

Waterafstotendheid: een veel voorkomend verschijnsel in de natuur

Voortschrijdend inzicht in het fenomeen waterafstotendheid

LOUIS W. DEKKER, COEN J. RITSEMA, KLAAS OOSTINDIE EN JAN G. WESSELING

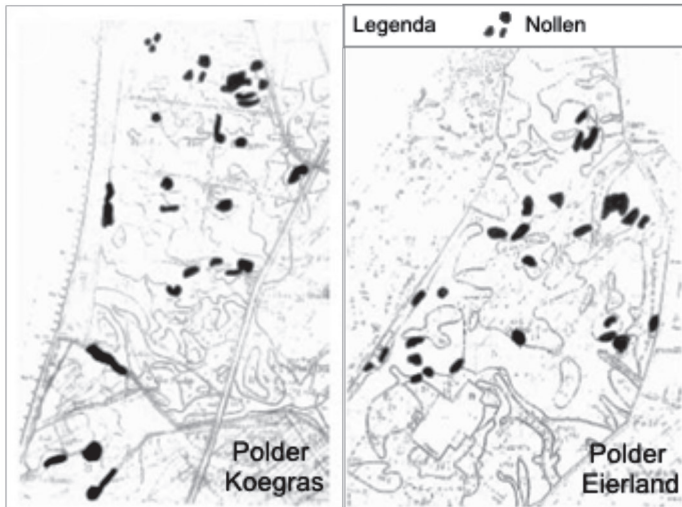
Artikel

Tussen 1950 en 1988 werd door bodemkundigen over het algemeen verondersteld, dat een droge zandbovengrond het gevolg was van een te diepe grondwaterstand, waardoor de capillaire opstijging vanuit het grondwater naar de wortelzone te gering was. Door bodemfysici werd in die tijd ook algemeen aangenomen dat droog zand sneller en meer water opzuigt dan vochtig zand. In tegenstelling hiermee vertelden verscheidene landgebruikers dat een droge zandbovengrond juist moeilijk beregeningswater opneemt. Een onderzoeker van het I.C.W. werd eind jaren zeventig bij een onderzoek naar het verloop van de bevochtiging van het zand in een perceel met suikerbieten, verrast dat ondanks veel neerslag sinds de vorige bemonstering het vochtgehalte was afgenomen. Bij een nader onderzoek bleek tevens dat in de bovengrond niet een verwachte min of meer homogene bevochtiging, maar preferente stroombanen tussen droog zand voorkwamen. Eind jaren tachtig werd eerst duidelijk, dat de hiervoor beschreven verschijnselen verklaard konden worden met de aanwezigheid van waterafstotendheid in deze gronden. Inmiddels is aangetoond dat waterafstotendheid op meerdere manieren voorkomt in de natuur. Diverse planten- en diersoorten beschikken over waterafstotende eigenschappen die voor hen van levensbelang zijn. In dit artikel zullen wij een aantal voorbeelden van hydrofobie bij bodems, planten en dieren beschrijven.

De bevochtiging van nollen

In de zandgebieden van de polder Koegras, gelegen in de kop van Noord-Holland, en in de polder Eierland op Texel, werden in 1963 zo'n vijftientig kleine lage zandduintjes waargenomen in het veld (afbeelding 1). In droge perioden was de grasgroei op deze zogenoemde nollen opvallend slecht (Du Burck e.a., 1963). Toen Louis Dekker, auteur van dit artikel, in november 1956 bij de bodemkartering van Koegras werd betrokken, was deze polder al voor een groot deel in kaart gebracht. De droogte van de nollen werd toen verklaard door de diepte van het grondwater. De grondwaterstand kwam in het omringen de zand nooit lager dan 100 cm beneden maaiveld, maar in de circa 50 cm hogere nollen wel. De diepste grondwaterstand kon worden waargenomen aan de diepte van de blauwe kleuromslag (reductie door ontbreken van zuurstof) in het profiel. Bij deze diepere grondwaterstand in de nollen was de capillaire opstij-

ging van het grondwater in het bodemprofiel uiterst gering. Vreemd was echter wel dat eind november, na een aantal regenrijke perioden, de bovengrond van de nollen nog steeds weinig water bevatte. Hiervoor kon toen geen duidelijke verklaring worden gegeven. In 1962 werd door Dekker de bodem van de polder Eierland gekarteerd (Du Burck e.a., 1963) waarbij in het noordelijk deel een groot aantal nollen werd vastgesteld (afbeelding 1).



Afbeelding 1 Nollen, zoals eertijds voorkomend in (links) de polder Koegrass en (rechts) in de polder Eierland op Texel (naar Du Burck e.a., 1963)

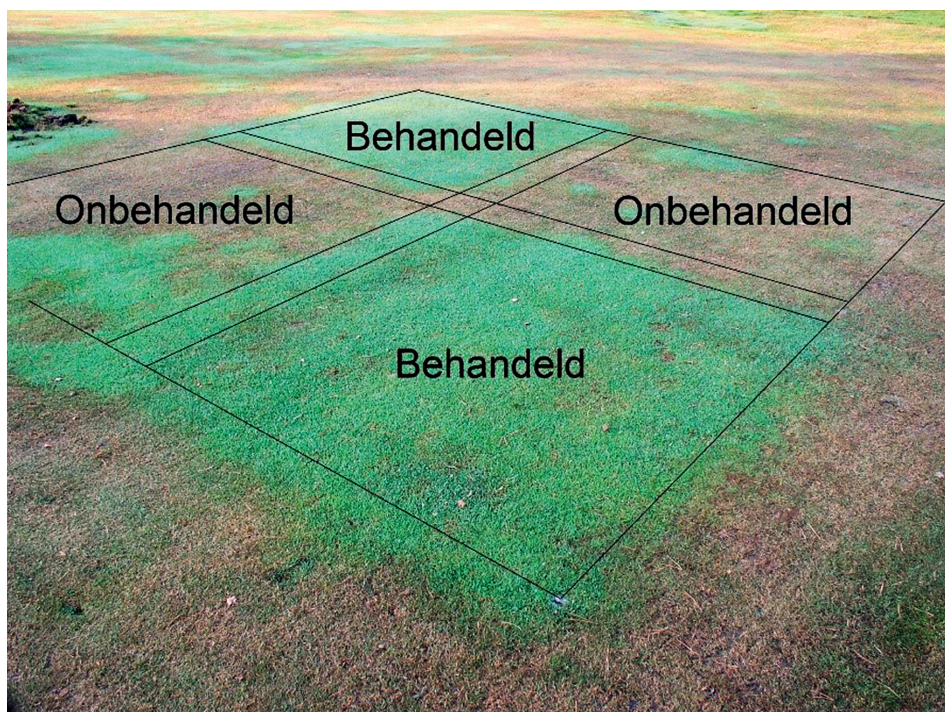
Hoewel de landgebruikers vertelden dat deze nollen in droge perioden moeilijk beregeningswater opnamen was de oorzaak hiervan niet bekend. Bodemkundig werd in die tijd algemeen aangenomen dat droog zand sneller en meer water opzuigt dan vochtig zand. Begin jaren zeventig zijn de meeste nollen in Koegrass en polder Eierland afgegraven doordat grasland werd omgezet in bouwland voor bloembollenteelt.

Eind jaren tachtig, tijdens een droge periode, stelde Dekker in de bovengrond van enkele nog aanwezige nollen in Koegrass extreme actuele waterafstotendheid vast. Dit verklaart dat water moeilijk in de droge bovengrond kan dringen en dus gemakkelijk van de hogere nollen naar de directe omgeving afstroomt.

Waarnemingen bij het I.C.W.

Midden jaren zeventig hielp een aantal collega's van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding Dr. G.P. Wind bij het ompspitten van zijn tuin. Toen het begon te regenen bleek dat het regenwater op het oppervlak bleef staan. Wind zei: "Daar heb ik een wondermiddel voor" en haalde vervolgens een fles Lodaline uit zijn keuken. Hij sproeide dit afwasmiddel over het grondoppervlak en het regenwater drong meteen de grond in. Doordat de oppervlaktespanning van het regenwater met het toedienen van het zeepsop werd verlaagd, infiltreerde het water gemakkelijker in de moeilijk bevochtigbare grond. De laatste jaren hebben we meerdere studies verricht naar de preventie van waterafstotendheid en het effect van het toedienen van surfactants (surface

active agents) op de bevochtiging en groei van het gras (Oostindie e.a., 2008; Dekker e.a., 2009; Moore e.a., 2010; Dekker e.a., 2019). Bij een onderzoek op de golfbaan van de Rosendaalsche golfclub bij Arnhem werden bijvoorbeeld tussen 3 juli en 4 september 2012 duidelijke verschillen in graskwaliteit vastgesteld tussen plekken die wel en niet met een surfactant waren behandeld (Dekker e.a., 2019). Afbeelding 2 toont de verschillen in het aanzien van het gras tussen twee wel en twee niet met surfactant behandelde plekken op 4 september 2012.



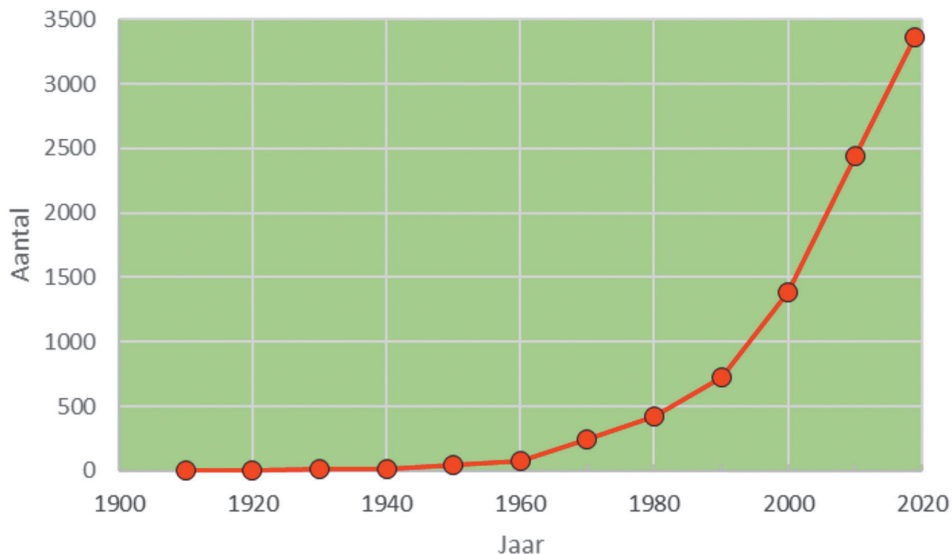
Afbeelding 2 Verschillen in aanzien van het gras op de golfbaan tussen twee met surfactant behandelde en twee onbehandelde plekken, op 4 september 2012 (naar Dekker e.a. 2019)

Eind jaren zeventig werd de heer R. Wiebing van het I.C.W. verrast bij zijn onderzoek naar de bevochtiging van het zand in een perceel met suikerbieten. Hij nam regelmatig grondmonsters tussen de opgroeiende bieten om het vochtgehalte ervan te bepalen. Op een bepaald moment was het vochtgehalte van de grond vrij laag. Bij de volgende bemonstering meette hij een nog lager vochtgehalte. Dit ondanks dat er sinds de vorige bemonstering veel neerslag was gevallen. Om deze onbegrijpelijke meetresultaten verder te onderzoeken groef hij een profielkuil. Toen bleek dat een belangrijk deel van het regenwater via de bladeren naar de bieten moest zijn geleid en vervolgens langs de bieten naar beneden was gestroomd. Dit verklaarde waarom de grond droog bleef tussen de planten, waar steeds de bemonsteringen plaats vonden. Dat deze preferente stroming in de grond voor een deel te maken had met de actuele waterafstotendheid, was hem toen nog niet bekend. De door hem gemaakte dia van dit verschijnsel in het profiel stond eertijds bij collega's bekend als "de biet van Wiebing".

Toename van publicaties over waterafstotende gronden wereldwijd

Schreiner en Shorey (1910) waren bij de eersten die het bestaan van waterafstotende gronden aangaven. Bij het beschrijven van het effect van organische bestanddelen op de waterhoudende capaciteit van gronden schreven zij: "To illustrate this, 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 sub-soil, 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".

Uit de periode 1910 tot 1950 zijn 48 publicaties bekend betreffende water-afstotendheid van gronden. Tussen 1950 en 1980 nam het aantal verschenen publicaties toe van 48 tot 420 stuks. Tussen 1980 en 2000 verschenen gemiddeld 48 publicaties per jaar. Van 2000 tot heden nam het aantal publicaties met gemiddeld ruim 100 per jaar toe, waardoor het totale aantal inmiddels zo'n 3376 bedraagt (afbeelding 3).



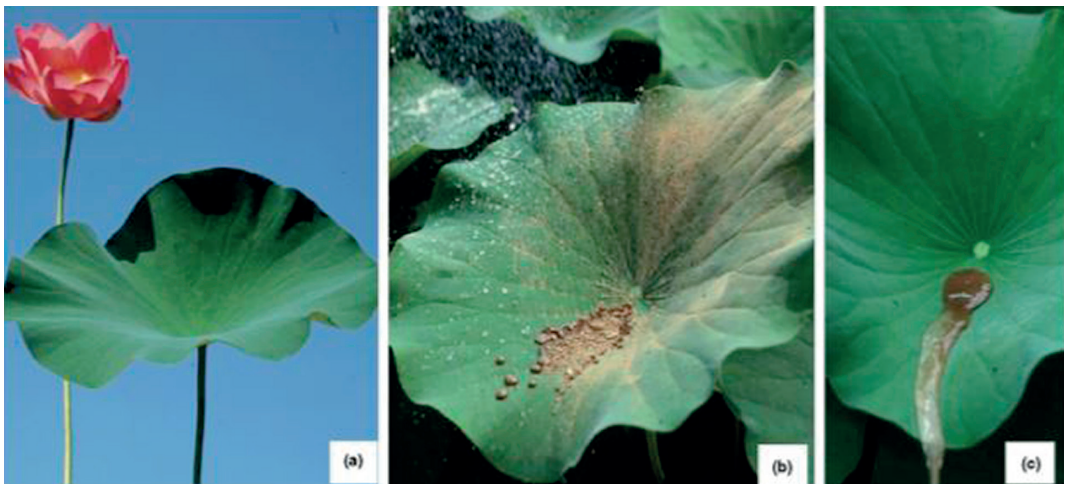
Afbeelding 3 Toename van het aantal wereldwijd verschenen publicaties met betrekking tot waterafstotende gronden tussen 1910 en half augustus 2019

Uitvoerige overzichten over de wereldwijde verspreiding, meetmethoden, oorzaken en gevolgen van het verschijnsel waterafstotendheid van gronden zijn onder meer gegeven door Dekker e.a. (2005), Ritsema e.a. (2008), Heidary e.a. (2018) en Mao e.a. (2018).

Superhydrofobie bij planten

Hoewel de hydrologische betekenis van waterafstotendheid van gronden veel aandacht heeft gekregen in de ecohydrologie, hebben relatief weinig studies de betekenis van het afstoten van water door bladeren bestudeerd (Rosado en Holder, 2013). Na enige tijd komt er op alle oppervlakken in een natuurlijke omgeving een stoffige of vuile substantie voor. Het schoonhouden hiervan kost enige inspanning. Een paar decennia geleden werd aangetoond dat het blad

van verschillende planten, onder andere van de lotusbloem (*Nelumbo nucifera*.) en koolraap (*Brassica oleracea* L), door een simpele regenbui compleet werd schoongemaakt van verontreinigen zoals stof, algen, bacteriën en schimmelsporen (Barthlott en Neinhuis, 1997). Volgens Sas e.a. (2012) hebben de bladeren van wel meer dan 200 plantsoorten dit effect van chemie en morfologie om schoon te blijven. Een voorname eigenschap van superhydrofobe oppervlakken is de ruwheid ervan op micro- en nanometer schaal. Veel plantsoorten hebben superhydrofobe oppervlakken en al deze vlakken zijn ruw in de micro-submicro range (Zheng en Lü, 2014). Zowel waterdruppels als ook stofdeeltjes liggen alleen op de top van deze structuren. Daarom ontwikkelen vervuilende deeltjes een geringe adhesiekracht met zulke ruwe oppervlakken en kunnen zeer effectief worden weggenomen door regen. In sommige gevallen, zoals bij het blad van rijst, komen bevochtigbaarheid en waterafstotendheid naast elkaar voor. Water stroomt hierbij via preferente baantjes in bepaalde richtingen (Quéré, 2008). Volgens Shirtcliffe e.a. (2010) is superhydrofobie een effect waar ruwheid en hydrofobie worden gecombineerd om ongebruikelijk hydrofobe oppervlakken te genereren, die veroorzaken dat water eraf rolt alsof het kwik is. De bladeren van de lotus (afbeelding 4) demonstreren dit effect imponerend en daarom wordt het behalve ultrahydrofobie ook wel het "Lotus-Effect" genoemd (Neinhuis en Barthlott, 1997).



Afbeelding 4 Lotusbloem (*Nelumbo nucifera*) (a) met superhydrofoob blad, (b) en (c) bij neerslag treedt zelfreiniging op (naar Darmanin en Guittard, 2015)

Het blad van de lotus heeft een uitzonderlijk dichte laag met zeer kleine uitstulpingen met was, dit vooral op de bovenzijde van het blad. Zelfs dauw en mist leiden tot het verwijderen van verontreinigingen. Deze zelfreinigende eigenschap speelt vermoedelijk een kritieke rol bij de overleving van de plant door het oppervlak schoon en vrij van infecties en micro-organismen te houden. Daarbij wordt een efficiënte fotosynthese vergemakkelijkt door de directe blootstelling van het bladoppervlak aan het zonlicht (Choi e.a., 2014). De cactus *Opuntia microdasys*, die oorspronkelijk uit de Chihuahua Desert in Mexico komt, kan in de vroege morgen mist opvangen en de hierbij ontstane

druppels water langs de superhydrofobe plant naar de wortels afvoeren (Darmann en Guittard, 2015). De microgroeven hebben een grotere ruwheid aan de bovenkant dan aan de basis van de plant, leidend tot een bevochtiging gradient. Met Leo Dekker (Leo CactusCo Beheer B.V.) hebben we met de waterdruppeltest de actuele waterafstotendheid van een groot aantal cactussen gemeten. Hierbij bleek dat niet alleen de cactus *Opuntia microdasys*, maar ook alle andere beschouwde cactussen een extreem waterafstotend oppervlak hadden, waarbij de waterdruppels na een uur nog op de liggende cactussen aanwezig waren (afbeelding 5). Boomsoorten met een sterk hydrofoob oppervlak van de bladeren kunnen de hoeveelheid doorval en stroming langs stam en takken doen toenemen (Rosado en Holder, 2013). Interceptie door het bladerdek en de opslagcapaciteit ervan zijn onder meer afhankelijk van de waterafstotendheid van de bladeren. Soorten met hoogste blad hydrofobie houden de minste hoeveelheid water vast en hebben daardoor de geringste opslagcapaciteit op basis van bladoppervlak (Holder, 2013). Tussen soorten varieert de opslag van 0.2 tot 8.3 mm. De opslagcapaciteit is ook een functie van neerslag intensiteit en windsterkte. Water dat door interceptie tijdens een regenbui wordt opgevangen resulteert vaak in een verdampingsverlies omdat dit niet het bodemprofiel bereikt.



Afbeelding 5 Waterdruppels aangebracht op de cactus *Opuntia microdasys* (links) en een andere willekeurige cactus (rechts) blijven urenlang staan, wat wijst op een extreme waterafstotendheid (foto Stella Dekker)

Superhydrofobie bij dieren

Het Lotus-effect is niet beperkt tot planten, maar is ook van belang bij insecten, zoals motten en vlinders. Dit is vooral het geval bij insecten met relatief lange of grote vleugels, die hierdoor niet met hun pootjes kunnen worden schoon-gemaakt. Insecten zijn bedekt met een laag was (met een typische dikte van 250 nm), wat indringing van water in het lichaam voorkomt en de diertjes beschermt tegen uitdroging. Zonder deze bescherming sterft een insect snel als het wordt blootgesteld aan droge lucht.

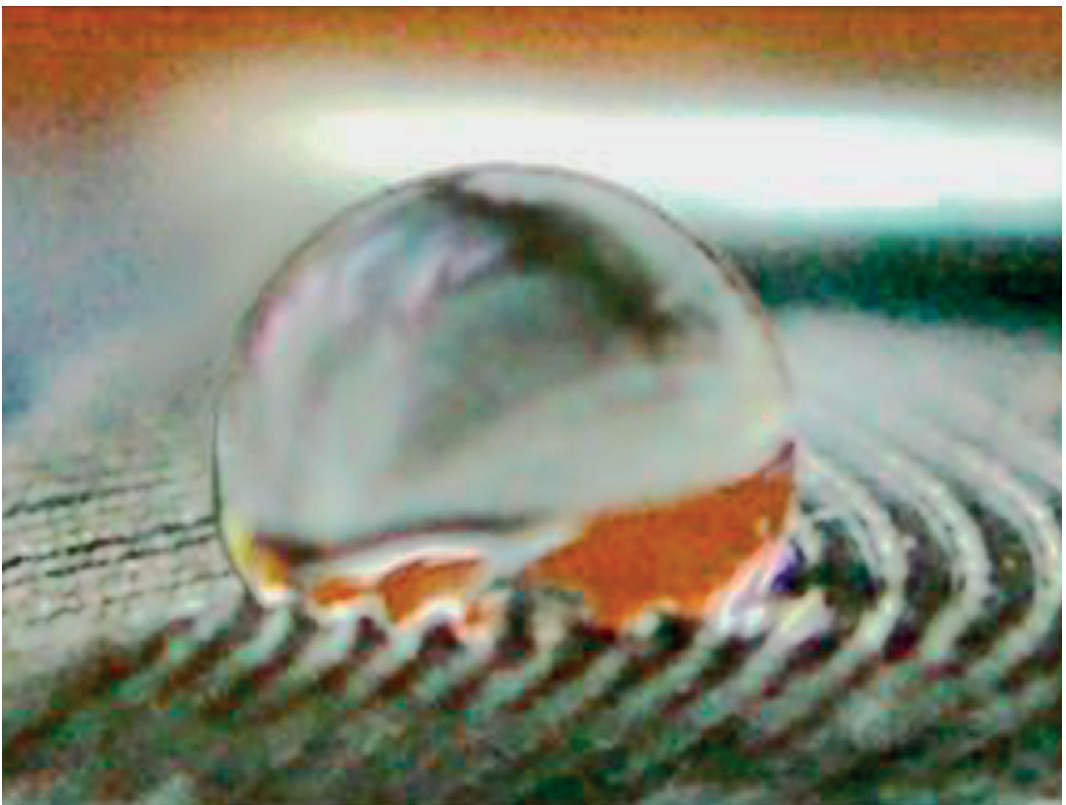
Veren van veel vogels (zoals duiven en eenden) zijn hydrofoob en/of superhydrofoob (Quéré, 2008). Afbeelding 6 laat een druppel water zien met een con-

tacthoek van $> 150^\circ$ op de veren van een duif met was en een microstructuur van de veren.

Algemeen wordt aangenomen dat de eend een olie- of overeenkomende coating met grotere contacthoek heeft dan eerder bekend was. In feite krijgt de eend zijn waterafstotendheid door de structuur van zijn veren. Water rolt meer van zijn rug af als gevolg van de structuur van de veren dan door een exceptionele coating (Cassie en Baxter, 1944).

In de Namib zandduinen woestijn van Zuid Afrika komt overdag een sterke wind met hoge temperaturen voor en in de vroege ochtend dichte mist. Regenval is er echter verwaarloosbaar klein. De kever *Stenocara sp.* richt in de vroege morgen zijn lichaam naar de wind om water van de mist te verzamelen (Choi e.a., 2014). De rug van deze kever bestaat uit hogere hydrofiele plekjes op een hydrofoob oppervlak (afbeelding 7).

Waterdruppels van mist in de vroege morgen kunnen verzameld worden op de hydrofiele plekjes. Als de druppels groter worden, zijn ze in staat hiervan los te komen en rollen dan over het superhydrofobe oppervlak en bereiken de bek van de kever (Darmanin en Guittard, 2015).



Afbeelding 6 Waterdruppel geplaatst op een superhydrofobe veer van een duif (naar Bormashenko e.a., 2007)



Afbeelding 7 De rug van de woestijn kever (*Stenocara* sp.) met hydrofiele knobbels en waterafvoerende waterafstotende depressies naar zijn bek (naar Parker en Lawrence, 2001)

Conclusie

Wij, als hydrologen, kennen waterafstotendheid vooral als een verschijnsel dat optreedt bij het bevochtigen van de bodem. Uit bovenstaande tekst mag worden geconcludeerd dat het echter op veel meer plaatsen in de natuur voor komt. Hoewel het aantal publicaties over waterafstotendheid in de bodem exponentieel toeneemt, is er nog veel onduidelijk over dit verschijnsel en verdient het aanbeveling om samen te werken met andere vakgebieden voor een verdieping van onze kennis omtrent waterafstotendheid.

Literatuur

- Barthlott, W. en C. Neinhuis** (1997) Purity of the sacred lotus, or escape from Contamination in biological surfaces, in: *Planta*, vol 202, pag 1-8.
- Bormashenko, E., Y. Bormashenko, T. Stein, G. Whyman en E. Bormashenko** (2007) Why do pigeon feathers repel water? Hydrophobicity of pennaes, Cassie-Baxter wetting hypothesis and Cassi-Wenzel capillarity-induced wetting transition, in: *Journal of Colloid and Interface Science*, vol 311, pag 212-216.
- Cassie, A.B.D. en S. Baxter** (1944) Wettability of porous surfaces, in: *Transactions of the Faraday Society*, vol 40, pag 546-551.
- Choi, Y., T. Brugaroles, S-M. Kang, B.J. Park, B-S. Kim, C-S. Lee en D. Lee** 2014) Beauty of lotus is more than skin deep: Highly buoyant superhydrophobic films, in: *Applied Materials & Interfaces*, vol 6, pag 7009-7013.
- Darmanin, T. en F. Guittard** (2015) Superhydrophobic and superoleophobic properties in nature, in: *Materials Today*, vol 18(5), pag 273-285.

- Dekker, L.W., K. Oostindie en C.J. Ritsema** (2005) Exponential increase of publications related to soil water repellency, in: *Australian Journal of Soil Research*, vol 43, pag 403-441.
- Dekker, L.W., C.J. Ritsema, K. Oostindie, D. Moore en J.G. Wesseling** (2009) Methods for determining soil water repellency on field-moist samples, in: *Water Resources Research*, vol 45, W00D33, doi:10.1029/2008 WR007070.
- Dekker, L.W., C.J. Ritsema, K. Oostindie, J.G. Wesseling en V. Geissen** (2019) Effects of a soil surfactant on grass performance and soil wetting of a fairway prone to water repellency, in: *Geoderma*, vol 338, pag 481-492.
- Du Burck, P., L.W. Dekker, H.J.M. Zegers en W.B. Kleinsman** (1963) Rapport van de verkenning van de Bodemgesteldheid van het noordelijk gedeelte van Noord-Holland. Rapport nr. 611, Stichting voor Bodemkartering.
- Heidary, K., A. Najafi Nedad, L.W. Dekker, M. Ownegh en A. Mohammadian Behbahani** (2018) Impact of soil water repellency on hydrological and erosion processes: A Review, in: *ECOPERSIA*, vol 6(4), pag 269-284.
- Holder, C.D.** (2013) Effects of leaf hydrophobicity and water droplet retention on canopy storage capacity, in: *Ecohydrology*, vol 6, pag 483-490.
- Mao, J., K.G.J. Nierop, S.F. Dekker, L.W. Dekker en B. Chen** (2018) Understanding the mechanisms of soil water repellency from nanoscale to ecosystem scale: a review, in: *Journal of Soils and Sediments*, 15 pp. Doi: 10.1007/s11368-018-2195-9.
- Moore, D., S.J. Kostka, T.J. Boerth, M. Franklin, C.J. Ritsema, L.W. Dekker, K. Oostindie, C. Stoof, en J.G. Wesseling** (2010) The effect of soil surfactants on soil hydrological behavior, the plant growth environment, irrigation efficiency and water conservation, in: *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol 58(3), pag 142-148.
- Neinhuis, C. en W. Barthlott** (1997) Characterization and distribution of water-Repellent, self-cleaning plant surfaces, in: *Annals of Botany*, vol 79, pag 667-677.
- Oostindie, K., L.W. Dekker, J.G. Wesseling en C.J. Ritsema** (2008) Soil surfactant stops water repellency and preferential flow paths, in: *Soil Use and Management*, vol 24, pag 409-415.
- Parker, A.R. en C.R. Lawrence** (2001) Water capture by a desert beetle. This insect has a tailor-made covering for collecting water from early-morning fog., in: *Nature*, vol 414, pag 33-34.
- Quéré, D.** (2008) Wetting and roughness, in: *Annual Review of Materials Research*, vol 38, pag 306-315.
- Ritsema, C.J., L.W. Dekker, K. Oostindie, D. Moore en B. Leinauer** (2008) Soil water repellency and critical soil water content. Book chapter pag 97-112, in: *Soil Science: Step-by-step Field Analysis* (S. Logsdon, D. Clay, D. Moore en T. Tsegaye, editors). Soil Science Society of America.
- Rosado, B.H.P. en C.D. Holder** (2013) The significance of leaf water repellency in ecohydrological research: a review, in: *Ecohydrology*, vol 6, pag 150-161.
- Sas, I., R.E. Gorga, J.A. Joines en K.A. Thoney** (2012) Literature review on superhydrophobic self-cleaning surfaces produced by electrospinning, in: *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, vol 50, pag 824-845.
- Schreiner, O. en E.C. Shorey** (1910) Chemical nature of soil organic matter, in: *USDA Bureau Soils Bulletin*, vol 74, pag 2-48.

Shirtcliffe, N.J., G. Mchale, S. Atherton en M.I. Newton (2010) An introduction to superhydrophobicity, in: *Advances in Colloid and Interface Science*, vol 161, pag 124-138.

Zheng Q. en C. Lü (2014) Size effects of surface roughness to superhydrophobicity, in: *Procedia IUtam*, vol 10, pag 462-475.

Summary Water repellency: frequently present in nature

Continued insight in the phenomenon of water repellency

Before 1988 soil investigators generally assumed that the dry topsoil from "nol-len" (small dunes) in sandy grasslands was only a consequence of a too deep groundwater table. The bad grass performance should be due to the minor capillary rise of the groundwater towards the topsoil. An explanation for the relatively low water contents in the topsoil after several rain events or sprinkler irrigation applications could not be given at that time. However, in 1988 a second important factor for this phenomenon was determined, namely the extreme water repellency of the topsoil during dry periods. This explained that water infiltrates slowly into the dry topsoil and therefore could flow from the higher nollen to the lower environment. Although not interrogated the occurrence of water repellency, Dr. G.P. Wind showed, in the middle of the seventies of the past century, how application of the detergent Lodoline accelerated the infiltration of rainwater in the soil of his sandy garden. During the last twenty-five years, we performed several studies concerning the prevention of water repellency and the effect of the treatments with surfactants on the wetting and grass performance of sandy soils. Between 1910 and 1970, publications concerning soil water repellency appeared occasionally. After this period, the number of publications increased and resulted in around 100 publications each year during the period between 2000 and now. Although the hydrological importance of water repellency in soils attracted much interest, relatively few studies spent attention to the significance of water repellency of plants. Twenty years ago it was shown that the leaves of the Lotus flower were superhydrophobic and self-cleaning. But also, several animals have superhydrophobic properties that enable them to collect water for drinking.

Auteurs

DR. LOUIS W. DEKKER

Gastmedewerker bij Wageningen Universiteit & Research, leerstoelgroep Bodemfysica en Landgebruik.

louis.dekker@wur.nl

PROF. DR. COEN J. RITSEMA

Wageningen Universiteit & Research, leerstoelgroep Bodemfysica en Landgebruik.

coen.ritsema@wur.nl

KLAAS OOSTINDIE

Wageningen Universiteit & Research, leerstoelgroep Bodemfysica en Landgebruik.

klaas.oostindie@wur.nl

DR. IR. JAN G. WESSELING

Wageningen Universiteit & Research, leerstoelgroep Bodemfysica en Landgebruik.

jan.wesseling@wur.nl, ng.vandenhouten@wrij.nl

