

Aquapodium promovendis

Snel reagerende grondwaterstanden in zandgronden door preferente stroming en luchtinsluiting

Doel van het onderzoek

Sinds juli 2002 werk ik als AIO aan een NWO-project onder begeleiding van dr. ir. Ger de Rooij en prof. dr. ir. Marc Bierkens. Het project beoogt vast te stellen welke fysische processen verantwoordelijk zijn voor de snelle reactie van grondwaterstanden op neerslag die in sommige homogene zandgronden wordt waargenomen. Met snel wordt bedoeld: sneller dan dat wat voor het specifieke buivolume verwacht mag worden op basis van Richards' vergelijking. De Richards' vergelijking wordt gebruikt in gangbare numerieke modellen voor transport van energie, water en opgeloste stoffen in de onverzadigde zone.

Aanleiding

De interesse voor deze 'nerveuze/neerslaggevoelige' grondwaterdynamiek komt voort uit de actualisatieslag van de grondwatertrappenkaart van Brabant (zie onder andere in Stromingen, jrg 11, nr 2) Daarbij is een groot aantal freatische tijdreeksen gekarakteriseerd met onder andere tijdreeksmodellen. Voor een aantal locaties met opvallend neerslaggevoelige tijdreeksen is de grondwaterstand nagerekend door een gangbaar 1D numeriek onverzadigdezone-model SWAP (Van Dam e.a., 1997). Het bleek dat, gebruikmakend van de dagneerslag van nabijgelegen meetstations, de gemeten druk in het freatisch water in werkelijkheid sneller steeg dan door SWAP werd berekend. Bij het gebruik van de

routine voor simulatie van preferente stroming bleek de berekende/gemeten freatische druk echter sneller te reageren.

Aanpak

Het onderzoek omvat een uitbreiding van de reeks simulaties van de dynamiek van het freatisch grondwater niveau. Na deze analyse is een kansrijke locatie gezocht om met een intensieve meetcampagne de processen die een rol spelen in het veld te kunnen betrappen. Op basis van deze waarnemingen worden vervolgens twee hypothesen getoetst, namelijk:

- 1 dat preferente stroming van welke aard dan ook, een versnelde grondwateraanvullingsflux veroorzaakt, en
- 2 dat luchtinsluiting de volcapillaire zone extra verhoogt waardoor het druksignaal versneld door wordt gegeven in de diepte.

De resultaten moeten het vervolgens ook mogelijk maken om een fysische beschrijving van de betrokken processen te formuleren. In dit artikel ga ik in op ervaringen met simulaties van de dynamiek van infiltratie en het freatisch niveau met een aangepaste versie van het model SWAP.

Daarna presenteer ik de eerste veldmetingen aan de ruimtelijke verdeling van onverzadigde neerwaartse fluxen, omdat daarbij gebruik gemaakt wordt van een nieuw instrument.

Maatschappelijke relevantie

Als de grondwaterstand zo vaak "snel" stijgt in deze waarnemingspunten dan komt preferente stroming daar mogelijk net zo vaak voor. En misschien net zo vaak op vergelijkbare gronden met diepere grondwaterstanden, maar dan zonder duidelijk herkenbaar grondwatersignaal. De modellen die gebruikt worden voor de studie van

verblijftijdverdeling van water in de onverzadigde zone of studie aan de waterbalans moeten dan worden uitgerust met routines voor het herkennen van de situaties waarin die achterliggende processen zich voordoen. Preferente stroming bepaald de differentiatie in verblijftijden en veroorzaakt een onregelmatige bevochtiging van de wortelzone. De verblijftijd van neerslag in de onverzadigde zone bepaald op zijn beurt de tijd die beschikbaar is voor afbraak en van schadelijke stoffen en opname van oplosbare stoffen in het infiltrerende water. Een versnelde lozing op het oppervlaktewater betekent een vergrote kans op verspreiding van schadelijke stoffen en blootstelling daaraan van kwetsbare organismen en ecosystemen. Preferente stroming beïnvloedt zo dus de passieve en actieve filterfunctie van de onverzadigde zone.

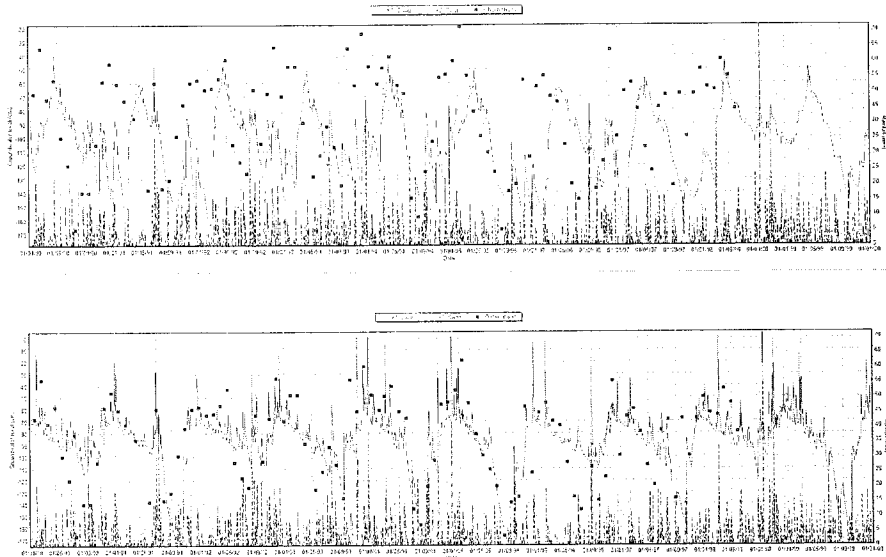
Maar er zijn nog meer voor de hand liggende gevolgen van preferente stroming. De verhouding tussen het bevochtigde en niet bevochtigde bodemvolume bepaald uiteindelijk of gemiddeld juist meer of minder vervuiling plaats vindt dan bij homogene infiltratie. Tegelijkertijd is een kleiner deel van de neerslag in de zomer beschikbaar voor transpiratie en verdamping van gewassen wat weer leidt tot een suboptimale benutting van beschikbare nutriënten. Er is aangetoond dat de ruimtelijke verdeling van preferente stroombanen als ze eenmaal zijn gevormd met gemak een seizoen lang kunnen blijven bestaan (Dekker e.a., 1999) waardoor natte voedselarme zones voor kunnen komen vlak naast droge voedselrijke zones. Deze situatie veroorzaakt in agro-ecosystemen afhankelijk van gewastype ongelijke en dus ongunstige productieomstandigheden met een naar

rato grotere uitspoeling van nutriënten in het winterseizoen. In natuurlijke ecosystemen waar niet geploegd wordt veroorzaakt het een persistente variatie in standplaats-eigenschappen die op korte afstand misschien juist een gunstige invloed heeft op de ruimtelijke structuur van vegetatie. Zonder voldoende onderscheidend vermogen van simulatiemodellen voor deze processen kunnen deze effecten niet worden gekwantificeerd.

Analyse van tweewekelijkse tijdreeksen

De nerveuze tijdreeksen uit Brabant zijn gebruikt om aanwijzingen te vinden over de bijdrage van preferente stroming aan de snelle grondwateraanvulling, en waar dat überhaupt voorkomt. Eerst zijn tijdreeksen nagerekend met SWAP waarbij gebruik werd gemaakt van standaardinstellingen op basis van de hydrologische setting van de meetpunten. De tweede stap was gericht op het vinden van model instellingen waarbij extreme bodemfysische parameters werden toegelaten die normaal gesproken wijzen op preferente stroming. Het contrast tussen gesimuleerde grondwaterstandtijdreeksen (uitgedrukt in RMSE) met of zonder preferente stroming in welke vorm dan ook, geven informatie over het nog steeds vermoedelijke voorkomen van het fenomeen en over de beste plek waar aanvullende gegevens verzameld moeten worden.

In figuur 1 staan als voorbeeld twee gesimuleerde grondwaterstandtijdreeksen met twee verschillende parameterinstellingen, geoptimaliseerd naar een zeer nerveuze tweewekelijkse tijdreeks.



Figuur 1a, b: Voorbeeld grondwaterstandtijdreeks 43HL0022 (meetpunten) over een periode van 10 jaar naast de resultaten van SWAP (stippellijn) met standaardinstellingen en een vast zomer en winterpeil (1a). Daaronder (1b) dezelfde waarnemingen maar dan met SWAP, geoptimaliseerd met extreme instellingen van bodemfysische parameters en een per maand variërend sloopwaterpeil.

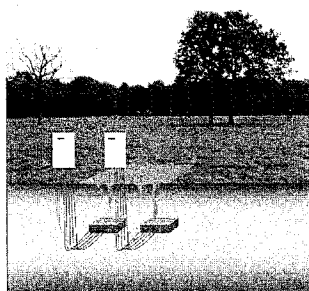
Normaal gesproken worden de parameters van het model geoptimaliseerd op basis van RMSE waarbij alle grondwaterstandsmeetpunten een gelijk gewicht krijgen. Omdat het hier juist niet gaat om gemiddelde grondwaterstanden maar slechts om de scherp gestegen grondwaterstanden is bij de optimalisatie gebruik gemaakt van een filter dat het gewicht van iedere grondwaterstandsmeting aanpast al naar gelang het verschil met de voorgaande meting. De resultaten van dit simuleerwerk wordt in een artikel verwerkt.

Meetcampagne

Om nu voor een 'probleemlocatie' het fenomeen van een goede dataset te voorzien is een meetcampagne opgezet op een grasstrook van proefboerderij in Vredepeel (Noord-Westhoek van Limburg). Toevallig viel in dat jaar maar op een van de verdachte locaties een voldoende intensieve bui

van 35 mm met een daarop volgende snelle reactie in het freatisch grondwaterpeil. De basis van de meetopstelling wordt nu gevormd door drie regenmeters (resolutie: tipping bucket met reservoir van 0,2 mm, registratie per minuut) en 13 drukopnemers (uitleesnauwkeurigheid 0,1 cmwk (drukhoogte in cm waterkolom), frequentie 10 minuten) die de sloopwaterstand, grondwaterstand, drainwaterstand, luchtdruk en bodemluchtdruk meten. Verder wordt door 15 mini-tensiometers de bodemvochtdruk gemeten. De tensiometers (uitleesnauwkeurigheid 0,1 cmwk, frequentie 15 minuten) zijn in twee verticale kolommen geplaatst waarvan er 4 vrijwel continue onder het grondwatervniveau zitten. 6 Plaatvormige bodemvochtsensoren (5% vol 15 minuten, 10 cm lang, 4 cm hoog) zijn eveneens verticaal boven elkaar geplaatst, vlak naast een van de tensiometerkolommen om zo een compleet bodemvochtprofiel inclusief hysteresis in de retentiekarakteristiek te kunnen meten. Nog eens 105 van

dezelfde bodemvochtsensoren zijn dicht naast elkaar geplaatst in een horizontale rij op 30 cm diepte, om vlak onder de wortelzone een beeld te krijgen van de ruimtelijke variatie in bodemvochtgehalte.



Figuur 2a,b: Schematische weergave van meetopstelling rondom een centrale buis waarin de snel reagerende grondwaterstand is waargenomen. 2b, Weergave van de multicompartiment sampler (fluxvariatie meter) weergegeven als een geruit blok met bekabeling en bovengrondse meetkist. Sampler wordt hier onderworpen aan een willekeurig preferent stromend infiltratiefront.

Metingen van de ruimtelijke variatie van de grondwateraanvullingsflux

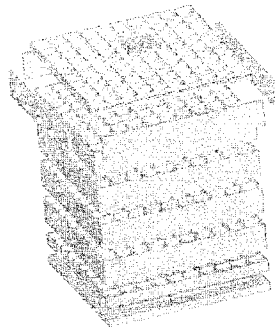
Geen van deze instrumenten kan direct de grondwateraanvullingsflux kwantificeren. Daarvoor is een nieuw instrument gebouwd waarbij bestaande fluxmeters en bodemvochtbemonsterings-apparaten zijn gecombineerd. Bestaande 'onverzadigde zone fluxmeters' zijn onder te verdelen in verzadigde poreuze platen waarop een variabele

onderdruk wordt aangebracht met een vacuümpomp (Grinsven e.a., 1988; Kosugi en Katsuyama, 2004), en natte glasvezelbundels waarin de hangende waterkolom een constante onderdruk aanbrengt (Boll e.a., 1997). Beide soorten instrumenten worden via een tunnel en een krik of veer in contact gebracht met ongestoorde grond waarbij capillair contact tussen de poreuze platen of vezels met de bovengrond cruciaal is. De glasvezelbundels zijn vaker gebruikt in meercellige multi-compartment samplers, maar lenen zich niet voor automatische hoogfrequente metingen. Fluxmeters die werken met poreuze platen kunnen de onderdruk laten variëren door een vacuümpomp lucht te laten onttrekken al naar gelang de veranderingen in de bodemvocht-potentiaal. Daardoor wordt water onttrokken uit de poriënfractie (bij die druk) die in theorie exact overeenkomt met de heersende omstandigheden. Omdat de druk in de fluxmeter zeer snel kan worden aangepast werkt het ook bij een sterk variabele flux zoals bijvoorbeeld tijdens de passage van een infiltratiefront. Daarnaast zijn ze beter te automatiseren.

Het nieuwe instrument moet door onderdruk het infiltrerende water kunnen onderscheppen zonder dat het instrument de stromingsrichting of snelheid beïnvloedt, en als de infiltratieflux op korte afstand varieert (preferente stroming via macroporiën bijvoorbeeld) moet dat worden gemeten. Daarvoor is een 100-cellige poreuze plaat gemaakt in combinatie met een systeem dat druppels telt en die gegevens iedere 5 minuten opslaat. Het prototype is nu twee jaar operationeel en de tweede en derde versie (figuur 3) worden dit najaar geplaatst.

Het opvangreservoir is ontwikkeld ten behoeve van het project van mijn collega-AIO Esther Bloem, die fluxvariatie koppelt aan doorbraakcurven om zodoende de bodem te kunnen karakteriseren voor stoftransport. Daarnaast levert het opgevangen water een waardevolle controle voor de

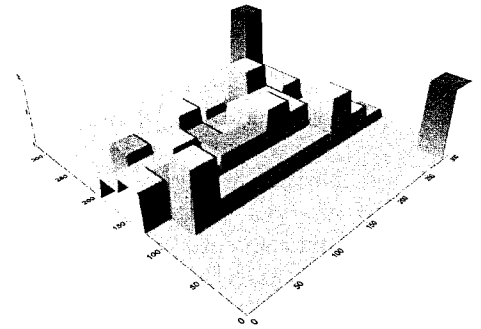
fluxmetingen die gebaseerd zijn op druppels en hun karakteristieke volume. Het prototype is sinds juli 2004 op 50 cm diepte geïnstalleerd. De onderstaande grafieken geven resultaten van de eerste fluxmetingen in 2004 met 36 van de 100 cellen actief.



Figuur 3: Ondergrondse dragende delen van de multicompartment sampler met een groot opvangreservoir. De aluminium trechterplaat van het prototype is voorzien van waterdicht verlijmd vierkante keramische plaatjes.

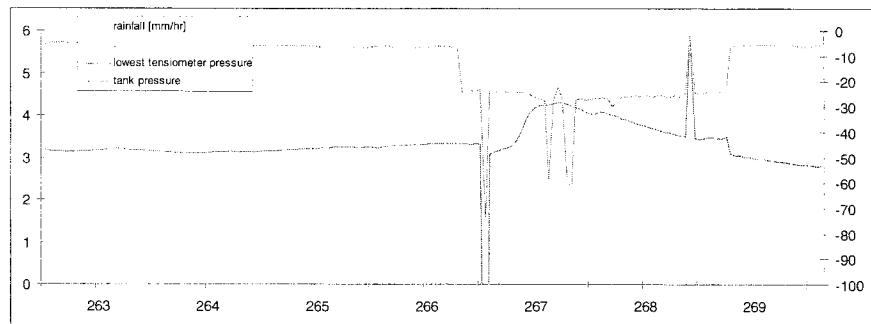
De tankdruk kon tijdens deze gebeurtenis nog niet op het theoretisch optimum niveau worden gehouden waardoor de fluxmetingen licht kunnen afwijken van de werkelijke neerwaartse flux. De optimale druk in de tank wordt bepaald door de drukgradiënt

in de poreuze plaat die afhankelijk is van de aangeboden infiltratieflux. Deze en andere operationele aspecten van dit instrument worden op dit moment in een artikel vastgelegd, evenals de metingen die deze zomer zijn gedaan.



Figuur 5: Uitkomsten van druppeltellingen tijdens een interval van 5 minuten. De twee hoge hoekcellen waren niet actief en zijn gebruikt om de verticale as te normaliseren naar 10 druppels. De kolomhoogte in de figuur vertegenwoordigen het aantal druppels en loopt uiteen van 0 tot 7 druppels.

Iedere 5 minuten worden de totalen van de druppeltellingen per cel weggeschreven. Een van deze intervallen tijdens de hierboven beschreven gebeurtenis staat in figuur

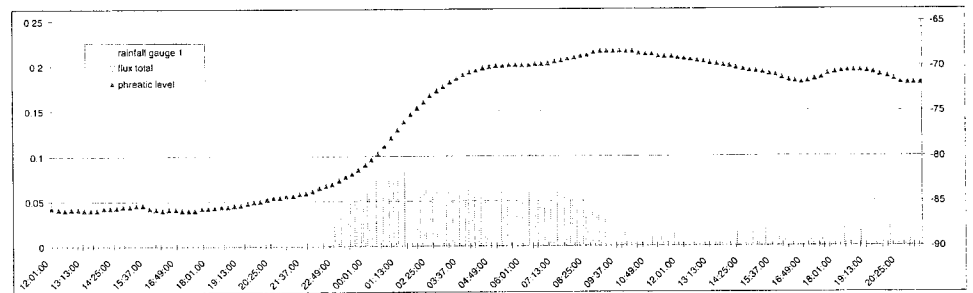


Figuur 4: Neerslaghistogram (linker y-as) en druk (centimeter waterkolom t.o.v. atmosferische druk) op de rechter y-as. De tankdruk is de lijn met normale waarden tussen -10 en 0 cm waterkolom en de tensiometerdruk wordt weergegeven door de lijn met waarden tussen -60cm waterkolom en -30 cm waterkolom. De x-as geeft de dagnummers in 2004.

5 weergegeven. Gedurende het hele infiltratieproces werden maximaal 8 druppels per 5 minuten geteld. Dit komt overeen met een maximale flux van 5,4 mm/uur op 50 cm diepte.

Deze ruimtelijke configuratie kan in intervallen van 5 minuten worden opgeslagen, wat kwantitatieve informatie oplevert over de eigenschappen van het infiltratiefront en de mate van fluxconvergentie over het oppervlak. Misschien is het uiteindelijk ook mogelijk om uitspraken te doen over de rol van hysteresis op de ruimtelijke verdeling van de infiltratieflux. De grote aantallen parallele tijdreeksen maken het mogelijk om de dataset te toetsen op het voorkomen van een omtrekkende flux die zou kunnen optreden als de keramische tegels een te grote weerstand opleveren. Deze informatie over de kwaliteit van de metingen kan niet

worden afgeleid uit metingen met eencellige fluxmeters. Daarnaast kan de relatie tussen de gemiddelde flux en de mate van fluxconvergentie worden onderzocht en of het fluxbeeld verandert bij een toenemende of afnemende gemiddelde flux die wordt aangeboden (of aankomt) op de onderschepingsdiepte. De tijdreeksen geven ook informatie over de relatie met neerslagintensiteit als ze worden gemiddeld over het hele oppervlak (oppervlak gedeeld door totaal volume per 5 minuten) en dat maakt het mogelijk om modellen te toetsen op hun gevoeligheid voor kwaliteit van neerslaggegevens en preferente stroming. In figuur 6 staat de gemiddelde flux die is gemeten tijdens de neerslaggebeurtenis van figuur 4, gecombineerd met het gemeten grondwaterpeil. Samen met figuur 4 leveren deze metingen inzicht in de timing van neerslag, infiltratie en grondwateraanvulling.



Figuur 6: Detail van periode in figuur 4, x-as (mm) in uren vanaf 0 uur dag 266. Histogram met op de linker y-as de neerslag (in kolommen van 0,2 mm) en de onverzadigde flux op 50 cm diepte (cluster van kolommen start twee uur na neerslagpiek en stabiliseert 12 uur na neerslagpiek). Op de rechter y-as (cm-maaiveld) met driehoeken de reactie van de grondwaterstand. De onverzadigde neerwaartse flux is gesommeerd over het totale oppervlak van 960 cm², waarbij 36 van de 100 cellen actief waren. De andere cellen hadden toen geen contact met de bovengrond. Dit soort gegevens van over het instrument-oppervlak gemiddelde flux geven de cruciale informatie over de timing van impuls en respons.

In maart 2005 werd het instrument tijdelijk verwijderd en gereviseerd. De sampler is in juni op dezelfde plek teruggeplaatst nu op een manier die wel alle plaatjes in contact bracht met de bovengrond. In juli 2005 werd opnieuw een grote bui geregistreerd (32 mm / 24 uur met een piek van 14 mm/uur) Deze bui heeft , gebaseerd op de statis-

tische referentie opgesteld op basis van hoogfrequente neerslagmetingen in De Bilt, een herhalingstijd van 3 jaar. Een opvallend resultaat van deze bui is dat een kleurverschil zichtbaar is tussen de twee groepen bodemvocht-monsters afkomstig van twee clusters van cellen met een totale infiltratie per cel van 69 mm (kleurloos) en 48 mm

(geel). De twee clusters hebben een onderlinge afstand van 10cm. De resultaten van de metingen van 2005 worden nu verwerkt in een artikel.

Verder verloop van het onderzoek

In het project was oorspronkelijk rekening gehouden met een veldmeetcampagne van 1 zomerseizoen met eventueel een uitloop in het tweede zomerseizoen, maar ondertussen is het derde zomerseizoen ten einde en gaan mijn collega Esther Bloem en ik de komende winter door met meten. Zij breidt het experiment uit met twee fluxmeters die zijn uitgerust met alternatieve poreuse materialen om ondieper geplaatst te kunnen worden. De meetcampagne zal daarom ook tijdens het komende winterseizoen doorgaan. De metingen leggen een zwaar beslag op de tijd die gereserveerd is voor data-verwerking, analyse en publicatie. Er is vooral nog veel tijd nodig voor de beoogde beschrijvingen van de actieve fysische processen en het verwerken daarvan in een 2D (misschien 3D) onverzadigde zone model. Dit model wordt daarna getoetst aan een validatie-dataset van fluxmetingen.

In deze combinatie van simulatie en flux-variatiemetingen verwacht ik ook de grootste meerwaarde van een perfect werkende flux-variatie-meter, omdat de ontwikkeling van meerdimensionale onverzadigde zone modellen in de laatste jaren een hogere vlucht heeft genomen dan de meetmethoden. De combinatie van modellen en meetinstrumenten op deze schaal maakt het uiteindelijk mogelijk om complexe infiltratie en transport problemen in detail te onderzoeken, en de resultaten visueel te presenteren op een manier die geschikt is voor een breed publiek. De methode past in een visie die gericht is op het slim karakteriseren van de functionele eigenschappen van bodems en de toetsing van grootschalige gedistribueerde modellen zonder te

moeten inleveren op de bodemfysische achtergrond, maar voor we zover zijn moet er nog veel gebeuren.

Literatuur

- Boll, J., J.S. Selker, G. Shalit en T.S. Steenhuis (1997)** Frequency distribution of water and solute transport properties derived from pan sampler data; in: *Water Resources Research*, vol 33, pag 2655–2664.
- Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling en R.A. Feddes (1997)** Theory of SWAP, version 2.0, Simulation of water flow, Solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment; Technical Document 45, Universiteit Wageningen, Wageningen.
- Dekker, L.W., C.J. Ritsema, O. Wendroth, N. Jarvis, K. Oostindie, W. Pohl, M. Larsson en J.P. Gaudet (1999)** Moisture distributions and wetting rates of soils at experimental fields in the Netherlands, France, Sweden and Germany; Special Issue, Preferential flow of water and solutes in soils; in: *Journal of Hydrology*, vol 215, pag 1–4.
- Grinsven, J.J.M. van, H.W.G. Booltink, C. Dirksen, N. van Breemen, N. Bongers en N. Waringa (1988)** Automated in situ measurement of unsaturated soil water flux; in: *Soil Science Society of America Journal*, vol 52, pag 1215–1218.
- Kosugi, K. en M. Katsuyama (2004)** Controlled-suction period lysimeter for measuring vertical water flux and convective chemical fluxes; in: *Soil Science Society of America Journal*, vol 68, pag 371–382.

Franck Hogervorst

Frank Hogervorst is assistent in opleiding aan Wageningen Universiteit.