
Bepaling van waterschade op de golfbaan Martensplek in Tiendeveen in het najaar van 1998 met behulp van het model SWAP

Jan Wesseling
Louis Dekker
Klaas Oostindie
Coen Ritsema

In oktober 1998 heeft de golfbaan Martensplek in Tiendeveen (Drenthe) lange tijd onder water gestaan als gevolg van hevige regenbuien. Figuur 1 geeft hiervan een goed beeld. Er werd ons begin 2005 verzocht om (modelmatig) aan te tonen dat het terrein onder water heeft gestaan door de regenbuien en te bepalen wat de invloed van de hoeveelheid neerslag op 27 en 28 oktober 1998 is geweest op de duur van de plasvorming. Om de opgetreden inundatie te kunnen evalueren is de lokale situatie in ogenschouw genomen, is een aantal bodemmonsters gestoken en zijn modelberekeningen uitgevoerd. Hieruit kon inderdaad worden geconcludeerd dat de golfbaan 18-23 dagen onder water moet hebben gestaan met alle gevolgen van dien. Door eerder gevallen neerslag stond de golfbaan al onder water voor de genoemde data. Als de buien op 27 en 28 oktober 1998 niet zouden zijn gevallen zou de golfbaan slechts 4 dagen wateroverlast hebben gehad.

Inleiding

In januari 2005 kregen wij het verzoek om de effecten van de hevige neerslag op 27 en 28 oktober 1998 te evalueren voor de golfbaan Martensplek in Tiendeveen (Drenthe). Door die neerslag heeft de golfbaan een aantal dagen onder water gestaan. Hierdoor was een groot deel van het gras gestorven en de bodem dichtgeslibd. Om het terrein weer bespeelbaar te maken moesten grote sommen geld worden geïnvesteerd. De vraag aan ons was of wij (modelmatig) konden uitrekenen hoeveel dagen er water op het veld heeft gestaan. Daar de

Jan G. Wesseling werkt bij Alterra Wageningen, Centrum Geo-Informatie, Wageningen Software Labs (CGI-WISL) en is tijdelijk werkzaam voor Alterra Wageningen, Centrum Bodem, Team Bodemfysica en Landgebruik, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, e-mail jan.wesseling@wur.nl. **Louis W. Dekker** is gastmedewerker bij Alterra Wageningen, Centrum Bodem, Team Bodemfysica en Landgebruik, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, e-mail louis.dekker@wur.nl. **Klaas Oostindie** (e-mail klaas.oostindie@wur.nl) en **Coen J. Ritsema** (e-mail coen.ritsema@wur.nl) zijn werkzaam bij Alterra Wageningen, Centrum Bodem, Team Bodemfysica en Landgebruik, Postbus 47, 6700 AA Wageningen.



Figuur 1: De ondergelopen golfbaan Martensplek in Tiendeveen kort na de hevige buien van oktober 1998.

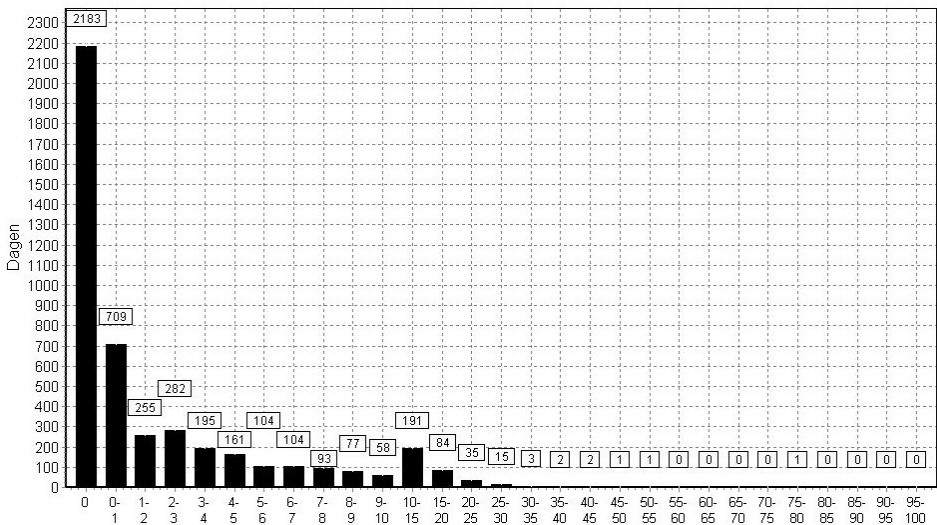
hele maand oktober al nat was geweest had de neerslag op genoemde dagen een langdurige plasvorming tot gevolg. Het was ook aan ons om te bepalen hoe lang de golfbaan onder water zou hebben gestaan indien op die dagen minder neerslag zou zijn gevallen. Om een inzicht te krijgen in de lokale situatie is er eerst op de golfbaan zelf gekeken. Hier zijn een aantal bodemmonsters gestoken om een indruk te krijgen van de textuur van de bodem en de diepte van de ondoorlatende laag. Vervolgens is aan de hand van deze kennis de invoer van het gebruikte numerieke model klaargemaakt en zijn een aantal berekeningen gedaan. Er is een rapport verschenen (Wesseling e.a., 2005) waarin de toegepaste methode en de verkregen resultaten gedetailleerd worden beschreven. In dit artikel hebben wij de neerslag van het meteorostation Hoogeveen geanalyseerd en presenteren wij enkele van de resultaten van de uitgevoerde berekeningen. Allereerst zal de analyse van de neerslag worden gegeven. Vervolgens wordt kort ingegaan op het gebruikte model en de toegepaste randvoorwaarden. Tenslotte worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd en een aantal conclusies getrokken.

Materiaal en methoden

De neerslag

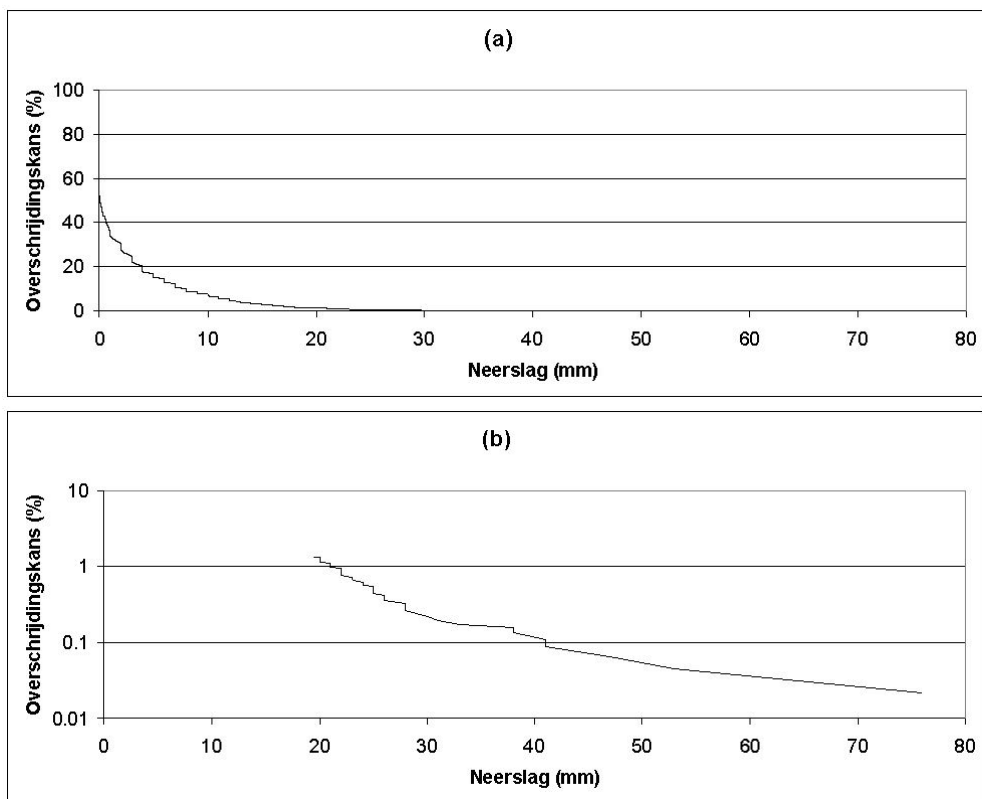
Daar de golfbaan vlakbij Hoogeveen ligt is eerst de neerslag van het meteorostation Hoogeveen geanalyseerd. Van dit station was bij Alterra een reeks neerslagcijfers op dagbasis beschikbaar die liep van 17 februari 1993 t/m 28 september 2005 (4557 dagen). Om een indruk te krijgen van de neerslagverdeling zijn een aantal neerslagklassen onderscheiden: 0 mm, 0–1 mm, 1–2 mm, 2–3 mm, ..., 9–10 mm, 10–15 mm, 15–20 mm,, 95–100 mm.

De dagelijkse neerslagwaarden zijn geanalyseerd door het aantal dagen te bepalen waarop de neerslaghoeveelheid in een bepaalde klasse valt. Hierdoor ontstaat een goed beeld van de neerslagfrequentie (zie figuur 2). Uit deze figuur blijkt dat er 2183 dagen zonder neerslag zijn geweest. Er zijn 3 dagen geweest met meer dan 45 mm neerslag, waarvan 1 dag met neerslag tussen 75 en 80 mm. Dit was 28 oktober 1998 met 76 mm. Vervolgens is gekeken naar de overschrijdingskans van de neerslag. Dit is de kans (in %) dat er een hoeveelheid neerslag valt die groter is dan een gegeven waarde. De overschrijdingskansen zijn grafisch weergegeven in figuur 3a. Daar de waarden bij hoge neerslagen niet uit de grafiek zijn af te lezen zijn deze waarden vergroot weergegeven in figuur 3b. Hierbij is de y-as logaritmisch gemaakt. Er blijkt nu dat er een kans is van 0,044% op een dagelijkse neerslag die groter is dan 50 mm. De extreme waarde van 76 mm heeft een kans van 0,022%. Wij realiseren ons dat de hier gebruikte neerslagreeks uit meteorologisch oogpunt tamelijk kort is, maar meer neerslaggegevens waren niet beschikbaar. Ook zijn wij ons bewust van het feit dat de neerslag in Tiendeveen anders kan zijn dan in Hoogeveen (neerslag vertoont locale verschillen), maar neerslag van een dichterbij gelegen station was niet beschikbaar.



Figuur 2: De frequentieverdeling van het aantal dagen per neerslagklasse van meteorostation Hoogeveen tussen 17 februari 1993 en 28 september 2005.

Voor de hieronder beschreven simulaties zijn de dagelijkse neerslagcijfers van de jaren 1995 t/m 2000 gebruikt. Deze periode heeft zowel droge als natte jaren gekend, met als natte uitschieter natuurlijk 1998. De jaarcijfers van het meteorostation Hoogeveen zijn weergegeven in tabel 1.

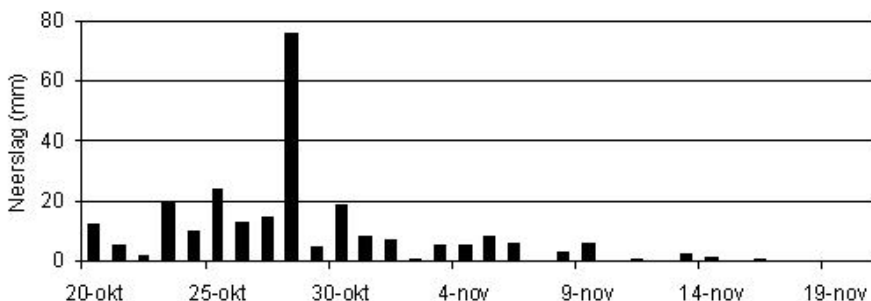


Figuur 3: De overschrijdingskans van de neerslag (a) voor het hele traject en (b) voor 0 - 10%.

Tabel 1: Neerslag en verdamping in Hoogeveen gedurende de jaren 1995 t/m 2000.

Jaar	Neerslag (mm)	Verdamping (mm)	Neerslagoverschot (mm)
1995	731	563	168
1996	383	480	-97
1997	443	540	-97
1998	1121	461	660
1999	701	545	156
2000	960	506	454

Figuur 4 toont de neerslag rond 28 oktober 1998. Uit deze figuur komt duidelijk naar voren dat er niet alleen op de betreffende datum veel neerslag is gevallen, maar ook op de dagen ervoor en erna.



Figuur 4: De neerslag van het station Hoogeveen in de periode van 20 oktober t/m 19 november 1998.

Veldwaarnemingen

Op 8 februari 2005 zijn twee van de auteurs naar Tiendeveen gegaan om de golfbaan te bekijken. Zij hebben zich daar een goed beeld gevormd van de situatie ter plaatse en hebben op 6 plaatsen boringen uitgevoerd om een indruk te krijgen van de profielopbouw van de golfbaan. Hieruit bleek dat het profiel kan worden beschreven als (verwerkt) humeus zand (ca. 120 cm) op keileem. We gaan ervanuit dat de profielopbouw in 1998 hetzelfde was als hier beschreven.

Tijdens het bekijken van het golfterrein bleek dat er een drainagesysteem is aangelegd. Ook lopen er greppeltjes van ca. 45 cm diep door het terrein. Er ligt tevens een vijver waarop het golfterrein kan ontwateren. Het waterpeil in de vijver lag gemiddeld 60-90 cm beneden het maaiveld van de golfbaan op 8 februari 2005.

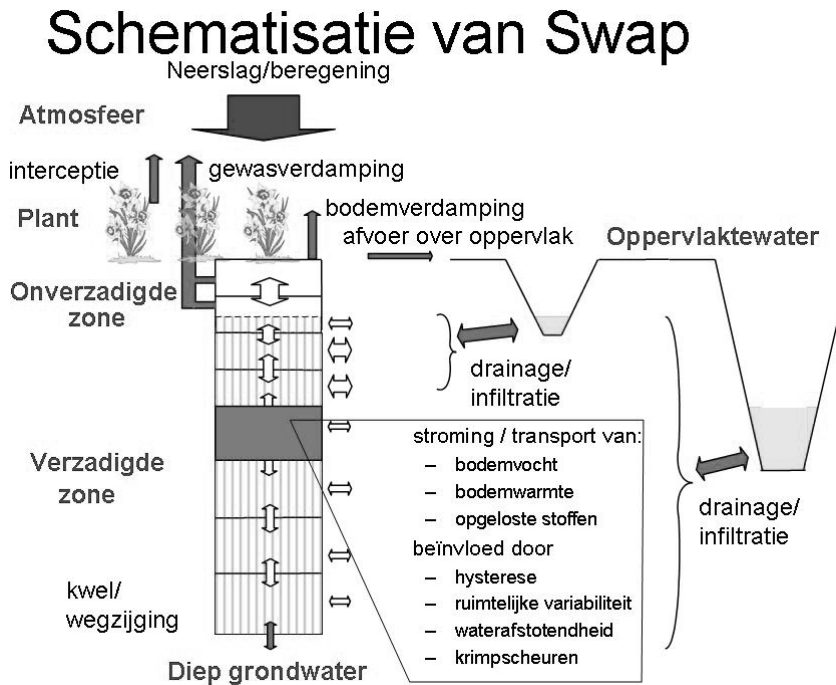
Het toegepaste model en de gebruikte invoer

INLEIDING

Om de voor dit project benodigde berekeningen nauwkeurig uit te kunnen voeren zou een gedetailleerde hoogtekartaart van de golfbaan of een DEM (Digital Elevation Map) moeten worden gemaakt. Vervolgens zouden op veel plaatsen bodemmonsters moeten worden genomen en in het laboratorium worden geanalyseerd. Ook zou een nauwkeurige analyse van het gebied moeten worden gemaakt ten behoeve van het bepalen van de horizontale in- en uitstroming en de kwel/wegzijing. Tenslotte zouden ook meer gegevens van het gewas bekend moeten zijn om de interceptie en de wortelopname correct te simuleren. Bovendien zouden neerslag en verdamping op korte tijdsbasis bekend moeten zijn. Dit alles zou dan in een 3-dimensionaal stromingsmodel ingevoerd moeten worden en de resultaten hiervan zouden dan geanalyseerd moeten worden op hun betrouwbaarheid. Tot zover de ideale situatie. In werkelijkheid hadden we een zeer beperkt budget en weinig gedetailleerde gegevens. Daarom is ervoor gekozen om het model SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) toe te passen.

Het model SWAP wordt in binnen- en buitenland veel toegepast om het gedrag van bodemvocht in het onverzadigde deel van de bodem te evalueren daar dit essentieel is om een goede fysische onderbouwing te kunnen geven van evenwichtige maatregelen op het terrein van waterbeheer, gewasgroei en milieubescherming in natuurlijke en landbouwkundige systemen. Hoewel SWAP al vaker is beschreven (zie bijv. Van Dam e.a. (1997), Kroes e.a. (2000) en Kroes en Van Dam (2003)) willen we hier toch de belangrijkste eigenschappen van het model noemen.

SWAP is een computermodel dat transport van water, stoffen en warmte in het onverzadigde/verzadigde bovenste deel van de bodem simuleert (figuur 5). Het model is ontwikkeld voor processen op veldschaal gedurende één of meerdere groeiseizoenen.



Figuur 5: Schematisch overzicht van het modelsysteem zoals het gesimuleerd wordt met SWAP.

De systeemgrens wordt aan de bovenrand gevormd door het maaiveld met of zonder gewas en bijbehorende klimatologische condities. De zijrand van het systeem kan worden gebruikt om de interactie met oppervlaktewatersystemen te beschrijven. De onderrand bevindt zich in de onverzadigde zone of het bovenste deel van de verzadigde zone en wordt gebruikt om de interactie met een regionaal grondwatersysteem te beschrijven.

Het model lost de Richards' vergelijking voor waterstroming op:

$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right) - S$$

waarbij

$$C(h) = \frac{\partial \theta}{\partial h}$$

en

h	=	drukhoogte (cm)
θ	=	volumetrisch vochtgehalte (cm ³ .cm ⁻³)
t	=	tijd (d)
C(h)	=	differentiële vochtcapaciteit (cm ⁻¹) als functie van h
K(h)	=	hydraulisch geleidingsvermogen (cm.d ⁻¹) als functie van h
S	=	onttrekking door wortels van planten
z	=	positie (cm)

Deze niet-lineaire vergelijking wordt numeriek opgelost met speciale aandacht voor de bovenrandvoorwaarde waardoor snelle en grote veranderingen in veldsituaties kunnen worden beschreven. Fysische en empirische methodes worden gebruikt om de actuele bodemverdamping te berekenen. De benodigde bodemfysische relaties worden beschreven met de veelgebruikte analytische functies van Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + |\alpha h|^n\right)^m}$$
$$K = K_s \frac{\left(\left(1 + |\alpha h|^n\right)^m - |\alpha h|^{n-1}\right)^2}{\left(1 + |\alpha h|^n\right)^{m(l+2)}}$$

De potentiële verdamping wordt berekend met de Penman-Monteith (Penman, 1948; Monteith, 1981) vergelijking. Het model biedt ook de mogelijkheid om referentie gewasverdamping rechtstreeks in te voeren. Interceptie van landbouwkundige gewassen en bos zijn processen die apart kunnen worden gemodelleerd.

De interactie tussen grondwater en oppervlaktewater kan worden beschreven via meerdere stromen: oppervlakkige stroming (runoff, run-on en inundatie) en grondwaterstroming van/naar drainage systemen (drainage of infiltratie). Run-on en runoff opties maken het mogelijk berekeningen uit te voeren voor een hellend gebied. Drainage en infiltratie kan worden uitgerekend met diverse relaties voor de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater, o.a. functies, tabellen, analytische vergelijkingen van Hooghoudt (1940) en Ernst (1956, 1962). Voor analyses van regionaal waterbeheer is het mogelijk om de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater te beschrijven met een eenvoudig oppervlaktewatersysteem. Het model wordt tevens gebruikt als instrument om de waterhuishouding te bepalen t.b.v. stoftransport-studies. In dat geval kunnen oppervlaktewatersystemen worden onderscheiden waarmee interflow en drainage worden gemodelleerd met bijbehorende verschillen in verblijftijden.

De interactie tussen grondwater en regionale (horizontale) grondwaterstroming kan worden beschreven met tijdsafhankelijke drukhoogtes, waterfluxen of een combinatie van beide.

De heterogeniteit van een aantal bodemeigenschappen kan worden beschreven met i) hysteresis van de bodemfysische waterretentie-karakteristieken, ii) ruimtelijke variabiliteit van hydraulische functies, iii) preferente stroming in waterafstotende gronden, iv) versneld transport via scheurvorming in m.n. kleigronden.

SWAP bevat een eenvoudige en een complexe beschrijving van gewasgroei. In de eenvoudige gewasgroei-module wordt de gewasontwikkeling als functie van de tijd en diepte voorgeschreven via 'leaf area index' (of gewasbedekkingsgraad), gewashoogte en bewortelingsdiepte. De gedetailleerde gewasgroei-module is gebaseerd op het gewasgroeimodel WOFOST (zie bijvoorbeeld Van Laar e.a., 1992).

Het gemodelleerde stoftransport beschrijft de processen convectie, diffusie, dispersie, niet-lineaire adsorptie, eerste orde afbraak en gewasopname. Hiermee kan het gedrag van zout en van eenvoudige pesticiden worden beschreven. Het gedrag van zout wordt beschreven met inbegrip van het effect van zout-stress op gewasgroei.

Meer informatie over het SWAP-model is beschikbaar op internet: www.swap.alterra.nl, waar ook een uitgebreide lijst met toepassingen te vinden is.

TIJD

De voor dit onderzoek van belang zijnde periode was oktober 1998. Om de invloed van een verkeerd gekozen initiële conditie te voorkomen is ervoor gekozen om een aantal jaren voor en na de interessante periode mee te nemen bij de simulaties. Derhalve zijn de berekeningen uitgevoerd voor de jaren 1995 t/m 2000.

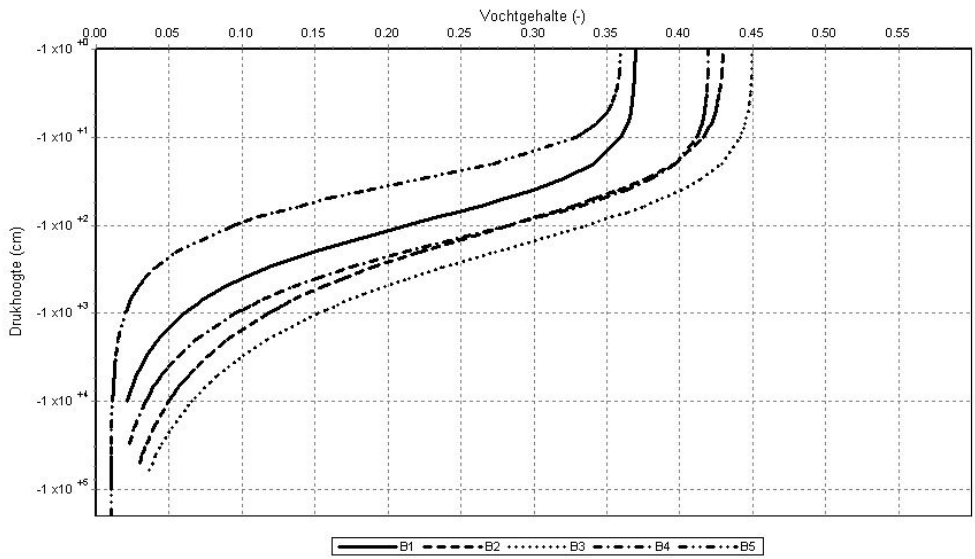
INITIËLE CONDITIE

Er is aangenomen dat op 1 januari 1995 (de begindatum van de simulaties) het grondwater zich op -100 cm (1 m beneden maaiveld) bevond en dat het drukhoogteprofiel hiermee in hydrostatisch evenwicht was.

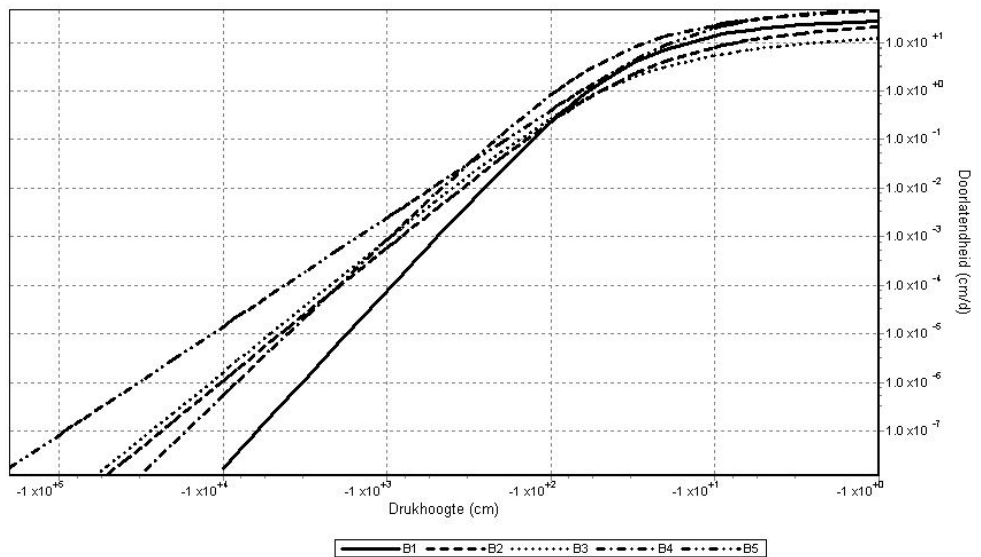
DE BODEM

De bodem bestaat uit zand met een keileemlaag eronder. Om een indicatie te krijgen van de gevoeligheid van het gekozen bodemtype op de uitkomsten van de berekeningen is ervoor gekozen om alle zandbovengronden (B1 t/m B5, Wösten, 1987; Wösten e.a., 2001) door te rekenen. Tabel 2 geeft de parameterwaarden voor de Van Genuchten-vergelijkingen van de beschouwde bodems.

De waterretentie- en waterdoorlatendheidskarakteristieken welke met bovenstaande parameters kunnen worden beschreven zijn grafisch weergegeven in de figuren 6 en 7.



Figuur 6: De pF-curves van de beschouwde bouwstenen.



Figuur 7: De K(h)-curves van de beschouwde bouwstenen.

Tabel 2: De Van Genuchten-parameters voor de beschouwde bodems.

Bouwsteen	Bodem	θ_r cm ³ .cm ⁻³	θ_s cm ³ .cm ⁻³	A cm ⁻¹	n -	K _s cm.d ⁻¹	l -
B1	leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	0.01	0.37	0.0208	1.646	33.34	0.571
B2	zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	0.01	0.43	0.0224	1.436	32.21	-0.304
B3	sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	0.01	0.45	0.0152	1.412	17.81	-0.213
B4	zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	0.01	0.42	0.0163	1.559	54.80	0.177
B5	grof zand	0.01	0.36	0.0452	1.933	52.91	-1.747

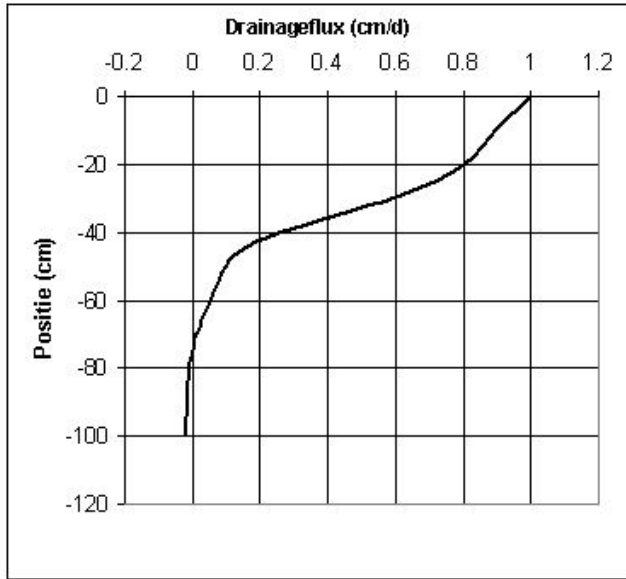
ONDERRANDVOORWAARDE

Om de waterbalans van het bodemprofiel en het verloop van de grondwaterstand in de tijd te kunnen berekenen is het noodzakelijk te weten hoeveel water er wegstroomt (wegzijing) of wordt aangevoerd (kwel) door de onderrand van het profiel. Op alle 6 bemonsterde plaatsen is in de ondergrond keileem aangetroffen. Keileem is in het algemeen zeer ondoorlatend en in de modelsimulaties is dan ook aangenomen dat de onderandvoorwaarde voor de simulaties een flux van 0 is op 120 cm diepte.

DRAINAGE

Om de aanwezigheid van de vijver en die van de aanwezige greppeltjes in de berekeningen te betrekken is voor de simulaties uitgegaan van twee ontwateringsmiddelen, één op 75 cm en één op 45 cm beneden maaiveld. Er is aangenomen dat het waterpeil in de ontwateringsmiddelen niet varieert in de tijd. Daarom is ook infiltratie vanuit de vijvers naar het grondwater mogelijk. Dit leidt tot een ontwateringskarakteristiek zoals weergegeven in figuur 8. Op de y-as staat de positie van het grondwater ten opzichte van het maaiveld. Op de x-as staat de flux naar of van de drains. Uit de figuur blijkt dat als de grondwaterstand op -75 cm zit, er geen ontwatering of infiltratie plaatsvindt. Het grondwaterpeil staat dan immers gelijk aan het peil in de vijver. Als het grondwater verder zakt, zal er wat water

van de vijver het bodemprofiel instromen. Als het grondwater stijgt zal er water uit het profiel naar de vijver stromen. Komt het grondwater hoger dan 45 cm beneden maaiveld, dan zal er ook water naar de greppels stromen. Daarom neemt de hoeveelheid drainage boven -45 cm sterker toe dan eronder. Als het grondwater aan maaiveld staat zal er 1 cm.d^{-1} naar de ontwateringsmiddelen stromen.



Figuur 8: De toegepaste drainagekarakteristiek.

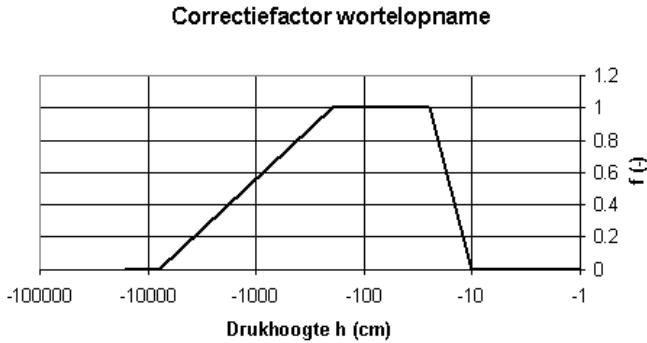
BEREGENING

In het algemeen worden golfbanen zeer frequent beregend. Uit de vele opties voor beregening die SWAP kent is degene gekozen die gebruik maakt van de drukhoogte in het profiel. Als de drukhoogte op 7 cm beneden maaiveld lager (= meer negatief = droger) wordt dan -150 cm, zal er de dag daarna beregend worden met een gift van 5 mm.

GEWAS

Aangezien mag worden verondersteld dat er zeer regelmatig gemaaid wordt is de gras hoogte vastgezet op 0,5 cm. Er is verder aangenomen dat de bewortelingsdiepte van het gras 20 cm is. Deze wortels nemen het water uit de bodem op dat nodig is voor de verdamping door het gras. Als de bodem te droog wordt kunnen de wortels echter niet meer al het benodigde water opnemen. Ook als de bodem te nat is krijgt gras problemen met de opname van water. In dit geval zit er te weinig zuurstof in de bodem om de wateropname goed te laten verlopen. Om deze verschijnselen te kunnen simuleren zit er in SWAP een correctiefactor voor de wateropname die afhankelijk is van de drukhoogte. Deze relatie is gegeven in figuur 9. Aan de natte kant houdt dit in dat het gras geen water opneemt (en

dus schade ondervindt) als de drukhoogte groter is dan -10 cm. Van -10 tot -25 cm loopt de correctiefactor lineair op van 0 naar 1. Tussen -25 en -200 cm transpireert het gras optimaal (correctiefactor = 1). Als het droger wordt dan -200 cm zal de transpiratie weer afnemen. Bij -8000 cm is geen wortelopname meer mogelijk. Daar is de correctiefactor dus 0. Deze correcties worden door het model dynamisch toegepast voor iedere beschouwde diepte.



Figuur 9: De toegepaste correctie voor wateropname door de graswortels.

DE INVLOED VAN DE HOEVEELHEID NEERSLAG VAN 27 EN 28 OKTOBER 1998 OP DE DUUR VAN DE PLASVORMING

Om te onderzoeken welke invloed de neerslag op 27 en 28 oktober 1998 had op het aantal dagen dat de golfbaan onder water heeft gestaan zijn een aantal extra simulaties gedaan. Hierbij hebben we de neerslag op de genoemde 2 dagen laten variëren. De doorgerekende hoeveelheden neerslag zijn weergegeven in Tabel 3.

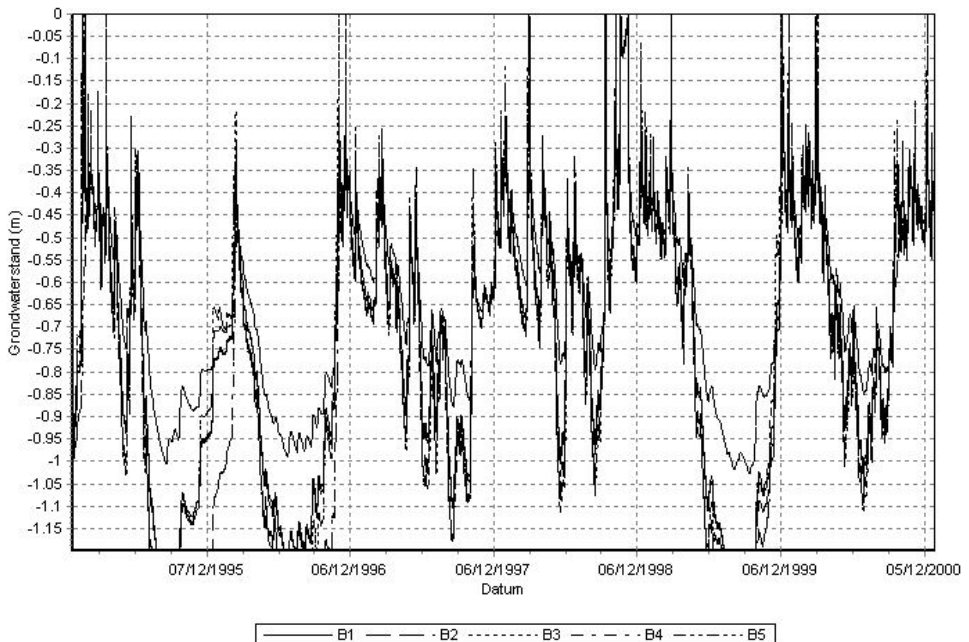
Tabel 3: De doorgerekende hoeveelheden neerslag op 27 en 28 oktober 1998.

Simulatie	Neerslag 27/10 (mm)	Neerslag 28/10 (mm)
1	0	0
2	0	10
3	10	10
4	15	10
5	15	15
6	15	25
7	15	35
8	15	45
9	15	55
10	15	65
11	15	76

Beperkingen

Alvorens in te gaan op de resultaten van de simulaties willen we toch nog een aantal beperkingen noemen waar rekening mee moet worden gehouden:

- Er is geen rekening gehouden met het reliëf in de golfbaan. Daar SWAP een punt-model is, wordt er slechts voor een punt gerekend. Op de lage plekken zal de op het veld staande hoeveelheid water groter zijn geweest.
- Er is gerekend met een homogeen profiel van 120 cm dikte. Uit de monsters bleek dat er tussen de verschillende lokaties toch (geringe) verschillen in textuur waren. Om deze verschillen in de berekeningen te betrekken zouden de monsters in een laboratorium geanalyseerd moeten worden. Mede gezien het beperkte budget en de korte termijn is besloten dit niet te doen.
- In werkelijkheid zal het peil in de vijvers en greppels ook variëren in de tijd. Om deze variaties te kunnen bepalen is een veel uitgebreidere studie nodig.
- De huidige versie van SWAP heeft de beperking dat de neerslag alleen op dagbasis kan worden ingevoerd en als homogeen verdeeld wordt beschouwd. Wel kan een factor worden meegegeven waarmee wordt aangegeven welk deel van de dag neerslag valt. Deze factor hebben wij op 0,5 gezet, hetgeen impliceert dat de neerslag van een dag valt in de eerste 12 uur. Om een meer waarheidsgetrouw beeld te krijgen zou een meer gedetailleerde neerslagverdeling over de dag bekend moeten zijn en gebruikt moeten worden.



Figuur 10: Het verloop van de grondwaterstand in de tijd.

Resultaten

Grondwaterstand

Uit figuur 10 blijkt dat de grondwaterstand fluctueert tussen 0 en 120 cm beneden maaiveld. De grondwaterstand in profiel B4 fluctueert het sterkst. Deze zit regelmatig aan maaiveld en gedurende de zomer zakt hij tot aan de keileem. Bij alle profielen behalve bij B5 zakt de grondwaterstand tot aan de keileem gedurende de zomer ondanks de berekening. Profiel B5 reageert het minst. Bij alle profielen zijn de seizoenschommelingen duidelijk zichtbaar.

Berekening

In tabel 4 wordt de hoeveelheid beregeningswater weergegeven per jaar en per bodemprofiel. Als we ons realiseren dat er per gift 5 mm water wordt gegeven, dan zien we dat er in de beschouwde jaren maximaal 25 maal per jaar (profiel B3 in 1999) hoeft te worden beregend om de minimale drukhoogte in het profiel te overschrijden.

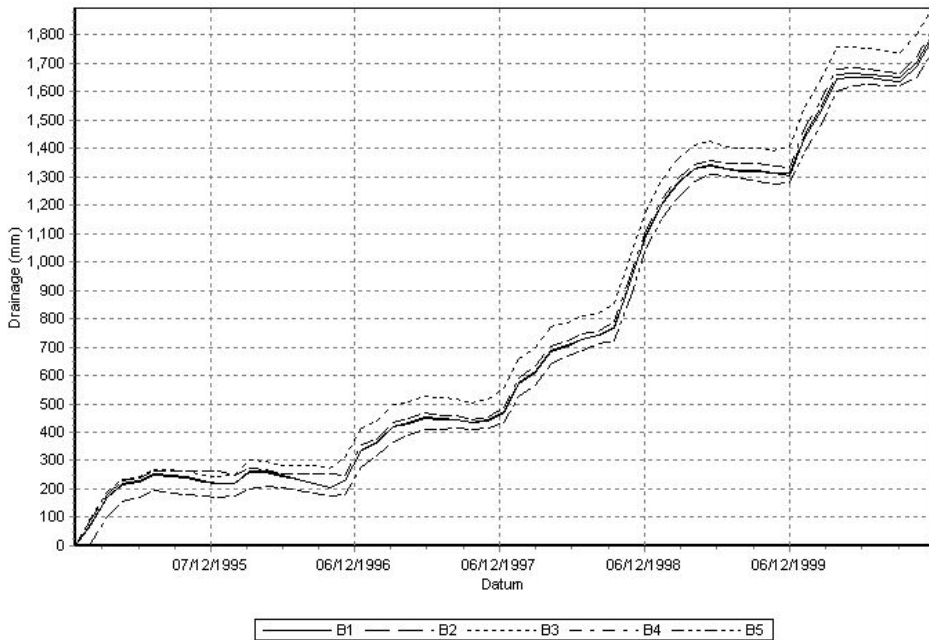
Tabel 4: De hoeveelheid water (mm) gegeven als berekening per jaar voor de verschillende bodems.

Bodem	1995	1996	1997	1998	1999	2000
B1	85	60	0	0	100	0
B2	85	60	0	0	110	0
B3	110	95	5	0	125	0
B4	85	65	0	0	115	0
B5	75	75	5	0	100	0

Uitgaande van de toegepaste 5 mm beregeningsgift blijkt dat er tussen de 0 en 25 dagen per jaar beregend moet worden. Mede dankzij de berekening bedraagt de totale hoeveelheid water die door het gewas is verdampt 99% van de gewenste (=potentiële) verdamping. De 1% reductie kan worden verklaard uit het tijdsverschil tussen het opmerken van de droogte en het beregenen (max. 1 dag). Een andere oorzaak is de optredende hoge grondwaterstand. In figuur 9 was te zien dat de gewasopname (en dus de transpiratie) wordt gereduceerd als de drukhoogte in de wortelzone minder negatief wordt dan -10 cm, dus bij hoge grondwaterstanden.

Drainage

De (cumulatieve) afvoer naar en van de greppels en de vijvers is weergegeven in figuur 11. De lijnen in deze figuur liggen heel dicht bij elkaar. De lijn van profiel B3 ligt continu bovenaan, die van profiel B5 ligt onderaan. In de tijd dat de lijn stijgt vindt er afvoer plaats van het grondwater naar de vijver. Gedurende de zomer kan het gebeuren dat het grondwaterpeil zakt tot beneden dat van de vijver. Dan vindt er infiltratie plaats en zal de lijn in de figuur dalen.

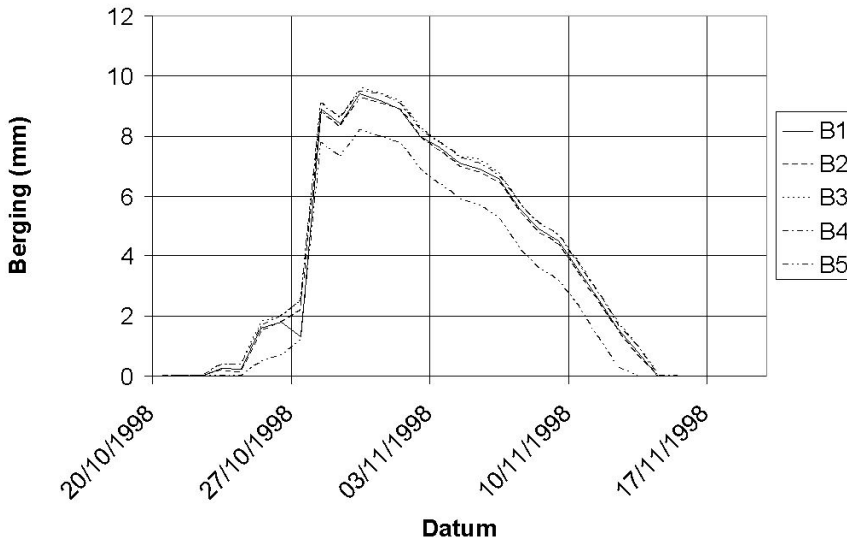


Figuur 11: De cumulatieve drainage.

Oppervlakteberging

De buien van eind oktober 1998 hebben een grote invloed gehad op de grondwaterstand en de oppervlakkige berging van het profiel. Als we kijken naar het verloop van de berging wordt het duidelijk dat deze weinig uiteenloopt tussen de verschillende profielen. Alleen B5 schiet er een beetje uit: plasvorming treedt later op, is minder diep en verdwijnt ook weer sneller. De overige profielen hebben 22 dagen plasvorming, B5 maar 18. Een en ander houdt wel in dat het gras gedurende bijna 3 weken achtereen onder water heeft gestaan. Het verloop van de diepte van de plassen in de tijd voor de verschillende bodemprofielen is weergegeven in figuur 12.

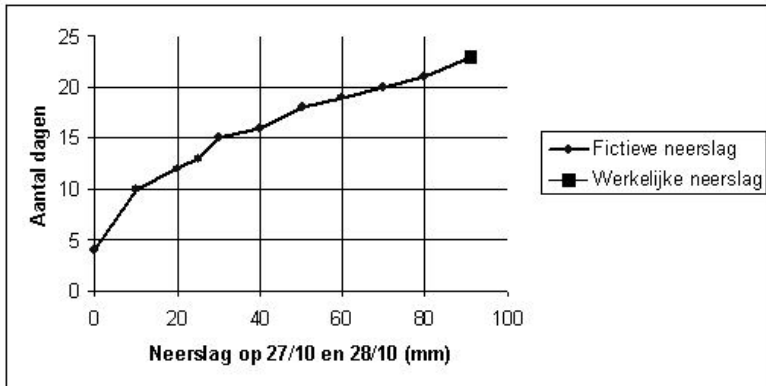
Om de invloed van de hoeveelheid neerslag op de tijdsduur en dikte van de plasvorming te onderzoeken zijn de neerslaggegevens ingevoerd zoals aangegeven in tabel 3. Alle overige randvoorwaarden zijn identiek gehouden. Daar uit het rapport (Wesseling e.a., 2005) al bleek dat de gekozen bovengrond weinig invloed had is nu alleen gerekend voor het bodemtype B3 (sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand). De voornaamste resultaten zijn verwerkt tot een aantal grafieken.



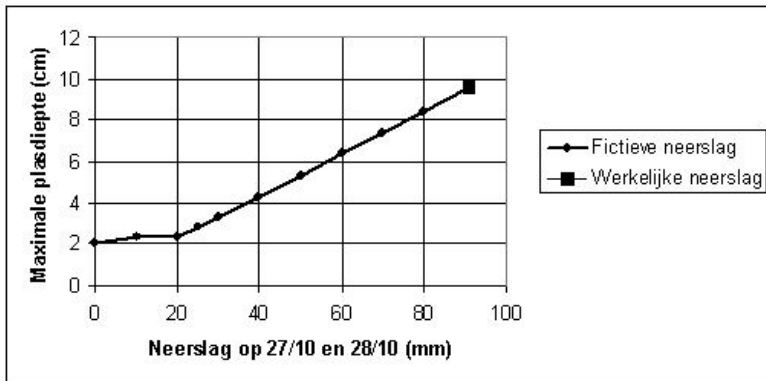
Figuur 12: Het verloop van de oppervlakteberging voor, tijdens en na de buien van 28 oktober 1998.

In figuur 13 is het aantal dagen met plasvorming uitgezet tegen de fictieve en waargenomen totale hoeveelheden neerslag op 27 en 28 oktober. Hieruit blijkt dat door de neerslag die voor 27 oktober is gevallen het grondwater al zo hoog is komen te staan dat er ook zonder de neerslag op de beschouwde dagen al plasvorming zou optreden. In dat geval zou het veld slechts 4 dagen onder water hebben gestaan. Bij de waargenomen hoeveelheid neerslag van 76 mm is het aantal dagen dat er water op het veld heeft gestaan maximaal 23. Daar in oktober de verdamping te negeren is (minder dan 1 mm per dag), kunnen we wel stellen dat al het water door het ontwateringssysteem moet zijn verdwenen.

Het feit dat de golfbaan een groot aantal dagen onder water heeft gestaan is in de meeste gevallen al voldoende om schade te veroorzaken. De hoeveelheid water (plasdikte) is ook van invloed op het veroorzaken van schade. Als de plasdikte slechts een aantal mm is zal het gras nog boven het water uitkomen. Als het gras echter helemaal onder water staat zal er meer schade optreden. Daarom is het interessant om ook de maximale plasdikte op de golfbaan uit te zetten tegen het aantal mm neerslag op de beschouwde dagen. Figuur 14 toont aan dat als er geen neerslag was gevallen op 27 en 28 oktober, de dikte van de waterlaag iets meer dan 2 cm zou zijn geweest. Deze dikte varieert weinig tot aan een neerslaghoeveelheid van 20 mm. Bij grotere hoeveelheden loopt de plasdikte lineair op tot 9,3 cm.



Figuur 13: Het aantal dagen dat de golfbaan onder water heeft gestaan als functie van de fictieve c.q. waargenomen hoeveelheden neerslag op 27 en 28 oktober 1998.



Figuur 14: De maximale dikte van de waterlaag op de golfbaan als functie van de neerslag op 27 en 28 oktober 1998.

Conclusies

- Rekening houdend met de hier beschreven aannames en randvoorwaarden blijkt dat de golfbaan Martensplek in Tiendeveen direct na 23 oktober 1998 tussen de 18 en 23 opeenvolgende dagen onder water heeft gestaan.
- Zonder de 2 dagen met extreme regenval zou de baan 4 dagen plasvorming hebben gehad. Dat wil zeggen dat de gevallen neerslag op 27/10 en 28/10 de schade aan de golfbaan heeft veroorzaakt en niet de natte periode ervoor.
- Mede gezien de aanwezige grassoorten lijkt het onvermijdelijk dat de golfbaanbeheerder zich genoodzaakt heeft gezien de baan door te zaaien dan wel opnieuw in te zaaien, hierdoor extra werkzaamheden heeft moeten uitvoeren en navenant extra kosten heeft moeten maken. Ook moet worden aangenomen dat cultuurtechnische ingrepen noodzakelijk zijn geweest om de bodemstructuur te herstellen.
- Een numeriek model als SWAP is prima in te zetten om aan te tonen of natschade of droogteschade is opgetreden. De inzet van een ervaren hydroloog/bodemkundige blijft

echter onontbeerlijk om de randvoorwaarden uit de situatie ter plaatse te bepalen en de resultaten te interpreteren.

- De hier gepresenteerde resultaten geven een eerste schatting. Deze is uitstekend te gebruiken als indicatie van de schade. Voor meer details zouden een hoogtekaart of DEM en een geavanceerd driedimensionaal stromingsmodel moeten worden toegepast.

Literatuur

- Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenedijk en C. A. van Diepen (1997)** Theory of SWAP, simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Report 71 Department of Water Resources, WAU, Technical document 45 DLO Winand Staring Centre, Wageningen.
- Ernst, L.F. (1956)** Calculation of the steady flow of groundwater in vertical cross-sections; in: *Netherlands Journal of Agricultural Science* 4, pag. 126-131.
- Ernst, L.F. (1962)** Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen; *Proefschrift Universiteit van Utrecht*, 189 pag.
- Genuchten, M.Th. van (1980)** A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils; in: *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 44 , 5, pag. 892-898.
- Hooghoudt, S.B. (1940)** Algemene beschouwing van het probleem van de detailontwatering en de infiltratie door middel van parallel lopende drains, greppels, sloten en kanalen; *Versl. Landbouwk. Onderz.*, 46, B, 193 pag.
- Kroes, J.G. en J.C. van Dam (red) (2003)** Reference manual SWAP version 3.0.3; *Alterra Report 773*, Alterra, Wageningen. 211 pag.
- Kroes, J.G., J.G. Wesseling en J.C. van Dam (2000)** Integrated modelling of the soil-water-atmosphere-plant system using the model SWAP 2.0; An overview of theory and an application; in: *Hydrol. Process.* 14, pag 1993–2002.
- Laar, H.H. van, J. Goudriaan en H. van Keulen (red) (1992)** Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations (as applied to spring wheat); in: *Simulation reports CABO-TT 27*. CABO-DLO, WAU-TPE, Wageningen. 72 pag.
- Monteith, J.L. (1981)** Evaporation and surface temperature; in: *Quarterly J. Royal Soc.*, 107, pag. 1–27.
- Penman, H.L. (1948)** Natural evaporation from open water, bare soil and grass; Series A 193: pag. 130-145. *Proc. Roy. Soc., London*.
- Wesseling J.G., K. Oostindie, L.W. Dekker en C.J. Ritsema (2005)** Resultaten van veldwaarnemingen en berekeningen voor de golfbaan Martensplek in Tiendeveen ter bepaling van de opgelopen waterschade in het najaar van 1998; Alterra, *Alterra-rapport 2005/03* (Speciale uitgave), Wageningen, 35 pag.
- Wösten, J.H. (1987)** Beschrijving van de waterretentie- en doorlatendheids-karakteristieken uit de Staringreeks met analytische functies; *STIBOKA Rapport 2019*, Wageningen.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte (2001)** Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; Vernieuwde uitgave 2001, *Alterra-rapport 153*, Wageningen. 86 pag.