**Een literatuuronderzoek naar de maatgevende aanvoerintensiteit**

**De waarde van normen en waarden**

Opgesteld door: Jan van Bakel (De Bakelse Stroom)

Harm Janssen (voorheen DLG)

**Inhoudsopgave**

[1 Inleiding 3](#_Toc391901768)

[1.1.1 Aanleiding 3](#_Toc391901769)

[1.1.2 Achtergronden 3](#_Toc391901770)

[1.1.3 Doelstelling van het onderzoek 4](#_Toc391901771)

[2 Hydrologisch kader en definities 5](#_Toc391901772)

[2.1.1 Hydrologisch kader 5](#_Toc391901773)

[2.1.2 Definities 7](#_Toc391901774)

[3 Historisch onderzoek 7](#_Toc391901775)

[3.1.1 Algemeen 7](#_Toc391901776)

[3.1.2 Methodische en metastudies 7](#_Toc391901777)

[3.1.3 Regionale (model)studies 10](#_Toc391901778)

[4 Synthese 15](#_Toc391901779)

[5 Voorstel voor een andere benadering 16](#_Toc391901780)

[6 Beantwoording van de vragen 18](#_Toc391901781)

[Aangehaalde literatuur 19](#_Toc391901782)

# Inleiding

### Aanleiding

In het kader van de Joint Fact Finding (JFF) Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta is als richtwaarde voor de maatgevende aanvoerintensiteit 0,3 l/s/ha vastgesteld. De herkomst van dit getal is echter onduidelijk. Daarom is aan de opstellers van dit rapport gevraagd een onderzoek in te stellen naar de herkomst en onderbouwing van deze richtwaarde.

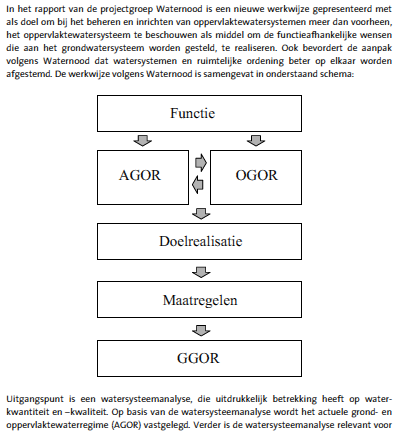
### Achtergronden

Onder de huidige klimatologische omstandigheden is er gemiddeld over 30 jaar een jaarlijks neerslagoverschot van 250 mm. Opgesplitst naar zomer- en winterhalfjaar zijn de cijfers 300 en -50 mm. Er zijn echter grote verschillen tussen de jaren.

Het neerslagoverschot moet worden afgevoerd en daarvoor zijn normen beschikbaar voor zowel ontwatering als afwatering. Zie vooral het Cultuurtechnisch Vademecum uit 1988

([www.debakelsestroom.nl/kennisbank](http://www.debakelsestroom.nl/kennisbank)). Met een norm voor bijvoorbeeld de maatgevende afvoer per eenheid van oppervlak (ook wel maatgevende afvoerfactor genoemd) kun je per waterloop of deelgebied de maatgevende afvoer bepalen en daaruit volgen weer dimensies, et cetera.

Een norm is of normen zijn dus een houvast voor het ontwerpen van ont- en afwateringsstelsels, zijn veelal gebaseerd op gestolde kennis, worden als handig ervaren bij het ontwerpen en verschaffen ook rechtszekerheid. Maar, zoals overtuigend is aangetoond in het proefschrift van Hoes (2001), de daarop gebaseerde ontwerpen zijn meestal niet optimaal. Een ontwerpmethode die is gebaseerd op kennis van het watersysteem zoals verwoord in het rapport van de Werkgroep Waternood (1998) (zie kader), en op een afweging van kosten en baten is daarom te verkiezen.



Echter, toepassing van de Waternoodmethode is (veel) tijdrovender dan de inrichting en beheer te baseren op normen voor bijvoorbeeld drooglegging onder bepaalde maatgevende afvoeren, zoals uitgevoerd voor de NBW-toetsing.

Bovenstaande geeft aan dat er behoefte is aan richtwaarden al dan niet vastgelegd in normen. Dit geldt ook normen voor wateraanvoer.

### Doelstelling van het onderzoek

De vragen die in dit onderzoek centraal staan:

* zijn er normen voor de maatgevende aanvoerintensiteit aan de literatuur te ontlenen?
* Zo ja, wat is de onderbouwing?
* Zo ja, zijn de normen voor alle gebieden gelijk?
* Zo ja, zijn de normen toepasbaar in de huidige situatie en toekomstige situaties?
* Is er iets te zeggen over de kans dat de daadwerkelijke watervraag deze norm overschrijdt?
* Zo nee, zijn er alternatieven?
* Wat is op basis van het literatuuronderzoek het oordeel over de richtwaarde van 0,3 l/s/ha zoals vastgesteld in het kader van de Joint Fact Finding (JFF) Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta? Kan deze waarde als referentie worden gehanteerd bij de inrichting (dimensionering) van het aanvoersysteem?

# Hydrologisch kader en definities

### Hydrologisch kader

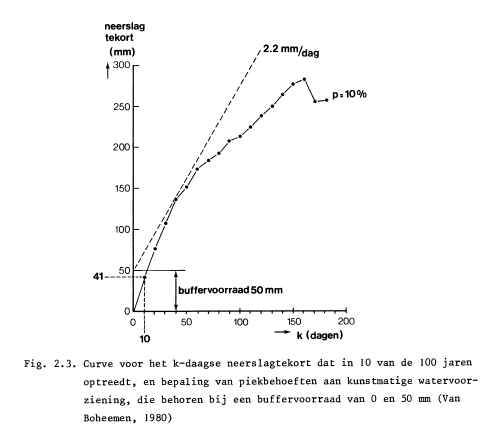
Om het neerslagtekort in het zomerhalfjaar op te heffen is de primaire bron de bodem, in de vorm van een bepaald vochtleverend vermogen dat sterk kan variëren afhankelijk van bodemfysische eigenschappen, dikte wortelzone en grondwaterstandsverloop. Indien dit vochtleverend vermogen onvoldoende is of als onvoldoende wordt ervaren kan een aanvullende watervoorziening nodig zijn in de vorm van:

* beregening (bevloeiing). Daarbij wordt water onttrokken uit het oppervlaktewaterstelsel of uit het grondwatersysteem;
* subinfiltratie (omgekeerde van ontwatering; anglicisme want vertaling van subsurface infiltratie; ter onderscheid van infiltratie) gedefinieerd als de stroming vanuit het oppervlaktewatersysteem naar het van grondwatersysteem. Om dit proces in stand houden moet het peil worden gehandhaafd waarvoor wateraanvoer nodig is. Door het proces van subinfiltratie wordt de daling van de grondwaterstand in de loop van het groeiseizoen vertraagd of gestopt. Deze verminderde daling zorgt voor gemiddeld hogere grondwaterstanden gedurende het subinfiltratieseizoen (en enige na-ijling) met als beoogde effecten:
  + meer capillaire opstijging voor landbouwgewassen
  + bestrijding verdroging natuurgebieden
  + vertragen van maaiveldsdaling in veeweidegebieden
  + voorkomen van schade aan fundering van huizen en schade aan (veen)dijken;
* Ook kan er een behoefte zijn aan doorspoeling van het oppervlaktewaterstelsel met het oog op verlaging van het zoutgehalte in het oppervlaktewater (verziltingsbestrijding) of om de waterkwaliteit te verbeteren (denk aan blauwalgen).

De watervraag voor beregening, peilhandhaving en doorspoeling varieert tussen de jaren en binnen het jaar en varieert sterk tussen regio’s en binnen regio’s.

Indien we een aanvoergebied beschouwen is het in principe mogelijk de maximaal mogelijke watervraag per dag of per decade gedurende een groot aantal jaren (bij voorkeur 30 jaar) te bepalen. Dit kan voor het huidige klimaat maar ook voor klimaatscenario’s.

Hieruit is de overschrijdingsduurlijn van het neerslagtekort te bepalen met een bepaalde herhalingstijd van het neerslagtekort die ongeveer een verloop heeft zoals in onderstaande figuur (ontleend aan Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (SWLT), 1980; blz. 74) met de lijn p = 10 % is weergegeven.

Bij een aangenomen waarde voor de buffervoorraad volgt de aanvoerintensiteit (piekbehoefte). Bij een buffervoorraad van 0 mm is de aanvoerintensiteit 41 mm/decade; bij een buffervoorraad van 50 mm is die 22 mm/decade.

Het is niet gebruikelijk de maximale watervraag als maatgevend te nemen want die wordt maar 1 dag in de 30 jaar aangesproken. Door de marginale (maatschappelijke) kosten van uitbreiding van de aanvoercapaciteit af te zetten tegen de marginale (maatschappelijke) baten is de optimale aanvoercapaciteit te bepalen. De watervraag die daaraan ten grondslag ligt is de maatgevende watervraag. Echter, zoals gezegd, veelal wordt deze ‘koninklijke’ weg niet altijd bewandeld en hanteert men ervaringscijfers, al dan niet ‘geïnstitutionaliseerd’ in normen.

De vraag die gesteld kan worden is dus: **is er een norm of zijn er normen voor de maatgevende watervraag?** (die bepalend kan zijn voor de in stand te houden of te realiseren aanvoercapaciteit naar een gebied of voor de dimensies van betreffende waterlopen en kunstwerken binnen dat gebied). En zo ja, wat is de onderbouwing en zijn ze anno 2015 nog toepasbaar of kunnen ze na enige amendering worden toegepast? Het historisch onderzoek zoals beschreven in het volgende hoofdstuk probeert hiervoor de basis te leggen.

### Definities

De volgende definities zijn van belang:

1. **Watervraag**: de vraag naar oppervlaktewater van buiten een zekere regio (m\*\*3/s).
2. **Aanvoerintensiteit**: watervraag gedeeld door oppervlak voorzieningsgebied (mm/d of l/s/ha).
3. **Maatgevende watervraag**: de vraag naar water van een regio die maatgevend is voor aan te leggen infrastructuur.
4. **Maatgevende aanvoerintensiteit**: maatgevende watervraag gedeeld oppervlak voorzieningsgebied (mm/d of l/s/ha).
5. **Aanvoerfactor of aanvoernorm**: kengetal voor maatgevende aanvoerintensiteit (mm/d of l/s/ha).
6. **De agrohydrologische piekbehoefte (SWLT)**: een zodanige intensiteit van watertoediening dat bij een bepaalde gekozen herhalingstijd geen noemenswaardige reductie van de gewasverdamping optreedt (mm/d of l/s/ha).
7. **Aanvullende waterbehoefte**: de volgens een bepaalde methode vastgestelde waterbehoefte in een bepaalde periode die niet wordt gedekt door het beschouwde profiel/perceel/peilvak/regio (mm/d of l/s/ha of m\*\*3/s).

# Historisch onderzoek

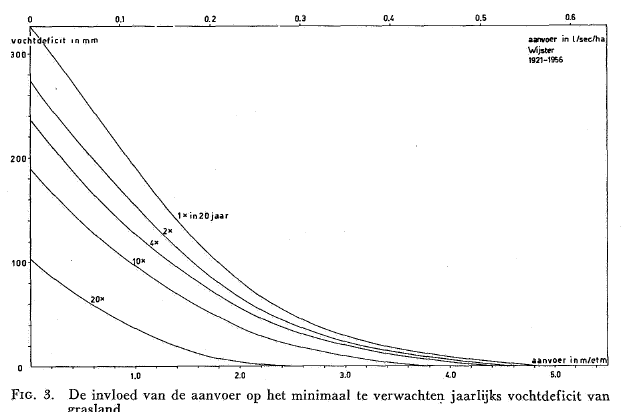
### Algemeen

Er is een onderscheid aan te brengen in methodische en metastudies enerzijds en regionale studies anderzijds. Laatstgenoemde kan worden onderverdeeld in veldstudies, modelstudies of een combinatie van beide. Omdat dit onderscheid niet altijd goed is te maken worden ze niet als zodanig onderscheiden.

### Methodische en metastudies

**Van Duin, R.H.A., 1959.**

Van Duin gaat uit van de statistieken van neerslag minus verdamping en bepaalt per herhalingstijd de afname van het vochtdeficiet als functie van de aanvoer in mm/d. Het aldus gevonden verband is afhankelijk van de bodemvochtvoorraad. Onderstaande figuur uit het rapport geldt voor een zandgrond bij Wijster. Op de x-as staat de aanvoer in mm/d (abusievelijk m/etm) waarbij 1 mm/d overeen komt met 0,116 l/s/ha.



*Figuur 1 Voorbeeld van een relatie tussen vochtdeficiet en aanvoer opgesteld voor grasland op een profiel in Wijster, voor verschillende herhalingstijden (uit Van Duin, 1959)*

Op grond van de wet-van-de-afnemende-meeropbrengst-redenering komt hij op de volgende uitspraak: *“Een waarde van b.v. 0,3 l/s/ha voor grasland lijkt dan ook alleszins aanvaardbaar. Voor een gebied met geen al te grote ondergrondse verliezen komt men dan tot een totale aanvoercapaciteit van b.v. 0,5 l/s/ha”*. Het is niet duidelijk hoe de auteur de sprong maakt van 0,3 naar 0,5 l/s/ha.

**Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (SWLT), 1980**

De studiecommissie gaat in op ontwikkelingen in de aanvullende watervoorziening voor land- en tuinbouw, zoals toepassing van beregening, bevloeiing en de mogelijkheden van watervoorziening vanuit de landelijke en regionale infrastructuur. De agrohydrologische piekbehoefte wordt daarin bepaald door de k-daagse neerslagtekorten met een bepaalde herhalingstijd (10 jaar) te confronteren met een buffervoorraad in de bodem. Als er geen buffervoorraad beschikbaar is, is de peilbehoefte ongeveer 4 mm/d is 0,46 l/s/ha; bij een buffervoorraad van 50 mm is die behoefte ongeveer de helft. Let wel: de hieruit af te leiden maatgevende watervraag geldt alleen daadwerkelijk alle gewassen van water kunnen worden voorzien. Dat kan alleen als ze onbeperkt zouden kunnen worden beregend. Voor bepaling van agrohydrologische piekbehoefte wordt in het rapport een aantal factoren genoemd die van invloed zijn grootte van de piekbehoefte: bodemberging, vochtleverend vermogen en de capaciteit van beschikbare beregeningsinstallaties.

Zij stelt terecht in haar rapport op blz. 45: “*Uiteindelijk is de keuze van de maatgevende aanvoerintensiteit een economisch probleem. Daarover valt in het kader van deze studie niet veel te zeggen omdat de kosten en baten van wateraanvoer van geval tot geval kunnen verschillen.”*.

Ook bevat het rapport de volgende zinsnede (blz. 48): “*In het geval van beregening kan de onttrekking door de grote pompcapaciteiten, die in de praktijk worden toegepast, zo groot zijn dat de leidingen worden leeggepompt. Uit een onderzoek hiernaar is gebleken dat dit probleem zich in het algemeen niet zal voordoen bij leidingen die zijn gedimensioneerd op een maatgevende aanvoer van 4 mm/dag (Landinrichtingsdienst, 1977).”*

Op blz. 49 wordt gesteld: *“Bij aanvullende watervoorziening door middel van infiltratie is het in het algemeen niet mogelijk om de gewenste hoeveelheid van 4 mm/d ook inderdaad in de bodem te laten infiltreren. Uit een onderzoek van Wesseling (niet gepubliceerd, JvB) blijkt dat de maatgevende aanvoerintensiteit daardoor in de praktijk aanzienlijk wordt beperkt. Voor veengrasland noemt Wesseling 1,3 mm/d bij een laag slootpeil en 1,7 mm/d bij een hoog slootpeil. Voor klei- en zandgrasland resp. 0,5 en 2 mm/d en voor klei- en zandbouwland resp. 0,5 en 2,5 mm/d.”*

**Werkgroep Actualisering Waterbehoefte Land en Tuinbouw, 1988**

Het rapport van deze Werkgroep gaat nader in op de toentertijd vigerende kennis over ontwikkelingen in landbouwareaal, omvang beregening en de subinfiltratiecapaciteit in relatie tot de waterhuishoudkundige modellering omdat dit werd gezien als bepalend voor de (maatgevende) watervraag. Deze benadering leverde de mogelijke aanvullende waterbehoefte per regio en zou als basis hebben kunnen dienen voor een gedifferentieerde normstelling maar het ontbreekt in het rapport aan een berekening van die aanvullende waterbehoefte.

**Werkgroep Cultuurtechnisch Vademecum, 1988**

In het Cultuurtechnisch Vademecum (Cultuurtechnische Vereniging, 1988) staat op pagina 567 een aantal gegevens over de wateraanvoerbehoefte. Voor Waterschap de Aa wordt aangegeven dat een groot voorzieningsgebied kan volstaan met een aanvoerfactor van gemiddeld 1/3 l/s/ha voor subinfiltratie en beregening samen (elk ongeveer de helft). Maar, blijkbaar was er meer bekend over de omvang van de waterbehoefte, want vervolgens wordt aangegeven dat: *“Uitgaande van de algemene aanname dat voor de vochtvoorziening van het gewas*

*1/3 l/s/ha noodzakelijk is ……”*

En dat die 1/3 l/s/ha niet zomaar een norm is die bijvoorbeeld aansluit bij de waterhuishoudkundige situatie van die tijd, blijkt wel uit vervolg van die zin : *“…. noodzakelijk is , zou het stelsel van infiltrerende watergangen met minstens 100% moeten worden vergroot of het percentage beregening met oppervlaktewater moeten stijgen tot 75. Beide opties worden als niet reëel beschouwd”.*

De conclusie uit bovenstaande is dat een aanvoernorm van 1/3 l/s/ha volgens de aangehaalde bronnen uitgaat boven wat toen gebruikelijk was en als een zeer hoge waarde werd aangemerkt.

De belangrijkste is echter dat in hét standaardwerk Cultuurtechnisch Vademecum geen bouwwerk vergelijkbaar met de vaststelling en gebruik van afvoernormen is opgenomen en er ook geen normen voor worden genoemd.

**Kennis in de hoofden van mensen**

Normen kunnen ook gaandeweg het proces van planvorming m.b.t. wateraanvoer in de hoofden van experts ontstaan, zonder dat ze zijn vastgelegd. Navraag bij medewerkers van DLG leverde echter geen aanwijzingen op die hierop zouden kunnen duiden.

### Regionale (model)studies

**Commissie Watervoorziening van landbouwgronden in het Boven-Dommelgebied, 1958.**

Naar aanleiding van klachten over verdroging in de jaren vijftig van de vorige eeuw werd besloten tot de instelling van een werkgroep. De meest in het oog springende resultaten zijn dat zij voor de wegzijging vanuit velden die door subinfiltratie op peil werden gehouden uitgingen van ca 2 mm/d wegzijging naar de beken, gebaseerd op berekeningen, en voor aanvulling van de verdamping ook 2 mm/d, dus samen 4 mm/d. Daar komt nog de waterbehoefte voor beregening bij. De daarvoor benodigde aanvoer via een nieuw aan te leggen kanaal is nooit gerealiseerd.

**Oostra, 1964**

Oostra (1964) maakt van figuur van Van Duin gebruik om voor het Lollebeekgebied de maatgevende aanvoerfactor op 0,3 l/s/ha vast te stellen. Verder stelt hij dat voor gebieden met intensieve tuinbouw een aanvoerfactor van 0,6 l/s/ha nodig is, ongeveer gelijk aan de maximale verdamping op zonnige dagen tijdens de zomermaanden.

**Werkgroep Watervoorziening van Midden-West-Nederland, 1967**

In het tweede rapport van het Werkcomité Watervoorziening Midden-West-Nederland wordt in deelrapport II: De aanvullende watervoorziening in droge perioden voor peilbeheersing’ de maatgevende watervraag vastgesteld op basis van langjarige reeksen van neerslag en Emax (is E0 voor open water en f\*E0 voor gewassen), en een aangenomen beschikbare vochtvoorraad in de bodem, in overeenstemming met de methode van Van Duin. De waarde voor de aanvangswaarden voor de bodemberging zijn per combinatie van boden en gewas verschillend. Vervolgens wordt de werkelijke verdamping per decade berekend en de aanvoer moet zodanig zijn dat die voor grasland hoger is dan 60%, voor akkerbouw 70% en tuinbouw in de vollegrond meer dan 70%, voor bloembollen is de wateraanvoer gelijk gesteld aan die voor open water (om de waterstand gelijk te houden), d.w.z. de bodemberging waarmee wordt gerekend is op nul gesteld. Aldus komt men op de gewenste maximum aanvoer voor peilbeheersing in de 2e decade van juli per watervoorzieningsgebied variërend van 2,4 tot 3,6 mm/d, overeenkomend met 0,28 en 0,41 l/s/ha, afgerond tussen 0,3 en 0,45 l/s/ha.

De opstellers geven aan dat het mogelijk is de aanvoer beperkt kan worden door de hydrologische eigenschappen van de bodem, bijvoorbeeld door de radiale slootweerstanden en capillaire opstijging. Aan dit essentiële aspect wordt vervolgens geen aandacht meer geschonken.

**Hoenkoop en Zegveld**

Uit diverse onderzoeking in het westelijke veenweidegebied kan worden afgeleid dat de maximale subinfiltratie in de buurt van de 1,7 mm/d ligt, juist vanwege hoge radiale weerstand. Het betreft o.a. onderzoek in Hoenkoop (Pankov en Rijtema, 1970; Pankov, 1973) en Zegveld (Kselik e.a., 2009). In laatstgenoemd onderzoek is de subinfiltratieweerstand gecalibreerd op 200 d. Bij een maximaal gesimuleerde uitzakking in een droog jaar (1975) van ca. 30 cm is de subinfiltratie-intensiteit ca.1,5 mm/d. Deze waarden zijn in 1982 en 1983 ook gemeten in een proefobject met een hoog slootpeil (Pankov e.a., 1985).

**Werkgroep Watervoorziening Salland, 1978**

Voor de berekening van de waterbehoefte is expliciet uitgegaan van de volgende normen en uitgangspunten:

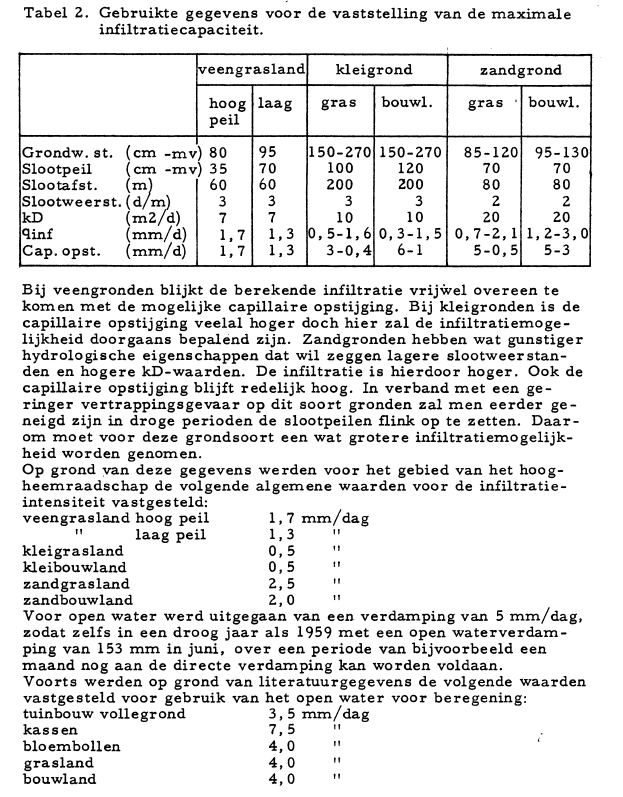
1. 0,5 l/s/ha voor de te beregenen netto oppervlakte.
2. Wegzijging van 150 mm/d/m2 slootwand.
3. Extra infiltratieverlies van 0,5 m3/s als gevolg van waterwinning.
4. Zomerpeil maximaal 0,5 m minus maaiveld.

Volgens **C. Griffioen** (pers. meded.) is uit de praktijk van afgelopen ruim 30 jaar gebleken dat de destijds vastgestelde maatgevende aanvoerintensiteit van 0,22 l/s/ha waarop het aanvoersysteem is gedimensioneerd uitstekend voldoet. Daarbij is uitgegaan van de som van berekende subinfiltratie plus 25% van jet landbouwareaal beregend in een strook van 400 m aan weerszijden van de aanvoerleidingen.

**Commissie watervoorziening benoorden het Noordzeekanaal, 1980**

Bij de berekening van de waterbehoefte is uitgegaan van berekeningsnormen voor infiltratie-intensiteit en beregening. De gebruikte gegevens voor de maximale infiltratiecapaciteit zijn berekend met de formule van Ernst (1954) voor de drie hoofdbodemtypen. Tevens werden de waarden van de capillaire opstijging van de gestelde grondwaterstanden berekend.

Voor open water werd uitgegaan van een verdamping van 5 mm/d. Ten slotte werden waarden vastgesteld voor gebruik van open water voor beregening. De aldus verkregen waarden staan in onderstaande scan van blz. 3-6 van het rapport.

.

.

**Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, 1981**

In 1978 is in het kader van de vraag of er een aanvoerkanaal moest worden aangelegd van Waddinxveen naar Voorburg op een andere manier de waterbehoefte naar Midden-West-Nederland berekend. Voor kleigronden waarbij de drains boven water blijven liggen is de maximaal mogelijke subinfiltratie beperkt: in de orde van 0,5 mm/d vanwege de grotere slootafstanden. Bij klei of zavel tot beneden de slootbodem is de maximaal mogelijke infiltratie nog geringer. Indien de drains kunnen worden gebruikt voor subinfiltratie is de maximaal mogelijke subinfiltratie aanmerkelijk groter.

**Van Kaathoven, 1984**

Voor een relatief vlakgebied in de Centrale Slenk ten oosten van Den Bosch werd over de maanden mei t/m september in zowel 1982 als 1983 gemiddeld ca. 100 mm ingelaten. De maximaal gemeten subinfiltratie-intensiteit was inde droogste periode van het droge jaar 1983 afgerond 0,9 mm/d. Op grond hiervan is geconcludeerd dat de uit eerdere onderzoekingen (ruilverkavelingen ‘Astense Aa’ en ‘Groote Peel’) vastgestelde aanvoernorm van 1/6 l/s/ha slechts zelden tot problemen zal leiden.

**Van Bakel, 1986**

In dit promotie-onderzoek naar peilbeheer in de Drentse Veenkoloniën (Van Bakel, 1986) is naast de optimalisering van het dagelijks peilbeheer ook gekeken naar de gewenste aanvoerintensiteit. Op grond van afweging tussen kosten en baten op een gewenste aanvoercapaciteit voor subinfiltratie in de Veenkoloniën van ruim 1,5 mm/d.

**Werkgroep tus-10-plan, 1988**

In dit rapport van de werkgroep tus-10-plan is beschreven dat de gewenste aanvoercapaciteit per deelgebied is gebaseerd op een afweging van kosten en landbouwkundige baten. Deze baten zijn bepaald door voor unieke combinaties voor een reeks van 30 jaar berekeningen uit te voeren met SWADRE (SWAP-Drenthe) (Keesman en Van Bakel, 1985), bij 3 voorzieningenniveaus van resp. 0,75, 1,5 en 2,5 mm/d.

**Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990 en Werkgroep Wateraanvoer Noord-Limburg, 1991**

De gewenste aanvoercapaciteit is in eerste instantie bepaald op basis van een afweging van kosten en landbouwkundige baten. Per deelgebied is de waterhuishouding gesimuleerd door toepassing van het model SWW (gebaseerd op SWAP) voor een groot aantal unieke bodemkundig-hydrologische combinaties. In tweede instantie zijn de belangen van natuur en milieu en de drinkwatervoorziening meegenomen. Zie ook Van der Voet e.a., 1991.

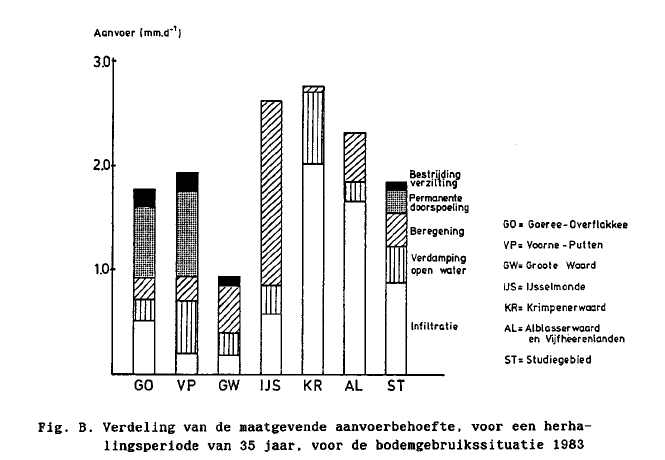
**Werkgroep Landbouwwatervoorziening Zoommeer, 1987**

De Werkgroep landbouwwatervoorziening Zoommeer komt op basis van schatting van beregend areaal (25% in kleigebied) uit op 2 mm/d voor het kleigebieden in Zeeland (inclusief doorspoeling), 1,2 mm/d voor kleigebieden in Noord-Brabant en voor zandgebieden 1,3 mm/d.

Dat zijn duidelijk lagere getallen voor doorspoelingsbehoeftige gebieden dan algemeen wordt aangenomen.

**Werkgroep Waterbehoefte Zuidhollandse Eilanden en Waarden, 1987.**

Voor 6 toenmalige waterschappen in Zuid-Holland is de waterbehoefte voor peilbeheersing (som van drainage/subinfiltratie, verdamping open water en beregening uit oppervlaktewater) berekend met het model Hymust (Oostindie en Van Bakel, 1988); de aanvoerbehoefte voor doorspoeling met een waterbalansmodel voor het oppervlaktewater. De maatgevende aanvoerintensiteit is hierbij de decade met de hoogste waterbehoefte voor een 35-jarige rekenperiode. Onderstaande figuur uit dit rapport geeft een goede samenvatting.



Daarbij is rekening gehouden met het feit dat de berekende posten van de wateraanvoerbehoefte niet in de tijd samenvallen. In gebieden met veel doorspoelbehoefte is het vroege voorjaar maatgevend, in gebieden met weinig doorspoelbehoefte de droogste decade in 1976.

Vergelijking met gemeten wateraanvoeren in 2 poldergebieden in Goeree-Overflakkee en in de Krimpenerwaard gaf een redelijk resp. goede overeenstemming. Hieruit kan worden afgeleid dat de aanvoerbehoefte voor subinfiltratie plus verdamping van open water in kleigebieden ongeveer 0,5 mm/d en in veenweidebieden rond de 2,0 mm/d is.

**Projectgroep Herziening wateraanvoerbehoefte provincie Groningen, 1997**

Met het model AAD van WL (variant op PAWN-instrumentarium) is de aanvoerbehoefte berekend voor 3 varianten m.b.t. waterwinning, landgebruik en uitbreiding van het open wateroppervlak. Er zijn dus geen normen toegepast.

**Stuyt e.a., 2013 en Schipper e.a., 2014a en 2014b**

Recent zijn studies uitgevoerd met de zogenoemde €ureyeopener (Stuyt e.a., 2013, Schipper e.a., 2014a en 2014b). Hierbij wordt de maandelijkse watervraag voor peilhandhaving en beregening gedurende het groeiseizoen per maand ontleend aan simulatieresultaten van het model NHI. Uit NHI zijn ook de maandelijkse zoutvrachten via de drainage ontleend. De watervraag voor verziltingsbestrijding kan worden afgeleid uit gegeven inlaatconcentratie en gewenste uitlaatconcentratie en het tijdsverloop van de zoutbelasting op het oppervlaktewater). Uit de toepassing blijkt dat de kwelintensiteit en de chlorideconcentratie van het kwelwater zijn gedurende het groeiseizoen redelijk constant zijn. Door grootschalige ingrepen zoals een structureel hoger zomerpeil kan de kwelintensiteit c.q. chloridebelasting via de kwel structureel toenemen of afnemen en een structurele verandering is voor Tholen ook gemeten (pers. meded. Ies de Vries).

De chloridebelasting op het oppervlaktewater veranderen via drainage is gedurende het groeiseizoen zeker niet constant omdat de drainage-intensiteit gedurende het groeiseizoen afneemt of zelfs negatief wordt (subinfiltratie). De maximale watervraag voor peilhandhaving en beregening valt daardoor niet samen met de maximale watervraag voor doorspoeling.

# Synthese

Het literatuuronderzoek overziende kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

* de maximale watervraag voor peilhandhaving verschilt sterk tussen gebieden;
* de maximale watervraag voor doorspoeling is veelal niet berekend maar men hanteert ervaringscijfers;
* de zoutbelasting via drainage gedurende het groeiseizoen op het oppervlaktewater, die de doorspoelbehoefte genereert, is afhankelijk van de drainagesituatie en het peilbeheer en vertoont is sommige gebieden een duidelijke trend;
* de maximale watervraag voor beregening is sterk afhankelijk van geteelde gewassen en percentage beregend oppervlak;
* de maatgevende watervraag wordt veelal bepaald op basis van berekeningen en niet op basis van normen;
* in sommige gebieden zijn normen afgeleid op basis van metingen. Deze normen zijn echter niet door een werkgroep of het Cultuurtechnisch Vademecum gesanctioneerd;
* op basis van de datering van de aangehaalde studies is de belangstelling voor vaststelling van de maatgevende aanvoerintensiteit c.q. maatgevende watervraag na 2000 sterk afgenomen. Pas recent is er weer belangstelling voor, geïnduceerd door de discussies over maatgevende aanvoerintensiteit in de Zuidwestelijke Delta.

Uit het voorgaande volgt dat het gebruik van de norm/richtwaarde voor de maatgevende watervraag van **0,3 l/s/ha** per ha cultuurgrond (landbouwgrond)bij de JFF Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta **niet** is gestoeld op historische studies en waarnemingen en bovendien door de meest gezaghebbende Studiecommissie (SWLT) wordt afgeraden. Op basis van de in de literatuur gevonden waarden is deze waarde ook als ruim beoordeeld.

# Voorstel voor een andere benadering

Omdat het gebruik van de norm van 0,3 l/s/ha wordt afgeraden wordt een andere benadering voorgesteld die hieronder wordt uitgewerkt (en die veelal ook in diverse studies is toegepast met als meest illustratieve voorbeeld: Werkgroep Waterbehoefte Zuidhollandse eilanden en Waarden, 1987).

De maximale watervraag (aanvoerintensiteit: is watervraag per eenheid van landbouwareaal) voor de landbouw per gebied is de som van de maximale watervraag voor beregening, subinfiltratie en doorspoeling in enige periode (decade) gedurende het groeiseizoen (let wel: de afzonderlijke maximale watervragen hoeven niet samen te vallen). Of die ook maatgevend is voor de te realiseren aanvoercapaciteit hangt af van de uitgangspunten.

**Indien uitgangspunt is: u vraagt wij leveren te allen tijde**

**De watervraag voor beregening** uit oppervlakte kan worden vastgesteld door per gewas/teelt de beregening te simuleren met een agrohydrologisch model waarbij de beregeningscriteria zijn ontleend aan diverse praktijk- en modelonderzoekingen (o.a. Beregenen op Maat). Gebruik maken van weersverwachtingen is daarbij een must. Door sommatie per tijdstap (decade) per gewas volgt de watervraag per gebied.

De maximale **watervraag voor peilhandhaving** per gebied kan worden vastgesteld op basis van simulaties met een regionaal model waarbij de som van afvoer en subinfiltratie via de ontwateringsmiddelen wordt berekend uit verschil in openwaterstand en grondwaterstand gedeeld door een weerstand. Zie verder Van Bakel e. a. (2007) en diverse rapportages in het kader van NHI (www.nhi.nu). Bij deze berekeningswijze wordt impliciet rekening gehouden met verschillen in kwel en wegzijging.

Indien deze bronnen van informatie niet beschikbaar is kan worden uitgegaan van de volgende expertschattingen voor de maatgevende aanvoerintensiteit voor subinfiltratie:

Veenweidegebieden 1,5 mm/d (0,173 l/s/ha)

Kleigebieden: 0,5 mm/d (0,058 l/s/ha)

Wateraanvoergebieden in het vrij afwaterend deel van Nederland,

met uitzondering van veenkoloniale gebieden: 1,0 mm/d (0,116 l/s/ha)

Veenkoloniale gebieden: 2,0 mm/d (0,232 l/s/ha)

Eventueel worden deze waarden gecorrigeerd voor kwel of wegzijging indien daar duidelijk sprake van is (bijv. wegzijging van veengebieden naar diepe in- of aanliggende droogmakerijen).

Bij de waterbehoefte voor subinfiltratie moet de waterbehoefte voor verdamping van open water worden opgeteld. Deze kan worden bepaald uit de referentiegewasverdamping maal 1,25 maal areaal open water.

Vermenigvuldiging van deze intensiteiten met het bruto areaal van een gebied (dus inclusief stedelijk gebied) levert de aanvoerbehoefte voor peilhandhaving.

De **watervraag voor verziltingsbestrijding (doorspoeling)** van het oppervlaktewater per deelgebied kan worden bepaald indien de inlaatconcentraties en gewneste uitlaatconcentraties bekend zijn en de belasting per tijdstap (decade) die volgt uit kwel maal chlorideconcentratie. Indien binnen 1 peilvak ook infiltratie optreedt is de ‘verliespost’ gelijk aan wegzijging maal chloridemengconcentratie van het oppervlaktewater. Hieruit volgt dat kwel en wegzijging per peilvak niet mogen worden gesaldeerd. De ruimtelijk gedistribueerde kwel/wegzijgingsintensiteiten en de chlorideconcentratie van het kwelwater zijn af te leiden uit metingen en eventueel regionale of landsdekkende modelstudies.

In gebieden waar de watervraag voor verziltingsbestrijding een rol speelt kan de totale watervraag per tijdstap (decade) niet worden bepaald door optelling van de 3 verschillende deelsommen omdat de watervraag voor beregening uit oppervlaktewater resulteert in een verlaging van de watervraag voor doorspoeling die ongeveer gelijk is aan de helft van de watervraag voor beregening. De watervraag voor verdamping van open wateren daarentegen resulteert in een verhoging van de watervraag doorspoelbehoefte die ongeveer gelijk is aan de watervraag voor verdamping van open water.

Indien een simulatiemodel wordt gebruikt waarin alle 3 vormen van waterbehoefte zijn meegenomen wordt voor deze dubbeltelling intrinsiek gecorrigeerd.

Zoals al eerder is betoogd: het uitgangspunt u vraagt wij draaien leidt in veel gevallen tot niet-optimale maatgevende aanvoerintensiteit omdat de laatste zeg 10% van de aanvoercapaciteit slechts incidenteel wordt gebruikt. Maar als het een gebied is met veel hoogsalderende teelten kan het best zijn dat dit de gewenste situatie is omdat aanleggen van reservoirs duur is.

Ook moet worden bedacht dat met name de benodigde aanvoer voor beregening en peilhandhaving geen echt piekgedrag vertoont dwz. het verschil tussen de 1% hoogste aanvoer en de 10% hoogste aanvoer per gekozen periode verschilt relatief lang niet zoveel als bij afvoeren.

**Indien uitgangspunt is: u vraagt wij leveren, maar niet te allen tijde**

Het is min of meer een werknorm geworden om de 10%-hoogst gesommeerde watervraag per periode (decade) als maatgevend te nemen. De ratio van die 10% ontbreekt echter maar volgt uit de redenering dat je moet dimensioneren op droge maar ook niet al te extreem droge situaties. Ook hiervoor geldt dat de watervraag geen echt piekgedrag vertoont.

Indien rekening wordt gehouden met beperkingen in het aanbod van water vanuit het hoofdsysteem moet er sowieso rekening worden gehouden met beperkte levering.

**Indien het uitgangspunt is: u vraagt maar wij leveren op basis een afweging van kosten en baten**

Dan is nadere studie vereist. Het instrument *water pricing* moet hierbij nadrukkelijk in beeld komen.

In navolging van de Waternood-systematiek zou je ook bij wateraanvoer kunnen spreken van actuele aanvoerintensiteit (AA)), optimale (maximaal mogelijke) aanvoerintensiteit (OA) en gewogen (ook wel gewenste) aanvoerintensiteit (GA). Toepassing van normen is daarbij niet aan de orde.

# Beantwoording van de vragen

De beantwoording van de in de inleiding gestelde vragen is als volgt.

*Zijn er normen voor de aanvullende waterbehoefte aan de literatuur te ontlenen?*

Het antwoord is: in de literatuur worden nauwelijks normen genoemd en er zijn geen normen aan te ontlenen.

*Zo ja, wat is de onderbouwing?*

Als er al normen worden genoemd is de onderbouwing veelal op basis van ervaringscijfers.

*Zo ja, zijn de normen toepasbaar in de huidige situatie en toekomstige situaties?*

Door veranderingen in landbouwarealen en percentage beregening zijn de normen niet goed toepasbaar in de huidige situatie. Maar door er expliciet rekening mee te houden zijn de normen wel toepasbaar in de huidige situatie. Voor toekomstige situaties kan rekening worden gehouden met klimaatverandering en ontwikkelingen in landgebruik en beregening.

*Is er iets te zeggen over de kans dat de daadwerkelijke watervraag deze norm overschrijdt?*

Er is geen systematisch onderzoek gedaan naar het dynamisch gedrag van de watervraag en dus ook niet naar de kans dat de daadwerkelijke watervraag de norm overschrijdt. Of in andere woorden: welke herhalingstijd hoort bij een bepaalde norm? Voor normen voor waterafvoer zoals omschreven in het Cultuurtechnisch Vademecum (1988) is dat duidelijk. Voor normen voor wateraanvoer is dat veel minder duidelijk. De opmerking in hoofdstuk 5 is hierbij van toepassing: de benodigde aanvoer voor beregening en peilhandhaving vertoont geen echt piekgedrag omdat het verschil tussen de periode (bijv. decade) met de hoogste watervraag en de periode met de op één na hoogste watervraag gering is omdat droogteperiodes veel langer aanhouden dan perioden met hoge neerslag.

*Zo nee, zijn er alternatieven?*

Het beste alternatief is het toepassen van regionale modellen, waarbij de berekeningen van de verdamping klimaatrobuust is (houdt rekening met primaire (verandering atmosferische verdampingsvraag) en secundaire (langer groeiseizoen, meer/minder gewasgroei) effecten.

*Wat is op basis van het literatuuronderzoek het oordeel over de norm van 0,3 l/s/ha zoals vastgesteld in het kader van de Joint Fact Finding (JFF) Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta?*

De norm van 0,3 l/s/ha wordt niet ‘gesanctioneerd’ door gezaghebbende rapporten, handboeken of experts. De eindconclusie is:

**De basis van bij de JFF Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta vastgestelde norm van 0,3 l/s/ha is op basis van het uitgevoerde literatuuronderzoek wankel en is gezien de gevonden waarden aan de ruime kant.**

# Aangehaalde literatuur

Commissie Watervoorziening van landbouwgronden in het Boven-Dommelgebied, 1958. Auteur: J.J. Kouwe.

Commissie watervoorziening benoorden het Noordzeekanaal, 1980. De waterbehoefte van het vasteland van Noord-Holland benoorden het Noordzeekanaal.

Hoes, O.A.C., 2007. Aanpak wateroverlast in polders op basis van risicobeheer. Proefschrift TUD.

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, 1981. Voortgezet onderzoek kanaal Waddinxveen-Voorburg. Deelrapport 1: wateraanvoerbehoefte voor peilbeheersing en zoutbelasting van boezemwateren.

Kaathoven, P. van, 1984. Watervoorziening en infiltratie in het noordelijk deel van het waterschap de Aa. Waterschapsbelangen 69(1984)16: 428-433.

Keesman, K.J. en P.J.T. van Bakel, 1985. Gebruikershandleiding van het simulatiemodel voor de waterbalans van een met gewas begroeid oppervlak gekoppeld aan een peilbeheersingsmodel voor open water: SWADRE. Nota 1705, ICW, Wageningen1).

Kselik, R., J. van Bakel, J. van de Akker en R. Hendriks, 2009. Berekening van acceptabele grondwaterstanden bij toepassing van onderwaterdrains. Beantwoording van een Helpdeskvraag.

Oostra, A.D., 1964. De opzet van de wateraanvoerplannen voor Zuid-Nederlandse zandgronden. ICW-mededeling 71.

Oostindie, K. en P.J.T. van Bakel, 1988. Gebruikershandleiding van het model voor peilbeheer HYMUST. ICW-nota 14821).

Pankov, J. en P.E. Rijtema, 1970. De resultaten van het waterbalansonderzoek in 1968 voor de objecten met een constant slootpeil in Hoenkoop. ICW-nota 5671).

Pankov, J., 1973. De resultaten van het waterbalansonderzoek te Hoenkoop. ICW-nota 7381).

Pankov, J., A. v.d. Toorn, C.G. Toussaint en J.H.A.M. Steenvoorden, 1985. De gevolgen van verschillen in open waterpeil op de stoffenbelasting van het water op het regionaal onderzoekcentrum te Zegveld. ICW-nota 16521).

Projectgroep Herziening wateraanvoerbehoefte provincie Groningen, 1997. Herziening wateraanvoerbehoefte provincie Groningen.

Rijtema, P.E., 1968. Grondwaterstand, infiltratie en bodemvochtvoorraad in graslandgebieden in verband met de vaststelling van de waterbehoefte voor peilbeheersing. ICW-nota 4821).

Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw, 1980. Aanvullende Watervoorziening van de Land- en Tuinbouw. ([www.debakelsestroom.nl/kennisbank](http://www.debakelsestroom.nl/kennisbank)).

Schipper, P.N.M., G.M.C.M Janssen, N.B.P. Polman, V.G.M. Linderhof, P.J.T. van Bakel, H.T.L. Massop, R.A.L. Kselik, G.H.P. Oude Essink en L.C.P.M. Stuyt, 2014. €ureyeopener 2.1: Zoetwatervoorziening Zuidwestelijke Delta en Rijnmond-Drechtsteden. Alterra-rapport 2510.

Schipper, P.N.M., G.M.C.M Janssen, N.B.P. Polman, V.G.M. Linderhof, P.J.T. van Bakel, H.T.L. Massop, R.A.L. Kselik, G.H.P. Oude Essink en L.C.P.M. Stuyt, 2014. Effect zout Volkerak-Zoommeer op de zoetwatervoorziening van de landbouw. Berekening droogte- en zoutschade met €ureyeopener 2.1 voor Tholen, Oostflakkee, Reigerbergsche en PAN-polders. Alterra-rapport 2511.

Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel, J. Delsman, H.Th.L. Massop, R.A.L. Kselik, M.P.C.P. Paulissen, G.H.P. Oude Essink, M. Hoogvliet en P.N.M. Schipper. 2013. Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap Rijnland. Onderzoek met behulp van €ureyeopener 1.0. Alterra-rapport 2439.

Van Bakel. P.J.T., 1986a. A systematic approach to improve the planning, design and operation of surface water management systems. A case study. Report 13. ICW, Wageningen (also published as Thesis of Agricultural University).

([www.debakelsestroom.nl/kennisbank](http://www.debakelsestroom.nl/kennisbank)).

Van Bakel, P.J.T., T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H.Th.L. Massop en D.J.J. Walvoort, 2007. Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1. Beschrijving reparatie-acties, analyse resultaten en beoordeling plausibiliteit. WOT-werkdocument 81.

Van Boheemen, P.J.M. en J.G.S de Wilde, 1979. De watervoorziening land- en tuinbouw in het droge jaar 1976. Regionale studies 15. ICW, Wageningen.

Van Duin, R.H.A. van, 1959. De berekening van de aanvullende behoefte van grasland. In CHO-TNO Versl. en Meded. No. 4. (http://www.nhv.nu/cho-publicaties)

Voet, P. van der, D. Slothouwer, P.J.T. van Bakel en J. Vreke, 1991. Bepaling van de landbouwkundige rentabiliteit van waterconservering en wateraanvoer in het waterschap Noord-Limburg. Rapport 105. Staring Centrum, Wageningen.

Werkcomité Watervoorziening van Midden-West-Nederland, 1967. De watervoorziening van Midden-West-Nederland. Hoofdrapport en 5 deelrapporten.

Werkgroep watervoorziening Salland, 1978. Watervoorziening Salland.

Werkgroep Cultuurtechnisch Vademecum, 1987. Cultuurtechnisch Vademecum. Uitgegeven door de Studiekring voor Cultuurtechniek. ([www.debakelsestroom.nl/kennisbank](http://www.debakelsestroom.nl/kennisbank)).

Werkgroep landbouwwatervoorziening Zoommeer, 1987. Watervoorziening voor de landbouw uit het Zoommeer. Onderzoeksrapport. ([www.debakelsestroom.nl/kennisbank](http://www.debakelsestroom.nl/kennisbank)).

Werkgroep Zuid-Holland, 1987. (K.E. , Wit, P.J.T. van Bakel, J.G. te Beest, H.Th.L. Massop en E.P. Querner). Wateraanvoerbehoefte Zuidhollandse eilanden en Waarden (peilbeheersing en bestrijding verzilting). ICW-nota 18011).

Werkgroep tus-10-plan, 1988. Water voor Drenthe.

Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant (P.J.T. van Bakel, ed.), 1990. Planning van de oppervlaktewaterhuishouding in Midden en Oostelijk Noord-Brabant. Fase 1: Bepaling van de rentabiliteit van waterconservering en –aanvoer en de waterverdeling t.b.v. de landbouw. Rapport 99. Staring Centrum, Wageningen.

Werkgroep Waternood, 1998. Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewatersysteem. DLG publicatie 98/2. Dienst Landelijk Gebied en Unie van Waterschappen.

1) De aangehaalde ICW-nota’s zijn te vinden op:

*http://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek?wq\_par=(&titel=ICW&wq\_rel=OR&titel=Instituut+voor+Cultuurtechniek+en+Waterhuishouding&wq\_rel=OR&uitgever=ICW&wq\_rel=OR&uitgever=Instituut+voor+Cultuurtechniek+en+Waterhuishouding&wq\_rel=OR&signatuur=NN31545&wq\_par=)&wq\_rel=AND&informatiedrager=internet*