

Waterhardlagen: indicatoren van een voormalig veendek

L.W. Dekker⁺, A.H. Booij⁺, H.R.J. Vroon⁺ en G.J. Koopman⁺⁺

In Noord- en Zuidoostelijk Nederland komen plaatselijk waterhardlagen voor. Wij beschouwen ze als goede indicatoren voor de voormalige aanwezigheid van (oligotroof) veen. Overal waar namelijk waterhard voorkomt, is of was een veenpakket aanwezig. Zo waren tijdens de veen en zandafgraving in 1985 en 1986 in de omgeving van Weiteveen in Drenthe verrassende patronen in de zandondergrond waarneembaar van lagen met humusinspoeling, de zogenaamde waterhardlagen. Wij, vier bodemkundigen, maakten van deze unieke gelegenheid gebruik de oorsprong, vormen, kenmerken en hydrologische eigenschappen van waterhardlagen te bestuderen.

Waterhardlagen zijn bruine, jonge, humeuze inspoelingslagen in zandondergronden onder (voormalig) veen. Als gevolg van de inspoeling van disperse humus* is het poriënvolume van een waterhardlaag (ca. 30 vol. %) en de dichtheid groot (ca. 1,82 g/cm³). De doorlatendheid voor water is op veel plaatsen zeer klein. In die gevallen fungeert waterhard als een waterstagnerende dan wel waterkerende laag. Zelfs als ze verzadigd zijn met water, zijn waterhardlagen meestal bikkelhard en worden met een penetrometer* extreem grote indringingsweerstand (> 5 MPa) gemeten. In tegenstelling tot podzol B-horizonten lopen ze niet met het reliëf van het zandoppervlak mee, maar hebben ze meestal een ongeveer horizontaal verloop. Waterhardlagen hebben bepaalde voorkeursposities in het veld; ze komen niet in het hoogste en niet in het laagstgelegen dekzand voor, maar in een tussenpositie op de flanken van de ruggen. De onderkant ervan verloopt soms grillig bij onregelmatige sedimentaire gelaagdheid. Waterhard markeert soms zeer fraai geologisch ontstane bodemverschillen, zoals krypturbate verschijnselen* en fijnzandiger en lemiger ondergronden. Het wordt meestal ook aangetroffen in verticale vorstscheuren.

Nog vrij onbekend verschijnsel

In de ondergrond van (voormalige) veengebieden in het noordoostelijk en zuidoostelijk deel van ons land komen harde, bruine, humeuze lagen voor. Deze lagen zijn secundair gevormd, en kunnen dus niet als B-horizont van een (begraven) podzolprofiel beschouwd worden.

We treffen ze aan in dekzand, keizand en premorenaal zand*. De lagen zijn gevormd in het Holoceen en zijn ont-

staan door inspoeling van disperse humus uit een (voormalig) veenpakket op één of meerdere diepten in de zandondergrond. In de noordelijke provincies staan deze inspoelingslagen bekend als 'waterhardlagen'. Ze zijn namelijk doorgaans zo hard, dat er met de schop moeilijk doorheen te komen is. Waterhardlagen blijven ook hard als ze met water zijn verzadigd. Het zijn vaak minder goed doorlatende lagen, zodat het water erop kan stagneren (Dekker e.a., 1990; Vroon e.a., 1988). We hebben waterhardlagen uitvoerig bestudeerd en gefotografeerd in het Amsterdamsche Veld, in de omgeving van Weiteveen in Drenthe.

Daar kwamen bij een veen- en zanduitgraving op uitgebreide schaal waterhardlagen te voorschijn. Deze uitgraving leende zich uitstekend voor waarnemingen en metingen aan de verscheidene waterhardlagen. In dit artikel worden de belangrijkste waarnemingen besproken. Daarnaast willen we eens op een rijtje zetten wat er zoal over waterhard bekend is. Want hoewel waterhard veelvuldig voorkomt, is er in de literatuur maar weinig te vinden over dit verschijnsel (Koopman, 1986; 1988). Om een beeld te verkrijgen van de verspreiding van waterhard hebben we bodemkundige rapporten en veldbodemkundigen van het Staring Centrum geraadpleegd. Dit artikel behandelt achtereenvolgens het ontstaan, de vormen en kenmerken en de verspreiding van waterhardlagen. Daarna gaan we in op de gevolgen van waterhardlagen op de waterbeweging in deze gronden.

Ontstaan

In grote delen van Groningen, Friesland, Drenthe en Overijssel, maar ook in Brabant en Limburg ontstonden in het Holoceen de zogenaamde hoog-

veengebieden. Als gevolg van een vochtiger klimaat en een stijgende grondwaterspiegel ontwikkelde zich op de lagere, nattere zandgronden in eerste instantie eutroof*/mesotroof* verlandingsveen (riet- en zeggeveen), later grondwaterveen (moerasbosveen). Met name in het Atlanticum ontwikkelde zich op dit veen het oligotrofe* veenmosveen. Als regenwaterveen groeide dit in de vorm van bulten en slenken op het grondwaterveen, maar het breidde zich ook uit over de hogere zandgronden waar podzolprofielen voorkwamen. Al naar gelang de dikte van het ontwikkelde veenpakket werden als gevolg van die veenvorming moerige*, dan wel veengronden gevormd (De Bakker & Schelling, 1989). De moerige gronden vormen meestal de overgang van de zandgronden naar de veengronden. Ze kunnen ook door klink en 'slijtage' van een dikker veenpakket ontstaan uit veengronden (Booij, 1959). Volgens Booij (1976) had ontwatering van veengebieden (naast rijping* en veraarding*) ook aantasting van organische stof tot gevolg, onder andere veroorzaakt door uitdrogen en stukvriezen van het veenmosveen. De hierbij ontstane labiele humus* kan in disperse vorm overgaan en met regenwater naar beneden zakken. De disperse humus slaat neer op een plaats met een minder lage pH, waar zure en basische eigenschappen met elkaar in evenwicht zijn. In de praktijk kan disperse humus neerslaan in een wat minder zure veenlaag of op een plaats met een kleine textuursprong* in het zand, waar een (vaak uiterst geringe) pH-sprong behoort. Volgens Bakker e.a. (1986) zou een verandering in de pH van 0,1 al voldoende zijn voor het neerslaan van de humus. Disperse humus kan ook neerslaan op het niveau van het nieuwe grondwaterpeil, bij-

* zie verklarende woordenlijst

voorbeeld na algehele blijvende, dan wel tijdelijke, diepe ontwatering. Zo komt relatief jonge organische stof op allerlei plaatsen in het profiel voor. De disperse humus kan volgens Van Heuveln (1959; 1962) op verschillende manieren zijn neergeslagen:

- als doppleriet* tussen twee veensoorten en in holten en gangen; onder andere komen soms duidelijk horizontale laagjes doppleriet van enkele mm tot circa 1 cm dikte voor op de grens van het veenmosveen met het onderliggende zeggeveen of moerasbosveen;
- als gliede* in de bovenlaag van de minerale ondergrond, juist onder het veendeek;
- als aanrijking van het organisch materiaal in de B-horizont van het (begraven) podzolprofiel onder het veendeek (vaak worden deze sterk smerende lagen 'kazige B-lagen' genoemd);
- als waterhard in een of meerdere lagen in de minerale ondergrond. Deze waterhardlagen worden vaak aangetroffen op plaatsen waar zich in de zandondergrond een textuursprong bevindt, dat wil zeggen waar grover en/of minder lemig zand overgaat in fijner en/of lemiger zand.

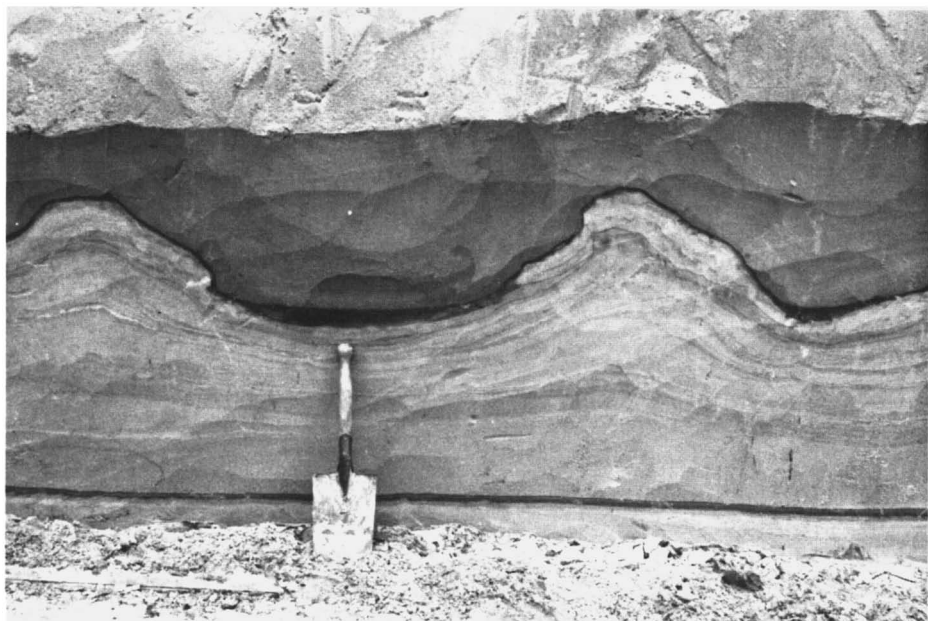
Vormen en kenmerken

Waterhardlagen verlopen over het algemeen horizontaal en aan de onderzijde soms zeer grillig (fig.1). Ze volgen dus niet het oppervlak, zoals podzol B-horizonten dat doen (Koopman, 1986). Soms komen meerdere waterhardlagen boven elkaar voor (fig.2). De diepte van de waterhardlaag houdt volgens De Smet (1969) en Van Heuveln (1959) verband met de diepte van de grondwaterstand in de vormingsperiode van de laag. Het organische-stofgehalte in waterhard varieert van 1 tot 5% (Koopman, 1986). Een donkerder kleur gaat hierbij samen met een hoger gehalte. Waterhard bestaat uit (dekzand) skeletkorrels, omgeven door een zeer dun filmpje ingespoeld organisch materiaal waarin nauwelijks klei aanwezig is.

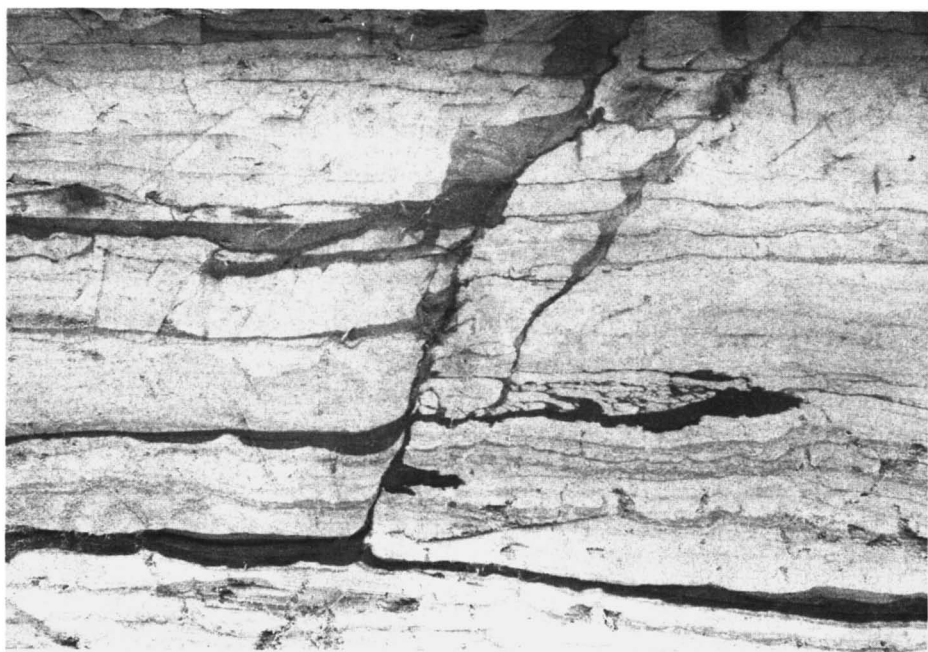
Tussen de skeletkorrels zijn flarden van zeer sterk op doppleriet gelijkend, organisch materiaal afgezet. Opvallend is de aanwezigheid van een relatief grote hoeveelheid aluminium en de afwezigheid van ijzer in waterhard, doppleriet en podzol B-horizonten onder het voormalige veen (Koopman, 1986).

Waterhard in Weiteveen

De kenmerken en vormen van waterhard konden wij zelf gedetailleerd bestuderen in de uitgraving bij Weiteveen, in het Amsterdamsche Veld. Dit gebied maakte deel uit van het uit-



Figuur 1. Waterhard in Oud dekzand bij Zuidbroek (Groningen). Waterhardlagen verlopen over het algemeen horizontaal en aan de onderzijde soms zeer grillig. Hier markeert waterhard duidelijk de kryoturbaatverschijnselen.



Figuur 2. Waterhardlagen profileren zich als donker gekleurde gedeelten in een wand van een uitgraving bij Weiteveen (Drenthe).

gestrekte hoogveengebied 'Het Boertanger Veen'. Onder het veen komt in het dekzand op de meeste plaatsen een humuspodzol voor, dat gevormd is vóór de overdekking met veen. Het dekzand heeft een dikte van 1 tot 4 meter en ligt op een discontinue keileemlaag. In het dekzand kunnen op verschillende dieptes dunne of dikkere waterhardlagen voorkomen (fig.2). Dat deze waterhardlagen hard en dicht zijn, blijkt ook uit de indringingsweerstand van vijf op diverse dieptes gelegen waterhardlagen, gemeten

met een penetrometer waarvan de conus een tophoek heeft van 60° en een basisoppervlakte van 1 cm². Bij alle vijf waterhardlagen was de mediaan (van telkens 25 metingen) meer dan 5 MPa, terwijl bij de tussenliggende zandlagen de mediaan van de indringingsweerstand steeds tussen 2,0 en 2,3 MPa lag.

Waterhard komt in het terrein meestal voor als een min of meer horizontale band. Dit is echter niet altijd het geval. Daar waar de sedimentaire gelaagdheid verstoord is, bijvoorbeeld door

oude boomwortels, kan waterhard een zeer grillig voorkomen hebben (fig.3). Soms zijn waterhardlagen zelfs verticaal gericht, door opvulling van oude vorstspleten met disperse humus. Voorbeelden hiervan zijn ook in figuur 2 te zien. Zeer karakteristiek voor waterhard zijn de 'boegvormige' lagen, die meestal verband houden met een vorstscheur als voedingsader van de disperse humus (fig. 4). Door deze boegvormen krijgt het waterhard, driedimensionaal bekeken, hier en daar het uiterlijk van een schotel met opstaande rand. We konden de vorstscheuren soms over een lengte van meer dan 20 meter vervolgen. Daarnaast constateerden we in het zand vaak hele dunne verticale spleetjes waarin ook waterhard voorkomt. In de profielwand van de uitgraving werd op een plek komvormig gelaagd dekzand aangetroffen. Tussen de regelmatig concentrisch opgebouwde laagjes waren er meerdere met waterhard, terwijl bovenin het profiel een enkele decimeters dikke waterhardlaag aanwezig was (fig.5). Volgens Koopman (1986) is waterhard vaak te vinden op flanken van hoge dekzandruggen of onder kleine opswellingen van het dekzandoppervlak (fig.6).

Verspreiding

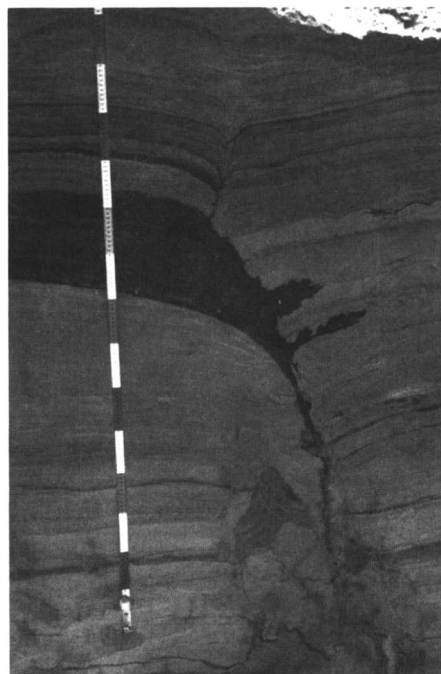
We kregen een indruk van de landelijke verspreiding van waterhardlagen uit een literatuuronderzoek van (voornamelijk) de beschrijvingen bij de diverse bodemkaarten. In figuur 7 zijn de gebieden aangegeven waar waterhardlagen zijn gesignaleerd. De ingespoelde humus is afkomstig van een bovenliggend veenpakket. Door afgraving, klink en oxydatie is vaak nog slechts een dunne moerige laag over. Er komen zandgronden, in casu veldpodzolgronden en laarpodzolgronden voor, waarbij van het veen zelfs geen moer meer is terug te vinden. De vindplaatsen van waterhard bij deze gronden zijn ons inziens dan ook interessante indicatoren voor historisch geografen bij hun poging tot reconstructie van voormalige veengebieden! In het navolgende wordt een korte beschrijving gegeven van de waterhardlagen die voorkomen in Friesland, Groningen, Drenthe, Overijssel, Noord-Brabant en Limburg en van de erbij aangetroffen bodemkundige situatie. Het betreft in alle gevallen waterhardlagen die binnen 120 cm - mv. (karteringsdiepte) voorkomen.

Friesland

Bij moerige podzolgronden in de Haskerveenpolder komt plaatselijk dieper dan 80 cm waterhard voor (Stiboka,

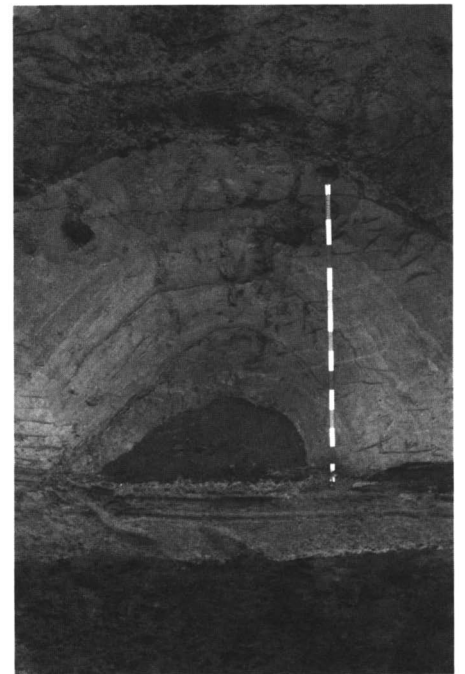


Figuur 3. Waterhard vertoont grillige vormen, bijvoorbeeld als de disperse humus is afgezet in fossiele boomwortelpatronen.



Figuur 4. Een vorstspleet in de zandondergrond fungeerde als humusleverancier of voedingsader bij het ontstaan van boeg- en puntervormige waterhardfiguraties.

1976a). Bij moerige podzolgronden in de Groote Noordwolderpolder en de Haanmeerpolder wordt plaatselijk tussen 100 en 120 cm diepte een waterhardlaag aangetroffen (Stiboka, 1970). Ook bij moerige podzolgronden in de omgeving van Marum, Beetsterzwaag en Gorredijk komt in het leemarme dekzand tussen 80 en 100 cm diepte vaak een harde, meestal compacte waterhardlaag voor. Deze wordt hier plaatselijk ook gevonden op de overgang naar de keileemondergrond (Stiboka, 1971). Maar ook bij veldpodzolgronden met



Figuur 5. Waterhard in concentrisch gevormde laagjes.

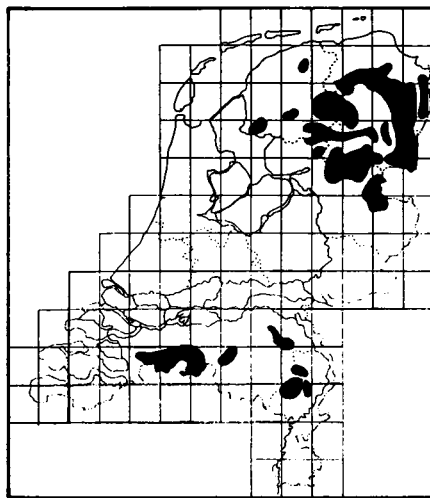
relatief hoge grondwaterstanden en in stroken langs beekdalen (Drachten, Bakkeveen en Oosterwolde) wordt in de ondergrond vaak waterhard waargenomen (Stiboka, 1971). Onder andere in de omgeving van Dantumawoude vindt men bij laarpodzolgronden een meer of minder harde waterhardlaag in de ondergrond, vooral daar waar op circa 120 cm of ondieper een sterk lemige laag ligt (Stiboka, 1981).

Groningen, Drenthe en Overijssel

Booij e.a. (1975) wijzen op waterhardlagen onder de dalgronden en in zandgronden van Oost-Groningen en Oost-

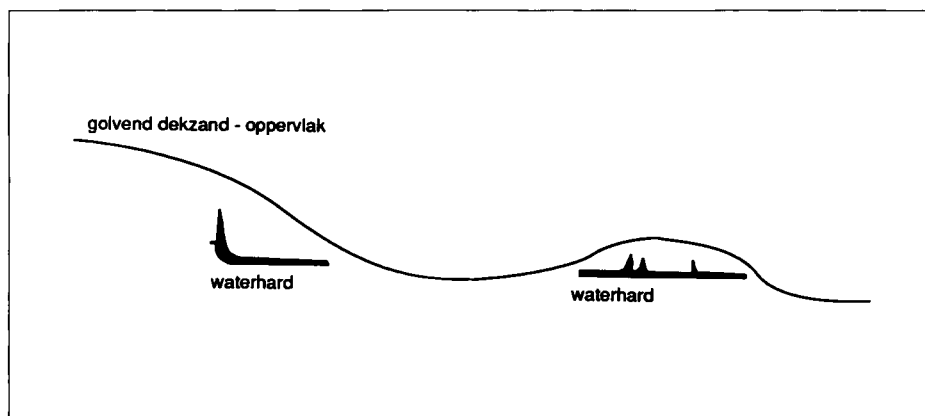
en Zuidoost-Drenthe. Ook in de oudere veenkoloniën (omgeving Oude Pekela en Musselkanaal) komen in de ondergrond nogal eens waterhardlagen voor. De Smet (1969) trof in de omgeving van Zuidbroek een waterhardlaag aan boven een laag Oud dekzand met kryoturbate verschijnselen (fig. 1). In de veenkoloniale gronden is gebleken dat de uit het veen uitgespoelde disperse organische stof tot diep in de zandondergrond kan zijn doorgedrongen, en daar meestal laagsgewijs als waterhard is afgezet (Stiboka, 1977). Van Heuveln & Rosing (1972) wijzen op waterhardlagen, op wisselende diepte en met uiteenlopende dikte, bij de moerige gronden met een veenkoloniaal dek en een zandondergrond zonder podzolprofiel, zoals die voorkomen in de Gronings-Drentse Veenkoloniën. Bij Hoogeveen werd in een veengrond in de zandondergrond van 115-125 cm een roodbruine waterhardlaag aangetroffen. Verder komen waterhardlagen voor in de ondergrond van de moerige podzolgronden op de kaartbladen (1 : 50 000) 17 West en 17 Oost Emmen (Stiboka, 1978). Op de kaartbladen 16 West en 16 Oost Steenwijk zijn bij meerveengronden, moerige podzolgronden en veldpodzolgronden plaatselijk waterhardlagen in de zandondergrond aangetroffen.

Rondom Giethoorn varieert de dikte van de waterhardlaag van enkele centimeters tot meer dan 15 cm (Makken, 1988). Op de kaartbladen 22 West en 22 Oost Coevorden komt bij veldpodzolgronden plaatselijk een waterhardlaag in de ondergrond voor (Staring Centrum, 1989).



Figuur 7. Overzicht van gebieden in Nederland waarin plaatselijk waterhardlagen, indicatoren van een voormalig veendek, zijn waargenomen.

textuurverandering in het profiel. Met name in het natuurreervaat de Groote Peel komt op veel plaatsen in de ondergrond waterhard voor (Stiboka, 1972). Op de kaartbladen 45 Oost 's Hertogenbosch en 46 West en 46 Oost Vierlingsbeek is op veel plaatsen in de zandondergrond een enkele centimeters dikke, scherp begrensde, bruine waterhardband aangetroffen bij de veldpodzolgronden met relatief hoge grondwaterstanden (Stiboka, 1976b). Maar ook op veel andere plaatsen in Noord-Brabant en Limburg zijn tijdens bodemkarteringen in de zandondergrond over het algemeen relatief dunne waterhardlagen waargenomen (mondelijke mededelingen van de



Figuur 6. Preferente lokaties van waterhardlagen in dekzand.

Noord-Brabant en Limburg

Bij natte veldpodzolgronden met relatief hoge grondwaterstanden is in de ondergrond een enige centimeters dikke, scherp begrensde waterhardlaag aangetroffen. Deze laag bevat ongeveer 2% humus en is op de meeste plaatsen ontstaan boven een abrupte

veldbodemkundigen B.J. Bles, W.H. Leenders en D.J. Groot Obbink). Zo constateerden zij waterhardlagen in de Astense Peel, Mijelse Peel en de Mariapeel, en in de omgeving van Oisterwijk, Alphen, Riel, Etten Leur, Wouw en Baarle Nassau.

Hydrologische eigenschappen

Het is in het veld vaak duidelijk gebleken, dat waterhard stagnerend kan werken op het verticale watertransport in de grond. Booij e.a. (1975) hebben waterhard dan ook opgenomen bij de waterstagnerende lagen die zij onderscheiden. Bij het graven van profielkuilen is ook vaak waargenomen dat water over de waterhardlaag de kuil instroomde, terwijl de laag eronder droog was en het grondwater ver beneden deze laag stond. Er is dan sprake van een schijngrondwaterspiegel. Ook in de uitgraving van Weiteveen trad water uit over een aangesneden waterhardlaag. Daarbij filterde de verticale wand van het onderliggende dekzand het meegevoerde organische materiaal (fig. 8). Een onderzoek met ondiep en diep geplaatste grondwaterstandsbuizen bevestigde dat waterhardlagen schijngrondwaterspiegels kunnen veroorzaken (Staring Centrum, 1989). Vooral de laatste jaren worden het ontstaan en de instandhouding van venetjes nogal eens in verband gebracht met de aanwezigheid van een waterhardlaag (Baaijens, 1984; Bakker, 1984; Bakker e.a., 1986; Projectgroep Sellinger, 1982). Ondermeer op grond van de voorkeurspositie van waterhard betwijfelen wij echter of er wel venetjes op waterhard zijn ontstaan. Bij een aantal onderzochte venen in de omgeving van Sellinger troffen we dan ook niet de door Projectgroep Sellinger (1982) aangenomen waterhardlaag aan, maar een slecht doorlatende, vette gliedelaag op een eveneens slecht doorlatende, sterk kazige B-horizont (Dekker e.a., 1986). Uit een groot aantal doorlatendheidsmetingen van waterhardmonsters blijkt dat waterhard soms zeer slecht doorlatend is, maar dat er ook wel lagen met een matige tot goede doorlatendheid voorkomen (Dekker e.a., 1990; Vroon e.a., 1988). De doorlatendheid hangt onder meer samen met de mate waarin de poriën tussen het zand opgevuld zijn met humus, wat zich ook uit in de dichtheid van de grond en het poriënvolume. Bij de onderzochte waterhardmonsters was het poriënvolume gering (28,6 - 31,6 vol. %) en de dichtheid groot (1,80 - 1,85 g/cm³). Dat waterhard ook waterkerend kan zijn, blijkt uit de volgende twee voorbeelden. Bij Oranjedorp groeven wij een profielkuil, waarbij op 110 cm diepte een waterhardlaag voorkwam. Toen wij een gat in het waterhard boorden, spoot het grondwater naar boven. Wij adviseerden de boer die het perceel wilde diep ploegen uiteraard om boven de waterhardlaag te blijven. In de Giethoornse polder kwam een perceel voor dat te nat was voor akkerbouw. Er kwam een



Figuur 8. Water treedt over waterhard uit de profielwand. De door preferente stroombaantjes mee-gevoerde humus wordt op het onderliggende dekzand afgezet.

circa 30 cm dikke waterhardlaag voor en de boer dacht, dat de te hoge grondwaterstanden veroorzaakt werden door stagnatie op het waterhard. De laag werd daarom verbroken, maar het gevolg was dat het water nog hoger kwam: het waterhard had het kwelwater gekeerd. De boer heeft het perceel vervolgens in grasland gelegd.

Summary

Hard, brown layers consisting of a sandy matrix with some organic matter locally occur in the subsoil of cover

sands in the northeastern and southeastern part of The Netherlands. These layers are called 'waterhard', because they do not lose their hardness when permanently wet. 'Waterhard' layers occur in cover sands, which are or were covered by a blanket of peat. That's the reason why we consider 'waterhard' layers to be good indicators for reconstructing former peat areas. The brown color is due to organic matter resembling dopplertite and occurring both as coatings and infillings among quartz grains. Due to the illuviation of disperse humus the pore volu-

me is low (approx. 30 vol. %) and the bulk density is high (approx. 1.82 g/cm³). Because the hydraulic conductivity may be low, water sometimes stagnates on the 'waterhard' layers.

Adressen van de auteurs:

- + Staring Centrum, Marijkeweg 11, 6709 PE Wageningen
- ++ Prof. H.C. van Hall Instituut (Rijks Agrarische Hogeschool), Hereweg 99, 9700 AA Groningen

Verklarende woordenlijst

disperse humus: humus die gemakkelijk vervloeit en hierdoor naar diepere lagen kan verplaatsen.

penetrometer: apparaat waarmee de indringingsweerstand van de grond kan worden gemeten.

kryoturbate verschijnselen: vervorming van lagen door herhaalde vorst- en dooiwerking.

premorenaal zand: verzamelnaam voor alle zand ouder dan de laatste ijstijd.

eutroof: voedselrijk.

mesotroof: matig voedselrijk.

oligotroof: voedselarm.

moerige gronden: gronden waarbij tussen 0 en 80 cm diepte minder dan 40 cm moerig materiaal voorkomt.

moerig materiaal: verzamelnaam voor veen, zandig veen, kleig veen, venig zand en venige klei.

rijping: verandering van slappe, natte gronden in stevige grond.

veraarding: omzetting van veen in humus door bacteriën en andere bodemdieren.

labiele humus: humus die gemakkelijk overgaat in disperse vorm.

textuursprong: snelle overgang van grover en/of minder lemig zand in fijner en/of lemiger zand en omgekeerd.

dopplertiet: zwart gekleurde, amorf, voor bijna 100% zuiver humus.

gliede: een donkerbruin tot zwarte, meer of minder zandhoudende en veelal sterk smerende, moerige laag zonder herkenbare plantenresten.

Literatuur

- Baaijens, G.J., 1984. Venen en mensen: water en vuur. In: F.H. Everts & N.P.J. de Vries: Het Dwingelderveld; Deelrapport vegetatie. Laagland bekenrapport no.8: 8-45.
- Bakker, H. de & J. Schelling, 1989. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. Centrum voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie Wageningen. 209 blz.
- Bakker, T.W.M., 1984. Het Dwingelderveld; Deelrapport nr. 29; geohydrologie. Staatsbosbeheer, 175 blz.
- Bakker, T.W.M., I.I.Y. Castel, F.H. Everts & N.P.J. de Vries, 1986. Het Dwingelderveld, een Drents heidelandschap. Pudoc, Wageningen, 198 blz.
- Booij, A.H., 1959. Drentse dalgronden, uniforme gronden? Boor en Spade X: 97-105.
- Booij, A.H., 1976. Iets over de Drents-Groningse Veenkoloniën. De Buffer 3: 50-77.
- Booij, A.H., G. Rutten & G.P. Wind, 1975. Reconstructie gebied Oost-Groningen en Gronings-Drentse Veenkoloniën en Streekgebied Oost- en Zuidoost Drenthe. Rapport nr. 1198. Stiboka/I.C.W., Wageningen.
- Dekker, L.W., M.H. Bannink & A.H. Booij, 1986. Bodemkundig en bodemfysisch onderzoek naar de invloed van grondwaterstandsverlaging op wegzijging van water uit vennen nabij Sellingen. Rapport nr. 1859. Stiboka, Wageningen, 52 blz.
- Dekker, L.W., H.R.J. Vroon & A.H. Booij, 1990. Gebruik van profiellak bij het nemen van ongestoorde monsters voor bodemfysische bepalingen. H2O 25: 691-693.
- Heuveln, B. van, 1959. Ouderdomsbepaling van humus in een humuspodzolprofiel onder veen volgens de 14 C-methode. Boor en Spade X: 27-38.
- Heuveln, B. van, 1962. Organic B in high moor peat and high moor peat reclamation soils. Boor en Spade XII: 169-177.
- Heuveln, B. van & H. Rosing 1972. Reconstructiegebied Gronings-Drentse Veenkoloniën. Rapport nr. 997. Stiboka, Wageningen, 40 blz.
- Koopman, G.J., 1986. Waterhard, wat het is en wat er hard aan is... Fysisch Geografische en Bodemkundige Opstellen nr. 19. Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde. Rijksuniversiteit Groningen, 98 blz.
- Koopman, G.J., 1988. 'Waterhard': A hard brown layer in sand below peat, The Netherlands. Geoderma 42: 147-157.
- Makken, H., 1988. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000; toelichting bij de kaartbladen 16 West Steenwijk en 16 Oost Steenwijk. Wageningen, 167 blz.
- Projectgroep Sellingen, 1982. De invloed van grondwaterstandsverlaging op enkele heidevennen rond Sellingen. Rapport van de wetenschapswinkel biologie, nr. 10. Rijksuniversiteit Groningen, 17 blz.
- Smet, L.A.H. de, 1969. De Groninger veenkoloniën (westelijk deel). Bodemkundige en landbouwkundige onderzoeken in het kader van de bodemkartering. Versl. Landbouwk. Onderz. 722. Pudoc, Wageningen, 165 blz.
- Staring Centrum, 1989. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij de kaartbladen 22 West Coevorden en 22 Oost Coevorden. Wageningen, 171 blz.
- Stiboka, 1970. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij de kaartbladen 15 West en 15 Oost Staveren. Wageningen, 146 blz.
- Stiboka, 1971. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij kaartblad 11 Oost Heerenveen. Wageningen, 126 blz.
- Stiboka, 1972. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij de kaartbladen 57 Oost Valkenswaard en 58 West Roermond. Wageningen, 172 blz.
- Stiboka, 1976a. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij kaartblad 11 West Heerenveen. Wageningen, 140 blz.
- Stiboka, 1976b. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij de kaartbladen 45 Oost 's Hertogenbosch en 46 West-46 Oost Vierlingsbeek. Wageningen, 209 blz.
- Stiboka, 1977. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij kaartblad 12 Oost Assen. Wageningen, 169 blz.
- Stiboka, 1978. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij de kaartbladen 17 West Emmen en 17 Oost Emmen. Wageningen, 221 blz.
- Stiboka, 1981. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000; toelichting bij de kaartbladen 6 West en 6 Oost Leeuwarden en het vaste land van de kaartbladen 2 West en 2 Oost Schiermonnikoog. Wageningen, 181 blz.
- Vroon, H.J.R., L.W. Dekker & J.M.H. Hendrickx, 1988. A method for measuring hydraulic properties of brittle soil horizons. Soil Science Society of America Journal 52, 1: 292-294.

GEOVARIA

H. Huisman

Gesmolten zwavel uit vulkanen

Bij vulkanische uitbarstingen komt meestal een groot aantal producten uit de krateropening. Gassen horen daar ook bij. En zwavel in de vorm van het gasvormige zwaveldioxide is daar een van. Zwavel is een belangrijk nevenprodukt bij actieve vulkanen. Maar dat er poelen van gesmolten zwavel ontdekt zijn op de bodem een vulkaankrater in Costa Rica in Midden-Amerika is nieuw. Weliswaar is eerder bij andere vulkanen vloeibaar zwavel waargenomen, maar dat in combinatie met het uitvloeien van lava. Het bijzondere aan de meertjes met vloeibare zwavel in de vulkaan Pias in Costa Rica is, dat het materiaal aan de oppervlakte komt zonder dat er sprake is van actief vulkanisme. De zwavelpoelen hebben een

diameter van tussen de 20 en 30 meter. Zwavel heeft een smelttemperatuur die hoger is dan het kookpunt van water, n.l. 112° C. Hoe de gesmolten zwavel in de poelen kon komen, is door een paar Britse onderzoekers uitgezocht. In de krater van de vulkaan bevond zich aanvankelijk een kratermeer, dat gevuld was met water met een bijzonder hoge zuurgraad. Deze hoge zuurgraad was te danken aan opstijgende zwavelhoudende gassen, die reacties aangingen met het water.

Uiteindelijk werd hierdoor ook zwavel op de bodem van het meer afgezet, vermengd met allerlei sediment. Sinds het ontstaan van het kratermeer, zo'n 20 jaar geleden, zijn er op deze manier grote hoeveelheden zwavel in de bodemsedimenten terecht gekomen. Aangezien de smelttemperatuur van zwavel hoger is dan die van water, is het mogelijk dat water voor de aanvoer van zwavel verantwoordelijk is geweest.

Door opstijgend magma tot dicht onder het oppervlak van de kratervloer werd het water in het meer verwarmd waardoor het relatief snel kon verdampen. Vorig jaar is het meer drooggevalen. Dit had als gevolg dat de temperatuur in de achergebleven sedimenten snel kon oplopen tot waarden voorbij de 112° C, nodig om zwavel te laten smelten. Momenteel is de temperatuur ruim 116° C. Via poriën en spleten kon de zwavel, door zijn geringe dichtheid vrij gemakkelijk naar de oppervlakte doordringen en zich daar in kleine poelen verzamelen. Daar, blootgesteld aan de atmosfeer, zou de zwavel moeten stollen, althans een gestolde korst moeten gaan vormen. Verrassend is, dat dit niet gebeurt. Zwavel blijft namelijk vloeibaar door een constante toevloed van hete vulkanische gassen, zonder dat daarbij een gestolde korst ontstaat.

Nature 790