

## **Bijlage 5 Invloed openwaterstand op grondwaterstand in natuurterreinen in perioden dat onomkeerbare droogteschade kan optreden**

De methode van de kritieke L-afstand

Jan van Bakel  
Harry Massop

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Door LNV is aan Alterra de vraag gesteld wanneer onomkeerbare schade aan de natuur te verwachten is als gevolg van droogte en of wateraanvoer in een droge periode een effectief middel is om onomkeerbare schade door verdroging van terrestrische ecosystemen te voorkomen. Het antwoord op deze vraag is van belang voor het vaststellen van de plaats van de natuur in de zogenoemde Verdringsreeks. Deze reeks wordt gehanteerd bij verdeling van oppervlaktewater in perioden dat op regionaal niveau de vraag naar oppervlaktewater het aanbod overtreft. Recent is besloten wateraanvoer ter voorkoming van onomkeerbare schade aan terrestrische ecosystemen een hogere prioriteit te geven dan bijv. landbouw en scheepvaart. Vragen die hierbij kunnen worden gesteld zijn: a) zijn er methoden en criteria om vast te stellen of er op enig moment onomkeerbare schade kan optreden en b) is aan te geven bij welke hydrologische situaties wateraanvoer een effectief middel is om deze schade te voorkomen.

In deze notitie zal op de laatste vraag worden ingegaan.

## 1.2 Probleem- en doelstelling

De vraag is of wateraanvoer in droge perioden een effectief middel is om onomkeerbare schade aan terrestrische ecosystemen te voorkomen.

De doelstelling voor dit onderzoek is: geef door middel van voorbeeldberekeningen aan wat de invloed is van het oppervlaktewaterpeil op de grondwaterstand op verschillende afstanden van het oppervlaktewater bij verschillende hydrologische systemen zoals die in natuurgebieden in Nederland voorkomen.

## 2. Nadere analyse

### 2.1 Inleiding

De grondwaterstand op enig moment is de resultante van flux op het freatisch vlak als gevolg van capillaire opstijging of percolatie, de drainage naar of infiltratie vanuit waterlopen in de omgeving en kwel of wegzijging (is stroming naar waterlopen verder weg of naar grondwateronttrekkingen) en de freatische bergingscoëfficiënt. De drainageflux is afhankelijk van de lekweerstand en het verschil in potentiaal tussen grondwaterstand en openwaterstand. Hieruit volgt dat met de openwaterstand de grondwaterstand tot op zekere hoogte is te beïnvloeden.

Belangrijk is onderscheid te maken in structurele effecten en tijdelijke effecten. Structurele effecten zijn een gevolg van een structurele verandering in de ontwateringsbasis; tijdelijke effecten zijn een gevolg van tijdelijke veranderen van de ontwateringsbasis.

### 2.2 Enige hydrologische achtergronden

De stroming van grondwater naar oppervlaktewater in een zeker vlak kan worden berekend met de volgende formule:

$$q = (h_{\text{gem}} - h_o) / \text{lekweerstand}$$

waarin:

$q$  is drainageflux (afvoer per eenheid van oppervlakte (m/d));

$h_{\text{gem}}$  is gemiddelde grondwaterstand voor vlak waarvoor formule geldt (m tov referentievlak);

$h_o$  is ontwateringsbasis in beschouwde vlak (m tov referentievlak).

In waterlopen met water is dat de openwaterstanden. Indien het stuwpeil (de openwaterstand in de peilbeheerste waterlopen) dieper is dan de bodem van de waterloop moet voor  $h_o$  de effectieve bodemhoogte worden genomen (de waterstand die zich in de beschouwde waterloop instelt als het water zonder belemmering kan uitstromen in de ontvangende waterloop totdat de afvoer nul is. Eventuele obstakels (zoals duikers) in de waterloop kunnen er voor zorgen dat er de waterstand hoger is dan de bodem.

Een alternatieve formulering is die van Ernst:

$$q = (h_m - h_o) / \text{drainageweerstand}$$

waarin  $h_m$  is grondwaterstand midden tussen de waterlopen. Het verschil tussen  $h_m$  en  $h_o$  is de zogenoemde **opbolling**.

In praktijksituaties komen binnen een zeker gebied meerdere typen waterlopen (ontwateringsmiddelen) voor. Denk aan greppels, perceelsslotten, schouwsloten, weteringen, kleine beken en grote beken (vrij afwaterend deel van Nederland), en vaarten en boezemwateren (peilbeheerst deel). Een aparte plaats wordt ingenomen door het maaiveld als ontwateringsmiddel. Als de grondwaterstand stijgt tot in het maaiveld treedt plasvorming op en kan er water over het maaiveld gaan stromen. In de verdere analyse is er vanuit gegaan dat de greppels ondiep zijn (20 cm) en de functie van maaiveldsdrainage vervullen.

Het is gebruikelijk de ontwateringsmiddelen te classificeren en per klasse bovengenoemde formules toe te passen. Elk type waterloop kan daarmee zijn eigen afmetingen en waterstanden krijgen. Het is meestal geoorloofd de fluxen naar de afzonderlijke typen klassen van waterlopen bij elkaar op te tellen.

De relatie grondwater-oppervlaktewater kan worden gekwantificeerd met de zogenoemde **lekweerstand** die met diverse formules worden berekend. Als voorbeeld: de formule van Bruggeman-de Lange-Groenendijk (Groenendijk e.a., 2002) geeft aan dat de weerstand afhangt van de lagenopbouw en bijbehorende horizontale en verticale doorlatendheden van het verzadigd grondwatersysteem, onderlinge afstand waterlopen, intreeweerstand van de bodem van de waterloop en de afmetingen van de waterloop.

Gegeven een bepaalde geohydrologische situatie en gegeven ligging en afmetingen van waterlopen en gegeven de kwel kan bij een stationaire flux door het maaiveld de opbolling worden berekend.

Een structurele verandering van de openwaterstand (als gevolg van bijvoorbeeld het hanteren van andere stuwpeilen) geeft volgens bovenstaande formules een zelfde structurele verandering van de grondwaterstand. Dit geldt alleen bij aanwezigheid van 1 type drainagemiddelen of als alle typen ontwateringsmiddelen dezelfde verandering in openwaterstand hebben. Meestal echter vindt een openwaterstandsverandering alleen plaats in de min of meer beheersbare waterlopen en is de doorwerking veel minder. De mate waarin wordt bepaald door de verhouding van de fluxen naar de verschillende typen ontwateringsmiddelen. Waarbij moet worden bedacht dat deze verhouding wijzigt na het nemen van maatregelen.

Nog ingewikkelder wordt het als het probleem niet-stationair beschouwen. Zowel de flux op het freatisch vlak als de openwaterstanden kunnen variëren en ook treedt er berging in het grondwatersysteem als gevolg van veranderingen in grondwaterstand. Als gevolg hiervan is de door de verandering in het ontwateringssysteem geïnduceerde verandering van de grondwaterstand sterk afhankelijk van tijd en van de afstand tot de waterloop. Er zijn analytische formules beschikbaar maar gebruikelijk is het toepassen van numerieke modellen.

De beheersbaarheid van de waterlopen speelt dus een cruciale rol. In peilbeheerste gebieden in de vlakke delen van Nederland zijn alle waterlopen met een diepte groter dan de gehanteerde drooglegging beheersbaar. Bovendien is er meestal wateraanvoer mogelijk zodat het werkelijke openwaterstand ook min of meer gelijk is dan het streefpeil

(is het peil dat de beheerder nastreeft). De doorwerking wordt vooral bepaald door de verhouding tussen beheersbare wat grotere waterlopen en de ondiepere kleinere waterlopen. Cruciaal is ook of aanwezige buisdrainage wel of niet onder water ligt.

In het vrij afwaterende deel van Nederland is de situatie anders. Door de terreinhelling en het daaraan gekoppelde verhang in de bodem van de grotere waterlopen is meestal slechts een deel van de grote waterlopen van een peilgebied beheers. Ondiepe waterlopen met een diepte van de slootbodem kleiner dan de drooglegging in het peilbeheerste, de overige ondiepe waterlopen gebied en de buisdrainage zijn vrijwel altijd onbeheersbaar. Daar komt nog bij dat zonder wateraanvoer in zomerperioden met neerslagtekort het peil wordt onderschreden dwz de werkelijke openwaterstand in het peilbeheerste deel is lager dan het streefpeil.

### **2.3 Mogelijk reeds beschikbare methoden**

SC-DLO en DLG hebben midden jaren negentig van de vorige eeuw een leidraad ontwikkeld voor kwantificering van de van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand die met alle bovenaangehaalde aspecten zo goed mogelijk rekening houdt (Massop e. a., 1997). Deze leidraad is niet geschikt voor de vraagstelling omdat:

- er geen rekening is gehouden met het effect van een veranderde grondwaterstand op de capillaire opstijging. Bij de vraag of wateraanvoer helpt om verdroging te voorkomen gaat het juist om de invloed van wateraanvoer op de vochtvoorziening van vegetatie;
- het effect is berekend van een momentane peilverhoging op de grondwaterstand en niet het effect van het op peil houden van de openwaterstand.

Voor het realiseren van waterdoelen in het SGR2 is in opdracht van LNV landsdekkend kanskaarten gemaakt voor wateropgaven (Van der Gaast e. a., 2002). Deze kaarten geven een score voor de deelopgaven vasthouden, bergen, conserveren beekherstel en waterkwaliteit. Dus niet voor wateraanvoeren in droge perioden. In een aanvullende studie in opdracht van Staatsbosbeheer is onderzocht wat de fysieke geschiktheid is voor water vasthouden en vernatten in en rond de Ecologische Hoofdstructuur (Van der Gaast e. a., 2003). Hierbij gaat het om geschiktheidskaarten. Voor het aspect wateraanvoer in droge perioden zijn geen kaarten beschikbaar.

De conclusie is dat de vraagstelling te specifiek is om gebruik te maken van deze studies en dat een andere werkwijze nodig is.

### 3. Werkwijze

#### 3.1 Inleiding

Idealiter is de methode om te onderzoeken of wateraanvoer onomkeerbare schade aan natuur kan voorkomen als volgt:

- 1) Definieer indicator(en) op voor onomkeerbare droogteschade, bijv. kritieke drukhoogtes in de wortelzone en aantal dagen dat die moeten worden onderschreden.
- 2) Stel criteria voor de genoemde indicator(en).
- 3) Definieer de situatie zonder wateraanvoer in bodemkundige en hydrologische termen:
  - a. bodemopbouw en bijbehorende bodemfysische eigenschappen;
  - b. bewortelingsdiepte
  - c. verdampingseigenschappen
  - d. dichtheid en afmetingen van waterlopen
  - e. definieer welke waterlopen door wateraanvoer in droge perioden op peil kunnen worden gehouden
  - f. maaiveldshoogteverdeling
  - g. geohydrologische lagenopbouw en bijbehorende geohydrologische eigenschappen. In combinatie met eigenschappen waterlopen is de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater te bepalen.
  - h. randvoorwaarden voor de standplaats: neerslag en referentiegewasverdamping aan de bovenkant en en kwel of wegzijging aan de onderkant
- 4) Maak een model van de standplaats, bijv een niet-stationair tweedimensionaal model mbv de computercode HYDRUS-2D.
- 5) Bereken het verloop van de drukhoogte in de wortelzone **met** en **zonder** wateraanvoer gedurende de periode dat de er waterschaarste optreedt.
- 6) Bewerk rekenresultaten zodanig dat de in a) genoemde indicatoren worden berekend en pas criteria toe.

Gegeven tijd en budget is deze aanpak niet haalbaar. Er is daarom een semi-kwantitatieve methode ontwikkeld, aangeduid als de methode van de kritieke L-afstand.

#### 3.2 Methode van de kritieke L-afstand

Startpunt is dat de drukhoogte in de wortelzone in droge perioden niet mag dalen beneden – 500 cm. Dit kan alleen als de capillaire opstijging min of meer gelijk is aan de verdamping. De verdamping in de zomermaanden op droge, stralingsrijke dagen is ongeveer 4 mm/d. Echter er zal altijd enige intering op de vochtvoorraad plaats vinden. Agrohydrologische berekeningen hebben aangetoond dat er bij landbouwgewassen nauwelijks droogte optreedt als de capillaire opstijging niet onder de 2 mm/d daalt (Cultuurtechnisch Vademecum). Deze flux is alleen mogelijk als de grondwaterstand niet beneden een bepaalde diepte daalt. Deze diepte kan worden berekend als de som van de

zogenoemde kritieke z-afstand en de bewortelingsdiepte. De kritieke z-afstand kan worden gedefinieerd als de grondwaterstandsdiepte ten opzichte van onderkant wortelzone waarbij een verticale opwaartse flux van 2 mm/d nog mogelijk is bij een aangenomen drukhoogte aan de onderkant wortelzone (hogere fluxen zijn niet mogelijk; lagere fluxen uiteraard wel).

De kritieke z-afstand kan worden berekend met een model voor de onverzadigde zone zoals Capsev (Wesseling, 1991). Voor de Staringreeks-bouwstenen zijn te berekenen bij een aangenomen drukhoogte aan de onderkant wortelzone. Daarvoor wordt de waarde van -500 cm genomen omdat bij die waarde er reeds behoorlijke reductie in verdamping kan plaats vinden maar niet zodanig dat planten afsterven.

De redenering is dat de kritieke grondwaterstandsdiepte in een droge periode moet kunnen worden gehandhaafd door wateraanvoer. Met andere woorden: bij welke hydrologische situatie is het mogelijk 2 mm/d te laten infiltreren, gerekend over de totale oppervlakte (waarbij de fluxdichtheid door de slootbodem uiteraard hoger is). In een dergelijke situatie is de infiltratie dus gelijk aan de capillaire opstijging van 2 mm/d en ontstaat een evenwichtssituatie waarbij de grondwaterstand niet verder daalt.

De volgende 'karteerbare' kenmerken zijn van belang:

- de geohydrologische opbouw en bijbehorende eigenschappen. Ten behoeve van o.a. Stone is Nederland ingedeeld in zogenoemde hydrotypen en per hydrotype zijn typische waarden bekend (Massop e. a., 2000);
- de bewortelingsdiepte. Voor natte natuurterreinen is 20 cm een redelijke waarde;
- de bodemfysische eigenschappen van de onverzadigde ondergrond. Bij elk hydrotype is een best passende PAWN-eenheid te kiezen en daarmee de lagenopbouw en bijbehorende Staringreeks-bouwstenen (Wösten e. a., 1988). Daarmee is de kritieke z-afstand en de kritieke grondwaterstandsdiepte vast te stellen;
- de maaiveldshoogteverdeling. Aangenomen is dat de laagste delen 20 cm lager liggen dan de gemiddelde maaiveldshoogte van het natuurterrein;
- waterstand in de waterlopen. Aangenomen is dat deze op maximale hoogte kan worden opgezet. Dat is het niveau waarbij de laagste terreindelen nog net niet inunderen. Dit betekent dat de openwaterstand 20 cm lager is dan de gemiddelde maaiveldshoogte;
- de afmetingen van de waterlopen. Per hydrotype zijn typische waarden te geven voor waterlopen smaller dan 3 m die zomers **niet** droogvallen. De veronderstelling is dat ze niet al te extreme situaties watervoerend blijven;
- de uittreeweerstand. Algemeen wordt aangenomen dat bij infiltratie de bodemweerstand van de waterloop hoger is dan bij drainage. Er zijn echter geen beslissende aanwijzingen voor dit verschil en daarom zal worden uitgegaan van de expertisewaarden (Jousma en Massop, 1996);
- de gemiddelde afstand tussen de waterlopen die door wateraanvoer op peil kunnen worden gehouden. Dit is een eigenschap die binnen natuurterreinen en dus binnen de hydrotypen sterk kan variëren. De veronderstelling is dat de betreffende waterlopen redelijk verdeeld zijn over het terrein.

Bij elk hydrotype en de bijbehorende kritieke grondwaterstandsdiepte is nu de afstand te bepalen waarbij een infiltratie van 2 mm/d optreedt bij een verschil tussen open waterstand en grondwaterstand gelijk aan het verschil in vastgestelde openwaterstand in droge perioden (20 cm -mv) en kritieke grondwaterstand (bewortelingsdiepte plus kritieke z-afstand). Dit wordt aangeduid als de kritieke L-afstand. Bij slootafstanden groter dan deze afstand wordt de kans steeds groter dat er onomkeerbare schade optreedt, bij kleinere afstanden wordt deze kans steeds kleiner. Vergelijking van de kritieke L-afstand met de werkelijke afstand tussen in droge perioden van water te voorziene waterlopen in een natuurgebied geeft dus aanwijzingen over de kans dat door middel van wateraanvoer in droge perioden ongewenste verdroging kan worden voorkomen.

Bij goede capillaire eigenschappen is de kans op droogteschade veel kleiner en is de noodzaak van wateraanvoer veel minder. De kritieke z-afstand is een goede indicator voor de capillaire eigenschappen en arbitrair is gesteld dat bij een kritieke z-afstand van meer dan 120 cm er geen onomkeerbare droogteschade optreedt (of de kans daarop klein is). Per hydrotype komen veel verschillende bodeneenheden voor en idealiter zou deze informatie moeten worden meegenomen. Bij de nu gevolgde werkwijze kan het dus voorkomen dat binnen een geheel hydrotype geen onomkeerbare droogteschade optreedt ook als er geen wateraanvoer plaats vindt.



## 4. Resultaten en discussie

### 4.1 Resultaten

#### *Kritieke z-afstand*

Voor de 18 Staringreeks-bouwstenen voor de ondergrond zijn zogenoemde VPOS-tabellen beschikbaar die de relatie aangeven tussen drukhoogte onderkant wortelzone en de grondwaterstandsdiepte voor 18 constante (opwaartse) fluxen (Wosten e. a., 1988). Hieruit zijn 2 waarden voor de drukhoogte geselecteerd: -250 en -500 cm. Tabel 1 geeft de kritieke z-waarden die daarbij horen.

Tabel 1 *De kritieke z-afstand per ondergrondbouwsteen voor 2 waarden van de drukhoogte onderkant wortelzone*

Bouwsteen	Drukhoogte	
	-250	-500
O1	88	88
O2	88	89
O3	107	112
O4	105	112
O5	43	43
O6	152	191
O7	131	164
O8	105	119
O9	84	96
O10	58	65
O11	57	62
O12	23	26
O13	18	20
O14	169	242
O15	92	103
O16	50	54
O17	61	67
O18	168	217

 niet relevant want boven grens van 120 cm

Voor de ondergronden met een kritieke z-afstand van minder dan 120 cm zijn de verschillen niet groot tussen  $h = -200$  en  $h = -500$  cm. Er zal daarom worden uitgegaan van  $h = -500$  cm.

*Relatie opbolling en slootafstand*

Per hydrotype zijn gemiddelde waarden vastgesteld voor:

- doorlaatvermogen: KD (m<sup>2</sup>/d)
- doorlaatendheid: K (m/d)
- dikte watervoerend pakket: D (m)
- intreeweerstand (d)
- natte omtrek: B (m).

De gebruikte waarden zijn afgeleid uit Redesign Stone (Kroon e.a., 2000) en kunnen eventueel worden vervangen door nieuwe topsysteemdata die in januari 2006 beschikbaar komen. Aangenomen is dat in alle gevallen sprake is van een freatisch pakket. Tabel 2 geeft de resultaten.

*Tabel 2 Typische waarden voor de relevante parameters per hydrotype*

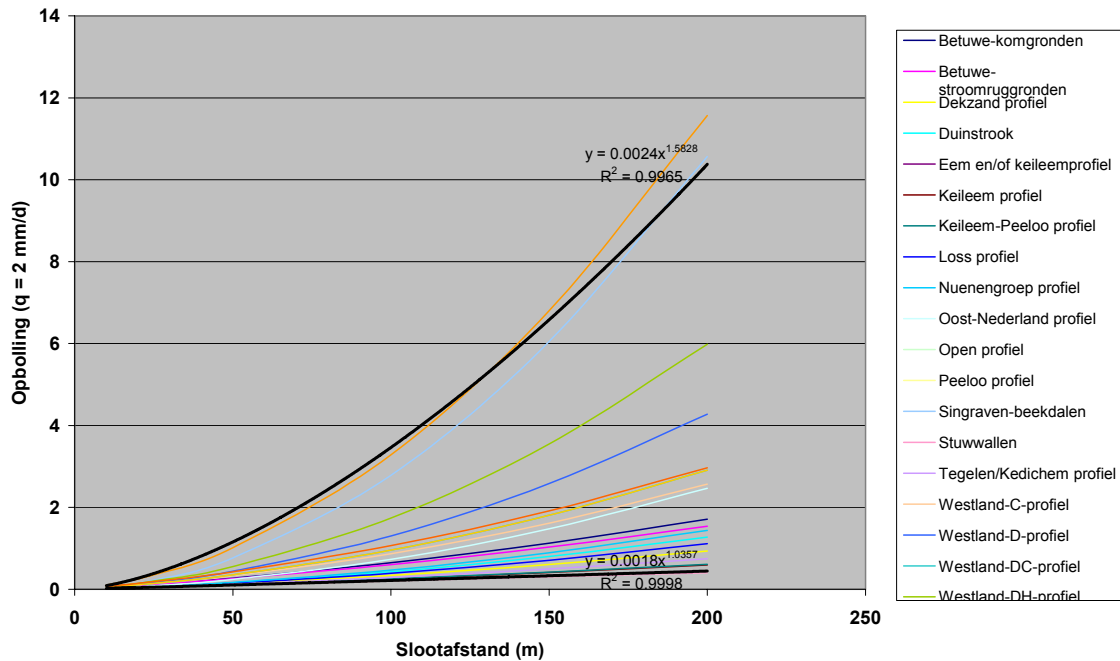
Hydrotype	kD	k	D	B	intree
Betuwe-komgronden	12	0.5	24	1	2
Betuwe-stroomrugggronden	15	0.5	30	1	2
Dekzand profiel	20	1.5	12	1	1
Duinstrook	12	1.5	8	1	1
Eem en/of keileemprofiel	200	10	20	1	1
Keileem profiel	55	5	11	1	1
Keileem-Peeloo profiel	50	5	10	1	1
Loss profiel	15	1	15	1	1
Nuenengroep profiel	10	2	5	1	1
Oost-Nederland profiel	5	1.5	3.5	1	1
Open profiel	1000	20	50	1	1
Peeloo profiel	250	7	35	1	1
Singraven-beekdalen	1	0.5	2	1	0.5
Stuwwallen	3500	50	70	1	1
Tegelen/Kedichem profiel	30	7.5	4	1	1
Westland-C-profiel	6	0.5	12	1	2
Westland-D-profiel	3	0.5	6	1	2
Westland-DC-profiel	5	0.5	10	1	2
Westland-DH-profiel	2	0.5	4	1	2
Westland-DHC-profiel	5	0.5	10	1	2
Westland-H-profiel	1	0.5	2	1	3
Westland-HC-profie	6	0.5	12	1	3

Vervolgens is met de formule van Ernst de opbolling berekend bij een  $q = 2$  mm/d en voor slootafstanden van 10, 25, 50, 100, 150 en 200 m.

Hiervoor is de volgende relatie gebruikt:

$$Opbolling = 0,002 * \left( \frac{L^2}{8kD} + \frac{L}{\pi k_r} \ln\left(\frac{D}{B}\right) + \frac{L}{B} c_i \right)$$

De toepassing levert relaties op zoals weergegeven in figuur 1



Figuur 1 Relatie tussen slootafstand en opbolling bij een drainageflux van 2 mm/d, per hydrotype

Om deze combinaties in een continue functie te vertalen lijkt de de power-functie het meest geschikt, deze heeft de volgende vorm.

$$Opbolling = aL^b$$

De gefitte parameters staan vermeld in tabel 3

Tabel 3 Parameters in de relatie tussen opbolling en sloonafstand per hydrotype

Hydrotype	Slope	log(intercept)	intercept	Correlation	L bij opbolling 0,5 m
Betuwe-komgronden	1.205058257	-2.57593055	0.00265503	0.9987	77
Betuwe-stroomruggronden	1.174371169	-2.547385856	0.002835399	0.9989	82
Dekzand profiel	1.235705388	-2.913227744	0.001221159	0.9985	130
Duinstrook	1.324892597	-2.990542221	0.001022016	0.9980	107
Eem en/of keileemprofiel	1.035691658	-2.734314243	0.001843681	0.9999	224
Keileem profiel	1.112690193	-2.81133931	0.001544048	0.9994	180
Keileem-Peeloo profiel	1.1219149	-2.820683891	0.00151118	0.9993	176
Loss profiel	1.280279827	-2.943398917	0.001139203	0.9982	116
Nuenengroep profiel	1.36184339	-3.024285039	0.000945616	0.9979	100
Oost-Nederland profiel	1.496319648	-3.100907805	0.00079267	0.9979	74
Open profiel	1.007509873	-2.705662605	0.001969416	1.0000	244
Peeloo profiel	1.028804307	-2.725729599	0.001880487	0.9999	227
Singraven-beekdalen	1.774383379	-3.090608607	0.000811692	0.9992	37
Stuwwallen	1.002169079	-2.70076489	0.001991751	1.0000	248
Tegelen/Kedichem profiel	1.182404907	-2.882392444	0.001311015	0.9988	152
Westland-C-profiel	1.320354223	-2.675276578	0.002112144	0.9980	63
Westland-D-profiel	1.455146261	-2.767892198	0.001706506	0.9979	50
Westland-DC-profiel	1.354698688	-2.701807475	0.001986976	0.9979	59
Westland-DH-profiel	1.533934292	-2.801851428	0.001578151	0.9980	43
Westland-DHC-profiel	1.354698688	-2.701807475	0.001986976	0.9979	59
Westland-H-profiel	1.582758693	-2.625933269	0.002366283	0.9982	29
Westland-HC-profie	1.25332612	-2.45324591	0.003521714	0.9983	52

Met de omgezette functie is bij een gegeven toegestane opbolling de kritieke L-afstand te bepalen.

$$L = \left( \frac{\text{Opbolling}}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

In tabel 3 is als voorbeeld de L-afstand bij een opbolling van 50 cm berekend.

## Opbouw PAWN-eenheden

In onderstaande tabel is per PAWN-eenheid de lagenopbouw en bijbehorende Staringreeksbouwstenen gegeven.

Tabel 4 Lagenopbouw per PAWN-eenheid en kritiek z-afstand

PAWN	Dikte-laag1	Bouwst-laag 1	Dikte-laag2	Bouwst-laag 2	Dikte-laag3	Bouwst-laag 3	Resulterende bouwsteen	Kritieke z-afstand
1	35	B18	85	O17			O17	87
2	20	<b>B16</b>	50	O17	50	O2		87
3	35	B11	85	O17			O17	87
4	35	B11	35	O17	50	O2		87
5	20	B2	50	O16	50	O2		74
6	30	B18	90	O12			O12	46
7	120	O1					O1	108
8	30	B1	110	O1			O1	108
9	50	B2	110	O2			O2	109
10	50	B2	50	O2	60	O5		63
11	50	B3	40	O2	90	O6		109
12	90	B2	70	O2				109
13	25	B3	25	O3	70	O2		109
14	15	B1	185	O5			O5	63
15	25	B8	95	O9			O9	116
16	25	B10	95	O10			O10	85
17	25	B12	95	O13			O13	40
18	25	B12	35	O13	60	O17		40
19	25	B8	35	O10	60	O2		85
20	25	B8	35	O10	60	O5		63
21	120	O15					O15	123

Voor de bepaling van de kritieke z-afstand is de bij meerdere ondergrondbouwstenen de meest kritische als uitgangspunt genomen.

*Relatie hydrotype en dominante PAWN-eenheid.*

Per hydrotype is de meest dominante PAWN-eenheid geselecteerd. Zie tabel 5.

Tabel 5 Dominante PAWN-eenheid per hydrotype

NAAM_HYDRO	ZONE_CODE	COUNT	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
Duinstrook	1	92165	19	7	20	7
Westland-D-profiel	3	376104	22	15	11	16
Westland-DHC-profiel	4	319786	21	15	2	16
Westland-DC-profiel	5	83972	20	15	5	16
Westland-DH-profiel	6	428284	22	18	8	16
Keileem-Peeloo profiel	7	159790	20	11	16	9
Westland-H-profiel	8	90585	20	1	10	2
Keileem profiel	9	154535	22	9	20	9
Peeloo profiel	10	91488	16	5	7	5
Singraven-beekdalen	11	134395	23	2	6	11
Dekzand profiel	12	408665	23	9	3	9
Eem en/of keileemprofiel	13	118046	22	9	20	12
Westland-C-profiel	14	101867	17	16	9	16
Open profiel	15	89479	23	14	18	12
Westland-HC-profiel	16	84564	15	1	19	3
Stuwwallen	17	138569	23	14	4	14
Betuwe-stroomruggronden	18	107343	20	16	4	16
Betuwe-komgronden	19	83981	21	17	1	17
Oost-Nederland profiel	20	83063	17	9	16	11
Nuenengroep profiel	21	209442	22	9	3	11
Tegelen/Kedichem profiel	22	85959	21	9	17	11
Loss profiel	23	52691	18	21	10	21

*Bepaling kritieke L-afstand op basis combinatie hydrotype en dominante PAWN-eenheid.*

Voor de bepaling van de kritieke L-afstand is gerekend met een kritieke z-afstand waarbij tevens rekening is gehouden met maaiveldsvariatie. Om dit aspect mee te nemen is de z-afstand met 0,2 m verlaagd. Tabel 6 geeft de resultaten.

Tabel 6 Kritieke z- en L-afstand per hydrotype

Hydrotype	PAWN_MAJORITY	Kritieke z-afstand (m)	L bij kritieke z-afstand (m)
Betuwe-komgronden	17	0.40	36
Betuwe-stroomruggronden	16	0.85	102
Dekzand profiel	9	1.09	207
Duinstrook	7	1.08	164
Eem en/of keileemprofiel	9	1.09	390
Keileem profiel	9	1.09	303
Keileem-Peeloo profiel	11	1.09	294
Loss profiel	21	1.23	204
Nuenengroep profiel	9	1.09	153
Oost-Nederland profiel	9	1.09	109
Open profiel	14	0.63	210
Peeloo profiel	5	0.74	245
Singraven-beekdalen	2	0.87	44
Stuwwallen	14	0.63	213
Tegelen/Kedichem profiel	9	1.09	248
Westland-C-profiel	16	0.85	77
Westland-D-profiel	15	1.16	78
Westland-DC-profiel	15	1.16	96
Westland-DH-profiel	18	0.40	23
Westland-DHC-profiel	15	1.16	96
Westland-H-profiel	1	0.87	35
Westland-HC-profiel	1	0.87	66

De resultaten zijn in figuur 3.2 weergegeven. In die figuur zijn duidelijk gebieden te onderscheiden waar wateraanvoer alleen maar zinvol is als de slootafstand gering. Dit zijn met name de laagveengebieden en de beekdalen. In het zandgebied buiten de beekdalen is de kritieke L-afstand veel groter. In de hydrotypenkaart zijn de hoogveengebieden niet als aparte eenheid onderscheiden. Het is echter bekend dat het hoogveenpakket, en met name de onderste (gliede)laag, een aanzienlijke verticale weerstand heeft anders kunnen hoogvenen hydrologisch niet bestaan. Bij de berekening van de L-afstand is deze weerstand dus niet meegenomen zodat de resultaten hiervoor niet van toepassing zijn. Overigens is wateraanvoer naar hoogveengebieden geen te overwegen maatregel.

#### 4.2 Discussie

De vraag onder welke hydrologische omstandigheden onomkeerbare schade aan terrestrische natuur door te droge omstandigheden optreedt is niet goed te beantwoorden. Nog moeilijker is het om aan te geven of wateraanvoer onomkeerbare schade kan voorkomen. In deze notitie is een methode uitgewerkt die aan deze kennishiaten voorbij gaat en uitgaat van 'harde' getallen voor maximale toegestane

uitdroging en daarbij behorende capillaire opstijging die door wateraanvoer in stand moet kunnen worden gehouden. Experimentele verificatie ontbreekt en dus is de methode te kenschetsen als intuïtief en kwalitatief. De kwalitatieve aard van de methode en de gebruikte schematisatie per hydrotype geeft wel een goed kwalitatief weer in welke landsdelen (gebiedstypen) wateraanvoer zinvol kan zijn (vooral ook waar het niet zinvol is). Een verbetering is mogelijk door gebruik te maken van meer gedetailleerde gegevens van met name de bodemopbouw voor berekening van de kritieke z-afstand. Het is echter de vraag of daarmee de methode zijn doel niet voorbij schiet. Een zinvolle uitbreiding is de confrontatie van de kritieke L-afstand met de ruimtelijke te differentiëren afstand van in droge perioden van water te voorziene waterlopen. Deze actie resulteert in een kaart met onderscheid in het wel en niet bereiken van de kritieke L-afstand.