



WIM HOEK

Dr. W.Z. Hoek, Universiteit Utrecht, Faculteit Geowetenschappen,
Departement Fysische Geografie, Heidelberglaan 2, 3508 TC
Utrecht, 030-2532416, w.hoek@geo.uu.nl

Tefrochronologie is de techniek waarmee afzettingen met behulp van aanwezige vulkanische as (tefra) gedateerd kunnen worden. Eigenlijk is tefrochronologie geen echte dateringstechniek, maar meer een correlatietechniek. Pas als een vulkanische aslaag ergens precies gedateerd is, kan deze laag, met specifieke chemische eigenschappen, gebruikt worden om mee te dateren. Dit is onder andere het geval als de tefra aanwezig is in een veenpakket, dat gedateerd is met behulp van de ^{14}C -methode, of in jaargelaagde meerafzettingen (warven).

TEFROCHRONOLOGIE

Een belangrijke eigenschap van vulkanische aslagen is dat deze vaak over grote oppervlakten worden afgezet in een, voor geologische begrippen, zeer korte tijd. Het voorkomen van een bepaalde tefra geeft op deze wijze de mogelijkheid om afzettingen zeer precies met elkaar te correleren. Tefra is in allerlei verschillende sedimenten terug te vinden, zoals veen en klei, maar ook zand en löss. Op deze wijze zijn verschillende afzettingsmilieus die niet met behulp van de ^{14}C - of de luminescentiemethode te dateren zijn, toch met elkaar te correleren. Dit geldt niet alleen voor afzettingen op het land, maar juist ook voor bijvoorbeeld ijslagen van de Groenlandse ijskap of diepzeeafzettingen. Hierdoor is de methode een veelbelovende correlatietechniek in paleoklimatologisch onderzoek.

Een nadeel van de methode is dat tefra niet met een vaste regelmaat gedurende de geologische tijd in de atmosfeer wordt gebracht, en zeker niet over een dekkend en altijd identiek oppervlak wordt verspreid. De verspreiding van vulkanische as is afhankelijk van wind- en neerslagpatronen gedurende de vulkanische uitbarsting. Daarnaast wordt tefra vaak in kleine hoeveelheden afgezet, zeker indien de locatie zich ver van de bron bevindt, en daardoor zijn de meeste tefra's in eerste instantie onherkenbaar in afzettingen.

Ondanks deze beperkingen zijn de afgelopen jaren met name IJslandse tefralagen van verschillende ouderdom die rond IJsland in detail beschreven zijn (Haflidason et al., 2000) op veel andere plaatsen ontdekt. Met name in Groot-Brittannië en Ierland, maar inmiddels ook in Scandinavië en Noord-Duitsland zijn Holocene tefra's teruggevonden die van IJsland afkomstig zijn. Het is een grote uitdaging om deze tefra's die bij onze burens zijn teruggevonden, ook in Nederland op te sporen. In Afbeelding 1 wordt een overzicht gegeven van Laat-Glaciële en Holocene tefra's uit IJsland en de Eifel die inmiddels in Groot-Brittannië en Duitsland zijn gevonden en die we mogelijk ook in Nederland terug zouden kunnen vinden.

Vulkanisme in Europa gedurende het Kwartair

In Europa komen een aantal vulkanen voor die gedurende het Kwartair met enige regelmaat tot uitbarsting kwamen. De meest bekende vulkanische centra liggen langs de Mid-Atlantische rug (IJsland, Jan Mayen, Azoren) en het Middellandse-Zeegebied (Italië, Griekenland). Daarnaast zijn er centra die nu niet actief zijn, zoals de Eifel (Duitsland) en het Massif Central (Frankrijk), maar waar in het recente geologische verleden actief vulkanisme is opgetreden. Daarbij zijn soms grote hoeveelheden vulkanische as in de atmosfeer terechtgeko-

men. Van uitbarstingen van de Hekla vulkaan op IJsland is bijvoorbeeld bekend dat tijdens een enkele uitbarsting een volume van enkele kubieke kilometers aan as in de atmosfeer is gebracht. Deze tefra's zijn vaak over grote oppervlakten verspreid en terug te vinden in de sedimenten uit de betreffende periode. Niet alle vulkaanuitbarstingen zorgen voor een aslaag, dit is met name afhankelijk van de explosiviteit van het magma. Indien het magma een basaltische samenstelling heeft is het minder explosief en komen met name lavastromen uit de vulkaan. Bij een andesitische of rhyolitische samenstelling van het magma kunnen stratovulkanen zoals de Vesuvius worden gevormd. Het zijn met name de Pliniaanse uitbarstingen die voor grote hoeveelheden as in de atmosfeer zorgen. De as van deze uitbarstingen komt tot in de stratosfeer (meer dan 15 km hoog) en kan zo over grote afstanden worden verspreid. Dit betekent voor de Nederlandse situatie, waar we ons relatief ver van vulkanen bevinden, dat met name deze grote uitbarstingen van belang zijn.

Determinatie van vulkanische as Herkenning van een vulkanische aslaag

Indien een locatie zich niet te ver van een vulkaan bevindt, zijn aslagen in sedimenten of veen met het blote oog te herkennen. Basaltische aslagen zijn meestal zwart, andesitische grijs en rhyolitische wit van kleur. De kleur is echter niet doorslaggevend. Of er daadwerkelijk sprake is van vulkanische as kan pas na microscopische analyse en/of geochemische analyse worden bepaald. Zichtbare, maar ook met het blote oog onzichtbare tefralagen die in een grote hoeveelheid, maar dispers in een boorkern voorkomen, kunnen met behulp van een core scanner of magnetische susceptibiliteits-scanner worden opgespoord. Hiervoor moet echter een grote hoeveelheid kenmerkende vulkanische mineralen aanwezig zijn. Dit is meestal slechts het geval, indien de vulkanische bron niet al te ver verwijderd is.

Micro- of cryptotefra

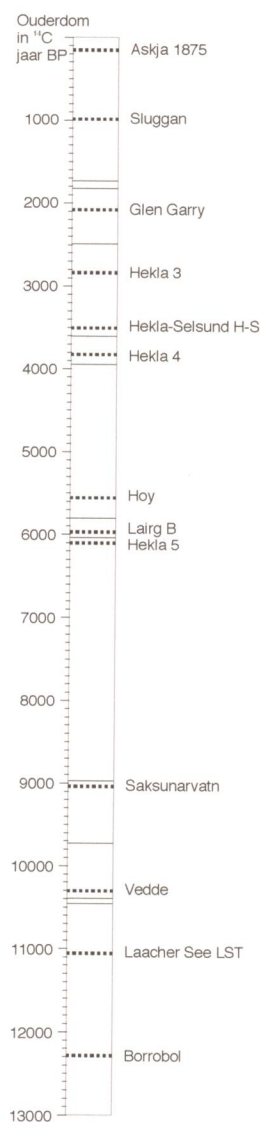
In de meeste gevallen komen slechts kleine hoeveelheden as in een boorkern voor. Indien men zich op een afstand van enkele honderden kilometers van een vulkanische bron bevindt, zijn de asdeeltjes over het algemeen

kleiner dan 50 micrometer. Indien er slechts enkele of relatief kleine asdeeltjes in een boorkern aanwezig zijn, zullen deze nooit met het blote oog, of met behulp van een scanner kunnen worden gevonden.

Een relatief nieuwe techniek voor het opsporen van kleine hoeveelheden tefra is micro- of cryptotefra-analyse. Hierbij worden zeer kleine hoeveelheden tefra, die niet zichtbaar zijn met het blote oog, geconcentreerd en geanalyseerd. De techniek is uitgebreid beschreven door Turney (1998) en wordt tegenwoordig veel toegepast voor het opsporen van aslaagjes in meer-afzettingen of veen. Eventueel aanwezige onzichtbare tefralagen worden geconcentreerd door een boorkern systematisch te bemonsteren en selectief de matrix van organisch en klastisch materiaal te verwijderen met behulp van gloeien en zware vloeistofscheiding. Onder de microscoop zijn de tefra-korrels te herkennen aan hun glasachtige uiterlijk, al dan niet met in het glas aanwezige gasbelletjes.

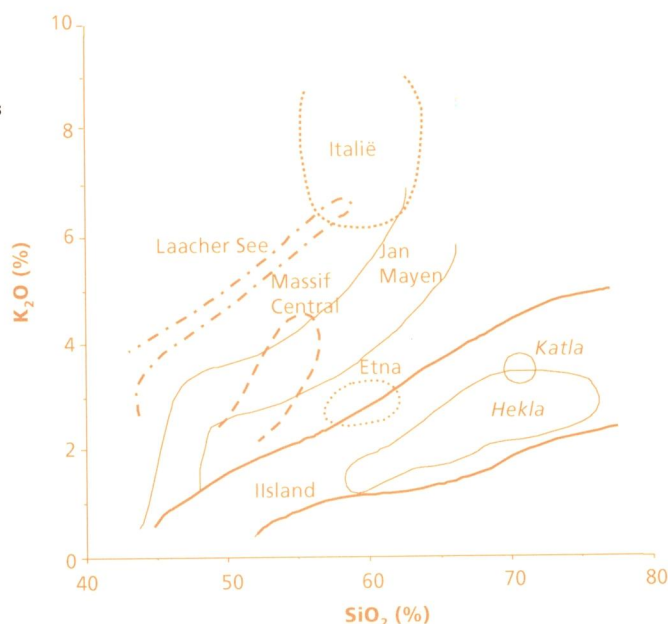
Geochemische fingerprinting

Macroscopische herkenning kan echter niet gebruikt worden om de herkomst van tefra te bepalen. Uiteindelijk zijn slechts met behulp van geochemische analyse de verschillende tefra's te karakteriseren. De verschillende vulkanische centra hebben een vaak unieke geochemische samenstelling (Afb. 2). Door analyse van



Afbeelding 1.
Overzicht van de Laat-Glaciale en Holocene tefralagen die in Groot-Brittannië en Duitsland zijn gevonden (naar Lowe, 2001 en Van den Bogaard & Schmincke, 2002).

Afbeelding 2.
Geochemische samen-
stelling van tefra's uit
verschillende vulkani-
sche centra (naar Davies
et al., 2005).



de in de sedimenten aanwezige tefrakorrels kan de herkomst worden achterhaald. Tegenwoordig kan een precieze geochemische analyse van slechts een aantal korrels worden verricht met behulp van electron microprobe-analyse (Turney et al., 2004).

Tefrochronologie in Nederland Tefra in Nederland

In Nederland komt een aantal aslagen voor die met het blote oog herkenbaar zijn. Dit zijn met name de Rocourt tefra en Eltville tefra uit het Weichselien die in de Zuid-Limburgse löss zijn teruggevonden (Meijs et al., 1983). Daarnaast komt in het rivierengebied in Rijnaafzettingen uit de Jonge Dryas puimsteen voor. Dit is vanuit het Rijndal naar Nederland getransporteerd en heeft zijn oorsprong in de uitbarsting van Laacher See-vulkaan gedurende het Allerød. Deze puimsteen is echter verspoeld en daarom geen synchrone tefralaag waarmee te dateren is.

In Nederland zijn nooit eerder IJslandse tefra's gevonden, de bestaande verspreidingskaartjes van Holocene IJslandse tefra's laten zien dat alle aspluimen net ten noorden van Nederland langs zijn gegaan. Dit geldt ook voor de Vedde Ash, die als zichtbare tefralaag tot aan de westkust van Noorwegen is terug te vinden en inmiddels als cryptotefralaag is teruggevonden in Schotland en Zweden, en zelfs in de omgeving van St. Petersburg in Rusland. De Vedde Ash is vrij precies gedateerd met behulp van de ^{14}C -methode in een veen in West-Noorwegen en we weten dat deze tefra zich in de tweede helft van de Jonge Dryas, rond 10.300 ^{14}C jaar BP, over grote oppervlakten van Noordwest-Europa heeft verspreid.

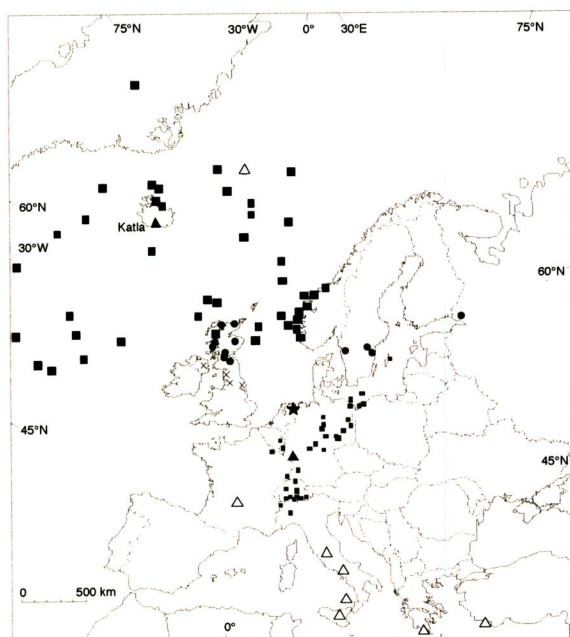
Ook de bekende Laacher See-uitbarsting uit het Allerød, heeft zeer uitgesproken en duidelijk begrensde aspluimen waarvan er één vanuit de Eifel in noordoostelijke richting gaat en Nederland net schampt (Van den Bogaard & Schmincke, 1985). De as van de Laacher See-uitbarsting is echter tot op het eiland Bornholm in de Oostzee als zichtbare tefralaag teruggevonden en zou, gezien de afstand, Nederland best bereikt kunnen hebben. Ook de Laacher See Tephra is met behulp van de ^{14}C -methode precies gedateerd aan de hand van een aantal onder de as teruggevonden boomstammen die tijdens de uitbarsting bedekt zijn geraakt. De as heeft een ouderdom van ongeveer 11.070 ^{14}C jaar BP. In afbeelding 3 is te zien waar de Vedde Ash en Laacher See Tephra zijn teruggevonden.

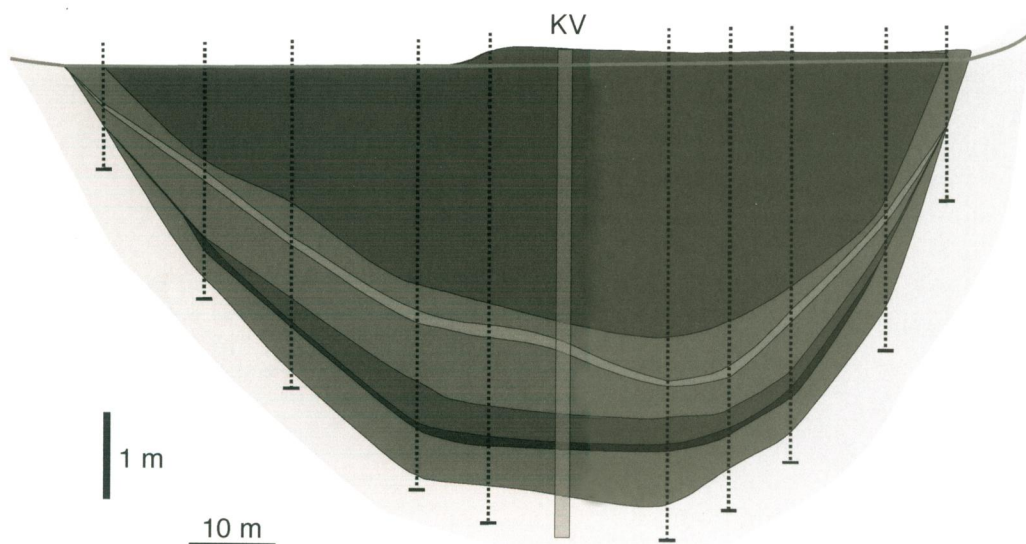
Laat-Glaciële tefra in Kostverloren Veen

Indien we de Laacher See Tephra in Nederland willen vinden, ligt een locatie in het oosten van Nederland het meest voor de hand. Voor de IJslandse Vedde Ash geldt dat we in het noorden van Nederland moeten zoeken om deze tefra te vinden. Een locatie in het noordoosten van Nederland biedt dus een ideale gelegenheid voor het vinden van deze beide karakteristieke tefra's.

Op het Drents Plateau komen vele pingoruïnes voor (De Gans, 1982) die ontstaan zijn door het afsmelten van de permafrost aan het einde van het Weichselien Pleniglaaciaal. In veel van de pingoruïnes zit een organische invulling die vanaf het begin van het Laat-Glaciaal (ca.

Afbeelding 3.
Het voorkomen van
Vedde Ash en Laacher
See Tephra in Noord-
west-Europa. Naast
de Katla Vulkaan op
IJsland en de Laacher
See in de Eifel, die
met zwarte driehoek-
jes zijn weergegeven
zijn ook andere
vulkanen te zien als
open driehoekjes. In
de zwarte vierkant-
jes zijn de locaties
weergegeven waar
zichtbare Vedde Ash
is teruggevonden.
De cirkels geven de
locaties aan waar
met behulp van
microtefra analyse
ook Vedde Ash is te-
ruggevonden. Met de
kleine blokjes zijn
de locaties weergege-
ven waar zichtbare
Laacher See Tephra
is teruggevonden. De
ster in Noord-Neder-
land geeft de locatie
Kostverloren Veen
aan waar gezocht
is naar beide tefra's
(naar Davies et al.,
2005).





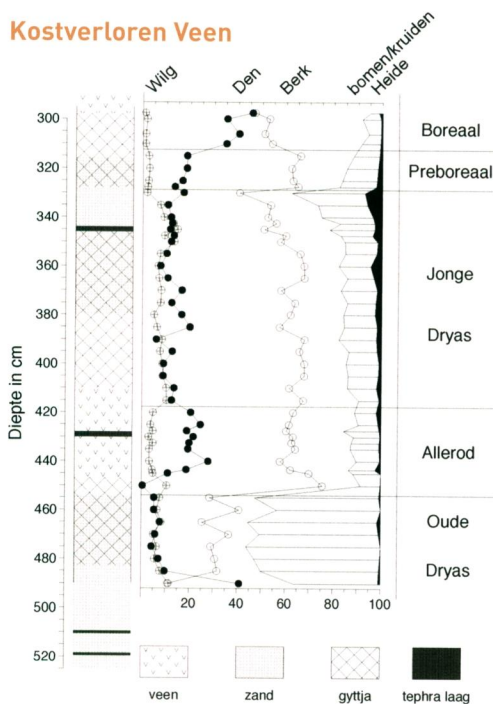
Afbeelding 4.
Dwarsdoorsnede door het Kostverloren Veen, met daarin de positie van de boringen en de in detail onderzochte boorkern uit het midden van de pingoruïne. Het Holocene veen bovenin de pingoruïne is weergegeven in donkere tinten en het zand in de ondergrond in een lichte tint. Gradaties van donker naar licht geven een toenemende zandigheid weer. De dunne zandlaag die in het hele bekken aanwezig is komt uit het laatste deel van de Jonge Dryas en geeft aan dat de afzettingen die daaronder liggen weinig verstoord zijn.

(zie kleurenafbeelding bij de inhoudsopgave van dit blad.)

12.500 ^{14}C jaar BP) gevormd kon worden. Veelal komt in de opvulling een laag dekzand voor die stamt uit de laatste koude fase van het Laat-Glaciaal, de Jonge Dryas (Hoek & Bohncke, 2002). Van diverse pingoruïnes is de invulling met behulp van pollenanalyse onderzocht en er kan een biostratigrafische indeling gemaakt worden van deze Laat-Glaciaal afzettingen (Hoek, 1997). Eén van de meest noordoostelijk gelegen pingoruïnes is het Kostverloren Veen dat in de omgeving van Dondere, ten noordwesten van Assen ligt ($x = 232.675$, $y = 569.675$). Deze pingoruïne is eerder door de Gans (1982) onderzocht. Het bleek dat er relatief weinig dekzand in is afgezet, waardoor de dikte van het pakket Laat-Glaciaal afzettingen niet al te groot is. Dit vergemakkelijkt het speurwerk naar Laat-Glaciaal tefra's. Een dwarsprofiel door deze pingoruïne (Afb. 4) laat zien dat er in de oudste, Laat-Glaciaal afzettingen geen verstoringen aanwezig zijn. Een gedetailleerde pollenanalyse van de invulling van deze pingoruïne laat een typische Laat-Glaciaal vegetatieontwikkeling zien die begint in de Oude Dryas, rond 12.000 ^{14}C jaar BP (Afb. 5). De hoge kruidenwaarden in de Oude Dryas worden gevolgd door een sterke uitbreiding van de berk, gevolgd door de den, dit is het karakteristieke beeld voor het Allerød interstadiaal en kan gedateerd worden tussen 11.900 en 10.950 ^{14}C jaar BP. De relatieve afname van pollen van de den en het voorkomen van zand is kenmerkend voor de Jonge Dryas die gedateerd is tussen 10.950 en 10.150 ^{14}C jaar BP. De analyse op aanwezige tefra door Siwan Davies leidde tot de vondst van een aantal lagen mogelijke vulkanische as. Net onder het meest zandige deel van de Jonge Dryas invulling rond 345 centimeter zit een grote hoeveelheid glasscherven die na geochemische analyse precies in het cluster van de vulkaan Katla blijkt te vallen (Afb. 2). De Vedde Ash is afkomstig van het Katla vulkaansysteem en heeft een identieke geochemische samenstelling als de tefralaag die rond 345 centimeter zit. De biostratigrafische positie komt ook overeen met de plek waar de Vedde Ash zou moeten zitten, namelijk in het tweede deel van de Jonge Dryas (10.300 ^{14}C jaar BP). De vondst van Vedde Ash in het Kostverloren Veen is hiermee zekergesteld. Daarnaast is er op 429 centimeter ook een aslaag gevonden die zich precies in de juiste biostratigrafische positie, aan

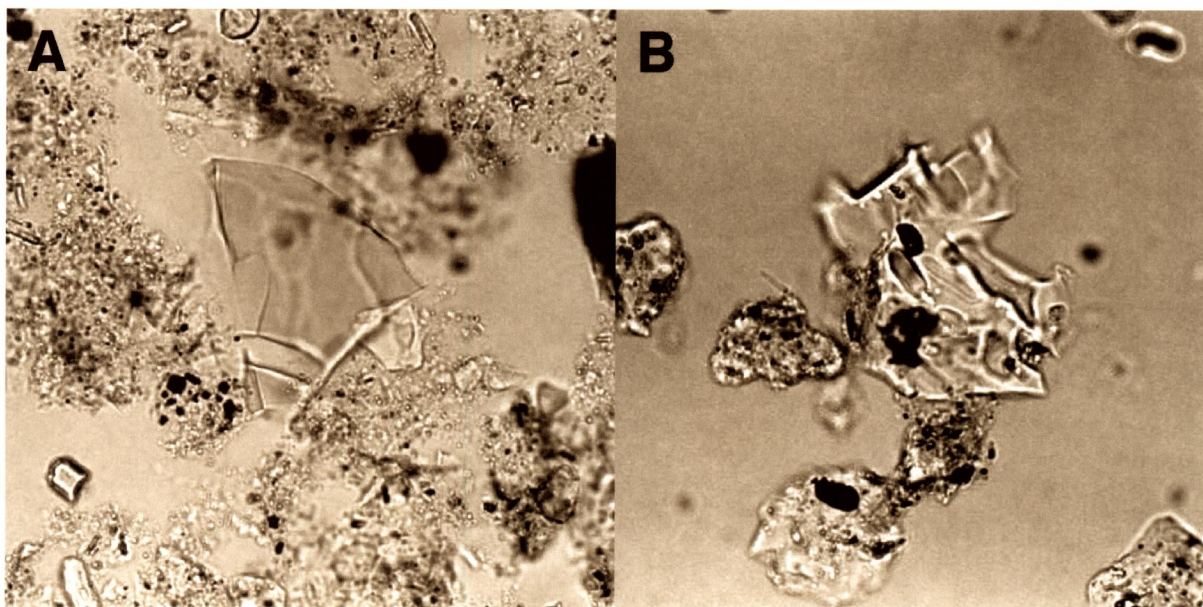
het einde van het Allerød, bevindt om Laacher See Tephra te kunnen zijn (11.070 ^{14}C jaar BP). De hoeveelheid glasscherven is echter te gering voor een geochemische karakterisering. Tot nu toe kan dus niet bewezen worden dat we hier daadwerkelijk met de Laacher See Tephra te maken hebben. Bovendien komt onderin de zandige invulling van de pingoruïne nog een dubbele aslaag voor die mogelijk de Borrobol tefra zou kunnen zijn (12.300 ^{14}C jaar BP). Helaas is ook van deze lagen te weinig materiaal aanwezig voor een geochemische karakterisering. De stratigrafische positie komt in ieder geval wel overeen met de verwachte positie.

Duidelijk is dat door deze vondst de biostratigrafie van Kostverloren Veen rond de afzetting van de Vedde Ash precies vergeleken kan worden met die van Schotland of Zuid-Scandinavië. Belangrijker is het echter dat door deze vondsten blijkt dat IJslandse tefra en mogelijk ook de Laacher See Tephra heel goed tot in Nederland



Afbeelding 5.
Pollendiagram Kostverloren Veen.

Afbeelding 6.
Glasscherven van
Vedde Ash (A) en
mogelijk Laacher
See Tephra (B) in
Kostverloren Veen,
de diameter van de
scherven is ongeveer
50 micrometer
(foto's: Siwan Davies).



vervolgd kan worden. Dit biedt niet alleen interessante mogelijkheden voor onderzoek aan andere locaties maar betekent ook dat tefra uit andere perioden mogelijk in Nederland is terug te vinden.

Andere tefra's in Nederland?

De recente vondst van Laat-Glaciële IJslanse tefra in Nederland is waarschijnlijk pas het begin van de ontdekking van vele andere tefra's. Inmiddels is onderzoek gestart naar het voorkomen van Holocene tefra's in het westelijk deel van het rivierengebied. Er zijn aanwijzingen dat we nu ook Hekla 3 en 4 hebben gevonden in kleiige en venige komgebieden van het westelijke deel van de Rijn-Maas delta. Deze mogelijke tefralagen moeten echter nog onderzocht worden op hun chemische samenstelling voordat we met zekerheid kunnen zeggen dat we in Nederland ook sporen van deze grote uitbarstingen terug kunnen vinden. Daarnaast is er de mogelijkheid om in het dekzand en loessgebied te gaan zoeken naar oudere tefralagen die kunnen helpen bij de correlatie en het onderling vergelijken van luminescentiedateringen.

LITERATUUR

- Davies, S.M., W.Z. Hoek, S.J.P. Bohncke, J.J. Lowe, S. Pyne O'Donnell & C.S.M. Turney, 2005. Detection of Lateglacial distal tephra layers in the Netherlands. *Boreas* 34, 123-135.
- De Gans, W., 1982. Location, age and origin of pingo remnants in the Drentsche Aa Valley area (The Netherlands). *Geologie en Mijnbouw* 61, 147-158.
- Haflidason, H., J. Eiríksson & S. Van Kreveld, 2000. The tephrochronology of Iceland and the North Atlantic region during the Middle and Late Quaternary: a review. *Journal of Quaternary Science* 15, 3-22.
- Hoek, W.Z., 1997. Lateglacial and early Holocene climatic events and chronology of vegetation development in the Netherlands. *Vegetation History and Archaeobotany* 6, 197-213.

Hoek, W.Z. & S.J.P. Bohncke, 2002. Climatic and environmental events over the Last Termination as recorded in The Netherlands: a review. *Netherlands Journal of Geosciences* 81, 123-137.

Lowe, J.J., 2001. Abrupt climatic changes in Europe during the last glacial-interglacial transition: the potential for testing hypotheses on the synchronicity of climatic events using tephrochronology. *Global and Planetary Change* 603, 73-84.

Meijs, E., H. Mûcher, G. Ouwerkerk, A. Romein & H. Stoltenberg, 1983. Evidence for the presence of the Eltville Tuff Layer in Dutch and Belgian Limbourg and the consequences for the Loess stratigraphy. *Eiszeitalter und Gegenwart* 33, 59-78.

Turney, C.S.M., 1998. Extraction of rhyolitic ash from minerogenic lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 19, 199-206.

Turney, C. S. M., J.J. Lowe, S.M. Davies, V.A. Hall, D.J. Lowe, S. Wastegård, W.Z. Hoek, B Alloway, SCOTAV & INTIMATE members, 2004. Tephrochronology of Last Termination sequences in Europe: a protocol for improved analytical precision and robust correlation procedures (a joint SCOTAV-INTIMATE proposal). *Journal of Quaternary Science* 19, 111-120.

Van den Bogaard, P. & H. Schmincke, 1985. Laacher See Tephra: A widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Geological Society of America Bulletin* 96, 1554-1571.

Van den Bogaard, C. & H. Schmincke, 2002. Linking the North Atlantic to central Europe: a high-resolution Holocene tephrochronological record from northern Germany. *Journal of Quaternary Science* 17, 3-20.