
Gereguleerde ontwateringssystemen als middel tegen verdroging bij ontwatering van stedelijk gebied

S. van der Schaaf

Samenvatting

Bestrijding van grondwateroverlast in stedelijk gebied vindt in veel gevallen plaats door middel van ontwatering en daarmee gepaard gaande verlaging van de grondwaterspiegel. Dit laatste is ongewenst met het oog op de bijdrage aan verdroging. Men zal daarom een ontwateringssysteem bij voorkeur zo ontwerpen, dat aan de ontwateringseisen die voortvloeien uit de bestemming van het gebied wordt voldaan, zonder dat meer water wordt afgevoerd dan strikt noodzakelijk is. Verhoging van de ontwateringsbasis is daarbij een voor de hand liggende mogelijkheid. Dit leidt behalve tot een hogere gemiddelde grondwaterstand echter ook tot verminderde (grondwater)berging en daardoor tot een toename van de vereiste ontwateringscapaciteit. In veel gevallen zal zo de afstand tussen de ontwateringsmiddelen onaanvaardbaar klein worden. Een alternatief is een automatisch gereguleerd ontwateringssysteem met diepe (tijdelijke) ontwateringsbasis, dat alleen werkt als er grondwater moet worden afgevoerd en zichzelf uitschakelt als dat niet nodig is.

1 Inleiding

Onder grondwateroverlast wordt in dit artikel verstaan overlast als gevolg van een (te) hoge grondwaterstand. Overlast als gevolg van een te lage waterstand blijft buiten beschouwing.

Grondwateroverlast in bebouwd gebied en de bestrijding, resp. het voorkomen ervan krijgen sinds de tweede helft van de jaren '80 aanzienlijk meer aandacht dan voordien. Tegelijkertijd is sinds diezelfde tijd het verschijnsel verdroging als probleem onderkend en in discussie gekomen.

Ontwateren is het meest gebruikte middel om grondwateroverlast tegen te gaan. Het leidt tot verlaging van de gemiddelde grondwaterstand in het betreffende gebied. Die verlaging blijft niet beperkt tot het ontwaterde gebied. Er zal een zekere uitstraling naar de omgeving optreden. De omvang hangt af van de mate van verlaging en van de geohydrologische omstandigheden ter plaatse. Het uitstralingseffect is een vorm van verdroging. Of en hoe verlaging van de gemiddelde grondwaterstand kan worden voorkomen of verminderd, hangt af van de lokale geohydrologische omstandigheden en de wijze van aanleg van het bebouwde gebied. In bestaand bebouwd gebied met grondwateroverlast zit er meestal weinig anders op dan ontwateren. Om verdrogingseffecten in de omgeving te voorkomen of tenminste te beperken, zal men streven naar het zo hoog mogelijk houden van de gemiddelde grondwaterstand in het bebouwde gebied.

Het heeft daarom zin, zich de vraag te stellen, hoe een ontwateringssysteem te ontwerpen, dat recht doet aan redelijke, op de gebruiksvorm van een gebied stoelende ontwateringseisen en toch verdroging zo min mogelijk in de hand werkt. In dit artikel wordt op deze problematiek ingegaan. Eerst wordt een overzicht gegeven van gebruikelijke ontwateringsnormen en wordt kort ingegaan op de achtergrond van normen t.a.v. woningen en wegen. Vervolgens worden principes uitgewerkt, waaraan waterbesparende ontwateringsystemen moeten voldoen en suggesties gedaan voor toepassing in de praktijk.

2 Ontwateringsnormen

Voor de ontwateringsdiepte van stedelijk gebied bestaan in Nederland geen officiële normen. Enkele de facto normen, ontleend aan Beenen (1992) zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: De facto ontwateringsnormen voor stedelijk gebied in Nederland

Gebruiksvorm	Ontwateringsdiepte in m -mv bij een afvoer van 5 mm/etmaal
Bouwwerken	0,70
Kabels, leidingen	0,60-1,00
Primaire wegen	1,00
Secundaire wegen	0,70
Industriegebieden	0,70
Tuinen, plantsoenen, parken	0,50

De norm voor wegen heeft te maken met de stabiliteit van de wegconstructie en het voorkomen van opdooijschade. Die voor bouwwerken is ontleend aan de gebruikelijke wijze van construeren van de kruipruimte. De onderkant van de kruipruimte ligt ca. 50–60 cm beneden maaiveld en de grondwaterstand dient ca. 10–20 cm beneden bodem kruipruimte te blijven. Als gevolg van capillaire opstijging is deze norm onvoldoende om vochtige kruipruimten te vermijden en zijn specifieke maatregelen in de kruipruimte gewenst (Geldof en Maljaars, 1992; Van der Schaaf, 1995). Kruipruimten zijn vanouds noodzakelijk als luchtspouw in gebouwen met houten balklagen en vloeren om houtrot te voorkomen. In betonbouw zijn ze overbodig (Wiggers, 1995), maar worden desondanks algemeen toegepast. Een middel om in nieuw aan te leggen stedelijk gebied grondwateroverlast te voorkomen is daarom het bouwen zonder kruipruimte. In dat geval zal ook de stabiliteit van wegconstructies bij ondiepe grondwaterstanden aan de orde zijn. Ophoging kan ook leiden tot aanzienlijke vermindering van af te voeren hoeveelheden grondwater (Van Bakel e.a., 1995).

3 Ontwateringssystemen

Een ontwateringssysteem heeft twee belangrijke eigenschappen: de hoogte van de ontwateringsbasis en de drainageweerstand. Voor definities wordt verwezen naar de Verklarende Hydrologische Woordenlijst (CHO-TNO, 1986). In vergelijkingsvorm luidt de definitie van de drainageweerstand:

$$C_d = \frac{m}{U} \quad (1)$$

waarin:

C_d	=	drainageweerstand [T]
m	=	opbolling van de grondwaterspiegel midden tussen de ontwateringsmiddelen of anders gezegd: de verticale afstand tussen ontwateringsbasis en grootste hoogte van de grondwaterspiegel [L]
U	=	specifieke afvoer [LT^{-1}]

De drainagevergelijking van Hooghoudt voor een situatie met evenwijdig verlopende ontwateringsmiddelen in zijn eenvoudigste vorm luidt:

$$U = \frac{8kdm}{L^2} \quad (2)$$

waarin:

L	=	afstand tussen de ontwateringsmiddelen [L] (meestal in meters)
k	=	doorlatendheid [LT^{-1}] (meestal in m/d)
d	=	zgn. equivalente laagdikte [L] (meestal in meters). d is een functie van L , de effectieve drainstraal en de werkelijke laagdikte. Een analytische oplossing is beschreven door Van der Molen en Wesseling (1991).

Uit (1) en (2) volgt de betrekking voor de drainageweerstand

$$C_d = \frac{L^2}{8kd} \quad (3)$$

waaruit blijkt dat de drainageweerstand een functie is van de afstand tussen de ontwateringsmiddelen (of kortweg 'drainafstand'), dikte en doorlatendheid van het doorstroomde pakket en de effectieve straal van de ontwateringsmiddelen. Uit (1) en (2) volgt dat het drainage-criterium onveranderd blijft als een verminderde waarde van C_d wordt gecompenseerd door een evenredig kleinere waarde van m . Dat komt in de praktijk neer op verkleinen van de drainafstand bij verhoging van de ontwateringsbasis en gelijkblijvende specifieke afvoer U .

Een stationaire benadering als vergelijking (2) hoeft in principe geen onbetrouwbaarder resultaat op te leveren dan een niet-stationaire, omdat factoren die het niet-stationaire proces bepalen, zoals overschrijdingsfrequentie en -duur van neerslagintensiteiten en berging in het stationaire ontwateringscriterium 'ingebakken' (behoren te) zijn. We zullen ons hier beperken tot stationaire berekeningen. Wel wordt het ontwateringscriterium aan een kritische beschouwing onderworpen.

4 Hoogte van de ontwateringsbasis, drainafstand en afvoercriterium

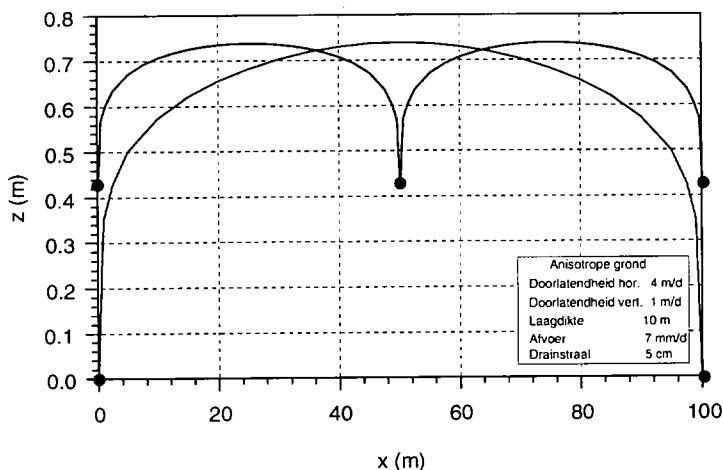
De hoogte van de ontwateringsbasis is het niveau, tot waar uiteindelijk de grondwaterspiegel uitzakt in een neerslagvrije periode als verliezen als gevolg van capillaire opstijging en eventuele regionale stroming worden verwaarloosd. Hoe dieper de ontwateringsbasis, des te dieper zakt ook de grondwaterspiegel uit en des te lager is de gemiddelde grondwaterstand in het ontwaterde gebied. Verminderen van de diepte van de ontwateringsbasis leidt tot het omgekeerde: een verminderde afvoer van grondwater uit de omgeving en dus tot een verminderde bijdrage aan de verdroging.

Een ideaal ontwateringssysteem dat minimale verdroging veroorzaakt, heeft de eigenschappen:

- a. een ontwateringsbasis, gelijk aan de hoogst toelaatbaar geachte grondwaterstand;
- b. een drainageweerstand gelijk aan 0.

Dergelijke ontwateringssysteem zijn niet te realiseren, maar wel te benaderen. De benodigde diepte van de ontwateringsbasis kan het eenvoudigst worden verminderd door verkleining van de afstand tussen de ontwateringsmiddelen. In landbouwgebied kan dat —zolang wortelingroei geen problemen veroorzaakt— een zinvolle optie zijn. In stedelijk gebied zal het werken met kleine drainafstanden in veel gevallen op ruimtelijke problemen stuiten. Daarvoor worden verderop in dit artikel oplossingsmogelijkheden aangegeven.

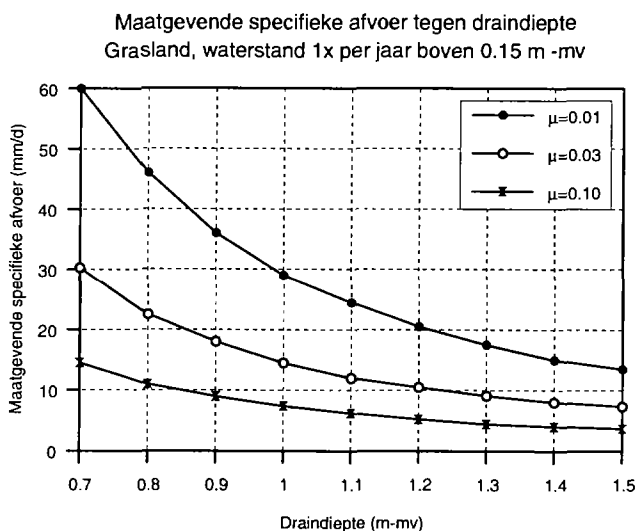
Ter illustratie dient figuur 1. De figuur geeft een verticale doorsnede met verloop van de grondwaterspiegel door een stelsel van evenwijdige ronde drains met een effectieve straal van 5 cm in een anisotrope grond met een horizontale doorlatendheid van 4 m/d, een verticale doorlatendheid van 1 m/d en een laagdikte van 10 m bij een specifieke afvoer van 7 mm/d. Dit is een niet ongebruikelijke situatie in een pakket dekzand in Nederlandse zandgebieden. De anisotropie is gebaseerd op de gelaagdheid in zo'n pakket en is vermoedelijk eerder onder- dan overschat. De waterspiegels zijn berekend met een eenvoudig eindig differentiemodel in spreadsheet.



Figuur 1: Verandering van de hoogte van de ontwateringsbasis bij halvering van de drainafstand en gelijkblijvend ontwateringscriterium

Uit de figuur blijkt, dat in het gegeven geval halvering van de drainafstand ruimte biedt tot het verhogen van de ontwateringsbasis met ruim 0,40 m bij gelijke ontwateringsdiepte en maatgevende specifieke afvoer. Zoals hiervoor is opgemerkt, is die maatgevende specifieke afvoer onder andere een functie van de berging van water in het systeem. Hoe kleiner de berging, des te meer water moet bij overigens gelijkblijvende omstandigheden per eenheid van tijd kunnen worden afgevoerd. Met andere woorden: een kleinere berging leidt tot een hogere maatgevende specifieke afvoer en omgekeerd.

In het voorbeeld van figuur 1 is de berging ongeveer gelijk aan de ruimte tussen het vlak van de drains en de grondwaterspiegel bij maximale opbolling, vermenigvuldigd met de bergingscoëfficiënt. Bij een bergingscoëfficiënt van 0,1 en een drainafstand van 100 m kan dus circa 65 mm worden geborgen, bij een drainafstand van 50 m nog maar circa 25 mm. De consequentie hiervan is dat bij verhoging van de ontwateringsbasis en gelijkblijvende eisen t.a.v. de ontwateringsdiepte de maatgevende specifieke afvoer groter moet worden. Dit principe is eerder uitgewerkt door Wesseling (1969), echter om aan te tonen dat bij diepere drainage de maatgevende specifieke afvoer kan worden verlaagd. Hoewel met de tijden de inzichten blijken te veranderen, blijft het basisprincipe van de redenering van Wesseling onaangetast. Uit de door hem gepresenteerde gegevens is de grafiek van figuur 2 samengesteld.



Figuur 2: Maatgevende specifieke afvoer tegen ontwateringsdiepte voor grasland bij drie bergingscoëfficiënten (gegevens uit Wesseling, 1969)

Voor een stadsdrainage met een ontwateringsbasis op 1,50 m -mv, een toegestane overschrijding van een grondwaterstand van 0,70 m -mv met 1 dag per jaar en een bergingscoëfficiënt van 0,05, wordt een maatgevende specifieke afvoer van circa 12 mm/d afgelezen. Bij een effectief percentage verhard oppervlak van 40 is dat nog ruim 7 mm/d. Als tevens rekening wordt gehouden met enige berging in de onverzadigde zone, lijkt de in de praktijk niet incurante waarde van 5 mm/d zo gek nog niet. Bij systemen met een ontwateringsbasis van 1,25 m -mv is in dezelfde situatie echter al de dubbele afvoercapaciteit nodig. Dat betekent dat het ondiepe systeem met gehalveerde drainafstand in figuur 1 geen volwaardige vervanger is voor het diepe systeem.

Hier doet zich een ogenschijnlijke paradox voor: het beperken van verdroging door aanpassing van drainage vergt een (aanzienlijk) hogere afvoercapaciteit dan tot nog toe gebruikelijk was. Dit maakt zuinig zijn met grondwater in de drainagetechniek er niet eenvoudiger op. Men zal zich bij het milieuvriendelijk ontwateren dan ook in sommige gevallen moeten bedienen van minder gebruikelijke middelen.

5 Ontwateringsmiddelen en hun mogelijkheden

5.1 Open water

Ontwatering door middel van open water is in stedelijk gebied vrij gebruikelijk. Korte afstanden tussen ontwateringsmiddelen (bijvoorbeeld 50 m of minder) ter verhoging van de maatgevende specifieke afvoer zijn in de praktijk echter zelden of nooit te realiseren, zodat men al gauw is aangewezen op het minder wenselijke verlagen van de ontwateringsbasis. Aanpassing van het peil aan de situatie (laag in natte en hoog in droge perioden) is in theorie mogelijk, maar in de praktijk lastig uitvoerbaar en kan conflicten geven met andere functies van open water in de stad. Open water zal dus in de meeste gevallen geen bruikbare oplossing geven.

5.2 Horizontale buisdrainage

Horizontale buisdrainage wordt in een aantal varianten (bv. cunetdrainage, kruiselingse drainage, ringdrainage om woonblokken) toegepast bij de ontwatering van stedelijk gebied. Aan dit type drainage kleven de volgende bezwaren:

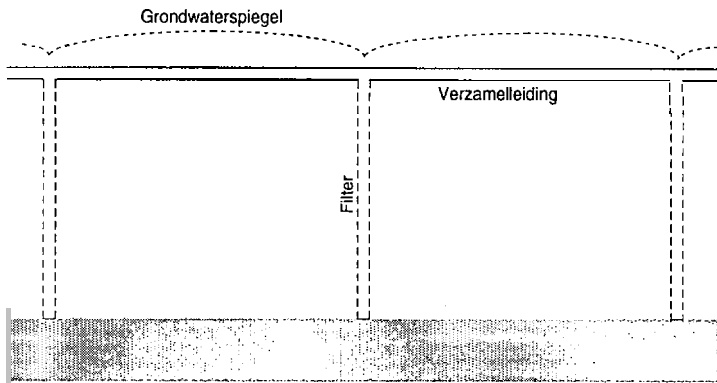
- a Doordat inzamelings- en transportfunctie in één enkele buis zijn geïntegreerd, kan inslibben leiden tot bemoeilijken of blokkeren van de afvoer door een deel van de drain. Ervaringen in gebieden met een fijnzandige bodem zijn in dit opzicht ongunstig (Van der Schaaf en De Vries, 1991).
- b De radiale toestroming naar de drain kan een steil verloop van de grondwaterspiegel bij de drain tot gevolg hebben, waardoor de grondwaterstand op enkele m van de drain al bijna op het niveau van de maximale opbolling ligt. In figuur 1. is dit duidelijk te zien. Naarmate grotere draindiameters worden toegepast, wordt dit effect minder.

Ook het toepassen van kleine afstanden tussen buisdrains in stedelijk gebied stuit in veel gevallen op ruimtelijke problemen. Zeker in bestaand gebied is het niet altijd even eenvoudig of zelfs onmogelijk, om zonder veel overlast en kosten een systeem met kleine drainafstanden aan te leggen. Bovendien kunnen bij ondiepe drainage, als de buizen meer of minder veelvuldig boven de grondwaterspiegel komen te liggen, gemakkelijk problemen met wortelingroei ontstaan.

5.3 Verticale bronnering

Verticale bronnering wordt weinig toegepast. Een van de oudste aan deze auteur bekende verticale systemen is gerealiseerd in het dorp Ederveen rond 1986.

Een verticaal systeem zal men bij voorkeur opzetten met gescheiden inzamel- en transportfunctie: verticale filters voor de inzameling en een horizontale koppelleiding, uitgevoerd als 'blinde' buis voor het transport (figuur 3). Dat vermindert de kwetsbaarheid. Eventueel ingeslibd zand bezinkt in de filters en heeft zo geen invloed op de transportfunctie. Als de filters worden uitgevoerd met een onderhoudsput in de straat, kan eventueel be-



Figuur 3: Streng filters met verzamelleiding in een verticale bronnering

zonken materiaal zonder veel problemen worden verwijderd. Een blinde verzamelleiding beperkt ook het risico van wortelingroei.

De oorzaak, dat verticale bronnering vooral bij dikke te draineren pakketten effectiever is dan horizontale drainage, ligt in het feit dat men bij verticale drainage in beginsel zal uitgaan van volkomen putten, terwijl bij horizontale drainage het systeem in het bovenste deel van het pakket is geconcentreerd. Omdat de toestroming naar de verticale filters in beginsel horizontaal is, zal eventuele anisotropie als gevolg van horizontale gelaagdheid van het te draineren pakket een geringere rol spelen dan bij horizontale systemen. Omdat de wijze van berekenen van de opbolling bij verticale systemen weinig bekend is, wordt deze hieronder gegeven. De procedure voor lange evenwijdige strengen, bij voorkeur met een kleinere afstand (factor 2 of meer) tussen de filters dan tussen de strengen is:

- Bereken de opbolling tussen naburige filters in de streng;
- Bereken de opbolling tussen twee naburige strengen;
- Tel beide op (daarmee wordt er stilzwijgend vanuit gegaan dat de gemiddelde hoogte van de grondwaterspiegel in de streng gelijk is aan de maximale, wat een zekere veiligheidsmarge impliceert).

De opbolling in de streng wordt gevonden via (Edelman, 1983):

$$h_m - h_f = \frac{Q \ln \frac{L_f}{\pi r_f}}{2\pi kD} \quad (4)$$

waar:

- | | | |
|-------|---|---|
| h_m | = | hoogte van de waterspiegel in de streng, midden tussen twee filters [L] |
| h_f | = | stijghoogte in de filters [L] |
| Q | = | filterdebiet [L^3T^{-1}] |
| L_f | = | afstand tussen de filters in de streng [L] |
| r_f | = | filterstraal [L] |
| kD | = | doorlaatvermogen [LT^{-2}] |

De opbolling tussen de strengen wordt bepaald met de vergelijking:

$$m_s \approx \frac{UL_s^2}{8k_h D} \quad (5)$$

waarin:

m_s	=	opbolling tussen de strengen [L]
U	=	maatgevende specifieke afvoer [LT^{-1}]
L_s	=	afstand tussen opeenvolgende evenwijdige strengen
D	=	werkelijke laagdikte [L]

Vergelijking (5) houdt geen rekening met de verticale stromingscomponent die echter bij infiltratie vanaf het maaiveld wel degelijk optreedt. Ze treedt i.t.t. de situatie bij horizontale drainage niet op bij de stroming naar het filter. Een correctie kan gebaseerd zijn op de gedachte dat de afgelegde verticale afstand gemiddeld ongeveer $1/2 D$ bedraagt. De gecorrigeerde vergelijking (5) luidt dan:

$$m_s \approx \frac{UL_s^2}{8k_h D} + \frac{UD}{2k_v} \quad (6)$$

waarin:

k_h	=	doorlatendheid in horizontale richting
k_v	=	doorlatendheid in verticale richting

De totale opbolling t.o.v. de stijghoogte in de verticale filters is nu te berekenen door optellen van de rechterleden van (4) en (6). Omdat Q in (4) het product is van U , L_f en L_s , is het resultaat

$$m = U \left(\frac{L_s^2}{8k_h D} + \frac{L_f L_s \ln \frac{L_f}{\pi r_f}}{2\pi k_h D} + \frac{D}{2k_v} \right) \quad (7)$$

waar:

m	=	totale opbolling [L]
-----	---	----------------------

Tabel 2 geeft een vergelijking van berekende opbollingen bij verticale en horizontale systemen.

Tabel 2: Opbollingen in m voor verschillende drain-, streng- en filterafstanden en verschillende profieldikten bij horizontale en verticale drainage. Verticale doorlatendheid: 1 m/d; horizontale doorlatendheid 4 m/d. Maatgevende specifieke afvoer: 7 mm/d. Diameter van horizontale en verticale drains: 15 cm. Rijen voor horizontale drainage met grijze achtergrond, berekend met volledige formule van Hooghoudt (Van der Molen en Wesseling, 1991). De totale opbolling voor de verticale bronnering is berekend met vergelijking (4) en een numeriek model voor de stroming tussen de strengen en met vergelijking (7).

	Laagdikte (m)	10	15	20	25
Horizontaal, $L=100$ m		0,68	0,65	0,64	0,64
Verticaal, $L_s=100$ m, $L_f=20$ m (numeriek+(4))		0,55	0,38	0,30	0,27
Verticaal, $L_s=100$ m, $L_f=20$ m (vergelijking (7))		0,50	0,36	0,30	0,27
Verticaal, $L_s=100$ m, $L_f=30$ m (numeriek+(4))		0,73	0,50	0,39	0,33
Verticaal, $L_s=100$ m, $L_f=30$ m (vergelijking (7))		0,66	0,47	0,38	0,34
Horizontaal, $L=200$ m		1,79	1,59	1,50	1,47
Verticaal, $L_s=200$ m, $L_f=20$ m (numeriek+(4))		1,49	1,01	0,77	0,64
Verticaal, $L_s=100$ m, $L_f=20$ m (vergelijking (7))		1,40	0,97	0,75	0,64
Verticaal, $L_s=100$ m, $L_f=30$ m (numeriek+(4))		1,82	1,23	0,94	0,78
Verticaal, $L_s=100$ m, $L_f=30$ m (vergelijking (7))		1,72	1,18	0,91	0,76

Uit Tabel 2 blijkt, dat vergelijking (7) een wat lagere opbolling berekent dan het numerieke model. Het verschil verdwijnt nagenoeg bij grotere laagdikten.

In vergelijking met horizontale drainage geeft de verticale bronnering vooral bij grotere laagdikten een kleinere opbolling. Toepassing van verticale bronnering kan dus vooral bij ontwatering van dikke pakketten leiden tot grotere strengafstanden dan bij horizontale drainage. Het verschil is echter niet van dien aard, dat daarmee alle met ontwateren samenhangende ruimtelijke problemen in stedelijk gebied zijn op te lossen. Dat komt mede door het probleem van de toegenomen benodigde ontwateringscapaciteit bij verminderde diepte van de ontwateringsbasis.

6 Vrij uitlopende en gereguleerde systemen

In het voorgaande is uitgegaan van systemen met vrije uitloop, waarvan de ontwateringsbasis bij horizontale drainage op de zelfde hoogte lag als het vlak van de drains en bij verticale bronnering gelijk was aan de stijghoogte in de verticale filters. Zoals gezegd is het hoofdprobleem met dergelijke systemen dat de grondwaterspiegel in vrij korte tijd praktisch gesproken uitzakt tot het niveau van de ontwateringsbasis, waardoor meer water wordt afgevoerd dan nodig is om het grondwater niet hoger te laten stijgen dan het hoogste aanvaardbaar geachte niveau. Uit het voorgaande is gebleken dat verhoging van de ontwateringsbasis weliswaar dat probleem voor een deel oplost, maar een nieuw probleem schept in de vorm van (te) kleine afstanden tussen ontwateringsmiddelen.

Een mogelijke oplossing is reguleren van het systeem. Reguleren omvat het laten functioneren van het systeem als het nodig is en het stilleggen als de grondwaterstand laag ge-

noeg is om ontwatering achterwege te kunnen laten. Een poldergemaal functioneert altijd zo. Er is geen enkele reden, waarom dat bij ontwatering niet zou kunnen. Met de huidige regeltechnologie is het mogelijk, zo'n systeem volledig te automatiseren. De ontwateringsbasis mag diep zijn, omdat het systeem wordt uitgeschakeld, zodra een zekere grondwaterstand wordt overschreden. Laatstgenoemde grondwaterstand kan worden gezien als de effectieve ontwateringsbasis. Na uitschakeling is er geen ontwateringsbasis meer en blijft verdere uitzakking achterwege. Het combineren van een diepe tijdelijke ontwateringsbasis en een forse maatgevende specifieke afvoer is dan geen probleem.

Het principe is als volgt:

- a maak een drainagesysteem met een diepe ontwateringsbasis, bijvoorbeeld 2 of 2,50 m onder maaiveld;
- b zorg dat de uitloop via een regelbaar systeem verloopt, bijvoorbeeld een pomp of een schuif;
- c volg de grondwaterstand op een aantal plaatsen in het te ontwateren gebied met behulp van sensoren, bijvoorbeeld enkele peilbuizen met vlotter en een betrouwbare set schakelaars;
- d schakel de afvoer in op het moment dat een bepaalde grondwaterstand wordt bereikt, c.q. overschreden;
- e schakel het systeem uit zodra diezelfde stand in voldoende mate wordt overschreden.

Open water is voor toepassing in gereguleerde systemen weinig geschikt door de te verwachten grote peilschommelingen. Samengestelde horizontale drainage is een reële optie, mits de buizen voldoende diep worden gelegd en voorzieningen worden getroffen om inslibbing te voorkomen. In situaties met watervoerende pakketten van zo'n 10 m dikte of meer valt verticale bronnering te overwegen. Uit een oogpunt van onderhoud en duurzaamheid valt ook in andere gevallen wellicht aan verticale bronnering te denken.

Het is bij gereguleerde ontwatering nadrukkelijk niet zo, dat de maatgevende specifieke afvoer die 'hoort' bij de tijdelijke ontwateringsbasis, als uitgangspunt mag worden genomen. Immers, de berging in een dergelijk stelsel is in feite niet meer dan de ruimte tussen het peil, waarop het systeem wordt ingeschakeld en dat, waarbij het wordt uitgeschakeld. Mocht deze ruimte te klein blijken, dan kan een gereguleerd systeem altijd zo worden ingereld, dat er wat meer berging ontstaat. Dat kost uiteraard wel een wat diepere gemiddelde grondwaterstand en dus grondwater.

Een gereguleerd systeem met verticale filters wordt momenteel gerealiseerd in het dorp Harskamp in de gemeente Ede.

7 Conclusies

Omdat ontwatering van stedelijk gebied bijdraagt aan verdroging in het omringende gebied, is het aan te bevelen, ontwateringssystemen zodanig te dimensioneren dat zo min mogelijk water wordt afgevoerd. Als dat niet kan door gebouwen, bestratingen e.d. aan te passen aan een hogere grondwaterstand, dan zal in elk geval de gemiddelde grondwaterstand zo hoog mogelijk moeten worden gehouden. Het voor de hand liggende middel is het verhogen van de ontwateringsbasis. Als gevolg van verminderde berging van neerslag in de grond kan dit echter tot een aanzienlijke verhoging van de ontwerp-afvoer leiden. Het verhogen van de ontwateringsbasis leidt door zowel de kleinere toelaatbare opbolling als de verhoogde ontwerpafvoer tot een aanzienlijke vermindering van de afstand tussen ontwa-

teringsmiddelen. Verwacht mag worden, dat dit in de meeste stedelijke gebieden tot problemen leidt.

Als men bij ontwatering zo min mogelijk water wil afvoeren, komt het concept van het automatisch gereguleerde ontwateringssysteem nadrukkelijk in beeld. Daarbij is het niveau van de ontwateringsbasis onbelangrijk geworden omdat het systeem alleen werkt op momenten dat het in verband met het voorkomen van grondwateroverlast daadwerkelijk nodig is, water af te voeren. Wel zal men rekening moeten houden met de (geringe) berging die ligt tussen de grondwaterstanden waarbij het systeem zichzelf in-, respectievelijk uitschakelt. Inregelen kan door laatstgenoemd niveau te variëren. Hierbij blijft het principe van kracht, dat de vereiste afvoercapaciteit groter wordt, naarmate men zuiniger met grondwater wil omspringen.

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, A.J. de Braal, G.D. Geldof, D.J. Marsman, L.M. Remesal van Merode en J. Luijendijk (1995) Verstedelijking en Verdroging; NOV-rapport 4; RIZA, Lelystad.
- Beenen, A.S. (1992) Grondwaterproblemen in de woonomgeving: oorzaken en oplossingen; Technische Universiteit Delft, vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing; Wetenschapswinkel.
- CHO-TNO (1986) Verklarende hydrologische woordenlijst; Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Rapporten en nota's 16.
- Edelman, J.H. (1983²) Groundwater hydraulics of extensive aquifers; Bulletin 13, ILRI, Wageningen.
- Geldof, G.D. en S. Maljaars (1992) Maatregelen tegen grondwateroverlast; Tauw Infraconsult, Deventer.
- Molen, W.H. van der and J. Wesseling (1991) A solution in closed form and a series solution to replace the tables for the thickness of the equivalent layer in Hooghoudt's drain spacing formula; in: *Agric. Water Manag.* 19, pag 1-16.
- Schaaf, S. van der (1995) Grondwater en Drainage. Cursus 'Milieuvriendelijke oplossingen voor ont- en afwatering van stedelijke gebieden'; Stichting Postacademisch Onderwijs Gezondheidstechniek en Milieutechniek, Delft.
- Schaaf, S. van der en C.J. de Vries (1991) Integraal Waterbeheer Ede. Deelrapport Ontwatering; Rapport 13; Vakgroep, Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica, Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Wesseling, J. (1969) Bergingsfactor en drainagecriterium; Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Mededelingen 118.
- Wiggers, J.B.M., (1995) Nieuwbouwwijk Doesburg – Ede. Voorbeeld van een niet traditionele aanpak van de ont- en afwatering; Cursus 'Milieuvriendelijke oplossingen voor ont- en afwatering van stedelijke gebieden'; Stichting Postacademisch Onderwijs Gezondheidstechniek en Milieutechniek, Delft.

S. van der Schaaf: Landbouwuniversiteit
 Vakgroep Waterhuishouding
 Nieuwe Kanaal 11
 6709PA Wageningen