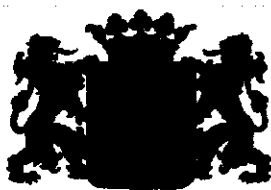


# Herstel van het watersysteem in het bebouwde gebied van Wageningen

## Haalbaarheidsonderzoek

S. van der Schaaf en P.M.M. Warmerdam



GEMEENTE WAGENINGEN

**WATER** SCHAP  
*Vallei&em*



### Rapport 94

Sectie Waterhuishouding  
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen

ISSN 0926-230X

978029

## VOORWOORD

Het in dit rapport beschreven onderzoek is tot stand gekomen op initiatief van de gemeente Wageningen. De aanleiding werd gevormd door het collegeprogramma 1998-2002, het meerjarenbeleidsplan 1999-2002, waarin een duurzame integrale ontwikkeling van het stedelijk water ruime aandacht heeft gekregen. Bovendien beijvert het Bewonersplatform Rooseveltweg zich voor kwaliteitsverbetering van de woon- en leefomgeving van de Rooseveltweg. Daarbij spelen ook ideeën over een waterloop langs de Rooseveltweg een rol. Het platform wist in het najaar van 1999 zelfs een subsidie uit het fonds voor voorbeeldprojecten van VROM in de wacht te slepen.

Op 10 augustus 1999 is een eerste oriënterende bespreking gehouden van vertegenwoordigers van de gemeente met de auteurs. Op 30 augustus en 6 september zijn de besprekingen voortgezet. Daarbij waren ook vertegenwoordigers van Waterschap Vallei & Eem en de provincie Gelderland aanwezig. Op 30 september 1999 werd door de gemeente Wageningen aan WU per brief 99/12802/Opb opdracht gegeven tot het uitvoeren van het onderzoek.

Voor het onderzoek werd een begeleidingscommissie ingesteld die bestond uit de heren G.C. Kwint (gemeente Wageningen), C.S.J. Paauwe (Waterschap Vallei & Eem) en H.J. Pennekamp (provincie Gelderland). In een later stadium werden daaraan toegevoegd de heer D. van Dam (Waterschap Vallei en Eem) en mevrouw B. Scheffer (provincie Gelderland).

De commissie kwam na de start van het project vier keer bijeen in verschillende voortgangsstadia van het onderzoek en de rapportage. Twee keer werd een schriftelijke commentaarronde gehouden. Tijdens de voortgang van het onderzoek kon worden gebruik gemaakt van gegevens van de gemeente Wageningen, NUON-Water, de provincie Gelderland, Waterschap Vallei & Eem en WU, Dept. Omgevingswetenschappen, Sectie Waterhuishouding.

De auteurs danken de leden van de begeleidingscommissie voor hun constructieve opmerkingen, de vele informatie die door hen uit verschillende bronnen werd opgediept en de uitstekende sfeer bij de besprekingen.

Wageningen, 17 februari 2000.

# INHOUDSOPGAVE

<b>1. INLEIDING</b> .....	<b>1</b>
1.1. PROBLEEMSTELLING .....	1
1.2. ONDERZOEKSVRAGEN .....	2
<b>2. GEBIEDSBESCHRIJVING</b> .....	<b>3</b>
2.1. GEOLOGISCHE OPBOUW; WATERVOERENDE EN SCHEIDENDE LAGEN .....	3
2.2. GRONDWATERSTROMING .....	4
2.3. DE WATERSTAATKUNDIGE SITUATIE VAN DE STADSGRACHT .....	5
2.4. GRONDWATERSTANDEN EN BODEMGESTELDHEID .....	7
<b>3. STREEFBEELD OP LANGERE TERMIJN</b> .....	<b>9</b>
<b>4. WATERBEHOEFTE</b> .....	<b>10</b>
4.1. INLEIDING.....	10
4.2. VERLIEZEN NAAR HET GRONDWATER: METINGEN AAN DE STADSGRACHT .....	10
4.3. VERLIEZEN NAAR HET GRONDWATER: GRONDWATERSTANDEN .....	12
4.4. VERLIEZEN NAAR NEDERRIJN EN HAVENKOM BIJ EEN SCHONE GRACHTBODEM .....	16
4.5. DOORSPOELING VAN DE GRACHT .....	17
4.6. TOTALEN .....	18
<b>5. BESCHIKBARE HOEVEELHEDEN WATER</b> .....	<b>19</b>
5.1. INLEIDING.....	19
5.2. KWELWATER UIT DE BOVENDIJKGRAAFSE LANDEN .....	19
5.3. EFFLUENT VAN DE RWZI BENNEKOM.....	24
5.4. AANVOER VAN WATER DOOR HET AFKOPPELEN VAN NEERSLAG VAN DE RIOLERING. ....	26
5.4.1. Redenen voor de verwerking van hemelwater buiten de riolering .....	26
5.4.2. Directe lozing op open water .....	27
5.4.3. Infiltratie.....	27
5.4.4. Hoeveelheden.....	28
5.5. KWEL IN HET TRACÉ VAN DE BOVENDIJKGRAAFSE LANDEN NAAR DE STADSGRACHT .....	30
5.6. DE TOTAAL BESCHIKBARE HOEVEELHEID WATER.....	31
<b>6. KNELPUNTEN OP DE WEG NAAR HET STREEFBEELD</b> .....	<b>33</b>
<b>7. OPLOSSINGSRICHTINGEN</b> .....	<b>34</b>
<b>8. CONCLUSIES</b> .....	<b>36</b>
<b>9. LITERATUUR</b> .....	<b>38</b>
<b>10. WOORDENLIJST</b> .....	<b>39</b>

# 1. INLEIDING

## 1.1. PROBLEEMSTELLING

In het meerjarenbeleidsplan 1999-2002 van de gemeente Wageningen is ruime aandacht besteed aan een duurzame, integrale ontwikkeling van het stedelijk water. De watervoorziening van de stadsgracht neemt hierbij een centrale positie in. Op de gracht wordt momenteel op een zestal punten rioolwater overgestort als de berging en de afvoercapaciteit van de riolering ontoereikend zijn om grote neerslaghoeveelheden te verwerken. Bovendien heeft zich in de loop van een aantal jaren op de bodem een laag slib en rot-tend blad gevormd. Met betrekking tot de gracht kan dus niet worden gesproken van een gezond aquatisch ecosysteem.

Het streefpeil van de gracht is NAP+7.15 meter. Dat peil blijft niet vanzelf in stand. Tot voor kort werd daarvoor gebruik gemaakt van enkele bronnen waaruit grondwater werd opgepompt. Als gevolg van het beleid van de provincie Gelderland dat gericht is op terugdringing van het verbruik van grondwater is deze onttrekking enkele jaren geleden gestopt. Momenteel wordt de gracht op peil gehouden met water dat wordt opgepompt uit het Nieuwe Kanaal. Dit is bedoeld als een tijdelijke maatregel. Op termijn wordt gezocht naar een duurzame en minder kunstmatige oplossing waarvan een betere waterkwaliteit en een verhoogde visuele aantrekkelijkheid van de gracht belangrijke onderdelen zijn. Bovendien wordt een doorstroming gewenst naar bestaande en toekomstige waterpartijen in het westelijk en noordwestelijk deel van de stad. Op die manier kan een efficiënt gebruik van water in het openbaar groen van de stad worden gerealiseerd.

Bij hoge neerslagen stort een deel van de Wageningse riolering over op de gracht. Deze situatie spoort niet met de wens tot ecologisch gezond open water in de stad. Er ligt dus een relatie tussen de riolering en het onderwerp van dit rapport. Behalve de wens tot verbetering van de waterhuishouding en de ecologische kwaliteit van de stadsgracht is er de wettelijke verplichting om in 2005 te hebben voldaan aan de basisinspanning met betrekking tot het rioleringsysteem, omschreven in aanbevelingen van de CUWVO (Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren). De achterliggende gedachte is het beperken van de vuiluitworp van de riolering op het open water door het beperken van overstortingsfrequenties en -hoeveelheden. De basisinspanning verschilt voor gemengde en gescheiden stelsels. Deze basisinspanning houdt voor gemengde rioolstelsels in

- Een bergingscapaciteit van 7 mm
- Een pompoevercapaciteit van 0.7 mm per uur
- 2 mm aanvullende berging in bergbezinkbassins

De gemeente Wageningen voldoet op dit ogenblik nog niet aan deze norm (informatie Gemeentelijk Rioleringsplan). De basisinspanning kan op verschillende manieren worden gerealiseerd omdat alleen het einddoel wordt voorgeschreven, niet de middelen. Eén van de mogelijkheden is afkoppeling van verhard oppervlak van de riolering. Daarbij wordt hemelwater dat op het verhard oppervlak terechtkomt niet in, maar buiten de riolering geborgen, c.q. afgevoerd. In feite neemt hierdoor de bergings-, resp. afvoercapaciteit toe en wordt neerslagwater niet vervuild met afvalwater vóórdat het geloosd wordt.

## **1.2. ONDERZOEKSVRAGEN**

De uit de probleemstelling afgeleide vragen zijn

1. Welke streefbeelden behoren bij de stadsgracht?
2. Is er voldoende water om aan de in vraag 1 gestelde streefbeelden te voldoen?
3. Wat zijn de gevolgen van de onttrekking van het water uit de omgeving?
4. Op welke wijze(n) kan het water aangevoerd worden naar de stadsgracht?
5. Hoe ziet het technisch ontwerp er op hoofdlijnen uit en welke specifieke aandachtspunten zijn er?
6. Wat zijn de bijbehorende kosten van alle maatregelen?

Omdat de haalbaarheid van het project niet op voorhand zeker was, is besloten tot een gefaseerde aanpak. In de eerste fase komt de technische haalbaarheid aan de orde. Dit rapport heeft daarop betrekking. Het behandelt de vragen 1-4. Daarbij moet worden aangetekend dat een volledig antwoord op onderzoeksvraag 1 een beleidsdoelstelling is die door de beleidsbepalende instanties, momenteel de gemeente Wageningen en Waterschap Vallei en Eem, moet worden geformuleerd. Een haalbaarheidsonderzoek op de punten 2-4 kan echter essentiële informatie aandragen om tot een zinvolle nadere formulering van het antwoord op vraag 1 te komen.

Achtereenvolgens komen aan de orde:

1. Gebiedsbeschrijving
2. De waterbehoefte van de gracht
3. Beschikbare hoeveelheden water
4. Streefbeelden en oplossingsrichtingen
5. Conclusies en aanbevelingen

## 2. GEBIEDSBESCHRIJVING

### 2.1. GEOLOGISCHE OPBOUW; WATERVOERENDE EN SCHEIDENDE LAGEN

Het deel van Wageningen waarin open water voorkomt, ligt aan de voet van de stuwwal die loopt van de Wageningse Berg tot Lunteren. De stuwwal is ca. 150.000 jaar geleden in de voorlaatste ijstijd, het Saalien, gevormd door een uitloper van het Scandinavische landijs. Deze uitloper lag in de huidige Gelderse Vallei en stuwde de bovenste bodemlagen voorwaarts en zijdelings op. De Utrechtse Heuvelrug die eindigt in de Grebbeberg, markeert de westzijde van het zo gevormde bekken. De zuidelijke wal die de Grebbeberg en de Wageningse Berg verbond, is door erosie uit het landschap verdwenen. Onder de gevormde dalbodem is een ongeveer 80 m dik pakket overwegend grofzandig en dus goed doorlatend materiaal op zijn plaats gebleven. Daaronder ligt matig tot slecht doorlatend materiaal dat voor de grondwaterstroming van weinig belang is.

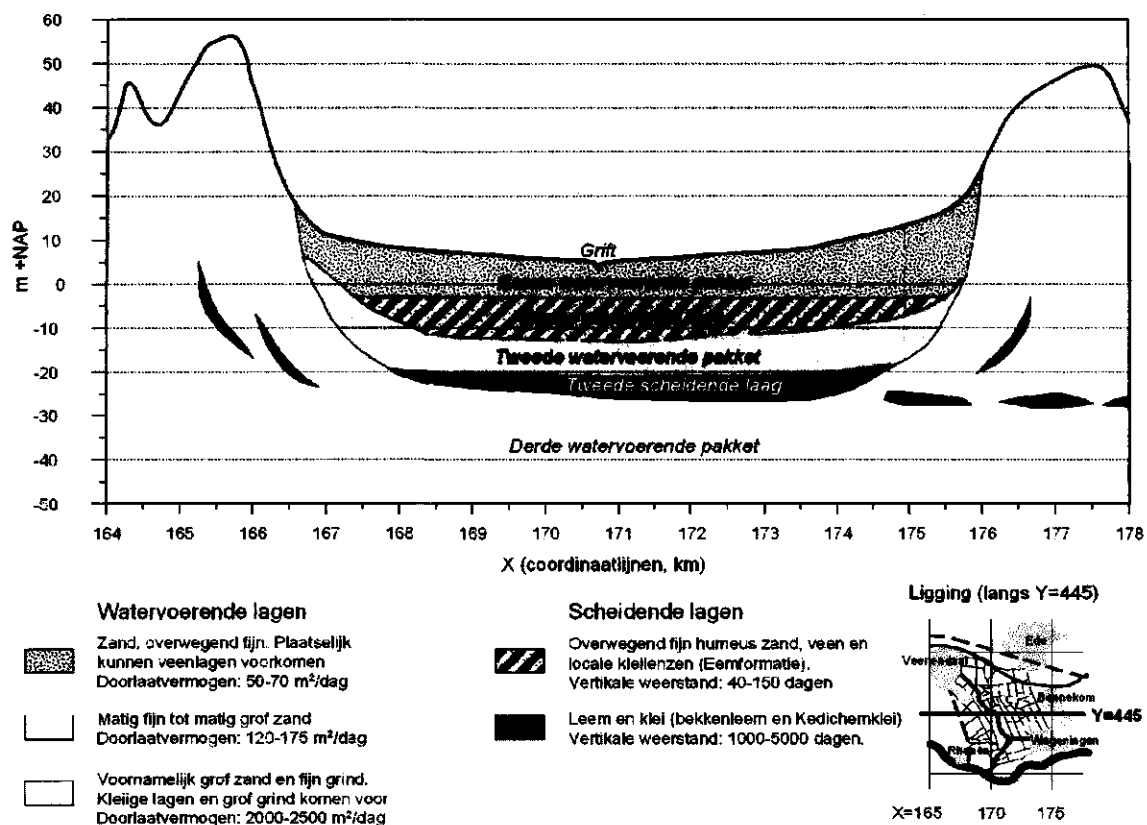


Fig. 1. Dwarsdoorsnede door de stuwwal Wageningen-Ede, het Binnenveld en de Utrechtse Heuvelrug langs de lijn Y=445 met watervoerende en scheidende lagen.

Het gevormde dal is in later tijd geleidelijk opgevuld. Het hierboven genoemde zandpakket en de dalopvulling bepalen in belangrijke mate de grondwaterstroming. Het gaat daarbij om de volgende lagen (van onder naar boven, zie ook Fig. 1)

- Het achtergebleven zandpakket van ca. 80 m dikte, hierna het *derde watervoerende pakket* te noemen. Aan de bovenzijde ligt plaatselijk een kleilaag tot enkele m dik.
- Een in een smeltwatermeer in het gletsjerdal gevormde tot ongeveer 5 m dikke leemafzetting die samen met de hiervoor genoemde klei een slecht doorlatend pakket, de *tweede scheidende laag* vormt.
- Een deels door smeltwater en deels door erosie van de stuwwal gevormd zandpakket van ongeveer 10 m dik, het *tweede watervoerende pakket*.

Ten noorden van een lijn tussen en ongeveer evenwijdig aan Nieuwe Kanaal en Haarweg die zich in de bebouwde kom van Wageningen voortzet in de richting van Veerstraat en Veerweg bestaat de verdere dalopvulling uit

- Een in een warmere periode gevormde vrij slecht doorlatende tot ca 7 m dikke laag van fijn humushoudend zand, veen en soms wat klei, de *eerste scheidende laag*.
- Een matig doorlatende laag van tamelijk fijn zand met wat veenlaagjes, het *eerste watervoerende pakket*.

Ten zuiden van de hiervoor genoemde lijn is in afwijking van Fig. 1 de eerste scheidende laag afwezig en bestaat het eerste watervoerende pakket uit overwegend vrij grof zand, waardoor het daar zeer goed doorlatend is. Voor uitvoeriger informatie wordt verwezen naar Verbraeck (1984).

## 2.2. GRONDWATERSTROMING

Ondanks 150 000 jaar erosie liggen de stuwwal en het erachter liggende gebied aanzienlijk hoger dan de Vallei. Het hoogste punt op de stuwwal Wageningen-Ede ligt iets boven NAP+50 m, het laagste punt in het Binnenveld rond NAP+5 m. In het hoge gebied infiltreert het neerslagoverschot vrijwel geheel in de grond. In het lage gebied wordt het relatief snel door een slotenstelsel afgevoerd. Daardoor heeft zich onder het hoge gebied een hoge grondwaterstand opgebouwd en is er een stroming van grondwater uit dit gebied naar de Vallei. Door verschillende oorzaken, zoals de drinkwaterwinningen van Wageningen en Ede, de industriële winningen van ENKA en Parenco, bebossing en geïntensiveerde ontwatering en afwatering in de Gelderse Vallei, is in de loop van de 20e eeuw de grondwaterstand onder het hoge gebied gedaald. Het hiervoor geschetste stromingsbeeld is desondanks nog aanwezig, maar de hoeveelheid naar de Vallei stromend water is afgenomen. Symptomen van deze afname zijn bijvoorbeeld het blijvend droogvallen van de Hoekelumse sprengen omstreeks 1920 en het sinds 1972 regelmatig droogvallen van de Renkumse beken die voordien permanent water voerden (Verweij, 1975).

De grondwaterstroming wordt beïnvloed door de hiervoor beschreven geologische opbouw. Omdat het doorlaatvermogen van het derde watervoerende pakket veruit het grootst is, stroomt ook het grootste deel van het van het hoge gebied afkomstige grond-

water via dit grove pakket. Naar schatting gaat het om ongeveer 90%, zodat maar ongeveer 10% via het eerste en tweede watervoerende pakket de Vallei instroomt.

In de Vallei leidt de relatief lage grondwaterspiegel tot een opwaartse stroming (kwel) vanuit het derde watervoerende pakket via het tweede naar het eerste. De intensiteit van deze stroming wordt beperkt door de twee scheidende lagen, vooral door de tweede.

De tweede scheidende laag komt echter in een zone tussen de Dijkgraaf en de stuwwal Wageningen-Ede niet overal voor. Waar de laag ontbreekt, treedt versterkte kwel op. Dit is bijvoorbeeld het geval in een groot deel van het sportcomplex De Bongerd. Deze kwel was de belangrijkste oorzaak van de voortdurende wateroverlast op de gemeentelijke hockeyvelden in de jaren '70. Deze werd pas beëindigd na ophogen met goed doorlatend zand.

Waar het eerste watervoerende pakket goed doorlatend is en aan de stuwwal grenst (na bij Veerstraat en Veerweg) stroomt een aanzienlijk groter deel van het grondwater via deze laag. De meeste kwel wordt hier echter opgevangen door de Nederrijn. Omdat de Wageningse stadsgracht in het gebied met een goed doorlatend eerste watervoerend pakket ligt en het peil gemiddeld ongeveer een meter boven dat van de Nederrijn ligt, verliest de stadsgracht water naar de rivier en de havenkom.

### **2.3. DE WATERSTAATKUNDIGE SITUATIE VAN DE STADSGRACHT**

Bekend is, dat de Wageningse stadsgracht al in de Middeleeuwen op peil moest worden gehouden met aangevoerd water, omdat via de doorlatende ondergrond een aanzienlijk verlies naar de Nederrijn optrad (De Zeeuw, 1954). Aanvulling van dit verlies vond plaats via de Dijkgraaf, die vanaf het gebied van Nergena ten westen van Bennekom naar Wageningen liep. Via een tracé dat zichtbaar is op een luchtfoto uit 1950 en ongeveer de huidige Julianastraat, Dijkgraafseweg en Lijnbaanstraat volgde, kwam het water tenslotte in de stadsgracht terecht (Fig. 2).

De Dijkgraaf volgde tot aan het huidige sportpark Van Ketwich Verschuur ongeveer de hoogtelijn van NAP+8 m en voerde overtollig neerslag- en kwelwater af van het oostelijk ervan gelegen gebied tot enkele honderden m ten oosten van de Lage Steeg, de tegenwoordige Mansholtlaan. Dit gebied stond bekend als de "Bovendijkgraafse Landen".

Het ligt voor de hand, de Bovendijkgraafse Landen te definiëren als het potentiële brongebied van kwelwater voor de stadsgracht en derhalve ook als onderzoeksgebied voor dit aspect.





Fig. 2. Tracé van de Dijkgraaf in 1950 (zwarte lijn). Gestippeld: niet meer bestaand deel. Positie van peilbuis 145. Ondergrond: Topografische kaart van Nederland, 1:25.000, verkleind naar ca. 1:31.000.

Een minder gewenste bron van water voor de gracht wordt gevormd door enkele riooloverstorten. De plaatsen zijn aangegeven in Fig. 3. De overstort met nummer 11 is volgens gegevens van Openbare Werken hoogst zelden actief. Ook de nummers 10 en 12 leveren geen grote hoeveelheden. Het meeste water wordt overgestort op de nummers 7-9, waarbij 9 de koppositie inneemt.

Het streefpeil van de gracht is NAP+7.15 m. Bij overmatige toevoer wordt dit peil gehandhaafd door middel van een overstort langs de Costerweg, in Fig. 3 weergegeven als nr. 7 in de cirkel.

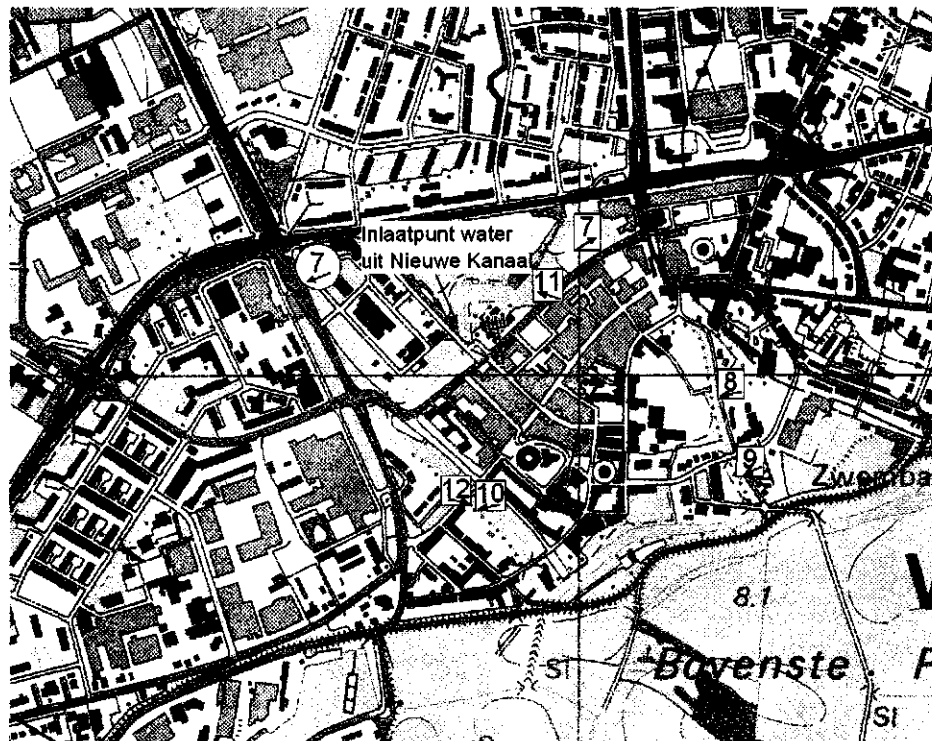


Fig. 3. Posities van riooloverstorten (nummers in rechthoek) en stuw (nr. 7 in cirkel). De nummers komen overeen met die op de kaart Oppervlaktewaterbeheersing (WR A-2-1, 1985) van Openbare Werken Wageningen. Ondergrond: Topografische Kaart van Nederland 1:25.000, vergroot tot ca. 1:15.500.

#### 2.4. GRONDWATERSTANDEN EN BODEMGESTELDHEID

De bodem in de Bovendijkgraafse Landen bestaat grotendeels uit beekerdgronden in lemig fijn zand met grondwatertrap (GT) III, dat wil zeggen een gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) van minder van 40 cm onder maaiveld en een gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) van 80-120 cm onder maaiveld. Ongeveer ter hoogte van de Mansholtlaan gaan deze bodems over in gooreerdgronden, eveneens met lemig fijn zand met GT IV, d.w.z. een GHG van meer dan 40 cm en een GLG van 80-120 cm onder maaiveld. In delen van het gebied zijn inmiddels kunstmatig lagere grondwaterstanden gerealiseerd. Het betreft de proefvelden van de Born, de stadsuitbreidingen Roghorst, Tarthorst, Pomona en Noordwest en de sportparken De Bongerd en Van Ketwich Verschuur.

De op de bodemkaart aangegeven grondwaterstanden komen redelijk overeen met bij de sectie Waterhuishouding verzamelde gegevens over 1973-1992.

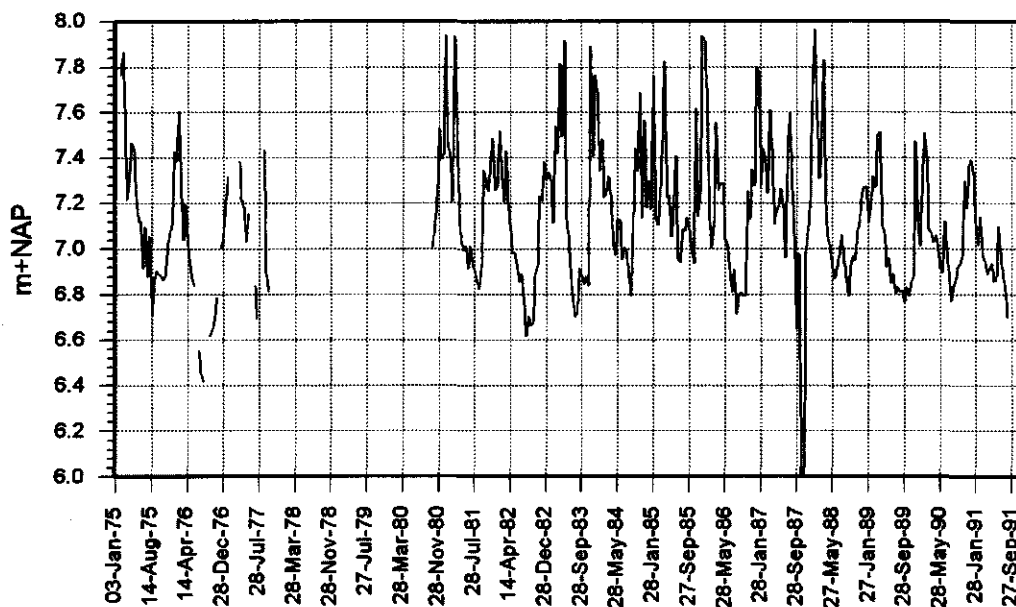


Fig. 4. Verloop van de grondwaterstand op peilbuis 145 (plaats aangegeven in Fig. 2). De negatieve uitschieter in het najaar van 1987 is geen meetfout, maar waarschijnlijk het gevolg van een nabije bronbemaling.

De COLN-kaart (Reuter en Kouwe, 1958), gebaseerd op waarnemingen van 1952-1955 geeft voor het gebied van de Dijkgraaf wintergrondwaterstanden van 20-40 cm onder maaiveld en voor de zomer grondwaterstanden rond ongeveer 1 m beneden maaiveld. Dit geeft aan dat in elk geval in de 20 jaar tussen de jaren '50 en het begin van de jaren '70 aan de grondwaterstanden in het gebied niet veel is veranderd. Vermoedelijk is dat wel gebeurd in het kader van de ruilverkaveling die tegen het eind van de jaren '40 is afgerond.

Het effect van de aanleg van de wijk Noordwest op de grondwaterstand is te zien aan het verloop op peilbuis 145 (Fig. 4), gelegen op 30 m ten oosten van de Dijkgraaf. De zomergrondwaterstanden geven een redelijk constant beeld, maar de winterstanden zijn na 1988 ongeveer 40 cm lager dan daarvoor.

### 3. STREEFBEELD OP LANGERE TERMIJN

Indien de toevoer van schoon kwelwater uit het Binnenveld kan worden hersteld en overstorting van rioolwater en -slib kan worden beëindigd, is een toekomstbeeld van de Wageningse stadsgracht te schetsen. Daarbij moet men rekening houden met het feit dat het hier gaat om een systeem van open water in een stadsgebied, waarin een zekere toevoer van ongewenste stoffen zoals inloop van verontreinigd water, het voeren van vis en eenden en bladval niet te vermijden is. Dat toekomstbeeld zou er ongeveer als volgt uit kunnen zien.

Fysisch: nagenoeg stilstaand water met een lichte doorspoeling, waarbij de verblijftijd niet meer dan enkele weken (om de gedachten te bepalen: ca. 3) bedraagt.

Chemisch: pH-neutraal; mengtype van kwel- en neerslagwater met enige aanrijking van nitraat en fosfaat, echter zonder overschrijding van de MTR-normen voor open water van de Vierde Nota Waterhuishouding; zuurstofrijk.

Morfologisch: vrij ondiep (gemiddeld ongeveer 1 meter), openbaar toegankelijke oevers, deels in de vorm van walmuren, deels in de vorm van geleidelijk aflopende plantsoenen.

Biologisch: saprobie (rottende plantenresten) niet beperkend voor de visfauna; een matig voedselrijk ecosysteem met vissen en drijvende en ondergedoken waterplanten; geen algenbloei.

Zintuiglijk: geen stankoverlast, visueel aantrekkelijk, doorzicht tot op de schone bodem.

Momenteel voldoet de Wageningse stadsgracht alleen op het eerstgenoemde punt geheel aan het geschetste beeld. In hoofdstuk 6 wordt nader ingegaan op de oorzaken en de op korte en langere termijn realiseerbare verbeteringen.

## 4. WATERBEHOEFTE

### 4.1. INLEIDING

Aanvoer van water naar de gracht dient drie doelen:

1. Aanvulling van verliezen naar het grondwater.
2. Normale doorspoeling om te voorkomen dat zich ongewenste opgeloste stoffen in de gracht ophopen, waarvan toevoer in een binnenstad onvermijdelijk is.
3. Versterkte doorspoeling in gevallen dat rioolwater is overgestort.

Voor het kwantificeren van de waterbehoefte voor beide zijn de afmetingen van de gracht essentieel. De wateroppervlakte van de stadsgracht bedraagt 3.05 ha (gegevens Waterschap Vallei & Eem). Als de gracht zal zijn uitgebaggerd zal de gemiddelde diepte naar schatting ongeveer een meter bedragen en de inhoud dientengevolge ongeveer 30 000 m<sup>3</sup>. Aanvulling en doorspoeling worden hierna afzonderlijk behandeld.

### 4.2. VERLIEZEN NAAR HET GRONDWATER: METINGEN AAN DE STADSGRACHT

Om het waterverlies (wegzijing) naar de ondergrond te kunnen kwantificeren is een proef uitgevoerd, waarbij de watertoevoer uit het Nieuwe Kanaal is stopgezet, evenals alle afvoer van water uit de gracht. Vervolgens is met behulp van een door Waterschap Vallei & Eem geplaatste peilschaal vastgesteld hoe snel het waterpeil zakte. De eerste metingen zijn gedaan in de nagenoeg neerslagloze periode van 18-25 oktober 1999, zodat geen complicaties als gevolg van eventuele afvoer van regenwater naar de gracht konden optreden.

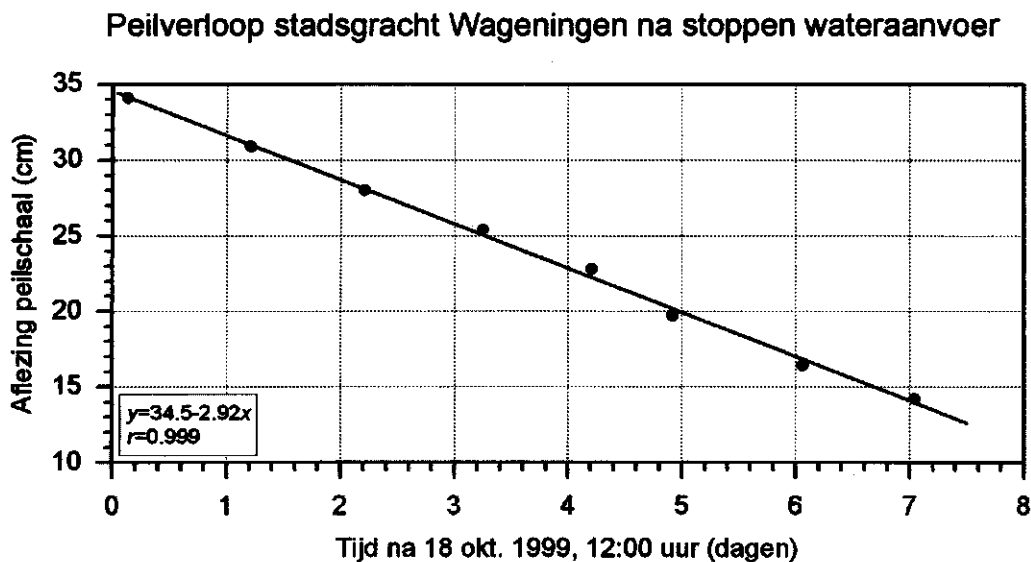


Fig. 5. Verloop van het grachtpeil tijdens de wegzijgingsproef van 18-25 oktober 1999.

De daling van het grachtpeil tijdens de wegzijgingsproef van 18-25 oktober 1999 is weergegeven in Fig. 5. Onder aanname van een verdamping van 1 mm per dag, blijkt hieruit een wegzijging van 28 mm per dag. Dit mag worden beschouwd als een zeer hoge waarde voor open water. Uitgedrukt in volume per tijd gaat het om bijna 10 l per sec.

Na afloop van de proef bleek dat in dezelfde periode in de uiterwaard een zg. nevengeul was gereedgekomen. Ten behoeve van de graafwerkzaamheden was daarin het peil tot ongeveer NAP+4.50 m verlaagd. De kans dat hierdoor extra verliezen uit de gracht -die een 2.50 m hoger peil had- zouden zijn opgetreden, was groot. Dat zou een verklaring kunnen zijn voor de hoge wegzijging. Daarom werd de proef bij een weer gevulde nevengeul opnieuw uitgevoerd van 2-8 november 1999. Omdat van de avond van 5 november tot en met 7 november ruim 20 mm neerslag viel, zijn de uitkomsten alleen betrouwbaar over de eerste drie dagen. De uitkomst is weergegeven in Fig. 6.

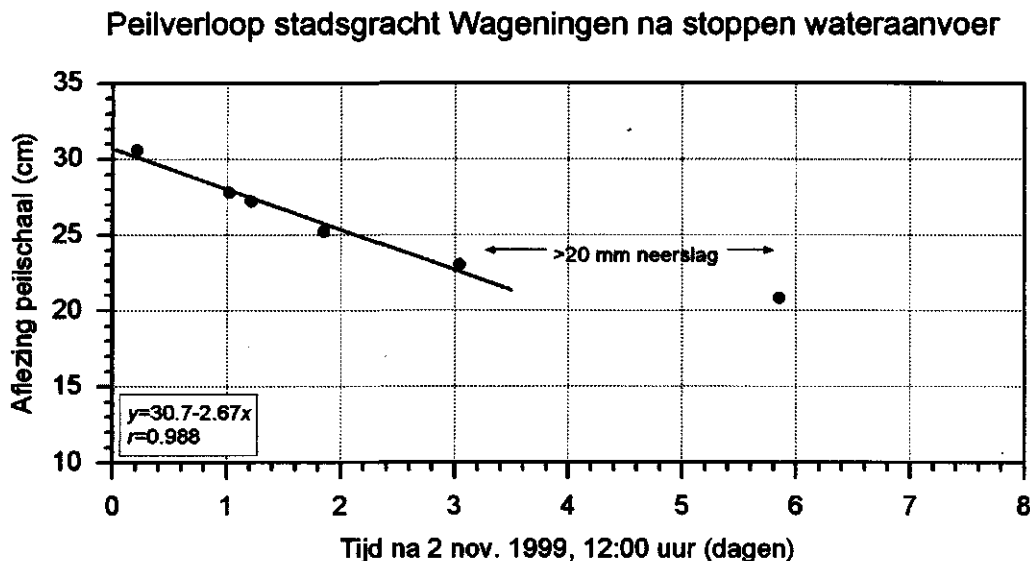


Fig. 6. Verloop van het grachtpeil tijdens de wegzijgingsproef van 2-8 november 1999.

Het effect van de neerslag van 5-7 november is in de figuur duidelijk te zien aan de meest rechtse punt in de grafiek, die ruim boven het verlengde van de lijn door de andere punten ligt. De daling is daarom berekend over de waarnemingen van de eerste drie dagen. Deze bedroeg 26 mm per dag, dus nauwelijks minder dan de uitkomst van oktober. Omdat de nevengeul bij het begin van de proef alweer een week vol water stond, kan worden geconcludeerd dat die geen substantiële invloed op het waterverlies kan hebben gehad. De uitkomst duidt wederom op forse verliezen.

Omdat de wegzijging wel erg groot was en lekkage werd vermoed, is een derde proef uitgevoerd van 12 tot 18 november. Het resultaat is weergegeven in Fig. 7.

Peilverloop stadsgracht Wageningen na stoppen wateraanvoer

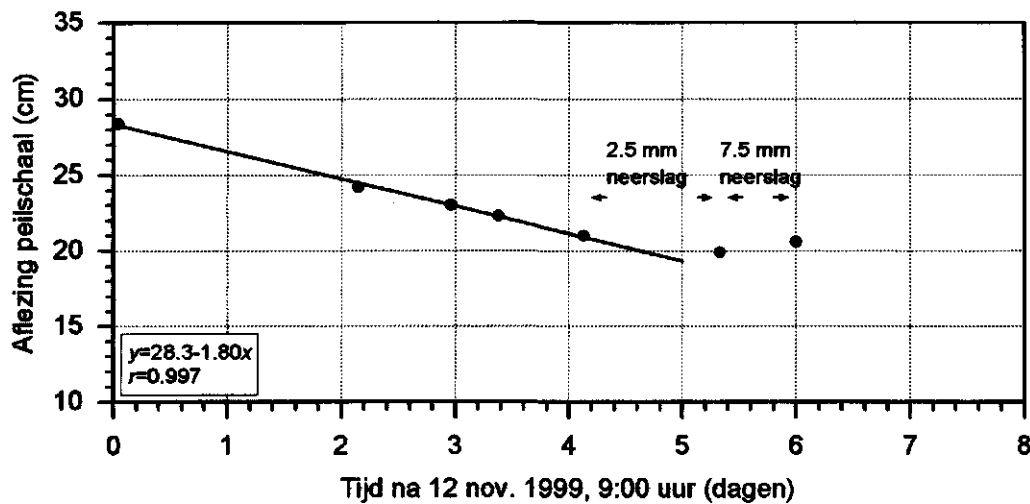


Fig. 7. Verloop van het grachtpeil tijdens de wegzijgingsproef van 12-18 november 1999.

Omdat tussen de waarnemingen van 16 en 17 november ca. 2.5 mm neerslag is gevallen en tussen die van 17 en 18 november ca. 7.5 mm, zijn alleen de waarnemingen van vóór die data gebruikt voor het berekenen van de wegzijging. De grafiek geeft duidelijk aan dat de betreffende twee punten niet op de ingepaste rechte lijn liggen.

Het waterverlies in de periode van 12-16 november is aanzienlijk minder dan in voorgaande meetperioden, maar met 18 mm per dag (ruim 6 liter per seconde) nog steeds hoog. Het lagere verlies is vermoedelijk deels toe te schrijven aan hogere grondwaterstanden als gevolg van de neerslag tussen 5 en 12 november, maar ook aan het feit dat inmiddels de nevengeul geheel met water was gevuld en de grondwaterstand bij de Grebbedijk zich van de invloed van de tijdelijke drooglegging van de geul goeddeels had hersteld. Aan het resultaat dat is weergegeven in Fig. 7 moet daarom wat meer gewicht worden toegekend dan aan dat in beide voorgaande figuren.

Bij inspectie van de Witte Sluis (in de Grebbedijk ten zuiden van het Emmapark) in januari 2000 is gebleken dat via deze constructie geen of nagenoeg geen water weglekte, zodat de verliezen definitief moeten worden toegeschreven aan wegzijging.

#### 4.3. VERLIEZEN NAAR HET GRONDWATER: GRONDWATERSTANDEN

De stadsgracht blijkt niet over zijn volle lengte water te verliezen. In het noordoostelijk deel, dat het dichtst bij de uitloper van de stuwwal ten noorden van de Veerstraat ligt, neemt de gracht ook in de zomer grondwater op. In het overig deel verliest de gracht dan water naar het grondwater. Dit is geïllustreerd in Fig. 8 (gemiddelde over juli/augustus 1999).

In Fig. 9 en Fig. 10 zijn de situaties op resp. 28 oktober en 15 november 1999 weergegeven. Ze bevestigen het beeld van Fig. 8.



Fig. 8. Grondwaterstanden in m+NAP in de omgeving van de stadsgracht. Gemiddelde van 4 waarnemingen per punt over juli en augustus 1999. Het streefpeil van de stadsgracht is NAP+7.15 m. De gracht verliest water waar de grondwaterstand onder het streefpeil ligt (getrokken lijn) en neemt grondwater op waar de grondwaterstand hoger ligt (gestippelde lijn). Ondergrond: Topografische kaart 1:25.000, vergroot naar ca. 1:15.500.



Fig. 9. Grondwaterstanden in m+NAP in de omgeving van de stadsgracht op 28 oktober 1999. Het peil van de stadsgracht was ca. NAP+7.05 m. De gracht verliest bijna over zijn volle lengte water (getrokken lijn) en staat ongeveer gelijk met het grondwater langs het Spijk (gestippelde lijn). Let op de extreem lage grondwaterstanden aan de zuidzijde, veroorzaakt door de werkzaamheden aan de nevengeul in de uiterwaarden (verg. Fig. 12). Ondergrond: Topografische kaart 1:25.000, vergroot naar ca. 1:15.500.





Fig. 10. Grondwaterstanden in m+NAP in de omgeving van de stadsgracht op 15 november 1999. Het peil van de stadsgracht was ca. NAP+7.00 m. De gracht verliest bijna over zijn volle lengte water (getrokken lijn), maar ontvangt een kleine hoeveelheid grondwater langs het Spijk (gestippelde lijn). De grondwaterstanden aan de zuidzijde hebben zich redelijk hersteld van de verlaging, teweeggebracht door de werkzaamheden aan de nevengeul. Ondergrond: Topografische kaart 1:25.000, vergroot naar ca. 1:15 500.

De verschillen tussen grachtpeil en grondwaterstanden zijn in het gedeelte met wegzijging groter dan in het (kortere) gedeelte met kwel. Hiermee is de conclusie dat wegzijging plaatsvindt, ook verklaard op basis van grachtpeil en grondwaterstanden.



Fig. 11. Posities van de meetpunten, genoemd in Fig. 12. Ondergrond: Topografische kaart 1:25.000, verkleind naar ca. 1:31.000.

In het voorgaande heeft zich de vraag voorgedaan, in welke mate de grondwaterstanden in de omgeving van de gracht worden beïnvloed door de Nederrijn. Omdat de meetreeksen op de meeste gemeentelijke peilbuizen nog vrij kort zijn, is slechts een voorlopig antwoord hierop mogelijk. In Fig. 12 worden de verlopen van de waterstand

venkom en op drie verschillende afstanden tot de Nederrijn weergegeven (posities van de meetpunten in Fig. 11).

Alleen de peilbuis bij Rustenburg vlak achter de dijk geeft een duidelijke reactie op de hoge Rijnstand eind februari en begin maart 1999. Omdat de piek vrij kort van duur was, mogen aan Fig. 12 geen vergaande conclusies worden verbonden. De peilbuis op Rustenburg geeft in het najaar van 1999 wel een duidelijke verlaging als gevolg van de aanleg van de nevengeul te zien.

Uit de figuur blijkt ook de invloed van het natte najaar- en winterseizoen van 1998/99 op de grondwaterstand zowel als het peil van de Nederrijn.

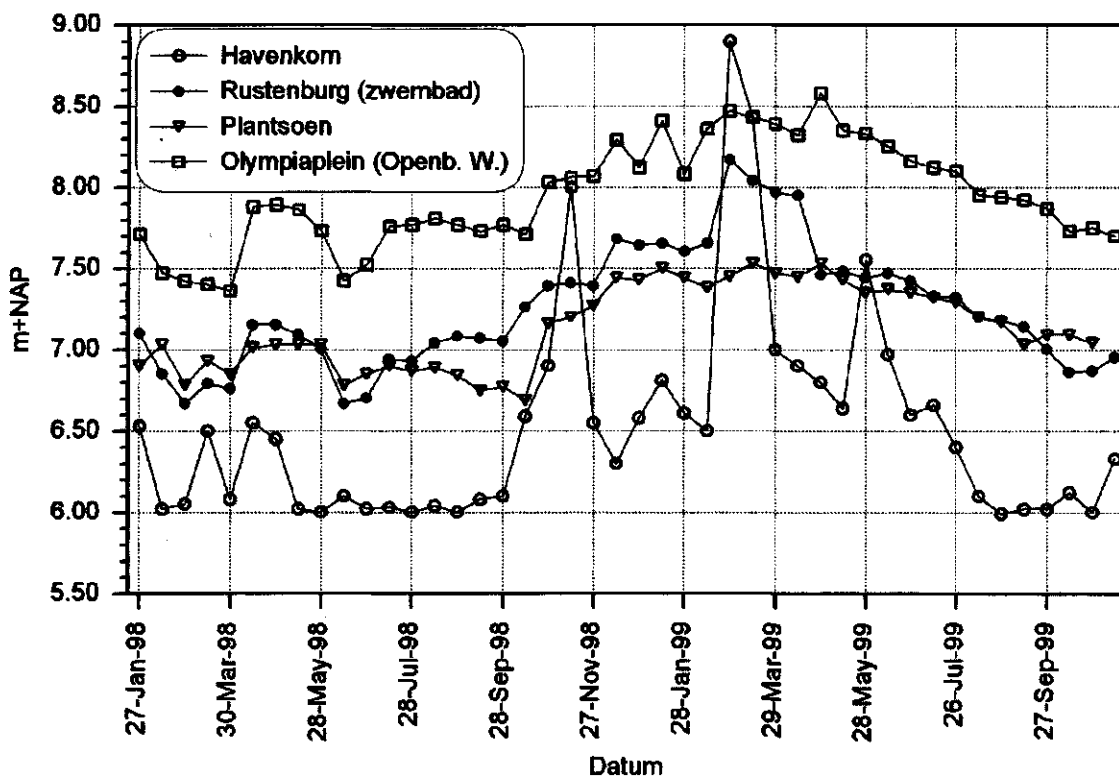


Fig. 12. Verloop in de tijd van de grondwaterstand op drie verschillende plaatsen en het Rijnpeil in de havenkorn. Posities aangegeven in Fig. 11.

Omdat de grondwaterstanden in het najaar van 1999 niet extreem laag blijken te zijn geweest, mag worden geconcludeerd dat de waterverliezen uit de stadsgracht zoals die volgen uit de metingen van oktober en november 1999 gedurende een groot deel van de tijd zullen blijven optreden. Hoewel de werkzaamheden aan de nevengeul een zeker effect op de metingen hebben gehad, lijkt een schatting van een waterverlies van 20 mm per dag (7 l per seconde) voor gemiddelde omstandigheden niet onrealistisch.

#### **4.4. VERLIEZEN NAAR NEDERRIJN EN HAVENKOM BIJ EEN SCHONE GRACHT- BODEM**

De bodem van de gracht biedt door de aanwezigheid van een hoeveelheid slib en ander materiaal een zekere weerstand tegen uittredend grondwater. Als moet worden voldaan aan het streefbeeld van een schone bodem, zal dit weerstandbiedende materiaal moeten worden verwijderd. Daarmee dient zich de vraag aan, in hoeverre zo de wegzijging uit de gracht wordt vergroot. Een schatting van de maximaal mogelijke wegzijging levert in dit geval een scenario voor de slechtst denkbare situatie. Het waterverlies kan worden opgesplitst in twee componenten, één naar de havenkom en één naar de Nederrijn zelf. Die naar de havenkom is voornamelijk afkomstig van het ca. 400 m lange grachtgedeelte langs het Emmapark en de Walstraat, die naar de Nederrijn van het ca. 375 m lange gedeelte tussen het Emmapark en het Spijk. Het doorlaatvermogen van het eerste watervoerende pakket in de uiterwaard bedraagt ongeveer  $1300 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$  (Van Drecht, 1977). De afstand tussen het grachtdeel Emmapark-Walstraat en de havenkom bedraagt ongeveer 350 m, die tussen het grachtdeel Emmapark-Spijk en de Nederrijn ca. 1000 m. Als de stuw in Driel gesloten is, is het peil van de Nederrijn ongeveer 1 m lager dan dat van de gracht. Als de stuw is gestreken, is het verschil kleiner of staat de Nederrijn hoger.

Bij een peilverschil van 1 m tussen Nederrijn en gracht wordt voor de hierboven omschreven omstandigheden een verlies van ca. 6.5 liter per seconde berekend voor de component naar de havenkom en ca. 4.5 l per sec voor die naar de Nederrijn. Samen is dat ongeveer 11 l per sec. Het gaat hier om geschatte bruto-verliezen, waarbij geen rekening is gehouden met enige vorm van grondwatertoevoer (die er blijkens Fig. 8-Fig. 10 wel is). Evenmin is rekening gehouden met de weerstand die de grachtbodem als gevolg van de onvermijdelijke aanwezigheid van een hoeveelheid fijne deeltjes in de bovenste centimeters altijd zal hebben of met verhoging van de grondwaterstand als gevolg van neerslag. Ook laatstgenoemd proces leidt tot een verminderde netto wegzijging. In werkelijkheid zal de netto wegzijging na uitbaggeren dus zeer waarschijnlijk onder alle omstandigheden geringer zijn dan de berekende 11 l per sec. Doordat de grachtbodem na verloop van tijd enigszins dicht zal slaan, zal in de loop van het eerste jaar na uitbaggeren een geleidelijke vermindering van de wegzijging optreden. Eventueel zou uit voorzorg kunnen worden overwogen, het uitbaggeren van de gracht niet in de zomer of het begin van de herfst te doen plaatsvinden, omdat dan de wegzijging naar verwachting het grootst zal zijn.

De berekende maximaal mogelijke wegzijging geeft aan, dat de in oktober en november 1999 gemeten netto wegzijgingen van resp. bijna 10, 9 en ruim 6 l per sec in hoofdzaak aan grondwaterstroming zijn toe te schrijven en niet aan een substantiële lekkage via de Witte Sluis of andere afvoerleidingen.

#### 4.5. DOORSPOELING VAN DE GRACHT

Een zekere mate van doorspoeling van de gracht is nodig om ophoping van ongewenste stoffen die in bebouwd gebied nu eenmaal onvermijdelijk in het oppervlaktewater terechtkomen, te voorkomen. Daarnaast is de mogelijkheid tot een snelle doorspoeling gewenst in geval van overstorting van rioolwater of eventuele andere calamiteiten.

Zoals opgemerkt in 2.3, wordt op een zestal plaatsen min of meer regelmatig rioolwater en -slib op de gracht overgestort als de berging van water in het riool ontoereikend is om grote neerslaghoeveelheden te verwerken. Een probleem bij vrijwel alle gemengde rioolstelsels in Nederland, waarop Wageningen geen uitzondering is, is dat de riolering zowel water moet afvoeren als bergen. Dit laatste is nodig om niet bij iedere bui van enige betekenis rioolwater water op straat of in het open water te krijgen. De daarvoor nodige ruime afmetingen van het riool leiden echter bij de lage afvoeren die tijdens droog weer optreden, tot geringe stroomsnelheden. Daardoor bezinkt slib in het riool. Bij hoge afvoeren wordt dit slib opgewerveld, waardoor het bij overstorting in het oppervlaktewater terechtkomt (Kollen en v.d. Schaaf, 1990).

Bij een bui van 45 minuten en een neerslaghoeveelheid van 36 mm, die gemiddeld eens in de 10 jaar voorkomt of wordt overschreden, wordt volgens gegevens van Waterschap Vallei & Eem, enigszins afhankelijk van de duur en de intensiteit van de neerslag, ongeveer 10000 m<sup>3</sup> water of zelfs meer op de gracht overgestort. Dit getal is gebaseerd op de huidige opbouw van het Wageningse rioolstelsel. Bij een dergelijke gebeurtenis wordt dus ruwweg een derde of meer van het normaal in de gracht aanwezige volume water vervangen door overgestort rioolwater en meegevoerd slib. Ook bij kleinere en dus frequenter voorkomende neerslagen kan rioolwater op de gracht komen, zij het in kleinere hoeveelheden. Bij een bui van 19 mm in 45 minuten die gemiddeld eens per twee jaar voorkomt of wordt overschreden, bedraagt de overgestorte hoeveelheid volgens gegevens van de sector Openbare Werken van Wageningen ongeveer 4500 m<sup>3</sup>.

Frequentie en volume van overstortingen van rioolwater op de gracht kunnen op termijn worden verminderd door afkoppelen van neerslagwater van het riool. Daarbij wordt dit water ófwel in de bodem gefiltreerd, ófwel via een aparte leiding naar het oppervlaktewater in of nabij de bebouwde kom geleid. Afkoppeling kan bijdragen aan de realisering van de basisinspanning, genoemd in 1.1. Uitworp van rioolslib op open water kan aanzienlijk worden verminderd door de toepassing van bergbezinkbassins. Daarin wordt de stroomsnelheid van het overgestorte rioolwater verlaagd, zodat slib kan bezinken voordat het rioolwater in het open water terechtkomt.

Indien voor het normale doorspoelen wordt uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd van water in de gracht van drie weken, dan is daarvoor een gemiddelde toevoer van rond 15 liter per seconde nodig, waarvan ongeveer de helft verdwijnt naar het grondwater en dus de andere helft doorstroomt naar ander oppervlaktewater. Bij riooloverstortingen zal, gezien de teweeggebrachte vuillast, een snellere doorspoeling gewenst zijn. Bij overstorting van een groot volume (om de gedachten te bepalen: een tiende of meer

van de inhoud van de gracht) zal de inhoud van de gracht, ca. 30000 m<sup>3</sup>, bij voorkeur in enkele dagen vervangen moeten zijn. Zoals in het vervolg zal blijken, is bij piekneerslagen een dergelijke aanvoer realiseerbaar.

#### 4.6. TOTALEN

In Tabel 1 worden de benodigde hoeveelheden water voor het op peil houden en doorspoelen van de gracht weergegeven. Op grond van verschillen in omstandigheden is een onderscheid gemaakt tussen zomer en winter gemaakt en is een aparte kolom gehanteerd voor piekneerslagen. Voor de winter is een iets kleinere wegzijging aangenomen dan voor de zomer. Om voldoende water over te houden voor eventuele doorspoeling van open water in het westelijk en noordwestelijk deel van de bebouwde kom van Wageningen is uitgegaan van een afvoer van ongeveer de helft van de aan te voeren hoeveelheid. Daarbij is uitgegaan van een voldoende waterkwaliteit. Voor het zomerhalfjaar is uitgegaan van een gemiddeld verdampingsoverschot van 1 mm per dag, voor het winterhalfjaar van een gemiddeld neerslagoverschot van 2 mm per dag.

Tabel 1. Benodigde waterhoeveelheden voor het op peil houden en doorspoelen van de gracht, gesplitst in gemiddelden voor zomer en winter en piekneerslagen.

Proces	Zomer (l/sec)	Winter (l/sec)	Pieken (m <sup>3</sup> )
Wegzijging	8	6	-
Verdampingsoverschot	0.5	-1	-
Afvoer via stuw Costerweg	7.5	10	30000
Totaal	16	15	30000

## 5. BESCHIKBARE HOEVEELHEDEN WATER

### 5.1. INLEIDING

De beschikbare bronnen van water voor de stadsgracht zijn:

1. Kwelwater uit de Bovendijkgraafse Landen.
2. Effluent van de RWZI Bennekom.
3. Water, te verkrijgen door afkoppeling van verhard oppervlak van de riolering.
4. Kwel in het aan te leggen tracé van de Bovendijkgraafse Landen naar de stadsgracht.

Deze bronnen worden hieronder afzonderlijk behandeld.

### 5.2. KWELWATER UIT DE BOVENDIJKGRAAFSE LANDEN

Zoals vermeld, werd vanouds de gracht via de Dijkgraaf gevoed met water uit dit gebied (Fig. 2). Van het water mag worden aangenomen dat het in de zomer grotendeels afkomstig was van de Veluwe. In de winter zal ook in het gebied gevallen neerslag een groot deel van de aanvoer hebben uitgemaakt.

Gegeven de in de 20<sup>e</sup> eeuw opgetreden veranderingen in de waterhuishouding, is een korte beschouwing van de huidige waterhuishoudkundige situatie van het gebied zinvol.

Uit isohypsenkaarten van Baakman *et al.* (1990) valt af te leiden dat de grondwaterstroming vanaf de Veluwe uit twee componenten bestaat, één boven de tweede scheidende laag en de voortzetting daarvan onder de stuwwal (hierna "het ondiepe systeem" genoemd) en één daaronder (hierna "het diepe systeem" genoemd). Het ondiepe systeem heeft een stromingsrichting van oostnoordoost naar westzuidwest, dat wil zeggen nagenoeg loodrecht op de Mansholtlaan en de evenwijdig daaraan lopende stegen. De waterscheiding ligt ongeveer 3½ km ten oosten van de Mansholtlaan. De stroming in het diepe systeem verloopt ongeveer van noordnoordoost naar zuidzuidwest. De waterscheiding ligt in het gebied van de Hoge Veluwe, d.w.z. ongeveer 30 km naar het noordoosten. Dat betekent echter niet dat de via het diepe systeem toestromende hoeveelheid water ook evenredig groter is dan die in het ondiepe. In werkelijkheid blijken de hoeveelheden weinig te verschillen (Tabel 2). De oorzaak ligt waarschijnlijk in verschillen in stromingspatroon en in het ruimtelijk verloop van het doorlaatvermogen in het derde watervoerende pakket onder de Veluwe, dat van noord naar zuid afneemt. Wel zijt een deel van het in het ondiepe systeem ingevangen water weg naar het diepe systeem. In Tabel 2 is aangenomen dit ongeveer de helft is. Een nauwkeurige schatting is niet mogelijk bij gebrek aan gegevens.

Tabel 2. Geschatte gemiddelde aanvoer van grondwater van de Veluwe naar de Bovendijkgraafse Landen bij een randlengte van het gebied van 2 km, gebaseerd op een gemiddeld neerslagoverschot van 0.6 mm per dag en een diepte van het vanggebied van 3½ km (ondiep systeem), een stijhoogtegradiënt van 1.2 m per km en een doorlaatvermogen van 2000 m<sup>2</sup> per dag<sup>1</sup> (diep systeem).

Systeem	Gemiddelde aanvoer (m <sup>3</sup> per dag)
Ondiep	4200
Diep	4800
Wegzijing ondiep → diep	-2100

In totaal ontvangt het gebied vanuit de Veluwe dus ongeveer 7000 m<sup>3</sup> grondwater per dag. Ongeveer 4500 m<sup>3</sup> per dag stroomt onder het gebied door de Gelderse Vallei in, zodat per saldo gemiddeld ongeveer 2500 m<sup>3</sup> per dag (ca. 29 l per seconde) in het gebied als kwel achterblijft. Over het hele gebied gerekend komt dit neer op ongeveer 1 mm per dag. De toestroming via het diepe systeem varieert weinig in de tijd; die via het ondiepe systeem aanzienlijk meer. Dit verschil hangt onder meer samen met het verschil in grootte van de vanggebieden.

De variabiliteit van de toestroming via het ondiepe systeem wordt geïllustreerd in Fig. 13, waarin het verloop in de tijd van de helling van de grondwaterstand onder de Eng in beeld wordt gebracht.

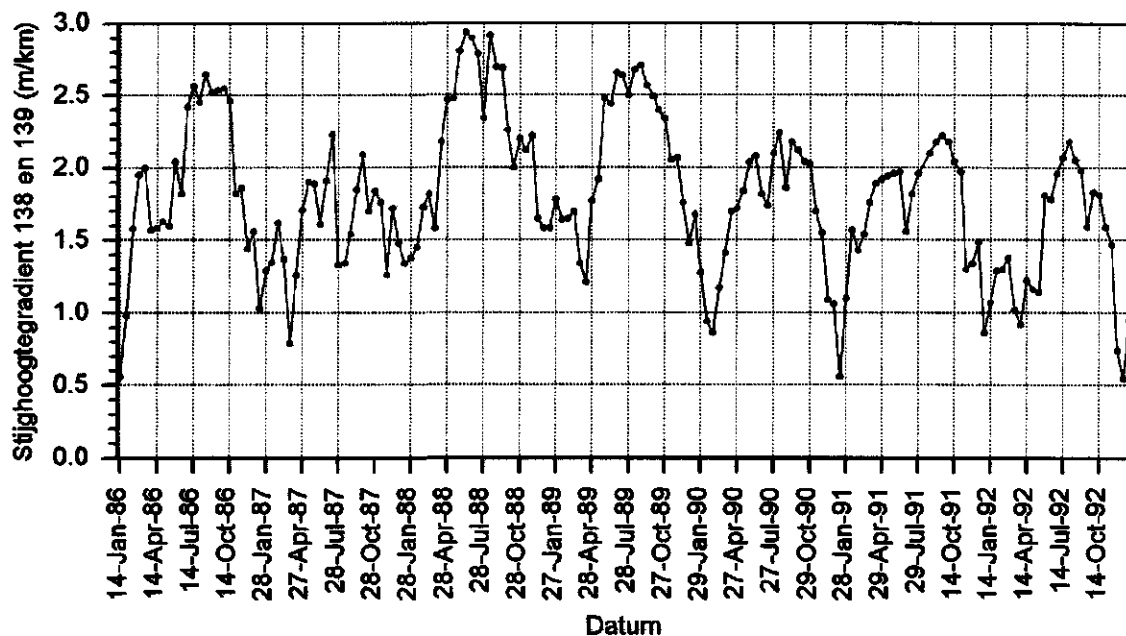


Fig. 13. Verloop in de tijd van de helling van de grondwaterstand (stijghoogtegradiënt) onder de Eng tussen de meetpunten 138 en 139 (posities in Fig. 14).

<sup>1</sup> Doorlaatvermogen ontleend aan Meinardi (1978).

De toestroming is recht evenredig met die helling. Opvallend is het effect van het natte jaar 1987 (in Wageningen 975 mm neerslag tegen 782 normaal). In het jaar zelf was de stroming relatief gering, door de hoge grondwaterstanden aan de voet van de stuwwal, waarna in 1988 de piekafvoer van grondwater optrad. Ook seizoenseffecten zijn duidelijk. Het valt op dat de laagste afvoeren in de winter plegen op te treden en de hoogste in de zomer.



Fig. 14. Positie van de peilbuizen 138 en 139 waartussen de helling van de grondwaterstand is weergegeven in Fig. 13. Ondergrond: Topografische kaart van Nederland, vergroot tot een schaal van ca. 1:12.500.

Doordat in een zone langs de Mansholtlaan tot ongeveer de Bornsesteeg de scheidende laag tussen het diepe en het ondiepe systeem ontbreekt, verenigen ze zich daar tot een enkel systeem. Dit ontbreken van een scheidende laag is de belangrijkste oorzaak van het optreden van kwel in die zone. Daardoor blijven watergangen in dit gebied in de meeste zomers watervoerend.

Van het kwelwater dat in de Bovendijkgraafse Landen achterblijft, verdamppt in de zomermaanden een aanzienlijk deel, waardoor de totale afvoer via watergangen aanzienlijk onder de toegevoerde hoeveelheid kwel kan komen te liggen. Dit blijkt uit metingen die op 11 november 1999 zijn uitgevoerd. De zomer van dat jaar was droog en warm en ook het najaar was tot ongeveer half november relatief droog, zodat de bovengrond tot in november een groot deel van het kwelwater opnam.

De ligging van de punten waar afvoer is gemeten, resp. geschat, is weergegeven in Fig. 15. Op 7 januari 2000, toen door de neerslag van december de bovengrond redelijk verzadigd was en de snelle afvoercomponent van lokaal gevallen neerslag verwaarloosbaar mocht worden verondersteld, zijn afvoerschattingen op dezelfde punten uitgevoerd, met uitzondering van Meetpunt 3. De uitkomsten staan in Tabel 3.





Fig. 15. Afvoerm Meetpunten en punten waar de afvoer is geschat in het gebied van de Bovendijkgraafse Landen. De pijlen geven de stromingsrichting aan. Ondergrond: Topografische kaart 1:25.000.

Tabel 3. Meetpunten en afvoeren op 11 november 1999 en 7 januari 2000

Punt	Afvoer (l/sec), 11 nov. 1999	Afvoer (l/sec) 7 januari 2000
Meetpunt 1 (Plassteeg)	3.5	7 à 8
Meetpunt 2 (Droevendaalsesteeg / De Born)	5.5	9
Meetpunt 3 (uitmonding Dijkgraaf in vijverpartij in Noordwest)	11	Niet gemeten
Geschatte afvoer 1	1.5	0 (pomp buiten werking)
Geschatte afvoer 2	1	4
Geschatte afvoer 3	0	2

Uit Tabel 3 blijkt dat de Bovendijkgraafse Landen op 11 november 1999 ongeveer 10 l per seconde afvoerden (som van de punten in Tabel 3, behalve Meetpunt 3), d.w.z. ongeveer een derde van de geschatte gemiddelde jaarlijkse kwel. Het resterende deel zal vooral zijn gebruikt voor (her)bevochtiging van de toen nog droge bovengrond. Op 26 oktober 1999 zijn visueel ongeveer dezelfde afvoeren waargenomen. Dit resultaat geeft aan dat het gebied aan het eind van een gemiddelde zomer nog in staat is, een substantiële hoeveelheid water voor het op peil houden en doorspoelen van de gracht te leveren. Op 7 januari 2000 was de afvoer uit het gebied ruim 20 l per seconde. Dat is ongeveer tweederde van de geschatte gemiddelde aanvoer van kwelwater van de Veluwe. Omdat het hier gaat om een in de winter gedane meting en de toevoer van kwelwater in de winter het laagst pleegt te zijn (Fig. 13), lijkt de schatting van de gemiddelde aanvoer zoals hiervoor gedaan, vrij realistisch.

Uit Fig. 13 blijkt ook dat de waterhuishoudkundige situatie in voorgaande jaren een niet te verwaarlozen invloed op de aanvoer van kwelwater heeft. Het jaar 1998 was het natste van de 20<sup>e</sup> eeuw en zal zeker invloed hebben gehad op de afvoer in het najaar van 1999. In feite duurde het natte weer tot juni 1999. Men mag dus aannemen dat de uitkomsten van de metingen van november 1999 na bijvoorbeeld twee opeenvolgende droge jaren in belangrijke mate kunnen worden onderschreden. Er zal dus af en toe (om de gedachten te bepalen: in de orde van eens in de vijf à tien jaar) een jaar optreden, waarin de afvoer van water uit de Bovendijkgraafse Landen in de loop van de zomer geheel of nagenoeg geheel stagneert.

Opvallend is het verschil (4 l per sec) tussen de hoeveelheid water die via de Dijkgraaf naar het open water in Noordwest loopt (Meetpunt 3 in Tabel 3) en de toevoer vanaf het complex De Born (som van meetpunt 2 en geschatte afvoer 1 in Tabel 3). Een mogelijke verklaring zou kwel langs de Dijkgraaf kunnen zijn. Bij nader onderzoek bleek echter de afsluitbare duiker bij de hoek Dijkgraaf-Plassteeg te lekken, zodat het verschil zeer waarschijnlijk te verklaren is uit een onbedoelde toevoer van effluent van de RWZI Bennekom. Bovendien kon met behulp van een potentiaalsonde<sup>1</sup> worden vastgesteld dat de Dijkgraaf over een aanzienlijk deel van zijn lengte water naar de ondergrond verliest, zodat een netto winst aan kwelwater ook op die grond onwaarschijnlijk is. De grootste verliezen traden op bij het Sportpark Van Ketwich Verschuur; verder naar het zuiden trad een geringe kwel op.

Bij het veldonderzoek bleek dat het overgrote deel van de afvoer van kwelwater uit de Bovendijkgraafse Landen zijn oorsprong heeft in het gebied tussen de Bornsesteeg en de stuwwal. Het gebied tussen Bornsesteeg en Dijkgraaf leverde nauwelijks een bijdrage.

---

<sup>1</sup> Een draagbaar apparaat, waarmee snel kan worden vastgesteld of een watergang water naar de ondergrond verliest (wegzijing) of daaruit juist water opneemt (kwel).

In Tabel 4 is de snelle component van de afvoer, veroorzaakt door ter plaatse gevallen neerslag niet meegenomen. Deze is echter wel aanwezig, maar het afvoergedrag is zonder een meetcampagne die tenminste enkele perioden met etmaalneerslagen van zo'n 10-25 mm niet goed te kwantificeren. Een globale schatting is echter wel te geven voor bijvoorbeeld de bui van 36 mm in 45 minuten die in 4.5 is genoemd. Ervan uitgaande dat de helft van deze hoeveelheid water binnen een dag tot afstroming komt (dit is een conservatieve schatting), dan zal het gebied tussen Dijkgraaf en Bornsesteeg (ca. 120 ha) ruim 20000 m<sup>3</sup> water leveren en het gebied ten oosten van de Bornsesteeg (ca. 180 ha) ruim 30000 m<sup>3</sup>. Dat is ruim anderhalf keer de inhoud van de gracht.

### 5.3. EFFLUENT VAN DE RWZI BENNEKOM

De RWZI van Bennekom produceerde over de jaren 1994-1998 1 tot 1.5 miljoen m<sup>3</sup> effluent per jaar (gegevens van Waterschap Vallei & Eem). Blijkens de weelderige waterplantenvegetatie in de afvoersloot bij de kruising Dijkgraaf-Plassteeg is dit water een uitstekend milieu voor ondergedoken waterplanten die een voedselrijke omgeving verlangen.

De concentratie aan stikstofverbindingen ligt gemiddeld rond de 10 mg N per liter. Dat is 5x de maximaal toelaatbare risicowaarde (MTR) voor oppervlaktewater volgens de Vierde Nota Waterhuishouding. Het gehalte aan fosforverbindingen ligt rond de 0.7 mg P per liter, eveneens ongeveer 5x de MTR-waarde. In ongezuiverd rioolwater zoals dat momenteel af en toe op de stadsgracht wordt overgestort, zullen die waarden overigens ruwweg een factor 10 hoger liggen. Overigens liggen blijkens mededeling van Waterschap Vallei & Eem het N- en P-gehalte in het overgrote deel van de watergangen in het gebied van het waterschap boven de MTR.

Verwacht mag worden dat onder invloed van de slootvegetatie de gehalten aan N en P stroomafwaarts aanzienlijk zullen afnemen. Bij eventueel gebruik van het effluent voor voeding van de stadsgracht is het lange aanvoertracé in dit opzicht dus een voordeel, mits het als open leiding wordt uitgevoerd. Bij een gemiddelde natte doorsnede van de watergang van 1.5 m<sup>2</sup> en een debiet van 20 l per seconde zal de verblijftijd in het toevoertraject van ca. 3.5 km lengte ongeveer 2½ dag bedragen. In die periode moet een dichte slootvegetatie in staat zijn om het grootste deel van de nutriëntenvrucht van omgerekend ca. 1.7 kg N en 130 g P per dag te absorberen. Aangenomen dat het toevoertracé ongeveer 1 ha water zal omvatten, komt deze hoeveelheid voor een groeiseizoen van 5 maanden neer op ongeveer 200 kg N en 15 kg P per ha water. Dat lijken realiseerbare hoeveelheden, temeer omdat zelden of nooit vijf maanden achtereen van het Bennekomse effluent gebruik zal hoeven worden gemaakt. Het is evenwel zinvol om met betrekking tot dit punt in de ontwerpfase aan een aquatisch ecoloog de vraag voor te leggen of extra maatregelen, zoals een helofytenfilter, wenselijk zijn.

In de winter vervalt de opname van de nutriënten als gevolg van de inactiviteit van de slootvegetatie. In 5.2 is gebleken dat dan uit andere bron dan de Bennekomse RWZI voldoende water beschikbaar zal zijn.

Toekomstige ontwikkelingen, zoals beperking van leidingwatergebruik en afkoppeling van neerslagwater van de Bennekomse riolering kunnen in de toekomst wellicht leiden tot een vermindering van het effluent van de Bennekomse zuivering. Bij een geschat inwonertal van 15000 en een drinkwaterverbruik van  $35 \text{ m}^3$  per inwoner per jaar (nu is dat ongeveer  $50 \text{ m}^3$ ) en een volledige afkoppeling van neerslagwater, blijft Bennekom nog altijd goed voor ruim  $500.000 \text{ m}^3$  effluent per jaar, d.w.z. ca.  $1400 \text{ m}^3$  per dag of 16 l per seconde. Zelfs in dit "worst case" scenario (althans gezien vanuit de optiek van watervoorziening van de stadsgracht) kan het jaar rond een substantiële bijdrage worden geleverd aan de watervoorziening van de stadsgracht.

Bij Waterschap Vallei & Eem bestaan geen plannen voor maatregelen die het einde van de beschikbaarheid van effluent van de Bennekomse RWZI zouden kunnen betekenen

Een probleem dat pas tegen het eind van het onderzoek duidelijk werd, is dat behalve de Bennekomse RWZI een viertal riooloverstorten in Bennekom incidenteel via de Zuiveringssloot loost. De posities zijn globaal weergegeven in Fig. 16.

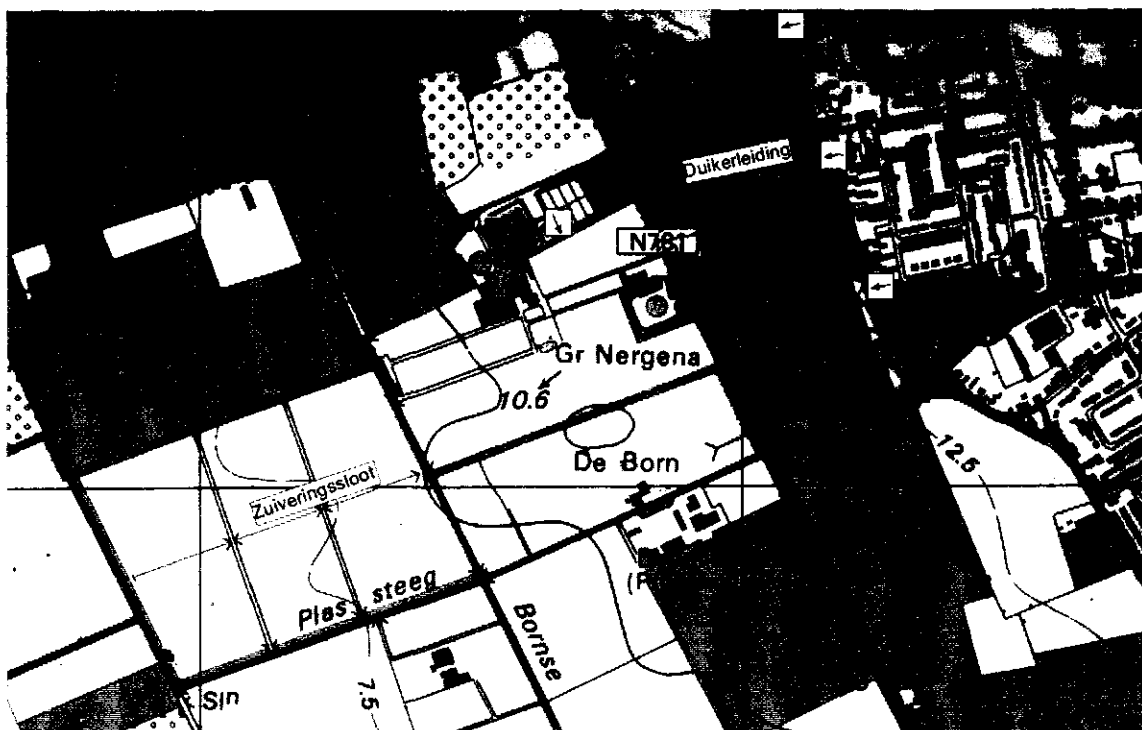


Fig. 16. Posities van riooloverstorten langs de Achterstraat in Bennekom (vierkantjes met pijl), duikerleiding en Zuiveringssloot. Ondergrond: Topografische kaart van Nederland 1:25.000, vergroot naar ca. 1:12.500.

Drie van deze overstorten lozen op een bermsloot langs de Achterstraat in Bennekom. Het zijn overstorten uit het gemengde rioolstelsel. Door een duikerleiding met daarvoor

een vuilrooster wordt, ingeval van een overstorting, het overstortwater naar de Zuiverings-sloot geleid. De vierde overstort is van de RWZI zelf. Het overstortwater van de RWZI is voorbezonden in een bergbassin. Een overstorting vanuit het bergbassin treedt twee tot vijf keer per jaar op. Van de drie overstorten langs de Achterstraat is niet exact bekend hoe vaak deze in werking zijn. Wel is bekend dat deze minder frequent overstorten dan de overstort van de RWZI (informatie Waterschap Vallei & Eem). Het effect op de gemiddelde waterkwaliteit in de zuiveringssloot van waaruit water voor de stadsgracht moet worden betrokken is daarom gering, maar gedurende de korte overstortingsperiodes niet te verwaarlozen.

Om problemen bij tijdelijke verslechtering van de waterkwaliteit in de Zuiveringssloot als gevolg van overstortingen uit te sluiten, wordt aanbevolen om een automatisch verdeelsysteem te installeren, dat ervoor zorgt dat bij overstorting alle water van de overstorten en van de RWZI naar de Grift wordt afgevoerd. In zulke gevallen zal uit de Bovendijkgraafse Landen meer dan voldoende water beschikbaar zijn om gedurende enkele dagen de stadsgracht op peil te houden. Zodra de Bovendijkgraafse Landen te weinig water afvoeren, zal de Zuiveringssloot voldoende zijn doorgespoeld om weer water van acceptabele kwaliteit aan de gracht te leveren.

Ontwikkelingen m.b.t. afkoppelen van verhard oppervlak in Bennekom zullen in de toekomst overigens leiden tot verbetering in de beschreven situatie.

#### **5.4. AANVOER VAN WATER DOOR HET AFKOPPELEN VAN NEERSLAG VAN DE RIOLERING.**

##### *5.4.1. Redenen voor de verwerking van hemelwater buiten de riolering*

Een aanzienlijk deel van het neerslagwater dat op verhard oppervlak valt, wordt bijna zonder vertraging via straatkolken en regenpijpen afgevoerd naar de riolering. De afvoer naar grondwater en door verdamping is volgens gegevens uit Lelystad (Van de Ven, 1989) voor asfalt minder dan 10%, voor tegel- en klinkerbestratingen gemiddeld 70%, afhankelijk van ouderdom, steengrootte en voegbreedte, voor schuine daken 0% en voor platte daken 10%. De rest komt met geringe vertraging in het riool terecht, waardoor de riolering bij grote neerslaghoeveelheden relatief kortstondige hoge piekafvoeren moet verwerken. Een gemengd rioolstelsel dat is afgestemd op dergelijke variaties in afvoerhoeveelheid is praktisch gesproken niet realiseerbaar. Daarom worden bij zware buien de niet te verwerken hoeveelheden water geloosd op het oppervlaktewater. Zoals in 4.5 al is opgemerkt, komen bij dergelijke overstortingen aanzienlijke hoeveelheden rioolwater en -slib op het open water.

In het verleden zijn in Nederland verschillende technieken toegepast om ongewenste vermenging van afvalwater en neerslagwater in de riolering en daarmee overstorting

van afvalwater en slib op open water te vermijden. Ze komen in alle gevallen neer op het scheiden van afvalwater en neerslagwater. De tegenwoordig gebruikelijke term is "afkoppeling". Het afgekoppelde neerslagwater moet echter wel een bestemming krijgen. Daarvoor zijn twee mogelijkheden, lozing op open water en berging in het grondwater (meestal infiltratie genoemd), al dan niet gevolgd door lozing op het oppervlaktewater via drains.

Afkoppeling wordt in Nederland in toenemende mate toegepast, mede omdat het een van de middelen is die rioolbeheerders ten dienste staan om te kunnen voldoen aan de basisinspanning, genoemd in 1.1.

#### *5.4.2. Directe lozing op open water*

Directe lozing op open water is een snel proces. Het open water moet, gegeven de grootte van het afvoerende gebied, voldoende bergings- en afvoercapaciteit hebben. Er is dus een relatie tussen afvoermogelijkheid en geaccepteerde peilvariëaties enerzijds en de grootte en de aard van het lozende verharde oppervlak anderzijds. In het geval van de Wageningse stadsgracht zal een peilschommeling tussen NAP+7.00 en NAP+7.30 m niet tot problemen leiden. Veel lager dan NAP+7.00 m is niet wenselijk met het oog op de stabiliteit van kademuren e.d., bij een hogere stand dan NAP+7.30 à 7.40 m kan wateroverlast optreden. Bij een stand boven NAP+7.45 m kan volgens gegevens van Waterschap Vallei & Eem aangrenzende bebouwing beginnen onder te lopen. Door het snelle karakter van het afvoerproces is afkoppeling van hemelwater naar het oppervlaktewater ongeschikt om de gracht van een gestage aanvoer van water te verzekeren. Bovendien zal de grootste behoefte aan water zich doorgaans voordoen in langere perioden zonder neerslag. Zolang nog rioolwater op de gracht wordt overgestort, kan gelijktijdige toevoer van afgekoppeld neerslagwater wel leiden tot een welkome extra doorspoeling. Naarmate afkoppeling vordert, zullen overigens de overstortingen van rioolwater in frequentie en hoeveelheid afnemen.

#### *5.4.3. Infiltratie*

Een alternatief voor afkoppeling dat vooral in de laatste jaren in de belangstelling staat is berging in het grondwater, meer bekend als infiltratie. Daarvoor zijn de laatste jaren bruikbare technieken ontwikkeld. Bij niet al te diepe gemiddelde grondwaterstanden (om de gedachten te bepalen: ca. 1 m onder maaiveld) moet worden voorkomen dat daarbij grondwateroverlast optreedt. In dergelijke gevallen zal infiltratie gepaard moeten gaan met drainage om tijdig de in de grond geborgen hoeveelheid water te kunnen afvoeren. Het afvoerproces wordt in dergelijke gevallen met enkele uren tot enkele dagen vertraagd ten opzichte van directe lozing op oppervlaktewater. Bovendien treedt door de passage door de grond een zekere mate van reiniging van het water op. Doordat bij deze vorm van afkoppeling berging in de grond optreedt, kan bij een zelfde opper-

vlaktewaterstelsel afkoppeling van een groter gebied worden gerealiseerd dan bij directe lozing. Voor het geval van de Wageningse stadsgracht zou dit betekenen dat de toevoer van doorspoelingswater op gang komt na afloop van en niet tijdens het overstortingsproces, waardoor de doorspoeling effectiever wordt.

Waar de grondwaterstand voldoende diep is, kan worden geïnfiltreerd zonder dat in hetzelfde gebied wordt gedraineerd. Dit leidt tot een versterkte kwelstroming in lager gelegen gebieden. Het afvoerproces wordt daarbij enkele dagen tot enkele maanden vertraagd. Dit type afkoppeling is kansrijk in de hogere delen van de bebouwde kom van Wageningen. Bij terugwinning van het geïnfiltreerde water het water in of nabij het toevertraject van de Bovendijkgraafse Landen naar de stadsgracht zal een bijdrage kunnen worden geleverd aan een regelmatige aanvoer van water van goede kwaliteit naar de stadsgracht. Wel stroomt een deel van het grondwater onder het hoge deel van Wageningen in de richting van de Nederrijn, waardoor het voor de voeding van de gracht geen nut heeft (Fig. 17). Afkoppelen van hemelwater in dit gebied is echter wel zinvol met het oog op de vermindering van hoeveelheden op de gracht overgestort rioolwater.

#### *5.4.4. Hoeveelheden*

De op termijn realiseerbare hoeveelheden die door afkoppeling niet meer het rioolstelsel belasten, maar aan de waterhuishouding van de stadsgracht ten goede kunnen komen, hangen met name voor wat betreft infiltratie af van de ruimtelijke mogelijkheden daartoe en het gemeentelijk beleid op dit punt. Het gaat dan ook om potentiële hoeveelheden. Uitgangspunten zijn:

1. Een gemiddelde jaarneerslag van 800 mm
2. Een gemiddeld verlies per regendag van 0.5 mm en gemiddeld 200 regendagen per jaar
3. Afvoerpercentage van daken: 95
4. Afvoerpercentage van bestratingen: 60 (gerekend met 50% asfalt en 50% tegels en/of klinkers)
5. Verhouding daken : bestratingen = 1 : 1

Uit 1 en 2 volgt een gemiddelde "effectieve" neerslag van 700 mm per jaar.

In Fig. 17 worden drie gebieden in de bebouwde kom van Wageningen aangegeven die bij afkoppeling in relatie tot watervoorziening van de stadsgracht worden beschouwd.

In gebied I zal op grond van de ondiepe grondwaterstand afkoppeling voornamelijk moeten plaatsvinden op basis van directe lozing op het oppervlaktewater dan wel infiltratie met lokale drainage. Het afvoerproces zal dus snel zijn.

In de gebieden II en III kan geïnfiltererd worden zonder lokale drainage, zodat daar het afvoerproces langzaam verloopt. In gebied III is de afstroming van grondwater voornamelijk in de richting van de Nederrijn, waardoor daar geïnfilterd water niet ten nutte komt van de voeding van de stadsgracht. In gebied IV is de hoogteligging ten opzichte van de stadsgracht ongunstig, waardoor transport van afgekoppeld hemelwater naar de stadsgracht op problemen stuit. Daarmee is niet gezegd dat afkoppeling in dat gebied geen zin zou hebben. De gebieden III en IV blijven derhalve verder buiten beschouwing. Tabel 4 geeft de uitkomsten.



Fig. 17. Te onderscheiden gebieden bij afkoppeling met watertoevoer naar de stadsgracht. Cirkels met zwarte rand en witte vulling: suggestie voor aanvulling peilbuizennet ten behoeve van een nauwkeuriger bepaling van de grenzen tussen de gebieden I, II en III. Ondergrond: Topografische kaart van Nederland 1:25.000.

Tabel 4. Geschatte gemiddelde jaarafvoeren van daken en bestratingen

Gebied	Oppervlak (ha)	% verhard	Verhard oppervlak (ha)	Afvoer van daken in m <sup>3</sup> per jaar	Afvoer van bestratingen in m <sup>3</sup> per jaar
I	115	60	69	229000	145000
II	50	50	25	83000	53000



Voor gebied II komt de afvoer neer op gemiddeld 2.6 l per seconde voor daken en 1.7 l per seconde voor bestratingen, samen 4.3 l per seconde. Voor gebied I heeft een dergelijke omrekening weinig zin, gezien de stootsgewijze afvoer die van dit gebied mag worden verwacht.

Een dagneerslag van 33 mm zoals die gemiddeld 1x per jaar in De Bilt voorkomt (Buis-hand en Velds, 1980) zou in gebied I bij volledige afkoppeling een afvoer van ca 17500 m<sup>3</sup> veroorzaken, voldoende voor een vervanging van ruim 50% van de inhoud van de gracht. Over een jaar gerekend kan gebied I bijna drie maal zoveel water leveren als gebied 2.

De grenzen tussen de gebieden I, II, III en IV zoals aangegeven in Fig. 17 zijn voorlopig en behoeven nader onderzoek als een nauwkeurige vaststelling wordt gevraagd. Vaststelling is niet alleen zinvol met het oog op de watervoorziening van de gracht, maar ook op de vraag, waar in de bebouwde kom van Wageningen afkoppeling naar het grondwater en waar naar open water kan, c.q. moet plaatsvinden. Een uitbreiding van het gemeentelijk netwerk van peilbuizen is daarvoor het aangewezen middel. Een suggestie daarvoor is opgenomen in Fig. 17.

## **5.5. KWEL IN HET TRACÉ VAN DE BOVENDIJKGRAAFSE LANDEN NAAR DE STADSGRACHT**

Uitgaande van een tracé langs de Rooseveltweg mag bij een peil iets boven dat van de stadsgracht, d.w.z. ca. NAP+7.30 m, enige kwel in de betreffende watergang worden verwacht. Uit Fig. 8, Fig. 9 en Fig. 10 blijkt dat direct ten oosten van het zuidelijk deel van het tracé in het droge najaar van 1999 grondwaterstanden voorkwamen tussen NAP+7.70 en NAP+8.30 m. Gegeven het verschil met het (geschatte) peil van de watergang, mag in elk geval in dit gebied op enige kwel worden gerekend. Een ruwe schatting, gebaseerd op het verschil tussen grondwaterstand en het peil van het open water komt neer op een orde van grootte van 80 m<sup>3</sup> per dag per 100 m lengte. Omdat de afstand tot de stuwwal tussen tracé en stuwwal naar het noorden toeneemt, zal de kwelintensiteit van zuid naar noord afnemen, zodat over de ca. 800 m tot aan de Tarthorst wellicht een 400-500 m<sup>3</sup> per dag zou kunnen worden gewonnen, ofwel ongeveer 5 l per seconde.

In de vijverpartij langs de Tarthorst treedt eveneens enige kwel op, gezien de (meestal druppelsgewijze) stroming over de stuw tussen Tarthorst en Rooseveltweg die bij droog weer meestal blijft bestaan. Het gaat hier doorgaans om geringe hoeveelheden in de orde van 1 of 2 l per seconde.

## **5.6. DE TOTAAL BESCHIKBARE HOEVEELHEID WATER**

Op grond van het voorgaande kan een beeld van beschikbare hoeveelheden water worden samengesteld. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat aanvoer door afkoppeling uit gebied I (Fig. 17) alleen van belang is voor doorspoeling bij piekneerslagen. In zulke situaties wordt vuil overstortwater dus snel vervangen door schoner hemelwater. Naarmate afkoppeling zijn beslag krijgt, zal daarbij de balans verschuiven van overgestort rioolwater naar afgevoerd hemelwater. Bij de berekening is uitgegaan van een etmaalneerslag van 33 mm, een hoeveelheid die in De Bilt gemiddeld ongeveer eens per jaar voorkomt (Buishand en Velds, 1980). Ook voor piekafvoer van de Bovendijkgraafse Landen is van die hoeveelheid uitgegaan, zij het onder aanname dat 50% binnen 24 uur tot afstroming komt. In totaal leveren de besproken aanvoermogelijkheden het beeld in Tabel 5).

Tabel 5. Potentieel beschikbare waterhoeveelheden, gesplitst in basishoeveelheden (= dagelijkse aanvoer) voor zomer en winter en hoeveelheden bij piekneerslagen. Afvoerpieken gebaseerd op een etmaalneerslag van 33 mm (gemiddelde frequentie van voorkomen 1x per jaar in De Bilt)

Herkomst	Zomer (l/sec)	Winter (l/sec)	Pieken (m <sup>3</sup> )
Bovendijkgraafse Landen ten oosten van de Bornsesteeg	0-15	15-25	30000
Bovendijkgraafse Landen tussen Dijkgraaf en Bornsesteeg	<2	<5	20000
RWZI Bennekom	>16	>16	>16 <sup>1</sup>
Afkoppeling daken gebied I (Fig. 17)	-	-	<11000
Afkoppeling bestrating in gebied I (Fig. 17)	-	-	<6500
Afkoppeling daken in gebied II (Fig. 17)	1.5	3.5	0
Afkoppeling bestrating in gebied II (Fig. 17)	1.0	2.5	0
Kwel in transportleiding Bovendijkgraafse Landen naar gracht	3	7	0
Totaal (afgerond)	20-40	45-60	30000-40000 of 50000-60000 <sup>2</sup>
Benodigd (Tabel 1)	16	15	30000

<sup>1</sup> Gerekend is met volledige afkoppeling in Bennekom

<sup>2</sup> Afhankelijk van de ligging van het aanvoertracé van de Bovendijkgraafse Landen naar de stadsgracht.

## **6. KNELPUNTEN OP DE WEG NAAR HET STREEFBEELD**

Uit het voorgaande blijkt dat in beginsel ruim voldoende water van een behoorlijke kwaliteit beschikbaar is om de voorwaarden te scheppen voor een duurzaam ecosysteem in de Wageningse stadsgracht, zoals geschetst in het streefbeeld in hoofdstuk 3.

Zolang de riolering op de gracht overstort, zal dit beeld niet in zijn geheel worden bereikt. Dat geldt met name de eisen aan stankoverlast, doorzicht en de MTR-normen voor fosfor- en stikstofverbindingen. Anderzijds zal een versnelde doorspoeling na het optreden van overstorting van rioolwater op deze punten wel een verbetering betekenen. Die doorspoeling is in beginsel mogelijk doordat in perioden met hoge neerslag niet alleen rioolwater op de gracht wordt overgestort maar er ook een sterk verhoogd aanbod aan doorspoelwater zal zijn. Een structurele oplossing is dit niet, omdat hoe dan ook een hoeveelheid vuil in het milieu terecht komt dat er niet in thuishoort.

Bij afkoppeling zal het overstortingsprobleem snel kleiner worden, doordat neerslagpieken in afnemende mate op het riool worden geloosd en daardoor vuiluitworp op de gracht door overstorting van rioolwater en -slib minder frequent en in geringere hoeveelheden zal plaatsvinden. Als het afgekoppelde hemelwater vervolgens in de gracht terecht komt, kan het de doorspoeling bevorderen, waardoor afkoppeling uiteindelijk een dubbel positief effect heeft. Bovendien wordt door afkoppeling voorkomen dat schoon neerslagwater eerst wordt vervuild in het riool en vervolgens in de RWZI weer moet worden gezuiverd.

Een zinvolle maatregel voor de korte termijn is het aanbrengen van bergbezinkbassins op de lozingspunten. Daardoor wordt althans de vuiluitworp op de gracht in de vorm van rioolslib en grover vuil sterk verminderd. Dat draagt bij aan de helderheid van het water, maar weinig aan de stankoverlast nadat rioolwater is overgestort. Daarvoor is een behoorlijke doorspoeling met relatief schoon water nodig en op termijn het stoppen van rioolwaterlozingen. Met het aanbrengen van bergbezinkbassins wordt bovendien bijgedragen aan de basisinspanning (zie 1.1).

Om een redelijk schone bodem en de vereiste waterdiepte te verkrijgen is verwijderen van de massa blad- en ander afval uit de gracht een eerste vereiste. Zolang dat niet is gebeurd, hebben andere werkzaamheden weinig effect. Gezien de aanwezigheid van bomen langs sommige stukken van de gracht lijkt een periodieke herhaling van zo'n opschoningsactie eens in een nader te bepalen aantal jaren onvermijdelijk.

Een element dat bij het bereiken van het geschetste streefbeeld van belang zal zijn, is de soortensamenstelling en de omvang van de visstand in de gracht. Bekend is, dat de aanwezigheid van grote aantallen van sommige vissoorten een negatief effect kan hebben op het ontstaan van helder water. Nader onderzoek naar eventuele op termijn te nemen maatregelen is gewenst.

## 7. OPLOSSINGSRICHTINGEN

Voor de aanvoer van water uit de Bovendijkgraafse Landen naar de stadsgracht is een overwegend bovengronds tracé noodzakelijk om voldoende zuurstofrijk water in de stadsgracht te krijgen. In dit verband ligt een tracé langs de Rooseveltweg voor de hand. Daar is een watergang ruimtelijk inpasbaar. Langs het oude tracé van de Dijkgraaf is dat, gegeven het huidige straten- en bebouwingspatroon, niet eenvoudig. In beide gevallen ontbreekt een watergang zodat deze zal moeten worden gegraven.

Het peil in de watergang zal gemiddeld iets hoger dan het grachtpeil van NAP+7.15 liggen. Naar schatting zal dit tussen NAP+7.25 m en NAP+7.50 m zijn. Veel hoger is ongunstig voor de doorstroming vanuit het gebied Tarthorst, lager is niet mogelijk als men uitgaat van doorstroming onder natuurlijk verhang. Dit heeft consequenties voor de tracékeuze. Langs het oude Dijkgraaftracé in de bebouwde kom varieert de maaiveldhoogte tussen NAP+7.75 m en NAP+8.50 m. Bij eerstgenoemde waarde ontstaat een drooglegging die naar de huidige maatstaven voor woonwijken te gering is en kan leiden tot klachten over grondwateroverlast, tenzij kostbare aanvullende maatregelen worden genomen.

Langs de Rooseveltweg tussen de Tarthorst en de stadsgracht liggen de maaiveldhoogten in het algemeen tussen NAP+8.50 m en NAP+9.50 m. Daarbij is geen grondwateroverlast als gevolg van het peil in de waterloop te verwachten. Ten oosten van de Rooseveltweg lopen de maaiveldhoogten vrij snel op naar waarden van NAP+10 m en hoger, zodat een eventuele watergang in dat gebied –zo daarvoor al ruimte zou zijn– al gauw erg diep moet worden ingegraven. Het tracé langs de Rooseveltweg is dus ook uit een oogpunt van maaiveldligging geschikt.

Voor de toevoer naar een tracé langs de Rooseveltweg kan worden gekozen uit twee hoofdtracés, Bornsesteeg en Dijkgraaf. De Dijkgraaf ligt, gezien de historie, voor de hand. Door de verlaging van de waterstand in het stegenlandschap ten noorden van Wageningen heeft de Dijkgraaf echter momenteel een peil van ongeveer NAP+6.65 m, 0.50 m lager dan het streefpeil van de gracht. Toestroming van water uit de Dijkgraaf naar de gracht onder natuurlijk verhang is dus uitgesloten. De waterpartijen tussen Rooseveltweg en Tarthorst staan zelfs nog lager, resp. NAP+5.70 m en NAP+6.50 m, zodat installatie van een gemaaltje in dit deel van een mogelijk tracé onvermijdelijk is.

In dit licht bezien is een aanvoerroute langs de Bornsesteeg en de waterpartij langs de Kennedyweg die een streefpeil van NAP+7.80 m heeft, een aantrekkelijker optie. De doorsteek onder de Nijenoordallee is wellicht realiseerbaar via de bestaande duiker. Of de afmetingen daarvan voldoende zijn, moet nader worden vastgesteld. Een nadeel van het Bornsesteegtracé is dat één bermsloot vanaf de kruising met de huidige zuiverings-sloot die vanaf de Bennekomse RWZI het Binnenveld inloopt, moet worden verbreed en verdiept tot een watergang van voldoende capaciteit. Een tweede nadeel is dat het

“win”gebied tussen Bornsesteeg en Dijkgraaf geheel of grotendeels afvalt. Zoals eerder is aangegeven, is laatstgenoemd nadeel relatief gering, omdat het grootste deel van de basisafvoer van de Bovendijkgraafse Landen uit het gebied ten oosten van de Bornsesteeg afkomstig is. De bijdrage aan piekafvoeren van het gebied tussen Bornsesteeg en Dijkgraaf is ook bij versnelde doorspoeling van de stadsgracht niet onmisbaar.

Zowel het Dijkgraaf- als het Bornsesteegtracé bieden de mogelijkheid, effluent van de RWZI te gebruiken voor voeding van de stadsgracht. Met name in de zomer zal dit effluent vaak nodig zijn, in de winter zelden of nooit. Deze wisseling in behoefte valt redelijk samen met de mogelijkheid tot nazuivering in een slootvegetatie. Die is echter voornamelijk in de zomer actief. Wanneer in een droog najaar, volgend op een droge zomer nog effluent nodig is bij gebrek aan voldoende kwelwater, kan dit leiden tot een tijdelijke lichte achteruitgang van de waterkwaliteit. Het profiel van de watergang zal zodanig moeten worden ontworpen dat ook bij een goed ontwikkelde slootvegetatie de afvoercapaciteit voldoende blijft voor piekafvoeren.

Als meer kwelwater en minder effluent wordt gewenst, zou eventueel kunnen worden overwogen, de watergangen in het gebied ten oosten van de Bornsesteeg wat uit te diepen en/of in oostelijke richting te verlengen om meer kwelwater beschikbaar te krijgen.

Bij keuze voor het Bornsesteegtracé kan –zoals opgemerkt– het water via de bestaande waterpartij langs de Kennedyweg op het Roosevelttracé worden gebracht. Een consequentie is dat de vuiluitworp door overstorting van rioolwater op de vijvers langs de Kennedyweg zo snel mogelijk moeten worden geminimaliseerd en uiteindelijk door afkoppeling of anderszins beëindigd.

Voor de regulering van de toevoer vanaf de RWZI Bennekom kan een verdeelwerk worden gebouwd, waarmee het uitstromende water kan worden verdeeld tussen de stadsgracht en de huidige watergang naar de Grift. Zo'n verdeelwerk kan ook worden gebruikt om te voorkomen dat overgestort Bennekoms rioolwater de gracht bereikt.

Het effect op de waterhuishouding van Noordwest van dit alles is verwaarloosbaar. Als wordt gekozen voor het Bornsesteegtracé, zal het misschien nodig zijn om in de zomer enkele liters per seconde te gebruiken om de Dijkgraaf op peil te houden. De waterpartijen van Noordwest hebben een peil (van oost naar west) van NAP+6.20 m, NAP+5.70 m en NAP+5.30 m (Haskoning, 1986). Dat is een verschil van meer dan 2 m met de stijghoogte in het derde watervoerende pakket. Als de weerstand van de tweede scheidende laag wordt geschat op basis van gegevens van Meinardi (1978) en Van der Schaaf en De Vries (1991) en Bier *et al.* (1992), leidt dit tot de conclusie van een nagenoeg constante kwel tussen 0.5 en 2 mm per dag, gerekend over de hele wijk. Deze hoeveelheid is naar verwachting voldoende om het open water in de wijk op peil en redelijk schoon te houden.

## 8. CONCLUSIES

De Wageningse stadsgracht kan niet op peil worden gehouden zonder voeding van buitenaf, doordat aanzienlijke verliezen naar het grondwater optreden. Dit is altijd het geval geweest, waarbij via de Dijkgraaf water werd aangevoerd ter compensatie van het verlies. De wegzijging uit de gracht ligt tegenwoordig in de orde van grootte van 7 liter per seconde.

De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat de kwel in het gebied van de Bovendijkgraafse Landen in combinatie met het effluent van de RWZI Bennekom onder alle omstandigheden voldoende water van redelijke tot goede kwaliteit kan leveren om de stadsgracht op peil te houden en daarenboven een zekere doorspoeling te realiseren. Het effluent kan daarbij dienen als sluitpost, d.w.z. als aanvulling op het kwelwater als daarvan te weinig beschikbaar is. Doordat de verblijftijd in het aanvoertracé 2-3 dagen is, kan daarin nazuivering door een waterplantenvegetatie optreden, zoals dat nu al in de Zuiveringssloot het geval is. De gemiddelde verblijftijd van het water in de gracht zal bij normale doorspoeling ongeveer 3 weken bedragen.

De gedachte om uit het gebied ten noorden van Wageningen is dus uit een oogpunt van vraag en aanbod van water realiseerbaar. Het meest voor de hand liggende tracé loopt via de Rooseveltweg. Restauratie van het oude tracé van de Dijkgraaf binnen de bebouwde kom van Wageningen is door de ontwikkelingen sinds de jaren '50 een weinig realistische optie. Het tracé langs de Rooseveltweg zal bovendien nog een kleine hoeveelheid kwelwater opnemen die een nuttige extra bijdrage kan leveren aan de doorspoeling van de stadsgracht.

Om het water op het Roosevelttracé te brengen zijn twee routes denkbaar: de Dijkgraaf of een uit te diepen en te verbreden bermsloot van de Bornsesteeg.

De Dijkgraaf heeft als bezwaar dat het huidige peil ongeveer 50 cm onder dat van de gracht ligt en dat een waterpartij langs de Tarthorst moet worden gepasseerd met een nog lager peil. Daarmee is opmaling onvermijdelijk.

Het Bornsesteegtracé heeft als voordeel dat water onder natuurlijk verhang naar het Roosevelttracé kan stromen. Het wingebed is echter kleiner. Met het oog op de toestroming van water tijdens perioden met droog weer is dit nauwelijks een nadeel omdat het overgrote deel van de kwel in de Bovendijkgraafse Landen afkomstig is van een zone ten oosten van de Bornsesteeg. Als bij grote neerslaghoeveelheden snelle doorspoeling van de gracht nodig is, is het effect op de afvoer groter, omdat deze dan ongeveer evenredig is met de grootte van het afvoerende gebied. Uit het onderzoek blijkt echter dat het gebied ten oosten van de Bornsesteeg ook dan nog voldoende water kan leveren. Wel is het denkbaar dat de Dijkgraaf in droge perioden een aanvulling van water van enkele liters per seconde zal behoeven om op peil te blijven. Die ruimte is aanwezig.

Voor de overige waterpartijen in Noordwest zijn er geen consequenties. Wel zal bij een keuze voor het Bornsesteegtracé in combinatie met het Rooseveltwegtracé een manier gevonden moeten worden om op korte termijn de overstortingen op de waterpartij langs de Kennedyweg. te minimaliseren, c.q. te beëindigen.

Een tweede belangrijke conclusie is dat de huidige verwevenheid van open water in de stad en het rioolstelsel de realisering van een blijvend gezond aquatisch ecosysteem in het open water in de weg staat. Bij voldoen aan de basisinspanning, genoemd in 1.1, zal het streefbeeld als genoemd in hoofdstuk 3 op zijn minst zeer dicht kunnen worden benaderd en waarschijnlijk zelfs geheel kunnen worden gerealiseerd.

Om in de gracht de waterhuishoudkundige voorwaarden te scheppen voor een duurzaam gezond ecosysteem, zijn de volgende maatregelen noodzakelijk. In prioriteitsvolgorde:

1. Verwijderen van de massa blad- en ander afval en slib op de bodem, waarmee een schone bodem en een redelijke waterdiepte van gemiddeld ongeveer een meter wordt bereikt.
2. Bij overstortingen van rioolwater een versnelde doorspoeling van de gracht en de toevoertracé met behulp van in natte perioden afgevoerd water uit de Bovendijkgraafse Landen. Zodra overstortingen tot het verleden behoren, is versnelde doorspoeling (eigenlijk een lapmiddel) niet meer nodig.
3. Afkoppeling van neerslagwater van de riolering. Daarmee wordt een vermindering van de overgestorte hoeveelheid rioolwater bereikt en komt bovendien extra water beschikbaar dat kan dienen als doorspoeling van de gracht. Afkoppeling van daken is effectiever dan afkoppelen van bestratingen. Afkoppelen in het lagere deel van Wageningen levert vooral water op voor een snelle doorspoeling van de gracht; afkoppelen in het hogere deel van Wageningen kan via het grondwater een meer gestage bijdrage aan de watervoorziening van de gracht leveren. De hoeveelheden zijn niet onbelangrijk, maar aanzienlijk kleiner dan wat uit de RWZI Bennekom en de Bovendijkgraafse Landen samen kan worden betrokken.
4. Terugdringing van de vuiluitworp aan slib en grover materiaal uit riooloverstorten op het open water door middel van bergbezinkbassins.

De beschikbare hoeveelheden water zijn voldoende om desgewenst via de stadsgracht nog een zekere doorspoeling van waterpartijen in het westelijk deel van Wageningen te realiseren. Het peil in de Leeuwerikswaai ligt met NAP+6.10 m ruim onder de NAP+7.15 m van de stadsgracht, waardoor doorspoeling onder natuurlijk verhang in principe mogelijk is. De vijver bij Pomona (peil NAP+6.80 m) zou eventueel een kleine hoeveelheid water uit het aanvoertracé naar de stadsgracht kunnen krijgen. De realiseerbaarheid van deze mogelijkheden hangt deels af van onderweg te hanteren peilen en zou nader moeten worden onderzocht.



## 9. LITERATUUR

- Baakman, B., M. van den Ham, W. van der Kruijk, C. Rennen, P.J. Stuiver en K. Vos, 1990. Hydrologische systeem-analyse waterwingebied Wageningen. Veluwe Nutsbedrijven, Velp. 29 pp. + bijlagen.
- Bier, G. D. van der Hoek, S. van der Schaaf en T.J. Spek, 1992. Kwel en natuurontwikkeling in het Binnenveld tussen de Neder-Rijn en Veenendaal. Rapp. 19, Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Buishand, T.A. en C.A. Velds, 1980. Neerslag en Verdamping. Klimaat van Nederland I. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- Derde Nota Waterhuishouding, 1989. Water voor nu en later. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989 21 250, nrs. 1-2, 297 pp. Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.
- Drecht, G. van, 1977. Geo-hydrologie van het zuidelijke geceelte van de Gelderse Vallei. Doctoraalscriptie Landbouwhogeschool, Vakgr. Cultuurtechniek, 45 pp. + bijlagen.
- Haskoning, 1986. Bestemmingsplan Noordwest. Uitwerking waterbeheersings- en rioleringsplan. 24 pp. +bijlagen.
- Kollen, J. en S. van der Schaaf, 1990. Integraal Gemeentelijk Waterbeheer. Verslag 2<sup>e</sup> Nationaal Rioleringscongres Amsterdam, pp. 55-71.
- Meinardi, C.R., 1978. Geohydrologische gegevens van Zuidelijk Flevoland en de Gelderse Vallei. RID-mededeling 78-4, Leidschendam, 50 pp.
- Schaaf, S. van der en C.J. de Vries, 1991. Integraal Waterbeheer Ede. Deelrapport Ontwatering. Rapp. 13. Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Stichting voor Bodemkartering, 1973. Bodemkaart van Nederland. Schaal 1:50 000, Blad 39 West, Blad 39 Oost.
- Reuter, K.N. en J.J. Kouwe, 1958. De landbouwwaterhuishouding in de provincie Gelderland. Rapport 6, Comm. Onderz. Landbouwwaterhuish. TNO.
- Ven, F.H.M. van de, 1989. Van neerslag tot rioolloop in vlak gebied. Van Zee tot Land 57, 263 pp. Proefschrift TU Delft.
- Verbraeck, A., 1984. Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Tiel West (39 W) en Blad Tiel Oost (39 O). Rijks Geol. Dienst, Haarlem.
- Verweij, J.J., 1975. Oorzaken van verminderde afvoer en het droogvallen van de Renkumse beken. Landbouwhogeschool, Meded. Afd. Cultuurtechniek 16, Wageningen.
- Vierde Nota Waterhuishouding, 1998. Regeringsbeslissing. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- Zeeuw, J.W. de, 1954. Hydrologische problemen in een hellend gebied en een 14<sup>e</sup> (?) eeuwse oplossing. Referaat van de voordracht voor het Agrohydrologisch Colloquium van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland te Utrecht op 15 maart 1954.

## 10. WOORDENLIJST

Term	Definitie
Beekoordgrond	Kalkloze zandgrond met een humeuze bovengrond van 15 tot 50 cm dik, waarvan minder dan 35 cm door uitspoeling is ontijzerd en met kenmerken die duiden op een natte ligging, d.w.z. een grondwaterspiegel die in elk geval 's winters tot aan of vlak onder het maaiveld reikt.
COLN	Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland. Onder verantwoordelijkheid van deze commissie is in de jaren '40 en '50 de landbouwwaterhuishouding van Nederland uitvoerig in kaart gebracht.
Doorlaatvermogen	Maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten, gedefinieerd als het volume water dat per (eenheid van) breedte van het watervoerend pakket bij een stijghoogtegradiënt van 1 door het pakket stroomt.
Drooglegging	Het hoogteverschil tussen het peil in een waterloop en het aanliggende maaiveld
GHG	Gemiddelde hoogste grondwaterstand, gedefinieerd als het gemiddelde van de HG3 over tenminste 8 hydrologische jaren (1 april - 31 maart)
GLG	Gemiddelde laagste grondwaterstand, gedefinieerd als het gemiddelde van de LG3 over tenminste 8 hydrologische jaren (1 april - 31 maart)
Gooreerdgrond	Kalkloze zandgronden met een humeuze bovengrond van 15 tot 50 cm dik, waarvan tenminste de bovenste 35 cm door uitspoeling is ontijzerd en met kenmerken die duiden op een natte ligging, d.w.z. een grondwaterspiegel die in elk geval 's winters tot aan of vlak onder het maaiveld reikt.
Helofytenfilter	Vloeveld met moeras- en/of waterplanten waarin omzettingsprocessen optreden, waardoor organische verontreinigingen worden afgebroken. Een groot deel van de afbraakproducten wordt vervolgens door de vegetatie als voedingsstof opgenomen. Daardoor wordt het doorstromende water gezuiverd.
HG3	Gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden van een reeks, gemeten op of omstreeks de 14e en 28e van elke maand in een hydrologisch jaar
Hydrologisch jaar	Periode van 1 april tot en met 31 maart daaropvolgend
Isohypse	Lijn van gelijke stijghoogte van grondwater (vergelijkbaar met een hoogtelijn op een topografische kaart)
LG3	Gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden van een reeks, gemeten op of omstreeks de 14e en 28e van elke maand in een hydrologisch jaar
Ontwateringsdiepte	De afstand tussen maaiveld en de hoogste grondwaterstand tussen ontwateringsmiddelen (drains of sloten)

Term	Definitie
Neerslagoverschot	Het deel van de neerslag dat niet ter plaatse verdampt
Verdampingoverschot	Het deel van de verdamping dat niet door neerslag wordt gecompenseerd