Relatie grondwater-oppervlaktewater

- Inleiding
- Theorie
- Parameterisering
- Modellering
- Ervaringen behandelen

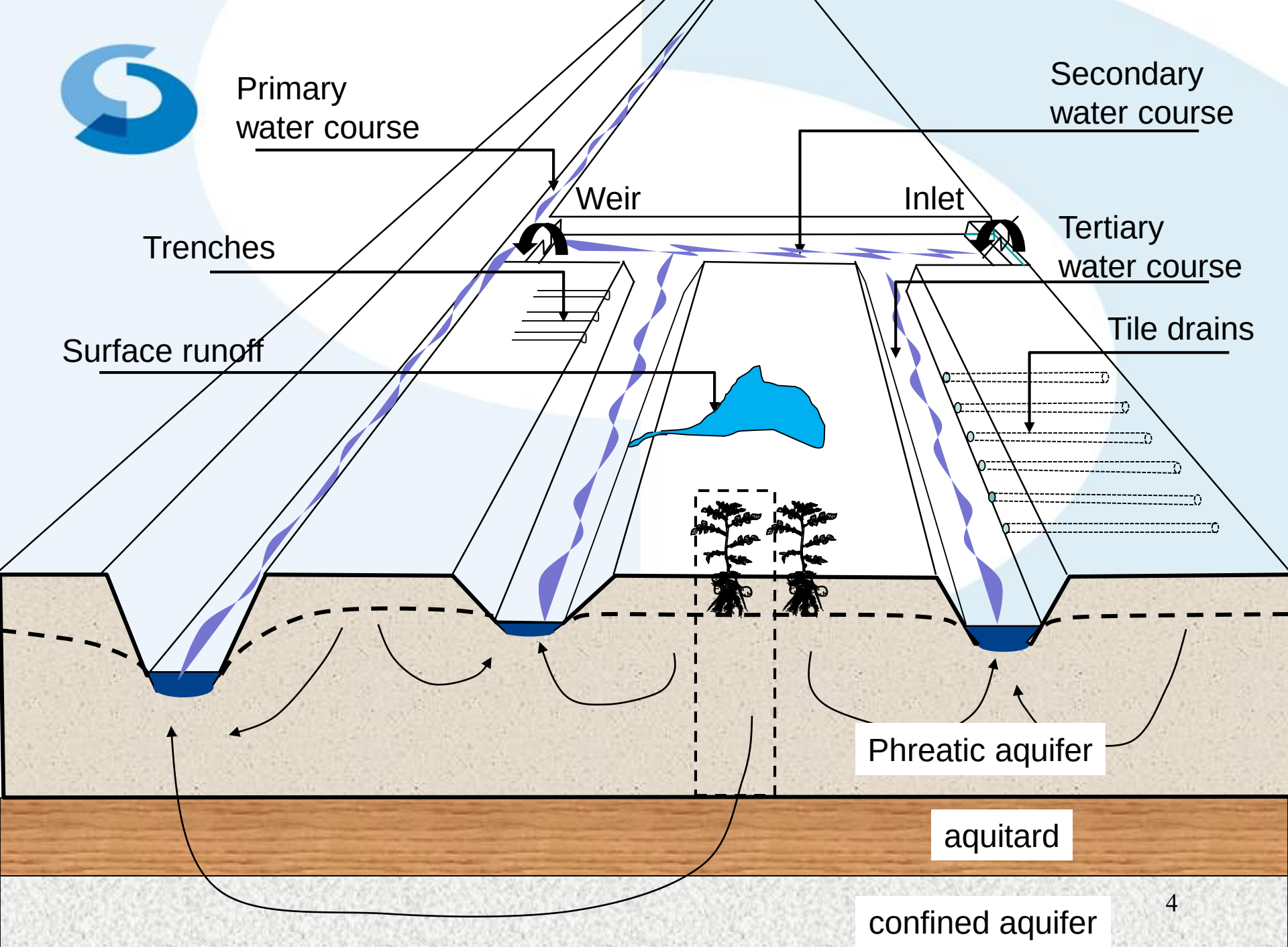
Relatie grondwater-oppervlaktewater

Inhoud

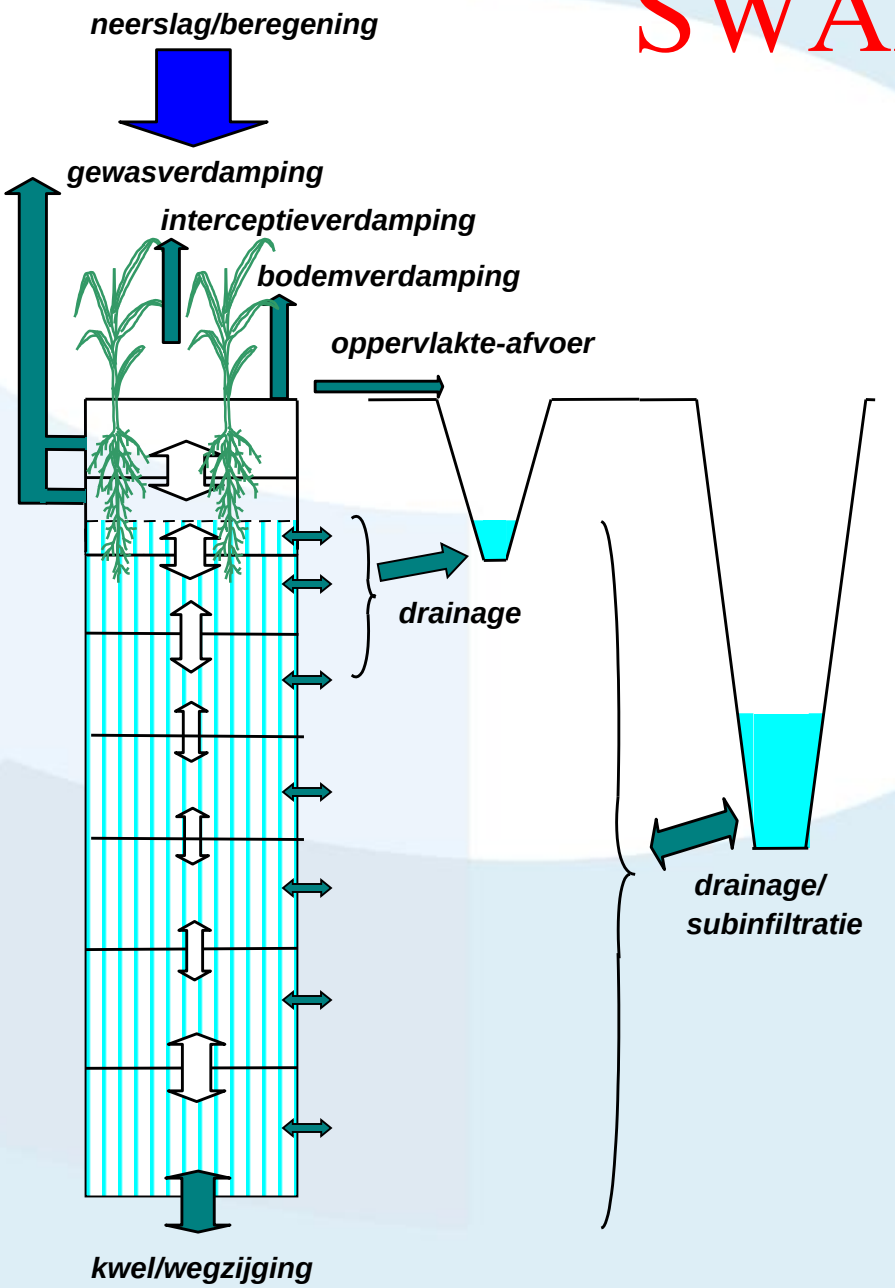
- Inleiding
- Theorie
- Concepten
- Praktische uitwerking
- Bepaling uit karteerbare kenmerken
- Meervoudige ontwateringsmiddelen

Inleiding

- In Nederland vrijwel overal nauwe relatie tussen grondwater en oppervlaktewater
- Voor waterbeheerder is beinvloeding van grondwater via oppervlaktewater één van de belangrijkste mogelijkheden te voldoen aan wateropgaven, …..
- Derhalve is kennis over de interactie tussen grondwatersysteem en oppervlaktewatersysteem essentieel
- In de modelleerpraktijk wordt er behoorlijk mee aangerommeld (maar wel verklaarbaar)


Primary
water course
Secondary
water course
Weir
Inlet
Tertiary
water course
Trenches
Tile drains
Surface runoff
Phreatic aquifer
aquitard
confined aquifer

SWAP


neerslag/beregening
gewasverdamping
interceptieverdamping
bodemverdamping
oppervlakte-afvoer
drainage
drainage/
subinfiltratie
kwel/wegzijging

Theorie

Ernst (1962):

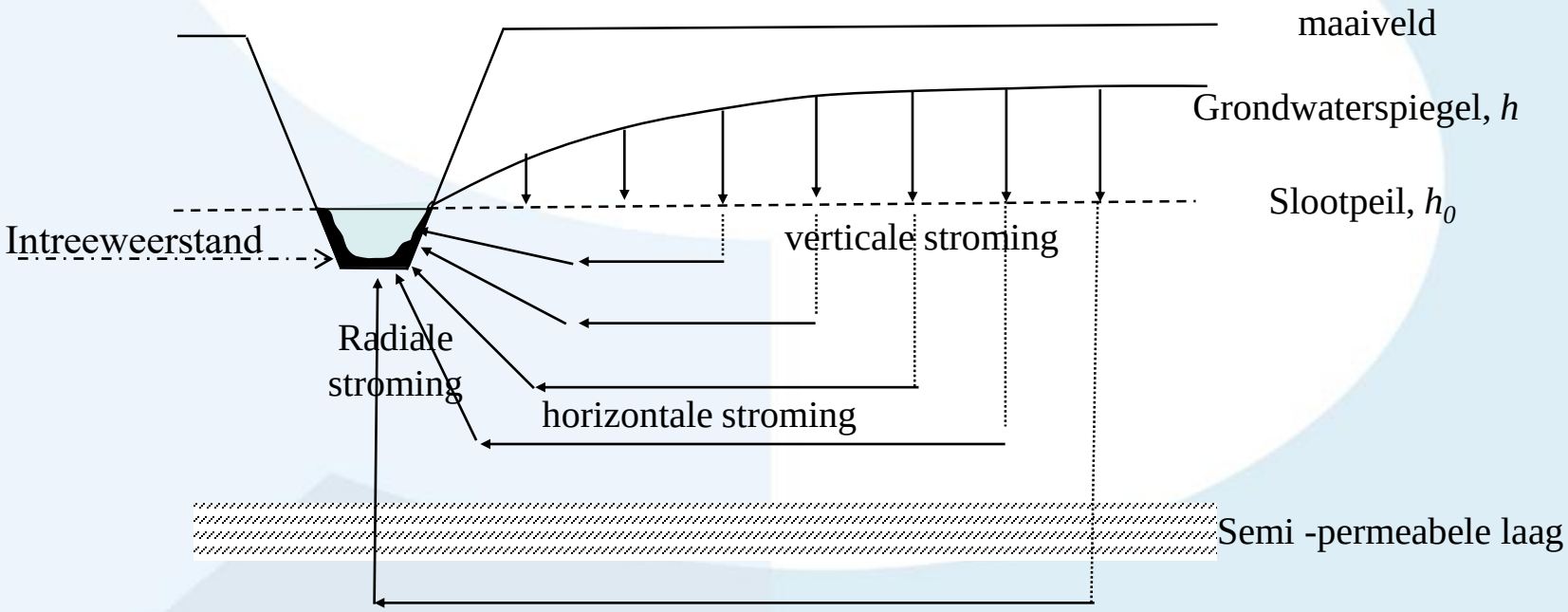
$$q_d = (h_m - h_0)/c_d$$

waarin waarin q_d is drainageflux (m/d), c_d is drainageweerstand (d), h_m is freatische grondwaterstand midden tussen de waterlopen (m) en h_0 is openwaterstand (m)

Opsplitsing in 4 deelweerstanden:

- (verticale weerstand)
- horizontale weerstand
- radiale weerstand
- intreeweerstand

Theorie (2)


maaiveld
Grondwaterspiegel, h
Slootpeil, h_0
Intreeweerstand
verticale stroming
Radiale stroming
horizontale stroming
Semi -permeabele laag

Definities

- Grondwaterstand: drukhoogte gelijk aan atmosferische druk
- Bij verticale weerstand > 50 d drukhoogteverschillen in verticaal
- Water op maaiveld agv overschrijden infiltratiecapaciteit valt buiten scope. Is geen grondwater
- Schijngrondwaterstanden?

Mathematische expressies

$$q = \frac{h_m - h_0}{c_d}$$ [m/d]

$$c_d = c_{hor} + c_{rad} + c_{\text{int}} + (c_{vert})$$ [d]

$$c_{hor} = \frac{L^2}{8kD}$$

L is slootafstand [m] en kD is doorlaat-vermogen freatisch pakket [m^2/d]

$$c_{rad} = \frac{L}{\pi \times k} \ln\left(\frac{4D}{\pi B_{wp}}\right)$$

B_{wp} is natte omtrek waterloop [m]

$$c_{\text{int}} = \frac{L}{B_{wp}} \frac{d_{sl}}{k_{sl}}$$

d_{sl} is dikte sliblaag [m] en k_{sl} is doorlatendheid sliblaag [m/d]

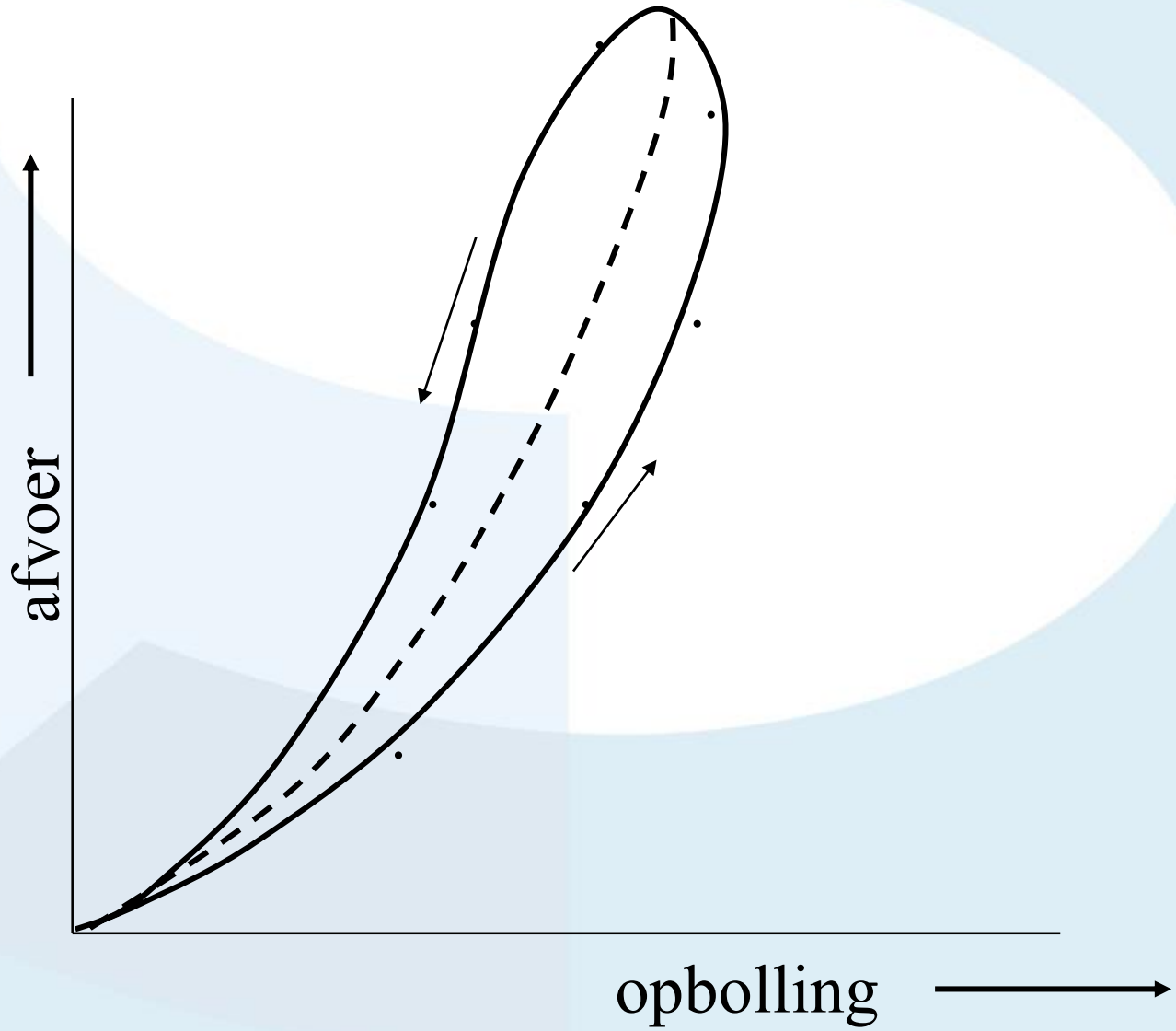
$$c_{vert} = \frac{d}{k_v}$$

Verticale weerstand ondiep voorkomende slecht doorlatende laag (mits significant, bijv. bij keileem)

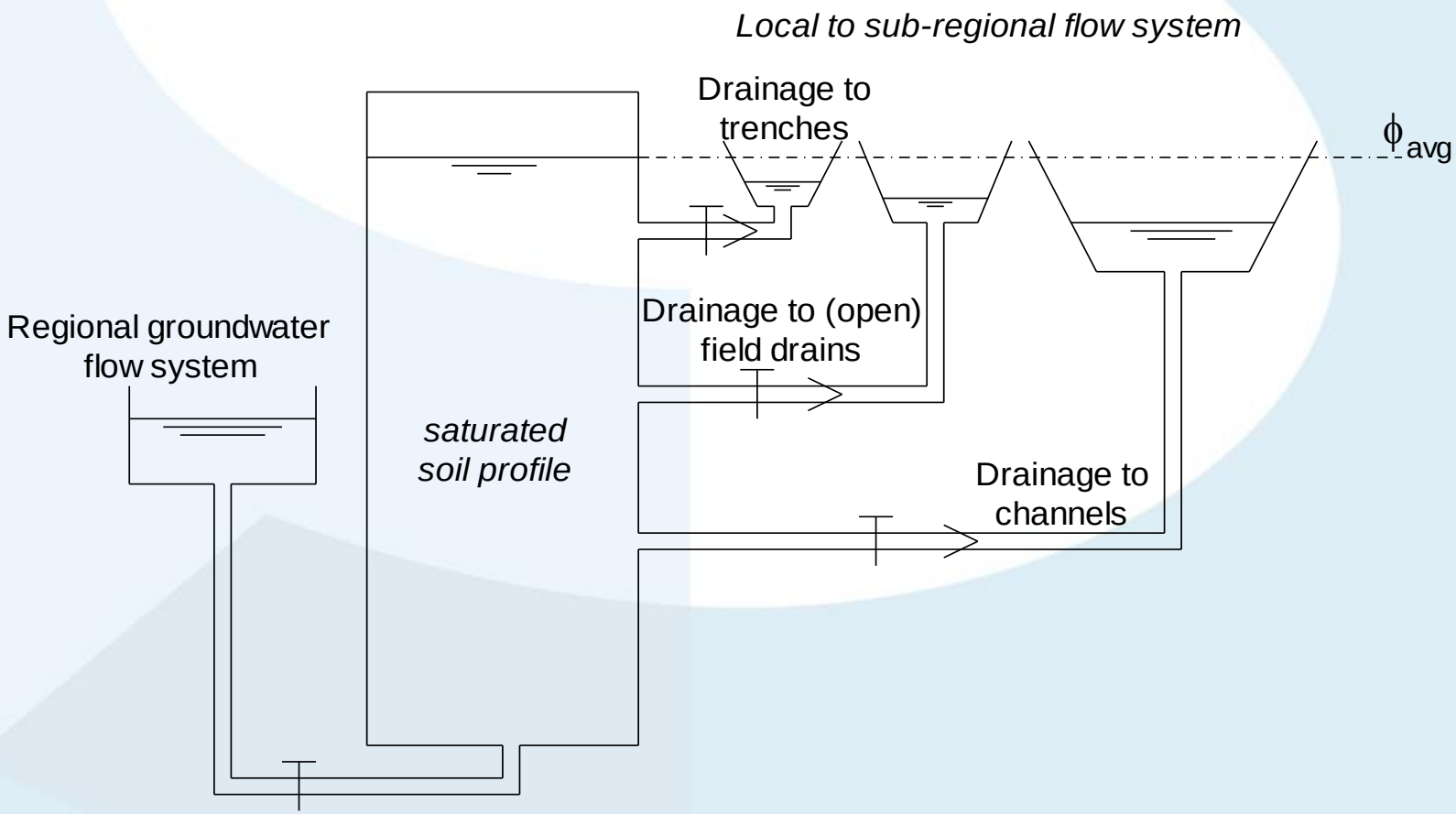
Praktische uitwerking

- totale weerstand te bepalen uit gelijktijdige meting van opbolling en drainageflux
- vertoont hysterese (zie figuur)
- calibratie met neerslag-afvoermodel zoals SWAP
- uit uitputtingsverloop (Rapport Werkgroep Afvoerberekeningen)
- (open-waterstand meestal niet constant)

Opbolling tegen afvoer



“Tank with holes”

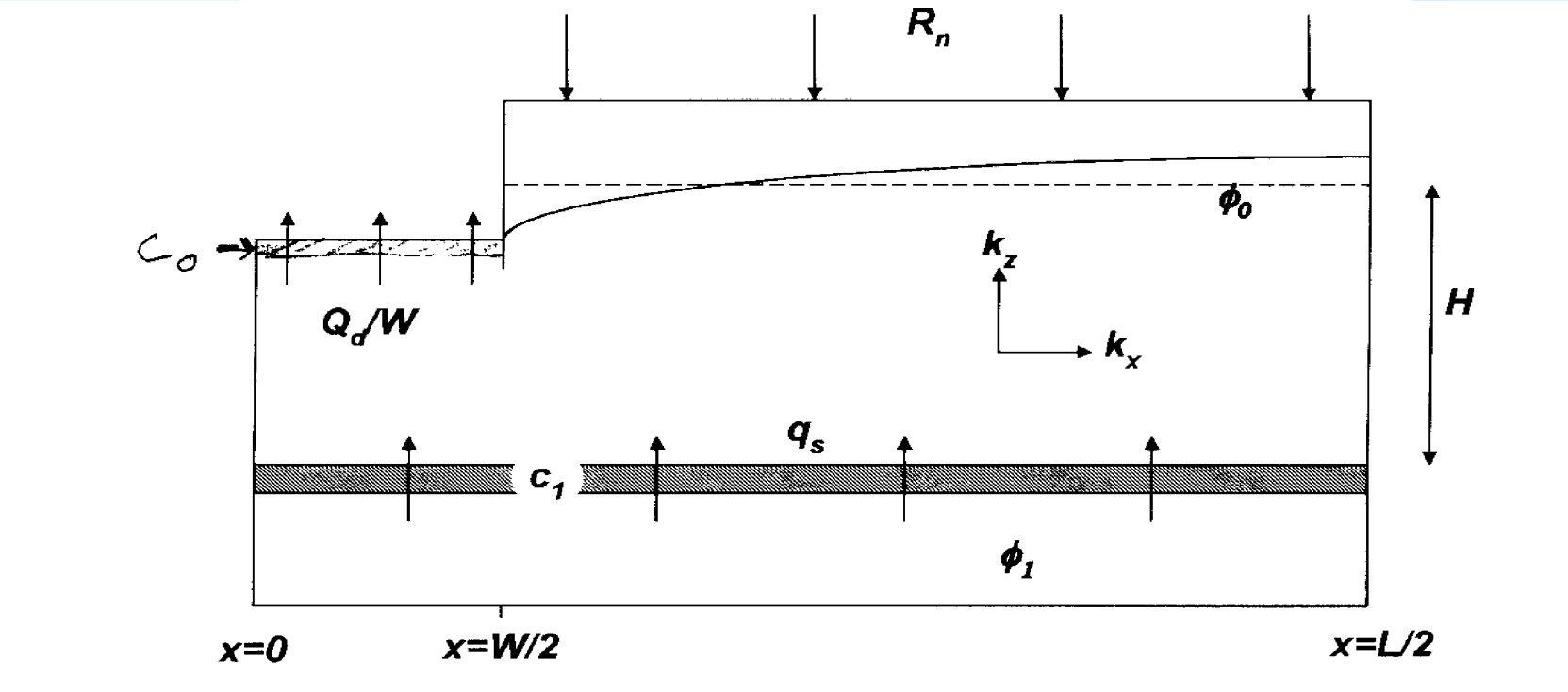


Van drainageweerstand naar lekweerstand

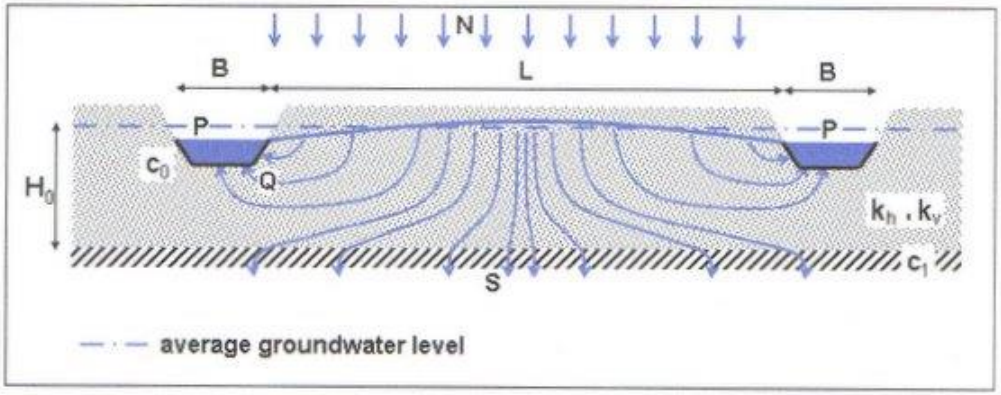
“In de tweede helft van de jaren negentig ontstond er een discussiegroep van hydrologen van bij STONE betrokken drie instituten (Alterra, RIZA, RIVM). Tot de belangrijkste resultaten behoort de introductie van de begrippen **'lekflux' en 'lekweerstand'.** Het begrip **drainageweerstand** is namelijk niet geschikt voor gebruik in numerieke modellen. Bij de bepaling ervan (bijvoorbeeld volgens Ernst, 1983) wordt uitgegaan van een gebied met evenwijdige waterlopen die zich oneindig uitstrekken en herhalen. In numerieke modellen moet een **weerstand per invloedsoppervlak (modelcel)** worden opgegeven en deze weerstand is in principe **schaalafhankelijk**. Daarom wordt, als aanvulling op de eerder genoemde voedingsweerstand, de grootheid 'lekweerstand' geïntroduceerd die voor een willekeurig gebied de interactie tussen freatisch grondwater en oppervlaktewater karakteriseert”.

Uit Stromingen 2002: ‘De parameterisatie van de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater voor landelijke en regionale grondwatermodellering’ van de Ad hoc groep Consensus Hydrologie

Bepaling lekweerstand



Formule van LGB



Figuur 13 **Drainage van grondwater naar een enkelvoudig drainagesysteem**

Als eerder vermeld is binnen NHI fase 1+ gekozen om bij de bepaling van de freatische lekweerstand uit te gaan van de formule van De Lange (Stromingen, 1997a). Oorspronkelijk werd de formule voor het gebied tussen de sloten gehanteerd. Later is dit aangevuld met een correctie voor het traject onder de slootbodem. (Stromingen, Groenendijk et al, 2002).

De bepaling van de freatische lekweerstand gebeurt met de formules (2.1) t/m (2.6), dwz. in een omgewerkte vorm van de formules van De Lange (Groenendijk et al 2002).

$$c_{f-lek} = \frac{c_L^* \cdot \left(c_0 + c_1 + \frac{H_0}{k_v}\right) \cdot (B_{cor} + L_{tot})}{B_{cor} \cdot c_L^* + L_{tot} \cdot \left(c_1 + \frac{H_0}{k_v}\right)} + \frac{L_{tot}}{\pi\sqrt{k_{0,x} \cdot k_v}} \cdot \ln\left(\frac{4H_0}{\pi B_{cor}}\right) - \left(c_1 + \frac{H_0}{k_v}\right) \qquad (2.1)$$

waarin:

$$c_L^* = \left(c_0 + c_1 + \frac{H_0}{k_v}\right) \cdot F_L + \left(c_0 \cdot \frac{L_{tot}}{B_{cor}}\right) \cdot F_B \qquad (2.2)$$

en:

$$F_L = \frac{L_{tot}}{2\lambda_L} \cdot ctnh\left(\frac{L_{tot}}{2\lambda_L}\right) \qquad (2.3) \qquad \text{met:} \qquad \lambda_L = \sqrt{\left(c_1 + \frac{H_0}{k_v}\right) \cdot k_{0,x} \cdot H_0} \qquad (24)$$

$$F_B = \frac{B_{cor}}{2\lambda_B} \cdot ctnh\left(\frac{B_{cor}}{2\lambda_B}\right) \qquad (2.5) \qquad \text{met:} \qquad \lambda_B = \sqrt{\frac{k_{0,x} \cdot H_0 \cdot \left(c_1 + \frac{H_0}{k_v}\right) \cdot c_0}{c_1 + \frac{H_0}{k_v} + c_0}} \qquad (2.6)$$

hierin is:

- $c_{f\text{-}lek}$ freatische lekweerstand van het drainagestelsel [d]
- c_L^* voedingsweerstand voor het landoppervlak deel van de doorsnede [d]
- c_0 weerstand van de slootbodem [d]
- c_1 weerstand van de scheidende laag (onder het topsysteem) [d]
- H_0 representatieve dikte van het watervoerend pakket in het topsysteem [m]
- k_v verticale doorlatendheid van het watervoerend pakket in het topsysteem [m/d]
- $k_{0,x}$ horizontale doorlatendheid van het watervoerend pakket in het topsysteem [m/d]
- L_{tot} representatieve slootafstand [m]
- B_{cor} (eventueel gecorrigeerde) breedte van de sloten [m]
- λ_L spreidingslengte behorend bij $0 \le x \le L/2$ [m]
- λ_B spreidingslengte behorend bij $-B_{cor}/2 \le x \le 0$ [m]

Bovenstaand formule laat zien dat de freatische lekweerstand wordt afgeleid door van de voedingsweerstand de verticale weerstand in en onder het toppakket (de laatste term in de vergelijking) van de voedingsweerstand af te trekken. De resterende twee termen aan de rechterzijde vormen de voedingsweerstand. De tweede term in de rechterzijde is een toevoeging voor de radiale weerstand naar voorbeeld van Ernst (1961). De eerste term aan der rechterzijde beschrijft de omrekening van de voedingsweerstand "voor het landoppervlak" naar die voor het totale oppervlak (dus inclusief de sloten).

Parameters in de formule

hierin is:

$c_{f\text{-}lek}$	freatische lekweerstand van het drainagestelsel [d]
c_L^*	voedingsweerstand voor het landoppervlak deel van de doorsnede [d]
c_0	weerstand van de slootbodem [d]
c_1	weerstand van de scheidende laag (onder het topsysteem) [d]
H_0	representatieve dikte van het watervoerend pakket in het topsysteem [m]
k_v	verticale doorlatendheid van het watervoerend pakket in het topsysteem [m/d]
$k_{0,x}$	horizontale doorlatendheid van het watervoerend pakket in het topsysteem [m/d]
L_{tot}	representatieve slootafstand [m]
B_{cor}	(eventueel gecorrigeerde) breedte van de sloten [m]
λ_L	spreidingslengte behorend bij $0 \leq x \leq L/2$ [m]
λ_B	spreidingslengte behorend bij $-B_{cor}/2 \leq x \leq 0$ [m]

Bovenstaand formule laat zien dat de freatische lekweerstand wordt afgeleid door van de voedingsweerstand de verticale weerstand in en onder het toppakket (de laatste term in de vergelijking) van de voedingsweerstand af te trekken. De resterende twee termen aan de rechterzijde vormen de voedingsweerstand. De tweede term in de rechterzijde is een toevoeging voor de radiale weerstand naar voorbeeld van Ernst (1961). De eerste term aan der rechterzijde beschrijft de omrekening van de voedingsweerstand "voor het landoppervlak" naar die voor het totale oppervlak (dus inclusief de sloten).

Relatie met neerslag-afvoermodellering

- De Zeeuw-Hellinga:

$$a(t) = a(t-1)e^{-\alpha \Delta t} + p(t)(1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

$$\alpha = 1/\mu(c_{rad} + c_{int})$$

- α = reactiefactor (d^{-1}), per ontwateringssysteem verschillend
- Bergingseigenschappen ook van belang

Horizontale weerstand (ook) belangrijk

- Kraaijenhoff-v.d Leur, reservoircoefficient (d)

  $j = \mu L^2/\pi^2 KD \simeq 1/\alpha$

- Weerstand is afhankelijk van de aanwezigheid van andere ontwateringsmiddelen, via L
- *1e orde benadering*
  - L_1 *en* L_2 *geeft* j_1 *en* j_2
  - *Als beide actief* $L_1 = L_2 = A/(l_1+l_2)$

Drainageformules van Hooghoudt

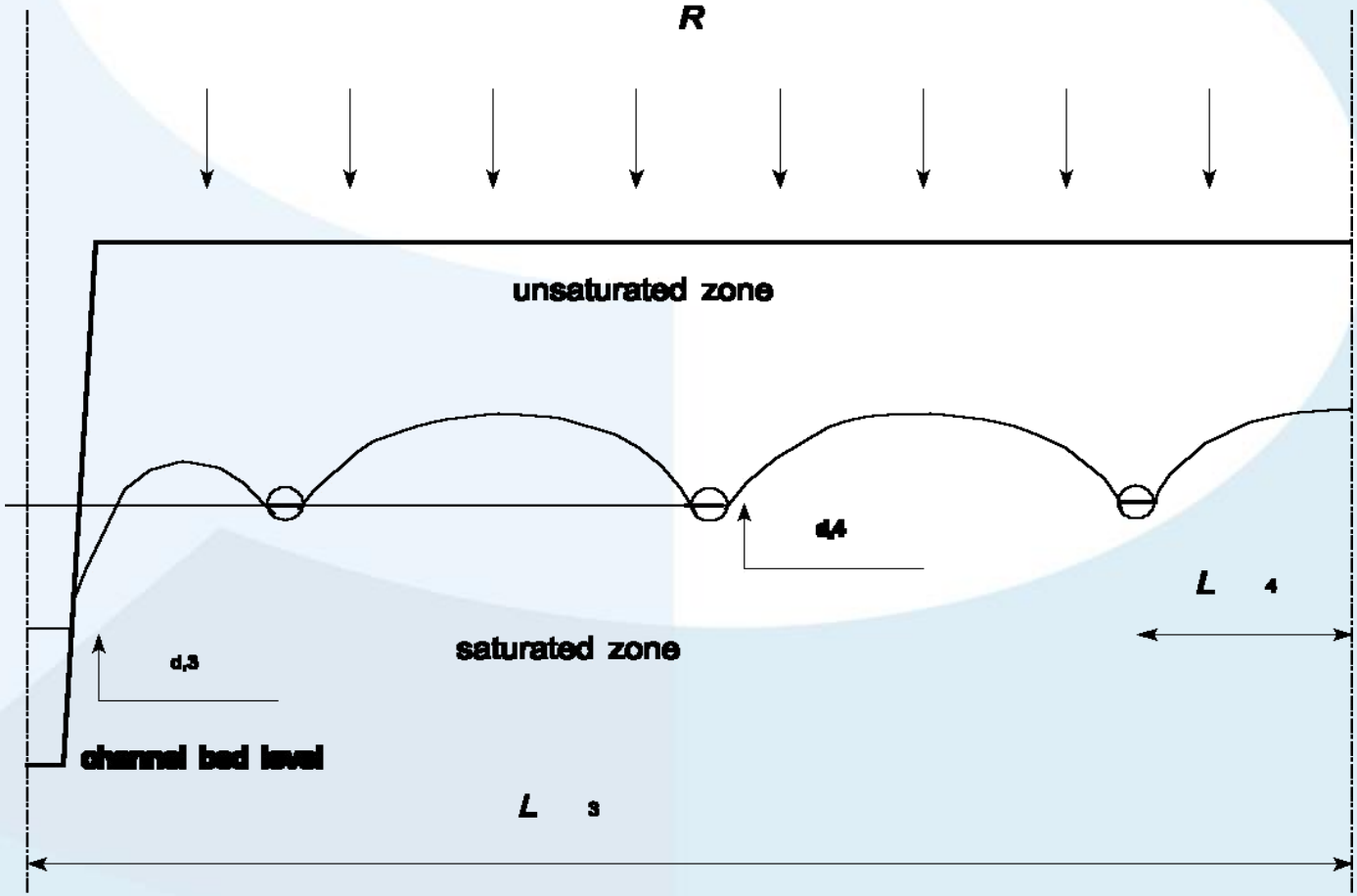
$$s = \frac{8k_{onder}Dm_0 + 4k_{boven}m_0^{\ 2}}{L^2}$$

- Weerstand is m_0/s
- Weerstand afhankelijk opbolling
- Bij gelaagd profiel
- Niat alleen voor buisdrainage

Meervoudige ontwateringsmiddelen

- Vrijwel altijd ongelijksoortige ontwateringsmiddelen per representatief oppervlakte
- indeling in klassen
- Per klasse geschetste relatie
- freatische grondwaterstand voor alle klassen gelijk (*tank with holes)*
- optelling van fluxen

2-voudig drainagesysteem



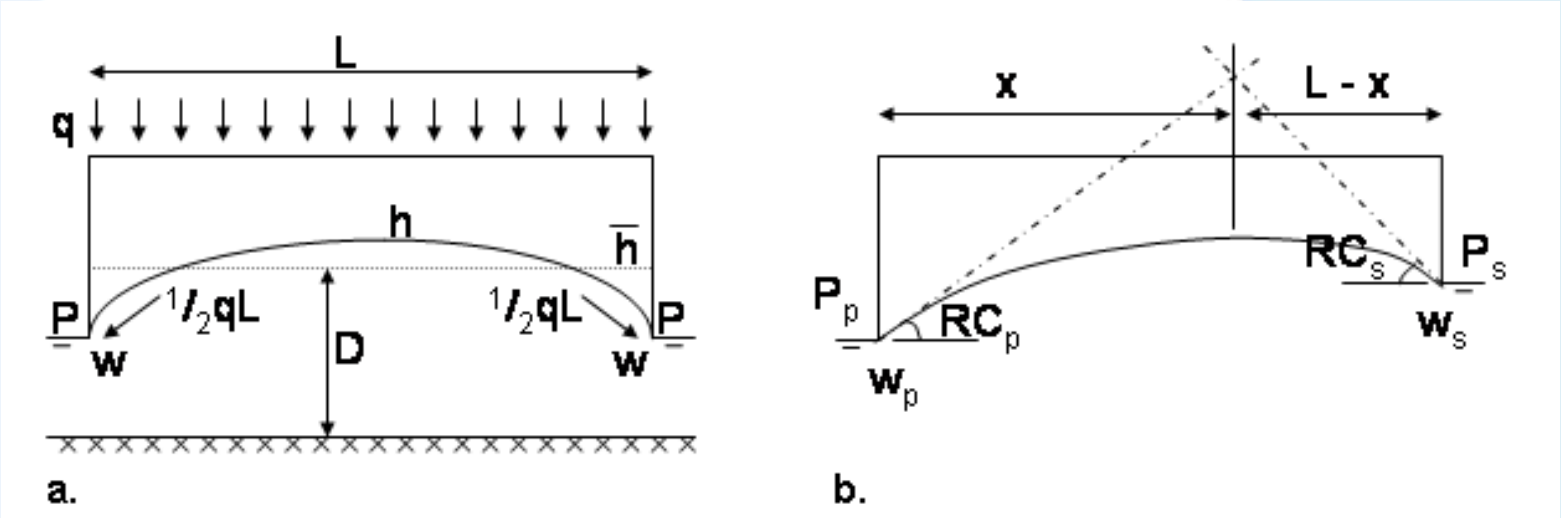
Gebruikelijke indeling

- Maaiveldsgreppels. De grote onbekende!
- Buisdrainage
- Greppels/droogvallende sloten
- Waterlopen <3 m
- Waterlopen >3 m
- (Open water)

(Overlap met leggerwaterlopen)

Geometrie (diepte, afmetingen) uit experttabellen van m.n. STONE

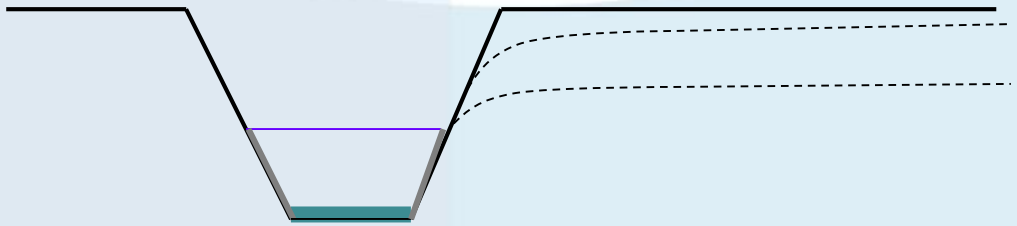
NHI-concept



Zie www.nhi.nu (http://www.nhv.nu/files/stromingen/2008-4_Bepaling%20van%20freatischelekweerstanden%20in%20het%20NHI%20fase%201+.pdf)

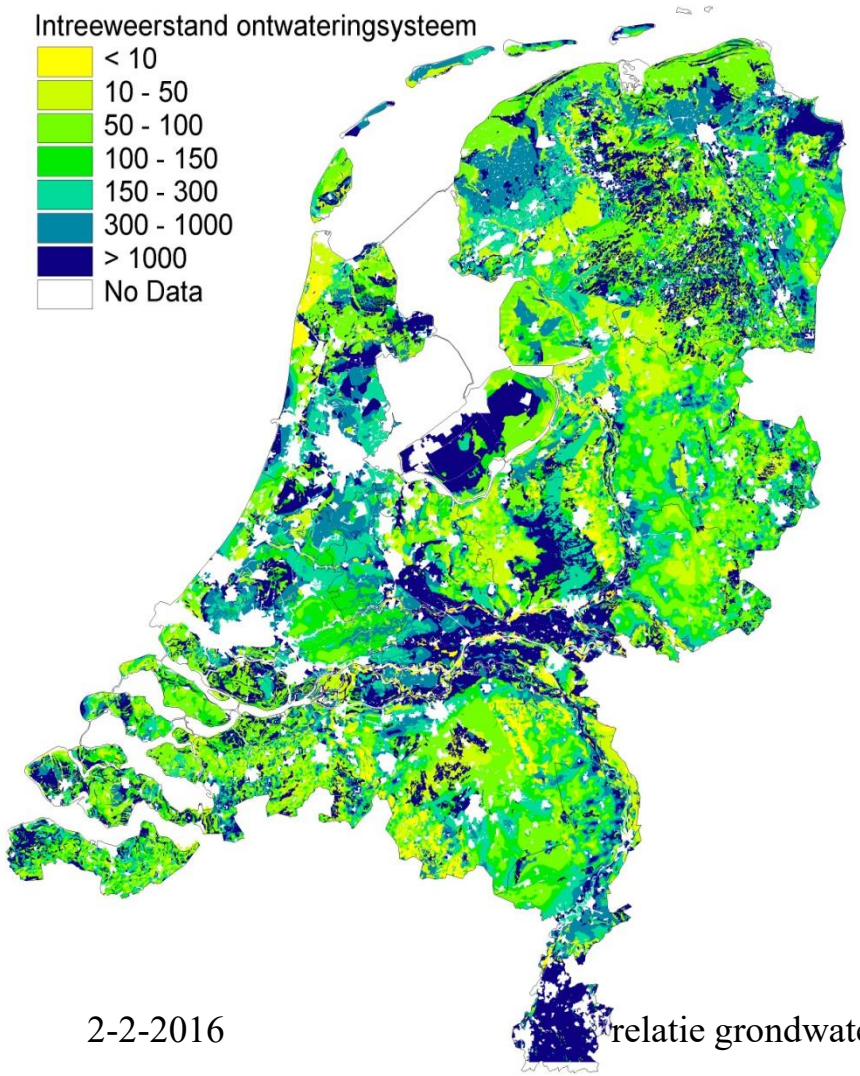
Intreeweerstand

- Meest bepalend en minst bekend
- $c_{int} = L/B * c_0$
- *B hangt af van afvoer*
- *c_o vooral op bodem en minder op talud*
- *Gevolg: c_{int} is niet constant maar functie van debiet*

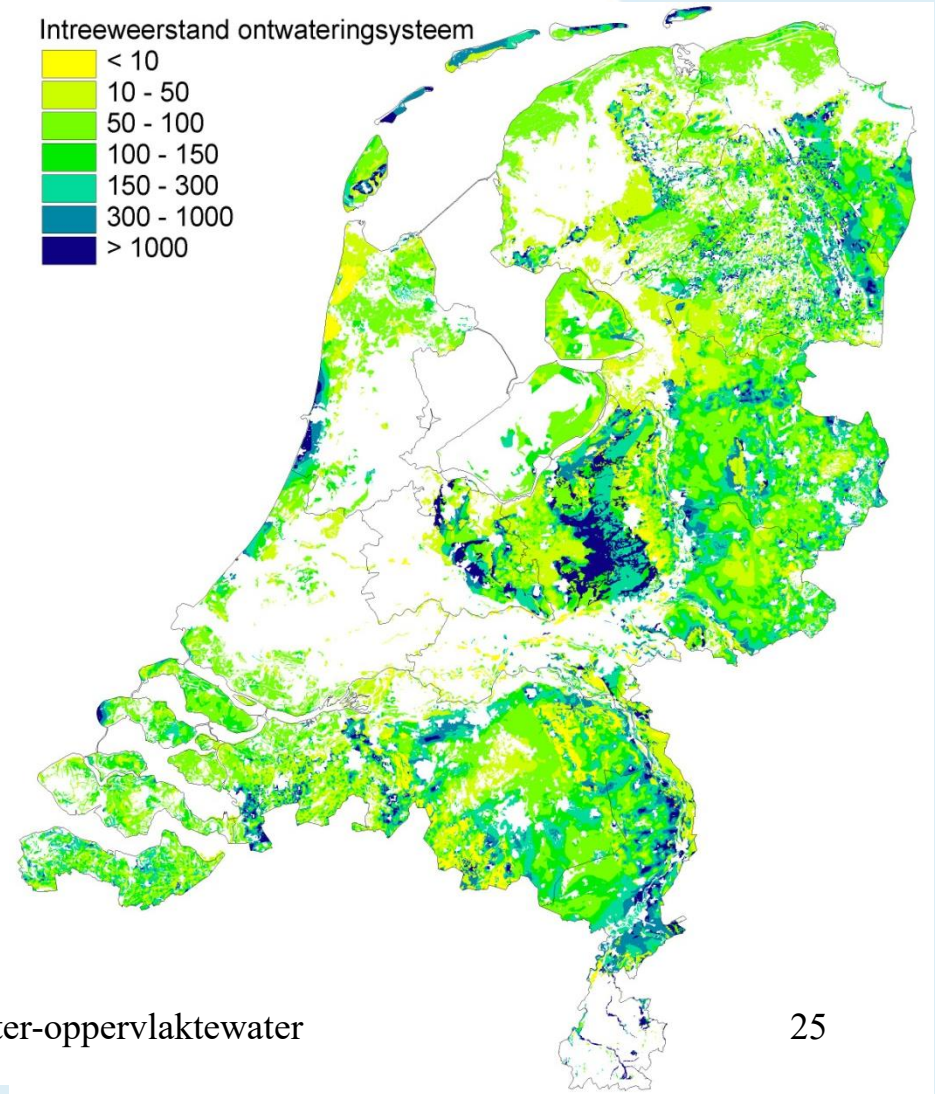


Intreeweerstand ontwateringsysteem Uit Massop e.a.)

alle gebieden



excl. ontoelaatbare gebieden



Parameterisering uit waarnemingen

- “pompproef” ontwateringsmiddelen (stuk afdammen, leegpompen en snelheid van vollopen meten)
- Analyse afvoerverloop bij uitputting (rapport Werkgroep Afvoerberekeningen,1979)
- Gelijktijdige meting van afvoeren en grondwaterstanden dwars op verschillende afstand tot de waterloop (biedt de mogelijkheid de verschillende componenten van de weerstand te onderscheiden). Zie rapport “Opschonen wijken” op mijn site

Bepalende ‘karteerbare’ kenmerken

Zie figuur

- de horizontale en verticale doorlatendheid van het freatisch pakket, k_x resp. k_y (m d^{-1})
- de watervoerende dikte van het freatisch pakket, H (m)
- de weerstand van de eerste scheidende laag, c_1 (d)
- de weerstand van de wand van een ontwateringsmiddel, c_0 (d)
- de breedte van het ontwateringsmiddel, W (m)
- de gemiddelde afstand tussen de ontwateringsmiddelen, L (m). Deze is af te leiden uit deling van de oppervlakte door de lengte aan waterlopen

Hoe kom ik aan die gegevens?

Parameter	Gegevensbron
• hor. en vert. doorlatendheden en diktes lagen topsysteem	NHI-bestand hydrotypenbestand
• hor. en vert. doorlatendheden en diktes lagen diepere ondergrond	Regis
• weerstand van slootwand	kennisregels
• geometrie van de ontwateringsmiddelen	uit leggergegevens en expertise gekoppeld aan classificatie van top10-vectorbestand
• gemiddelde afstand tussen ontwateringsmiddelen	hoofdwaterlopen: legger kleinere waterlopen: top10-vectorbestand en expertise

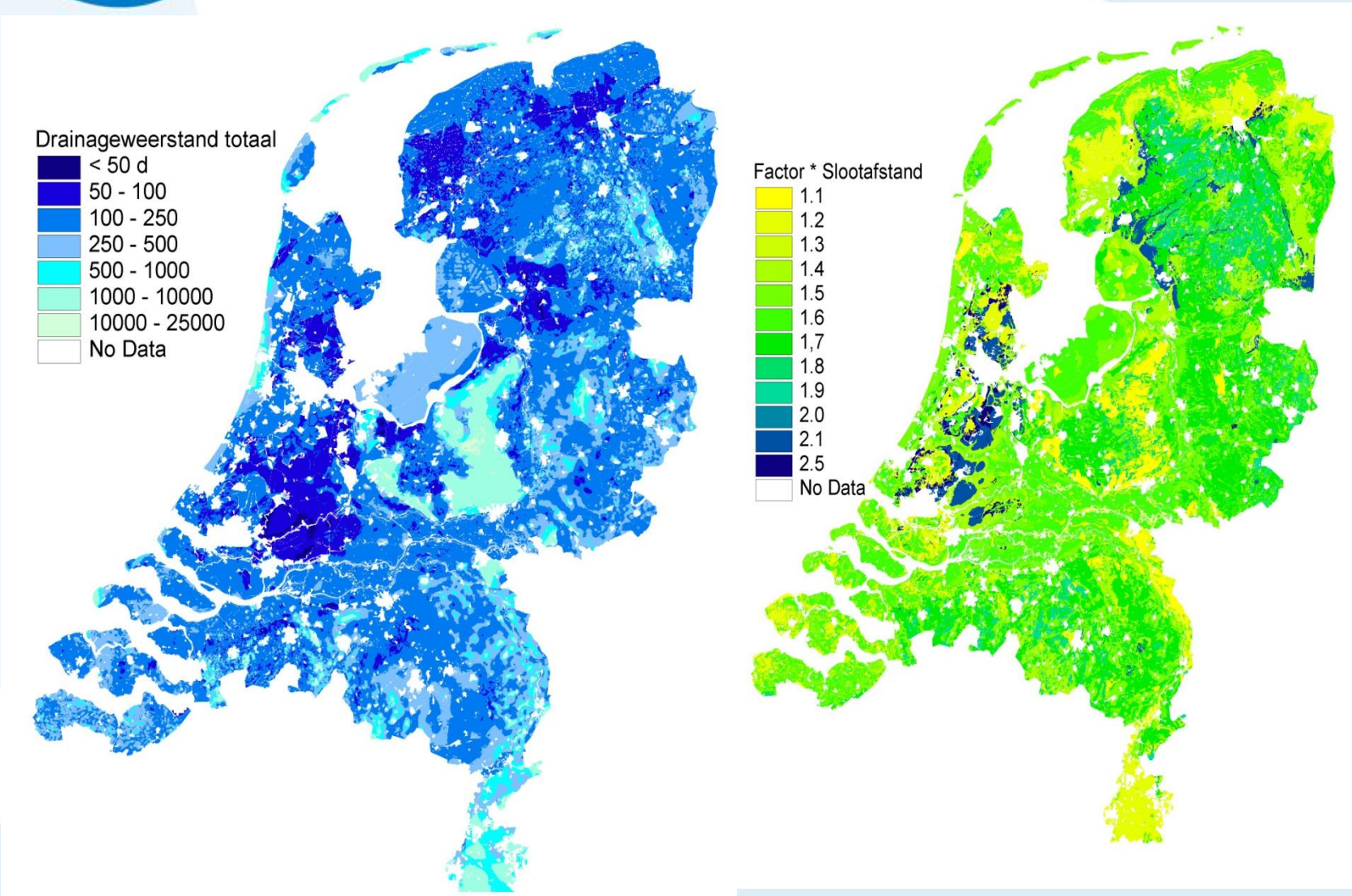
Hoe kom ik aan gegevens (2)?

- Vuistregels, bijv $c_d = L*1$
- Tabellen bijv. voor α (SOBEK-handleiding)
- Expertise
- CV: drainagecriterium
- Kant en klare bestanden van o.a. STONE en NHI

Hoe kom ik aan gegevens (3)

- Buisdrainage
  - welke percelen zijn gedraineerd meestal niet bekend
  - maatregel met groot effect
  - kennisregels toepassen of veldinventarisatie
  - ontwateringscriterium (7 mm/d bij 30 cm ontwateringsdiepte bij grasland). Bij gegeven draindiepte is weerstand uit te rekenen
- Maaiveld als drainage- en bergingsmiddel bij hoge grondwaterstanden
  - ontwatering: instortende weerstand vanaf laagste maaiveld
  - berging: maaiveldshoogteverdeling per perceel
  - afvoer: Digitaal Terreinmodel (DTM) o.i.d.
- Maaiveld als drainagemiddel bij hoge neerslagintensiteiten
  - Infiltratiecapaciteit: zeer variabel in plaats en tijd
  - berging: maaiveldshoogteverdeling binnen perceel
  - afvoer: DTM o.i.d.

Kaarten: drainageweerstand en factor slootafstand



Zeer nuttig om te bestuderen

- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H.R.J. Vroon & I.G. Staritsky; Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken; gepubliceerd: 25 aug 2006; 111 pp. Rapport nummer 1339.
- H.Th.L. Massop, J.W.J van der Gaast en A.G.M. Hermans, 2006. Kenmerken van het ontwateringsstelsel in Nederland. Alterra-rapport 1397.
- H.Th.L. Massop en J.W.J. van der Gaast, 2006. Intreeweerstanden, nader beschouwd. Procesmatig onderzoek naar de relatie tussen de drainageweerstand en de intreeweerstand. Alterra-rapport 1350.
-

Opmerkingen

- Calibreren uit grondwatertrappen (Van der Gaast e.a.: “Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken”. Alterra-rapport 1339). Voorbeeld: kaart van verhouding afstand (is karteerbaar) en weerstand
- Verschil drainage- en subinfiltratieweerstand?
- Veel buisdrainage is aangelegd volgens oude CV en dus redelijk gehomogeniseerd qua ontwateringsweerstand

Modellering (semi)-analytisch

- 2-D (effect peilverhoging is functie van tijd en afstand tot waterloop, zie volgende sheet)
- Diffuse lekterm
- Alle waterlopen expliciet in model

Zie SC-DLO rapport 527.1 (1997) 'Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand'. Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand

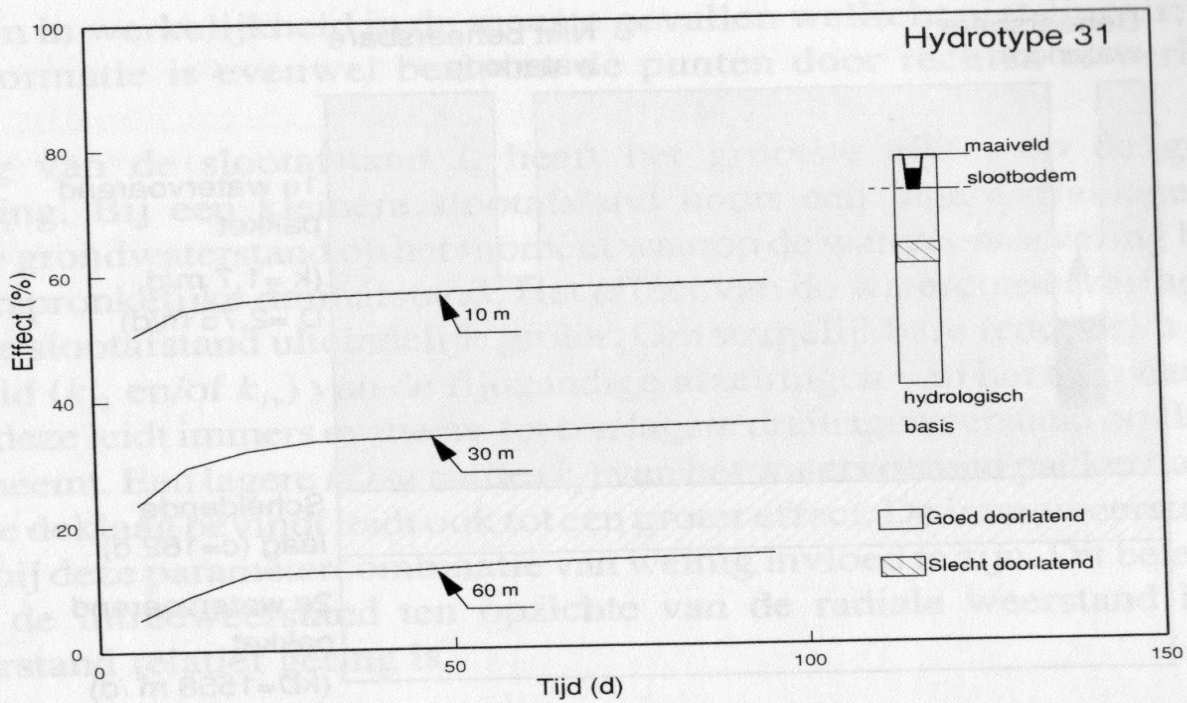
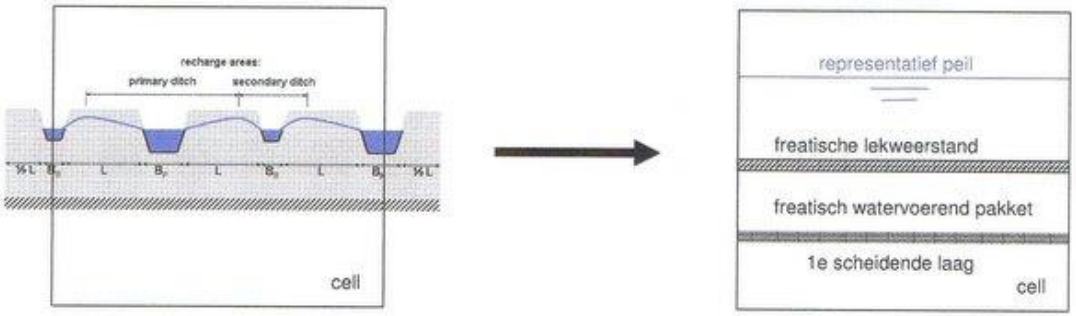


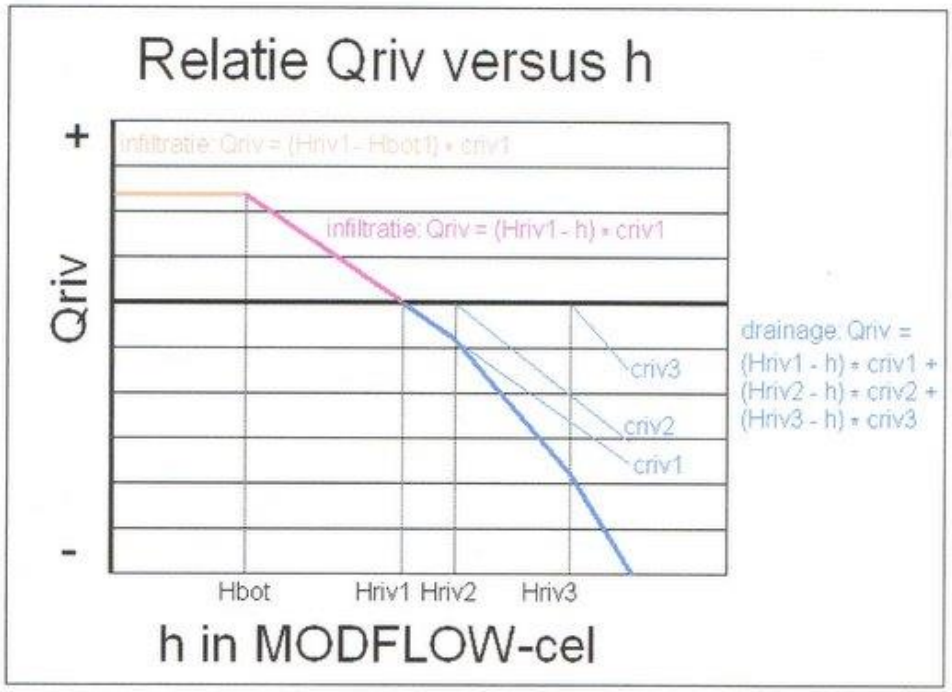
Fig. 27 Procentueel effect van een peilverhoging van 50 cm op de grondwaterstand, op 10, 30 en 60 m afstand van de beheersbare waterloop tijdens een periode zonder neerslagoverschot

NHI-aanpak (MODFLOW)



Figuur 7 **Freatische lekweerstand bedekt gehele cel; "alsof het een meertje is"**

Ieder systeem (primair, secundair, tertiair, buisdrainage en overland flow) heeft zijn eigen freatische lekweerstand, zodoende ontstaat er een meervoudige relatie in een cel. Voor drie waterloopniveaus is een voorbeeld van een meervoudige relatie opgenomen in Figuur 8. De primaire waterloop in deze cel kan infiltreren en afvoeren. De secundaire en tertiaire waterlopen kunnen alleen afvoeren als de grondwaterstand respectievelijk boven Hriv2 dan wel Hriv3 komt. De totale flux is weergegeven in de dikke lijn, de deel-fluxen in de gestippelde lijnen.

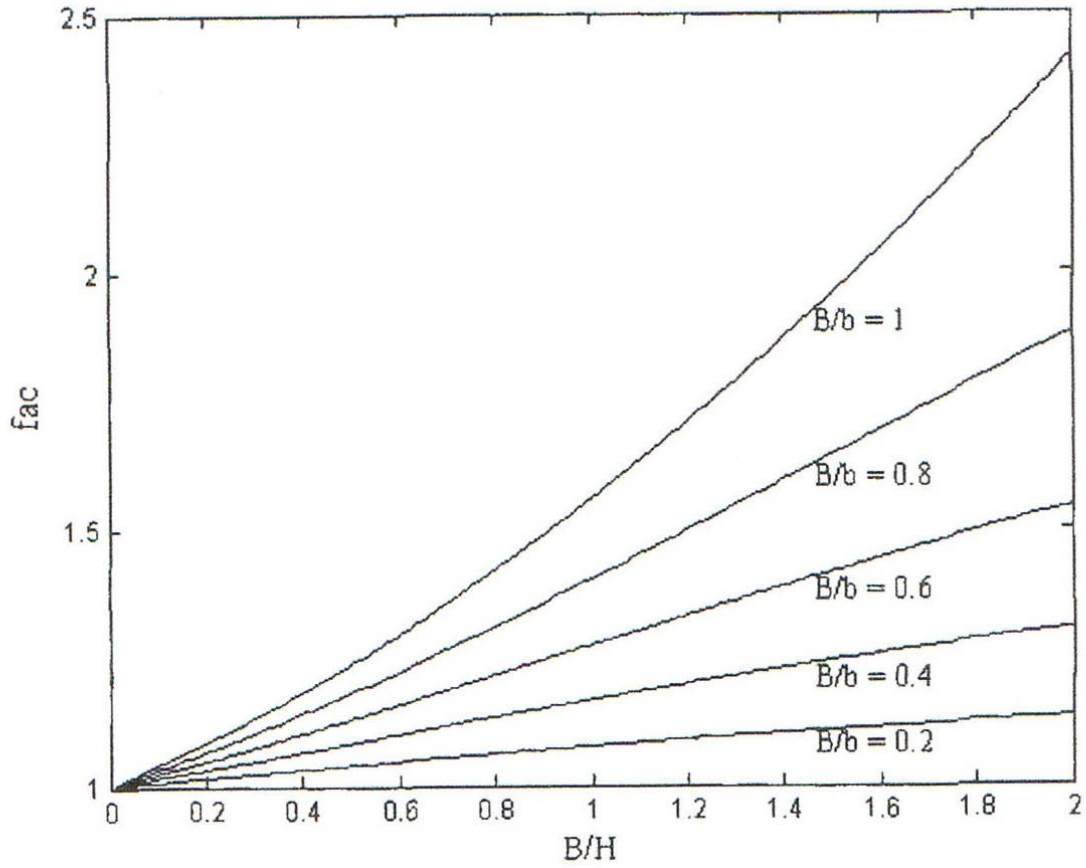


Figuur 8 **Grafiek met de relatie tussen de grondwaterstand (h) in een MODFLOW cel en de flux van en naar het oppervlakte water (Qriv).**

Modellering in MODFLOW c.s.

- Expliciet in model gebrachte waterlopen
  - formule in MODFLOW
  - opmerkingen en artikel Kees Maas: Ondiepe waterlopen in Modflow (Stromingen 9 (2003)): geen radiale weerstand
- Diffuse waterlopen waaronder buisdrainage en maaiveldsgreppels
  - lekweerstandsformule c.q. waarde per grid per type ontwateringsmiddel
    - primair
    - secundiar
    - tertiair
    - maaiveldsgreppels
    - buisdrainage

Factor voor vermenigvuldiging doorlatendheid van de river cell



(Model)artefacten

- MODLOW: geen radiale weerstand en geen weerstand van intern afgevoerd water
- Lekweerstanden bij meerdere typen ontwateringsmiddelen in 1 cel verkeerd ‘opgeteld’
- Intreeweerstand slecht bekend en niet constant
- Bij ondiepe profielen weerstand afhankelijk opbolling
- Bergingseigenschappen bij niet stationaire calibratie uitwisselbaar met weerstanden
- Hiermee rekening houden bij extrapolatie van gecalibreerde lekweerstandsrelatie

Opmerkingen algemeen

- Intreeweerstand is inderdaad de grootste onbekende maar er is wel expertise en er zijn bestanden beschikbaar
- Bij calibratie met MODFLOW doen die ingewikkelde lekweerstandsformules of mogelijke modelartefacten er nauwelijks toe. Dat kan dus fout gaan bij maatregelen die aangrijpen op relatie grondwater-oppervlaktewater maar ook bij extreme situaties (zowel nat als droog) omdat relatie is gelineariseerd
- Parameters voor relatie grondwater-oppervlaktewater in SOBEK moeten min of meer consistent zijn met die van grondwatermodellen. De opdrachtgever zal in toenemende mate eisen dat grondwatermodellen worden gebruikt als generator van drainagefluxen of van statistieken van grondwaterstanden (tbv stochastenmethode) c.q. de resultaten ervan worden omgezet in een metamodel, en omgekeerd dat SOBEK wordt gebruikt als generator van openwaterstanden c.q. dat de resultaten ervan worden omgezet in een metamodel

Ervaringen NHI

- Formule van LGB geeft op het oog redelijke resultaten
- Desondanks te weinig dynamiek (verschil GHG en GLG) (validatie aan duizenden buizen uit DINO). Ook na uitgebreide gevoeligheidsanalyse weinig verbetering
- Weerstand en/of berging en/of modelconcept en/of schaaleffect?

Ervaringen elders

- SIMGRO: Ernst geeft verrassend goede resultaten in diverse studies
- Hydrologie voor STONE 2.3: statistieken niet slecht.

Opschalen

- Consistentie-eis: **waterbalans** en gemiddelde **dynamiek grondwaterstand** zeker gebied niet afhankelijk van invloedsoppervlak (gridgrootte), spreiding wel geringer
- Harmonisch middelen vs rekenkundig middelen vs geometrisch middelen?

Van druk naar druppel

- Verdeling van fluxen naar diverse onderscheiden klassen van ontwateringsmiddelen is de basis voor verblijftijdspreiding van route tussen maaiveld en oppervlaktewater