

---

# Respons van het water in rivierplassen op een hoogwatergolf in de rivier

Caren Ramaker  
Kees Maas  
Kees van den Akker  
Ton Garritsen

---

*De peildynamiek van ondiepe, van de rivier geïsoleerde plassen in uiterwaarden, in dit artikel aangeduid als rivierplassen, wordt voor een belangrijk deel bepaald door waterstanden op de rivier. Bij het passeren van een hoogwatergolf in de rivier die niet rechtstreeks tot overstroming leidt, in dit artikel aangeduid als een matig hoge hoogwatergolf, kan het peil in de rivierplas via het grondwater beïnvloed worden. De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van geografische, morfologische, bodemkundige en geohydrologische eigenschappen van de uiterwaard. In dit artikel wordt met behulp van analytische modellen voor de grondwaterstroming in uiterwaarden de grootte van de invloed van de rivier, via grondwaterstroming, op verschillende rivierplassen onderzocht. Met behulp van de wet van Darcy voor de grondwaterstroming en massabalansvergelijkingen over rivierplassen worden voor vijf verschillende schematisering van in Nederland voorkomende uiterwaarden analytische modellen opgesteld. Met deze modellen wordt nagegaan in hoeverre verschillende parameters de grondwaterstroming tussen de rivier en de rivierplas en daarmee samenhangend de waterstand en -kwaliteit in de rivierplas beïnvloeden.*

## Inleiding

Sinds het verschijnen van het 'Plan Ooievaar' in 1987 staat natuurontwikkeling in het rivierenlandschap op de agenda van verschillende overheden en particuliere organisaties. De meer recente hoogwaters op de grote rivieren hebben niet alleen geleid tot een versneling in de graafwerkzaamheden voor dijkversterking, maar ook nog eens duidelijk gemaakt dat de rivier ruimte nodig heeft. In het 'Natuurbeleidsplan' (Ministerie van LNV, 1990) wordt gepleit voor het vergroten van het areaal aan natuur in de uiterwaarden. Een herinrichting van uiterwaarden is nodig voor de terugkeer van dier- en plantensoorten die karakteristiek zijn voor het rivierengebied. Eén ingreep om de natuur in uiterwaarden te

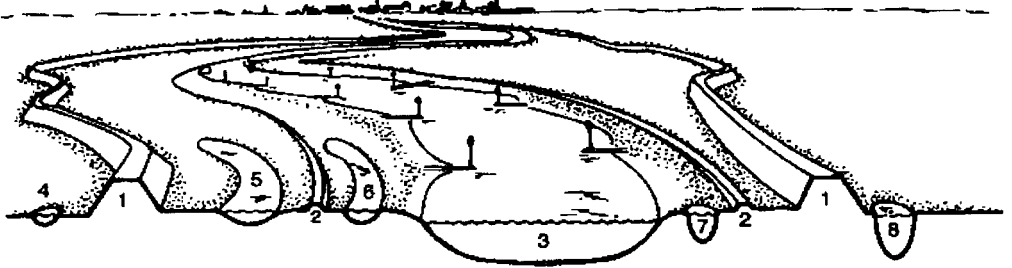
---

**Caren Ramaker** was tijdens het schrijven van dit artikel in dienst van de TU Delft, vakgroep Waterbeheer, Milieu en Gezondheidstechniek, sectie Hydrologie en Ecologie en is heden werkzaam bij het RIKZ, afdeling OSCM. Haar huidige correspondentie-adres is: Gedempte Burgwal 11 A, 2512 BS 's-Gravenhage, e-mail: c.m.ramaker@rikz.rws.minvenw.nl.

De adressen van de co-auteurs zijn: **dr.ir. C. Maas**, Kiwa O&A en TU Delft, sectie Hydrologie en Ecologie, e-mail: kmaas@kiwaoa.nl; **prof.dr.ir. C. van den Akker**, TU Delft, sectie Hydrologie en Ecologie, e-mail: m.evertman@ct.tudelft.nl; **drs. A.C. Garritsen**, RIZA, afd. WSG, e-mail: t.garritsen@riza.rws.minvenw.nl

verbeteren en tegelijkertijd een buffer te verkrijgen voor overstromend rivierwater, is het creëren van een ondiepe, geïsoleerde rivierplas. Een dwarsdoorsnede van de huidige inrichting van uiterwaarden met daarin gelegen rivierplassen is weergegeven in figuur 1.

Het ecosysteem in rivierplassen wordt onder andere bepaald door de kwaliteit van het water en de dynamiek van het waterpeil in de plassen. Het water in rivierplassen wordt gevoed door neerslag, overstromingen van de rivier en kwellend grondwater.



**Figuur 1:** Doorsnede uiterwaard, naar 'Impact of hydrology on floodplain lake ecosystems along the lower Rhine and Meuse' (F.W.B. van den Brink, 1994). 1 = banddijk, 2 = zomerdijk, 3 = rivierbedding, 4 en 8 = nooit overstromde plas, 5 = nauwelijks overstromde rivierplas, 6 en 7 = frequent overstromde rivierplas.

Tijdens een korte hoogwatergolf in de rivier zal meer water in de rivierplas kwellen dan voor de golf. Dit leidt tot fluctuaties van het peil in rivierplassen.

In dit artikel wordt een antwoord gevonden op de vraag: "In hoeverre heeft een korte, matig hoge hoogwaterpuls in de rivier invloed, via grondwaterstroming, op de waterstanden in geïsoleerde rivierplassen en door welke parameters wordt deze invloed bepaald?"

Om deze vraag te beantwoorden worden voor vijf, in Nederland voorkomende, geschematiseerde uiterwaarden analytische modellen afgeleid voor de grondwaterstroming. De analytische modellen geven goed inzicht in de processen die zich in de bodem tussen de rivier en de rivierplas voordoen.

### **Algemene aannamen voor analytische modellering**

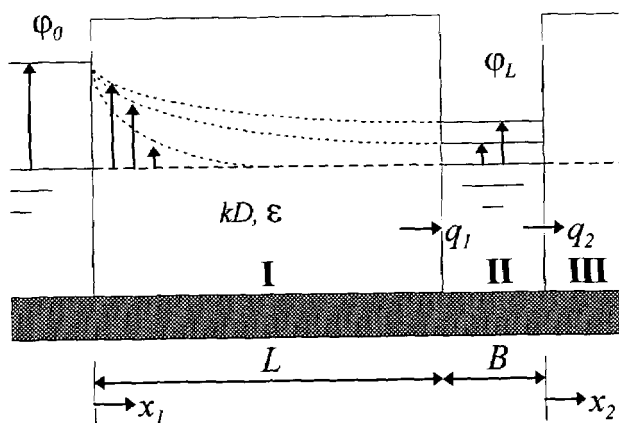
Bij het opstellen van een wiskundige benadering voor peilfluctuaties in rivierplassen ten gevolge van een matig hoge hoogwatergolf zijn we uitgegaan van de volgende aannamen:

- de grondwaterstroming is ééndimensionaal;
- rivierplassen die door de afdeklaag heen reiken of in een freatisch pakket liggen worden geschematiseerd als plassen die reiken tot aan de ondoorlatende basis;
- het peil in de rivier, het peil in de rivierplas en de grondwaterstand liggen voor aanvang van de golf op referentieniveau (= 0);
- in een uiterwaard met een afdekkende kleilaag ligt het referentieniveau in de deklaag;
- het rivierpeil stijgt tijdens de hoogwatergolf maximaal tot de kruin van de zomerkade, de uiterwaard overstroomt niet tijdens deze golf;
- de hoogwatergolf houdt enkele dagen aan en duurt maximaal een week.

## Analytisch model voor rivierplassen gelegen in een freatische aquifer

Een verhoging van het rivierpeil werkt niet direct door in de plas, doordat een deel van het instromende rivierwater wordt geborgen in de bodem (afhankelijk van freatische berging). Een formule waarmee de waterstand in rivierplassen benaderd kan worden, is als volgt afgeleid:

De uiterwaard is in drie secties verdeeld: Sectie I is een freatische aquifer met een beperkte breedte  $L$ , waarvoor de differentiaalvergelijking voor de grondwaterstand afzonderlijk opgelost kan worden, in afhankelijkheid van de waterstanden aan de uiteinden (links het rivierpeil en rechts het peil van de plas).



Figuur 2: Dwarsdoorsnede uiterwaard met rivierplas in freatisch pakket

Sectie II is de rivierplas. In deze sectie hebben we alleen rekening gehouden met berging. Sectie III is weer een aquifer, maar nu één die oneindig breed is. Ook hiervoor is de grondwaterstand oplosbaar, in afhankelijkheid van het peil in de plas. De oplossingen voor de drie secties zijn aan elkaar te knopen door te eisen dat op de sectiegrenzen de (grond)waterstanden en de debieten continu zijn. De exacte uitdrukkingen zijn tamelijk gecompliceerd. Omdat het in de eerste plaats om inzicht gaat, hebben we voor een benaderende oplossing gekozen: met behulp van Laplace-transformatie is eerst een uitdrukking voor het peil in de plas gevonden in het zogenaamde Laplace-domein. De vertaling naar het tijdsdomein is uitgevoerd met een benaderende methode (Ter Haar, 1951), waarvan bekend is dat hij voor dit soort diffusie-achtige problemen doorgaans bevredigend werkt. Het resultaat is:

$$\frac{\varphi_L}{\varphi_0} = \frac{1}{\frac{B}{\varepsilon L} \left( L \sqrt{\frac{\alpha}{2t}} \right) \sinh \left( L \sqrt{\frac{\alpha}{2t}} \right) + \exp \left( L \sqrt{\frac{\alpha}{2t}} \right)} \quad (1)$$

Hierin geldt:

$\varphi_0$	=	rivierpeil [m]
$\varphi_L$	=	peil rivierplas [m]
$\varepsilon$	=	freatische berging [-]
$B$	=	breedte rivierplas [m]
$L$	=	afstand van rivier tot rivierplas [m]
$t$	=	tijdstip na aanvang hoogwatergolf [d]
$\alpha$	=	$\frac{\varepsilon}{kD}$ [d/m <sup>2</sup> ]

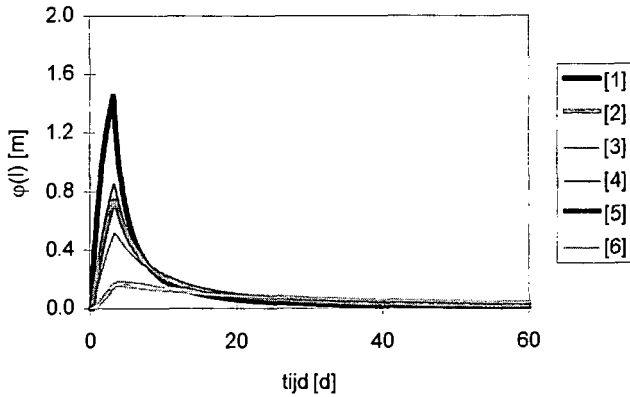
De feitelijke afleiding van bovenstaande formule is terug te vinden in: 'Plassen in uiterwaarden: gevoed door kwel uit de rivier?' (Ramaker, 1998).

De formule geeft het verloop van het peil in de plas ten gevolge van een plotselinge stijging van het rivierpeil. Het verloop nadat het rivierpeil is gedaald, is te vinden door superpositie: we passen dezelfde formule toe voor een plotselinge daling van het rivierpeil en tellen de resultaten voor stijging en daling bij elkaar op. Het gedrag van formule (1) is gemakkelijk te analyseren met, bijvoorbeeld, een spreadsheetprogramma. Voor dit artikel beschouwen we een aantal combinaties van parameters die realistisch zijn voor Nederlandse uiterwaarden (tabel 1). Uit deze tabel kunnen altijd twee uiterwaarden zodanig worden geselecteerd, dat slechts één parameter varieert en de rest van de parameters constant is. Op deze wijze kan de invloed van één parameter geanalyseerd worden.

**Tabel 1:** combinaties van parameters van in Nederland voorkomende uiterwaarden

$kD$ (m <sup>2</sup> /d)	$\varepsilon$ (-)	$L$ (m)	$B$ (m)	toegekend nummer
1000	0,1	50	100	(1)
300	0,1	200	100	(2)
1000	0,1	200	100	(3)
2000	0,1	200	100	(4)
2000	0,2	200	100	(5)
1000	0,1	200	500	(6)

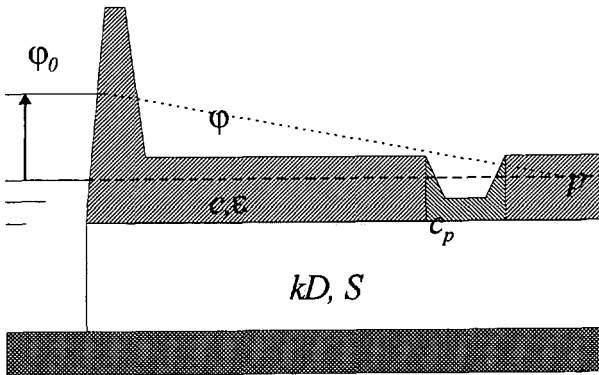
Uit toepassing van het analytische model voor een freatische uiterwaard volgt figuur 3 voor de waterstanden in de rivierplassen, gelegen in de uiterwaarden uit tabel 1. Er is gerekend met een blokvormige hoogwatergolf, die op tijdstip nul instantaan stijgt tot 3 m hoogte, drie dagen op 3 m blijft en na drie dagen instantaan daalt tot referentieniveau nul.



**Figuur 3:** Peil rivierplas gelegen in freatisch pakket bij gegeven matig korte hoogwatergolf

Door in figuur 3 bijvoorbeeld uiterwaard [4] met [5] te vergelijken, kan worden geconcludeerd dat de freatische berging de grondwaterstroming van de rivier naar de rivierplas nauwelijks beïnvloedt. (Dit komt mede omdat de range waarbinnen praktisch gesproken kan variëren beperkt is.) Door op dezelfde wijze te werk te gaan voor de overige parameters volgt dat de doorlatendheid  $kD$  alsmede de afstand van de rivier tot de rivierplas  $L$  en de breedte  $B$  van de rivierplas grote invloed hebben op peilveranderingen in de plas.

### Analytisch model voor rivierplassen gelegen in een afdekkende kleilaag



**Figuur 4:** dwarsdoorsnede uiterwaard met rivierplas gelegen in afdeklaag

Ook voor dit type uiterwaard (figuur 4) is een analytisch model voor de grondwaterstroming afgeleid in een aantal fasen:

#### Stap 1:

Omdat we te maken hebben met een tijdafhankelijk probleem, moeten we in principe rekening houden met elastische berging  $S$  in de aquifer en met freatische berging in de deklaag. Verder is te verwachten dat de deklaag onder de plas een andere weerstand heeft dan elders. Ook voor dit probleem is een exacte oplossing tamelijk gecompliceerd en dat maakt de analyse lastiger dan voor deze studie nodig is. We kunnen het probleem aanzienlijk ver-

eenvoudigen door een aantal gerichte aannamen te doen: ten eerste is de elastische berging  $S$  van de aquifer dusdanig veel kleiner dan de freatische berging van de deklaag, dat hij verwaarloosd kan worden. Als we vervolgens aannemen dat de plas maar een klein deel van de uiterwaard beslaat, kunnen we voor wat de stroming in de aquifer betreft veronderstellen dat de weerstand  $c_p$  onder de plas gelijk is aan de weerstand  $c$  die de deklaag als geheel heeft. We mogen dan ook wel aannemen dat de interactie tussen de plas en de aquifer nauwelijks gevolgen heeft voor de stijghoogte in de aquifer en voor de grondwaterstand  $p$  in de deklaag. Onder die aanname hangen  $\varphi$  en  $p$  alleen af van het verloop van het rivierpeil. Wanneer we er tenslotte vanuit gaan dat op zeer grote afstand van de rivier  $\varphi$  en  $p$  nul zijn, vinden we de volgende oplossing:

$$\varphi(x, t) = \varphi_0 e^{-\frac{x}{\lambda} \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha+t}}}$$

$$p(x, t) = \varphi_0 \frac{t}{t + \epsilon c} e^{-\frac{x}{\lambda} \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha+t}}}$$

met lekfactor  $\lambda = \sqrt{kDc}$ .

Dit resultaat is weer gevonden met de benaderende methode voor Laplace-transformatie volgens Ter Haar. Het is dus niet exact, maar het biedt voldoende houvast om te concluderen dat in praktijksituaties een hoogwatergolf van enkele dagen nauwelijks een verhoging van de grondwaterstand in de deklaag oplevert.

*Stap 2:*

Uit stap 1 volgt de volgende conclusie:

*De stijging van de grondwaterstand in de deklaag mag worden verwaarloosd, zolang het hoogwater in de rivier korter aanhoudt dan 1% van de gemiddelde weerstand ( $c$ ) van de deklaag.*

Deze conclusie vereenvoudigt de analyse enorm, want als het grondwaterpeil  $p$  constant verondersteld mag worden ( $p = 0$ ), geldt voor de aquifer te allen tijde de formule van Mazure:

$$\varphi(x, t) = \varphi_0(t) e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

In deze formule mag de stijghoogte  $\varphi_0$  (het rivierpeil) een willekeurige functie van de tijd zijn.

*Stap 3:*

De kwel naar de rivierplas is afhankelijk van het verschil tussen de stijghoogte van het watervoerend pakket ter plaatse van de rivierplas en het peil in de rivierplas. De lokale weerstand van de afdeklaag  $c_p$  is van invloed op de kwel naar de rivierplas. Voor het peil in de rivierplas geldt:

$$h(t) = \int_0^t u(\tau) d\tau$$

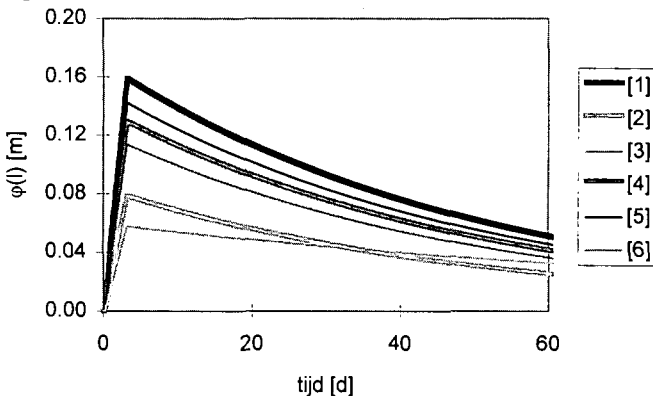
met:  $u = \frac{\varphi}{c_p} = \frac{\varphi_0(t) - \varphi_L(t)}{c_p} e^{-\frac{x}{\lambda}}$

Tabel 2 geeft een selectie van bij Nederlandse uiterwaarden passende parameterwaarden.

**Tabel 2:** combinaties van parameters van in Nederland voorkomende uiterwaarden met afdeklaag

$kD$ (m <sup>2</sup> /d)	$c$ (d)	$L$ (m)	$c_p$ (d)	toegekend nummer
1000	200	50	50	(1)
300	200	200	50	(2)
1000	200	200	50	(3)
2000	200	200	50	(4)
2000	400	200	50	(5)
1000	200	200	100	(6)

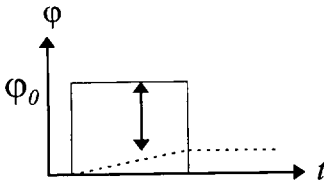
Toepassing van het analytische model uit vergelijkingen (2) en (3) op bovenstaande uiterwaarden levert de volgende grafiek (figuur 5), waarin van dezelfde golf wordt uitgegaan als voor figuur 3 het geval is.



**Figuur 5:** Peil rivierplas in afdeklaag bij gegeven matig korte hoogwatergolf

Ook in de uiterwaard van figuur 4 zijn het doorlaatvermogen  $kD$  en de afstand van de rivier tot de rivierplas  $L$  invloedrijke parameters. De gemiddelde weerstand  $c$  van de afdeklaag heeft slechts geringe invloed, maar dat komt mede omdat de variatie in  $c$  beperkt gehouden is. De lokale weerstand  $c_p$  heeft grote invloed op de waterstand in de rivierplas tijdens hoogwater in de rivier. Dit is een gevolg van de directe invloed die de lokale weerstand uitoefent op de verticale kwel naar de rivierplas (zie vgl (3)). Uit figuur 5 volgt bovendien duidelijk, dat het peil in de rivierplas snel toeneemt, maar slechts zeer langzaam afneemt. In dit opzicht reageert deze uiterwaard heel anders dan de vorige (figuur 3). Dit verschijnsel wordt verklaard in figuur 6. In de figuur geeft de dichte lijn de stijghoogte van het watervoerend pakket weer en de onderbroken lijn het peil in de rivierplas. Verticaal kan het ver-

schil tussen de stijghoogte van het watervoerend pakket en het peil in de plas worden afgelezen. Uit formule (2) volgt, dat dit stijghoogteverschil de flux van of naar de rivierplas bepaalt.



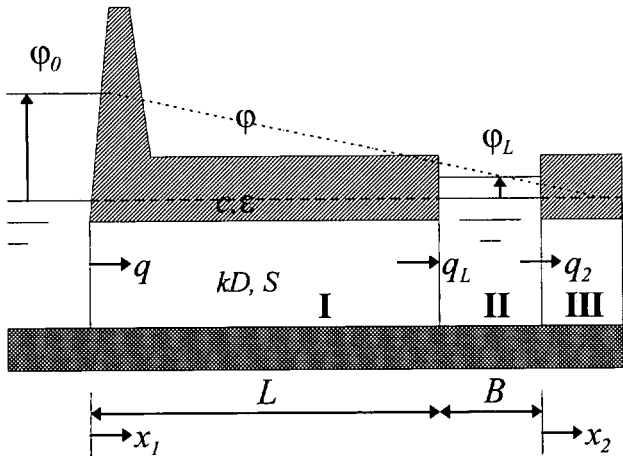
**Figuur 6:** Stijghoogteverschil peil rivierplas en rivierpeil

Dit verschil is na passage van de hoogwatergolf veel kleiner dan tijdens de golf. Door een kleiner stijghoogteverschil zal de neergaande flux gering zijn en zal het water lang in de plas blijven staan na een periode van hoog water in de rivier. Voor de halfwaardetijd van de daling van het peil in rivierplassen, die liggen in een afdeklaag, geldt de volgende vuistregel (zie Ramaker, 1998):

*De halfwaardetijd van de daling van het waterpeil in rivierplassen gelegen in een afdekende kleilaag is gelijk aan 0,7 maal de lokale weerstand  $c_p$  van de afdeklaag.*

Als dus bijvoorbeeld de lokale weerstand  $c_p$  50 dagen bedraagt, duurt het na passage van een hoogwatergolf 35 dagen voordat het peil in de rivierplas tot de helft gedaald is. (In werkelijkheid zal het dan natuurlijk wel eens geregend hebben en zullen meer veranderingen van het rivierpeil hebben plaatsgevonden, waardoor dit effect versluierd wordt.)

**Analytisch model voor rivierplassen die een afdeklaag doorsnijden**



**Figuur 7:** Dwarsdoorsnede uiterwaard met rivierplas reikend tot aan het watervoerend pakket

Net zoals bij de freatische uiterwaard (figuur 2) onderscheiden we drie zones.



### Stap 1: Berekening van de stijghoogte

#### Zone I:

Op grond van onze ervaring met het vorige type rivierplas, gaan we er direct van uit dat de elastische berging  $S$  verwaarloosbaar is en dat het grondwaterpeil  $p$  in de deklaag tijdens een korte hoogwatergolf nauwelijks verandert. Onder deze aannamen kan voor zone I de volgende uitdrukking worden afgeleid voor de stijghoogte in de aquifer:

$$\varphi(x_1) = \frac{\sinh\left(\frac{x_1}{\lambda}\right)}{\sinh\left(\frac{L}{\lambda}\right)} \varphi_L - \frac{e^{-\frac{L}{\lambda}} \sinh\left(\frac{x_1}{\lambda}\right)}{\sinh\left(\frac{L}{\lambda}\right)} \varphi_0 + e^{-\frac{x_1}{\lambda}} \varphi_0 \quad (4)$$

Hierin is  $\varphi_0$  het rivierpeil, terwijl  $\varphi_L$  het peil in de plas is. Het subscript bij de variabele  $x$  geeft aan dat het om zone I gaat;  $x_1$  is nul op de rivieroever.

#### Zone III:

Op dezelfde wijze als bij zone I volgt voor zone III:

$$\varphi(x_2) = \varphi_L e^{-\frac{x_2}{\lambda}} \quad (5)$$

$x_2$  is nul op de overgang tussen zones II en III.

### Stap 2: Waterbalans van de plas

Met behulp van de wet van Darcy kan nu bepaald worden hoeveel water per tijdseenheid de plas binnenstroomt vanuit zone I en hoeveel de plas verlaat naar zone III. Op grond van formule (4) vinden we:

$$q_1 = -\frac{kD}{\lambda} \left[ \coth\left(\frac{L}{\lambda}\right) \varphi_L - e^{-\frac{L}{\lambda}} \coth\left(\frac{L}{\lambda}\right) \varphi_0 - e^{-\frac{L}{\lambda}} \varphi_0 \right]$$

en op grond van formule (5):

$$q_2 = +\frac{kD}{\lambda} \varphi_L$$

Tenslotte luidt de waterbalans van de plas:

$$(q_1 - q_2) dt = Bd \varphi_L$$

Voor een willekeurig verlopend rivierpeil  $\varphi_0(t)$  heeft deze differentiaalvergelijking de volgende oplossing:

$$\varphi_L(t) = \frac{1}{\alpha} \int_0^t e^{-\frac{\beta}{\alpha}(t-\tau)} \varphi_0(\tau) d\tau + \varphi_0(0) e^{-\frac{\beta}{\alpha}t}$$

Waarin:

$$\alpha = \frac{\lambda B}{kD} \sinh\left(\frac{L}{\lambda}\right)$$

$$\beta = e^{\frac{L}{\lambda}}$$

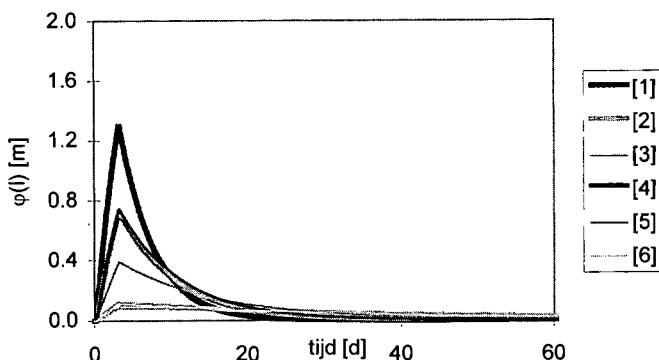
$$\tau = \text{integratievariabele}$$

De afgeleide vergelijking wordt toegepast op de volgende combinaties van parameters in uiterwaarden met een rivierplas die de afdeklaag doorsnijdt:

**Tabel 3:** Combinaties van parameters van in Nederland voorkomende uiterwaarden met rivierplas die de afdeklaag doorsnijdt

$kD$ (m <sup>2</sup> /d)	$c$ (d)	$L$ (m)	$B$ (m)	toegekend nummer
1000	200	50	100	(1)
300	200	200	100	(2)
1000	200	200	100	(3)
2000	200	200	100	(4)
2000	400	200	100	(5)
1000	200	200	500	(6)

Uit figuur 8 kunnen de peilveranderingen in de verschillende rivierplassen tijdens een drie dagen durende hoogwatergolf van 3 m hoogte worden afgelezen.



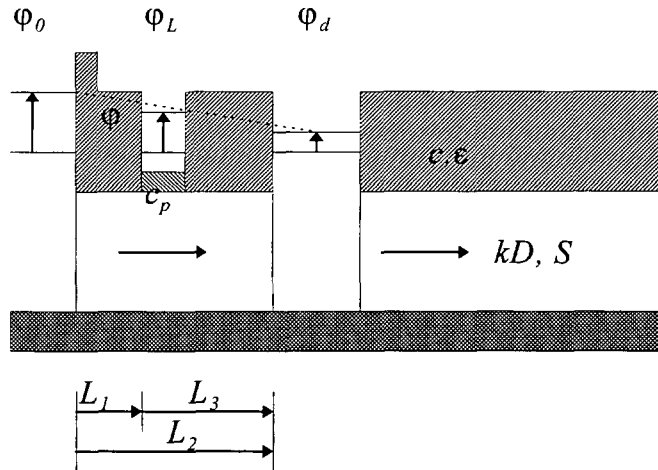
**Figuur 8:** Peil rivierplas die afdeklaag doorsnijdt bij gegeven matig korte hoogwatergolf

Een toename van het doorlaatvermogen  $kD$  van het watervoerend pakket, alsmede een afname van de afstand tussen de rivier en de rivierplas  $L$  en een afname van de breedte  $B$  van de rivierplas leiden tot een grotere reactie van het peil in de plas op het peil in de rivier. Verdubbeling van de weerstand  $c$  van de afdeklaag heeft nauwelijks gevolgen voor het peil in de rivierplas. Rivierplassen die de deklaag doorsnijden reageren als een soort

communicerend vat op het peil in de rivier. Doordat het water door een doorlatende zandlaag stroomt, wordt de golf echter wel gedempt.

### Analytisch model voor rivierplassen gelegen in een afdeklaag met een achterliggende diepe plas

Een combinatie van de voorgaande analytische modellen kan bij deze uiterwaard (figuur 9) gebruikt worden om een model samen te stellen dat de grondwaterstroming in deze uiterwaard benadert:



**Figuur 9:** Dwarsdoorsnede uiterwaard met rivierplas in afdeklaag met achterliggende zandwinplas

#### Stap 1:

De waterstand in de diepe zandwinplas wordt benaderd met vergelijking (6), onder de aanname dat de ondiepe rivierplas via het grondwater geen noemenswaardige invloed uitoefent op het peil van de zandwinplas.

#### Stap 2:

De stijging van het rivierpeil  $\varphi_0$  en van het waterpeil  $\varphi_d$  in de diepe plas ten gevolge van de golf in de rivier zijn nu bekend. Met vergelijking (4) kan de stijghoogte van het watervoerend pakket ter plaatse van de rivierplas benaderd worden. Het peil in de rivierplas is zowel afhankelijk van de rivierstand als van het peil in de diepe plas.

#### Stap 3:

Met behulp van de benaderde stijghoogte ter plaatse van de plas kan de kwel naar de rivierplas worden gevonden met vergelijking (2), waarin:

$$u = \frac{\varphi}{c_p}$$

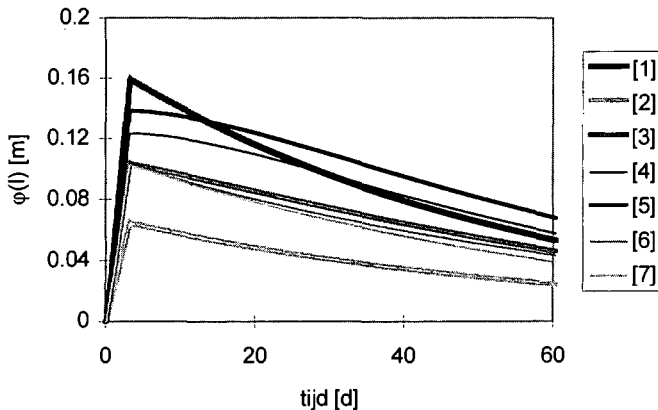
De integraal over deze kwel geeft de stijging van het peil in de rivierplas weer.

De volgende uiterwaarden worden onderzocht:

**Tabel 4:** Combinaties van parameters van in Nederland voorkomende uiterwaarden met rivierplas in de afdeklaag en achterliggende diepe plas

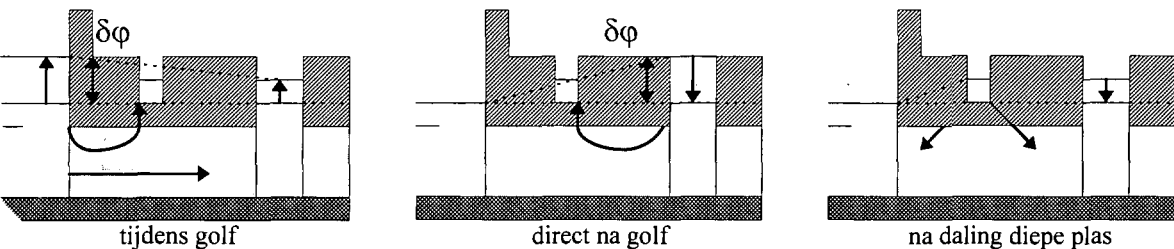
$kD$ (m <sup>2</sup> /d)	$L_1$ (m)	$L_2$ (m)	$B$ (m)	$c$ (d)	$c_p$ (d)	toegekend nummer
1000	50	450	150	200	50	(1)
300	250	450	150	200	50	(2)
1000	250	450	150	200	50	(3)
2000	250	450	150	200	50	(4)
2000	250	450	150	400	50	(5)
1000	250	450	300	200	50	(6)
1000	250	600	150	200	50	(7)

Toepassing van het analytische model levert het volgende resultaat voor de driedaagse golf waarop ook in voorgaande uiterwaarden formules zijn toegepast:



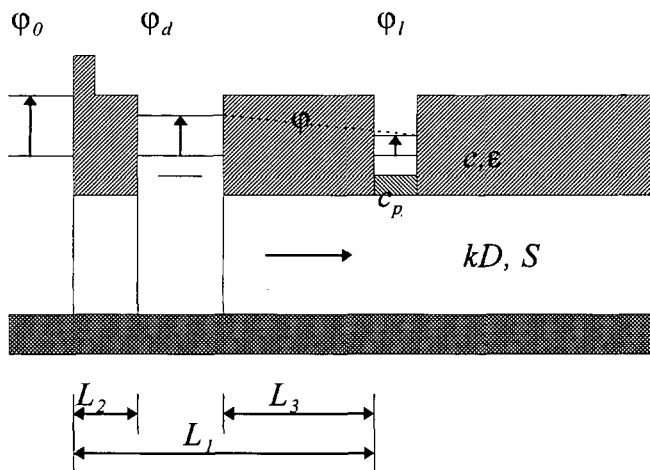
**Figuur 10:** Peil rivierplas die afdeklaag doorsnijdt met achterliggende diepe plas bij gegeven matig korte hoogwatergolf

Evenals in de uiterwaard met enkel een rivierplas in een afdeklaag zonder een nabije plas, geldt voor de uiterwaard uit figuur 10 dat het doorlaatvermogen  $kD$ , de weerstand  $c$  van de afdekkende laag en de afstand van rivier tot rivierplas  $L_1$  grote invloed hebben op de doorwerking van het rivierpeil op het peil in de plas. De breedte  $B$  van de diepe plas, evenals de afstand  $L_2$  tussen de rivier en de diepe plas, hebben slechts geringe invloed op de maximale stijging van het peil in de ondiepe plas tijdens een golf in de rivier. Uit figuur 10 volgt dat het verloop van het peil in de rivierplas ná passage van de hoogwatergolf wordt beïnvloed door het doorlaatvermogen  $kD$ . Naarmate het doorlaatvermogen toeneemt, zal het peil in de diepe plas hoger liggen, wat doorwerkt in het peil van de ondiepe plas. In figuur 10 is ook te zien, dat na passage van de golf in de rivier het peil in de rivierplas nog enige tijd kan doorstijgen! Dit komt doordat het peil in de diepe plas na passage van de golf in de rivier hoger kan liggen dan het peil in de ondiepe rivierplas. Dit leidt tot een omhoog gerichte flux ter plaatse van de ondiepe plas (zie figuur 11).



Figuur 11: Stijghoogteverschillen en grondwaterstroming tijdens, vlak na en lang na passage hoogwatergolf.

### Analytisch model voor rivierplassen gelegen in een afdeklaag met een tussenliggende diepe plas



Figuur 12: Dwarsdoorsnede uiterwaard met rivierplas in afdeklaag met tussen liggende zandwinplas

#### Stap 1:

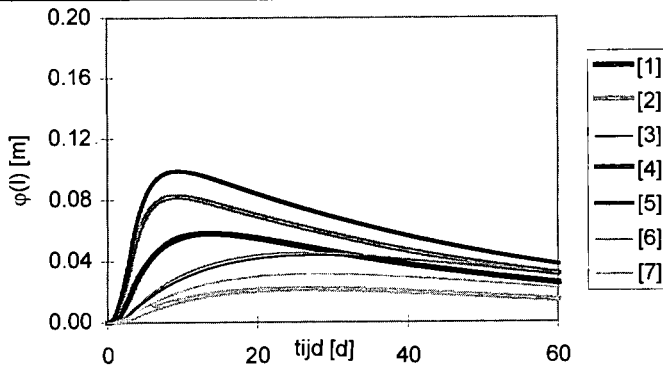
Met behulp van vergelijking (6) kunnen de peilfluctuaties  $\phi_d$  in de diepe plas berekend worden, ervan uitgaande dat de ondiepe plas geen noemenswaardige invloed uitoefent op de stijghoogte van het watervoerend pakket.

#### Stap 2:

De peilfluctuaties van de diepe plas dienen nu als nieuwe hoogwatergolf te worden gezien, die van invloed is op de waterstanden in de rivierplas. Met vergelijkingen (2) en (3) kan dan de waterstand in de rivierplas worden benaderd. Het analytische model wordt toegepast op de volgende uiterwaarden:

**Tabel 5:** Combinaties van parameters van in Nederland voorkomende uiterwaarden met rivierplas in de afdeklaag en tussen liggende diepe plas

$kD$ (m <sup>2</sup> /d)	$L_1$ (m)	$L_2$ (m)	$B$ (m)	$c$ (d)	$c_p$ (d)	toegekend nummer
1000	400	50	150	200	50	(1)
300	400	50	150	200	50	(2)
1000	400	250	150	200	50	(3)
2000	400	50	150	200	50	(4)
2000	400	50	150	400	50	(5)
1000	400	50	300	200	50	(6)
1000	550	250	150	200	50	(7)



**Figuur 13:** Peil rivierplas die afdeklaag doorsnijdt met tussenliggende diepe plas, bij gegeven matig korte hoogwatergolf

Dit levert het resultaat dat is weergegeven in figuur 13. Hierin is te zien dat het peil in de ondiepe rivierplas in de uiterwaard uit figuur 12 in mindere mate stijgt, dan in de uiterwaard uit figuur 9 het geval is. Dit komt doordat de tussenliggende diepe plas de golf in de rivier enigszins uitdempt. Zowel de vorm van de curve die het peil in de ondiepe plas aangeeft, als de maximale stijging van het peil, worden beïnvloed door parameters van de uiterwaard. Het doorlaatvermogen  $kD$ , alsmede de afstand  $L_2$  tussen de rivier en de diepe plas en de breedte  $B$  van de diepe plas hebben invloed op zowel de maximale stijging van het peil in de ondiepe plas, als op de vorm van de curve. Afstand  $L_1$  tussen de rivier en de ondiepe plas, alsmede de gemiddelde weerstand  $c$  van de afdeklaag beïnvloeden ook de maximale stijging van het peil in de ondiepe plas, maar hebben geen invloed op de vorm van de curve.

### Samenvattend overzicht

Uit de analyses die voor de vijf verschillende uiterwaarden zijn uitgevoerd, is tabel 6 (zie volgende bladzijde) samengesteld. Het overzicht is opgesteld voor korte hoogwatergolven, die de uiterwaarden niet overstromen. Met behulp van de tabel kan een snelle indicatie worden gegeven voor rivierplassen in specifieke uiterwaarden. De uiterwaarden in de tabel zijn ééndimensionaal geschematiseerd. In werkelijkheid is de grondwaterstroming in uiterwaarden driedimensionaal. Het is echter niet onzinnig om ééndimensionaal naar uiterwaarden te kijken. Hierdoor wordt een indruk verkregen van de invloed die verschei-

dene parameters uitoefenen op de grondwaterstroming van de rivier naar een rivierplas en vice versa.

Als de morfologie van het plas-riviersysteem sterk afwijkt van het één-dimensionale analytische model, is het verstandig de uiterwaarden tweedimensionaal numeriek te modelleren. In dit geval kan nuttig gebruik gemaakt worden van de geohydrologische schema's die hier gepresenteerd zijn.

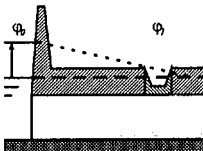
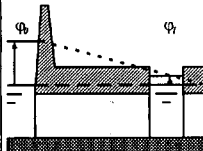
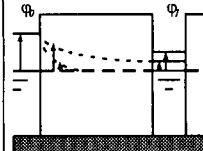
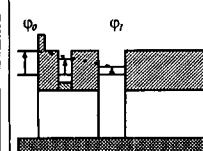
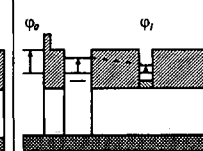
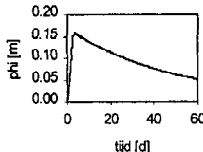
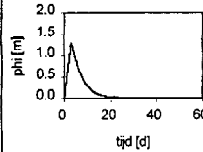
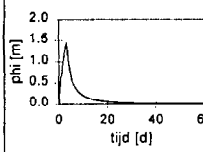
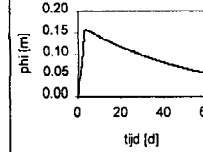
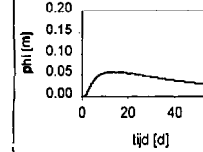
Bij de analytische modellen is uitgegaan van een lange rechte rivier en een langwerpige rivierplas. Dit komt echter vaak niet overeen met de werkelijkheid. Ook de factoren neerslag en verdamping zijn niet meegenomen. Datzelfde geldt voor het periodiek optreden van in- en uitstroming van oppervlaktewater. Het is daarom duidelijk dat de peilen in rivierplassen in werkelijkheid zullen verschillen van de uitkomsten van het analytische model. Maar de onderhavige analyse biedt een goede bouwsteen voor de grondwatercomponent om de peildynamiek van rivierplassen in beeld te brengen. Hiermee kan voor verschillende locaties en configuraties van bestaande en nieuw te graven rivierplassen worden verkend in welke mate de rivier via het grondwater de peildynamiek beïnvloedt.

Een toetsing van de besproken analytische modellen aan gemeten waarden heeft nog niet plaatsgevonden.

## **Nawoord**

Dit onderzoek is uitgevoerd als afstudeeropdracht aan de Technische Universiteit Delft, vakgroep Waterbeheer, Milieu- en Gezondheidstechniek, sectie hydrologie en ecologie en als stage bij het RIZA te Lelystad, afdeling WaterSystemen Grondwater en kleine wateren, in het kader van een onderzoek naar de ecologie van rivierplassen (OER-project).

Met dank aan drs. G. Bolier (TU Delft) en dr.ir. W.J. de Lange (RIZA).

	Plas in afdeklaag	Plas doorsnijdt deklaag	Plas in freatisch pakket	Ondiepe plas tussen diepe plas en rivier	Ondiepe plas achter rivier en diepe plas
					
parameters	$kD=1000\text{m}^2/\text{d}; c=200\text{d}; L_1=50\text{m}; c_p=50\text{d}$	$kD=1000\text{m}^2/\text{d}; c=200\text{d}; L_1=50\text{m}; B=100\text{m}$	$kD=1000\text{m}^2/\text{d}; L_1=50\text{m}; B=100\text{m}; \varepsilon=0,1$	$kD=1000\text{m}^2/\text{d}; c=200\text{d}; L_1=50\text{m}; L_2=450\text{m}; c_p=50\text{d}; B=150\text{m}$	$kD=1000\text{m}^2/\text{d}; c=200\text{d}; L_1=400\text{m}; L_2=50\text{m}; c_p=50\text{d}; B=150\text{m}$
$\phi_1$ tijdens hoogwater golf $\phi_0$ van 3m hoogte gedurende 3 dagen					
grotere $kD$	maximale peil rivierplas stijgt in orde van centimeters; de halfwaardetijd van de daling van het peil is $0,7 \cdot c_p$	maximale peil rivierplas stijgt in orde van decimeters; het peil stijgt en daalt sneller	maximale peil rivierplas stijgt in orde van decimeters; $kD$ heeft geen invloed op het tijdstip waarop de plas weer leeg is	maximale peil rivierplas neemt toe in orde van centimeters; de daling verloopt iets sneller; het tijdstip waarop de daling intreedt valt later, vanwege toename van de invloed van de diepe plas	maximale peil rivierplas stijgt in orde van centimeters; het tijdstip waarop de daling intreedt valt eerder.
grotere $C_p$	hoogste peil plas neemt af in orde van centimeters; het peil daalt bovendien langzamer i.v.m. de halfwaardetijd	n.v.t.	n.v.t.	hoogste peil plas ligt lager; de daling van het peil verloopt trager	hoogste peil plas ligt lager; daling peil verloopt trager
$c$	maximale peil rivierplas stijgt enkele centimeters; daling peil verloopt hetzelfde.	weinig invloed	n.v.t.	maximale peil plas neemt toe in orde van centimeters; stijging verloopt pas na aantal dagen anders	maximale peil plas neemt toe in orde van centimeters; stijging verloopt pas na aantal dagen anders
grotere $L_1$	maximale peil neemt af in orde van centimeters; stijging wijkt af, daling verloopt hetzelfde	maximale peil neemt af in orde van decimeters tot meters; daling verloopt in orde van weken trager	maximale peil neemt af in orde van decimeters tot meters; daling verloopt in orde van dagen trager	maximale peil neemt af in orde van centimeters; het tijdstip van daling treedt later na passage golf op	maximale peil neemt af in orde van centimeters; het tijdstip van dalen treedt eerder na passage golf op
grotere $L_2$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	maximale peil nagenoeg gelijk; tijdstip van daling valt eerder	maximale peil neemt af; tijdstip van daling valt later na passage golf
grotere $B$	n.v.t.	maximale peil daalt in orde van decimeters; daling peil verloopt in orde van weken trager	maximale peil neemt in orde van decimeters af; daling verloopt in orde van enkele dagen trager	maximale peil nagenoeg gelijk; daling treedt sneller na passage hoogwatergolf op (orde van enkele dagen)	maximale peil neemt af in orde van centimeters; tijdstip van daling treedt later op (orde van enkele dagen tot weken)
grotere $\varepsilon$	n.v.t.	n.v.t.	zeer geringe invloed	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 6: conclusies vijf uiterwaarden

Tabel 6: Conclusies vijf uiterwaarden



## Literatuur

- Boekelman, R.H. en Dijk, M.J. van (1996)** Geohydrologie, dictaat TU Delft.
- Brink, F.W.B. van den (1994)** Impact of hydrology on floodplain lake ecosystems along the lower Rhine and Meuse, proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Bruin, D. de e.a. (1987)** OOIEVAAR. De toekomst van het rivierengebied. Gelderse Milieufederatie.
- Dienst Grondwaterverkenning TNO (1976-1985)** Grondwaterkaart van Nederland, Delft.
- Haar, D. ter (1951)** An easy approximate method of determining the relaxation spectrum of a viscoelastic material, *Journal of Polymer Science*, pag. 247-150.
- Iwaco (1990)** Oriënterend onderzoek naar kwel in het rivierengebied, rapportage fase 1 en 2, Rotterdam.
- Janse, J.H. (1986)** Ecologische waarden van de wateren in het winterbed van de grote rivieren, proefschrift Wageningen.
- Ministerie van LNV (1990)** Natuurbeleidsplan.
- Ramaker, C.M. (1998)** Plassen in uiterwaarden, gevoed door kwel uit de rivier, afstudeerverslag TU Delft, RIZA rapport nummer 98.040.
- RIKZ en RIZA (1995)** Jaarboek 1995, Kengetallen Monitoring Rijkswateren, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat.
- Silva, W. en M. Kok (1996)** Integrale Verkenning inrichting Rijntakken, Hoofdrapport 'Een weegschaal voor rivierbeheer', rapport Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Smits, H. (1989)** Locatie en beschrijving van de wateren in het winterbed van grote rivieren, doctoraalscriptie.

