
Preventie van preferente stroming in de zandgrond van een golfbaan

Klaas Oostindie, Louis Dekker, Demie Moore,

Jan Wesseling en Coen Ritsema¹

Veel zandbovengronden met een grasvegetatie hebben waterafstotende eigenschappen. Deze hydrofobe eigenschappen komen naar voren als het vochtgehalte van de grond beneden een kritieke grens daalt. Na het bereiken van deze grens zal de infiltratiesnelheid van neerslag en beregeningswater sterk afnemen. De indringing van het water gaat dan ongelijkmatig en er ontstaan preferente stroombanen in de grond en grote verschillen in vochtgehalte. Op golfbaan “De Pan” in Bosch en Duin onderzochten we de effecten van het toedienen van een surfactant op de bevochtiging en de variatie van het vochtgehalte van de toplaag in een fairway. Ook werd onderzocht of hiermee het ontstaan van waterafstotendheid in de bovengrond en de vorming van, voor het milieu nadelige, preferente stroming kan worden voorkomen.

Inleiding en achtergrond

Onder bepaalde omstandigheden kan een grond waterafstotend worden. Dit heeft duidelijke gevolgen voor het hydrologisch gedrag zoals water- en stoffentransport, gewasgroei en risico op verontreiniging van grond- en oppervlaktewater (Dekker, 1985; Dekker en Ritsema 1994 en 1996b). Omdat waterafstotendheid kan resulteren in vermindering van beschikbaar water voor de plant, lagere gewasopbrengsten en verminderde kwaliteit van het gras op sportvelden en golfbanen, krijgt het onderzoek naar dit fenomeen op het ogenblik veel aandacht van wetenschappers en mensen uit de praktijk (Ritsema e.a., 1993; Dekker e.a., 2004; Wang e.a., 2000; Ziogas e.a., 2005).

Voor zover wij weten is de oudste publicatie over waterafstotendheid die van Lawes e.a. uit 1883. Het betreft hier een onderzoek naar de waterafstotendheid in “Fairy Rings”, ofwel heksenkringen. Een onderzoek naar de waterafstotendheid van het zand in een Drentse heksenkring in Bunne en de mythe die bij dit soort heksenkringen behoort werden uitvoerig beschreven in de tweede jaargang van Stromingen door Dekker en Ritsema (1996a).

Schreiner en Shorey (1910) behoren tot de eersten die over het bestaan van waterafstotende gronden publiceerden. Bij het beschrijven van het effect van organische componenten op het vochthoudend vermogen van gronden schreven zij:

¹ Klaas Oostindie (klaas.oostindie@wur.nl), Ir. Jan G. Wesseling (jan.wesseling@wur.nl) en Prof. Dr. Coen J. Ritsema (coen.ritsema@wur.nl) zijn medewerkers en Dr. Louis W. Dekker (louis.dekker@wur.nl) is gastmedewerker bij Alterra Wageningen, Centrum Bodem, Team Bodemfysica en Landgebruik. Prof. Dr. Coen J. Ritsema is tevens werkzaam bij de Leerstoelgroep Erosie en Bodem- en Waterconserving van Wageningen Universiteit. Demie Moore (demie.moore@aquatrols.com) werkt bij Aquatrols, Paulsboro NJ, Verenigde Staten van Amerika.

“...there was found in California a soil which could not be properly wetted, either by man, by rain, irrigation, or movement of water from the subsoil, with the result that the land could not be used profitably for agriculture. On investigation it was found that this peculiarity of the soil was due to the organic material, which when extracted had the properties of a varnish - repelling water to an extreme degree”.

Dekker e.a. (2005b) publiceerden in 2005 een bibliografie waarin zij aangaven dat er sinds 1883 meer dan 1200 theoretische en op de praktijk gerichte wetenschappelijke artikelen zijn verschenen met betrekking tot waterafstotendheid van de grond. Inmiddels bevat deze bibliografie al meer dan 1600 artikelen, waaruit de toegenomen interesse van onderzoekers blijkt voor het ontrafelen van de oorzaken, het in kaart brengen van de gevolgen, en mogelijke management strategieën voor het wijdverbreide voorkomen van waterafstotendheid. De laatste jaren is deze interesse geïntensiveerd en zijn een aantal speciale uitgaven over het onderwerp gepubliceerd, onder andere in *Geoderma* (Steenhuis e.a., 1996), in het *Journal of Hydrology* (Ritsema en Dekker, 2000), in de *Australian Journal of Soil Research* (Ritsema en Dekker, 2005), in *Biologia* (Dekker e.a., 2006) en in *Hydrological Processes* (Doerr e.a., 2007).

Volgens Dekker e.a. (2005b) is waterafstotendheid bestudeerd in landbouwgronden en natuurgebieden in tenminste 21 staten van Amerika, maar ook in Australië, Brazilië, Canada, Chili, China, Colombia, Congo, Denemarken, Duitsland, Egypte, Ecuador, Finland, Frankrijk, Griekenland, Hong Kong, India, Israël, Italië, Japan, Mali, Mexico, Nepal, Nederland, Nieuw-Zeeland, Polen, Portugal, Rusland, Slovenië, Slowakije, Spanje, Taiwan, Turkije, Venezuela, Zuid-Afrika en Zweden. Uit het grote aantal plaatsen waar waterafstotendheid van de grond is waargenomen, is het duidelijk dat waterafstotendheid niet geografisch of klimatologisch gebonden is. In feite komen waterafstotende gronden in zowel humide als aride en semi-aride gebieden over de gehele wereld voor (Jaramillo e.a., 2000; Moral García e.a., 2005; Ritsema e.a., 2008).

Hoewel waterafstotendheid het gemakkelijkst ontstaat in zandgronden (Jungerius en Dekker, 1990; Hendrickx e.a., 1993) is het ook vastgesteld in leem-, klei- en veengronden (Dekker en Ritsema, 1996b; Doerr e.a., 2006). Overigens spelen ook de begroeiing en het landgebruik een rol. Zo zijn zware komkleigronden onder gras in droge perioden waterafstotend, terwijl ze bij bouwlandgebruik goed bevochtigbaar zijn (Dekker, 1998). Ook zijn zandgronden in bouwland duidelijk minder waterafstotend dan die in natuurgebieden en onder gras (Dekker e.a., 2001b).

Er zijn verscheidene oorzaken van waterafstotendheid gevonden. Het blijkt altijd om organische verbindingen te gaan die als een coating op zandkorrels en structurelementen voorkomen, of er tussen aanwezig zijn als organisch materiaal (Bisdorf e.a., 1993).

Organische stoffen met hydrofobe (waterafstotende) eigenschappen komen in de biosfeer overvloedig voor en kunnen geleidelijk in de grond terechtkomen. Voorbeelden zijn wasachtige substanties van bladeren, dennennaalden, (gras)wortels, schimmels en microben (Moral García e.a., 2005; Ritsema e.a., 2008).

De mate van waterafstotendheid van gronden loopt sterk uiteen. In sommige gevallen zal water na enkele seconden infiltreren en de grond bevochtigen, in andere gevallen zal dit pas na enkele uren gebeuren. Ook kan er zelfs in het geheel geen bevochtiging plaatsvinden. Waterafstotendheid is een eigenschap van de grond die alleen optreedt als de grond beneden een kritiek bodemvochtgehalte komt (Dekker en Ritsema, 1994; Dekker e.a., 2001a). Is de grond droger dan deze kritieke grens dan vertoont hij zijn waterafstotend gedrag en bij een vochtgehalte daarboven is hij goed bevochtigbaar. Dit

kritieke vochtgehalte is niet alleen verschillend voor iedere grond, maar ook voor iedere bodemlaag. Bij zandgronden is het kritieke bodemvochtgehalte bijvoorbeeld hoger naarmate er meer organische stof in zit.

Voor het bepalen van de mate van waterafstotendheid wordt vaak de waterdruppelpenetratietijd (WDPT) gemeten. Hierbij worden met een pipet druppels gedestilleerd water op het oppervlak van een grondmonster geplaatst en de tijd van volledige infiltratie ervan gemeten. Indien gemeten wordt op veldvochtige grondmonsters dan wordt de actuele waterafstotendheid bepaald. Als het gedroogde monsters zijn dan wordt de potentiële waterafstotendheid bepaald (Dekker en Ritsema, 1994). Het meten op gedroogde monsters raden we af, omdat de temperatuur tijdens het drogen een belangrijke invloed heeft op de mate van waterafstotendheid (Dekker e.a., 1998). De waterafstotendheid door het drogen kan namelijk toenemen (Ritsema e.a., 2008), afnemen of zelfs geheel verdwijnen (Ziogas e.a., 2005).

Waterafstotendheid heeft grote gevolgen voor het transport van water en opgeloste stoffen in de grond. Als het bodemoppervlak waterafstotend is zal regenwater niet onmiddellijk in de grond infiltreren maar afstromen naar lagere plekken. Daarnaast leidt waterafstotendheid tot een instabiel vochtfront in de grond met als gevolg het optreden van een ongelijkmatige bevochtiging en het ontstaan van preferente stroombanen (Van Ommen e.a., 1988; Hendrickx e.a., 1993; Ritsema en Dekker, 1995; Nguyen e.a., 1999; Bauters e.a., 2000). Via deze preferente stroombanen kunnen opgeloste meststoffen, insecticiden en pesticiden in het grond- en oppervlaktewater terechtkomen, hetgeen inhoudt dat de toediening minder effectief is en dat er meer milieuvervuiling optreedt (Steenhuis e.a., 1995).

Het gebruik van surfactants (die de oppervlaktespanning verlagen) en het op tijd toepassen van beregning kunnen ervoor zorgen dat het bodemvochtgehalte boven de kritieke waarde blijft. Hierdoor kan waterafstotendheid worden voorkomen (Moore en Moore, 2005; Dekker e.a., 2005a; Oostindie e.a., 2006) en daarmee een homogene bevochtiging van de grond worden bevorderd.

In dit artikel gaan we uitvoerig in op de invloed van de toediening van een surfactant op de vochtopname in de oppervlaktelaag van een van de fairways van golfbaan “De Pan” in Bosch en Duin. Ook is beschouwd of hiermee de ontwikkeling van waterafstotendheid en het optreden van preferente stroming in deze zandgrond kan worden voorkomen.

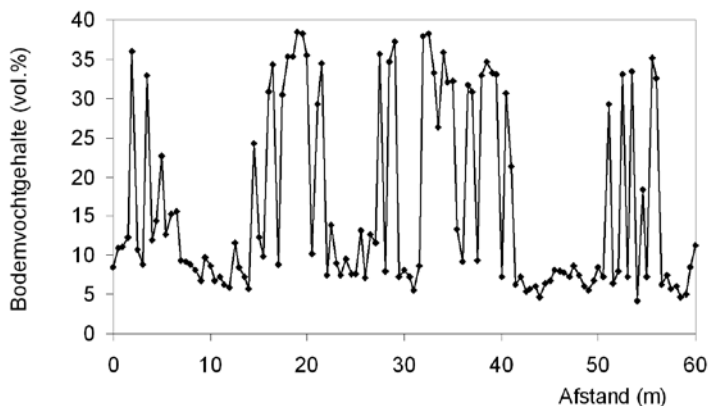
De bodemopbouw van de fairways

De fairways van golfbaan “De Pan” in Bosch en Duin zijn aangelegd op kalkloze bindendduinen met fijn zand tot meer dan 2 m diepte. Direct onder het 1 à 2 cm dikke zodelaagje van deze grasbanen bedraagt het organische stofgehalte op gewichtsbasis 6% en het neemt daarna met de diepte af tot 4% op 10 cm en 2% op 20 cm. Op 30 cm diepte is het organische stofgehalte ca 1%. De 20 à 25 cm dikke bovengrond van alle 18 fairways vertoont tijdens droge perioden een waterafstotend gedrag, wat zich ook uit in het optreden van lokale droge plekken met een geelbruine verkleuring van het gras en een minder dicht grasbestand (Oostindie e.a., 2005a; 2005b; 2006).

Vochtgehalte en grasgroei van de fairway in 2003

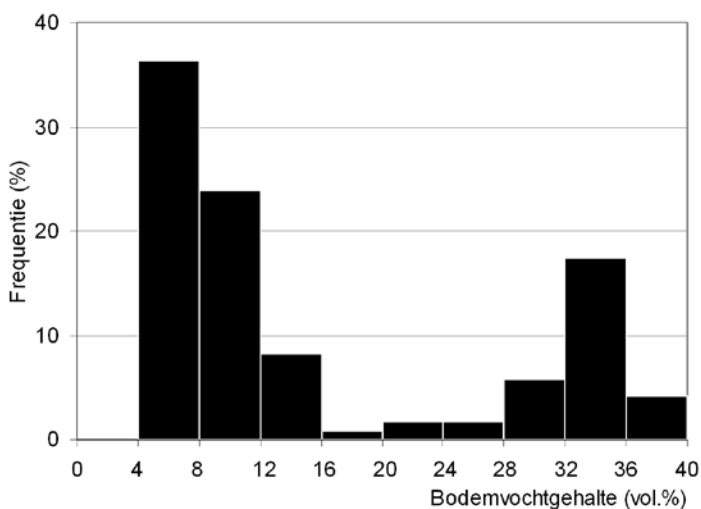
Na een droge periode in juli 2003 vertoonde fairway 9 een onregelmatig patroon van enerzijds droge plekken met geelbruin gras en anderzijds vochtige plekken met groen gras. Met beregenen alleen lukte het niet om de droge plekken te bevochtigen en de fair-

way weer een homogeen en groen aanzien te geven. Integendeel, dagelijkse berekening maakten het contrast tussen de geelbruine en groene plekken nog groter.



figuur 1: Vochtgehalten gemeten op 28 juli 2003 in de toplaag van de fairway over een afstand van 60 m met intervallen van 50 cm.

Op 28 juli 2003 hebben we het volumetrisch vochtgehalte van de bovenste 5 cm van de fairway handmatig gemeten met een TDR instrument over een afstand van 60 meter met intervallen van een halve meter. De vochtgehalten van deze 120 metingen liepen uiteen van 4 tot 38 vol.%, zoals te zien is in het diagram van figuur 1. Deze grote vochtverschillen komen op zeer korte afstand van elkaar voor, vaak al binnen een halve meter. In figuur 2 is van deze metingen de verdeling van de relatieve frequentie weergegeven in vochtclassen met intervallen van 4 vol.%. De figuur toont een bimodale verdeling met



figuur 2: Frequentieverdeling van het vochtgehalte in de toplaag op 28 juli 2003.

een piek van 36% van het totaal aantal metingen in de klasse 4-8 vol.% en een tweede piek met 18% van het totale aantal in de klasse 32-36 vol.%.

Behandeling fairway en meetmethoden

Een surfactant dient ertoe om de oppervlaktespanning te verlagen, waardoor het water gemakkelijker in de bodem kan infiltreren. In 2004 en 2005 is de helft van fairway 9 in de lengterichting vier keer behandeld met een uniek gemodificeerde blok co-polymeer surfactant, terwijl de andere helft onbehandeld bleef. In beide jaren werd in mei, juni, juli en augustus per 100 m² fairway 190 ml surfactant (opgelost in 8 liter water) aan het oppervlak toegevend.



figuur 3: Het vaststellen van actuele waterafstotendheid in de golfbaan met behulp van een smalle gutsboor (foto gemaakt door Demie Moore).

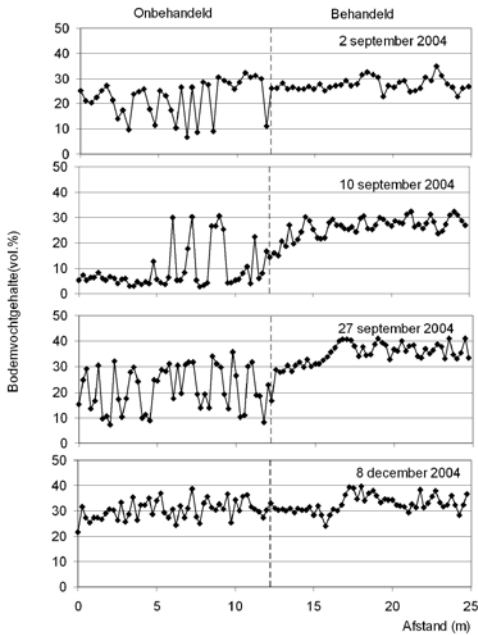
We hebben 12 keer dwars over het onbehandelde en behandelde gedeelte met het TDR-apparaat het volumetrisch vochtgehalte van de bovenste 5 cm gemeten over een lengte van 25 m met intervallen van 25 cm.

Vanaf 10 september 2004 hebben we op de plekken waar we vocht maten tevens de actuele waterafstotendheid in de bovenste 25 cm van de onbehandelde en behandelde strook vastgesteld. Hiervoor maakten we gebruik van een smalle steekboor met een diameter van 1,5 cm waarmee we grondkolommetjes van 25 cm lengte staken. Met een pipet plaatsten we op gelijkmatige afstanden druppels gedestilleerd water op de kolommetjes om te bepalen of de grond op dat moment waterafstotend was, zoals gedemonstreerd wordt met figuur 3. Indien de waterdruppels binnen 5 sec infiltreerden werd de grond als goed bevochtig-

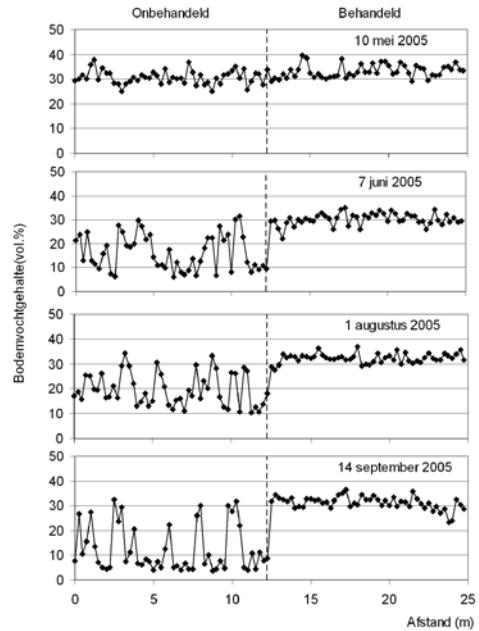
baar beschouwd, als het langer duurde als waterafstotend. Het meten van de mate van waterafstotendheid, door de tijd te bepalen waarin de druppels in de grond verdwijnen, hebben we niet uitgevoerd, omdat dit in het veld nogal tijdrovend is. Vaak infiltreren de waterdruppels in waterafstotend zand namelijk niet binnen 1 uur. De dikte en diepte van de waterafstotende zandlagen werden opgemeten en genoteerd.

Vochtgehalten en vochtverschillen in de toplaag

Na de vier toedieningen van surfactant kwamen op 2 september 2004 tussen de toplaag van de onbehandelde en de behandelde strook van de fairway grote verschillen voor in het vochtgehalte. In de onbehandelde strook varieerde het vochtgehalte op korte afstand tussen 8 en 32 vol.%, terwijl in de behandelde strook slechts een variatie tussen 22 en 36 vol.% werd vastgesteld, zoals geïllustreerd in het bovenste diagram van figuur 4. Op 10 september was het vochtgehalte in de toplaag in de onbehandelde strook op een groot aantal plekken afgenomen tot minder dan 10 vol.%, maar plaatselijk kwamen ook gehalten voor van 30 vol.%. Het vochtgehalte was in de behandelde strook op dat moment duidelijk hoger en varieerde tussen 25 en 30 vol.%. Figuur 4 toont verder dat in de onbehandelde strook op 27 september het vochtgehalte in de toplaag op zeer korte



figuur 4: Vochtgehalten in de toplaag van de onbehandelde en behandelde strook van de fairway op vier meetdagen in 2004.



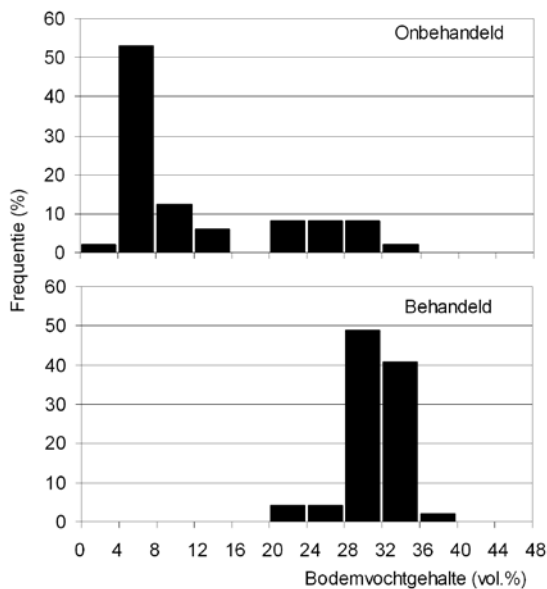
figuur 5: Vochtgehalten in de toplaag van de onbehandelde en behandelde strook op vier meetdagen in 2005.

afstand schommelde tussen 10 en ruim 30 vol.%, terwijl in de behandelde strook opnieuw geen lage vochtgehalten werden gemeten, maar voornamelijk gehalten tussen 30 en 40 vol.%. Op 8 december 2004 waren de verschillen in het gemiddelde vochtgehalte en de variatie ervan tussen de twee stroken gering, omdat door overvloedige regenval het onbehandelde deel van de fairway uiteindelijk ook nat was geworden. Wel kwamen er in de onbehandelde strook wat meer metingen met iets lagere vochtgehalten voor, in dit geval van 25-30 vol.%, dan in de behandelde strook.

Ook direct na de winterperiode waren de vochtverschillen tussen de behandelde en onbehandelde strook gering. Bij metingen op 10 mei 2005 varieerden de vochtgehalten in de onbehandelde strook tussen 25 en 39 vol.% en in de behandelde strook tussen 29 en 40 vol.%, zoals is weergegeven in het bovenste diagram van figuur 5. Drie weken later kwamen er echter duidelijke verschillen in vochtgehalte van de toplagen voor. Op 7 juni was het vochtgehalte namelijk op verscheidene plekken in de onbehandelde strook minder dan 10 vol.% en werden er direct naast vaak hoge vochtgehalten vastgesteld, zelfs tot 31 vol.%. In de toplaag van de behandelde strook werd geen laag vochtgehalte waargenomen. Daar schommelde het op bijna alle plekken rond de 30 vol.%.

Ook op 1 augustus 2005 was de toplaag in de behandelde strook homogeen vochtig met gehalten die fluctueerden tussen 30 en 35 vol.%. De toplaag van de onbehandelde strook vertoonde weer grote verschillen op korte afstand met gehalten tussen 10 en 35 vol.% (figuur 5).

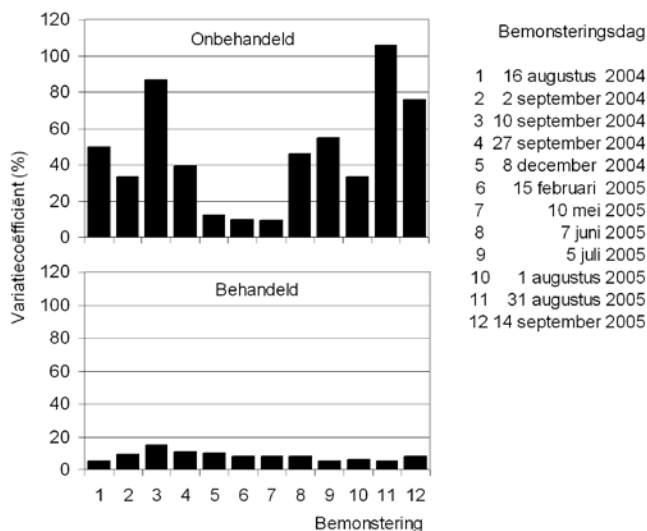
Op 14 september 2005 kwamen in de toplaag van de onbehandelde strook op korte afstand extreme verschillen in vochtgehalte voor. Binnen 25 cm van elkaar werden verscheidene keren vochtgehalten gemeten van zo'n 3 à 5 vol.% en 28 à 30 vol.%. De



figuur 6: Frequentieverdeling van het vochtgehalte in de toplaag van de onbehandelde en behandelde strook op 14 september 2005.

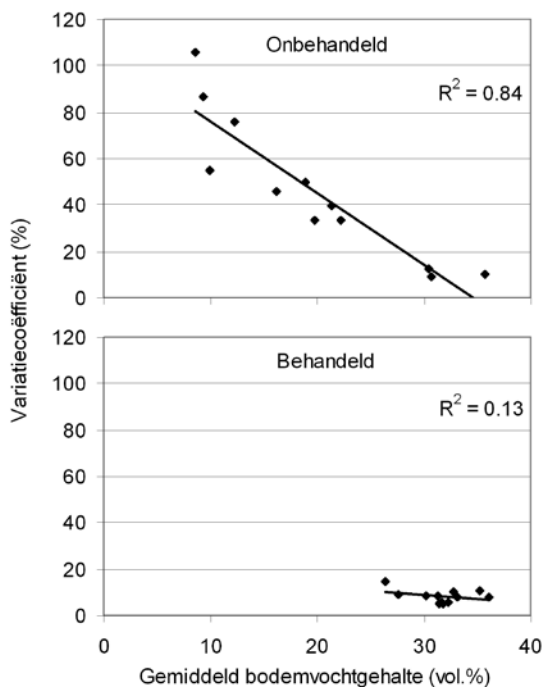
toplaag van de behandelde strook was echter weer op alle plekken vochtig met gehalten fluctuerend van 28 tot 35 vol.%.

Het grote verschil in de variabiliteit van het vochtgehalte in de toplaag tussen de onbehandelde en de inmiddels 8 keer behandelde strook van de fairway worden ook



- Bemonsteringsdag
- 1 16 augustus 2004
 - 2 2 september 2004
 - 3 10 september 2004
 - 4 27 september 2004
 - 5 8 december 2004
 - 6 15 februari 2005
 - 7 10 mei 2005
 - 8 7 juni 2005
 - 9 5 juli 2005
 - 10 1 augustus 2005
 - 11 31 augustus 2005
 - 12 14 september 2005

figuur 7: Variatiecoëfficiënt van het vochtgehalte in de toplaag van de onbehandelde en behandelde strook op 12 meetdagen.



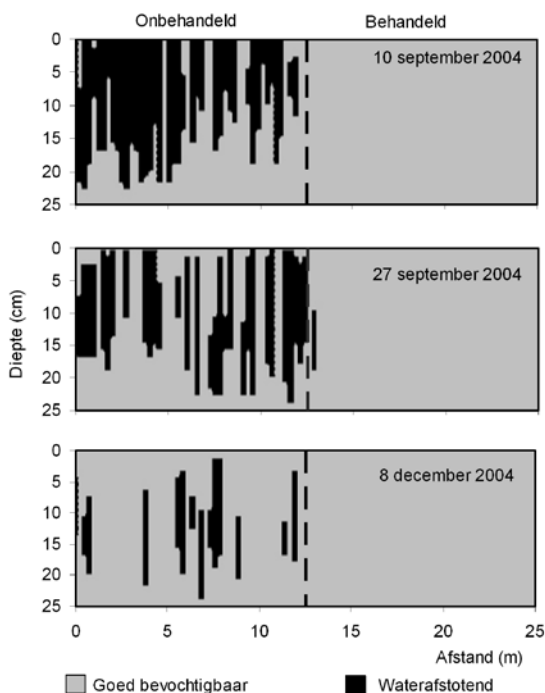
figuur 8: Verband tussen de variatiecoëfficiënt en het gemiddelde vochtgehalte van de toplaag in de onbehandelde en behandelde strook op de 12 meetdagen.

duidelijk geïllustreerd in de diagrammen van figuur 6. De frequentieverdeling in het bovenste diagram toont aan dat op 14 september meer dan 50% van de plekken in de toplaag van het onbehandelde deel van de fairway een vochtgehalte had van 4-8 vol.%. In het onderste diagram is te zien dat bijna 90% van de plekken in het behandelde deel een vochtgehalte had tussen 28 en 36 vol.%.

De enorme verschillen van het vochtgehalte in de toplaag tussen de behandelde en onbehandelde strook van de fairway blijken ook duidelijk uit de variatiecoëfficiënt. Zoals in figuur 7 is te zien was deze op alle 12 bemonsteringsdagen voor de behandelde strook minder dan 20%. Dit in tegenstelling tot de onbehandelde strook, waar de variatiecoëfficiënt op 9 van de twaalf bemonsteringsdagen uiteenliep van 25 tot meer dan 100%. Alleen tussen 8 december 2004 en 10 mei 2005 was de variatiecoëfficiënt voor het vochtgehalte in de toplaag van het onbehandelde deel van de fairway betrekkelijk laag.

Voor de onbehandelde strook is de variatiecoëfficiënt het grootst bij gemiddeld lage bodemvochtgehalten en neemt duidelijk af bij gemiddeld hogere gehalten (figuur 8). Het sterke negatieve verband tussen het gemiddelde vochtgehalte en de variatiecoëfficiënt blijkt uit de correlatiecoëfficiënt van 0,91. In het behandelde deel is de variatiecoëfficiënt onafhankelijk van het gemiddelde bodemvochtgehalte, wat tot uiting komt in de lage correlatiecoëfficiënt (figuur 8).

Concluderend kan worden gesteld dat het geregeld toedienen van deze surfactant leidt tot homogene vochtverdelingen in de toplaag van de fairway op golfbaan “De Pan”, en dat zelfs in de zomerperiode vochtgehalten aanzienlijk hoger blijven ten opzichte van de onbehandelde fairway. Dit zal uiteraard de grasgroei positief beïnvloeden.

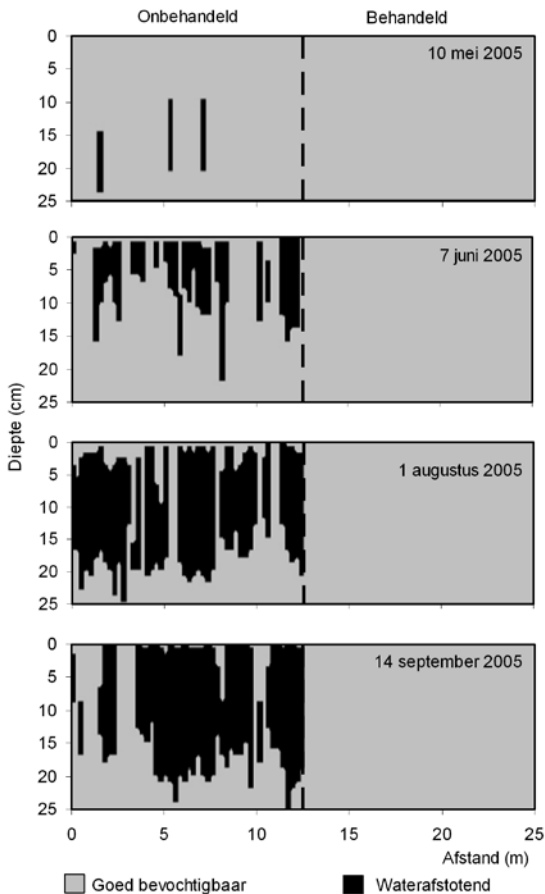


figuur 9: Contouren van actuele waterafstotendheid in de bovengrond van de onbehandelde en behandelde strook op 3 meetdagen in 2004.

Actuele waterafstotendheid en preferent transport

Bij een overgroot deel van de gestoken grondkolommetjes in het onbehandelde deel van de fairway werd op 10 september 2004 een waterafstotende laag vastgesteld. In de meeste gevallen was de bovengrond vanaf het oppervlak tot een diepte van 10 à 20 cm waterafstotend (figuur 9). Dit betekent dat een groot deel van de bovengrond was uitgedroogd tot onder het kritieke bodemvochtgehalte. Het vochtgehalte van de bovenste 5 cm was op dat moment op de meeste plekken minder dan 10 vol.% (zie ook figuur 4). Op een aantal plekken werden echter vochtgehalten van 15 à 30 vol.% gemeten, waarbij het zand een vochtgehalte had boven de kritieke grens en daarmee goed bevochtigbaar was. Deze nattere plekken vormen met elkaar de preferente stroombaantjes in het profiel, die ook duidelijk in figuur 9 te zien zijn. Regen en beregeningswater worden met de daarin opgeloste stoffen versneld naar de ondergrond getransporteerd. In het 4 maal met surfactant behandelde deel van de fairway werden in het geheel geen grondkolommetjes met waterafstotendheid vastgesteld (figuur 9).

Hoewel op 27 september het vochtgehalte in de toplaag sinds 10 september duidelijk was toegenomen kwam in een groot deel van de onbehandelde strook nog waterafstotend zand voor. Wel was het aantal preferente stroombaantjes toegenomen, zoals in het 2e diagram van figuur 9 is te zien. Op 8 december waren weliswaar de toplaag en een groot deel van het zand tot 25 cm diepte goed bevochtigbaar geworden, maar daarnaast kwamen op meerdere plekken toch nog waterafstotende kolommetjes voor.



figuur 10: Contouren van actuele waterafstotendheid in de bovengrond van de onbehandelde en behandelde strook op 4 meetdagen in 2005.

Niet alleen in 2004 maar ook in 2005 werd in de behandelde strook geen waterafstotend zand meer aangetroffen in de 50 gestoken kolommetjes op de diverse bemonsteringsdagen, zoals ook weergegeven in de rechter diagrammen van de figuren 9 en 10.

Tussen 8 december 2004 en 10 mei 2005 (met in totaal 343 mm neerslag) is het bodemprofiel in de onbehandelde strook van de fairway uiteindelijk toch voor het grootste gedeelte goed bevochtigbaar geworden. Op enkele plekken werd nog een waterafstotende zandlaag aangetroffen tussen 10 en 23 cm diepte, zoals te zien in het bovenste diagram van figuur 10. Het vochtgehalte in de bovenste 5 cm van de fairway schommelde op 10 mei rond 30 vol.%.

Nog geen vier weken later, op 7 juni, was op verscheidene plekken in de onbehandelde strook het vochtgehalte in de bovenste 15 cm van het profiel alweer gedaald tot onder het kritieke bodemvochtgehalte, met actuele waterafstotendheid tot gevolg. Het diagram in figuur 10 toont het opnieuw ontstaan van waterafstotend zand aan in combinatie met de vorming van preferente stroombanen met goed bevochtigbaar zand. Een enorme variatie van vochtgehalten, op korte afstand variërend van 5 tot 39 vol.%, werd op dat

moment gemeten in de toplaag van de onbehandelde strook, terwijl in de behandelde strook het vochtgehalte vrijwel op alle plekken boven de 25 vol.% was (zie figuur 5).

Een sterke toename van actuele waterafstotendheid in de onbehandelde strook vond daarna plaats, zodat op 1 augustus op de meeste plekken tussen 1 en 20 cm diepte waterafstotend zand voorkwam, slechts afgewisseld met enkele preferente stroombaantjes. Ruim zes weken later, op 14 september, werd min of meer een zelfde situatie aangetroffen (figuur 10). Het contrast tussen deze actuele waterafstotende zandlagen in het onbehandelde deel en de goed bevochtgbare zandlagen in het behandelde deel van de fairway was op beide dagen enorm. Dit gold trouwens ook voor de verschillen tussen beide delen in gemiddeld vochtgehalte en de variatie daarvan in de toplaag (zie figuur 5).

Het aanzien van de fairway

Op alle bemonsteringsdagen was de grasgroei en kleur van het gras op de behandelde strook aanzienlijk beter dan op het onbehandelde deel van de fairway. Het gras was niet alleen veel regelmatig groen, maar ook veranderde de samenstelling van de planten. Zo verdween in de behandelde strook geleidelijk het duizendblad (*Archillea milifolium*), een indicator voor droge groeiomstandigheden van de grond. Na vier surfactant toedieningen werd het bijna niet meer aangetroffen, terwijl het nog volop aanwezig was in de onbehandelde strook. Het effect van de toediening van de surfactant op de kleur van het gras en op de dichtheid van het grasbestand was kort na de tweede toediening al duidelijk zichtbaar.

De behandelde strook van de fairway (diagonaal in het midden van figuur 11) komt ook prachtig tot uiting op de luchtfoto, gemaakt door de heer G.F. Lampe. Rechts op de foto zijn ook de bruine droge plekken op twee andere fairways met dezelfde waterafstotendheidsproblemen te zien.

Conclusies

De ruimtelijke variabiliteit van het vochtgehalte in de bovenste 5 cm van de onderzochte fairway op zand is vaak aanzienlijk. Vlak naast elkaar kunnen in de oppervlaktelaag vochtgehalten voorkomen van 5 vol.% en meer dan 35 vol.% (figuur 1). De veelvuldige aanwezigheid van enerzijds droge en anderzijds natte plekken komt ook duidelijk naar voren in de bimodale frequentieverdeling van het vochtgehalte (figuur 2).

De bovenste 25 cm van de zandige fairway heeft waterafstotende eigenschappen. Dit betekent, dat als het zand uitdroogt tot een kritiek vochtgehalte, de opname van water daarna zeer moeilijk wordt (figuur 3). Een groot deel van de bovengrond kan dan actueel waterafstotend worden, waardoor regen en beregeningswater over het oppervlak naar lagere delen kunnen stromen. Daarnaast vindt infiltratie van water in het bodemprofiel plaats via preferente stroombaantjes, waardoor in de bovenste 25 cm op korte afstand waterafstotend naast goed bevochtigbaar zand voorkomt, zoals ook te zien is voor het onbehandelde deel van de fairway in de figuren 9 en 10.

Behandeling van de potentieel waterafstotende fairway met een surfactant heeft duidelijk geleid tot een meer gelijkmatige bevochtiging van de wortelzone en heeft het ontstaan van actuele waterafstotendheid in de grond voorkomen. De surfactant verbeterde duidelijk de wateropname en het vochthoudend vermogen van de bovengrond. Hij minimaliseerde enerzijds het optreden van oppervlakkige afstroming en voorkwam anderzijds de ontwikkeling van preferente stroombanen (figuren 9 en 10).



figuur 11: Het behandelde en onbehandelde deel van de fairway zijn duidelijk te herkennen aan de verschillen in grasgroei (foto gemaakt op 17 juli 2005 door de heer G.F. Lampe).

Op alle bemonsteringsdagen was in het behandelde deel van de fairway het gemiddelde vochtgehalte in de bovenste 5 cm van de grond hoger dan het vochtgehalte op die diepte in het onbehandelde deel. De grote vochtverschillen die op korte afstand voorkwamen in de toplaag van het onbehandelde deel werden door het toedienen van de surfactant in het behandelde deel geëlimineerd (figuren 4 en 5). De sterke afname van de ruimtelijke variabiliteit van het vochtgehalte in de toplaag van het behandelde deel blijkt ook uit de lage variatiecoëfficiënt van het gemiddelde vochtgehalte in vergelijking met die van het onbehandelde deel (figuren 7 en 8).

In een goed bevochtigbare grond is de hoeveelheid water die in het profiel wordt geborgen veel groter dan in een waterafstotende grond. Hierdoor wordt het aanwezige water dan ook minder snel verplaatst door neerslag en beregening dan in een waterafstotende grond met preferente baantjes. Het gewas op een goed bevochtigbare grond profiteert daardoor meer van het water en de meststoffen en bovendien wordt het grondwater minder verontreinigd.

De grasmat heeft in het behandelde deel van de fairway voordelen van de verbeterde omstandigheden en is daarom ook minder stressgevoelig in bijvoorbeeld droge zomers. Het experiment met het toedienen van de surfactant toont ook een duidelijke verbetering aan van de graskwaliteit, dichtheid van de zode en kleur van het grasoppervlak (figuur 11). Het waterafstotende gedrag van de grond wordt er goed mee bestreden. Het biedt ook gunstige perspectieven voor het watergebruik, omdat vanwege de gelijkmatiger indringing van water in de wortelzone veel minder irrigatiewater nodig is.

Literatuurverwijzingen

- Bauters, T.W.J., T.S. Steenhuis, D.A. DiCarlo, J.L. Nieber, L.W. Dekker, C.J. Ritsema, J-Y. Parlange en R. Haverkamp (2000)** *Physics of water repellent soils*; in: *Journal of Hydrology*, vol 231-232, pag 233-243.
- Bisdom, E.B.A, L.W. Dekker en J.F.Th. Schoute (1993)** *Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure*; in: *Geoderma*, vol 56, pag 105-118.
- Dekker, L.W. (1985)** *Opname van water in moeilijk bevochtigbare zand- en veengronden*; in: *Cultuurtechnisch Tijdschrift*, vol 25, pag 121-131.
- Dekker, L.W. (1998)** *Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils*; *Doctoral Thesis, Wageningen Agriculture University, the Netherlands*, 240 pag.
- Dekker, L.W. en C.J. Ritsema (1994)** *How water moves in a water repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency*; in: *Water Resources Research*, vol 30, pag 2507-2517.
- Dekker, L.W. en C.J. Ritsema (1996a)** *Zwammen in de weide; Een nuchtere kijk in de bodem van een magische cirkel*; in: *Stromingen*, vol 2(2), pag 5-16.
- Dekker, L.W. en C.J. Ritsema (1996b)** *Preferente stroming en vochtpatronen in waterafstotende zavel- klei- en veengronden*; in: *Stromingen*, vol 2(4), pag 23-35.
- Dekker, L.W., C.J. Ritsema, K. Oostindie en O.H. Boersma (1998)** *Effect of drying temperature on the severity of soil water repellency*; in: *Soil Science*, vol 63, pag 780-796.
- Dekker, L.W., S.H. Doerr, K. Oostindie, A.K. Ziogas en C.J. Ritsema (2001a)** *Water repellency and critical soil water content in a dune sand*; in: *Soil Science Society of America Journal*, vol 65, pag 1667-1674.
- Dekker, L.W., K. Oostindie, A.K. Ziogas, C.J. Ritsema (2001b)** *The impact of water repellency on soil moisture variability and preferential flow*; in: *International Turfgrass Society Research Journal*, vol 9, pag 498-505.
- Dekker, L.W., C.J. Ritsema en K. Oostindie (2004)** *Dry spots in Golf Courses: Occurrence, Amelioration, and Prevention*; in: *Acta Horticulturae*, vol 661, pag 99-104.
- Dekker, L.W., K. Oostindie, S.J. Kostka en C.J. Ritsema (2005a)** *Effects of surfactant treatments on the wettability of a water repellent grass-covered dune sand*; in: *Australian Journal of Soil Research*, vol 43, pag 383-395.
- Dekker, L.W., K. Oostindie en C.J. Ritsema (2005b)** *Exponential increase of publications related to soil water repellency*; in: *Australian Journal of Soil Research*, vol 43, pag 403-441.
- Dekker, L.W., P.D. Hallett, L' Lichner, V. Novák en M. Sír, editors (2006)** *Special issue; Biohydrology: Impact of biological factors on soil hydrology*; in: *Biologia*, vol 61/suppl. 19, S223-S362.
- Doerr, S.H., R.A. Shakesby, L.W. Dekker en C.J. Ritsema (2006)** *Occurrence, prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land use types in a humid temperate climate*; in: *European Journal of Soil Science*, vol 57, pag 741-754.
- Doerr, S.H., C.J. Ritsema, L.W. Dekker, D.F. Scott en D. Carter, editors (2007)** *Special issue; Soil water repellency: origin, environmental controls and hydrological impact*; in: *Hydrological Processes*, 21 (17), pag 2223-2404.
- Hendrickx, J.M.H., L.W. Dekker en O.H. Boersma (1993)** *Unstable wetting fronts in water repellent field soils*; in: *Journal of Environmental Quality*, vol 22, pag 109-118.
- Jaramillo, D.F., L.W. Dekker, C.J. Ritsema en J.M.H. Hendrickx (2000)** *Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates*; in: *Journal of Hydrology*, vol 231-232, pag 105-111.

- Jungerius, P.D. en L.W. Dekker (1990)** *Water erosion in the dunes. Dunes of the European coasts*; in: *Catena Supplement*, vol 18, pag 185-193.
- Lawes, J.B., J.H. Gilbert, R. Warrington (1883)** *Contribution to the chemistry of "Fairy Rings"*; in: *Journal Chemical Society*, vol 43, pag 208-223.
- Moore D. en Moore R.A. (2005)** *The good, bad and the practical: The evolution of soil wetting agents for managing soil water repellency*; in: *Turfnet Monthly*, 12 (11), 1-4.
- Moral García, F.J., L.W. Dekker, K. Oostindie en C.J. Ritsema (2005)** *Water repellency under natural conditions in sandy soils of southern Spain*; in: *Australian Journal of Soil Research*, vol 43, pag 291-296.
- Nguyen, H.V., J.L. Nieber, C.J. Ritsema, L.W. Dekker en T.S. Steenhuis (1999)** *Modeling gravity driven unstable flow in a water repellent soil*; in: *Journal of Hydrology*, vol 215, pag 188-201.
- Oostindie, K., L.W. Dekker, C.J. Ritsema en J.G. Wesseling (2005a)** *Effects of surfactant applications on the wetting of sands in fairways of the Dutch golf course De Pan*; *Alterra Report*, 1144, 84 pag.
- Oostindie K., C.J. Ritsema, L.W. Dekker en M. Lampe (2005b)** *Revolutie op de fairway*; in: *Groen & Golf*, vol 2, pag 12-13.
- Oostindie, K., L.W. Dekker, J.G. Wesseling en C.J. Ritsema (2006)** *Effects of the surfactant Revolution on soil wetting and turf performance of fairways and greens at the Dutch golf course De Pan*; *Alterra special issue*, 2006, 95 pag.
- Ritsema, C.J. en L.W. Dekker (1995)** *Distribution flow: A general process in the top layer of water repellent soils*; in: *Water Resources Research*, vol 31, pag 1187-1200.
- Ritsema, C.J. en L.W. Dekker, editors (2000)** *Special issue: Water repellency in soils. Journal of Hydrology*, vol 231-232, 434 pag.
- Ritsema, C.J. en L.W. Dekker, editors (2005)** *Special issue: Behaviour and management of water repellent soils*; in: *Australian Journal of Soil Research*, vol 43, pag 225-441.
- Ritsema, C.J., L.W. Dekker, J.M.H. Hendrickx en W. Hamminga (1993)** *Preferential flow mechanism in a water repellent sandy soil*; in: *Water Resources Research*, vol 29, pag 2183-2193.
- Ritsema, C.J., L.W. Dekker, K. Oostindie, D. Moore en B. Leinauer (2008)** *A practical field method for determining soil water repellency and critical soil water content*; *Book chapter in Step-by-Step Field Analyses (S.D. Logsdon et al., editors) Soil Science Society of America (in press)*.
- Schreiner, O en E.C. Shorey (1910)** *Chemical nature of soil organic matter*; in: *USDA Bureau Soils Bulletin*, vol 74, pag 2-48.
- Steenhuis, T.S., L.W. Dekker, J-Y. Parlange en C.J. Ritsema (1995)** *Hoe snelle stroming door preferente banen het grondwater kan verontreinigen*; in: *H2O* vol 28, pag 118-121.
- Steenhuis, T.S., C.J. Ritsema en L.W. Dekker, editors (1996)** *Special Issue; Fingered flow in unsaturated soil: From Nature to Model*; in: *Geoderma*, vol 70 (2-4), pag 83-326.
- Van Ommen, H.C., L.W. Dekker, R. Dijkema, J. Hulshof en W.H. Van der Molen (1988)** *A new technique for evaluating the presence of preferential flow paths in nonstructured soil*; in: *Soil Science Society of America Journal*, vol 52, pag 1192-1193.
- Wang, Z., Q.J. Wu, L.Wu, C.J. Ritsema, L.W. Dekker en J. Feyen (2000)** *Effects of soil water repellency on infiltration rate and flow instability*; in: *Journal of Hydrology*, vol 231-232, pag 265-276.

Ziogas, A.K., L.W. Dekker, K. Oostindie, C.J. Ritsema (2005) *Soil water repellency in northeastern Greece with adverse effects of drying on the persistence; in: Australian Journal of Soil Research, vol 43, pag 281-289.*

