# De logaritmische U/h relatie in vrij afwaterende gebieden

C. van den Akker[[1]](#footnote-1)

*In vervolg op mijn publicaties “Tussen Dupuit en De Glee” en “Een fysische onderbouwing van de overdrachtsfactor” wordt een analyse uitgevoerd op het verloop van de hyperbolische overdrachtsfactor, de drainageweerstand en de U/h relatie. Er worden formules afgeleid voor de bepaling van de maximale overdrachtsfactor en de maximale drainageweerstand die optreden ter hoogte van de drainagebasis. De afgeleide logaritmische U/h relatie wordt vergeleken met een gemeten relatie die is gepubliceerd in Ernst (1971). De hyperbolische overdrachtsfactor vormt tevens de basis voor de afleiding van een differentiaalvergelijking voor stationaire stroming naar een volkomen put, waarbij wordt aangetekend dat deze vergelijking alleen geldig is voor grondwaterstanden boven de drainagebasis. Tot slot wordt commentaar gegeven op de publicatie Olsthoorn (2014 b) waarin wordt gesteld dat de toename van de drainage weerstand met de diepte van de grondwaterstand kwadratisch is. Aangetoond wordt dat deze bewering niet correct is op basis van fysische overwegingen, aangehaalde resultaten uit eerdere publicaties en door Olsthoorn (2014 b) uitgevoerde modelberekeningen.*

## Inleiding

In de afgelopen periode is in Stromingen diverse malen aandacht besteed aan methoden voor het berekenen van verlagingen van grondwaterstanden als gevolg van het onttrekken van grondwater voor de drinkwatervoorziening. Deze verlagingen vormen de basis voor het vaststellen van veranderingen in de verdamping van de vegetatie en vervolgens de opbrengstverandering van landbouwgewassen. Aangezien in Nederland een gedoogplicht geldt voor deze grondwateronttrekkingen maar tevens ook een recht ontstaat op vergoeding van geleden schade is het van belang te komen tot een gedegen analyse van de te verwachten verlagingen en, nadat de grondwateronttrekking is aangevangen, de installatie van een passend meetnet.

Parallel aan de onttrekking van grondwater voor allerlei doeleinden en de uitvoering van waterhuishoudkundige ingrepen werd, sinds het midden van de vorige eeuw, in Nederland een verlaging van de stijghoogte vastgesteld die niet één op één aan een bepaalde oorzaak kon worden gekoppeld. Deze zogenoemde achtergrondverlaging, die op dit moment op een aantal decimeters wordt ingeschat, is de inzet van een discussie. Op basis van voortschrijdend inzicht, het ontwikkelen van rekenmethoden zoals in Van den Akker (2013 en 2014 a en b) en modelstudies zoals in Olsthoorn (2014 a) wordt duidelijk dat de rekenmethode van het KWR, zoals die is vastgelegd in Maas (2012) voor het berekenen van verlagingen door onttrekkingen, het vaststellen van de omvang van het beïnvloede gebied en de bepaling van de grootte van de achtergrondverlaging, als basis voor de schadeberekeningen in vrij afwaterende gebieden, niet juist is. De rekenmethode van het KWR onderschat de effecten van grondwateronttrekkingen dusdanig dat de uiteindelijk vastgestelde landbouwschade door deze onttrekkingen veel te laag is. Het is zeker niet onwaarschijnlijk dat de werkelijk opgetreden landbouwschade in gebieden met een vrije afwatering een factor 4 of 5 hoger is dan op basis van de verlagingsberekeningen van het KWR wordt vastgesteld.

De twijfel over de juistheid van gehanteerde rekenmethoden voor de bepaling van de verlagingen en daarmee van de omvang van de achtergrondverlaging bestaat al langer. De vroegere Commissie Deskundigen Grondwater CDG vermeldde reeds in de jaarverslagen in het midden van de jaren 90 de noodzaak tot nader onderzoek naar het fenomeen van de achtergrondverlaging. Onderzoekers van bijvoorbeeld NITG-TNO stelden dat de achtergrondverlaging mede werd veroorzaakt door grondwateronttrekkingen.

Waarom het noodzakelijke onderzoek niet serieus institutioneel werd opgepakt is onduidelijk, wel kan ik mij voorstellen dat het belang van bijvoorbeeld bedrijven die grondwater onttrekken niet was gelegen in het financieren van onderzoek dat mogelijkerwijs zou leiden naar een verklarende relatie tussen onttrekkingen en het ontstaan van de zogenoemde achtergrondverlaging.

Daar waar instituten het lieten afweten was het uitermate positief dat de NHV wel de handschoen durfde op te pakken. In het najaar van 2013 werd een NHV bijeenkomst georganiseerd met als titel ”De achtergrondverlaging op de voorgrond”. In deze bijeenkomst heb ik gewezen op de foutieve interpretatie van de gemeten verlagingen in Maas (2012) aan de hand van een rekenmethode die ik heb beschreven in Van den Akker (2013). In deze bijeenkomst werd met name door Olsthoorn stevige kritiek uitgeoefend op mijn publicatie. De hierin gepresenteerde rekenmethode, gebaseerd op de klassieke grondwatermechanica, zou fysische onderbouwing ontberen en daarmee dus fundamenteel onjuist zijn terwijl de publicatie van Maas (2012), met daarin de door mij gewraakte rekenmethode als briljant werd aangemerkt. Echter na het verschijnen van het artikel Van den Akker (2014 a) waarop werd gereageerd met Olsthoorn (2014 b) is de situatie compleet anders.

In zijn artikel Olsthoorn (2014 b) omarmt hij het gebruik van een relatie tussen de gebiedsgemiddelde grondwaterstand en de oppervlaktewaterafvoer per eenheidsoppervlak.

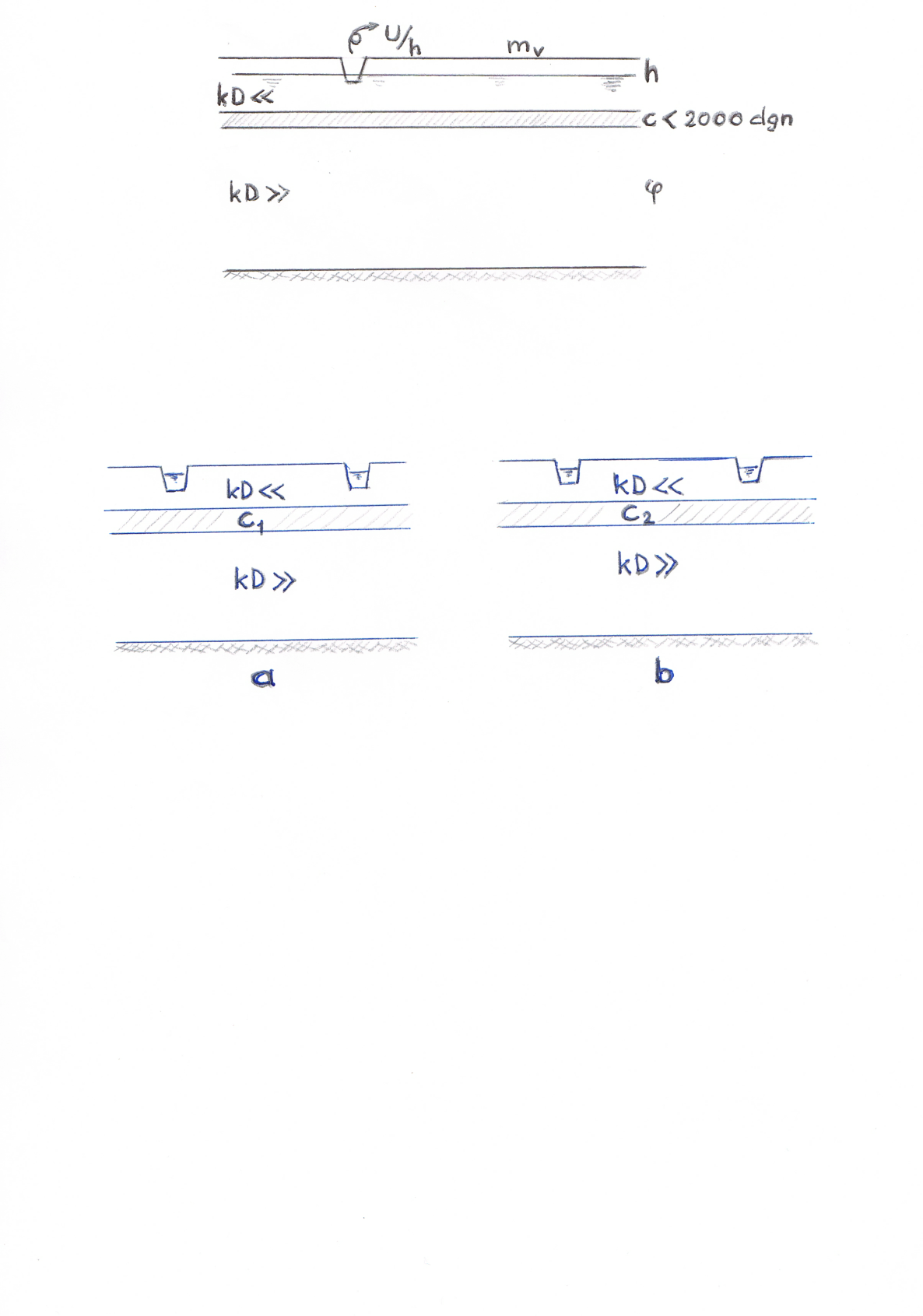
Hij doet zelfs een poging te komen tot een veralgemenisering van de door mij gepresenteerde rekenmethode en hij kwalificeert mijn aanpak als wiskundig wel juist maar niet fysisch onderbouwd en daarmee dus minder correct waar zijn uitwerking wel een gedegen fysische onderbouwing zou kennen.

Over dit laatste verschil ik van mening met Olsthoorn en ik wil hierna duidelijk maken waar hij zowel op de fysische onderbouwing, het refereren aan de resultaten van mijn artikelen als de interpretatie van de geohydrologische situatie in vrij afwaterende gebieden fouten maakt.

## Analyse van de logaritmische U/h relatie in vrij afwaterende gebieden

In Van den Akker ( 2013 en 2014 a) is een rekenmethode beschreven voor het analyseren van de verandering van de grondwaterstand als gevolg van een verandering in de stijghoogte in een pakket met gedeeltelijk afgesloten grondwater. Het betreft een regionale analyse in een vrij afwaterend gebied. Bij de analyse wordt uitgegaan van de geohydrologische schematisering in afbeelding 1 en de volgende aannames:

* Eén watervoerend pakket met gedeeltelijk afgesloten grondwater en een doorlaatvermogen dat relatief hoog is
* Op dit pakket een minder goed doorlatende laag met een betrekkelijk lage hydraulische weerstand van minder dan één of tweeduizend dagen
* De horizontale stroming in het freatische pakket is verwaarloosbaar klein
* Er geldt een niet-lineaire relatie tussen de oppervlaktewater afvoer per eenheidsoppervlak en de gebiedsgemiddelde grondwaterstand
* Er is sprake van stationaire grondwaterstroming



**Afbeelding 1:** Geohydrologische schematisering

In Van den Akker (2013) wordt de verandering van de gebiedsgemiddelde grondwaterstand als gevolg van een verandering van de stijghoogte aangeduid als de overdrachtsfactor *F* waarvoor geldt:

waarin:

*h* = freatische grondwaterstand [m]

*φ* = stijghoogte in het watervoerende pakket [m]

De waarde van *F* ligt tussen 0 en 1 en *F* hangt af van de mate waarin het oppervlaktewatersysteem de grondwaterstand reguleert in een gegeven geohydrologische situatie, Van den Akker (2013).

Eveneens geldt, Van den Akker (2014 a), dat op basis van de wet van Darcy de verandering van de volumestroomdichtheid door de scheidende laag gelijk is aan:

waarin:

*c* = hydraulische weerstand van de scheidende laag [dagen]

Aangezien de horizontale stroming in het freatische pakket verwaarloosbaar klein wordt aangenomen, kan worden gesteld dat een verandering van de volumestroomdichtheid door de scheidende laag wordt gecompenseerd door de verandering van de oppervlaktewater afvoer, dus:

Daarmee is:

Verder kan op basis van fysische overwegingen gesteld worden dat:

waarbij

= regionale drainagebasis ten opzichte van het referentieniveau [m]

Zoals is betoogd in Van den Akker (2013) kan voor de overdrachtsfactor als hypothese worden gesteld dat dat deze voldoet aan

waarin:

constante [m]

constante [m]

maaiveldhoogte ten opzichte van referentie niveau [m]

In Van den Akker (2014 a) is afgeleid dat daarmee geldt dat:

Tevens is afgeleid op basis van de hyperbolische overdrachtsfactor dat:

waarbij *j* de waarde van *U* is op .

## De diepte van de regionale drainagebasis

Voor de diepte van de regionale drainagebasis geldt dat *U=*0 als

Substitutie van deze waarden in vergelijking 8 resulteert in:

## De maximale waarde van de drainageweerstand

Het verloop van de logaritmische U/h relatie heeft alleen fysische betekenis voor gebiedsgemiddelde grondwaterstanden die hoger zijn dan de regionale drainagebasis. Ter hoogte van de drainagebasis komt er een abrupt einde aan de aanwezigheid van drainagemiddelen, bij lagere grondwaterstanden is er geen afvoer meer en er is dus ook geen sprake meer van een drainageweerstand in de fysische betekenis. De eerste afgeleide van *U* naar *h* heeft daarmee op de regionale drainagebasis de hoogste waarde. Wiskundig gezien vertoont deze afgeleide op de drainagebasis een knik en gaat daaronder over op een verticale lijn waarmee deze afgeleide dus oneindig wordt.

In berekeningen en modelstudies wordt de drainageweerstand gedefinieerd als:

waarin γ = drainageweerstand [dagen]

Uit vergelijkingen 10 en 8 volgt door differentiatie van *U* naar *h* dat:

Daarmee wordt de maximale waarde van de drainageweerstand

Na substitutie van vergelijking 9 in vergelijking 12 wordt voor de maximale drainageweerstand de volgende expressie gevonden:

## De overdrachtsfactor bij een grondwaterstand op de drainagebasis

Door substitutie van de drainagebasis in vergelijking 6 wordt de maximale overdrachtsfactor gevonden. Hogere grondwaterstanden geven een kleinere overdrachtsfactor. Op de diepte van de drainagebasis vertoont de overdrachtsfactor een discontinuïteit door het abrupt niet meer aanwezig zijn van drainagemiddelen. De overdrachtsfactor is 0 op de diepte Bij lagere grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld neemt de overdrachtsfactor toe tot de waarde op de drainagebasis, waarbij geldt:

Bij grondwaterstanden onder de drainagebasis geldt uiteraard dat de overdrachtsfactor gelijk is aan de waarde 1.

## Vergelijking met een gemeten U/h relatie

De vraag is nu: Hoe kan de hypothese, dat de overdrachtsfactor een hyperbolisch verloop heeft, hard worden gemaakt.

Een mogelijkheid wordt geboden door de, op basis van de overdrachtsfactor, afgeleide U/h relatie te vergelijken met gemeten U/h relaties.

Voorwaarde is uiteraard wel dat de geohydrologische situatie waarvoor de gemeten relatie geldt vergelijkbaar moet zijn met de situatie waarvoor de hyperbolische overdrachtsfactor is aangenomen en ook de aannames en schematiseringen dienen overeen te stemmen.

In Ernst (1971) wordt een geohydrologische situatie met stationaire stroming geanalyseerd die vergelijkbaar is met de situatie in dit artikel.

Belangrijk zijn twee statements van Ernst:

* It will be assumed that the top layer has a moderately large transmissivity, so that in this layer no horizontal transport of groundwater over distances larger than half the spacing of the surface drains has to be taken into account.
* Below the dashed line is vertical and this means that at lower phreatic levels there is no groundwaterdischarge of any importance.

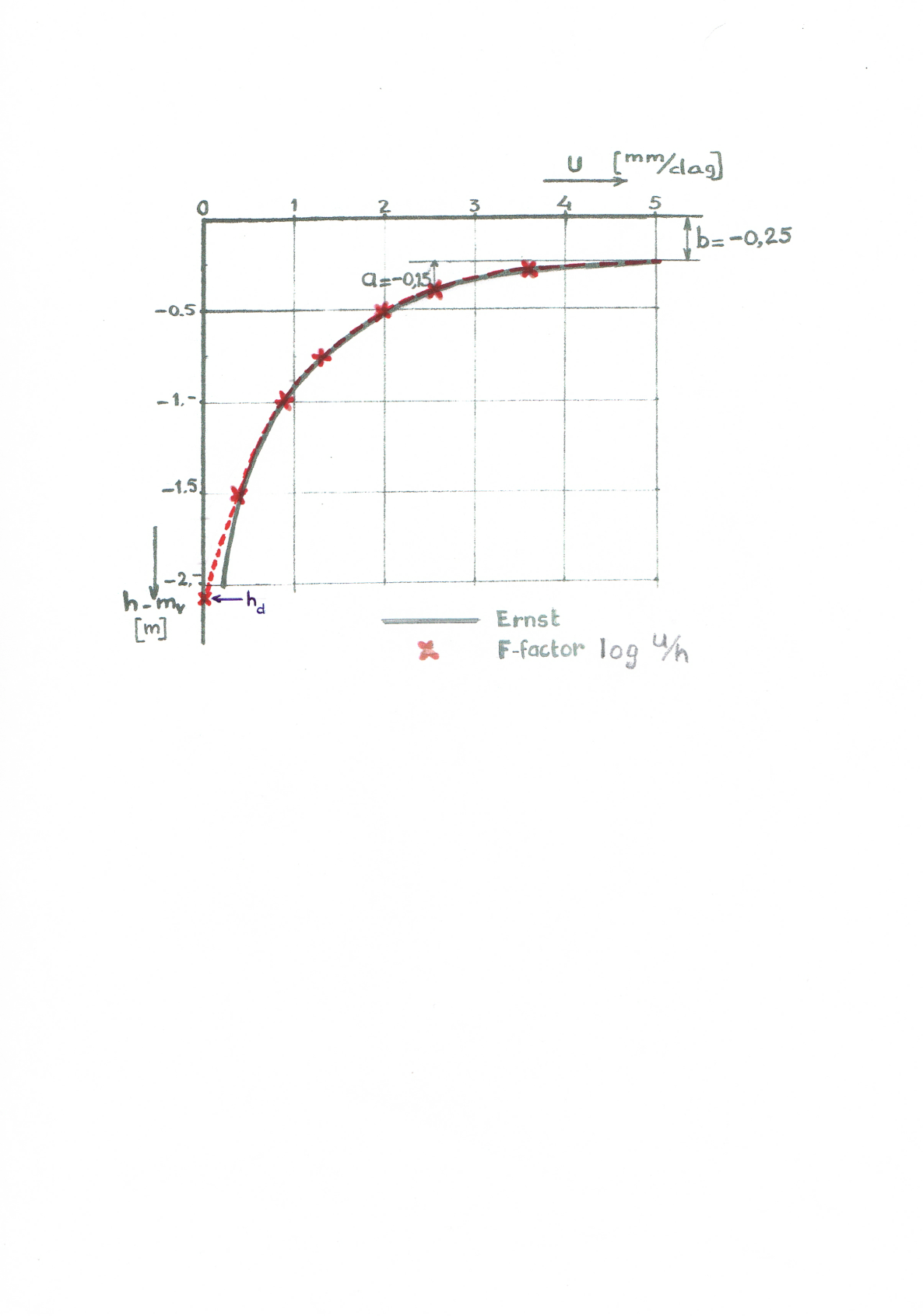
Ik vertaal beide statements als volgt:

* De horizontale stroming in het freatische pakket is verwaarloosbaar klein indien wordt gerekend met een gebiedsgemiddelde grondwaterstand.
* Met een grondwaterstand gelijk of lager dan de diepte van de regionale drainagebasis is de afvoer van grondwater door de drainagemiddelen nihil.

In Van den Akker (2014 a) is de match uitgevoerd tussen de gemeten relatie in Ernst (1971) en vergelijking 9 in dit artikel. De volgende waarden werden vastgesteld:

Dit levert als resultaat:

In afbeelding 2 Is het verloop van de U/h relatie uit Ernst (1971) weergegeven samen met het verloop verkregen op basis van vergelijking 15. De fit is vrijwel exact, slechts bij lage grondwaterstanden net boven de regionale drainagebasis is er een afwijking.

**Afbeelding 2:** Het verloop van de U/h relatie

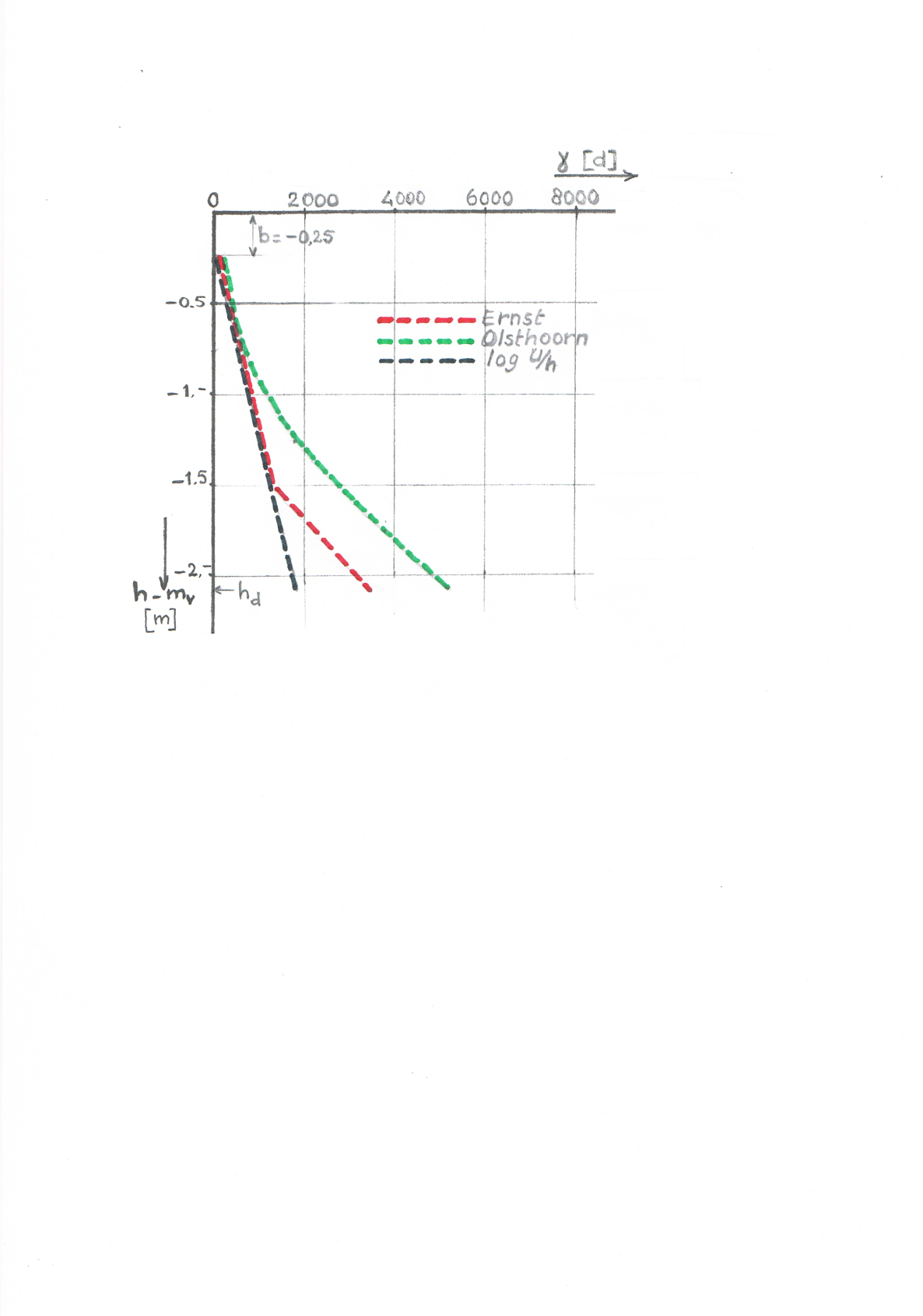
Met behulp van vergelijking 9 wordt de diepte van de regionale basis gevonden, dus de diepte van de grondwaterstand waar de oppervlaktewater afvoer uit het grondwater gelijk 0 is.

Deze regionale drainagediepte is:

De relatie uit Ernst (1971) geeft op een diepte van 2,08 meter een afvoer van 0,1 mm/dag. Zou de relatie van Ernst doorgezet worden voor lagere grondwaterstanden, zoals hij doet in fig. 8 van zijn publicatie, dan is daaruit af te leiden dat Ernst de drainagebasis inschat op ongeveer op 2,8 meter.

Voor de maximale waarde van de drainageweerstand wordt met behulp van vergelijking 14 het volgende resultaat verkregen:

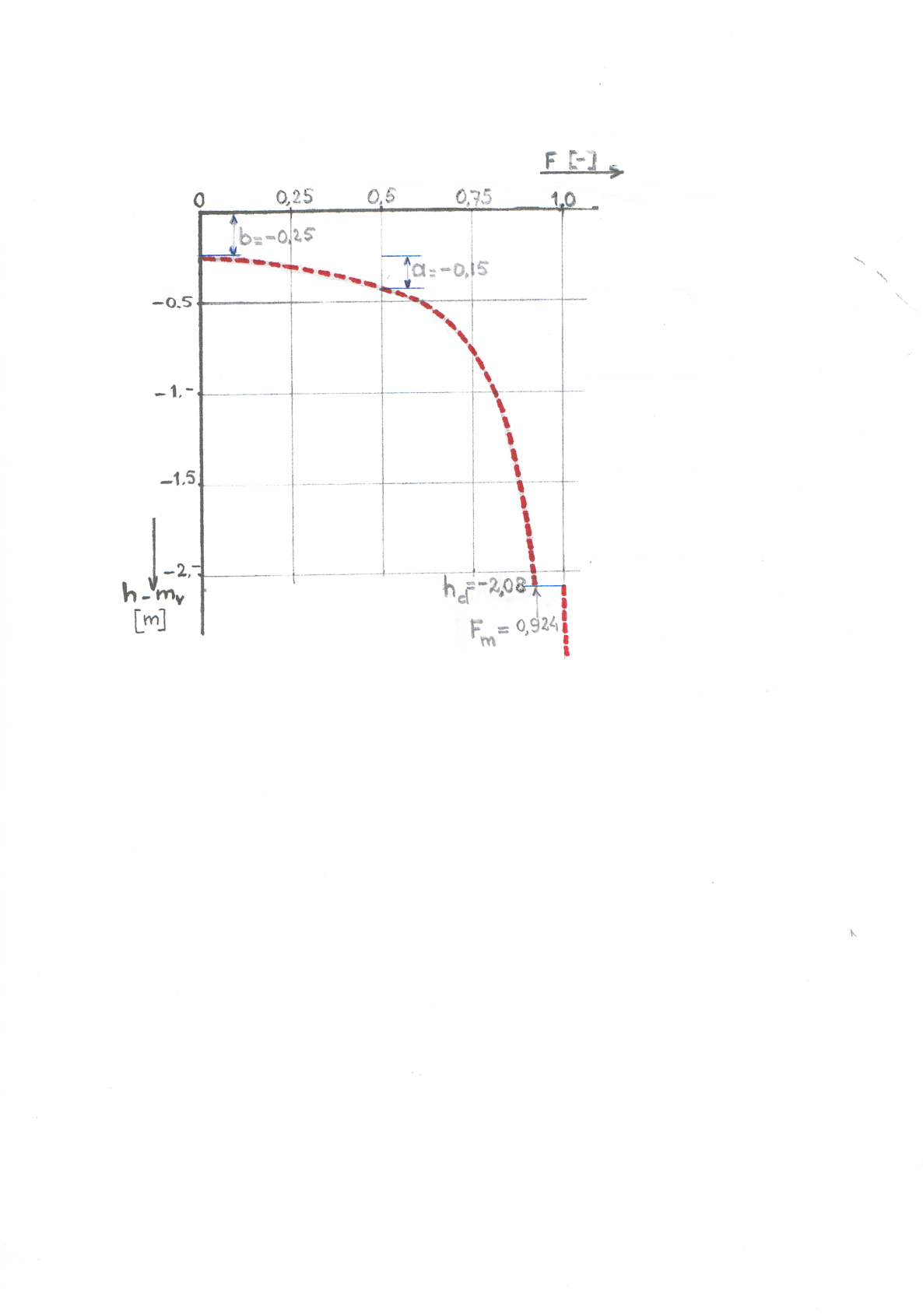
Op de diepte van 2,08 m minus maaiveld wordt aan de hand van fig. 8 uit Ernst (1971) een drainageweerstand geschat die ongeveer tweemaal zo groot is. In afbeelding 3 Is het verloop van de drainage weerstand aangegeven voor de gemeten relatie van Ernst en de logaritmische U/h relatie.



**Afbeelding 3:** Het verloop van de drainageweerstand

De overdrachtsfactor op de drainagebasis, dit is de maximale waarde in het traject waar het drainagesysteem aanwezig is, wordt berekend met:

Zoals eerder gesteld is de overdrachtsfactor voor diepere grondwaterstanden, dus waar geen drainagesysteem meer aanwezig is, gelijk aan de waarde 1. In afbeelding 4 Is het hyperbolische verloop van de overdrachtsfactor aangegeven voor de logaritmische U/h relatie die is gefit op de gemeten relatie van Ernst.



**Afbeelding 4:** Het verloop van de overdrachtsfactor

Gesteld kan worden dat voor grondwaterstanden tot 1.50 of 1,60 meter minus maaiveld de logaritmische en de gemeten U/h relatie elkaar vrijwel exact dekken, dus bij gebruik van deze relaties in bijvoorbeeld de berekening van verlagingen als gevolg van een grondwateronttrekking uit het diepe pakket zal eenzelfde resultaat worden gevonden tot op het niveau van ongeveer de GLG. Het zal dus niet uitmaken of daarvoor de analytische oplossing wordt gebruikt uit Van den Akker (2013) of een numeriek model dat gebruik maakt van drainageweerstanden.

Het bovenstaande leert eveneens dat de logaritmische U/h relatie voor grondwaterstanden, die liggen onder de GLG, een kleinere verlaging van de freatische grondwaterstand oplevert dan de berekende verlaging met de relatie van Ernst in het geval grondwater wordt onttrokken uit het diepe pakket.

Bedacht moet worden dat, voor de onderbouwing van de hypothese van de hyperbolische overdrachtsfactor, slechts gebruik is gemaakt van één gemeten relatie uit Ernst (1971). Het is uiteraard noodzakelijk dat aan meerdere gemeten relaties moet worden getoetst wil er van een algemene geldigheid gesproken kunnen worden. Met algemene geldigheid wordt hier bedoeld dat in vrij afwaterende gebieden met een bodemopbouw zoals in dit artikel is aangegeven de U/h relatie goed kan worden gekarakteriseerd met een logaritmisch verloop. De vergelijking met de gemeten relatie uit Ernst (1971) levert een goed resultaat. De ontwikkelde differentiaalvergelijking in Van den Akker (2013), op basis van de hyperbolische overdrachtsfactor, geeft daarom een redelijk resultaat voor de bepaling van de verlagingen van de stijghoogte en de freatische grondwaterstand door een stationaire onttrekking uit het diepe pakket, uiteraard binnen de beschouwde geohydrologische schematisering en gedane aannames. Indien een redelijke schatting of meting voorhanden is met betrekking tot de hydraulische weerstand, de diepte van de drainagebasis en de grootte van de oppervlaktewaterafvoer per eenheidsoppervlak voor de gebiedsgemiddelde grondwaterstand waarvoor de overdrachtsfactor 0 wordt, kan met behulp van vergelijking 9 de waarde van *a* worden berekend.

## Verlagingen als gevolg van een onttrekking

In Van den Akker (2013) is de vergelijking afgeleid voor de berekening van de verlaging van de grondwaterstand en stijghoogte als gevolg van een onttrekking door middel van een volkomen put uit het pakket met gedeeltelijk afgesloten grondwater. Er is aangenomen dat er een niet-lineaire relatie geldt tussen de gebiedsgemiddelde grondwaterstand en de afvoer per eenheidsoppervlak, waarbij wordt uitgegaan van de hyperbolische overdrachtsfactor uit vergelijking 6.

Hieruit volgt, Van den Akker (2013), dat:

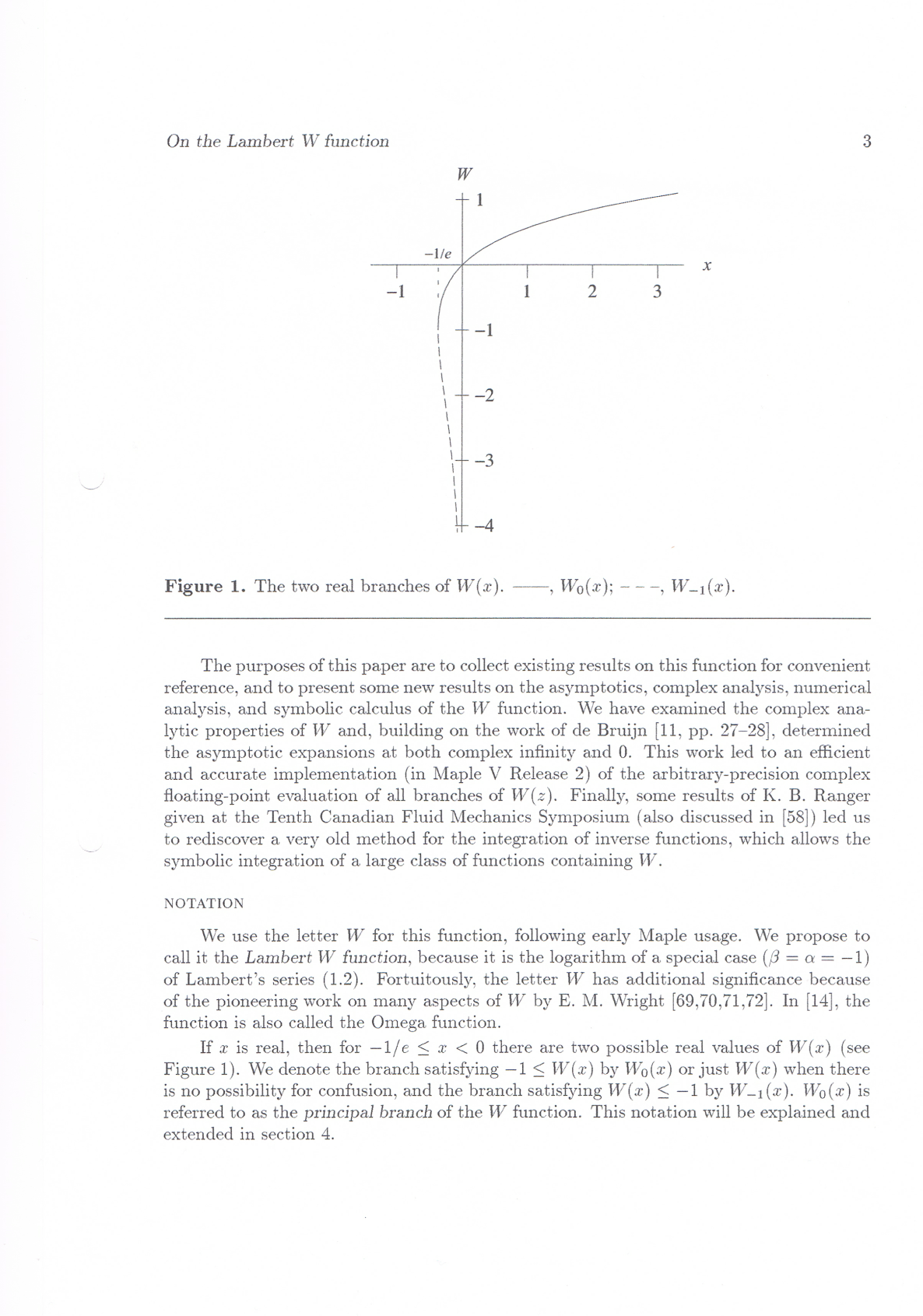
Daarmee kan worden afgeleid dat

0 (17)

De *W*(*x*) staat voor de Lambert W functie waarvan het verloop staat aangegeven in afbeelding 5.

Met behulp van Matlab wordt vergelijking 17 met bijbehorende randvoorwaarden opgelost. Als het verloop van de stijghoogte berekend is kan daarna het verloop van de grondwaterstand worden berekend op basis van de vergelijking:

Deze oplossing is correct voor grondwaterstanden boven de drainagebasis, waarvoor de overdrachtsfactor geldt volgens vergelijking 6 met een maximale volgens vergelijking 14. Voor diepere grondwaterstanden is er geen oppervlaktewater afvoer en daarmee geldt voor grondwaterstanden onder de drainagebasis de Dupuit formule. Er is dus geen sprake van een geleidelijke overgang van vergelijking 17 in de Dupuit formule in het geval van een drainagebasis op een diepte in de orde van meters onder maaiveld. Eén en ander wordt aangegeven in afbeelding 4. Het is lastig om de discontinuïteit te vangen in een analytische oplossing, een numerieke aanpak moet hier uitkomst bieden. Naar verwachting kan het gesignaleerde probleem relatief gemakkelijk opgelost worden in de gangbare grondwatermodellen.



**Afbeelding 5**: Het verloop van de Lambert W functie

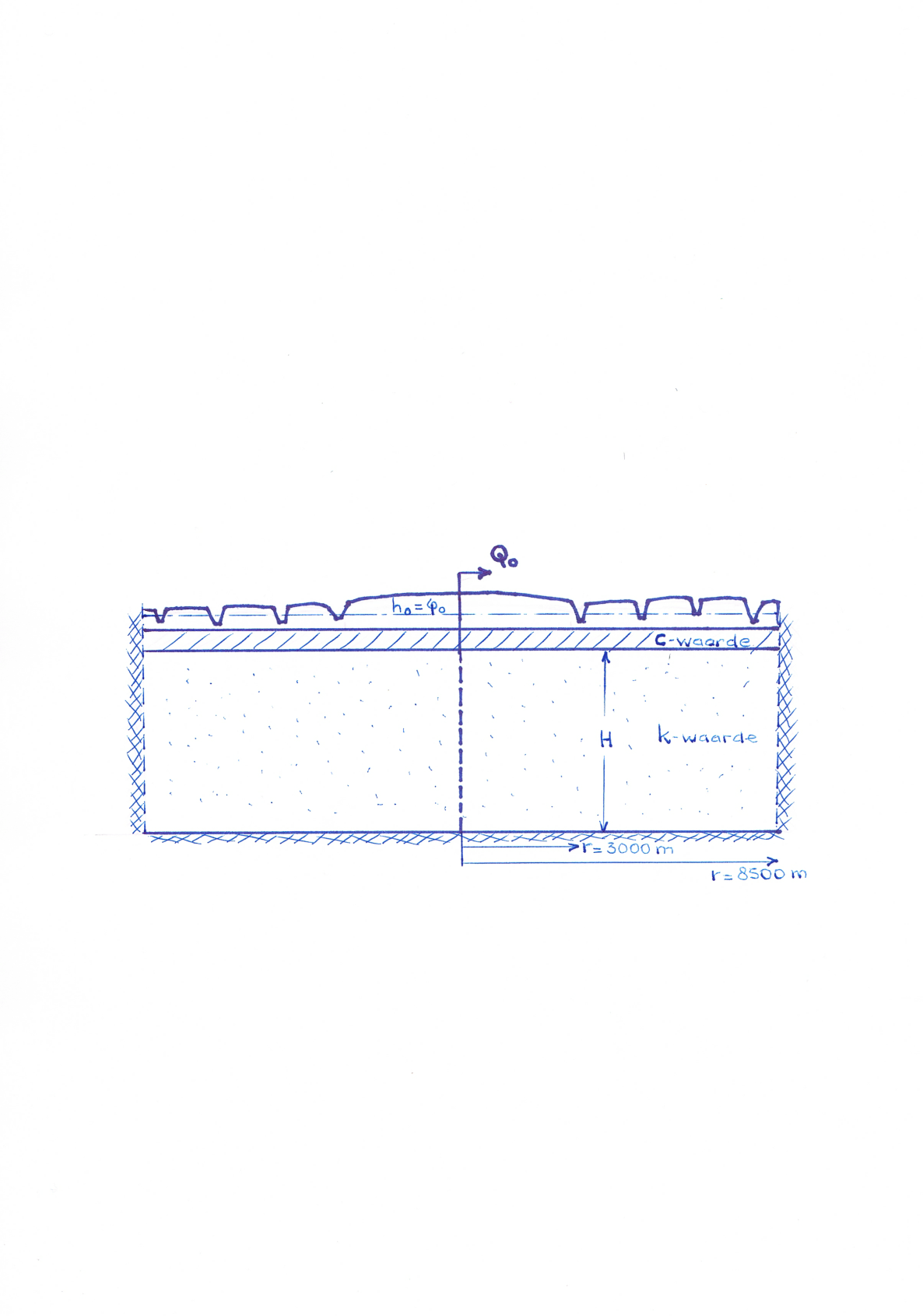
Met de vergelijkingen 17 en 18 worden de verlagingen van de stijghoogte en de grondwaterstand berekend als gevolg van een grondwateronttrekking uit het diepe pakket. De berekening levert de stationaire eindsituatie en doet geen uitspraak over de tijdsduur waarin deze verandering wordt gerealiseerd. Laten we nu aannemen dat de oorspronkelijke grondwaterstand, dus zonder onttrekking, varieert tussen de GHG en de GLG. Met onttrekking zal de GHG minder dalen dan de GLG.

Dat wil zeggen dat het verschil tussen de GHG en de GLG in de nieuwe situatie zal toenemen. Indien de tijd die het duurt om de eindsituatie te bereiken langer is dan bijvoorbeeld een half jaar zal in werkelijkheid het grondwatersysteem deze dus niet bereiken. In werkelijkheid zal daarmee het verschil tussen de GHG en de GLG minder zijn dan het verschil tussen de berekende eindsituaties. Het is mogelijk om een redelijke schatting te maken van het effect door het dynamische gedrag. We stellen hiertoe:

In de situatie met onttrekking wordt het verschil tussen de GHG en GLG, indien de eindsituatie wordt bereikt,  *.*

Dit betekent dat er door het toenemen van de amplitude tussen GHG en GLG een extra bergingsverandering wordt geïntroduceerd. Indien wordt aangenomen dat de bergingscoëfficiënt in de onverzadigde zone constant is met de diepte van de grondwaterstand kan worden gesteld dat de maximale afwijking door het niet stationaire gedrag gelijk is aan:

We kunnen nu, als voorbeeld, berekenen wat de maximale afwijking is voor de grondwatersituatie die is doorgerekend in Van den Akker (2014 b). Deze situatie is weergegeven in afbeelding 6.



**Afbeelding 6**: Geohydrologische schematisering

De oorspronkelijke GHG is 0,6 meter en de GLG is 1,6 meter.

De grondwaterstandsverlaging door de onttrekking in het gebied tussen 3 en 8,5 kilometer kunnen we als gemiddelde waarde berekenen met de formule voor de TSV, dit is de toegevoegde stijghoogte verlaging, uit (Van den Akker, 2013).

Deze TSV is identiek aan de verandering van de grondwaterstand, maar is wel afhankelijk van de uitgangssituatie van deze grondwaterstand.

(21)

Hierin is ∆*q* het quotiënt van de onttrokken hoeveelheid water als volumestroom en het oppervlak van het voedingsgebied tussen 3 en 8,5 kilometer. De oppervlakte van het voedingsgebied is 200 miljoen m2 en dus is

Dit betekent dat de gemiddelde verlaging van de GHG bijna 0,04 m is en de gemiddelde verlaging van de GLG ongeveer 0,14 m is. In dit geval is dus:

Het verschil tussen de GHG en GLG in de situatie zonder onttrekking is *V=1 meter.*

Dit betekent dat de afwijking tussen een niet stationaire berekening en mijn vergelijking 17 voor deze specifieke situatie maximaal 10 % zal zijn, waarbij de verlagingen uit de niet stationaire berekening kleiner zijn. Weliswaar is in deze geohydrologische situatie tot 3000 m een gebied zonder oppervlaktewater waar het verschil tussen GHG en GLG toeneemt met ongeveer 0,2 meter, de bergingsverandering die dit tot gevolg heeft is echter klein ten opzichte van de totale bergingsverandering tussen 3 en 8,5 kilometer.

Het is dus voorspelbaar dat een dynamisch grondwatermodel dat uitgaat van dezelfde U/h relatie in dit specifieke geval verlagingen van de GLG en GHG zal berekenen die in de orde van grootte van 10% lager zullen zijn.

## Commentaar op de analyse van Olsthoorn

In Olsthoorn (2014 b) wordt een poging gedaan om een bijdrage te leveren aan de rekenmethode zoals die is beschreven in Van den Akker (2013 en 2014 a). Deze poging is minder geslaagd te noemen om een aantal redenen waarvan ik een drietal nader zal benoemen en beargumenteren.

Ten eerste is er de bewering in Olsthoorn (2014 b) dat de overdrachtsfactor F afhankelijk is van de weerstand c van de scheidende laag maar dat de U/h relatie en de drainageweerstand niet van c afhangen. Hij doet dat op basis van de vergelijking:

Deze vergelijking is volkomen in lijn met vergelijking 4 met de aantekening dat

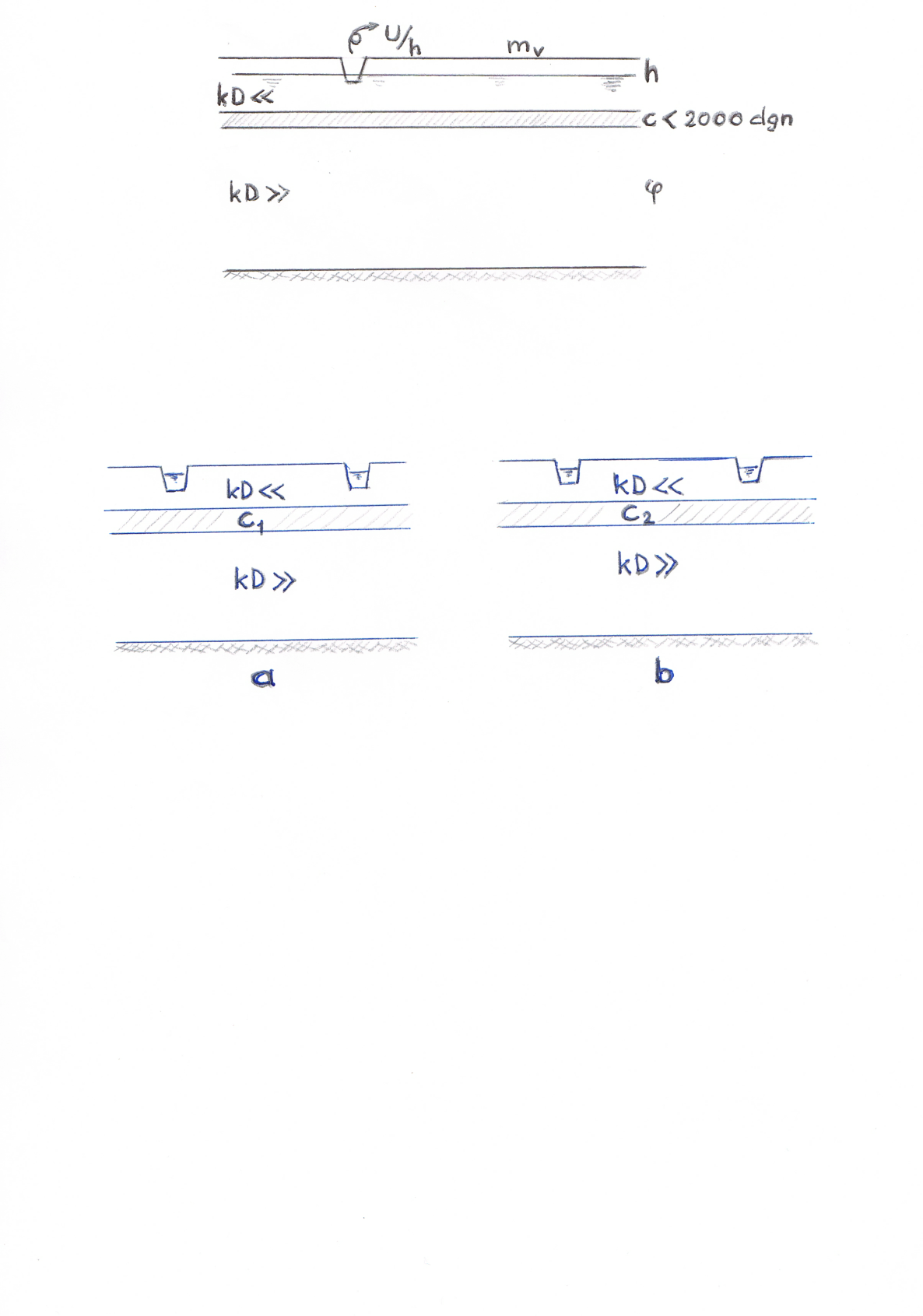
Hierbij moet gelden dat er in het freatische pakket geen verandering in de horizontale stroming is, de verandering in q wordt gecompenseerd door de verandering in U. Olsthoorn brengt deze voorwaarde in de vergelijking door te stellen dat er een **uniforme** flux *q* wordt onttrokken aan het freatische grondwater.

Op basis van de hierboven vermelde relatie zou men toch mogen verwachten dat, aangezien *q*  afhankelijk is van de hydraulische weerstand, ook de drainage weerstand afhangt van *c.*

Het is echter ook als volgt in te zien dat de drainageweerstand van *c*  moet afhangen.

In afbeelding 5 is de aangenomen geohydrologische situatie aangegeven, in afbeelding 5a is, vergeleken met afbeelding 5b, alleen de c-waarde verschillend. Aangezien geldt dat de horizontale stroming in het freatische pakket verwaarloosbaar klein is, zal de afvoer door het drainagesysteem afhangen van de stroming door het diepe pakket, temeer daar is gesteld dat de hydraulische weerstand niet al te hoog is.

Het mag duidelijk zijn dat als de drainageweerstand



**Afbeelding 5:** Drainage weerstand afhankelijk van de c-waarde

De conclusie van Olsthoorn dat de drainageweerstand en ook de U/h relatie onafhankelijk zijn van de hydraulische weerstand is daarmee onjuist. Zoals gesteld in vergelijking 8 en 9 is er een afhankelijkheid van de weerstand *c.* De overdrachtsfactor is afhankelijk van *a.* De waarde van *a* wordt bepaald door de eigenschappen van het drainagestelsel en tevens door de hydraulische weerstand.

Ten tweede is er de bewering van Olsthoorn dat de fit met de logaritmische U/h relatie en de gemeten relatie uit Ernst (1971) in feite matig is. In afbeelding 1 van Olsthoorn (2014 b) geeft hij het verloop van de logaritmische U/h relatie waarop hij deze uitspraak baseert. Het verloop van de door hem gepresenteerde relatie die hij aanduidt als “fit vdakker(2014)” is echter onjuist. In bovenstaande afbeelding 2 is het correcte verloop zoals dat reeds in Van den Akker (2014 a) is gepresenteerd weergegeven. Het door Olsthoorn weergegeven verloop geeft bijvoorbeeld voor de afvoer *U=0* een drainagebasis van ongeveer 1,85 meter waar dit, zoals eerder berekend, 2,08 meter moet zijn. Dit verschil maakt veel uit voor een goede fit en de conclusie van Olsthoorn dat de fit voor het gehele verloop van de logaritmische relatie in feite matig is, is daarmee onjuist. Bovendien is het correcter om het verloop te laten eindigen voor U=0, het is onzin om de relatie in de grafiek door te zetten voor negatieve afvoeren. Wellicht heeft Olsthoorn een rekenfout gemaakt, die zonder al te veel moeite rechtgezet kan worden.

Wel is het uitermate pijnlijk dat juist de constatering, dat de logaritmische U/h relatie een matige fit geeft, voor Olsthoorn de aanleiding is om enkele andere relaties voor te stellen en uit te werken. De fit van deze relaties is uiteindelijk een stuk slechter dan die met de correcte logaritmische relatie. Daar komt nog bij dat met de relaties die Olsthoorn voorstelt niet wordt voldaan aan de harde fysische eis dat er een realistische drainagebasis moet bestaan. Hij bagatelliseert dit probleem maar het is in tegenspraak met zijn intentie om tot een correcte fysische onderbouwing te komen.

Daarmee is ook de conclusie dat voor de drainageweerstand een kwadratische toename met de grondwaterdiepte verwacht mag worden zeer discutabel. In afbeelding 3 is het door Olsthoorn bepaalde kwadratische verloop aangegeven. Bovendien zullen in het geval van een kwadratische toename onwaarschijnlijk grote verlagingen berekend worden bij een onttrekking uit het diepe pakket bijvoorbeeld in de rekenexercitie in Olsthoorn (2014 a). In dit artikel wordt met een drainageweerstand gerekend van 132 dagen. Zou daar echter zijn uitgegaan van een kwadratische toename van de drainageweerstand dan is op de diepte van de GLG een drainageweerstand van ongeveer 3000 dagen te verwachten. Dat wil zeggen dat Olsthoorn in dat geval zoveel grotere verlagingen zou berekenen, dat de gemeten totale verlagingen, dus inclusief de zogenoemde achtergrondverlaging, door de onttrekking zouden worden overschreden.

Ten derde probeert Olsthoorn met een simulatie aan te tonen dat een lineaire toename van de drainageweerstand met een lagere freatische grondwaterstand niet gevonden wordt.

Olsthoorn definieert hiertoe een situatie met een freatisch pakket met daarin een zestal drainageniveaus. Daar wordt uitgegaan van één watervoerend pakket is dus feitelijk de c-waarde van de onderliggende laag oneindig groot. De dikte van het pakket is 3 meter en het doorlaatvermogen 10 m2/dag.

In een dergelijk systeem zou men verwachten dat grondwatertrappen worden aangetroffen van klasse II of III. Olsthoorn stuurt echter de grondwaterstanden over een strookbreedte van 800 m met randsloten waarin hij een bijna Dirichlet randvoorwaarde definieert. De diepste waterstand in deze randsloot is 2,5 m minus maaiveld en de hoogste waterstand 2 m minus maaiveld. Dit levert een situatie op die niet in werkelijkheid zal worden aangetroffen. Bovendien voldoet de doorgerekende situatie in het geheel niet aan de geohydrologische situatie waarvoor de U/h relaties zijn opgesteld en waarvoor de gemeten U/h relatie van Ernst geldt. Een belangrijke voorwaarde was immers dat de horizontale stroming te verwaarlozen was. In het geval van alleen een freatisch pakket betekent dit een onmogelijke en betekenisloze situatie. Er kan nooit voldaan worden aan deze voorwaarde.

Het staat Olsthoorn natuurlijk vrij om elke geohydrologische situatie numeriek door te rekenen en daaruit conclusies te trekken. Het trekken van de conclusie dat op basis van deze specifieke rekenexercitie kan worden aangetoond dat er geen lineaire toename van de drainageweerstand bij lagere grondwaterstanden plaatsvindt, is zonder meer onjuist.

Wil een numerieke berekening bijdragen aan het begrijpen en verifiëren van ontwikkelde rekenmethoden en analytische formules dan zal in het rekenmodel tenminste rekening moeten worden gehouden met de correcte geohydrologische schematisering en ranges in bijvoorbeeld bodemconstanten.

## Aanbevelingen

Dit artikel is geschreven vanuit de noodzaak om de uitgangspunten voor het opstellen en gebruiken van de logaritmische U/h relatie voor vrij afwaterende gebieden nog eens duidelijk neer te zetten. Het is namelijk gebleken dat in de reacties op mijn artikelen een stevig aantal missers is gemaakt, deels wellicht te wijten aan mijn presentatie, maar zeker spelen ook andere factoren een rol. In ieder geval verdient het aanbeveling dat, indien wordt gereageerd op een artikel, contact wordt opgenomen met de auteur op wiens artikel men reageert. Het is bijna vanzelfsprekend dat, zeker in het geval men elkaar goed kent, wordt aangegeven waarop men wil reageren en dat een concept artikel wordt toegezonden. Hiermee kunnen in ieder geval storende onzorgvuldigheden worden voorkomen en wordt vermeden dat een tegenreactie nodig is om één en ander recht te zetten.

## Conclusies

* Een hyperbolische overdrachtsfactor en de daaruit volgende logaritmische U/h relatie vormen een goede basis voor het berekenen van verlagingen door onttrekkingen in vrij afwaterende gebieden in geohydrologische situaties zoals aangenomen in deze publicatie.
* Voor een fysische onderbouwing van de ontwikkelde rekenmethodiek is de aanwezigheid en het niveau van de regionale drainagebasis belangrijk.
* De maximale waarde van de drainageweerstand, die lineair toeneemt met de grondwaterstandsdiepte, wordt gevonden op het niveau van de drainagebasis.
* De maximale waarde voor de overdrachtsfactor geldt op het niveau van de drainagebasis binnen het traject waarvoor de rekenmethodiek is ontwikkeld. Onder de drainagebasis is een Dupuit situatie aanwezig waar de overdrachtsfactor de waarde 1 heeft.
* De analyse in Olsthoorn (2014 b) leidt tot een foutieve bepaling van de drainageweerstanden. De voorgestelde kwadratische toename met de grondwaterstandsdiepte heeft tot gevolg dat onwaarschijnlijk grote verlagingen van met name de GLG worden berekend als gevolg van grondwateronttrekkingen.
* Het veronachtzamen van de regionale drainagebasis leidt in Olsthoorn (2014 b) tot een niet correcte fysische onderbouwing van de door hem voorgestelde U/h relatie.

## Referenties

**Akker, C. van den** (2013)Tussen Dupuit en De Glee; in:Stromingen JRG 19 nr 2

**Akker, C. van den** (2014 a) Een fysische onderbouwing van de overdrachtsfactor; in: Stromingen JRG 20 nr 1

**Akker, C. van den** (2014 b) De verandering van de GXG door grondwateronttrekkingen in vrij afwaterende gebieden; in: Stromingen JRG 20 nr 3

**Ernst, L.F.** (1971) Analysis of groundwater flow to deep wells in areas with a non-linear function for the subsurface drainage; in*:* Journal of Hydrology 14

**Maas, C.** (2012) Het geval Terwisscha; in: Stromingen JRG 18 nr 2

**Olsthoorn, T.** (2014 a) De dynamica van de verlaging van Terwisscha of in vergelijkbare situaties; in: StromingenJRG 20 nr 1

**Olsthoorn, T.** (2014 b) De fysische onderbouwing van de overdrachtsfactor nader bekeken; in: Stromingen JRG 20 nr 3

1. Prof.dr.ir. C. van den Akker (cvandenakker@casema.nl) [↑](#footnote-ref-1)