitsing links aan; dit is het lage pad in het dal van de *Taufbach*. Neem aan het eind van het grasveld/begin bos op een splitsing schuin rechts het onverharde, omhoog lopende pad ('Eifelblick Heilert 1,9 km'). Volg dit pad gedurende 1 km en negeer alle zijpaden tot een driesprong aan het eind (bij bankje); ga hier rechtsaf omhoog. Einde pad op T-splitsing linksaf (asfalt). Ga op een kruising rechtdoor; 100 m verder ligt bij een schuilhut in een bosje het uitzichtpunt 'Auf Heilert'.

**Eifelblick Heilert (III-3.1)** biedt vanaf een hoogte van 612 m fraai zicht op het voor de Eifel zo kenmerkende landschap. Hierin vallen vooral de vulkanen op, die boven het golvende oppervlak van het Paleozoïsch grondgebied en Mesozoïsch dekgebied uitsteken. Dichtbij zijn dat de Kwartaire slakkenkegels **Döhmburg** (653 m, zie III-8), **Ernstberg** (699 m), **Schartenberg** (691 m) en **Ne-rother Kopf** (647 m). In de verte zijn bij helder weer de Tertiaire basaltkoppen van de **Hohe Acht** (747 m) en de **Nürburg** (met burchttoren, 676 m,) zichtbaar.



Het Eifelpanorama vanaf Auf Heilert

Loop vanaf *Eifelblick* 100 m terug naar de kruising en ga daar linksaf ('Mineralquelle Duppach 1,6 km'). Volg dit graspad door open veld naar de bosrand en ga daar rechtsaf het bos in. Het pad doorkruist de beboste westelijke tufwal van het **Duppacher Maar** (zie routekaartje). Aan het eind van het bos, bij een bankje, is er fraai zicht op het verlande maar.

In het veld is het **Duppacher Maar (III-3.2)** vooral te herkennen aan de beboste tufwal, die in een halve cirkel de komvormige weidedepressie omsluit. Het maar heeft een doorsnede van ongeveer 700 m. De maartrechter en de tufwal zijn gevormd door freatomagmatische waterdampexplosies als gevolg van contact tussen opstijgend magma en (grond)water. Op deze freatomagmatische fase volgde een magmatische fase. Het begin van die fase was rijk aan magmatische gassen (vooral CO<sub>2</sub>), zodat basaltische slakken in Stromboliaanse lavafonteynen werden uitgeworpen (zie hoofdstuk 2.5). Daarop volgde een gasarme, effusieve fase waarin basaltische lava de tuffen en slakken binnendrong

en een klein stukje in noordelijke richting naar buiten vloeide (Meyer, 1994). De lava en lavaslakken zijn aan de zuidoostelijke rand van het maar ontsloten (in een slecht toegankelijke groeve).

De beboste tufwal is laag. Dit duidt op een relatief lange geschiedenis van tienduizenden jaren waarin grote delen van de tuflagen geleidelijk geërodeerd zijn. Veel erosiemateriaal is weer teruggespoeld in de maartrechter, die daarna door ander sediment verder werd opgevuld en uiteindelijk geheel is verland.



Panorama van het verlande Duppacher Maar met grasland in de maartrechter, die omringd wordt door de beboste tufwal. Inzet: basaltische slakken in een groeve in het zuidoosten van het maar.

Vervolg het graspad en ga einde pad rechtsaf op de asfaltweg. Vlak voor de beek ('Dreisbach') ligt het paviljoentje van de minerale bron **Duppacher Drees**.

De **Duppacher Drees (III-3.3)** ligt aan de rand van het Duppacher Maar en is de meest noordwestelijke minerale bron in het gebied van Gerolstein. Waarschijnlijk stromen het koolzuurhoudend mineraalwater en het CO<sub>2</sub>-gas naar boven langs dezelfde breuken waarlangs eerder het

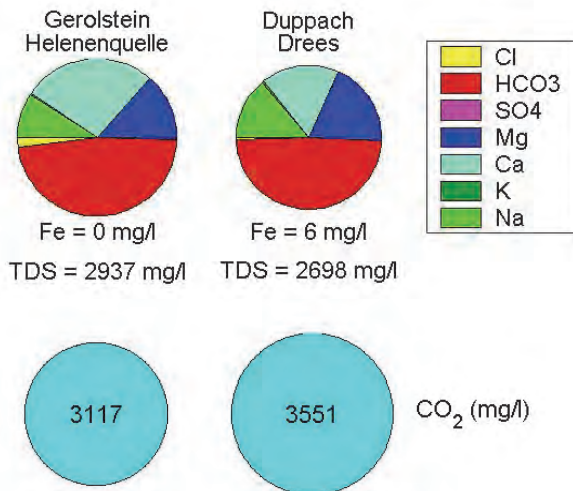
magma naar boven kwam en waarbij in de bovenste honderden meters ook randbreuken ontstonden rond het maar.

# Omgeving Gerolstein - Hillesheim



De Duppacher Drees aan de rand van het Duppacher Maar

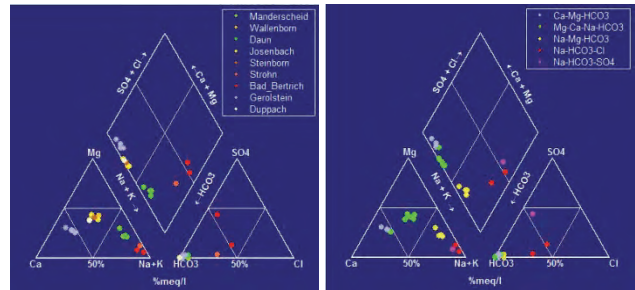
De Duppacher Drees wordt gekenmerkt door een hoog gehalte aan vrije CO<sub>2</sub> (3550 mg/l) en het mineraalwater is rijk aan opgeloste stoffen met een totaal (TDS) van 2700 mg/l. De pie-diagrammen laten zien dat die kenmerken van het mineraalwater van Duppach vergelijkbaar zijn met de Helenenquelle in Gerolstein (zie III-1).



Chemische samenstelling van het mineraalwater van de Helenenquelle in Gerolstein en de Duppacher Drees; boven: pie-diagram met hoofdcomponenten in %meq/l en totaal aan opgeloste stoffen (TDS); onder: moon-diagram van CO<sub>2</sub> in mg/l. (Analysegegevens: Plum, 1989).

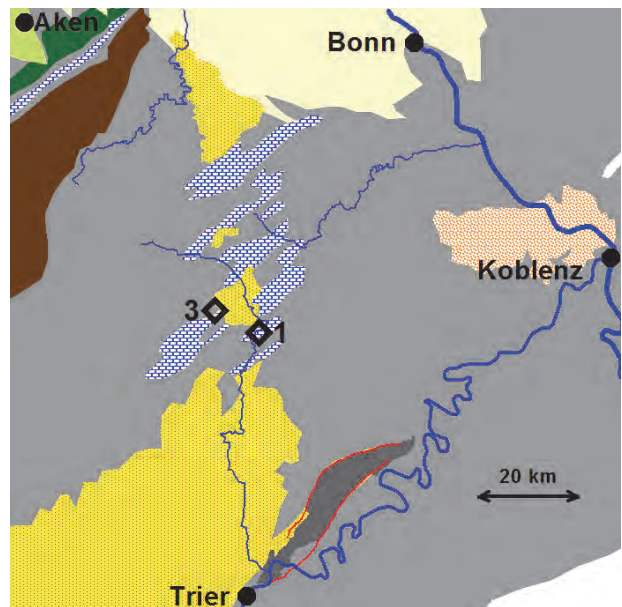
Het verschil tussen de twee bronnen is het calciumgehalte, dat bij Duppach (Ca = 240 mg/l) minder overheersend is dan bij Gerolstein (Ca = 400 mg/l). Het verschil komt goed naar voren in een Piper-diagram, dat toont dat de samenstelling van de Duppacher Drees (witte stip) meer overeenkomt met die van Wallenborn, Josenbach, Steinborn en Strohn. Deze bronnen vormen de geelbruine cluster in het centrum van de kationendriehoek (=linker driehoek), die gekenmerkt wordt door min of meer gelijke concentraties aan calcium, magnesium en natrium. Het mineraalwater van Duppach wordt dan ook geclassificeerd als calcium-magnesium-natrium-waterstofcarbonaat (Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>) Säuerling, type 2.

Analyses met deze samenstelling vormen de groene cluster in het rechter Piper-diagram met de indeling naar type mineraalwater.



Piperdiagram van de chemische samenstelling en classificatie van mineraalwater in de Westeifel met gegevens van Manderscheid, Wallenborn, Daun, Josenbach, Steinborn, Strohn, Bad Bertrich, Gerolstein en Duppach; links per locatie, rechts per type (Analysegegevens: GEO-route Manderscheid; Plum, 1989; Heyl, 1974).

De oorzaak van het verschil tussen het mineraalwater van Gerolstein en dat van Duppach wordt duidelijk bij een blik op de geologische kaart. De Helenenquelle van Gerolstein ligt in het centrum van het Midden-Devonische kalksteen- en dolomietgebied. Duppach, daarentegen, ligt net buiten een kalksyncline op Onder-Devonische zandsteen en schalie.



De Duppacher Drees (3) ligt net buiten het Midden-Devonische kalksteengebied; de Helenenquelle (1) ligt in het centrum van de Gerolsteiner kalksyncline.

De bronfitting van de zeer CO<sub>2</sub>-rijke Duppacher Drees ligt diep in de bodem van het bronpaviljoen. Op windstille dagen is het daarom mogelijk dat zich op de bodem een laagje CO<sub>2</sub>-gas ontwikkelt. CO<sub>2</sub>-gas is namelijk zwaarder (dichtheid 22) dan lucht (dichtheid 14,4) en zal onderin een afgeschermd ruimte op de bodem blijven hangen. Het gas is reukloos, maar met een kaars kan ge-

## Duppach

probeerde worden de aanwezigheid van zo'n laag aan te tonen, omdat een kaars in een koolstofdioxidelag uitdooft. Dat komt door gebrek aan zuurstof, wat een dergelijke CO<sub>2</sub>-laag rond de bronfitting ook gevaarlijk maakt voor kleine dieren die zich daar wagen (zie ook de mofette Am Altstraßbachtal, III-6).



De bronfitting van de Duppacher Drees

Vervolg de asfaltweg 200 m en ga bij een wegwijzer scherp links een breed grindpad op ('Eichholzmaar 2,4 km'). Houd op splitsing bij huis links ('Rundweg Nr. 10'). Het pad loopt hier over het noordoostelijk deel van de tufwal van het Duppacher Maar en komt na 350 m langs een open veld. Dit is een verlaten groeve in dikke zandsteenlagen van het Paleozoïsch grondgebied, die enigszins verscholen liggen achter dichte begroeiing. Ga op het 1<sup>e</sup> pad rechtsaf. Dit pad ('Rundweg Nr. 10') loopt steil omhoog en komt boven bij een informatiebord op een vijfsprong. Dit is het uitzichtpunt 'Eifelblick Duppacher Höhe (530 m)', dat net zoals 'Auf Heilert' (III-3.1) een mooi uitzicht biedt op de nabije Kwartaire vulkanen (Rother Kopf en Roßbüsch) en de tot 30 km verder gelegen Tertiaire vulkanen van de Hocheifel (Hohe Acht en Nürburg). Daal af over het geasfalteerde pad ('Eichholzmaar 1,4 km') en sla het 2<sup>e</sup> (gras)pad links in ('Vulkaneifel Pfad'). Het pad buigt voor een beek naar rechts en bereikt even later de minerale bron Steffeln Drees.

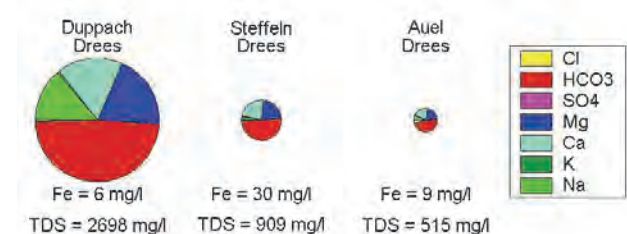
De Steffeln Drees (III-3.4) ligt aan het noordwestelijke uiteinde van het vulkaanveld van de Westeifel (zie hoofdstuk 2.6). De bron ligt samen met de verderop gelegen Aueler Drees in een oost-west lopende dalinsnijing van een beekje, de Gussbach. Tussen de beide bronnen in ligt ook het kleine Eichholzer Maar (III-3.5). Het eerste dat opvalt bij de Steffeln Drees is de intens rode kleur rond de bron. Een blik op het infobord van het 'Deutsch-Belgischer Naturpark Hohes Venn-Nordeifel' leert dat dit veroorzaakt wordt door een extreem hoog ijzergehalte van 30 mg/l. Daarmee behoort de bron samen met de vergelijkbare mofette bij Wallenborn (34 mg/l, zie I-8) tot de meest ijzerrijke bronnen in de Eifel. In de Westeifel zijn alleen de ijzergehalten van de Darscheider Drees (46 mg/l) en de Rengener Drees (42 mg/l, zie II-2) hoger.



IJzerrijk, rood kleurend mineraalwater uit de Steffeln Drees stroomt de Gussbach in.

De rode kleur van de bron en de bedding van het kanaaltje is het gevolg van oxidatie van het ijzer in het bronwater. Zodra tweewaardig ijzer (Fe<sup>2+</sup>) dat goed in water oplosbaar is aan de oppervlakte komt, oxideert het door de zuurstof in de lucht tot driewaardig ijzer (Fe<sup>3+</sup>), dat slecht in water oplost en dus neerslaat.

Tegenover het hoge gehalte aan ijzer staan relatief lage waarden voor de overige opgeloste stoffen en met name van calcium (101 mg/l) en magnesium (59 mg/l). Ook het totaal aan opgeloste stoffen (TDS) is laag, zoals blijkt uit het onderstaande pidiagram, waarin het mineraalwater wordt vergeleken met dat van de Duppacher Drees (III-3.3). Hier is ook alvast het pidiagram weergegeven van de even verderop gelegen Aueler Drees (zie III-3.6) met een nog geringer gehalte aan totaal opgeloste stoffen. Informatie over het CO<sub>2</sub>-gehalte van de Steffeln en Aueler Drees ontbreekt.



Het bronwater wordt geclassificeerd als Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> water, type 1. Op basis van de beschikbare analyse zou het niet als mineraalwater erkend mogen worden, omdat de TDS lager is dan 1000 mg/l, het calciumgehalte minder dan 150 bedraagt en magnesium maar nauwelijks de grenswaarde van 50 mg/l overtreft (zie hoofdstuk 2.6). De productie van de bron (het debiet) is laag en ligt tussen 1 en 3 liter/ minuut (= 1,5-4,5 m<sup>3</sup>/dag).

## Omgeving Gerolstein - Hillesheim

Vervolg het pad nu langs de andere (noord) zijde van de beek ('*Eichholzmaar 0,5 km*'). Houd links bij een houten bruggetje en loop linksom het **Eichholzer Maar** over de noordelijke tufwal naar een informatiebord aan de oostzijde van het maar.



Het Eichholzmaar; links de noordelijke tufwal.

Het kleine **Eichholzer Maar (III-4.5)** is het enige maar in het noordelijk deel van de Westeifel met een maarmeer. De doorsnede van het meer is slechts 120 m en de maximale diepte 3 m.

Het informatiebord aan de oostzijde van het maar toont de resultaten van een 23 m diepe verkenningsboring in het maar. In deze boring zijn op 12 m diepte assen aangetroffen, die afkomstig zijn van de uitbarsting van de *Laacher See* vulkaan 12.900 jaar geleden (zie IV-1). Het *Eichholzer Maar* moet dus ouder zijn. De meersedimenten tonen een karakteristieke seizoensgelaagdheid,

waardoor de ouderdom van elk laagje bepaald kan worden. Pollen in deze meersedimenten tonen een overgang van een vegetatie in een koud klimaat (berk, grove den en grassen) naar die in een warmer klimaat (hazelaar, eik en iep). Deze overgang rond 11.600 jaar geleden betekende het eind van de laatste ijstijd en het begin van de huidige interglaciale periode. Deze jongste periode in de geologische geschiedenis wordt *Holoceen* genoemd. Daarna is het maar verland en pas in 2007 kunstmatig weer als waterhoudend maar ingericht.

Ga na het infobord linksaf ('*Duppach 2,8 km*'). Steek de autoweg over en ga dan rechtdoor over een smal bospad ('*Vulkan-Pfad*') langs de noordzijde van de beek. Na 200 m ligt rechts, wat verscholen achter een dikke boom, de minerale bron *Aueler Drees*. Een klein, recht kanaaltje leidt het bronwater naar de beek.

De **Aueler Drees (III-3.6)** ligt net als de Steffelner Drees (III-3.4) direct naast de *Gussbach*. Ook in samenstelling is er veel overeenkomst. Het bronwater bevat nog minder opgeloste stoffen dan bij Steffeln (zie piediagram bij III-3.4). Het gehalte aan calcium is slechts 56 mg/l en aan magnesium 32 mg/l. Omdat andere bestanddelen nog minder voorkomen wordt het bronwater ook hier geclassificeerd als Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> water, type 1. Het zou evenmin als bij Steffeln als mineraalwater erkend mogen worden.



Matig ijzerrijk, rood gekleurd mineraalwater uit de *Aueler Drees* wordt door een kanaaltje de *Gussbach* ingeleid.

Het lage gehalte aan opgeloste stoffen duidt erop dat opstijgend CO<sub>2</sub>-gas pas laat en op geringe diepte met grondwater in aanraking komt en bij lage druk daarin maar weinig oplost. De circulatie van koolzuurhoudend

## Duppach

---

water in de ondergrond is dan maar kort, zodat er weinig stoffen uit het nevengeesteente opgelost worden. Het ijzergehalte is met 9 mg/l hoog, maar aanzienlijk lager dan dat bij de *Steffelner Drees*. Vanwege de lage gehalten aan opgeloste stoffen zijn de bronnen van Steffeln en

Auel niet meegenomen in het Piperdiagram van Duppach (zie III-3.2)

De productie van de bron (het *debiet*) is net zoals bij de *Steffelner Drees* laag en ligt tussen 1 en 3 liter/minuut (= 1,5-4,5 m<sup>3</sup>/dag).

Vervolg het pad door het bos en steek na 150 m een houten bruggetje over de beek over. Loop rechtdoor omhoog tussen de akkers naar een viersprong met op de hoek een paal. Ga hier linksaf. Vanaf dit punt is de route door de grasvelden en akkers gemarkeerd met stickers ('*Vulkaneifelpfade*') op houten paaltjes. Ga op een viersprong rechtdoor op het graspad en op de volgende viersprong schuin rechtdoor. Ruim 200 m verder aan de linkerhand ligt de archeologische opgravingsplaats '*Auf Bremscheid*'. Ga op de kruising met de asfaltweg schuin rechtdoor en volg het pad langs de akker. Negeer een pad naar links aan het eind van de akker. Het pad buigt bij een lange paal naar links. Loop daarna rechtdoor tussen de velden en steek de asfaltweg over. Ga rechtdoor over het (gras)pad, dat aan het eind steil afdaalt naar de geasfalteerde toegangsweg van **Duppach**. Steek deze over, neem het graspaadje aan de overzijde het beekdal in en loop door naar de kerk (P).

### Verwijzingen

- Eschghi, I., 1999. GEO-Infoband Vulkaneifel. GEO Zentrum Vulkaneifel und Landkreis Daun, 217 p.
- Frey, M.-L., 1996. GEO-Reportagen Route 2: Ablagerungsgesteine und Vulkanismus im Nordwesten des Gerolsteiner Landes. Verbandsgemeinde Gerolstein.
- Heyl, K. E., 1974. Die warme Mineralquelle von Strotzbüsch. Heimat Jahrbuch 1974. Landkreis Vulkaneifel.

- Meyer, W., 1994. Geologie der Eifel. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 618 p.
- Plum, H., 1989. Genetische Klassifikation und geochemische Interpretation der Mineral- und Thermalwässer der Eifel und Ardennen. Mitt. Ing.- u. Hydrogeol., 34, Aken, 170 p.

# Omgeving Laacher See

## IV-1 Laacher See



### Langs de randen een caldera

De Laacher See is het fascinerende vaandel van het Oosteifel vulkaanveld. Met enige verbeeldingskracht is het mogelijk zich hier in te leven in de spectaculaire en gewelddadige gebeurtenissen tijdens het ontstaan van de caldera. Een blik op de caldera vanuit de lucht is een eerste stap. Dat kan het best vanuit een helikopter, maar de uitkijktoren op de noordrand van de krater, de Lydiatum, biedt een goed alternatief. Het eerste dat opvalt is de vorm van de Laacher See, geen cirkel, maar een acht, die gevormd is door een eruptiecentrum dat zich tijdens de uitbarsting verplaatst heeft. De beboste heuvels rond het meer bestaan niet alleen uit de tuffen van de Laacher See eruptie, maar ook uit een serie slakkenkegels, die enkele honderdduizenden jaren ouder zijn dan de Laacher See vulkaan. Langs de binnenwanden van de caldera zijn Onder-Devonische gesteentelagen ontsloten; ze getuigen van de vorming van de caldera door instorting van het dak boven een grote, relatief ondiepe (enkele kilometers) magmakamer. Daardoor ontstond een hoge eruptiezuil die gassen, assen en puimsteen de lucht in blies. Weer instortende eruptiezuilen veroorzaakten pyroclastische stromen die in de radiale dalen rond de caldera naar beneden raasden. Nadat zo een beeld gevormd is van een calderavulkaan is een tweede stap het bekijken van de afzettingen uit de eruptiezuil en pyroclastische stromen. Deze onthullen veel over wat zich hier, nog maar 12.900 jaar geleden, afspeelde. Het Laacher See vulkanisme is niet uitgedoofd. Onder de Eifel is tot een diepte van meer dan 400 km de aanwezigheid van heet en mogelijk deels gesmolten mantelgesteente vastgesteld. Ook het CO<sub>2</sub>-gas dat langs de oostelijke randbreuken van de caldera borrelend naar boven komt, is afkomstig uit de mantel. Alle redenen om de Laacher See vulkaan in dit dichtbevolkte gebied goed te monitoren. Het eind 11<sup>e</sup> eeuw gestichte Benedictijner klooster Maria Laach vormt een architectonisch hoogtepunt in de Eifel. Een cruciale bijdrage aan de architectonische uitstraling van de kloosterkerk is de toepassing van vulkanische natuursteen uit de directe omgeving. Goethe bezocht Maria Laach in 1815 uit belangstelling voor het Eifel vulkanisme en ter toetsing van twee in die tijd sterk conflicterende hypothesen over het ontstaan van basalt.

**Startpunt: P (50,42572°-7,27453°).** Parkeerplaats tegenover hotel Waldfrieden bij Wassenach langs de weg L113 van Bad Tönisstein naar Maria Laach.

**Duur:** 5½ uur.

**Lengte:** 13 km.

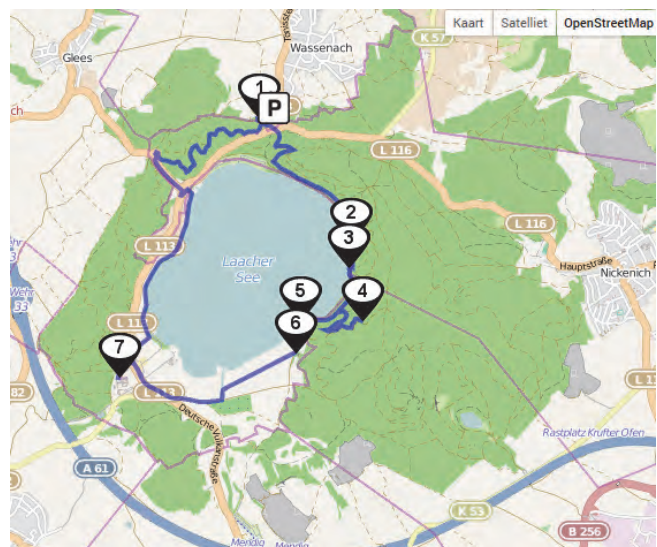
**Zwaarte:** matig inspannend

**Lokale gogidsen:**

- Geologischer Führer zum Geo-Pfad „Vulkanpark Brohltal/Laacher See (Wilhelm Meyer, 2007).
- Der Steinlehrpfad an der Klostermauer von Maria Laach (Walter Müller, 2006)
- Vulkanismus (Hans-Ulrich Schmincke, 2010a)
- Vulkane der Eifel (Hans-Ulrich Schmincke, 2010b)

**Wandelkaart:** Wanderkarte Nr. 10 des Eifelvereins: Das Brohltal, 1:25 000

*Kaart (OSM) met de wandelroute en excursiepunten bij Laacher See (uit de app Eifel GeoRoutes).*





# Laacher See

## Overzicht excursiepunten

De 23 m hoge **Lydiaturm (IV-1.1)** op de 360 m hoge noordrand van de Laacher See caldera biedt een fraaie blik op de Oosteifel en is een goed startpunt voor de excursieroute rond Laacher See. De wandeling rond het kratermeer passeert op een aantal locaties de **Paleozoïsche gesteentewanden (IV-1.2)** van de caldera. Het belangrijkste doelwit van de route zijn de **CO<sub>2</sub>-mofetten (IV-1.3)** waar het gas langs de rand van het meer borrelend naar boven komt. Daarop volgen de groeves in **rode tuffen (IV-1.4)** van de Laacher See vulkaan, in de slakkenke-

gel van **Alte Burg (IV-1.5)** en in de grotendeels uit **puimsteen bestaande fallout afzettingen (IV-1.6)**. De wandeling terug langs de westelijke oever begint bij de **abdij Maria Laach (IV-1.7)**, waar men de architectuur van de abdijkerk kan bewonderen en aandacht kan schenken aan de verschillende soorten natuursteen die aan dit fraaie beeld hebben bijgedragen. Het bezoek kan worden uitgebreid met het bekijken van allerlei gesteenten uit de Oosteifel, die staan uitgesteld langs het steenleerpad, langs de westelijke kloostermuur.

De **Lydiaturm** ligt vlakbij de parkeerplaats (P) en kan voorafgaand (aanbevolen) aan de rondwandeling rond Laacher See of als afsluiting daarvan worden bezocht. Vanaf de parkeerplaats (P) wordt de uitkijktoren bereikt door de weg over te steken en het pad achterlangs *hotel Waldfrieden* te nemen. Sla na 150 m op een vijfsprong het pad schuin rechts omhoog in naar de toren.



Uitzicht vanaf de Lydiaturm over de Laacher See caldera en de omringende slakkenkegels.

## Lydiaturm (IV-1.1)

### Overzicht: slakkenkegels

In het panorama vanaf de Lydiaturm over de Laacher See valt direct een serie heuveltoppen op door hun vulkaanvorm. Het zijn slakkenkegels (foto), die weliswaar uit het Kwartair stammen, maar met een ouderdom tussen 200.000 en 400.000 jaar aanzienlijk ouder zijn dan het vulkanisme van de Laacher See vulkaan (12.900 jaar). Uit een aantal van die slakkenkegels zijn lavastromen gevloeid. Tussen de slakkenkegels van de *Krufter Ofen* en de *Thelenberg* (panoramafoto boven, Google Earth kaartje onder) zouden enkele honderdduizenden jaren later pyroclastische stromen langs de hellingen van de Laacher See vulkaan naar het zuiden razen. De pyroclastische afzettingen zijn nu ontsloten in de spectaculaire *Wingertsbergwand (IV-2)*. Tussen de *Thelenberg* en de *Laacher Kopf* zijn, verder zuidelijk, de vulkanen bij Mayen duidelijk herkenbaar. Het zijn de slakkenkegels *Hochstein*, *Hochsimmer* en de daarachter gelegen *Ettringer Bellerberg (IV-8)*. Aan de zuidostrand van de caldera ligt

een lagere slakkenkegel, de **Alte Burg (IV-1.5)**. Aan de oever van het meer, tussen de *Thelenberg* en de *Laacher Kopf* ligt de **Maria Laach abdij (IV-1.7)**.



Basaltische slakken van de Krufter Ofen slakkenkegel.

## Omgeving Laacher See



De Laacher See caldera omringd door oudere slakkenkegels (rode driehoekjes) en verder naar het noordwesten door twee fonolietkoepels (wit); blauw: CO<sub>2</sub> bronnen (Google Earth).

Ten noordwesten van de Lydiaturm ligt de 200.000 jaar oude Veitskopf slakkenkegel (428 m) met een goed bewaard gebleven en karakteristieke kraterwal, die in het westen door een uitgevloeiende lavastroom is doorbroken. De beboste rand in de verte is de noordoostelijke voortzetting van deze lange basaltstroom, de Mauerley, die over 2 km goed ontsloten is en waarin de Romeinen steengroeven hebben gemaakt. Ze gebruikten de zeer harde basalt voor ondermeer de bouw van bruggen en bewerkten de vaak dikke basaltzuilen ook tot molenstenen. In de verte is achter de Veitskopf ook de goed bewaard gebleven 150.000 jaar oude slakkenkegel Bausenberg (340 m) nog net zichtbaar.



De Veitskopf slakkenkegel vanaf de Lydiaturm.

### Overzicht: fonolietkoepels ('zuur' magma)

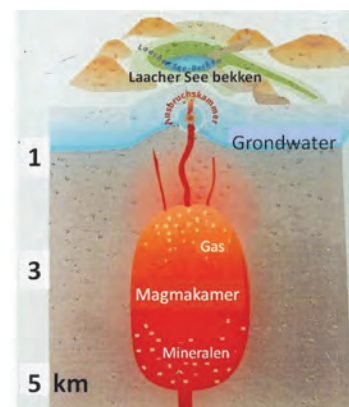
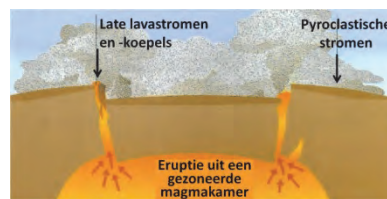
Achter de Veitskopf (en daardoor aan het zicht onttrokken) steken in de verte enkele markante 'bulten' boven het zacht glooiende grondgebied uit. Het zijn de fonolietkoepels (of 'fonolietdomes') Ölbrück en Engelter Kopf (IV-6) en ze zijn met wit gemarkeerd op bovengestane Google Earth kaartje. Fonolietkoepels bestaan uit taai-vloeibare, 'zure' lava en vertegenwoordigen, samen met de pyroclastische afzettingen van de Laacher See vulkaan een geheel ander type vulkanisme dan de basaltische erupties van de slakkenkegels (zie hoofdstuk 2.5).

'Zuur' (of felsisch) magma ontstaat in grote, relatief ondiepe magmakamers. Door langzame afkoeling kristalliseert het magma, waarbij verschillende mineralen ontstaan. Elk mineraal heeft een eigen kristallisatietemperatuur en het kristalliseren van een magma gebeurt dus stapsgewijs, per mineraal of per fractie; dit wordt gefractioneerde kristallisatie genoemd. Donkere mineralen als

olivijn en pyroxeen kristalliseren het eerst in een basaltisch magma. Deze kristallen, die arm zijn aan silica (SiO<sub>2</sub>) en rijk aan ijzer (Fe) en magnesium (Mg), zijn zwaarder dan het vloeibare magma en zakken daardoor naar de bodem van de magmakamer. Met een voortschrijdende kristallisatie wordt het overgebleven restmagma steeds rijker aan silica (SiO<sub>2</sub>), alkali's (Na, K) en ook aluminium (Al). Het krijgt een 'zure' (zo genoemd naar SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O, kiezelzuur) samenstelling. Silicarijke magma is zeer viskeus (taai-vloeibaar of stroperig) en daarom vormt het bij erupties lavapropen of -koepels, in plaats van lavastromen. Taai-vloeibare lava belemmert ook het uittreden van CO<sub>2</sub>, met als gevolg dat een grote gasdruk wordt opgebouwd. Als die druk uiteindelijk te hoog wordt ontstaan scheuren in de aardkorst boven de magmakamer, waarlangs het gasrijke magma opstijgt. Hierop volgen zeer explosieve uitbarstingen, zoals die van de Laacher See vulkaan. De gefragmenteerde fonolietische lava van deze en eerdere grote caldera-erupties vormden een dikke tufbedekking in de Oosteifel (het roodgestippelde gebied op het geologisch kaartje in de kop), bijvoorbeeld de Weibertuf (zie IV-6).

### Overzicht: de Laacher See caldera

De Laacher See is een meer in de caldera van de Laacher See vulkaan. Een caldera is een komvormige depressie, die ontstaan is door instorting van het dak boven een leeggestroomde grote en relatief ondiepe (enkele kilometers) magmakamer. In de Oosteifel hebben zich in het Kwartair drie van dergelijke caldera's ontwikkeld (Laacher See, Riedener Kessel en Wehrer Kessel, IV-7). De uitbarsting van de Laacher See vulkaan was de laatste en vond nog maar 12.900 jaar geleden plaats. Het was de grootste Laat-Kwartaire vulkaaneruption in Midden-Europa. Het volume van het uitgeworpen materiaal (6 km<sup>3</sup>) was groter dan dat van de vermaarde uitbarstingen van de Vesuvius in 79 n.Chr. (3 km<sup>3</sup>) of Mount St. Helens (USA) in 1980 (1 km<sup>3</sup>).



De vorming van een caldera door instorting van het dak van een grote, ondiepe magmakamer (boven: Schmincke, 2010a; onder: Vulkanpark GmbH, Koblenz).

## Laacher See

De uitbarsting, die maar enkele dagen tot maximaal een paar weken duurde, was buitengewoon explosief en kende verschillende eruptiestijlen. Iedere eruptiestijl bracht zijn eigen typerende afzettingen voort. De achtvormige omtrek van de caldera wijst op twee kraters. Onderzoek (Schmincke, 2010a) van de afzettingen duidt erop dat de eerste eruptiefasen gebruik maakten van een krater in het zuidelijke deel, waarna het vulkanisme zich naar het noorden verplaatste.



De achtvormige caldera van de Laacher See vulkaan; op de voorgrond Maria Laach (foto Walter Müller).

Vóór de eruptie van de Laacher See vulkaan bevond zich hier, te midden van de oudere slakkenkegels, een depressie (misschien een voormalig maarbekken). Hier kwam het opstijgende magma dicht onder het oppervlak met water in aanraking en werden *freatomagmatische* waterdampexplosies opgewekt. Dit veroorzaakte hete en gasrijke drukgolven ('*base surges*'). Hieruit zijn **pyroclastische surge-afzettingen** gevormd, die vooral bestaan uit verbrijzeld nevangesteente. Duinstructuren daarin getuigen van turbulente luchtstromingen in de drukgolven.

Door de waterdampexplosies werd de kraterpijp verder geopend, waardoor een plotselinge drukverlaging teweeg werd gebracht. Dit deed de gassen in het magma explosief uitzetten, waardoor het magma uiteenspatte (fragmenteerde) en de gassen lavaspetters en -flodders omhoog bliezen in **Pliniaanse eruptiezuilen**, die hoogtes tot 35 km bereikten. Uit deze eruptiezuilen vielen afgekoelde en gestolde lavadeeltjes als as- en lapilliregen terug naar het aardoppervlak. Een belangrijk deel van deze asregen (*fallout*) bestaat uit puimsteen. Puimsteen (Duits: *Bims*) is gestold, zeer gasrijk magmaschuim, dat bij afkoeling een glas- en silicarijke gesteente vormt dat zo poreus is dat het op water blijft drijven. Rondom de Laacher See caldera werd gedurende de hoofdfasen van de eruptie een brede en hoge puimsteenwal opgeworpen. Overgebleven delen daarvan zijn terug te vinden langs de dicht beboste wal rond Laacher See (foto Heidekopf) en in de paars gekleurde zone op het onderstaande blokdiagram.



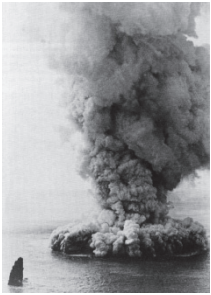
Geologisch blokdiagram van de Oostefel rond Laacher See met slakkenkegels en lavastromen en de verbreiding van puimsteen (paars; Meyer, 1994).



Puimsteenrijke tefra van de Laacher See vulkaaneruption op de Heidekopf.

As-, lapilli- en puimsteenregens bedekken het aardoppervlak gelijkmatig; de afzettingen liggen als een deken op het aardoppervlak en volgen het reliëf. De *fallout* bedekte ook geheel of gedeeltelijk de oudere slakkenkegels, zoals de *Thelenberg* en de *Heidekopf*. De wandeling rond Laacher See voert langs een kleine puimsteengroeve (IV-1.6) ten zuidoosten van het meer.

## Omgeving Laacher See



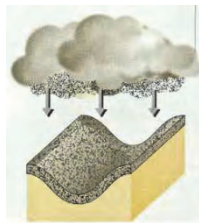
*Base surge (Azoren; Waters & Fisher, 1971)*



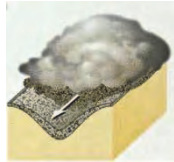
*Pliniaanse eruptiezuil (Vesuvius, 1794, Saverio della Gatta, private collection)*



*Pyroclastische stroom (Mt. St. Helens, 1980; USGS Photograph, Peter W. Lipman)*



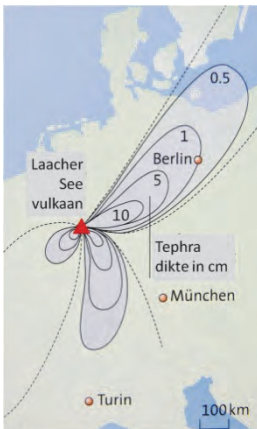
*Afzettingen uit eruptiezuilen: as- en lapilliregen (fallout, Schmincke, 2010a)*



*Afzettingen uit pyroclastische stromen: ignimbriet (Traß, Schmincke, 2010a)*

*De drie fasen van een caldera uitbarsting: (1) freatomagmatische base surges, (2) Pliniaanse eruptiezuilen en (3) pyroclastische stromen.*

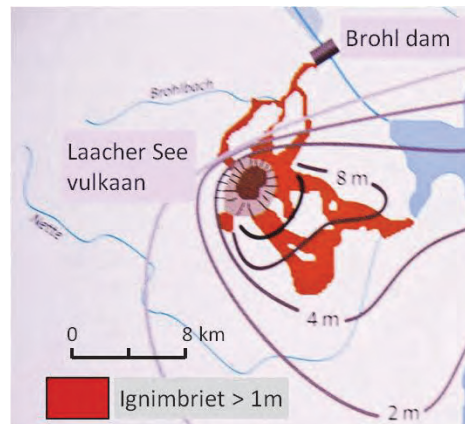
*Fallout* is in het algemeen goed gesorteerd, waarbij de korrelgrootte met de afstand tot het eruptiecentrum afneemt. De fijnste deeltjes van de Laacher See assen werden door de luchtstromingen in de stratosfeer ver weggevoerd en zijn aangetroffen in meer- en veenafzettingen tot in Scandinavië en Noord-Italië. Door hun karakteristieke, fonolitische samenstelling is de herkomst eenvoudig en met zekerheid vast te stellen (zie ook I-1).



*De verbreiding van de veraf afgezette assen van de Laacher See vulkaan met contourlijnen van de dikte in cm (Schmincke, 2010a).*

De Pliniaanse erupties vormden de hoofdfasen van de vulkaanuitbarsting. Nadat de uitstootsnelheid door vermindering van de gasdruk was afgenomen, stortte de

eruptiezuil door de zwaartekracht ineens en ontstonden met as beladen en daardoor zware en hete (tot 500°C) gasstromen, de **pyroclastische stromen** (zie hoofdstuk 2.5). Deze raasden met snelheden tot 150 km/uur over de bodem de vulkaanhelling af om daarna hun weg te vervolgen door de radiale dalen rondom de vulkaan. De afzettingen uit pyroclastische stromen worden **ignimbriet** of lokaal **Traß** genoemd. Pyroclastische stromen worden door de zwaartekracht gestuurd en volgen daarom depressies in het landschap. De dikte van ignimbrieten is daardoor het grootst in voormalige rivier- en beekdalen en neemt snel af langs de hellingen van de dalen. Pyroclastische stroomafzettingen worden gekenmerkt door een slechte sortering, waarin fijne assen domineren, maar ook grote gesteenteblokken kunnen voorkomen. Ignimbrieten zijn in de radiale dalen ten noorden en ten zuiden van de Laacher See afgezet. Zo volgden de pyroclastische stromen naar het noorden het **Geeser dal**, dat achter de beboste lavastroom van de **Veitskopf** ligt, het **Tönissteiner dal** achter het dorp Wassenach (**IV-5**) en het **Pönterbach dal** (**IV-6**) verder oostelijk. Ze ontmoetten elkaar in het Brohldal, waar de afzettingen een dikte tot 60 m bereikten.



*De verbreiding van de dichtbij afgezette as en lapilli uit eruptiezuilen (contourlijnen van de dikte in meters) en van ignimbrietafzettingen (oranje) uit pyroclastische stromen in de radiale dalen rond de Laacher See vulkaan (Schmincke, 2010a)*

### **Overzicht: de oorsprong van het vulkanisme in de Eifel**

De omgeving van Laacher See is rijk aan minerale bronnen en droge CO<sub>2</sub>-bronnen, zoals de borrelende **mo-fetten** in de Laacher See (IV-1.3). Twee factoren maken dit mogelijk: (1) een grote toevoer van CO<sub>2</sub> vanuit de aardmantel en (2) de steilstaande laaggrenzen en slijtvlakken van de gesteenten van het Onder-Devonisch grondgebied, die de toevoerwegen voor het gas creëren. Op bovenstaande Google Earth afbeelding van het gebied rond Laacher See is in blauw een aantal van de CO<sub>2</sub>-bronnen en -putten gemarkeerd die in deelgebied IV beschreven worden.

Dat het CO<sub>2</sub>-gas afkomstig is uit de aardmantel blijkt uit de isotopenverhoudingen van koolstof en heliumgas, dat samen met koolstofdioxide opgelost in magma wordt aangevoerd (zie hoofdstuk 2.5.6).

## Laacher See

Het is niet waarschijnlijk dat het Kwartaire vulkanisme in de Eifel, dat 700.000 jaar geleden begon en voortduurde tot nog maar 11.000 jaar geleden, juist nu tot een eind zou zijn gekomen. Vulkanologen achten het zeer aannemelijk dat de nu slapende Kwartaire vulkanen in de Eifel eens weer zullen ontwaken met een herhaling van het zeer gewelddadige vulkanisme van de Laacher See, 12.900 jaar geleden.



'De vrees voor herhaling': fotomontage van de Laacher See caldera met een Pliniaanse eruptiezuil.

Vooraf dit zeer explosieve caldera-vulkanisme vormt een potentiële bedreiging voor een groot gebied. De grote bevolkingsdichtheid van de Eifel en de nabijheid van grote steden als Koblenz en Bonn vereisen daarom een goede monitoring van de vulkaanvelden. Dat gebeurt ondermeer door de registratie van seismische activiteit met een aantal seismometers die in en rond de Eifel zijn geplaatst door het aardbevingsstation *Bensberg* van de Universiteit van Keulen. In het Laacher See gebied worden regelmatig veel zwakke aardbevingen met een lokale herkomst waargenomen. Maar deze zijn vooral afkomstig van tektonische bewegingen langs de randbreuken van de Rijndalslenk. Op dit moment zijn er geen aanwijzingen dat er binnenkort een vulkaan uitbarst.

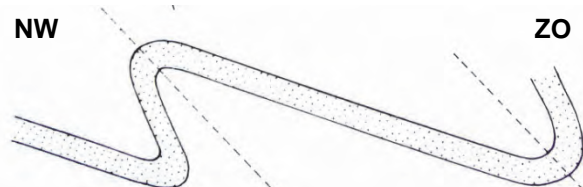
Loop terug van de Lydiaturm naar de parkeerplaats (P). De wandeling rond Laacher See is route L van de gids van het Vulkanpark Brohltal/Laacher See (Meyer, 2007) en als zodanig gemarkeerd. Sla vanaf de parkeerplaats tegenover hotel Waldfrieden het brede linker pad omlaag in (let op: niet het pad dat direct na een slagboom links omhoog afslaat naar Nickenich). Het pad maakt 150 m verder een scherpe bocht naar links. Ga 200 m verder op een kruising scherp rechts ('Maria Laach') en na 250 m op de volgende viersprong linksaf. Langs de oostelijke oever van Laacher See lopen 2 brede, parallelle paden. U loopt nu over het bovenste van de twee. Negeer alle zijpaden en blijf op dit hoge pad, ook als dit verderop wat smaller wordt. Op verschillende plaatsen zijn langs het pad gesteenten ontsloten van het Onder-Devonisch grondgebte. Een mooie ontsluiting met steilstaande zandsteen- en schalielagen wordt na 1,3 km (15 min) bereikt (punt 2 van Geo-route L; infobord op het onderste pad).

Gesteenten van het **Onder-Devonisch grondgebte (IV-1.2)** vormen de binnenwanden van de instortingskrater van de caldera. De zandsteen- en schalielagen hellen hier zeer steil naar het noordwesten, evenals de slijtvlakken in de schalielagen.



Bijna verticaal staande Onder-Devonische zandsteen en schalie langs de binnenwand van de caldera met eveneens verticale slijtvlakken (hamer voor schaal).

Slijtvlakken (*cleavage*) ontwikkelen zich tijdens plooiing loodrecht op de druk en richten zich daarmee evenwijdig aan het assenvlak van een plooï (zie hoofdstuk 2.2). Het assenvlak deelt de hoek tussen de twee flanken van een plooï doormidden. Omdat de gebergtevormende druk uit het zuidoosten kwam, hellen en overhellen veel plooïen in het Paleozoïsch grondgebte naar het noordwesten (zie bijvoorbeeld III-2). De slijtvlakken hellen in dat geval naar het zuidoosten.

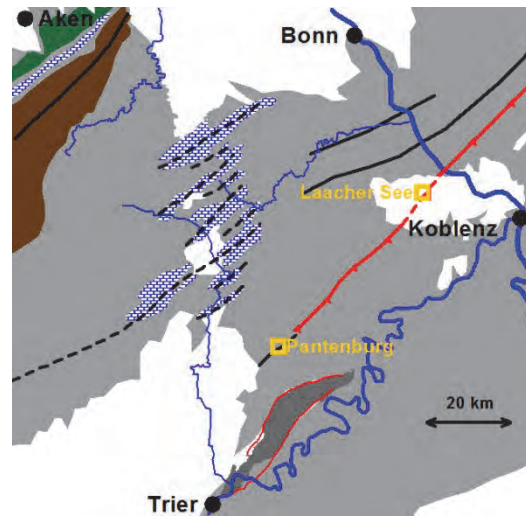


In naar het NW overhellende plooïen hellen de assenvlakken (stippellijnen) en daaraan parallelle cleavagevlakken naar het ZO.

Hier langs Laacher See hellen ze echter (steil) naar het noordwesten. Dat komt doordat de Laacher See caldera op een grote overschuivingstructuur ligt die de Eifel diagonaal doorkruist (de *Siegener hoofduverschuiving*). De groeve Pantenburg bij Manderscheid in de Westeifel ligt

## Omgeving Laacher See

ook op dit grote breukvlak en toont in miniatuur de bouw van een dergelijke overschuiving (zie I-6). Langs de Laacher See is de overschuiving zelf niet ontsloten, maar de verdraaiing van de splijtvlakken is wel een direct gevolg van de bewegingen die optraden bij de grote overschuiving (Meyer, 2007). De steilstaande laaggrenzen en splijtvlakken creëren in de omgeving van Laacher See en het Brohldal de toegangswegen voor CO<sub>2</sub>-gas tot het aardoppervlak.



Kaart van het Paleozoïsch grondgebied van de Eifel met de belangrijkste ploi- en breukstructuren en de locaties van twee ontsluitingen op de hoofdoverschuiving bij Pantenburg (I-6) en Laacher See (IV-1.2).

Ga 200 m verderop scherp rechts via een breed (grind)pad omlaag naar de, vrij smalle, onderste rondweg. Ga daar scherp links en wandel in ongeveer 4 minuten naar de **mofetten** van Laacher See (infobord punt 3 van Geo-Route L).

### CO<sub>2</sub> mofetten

Het grote aantal minerale bronnen in de omgeving van Laacher See en het Brohldal houdt direct verband met het recente vulkanisme in de Oostefiel. Het meeste mineraalwater bevat veel koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>). Het CO<sub>2</sub> is van magmatische herkomst en afkomstig uit de diepe ondergrond (zie onder). Het komt vrij door voortschrijdende afkoeling en stolling van magma in de ondiepere ondergrond. De vrijgekomen gassen stijgen door breukzones in de aardkorst omhoog. Meestal zal het gas daar grondwater tegenkomen. De hoeveelheid water is, samen met de heersende druk, bepalend of het CO<sub>2</sub> in gasfase of, opgelost in water, in vloeibare fase het aardoppervlak bereikt. Een deel van het CO<sub>2</sub> lost op in het water door de vorming van koolzuur (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Dit zwakke zuur kan elementen oplossen uit het nevingesteente, zoals calcium en magnesium in carbonaatgesteentes en natrium in schalies en leisteen, waardoor mineraalwater ontstaat. Wanneer CO<sub>2</sub> op grotere diepte met water in contact komt, zal door de grotere druk veel gas in het water oplossen. Door het lagere soortelijk gewicht stijgt dit gas snel naar het aardoppervlak, waar dankzij de lagere druk de gasfase zich weer afsplitst van de vloeibare fase en tenslotte aan het aardoppervlak naar buiten stroomt. Deze koude en droge emissies van koolstofdioxidegas worden mofetten genoemd.

De **Laacher See mofetten (IV-1.3)** langs de oostoever van het meer concentreren zich in een 100 m lange en 5 m brede strook, die deel uitmaakt van de randbreukzone van de caldera. Ook langs de westelijke rand van de caldera zijn mofetten aanwezig. Ze zijn daar echter sinds de verlaging van het waterpeil van het meer (zie IV-1.7) minder duidelijk zichtbaar. Het geeft wel aan dat het voorkomen van mofetten onmiskenbaar tektonisch bepaald is door de randbreuken van de caldera.

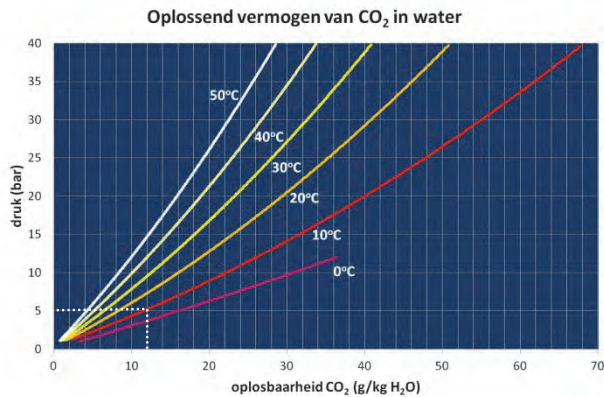


CO<sub>2</sub>-bronnen (mofetten) aan de oostoever van de Laacher See.

Hoewel ook in het centrum van de caldera tektonische breuken in de ondergrond aanwezig moeten zijn, ontbreken daar mofetten. Hier speelt echter ook de druk op de meerbodem van de waterkolom een belangrijke rol. Op het diepste punt, 51 m, is de druk 5 bar en kan 12 gram CO<sub>2</sub> oplossen in een liter water met een temperatuur van 10°C (zie onderstaande grafiek); op 10 m diepte lost nog maar 2 gram/liter op. Een andere factor die mofettevorming belemmert, is een pakket zeer fijnkorrelige, voor gassen slecht-doorlatende meersedimenten, dat in de loop der tijd op de bodem van het meer is afgezet. De hoeveelheid CO<sub>2</sub> die jaarlijks uit de mofetten van Laacher See ontwijkt wordt geschat op 2.500 ton. De totale hoeveelheid jaarlijks vrijkomende CO<sub>2</sub> in de vulkaanvelden

## Laacher See

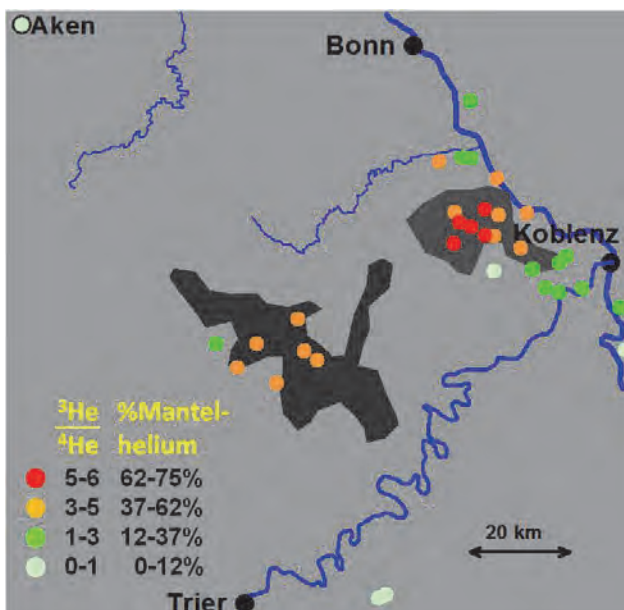
van de Eifel is naar schatting 750.000 ton (zie ook III-6, Am Altstraßbachtal).



Het oplossend vermogen van CO<sub>2</sub> in water als functie van druk en temperatuur (gegevens uit Duan & Sun, 2003).

### De herkomst van CO<sub>2</sub> in de Eifel

Het CO<sub>2</sub>-gas dat op zoveel plaatsen in de Eifel via minerale bronnen en mofetten in de atmosfeer terecht komt is afkomstig uit magma. Oorspronkelijk dacht men dat het gas afkomstig is van het afkoelende en stollende magma in de ondiepe magmakamer op een diepte van 3 tot 5 km in de aardkorst. Het volume van een dergelijke magmakamer, hoe groot ook, is echter onvoldoende om de grote hoeveelheid CO<sub>2</sub> te verklaren, die jaarlijks vrijkomt. Studies van isotopenverhoudingen van koolstof in CO<sub>2</sub> en van helium (He) wijzen op een veel diepere bron in de mantel (zie hoofdstuk 2.5.6). Van al het helium blijkt een groot percentage afkomstig uit de aardmantel: bij Laacher See 68%, in de Wehrer Kessel 70% en in het Gleeser dal ten noorden daarvan zelfs 74%. Dit is een belangrijk argument bij de vaststelling dat het vulkanisme in de Eifel niet uitgedoofd, maar slapend is.



Kaart met helium isotopenratio's (R/Ra) gemeten in en rond de vulkaanvelden (donkergrijs) van de Eifel (gegevens uit Griesshaber et al., 1992).

### Het tragische verhaal van de jonge Jezuïeten

Na de secularisatie onder Napoleon en de sluiting van het Benedictijner klooster van Maria Laach in 1802, kregen in 1862 Jezuïeten toestemming voor het gebruik van het klooster. Zij stichtten er een Collegium Maximum met een Jezuïetenopleiding. De studenten kregen er niet alleen een gedegen intellectuele vorming maar ook een intensieve en vaak harde lichamelijke training. In dat kader roeiden de Jezuïtische priesterstudenten regelmatig naar de overzijde van Laacher See, over een afstand van 2 km, waar ze aan verdere gymnastische oefeningen werden onderworpen. Ze brachten daar de nacht door in een onderkomen aan de oostoever dat in 1870 gebouwd was door de Jezuïeten, de *Villa trans lacum*.

In een periode van 3 jaar overleden daar kort na elkaar 's nachts 8 jonge priesterstudenten. Hun raadselachtige dood werd toegeschreven aan tuberculose, dat toentertijd in het klooster heerste. Ook nu nog houden de meeste Benedictijnen die tegenwoordig het klooster bewonen vast aan deze doodsoorzaak. Het lijkt echter weinig aannemelijk dat aan tuberculose lijdende patiënten de stevige roeitocht zonder merkbare problemen hebben kunnen volbrengen. De ondertussen afgebroken Jezuïetenvilla stond vlakbij de mofetten en bekend is dat de studenten geïntrigeerd waren door de gasbelle-tjes in het meer en experimenten met uitdovende kaars-jes uitvoerden. Gasmetingen hebben ondertussen aangetoond dat ook in de bodem direct onder de plaats van het gebouw hoge concentraties van CO<sub>2</sub> aanwezig zijn (Pfan, 2008). Nu wordt dan ook vermoed dat de jonge Jezuïeten het slachtoffer zijn geworden van CO<sub>2</sub>, dat in windstille nachten de onderste ruimten van het gebouw binnendrong en op de bodem een dikke laag van het reukloze en onzichtbare gas heeft kunnen vormen. De studenten sliepen dichtbij de grond en zullen snel buiten bewustzijn zijn geraakt door het inademen van gas, waarop niet lang daarna de verstikkingsdood volgde. Hun lichamen zijn begraven in de grafkelder van de Nicolauskapel van het klooster.



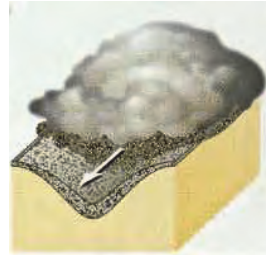
Nicolauskapel van Maria Laach omstreeks 1900 (Wikipedia).

(Gebaseerd op mondelinge overlevering door Heinrich Müller-Betz van het Nationaler Geopark Vulkanland Eifel en gegevens uit Pfan, 2008, met verwijzingen naar Degen, 2004 en 2005).

## Omgeving Laacher See

Vervolg nu de wandeling weer via het bovenste van de twee rondwegen ('Aussicht Laacher See 1,6 km'). Al snel markeren grote basaltblokken een lavastroom (punt L4, *Lorenzfelsen*) en even verder zijn ignimbritische afzettingen van een pyroclastische stroom ontsloten (punt L5). Neem hierna het 1<sup>e</sup> brede, begroeide pad scherp links omhoog ('GEO-Route L6'; **Let op:** dit is een steil pad. Voor wie deze zijtak liever overslaat: loop rechtdoor naar de groeve Alte Burg en volg vandaar de route verder). Na een trap, einde pad rechts. Vervolgens op een driesprong scherp links omhoog. Dit pad komt even later uit op een hoger pad; ga daar rechtdoor. Na ongeveer 5 minuten bereikt u een oude steengroeve in rode tufafzettingen.

De **rode tuffen (IV-1.4)** zijn afgezet uit een kleine pyroclastische stroom van de Laacher See vulkaan. Vanwege de fraaie kleur zijn deze ignimbrieten al vanaf de Middeleeuwen geëxploiteerd en ook gebruikt voor de bouw van de Maria Laach abdij en het westelijke voorportaal, het Paradijs (zie IV-1.7). De tuffen bestaan uit glasrijke (= niet-gekrystalliseerde) fijne assen. Ze liggen tussen puimsteenlagen, die zijn opgebouwd uit de as- en lapilliregen van Pliniaanse eruptiezuilen. De rode kleur van de tuffen is afkomstig van ijzeroxiden. De groeve behoorde tot het klooster en is in gebruik geweest vanaf de 11<sup>e</sup> eeuw tot de twintiger jaren van de 20<sup>e</sup> eeuw.



*De rode tuffen zijn afgezet uit een kleine pyroclastische stroom van de Laacher See vulkaan (Schmincke, 2010a).*



*Groeve in de rode tuffen, aan de oostzijde van de Laacher See.*

Keer via dezelfde weg terug naar het hoofdpad. Ga daartoe bij de uitgang van de groeve linksaf. Ga op de splitsing rechts omlaag en op een driesprong scherp rechts omlaag. Ga bij een trap verder steil omlaag over het smalle paadje naar de rondweg om *Laacher See*. Ga hier linksaf en negeer een pad naar rechts. Na ongeveer 5 minuten bereikt u de groeve *Alte Burg* op een in het meer uitstekende punt, de *Jägerspitz*. Dit is punt 7 van Geo-route L.

De **Alte Burg (IV-1.5)** is het oostelijke deel van een oude Kwartaire slakkenkegel. De naam komt van een burcht, die ooit op de slakkenkegel stond en gebouwd werd door Paltsgraaf Heinrich II (±1050-1095), de stichter van de abdij Maria Laach. Het is één van de oudere, vroeg Kwartaire slakkenkegels die de Laacher See caldera nu omringen (zie IV-1.1). Het westelijk deel van de slakkenkegel is door de explosieve uitbarsting van de Laacher See vulkaan verpulverd of in de calderakrater weggezakt.

In de groeve worden bruinrode basaltlakken afgewisseld door langgerekte, grijze en zeer poreuze lavabanken die bestaan uit aan elkaar gelaste grotere lavafloppers. Rechtsboven worden de lavaslakken overdekt door löss en witte puimsteenlagen van de Laacher See eruptie.



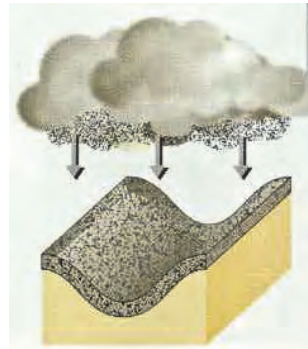
*Groeve in de slakkenkegel Alte Burg met grote grijze en poreuze lavaflarden en bruinrode lapilli-slakken.*



## Laacher See

Vervolg het pad rond Laacher See en ga op splitsing rechtsaf (verhard, 'Maria Laach'). Bij een volgende splitsing ligt aan de linkerhand een kleine groeve in witte puimsteen.

De witte brokken in de **puimsteengroeve (IV-1.6)** zijn uit Pliniaanse eruptiezuilen teruggevallen als as- en lapilliregen (*fallout*). De puimsteen (lokaal *Bims*) heeft een 'zure', fonolitische samenstelling. Fonolitisch magma was bij de uitbarsting zeer gasrijk en vormde een soort schuim. Bij de afkoeling en stolling in de lucht werden de gasblaasjes ingesloten, zodat een uiterst licht gesteente ontstond. De dichtheid of soortelijke massa van puimsteen is minder dan  $1 \text{ g/cm}^3$ , zodat het op water blijft drijven. Behalve de puimsteenstukjes, die niet gekristalliseerd zijn en grotendeels uit glas bestaan, bevat de lapilli doorzichtige veldspaat (*sanidien*) en diepblauwe *haunyn*, een veldspaatvervanger of *veldspatoïde*. Tussen de puimsteenbrokken zitten ook Onder-Devonische gesteentefragmenten, die door de eruptie uit het grondgebied zijn uitgeblazen.



De witte puimsteen is afgezet door as- en lapilliregen uit een Pliniaanse eruptiezuil van de Laacher See vulkaan (Schmincke, 2010a).



Witte puimsteen met brokstukjes van het verbrijzelde Onder-Devonische donkere nevengesteente, in een kleine groeve aan de zuidoostzijde van Laacher See.

Ga op de splitsing bij de puimsteengroeve rechtsaf. Vlak nadat dit onverharde pad naar links buigt komt u voorbij de mijngang die in opdracht van de monniken van Maria Laach werd gegraven in de 12<sup>e</sup> eeuw om het waterpeil van het meer te verlagen en daarmee landbouwgrond te winnen (punt L9 van de Geo-Route). Ga aan het eind rechtsaf op het verharde pad en volg daarna het voetpad langs de autoweg tot *Maria Laach*. De toegang tot de abdij loopt via de parkeerplaats en een voetgangerstunnel onder de weg door.



*Maria Laach aan Laacher See op de postzegel uit 1996 (Vogel, 1998; <http://www.naturfreundehaus-laacherseehaus.de/>).*

De 13<sup>e</sup>-eeuwse Benedictijnenabdij **Maria Laach (IV-1.7)** aan de zuidwestelijke oever van het meer wordt beschouwd als één van de meest volmaakte uitingen van Romaanse bouwkunst in Duitsland en is de grootste toeristische trekpleister van de Oostefel (Dehio, 1972). De aantrekkingskracht van de kerk is niet alleen de grote ouderdom en fraaie ligging in harmonie met de natuurlijke omgeving, maar vooral de bijzondere architectuur van de kerk. Door gebruik te maken van verschillende, sterk contrasterende natuurlijke bouwstenen is een uitzonderlijk effect verkregen, waarbij de lichtgekleurde buitenwanden visueel los komen te staan van de donkere pilaren en de geometrische vormen en indeling benadrukt worden.

## Omgeving Laacher See



*De kloosterkerk van Maria Laach (Bogler, 1997, © Buch- und Kunstverlag MARIA LAACH)*

*Abbatia S. Mariae ad Lacum*, Maria Laach, is gesticht door paltsgraaf Heinrich II in 1093. Er werd tot 1230 gebouwd aan een basiliek met drie schepen, twee koren en twee transepten, met daarbovenuit zes torens. Het oostelijk deel wordt bekroond door een sierlijke achzijdige centrale toren, het westelijk deel door een statige vierkante centrale toren.

Binnen in de kerk is alles verdwenen wat eens het interieur van de abdijkerk sierde. Overgebleven zijn de stenen sarcofaag met de stoffelijke resten van de stichter Heinrich II en het stenen baldakijn, het op zuilen rustende dak, dat in de 13<sup>e</sup> eeuw boven het altaar hing. De fresco's op de pilaren stammen uit de 16de eeuw.



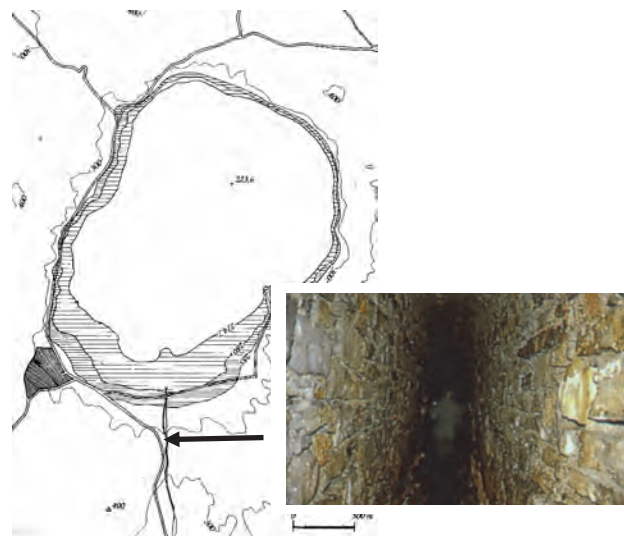
*Het hoogaltaar van de kloosterkerk met baldakijn (ca. 1250).*



*Het graf van paltsgraaf Heinrich II, de stichter van Maria Laach (ca. 1280, Bogler, 1997, © Buch- und Kunstverlag MARIA LAACH).*

In 1802 werd het klooster opgeheven als gevolg van de Franse revolutie en de secularisatie onder Napoleon. De kerk stond daarna 90 jaar leeg en alleen het klooster werd tussen 1862 en 1873 door Jezuiten bewoond. In 1892 werd het complex opnieuw verworven door de Benedictijnen. In de jaren 1933-1934 bood het klooster de latere Duitse bondskanselier Conrad Adenauer een onderduikadres voor de Gestapo. Nu wordt het klooster bewoond door zo'n 60 monniken.

Tot tweemaal toe hebben de monniken het niveau van het meer met 5 m kunstmatig verlaagd door het graven van een afvoergang door de zuidelijke puimsteenwal. De eerste maal in de 12de eeuw om het klooster te beschermen tegen overstromingen bij hoogwater. Onder leiding van de toenmalige abt werd een 880 m lange gang vanuit meerdere verticale schachten gegraven, een bewonderenswaardig staaltje van Middeleeuws ingenieurswerk. In de 19<sup>e</sup> eeuw werd een 1060 m lange afvoertunnel gemaakt om meer landbouwgrond te creëren voor het klooster.



*De afvoergangen van Laacher See en de verlaging van het meerpeil (gearceerd) die daardoor werd teweeggebracht (kaart: Meyer, 2007; foto: Vogel, 1998; <http://www.naturfreundehaus-laacherseehaus.de/>).*

## Laacher See

De paters waren niet alleen op ingenieursvlak actief, maar droegen ook bij aan het natuurwetenschappelijk onderzoek in de regio. Zo publiceerde Jezuïetenpater Dressel in 1871 een vroege schets van de geologie van het Laacher See gebied: *“Geognostisch-geologischen Skizze der Laacher Vulkangegend”*.

Het bijzondere bouwkundige effect van het ‘loswerken’ van de muren van Maria Laach is tot stand gekomen dankzij de beschikbaarheid van lichtgekleurde vulkanisch gesteenten. Dit zijn de ignimbrieten en fonolitische tufsteen, de producten van ‘zuur’ magma uit de grote magmakamer van de Laacher See vulkaan. Doordat deze gesteenten relatief zacht zijn en daardoor gemakkelijk te bewerken, worden ze al meer dan 2000 jaar, sinds de Romeinse tijd, toegepast in de bouw. In de vroege bouw-fase werd vooral roodbruine tufsteen uit de *“Alte Stein-*

*bruch”* aan de oostzijde van Laacher See toegepast (zie IV-1.4), naast witte kalksteen uit Lotharingen (ondermeer de zuilen in de crypte, de ondergrondse kapel onder het hoogaltaar) en bontzandsteen uit de Trierer Bocht. Later werd grijsgele fonolietuff uit de omgeving van Weibern voor de wanden gebruikt (zie IV-6) en is poreuze basalt uit de omgeving van Mendig en Mayen (zie IV-8) buiten aangebracht in verticale banden en aan de basis en binnen gebruikt voor de pijlers en arcadebogen. Ook is gebruik gemaakt van witte ignimbriet, *Traß*, afkomstig uit het Brohldal (zie IV-4) of uit de omgeving van Krufft. De zwarte zuilen uit het voorportaal tenslotte, zijn gemaakt van Onder-Carbonische kalksteen (*‘Kohlenkalk’*) uit de streek tussen Aken en Luik. De daken waren oorspronkelijk afgedekt met koper; ze zijn nu bedekt met Onder-Devonische leisteen (*‘Hunsrückschiefer’*) uit het gebied ten zuiden van Mayen.

**Fonolietuffen  
(Weibern tuf)**



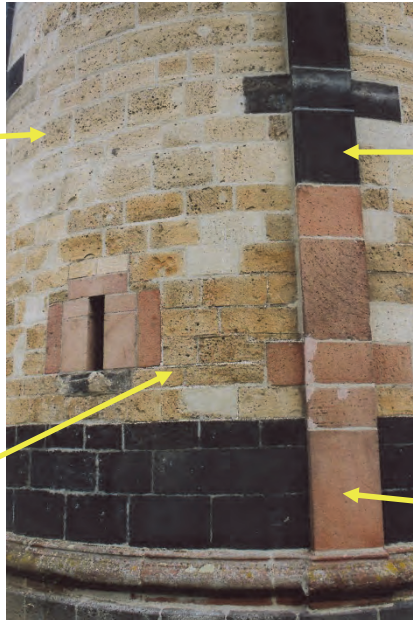
**Basalt  
(Groeve bij Ettringen)**



**Rode tuf  
(Alter Steinbruch, Laacher See)**



**Bontzandsteen  
(Kliffen in Trier)**



*Enkele van de herkomstplaatsen van de bouwstenen van de Maria Laach abdij*



*Zuilen uit Onder-Carbonische kalksteen in het voorportaal (Paradijs) met detail van een deel met koraalfossielen.*



*Onder-Devonische leisteen uit de Hunsrück (Wikipedia) vormt de dakbedekking van de Laacher See abdij.*

Hoe gevarieerd en breed geschakeerd de natuursteen bij de bouw van de abdij is toegepast, illustreert een de-

## Omgeving Laacher See

tail van de zuidelijke muur met een zevental bouwstenen, waarin vulkanische gesteenten uit vier verschillende groeves in de Oostefel kunnen worden herkend.



1. **Weiberner tuf**: gelige fonolitische tuf
2. **Traß** (Brohl/Kruft): ignimbriet uit pyroclastische stroom
3. **Rode tuf**: uit groeve *Alter Steinbruch* aan de oostrand van de Laacher See
4. **Ettringer fonoliet**: bontgevekt met veel insluitsels

*Vulkanische bouwstenen van verschillende herkomst in de zuidelijke muur van de abdijkerk [interpretatie RvO].*

Eén van de mooiste delen van de abdijkerk is het bijzonder rijk versierde Romaanse boogportaal, waarin een stenen duiveltje zit, dat op perkament de zonden noteert van allen die de kerk binnengaan. Na het boogportaal komt men in het voorportaal, dat gereed kwam rond 1220, met een open tuin, het "*Laacher Paradies*, waar een fontein (uit 1928) met uit vier leeuwenmuilen stromende waterstralen ("*Brunnen des Lebens*") de mens herinnert aan de hof van Eden.



*Versiering boven de ingang naar het voorportaal (Paradijs) uit 1220 met kalkstenen zuilen.*

Ook het naast de abdij gelegen Seehotel Maria Laach is grotendeels opgetrokken uit vulkanische gesteenten uit de Eifel. Aan de roodachtige kleur van de muren is af te leiden dat veel tufsteen afkomstig is uit de *Alte Steinbruch* aan de oostzijde van Laacher See (zie IV-1.4).

In de muur ernaast, die gebouwd is met gelige fonolitische tuf ("*Weiberner tuf*") is een halfreliëf aangebracht van Goethe en Baron vom Stein, ter gelegenheid van hun bezoek aan Laacher See op 28 juli 1815.



*Goethe en Baron vom Stein afgebeeld in halfreliëf in Weiberner tuf op de gevel van het Seehotel Maria Laach ter gelegenheid van hun bezoek aan Laacher See in 1815.*

### Historische vulkanologie

Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832) was niet alleen al tijdens zijn leven Duitslands meest beroemde dichter, maar hij legde ook een grote belangstelling aan de dag voor natuurwetenschappen, waaronder geologie en mineralogie en de praktische toepassing daarvan in de mijnbouw. Dit laatste vloeide vooral voort uit zijn functie als minister, die hij gedurende enkele jaren in Weimar bekleedde. Zijn bezoek aan de Eifel hield verband met de meest verbitterde strijd uit de geschiedenis van de geologie, die in die jaren werd uitgevochten tussen *neptunisten* (naar de god van de zee) en *plutonisten* (naar de god van de onderwereld). De neptunisten waren van mening dat alle gesteenten op aarde, dus ook basalten, in (zee)water ontstonden door uitzinking en chemische neerslag en dus sedimentaire gesteenten zijn. Deze school stond onder leiding van Abraham Gottlob Werner (1749-1817), de beroemdste hoogleraar geologie uit die dagen in Duitsland (Bergakademie Freiberg) en een goede vriend van Goethe. Zo schreef Werner in 1788, na veldwerkstudies in het Saksische Ertsgebirge:

**"Ich bin in Ansehung des Basaltes überhaupt jetzt völlig der Meinung: aller Basalt ist nassen Ursprungs; .."**  
(Werner)

**"Met betrekking tot de basalt ben ik überhaupt inmiddels volledig de mening toegedaan: alle basalt is van natte oorsprong."**  
(den Tex, 1998)

## Laacher See

En Goethe:

“...ich kann nicht aus meinem Neptunismus heraus. Das ist mir am auffallendsten gewesen am Laacher See und zu Mennig. Da ist mir nun alles so allmählich erschienen, das Loch mit seinen gelinden Hügeln und Buchenhainen, und warum soll denn das Wasser nicht auch löcherige Steine machen können wie die Bimssteine und die Menniger Steine?“  
(Goethe)

“...ik kan niet van mijn neptunisme loskomen; dat is mij het meest opgefallen bij Laacher See en in Mendig; daar scheen mij alles zo geleidelijk [niet gewelddadig, vulkanisch] toe, die kuil [de caldera] met zijn zachte heuvels en beukenwouden; en waarom zou het water toch niet ook poreuze gesteenten kunnen maken, zoals puimsteen en de basalten van Mendig?”  
(RvO)

*Brief van Goethe naar aanleiding van zijn bezoek aan Laacher See in 1815 (Sulpiz Boisseree, 1978).*

De plutonisten, die het begin inluiden van de moderne vulkanologie, stonden een magmatische, dus uit vuur geboren, herkomst van vulkanische gesteenten voor. Deze stroming werd aangevoerd door de Schotse arts en natuurfilosoof James Hutton (1726-1797). Na studies van ondermeer oude vulkanische formaties bij Edinburgh schreef hij in zijn beroemde werk “Theory of the Earth (1795):

“...a volcano should be considered as a spiracle of the subterranean furnace...”  
(Hutton)

“..een vulkaan moet worden gezien als een luchtgat van het onderaardse fornuis”  
(den Tex, 1998)

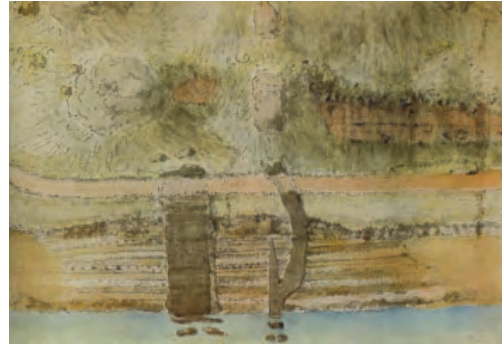
De felle strijd tussen neptunisme (‘Wernerian nonsense’ volgens Darwin) en plutonisme (‘monstrosities’ volgens professor Jameson van de Universiteit van Edinburgh) werd goeddeels beslecht door de Franse geoloog Nicolas Desmarest (1725-1815), die bij de Chaîne des Puys in Auvergne vaststelde dat basaltzuilen het product waren van ‘a flow emerging from a nearby volcano’ (Krafft, 1993). Hoewel met name tijdens zijn bezoeken aan de Eifel bij Goethe enige twijfel binnensloep -hier ontbreekt het immers niet aan basaltzuilen en vulkanen- heeft hij zich nooit los kunnen maken van het neptunisme en heeft hij dit tot het bittere einde verdedigd:

### Aanbeveling

Buiten de westelijke muur van het klooster van Maria Laach loopt het **Steinlehrpfad**, waarlangs gesteenten tentoongesteld worden die karakteristiek zijn voor de Oostefel. Het is de moeite waard daar eens langs te lopen. De uit-

“...Alles ist aus dem Wasser entsprungen!!  
Alles wird aus dem Wasser erhalten!  
(Goethe, 1831)“

“Alles is uit het water entsprongen  
Alles wordt uit het water verkregen”  
(RvO)



*De plutonist James Hutton als veldgeoloog (links, ets, 1787) en de neptunist Abraham Gottlob Werner (rechts, gravure, den Tex, 1998); daarboven ‘zwaarwegende’ ontsluitingen: basaltzuilen in Stolpen (Saxen), die volgens Werner in water gevormd zouden zijn (met dank aan Antiquariaat Forum BV, 't Goy-Houten, Nederland.) en verticale basaltgang, die sedimenten doorsnijdt in Edinburgh (den Tex, 1998).*

---

gestalde gesteenten zijn uitgebreid beschreven in een door het Vulkanpark Brohltal/Laacher See uitgegeven gids: *Der Steinlehrpfad an der Klostermauer von Maria Laach* van Walter Müller, die verkrijgbaar is in de boekwinkel van Maria Laach. Daar zijn ook de andere lokale excursiegidsen en wandelkaarten verkrijgbaar, evenals de standaardwerken van Meyer en Schmincke.

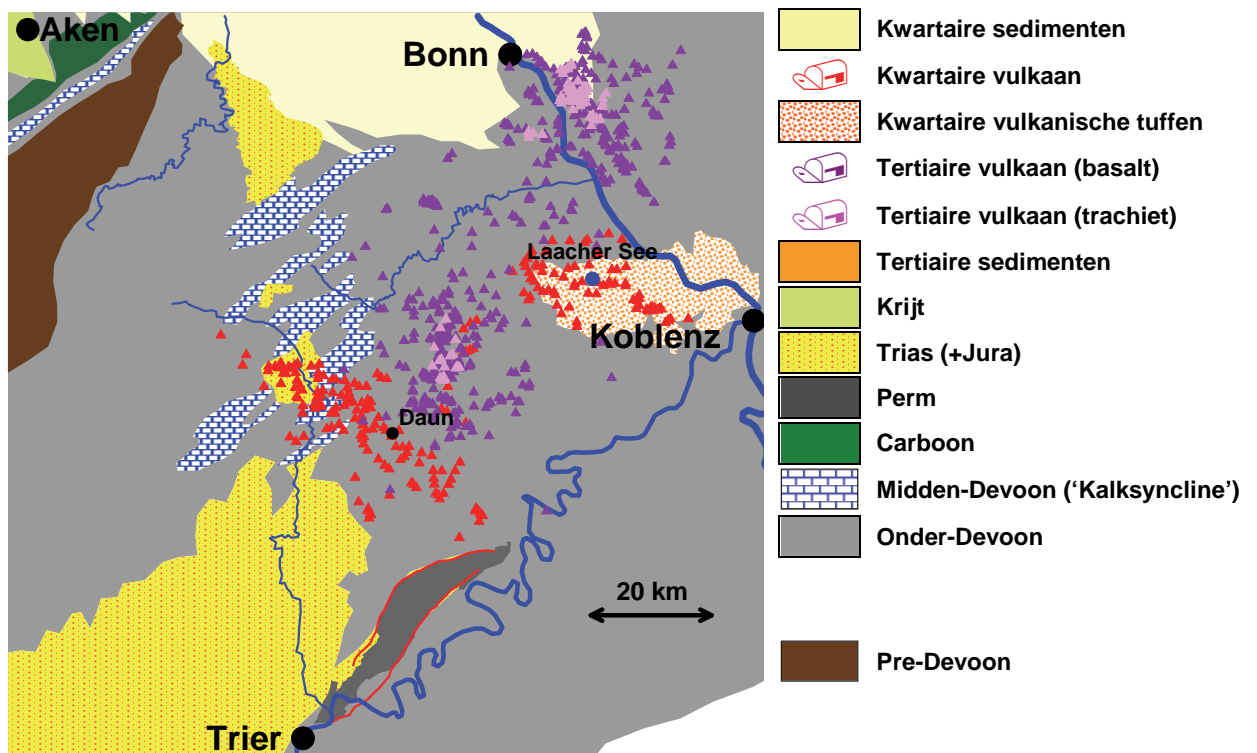
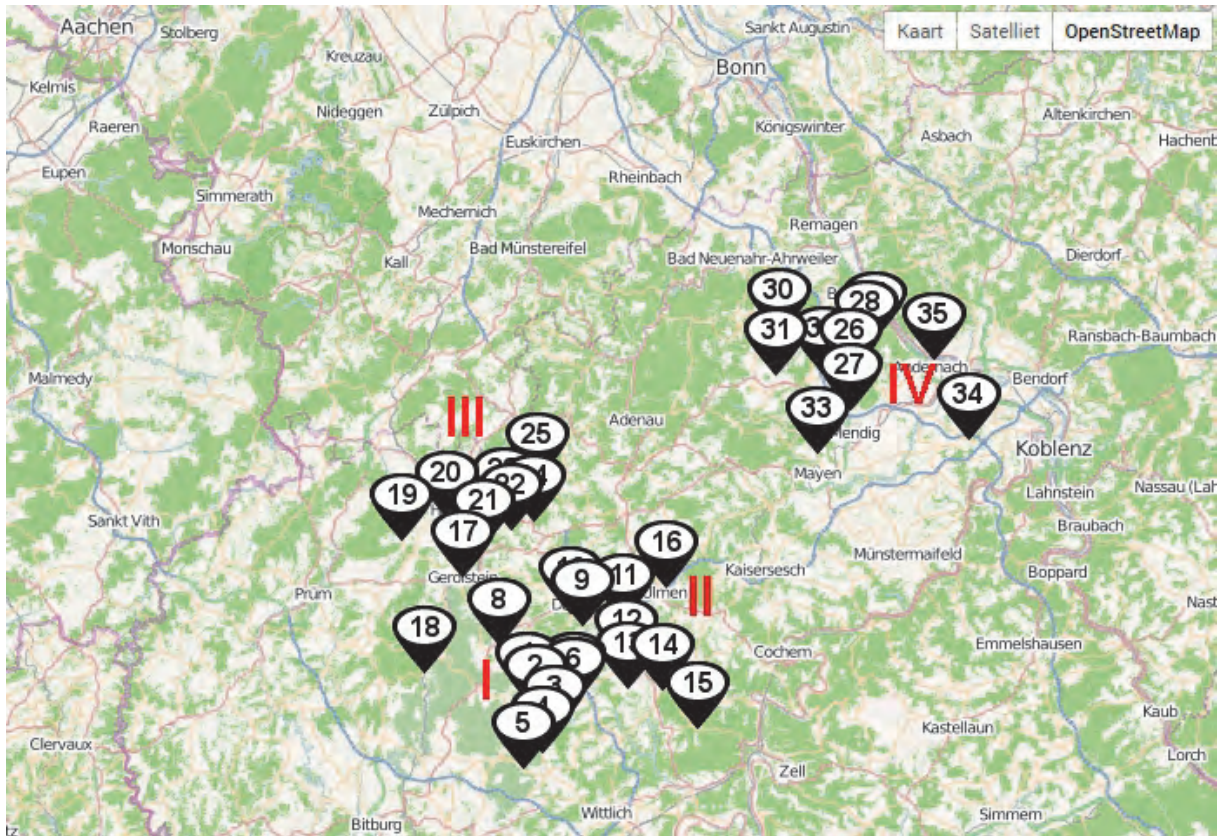
Keer voor een vervolg van de wandelroute terug naar het tunneltje onder de autoweg; ga daar doorheen en direct daarna linksaf. Volg dit asfaltpad naar de oever van het meer en ga vlak vóór het meer linksaf op een onverhard pad ('Ufer-Rundweg' op basalt wegwijzer). Aan het eind van een houten vlonderbrug ligt in het veld een minerale bron (punt L11 van de Geo-Route). Aan het eind komt het pad uit op de toegangsweg naar de camping bij een parkeerplaats. Ga hier linksaf. Steek de autoweg over en ga rechtsaf en direct weer linksaf langs de autoweg naar *Glees*. Loop ongeveer 500 m over deze autoweg omhoog totdat deze een (haarspeld)bocht naar links maakt. Sla hier een pad scherp rechts in (langs slagboom, 'Höhen Rundweg' op basalt wegwijzer). Volg dit bochtige pad, dat vlak, min of meer parallel aan de hoogtelijn verloopt. Na ruim 1 km voegt dit pad zich bij een van links komend pad; ga hier rechtdoor. Ga na 600 m, vlak voor het bereiken van de autoweg, linksaf omhoog ('Lydiaturm'). Ga voor een bezoek aan de uitkijktoren Lydiaturm op een vijfsprong schuin links omhoog. Sla anders rechtsaf om via de achterzijde van *hotel Waldfrieden* naar de parkeerplaats (P) terug te keren.

### Aanbeveling

Het verdient sterke aanbeveling de excursies rond Laacher See aan te vullen met een bezoek aan het **Infozentrum Rauschermühle** bij Plaïdt en daar de film over het vulkanisme van de Oosteifel te bekijken, die de gebeurtenissen rond de eruptie van de Laacher See vulkaan zeer inzichtelijk maakt.

### Verwijzingen:

- Bogler, Pater Theodor, 1966. Abdijkerk Maria Laach, Schnell gids nr. 850, 20ste druk, 1997. Verlag Schnell & Steiner GmbH Regensburg.
- Degen, R., 2004. Collegium Maximum. Erinnerungen an die Jesuiten-Villa am Laacher See. Teil 1, Ölbruck Rundschau 53, 22-23.
- Degen, R., 2005. Collegium Maximum. Erinnerungen an die Jesuiten-Villa am Laacher See. Teil 2 und 3, Ölbruck Rundschau 01/02, 20-21 und 36-37.
- Dehio, G., 1972. Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler. Bd. Rheinland-Pfalz und Saarland, bearbeitet von Hans Caspary, Wolfgang Götz und Ekkart Klinge, München/Berlin (Deutscher Kunstverlag)
- Duan, Z. en Sun, R., 2003. An improved model calculating CO<sub>2</sub> solubility in pure water and aqueous NaCl solutions from 273 to 533 K and from 0 to 2000bar. *Chem. Geol.*, 193: 253-271.
- Goethe, J.W., 1831. Faust II, Akt II, Szene 7
- Griesshaber, E., O'Nions, R.K. en Oxburgh, E.R., 1992. Helium and carbon isotope systematics in crustal fluids from the Eifel, the Rhine Graben and Black Forest, *F.R.G., Chemical Geology*, 99, 213-235.
- Krafft, M., 1993. Volcanoes, fire from the Earth. Harry M. Abrams, Inc., New York, 208 p.
- Meyer, W., 1994. Geologie der Eifel. 3. Auflage 1994 bzw. 4. Auflage 2013. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 618 p.
- Meyer, W., 2007. Geologischer Führer zum Geo-Pfad „Vulkanpark Brohltal/Laacher See. Verbandsgemeinde Brohltal, Niederzissen, 126 p.
- Müller, W., 2006. Der Steinlehrpfad an der Klostermauer von Maria Laach. Verbandsgemeinde Brohltal, Niederzissen, 93 p.
- Pfanz, H., 2008. Mofetten; Kalter Atem schlafender Vulkane. Deutsche Vulkanologische Gesellschaft e. V., Mendig, 85 p.
- Schmincke, H-U., 2010a, Vulkanismus uitgave 3, herziene oplage 2010, © WBG, Darmstadt, Primus Verlag, 264 p.
- Schmincke, H-U., 2010b Vulkane der Eifel; Aufbau, Entstehung und heutige Bedeutung. Spectrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Sulpiz Boisseree, Tagebücher Band 1, Darmstadt 1978. S. 226
- Tex, E. den, (1998). Een voorspel van de moderne vulkaankunde in West-Europa met nadruk op de Republiek der Verenigde Nederlanden. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 301 p.
- Vogel, K. (ed.), 1998. Laacherseehaus-Wanderführer für die Laacher Vulkaneifel and ihre Umgebung. Verein Naturfreundehaus 'Laacherseehaus', Köln/Mendig, 120 p.
- Waters, A.C. & Fisher, R.V., 1971. Base surges and their deposits: Capelinhos and Taal Volcanoes. *Journal of Geophysical Research*, Volume 76, Issue 23, 5596-5614.



Locatiekaart van de excursiepunten (boven) en vereenvoudigde geologische kaart van de Eifel (onder)



Download de app via [www.co2-cato.org/eifelgeoroutes](http://www.co2-cato.org/eifelgeoroutes)

Meer informatie: [eifel@co2-cato.nl](mailto:eifel@co2-cato.nl)



[www.co2-cato.org/eifelgeoroutes](http://www.co2-cato.org/eifelgeoroutes)