
Neerslaglenzen: vorm en dynamiek

Anton Poot
Paul Schot

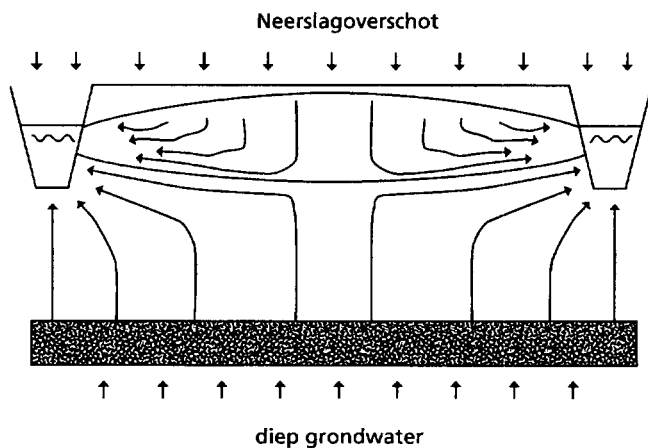
Bij hydro-ecologische herstelprojecten zijn berekeningen van de effecten van maatregelen op de waterkwaliteit in de wortelzone vaak nog een ondergeschoven kindje. In dit artikel worden een aantal modellen besproken waarmee de vorm en dynamiek van neerslaglenzen kunnen worden beschreven.

Inleiding

Het doel van veel hydro-ecologische projecten is het herstellen van de oorspronkelijke natte toestand van een verdroogd gebied. Hierbij is het van belang dat niet alleen de grondwaterstand op het oude niveau wordt gebracht, maar dat ook de waterkwaliteit van het ondiepe grondwater weer voldoet aan de eisen van de oorspronkelijke vegetatie. Verschillende plantengemeenschappen in Nederland zijn voor hun instandhouding afhankelijk van opwellend basenrijk grondwater (Grootjans e.a., 1985; Kemmers, 1986; Wassen, 1990). Een belangrijke vraag bij hydro-ecologische herstelprojecten is dan ook: 'Komt door de ingrepen in de waterhuishouding het diepe, basenrijke grondwater weer beschikbaar voor de vegetatie?'.
De effecten van mogelijke ingrepen in de waterhuishouding worden doorgaans voorspeld met behulp van grondwatermodellen. Hiermee is het mogelijk om de verandering in waterkwaliteit (i.e. grondwaterstand en kwelintensiteit) te voorspellen. Dit is echter niet voldoende voor de beantwoording van de bovenstaande vraag. Een grote kwelintensiteit hoeft namelijk niet te betekenen dat het diepe grondwater ook beschikbaar komt voor de vegetatie. Uit een aantal studies is gebleken dat, terwijl het grondwatermodel kwel voorspelt, in werkelijkheid deze kwel direct wordt afgevangen door de sloten zonder dat de vegetatie hiermee in contact is gekomen (Kemmers, 1982; Boo, 1996; Jalink en Meeuwissen, 1998). Dit geeft de gelegenheid aan neerslagwater om de bodem te infiltreren, en er ontstaat een zogenaamde neerslaglens die op het kwelwater 'drijft' (figuur 1). In deze situatie wordt de waterkwaliteit van het ondiepe grondwater primair bepaald door het neerslagwater, en verdwijnen kwelafhankelijke planten ten gunste van regenwater minnende soorten.

Het kunnen voorspellen van de vorm en de dynamiek van neerslaglenzen is dus belangrijk om uitspraken te kunnen doen over de effectiviteit van maatregelen die tot doel hebben de kwelafhankelijke vegetatie te herstellen. Door Cees van Immerzeel is een model ontwikkeld dat de dynamiek van een neerslaglens gedurende het jaar kan berekenen (IWACO B.V., 1994; Immerzeel e.a., 1996). Het model berekent voor een perceel de waterbalans van twee soorten water: opwellend grondwater en lokaal geïnfiltrerd neerslagwater. Op basis

Drs. A. Poot en dr. P.P. Schot zijn beide werkzaam bij de Universiteit Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Disciplinarygroep Milieukunde en Hydro-ecologie, Postbus 80115, 3508 TC Utrecht, e-mail: p.schot@geog.uu.nl, tel: (030) 253 23 18, fax: (030) 253 27 46.



Figuur 1: Schematische weergave van een neerslaglens (Bron: Raat, 1999)

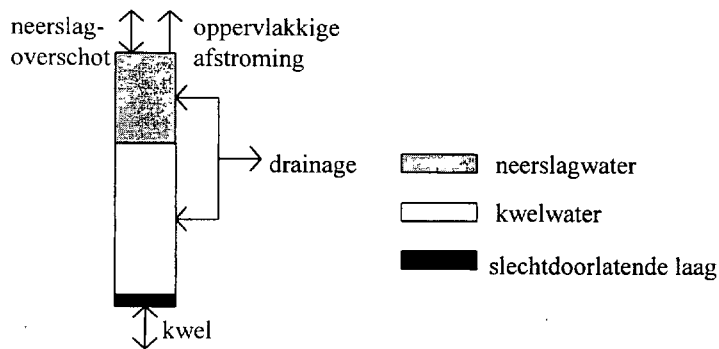
van de berekende waterbalans wordt de gemiddelde grondwaterstand en het gemiddelde niveau van het grensvlak tussen neerslag- en grondwater bepaald. Het is een puntmodel dat niet de vorm van de neerslaglens beschrijft. Kees Maas heeft neerslaglensen op een andere manier beschreven (Raat, 1999). Hij heeft een aantal analytische formules opgesteld, waarmee de jaargemiddelde vorm (i.e. dikte en diepte) van een neerslaglens binnen een perceel berekend kan worden.

In dit artikel worden beide methoden beschreven en met elkaar vergeleken. Eerst wordt echter aangegeven hoe de methode Immerzeel is aangepast teneinde daarmee ook de vorm van de neerslaglens te kunnen berekenen. Deze aangepaste methode, methode Immerzeel+, is met de methode Maas vergeleken voor een zestal hypothetische situaties. Uit de resultaten van deze vergelijking wordt duidelijk hoe beide methoden zich tot elkaar verhouden. Leveren ze vergelijkbare resultaten op of spreken ze elkaar tegen? En: kunnen beide methoden elkaar wellicht aanvullen?

Methode Immerzeel

De methode Immerzeel beschrijft de verzadigde en onverzadigde zone van de toplaag van een (kwel)gebied. Het maaiveld vormt de bovenkant van het model. De onderkant van het model valt samen met de bovenkant van een slecht doorlatende laag. Aangenomen wordt dat de toplaag van het model een homogene isotroop doorlatende laag is. Hieronder bevindt zich het regionale hydrologische systeem. Voor het gebied wordt de waterbalans van twee soorten water berekend: lokaal geïnfiltrerd neerslagwater en opwellend, diep grondwater. De totale vochtinhoud van de toplaag wordt gevormd door deze twee typen water. In het model treedt geen menging van beide watertypen op.

De waterbalans telt vier fluxen (figuur 2). Aan de bovenrand wordt het model gevoed door het neerslagoverschot (i.e. neerslag min actuele verdamping). Wanneer de verdamping groter is dan de neerslag, is deze flux negatief. Het diepe grondwaterwater kan de toplaag binnenkomen of verlaten via stroming door de slechtdoorlatende laag. Zowel de neerslag als



$$\text{kwel (m/d)} = \frac{\text{diepe stijghoogte (m+ref)} - \text{grondwaterstand}}{\text{totale weerstand tegen verticale stroming}}$$

$$\text{drainage (m/d)} = \frac{\text{grondwaterstand (m+ref)} - \text{slootpeil}}{\text{drainageweerstand}}$$

en als grondwaterstand > drainagebasis greppels

$$\text{oppervlakkige afstroming (m/d)} = \frac{\text{grondwaterstand (m+ref)} - \text{drainagebasis greppels (m+ref)}}{\text{weerstand bij oppervlakkige afstroming (d)}}$$

Figuur 2: Principe van de methode Immerzeel (Bron: Immerzeel e.a., 1996).

het diepe grondwater kan worden afgevoerd door drainage naar de sloten. De berekende drainageflux wordt op basis van hun volume-aandeel in het topsysteem over beide watertypen verdeeld. Wanneer bijvoorbeeld 70% van het water in de toplaag uit diep grondwater bestaat en 30% uit neerslagwater, dan wordt aangenomen dat het drainagewater ook deze verhouding heeft. Wanneer de grondwaterstand van het perceel boven het maaiveld of boven de drainagebasis van eventueel aanwezige greppels komt, wordt er ook water afgevoerd via oppervlakte-afvoer. Hiermee wordt stroming via greppels en stroming over het maaiveld bedoeld. Deze flux zal doorgaans alleen neerslagwater afvoeren. Pas wanneer er geen neerslagwater meer in het profiel aanwezig is, zal het diepe grondwater via deze flux worden afgevoerd. Aangenomen wordt dat het water dat via oppervlakte-afvoer afstroomt niet opnieuw infiltreert.

Aangenomen wordt dat er een direct verband bestaat tussen de totale vochtinhoud (i.e. som van neerslagwater en diep grondwater) van de toplaag en de grondwaterstand. Omdat ook wordt aangenomen dat de onverzadigde zone altijd op veldcapaciteit is wordt voor de berekening van de grondwaterstand gebruik gemaakt van de freatische bergingscoëfficiënt. Tevens wordt aangenomen dat er een direct verband bestaat tussen de hoeveelheid diep grondwater in de toplaag en het niveau van het grensvlak tussen neerslag- en grondwater. De berekeningen van de methode Immerzeel zijn niet-stationair. Door voor iedere tijdstap een andere waarde voor het neerslagoverschot, het slootpeil en de diepe stijghoogte (i.e. de stijghoogte die heerst in het eerste watervoerend pakket) op te geven, wordt de dynamiek van een neerslaglens in de tijd inzichtelijk gemaakt.

Het nadeel van de methode Immerzeel is dat het rekent met gebiedsgemiddelde fluxen. Met het model kunnen dan ook slechts op gebiedsniveau uitspraken worden gedaan over de dynamiek van neerslaglens. Het levert dus geen informatie over de verschillen in dikte en diepte van de neerslaglens binnen een perceel (i.e. de ruimtelijke vorm van een neerslaglens). Deze verschillen worden vooral veroorzaakt doordat de drainageweerstand binnen een perceel afhankelijk is van de afstand tot de ontwateringsmiddelen. In de volgende paragraaf wordt beschreven hoe dit nadeel opgeheven kan worden

Methode Immerzeel+

Door De Lange (1997) is een formule afgeleid voor de berekening van de drainageweerstand, voor een punt in een perceel tussen twee parallel lopende sloten, als functie van de afstand tot de sloot. Met deze formule is het mogelijk om voor ieder punt binnen een perceel de drainageweerstand te berekenen. Door Poot en Schot is deze formule gebruikt in de methode Immerzeel (Poot, 2000). Hierbij wordt eerst voor een aantal punten tussen de sloten de drainageweerstand berekend. Vervolgens worden deze waarden gebruikt om met het puntmodel van Immerzeel de dikte en de diepte van de neerslaglens op de verschillende punten tussen de sloten te berekenen. Op deze manier kan behalve de dynamiek, ook de ruimtelijke vorm van de neerslaglens berekend worden. In het vervolg van dit artikel zal naar deze nieuwe vorm van gebruik van de methode Immerzeel verwezen worden met de term 'methode Immerzeel+'.

Methode Maas

Kees Maas heeft drie analytische formules afgeleid, die samen de jaargemiddelde vorm van een neerslaglens beschrijven (Raaijmakers, 1999). De verschillende variabelen die in deze formules voorkomen zijn opgenomen in figuur 3. Met de eerste formule kan de jaargemiddelde dikte van de neerslaglens op een afstand x van het midden van het perceel berekend worden:

$$y(x) = -0.5 \frac{L}{\pi} \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \ln \left(\frac{\sin((1+\alpha)\xi)}{\sin((1-\alpha)\xi)} \right) \quad (1)$$

waarin

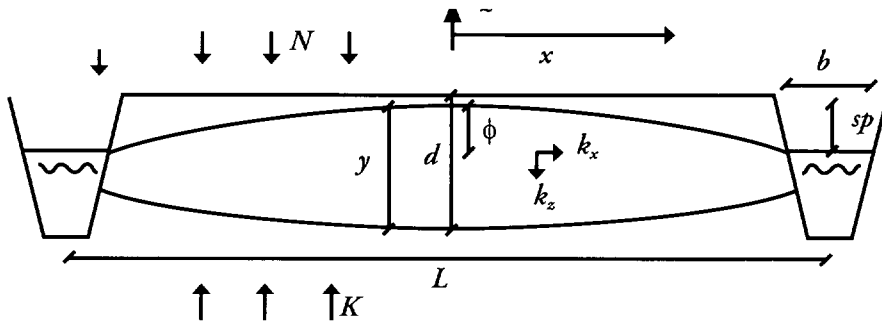
$$\xi = \frac{x\pi}{L}$$

$$\alpha = N/(K + N)$$

Met formule (1) is het niet mogelijk om de maximale dikte van de neerslaglens in het midden van het perceel te berekenen. Hiervoor moet de tweede formule gebruikt worden:

$$y_{\max} = -\arctan h(\alpha) \frac{L}{\pi} \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \quad (2)$$

De derde formule beschrijft de opbolling van de grondwaterspiegel:



- waarin ϕ = stijghoogte ten opzichte van slootpeil en tevens opbolling (m)
 b = slootbreedte (m)
 L = hart op hart afstand tussen twee sloten (m)
 k_x = horizontale doorlatendheid (m/d)
 k_z = verticale doorlatendheid (m/d)
 N = jaargemiddelde natuurlijke aanvulling (m/d)
 K = jaargemiddelde kwelintensiteit (m/d)
 $y(x)$ = jaargemiddelde dikte van de lens op een afstand x vanuit het midden van het perceel (m)
 d = diepte van de lens ten opzichte van maaiveld (m)
 sp = slootpeil ten opzichte van maaiveld (m)

Figuur 3: Variabelen in de formules van Maas (Bron: Raat, 1999).

$$\phi(x) = \frac{L(K+N)}{\pi\sqrt{k_z k_x}} \ln \left(\frac{\cos(\pi x/L)}{\cos(0,5\pi(1-b/L))} \right) \quad (3)$$

Bij het opstellen van deze formules is het volgende aangenomen:

- De diepte van de neerslaglens varieert nauwelijks in het midden van het perceel (tot ongeveer $2/3$ van het totale oppervlak van een perceel);
- Het kwelwater komt van oneindige diepte; hier stroomt het kwelwater loodrecht omhoog;
- De percelen in het gebied zijn even breed en worden van elkaar gescheiden door evenwijdig lopende sloten;
- De bodem bestaat uit één homogene laag waarbij de verticale doorlatendheid kan verschillen van de horizontale doorlatendheid (anisotropie);
- Er wordt uitgegaan van een representatieve dwarsdoorsnede loodrecht op twee evenwijdig lopende sloten (tweedimensionale stroming van het grondwater). Dit betekent dat de percelen in verhouding tot de breedte erg lang moeten zijn;
- Het doorlaatvermogen van de ondergrond is constant, dat wil zeggen deze verandert niet door opbolling van de grondwaterstand.

Het nadeel van de bovenstaande formules is dat ze niet de dynamiek van de neerslaglens gedurende het jaar beschrijven; er wordt vanuit gegaan dat het niveau van het grensvlak tussen het neerslagwater en het diepe grondwater gedurende het jaar nauwelijks varieert. De methode Immerzeel geeft echter aan dat het grensvlak door het jaar kan fluctueren met enkele tientallen centimeters (Poot, 2000; Immerzeel e.a., 1996). Dit betekent dat als jaargemiddeld het diepe grondwater onder de wortelzone van een perceel ligt, dit grondwater door de dynamiek van de neerslaglens, op een bepaald moment in het jaar toch beschikbaar kan komen voor de vegetatie.

Maar ook de dikte van de lens varieert in de loop van de tijd. Als er jaargemiddeld volgens de formule van Maas een neerslaglens aanwezig is, kan het gebeuren dat deze lens in de loop van de zomer verdwijnt. Door capillaire opstijging kan de vegetatie dan alsnog met het diepe grondwater in contact komen, mits de grondwaterspiegel niet te ver onder de wortelzone is gedaald.

Om in te schatten op welke deel van het perceelsoppervlak de neerslaglens in de zomer verdwijnt, heeft Kees Maas een formule ontwikkeld (pers.communicatie). Samen met formule (2) kan met deze formule het percentage van het perceelsoppervlak berekend worden waar de neerslaglens jaargemiddeld dunner is dan een opgegeven "kritische" dikte:

$$P = 100 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{y_{\max}}{y_{\text{crit}}}} \right) \text{ als } |y_{\max}| > |y_{\text{crit}}| \quad (4)$$

$$P = 100\% \text{ als } |y_{\max}| < |y_{\text{crit}}|$$

P = percentage van het perceeloppervlak waar neerslaglens jaargemiddeld dunner is dan een opgegeven kritische dikte (y_{crit}).

Voor het deel van het perceel waar jaargemiddeld de neerslaglens dunner is dan deze kritische dikte, geldt dat de neerslaglens in de loop van het groeiseizoen (met name) door verdamping helemaal verdwijnt. Formule (4) berekent dus het percentage van het oppervlak waar dit gebeurt.

Formule (4) geeft geen beschrijving van de dynamiek van de neerslaglens. Wel kan met deze formule een indruk verkregen worden van de mate waarin de vegetatie in een gebied in contact komt met het diepe grondwater.

Werkwijze

De methode Immerzeel+ en de methode Maas zijn met elkaar vergeleken door ze toe te passen in een aantal hypothetische situaties. Uit eerder onderzoek naar neerslaglensen met de methode Immerzeel is gebleken dat de diepe stijghoogte en het slootpeil de meeste invloed hadden op de dikte en de diepte van de lens (Poot, 2000). Daarom zijn de methoden toegepast in twee uitgangssituaties met eenzelfde stijghoogteverschil tussen het slootpeil en de diepe stijghoogte. In het vervolg van dit artikel zal dit stijghoogteverschil worden aangeduid met de term 'kweldruk'. In uitgangssituatie L1 is het slootpeil relatief laag; in uitgangssituatie H1 is het slootpeil relatief hoog. Vervolgens is in deze uitgangssituaties met beide methoden het effect op de neerslaglens bepaald van een vermindering van de kweldruk. Hiertoe is de diepe stijghoogte in stappen verlaagd totdat een kwel-neutrale situatie

Tabel 1: Waarden van de invoerparameters.

Parameter	Waarde	eenheid
Maaiveldsniveau c.q. drainagebasis greppels	0	m+mv
Dikte van toplaag	5	m
Verzadigd vochtgehalte	0,40	-
Veldcapaciteit	0,30	-
Totale weerstand tegen verticale stroming	250	d
Horizontale doorlatendheid	1	m/d
Verticale doorlatendheid	0,01	m/d
Weerstand bij oppervlakkige afstroming	5	d
Slootafstand	100	m
Slootbreedte	2	m
Natte omtrek van sloot	2	m
Weerstand van slootbodem	5	d

Tabel 2: Waarden voor de diepe stijghoogte en het slootpeil in de verschillende situaties.

Situatie	Slootpeil (m+mv)	Diepe stijghoogte (m+mv)
L1	-1,30	-0,60
L2	-1,30	-0,90
L3	-1,30	-1,10
H1	-0,30	+0,40
H2	-0,30	+0,10
H3	-0,30	-0,10

is ontstaan (i.e. jaargemiddelde kwelflux ca. 0 mm/d). In de tabellen 1 en 2 zijn de gebruikte invoerparameters opgenomen.

Het fictieve perceel waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd is honderd meter breed. Voor elke situatie is de dikte en de diepte van de neerslaglens op vijf punten berekend: op 10, 20, 30, 40 en 50 meter van de sloot. Voor al deze punten is de methode Immerzeel+ gebruikt om de dynamiek van de lens gedurende het jaar te berekenen. Om er zeker van te zijn dat het bij de start van de berekening ingestelde beginniveau van de grondwaterstand en het grensvlak geen invloed heeft op de resultaten, is een periode van honderd jaar (met tijdstappen van een dag) doorgerekend. Hierbij is de waarde van het neerslagoverschot gedurende elk jaar gevarieerd volgens de maandnormalen van het meteorologisch station De Bilt voor het tijdvak 1961–1990. De diepe stijghoogte en het slootpeil zijn gedurende elke afzonderlijke berekening constant gehouden.

De methode Maas heeft als invoer de jaargemiddelde kwel en de jaargemiddelde natuurlijke grondwateraanvulling (i.e. neerslagoverschot – oppervlakte-afvoer) nodig. De waarde van deze twee fluxen zijn voor alle situaties berekend op basis van de resultaten van de methode Immerzeel+. Deze waarden zijn vervolgens gebruikt in de methode Maas om de jaargemiddelde dikte en diepte van de neerslaglens te berekenen.

Resultaten

Vorm van de neerslaglens

Figuur 4 geeft (voor een aantal kweldruk-situaties) de met de methode Maas en Immerzeel+ berekende jaargemiddelde vorm van de neerslaglens. In situaties met een relatief laag slootpeil (L1 t/m L3) berekenen beide methoden ongeveer eenzelfde jaargemiddelde vorm van de neerslaglens. De methode Maas berekent echter een iets dikkere lens dan de methode Immerzeel+. Bovendien neemt de dikte, bij een afnemende kweldruk, ook sneller toe in de berekeningen van de methode Maas.

In situaties met een relatief hoog slootpeil (H1 t/m H3) laten beide methoden een duidelijk verschillende jaargemiddelde vorm van de neerslaglens zien. De methode Maas berekent nog steeds een parabolvormige lens, maar de methode Immerzeel+ beschrijft een lens met een maximum dichtbij de sloten: een neerslaglens met een 'deuk' in het midden.

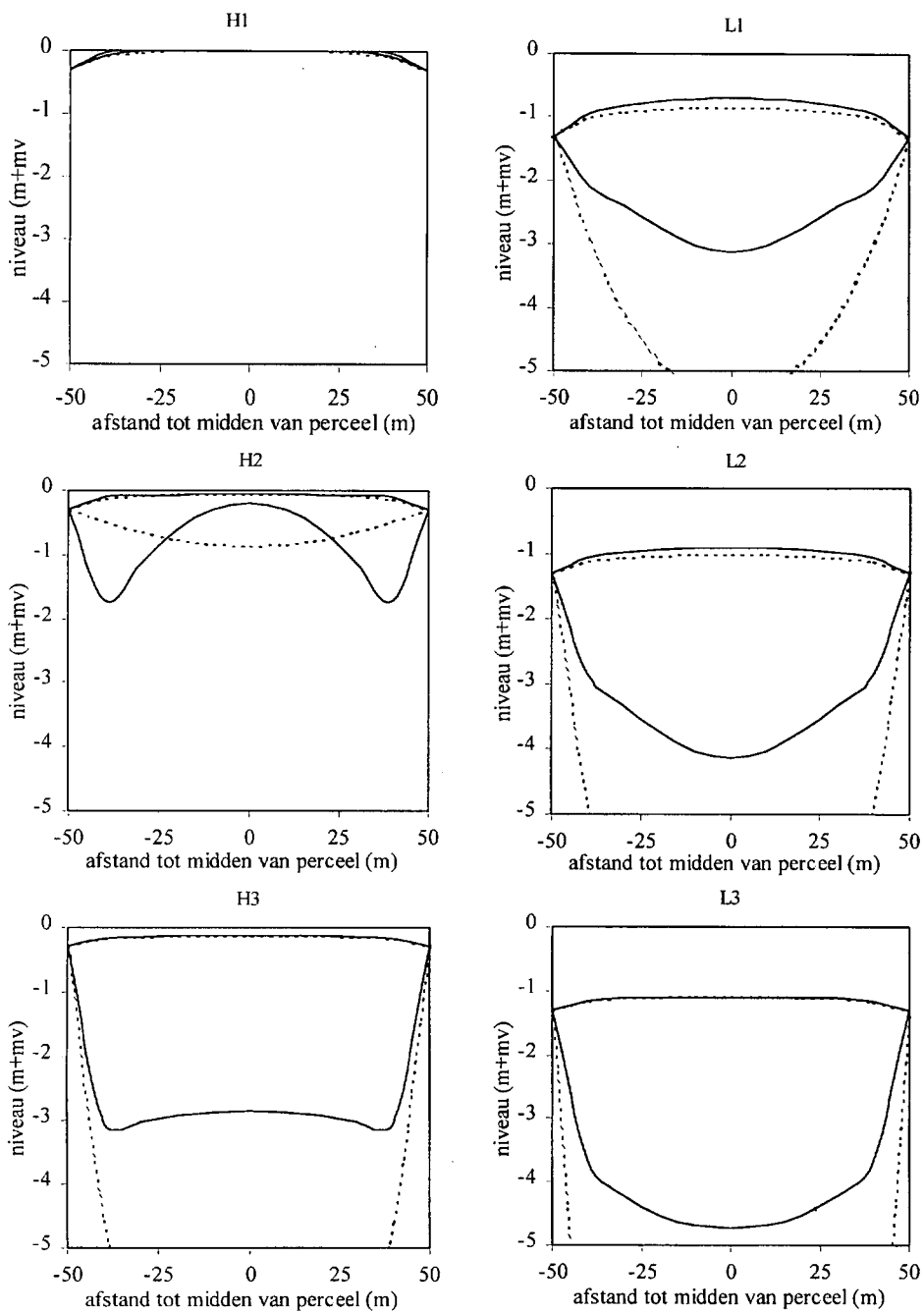
Uit de resultaten blijkt verder dat beide methoden, bij een gelijke kweldruk, een grotere dikte van de neerslaglens berekenen in een situatie met een laag slootpeil (L-situaties) dan bij een hoog slootpeil (H-situaties).

Dynamiek van de neerslaglens

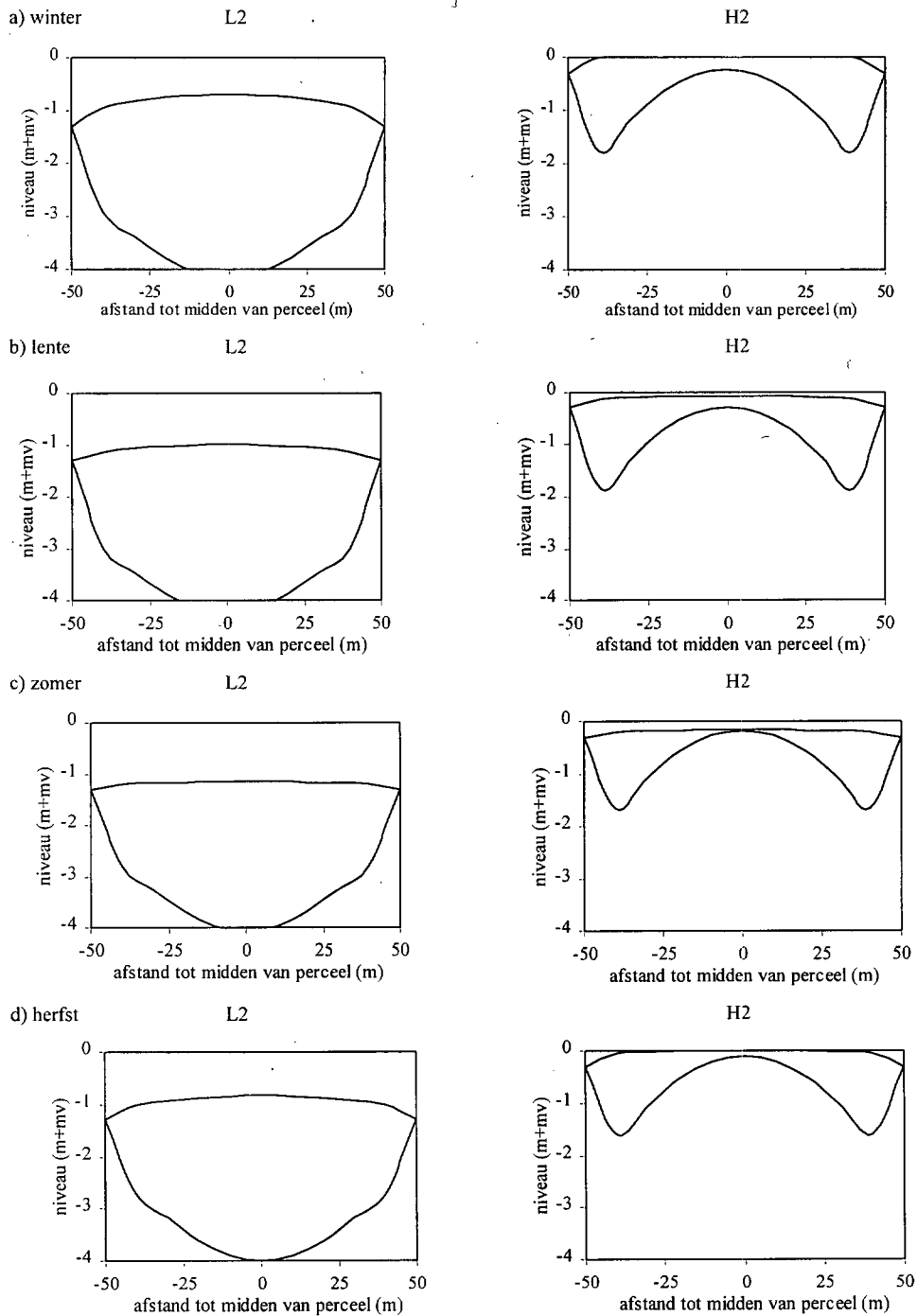
Figuur 5 toont de dynamiek van de neerslaglens zoals deze is berekend met de methode Immerzeel+. In de winter is de berekende neerslaglens het dikst omdat er dan sprake is van een positief neerslagoverschot. In de zomer is het neerslagoverschot negatief en is de berekende neerslaglens het dunst. Het valt echter op dat de grondwaterstand sneller reageert op het wisselen van de seizoenen (i.e. veranderen van het neerslagoverschot) dan het niveau van het grensvlak. Bijvoorbeeld bij de overgang van de winter naar de lente daalt de grondwaterstand door de afname van het neerslagoverschot. Het niveau van het grensvlak blijft echter dalen, en begint pas aan het begin van de zomer weer te stijgen. Dit effect is beter te zien in figuur 6, waarin voor situatie L2 het verloop in de tijd van de dikte en diepte van de onderkant van de neerslaglens in het midden van het perceel is weergegeven. De consequenties voor de vegetatie van dit naijlen van het grensvlak zijn dat het grensvlak zijn hoogste positie pas aan het einde van het groeiseizoen (i.e. september) bereikt.

In alle situaties met een relatief laag slootpeil (L1 t/m L3) is er gedurende het gehele jaar een neerslaglens aanwezig op elk punt in het perceel. In de uitgangssituatie H1 daarentegen verdwijnt de neerslaglens in de zomer helemaal. Dit geldt in ieder punt in het perceel. In de situatie met een wat geringere kweldruk (H2) verdwijnt de neerslaglens in de zomer alleen op het punt in het midden van het perceel. Dit punt is representatief voor ca. 10% van het perceelsoppervlak.

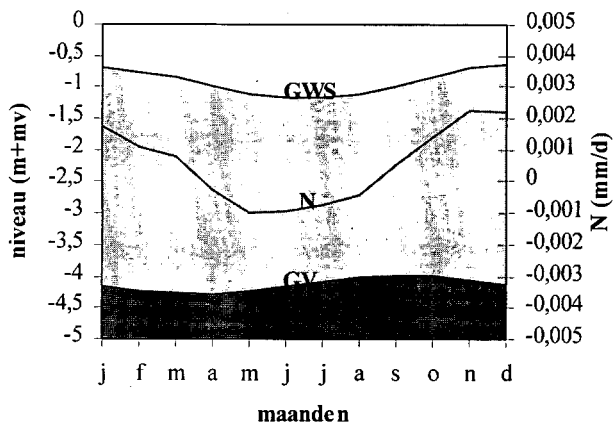
De berekende jaargemiddelde dikte van de neerslaglens in het midden van het perceel bedraagt in situatie H2 volgens de methode Immerzeel+ ca. 14 centimeter. Met deze kritische dikte van de neerslaglens komt in situatie H2, volgens formule (4) van de methode Maas, 9% van het oppervlak in contact met het diepe grondwater. Dit percentage komt dus goed overeen met het percentage dat is berekend met de methode Immerzeel+. In situatie H1 is er volgens de methode Maas jaargemiddeld geen neerslaglens aanwezig (figuur 4). Uit formule (4) volgt dan dat, ongeacht welke kritische dikte er wordt gebruikt, op 100%



Figuur 4: Jaargemiddelde vorm van een neerslaglens in zes hypothetische situaties volgens de methode Immerzeel+ (—) en de methode Maas (-----). Van H1 naar H3 en L1 naar L3 neemt de kweldruk af. Situaties H1 t/m H3 hebben een relatief hoog slootpeil en L1 t/m L3 een laag slootpeil.



Figuur 5: Gemiddelde vorm van de neerslaglens voor situatie L2 en H2 volgens de methode Immerzeel+ in (a) de winter (december–februari), (b) de lente (maart–mei), (c) de zomer (juni–augustus) en (d) de herfst (september–november).



Figuur 6: Verloop in de tijd van de grondwaterstand (GWS), het grensvlak tussen neerslagwater en diep grondwater (GV) en het neerslagoverschot (N) in het midden van het perceel in situatie L2.

van het oppervlak de vegetatie in de zomer in contact komt met het diepe grondwater. Ook dit resultaat spoort dus met het resultaat dat is berekend met de methode Immerzeel+.

Voor alle andere situaties is formule (4) niet toepasbaar omdat er dan (volgens de methode Immerzeel+) in de zomer op elk punt van het perceel altijd een neerslaglens aanwezig is: er kan dan geen kritische lensdikte worden afgeleid.

Discussie

Uit de resultaten is naar voren gekomen dat de methode Immerzeel+ en de methode Maas beide een paraboolvormige neerslaglens berekenen als er geen oppervlakte-afvoer optreedt. In een situatie waarin er wel oppervlakte-afvoer optreedt, laten beide methoden een nadrukkelijk verschillende jaargemiddelde vorm van de neerslaglens zien. De methode Maas berekent nog steeds een paraboolvormige lens, maar de methode Immerzeel+ beschrijft een 'ingedekte' lens met een maximum dichtbij de sloten. Dit verschil kan verklaard worden uit de manier waarop de oppervlakte-afvoer in beide modellen is verwerkt.

In de methode Immerzeel+ varieert de grootte van de oppervlakte-afvoer binnen het perceel. Pas wanneer de grondwaterstand op een punt in het perceel boven het maaiveld (of de drainagebasis van de greppels) uitkomt, wordt er neerslagwater via oppervlakte-afvoer afgevoerd. Deze situatie treedt in het model het eerst en het langst op in het midden van het perceel. Hier zal daarom geen dikke neerslaglens ontstaan: het neerslagwater wordt er in de winter via greppels of over het maaiveld ondiep afgevoerd.

In de methode Maas is de oppervlakte-afvoer samen met het neerslagoverschot opgenomen in één flux, de natuurlijke grondwateraanvulling. Deze flux is in het model uniform verdeeld over het perceel, waardoor de karakteristieke paraboolvorm behouden blijft.

De vorm van de neerslaglens kan dus afhankelijk zijn van de manier waarop de oppervlakte-afvoer over het perceel is verdeeld: uniform of niet uniform. In de praktijk spelen hierbij een belangrijke rol het al of niet aanwezig zijn van greppels alsmede de aanwezige

hoogteverschillen in het maaiveld. In ieder geval is duidelijk dat het vergroten van de oppervlakte-afvoer de invloed van neerslagwater doet afnemen en de invloed van diep grondwater doet toenemen. Daarom kan het vergroten van deze flux, bijvoorbeeld door het graven van greppeltjes en/of het opzetten van slootpeilen, in hydro-ecologische herstelprojecten belangrijk zijn.

De methode Immerzeel+ heeft als voordeel boven de methode Maas dat ook de dynamiek van de neerslaglens beschreven kan worden. De methode Immerzeel+ kent echter ook een aantal onzekerheden.

Ten eerste wordt in de methode Immerzeel+ voor elk punt een waterbalans berekend onafhankelijk van de andere punten. Er vindt dus geen laterale uitwisseling van water plaats tussen de punten. Aangenomen wordt dat het drainagewater van elk punt direct wordt afgevoerd naar de sloten binnen een tijdstap. In werkelijkheid stroomt het drainagewater wel lateraal af vanuit het midden van het perceel in de richting van de sloten. Deze aanname heeft dus invloed op de ruimtelijke verdeling van het water en daarmee op de vorm van de neerslaglens.

Ten tweede gaat de methode Immerzeel(+) uit van een geohydrologisch profiel waarin een top laag wordt afgescheiden van het regionaal hydrologisch systeem door een slecht doorlatende laag. Het is op dit moment onduidelijk of, en zo ja hoe, de methode Immerzeel+ gebruikt kan worden in een situatie waarin geen duidelijk aanwijsbare scheidende laag in het profiel aanwezig is. De positie van de slecht doorlatende laag heeft namelijk een grote invloed op de resultaten van het model. De positie van de laag bepaalt de initiële hoeveelheid diep grondwater die zich in de top laag bevindt. Omdat de drainageflux op basis van evenredigheid over de hoeveelheid neerslagwater en diep grondwater in de top laag wordt verdeeld, heeft de positie van de slecht doorlatende laag ook direct invloed op de verdeling van de drainageflux over de twee watertypen. Dit houdt in dat wanneer de slecht doorlatende laag dieper beneden het maaiveld wordt gepositioneerd, de berekende dikte van de neerslaglens zal toenemen. Een pragmatische aanpak voor het geval dat er sprake is van een bodemopbouw zonder duidelijke top laag zou kunnen zijn om eerst de dikte van de neerslaglens in het veld in de huidige situatie vast te stellen, om op basis hiervan door middel van kalibratie de modelparameter 'dikte van de top laag' te bepalen.

Conclusies en aanbevelingen

- Door aanpassing van de methode Immerzeel in de methode Immerzeel+ kan nu behalve de dynamiek van een neerslaglens ook de ruimtelijke vorm van de lens worden berekend;
- Alleen als er geen oppervlakkig afstroming optreedt, wordt zowel met de methode Immerzeel+ als met de methode Maas een paraboolvormige neerslaglens berekend;
- In een situatie waarin er wel oppervlakte-afvoer optreedt, laten beide methoden een duidelijk verschillende jaargemiddelde vorm van de neerslaglens zien. De methode Maas berekent nog steeds een paraboolvormige lens, maar de methode Immerzeel+ beschrijft een lens met een maximum dikte op enige afstand van de sloten (een 'ingeduikte' neerslaglens);
- De dynamiek van een neerslaglens, berekend met de methode Immerzeel+, laat zien aan dat de dikte van de neerslaglens door het jaar heen verandert als gevolg van de verandering van het neerslagoverschot. De grondwaterstand reageert echter sneller dan het

niveau van het grensvlak op een verandering van het neerslagoverschot, ofwel het grensvlak ijlt na;

- In twee van de onderzochte gevallen verdwijnt in de zomer geheel of gedeeltelijk de neerslaglens. Met beide methodes is een vergelijkbaar percentage (van het perceelsoppervlak) berekend waar dit het geval is;
- De methode Immerzeel+ kan, wanneer het op verschillende punten in een perceel wordt toegepast, bruikbare invoer leveren voor de toepassing van de methode Maas. Het gaat om de jaargemiddelde grondwateraanvulling, de jaargemiddelde kwel en de kritische lensdikte. Onder de jaargemiddelde grondwateraanvulling wordt het natuurlijke neerslagoverschot verstaan (=neerslag – actuele verdamping), verminderd met de oppervlakte-afvoer door greppels en stroming over het maaiveld;
- De methoden verschillen in de manier waarop oppervlakte-afvoer is verwerkt: uniform verdeeld over het perceel (methode Maas) of niet-uniform verdeeld over het perceel (methode Immerzeel+). De berekeningen laten zien dat het belang hiervan voor het optreden van neerslaglensen groot kan zijn.

Samenvattend kan uit dit onderzoek worden geconcludeerd dat de methode Immerzeel+ het voordeel heeft boven de methode Maas dat hiermee niet alleen de vorm maar ook de dynamiek van neerslaglensen kan worden beschreven. Aan de methode Immerzeel+ kleven echter nog een aantal conceptuele onzekerheden, met name met betrekking tot de laterale drainagestroming en situaties zonder duidelijke scheidende laag tussen het topsysteem en het diepe regionale systeem. Het verdient daarom aanbeveling neerslaglensen ook eens met een numerieke modelaanpak te beschrijven welke aan de genoemde bezwaren naar verwachting tegemoet zal kunnen komen. Verder zal toetsing van alle methoden aan veldgegevens moeten uitwijzen welke van de methoden het voorkomen van neerslaglensen het best beschrijft en op welke punten de methoden eventueel verbeterd kunnen worden.

Dankwoord

De auteurs danken Cees van Immerzeel, Kees Maas en Wim de Lange voor hun bijdrage aan de totstandkoming van dit artikel.

Referenties

- Boo, M. de (1996)** Luisteren naar het landschap; het herstel van een Twentse natte heide; VEWIN, Rijswijk.
- Grootjans, A.P., Fresco, L.F.M., Everts, F.H., Streefkerk, J., Takman, E. en N.P.J. de Vries (1985)** Distribution of marsh plant communities in relation to the regional hydraulic cycle; in: Grootjans, A.P. Changes of groundwater regime in wet meadows. Proefschrift Universiteit Groningen.
- Immerzeel, C.H. van, Vegter, U. en P.P. Schot (1996)** Toepassing van een neerslaglensenmodel bij hydro-ecologische herstelprojecten; in: *H₂O*, jrg 26, nr 10, pag 293–296.
- IWACO B.V. (1994)** De berekening van het gedrag van neerslaglensen met behulp van een waterbalansmodel; IWACO B.V. Vestiging Noord, Groningen.
- Jalink, M.H. en B.A.J. Meeuwissen (1998)** Verdroging: de oplossingen liggen klaar; in: *H₂O*, jrg 31, nr 13, pag 30–33.

- Kemmers, R.H. (1982)** Hydrologische bufferzones; Werking en de relatie tot hun ruimtelijke positie in het landschap; in: *WLO-mededeling*, jrg 9, nr 3/4, pag 99–108.
- Kemmers, R.H. (1986)** Calcium as hydrochemical characteristic for ecological states; in: *Ekologia (CSSR)*, jrg 5, nr 3, pag 271–282.
- Lange, W. de (1997)** Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand en drainageweerstand in de randvoorwaarde van een grondwatermodel; Deel 3: Het parametriseren van de randvoorwaarde; in: *Stromingen*, jrg 3, nr 4, pag 43–56.
- Poot, A. (2000)** Modelling van neerslaglenzen in kwelgebieden; Een beschrijving van een analytisch model dat de dynamiek van neerslaglenzen in peilbeheerste kwelgebieden modelleert; Afstudeerverslag, vakgroep Milieukunde, Universiteit Utrecht.
- Raat, G.A. de (1999)** Neerslaglenzen in kwelgebieden; Kiwa-rapport SWI 99.157, Nieuwegein.
- Wassen, M.J. (1990)** Water flow as a major landscape ecological factor in fen development; Proefschrift Universiteit Utrecht.