

VORSTVERSCHIJNSELEN

RECENTE EN FOSSIELE PERMAFROST VERSCHIJNSELEN

Inleiding

Uit het fossiel voorkomen van structuren en terreinvormen, die zijn ontstaan ten gevolge van het bevriezen van grond, is afgeleid, dat zich gedurende het Weichselien (Würm) in Nederland extreem koude klimaatsomstandigheden hebben voorgedaan.

Om inzicht te krijgen in hun ontstaanswijze en de omstandigheden waaronder ze zijn gevormd, is het noodzakelijk de 'fossiele' vormen en structuren te vergelijken met vorstverschijnselen zoals ze in huidige permafrostgebieden worden waargenomen.

In dit artikel wordt eerst de permafrost besproken. Vervolgens worden afzettingen, structuren en geomorfologische reliefvormen die samenhangen met permafrost in de bodem, in zowel recente als fossiele situatie, toegelicht. Het geheel is een samenvatting van een lezing, gehouden op de W.T.K.G.-bijeenkomst van 23 januari 1982.

Permafrost

Aardlagen, die langer dan een jaar een temperatuur onder 0° C bezitten, worden als permafrost aangeduid. Permafrost ontstaat onder koude klimaatsomstandigheden, waarbij de gemiddelde jaartemperatuur zo laag is, dat de afkoeling aan het aardoppervlak en de daaronder liggende lagen groter is dan de opwarming door de inwendige aardwarmte (geothermische gradient). Zo zal bijvoorbeeld bij bevriezing van de bovengrond gedurende het winterseizoen tot een diepte van 100 cm en een dooi in de daaropvolgende zomer tot 80 cm een permafrost van 20 cm ontstaan. De in de zomermaanden ontdooiende bovengrond in permafrostgebieden wordt 'active layer' (opdooilaag) genoemd. Bij langdurig aanhouden van dezelfde koude klimaatsomstandigheden kan de permafrost aangroeien tot een dikte van honderden meters. In gebieden waar permafrost aanwezig is, worden de geologische en geomorfologische processen in hoge mate door vorstwerking en opdooiverschijnselen bepaald. De structuren en de terreinvormen, die direkt of indirekt het gevolg zijn van bevriezing en/of opdooiprocessen, worden periglaciale verschijnselen genoemd. Deze periglaciale verschijnselen vallen, wat hun verbreiding betreft, veelal samen met de aanwezigheid van een permafrost, maar zijn daar niet persé aan gebonden.

De huidige permafrost blijkt het dikste te zijn aan de noordzijde van het Amerikaanse en Aziatische Continent. In zuidelijke richting neemt de permafrostdikte af en komen 'openingen' in de permafrostzone voor. Men spreekt daarom van continue of gesloten en van discontinue of open permafrost. De dikte van de opdooilaag neemt in zuidelijke richting toe en kan aan de zuidzijde van het permafrostgebied een waarde van 2 meter bereiken. Zij is overigens sterk afhankelijk van vegetatie, grondsoort, relief, bodemvochtigheid en neerslagvorm.

Het is niet duidelijk of de huidige honderden meters dikke permafrost van Noord Canada en Siberië in evenwicht is met het huidige klimaat, of dat het geheel of gedeeltelijk een relict is uit de laatste IJstijd. De vondsten van mammoetresten in de permafrost van Siberië en het voorkomen van zogenaamde off-shore permafrost in de kustzones van de Noordelijke IJszee pleiten voor de laatste opvatting.

Dat ten gevolge van een wereldomvattende, lagere zeespiegelstand grote delen van de continentale platten droog hebben gelegen, is niet alleen uit het voorkomen van off-shore permafrost af te leiden, maar blijkt onder andere ook uit het voorkomen van dalsystemen met een Weichselien ouderdom op de bodem van het Noordzeebekken.

Bodemijs en thermokarst

Het voorkomen van permafrost staat los van het feit of er al of geen water in de bodem aanwezig is. Indien water voorkomt in permafrost-gebieden zal dit doorgaans in de vorm van ijs aanwezig zijn. Dit ijs kan in de poriën tussen de sedimentkorrels voorkomen, maar kan ook in de vorm van meters dikke grondijslagen aanwezig zijn. Dit bodemijs of segregatie-ijs kan ontstaan doordat als gevolg van drukverschillen op het grensvlak tussen de vaste en de vloeibare fase, water uit de onbevoren ondergrond wordt aange-trokken.

Bodemijs komt vooral voor in kustgebieden en kan dikten van meer dan 20 meter bereiken.

In gebieden met bodemijs kunnen zowel door natuurlijke oorzaken (bijvoorbeeld klimaatsverschijnselen) als door menselijke activiteiten (bijvoorbeeld afbraak van het vegetatiedek) storingen in het thermo-dynamische evenwicht optreden, waardoor het bodemijs lokaal gaat ontdooien. Hierdoor ontstaan ondiepe, zogenaamde thermokarstmeren. Deze thermokarstmeren hebben meestal een ronde tot ovale omtrek en een diepte van maximaal 2 meter.

Ze komen voor in gebieden met weinig reliëf.

In Nederland zijn geen reliëfvormen bekend, die als fossiele thermokarstmeren kunnen worden aangeduid. Er zijn wel uit het Weichselien, met name het Midden Pleniglaciaal, lemige, humeuze afzettingen bekend die qua genese en verbreiding als thermokarstmeer-afzettingen kunnen worden verklaard (tabel I). Deze afzettingen worden vooral in dalen aangetroffen.

Ijswiggen en polygonen

Sterke afkoeling van het bovenste deel van de permafrostzone, tot -15 of -20° C in het winterseizoen, heeft tot gevolg dat door volumevermindering spleten (cracks) in de grond ontstaan. De diepte van deze cracks varieert, maar ze kunnen vanuit de active layer (opdoollaag) vele meters in de permafrost doordringen. De spleten worden opgevuld met water, dat meteen zal bevriezen, of met (vooral aeolisch) sediment. Opvulling van de spleten voorkomt, dat deze zich in het daarop volgend zomerseizoen weer aanéén sluiten.

Aangezien de opgevulde spleten zwaktezones vormen in de bodem kan hetzelfde proces zich op dezelfde wijze herhalen. Zo ontstaan door veelvuldige herhaling van het proces uiteindelijk met ijs of zand gevulde wigvormige structuren, de zogenaamde ijswiggen (ice-wedges) of zandwiggen (sand-wedges). Ijswiggen komen voor in de permafrost-gebieden waar veel water aanwezig is. Zandwiggen worden onder meer 'droge' permafrostkondities gevormd. Ijswiggen worden veel vaker aangetroffen dan zandwiggen.

De grootte van de ijswiggen is naast de hoeveelheid water, die in circulatie is, eveneens afhankelijk van de tijdsduur, waarin ze gevormd worden. Het merendeel van de ijswiggen is aan de oppervlakte niet meer dan 1,5 meter breed, bij een diepte tot 4 meter. Uit Siberië zijn echter voorbeelden bekend met een breedte tot 4 meter en een diepte van meer dan 10 meter. De cracks en wiggen vormen aan de oppervlakte doorgaans een veelhoekig patroon, zogenaamde polygonen. De gemiddelde diameter van de polygonen ligt tussen de 15 en 40 meter.

Bij verandering van het klimaat kan het ijs in de wiggen smelten en vervangen worden door zand of grind dat van bovenaf de zo ontstane ruimte opvult. Op deze wijze kunnen ijswigstructuren evenals zandwigstructuren behouden blijven als indicatoren van een voormalige permafrost. Uit de afzettingen uit het Weichselien zijn in Nederland twee duidelijke niveaus met grote ijswigstructuren (ice-wedge-casts) bekend. Het onderste niveau wordt gedateerd op de overgang van het Onder naar het Midden-Pleniglaciaal, het bovenste niveau in het Boven Pleniglaciaal. Uit het Laat Glaciaal zijn geen duidelijke ice-wedge-casts bekend, hoewel er wel aanwijzingen zijn dat er vorstwerking heeft plaatsgevonden (tabel II).

Cryoturbate structuren

Door het regelmatig bevroren en ontdooien van de afzettingen in de opdooilaag worden deze gedeformeerd. De sedimentaire gelaagdheid raakt verstoord als gevolg van de volumeveranderingen, die het met water verzadigde sediment regelmatig ondergaat. De hierdoor gevormde verstoringen worden cryoturbate structuren genoemd. Met name het verschil in gedrag tussen fijn- en grofkorrelige sedimenten speelt een belangrijke rol bij de verstoring van de gelaagdheid.

In Nederland worden in Weichselienafzettingen cryoturbate niveaus met een dikte tot ongeveer 2 meter aangetroffen, wat er op zou kunnen wijzen dat de opdooilaag in het Weichselien op onze breedtegraad eenzelfde dikte heeft gehad.

Pingo's en pingoruïnes

Tot de opvallendste geomorfologische verschijnselen in de huidige permafrost-gebieden behoren de pingo's of ijsheuvels.

Dit zijn heuvels waarvan de kern uit massief ijs bestaat.

De hoogte van deze heuvels bedraagt maximaal 70 meter en hun diameter ligt tussen de 30 en 600 meter. Naar hun ontstaanswijze worden twee typen pingo's onderscheiden: open-systeem of Oost Groenland pingo's en gesloten-systeem of Mackenzie pingo's.

Open-systeem pingo's ontstaan in gebieden met een open permafrost op hellingen van minimaal enkele graden. Hier kan grondwater, dat onder artificele druk staat, via spleten de permafrost binnendringen en bevriezen. Bij doorgaand aanbod van dit kwelwater kan een ijslens worden gevormd, die door voortdurend aangroei de bedekkende aardlaag omhoog duwt, waardoor een pingo ontstaat.

Gesloten-systeem pingo's zijn over het algemeen gelegen in thermokarstmeren van gebieden met een continue permafrost. Er wordt aangenomen, dat de meren oorspronkelijk zo diep waren, dat ze 's winters niet tot de bodem bevroren, waardoor, afhankelijk van de warmtecapaciteit van het meer, een meer of minder dikke onbevroren laag of talik onder het meer voorkwam. Nam de diepte van een thermokarstmeer af, doordat het opgevuld raakte met organisch materiaal en/of sediment, dan kon door de afgenomen waterdiepte de vorst wel tot op de meerbodem doordringen en begon zich onder het meer een permafrost te vormen.

Bij doorgaande uitbreiding van de permafrost komt het poriënwater in de talik onder druk te staan waardoor het wordt weggeperst en in de bovenliggende permafrost dringt. Het uiteindelijke resultaat is de vorming van pingo's in voormalige thermokarstmeren.

Indien de ijslens in pingo's aan blijft groeien, zal op den duur de afdekkende aardlaag of pingohuid scheuren gaan vertonen.

Hierdoor kan zonnearmte de pingo binnendringen waardoor de ijskern gaat smelten, met als gevolg dat de pingohuid langzamerhand naar beneden glijdt, schuift of spoelt. Rondom de degenererende pingo wordt zo een ringwal gevormd. Uiteindelijk smelt de ijskern geheel af en blijft een depressie in de grond achter. De diepte van deze depressie komt min of meer overeen met de basis van de ijskern in de pingo.

Een pingo kan dus, als gevolg van de wijze waarop hij ontstaat, veranderen in een pingoruïne (pingosmeltgat) die bestaat uit een ronde depressie, omgeven door een ringwal. Dit proces van degeneratie kan bij gelijkblijvende klimaatsomstandigheden plaatsvinden, maar kan vanzelfsprekend ook het gevolg zijn van veranderingen van het klimaat.

Pingoruïnes zijn buiten recente permafrostgebieden voor het eerst 'fossiel' aangetoond in Nederland door Maarleveld en Van de Toorn (1955).

Op grond van de ouderdom van de depressie, de vorm en het voorkomen van de ringwal maakten zij aannemelijk dat het Siegerswoudstermeer (Friesland) als een pingoruïne kan worden geïnterpreteerd. Uit recent onderzoek is gebleken, dat de pingo's in Nederland gevormd zijn tussen 25.000 en 18.000 voor heden (in C-14 jaren) en voor het merendeel in voormalige dalsystemen gelegen zijn (tabel I). De omvorming van pingo's in pingoruïnes vond plaats tussen 18.000 en 13.000 voor heden (in C-14 jaren).

De grootste diepte van een pingoruïne, die tot dusver gevonden is, bedraagt 17 meter (Hykermeer). Deze diepte geeft mogelijk de minimale diepte aan van de permafrostbasis in het Weichselien.

In vergelijking met onderzochte pingoruïnes in de Ardennen (Hautes Fagnes) en in Wales zijn de wallen rond de Nederlandse pingoruïnes zeer zwak ontwikkeld. Waarschijnlijk is een groot deel van de pingohuid verwaaid en verspoeld.

Omdat voor de ontstaanswijze van gesloten-systeem pingo's niet per definitie een gesloten talik aanwezig hoeft te zijn, maar dezelfde drukverschijnselen ook door een voor het water ondoordringbare kleilaag in de ondergrond kunnen ontstaan, deelt men tegenwoordig pingo's bij voorkeur in op grond van de wijze waarop de druk van het water tot stand komt, welke nodig is voor het aangroeien van een ijskern. Zo onderscheidt men thans hydrostatische pingo's, waarbij de druk wordt geleverd door een zich uitbreidend permafrost front, en hydraulische pingo's, waarbij de druk geleverd wordt door een hoger gelegen brongebied.

De pingo's die in het Weichselien in Nederland ontstonden, moeten tot het hydrostatische type gerekend worden. Op grond van hun landschappelijke ligging en gekonstateerde relatie met de geologische opbouw van de ondergrond, kunnen drie typen pingoruïnes worden onderscheiden.

Het Drentsche Aa-type komt voor in het bovenstroomse gedeelte van voormalige Pleniglaciale zijdalen van grotere dalsystemen en heeft een maximale diepte van ongeveer 8 meter. Dit is het meest voorkomende type, dat gedetailleerd onderzocht is in het stroomgebied van de Drentsche Aa.

Het tweede type is een variant van het Drentsche Aa-type. Het komt voor op die plaatsen waar uitlopers van dalsystemen zandintrusies in dikke keileempakketten aansnijden. Hierdoor ontstonden extreem diepe pingoruïnes.

Omdat het Mekelermeer een goed voorbeeld van dit tweede type is, worden deze pingoruïnes Mekelermeer-type genoemd.

Tenslotte komt een derde type voor, dat onafhankelijk van dalsystemen gevormd is, maar daar ontstaan is, waar klei of leemlagen in de ondergrond voorkomen. Het Uddelermeer is een goed voorbeeld van dit derde type.

Ook bij dit type pingoruïne worden diepten van meer dan 10 meter gevonden.

Dalsystemen

De aanwezigheid van permafrost heeft ook invloed gehad op de vorm en de dichtheid van het afwateringssysteem. Zij belemmerde de infiltratie in doorgaans goed doorlatende sedimenten. Hierdoor werden in gebieden met enig reliëf, met name in de randzones van het stuwwallengebied van de Veluwe, door 'oppervlakkige' erosie kleine dalsystemen gevormd.

Na het verdwijnen van de permafrost uit de bodem verloren deze afwateringsystemen hun functie. Ze bleven als zogenaamde 'droge dalen' in het landschap achter.

De in het huidige landschap noord-zuid georiënteerde dalsystemen laten veelal een asymmetrische dwarsdoorsnede zien. Dit is veroorzaakt doordat zowel tijdens de periode van de permafrost (het sediment van de active-layer verplaatst zich gemakkelijk over de bevroren ondergrond) als bij het verdwijnen ervan vervlakking van de hellingen optreedt.

Doordat de naar het oosten gerichte hellingen van deze dalen meer sneeuw en minder zon ontvangen, is deze vervlakking aan de oosthellingen intensiever dan die van de tegenovergestelde zijde.

Alhoewel er relatieve verschillen in de intensiteit van deze periglaciaire vervlakkingen zijn opgetreden, hebben deze processen er toe geleid dat een groot deel van Nederland vereffend is gedurende de Weichselien.

Slotbeschouwing

Vergelijking van de uit het Weichselien beschreven 'fossiele' vorstverschijnselen met overeenkomstige verschijnselen uit de huidige permafrostgebieden is een mogelijkheid om de ontstaanswijze van deze verschijnselen in Nederland te verklaren en het klimaat uit het verleden te rekonstrueren. Naast deze rekonstruktiemogelijkheid levert paleobotanisch onderzoek van stuifmeel, zaden en plantenresten aan afzettingen uit het Weichselien gegevens op omtrent de temperatuur, waarin bepaalde planten en plantengemeenschappen gedijde hebben.

Hetzelfde geldt voor faunaresten uit deze afzettingen. Wat dit laatste betreft is vooral het onderzoek aan insektenresten veelbelovend, omdat insekten sneller op klimaatsveranderingen reageren dan planten.

Vergelijking van de geologische en geomorfologische gegevens uit het Weichselien met paleontologische informatie leidt tot een grotere nauwkeurigheid bij de rekonstruktie van het klimaat.

De bestudering van fossiele periglaciaire verschijnselen maakt het mogelijk meer inzicht te verkrijgen omtrent de ontstaanswijze van het Nederlands landschap

Literatuur

- Franch, H.M., 1976 The Periglacial environment. Longman. London. 309 blz.
- Gans, W. de 1981 The Drentsche Aa valley system. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam. 132 blz.
- Hammen, T. van der en T.A. Wymstra 1971 The Upper Quaternary of the Emsel Valley (Twente, Eastern Overijssel, The Netherlands). Mededelingen Rijks Geologische Dienst, Nieuwe Serie 22, blz. 55-215.
- Kolstrup, E. 1980 Climate and stratigraphy in Northwestern Europe, between 30.000 BP and 13.000 BP with special reference to the Netherlands. Mededelingen Rijks Geologische Dienst, 32-15 blz. 181-253.
- Maarleveld, G.C. en J.C. van den Toorn 1955 Pseudo-sölle in Noord Nederland. Tijdschrift van het Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, tweede reeks, deel LXXII-4, blz. 344-360.
- Pannekoek, A.J. (red) 1982 Algemene Geologie, Groningen, Tjeenk Willink, 598 blz.
- Steenbeek, R. P., P. Cleveringa en W. de Gans 1982 Terreinvormen in Friesland uit de laatste ijstijd. It Beaken, Tydskrift fan de Fryske Akademy, 43-4, blz. 249-272.
- Washburn, A.L. 1979 Geocryology. A survey of periglacial processes and environments. Edward Arnold., 406 blz.
- Zagwijn, W.H. en C.J. van Staalduinen Red. 1975 Toelichting bij Geologische Dienst, 134 blz.

CHRONO STRATIGRAFIE		TIJD IN C-14 JAREN VOOR HEDEN	FOSSIELE IJSWIGGEN	PINGO'S	THERMOXARST MEER AFZETTINGEN	PERMAFROST
WEICHELLEN (WÜRM)	LAAT GLACIAAL	10.000				
	PLENIGLACIAAL	BOVEN	20.000	V	▨	▨
		MIDDEN	30.000	V		▨
	40.000		V		▨	▨
	ONDER	50.000	V			▨
VROEG GLACIAAL	60.000					
		+70.000				

Tabel 1 Indeling van het Weichselien en het voorkomen van permafrost en enkele daaraan gekoppelde fenomenen.