

De vuiluitworp van regenwaterriolen en hun invloed op het oppervlaktewater;

de eerste resultaten van een onderzoek in Lelystad

Vanaf 1982 worden in Lelystad door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) de vuiluitworp van een regenwaterriool en de gevolgen van de vuiluitworp voor het ontvangende oppervlaktewater onderzocht. De volgende waterkwaliteitsaspecten worden beschouwd:

- zuurstofhuishouding;
- nutriëntenhuishouding;
- bacteriologie;
- verontreiniging met zware metalen;
- verontreiniging met organische verbindingen (o.a. olie).



IR. E. J. B. UUNK
Rijksdienst voor de
IJsselmeerpolders

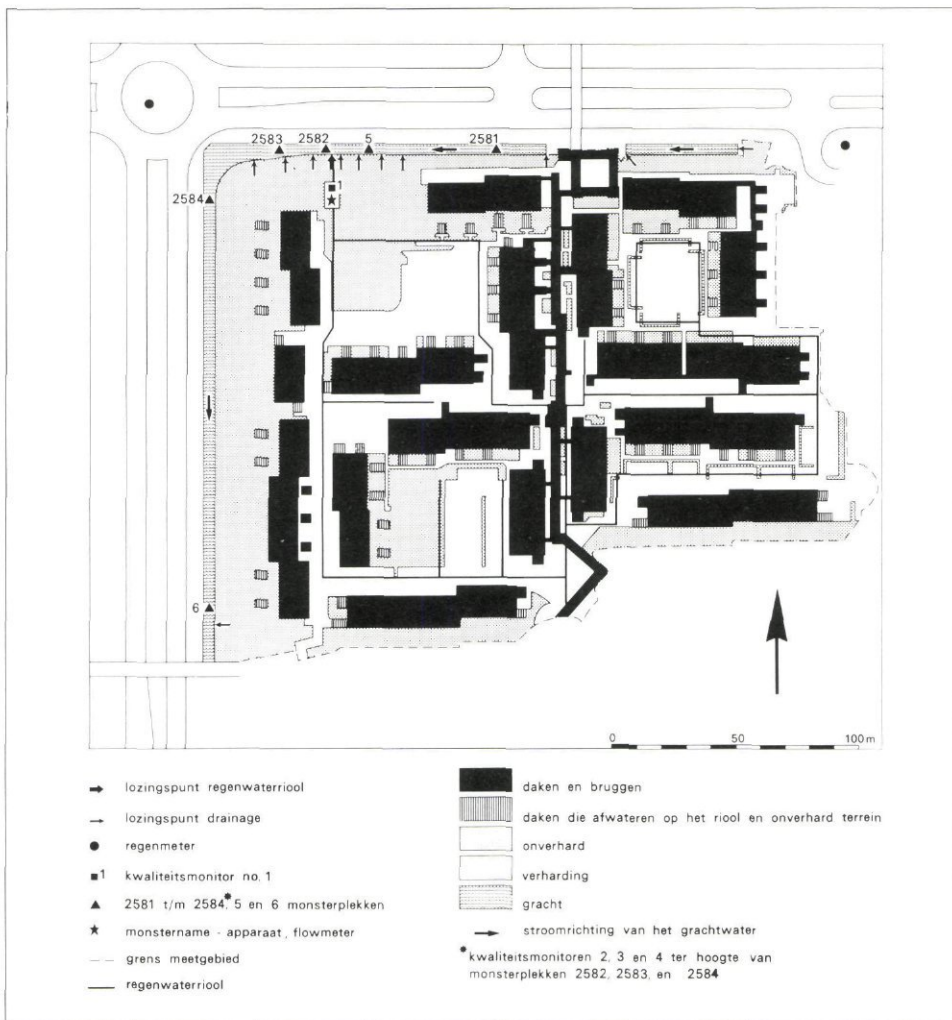
Het hier volgende artikel wil een indruk geven van de eerste resultaten van dit voor Nederland unieke onderzoek. Het sluit zowel aan op vroegere publikaties over in Lelystad uitgevoerd waterkwaliteitsonderzoek als op het artikel over de opzet van het onderhavige onderzoek [Van de Ven, 1983].

Aanleiding tot het onderzoek

In de jongste kernen in de IJsselmeerpolders – Lelystad, Almere en Zeewolde – worden de overtollige neerslag en het afvalwater afgevoerd via een gescheiden rioolstelsel. De overtollige neerslag van verharde oppervlakken wordt via regenwater (rwa¹)riolen rechtstreeks op oppervlaktewater, in casu de stadsgrachten, geloosd. De overtollige neerslag van de niet-verharde oppervlakken percoleert door de bovengrond en wordt vervolgens, tezamen met enige kwel, via drainage eveneens op de grachten geloosd.

Sinds 1972 wordt door de RIJP onderzoek gedaan naar de gevolgen van lozingen vanuit de regenwaterriolen voor de kwaliteit van het grachtwater. Tot 1982 bestond het onderzoek in hoofdzaak uit steekproefsgewijze bemonsteringen op willekeurige tijdstippen van rwa-, drain- en grachtwater. Enkele conclusies uit dit onderzoek waren [zie met name Greiner en De Jong, 1976]:

- Door de regenwaterriolen wordt enigszins verontreinigd water naar de grachten afgevoerd. De gemeten concentraties aan verontreinigingen zijn echter aanzienlijk lager dan de in de literatuur genoemde.
- De kwaliteit van het drainwater is goed, al bevat het soms vrij veel fosfaat.
- Het grachtwater is voedselrijk. Dit hangt, behalve met de nutriëntentoevoer via drains en regenwaterriolen, ook samen met de



Afb. 1 - Het meetgebied Bastion.

voedselrijkdom van de (kleiige) grachtbodem.

- Een deel van de op de grachten geloosde (voedings)stoffen wordt terughouden vóór afvoer naar het omringende polderwater.
- Visueel steekt het grachtwater gunstig af bij de, eveneens voedselrijke, overige polderwateren in Flevoland. Dit komt doordat de voedselrijkdom zich in de stadsgrachten niet uit in de groei van algen zoals in het overige polderwater, als wel in de groei van hogere waterplanten, die het water 's zomers helder houden. Toevoer van polderwater ter verversing van de inhoud van de grachten wordt daarom zoveel mogelijk vermeden.
- In bacteriologisch opzicht is het grachtwater als gevolg van de lozingen uit de regenwaterriolen niet altijd betrouwbaar. Tijdens het onderzoek werd duidelijk dat enkele kwaliteitsaspecten bij de gehanteerde onderzoeksmethode niet of onvoldoende aan bod kwamen:

1. De bepaling van de grootte van de vuiluitworp van de regenwaterriolen. Met behulp van de verzamelde steekmonsters kon hiervan slechts een indicatie worden

verkregen. De afgevoerde vuilvrachten kunnen alleen via een debietproportionele bemonstering van het rwa-water nauwkeurig worden vastgesteld.

2. De directe (korte-termijn) gevolgen van lozingen van regenwaterriolen op de kwaliteit van de ontvangende oppervlaktewateren. Daartoe dienden het rwa- en het grachtwateronderzoek op elkaar te worden afgestemd. Bij dergelijk onderzoek zou in het bijzonder aandacht moeten worden besteed aan 'reactieve' stoffen. Hiermee worden in dit verband stoffen bedoeld, die bij het grachtwateronderzoek op willekeurige tijdstippen geheel of gedeeltelijk aan de aandacht ontsnappen, omdat ze snel omgezet worden, bezinken of naar de atmosfeer ontwijken. Dit betreft met name bacteriologische verontreiniging, zware metalen, zuurstof en sommige organische stoffen.

Het onderzoek in het Bastion

Om de bovengenoemde hiaten aan te vullen, is een nieuw meetgebied ingericht in de woonwijk Bastion. Het meetgebied is weergegeven in afb. 1.

De gracht langs het Bastion wordt sinds begin

¹ rwa = regenwaterafvoer.

TABEL I – Grachtwaterkwaliteit in Lelystad (gemiddelde ^{minimum}–^{maximum}-gehalte).

Parameters ⁴	mg/l							mg/m ³		cm	/100 ml	Aantal waarne- mingen
Monsterplekken	Cl	Ca	N-NH ₄	N-NO ₃	N-Kjeld.	P-totaal	BZV ²⁰ ₅	CZV	chlor.-a	doorzicht	faecale coli	
<i>1981:</i>												
232 (nabij Lelycentrum)	215 121 305	176 88 218	0,19 0,00 0,50	0,4 0,0 1,3	1,2 0,7 1,6	0,22 0,07 0,57	3 2 5	29 15 41	21 2 58	– ² 45 >70	275 ³ <95 2400	10
239 (vijver 2e woonwijk)	310 278 344	191 183 205	0,03 0,00 0,06	0,0 0,0 0,0	1,4 0,9 2,3	0,13 0,04 0,26	5,1 2 9	38 25 50	37 15 86	– ² 30 100	95 ³ <95 2200	10
249 (stuw Sportparkweg)	227 148 281	188 140 255	0,40 0,00 3,2	0,4 0,0 1,3	1,6 0,9 4,1	0,16 0,08 0,29	5,0 2 8	32 19 44	62 17 120	51 23 85	215 ³ <95 2400	10
253 (stuw Buitenplaats)	223 138 336	248 150 515	0,9 0,00 6,2	0,4 0,0 2,1	2,0 0,8 6,8	0,15 0,07 0,24	4,0 2 8	30 19 43	37 6 128	– ² 40 120	95 ³ 95 6300	10
254 (stuw Oostranddreef)	177 113 237	220 134 296	0,15 0,00 0,34	0,3 0,0 0,9	1,2 0,8 2,0	0,11 0,05 0,24	3,3 2 6	29 17 41	20 2 61	– ² 40 >80	150 ³ <95 1520	10
255 (stuw Jol)	237 192 276	218 170 266	0,22 0,00 1,3	0,4 0,0 1,1	1,3 0,9 2,4	0,14 0,08 0,20	4,1 2 9	30 22 44	52 13 150	67 38 95	95 ³ <95 810	9
2582 (gracht Bastion)	129 47 223	95 53 196	0,16 0,00 0,35	0,4 0,0 1,3	1,1 0,7 1,4	0,28 0,10 0,80	4,3 2 8	25 17 41	33 4 104	– ² 40 >55	515 ³ <95 12000	8
<i>1982:</i>												
2582 (gracht Bastion)	127 32 260	– ¹ – ¹ – ¹	0,50 0,05 0,90	0,4 0,0 0,8	1,7 0,8 2,8	0,32 0,15 0,68	4,5 2 10	28 14 46	39 2 134	– ² 30 >50	95 ³ <95 80000	12

¹ = niet gemeten.² = niet te bepalen in verband met regelmatig doorzicht tot op de bodem.³ = mediaan.⁴ = niet gepresenteerd, maar wel bepaald: pH, O₂, T, P-ortho, Fe, HCO₃⁻, CO₃²⁻, DOC, POC, visuele verontreiniging.

1982 uitsluitend gevoed via het regenwaterriool en de drainage van de wijk Bastion en via een cunetdrain van de ten noorden van het gebied lopende stadshoofdweg.

Dit maakt deze gracht geschikt als proef-object om de invloed van rwa-lozingen op het ontvangende oppervlaktewater te bestuderen. De opzet van het onderzoek in het Bastion is beschreven door Van de Ven [1983]. Hier zij volstaan met een korte vermelding van de hoofdelementen van het kwaliteitsgedeelte van het onderzoek.

Deze zijn:

- continue registratie van onder andere temperatuur en zuurstofgehalte in regenwaterriool en gracht;
- debietproportionele bemonstering van regenwaterafvoeren;
- tijdens of direct na geselecteerde regenwaterafvoeren: bemonstering van gracht- en drainwater in het Bastion en van enkele regenwaterafvoeren elders in Lelystad;
- op willekeurige tijdstippen: bemonstering van regen¹-, gracht- en drainwater en gracht-sediment¹, straatvuil¹, kolkinhouden¹, etc. in het Bastion, biologisch wateronderzoek¹ in het Bastion en op vergelijkingsobjecten in Lelystad.

In het onderstaande worden de resultaten, verkregen in de aanloopperiode van het onderzoek, belicht. Deze periode eindigde

op 1 januari 1983, toen de continue bemonstering van de regenwaterafvoeren startte.

Achtereenvolgens komen aan de orde: het routinematige grachtwateronderzoek, het oriënterend onderzoek naar korte termijnfluctuaties in de grachtwaterkwaliteit en de 'testbuien'.

Routinematig grachtwateronderzoek

Tot en met 1981 is op een aantal plaatsen in de Lelystadse grachten regelmatig waterkwaliteitsonderzoek uitgevoerd. De meeste onderzoeksplekken en de resultaten van het tot en met 1980 verrichte onderzoek zijn reeds eerder beschreven [Greiner en De Jong, 1976; Hogendoorn e.a., 1981; Van Dam e.a., 1981]. De gracht langs het Bastion (ter hoogte van het lozingspunt van het rwa-riool) was in 1981 voor het eerst opgenomen in het onderzoeksprogramma. In 1982 is alleen in deze gracht nog regelmatig onderzoek verricht. Tabel I geeft een indruk van de onderzoeksresultaten uit 1981 en 1982.

Vergelijking van de waterkwaliteit van de gracht langs het Bastion met die op de overige onderzoeksplekken wijst uit:

- in veel opzichten (nitraat, BZV²⁰₅, CZV, chlorophyl-a, doorzicht) zijn er geen wezenlijke verschillen;
- het voorkomen in de gracht langs het Bastion van zeer lage chloride- en calciumgehalten en van aanzienlijke bacteriologische

verontreiniging wijst op beïnvloeding door regenwaterafvoeren. Vooral in de tweede helft van het jaar, wanneer de drains vrijwel geen water afvoeren (vanwege de lage grondwaterstand), blijkt de rwa-invalde groot te zijn;

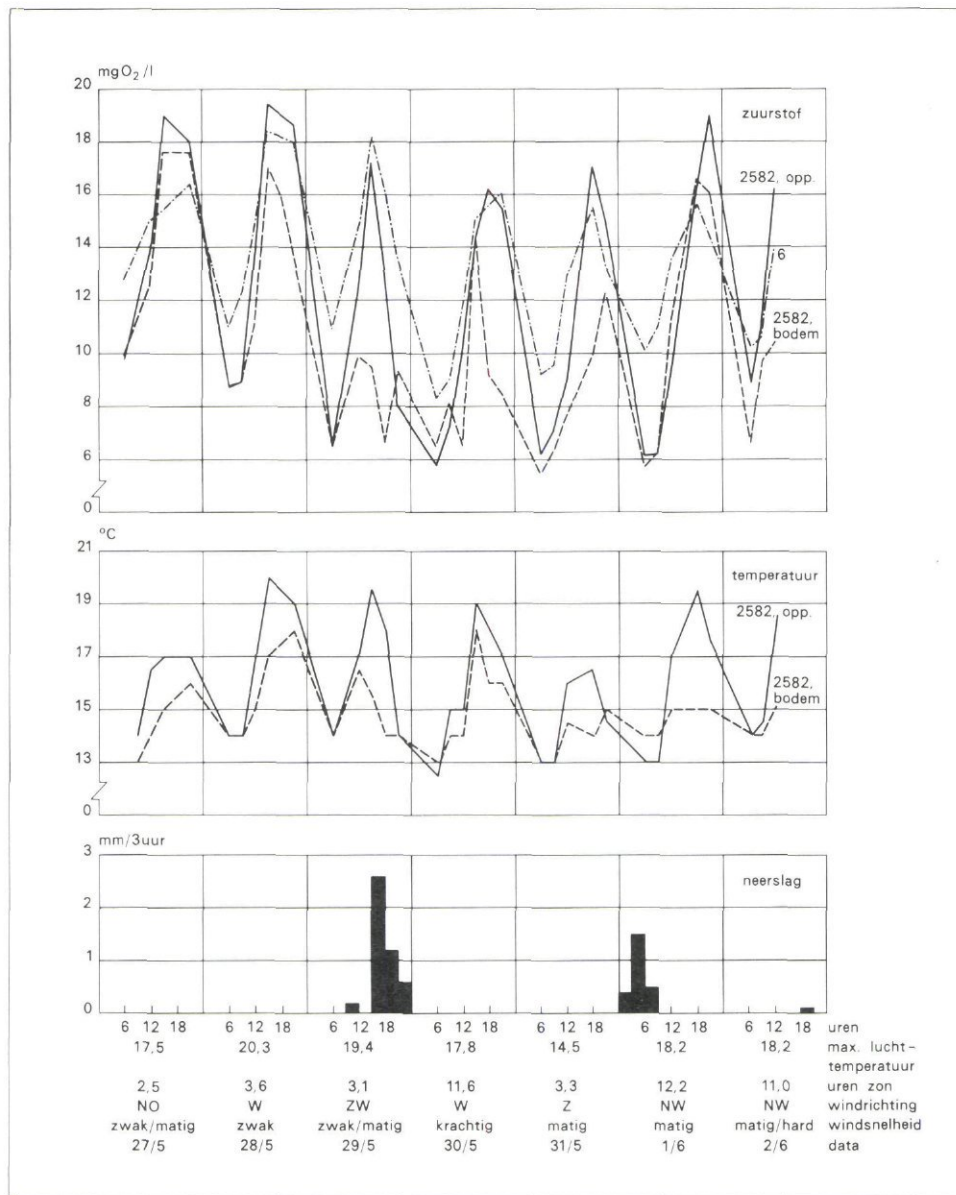
- het grachtwater bevat soms veel ammonium en fosfaat. Wat betreft de gracht langs het Bastion hangt dit samen met het optreden van kroesbedekking. Deze belemmert de zuurstofvoorziening van het water. Onder zuurstofarme omstandigheden worden eenmaal in het water aanwezig ammonium en fosfaat niet of nauwelijks afgebroken, respectievelijk neergeslagen.
- Op basis van de aangetroffen overeenkomsten en (verklaarbare) afwijkingen kan de gracht langs het Bastion als redelijk representatief voor de Lelystadse grachten worden gekwalificeerd. In 1982 is de waterkwaliteit van de gracht iets slechter dan in 1981. Dit lijkt samen te hangen met de uitgebreidere kroesbedekking in 1982.

Oriënterend grachtwateronderzoek

In 1980 is in de gracht oriënterend onderzoek gedaan naar korte-termijnveranderingen in menging, zuurstofhuishouding en waterchemie en de invloed van rwa-lozingen daarop.

Het onderzoek had ten doel om de bepalende factoren van de zuurstofhuishouding globaal te leren kennen en om vast te stellen of

¹ Vanaf 1983.



Afb. 2 - Het verloop van de temperatuur en het zuurstofgehalte van het water in de gracht langs het Bastion, van 27 mei tot 2 juni 1980.

continue registratie van temperatuur, zuurstof en pH zinvol zou zijn. De betreffende periode werd gekozen vanwege de hoge watertemperaturen, waardoor de biologische activiteit in de gracht en, daarmee, de druk op de zuurstofhuishouding relatief groot zou zijn. Overdag werd ongeveer om de drie uur (dat wil zeggen om 6.00 uur, 9.00 uur, 12.00 uur, 15.00 uur, 18.00 uur en 21.00 uur) temperatuur en zuurstof gemeten op drie plaatsen, te weten de plekken (258)2, 5 en 6 (afb. 1), waarbij op plek 2582 (ter hoogte van de uitmonding van

het regenwaterriool in de gracht) zowel bij de bodem (± 60 cm waterdiepte) als nabij het wateroppervlak werd gemeten. Op de plekken 5 en 6 werd ook de pH gemeten. Op 20 mei (bij de start van het onderzoek) en op 29 mei, tijdens en na een flinke regenbui, zijn de plekken 5 en 6 bemonsterd. Afb. 2 geeft een indruk van de onderzoeksresultaten. Deze geven aanleiding tot de volgende constatering:

- het water van de ondiepe gracht kan aanzienlijke dag-/nachtfluctuaties in de temperatuur vertonen;

- bij niet al te harde wind en flinke instraling treedt een vrij sterke temperatuurgradiënt tussen bodem en oppervlak op;
 - de zuurstofhuishouding van de gracht wordt in de onderzoeksperiode gedomineerd door de dag-/nachtcyclus, die samenhangt met de biologische activiteit (primaire productie en respiratie van algen en waterplanten). De korte-termijinvloeden van andere factoren, zoals reaëratie, de afbraak van organisch materiaal in water en bodem en de lozing van rwa-water blijken van ondergeschikt belang;
 - de dag-/nachtfluctuaties in het zuurstofgehalte zijn ter hoogte van het lozingspunt van het regenwaterriool het grootst. Ook zijn het BZV²⁰₅ en het CZV van het grachtwater daar hoger dan verderop in de gracht. Dit duidt op een eutrofiërende invloed van de rwa-lozingen;
 - regenwaterafvoer veroorzaakt hooguit (op 29 mei) een tijdelijke verlaging van het zuurstofgehalte van het grachtwater nabij het lozingspunt. Zeer lage zuurstofgehalten na rwa-afvoer zijn niet waargenomen. Het BZV²⁰₅ van het grachtwater nam tijdens de bui van 29 mei toe van 6 tot 12 mg O₂/l, maar was enkele uren later al weer gedaald tot 6 mg/l;
 - het grachtwater bevat, als gevolg van de continue toevoer van licht brak, kalkrijk drainwater¹, aan het eind van een droogweelperiode veel zouten. Toevoer van rwa-water¹ leidt tot aanzienlijke verlaging van de gehalten (zie tabel II);
 - de pH van het grachtwater fluctueert op soortgelijke wijze als het zuurstofgehalte, echter, als gevolg van de buffering van het water, in veel mindere mate.
- Mede op basis van deze onderzoeksresultaten is besloten om continue temperatuur, zuurstof, pH (op beperkte schaal) en chloride (eventueel geleidingsvermogen) te gaan meten.

De testbuizen

Medio juli 1982 is de apparatuur voor de debietproportionele bemonstering van de regenwaterafvoer en voor de continue registraties in de regenwaterafvoer en in de gracht operationeel geworden. Om het relatieve belang van de te onderzoeken kwaliteitsaspecten nader vast te stellen, is in de tweede helft van 1982 een achttal afvoer-gebeurtenissen, de zogenaamde testbuizen, uitgebreid onderzocht. Aldus kon tevens ervaring worden opgedaan met het meetstelsel en het geplande werkschema.

In het onderstaande wordt een eerste indruk gegeven van de onderzoeksresultaten in de testperiode.

TABEL II – Concentraties van een aantal ionen in het grachtwater vóór en ná een rwa-lozing op 29 mei 1980.

	(milligram per liter)						(μ S bij 18 °C)
	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	geleidendheid
vóór de rwa-lozing	179	57	237	11	328	485	1.900
ná de rwa-lozing	35	4	103	0	27	37	290

¹ Medio 1980 ook nog drain- en rwa-watertoevoer vanuit naburige woonwijken.

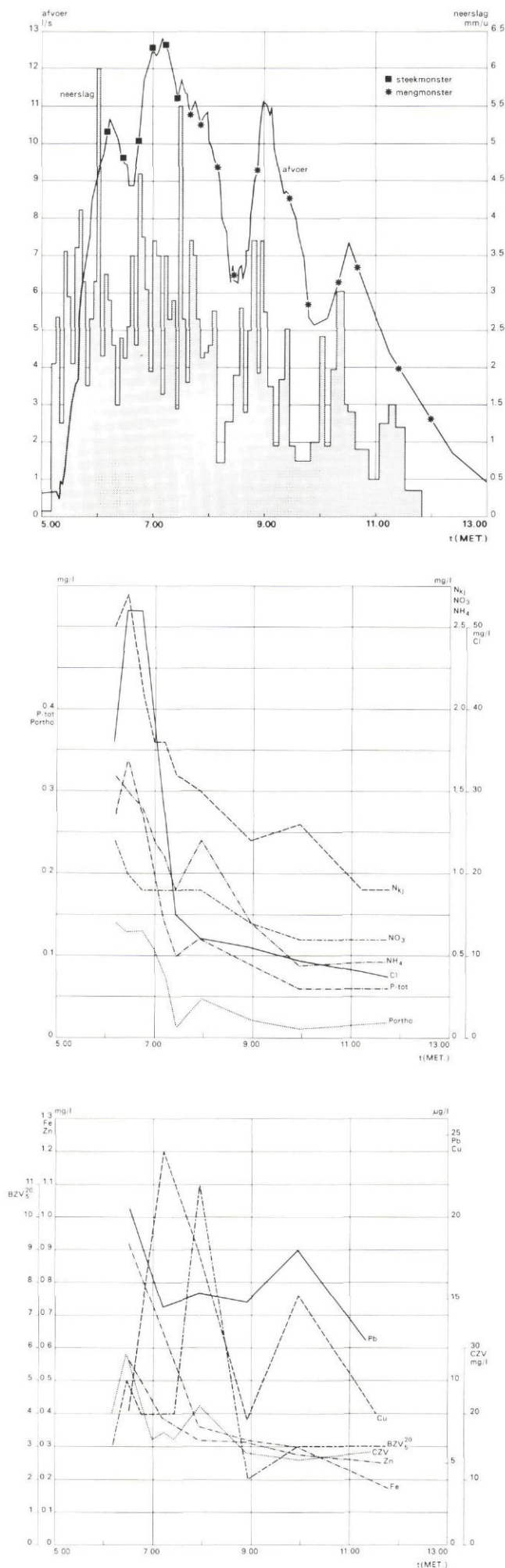
De regenwaterafvoer

In tabel III worden de acht buien in hydrologisch opzicht gekarakteriseerd en wordt een aantal waterkwaliteitskenmerken ervan gepresenteerd. De aard van de buien varieert van motregen (bijvoorbeeld 1e bui 13/10) tot felle (onweers)buien (bijvoorbeeld 15/7).

De kwaliteit van het afgevoerde water lijkt vooral te worden bepaald door de maximale neerslagintensiteit. Vooral het zwevende stofgehalte van het afgevoerde water neemt sterk toe met de neerslag- en afvoerintensiteit, waarbij het anorganische aandeel (klei- en zanddeeltjes) stijgt. Dit gaat gepaard met een relatief sterke verhoging van de gehalten aan fosfor, ijzer en zware metalen. Deze stoffen zijn blijkbaar meer met deze anorganische deeltjes geassocieerd dan andere stoffen. Het BZV_{5}^{20} en de stikstofgehalten bereiken geen onrustbarende niveaus. De zinkgehalten zijn bij alle buien hoog. Dit is niet te verklaren uit de verkeersgebonden bronnen die in het gebied aanwezig zijn. Wellicht is dit zink afkomstig van verzinkte oppervlakken zoals hekwerken die in het meetgebied veel aanwezig zijn. De rwa is in bacteriologisch opzicht vrijwel altijd sterk verontreinigd. Een relatie met de neerslagintensiteit en andere hydrologische kenmerken lijkt in eerste instantie niet aanwezig. Dit wordt waarschijnlijk (mede) veroorzaakt door de geringe betrouwbaarheid van de bacteriegetallen. Deze hangt samen met het statistische karakter van de bepaling van deze getallen en met (onontkoombare) onvolkomenheden bij de monsternamen en de monsterbewerking (materiaalkeuze, bewaartijd). De bacteriologische verontreiniging moet van dierlijke oorsprong (honden, vogels) zijn, daar in het Bastion, voor zover kon worden waargenomen, geen aansluitingen van vuilwaterriolen op regenwaterriolen voorkomen. Visueel was verontreiniging met olie vaak duidelijk waarneembaar. In de (steek)monsters werden echter geen hoge concentraties aangetroffen.

De concentraties van de zogenaamde macro-ionen (Ca^{2+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , etc.) waren laag. Ze varieerden van de waarden uit tabel I (grachtwater na regenbui) tot waarden, een factor twee lager. In dat laatste geval is ten aanzien van calcium, kalium en bicarbonaat nog altijd sprake van aanzienlijke verrijking ten opzichte van regenwater.

Afb. 3 geeft het neerslag-, afvoer- en kwaliteitsverloop van de bui van 7 oktober weer. In tegenstelling tot de in het artikel over de opzet van het Bastion-onderzoek [Van de Ven, 1983] gepresenteerde bui van 20 september, is het neerslagverloop op 7 oktober zeer geleidelijk. De concentraties liggen op deze datum alle op een veel lager niveau dan op 20 september het geval was.



TABEL III – Kwantitatieve en kwalitatieve kenmerken van de testbuien (kwaliteitsgegevens: debietproportionele gemiddelde ^{minimum}/_{maximum} - gehalte).

Factoren	Data	15/7 1e bui	15/7 2e bui	27/8	20/9 1e bui	20/9 2e bui	7/10	13/10 1e bui	13/10 2e bui
– Voorafgaande droogweeperiode (dagen, uren)		8 d, 21 u.	1,5 u.	2 d, 6,5 u.	17 d, 22 u.	10,3 u.	1 d, 3 u.	2 d, 21,5 u.	0,3 u.
– Neerslag (mm)		14,3	3,3	10,6	2,4	9,2	12,4	10,0	8,2
– Duur (uren, minuten)		24,5 m.	1 u., 30 m.	5 u., 20 m.	2 u., 15 m.	2 u.	8 u., 15 m.	4 u., 55 m.	3 u., 35 m.
– Maximale neerslagintensiteit (l/s/ha) ⁴		692	231	250	188	385	18,2	30,8	158
– Afvoerpercentage verhard oppervlak (%)		49	31	29	48	56	47	53	67
– Afvoer (m ³)		211	31	93	35	155	175	160	165
– Zwevende stof		390	¹	79	¹	76	¹	240	89
		¹	¹	¹	¹	¹	¹	3,9	3,1
								4,8	4,2
								7,6	11
								58	44
– Organische zwevende stof		61	¹	15	¹	21	¹	58	15
		¹	¹	¹	¹	¹	¹	94	89
								1,3	0,5
								2,7	0,2
								4,9	17
								14	19
– BZV ₅ ²⁰		14	6	5	5	4,8	3	11	7
		21	5	5	6	11	13	7,6	3
								13	3
								4,5	2
								11	1
								1,6	3
								4,9	3
								8	8
– P-totaal		1,8	0,69	0,33	0,31	0,49	0,29	1,65	1,61
		3,2	0,36	0,36	0,72	0,72	0,72	1,1	0,36
								2,3	0,12
								0,34	0,06
								0,16	0,07
								0,35	0,33
								0,76	0,06
– N-totaal		8,1	5,7	4,0	3,8	3,0	2,3	6,2	4,4
		12	4,2	4,2	3,6	3,6	3,6	7,7	6,3
								2,3	1,0
								4,2	1,35
								2,9	0,9
								3,4	2,1
								0,7	0,7
– Olie		²	²	²	²	²	²	0,6 ³	1,0 ³
								0,9 ³	0,7 ³
– Pb		460	112	92	¹	42	<5	63	57
		710	710	92	¹	42	<5	63	57
								197	48
								293	293
– Zn		1680	558	495	¹	212	95	1150	868
		2560	558	495	¹	212	95	1150	868
								1792	285
								345	253
								563	278
								495	171
								317	163
								520	520
– Faecale coli (MPN/100 ml) (x10 ⁴)		3,3	0,52	1,1	0,83	0,15	0,01	1,2	0,23
		12	1,3	1,3	0,23	0,23	0,23	1,6	1,6
								13	1,6
								45	45

¹ = slechts 1 bepaling.² = niet bepaald.³ = steekmonster.⁴ = deze intensiteiten zijn vaak slechts gedurende korte tijdintervallen (ca. 20 s.) waargenomen.

Voor vrijwel alle parameters geldt dat ook op 7 oktober aan het begin van de bui de hoogste concentraties worden aangetroffen. Blijkbaar wordt ook bij lage neerslagintensiteiten een niet onaanzienlijk deel van de verontreinigingen door de eerste afvoergolf opgepikt. Gezien het feit dat de verhoging van Kjeldahl-stikstof en totaal-fosfaat aan het begin van de bui vooral berust op stijging van de gehalten van de oplosbare fracties ammoniumstikstof en (in iets mindere mate) ortho-fosfaat en gezien de duidelijke verhoging van de chloride- en nitraatgehalten aan het begin van de bui, gaat het bij dit 'first flush'-verschijnsel voor een belangrijk deel om de oplosbare fracties. Bij hoge neerslagintensiteiten, zoals op 20 september, komt daarentegen ook de veel grotere niet oplosbare fractie van het straatvuil, eventueel iets vertraagd, vrij.

De CZV/BZV-verhouding van het afgevoerde water is op 7 oktober veel lager dan op 20 september, wat duidt op een grotere fractie organisch afbreekbaar materiaal. Dit wordt bevestigd door het grotere organische aandeel in het zwevende stofgehalte op deze dag (tabel III). Een dergelijke

tendens was ook te verwachten, daar organische deeltjes veel lichter zijn dan anorganische en dus in principe veel gemakkelijker (dat wil zeggen bij lagere neerslagintensiteiten) kunnen worden opgenomen door het afstromende regenwater. Om na te gaan in hoeverre de kwaliteit van het door regenwaterriool van het Bastion afgevoerde water representatief mag worden geacht voor het Lelystadse rwa-water in het algemeen, is tijdens of direct na grote buien een viertal regenwaterriolen elders in de stad bemonsterd (steekmonsters). Twee van deze riolen liggen in woonwijken, één voert af van een parkeerplaats en één van een bedrijventerrein. De bij de monsternamen aangetroffen kwaliteit van de regenwaterafvoeren van de beide woonwijken wordt in tabel IV vergeleken met de kwaliteit van de regenwaterafvoer van het Bastion op vergelijkbare tijdstippen. Daar in de bemonsterde rwa-putten als gevolg van menging 'ouder' rioolwater aanwezig kan zijn, wordt ook de (debietproportioneel) gemiddelde kwaliteit van de desbetreffende regenwaterafvoer van het Bastion bij de vergelijking betrokken. Voor zover dat uit het nog beperkte

vergelijkingsmateriaal (4 buien) valt af te leiden, is sprake van een behoorlijke overeenstemming. Eigenlijk zijn alleen de zinkgehalten van het rwa-water in het Bastion beduidend hoger. Een verklaring is wellicht gelegen in de aanwezigheid van veel gegalvaniseerd hekwerk in het Bastion. In tabel IV zijn ook de resultaten opgenomen van het vroegere rwa-onderzoek van de RIJP (in enkele andere woongebieden in Lelystad). De toen gevonden concentraties zijn meestal van dezelfde orde van grootte als de in 1982 vastgestelde. Hier en daar vertoont het wat uitgebreidere oude gegevensmateriaal een grotere range. De zeer hoge zwevende stof-, lood- en fosfaatgehalten die bij de intensieve debietproportionele bemonstering in het Bastion af en toe zijn vastgesteld, zijn, zoals al werd verwacht, bij de vroegere steekmonsternamen gemist.

Ter vergelijking zijn in tabel IV enige kwaliteitsgegevens uit andere, buitenlandse, onderzoeksgebieden opgenomen [Nelissen, 1982].

De aan het begin van dit artikel geciteerde (vroegere) conclusie met betrekking tot de kwaliteit van het Lelystadse rwa-water blijkt

TABEL IV – Boven- en ondergrenzen van de kwaliteit van het door regenwaterriolen uit woongebieden afgevoerde water.

		Lelystad 1973–1981		Lelystad 1982		Bastion 1982		Literatuur- waarden ⁶	
Parameters	Eenheden	steekmonsters ¹		steekmonsters ²		steekmonsters ³ mengmonsters ⁴⁽⁵⁾			
Faecale coli	MPN/100 ml	< 95–250000		40500–490000		2270–123000 1530 –132500		20000	
Faecale streptococci	MPN/100 ml			15300–240000		6000–300000 7900(4000)–245000(390000)			
BZV ²⁰ ₅									
CZV	} mg/l	0.6–	34	2.5–	8	1–	4	7– 13	
DOC		6.7–	126	21.5–	45	12	– 87(141)	37– 99	
N-NH ₄				4.4–	8.2	0.9–	4.3	1.5 – 4.6(4.8)	5– 21
N-NO ₃		0.1–	11	1.1–	3.7	0.3–	1.6	0.6(0.14)– 1.7(3.2)	0.15– 2.5
N-Kjeldahl		0.0–	4.2	0.4–	3.5	0.3–	1.3	0.5(0.32)– 1.3(1.8)	0.1– 1.7
P-totaal	} μg/l	0.4–	15	1.6–	5.5	0.6–	1.8	0.85 – 5.8(7.0)	1.5– 3.6
Zn		0.04–	1.6	0.13–	0.65	0.06–	0.38	0.12 – 1.1(1.8)	0.22– 1.5
Pb									
Cu		172–	3030	99–	288	171–	455	212 – 1150(1680)	100– 320
Cr		6–	179	16–	83	16–	66	16 – 197(460)	50– 310
Cd	} mg/l	5–	19	3.1–	14	4–	16	< 6(4.2) – 46(57)	
Zwevende stof									
Organische zwevende stof									
Olie									
		0.5–	1.3	< 0.5–	0.65	< 0.6	< 0.5	– 1.4(2.9)	
		2.3–	50	15.7–	61	3.1–	89	3.9 – 240(390)	59– 930
		0.3–	22	4.9–	15	0.5–	15	1.3 – 58(61)	33– 74
		0.05–	1.0	0.22–	0.75	0.54 ²	– 0.98 ²		

¹ = steekmonsters en tijdproportionele (voorbezonden) mengmonsters.² = steekmonsters van 4 buien.³ = monsternamen van 4 buien op tijdstippen, corresponderend met de tijdstippen ad. 2.⁴ = debietproportionele mengmonsters van de buien ad. 2 en 3 als geheel.⁵ = debietproportionele mengmonsters van 8 buien in 1982, voor zover afwijkend van ad. 4.⁶ = debietproportionele mengmonsters; gemiddelde boven- en ondergrenzen van diverse buitenlandse studies [Nelissen, 1982].

TABEL V – Drainwaterkwaliteit in Lelystad (gemiddelde minimum maximum-gehalte).

Parameters	Datum	pH-eenh.	O ₂ -verzadiging %	Milligram per liter							
				N-NH ₄	N-NO ₃	N-Kjeld.	BZV ²⁰ ₅	CZV	P-totaal	Cl	
Drain											
4 drains in Lelystad	1975	7.1	6.5	0	0.9	0.0	1.2	19	0.1	158	
		7.4	74	3.0	1.2	4.1	2.8	38	2.4	664	
drain Bastion	27/08/1982	7.2	20	2.1	0.0	2.8	2	30	2.0	156	
drain Bastion	13/10/1982			2.0	0.4	2.6	1	24	0.77	151	
cunetdrain Houtribdreef	13/10/1982	7.9	95	0.31	1.7	1.1	1	29	0.10	270	

nu enigszins te moeten worden aangepast. Weliswaar is namelijk de kwaliteit van het Lelystadse rwa-water in enkele opzichten (zwevende stof, BZV²⁰₅, DOC) nog relatief goed, in andere opzichten (CZV, P- en N-fracties, Pb) is deze globaal hetzelfde als elders en in een enkel opzicht (Zn) zelfs slechter.

Het drainwater

Het water uit de drains en de cunetdrain die lozen op de gracht langs het Bastion is twee, respectievelijk één keer onderzocht. In tabel V wordt de aangetroffen kwaliteit vergeleken met resultaten van vroeger onderzoek.

Het drainwater van het Bastion is wat zoeter dan dat op andere plaatsen in Lelystad. Dit hangt vermoedelijk samen met de relatief hoge ligging van deze drains, waardoor minder brak grondwater wordt afgevoerd. Overigens is het drainwater van goede kwaliteit, behalve wat betreft zuurstof en fosfaat. Het fosfaat wordt waarschijnlijk aangevoerd in de vorm van colloïdale ijzerfosfaten.

De cunetdrain wijkt duidelijk af van de overige drains. Afgezien van de herkomst van het water wordt dit vooral veroorzaakt

doordat bemonsterd wordt in een put, waarin oxidatieve omzettingen (nitrificatie, precipitatie van fosfaat) hebben kunnen plaatsvinden tussen het moment van aanvoer van het drainwater en de monsternamen. Olie was niet aantoonbaar in het cunetdrainwater. Dit was wel het geval met enkele polycyclische aromaten (zie onder 'grachtwater').

Het grachtwater

De reactie van het grachtwater op de lozing van rwa-water wordt beschreven aan de hand van de buien van 20 september en 7 oktober (zie afb. 4 en 5 en afb. 11 uit het artikel over de opzet van het onderzoek). De tijdstippen, waarop de grachtmonsters werden genomen, zijn van de bui van 7 oktober in afb. 4 ingetekend. Op 20 september gebeurde dit tussen half twee en twee uur 'smiddags.

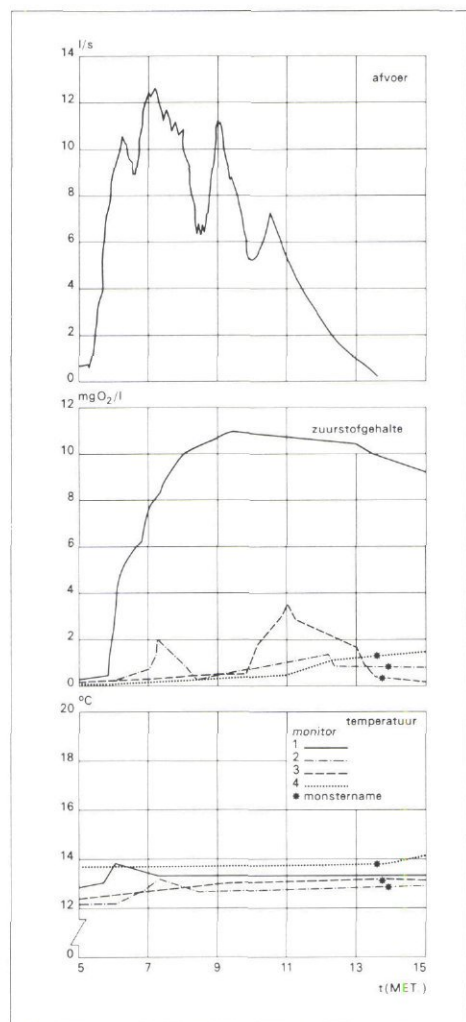
Menging en zuurstofhuishouding

De continue temperatuur- en zuurstofmetingen geven een duidelijke indicatie van de snelheid waarmee het rwa-water zich stroomafwaarts heeft voortbewogen. Op 20 september wordt binnen 10 minuten monitor 3 (op ± 50 m³ van het lozingspunt gelegen) bereikt; bij de veel geleidelijkere afvoer op 7 oktober duurt dit 5 uur. Monitor 4 (op ± 240

m³ van het lozingspunt) wordt in beide gevallen vóór de monsternamen niet bereikt. Dit wordt bevestigd door de chloridegehalten van het bemonsterde grachtwater. In beide gevallen is op plek 2584 globaal het door vroegere drain- en rwa-lozingen bepaalde achtergrondniveau aanwezig. Op 7 oktober wordt wel het bovenstroomse meetpunt 2581 door de rwa-lozing beïnvloed, vermoedelijk onder invloed van de matige noordwestenwind (op 20 september was er een zwakke noordoostenwind). Op beide dagen zorgt de rwa-lozing voor enige zuurstofinbreng in het overigens als gevolg van langdurige kroosbedekking zuurstofloos geworden grachtwater. Het effect is zeer kortstondig. Heeft de bui van 20 september nog een zekere verhoging van BZV²⁰₅ en CZV tot gevolg op plek 2583 (op 2582 bevindt zich ten tijde van de monsternamen reeds de relatief schone 'staart' van de regenwaterafvoer), op 7 oktober lijkt het regenwater eerder verlagend te werken op BZV²⁰₅ en CZV van het grachtwater, al is daar wel bezinking van een deel van het BZV²⁰₅ van het rwa-water voor nodig.

Nutriënten

Het anaërobe grachtwater bevat veel



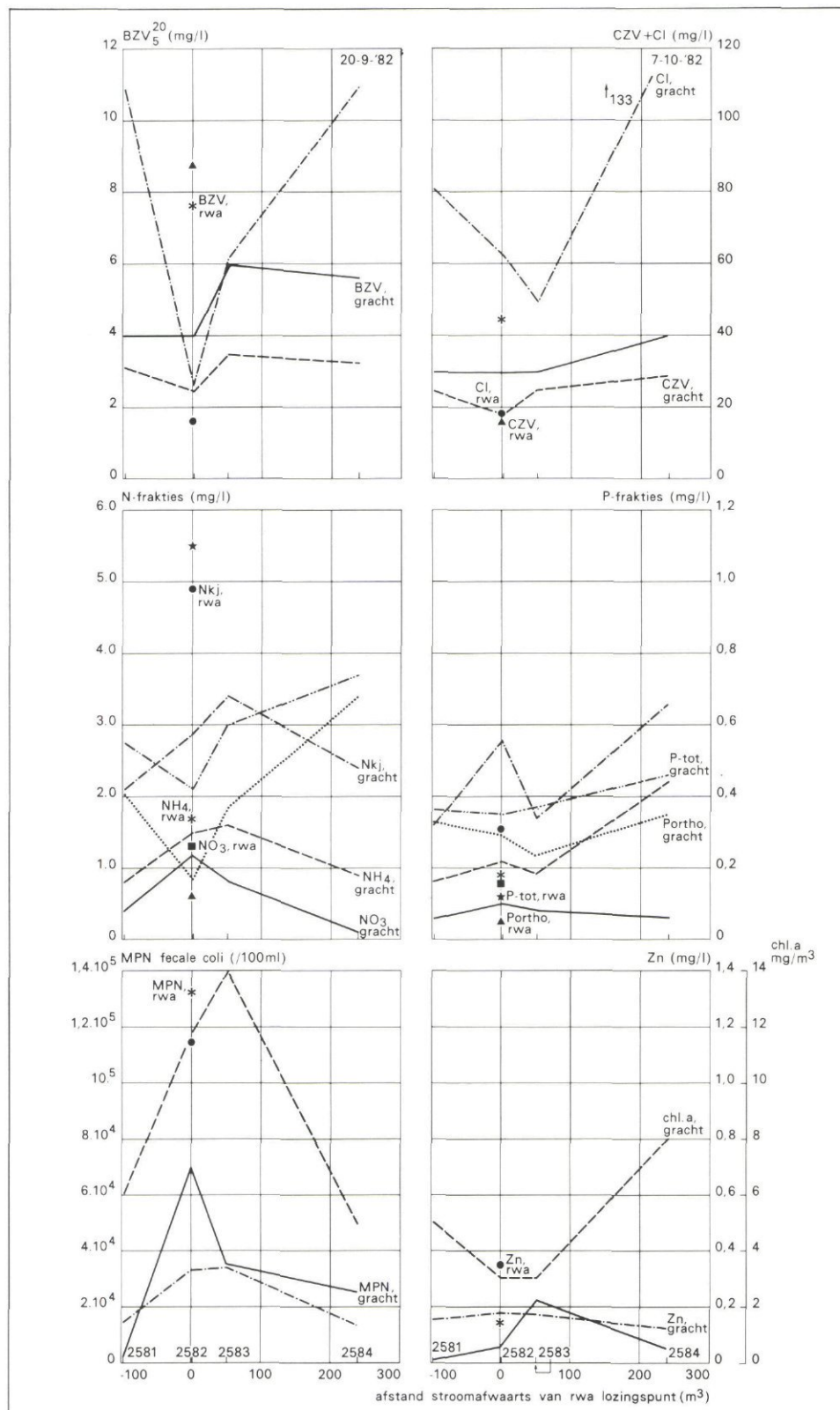
Afb. 4 - Gemeten reactie van het grachtwater op de bui van 7 oktober 1982 (absolute waarde van de gemeten temperaturen en zuurstofgehalten beperkt in verband met het ontbreken van ijkingen in periode direct voor en na 7 oktober).

ammonium en orthofosfaat. Daardoor werkt het rwa-water op 7 oktober concentratieverlagend voor de fosfaatfracties en het ammonium. Op 20 september geldt dit eveneens voor de fosfaatfracties, hoewel het rwa-water dan zeer veel fosfaat bevat. Dit is echter geassocieerd met klei- en zanddeeltjes en bezinkt zo snel dat er zelfs nabij het rwa-lozingspunt in het grachtwater minder dan een kwart van wordt teruggevonden. Voor de niet-opgeloste stikstof geldt iets dergelijks, echter in mindere mate.

Al met al heeft het rwa-water onder de heersende omstandigheden geen eutrofiërende invloed op het grachtwater (mogelijk wel op de grachtbodem!). In de normale situatie met zuurstofrijk grachtwater zou dat wel het geval zijn geweest.

Zware metalen

Lood en zink blijken kwantitatief de belangrijkste zware metalen te zijn. In het Bastion komt vooral veel zink vrij. In tegenstelling tot de overige zware metalen



Afb. 5 - De waterkwaliteit van de gracht langs het Bastion na regenwaterafvoer op 20 september 1982 (links) en op 7 oktober 1982 (rechts).

is het zink soms voor een groot deel in opgeloste vorm aanwezig. Dit is ook op 7 oktober het geval. Daardoor verspreidt het zink zich op die dag vrij ver over de gracht (ongeveer op dezelfde wijze als nitraat). Op 20 september is 90% van het afgevoerde

zink in particuliere (niet-opgeloste) vorm aanwezig. Deze fractie bezinkt, net zoals de particuliere fosfaatfractie, snel nabij het rwa-lozingspunt. Het door het regenwaterriool afgevoerde lood is vrijwel uitsluitend in particuliere vorm aanwezig en vertoont een

soortgelijk gedrag. De koperconcentraties in het grachtwater zijn laag (op 20 september maximaal $6.9 \mu\text{g/l}$); de cadmium- en chroomgehalten blijven zelfs doorgaans beneden de detectiegrenzen (respectievelijk 0.5 en $5.0 \mu\text{g/l}$).

Bacteriologie

Het verschillende karakter van de twee beschouwde afvoergebeurtenissen blijkt ook uit de aantallen faecale coli's en faecale streptococci in het grachtwater: op 7 oktober zijn deze veel lager dan op 20 september. In beide gevallen is echter sprake van een aanzienlijke tijdelijke bacteriologische verontreiniging, die zich zelfs uitstrekt tot plek 2584.

Algengroei en organische verbindingen

Algengroei treedt in de gracht, gezien de lage chlorofyl-a-gehalten, slechts in geringe mate op. Dit komt door de continue kroosbedekking van het water, die licht en zuurstof voor de algen wegneemt.

In verband met de vereiste glazen monsterfles wordt het oliegehalte van de rwa uitsluitend via steekmonsters bepaald. Daardoor kan een aanzienlijke olieverontreiniging worden gemist. Op 7 oktober is dat blijkbaar het geval geweest; ter hoogte van het rwa-lozingspunt wordt dan in het grachtwater circa 30 mg olie per liter aangetroffen. Verontreiniging met olie kan ontstaan, wanneer bijvoorbeeld afgewerkte motorolie in (rwa)straatputjes wordt gedumpt. Anion-actieve detergents zijn in 1982 in de gracht slechts in lage concentraties ($< 0.11 \text{ mg/l}$) aangetroffen.

Op 20 september en op 7 en 13 oktober is het grachtwater onderzocht op de aanwezigheid van polycyclische aromaten. Op de laatste datum is ook het water uit de cunetdrain onderzocht. Globaal zijn de aangetroffen gehalten van dezelfde orde van grootte als die in Rijnwater. Fluorantheen, benz(b)fluorantheen en benz(a)pyreen bleken kwantitatief de belangrijkste stoffen te zijn. De hoogste gehalten werden gemeten in de gracht nabij het rwa-lozingspunt na de felle bui van 20 september en in de cunetdrain.

Nabeschuiving

Het is nog te vroeg om uit de tot dusver verkregen resultaten al definitieve conclusies te trekken. Wel is het duidelijk geworden dat de gevolgen van de rwa-lozingen voor het ontvangende grachtwater vooral tijdelijk zijn. De effecten op de bacteriologische gesteldheid van het grachtwater zijn nog het duidelijkst. Voor het overige zal goed in het oog moeten worden gehouden in hoeverre achter niet of nauwelijks waarneembare effecten indirecte (lange termijn) effecten schuil gaan. Het grachtsediment kan bij deze

indirecte effecten een belangrijke rol spelen als intermediair.

De resultaten van de testbuien hebben inmiddels geleid tot bijstelling van het onderzoeksprogramma. Zo wordt het bacteriologisch onderzoek minder gedetailleerd voortgezet en is het onderzoek van de nauwelijks in meetbare concentraties aanwezige zware metalen tot een minimum teruggebracht. Het gedrag van het opgeloste zink wordt daarentegen uitvoeriger onderzocht en ook wordt meer aandacht besteed aan de watermenging en de verontreiniging met olie.

De komende tijd zal, naast de uitvoering van het onderzoeksprogramma, ook de primaire en secundaire (o.a. modelmatige) verwerking van het gegevensmateriaal veel aandacht vragen.

Literatuur

- Dam, C. H. van, Ven, F. H. M. van de, Uunk, E. J. B. en Heijnis, J. D. *Kwaliteits- en kostenaspecten van de rioolstelselkeuze; Ervaringen in Flevoland*. H_2O (14), 1981, nr. 24.
- Greiner, ing. R. W. en Jong, dr. J. de, *Het rioleringsstelsel en de kwaliteit van het oppervlaktewater in Lelystad*. H_2O (9), 1976, nr. 25.
- Hogendoorn-Roozemond, ir. A. S., Lodder, ing. A., Man, ing. J. de en Uunk, ir. E. J. B. *Problematiek bij de keuze van een rioolstelsel voor Almere-Buiten; Ontwerp en waterkwaliteitsaspecten*. H_2O (14), 1981, nr. 24.
- Nelissen, ir. C. *De verontreiniging van de neerslagafvoer in stedelijke gebieden*. RIJP-rapport 1982-16 Abw.
- Ven, ir. F. H. M. van de, *Opzet van een onderzoek in Lelystad naar de vuiluitvoer van regenwaterriolen en hun invloed op het oppervlaktewater*. H_2O (16), 1983, nr. 21.



20 en 21 maart 1984 in Wolfsburg:

Wasserfachliche Aussprachetagung over Wisselwerkingen tussen distributie en gebruik van water

DVGW en BGW wijden hun jaarlijkse Wasserfachliche Aussprachetagung op 20 en 21 maart a.s. te Wolfsburg aan 'Wechselbeziehungen von Wasserverteilung und Wasserverwendung'. Het programma luidt als volgt:

Wasserversorgung und -verwendung Einflußfaktoren des nicht-industriellen Wasserbedarfs

- 'aus wirtschaftlicher Sicht', door: Dipl.-Volksw. H. Gundermann, Gelsenkirchen;
- 'aus technischer Sicht', door: Dipl.-Ing. H. Köppl, Mannheim.

Wechselwirkungen zwischen Wasser-versorgungsunternehmen, Installateur und Verbraucher vor dem Hintergrund der AVBWasserV

- 'aus der Sicht des Installateurs', door: Inst.-Meister H. Heinzmann, St. Augustin;
- 'aus der Sicht des Wasserversorgungsunternehmens', door: Dipl.-Ing. J. Ulmer, Karlsruhe;
- 'Die neue TRWI – Erhaltung der Wassergüte in der Trinkwasser-Installation', door: Dipl.-Ing. G. A. Boger, München;
- 'Rückfließen von Nichttrinkwasser – Schadensfälle in der Trinkwasser-Installation', door: Dr.-Ing. H. Otto, Eschborn.

Wassermessung

- 'Wasserzähler – Entwicklungstendenzen – Einsatz der Elektronik', door: Dipl.-Ing. D. Gaus, Mannheim;
- 'Stand der berührungslosen Wassermessung', door: Dipl.-Ing. K.-W. Gatz, Mainz.

Anlagen zur Behandlung von Trinkwasser in der Hausinstallation

- 'Behandlung des Trinkwassers', door: Dr. A. Grohmann, Berlin;
- 'Umwelt-Aspekte der Trinkwasserbehandlung', door: Dr. J. Wasel-Nielen, Ladenburg;
- 'Filter in der Trinkwasser-Installation', door: Dr. K. Kötter, Gelsenkirchen;
- 'Ionenaustauscher in Trinkwasser-Verbrauchsanlagen', door: Dr. P. Werner, Karlsruhe;
- 'Hygienebedingte Anforderungen an Trinkwassererwärmungsanlagen', door: Dipl.-Ing. M. Jutte, Stuttgart.

Rohre und Rohrverbindungen in der Trinkwasser-Installation

- 'Kupferrohr-Installation – neue DVGW-Arbeitsblätter', door: Dr. O. van Franqué, Berlin;
- 'Korrosionseinfluß von Kupferwerkstoffen auf verzinkte Stahlrohrleitungen', door: Dr.-Ing. W. Stichel, Berlin;
- 'VPE – ein neues Kunststoffrohr für die Trinkwasser-Installation', door: Dr. Chr. Laske, Stuttgart;

Spülung von Trinkwasser-Installationsleitungen

- 'Ergebnis eines Forschungsprogramms für DIN 1988/TRWI', door: Dr.-Ing. I. Wagner, Karlsruhe.
- Nadere inlichtingen: DVGW, Postfach 5240, 6236 Eschborn/Ts.I, Tel. 09-49.9196/7017-24.

