

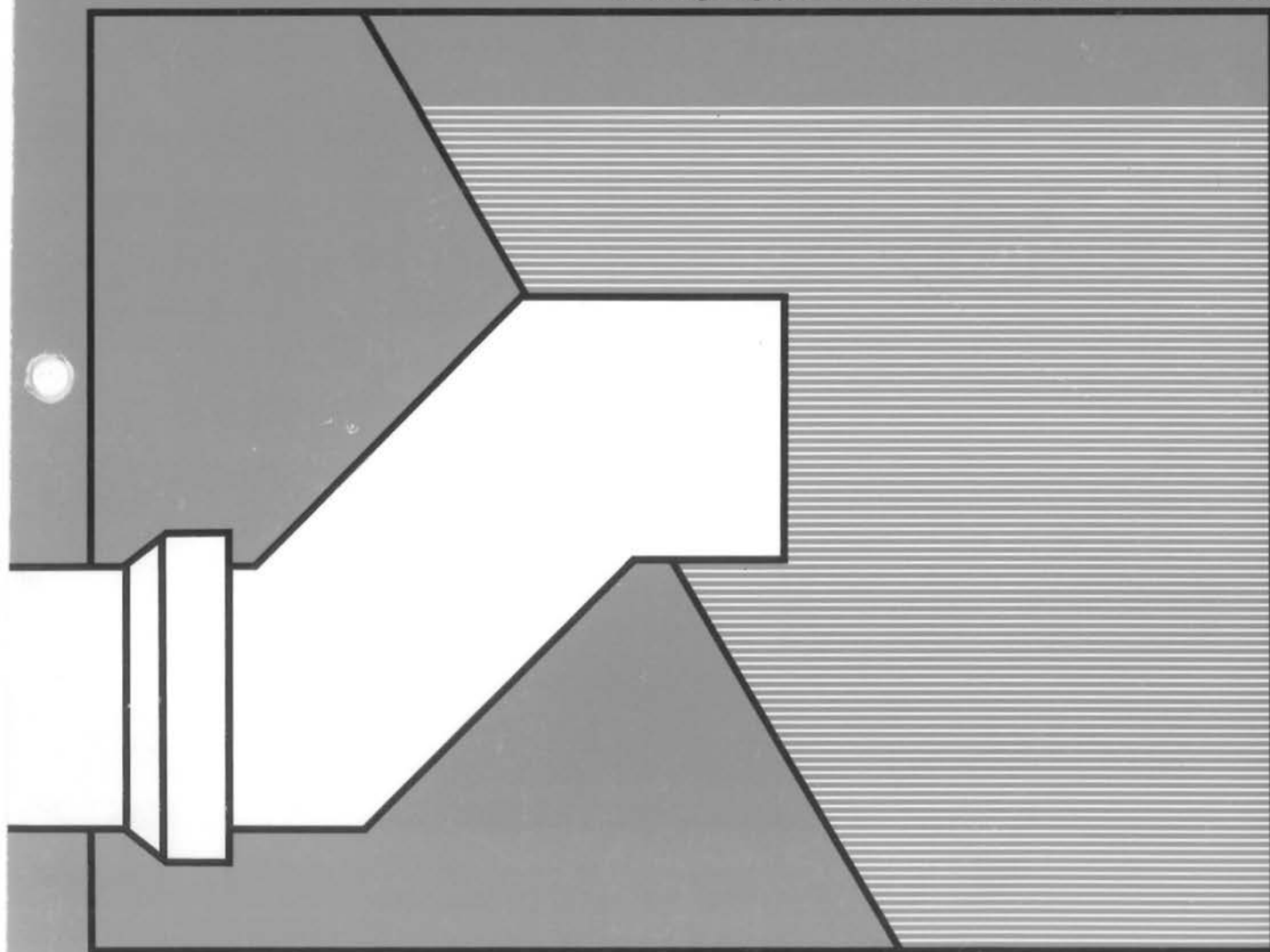
1454

NWRW

NATIONALE WERKGROEP RIOLERING
EN WATERKWALITEIT

Invloed overstort- water Vijver te Loenen 10.1.2

Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater **stora**



Nationale werkgroep riolering en waterkwaliteit

THEMA 10.1

EFFECTEN VAN DIRECTE VUILEMISSIES UIT HET GEMENGDE RIOOLSTELSEL VAN LOENEN OP DE WATERKWALITEIT VAN DE ONTVANGENDE BERGINGSVIJVER

Deelrapport 2:

Deelonderzoek II
Dynamica van zwevende stof, zuurstofverbruik
en opgeloste zuurstof na een overstorting

Deelonderzoek III
Massabalansen voor water, zwevende stof,
nutriënten en zuurstofverbruik

Publikatie van het Ministerie van
Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening
en Milieubeheer

ISBN 90 346 1300 3

Copyright: © 1987, Staatsdrukkerij- en
Uitgeverijbedrijf/Distributiecentrum
Overheidspublikaties, 's-Gravenhage
Verkoopprijs f 19,-. DOP-uitgaven zijn
schriftelijk te bestellen bij

Staatsuitgeverij/DOP
Postbus 20014
2500 EA 's-GRAVENHAGE

onder vermelding van bestelnummer
of ISBN en een duidelijk afleverings-
adres.

Een volledig overzicht van bij het DOP
verkrijgbare titels kunt u schriftelijk
aanvragen.

Een lijst van eerder in deze reeks verschenen
uitgaven treft u aan op de laatste bladzijde
van deze publikatie

Documentbeschrijving

1	Rapport nr. NWRW 10.1.2.	7	Archief nr. 70608/8-87
2	Sub-titel Rapport Invloed overstortwater Vijver te Loenen, deelonderzoeken II en III	8	Datum Publicatie mei 1987
3	Schrijver(s) ir. R.H. Aalderink prof. dr. L. Lijklema	9	Rapport nr. Instituut
4	Uitvoerend Instituut, Naam, Adres Landbouwniversiteit Wageningen De Dreijen 12 6703 BC WAGENINGEN DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV Laan 1914 nr. 35 Postbus 85 3800 AB AMERSFOORT	10	Tijdschrift nr.
5	Opdrachtgever(s) Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer - Directie Bodem, Water, Stoffen.	11	Opdracht nr. DGMH/BWS - 0303262 W 316.80/311.012
6	Titel Onderzoekproject Effecten van directe vuilemissies uit het gemengde rioolstelsel van Loenen op de kwaliteit van de ontvangende bergingsvijver.	12	Rapporttype en Periode Deelrapport, december 1983 - mei 1986
13	Samenvatting In dit rapport wordt verslag gedaan van de deelonderzoeken betreffende de dynamica van het systeem welke voor een aantal parameters modelmatig wordt beschreven en van de massabalansen welke op basis van de metingen kunnen worden opgesteld. Het model voor het menggedrag van de vijver geeft een redelijke beschrijving doch is zeker niet verklarend te noemen. Het menggedrag is in werkelijkheid veel ingewikkelder, zodat de voorspellende waarde van het model gering is. Een twee-lagenmodel voldoet beter doch is gevoelig voor de ligging van het grensvlak tussen boven- en onderlaag. Met het model voor gedrag van zwevende stof kan een redelijke indruk worden gekregen van de verspreiding na een overstorting indien de sedimentatie als een 2e-orde-proces wordt beschreven. De resuspensie van bodemslib speelt geen belangrijke rol in de vijver. Daarnaast blijkt er een samenhang te bestaan tussen de sedimentatiesnelheid en de intensiteit van de overstorting. Het model voor de zuurstofhuishouding geeft een redelijke beschrijving van het directe effect van een overstorting. Het effect op langere termijn van gesedimenteerde BZV is niet meegenomen. Met het model kan, afgezien van het menggedrag, een redelijke beschrijving worden gegeven van korte-termijneffecten van een overstorting. Het opstellen van massabalansen voor de vijver heeft tot doel de retentie en de afbraak voor een aantal stoffen te bepalen. Daarnaast geeft het inzicht in de bufferende werking van de vijver. Hoewel de resultaten van de berekeningen onnauwkeurig zijn en de termen in de verschillende balansen slechts een orde van grootte geven, kan geconcludeerd worden dat de produktiviteit van de vijver niet erg hoog is. De gemiddelde produktie over de onderzoeksperiode voor zwevende stof, gloeirest, gloeiverlies, CZV en zuurstof zijn respectievelijk 3, 4, 2.2, 1.2, 1.7 en 0.7 gram per m² per dag. De mineralisatiesnelheid bedraagt gemiddeld 0.2. g.m⁻².d⁻¹		
14	Begeleidingscommissie dr. ir. H.H. Tolkamp, voorzitter Waterschap Zuiveringschap Limburg mevr. dr. J.R.M. Hovenkamp, Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen drs. W. Oosterloo, Zuiveringsschap Veluwe ir. M.A. de Ruiter, Provinciale Waterstaat Utrecht ir. A.W. van der Vlies, Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden ir. G. Martijnse, Ministerie van VROM	15	Bijbehorende Rapporten NWRW 10.1.0 NWRW 10.1.1 NWRW 10.1.3 NWRW 10.1.4
		16	Aantal blz. 110
		17	Prijs f 19,—
18	Besteladres zie elders in deze publikatie		

1. The first part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is noted that the English language has a long and rich history, and that the study of its development is essential for a full understanding of the language as it is used today. The paper then goes on to discuss the various factors that have influenced the development of the English language, including the influence of other languages, the influence of social and cultural changes, and the influence of technological advances.

2. The second part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is noted that the English language has a long and rich history, and that the study of its development is essential for a full understanding of the language as it is used today. The paper then goes on to discuss the various factors that have influenced the development of the English language, including the influence of other languages, the influence of social and cultural changes, and the influence of technological advances.

3. The third part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is noted that the English language has a long and rich history, and that the study of its development is essential for a full understanding of the language as it is used today. The paper then goes on to discuss the various factors that have influenced the development of the English language, including the influence of other languages, the influence of social and cultural changes, and the influence of technological advances.

4. The fourth part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is noted that the English language has a long and rich history, and that the study of its development is essential for a full understanding of the language as it is used today. The paper then goes on to discuss the various factors that have influenced the development of the English language, including the influence of other languages, the influence of social and cultural changes, and the influence of technological advances.

5. The fifth part of the paper discusses the importance of the study of the history of the English language. It is noted that the English language has a long and rich history, and that the study of its development is essential for a full understanding of the language as it is used today. The paper then goes on to discuss the various factors that have influenced the development of the English language, including the influence of other languages, the influence of social and cultural changes, and the influence of technological advances.

O

O

Ten Geleide

De Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) werd in 1982 ingesteld door het algemeen bestuur van de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA) en de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Het oogmerk hierbij was het verkrijgen van meer inzicht in de relatie tussen riolering en waterkwaliteit door het stimuleren en coördineren van onderzoek naar de invloed van lozingen vanuit rioolstelsels op de kwaliteit van het oppervlaktewater en de mogelijkheden deze invloed via rioleringstechnische dan wel waterhuishoudkundige maatregelen te verminderen.

Het onderzoeksprogramma is onderverdeeld in een 11-tal thema's. De nummers van de publikaties van de NWRW corresponderen met de nummers van de verschillende thema's.

Thema 10 van het onderzoekplan betreft gedetailleerd onderzoek naar de effecten van directe vuilemissies uit gemengde rioolstelsels op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater.

Binnen thema 10 werd op 2 lokaties - Loenen (Gld.) en Bodegraven - onderzoek uitgevoerd.

Het onderhavige rapport heeft betrekking op het onderzoek te Loenen. Over dit onderzoek werden 5 rapporten gepubliceerd; één samenvattend eindrapport en vier deelrapporten.

In het eindrapport van de NWRW zal aan de resultaten van de onderzoeken op beide lokaties aandacht worden besteed.

namens de NWRW
de secretaris



ir. J.F.M. van Vliet

VOORWOORD

Voor de periode 1982-1986 is door het algemeen bestuur van de Stichting Onderzoek en Reiniging Afvalwater (STORA) en de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) ingesteld. De NWRW heeft een onderzoek naar de vuiluitworp uit rioolstelsels en de effecten daarvan op de kwaliteit van het oppervlaktewater voorgesteld. Het onderzoek is in 11 thema's ingedeeld. De thema's of delen van thema's worden door verschillende onderzoeksinstanties uitgevoerd. Ten behoeve van een thema kan zowel bureau- als praktijk-onderzoek noodzakelijk zijn. Praktijk-onderzoek wordt aan verschillende rioolstelsels, randvoorzieningen en oppervlaktewateren verricht.

De thema's 9 en 10 betreffen onderzoek naar de effecten van de vuiluitworp van rioolstelsels op de kwaliteit van oppervlaktewater. In het kader van thema 9 wordt zogenaamd globaal onderzoek naar de kwaliteit van het oppervlaktewater bij de lozingspunten van vele rioolstelsels uitgevoerd. Daartoe worden de gevolgen van de lozingen voor enkele belangrijke toestandsvariabelen op enkele plaatsen in het water en de bodem in de omgeving van ieder lozingspunt met betrekkelijke grote tijdsintervallen waargenomen. Het doel van het onderzoek in thema 9 is een overzicht van de effecten van de emissies van verschillende typen rioolstelsels op de kwaliteit van verschillende typen oppervlaktewateren te verkrijgen [2].

Ten behoeve van thema 10 wordt zogenaamd gedetailleerd onderzoek naar de kwaliteit van het oppervlaktewater bij de lozingspunten van slechts enkele rioolstelsels uitgevoerd [3]. "Gedetailleerd" betekent in dit verband, dat de gevolgen van de lozingen voor een betrekkelijk groot aantal toestandsvariabelen op verschillende plaatsen in het water en de bodem in de omgeving van een lozingspunt met betrekkelijk kleine tot zeer kleine tijdsintervallen worden waargenomen. Het doel van dit type onderzoek is tweeledig, namelijk:

- het verkrijgen van een overzicht van belangrijke effecten van de lozingen van een representatief rioolstelsel op de kwaliteit van een representatief oppervlaktewater, waarbij relaties met de grootte en de samenstelling van de lozingen worden gezocht.
- het verkrijgen van inzicht in de processen waardoor de effecten van de lozingen tot stand komen.

Het betreft twee wijzen om dezelfde verschijnselen te bestuderen, die in één projekt zijn gekombineerd omdat voor een deel dezelfde waarnemingen kunnen worden gebruikt.

Eén van de lokaties waar onderzoek ten behoeve van thema 10 is verricht is de overstortvijver te Loenen, Gelderland. De vijver is voor dit onderwerp uitgekozen, omdat de overstortingen reeds voor het onderzoek naar de grootte en de samenstelling van de vuiluitworp worden bemonsterd [4], omdat de vijver niet door andere lozingen wordt beïnvloed en omdat de omvang en de geringe verversingssnelheid als representatief voor vele overstortingen ontvangende oppervlaktewateren in Nederland kan worden gezien.

	blz
VOORWOORD	
1. INLEIDING 1	
1.1 Onderzoek Loenen	1
1.2 Uitvoerders en begeleidingscommissie	1
1.3 Opbouw rapport	2
2. BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOEKSLOKATIES	3
2.1 Beschrijving van de bergingsvijver	3
2.2 Karakteristieken van het rioolstelsel	6
3. DYNAMICA VAN ZWEVENDE STOF, ZUURSTOFVERBRUIK EN OPGELOST ZUURSTOF NA EEN OVERSTORTING	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Metingen	7
3.3 Menggedrag	9
3.3.1 Elektrisch geleidingsvermogen	9
3.3.2 Keuze van het model	10
3.3.3 Modelvergelijkingen voor de beschrijving van menggedrag	11
3.3.4 Discretisatie	12
3.3.5 Hydrodynamisch model	13
3.3.6 Numerieke dispersie	15
3.3.7 Calibratie van het model voor de beschrijving van het menggedrag	16
3.3.8 Gevoeligheidsanalyse van het model	23
3.3.9 Conclusie van het onderzoek naar het menggedrag	25
3.4 Gedrag van het zwevende stof	25
3.4.1 Processen	25
3.4.2 Modelvergelijkingen voor de beschrijving van het gedrag van zwevende stof	26
3.4.3 Calibratie van het model voor de beschrijving van het gedrag van zwevende stof	27
3.4.4 Verspreiding van de zwevende stof	30
3.4.5 Conclusies van het onderzoek naar het gedrag van zwevende stof	35
3.5 Korte termijn effecten op de zuurstofhuishouding	35
3.5.1 Processen	35
3.5.2 Modelvergelijkingen voor de beschrijving van de zuurstofhuishouding	38
3.5.3 Calibratie van het model voor de beschrijving van de zuurstofhuishouding	42
3.5.4 Gevoeligheidsanalyse van het model voor de beschrijving van de zuurstofhuishouding	48
3.5.5 Conclusie van het onderzoek naar de korte termijn-effecten op de zuurstofhuishouding	50
3.6 Overdraagbaarheid van de resultaten	51
3.7 Conclusies	52

4.	MASSABALANSEN VOOR WATER, ZWEVENDE STOF, NUTRIËNTEN EN ZUURSTOFVERBRUIK	54
4.1	Inleiding	54
4.2	Metingen en werkwijze	54
4.2.1	Afvoer in de achtergrondsituatie	54
4.2.2	Afvoer tijdens en na een overstorting	55
4.2.3	Berekening van de vrachten	56
4.3	Resultaten	56
4.3.1	Balansen per overstorting	56
4.3.2	Balansen over de onderzoeksperiode	60
4.3.3	Nadere uitwerking van de balansen over de onderzoeksperiode	66
4.3.3.1	Balans voor zwevende stof	66
4.3.3.2	Stikstof	71
4.3.3.3	Fosfaat	72
4.3.3.4	Zuurstofbindende stoffen en zuurstof	73
4.3.4	Productie en mineralisatie	76
4.4	Conclusies	77
	LITERATUUR	79
	BIJLAGEN	

1. INLEIDING

1.1 Onderzoek Loenen

Ten behoeve van thema 10 van het onderzoeksprogramma van de Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) is in Loenen (Gelderland) een gedetailleerd onderzoek naar de effecten van overstortingen op de waterkwaliteit in een bergingsvijver verricht. De onderzoeksperiode liep van december 1983 tot december 1984. Gedurende deze periode vonden er 26 overstortingen plaats, waarvan er 11 min of meer volledig zijn bemonsterd. Over een aantal van de bemonsterde overstortingen wordt in de diverse deelrapporten gerapporteerd.

Het onderzoek bestaat uit deelonderzoeken naar de volgende onderwerpen:

- I. Natuurlijke, fysisch-chemische waterkwaliteit.
- II. Dynamica van zwevende stof, zuurstofverbruik en opgeloste zuurstof na een overstorting.
- III. Massabalansen voor water, zwevende stof, nutriënten en zuurstofverbruik.
- IV. Bakteriologische en virologische kwaliteit.
- V. Sediment.
- VI. Hydrobiologische effecten.

Het onderhavige rapport handelt over de deelonderzoeken II en III. Over de andere onderwerpen is afzonderlijk gerapporteerd [5, 6 en 7]. Daarnaast is een integrerend overzichtsrapport geschreven [8].

1.2 Uitvoerders en begeleidingscommissie

Het veldwerk en de analyses ten behoeve van alle deelonderzoeken zijn uitgevoerd door de vakgroep Waterzuivering van de Landbouwhogeschool Wageningen. Er is tevens gebruik gemaakt van de debieten van overstortingen te Loenen en de concentraties van een aantal bestanddelen van het overstortende water, zoals die door DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV (Amersfoort) in het kader van NWRW thema 5 [4] zijn waargenomen. De analyses t.b.v. dit projekt zijn verricht door het Zuiveringsschap Veluwe.

De interpretatie van de gegevens van het deelonderzoek naar de natuurlijke, fysisch-chemische waterkwaliteit [5] en het integrerend overzichtsrapport [8] zijn door DHV verzorgd. Bij het deelonderzoek naar bakteriologische en virologische kwaliteit [6] is samengewerkt met het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) te Bilthoven, afdeling Bakteriologisch Onderzoek van Drinkwater. De overige deelonderzoeken zijn in hun geheel door de LH uitgevoerd.

Het onderzoek werd begeleid door een commissie, bestaande uit vertegenwoordigers van verschillende waterkwaliteitsbeheerders. De commissie kwam acht maal bij elkaar en besprak de opzet, de uitvoering en de voortgang van het onderzoek. De samenstelling van de begeleidingscommissie was als volgt:

dr.ir. H.H. Tolkamp, voorzitter
mevr.dr. J.R.M. Hovenkamp

ir. G. Martijnse

drs. W. Oosterloo

ir. A. de Ruiter

ir. M.A. de Ruiter

ir. A.W. van der Vlies

Waterschap Zuiveringschap Limburg
Hoogheemraadschap van de
Uitwaterende Sluizen in Kennemerland
en West Friesland

Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Zuiveringsschap Veluwe

Hoogheemraadschap van Rijnland

Provinciale Waterstaat van Utrecht

Zuiveringsschap Hollandse Eilanden
en Waarden

De onderstaande personen waren betrokken bij de uitvoering van het project:

ir. R.H. Aalderink

ir. A.P. Benoist

ir. B. de Boer

drs. J.G.M. Cuppen

J.H. Ebbeng

ir. A.H. Havelaar

prof.dr. L. Lijklema

dr. R.M.M. Roijackers

ir. J.W. van Sluis

ir. G.D. Willemsen

T.S.J. Ywema

LH. Wageningen

LH Wageningen

DHV Raadgevend Ingenieursbureau

LH Wageningen

LH Wageningen

RIVM

LH Wageningen

LH Wageningen

DHV Raadgevend Ingenieursbureau

LH Wageningen

LH Wageningen

1.3. Opbouw rapport

Dit rapport behandelt de deelonderzoeken II en III. Hoofdstuk 3 handelt over de dynamica van de korte termijn-effecten na een overstorting. In hoofdstuk 4 wordt gerapporteerd over het deelonderzoek massabalansen. De opzet van het rapport is zo, dat beide hoofdstukken afzonderlijk kunnen worden gelezen. Het gezamenlijke element vormt hoofdstuk 2 waarin een beschrijving van de onderzoekslokaties wordt gegeven.

2. BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOEKSLOKATIES

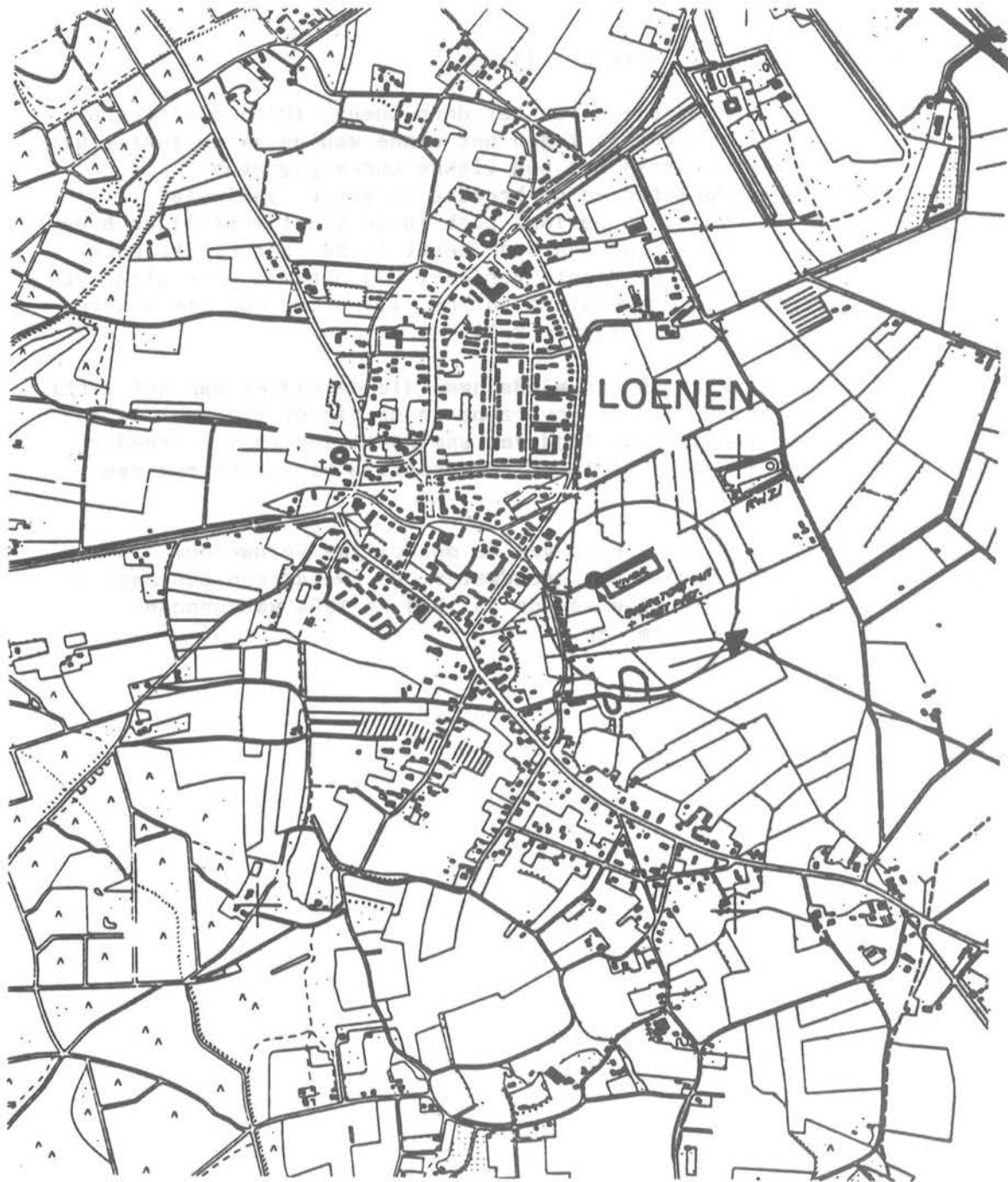
2.1. Beschrijving van de bergingsvijver

De bergingsvijver is oostelijk van het dorp Loenen (Gld) gesitueerd (zie figuur 2-1). De vijver is tegen het einde van de jaren zestig als een rechthoekige waterpartij met een vlakke bodem gegraven.

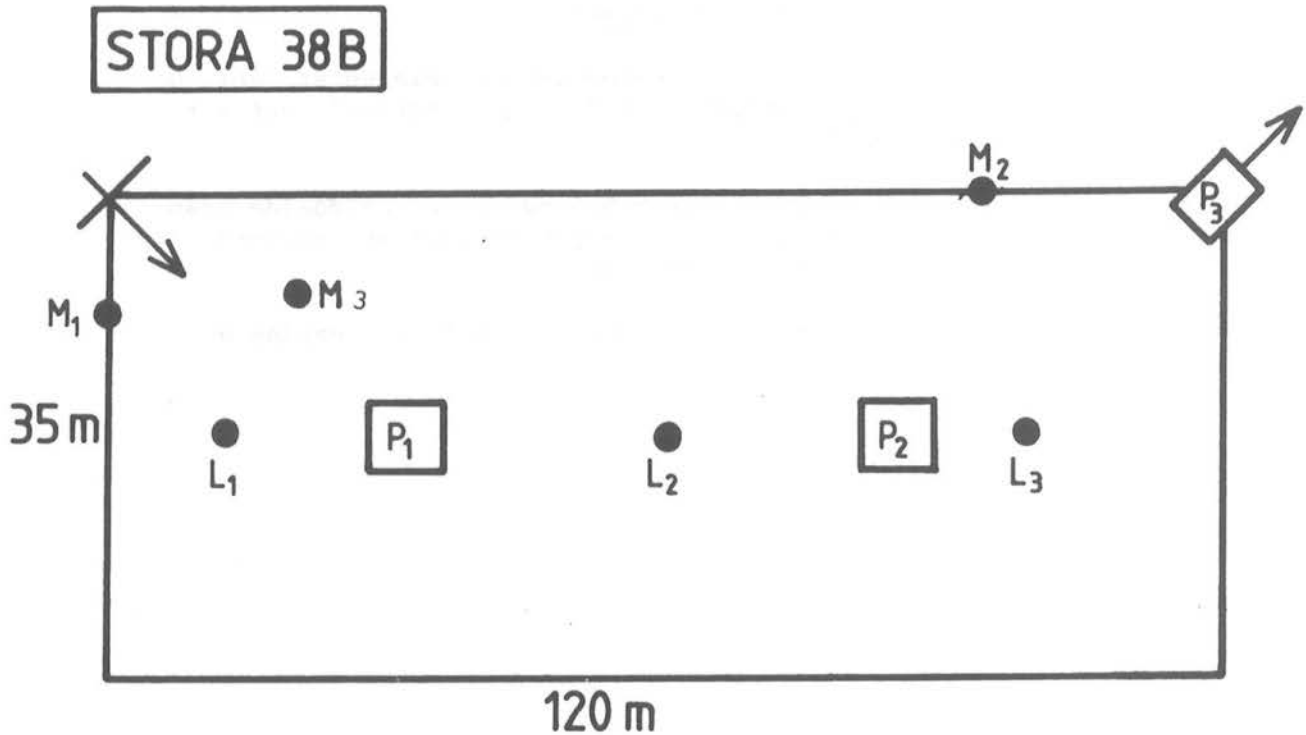
De lengte bedraagt 120 meter en de breedte 35 meter, inclusief vegetatiekraag. De overstort bevindt zich in de meest westelijke hoek van de vijver. De afvoer naar een beek heeft in de noordelijke hoek plaats (zie figuur 2-2). De diepte varieert bij normale waterstand van ongeveer 0,4 meter bij de overstort tot ca. 1,1 meter aan het andere uiteinde van de vijver (zie figuur 2-3).

Rond de vijver bevindt zich een windsingel die de vijver aan het zicht onttrekt. De begroeiing van de oeverzone in de vijver varieert langs de oever en in de loop van de tijd van samenstelling en van breedte (van 0 tot 2 meter). De oever is op de waterlijn versterkt met een azobéconstructie.

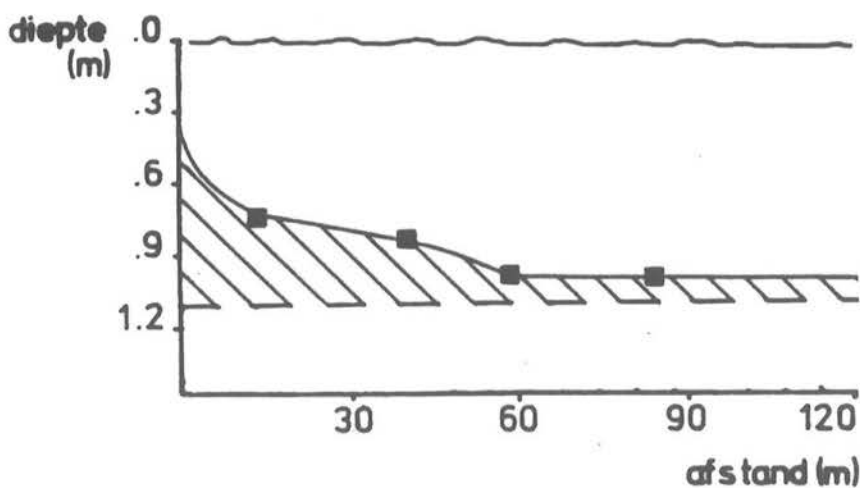
De vijver ligt in het kwelgebied van de oostelijke Veluwezoom (zandgrond) en wordt gevoed met grondwater. De kwelstroom bedraagt 3 tot 20 cm/dag. Het gemiddelde van de in 1983 en 1984 waargenomen kwelsterkte bedraagt 9,3 cm/dag.



Figuur 2-1. Plattegrond Loenen en omgeving met bergingsvijver



Figuur 2-2. Plattegrond vijver Loenen met bemonsteringspunten
 L₁, L₂, L₃ bemonsteringsplaatsen fysisch-chemisch onderzoek (natuurlijke, fysisch chemische waterkwaliteit) plankton-onderzoek, bacteriologisch onderzoek en sediment-onderzoek.
 P₁, P₂, P₃ bemonsteringsplaatsen (platforms) fysisch-chemisch onderzoek (registratie, bemonstering na overstortingen).
 M₁, M₂, M₃ bemonsteringsplaatsen makrofauna onderzoek.
 Schaal 1:820



Figuur 2-3. Langsdoorsnede vijver Loenen

2.2 Karakteristieken van het rioolstelsel

Het rioolstelsel van de dorpskern Loenen is een gemengd stelsel. De overstort van het stelsel bevindt zich in het hoofdriool, dat het water afvoert naar de RWZI.

De berging in het stelsel is ongeveer 5,3 mm en de gemiddelde pomp-overcapaciteit is 0,875 mm/uur. Er is ongeveer 15,8 ha. verhard oppervlak aangesloten op het stelsel [9].

De waargenomen overstortfrequentie (1981 t/m 1984) is gemiddeld 15/jaar.

3. DYNAMICA VAN ZWEVENDE STOF, ZUURSTOFVERBRUIK EN OPGELOST ZUURSTOF NA EEN OVERSTORTING

3.1 Inleiding

Doel van dit deelonderzoek is inzicht te krijgen in de dynamica van de korte termijn effecten, die optreden na een overstorting. Het onderzoek omvat de effecten op de zuurstofhuishouding en het gedrag van gesuspenseerd materiaal. Deze keuze sluit aan bij het STORA 38B onderzoek (onderzoek naar de vuilemissie uit rioolstelsels [9]), waarbij ook de prioriteit is gelegd bij de uitworp van stoffen die van belang zijn voor de zuurstofhuishouding en de vorming van organisch sediment.

In verband met de overdraagbaarheid van de resultaten van het onderzoek is gekozen voor een modelmatige benadering, d.w.z. dat getracht is de kwaliteitsbepalende processen na een overstorting te kwantificeren en deze te integreren in een model, waarmee het dynamisch gedrag na een overstorting kan worden beschreven.

In 1984 is een aantal overstortingen bemeten en bemonsterd. Paragraaf 3.2 geeft een beschrijving van de opzet van het meet- en bemonsteringsprogramma.

Als basis voor een kwaliteitsmodel is een beschrijving van het menggedrag tijdens en na een overstorting noodzakelijk. In paragraaf 3.3 wordt een beschrijving gegeven van het gebruikte model voor de beschrijving van het menggedrag.

De kwaliteitsmodellen voor de beschrijving van het gedrag van zwevende stof en het dynamisch gedrag van de zuurstofhuishouding worden besproken in paragraaf 3.4 en 3.5.

In paragraaf 3.6 worden enige conclusies getrokken, betreffende de overdraagbaarheid van de resultaten van het onderzoek naar andere overstortingsituaties, waarbij vooral aandacht zal worden geschonken aan de mogelijkheden het opgestelde model toe te passen bij de voorspelling van effecten op andere lokaties.

Tenslotte worden de belangrijkste conclusies van dit onderzoek nogmaals samengevat in paragraaf 3.7. Tevens worden in deze paragraaf enige aanbevelingen gedaan voor het doen van nader onderzoek.

3.2 Metingen

In figuur 2-2 zijn de verschillende meet- en bemonsteringslokaties aangegeven.

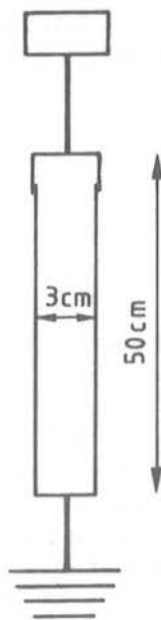
De emissie uit het rioolstelsel werd bemeten en bemonsterd in het kader van het STORA 38b onderzoek [10]. Hiertoe is op de overstortput een meet- en bemonsteringsopstelling geplaatst. Tijdens een overstorting werd het debiet continu geregistreerd en werden debietproportioneel monsters genomen van het overstortende water. De monsters werden geanalyseerd op een groot aantal kwaliteitsvariabelen. De resultaten van de voor dit onderzoek belangrijke variabelen (electrisch geleidingsvermogen, BZV en zwevende stof) zijn samengevat in bijlage 1.

In de vijver zijn een tweetal platforms geplaatst op resp. 40 en 80 m. vanaf de overstort (P1 en P2). Op deze platforms werden de zuurstofconcentratie, de temperatuur en het elektrisch geleidingsvermogen geregistreerd (gemeten werd op een diepte van ca. 40 cm onder het wateroppervlak). Tevens werd hier tijdens en na een overstorting tijdsproportioneel bemonsterd. In de monsters zijn bepaald: de concentraties aan zwevende stof, gloeirest, biochemisch zuurstofverbruik, chemisch zuurstofverbruik, Kjeldahl- en ammoniumstikstof en het elektrisch geleidingsvermogen.

M.b.v. een meetschot en een registrerende peilschrijver is op lokatie P3 het uitgaande debiet tijdens en na een overstorting bepaald. Ook op deze lokatie werd de zuurstofconcentratie en het elektrisch geleidingsvermogen gemeten en werd tijdsproportioneel bemonsterd.

Op de lokaties L1, L2 en L3 zijn sedimentvallen opgehangen t.b.v. het onderzoek naar het gedrag van zwevende stof. Dit zijn buizen afgesloten met een kapje waaraan een drijver is bevestigd (figuur 3-2). Wanneer t.g.v. een overstorting het waterniveau stijgt, wordt het kapje verwijderd, zodat zwevend materiaal in de val kan sedimenteren. De verhouding tussen de lengte en de diameter van de buizen is zodanig dat eenmaal gesedimenteerd materiaal niet meer aan resuspensie onderhevig is. Uit de hoeveelheid materiaal die zich gedurende enige tijd in de val verzamelt, kan de sedimentatieflux worden berekend.

In totaal zijn 8 overstortingen min of meer volledig bemeten en bemonsterd. In dit rapport worden alleen de resultaten van de eerste drie overstortingen gepresenteerd. De analyseresultaten van de monsters, genomen op de lokaties P1, P2 en P3 zijn weergegeven in bijlage 2. De resultaten van de continu registraties worden gegeven in de paragrafen 3.3 en 3.5. De gemeten vangsten van de sedimentvallen worden gepresenteerd en besproken in paragraaf 3.4.



Figuur 3-1 Sedimentval

3.3 Menggedrag

Alvorens een model kan worden opgesteld voor de beschrijving van de kwaliteit moet eerst een beschrijving van de menging tijdens en na een overstorting worden gegeven. Het menggedrag is een ingewikkeld proces dat zich niet eenvoudig laat beschrijven, omdat hierbij een groot aantal factoren een rol spelen. Voor wat betreft het menggedrag in de vijver tijdens en na een overstorting kunnen de volgende 3 fasen worden onderscheiden:

- fase 1 De periode tijdens de overstorting.
Gedurende deze periode, die enkele uren tot een halve dag duurt, stijgt het waterniveau in de vijver en wordt het stromingspatroon grotendeels bepaald door de impuls van het inkomende water. In mindere mate wordt de stroming in de vijver ook beïnvloed door het debiet aan de uitgang.
- fase 2 Het leeglopen van de vijver na beëindiging van de overstorting. Na beëindiging van de overstorting daalt het niveau in de vijver tot een evenwichtsniveau is bereikt, waarbij het kweldebiet gelijk is aan de afvoer over het schot aan de uitgang van de vijver. Gedurende deze periode wordt de stroming bepaald door het debiet aan de uitgang en de wind.
- fase 3 De evenwichtssituatie.
In de evenwichtssituatie wordt de menging volledig bepaald door de wind. Mogelijk spelen in deze situatie ook dichtheidsverschillen tussen het relatief koude kwelwater en het water in de vijver een rol.

3.3.1 Elektrisch geleidingsvermogen

Voor de bestudering van het menggedrag is gebruik gemaakt van het verschil in elektrisch geleidingsvermogen tussen het overstortende water en het water in de vijver. Het water in de vijver heeft in de achtergrondsituatie een elektrisch geleidingsvermogen van 320-360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (zie deelonderzoek 1 [5]). Het elektrisch geleidingsvermogen van het overstortende water is lager, dit ligt in de orde van 50-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Deze lage waarde kan verklaard worden uit het feit dat het overstortende water voor een belangrijk deel uit regenwater bestaat. Het elektrisch geleidingsvermogen van het overstortende water varieert sterk per overstorting t.g.v. de verschillende verhoudingen tussen droogweerafvoer en buivolume. Ook tijdens één overstorting kan het elektrisch geleidingsvermogen sterk variëren. Aangenomen is dat het elektrisch geleidingsvermogen conservatief is, d.w.z. dat er behalve het menggedrag geen andere processen zijn die het elektrisch geleidingsvermogen beïnvloeden.

Het elektrisch geleidingsvermogen in de vijver is continu geregistreerd op de lokaties P1, P2 en P3. Daarnaast is het geleidingsvermogen ook gemeten in de monsters genomen op deze lokaties. Laatst genoemde metingen zijn gedaan m.b.v. een temperatuur gecompenseerde meter, dit geldt ook voor de metingen in het overstortende water. Bij de continue registraties werd tijdens de meting niet gecompenseerd voor de temperatuur. Correctie van de continue registratie voor de temperatuur leverde geen goede overeenstemming tussen het geleidingsvermogen gemeten m.b.v. de registratie-apparatuur en dat gemeten in de monsters.

Het geleidingsvermogen gemeten m.b.v. de registratie-apparatuur is lager dan dat gemeten in de monsterflessen. Bovendien is de temperatuur alleen gemeten op lokatie P1, zodat temperatuurcorrectie alleen mogelijk is voor de registratie op deze lokatie.

Gezien de hierboven vermelde problemen met de continue registraties, is besloten het menggedrag te bestuderen m.b.v. het elektrisch geleidingsvermogen gemeten in de monsters.

3.3.2 Keuze van het model

Voor de beschrijving van het menggedrag is gekozen voor een model gebaseerd op een propstroomer met variabel volume en dispersie, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen een boven- en een onderlaag. Voor deze opdeling is gekozen op grond van visuele waarnemingen, waaruit blijkt dat tijdens een overstorting de vuilwaterprop voor een deel langs het oppervlak afstroomt. Ook uit andere waarnemingen is gebleken dat er sprake is van een gelaagdheid in de vijver.

Uit bijvoorbeeld de wekelijks gemeten verticale temperatuurprofielen blijkt dat er met name in de zomermaanden een verticale temperatuurgradiënt is. Deze thermische stratificatie wordt veroorzaakt door de opwarming van het water aan het oppervlak en de doorspoeling met relatief koud kwelwater (10-12 °C).

In het model wordt de onderlaag beschouwd als een dode zone, d.w.z. als een stagnante laag die alleen wordt doorspoeld met kwel. Middels een verticale dispersie vindt er wel uitwisseling plaats tussen boven- en onderlaag. Op deze wijze kan de relatief snelle toename van het geleidingsvermogen na een overstorting worden verklaard. Uit de waarnemingen wordt een tijdsconstante voor het herstel van het geleidingsvermogen gevonden in de orde van 0,3-0,5 dag⁻¹ (zie tabel 3-1).

Tabel 3-1 Tijdsconstante voor het herstel van het elektrisch geleidingsvermogen na een overstorting, vanaf het moment dat het waterniveau weer normaal is.

overstorting	datum	tijdsconstante dag ⁻¹		
		P1	P2	P3
1	21-05-1984	0,38	0,45	0,34
2	04-06-1984	0,34	-	-
4	10-07-1984	0,30	0,31	-
6	01-10-1984	0,30	0,36	0,43
8	23-10-1984	0,48	0,30	0,33

De tijdsconstanten vermeld in tabel 3-1 zijn berekend uit het verloop van het geleidingsvermogen vanaf het moment dat het waterpeil in de vijver weer normaal is. Vanaf dat moment is het advectioneel transport verwaarloosbaar en kan het menggedrag redelijk worden beschreven m.b.v. een ideale menger. Hiervoor geldt:

$$\frac{C_t - C_k}{C_o - C_k} = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (3-1)$$

waarin:

C_t het geleidingsvermogen op tijdstip t

C_o het geleidingsvermogen op $t = 0$

C_k het geleidingsvermogen van het kwelwater

$1/\tau$ de tijdsconstante dag⁻¹

Uit een kwel van ca. 10 cm/dag en een diepte van 1 m volgt een tijdsconstante van $0,1 \text{ dag}^{-1}$, zodat de snelle toename van het geleidingsvermogen na een overstorting niet verklaard kan worden uit de doorspoeling met kwelwater. De opmenging van het vervuilde water met een laag electrisch geleidingsvermogen met het schone water uit de dode zone geeft een verklaring voor het snelle herstel.

3.3.3 Modelvergelijkingen voor de beschrijving van het menggedrag

Een model gebaseerd op propstroom met variabel volume en dispersie kan worden beschreven m.b.v. de onderstaande partiële differentiaalvergelijking:

$$\begin{aligned} \frac{\delta C(x,z,t)}{\delta t} = & \frac{-\delta(U_x(x,t) \cdot C(x,z,t))}{\delta x} \\ & + \frac{\delta}{\delta x} \left(E_x(x,t) \cdot \frac{\delta C(x,z,t)}{\delta x} \right) \\ & + E_z(x,t) \cdot \frac{\delta^2 C(x,z,t)}{\delta z^2} \\ & - \frac{\delta U_z \cdot C(x,z,t)}{\delta z} \\ & - \frac{1}{H(t)} \cdot \frac{\delta H(t)}{\delta t} \cdot C(x,z,t) \end{aligned} \quad (3-2)$$

waarin:

x, z	resp. de coördinaten voor de horizontale en verticale richting
$C(x,z,t)$	de concentratie als functie van x, z en de tijd (kg/m^3)
U_x	de stroomsnelheid in de x -richting (m/min)
$E_x(x,t)$	de horizontale en verticale dispersie-
$E_z(x,t)$	constanten als functie van de x en t (m^2/min)
$H(t)$	de diepte als functie van de tijd (m)

Bij het opstellen van de modelvergelijking zijn de volgende aannamen gemaakt:

- de diepte is alleen een functie van de tijd, d.w.z. dat het waterpeil op een tijdstip overal in de vijver gelijk is.
- zowel de horizontale als de verticale dispersieconstanten zijn afhankelijk van de stroomsnelheid (en de diepte) en daarmee een functie van x .

Voor E_x geldt:

$$E_x = \beta \cdot U_x \cdot d + E_{x,0} \quad (3-3a)$$

Voor E_z geldt:

$$E_z = \alpha \cdot U_x \cdot d = E_{z,0} \quad (3-3b)$$

waarin d een karakteristieke maat voor de diepte is.

- de verticale dispersieconstante is constant over de diepte
- de kwel is overal in de vijver even groot.

3.3.4 Discretisatie

Om vergelijking 3-2 numeriek op te lossen moet deze worden gediscrèteerd naar tijd en plaats. Discretisatie, waarbij de vijfver en in z-richting wordt opgedeeld in een boven- en onderlaag levert het onderstaande differentieschema.

Voor de bovenlaag geldt:

$$\begin{aligned}
 CB_i^{n+1} = & CB_i^n \\
 & - \frac{\Delta t}{\Delta x} (UB_i CB_i^n - UB_{i-1} CB_{i-1}^n) \\
 & + \frac{\Delta t}{\Delta x^2} [E_{x,i}^n (CB_{i+1}^n - CB_i^n) - E_{x,i-1}^n (CB_i^n - CB_{i-1}^n)] \\
 & + \frac{\Delta t}{\Delta z^2} [E_{z,i}^n (CO_i^n - CB_i^n)] \\
 & + \frac{\Delta t \cdot U_{z,i}}{HB} (CO_i^n) \\
 & - \frac{\Delta t}{HB^n} \cdot \left(\frac{d HB}{dt}\right)^n \cdot CB_i^n
 \end{aligned} \tag{3-4a}$$

Voor de onderlaag geldt:

$$\begin{aligned}
 CO_i^{n+1} = & CO_i^n \\
 & - \frac{\Delta t}{\Delta x} (UO_i CO_i^n - UO_{i-1} CO_{i-1}^n) \\
 & + \frac{\Delta t}{\Delta x^2} [E_{x,i}^n (CO_{i+1}^n - CO_i^n) - E_{x,i-1}^n (CO_i^n - CO_{i-1}^n)] \\
 & + \frac{\Delta t \cdot E_{z,i}^n}{\Delta z^2} (CB_i^n - CO_i^n) \\
 & + \frac{\Delta t}{HO} (U_{kwel} \cdot C_{kwel} - U_z \cdot CO_i^n)
 \end{aligned} \tag{3-4b}$$

waarin index n slaat op de tijd

$$t = n \cdot \Delta t$$

en index i slaat op de plaats

$$x = i \cdot \Delta x$$

CO, CB	de concentratie in resp. de onder- en bovenlaag
z	de afstand tussen de middens van de boven- en onderlaag
HB	de dikte van de bovenlaag
HO	de dikte van de onderlaag

Het waterpeil, de verandering van het waterpeil en de stroomsnelheden worden berekend m.b.v. een eenvoudig hydrodynamisch model.

3.3.5 Hydrodynamisch model

Wanneer wordt aangenomen dat het waterniveau op één tijdstip in de vijver overal gelijk is, volgt uit de waterbalans over de hele vijver:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} (Q_{in} - Q_{uit} + Q_{kwel}) \quad (3-5)$$

waarin:

Q_{in}	het overstort debiet	(m ³ /min)
Q_{uit}	het uitgaande debiet	(m ³ /min)
Q_{kwel}	het kweldebiet	(m ³ /min)
A	de oppervlakte van de vijver	(m ²)
H	de totale diepte van de vijver	(m)

Voor het uitgaande debiet Q_{uit} geldt (zie ook Hfd 4):

$$Q_{uit} = k_1 \sqrt{P_s^3} \quad P_s \leq H_g \quad (3-6a)$$

$$Q_{uit} = k_1 \sqrt{H_g^3} + k_2 \sqrt{(P_s - H_g)} \quad P_s > H_g \quad (3-6b)$$

waarin:

k_1 en k_2	constanten
P_s	het waterpeil t.o.v. het meetschot (m)
H_g	het peil waarbij nog juist vrije afstroming plaatsvindt over het meetschot (m)

De constanten k_1 en k_2 uit vergelijking 3-6a en 3-6b zijn geschat uit het verloop van de gemeten waterhoogten nadat het peil kunstmatig verhoogd werd (zie hfd 4)

Figuur 3-2 toont het verloop van gemeten en berekende waterhoogten boven het meetschot. De gevonden waarden van k_1 en k_2 bedragen resp. 50 en 10,4 bij een H_g van 0,11 m.

Uit een waterbalans over de verschillende compartimenten kunnen de horizontale stroomsnelheden worden berekend.

$$\text{Er geldt: } U_i = Q_i / O \quad (3-7)$$

waarin:

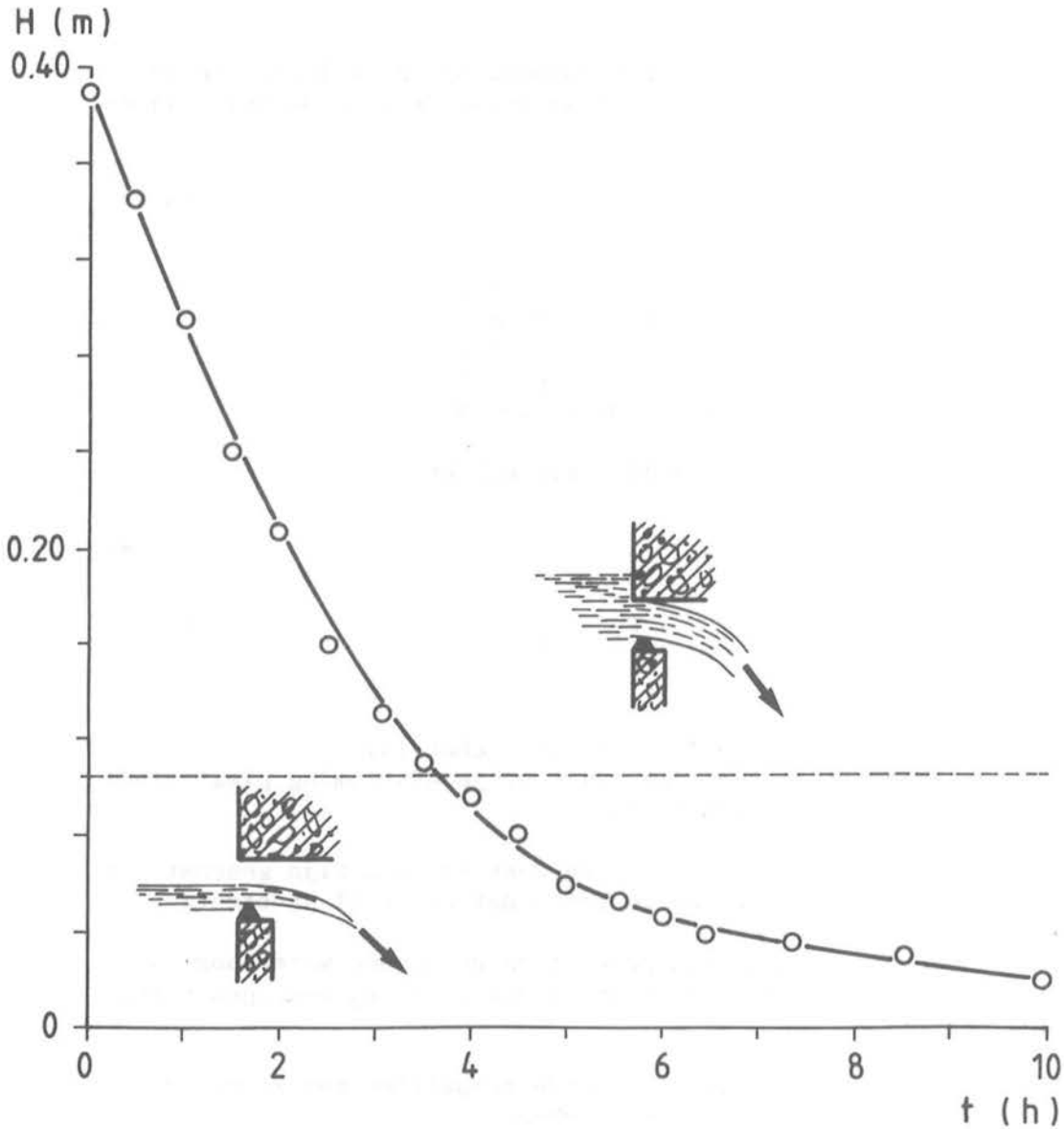
Q_i	is het debiet door grens tussen de compartimenten i en $i+1$	(m ³ /min)
O	is het doorstroomde oppervlak	(m ²)
U_i	is de stroomsnelheid	(m/min)

Voor Q_i kan worden afgeleid:

$$Q_i = \left(1 - \frac{i}{n}\right) Q_{in} + \frac{i}{n} Q_{uit} \quad (3-8)$$

waarin:

Q_{in}	het inkomende debiet	(m ³ /min)
Q_{uit}	het uitgaande debiet	(m ³ /min)
i	het compartiment nummer	
n	het aantal compartimenten	



Figuur 3-2 Gemeten en gesimuleerd verloop van het waterpeil tijdens het leeglopen, nadat niveau in de vijver kunstmatig was verhoogd.

Het debiet door de compartimentsgrenzen Q_i kan verdeeld worden over de boven- en onderlaag m.b.v. een aangenomen snelheidsprofiel.

Er geldt:

$$QO_i = \left(\frac{HO}{HO+HB} \right)^{PWR+1} \cdot Q_i \quad (3-9a)$$

$$QB_i = 1 - \left(\frac{HO}{HO+HB} \right)^{PWR+1} \cdot Q_i \quad (3-9b)$$

waarin

QB_i, QO_i resp. de debieten door de boven- en de onderlaag
(m^3/min)
 HB, HO resp. de dikte van de boven- en onderlaag (m)
 PWR de macht van het snelheidsprofiel
 $U_X(z) \sim z^{PWR}$

De verticale stroomsnelheid $U_{z,i}$ door het grensvlak tussen onder- en bovenlaag kan worden berekend uit een waterbalans over een compartiment van de onderlaag.

Er geldt:

$$(UO_{i-1} - UO_i) \cdot A_{i-1,i} + U_{kwel} \cdot A_{OB} = U_{z,i} \cdot A_{OB} \quad (3-10)$$

waarin:

$$A_{i-1,i} = (PG - PB) \cdot B$$

$$A_{OB} = B \cdot \Delta x$$

met PG het peil van het grensvlak tussen onder- en bovenlaag (m)

PB het peil van de bodem (m)

B de breedte van de vijver (m)

3.3.6 Numerieke dispersie

Tengevolge van de discretisatie naar tijd en plaats treedt bij de beschrijving van het advectief transport een numerieke fout op. Deze fout zorgt voor een extra dispersie, die ontstaat wanneer $U \cdot \Delta t$ ongelijk is aan Δx , d.w.z. wanneer in een tijdstap niet de hele inhoud van een compartiment wordt vervangen. De aldus geïntroduceerde dispersie noemt men wel een numerieke dispersie. Hiervoor geldt:

$$E_{num} \approx \frac{U}{2} (\Delta x - U \Delta t) \quad (3-11)$$

Voor numerieke dispersie kan gecorrigeerd worden door in het differentieschema de werkelijke dispersie te vervangen door $E_i^n - E_{num,i}^n$ waarbij moet gelden dat:

$$E_j^n - E_{num,i}^n \geq 0 \quad (3-12)$$

Door vergelijking 3-12 gelijk te stellen aan 0 kan de horizontale dispersieterm in het model worden weggelaten. In dat geval wordt de fysische dispersie geheel beschreven door de numerieke dispersie. Er geldt:

$$E_i^n = E_{num} \quad (3-13)$$

Wanneer de term $U \Delta t$ in vergelijking 3-11 klein is t.o.v. de plaatsstap Δx is evenals volgens vergelijking 3-3a de dispersie recht evenredig met de stroomsnelheid. Door een geschikte waarde van Δx te kiezen kan een waarde voor de dispersie worden ingevoerd.

Omdat de horizontale dispersieterm wegvalt uit het differentieschema, is de concentratie in het 1e compartiment niet meer afhankelijk van de concentratie in de compartimenten benedenstrooms. Het voordeel hiervan is dat wanneer de concentratie op afstand $x (=i.\Delta x)$ van het lozingspunt moet worden berekend niet meer alle compartimenten moeten worden doorgerekend, wat vooral bij het schatten van de parameters van het model veel rekentijd kan besparen. Het nadeel van deze aanpak is, dat de horizontale dispersie geen continu variabele meer is, omdat Δx slechts discrete waarden kan nemen.

3.3.7 Calibratie van het model voor de beschrijving van het menggedrag

In het model voor de beschrijving van het menggedrag komt een aantal onbekende parameters voor, waarvan de waarden moeten worden geschat.

Deze parameters zijn:

- P_g Het peil van het grensvlak tussen boven- en onderlaag.
- E_z De verticale dispersie, die de uitwisseling beschrijft tussen de boven- en onderlaag. De verticale dispersie is opgedeeld in een constant deel en een deel dat evenredig is met de stroomsnelheid u en de diepte d .
 $E_z = \alpha \cdot u \cdot d + E_0$
- E_x De horizontale dispersie die in het model wordt ingevoerd door de keuze van het aantal compartimenten.

$$E_x = \frac{u}{2} (\Delta x - u\Delta t)$$

met Δx de lengte van een compartiment $n.\Delta x = L$ (L = de lengte van de vijver, n het aantal compartimenten.)

- PWR De macht in het snelheidsprofiel, die de vorm van het snelheidsprofiel en daarmee de verdeling van de debieten door de onder- en bovenlaag bepaalt.

Het model is in eerste instantie gecalibreerd op de gemeten responsie van het elektrisch geleidingsvermogen op lokatie P1 na de overstorting van 4-6-1984. De parameters zijn geschat m.b.v. de methode der kleinste kwadraten, waarbij de kwadratensom S wordt geminimaliseerd voor de parameters.

$$S = \sum_{i=1}^k (C_b - C_m)^2 \quad (3-14)$$

waarin:

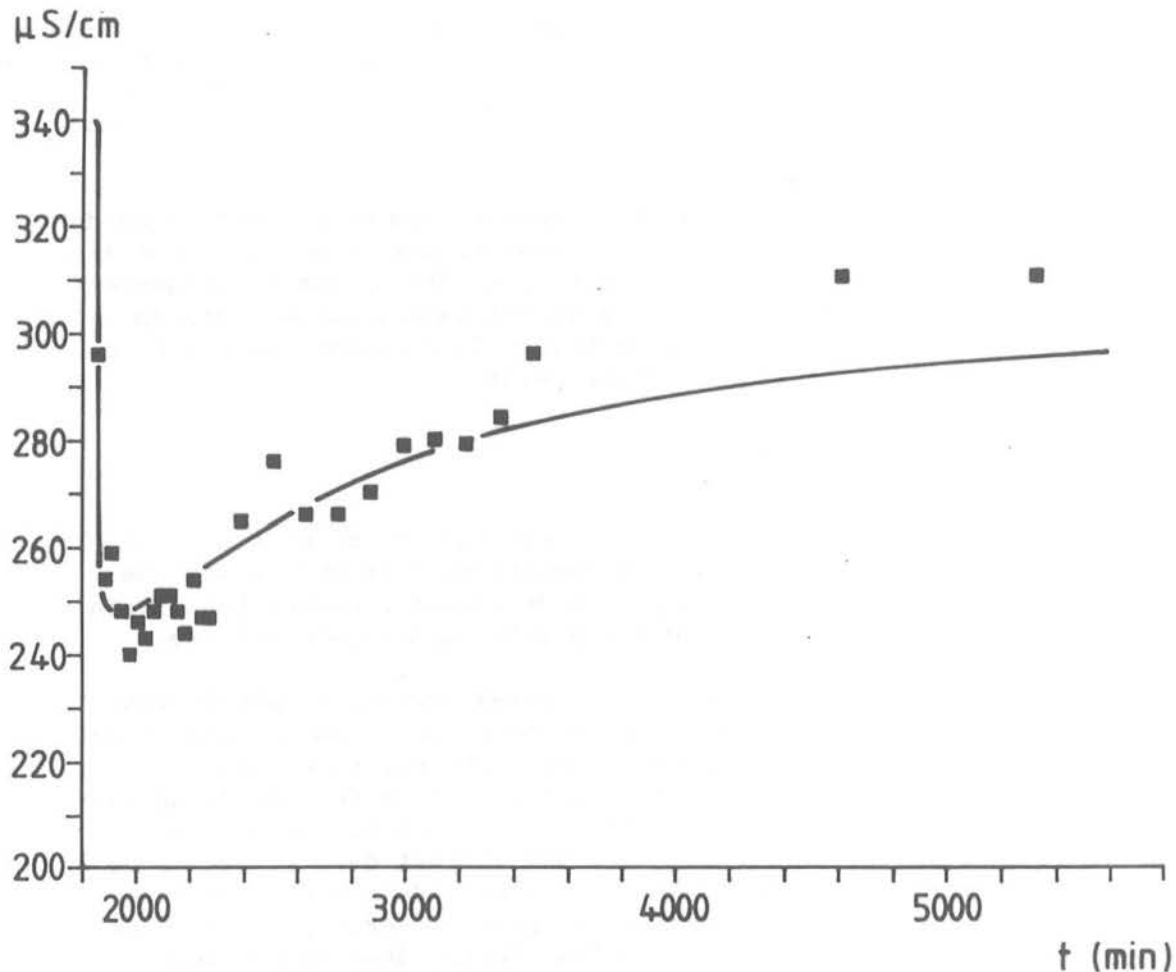
- C_b de berekende waarde
- C_m de gemeten waarde
- k het aantal meetpunten

De kwadratensom werd geminimaliseerd m.b.v. de optimalisatiemethode volgens Nelder en Mead, de zgn. Simplexmethode [11]. Omdat het m.b.v. deze methode niet mogelijk is de waarde van discrete parameters te schatten, is het aantal compartimenten n niet geschat. De optimale waarde van n is verkregen door voor verschillende waarden van n de andere parameters te schatten. De resultaten van de schatting zijn weergegeven in tabel 3-2.

Tabel 3-2 Resultaten van de parameterschatting m.b.v. de gemeten responsie op P1 na de overstorting van 4-6-1984.

P_g	(m)	-0,41
x		$5,3 \times 10^{-5}$
E_o	(m ² /min)	$1,3 \times 10^{-4}$
n		3
$\frac{PWR}{\Delta C}$	($\mu S/cm$)	50
		7,6

Figuur 3-3 toont de m.b.v. geschatte parameters berekende responsie, tevens zijn de gemeten waarden weergegeven.



Figuur 3-3 Gemeten en berekende responsie na de overstorting van 4-6-1984 op lokatie P1.

De gevonden waarde voor de macht in het snelheidsprofiel mag niet gezien worden als een werkelijke beschrijving van het verticale snelheidsprofiel. De hoge waarde van de macht geeft aan dat het totale debiet door de grens van compartiment 1 na i+1 geheel door de bovenlaag gaat. Dit betekent dat de onderlaag beschouwd kan worden als een stagnante laag die niet wordt doorstroomd. Zo ontstaat een model waarbij de onderlaag zich gedraagt als een dode zone, hetgeen betekent dat de horizontale advectief transportterm en de term die het horizontale dispersief transport beschrijft in de massabalans voor de onderlaag (vergelijking 3-4b) kunnen worden weggelaten. De verticale dispersie beschrijft nu de menging tussen de stromingszone (bovenlaag) en dode zone.

De parameters van dit dode zone model zijn geschat m.b.t. de gemeten responsies op de lokaties P1 en P2 na een aantal overstortingen. De resultaten hiervan staan in tabel 3-3.

Tabel 3-3 Resultaten van de schatting van de parameters van het dode zone model.

datum over- storting	lokatie P ₁		E ₀ (m ² /min)	N	$\overline{\Delta C}$ (μS/cm)	lokatie P ₂		E ₀ (m ² /min)	N	$\overline{\Delta C}$ (μS/cm)
	P _g (m)	α				P _g (m)	α			
21/5/84	-0,60	$9,0 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-4}$	3	14,6	-0,34	$4,8 \times 10^{-5}$	$0,9 \times 10^{-4}$	3	13,9
4/6/84	-0,41	$5,3 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-4}$	3	7,6	-0,29	$11,3 \times 10^{-5}$	$0,9 \times 10^{-4}$	3	8,7
10/7/84	-0,55	$7,0 \times 10^{-5}$	$0,4 \times 10^{-4}$	3	10,3	-0,27	$12,7 \times 10^{-5}$	$0,1 \times 10^{-4}$	3	7,4

Voor alle overstortingen werd bij het schatten van de parameters op de gemeten responsie op P1 het beste resultaat verkregen bij een opdeling van de vijver in 3 compartimenten. Voor de schatting van de parameters op de gemeten responsie op lokatie P2 is het aantal compartimenten niet gevarieerd. Een opdeling van de vijver in 3 compartimenten betekent dat voor de horizontale dispersie geldt:

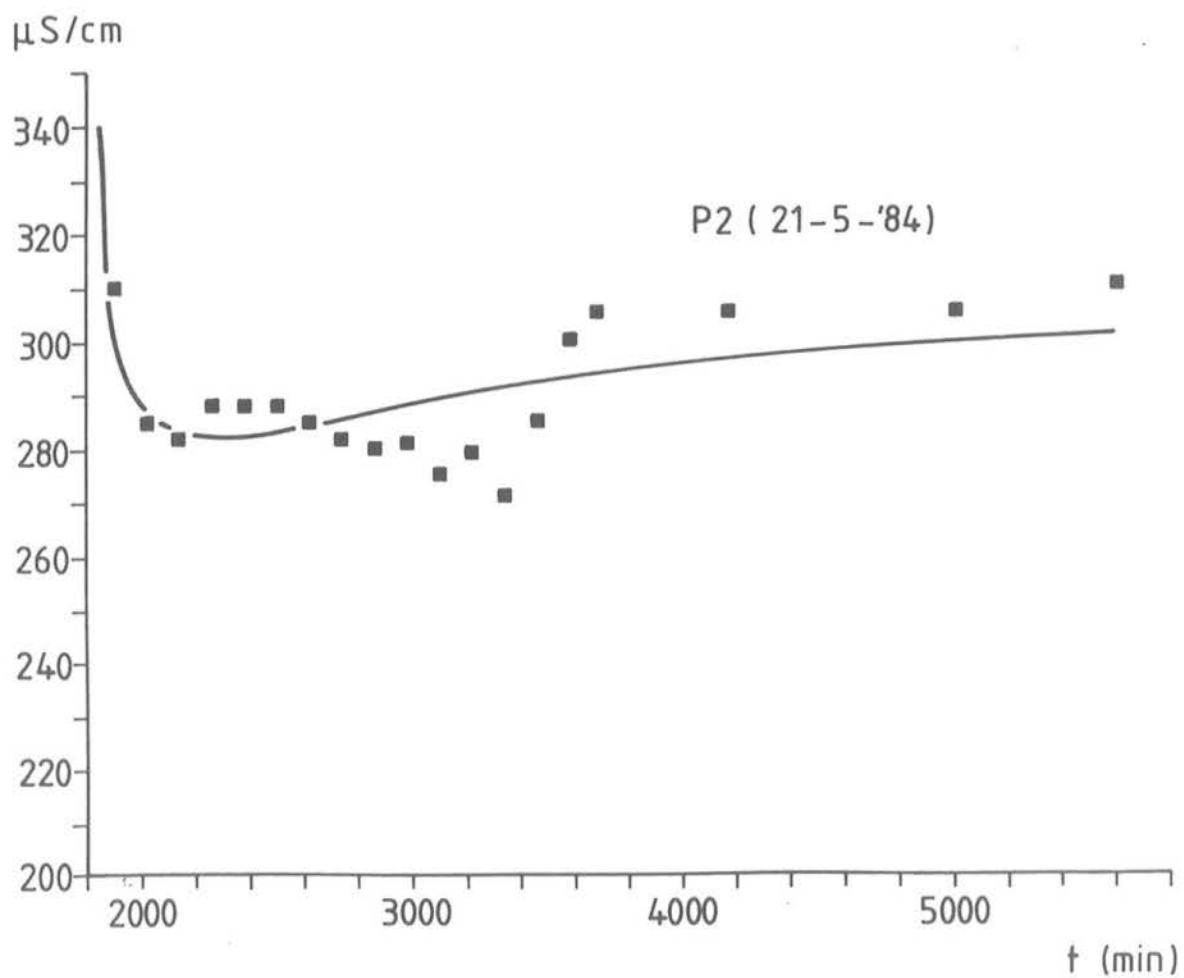
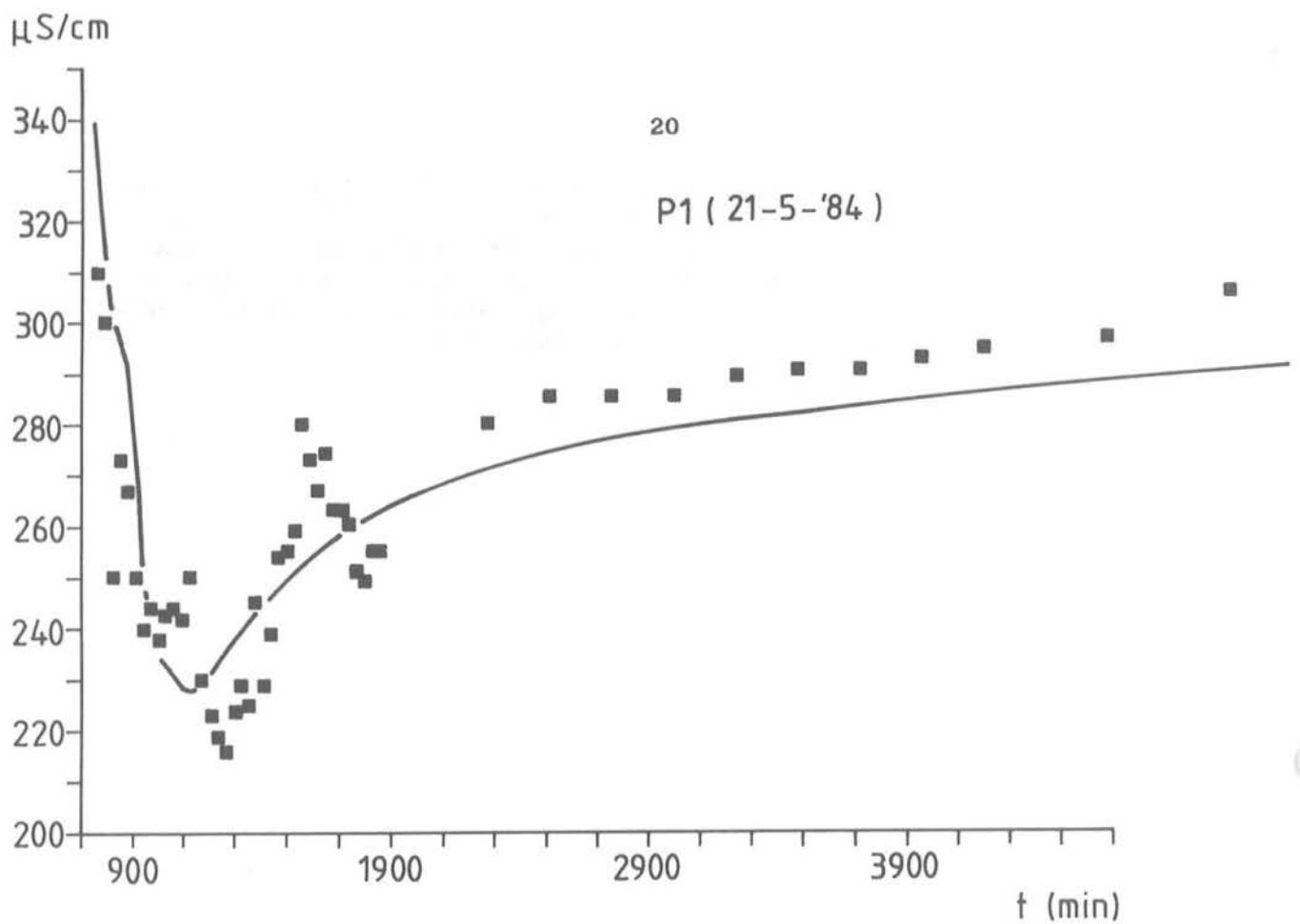
$$E_x = E_{\text{num}} \approx \frac{U}{2} \cdot 40$$

hetgeen betekent, dat de dispersie varieert van ca. 60 m²/min tijdens een overstorting, bij een maximale stroomsnelheid in het eerste compartiment van 3 m/min tot nagenoeg 0 in de situatie waarop het niveau weer normaal is en de vijver alleen nog wordt doorspoeld met kwel.

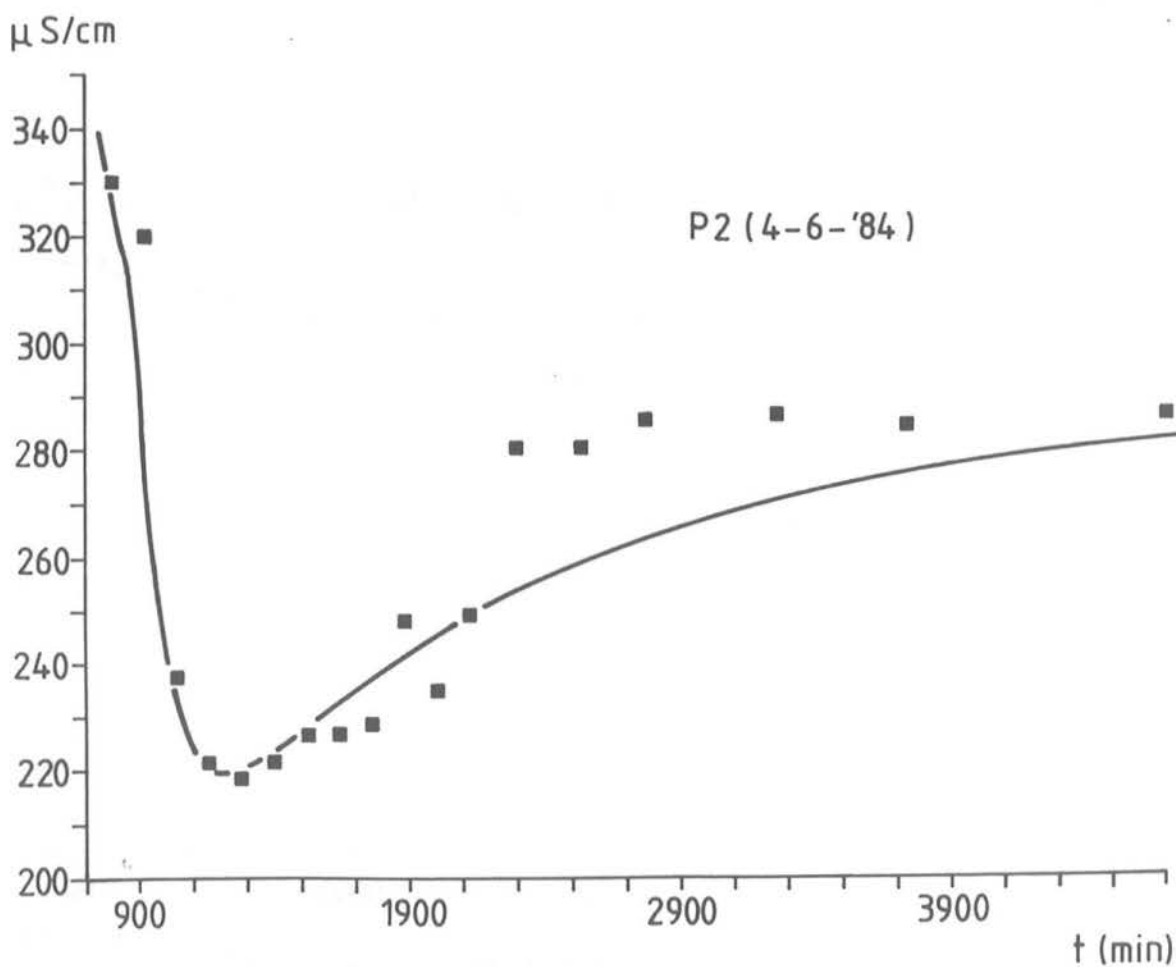
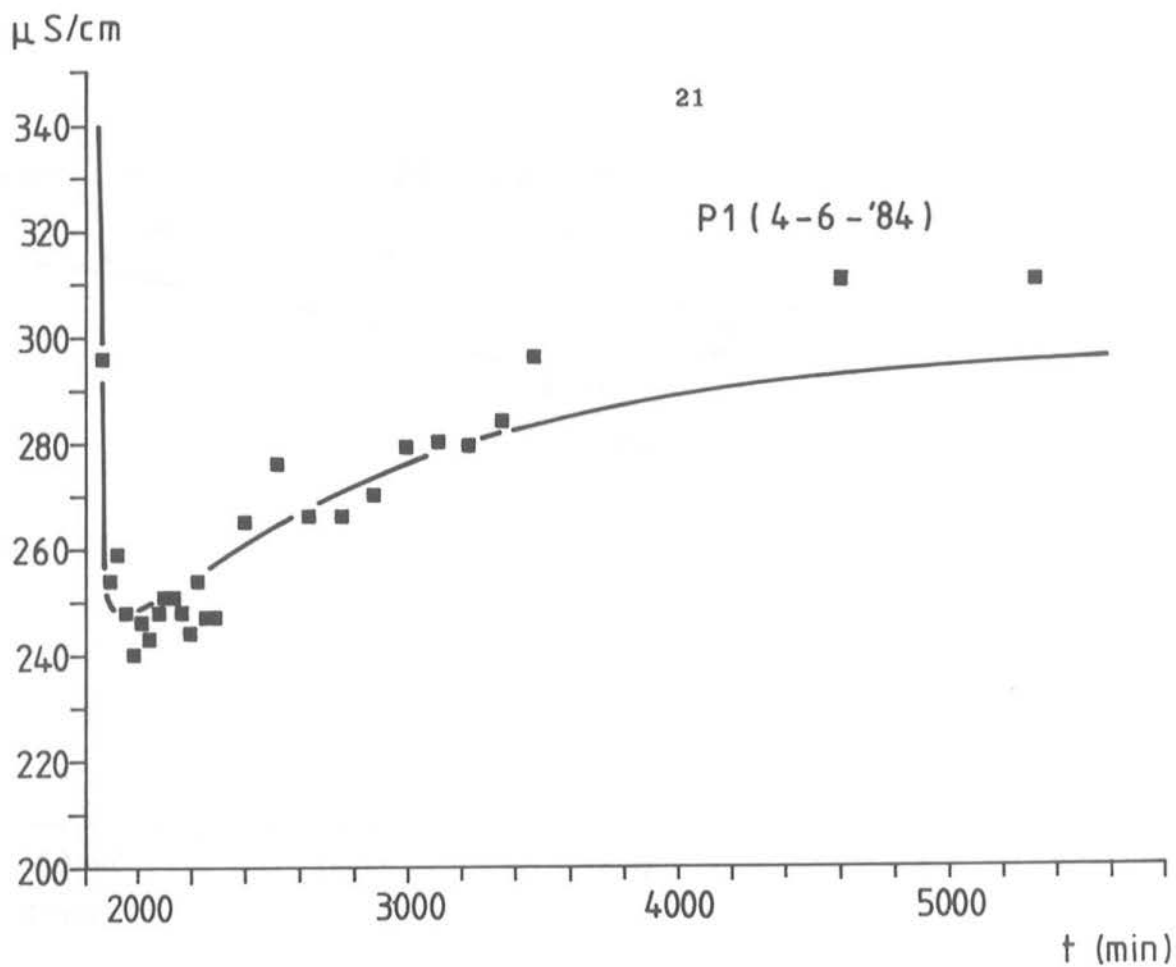
De gevonden waarden voor P_g liggen voor zowel lokatie P1 als P2 voor de drie overstortingen in dezelfde orde van grootte. Opvallende is dat voor lokatie P2 telkens een lagere waarde wordt gevonden. Een verklaring hiervoor kan mogelijk gevonden worden in de verstoring van de thermische stratificatie in de vijver t.g.v. de impuls van de overstorting. Deze verstoring zal zich het sterkst doen gelden in de onmiddellijke nabijheid van de overstort en geleidelijk afnemen in de richting van de uitstroom. Bovendien zal zich na verloop van tijd de oorspronkelijke situatie weer herstellen. Echter daar in het model wordt gerekend met een vast peil van het grensvlak tussen onder- en bovenlaag wordt bij het schatten een over de simulatieduur gemiddelde waarde gevonden van de dikte van de bovenlaag. Evenzo is de waarde gevonden voor lokatie P2 een gemiddelde over de simulatieduur, maar in dit geval ook nog gemiddeld over de bovenstroomse afstand tot dit punt.

De verticale dispersieconstante bestaat uit een deel evenredig met de stroomsnelheid en de diepte en een constant deel E₀. Tijdens een overstorting, wanneer de stroomsnelheden groot zijn, zijn de beide termen van dezelfde orde van grootte. In de achtergrondsituatie, wanneer er alleen stroming is t.g.v. de kwel is de snelheidsafhankelijke term te verwaarlozen t.o.v. E₀.

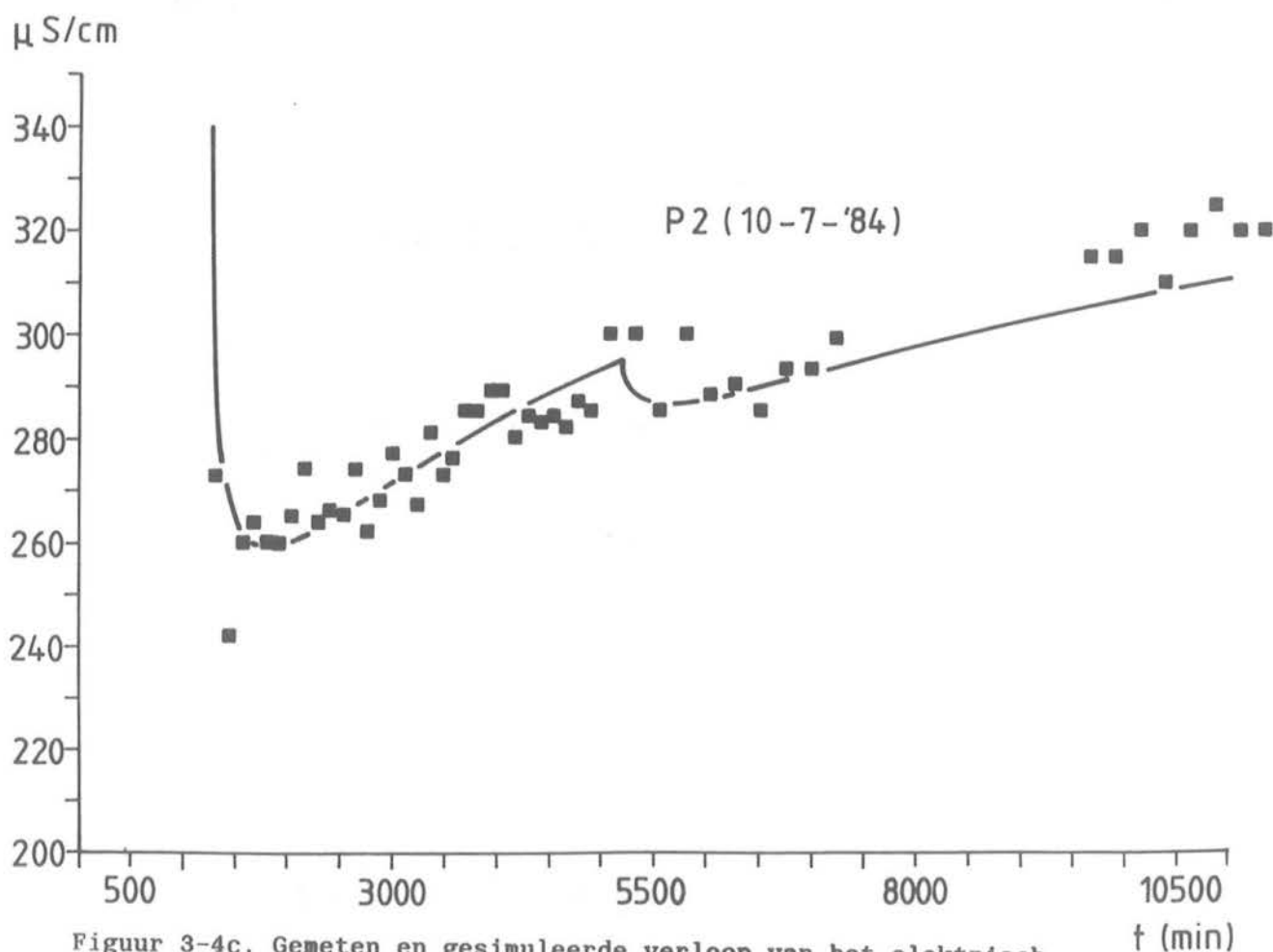
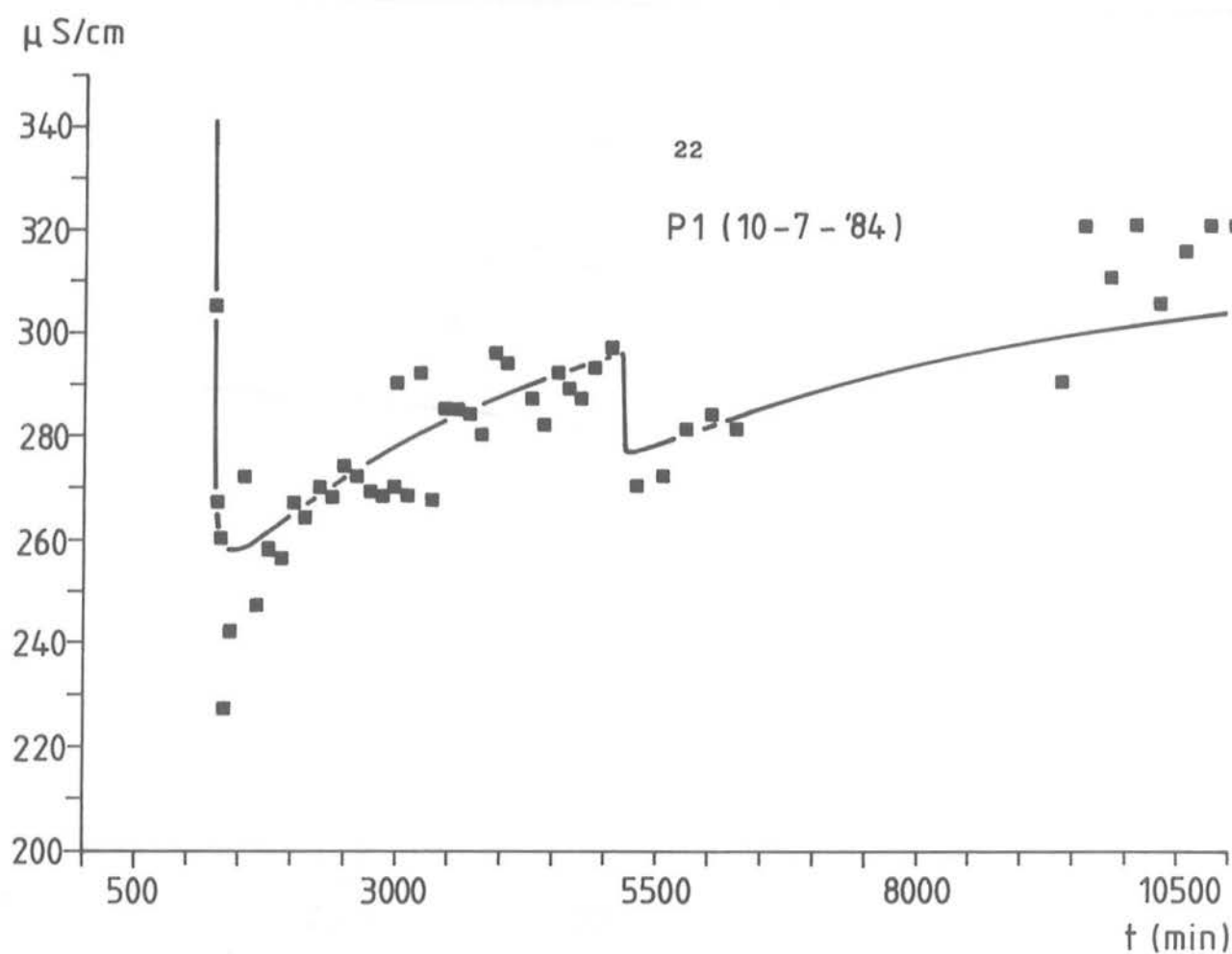
Het gesimuleerde en gemeten verloop van het elektrisch geleidingsvermogen na de overstortingen is weergegeven in figuur 3-4. Uit deze figuren blijkt dat m.b.v. het model een redelijke beschrijving kan worden gegeven van het verloop van elektrisch geleidingsvermogen na een overstorting. De gemiddelde afwijking tussen gemeten en berekende waarde bedraagt ongeveer $10 \mu\text{S/cm}$ (zie tabel 3-3).



Figuur 3-4a. Gemeten en gesimuleerde verloop van het elektrisch geleidingsvermogen na de overstorting van 21-5-1984.



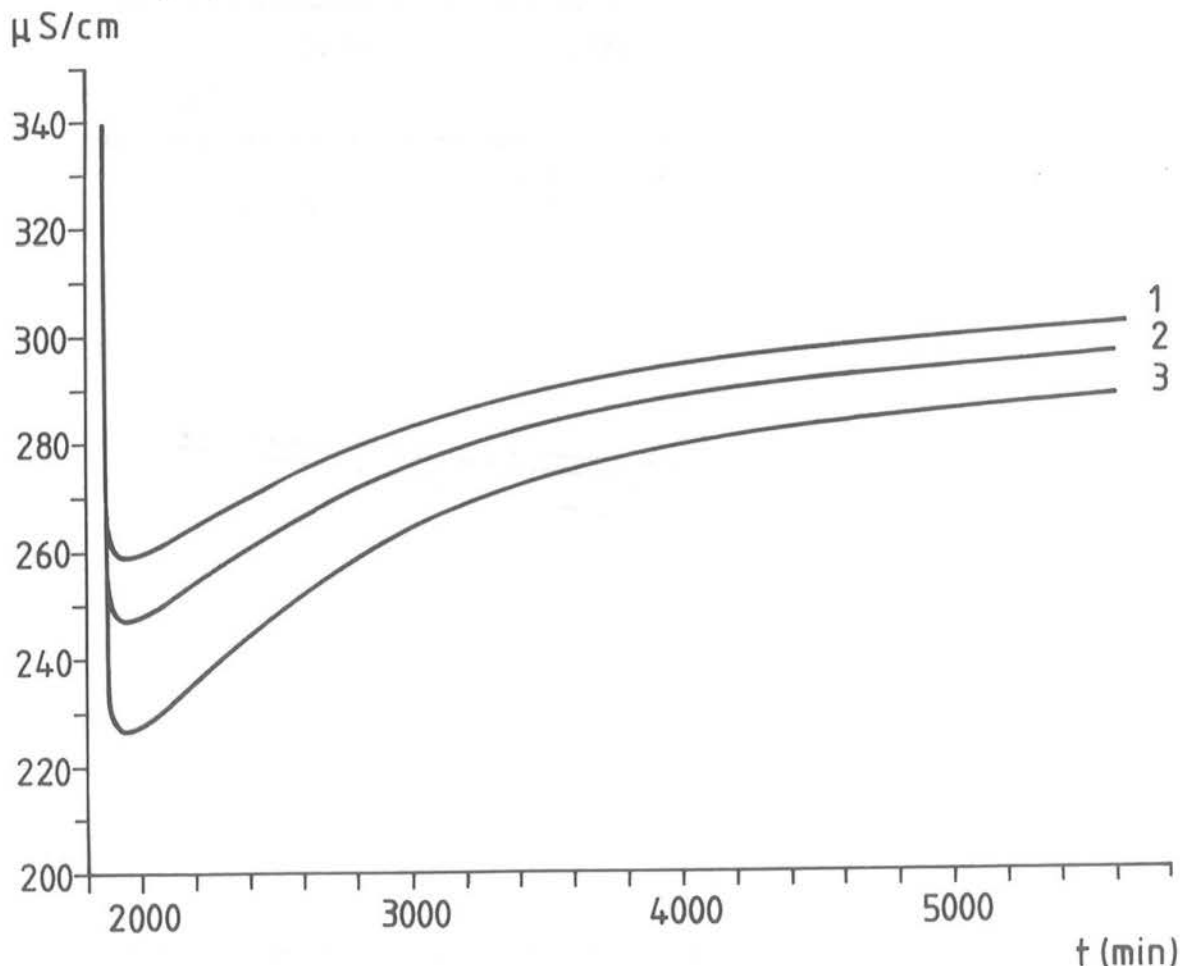
Figuur 3-4b. Gemeten en gesimuleerde verloop van het elektrisch geleidingsvermogen na de overstorting van 4-6-1984.



Figuur 3-4c. Gemeten en gesimuleerde verloop van het elektrisch geleidingsvermogen na de overstoringen van 10-7-1984 en 13-7-1984.

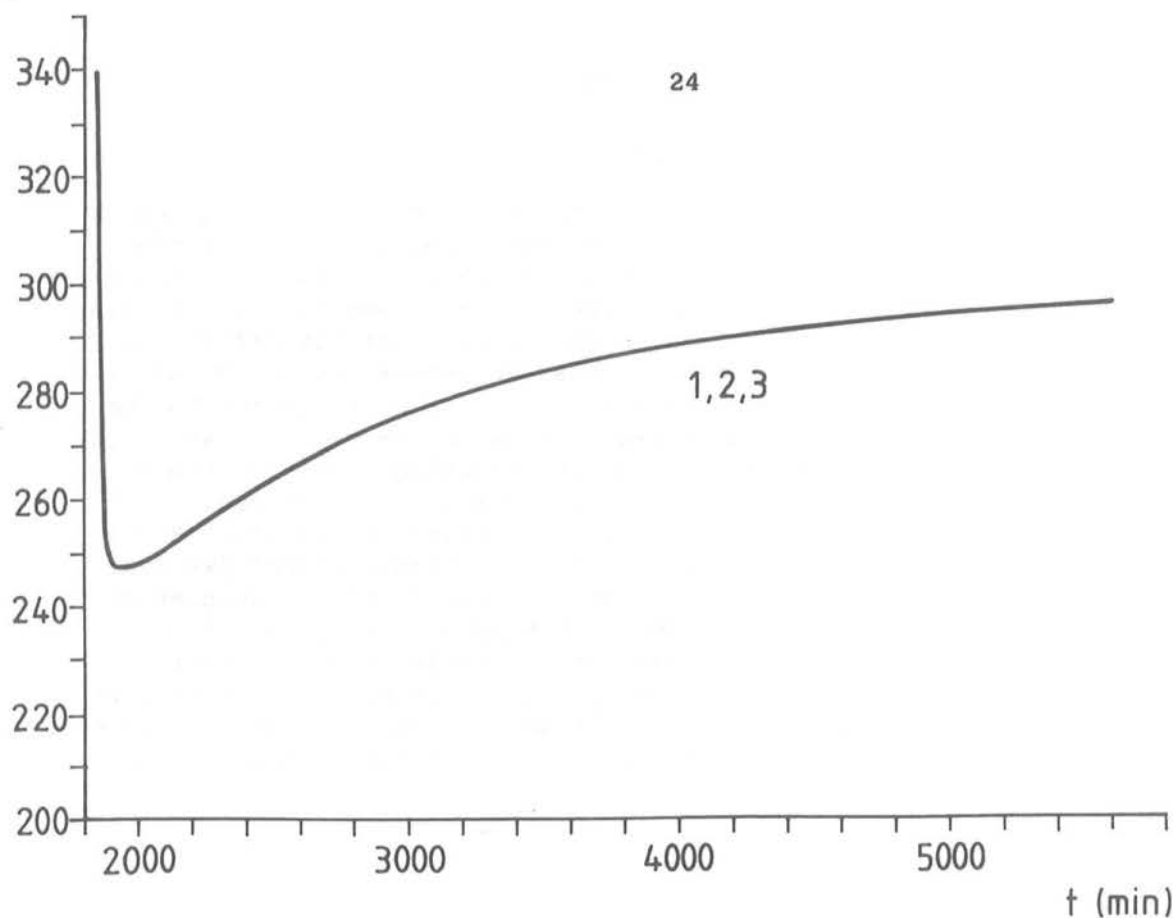
3.3.8 Gevoeligheidsanalyse van het model

De waarden van P_g , α en E_0 zijn gevarieerd om op deze wijze een indruk te krijgen van de gevoeligheid van het model voor de verschillende parameters. Als uitgangspunt bij deze gevoeligheidsanalyse is genomen het berekende verloop van het elektrisch geleidingsvermogen op lokatie P1 na de overstorting van 4-6-1984. Figuur 3-5a toont het effect van de verandering van het peil van het grensvlak tussen boven- en onderlaag. Het model blijkt zeer gevoelig te zijn voor de parameter P_g . De waarde van P_g bepaalt zowel de waarde van het minimum als de snelheid van het advectief transport tijdens de overstorting. Variatie van α toont niet of nauwelijks enig effect (fig. 3-5b), variatie van E_0 daarentegen heeft wel enige invloed op de modeluitkomsten (fig. 3-5c). Dit valt te verklaren uit het feit dat het snelheidsafhankelijke deel van de verticale dispersie alleen tijdens de overstorting, wanneer de stroomsnelheden groot zijn een wezenlijke bijdrage levert aan de uitwisseling tussen boven- en onderlaag. Deze periode is echter kort t.o.v. de totale simulatieduur en bovendien is het advectief transport in deze periode de belangrijkste term in de massabalans. Het constante deel van de dispersie E_0 speelt gedurende de hele simulatieduur een belangrijke rol.



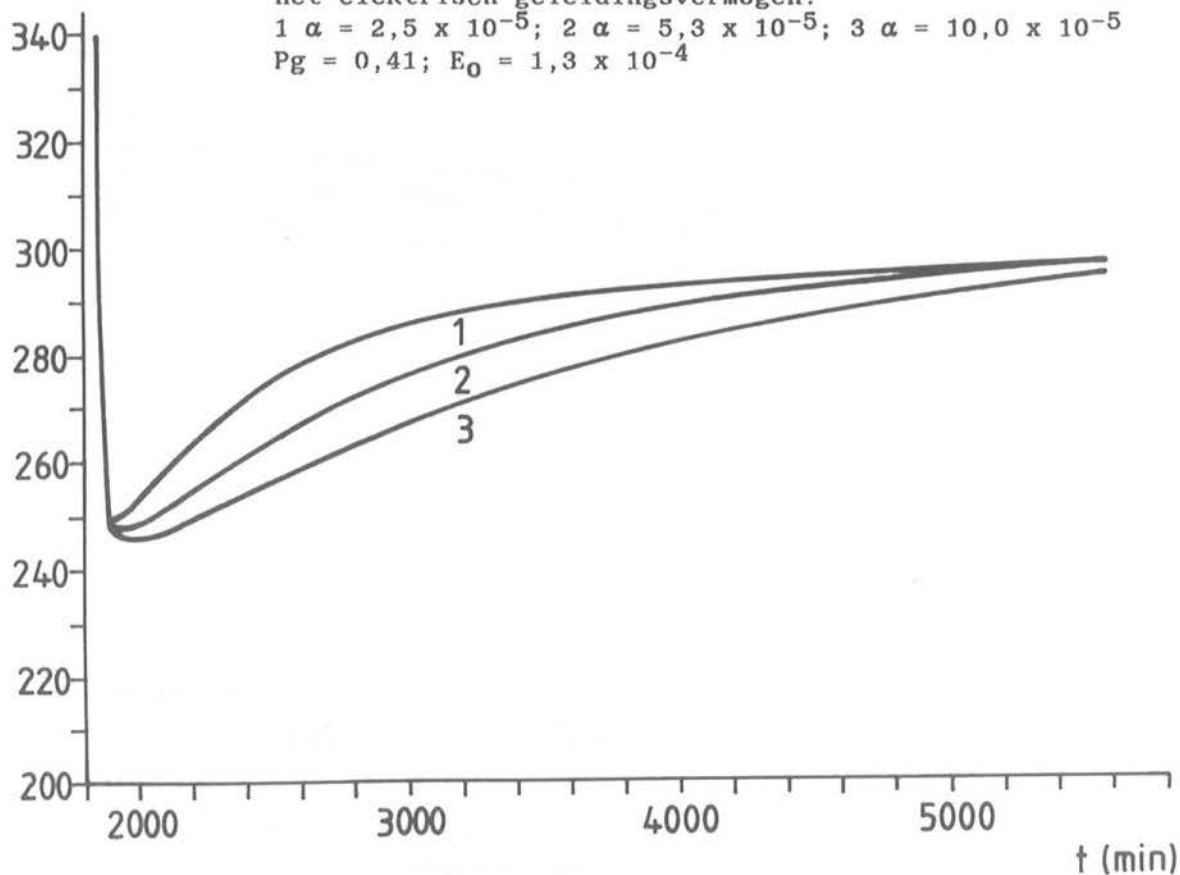
Figuur 3-5a. Effect van de variatie van parameter P_g op het verloop van het elektrisch geleidingsvermogen.

1 $P_g = -0,50$; 2 $P_g = -0,41$; 3 $P_g = -0,30$
 $E_0 = 1,3 \times 10^{-4}$; $\alpha = 5,3 \times 10^{-5}$

$\mu\text{S/cm}$ 

Figuur 3-5b. Effect van de variatie van parameter α op het verloop van het elektrisch geleidingsvermogen.

1 $\alpha = 2,5 \times 10^{-5}$; 2 $\alpha = 5,3 \times 10^{-5}$; 3 $\alpha = 10,0 \times 10^{-5}$
 $P_g = 0,41$; $E_0 = 1,3 \times 10^{-4}$



Figuur 3-5c. Effect van de variatie van de parameter E_0 op het verloop van het elektrisch geleidingsvermogen.

1 $E_0 = 0,7 \times 10^{-4}$; 2 $E_0 = 1,3 \times 10^{-4}$; 3 $E_0 = 2,5 \times 10^{-4}$
 $P_g = -0,41$; $\alpha = 5,3 \times 10^{-5}$

3.3.9 Conclusie van het onderzoek naar het menggedrag

Het model voor het menggedrag geeft een redelijke beschrijving van het verloop van het electrisch geleidingsvermogen na een overstorting. Het karakter van het model is echter veeleer beschrijvend dan verklarend omdat het menggedrag in werkelijkheid ingewikkelder is dan het model beschrijft. Dit brengt met zich mee dat de parameters van het model voor elke overstorting opnieuw geschat moeten worden. De voorspellende waarde van dit model is dan ook gering. Om een verklarend model op te stellen waarmee het menggedrag na een overstorting kan worden voorspeld is nader onderzoek nodig. Een dergelijk onderzoek zal zich vooral moeten richten op de stabiliteit van de stratificatie, de verstoring van het gestratificeerde systeem t.g.v. de impuls van de overstorting en het herstel naar een nieuwe evenwichtssituatie.

Ondanks het feit dat het model geen verklaring geeft voor alle processen die een rol spelen in de verschillende fases in het menggedrag kan het wel dienen als basis voor een kwaliteitsmodel waarmee de kwaliteitsbepalende processen kunnen worden bestudeerd.

3.4 Gedrag van het zwevende stof

Doel van het onderzoek naar de sedimentatie is inzicht te krijgen in het gedrag en de verspreiding van zwevende stof na een overstorting. Tijdens lozingen uit met name gemengde rioolstelsels worden grote hoeveelheden slib in het ontvangend water gebracht. Bij het onderzoek naar de emissie uit rioolstelsel is de vracht aan zwevende -of affiltreerbare- stof dan ook vaak een belangrijk thema van onderzoek.

De effecten van lozingen van grote hoeveelheden zwevende stof in het ontvangende water zijn onder te verdelen in directe en indirecte effecten. Voorbeelden van directe effecten zijn:

- een verhoogde troebelheid met als gevolg een minder doorzicht.
- de vorming van een dikke sliblaag op de bodem van het ontvangende water.
- verstikking en bedekking van bodemflora en fauna door slib.

De indirecte effecten spelen zich af op langere termijn en worden veroorzaakt door de invloed van gevormde sliblaag op de waterkwaliteit.

Voorbeelden zijn:

- een verhoogd zuurstofverbruik van de bodem t.g.v. de grote hoeveelheden geaccumuleerde organische stof.
- het effect van de in het sediment optredende mineralisatie met als gevolg een nalevering van BZV, N en P uit het sediment.
- de effecten van de in het sediment geaccumuleerde micro-verontreinigingen.

3.4.1 Processen

Het gedrag van zwevende stof wordt bepaald door een tweetal processen, namelijk sedimentatie en resuspensie. Resuspensie kan vooral tijdens een overstorting, wanneer de stroomsnelheid groot is een belangrijke rol spelen. Omdat in de vijver in Loenen t.g.v. de stratificatie een oppervlakkige afstroming van de vuilwaterprop plaatsvindt, zal het effect van resuspensie gering zijn. Bovendien blijkt uit het onderzoek naar het menggedrag dat de onderlaag zich ook tijdens een overstorting gedraagt als een stagnante laag.

Op grond van de bovenstaande overwegingen is het resuspensieproces in eerste instantie niet meegenomen in het model voor de beschrijving van de zwevende stof concentratie.

3.4.2 Modelvergelijkingen voor de beschrijving van het gedrag van zwevende stof

Wanneer resuspensie buiten beschouwing wordt gelaten, ontstaat een model waarbij de modelvergelijkingen voor de beschrijving van het menggedrag (vergl. 3-4a en 3-4b) worden uitgebreid met een term voor de sedimentatie.

Voor de bovenlaag geldt nu:

$$SSB_i^{n+1} = SSB_i^n \quad (3-15a)$$

$$- \frac{\Delta t}{\Delta x} (UB_i SSB_i^n - UB_{i-1} SSB_{i-1}^n)$$

$$+ \frac{\Delta t}{\Delta z^2} [E_{z,i}^n (SSO_i^n - SSB_i^n)]$$

$$+ \frac{\Delta t U_{z,i}}{HB^n} SSO_i^n$$

$$- \frac{\Delta t V_s}{HB^n} (SSB_i^n - SSA)$$

$$- \frac{\Delta t}{HB^n} \cdot \left(\frac{dHB}{dt}\right)^n SSB_i^n$$

Voor de onderlaag geldt:

$$SSO_i^{n+1} = SSO_i^n \quad (3-15b)$$

$$+ \frac{\Delta t}{\Delta z^2} [E_{z,i}^n (SSB_i^n - SSO_i^n)]$$

$$+ \frac{\Delta t}{HO} (U_{kwel} SSA - U_z \cdot SSO_i^n)$$

$$+ \frac{\Delta t V_s}{HO} (SSB_i^n - SSA)$$

$$- \frac{\Delta t V_s}{HO} (SSO_i^n - SSA)$$

waarin:	
SSO, SSB	de zwevende stof concentraties in resp. de onder- en bovenlaag (g/m^3)
V_s	de sedimentatiesnelheid (m/min)
SSA	de zwevende stofconcentratie in de achtergrond-situatie (g/m^3)

In de vergelijking voor de onderlaag zijn de termen voor het advectief- en horizontaal dispersief transport weggelaten. De term voor het dispersief transport is ook weggelaten in de vergelijking voor de bovenlaag. De horizontale dispersie wordt beschreven m.b.v. de numerieke dispersie.

Anders dan in het deelrapport fysisch-chemische achtergrondkwaliteit [4] wordt in dit rapport de term achtergrondconcentratie gebruikt voor de concentratie waargenomen op het tijdstip waar het directe effect van een overstorting niet meer waarneembaar is.

De achtergrondconcentratie SSA beschrijft de altijd aanwezige zwevende stof. In het model wordt deze als een niet bezinkbaar deel van de zwevende stof gedacht, zodat alleen de met de lozing ingebrachte zwevende stof aan sedimentatie onderhevig is. In werkelijkheid is de achtergrondconcentratie de resultante van resuspensie en produktie enerzijds en sedimentatie en doorspoeling anderzijds (zie Hfd 4).

3.4.3 Calibratie van het model voor de beschrijving van het gedrag van zwevende stof

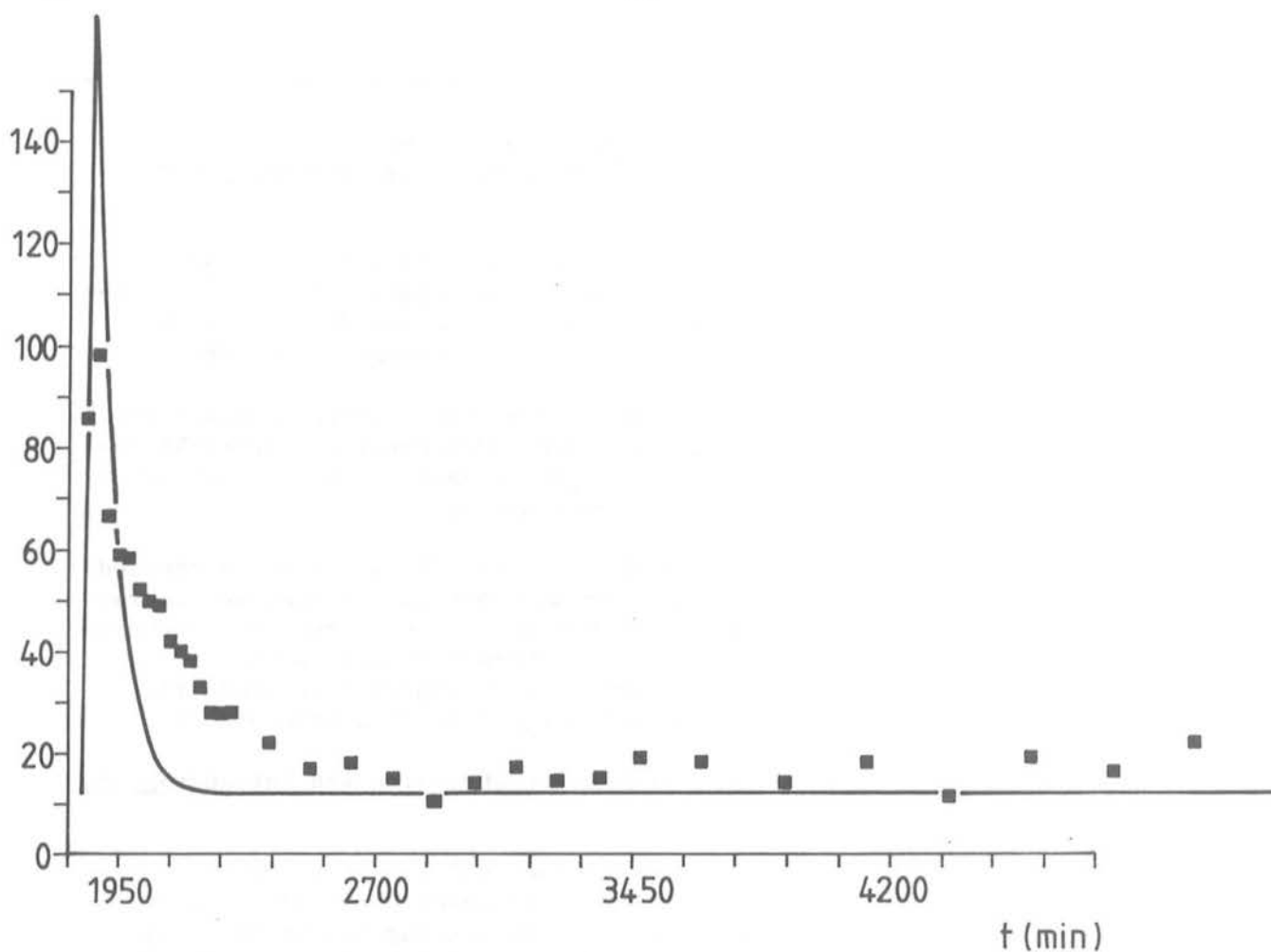
Het model volgens de vergelijkingen 3-15a en 3-15b is in eerste instantie gecalibreerd op de op lokatie P1 gemeten responsie na de overstorting van 4-6. De parameters die de menging beschrijven zijn niet opnieuw geschat. Hiervoor zijn de waarden gebruikt die gevonden zijn bij de calibratie van het model voor de beschrijving van menggedrag.

Voor de zwevende stof concentratie SSA in de achtergrondsituatie is de waarde gebruikt gemeten enige tijd voor de overstorting. Voor de overstorting van 4-6 bedroeg deze $12,0 \text{ mg/l}$. Het resultaat van de schatting van V_s staat in tabel 3-4. Figuur 3-6 toont het verloop van de gemeten en berekende zwevende stof concentratie na de overstorting.

Het verloop van de gesimuleerde curve komt slecht overeen met de gemeten concentratie. Dit komt ook tot uitdrukking in de grote gemiddelde afwijking tussen gemeten en berekende waarden (ΔSSB). Een verklaring hiervoor is de aangenomen constante sedimentatiesnelheid. In werkelijkheid zullen de grotere deeltjes het eerst sedimenteren, waardoor de sedimentatiesnelheid in de tijd zal afnemen.

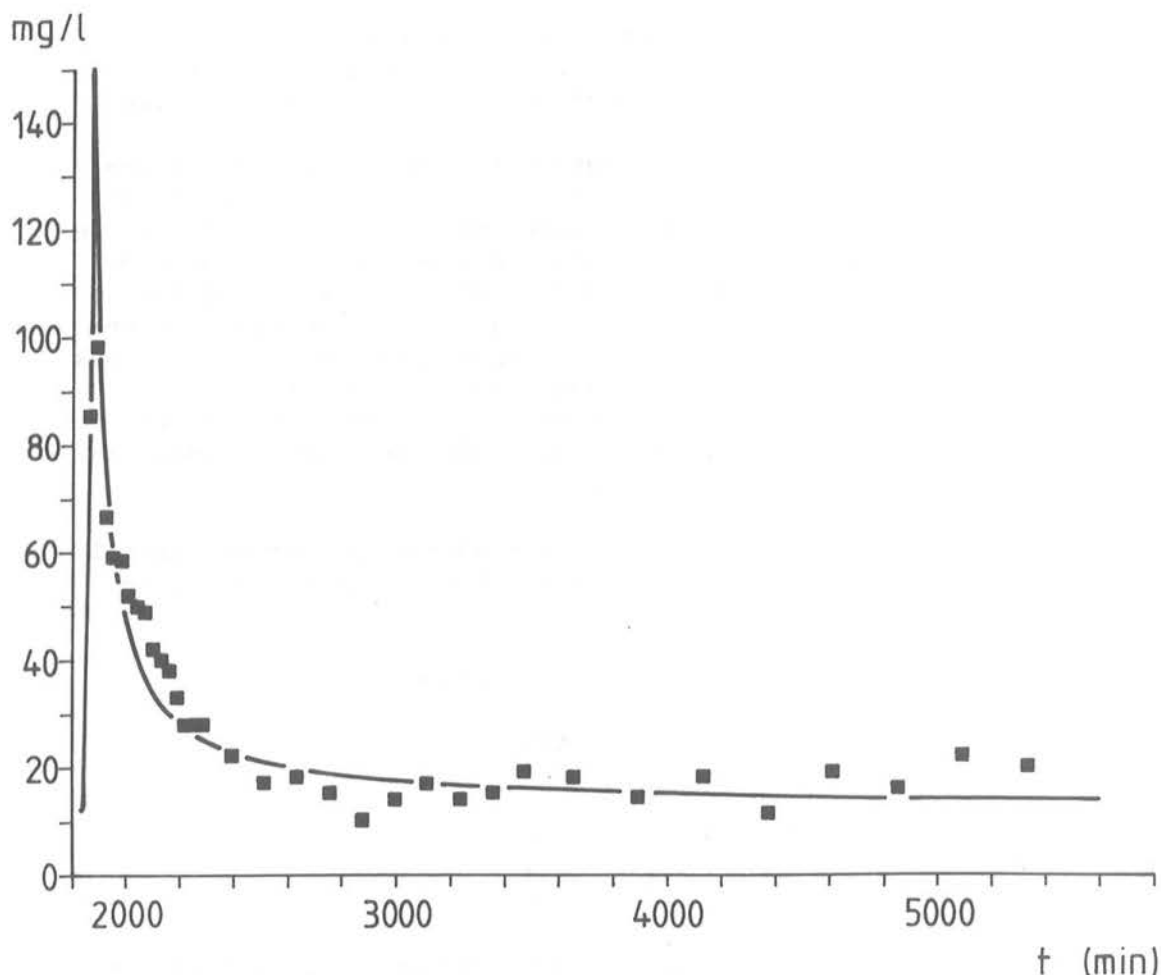
Tabel 3-4 Geschatte sedimentatiesnelheid voor zwevende stof na de overstorting van 4-6-1984

orde van het proces	proces-beschrijving	V_s	ΔSSB mg/l
1	$V_s \cdot \text{SS}$	$1,0 \times 10^{-2} \text{ (m/min)}$	16,4
2	$V_s \cdot \text{SS}^2$	$8,8 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^4/\text{g, min)}$	7,0



Figuur 3-6. Gemeten en gesimuleerde verloop van de zwevende stof concentratie na de overstorting van 4-6-1984 (1e orde sedimentatie)

Dit kan worden ondervangen door de sedimentatie te beschrijven als een 2e orde proces, waardoor de sedimentatiesnelheid schijnbaar afhankelijk wordt van de concentratie. Invoeren van de sedimentatie als een 2e orde proces leverde een veel betere overeenstemming tussen gemeten en gesimuleerde concentraties (zie fig. 3-7). Ook de gemiddelde afwijking tussen gemeten en berekende waarde is kleiner (zie tabel 3-4)



Figuur 3-7 Gemeten en gesimuleerde verloop van de zwevende stof concentratie na de overstorting van 4-6-1984 (2e orde sedimentatie)

De invoering van een concentratie afhankelijke sedimentatiesnelheid door de sedimentatie te beschrijven als een 2e orde proces geeft vooral in het dalende deel van de curve een betere beschrijving van de concentratie.

Voor het stijgende deel, direct na het begin van de overstorting zal de sedimentatiesnelheid echter worden onderschat, omdat dan de berekende concentraties laag zijn en diensgevolge de sedimentatiesnelheid laag, terwijl in werkelijkheid niet te verwachten is dat het materiaal dat direct na het begin van de overstorting in de vijver aanwezig is een lage sedimentatiesnelheid heeft. Dit verklaart mogelijk ook de hoge maximale waarde in de gesimuleerde responsie.

Het invoeren van een sedimentatiesnelheid gebaseerd op de deeltjes-grootteverdeling in het overstortende water zal leiden tot een realistischer en mogelijk ook betere beschrijving van de zwevende stofconcentratie. Voorbeelden van modellen waarbij een dergelijke werkwijze gevolgd wordt zijn bijv. TODSED [12] en het Storm Water Management Model (SWMM [13]) van de E.P.A. In deze modellen wordt de zwevende stofconcentratie in het overstortende water onderverdeeld in een aantal fracties met elk hun eigen deeltjesgrootte en vervolgens wordt m.b.v. de wet van Stokes voor de verschillende deeltjes een sedimentatiesnelheid berekend.

Het probleem van een dergelijke aanpak is echter dat het niet eenvoudig is om de deeltjesgrootteverdeling van de inkomende vracht te bepalen. Bovendien kan uit de deeltjesgrootte slechts een schatting van de bezinksnelheid worden gemaakt.

Eenvoudiger is het om m.b.v. sedimentatie-experimenten in het laboratorium een sedimentatiesnelheidsverdeling van de zwevende stof in het overstortende water te bepalen. Deze verdeling kan dan rechtstreeks in het model worden ingevoerd. Uit de sedimentatiesnelheid kan dan eventueel een Stokesese diameter worden berekend. Een onderverdeling van de zwevende stof naar deeltjesgrootte is niet alleen van belang voor een betere beschrijving van de zwevende stofconcentratie, maar vooral ook in verband met de verspreiding van organische- en anorganische micro-verontreinigingen. Bekend is dat er voor verschillende micro-verontreinigingen een verband bestaat tussen het gehalte gebonden aan de zwevende stof en de deeltjesgrootte.

In tabel 3-5 zijn de geschatte sedimentatieconstanten voor een aantal overstortingen weergegeven. Ook in deze gevallen is de sedimentatie beschreven als een 2e orde proces.

Tabel 3-5 Geschatte 2e orde sedimentatieconstanten

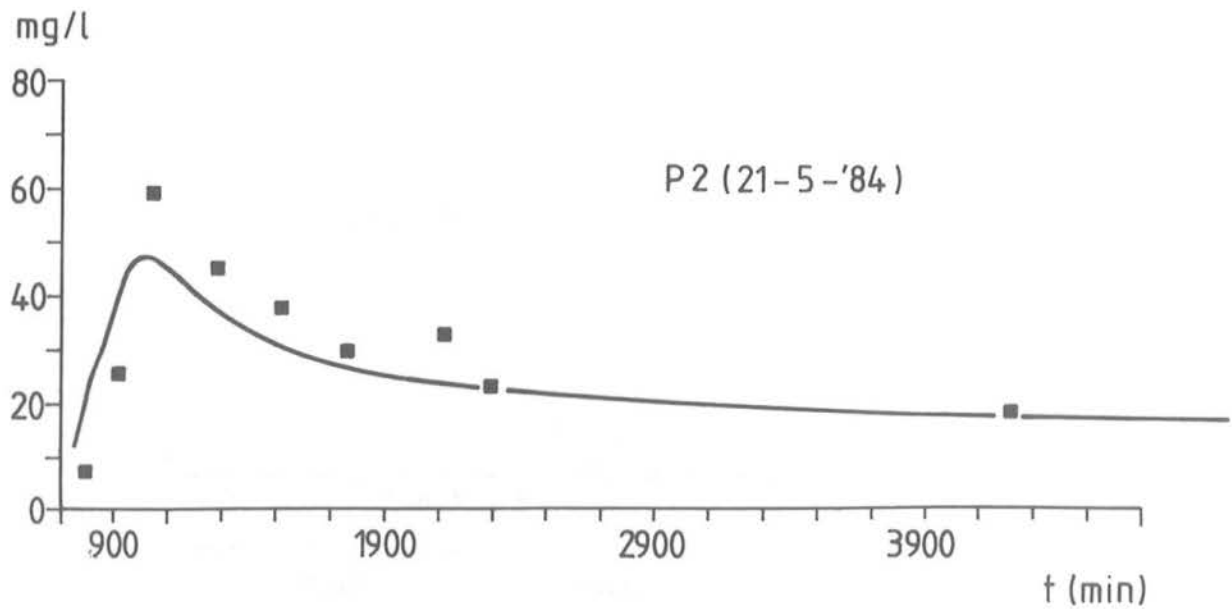
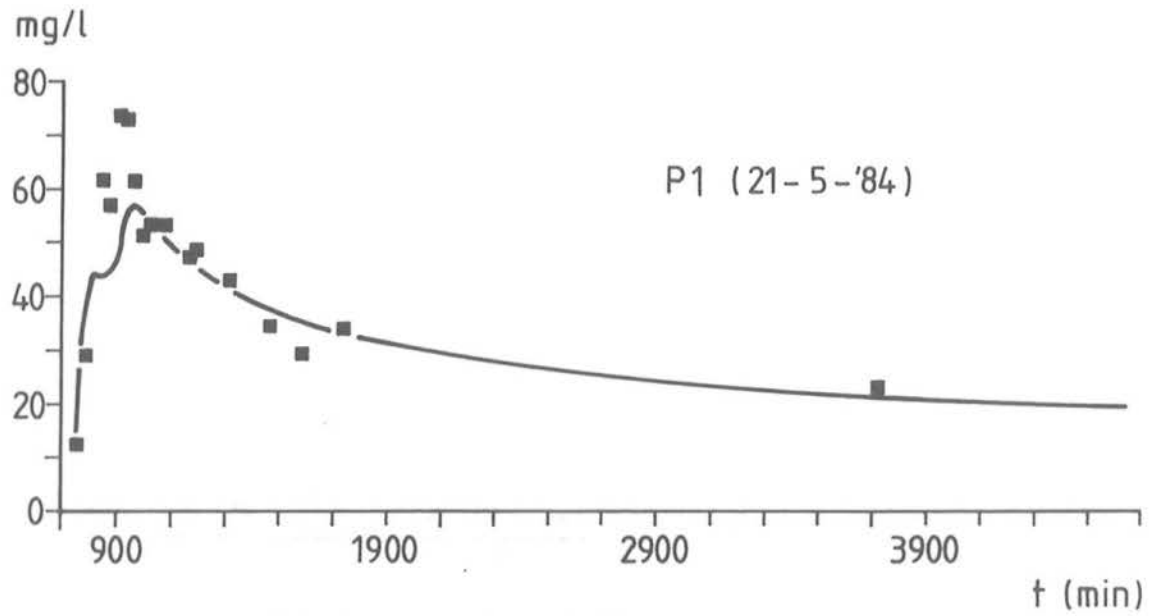
datum overstorting	V_s m.m ³ /g,min	$\overline{\Delta SSB}$ mg/l
21-5	$2,4 \times 10^{-5}$	5,6
4-6	$8,8 \times 10^{-5}$	6,9
10-7	$6,5 \times 10^{-5}$	3,9

De geschatte waarde van V_s voor de overstorting van 21-5 is klein in vergelijking met de gevonden waarden voor de beide andere overstortingen. Mogelijk is dit te verklaren uit de aard van het met de overstorting meegevoerde materiaal. De intensiteit van de overstortingen van 4-6 en 10-7 was veel groter dan die van 21-5. Het maximale debiet tijdens de overstorting van 21-5 bedroeg 12,6 m³/min, terwijl tijdens de overstortingen van 4-6 en 10-7 waarden van resp. 40 en 63 m³/min werden bereikt. Tijdens een bui met een grote intensiteit zullen zowel meer grote deeltjes afspoelen van het verharde oppervlak als worden opgewerveld in het rioolstelsel.

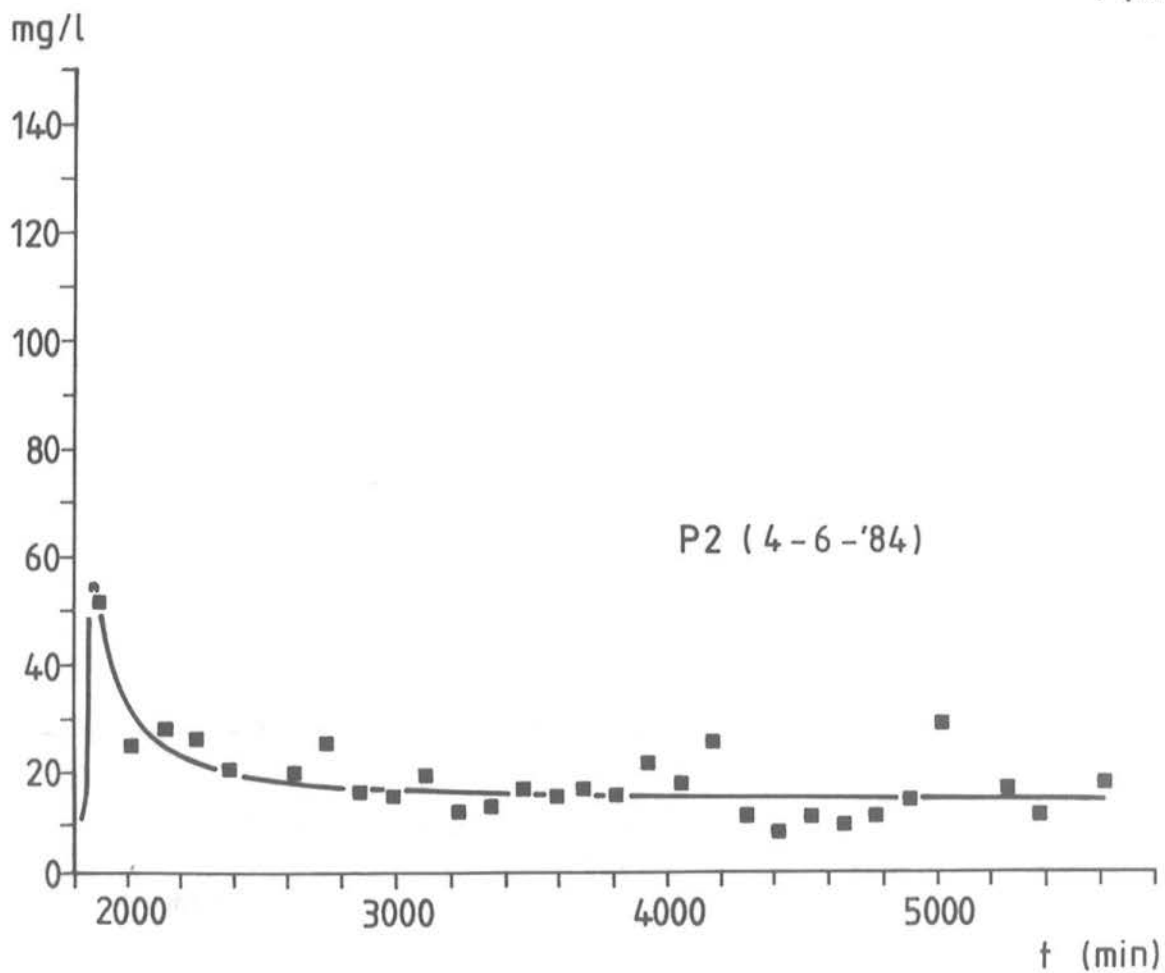
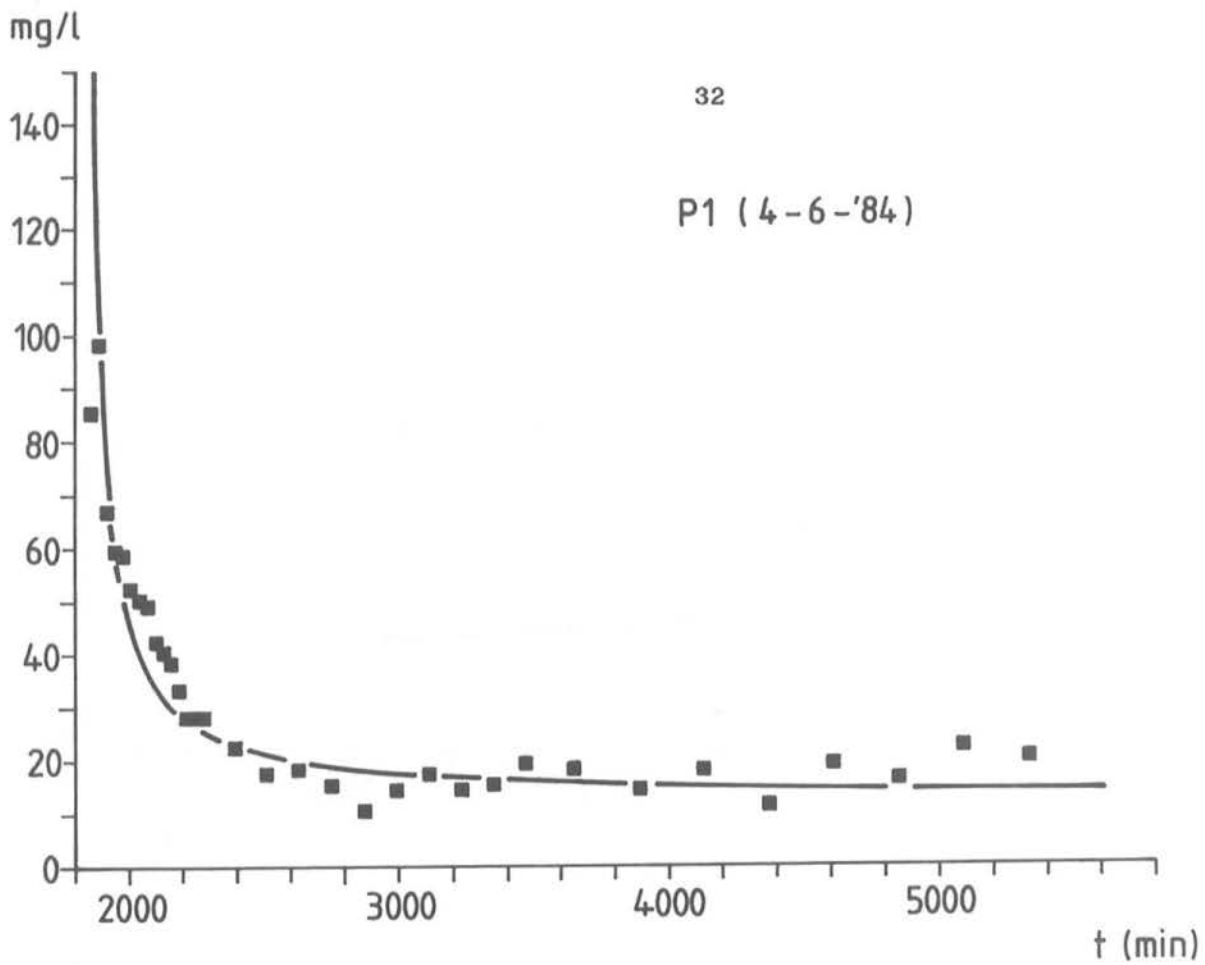
Figuur 3-8 toont de gemeten en gesimuleerde zwevende stofconcentratie voor de lokaties P1 en P2. Voor de berekening van de concentraties op lokatie P2 zijn de waarden V_s uit tabel 3-5 gebruikt.

3.4.4 Verspreiding van de zwevende stof

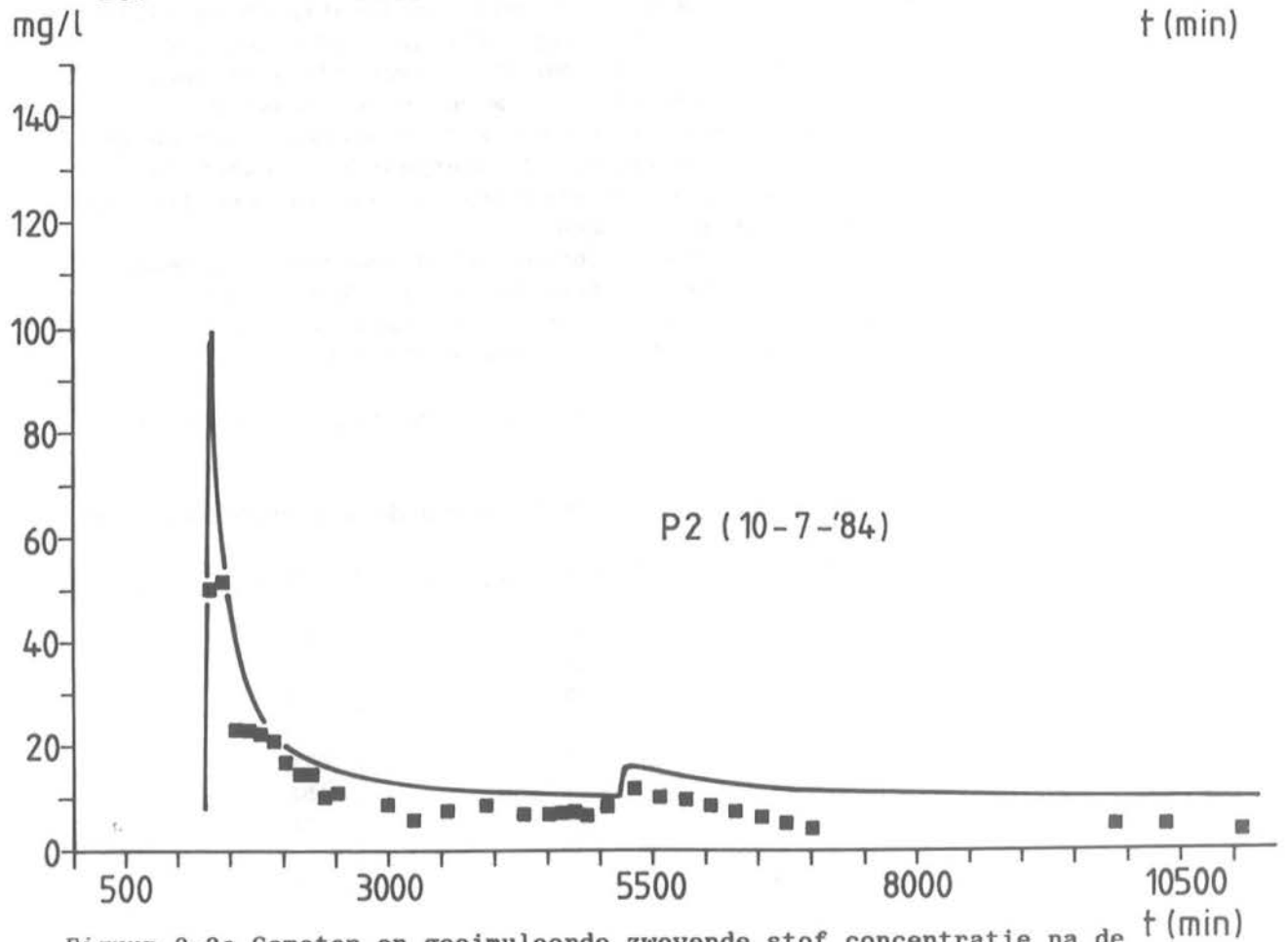
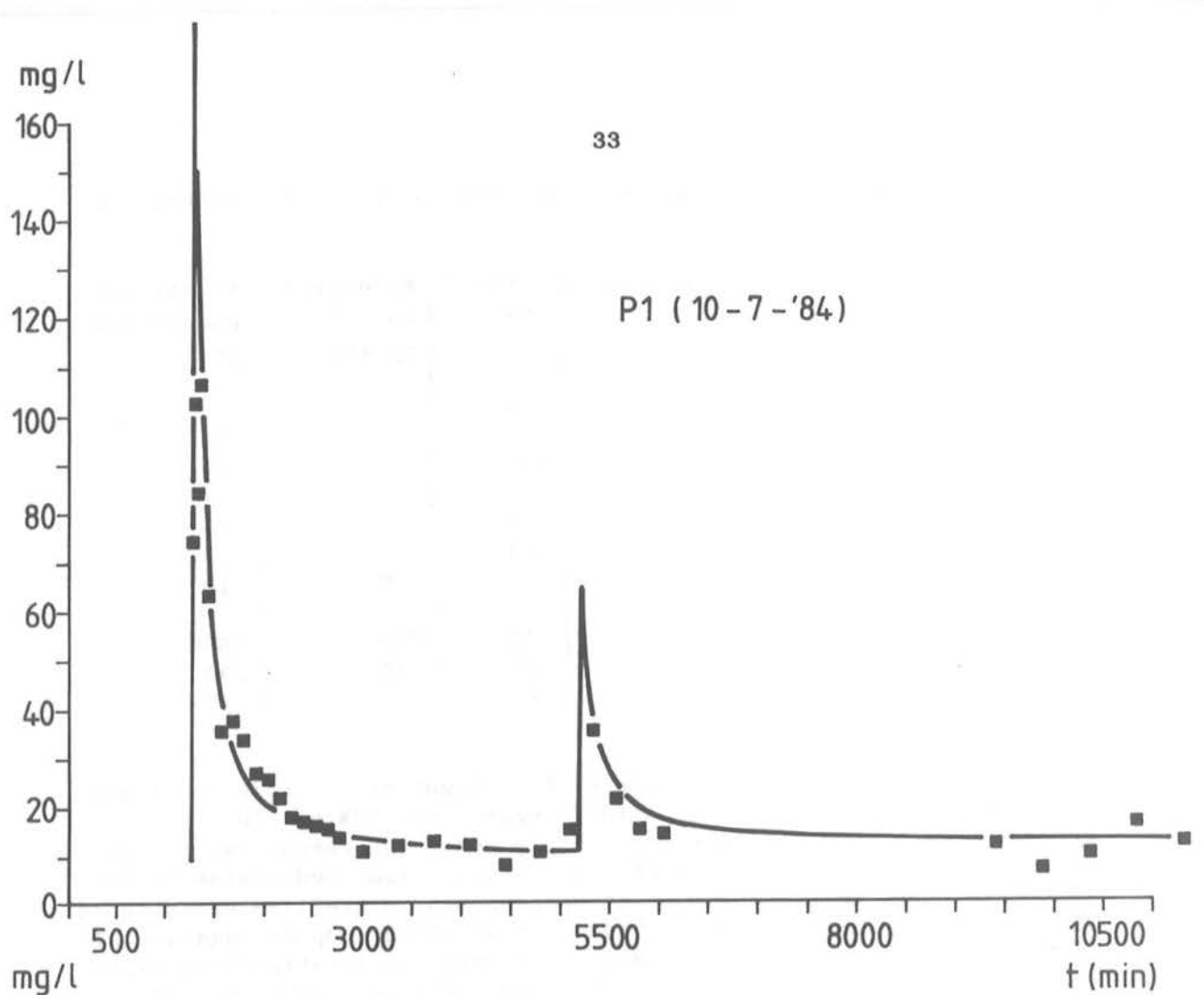
M.b.v. het model kan de totaal gesedimenteerde hoeveelheid zwevende stof op de verschillende lokaties in de vijver worden bepaald. De totale belasting van het sediment per m² kan worden berekend door integratie van de sedimentatieflux over de simulatieduur, waarbij de eindtijd van de simulatie zo gekozen wordt dat de achtergrondconcentratie aan zwevende stof in de vijver weer bereikt is. Naast de belasting per m² kan ook per compartiment de totaal gesedimenteerde hoeveelheid worden berekend (zie tabel 3-6).



Figuur 3-8a Gemeten en gesimuleerde zwevende stof concentratie na de overstorting van 21-5-1984



Figuur 3-8b Gemeten en gesimuleerde zwevende stof concentratie na de overstorting van 4-6-1984



Figuur 3-8c Gemeten en gesimuleerde zwevende stof concentratie na de overstortingen van 10-7-1984 en 13-7-1984

Tabel 3-6 Verspreiding van de zwevende stof na de overstortingen van 21-5, 4-6, 10-7 en 13-7

datum over- storting	overgestorte vracht (kg)	compartiment nummer	afstand (m)	belasting per m ² (g/m ²)	totaal per compartiment (kg)
21-5	176	1	20	50	70
		2	60	20	28
		3	100	12	16
4-6	340	1	20	190	266
		2	60	40	56
		3	100	9	13
10-7	1378	1	20	780	1092
2		60	170	238	
13-7		3	100	41	57

Het grootste deel van de zwevende stof sedimenteert voor in de vijver. Na de overstortingen van 4-6 en 10-7 bezinkt ca. 80% van de overgestorte vracht aan zwevende stof in het eerst compartiment, terwijl in het laatste compartiment vrijwel niets meer sedimenteert. Dit geeft een goede verklaring voor de waargenomen ruimtelijke variatie in de dikte van de sliblaag op de bodem van de vijver. Op de lokaties L1 en L2 ligt resp. ca. 20 en 10 cm slib, terwijl op lokatie L3 de dikte van de sliblaag slechts enkele cm bedraagt (zie deelonderzoek sediment) [6]. Na de overstorting van 21-5 wordt de zwevende stof veel gelijkmatiger over de vijver verdeeld. Dit wordt veroorzaakt door de veel lagere sedimentatiesnelheid van het met de overstorting meegevoerde materiaal. Ook het percentage van de overgestorte vracht dat achterblijft in de vijver na deze overstorting is laag in vergelijking met dat na de andere twee overstortingen.

Ter controle van de schatting van de totaal gesedimenteerde zwevende stof zijn de geïntegreerde sedimentatiefluxen vergeleken met de vangsten in de sedimentvallen, waarbij de sedimentatieflux wordt geïntegreerd over de expositietijd van de sedimentval (zie tabel 3-7).

Tabel 3-7 Vergelijking van de berekende en gemeten vangst van de sedimentvallen

datum over-storting	expositieduur sedimentval (uur)	lokatie	gesedimenteerde hoeveelheid per m ²	
			gemeten	berekend
4-6	31	L1	310	186
		L2	240	36
		L3	45	7
10-7	38	L1	610	679
		L2	150	158
		L3	50	38
13-7	72	L1	70	93

Voor de overstortingen van 10-7 en 13-7 is er een goede overeenstemming tussen de vangsten van de sedimentvallen en de m.b.v. het model berekende sedimentatie. Na de overstorting van 4-6 is de berekende hoeveelheid gesedimenteerde stof veel lager dan de gemeten.

3.4.5 Conclusies van het onderzoek naar het gedrag van zwevende stof

Sedimentatie is het belangrijkste proces dat van invloed is op het gedrag van zwevende stof. De invloed van een verhoogde resuspensie van bodemslib tijdens een overstorting speelt in de vijver in Loenen niet of nauwelijks een rol. Met behulp van het opgestelde model kan een redelijke beschrijving worden gegeven van het verloop van de zwevende stofconcentratie na een overstorting. Een tweede orde procesbeschrijving voor de sedimentatie geeft betere resultaten dan een eerste orde beschrijving, wat verklaard kan worden uit de niet constante sedimentatiesnelheid. In de vijver zullen eerst de grootste deeltjes sedimenteren, waardoor de sedimentatiesnelheid in de loop van de tijd afneemt.

Er lijkt een verband te zijn tussen de sedimentatiesnelheid en de intensiteit van de overstorting. Hetgeen begrijpelijk is, omdat tijdens een bui met grote intensiteit meer grote deeltjes afspoelen van het verharde oppervlak en worden opgewerveld in het rioolstelsel.

Met behulp van het model kan inzicht worden verkregen in de verspreiding van de zwevende stof, wat van belang is voor de belasting van het sediment en de invloed hiervan op de waterkwaliteit. In de vijver in Loenen sedimenteert het grootste deel van de zwevende stof voor in de vijver. Na een bui met lage intensiteit (kleinere sedimentatiesnelheid) zal de zwevende stof gelijkmatiger over de vijver worden verspreid. In dat geval kan zelfs een aanzienlijk deel van de zwevende stof de vijver verlaten.

3.5 Korte termijn effecten op de zuurstofhuishouding

Het zwaartepunt van de problemen die zich kunnen voordoen als gevolg van emissies uit rioolstelsels ligt, zeker voor gemengde stelsels, bij de belasting van het oppervlaktewater met organische stof en het effect daarvan op de concentratie van opgeloste zuurstof. Veel van de problemen die zich kunnen voordoen na overstortingen zijn sterk gekoppeld aan de zuurstofhuishouding. Bijvoorbeeld overlast in de vorm van stank zal met name optreden bij zuurstofloze condities in het water. Ook kunnen de effecten op de levensgemeenschap ingrijpend zijn t.g.v. de optredende zuurstofloosheid na een overstorting.

3.5.1 Processen

De zuurstofconcentratie in oppervlaktewater wordt door een aantal fysische, chemische en biologische processen bepaald. Tot deze processen behoren:

- reaëratie
- biochemische oxidatie
- bodemverbruik
- menging bij lozingen en invloed van de kwel
- activiteit van de producenten

Reaëratie

Reaëratie is de uitwisseling van zuurstof tussen water en atmosfeer. De snelheid waarmee zuurstof wordt ingebracht is recht evenredig met het zuurstofdeficiet, het verschil tussen de actuele zuurstofconcentratie en de verzadigingsconcentratie.

$$\Phi_{O_2} = RKA \cdot (O_s - O_2) \quad (3-16)$$

waarin:

Φ_{O_2}	de zuurstofflux door het grensvlak water lucht ($\text{g/m}^2, \text{dag}$)
RKA	de stofoverdrachtsconstante voor zuurstof door het grensvlak water lucht (m/dag)
O_s	de verzadigingsconcentratie voor zuurstof (g/m^3)
O_2	de actuele zuurstofconcentratie (g/m^3)

De waarde van de stofoverdrachtsconstante is afhankelijk van de mate van turbulentie aan het grensvlak en van de temperatuur. In stagnant water wordt de turbulentie van het grensvlak en dus ook de stofoverdrachtsconstante bepaald door de windsnelheid. Gezien de beschutte ligging van de vijver in Loenen zal de invloed van de reaëratie gering zijn.

De stofoverdrachtsconstante in de vijver in Loenen is gemeten m.b.v. een drijvende kap (voor een beschrijving van de methode zie bijlage 3). De resultaten van de metingen zijn vermeld in tabel 3-8.

Tabel 3-8 Meting van de stofoverdrachtsconstante

datum	RKA (m/dag)
11-07-1983	0,21
20-07-1983	0,18
24-07-1983	0,17
25-08-1983	0,17
25-10-1984	0,19

De gemiddelde waarde van de stofoverdrachtsconstante bedraagt 0,185 m/dag , hetgeen inderdaad betekent dat de invloed van de reaëratie gering is. Water met een zuurstofgehalte van 50% zal bij een diepte van 1 m na één dag reaëratie minder dan 60% zuurstof bevatten als de reaëratieconstant 0,185 m/dag bedraagt.

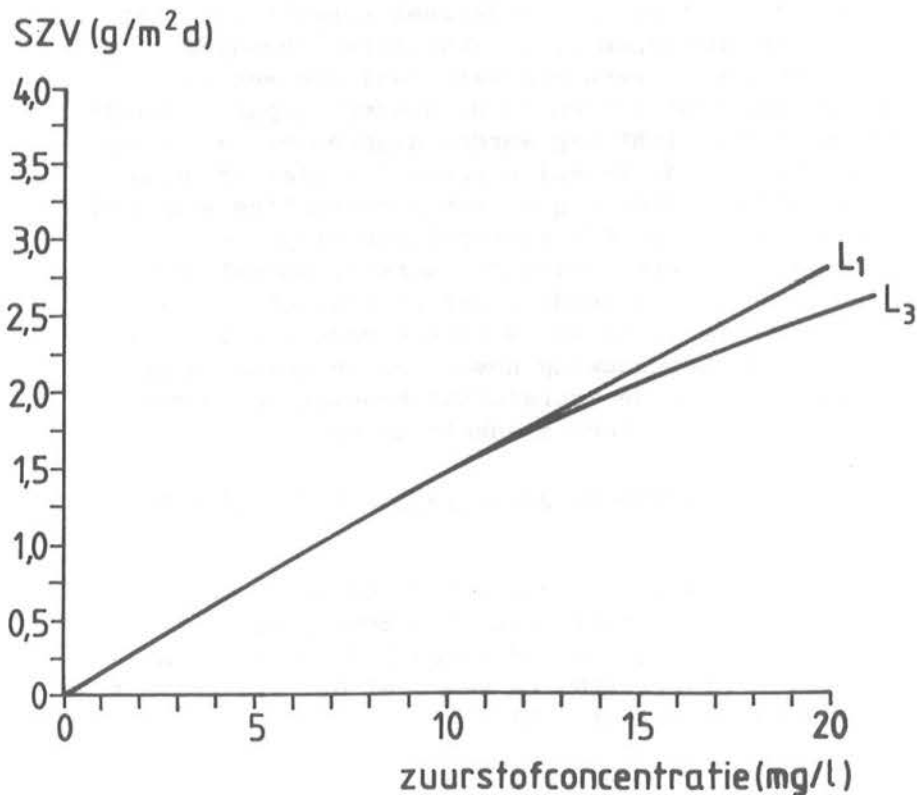
Biochemische oxydatie

Voor de biochemische afbraak van organische stof is zuurstof nodig. Als maat voor de hoeveelheid zuurstof die nodig is voor de afbraak wordt veelal het BZV (Biochemisch Zuurstof Verbruik) gebruikt. De totale verwijderingssnelheid van het BZV wordt bepaald door de sedimentatiesnelheid en door de oxydatiesnelheid. Voor de oxydatiesnelheidsconstante in oppervlaktewater worden veelal waarden gebruikt in de orde van 0,1 - 0,2 dag^{-1} . Het BZV, geloosd uit gemengde rioolstelsels, is over het algemeen echter goed afbreekbaar, zodat de waarde van de oxydatiesnelheidsconstante groter zal zijn (0,3 - 0,6 dag^{-1}) [14]. Een oxydatiesnelheidsconstante van 0,5 dag^{-1} betekent dat na 1 dag de BZV concentratie is afgenomen tot ca. 60% van de oorspronkelijke waarde.

Bodemverbruik

Biochemische afbraakprocessen vinden niet alleen plaats in de waterfase, maar ook in het sediment. De zuurstof die hiervoor nodig is wordt onttrokken aan het bovenstaande water. Er vindt dus transport plaats van zuurstof door het grensvlak water-bodem. De zuurstofflux door het grensvlak, uitgedrukt in $\text{g/m}^2, \text{dag}$ noemt men het sedimentzuurstofverbruik (SZV).

Het sedimentzuurstofverbruik in de vijver is een aantal malen gemeten. Voor een beschrijving van de methode en de resultaten wordt verwezen naar deelonderzoek 4 [6]. De gevonden waarden liggen tussen 0 en $0,8 \text{ g/m}^2, \text{dag}$, waarbij de hogere waarden werden gemeten enige dagen na een overstorting. De relatief lage SZV kan deels verklaard worden uit de optredende kwel. Bovendien hangt het sedimentzuurstofverbruik af van de zuurstofconcentratie in het bovenstaande water, zodat de flux door het grensvlak klein zal zijn, omdat de zuurstofconcentratie nabij de bodem altijd laag is. In deelonderzoek 4 [6] is een model beschreven, dat de afhankelijkheid tussen het SZV en de zuurstofconcentratie geeft. Figuur 3-9 toont deze afhankelijkheid.



Figuur 3-9 Sedimentzuurstofverbruik als functie van de zuurstofconcentratie in het bovenstaande water (op lokatie L1)

Menging bij lozing en invloed van de kwel

Wanneer het geloosde water een andere zuurstofconcentratie bevat dan het vijverwater zal de zuurstofconcentratie in de vijver veranderen. Uit het verloop van de gemeten zuurstofconcentratie na een overstorting blijkt dat de zuurstofconcentratie direct na de lozing toeneemt. Deze verhoging wordt veroorzaakt door het verschil in concentratie tussen het geloosde water en het water in de vijver.

Daar het overstortende water voor een groot deel uit regenwater bestaat en de verblijftijd in het rioolstelsel relatief kort is, mag worden aangenomen, dat het overstortende water nagenoeg verzadigd is met zuurstof. Tijdens een overstorting van 1000 m^3 wordt ongeveer 10 kg zuurstof ingebracht. Vergeleken met de zuurstofinhoud van de vijver ($12,6 \text{ kg}$ bij een zuurstofconcentratie van 3 g/m^3) betekent dat dat de directe invloed van de lozing groot is. De doorspoeling met kwelwater beïnvloedt eveneens de zuurstofconcentratie in de vijver. Aangenomen mag worden dat het inkomende grondwater zuurstofloos is, zeker nadat dit de dikke anaerobe sedimentlaag gepasseerd is. Bij een zuurstofconcentratie in de vijver van $3-6 \text{ g/m}^3$ is de bijdrage in zuurstofbalans van de doorspoeling met zuurstofloze kwel in termen van deficit van dezelfde orde van grootte als het sedimentzuurstofverbruik.

Activiteit van de producenten

De primaire productie door algen en waterplanten is in dit deelonderzoek geen onderwerp van studie geweest, alhoewel in de achtergrond-situatie (perioden tussen de overstortingen) de invloed op de zuurstofhuishouding hiervan groot is. Dit onderzoek beperkt zich tot de directe effecten van overstortingen op de zuurstofhuishouding. Vanwege de grote hoeveelheden gesuspendeerd materiaal die met een overstorting in het water gebracht worden en de daarmee gepaard gaande verminderde beschikbaarheid van licht mag worden aangenomen dat in de periode kort na een overstorting de primaire productie niet of nauwelijks een rol speelt. Bovendien wordt t.g.v. een overstorting een deel van de algen uit de vijver gespoeld. Uit waarnemingen blijkt echter dat soms reeds enkele dagen na overstorting de zuurstofconcentratie snel toeneemt t.g.v. een zich herstellende primaire productie. Het verloop van de zuurstofconcentratie na de overstortingen van 21-5 en 4-6 laat dit zien. Het niet in beschouwing nemen van de primaire productie beperkt de periode waarover de zuurstofhuishouding beschreven kan worden in sommige gevallen tot slechts enkele dagen.

3.5.2 Modelvergelijkingen voor de beschrijving van de zuurstofhuishouding

In het overstortende water zijn zowel de vuilhoeveelheden in de monsters als zodanig, als de vuilhoeveelheden in bezonken monsters bepaald, zodat het totale BZV kan worden onderverdeeld in twee fracties; een deel dat snel sedimenteert (LP) en een deel dat bestaat uit opgelost en slecht bezinkbaar materiaal (LS).

Voor de bovenlaag geldt:

$$\text{LSB}_i^{n+1} = \text{LSB}_i^n \quad (3-17a)$$

$$- \frac{\Delta t}{\Delta x} (\text{UB}_i \cdot \text{LSB}_i^n - \text{UB}_{i-1} \cdot \text{LSB}_i^n)$$

$$+ \frac{E_z \cdot \Delta t}{\Delta z^2} (\text{LSO}_i^n - \text{LSB}_i^n)$$

$$+ \frac{\Delta t}{\text{HB}} \cdot U_z \cdot \text{LSO}_i^n$$

$$- \Delta t \cdot \text{RKD} (\text{LSB}_i^n - \text{LSA})$$

$$- \frac{\Delta t}{\text{HB}} \cdot \frac{dH}{dt} \cdot \text{LSB}_i^n$$

$$\text{LPB}_i^{n+1} = \text{LPB}_i^n \quad (3-17b)$$

$$- \frac{\Delta t}{\Delta x} (\text{UB}_i \cdot \text{LPB}_i^n - \text{UB}_{i-1} \cdot \text{LPB}_i^n)$$

$$+ \frac{E_z \cdot \Delta t}{\Delta z^2} (\text{LPO}_i^n - \text{LPB}_i^n)$$

$$+ \frac{\Delta t}{\text{HB}} \cdot U_z \cdot \text{LPB}_i^n$$

$$- \frac{\Delta t \cdot V_{LP}}{\text{HB}} \cdot \text{LPB}_i^n$$

$$- \frac{\Delta t}{\text{HB}} \left(\frac{dH}{dt} \right) \cdot \text{LPB}_i^n$$

$$\text{LTB}_i^n = \text{LSB}_i^n + \text{LPB}_i^n \quad (3-17c)$$

Voor de onderlaag geldt:

$$LSO_i^{n+1} = LSO_i^n \quad (3-18a)$$

$$\begin{aligned} &+ \frac{E_z \cdot \Delta t}{\Delta z^2} (LSB_i^n - LSO_i^n) \\ &+ \frac{\Delta t}{HO} (U_{kwe1} \cdot LSA - U_z LSO_i^n) \\ &- \Delta t RKD (LSO_i^n - LSA) \end{aligned}$$

$$LPO_i^{n+1} = LPO_i^n \quad (3-18b)$$

$$\begin{aligned} &+ \frac{E_z \cdot \Delta t}{\Delta z^2} (LPB_i^n - LPO_i^n) \\ &- \frac{\Delta t}{HO} \cdot U_z \cdot LPO_i^n \\ &- \frac{VLP}{HO} \cdot LPO_i^n \end{aligned}$$

$$LTO_i^n = LSO_i^n + LPO_i^n \quad (3-18c)$$

waarin:

- LSB, LSO resp. de concentraties aan opgelost en slecht bezinkbaar BZV in boven- en onderlaag (g/m^3)
 LPB, LPO resp. de concentraties aan goed bezinkbaar BZV in boven- en onderlaag (g/m^3)
 LTB, LTO de totaal BZV-concentraties in de boven- en onderlaag (g/m^3)
 RKD de snelheidsconstante voor de verwijdering van de opgeloste en slecht bezinkbaar BZV (dag^{-1})
 VLP de snelheidsconstante voor de verwijdering van de goed sedimenteerbare BZV-fractie (m/dag)
 LSA de achtergrondconcentratie van BZV (g/m^3)

Aangenomen is dat voor het goed bezinkbare deel van het BZV de sedimentatie het belangrijkste proces is voor de verwijdering. De oxydatie van deze fractie is verwaarloosd. VLP is dan ook te beschouwen als een sedimentatiesnelheid. De verwijderingssnelheid van de opgeloste en slecht bezinkbare BZV-fractie wordt bepaald door de oxydatie en sedimentatie. Alleen het opgelost en slecht bezinkbaar BZV heeft een directe invloed op de zuurstofhuishouding.

Voor zuurstof geldt in de bovenlaag:

$$\text{OXB}_i^{n+1} = \text{OXB}_i^n \quad (3-19a)$$

$$\begin{aligned} & - \frac{\Delta t}{\Delta x} (\text{UB}_i \cdot \text{OXB}_i^n - \text{UB}_{i-1} \cdot \text{OXB}_{i-1}^n) \\ & + \frac{E_z \Delta t}{\Delta z^2} (\text{OXO}_i^n - \text{OXB}_i^n) \\ & + \frac{\Delta t}{\text{HB}} \cdot U_z \cdot \text{OXO}_i^n \\ & + \frac{\Delta t \text{ RKA}}{\text{HB}} (\text{OXS} - \text{OXB}_i^n) \\ & - \Delta t \text{ RKOX} (\text{LSB}_i^n - \text{LSA}) \\ & - \frac{\Delta t}{\text{HB}} \cdot \left(\frac{dH}{dt} \right) \cdot \text{OXB}_i^n \end{aligned}$$

Voor de onderlaag geldt:

$$\text{OXO}_i^{n+1} = \text{OXO}_i^n \quad (3-19b)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{E_z \Delta t}{\Delta z^2} (\text{OXB}_i^n - \text{OXO}_i^n) \\ & - \frac{\Delta t}{\text{HO}} \cdot U_z \cdot \text{OXO}_i^n \\ & - \frac{\Delta t \text{ SOD}}{\text{HO}} \\ & - \Delta t \text{ RKOX} (\text{LSO}_i^n - \text{LSA}) \end{aligned}$$

waarin:

OXO, OXB de zuurstofconcentratie in onder- en bovenlaag (g/m^3)
 RKA de stofoverdrachtsconstante van zuurstof door het grensvlak
 water lucht (m/dag)
 RKOX de snelheidsconstante voor de oxydatie van BZV (dag^{-1})
 SZV het sedimentzuurstofverbruik ($\text{g/m}^2, \text{dag}$)

3.5.3 Calibratie van het model voor de beschrijving van de zuurstofhuishouding

De waarden van RKD en VLP zijn geschat uit het verloop van de op lokatie P1 gemeten BZV-concentratie na een overstorting. De resultaten staan in tabel 3-9.

Tabel 3-9 Resultaten parameterschatting van RKD en VLP

datum over- storting	VLP (m/min)	RKD (min ⁻¹)	$\overline{\Delta LTB}$ (g/m ³)
21-5	$0,1 \times 10^{-2}$	$5,9 \times 10^{-4}$	2,8
4-6	$3,7 \times 10^{-2}$	$6,0 \times 10^{-4}$	1,7
10-7	$3,0 \times 10^{-2}$	$13,4 \times 10^{-4}$	3,2

De sedimentatie van de fractie aan goed bezinkbaar BZV is beschreven als een eerste orde proces. Op deze wijze is de snelheidsconstante voor de verwijdering van deze fractie te vergelijken met die van de andere fractie.

De sedimentatiesnelheid van de fractie aan goed bezinkbare BZV is groot in vergelijking met de verwijderingssnelheid van de andere fractie, zodat terecht mag worden aangenomen dat deze fractie geen direct effect heeft op de zuurstofconcentratie. Bij een sedimentatiesnelheid van 3×10^{-2} m/min is na 1 uur ca. 80% van het oorspronkelijke materiaal bezonken.

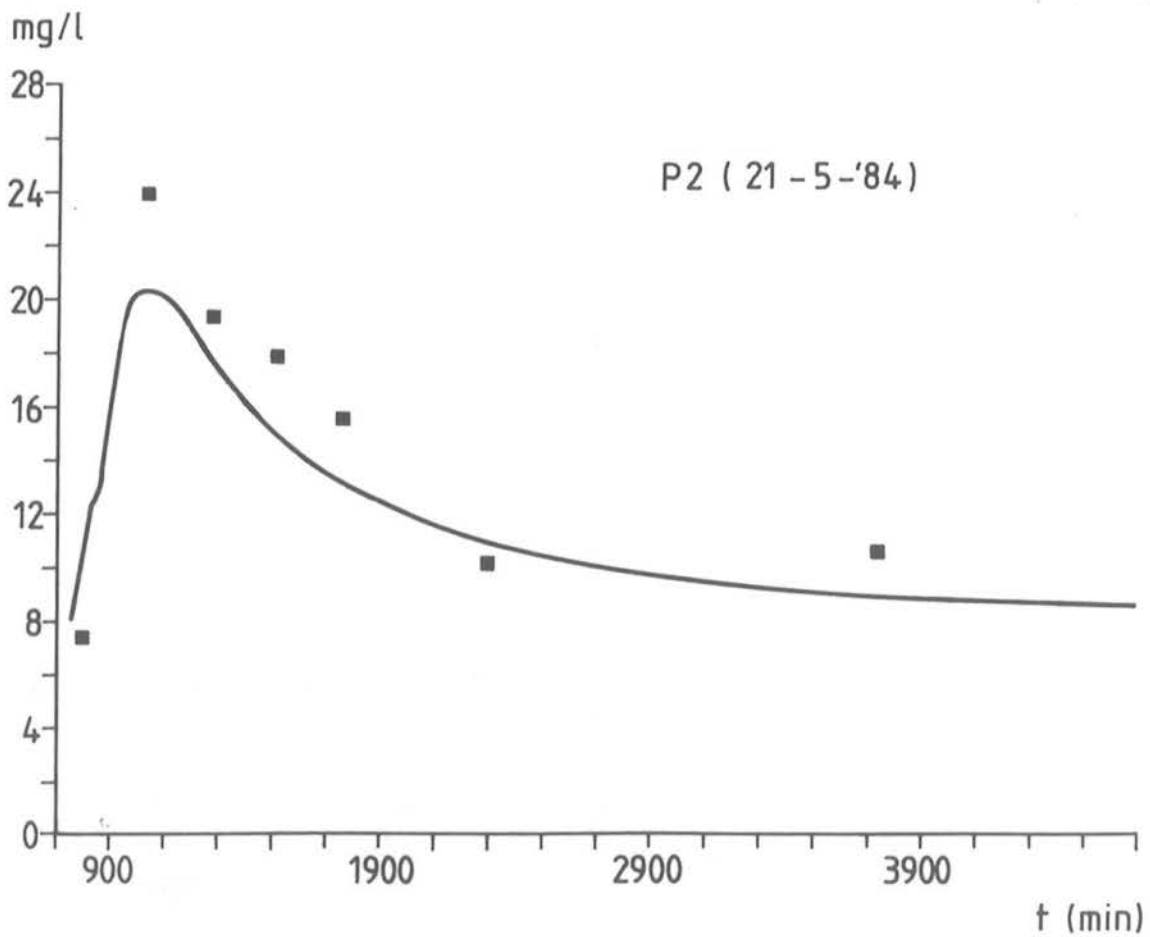
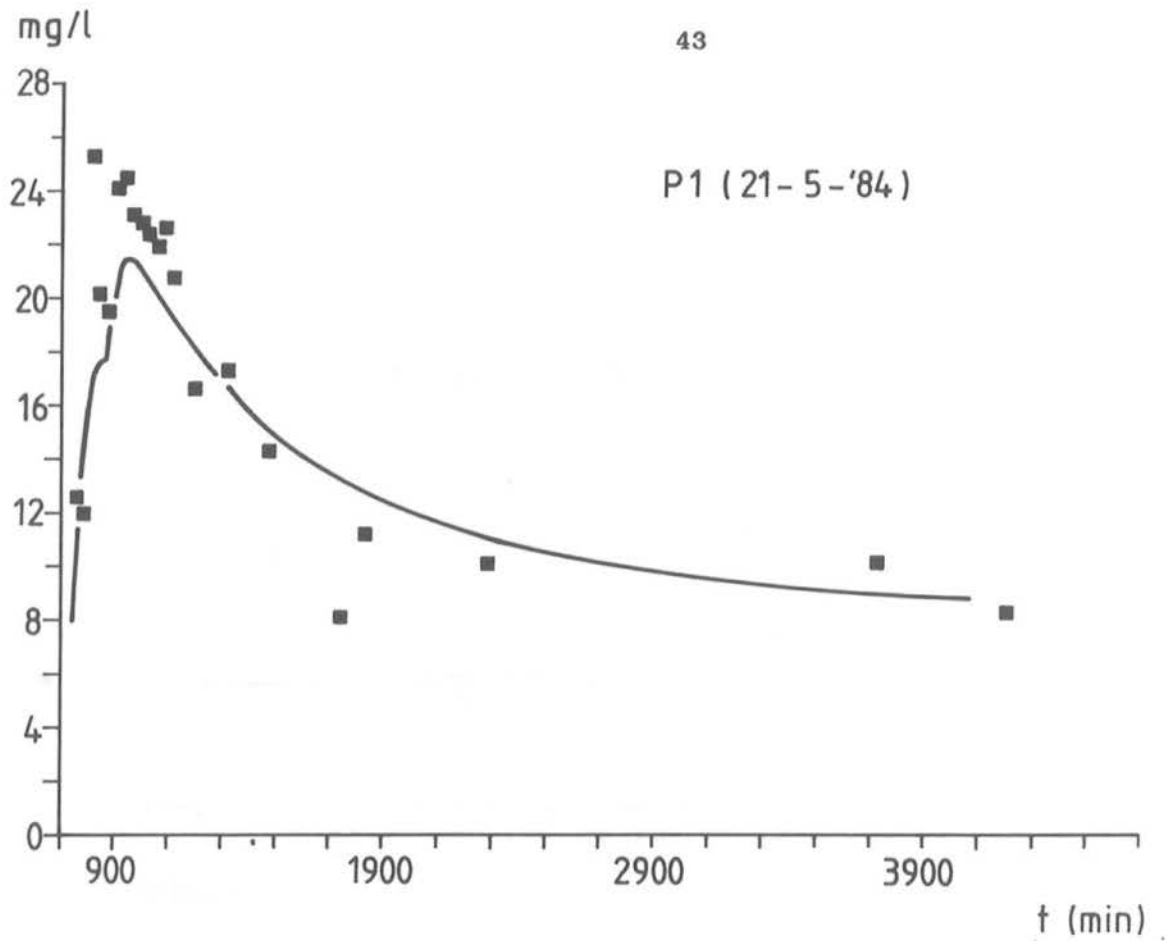
Evenals voor zwevende stof is de sedimentatiesnelheid voor goed bezinkbaar BZV na de overstorting van 21-5 lager dan die na de overstortingen van 4-6 en 10-7. Ook nu kan dit verklaard worden door het verschil in intensiteit tussen de overstortingen.

Figuur 3-10 toont het verloop van de gesimuleerde en gemeten BZV concentratie na de overstortingen van 21-5, 4-6 en 10-7. Bij de simulatie van het verloop van de BZV concentratie op lokatie P2 zijn de waarden van de parameters uit tabel 3-9 gebruikt.

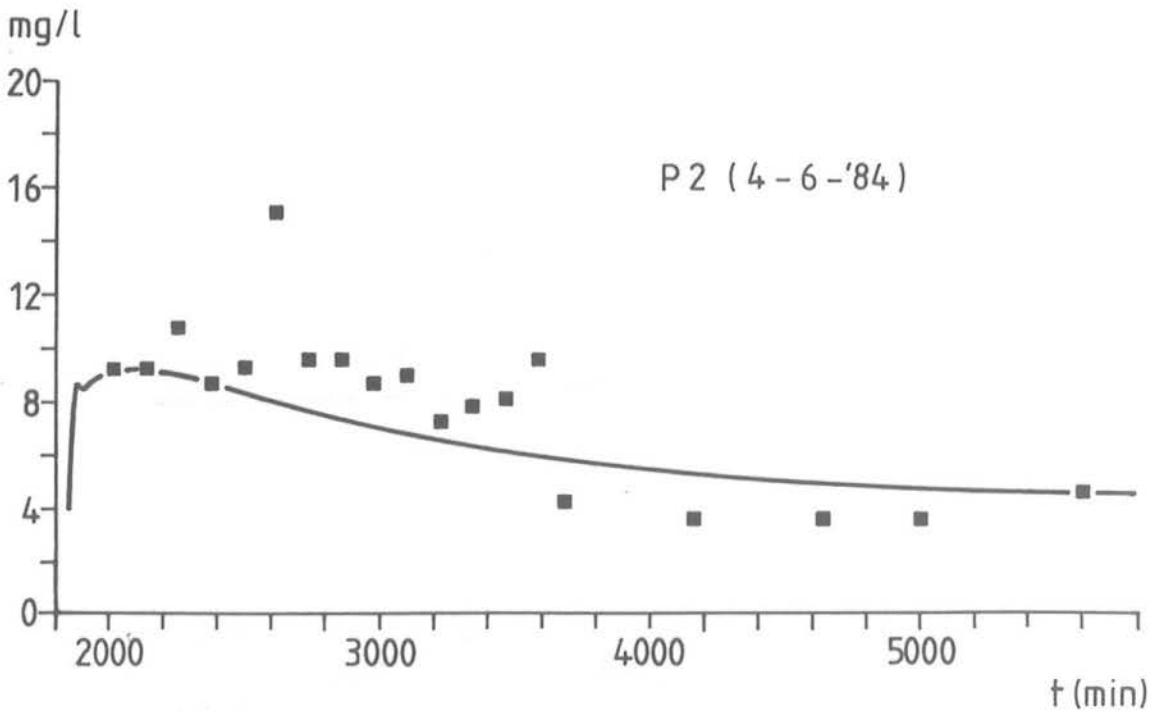
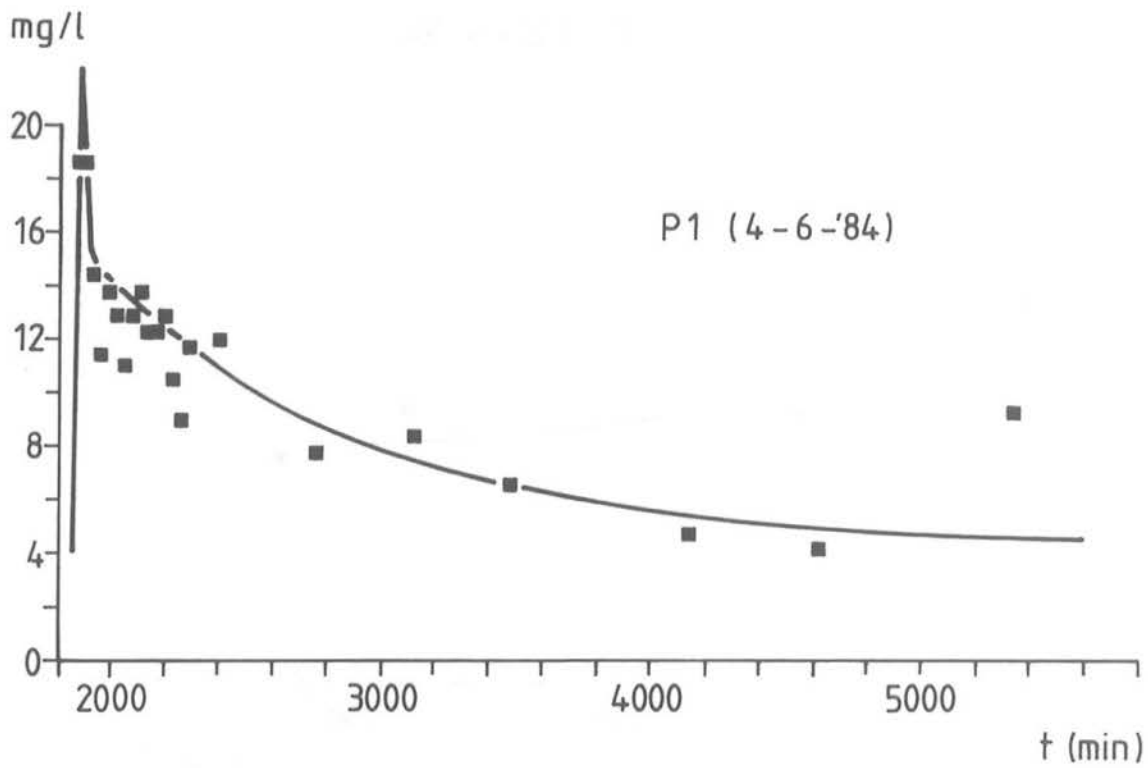
De onderverdeling van het BZV in twee verschillende fracties is eigenlijk een fractionering naar sedimentatiesnelheid. Ook een deel van het minder goed bezinkbare BZV is aan sedimentatie onderhevig, echter de sedimentatiesnelheid hiervan is veel lager. De RKD is de snelheidsconstante voor de totale verwijdering van deze fractie door sedimentatie en oxydatie. De waarde van de snelheidsconstante voor de consumptie van zuurstof t.g.v. de oxydatie van BZV (RKOX) is apart geschat uit de gemeten zuurstofcurve na een overstorting (zie tabel 3-10).

Tabel 3-10 Geschatte waarden van RKOX en k_{SZV} uit het verloop van de zuurstofconcentratie na de overstorting van 21-5, 4-6 en 10-7 op lokatie P1.

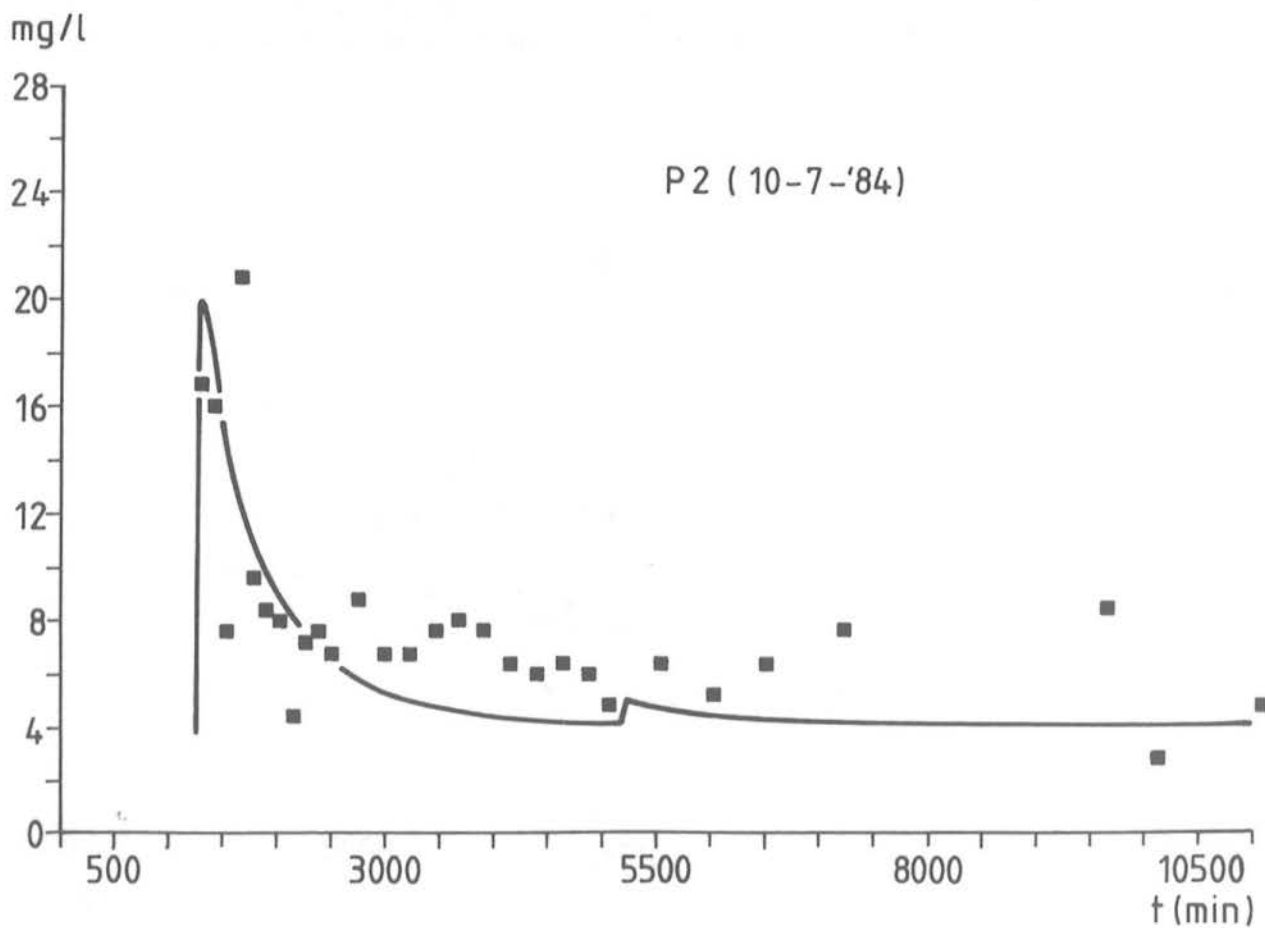
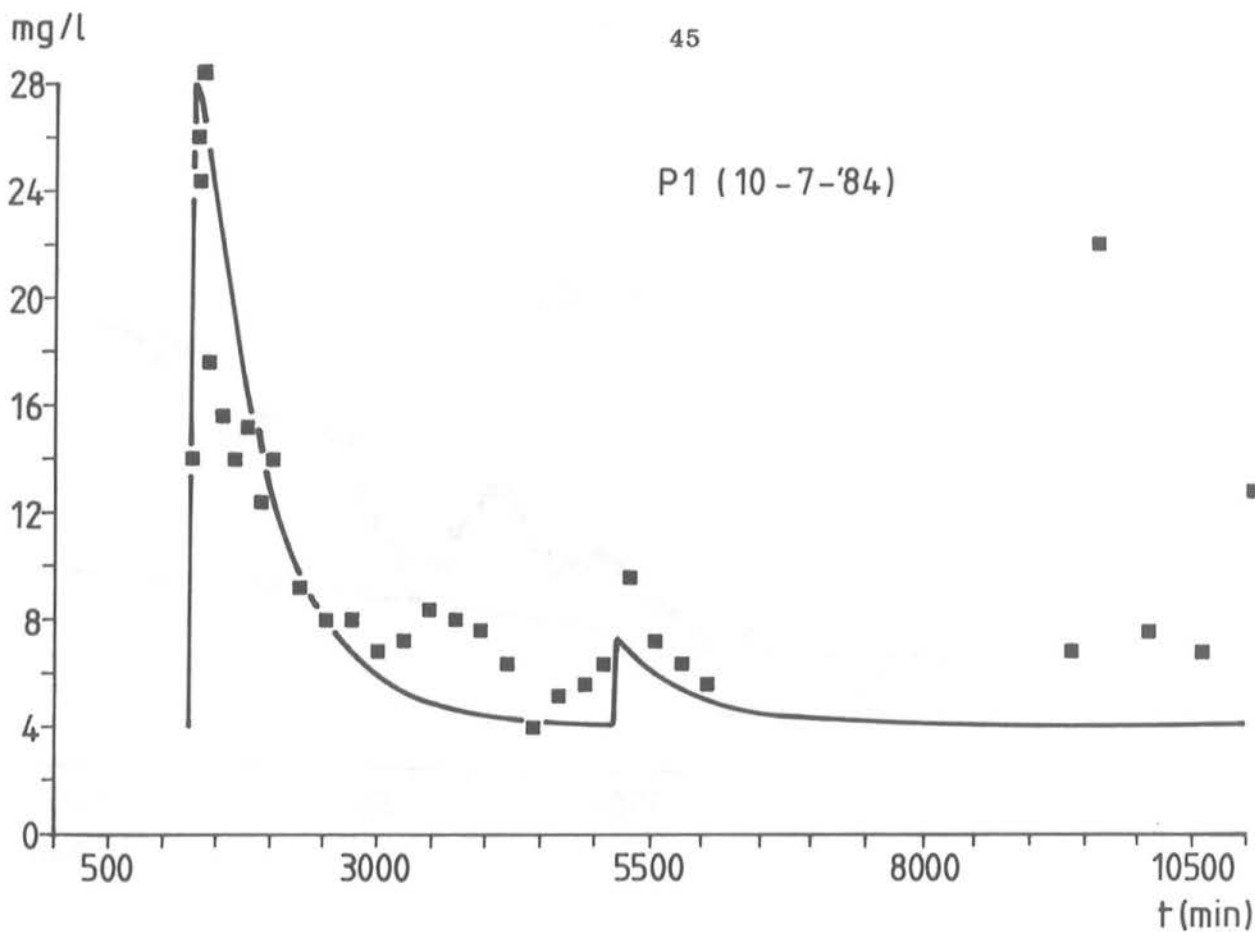
datum overstorting	RKOX min ⁻¹	k_{SZV} m/min	SZV bij CO = 1 mg/l g/m ² , dag
21-5	$0,58 \times 10^{-3}$	$9,5 \times 10^{-5}$	0,13
4-6	$0,49 \times 10^{-3}$	$9,9 \times 10^{-5}$	0,14
10-7	$0,45 \times 10^{-3}$	$8,4 \times 10^{-5}$	0,12



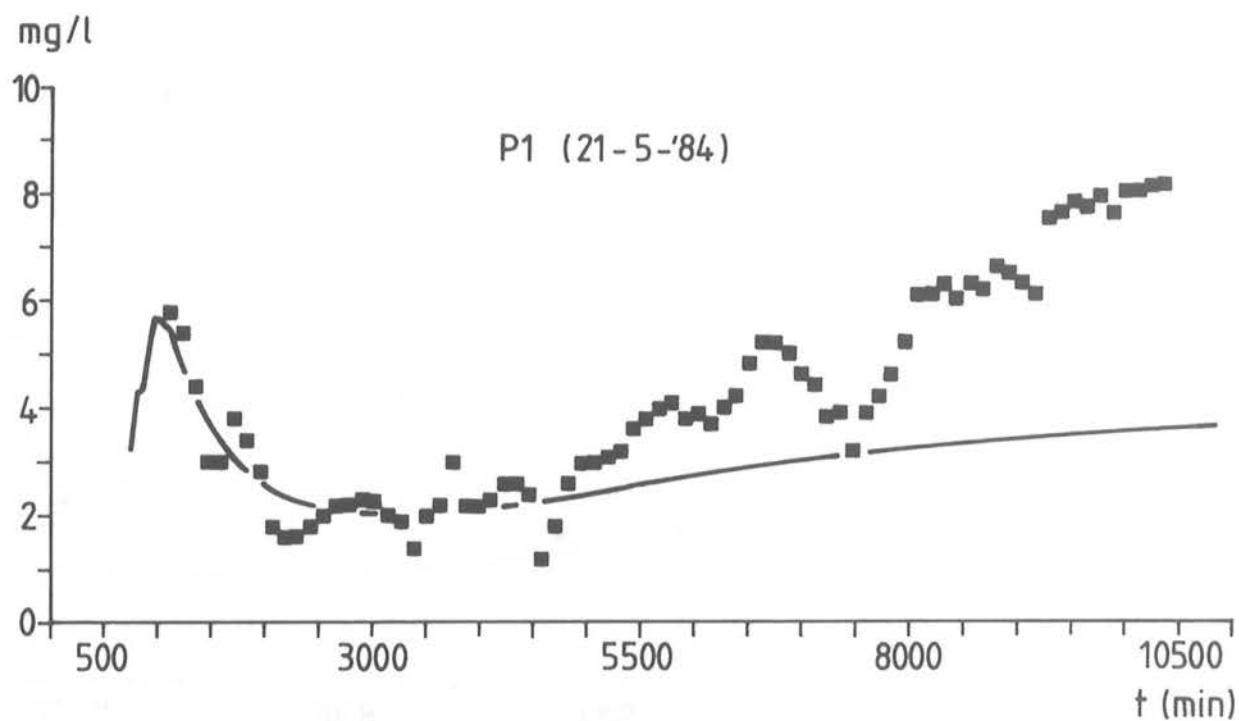
Figuur 3-10a Gemeten en gesimuleerde verloop van de BZV concentratie na de overstorting van 21-5



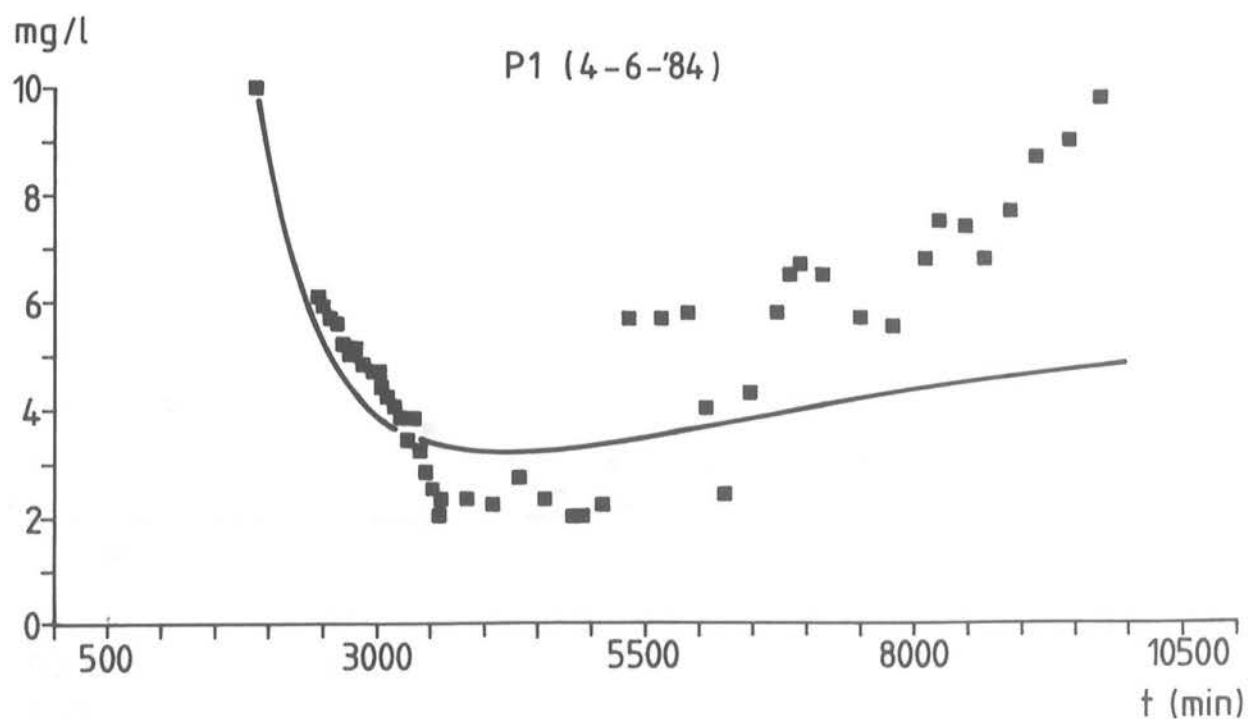
Figuur 3-10b Gemeten en gesimuleerde verloop van de BZV concentratie na de overstorting van 4-6.



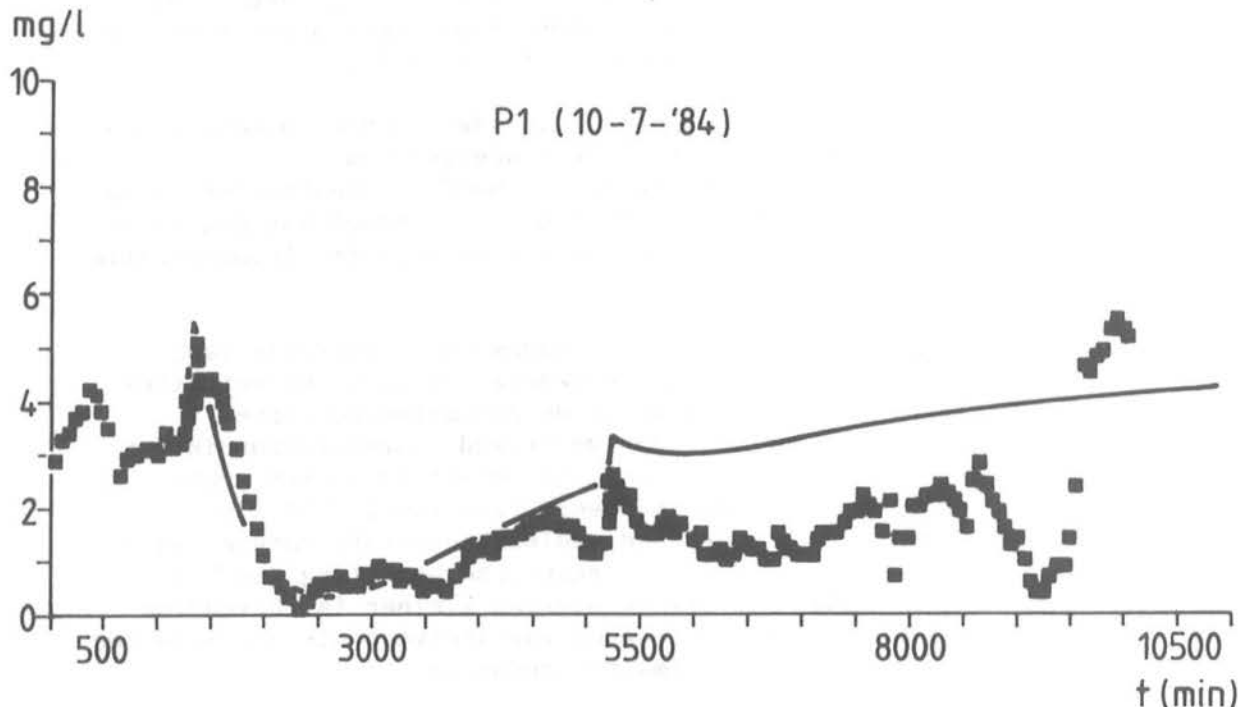
Figuur 3-10c Gemeten en gesimuleerde verloop van de BZV concentratie na de overstortingen van 10-7 en 13-7



Figuur 3-11a Gemeten en gesimuleerd verloop van de zuurstofconcentratie na de overstorting van 21-5 op lokatie P1



Figuur 3-11b Gemeten en gesimuleerd verloop van de zuurstofconcentratie na de overstorting van 4-6 op lokatie P1



Figuur 3-11c Gemeten en gesimuleerd verloop van de zuurstofconcentratie na de overstortingen van 10-7 en 13-7 op locatie P1

Voor de stofoverdrachtsconstante is gebruikt gemaakt van de gemeten waarde van 0,185 m/dag (zie tabel 3-8).

Bij een hoog volumetrisch zuurstofverbruiband tussen de flux door het grensvlak water bodem en de zuurstofconcentratie in het bovenstaande water nagenoeg lineair (zie fig. 3-9). Het sedimentzuurstofverbruik is in het model dan ook lineair verondersteld met de zuurstofconcentratie in de onderlaag. De evenredigheidsconstante k_{SZV} is geschat.

Een probleem bij het schatten van de parameters van het model is de onzekerheid in de zuurstofconcentratie van het overstortende water en de beginconcentratie in de onderlaag. Beide zijn niet bekend. Aangenomen is dat het overstortende water verzadigd is met zuurstof en dat de zuurstofconcentratie in de onderlaag (C_0) gelijk is aan 1 mg/l. De onzekerheid in deze waarden zal verdisconteerd worden in de geschatte waarden van de parameters.

De parameters zijn niet geschat op de hele gemeten zuurstofcurve. Alleen het eerste deel, waar de primaire productie een gering rol speelt, is gebruikt.

De gevonden waarden voor RK_{OX} liggen in de orde van $0,6 - 0,7 \text{ dag}^{-1}$, hetgeen betekent dat het organisch materiaal goed afbreekbaar is. Het verschil tussen de totale verwijderingssnelheid en de oxydatiesnelheid is na de overstorting van 10-7 het grootst. Na deze overstorting wordt nog een groot deel van de fractie aan minder goed bezinkbaar BZV verwijderd door sedimentatie.

De gevonden waarden voor k_{SZV} is laag. In tabel 3-10 is de bijbehorende waarde voor het sedimentzuurstofverbruik gegeven bij een zuurstofconcentratie in de onderlaag van 1 mg/l. Het SZV heeft een waarde van ca. 0,15 g/m², dag. Deze waarden komen goed overeen met de m.b.v het SZV-model berekende waarden (zie fig. 3-9).

In figuur 3-11 zijn de gemeten en gesimuleerde zuurstofconcentraties na de overstortingen van 21-5, 4-6 en 10-7 weergegeven. De overeenstemming tussen de gemeten en berekende concentraties is in het eerste deel van de curve redelijk. M.b.v. het model kan een redelijke beschrijving worden gegeven van de minimale zuurstofconcentratie na een overstorting.

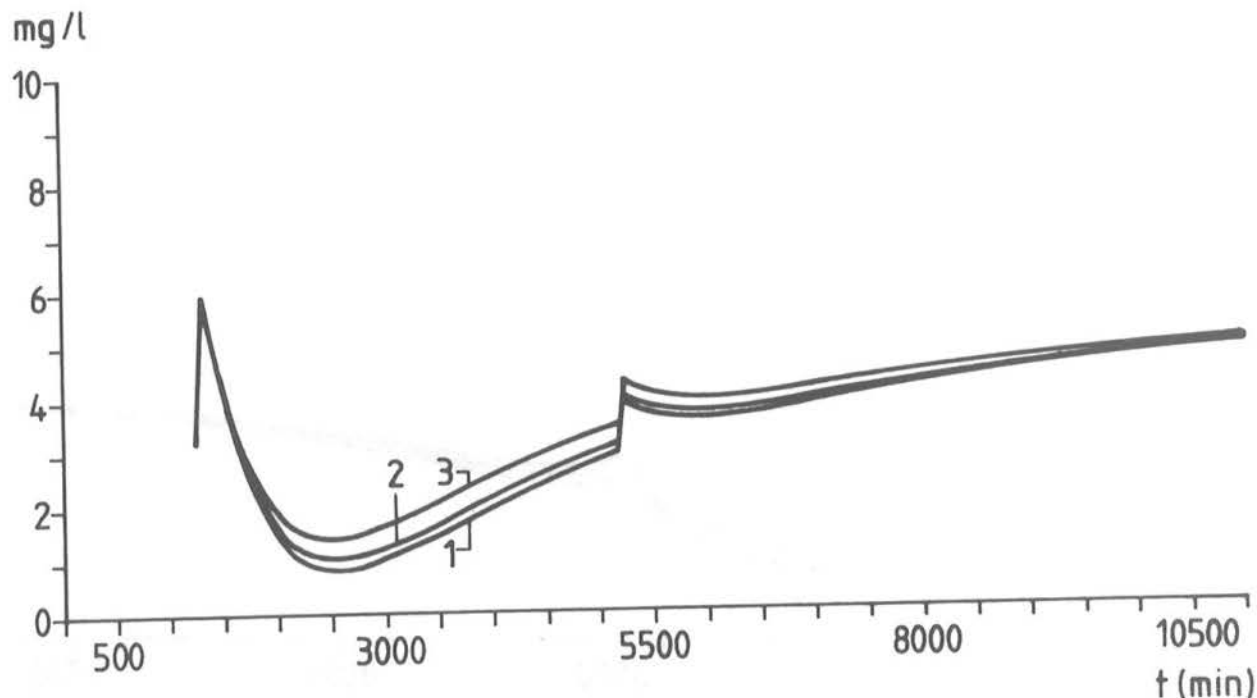
Opvallend is de lange periode waarin de zuurstofconcentratie laag blijft na de overstorting van 10-7. De gemeten zuurstofconcentraties blijven in dit geval geruime tijd onder de gesimuleerde curve. Mogelijk is dit te verklaren door een vertraagd zuurstofverbruik van de fractie goed bezinkbare BZV. Na deze overstorting is een grote hoeveelheid organische stof gesedimenteerd (zie tabel 3-6) die aanleiding kan geven tot een verhoogd sedimentzuurstofverbruik. Na de overstortingen van 21-5 en 4-6 is de organische belasting van het sediment veel lager, zodat het effect hiervan kleiner is. Bovendien wordt hier het effect van het vertraagde zuurstofverbruik overschaduwd door de zich snel herstellende primaire productie.

Uit berekening van de stationaire toestand na de overstorting van 10-7 blijkt dat bij een sedimentzuurstofverbruik van 1 g/m², dag de zuurstofconcentratie in de bovenlaag ongeveer 2 g/m³ bedraagt. Met behulp van het model voor het zuurstofverbruik van het sediment (zie deelonderzoek 5) [6] kan de invloed van een verhoogd volumetrisch zuurstofverbruik op het SZV worden berekend. Uit dit model blijkt dat met name bij een dunne diffusieve laag de invloed van het volumetrisch zuurstofverbruik groot is.

Een nadere kwantificering van het vertraagde zuurstofverbruik van het gesedimenteerd BZV is op grond van dit onderzoek niet mogelijk. De verhoogde zuurstofvraag van het sediment is echter wel van belang voor het effect van een overstorting op de zuurstofhuishouding en wel vooral voor de tijdschaal waarover de effecten zich uitstrekken.

3.5.4 Gevoeligheidsanalyse van het model voor de beschrijving van de zuurstofhuishouding

Vanwege de onzekerheid in de beginconcentratie zuurstof in de onderlaag en de zuurstofconcentratie in het overstortende water is gevoeligheid van het model voor deze variabelen onderzocht. Figuur 3-12a toont de invloed van de beginconcentratie aan zuurstof in de onderlaag op het verloop van de gesimuleerde zuurstofconcentratie.



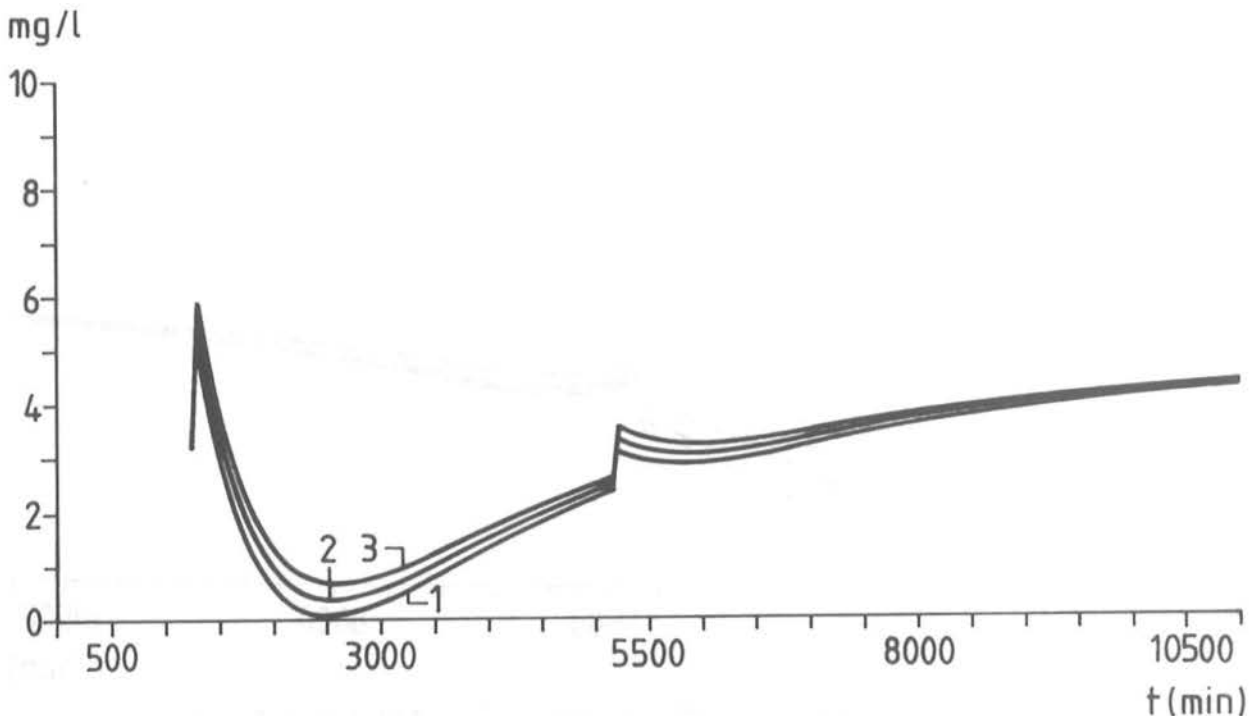
Figuur 3-12a De invloed van de beginconcentratie aan zuurstof in de onderlaag op het verloop van de gesimuleerde zuurstofconcentratie na de overstortingen van 10-7 en 13-7 op locatie P1.

1 CO = 0 mg/l; 2 CO = 1 mg/l; 3 CO = 3 mg/l.

De beginconcentratie aan zuurstof in de onderlaag is van invloed op de minimale zuurstofconcentratie in de bovenlaag. Dit wordt veroorzaakt door de menging tussen boven- en onderlaag. Bij een beginconcentratie van 3 mg/l in de onderlaag zijn de concentraties in onder- en bovenlaag nagenoeg gelijk en speelt de menging nauwelijks een rol.

Figuur 3-12b toont de invloed van de zuurstofconcentratie in het overstortende water. Ook deze variabele is van invloed op de minimale zuurstofconcentratie in de bovenlaag.

Voor beide variabelen geldt dat binnen de range waarin zij redelijkerwijs kunnen liggen de invloed op de gesimuleerde concentraties in de bovenlaag gering is. De invloed van de onzekerheid in deze variabelen op de gevonden waarden voor de parameters van het model zal dan ook gering zijn.



Figuur 3-12b De invloed van de zuurstofconcentratie in het overstortende water op het verloop van de gesimuleerde zuurstofconcentratie na de overstorting van 10-7 en 13-7 op lokatie P1.

1 O₂ = 8 mg/l; 2 O₂ = 9 mg/l; 3 O₂ = 10 mg/l.

3.5.5 Conclusie van het onderzoek naar de korte termijn-effecten op de zuurstofhuishouding

In perioden waarin er geen of nauwelijks primaire productie optreedt is de zuurstofconcentratie laag. De evenwichtsconcentratie wordt in dat geval bepaald door de reaëratie, het sedimentzuurstofverbruik en de doorspoeling met zuurstofloze kwel. Als direct effect van een overstorting wordt dan ook veelal in eerste instantie een verhoging van de zuurstofconcentratie waargenomen.

T.g.v. het geloosde BZV neemt de zuurstofconcentratie snel af. Al na ongeveer 1 dag wordt de minimale zuurstofconcentratie bereikt. Deze snelle daling wordt veroorzaakt door de hoge snelheid waarmee het BZV wordt geoxydeerd.

Van de totale emissie aan BZV uit het stelsel wordt slechts een deel direct in de waterfase geoxydeerd, de rest sedimenteert en kan aanleiding geven tot een verhoogd sedimentzuurstofverbruik.

Met behulp van het model kan een redelijke beschrijving worden gegeven van het directe effect van een overstorting op de zuurstofhuishouding. De tijdsduur waarover een effect op de zuurstofhuishouding waarneembaar is kan niet worden voorspeld, omdat kort na een overstorting de primaire productie weer op gang komt en dit proces niet is meegenomen in het model.

Wanneer de primaire productie geen rol speelt volgt uit het model dat na ongeveer een week een nieuwe evenwichtconcentratie wordt bereikt. De waarde hiervan ligt in de orde van 2-3 mg O₂/l

3.6 Overdraagbaarheid van de resultaten

De situatie in Loenen is uitzonderlijk te noemen door de grote kwel die optreedt in de vijver. De gemiddelde kwelsnelheid bedraagt 0,1 m/dag, wat betekent dat de hydraulische verblijftijd ongeveer 10 dagen is. Het uitzonderlijke karakter betreft niet zozeer de korte verblijftijd, want een groot deel van de overstortingen in ons land vindt plaats op stagnant water, waarvan een groot deel op stadsvijvers en grachten die vanwege de rol die zij spelen in de waterhuishouding ook doorstroomd worden [15]. Het is juist de doorstroming met kwelwater en de effecten daarvan die de situatie in Loenen onderscheidt van andere overstortingsituaties.

Als belangrijkste effect van de kwel kan genoemd worden de mogelijke grote invloed op het ontstaan van een thermische stratificatie in de vijver met als gevolg een oppervlakkige afstroming van de vuilwaterprop en een slechte menging. Een ander gevolg van de kwel is de verversing met zuurstofloos water, wat een niet te verwaarlozen invloed op de zuurstofhuishouding heeft.

De slechte menging leverde i.v.m. de complexiteit van de processen niet tot een sluitend model voor het menggedrag. Weliswaar kan de menging tijdens en na een overstorting redelijk worden beschreven, maar het model geeft geen verklaring van alle processen die een rol spelen. Het gevolg hiervan is dat de voorspellende waarde van het model gering is.

Het opgestelde model voor de beschrijving van het menggedrag kan wel dienen als basis voor een kwaliteitsmodel, waarmee de processen die van invloed zijn op de waterkwaliteit kunnen worden bestudeerd. In paragraaf 3.4 en 3.5 is het gedrag van zwevende stof en het effect op de zuurstofhuishouding bestudeerd. Aangegeven is wat de belangrijkste processen zijn, hoe deze kunnen worden beschreven en er zijn karakteristieke waarden gevonden voor de snelheidsconstanten van de processen. Voor wat betreft de kwaliteitsbepalende processen is er geen reden om aan te nemen dat de situatie in Loenen sterk verschilt met die op andere plaatsen. In situaties waar het menggedrag minder complex is kan m.b.v. de procesbeschrijvingen een zinvolle voorspelling worden gedaan van de effecten van overstortingen.

3.7 Conclusies

Menggedrag

- De menging in de vijver is slecht. T.g.v. de aanwezige thermische stratificatie vindt er oppervlakkige afstroming plaats van de vuilwaterprop.
- Het elektrisch geleidbaarheidsvermogen kan gebruikt worden als tracer bij de bestudering van het menggedrag. Het snelle herstel van het elektrisch geleidbaarheidsvermogen na een overstorting kan niet verklaard worden uit de doorstroming met kwel van een ideaal gemengd systeem.
- Een 2 lagen model, waarbij de onderlaag beschouwd wordt als een dode zone, geeft een redelijke beschrijving van het menggedrag tijdens en na een overstorting. Voor de vijver in Loenen kan dit model gebruikt worden als basis voor een kwaliteitsmodel.
- Het opgestelde model is gevoelig voor parameter P_g (ligging van het grensvlak tussen boven- en onderlaag). Uit gevoeligheidsanalyses blijkt eveneens dat de uitwisseling tussen boven- en onderlaag kan worden beschreven met een constante dispersiecoëfficiënt (E_0).
- De menging in de vijver wordt bepaald door een complex van factoren. Het model verklaart niet alle processen die een rol spelen. Gevolg hiervan is dat de voorspellende waarde van het model gering is.

Voor een betere beschrijving van het menggedrag is nader onderzoek naar de processen die een rol spelen noodzakelijk. Een dergelijk onderzoek zal zich vooral moeten richten op de stabiliteit van de stratificatie, de verstoring van het gestratificeerde systeem en het herstel naar een nieuwe evenwichtssituatie.

Gedrag van zwevende stof

- Resuspensie van bodemslib speelt geen belangrijke rol in de vijver.
- Een constante sedimentatiesnelheid geeft geen goede beschrijving van de zwevende stofconcentratie na een overstorting. De sedimentatie kan beter worden beschreven als een 2e orde proces.
- M.b.v. het model kan een indruk worden verkregen van de verspreiding van de zwevende stof.
- Er lijkt een samenhang te bestaan tussen de sedimentatiesnelheid en de intensiteit van de overstorting.

Invoeren van een sedimentatiesnelheid gebaseerd op een deeltjesgrootteverdeling zal leiden tot een betere beschrijving van de zwevende stofconcentratie. Bovendien biedt dit de mogelijkheid een indruk te krijgen van de verspreiding van de verschillende fracties van het gesuspendeerde materiaal. In het model kan op eenvoudige wijze een van de deeltjesgrootte afhankelijke sedimentatiesnelheid worden ingevoerd. De deeltjesgrootteverdeling (c.q. sedimentatiesnelheidverdeling) van het gesuspendeerde materiaal in het overstortende water moet dan worden bepaald, eventueel ook in relatie met de intensiteit van de overstorting.

Effecten op de zuurstofhuishouding

- Van de totale BZV vracht die geloosd wordt heeft het goed bezinkbare deel geen directe invloed op de zuurstofhuishouding omdat de sedimentatiesnelheid hiervan groot is.
- De verwijdering van de andere fractie wordt bepaald door sedimentatie en oxydatie.
- Het organisch materiaal is goed afbreekbaar, wat blijkt uit de hoge waarden van de snelheidsconstante van de oxydatie. ($0,6 \text{ dag}^{-1}$).
- De geschatte waarde van het sedimentzuurstofverbruik is laag ($0,15 \text{ g/m}^2, \text{ dag}$). Deze waarde komt goed overeen met de uitkomsten van een model, dat het SZV beschrijft als functie van de zuurstofconcentratie in het bovenstaande water.
- M.b.v. het model kan een redelijke beschrijving worden gegeven van het directe effect van een overstorting op de zuurstofhuishouding.
- Er zijn aanwijzingen dat de belasting van de bodem met organische stof na een overstorting aanleiding geeft tot een verhoogd sediment zuurstofverbruik.

Een beter inzicht zou moeten worden verkregen in het effect van de belasting van het sediment t.g.v. een overstorting en de mineralisatie van de gesedimenteerde organische stof. Het opgestelde model beschrijft alleen het directe effect van een overstorting op de zuurstofconcentratie. Het effect van het gesedimenteerde BZV is niet meegenomen. Voor de tijdschaal waarover de effecten zich doen gelden is dit wel gewenst.

Waarde van het model

Afgezien van het menggedrag kan met behulp van het model een redelijke voorspelling worden gegeven van de korte termijn-effecten van een overstorting.

4. MASSABALANSSEN VOOR WATER, ZWEVENDE STOF, NUTRIËNTEN EN ZUURSTOFVERBRUIK

4.1 Inleiding

Het opstellen van massabalansen over de vijver heeft tot doel de retentie en afbraak voor een aantal specifieke stoffen (zwevende stof, gloeirest, BZV, CZV, stikstof en fosfaat) te bepalen. Daarnaast geeft een input-output analyse inzicht in de bufferende werking van de vijver voor het aangrenzende oppervlaktewater.

In paragraaf 4.2 wordt de berekeningswijze weergegeven. Paragraaf 4.3 gaat over de resultaten van de berekeningen. Tot slot worden in paragraaf 4.4 de belangrijkste conclusies van dit deelonderzoek samengevat.

4.2 Metingen en werkwijze

De immissie t.g.v. de overstortingen is bepaald in het kader van het STORA 38B project (NWRW thema 5) [4] waarbij onderzoek verricht is naar de vuiluitworp uit het rioolstelsel. Ten behoeve van dit onderzoek is op de overstortput een meetopstelling geplaatst waarmee tijdens een overstorting continu het debiet wordt geregistreerd en met behulp waarvan debietproportioneel monsters worden genomen van het overstortende water. Voor de berekeningsmethode en de resultaten van de vuiluitworp uit het stelsel wordt verwezen naar de verschenen rapporten over het genoemde onderzoek [4, 9 en 10]. De berekende cumulatieve vrachten uit het stelsel zijn bij dit onderzoek gebruikt.

Om de emissie van de vijver te bepalen is aan de afvoerszijde van de vijver het debiet gemeten en zijn representatieve monsters genomen. In de achtergrondsituatie (periode tussen de overstortingen) is de afvoer wekelijks bemonsterd. Gedurende de perioden tijdens en kort na een overstorting is automatisch tijdsproportioneel bemonsterd met een grotere frequentie.

4.2.1 Afvoer in de achtergrondsituatie

In de achtergrondsituatie wordt de afvoer geheel veroorzaakt door de optredende kwel. Op verschillende manieren zijn schattingen gemaakt van de grootte van het kweldebiet. In 1983 is het afvoerdebiet van de vijver gemeten. De gevonden waarde bedroeg $17,2 \text{ m}^3/\text{uur}$. Eveneens in 1983 is een groot aantal kwelmetingen verricht. Voor een beschrijving van de meetmethode en de resultaten wordt verwezen naar bijlage 4.

De gemiddelde waarde van deze kwelmetingen is 9 cm/dag , wat overeenkomt met een afvoer van $15,8 \text{ m}^3/\text{uur}$. Er zijn grote variaties in de kwel, zowel in plaats als in de tijd. Dit geldt ook voor de metingen verricht in 1984 (zie tabel 4-1). Opvallend zijn de grote verschillen in de gemeten waarden op P1 en P2. De lagere kwel op lokatie P1 is mogelijk te verklaren door de dikkere sliblaag op deze lokatie.

Tabel 4-1 Resultaten kwelmetingen 1984

datum	lokatie	kwel (cm/dag)
17-4-1984	P1	6,5
24-4-1984	P1	7,7
1-5-1984	P2	18,2
3-5-1984	P2	18,5
8-5-1984	P2	15,8

Tijdens een experiment (9-9-1984), waarbij tijdelijk de afvoer van de vijver werd afgesloten, werd een niveaustijging gemeten van 9,3 cm/dag, hetgeen overeenkomt met een afvoer van 16,3 m³/uur.

Voor de berekening van de vrachten is gebruik gemaakt van een waarde voor de afvoer van 16,3 m³/uur. Deze waarde komt redelijk overeen met de gemiddelde kwel berekend uit een groot aantal metingen op diverse plaatsen in de vijver.

4.2.2 Afvoer tijdens en na een overstorting

Aan de uitgang van de vijver is een meetschot met een registrerende peilschrijver geplaatst. Het afvoerdebiet is gerelateerd aan de waterhoogte boven de overlaat volgens de formule:

$$Q_v = K_1 \sqrt{P_s^3} \quad (4-1a)$$

waarin:

Q_v het debiet (m³/min)

P_s de hoogte boven de overlaat (m)

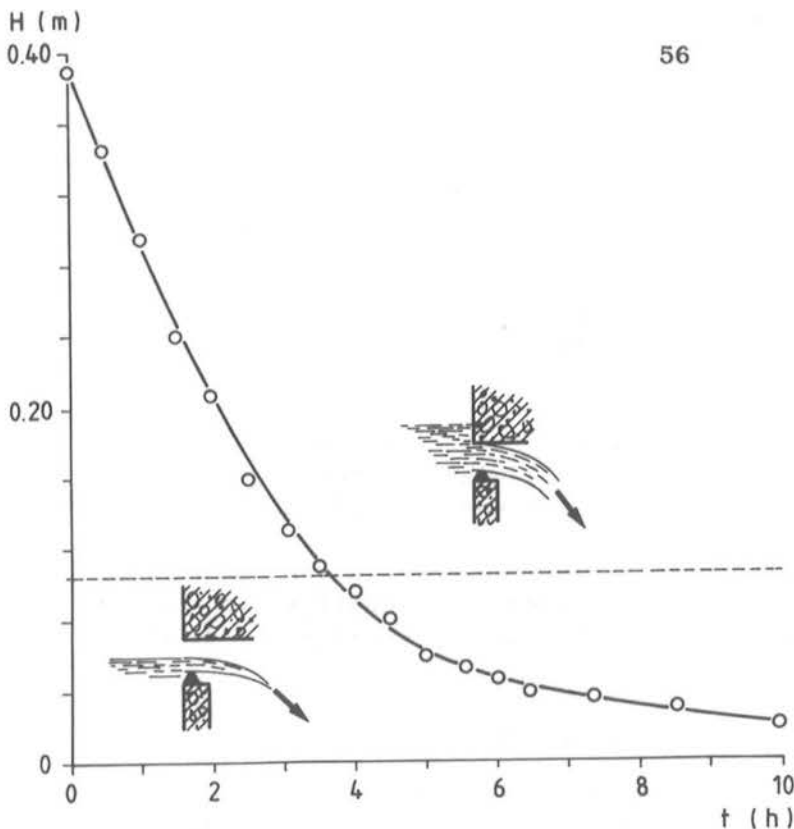
K_1 een constante

Bovenstaande relatie gaat alleen op wanneer vrije afstroming over het schot kan plaats vinden. Bij niveaustijgingen groter dan ca. 10 cm gaat dit echter niet op. In dat geval wordt de stroming belemmerd door een betonrand boven de overlaat, zodat er geen sprake is van een volkomen overlaat. De afvoer is dan te beschrijven met de relatie:

$$Q_v = K_1 \sqrt{H_g^3} + K_2 \sqrt{(P_s - H_g)}$$

waarin H_g het waterpeil waarbij nog juist sprake is van een volkomen overlaat (m)

De constanten K_1 en K_2 zijn geschat uit de waterbalans en de waterhoogte gemeten tijdens de leegloop van de vijver nadat kunstmatig het waterpeil verhoogd was. Op deze wijze werd voor K_1 een waarde gevonden van 50 en voor K_2 10,4 bij $H_g = 0,11$ m. Uit figuur 4-1 blijkt dat m.b.v. de vergelijkingen 1a en 1b het verloop van het waterniveau in de vijver goed kan worden beschreven.



Figuur 4-1 Gemeten en berekende waterniveau tijdens het leeglopen van de vijver, wat het peil kunstmatig was verhoogd (9-9-1984)

4.2.3 Berekening van de vrachten

De vrachten zijn berekend uit de gemeten concentraties en de berekende debieten:

$$Q_m = Q_v \cdot C \quad (4-2)$$

waarin:

Q_m de vracht (kg/uur)
 C de concentratie (kg/m³)

De totale emissie wordt verkregen door integratie van Q_m over de tijd.

4.3 Resultaten

De resultaten van de berekeningen zijn op twee verschillende manieren verwerkt. Per overstorting zijn balansen voor de verschillende stoffen gemaakt. Op deze wijze kan inzicht worden verkregen in de bufferde werking van de vijver voor het aangrenzende oppervlaktewater. Daarnaast zijn balansen opgesteld over de hele onderzoeksperiode.

4.3.1 Balansen per overstorting

In bijlage 5 is van de bemonsterde overstortingen weergegeven de immissie en de cumulatieve emissie van de vijver van 1 tot enkele dagen na een overstorting. Tevens is weergegeven de cumulatieve vracht t.g.v. het debiet en de concentraties in de periode tussen de overstortingen (het achtergronddebiet en de achtergrondconcentratie). Om een indruk te krijgen van het percentage van de immissie dat direct na een overstorting de vijver verlaat moet de totale uitgaande vracht worden gecorrigeerd voor de vracht in de achtergrondsituatie.

De correctie is berekend uit het gemiddelde kweldebiet en de laatst bekende concentratie voor de overstorting. Voor de grote overstortingen is de correctie voor de achtergrondvracht niet zo belangrijk, echter voor de kleinere overstortingen (bijv. die van 23/6, 1/10 en 5/10) is de correctieterm groot t.o.v. de totale uitgaande vracht. Na correctie van de totale emissie voor de achtergrondvracht kan het vangstpercentage van de vijver worden berekend.

Het vangstpercentage is gedefinieerd als:

$$\text{vangstpercentage} = \frac{\text{totale emissie} - \text{achtergrondvracht}}{\text{immissie}} \times 100\%$$

Tabel 4-2 toont de vangstpercentages na drie dagen na de bemonsterde overstortingen. Om de vangstpercentages voor de verschillende overstortingen met elkaar te vergelijken is tevens het overgestort volume en de duur van de overstorting in de tabel vermeld

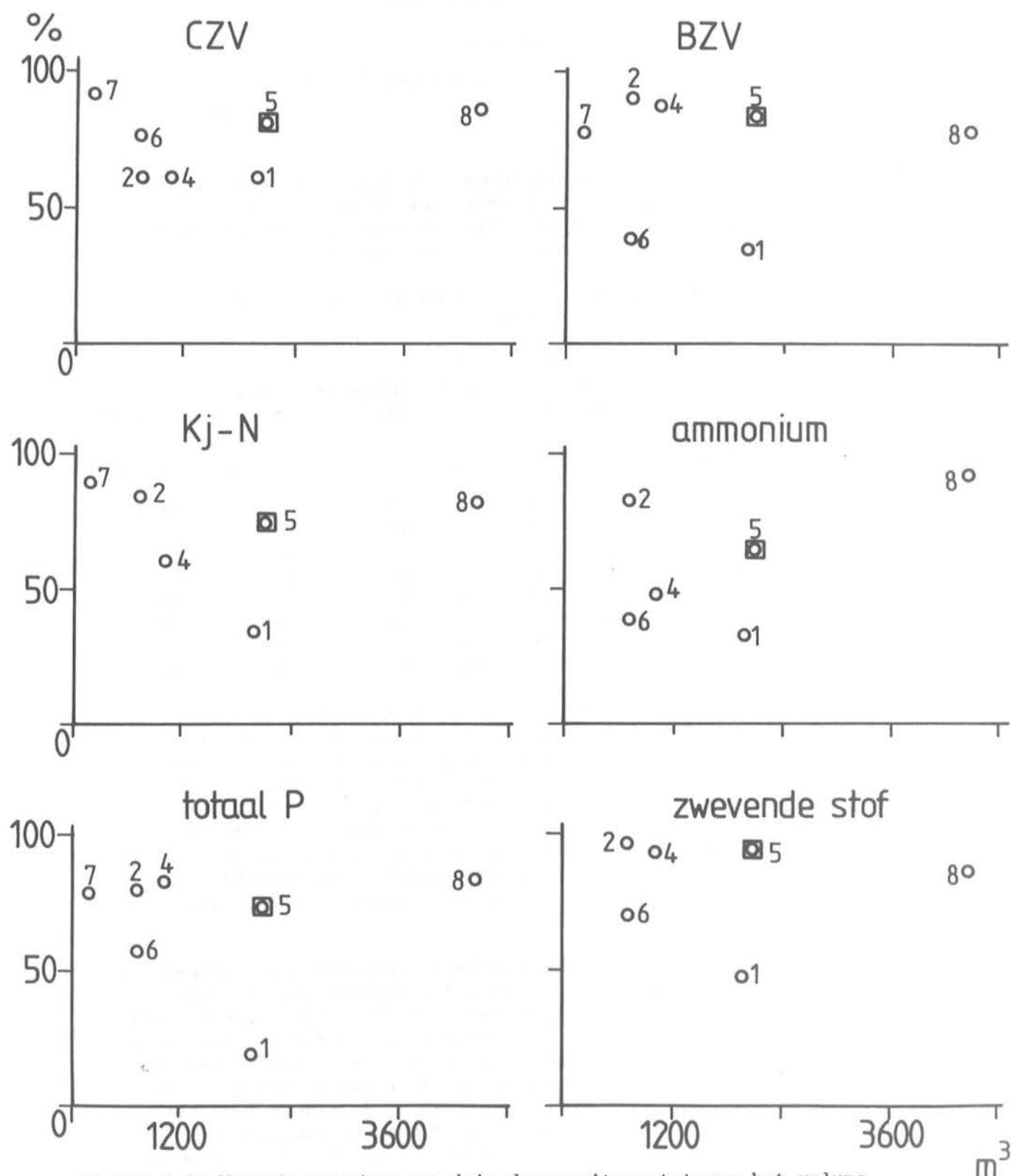
Tabel 4-2 Vangstpercentages van de vijver na drie dagen na de bemonsterde overstortingen

nr	datum over- storting	VANGSTPERCENTAGE							zwevende stof (%)
		volume (m ³) over- storting	duur (min)	CZV (%)	BZV (%)	Kj-N (%)	Ammonium (%)	Totaal-P (%)	
1	21/05/84	1991	413	60	34	34	33	12	46
2	04/06/84	623	61	92	90	83	82	79	96
3	23/06/84	54	34	--	--	--	--	--	--
4	10/07/84	1044	61	88	52	60	48	82	93
5	09/09/84	2120	167	82	84	74	64	73	94
6	01/10/84	722	158	76	39	--	39	57	70
7	05/10/84	209	126	92	78	89	--	78	--
8	25/10/84	4123	224	87	79	81	91	83	86

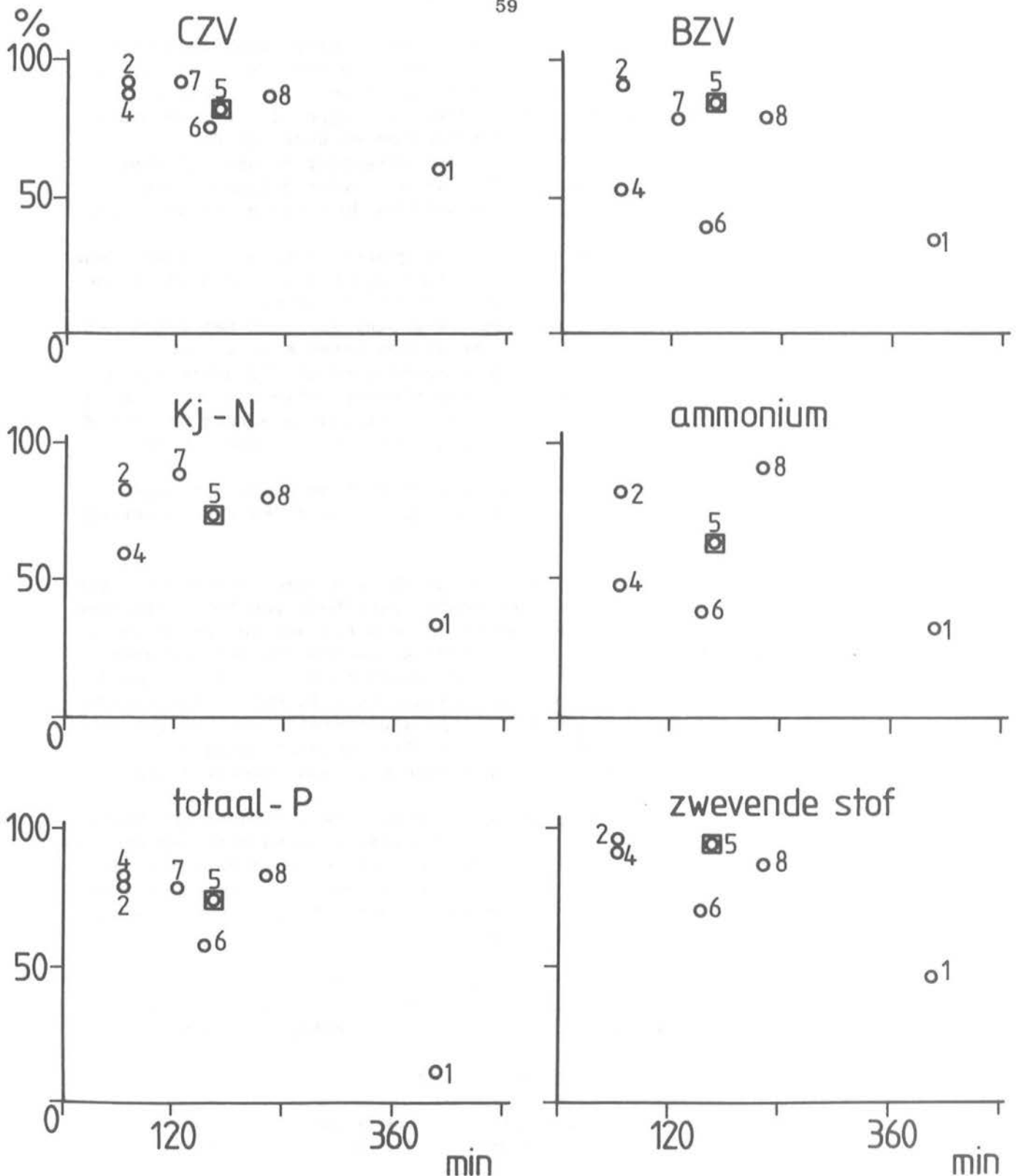
De nauwkeurigheid van de resultaten is vooral voor de kleinere overstortingen niet erg groot. Voor de overstortingen met een groot volume klopt de waterbalans redelijk. De procentuele afwijking tussen de som van het overgestort volume en de directe neerslag op de vijver en de totale afvoer minus de kwel ligt in de orde van 10% (zie bijlage 5). Voor de kleinere overstortingen zijn de verschillen echter groter. Bovendien is voor de kleinere overstortingen het effect op de concentratie in de afvoer gering, zodat het verschil met de achtergrondconcentratie klein is, waardoor de afwijking in de berekende vracht groot kan zijn.

Het afvoerdebiet is voor alle overstortingen berekend zoals aangegeven in paragraaf 4.2.2, waarbij telkens dezelfde waarden voor de constanten K1 en K2 in de afvoerformule van het meetschot zijn gebruikt. Bij gebruik van deze waarde voor de constanten bleek voor de overstorting van 10/7/84 de waterbalans in het geheel niet te kloppen. De berekende afvoer van de vijver was veel te groot. Na deze overstorting daalde het niveau in de vijver veel minder snel dan na de andere overstortingen, wat waarschijnlijk veroorzaakt werd door de ophoping van drijfvuil bij de overlaat. Voor deze overstorting zijn de constanten K1 en K2 opnieuw bepaald uit de daling van het niveau na beëindiging van de overstorting.

In figuur 4-2 zijn de vangstpercentages na drie dagen, zoals vermeld in tabel 4-2, uitgezet tegen resp. het volume en de duur van de overstorting. De nummers in de figuren corresponderen met die weergegeven in tabel 4-2. Weergegeven zijn de percentages na drie dagen, omdat na deze periode de concentraties weer gedaald zijn tot het achtergrond-niveau.



Figuur 4-2a Vangstpercentage na drie dagen uitgezet tegen het volume van de overstorting



Figuur 4-2b Vangstpercentage na drie dagen uitgezet tegen de duur van de overstorting

Er is geen eenduidige samenhang tussen het vangstpercentage en het volume, resp. de duur van de overstorting. Het vangstpercentage wordt bepaald door een aantal factoren, die enerzijds samenhangen met het transport van de vuilwaterprop en de menging in de vijver en anderzijds met de verwijderingsprocessen die optreden in de vijver (bijv. sedimentatie).

De snelheid van het transport van de vuilwaterprop wordt in sterke mate bepaald door de menging in de vijver (zie ook hfd. 3.3). T.g.v. de optredende thermische stratificatie is de menging in de vijver slecht en stroomt de vuilwaterprop langs het oppervlak af. De dikte van de stromingszone is naast het volume en de duur van de overstorting dus mede bepalend voor het vangstpercentage. Tijdens kleine overstortingen van korte duur (bijv. overstortingen 2 en 7) bereikt de vuilwaterprop niet of nauwelijks de uitgang van de vijver.

Naarmate het volume van de overstorting groter is en deze langer duurt kan het vangstpercentage lager zijn omdat dan een groter deel van de immissie de vijver verlaat (zie bijv. overstorting 6).

Naarmate de dikte van de stromingszone groter is neemt het vangstpercentage toe, omdat een groter volume schoon water moet worden verdrongen eer de vuilwaterprop de uitgang bereikt. De dikte van de stromingszone hangt af van de mate van stratificatie die optreedt in de vijver. Daarnaast kan de bestaande stratificatie worden verstoord t.g.v. de impuls van de overstorting waardoor het volume van de stromingszone toeneemt.

Deze verstoring van de stratificatie verklaart mogelijk het hoge vangstpercentage na de grote overstorting van 25/10/85 (overstorting 8).

Uit paragraaf 3-4 blijkt dat er een samenhang bestaat tussen de intensiteit van de overstorting en sedimentatiesnelheid van het bezinkbare materiaal in het overstortende water. Na een bui met een grote intensiteit zullen ook de zwaardere deeltjes afspoelen van het verharde oppervlak en worden opgewerveld in het rioolstelsel, zodat de gemiddelde sedimentatiesnelheid van de zwevende stof in het overstortende water groter zal zijn. De relatief lage sedimentatiesnelheid van de zwevende stof na de overstorting van 21/5/84 (overstorting 1) verklaart dan ook het lage vangstpercentage na deze overstorting.

De overstorting van 9/9/84 (nummer 5) vond plaats tijdens het experiment waarbij het niveau van de vijver kunstmatig werd verhoogd door de uitgang af te sluiten. Een dag na de overstorting werd de afvoer weer vrij gemaakt. Dit verklaart het grote vangstpercentage van de vijver tijdens deze overstorting in vergelijking met dat na overstortingen van een vergelijkbaar volume en duur.

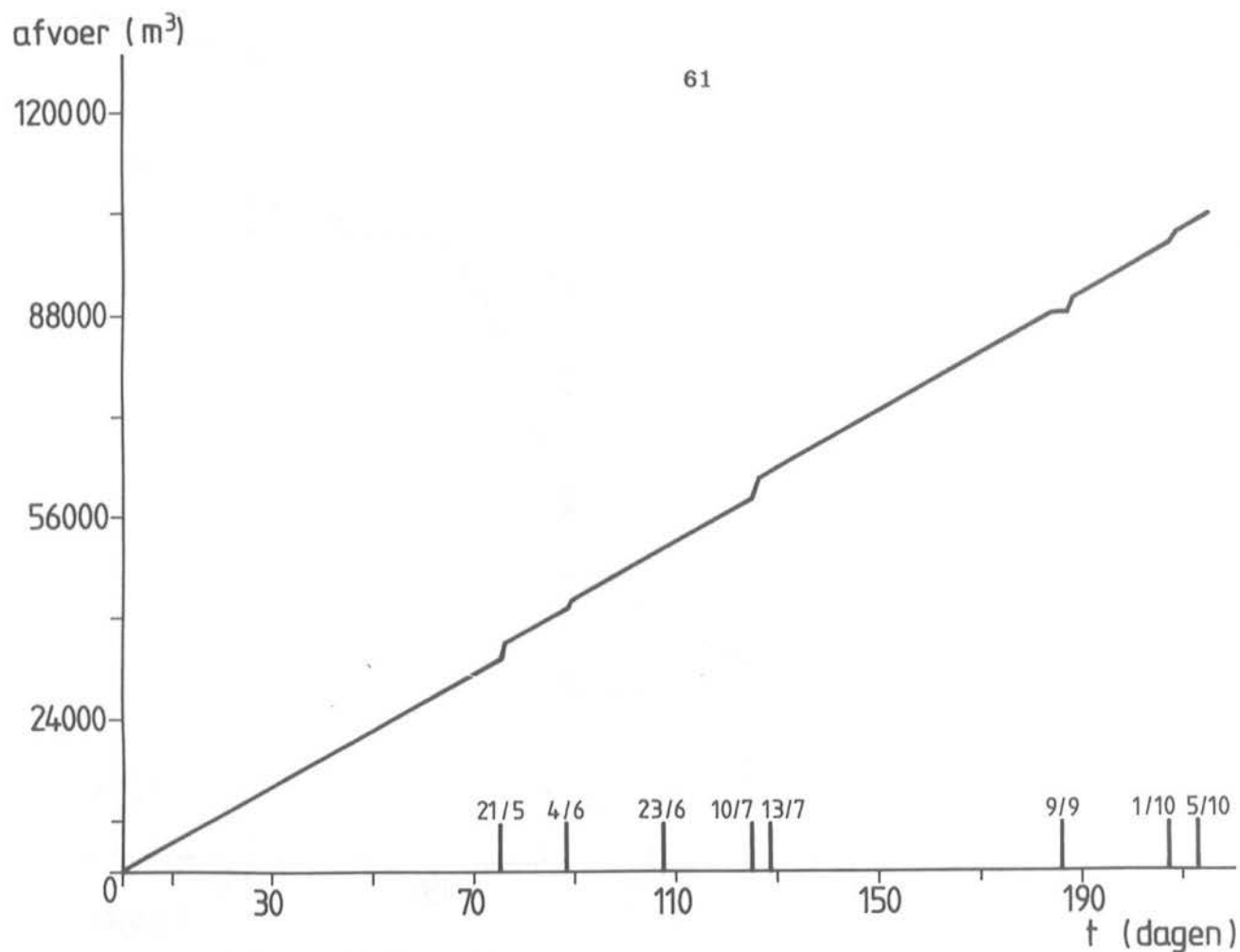
Vergelijkt men voor de verschillende stoffen het vangstpercentage, dan blijkt dit voor zwevende stof het grootst te zijn. Voor ammonium, niet aan sedimentatie onderhevig, is het vangstpercentage het laagst.

4.3.2 Balansen over de onderzoeksperiode

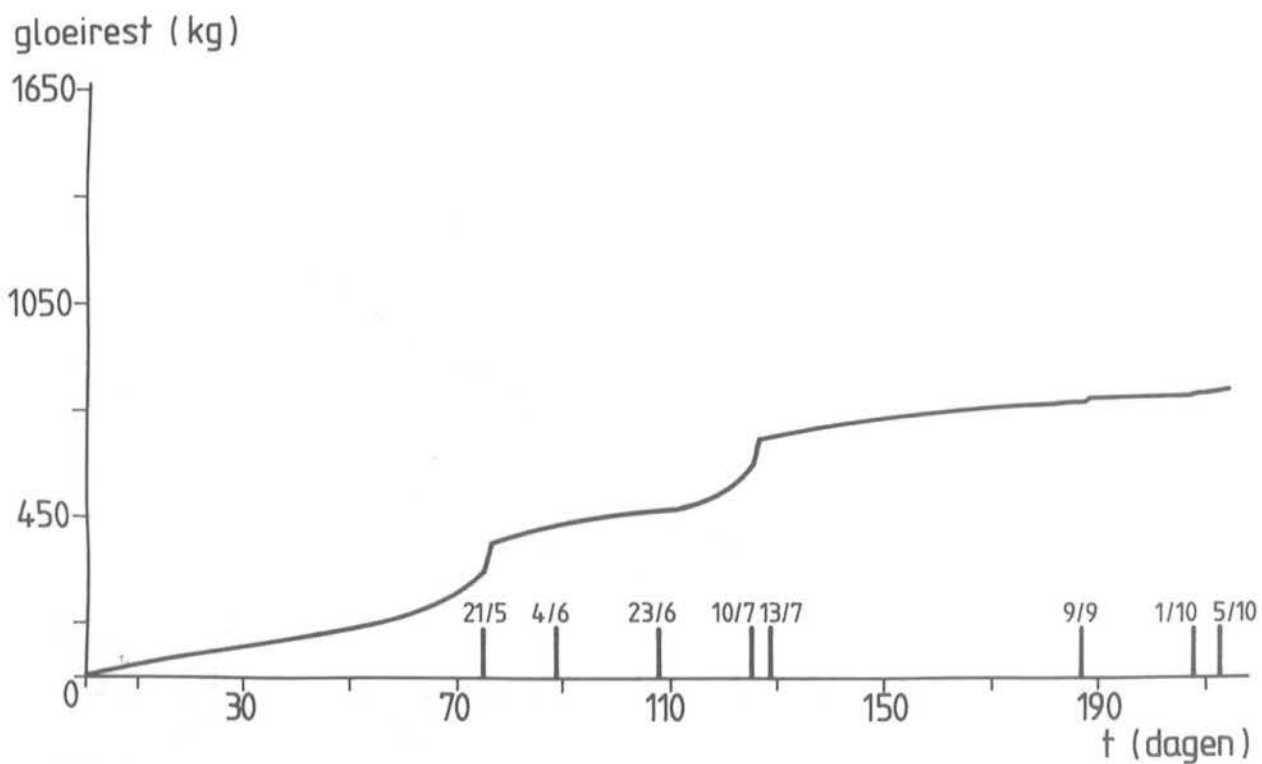
Naast de balansen per overstorting zijn ook massabalansen opgesteld over een deel van de onderzoeksperiode, die liep van maart tot december 1984.

Omdat in de maand oktober een aantal overstortingen niet zijn bemonsterd, zijn de balansen opgesteld over de periode van maart t/m 5 oktober. De overstorting van 25-10 is dus niet in de berekeningen meegenomen.

De duur van de periode, waarover de balansen zijn opgesteld is 210 dagen. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de figuren 4-3a t/m h. In deze figuren is zowel de immissie als de emissie van de vijver voor een aantal stoffen cumulatief uitgezet. Tevens zijn de overstortingen aangegeven.

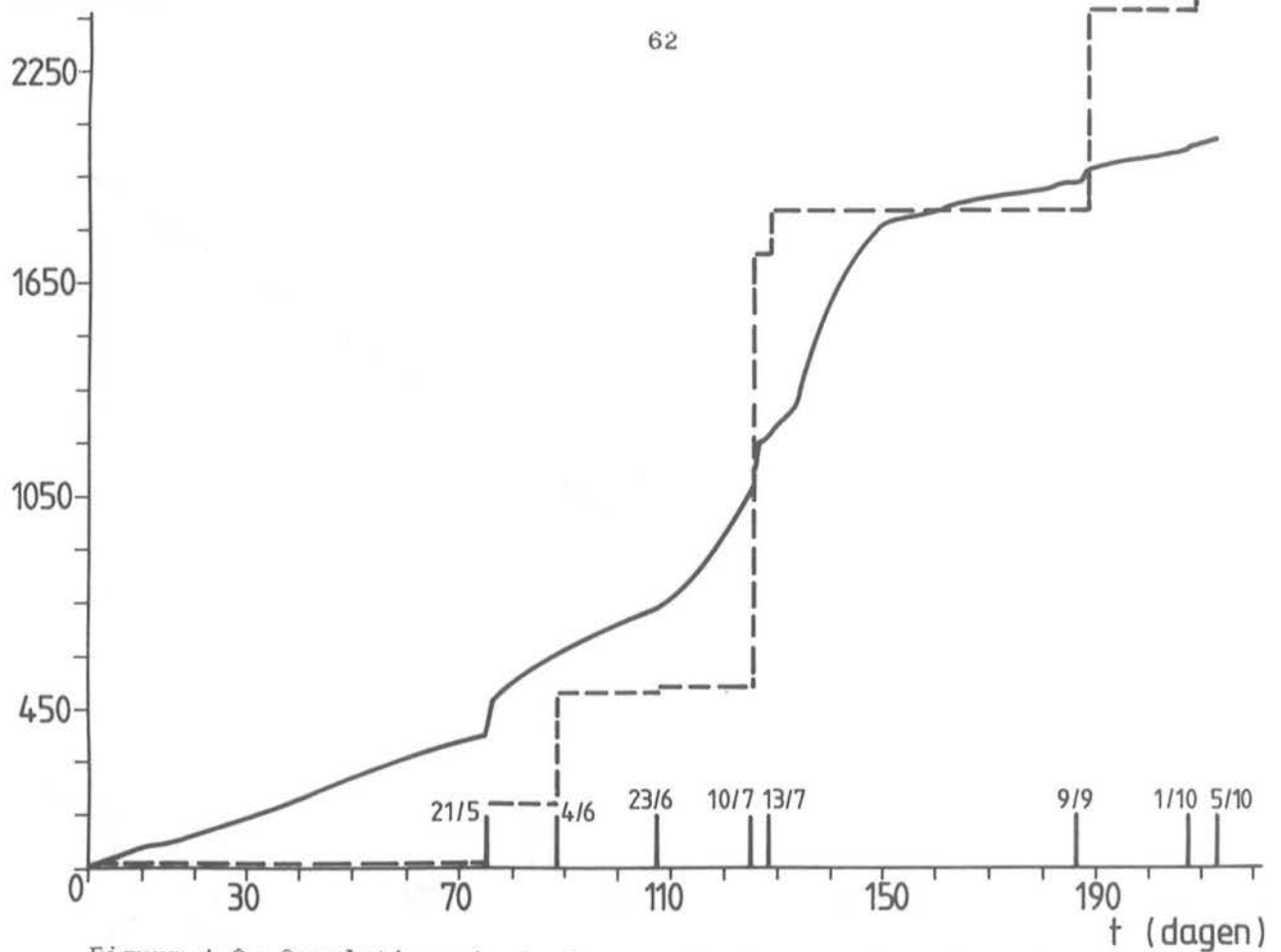


Figuur 4-3a Cumulatieve afvoer van de vijver over de onderzoeksperiode



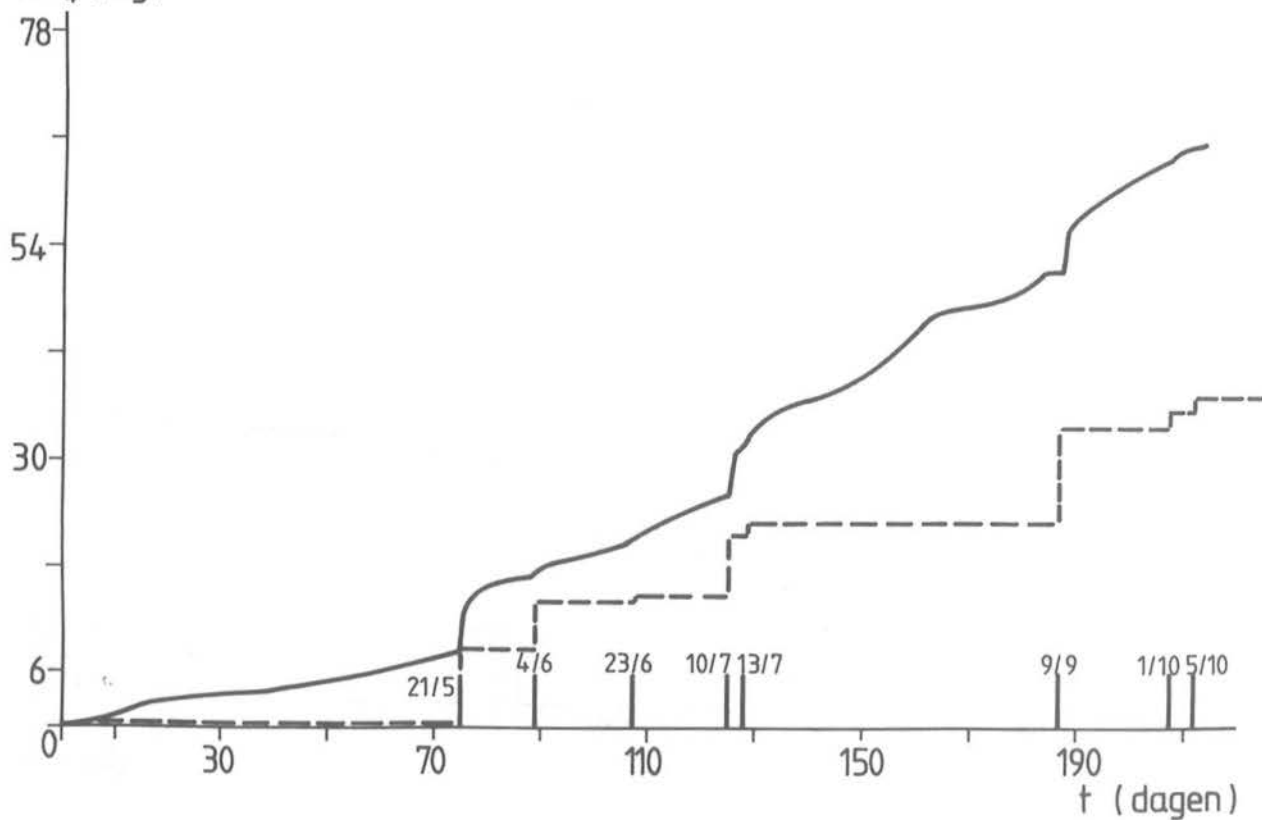
Figuur 4-3b Cumulatieve emissie over de onderzoeksperiode voor gloeirest

zwevende stof



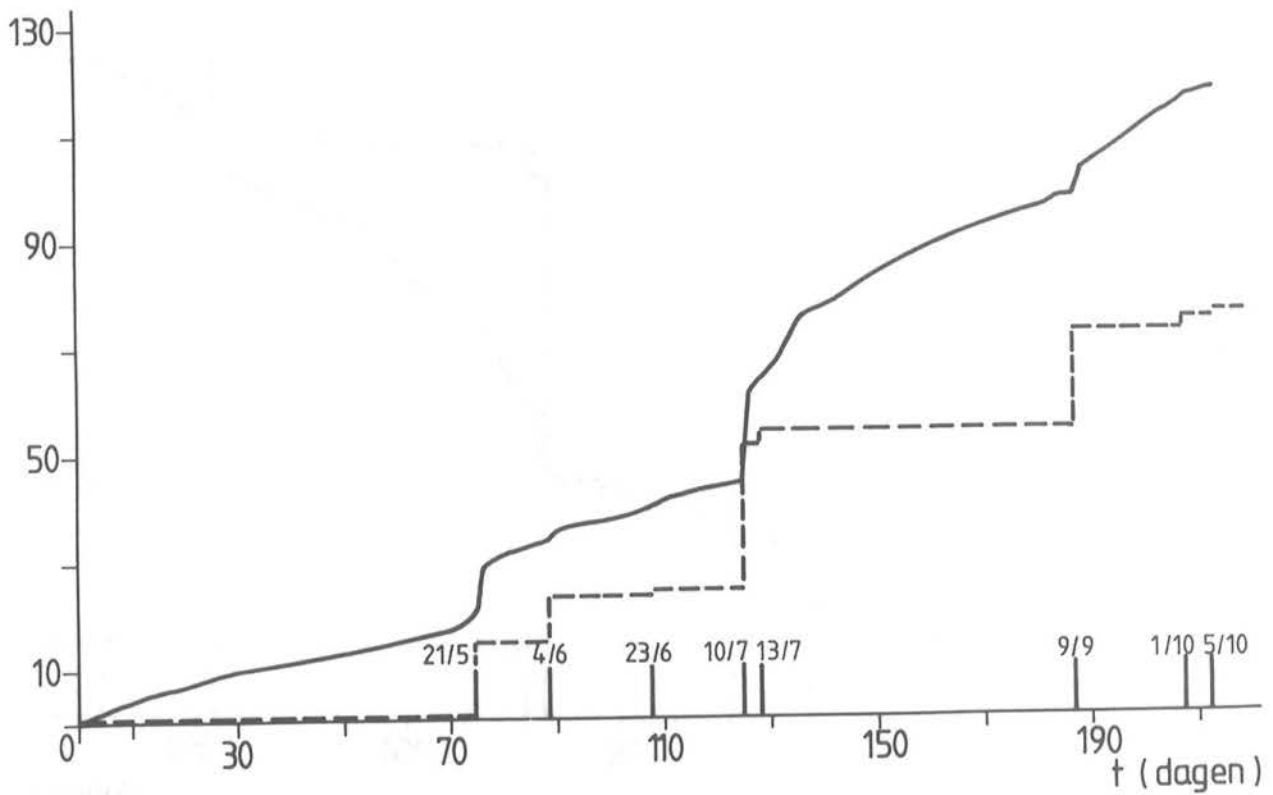
Figuur 4-3c Cumulatieve immissie en emissie over de onderzoeksperiode voor zwevende stof

NH_4 (kg)



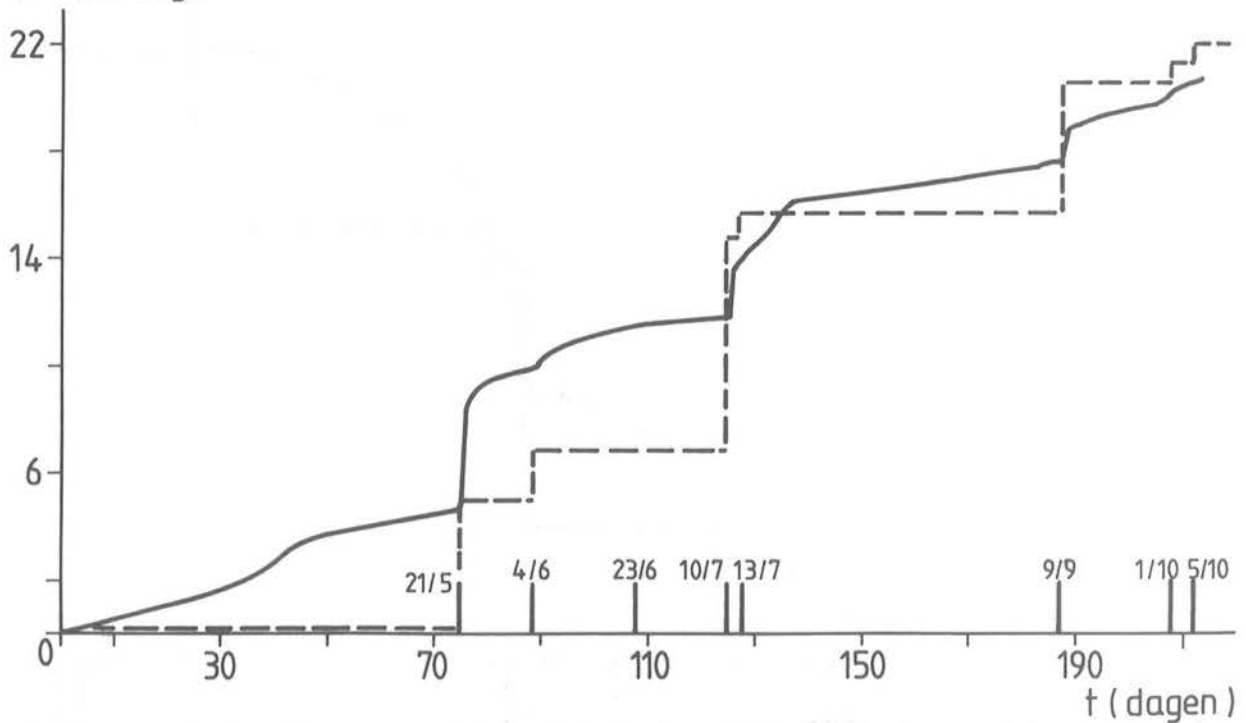
Figuur 4-3d Cumulatieve immissie en emissie over de onderzoeksperiode voor ammonium-stikstof

N - Kj (kg)

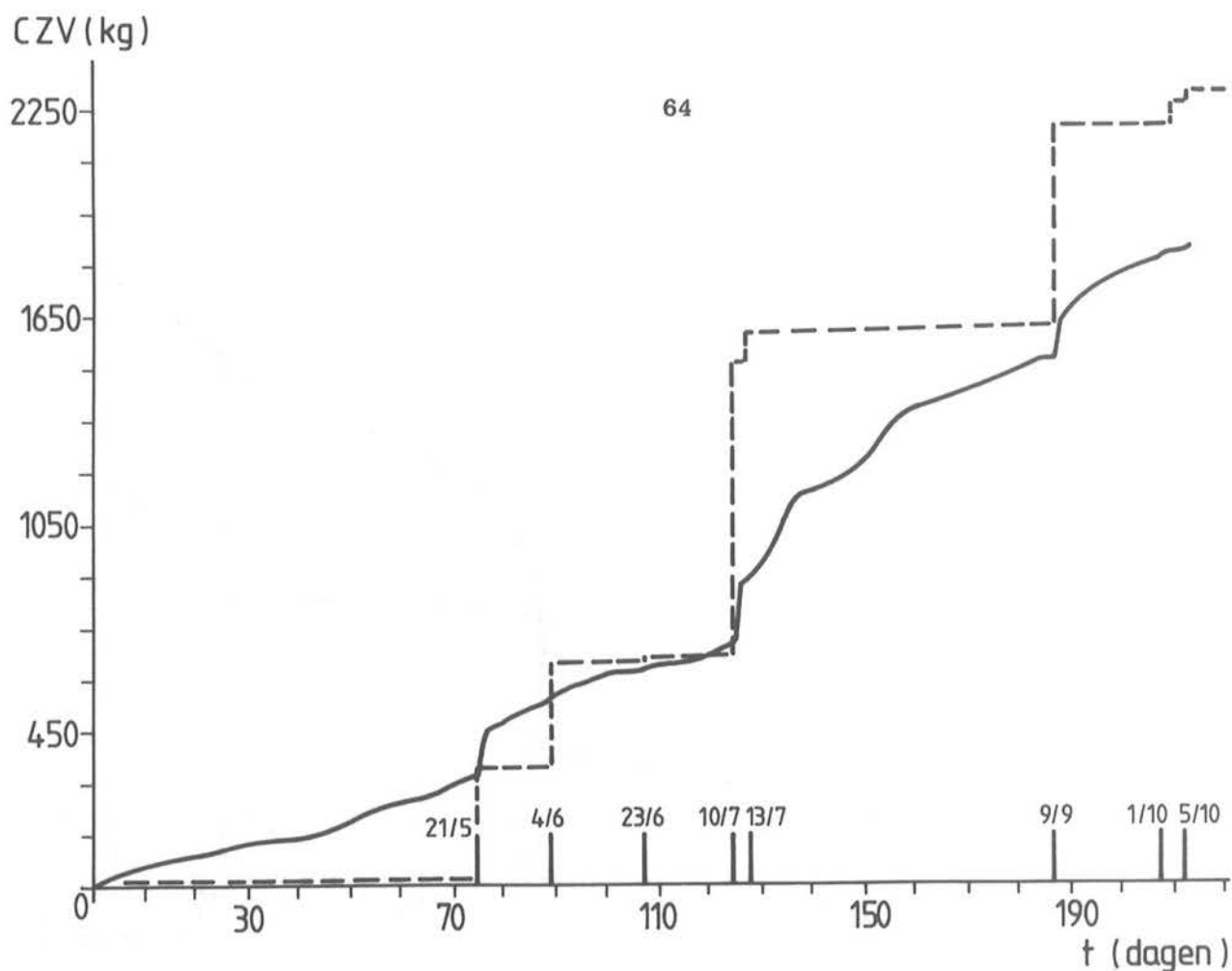


Figuur 4-3e Cumulatieve immissie en emissie over de onderzoeksperiode voor Kjeldahl-stikstof

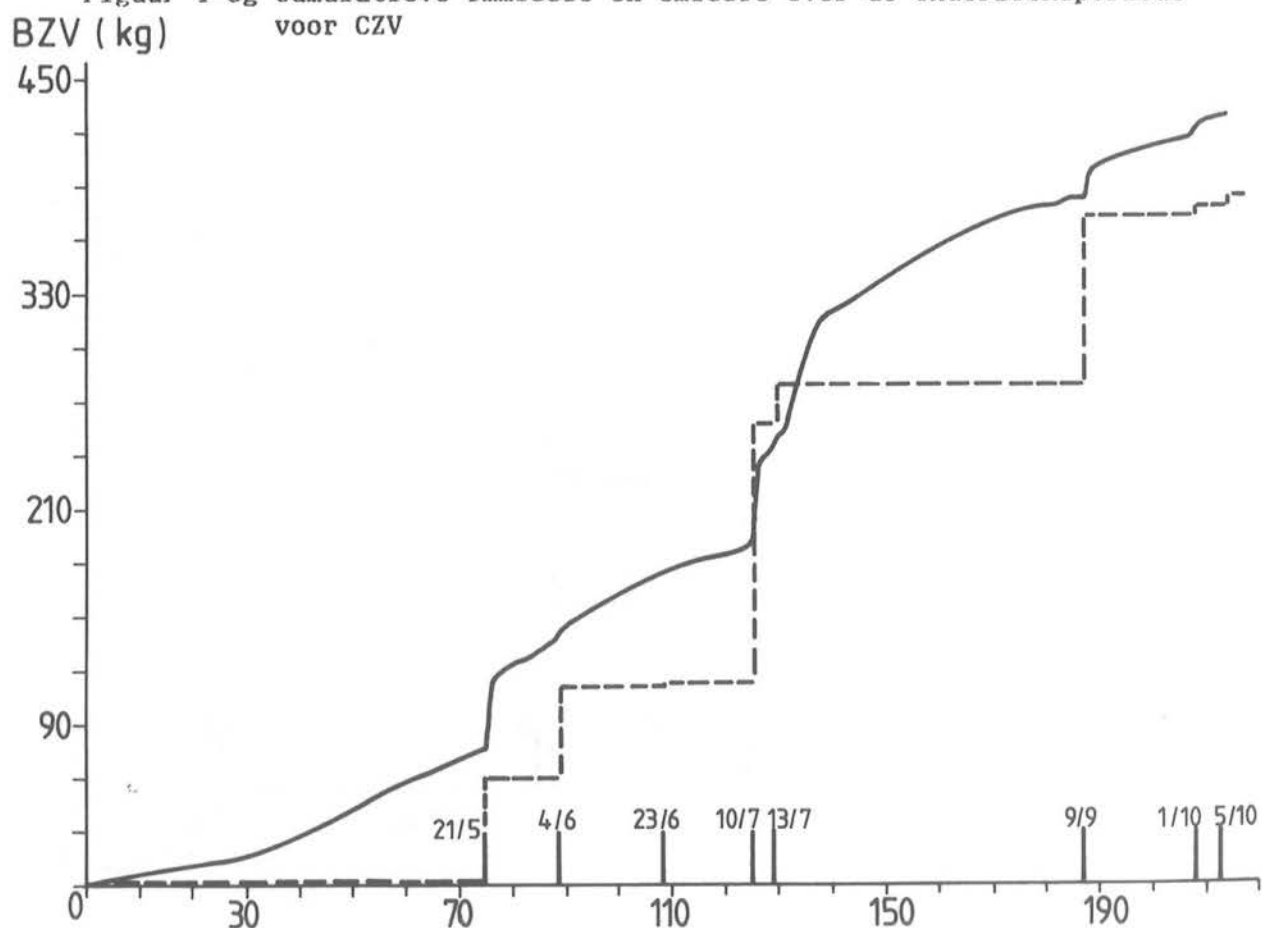
P - tot. (kg)



Figuur 4-3f Cumulatieve immissie en emissie over de onderzoeksperiode voor totaal fosfaat



Figuur 4-3g Cumulatieve immissie en emissie over de onderzoeksperiode voor CZV



Figuur 4-3h Cumulatieve immissie en emissie over de onderzoeksperiode voor BZV

In de onderstaande tabel zijn de totale vrachten over de onderzoeksperiode weergegeven.

Tabel 4-3 Totale immissie en emissie over de onderzoeksperiode

	immissie	emissie
Water (m ³)	6690	90900
Zwevende stof (kg)	2460	2060
Gloeirest (*) (kg)	1350	820
Kjeldahl stikstof (kg N)	76	116
Ammonium (**) (kg N)	37	65
Totaal fosfaat (kg P)	22	21
CZV (kg)	2270	1840
BZV (kg)	380	430

(*) Het percentage gloeirest van de immissie is niet bepaald, de in de tabel vermelde vracht is berekend aan de hand van het percentage gloeirest van de monsters genomen in de vijver op lokatie P1 tijdens een overstorting.

(**) Ook de ammoniumconcentratie in het overstortende water is niet bepaald. In de tabel is gebruik gemaakt van de concentratie Kjeldahl-N in bezonken monsters.

De totale emissie van de vijver bestaat uit een deel direct veroorzaakt door de overstortingen en een deel t.g.v. de uitgaande vracht in de achtergrondsituatie. Van de achtergrondvracht kan een schatting worden gemaakt uit het gemiddelde kweldebiet en de gemiddelde achtergrondconcentraties van de verschillende stoffen. Op deze wijze kan de totale uitgaande vracht worden onderverdeeld in een aandeel t.g.v. de overstortingen en een aandeel t.g.v. de achtergrondconcentraties (zie tabel 4-4).

Tabel 4-4 Onderverdeling van de immissie van de vijver in een aandeel t.g.v. de overstortingen en de achtergrondvracht.

	immissie (kg)	emissie (kg)	gemiddelde achtergr. concentr. (g/m ³)	aandeel achtergr. (kg)	aandeel overst. (kg)
Zwevende stof (kg)	2460	2060	11,2	920	1140
Gloeirest (kg)	1350	820	5,9	480	340
Kjeldahl-stikstof (kg N)	76	116	0,9	74	42
Ammonium (kg N)	37	65	0,5	41	24
Nitriet (kg N)	-	2	0,02	1,6	0,4
Nitraat (kg N)	-	18	0,16	13	5
Ortho fosfaat (kg P)	-	5	0,04	3,3	1,7
Totaal fosfaat (kg P)	22	21	0,12	10	11
CZV (kg)	2270	1840	12,2	1000	840
BZV (kg)	380	430	2,5	205	225

Naast de immissie uit het rioolstelsel zijn er voor een aantal stoffen ook andere externe bronnen, zoals de depositie vanuit de atmosfeer, vallend blad en de toevoer met het kwelwater. Ook vindt er in de vijver productie en afbraak plaats. In de volgende paragraaf zullen de massabalansen voor de verschillende stoffen nader worden uitgewerkt, waarbij getracht wordt de verschillende termen in de balansen te schatten.

4.3.3 Nadere uitwerking van de balansen over de onderzoeksperiode

4.3.3.1 Balans voor zwevende stof

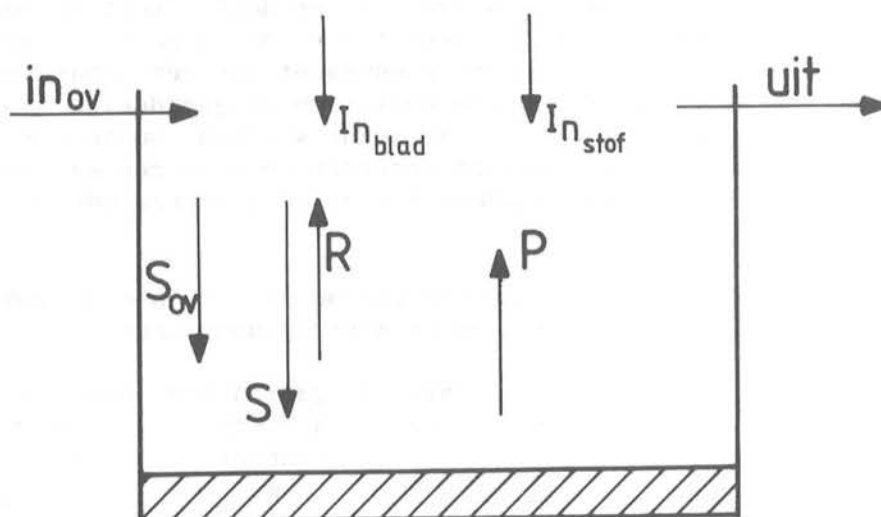
Voor gloeirest, zwevende stof en organische stof (uitgedrukt als gloeiverlies) wordt de massabalans over de onderzoeksperiode gegeven door:

$$IN_{ov} + IN_{blad} + IN_{stof} + P + R = S + S_{ov} + UIT \quad (4-3)$$

waarin:

IN_{ov}	de vracht uit het rioolstelsel
IN_{blad}	de inkomende vracht door vallend blad
IN_{stof}	de inkomende vracht door depositie vanuit de atmosfeer
P	de nettoproductie (productie - afbraak) in de achtergrond
R	de resuspensie in de achtergrondsituatie
S	de sedimentatie in de achtergrondsituatie
S_{ov}	de sedimentatie tijdens en kort na een overstorting
UIT	de totale emissie van de vijver

Alle vrachten zijn uitgedrukt in kg en berekend of geschat over de onderzoeksperiode (210 dagen). Figuur 4-4 geeft een schematisch overzicht van deze balans.



Figuur 4-4 Schematisch overzicht van de massabalans voor zwevende stof, gloeirest en gloeiverlies.

De immissie en de totale emissie van de vijver zijn bekend (zie tabel 4-3)

Van de inkomende vracht aan vallend blad kan een schatting worden gemaakt. De strooiselval (blad, vrucht en bloemdelen) voor een loofbos in de gematigde zone is ongeveer 4000 kg/ha, jaar. De totale oppervlakte van de bomensingel rond de vijver bedraagt 1500 m². Hetgeen een totale strooiselval oplevert van 600 kg/jaar. Wanneer hiervan ongeveer 10% in de vijver terecht komt is de jaarlijkse belasting van de vijver ongeveer 60 kg. Het percentage gloeirest van het strooisel is ongeveer 5%.

Over de gemiddelde depositieflux voor stof is weinig bekend. Wel zijn gegevens bekend over de depositiesnelheid van verschillende soorten deeltjes. Deze snelheid hangt af van de grootte van de deeltjes. Voor deeltjes in de orde van grootte van 10-100 μm is de depositiesnelheid ongeveer 1 cm/sec. Bij een stofconcentratie van ca. 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ levert deze depositiesnelheid een flux op van ca. 0,03 kg/m^2 , jaar. Over de onderzoeksperiode betekent dit een totale vracht van ongeveer 75 kg uitgedrukt als droge stof. Het percentage gloeirest van het stof is hoog.

De bruto sedimentatieflux in de achtergrondsituatie is gemeten m.b.v. zogenaamde sedimentvallen. Dit zijn van onderen gesloten buizen met een zodanige verhouding tussen lengte en diameter dat eenmaal in de val bezonken materiaal niet meer onderhevig is aan resuspensie. Uit de hoeveelheid materiaal die zich gedurende enige tijd in de val verzamelt kan de bruto sedimentatieflux worden berekend. De resultaten van de metingen in de achtergrondsituatie zijn vermeld in bijlage 6. De gemiddelde sedimentatieflux voor zwevende stof, gloeirest en gloeiverlies bedraagt resp. 12,9, 8,8 en 4,1 g/m^2 , dag. De accumulatie t.g.v. de overstortingen (S_{OV}) kan berekend worden uit tabel 4-4 (= totale immissie - het aandeel van de overstortingen aan de emissie). Deze term bedraagt over de onderzoeksperiode voor zwevende stof, gloeirest en gloeiverlies resp. 1320, 1010 en 310 kg.

De resuspensieflux kan niet op eenvoudige wijze worden bepaald. Een ruwe schatting hiervan kan worden verkregen uit de balans voor gloeirest, waarbij wordt aangenomen dat de gloeirest is te beschouwen als een conservatieve stof. Uit de gemiddelde dikte van de sliblaag op de bodem van de vijver en het percentage gloeirest van het slib kan de totaal in de leeftijd van de vijver (15 jaar) geaccumuleerde, hoeveelheid gloeirest worden berekend. Deze bedraagt 75.000 kg (zie bijlage 7), wat overeenkomt met een netto sedimentatie (sedimentatie-resuspensie) van 5.000 kg/jaar. Een deel daarvan is afkomstig van de overstortingen en een deel van sedimentatie in de achtergrondsituatie. Het aandeel van de overstortingen kan worden geschat uit de gemiddelde jaarlijks inkomende vracht. De emissie uit het stelsel is gedurende 3,5 jaar bemonsterd. In deze periode vonden 55 overstortingen plaats. De hieruit berekende gemiddelde jaarlijkse vracht bedraagt 6.000 kg. Het percentage gloeirest hiervan is 55%. Van de emissie uit het stelsel zal een deel ca. 25% (zie tabel 4-4) de vijver direct weer verlaten. Het aandeel van de overstortingen is dus $0,55 \cdot 0,75 \cdot 6.000 = 2475$ kg. De netto sedimentatie in de achtergrondsituatie is dan 2525 kg, wat overeenkomt met een netto sedimentatieflux voor gloeirest van 1,7 g/m^2 , dag. De gemiddelde bruto sedimentatieflux voor gloeirest in de achtergrondsituatie bedraagt 8,8 g/m^2 , dag zodat de gemiddelde resuspensieflux voor gloeirest gelijk is aan 7,1 g/m^2 , dag. Het percentage gloeirest van het in de sedimentvallen gevangen materiaal bedraagt gemiddeld 68%. Wanneer het percentage gloeirest van het geresuspendeerde materiaal gelijk is aan dat van het gesedimenteerd materiaal kan ook de resuspensieflux voor zwevende stof en gloeiverlies worden berekend. Deze bedraagt dan resp. 10,4 en 3,3 g/m^2 , dag.

Uit de balansvergelijking (verg. 4-3) kan nu de over de onderzoeksperiode gemiddelde netto productie worden berekend.

Voor zwevende stof geldt:

IN _{ov}	2460	S _{ov}	1320
IN _{blad}	≈ 60	S	11400
IN _{stof}	≈ 75	UIT	2060
R	9175	-----	+
-----	+		14780
11770 kg			11770
		-----	-
		P	3010 kg

Wat overeenkomt met een gemiddelde netto productie van 3,4 g/m², dag.

Voor gloeirest geldt:

IN _{ov}	1350	S _{ov}	1010
IN _{blad}	≈ 0	S	7760
IN _{stof}	≈ 60	UIT	820
R	6260	-----	+
-----	+		9540
7670 kg			7670
		-----	-
		P	1920 kg

Wat overeenkomt met een gemiddelde netto productie van 2,2 g/m², dag.

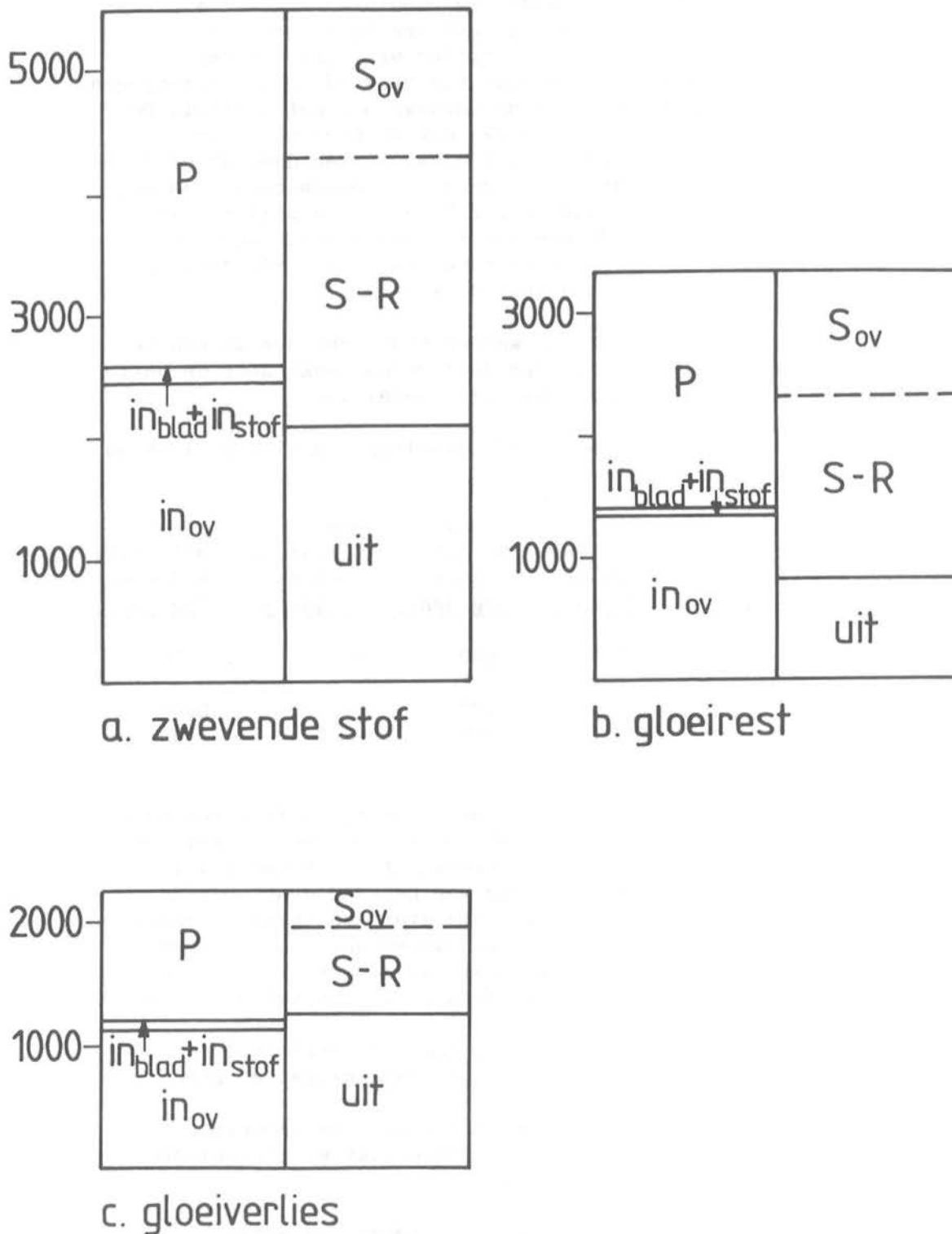
Voor gloeiverlies geldt:

IN _{ov}	1110	S _{ov}	310
IN _{blad}	55	S	3620
IN _{stof}	--	UIT	1240
R	2910	-----	+
-----			5170
4075			4075
		-----	-
		P	1095 kg

Wat overeenkomt met een gemiddelde netto productie van 1,2 g/m², dag.

De nauwkeurigheid van de berekeningen van de verschillende termen is door de vele aannamen niet erg groot. De waarden van de termen in de balans geven slechts een indicatie van de orde van grootte. De berekeningen zijn met name erg gevoelig voor de resuspensieflux, waarvan slechts een ruwe schatting gemaakt kan worden. Zo zal in werkelijkheid de gloeirest niet conservatief zijn en ook aan afbraak onderhevig zijn. Dat betekent dat de netto sedimentatie te laag geschat is en dat hiermee samenhangend de netto productie hoger zal zijn. De gloeirest kan ook toenemen in de tijd door precipitatie van Fe of Ca - zouten.

In figuur 4-5 worden de verschillende termen in de balansen van zwevende stof, gloeirest en gloeiverlies weergegeven.



Figuur 4-5 Orde van grootte van de termen in de balansen van zwevende stof, gloeirest en gloeiverlies

IN _{ov}	de vracht uit het rioolstelsel
IN _{blad}	inkomende vracht door vallend blad
IN _{stof}	inkomende vracht door depositie vanuit de atmosfeer
p	netto produktie in de achtergrondsituatie
S _{ov}	sedimentatie tijdens en kort na een overstorting
S-R	netto sedimentatie in de achtergrondsituatie
Uit	de totale emissie van de vijver

Uit deze figuren blijkt dat de emissie van rioolslib uit het stelsel verreweg de grootste bijdrage is aan de externe belasting van de vijver. De depositie van stof en de belasting met strooiselval zijn te verwaarlozen. De netto productie van zwevende stof daarentegen is van dezelfde orde van grootte als de emissie uit het stelsel. De productie van zwevende stof bestaat deels uit de productie van biomassa en deels uit de vorming van kolloïdaal ijzer door de oxidatie van gereduceerd ijzer afkomstig uit de kwel. De concentratie aan opgelost ijzer in het kwelwater is ongeveer 2,5 mg/l (zie bijlage 5). Wanneer dit ijzer volledig wordt omgezet tot onoplosbaar FeOOH betekent dat een productie aan zwevende stof van ca. 0,4 g/m², dag; wat een deel van de productie aan gloeirest verklaard.

De accumulatie van zwevende stof kan worden onderscheiden in een deel afkomstig van de overstortingen en een deel veroorzaakt door de netto sedimentatie in de achtergrondsituatie (zie tabel 4-5).

Tabel 4-5 Accumulatie van zwevende stof, gloeirest en gloeiverlies op jaarbasis.

	Achtergrond netto sedi- ment. flux (g/m ² , dag)	belasting sediment (kg/jaar)	Overstortingen belasting vijver (kg/jaar)	belasting sediment (kg/jaar)	Totaal belasting sediment (kg/jaar)
Zwevende stof	2,5	3830	6000	3240	7070
Gloeirest	1,7	2525	3300	2475	5000
Gloeiverlies	0,8	1225	2700	760	1985

De belasting van het sediment t.g.v. de overstortingen is berekend uit de totale belasting van de vijver en het percentage van de immissie dat na een overstorting in de vijver achterblijft (zie tabel 4-4). Extrapolatie van de jaarlijkse belasting van het sediment over de leeftijd van de vijver levert voor zwevende stof een totale accumulatie van 106050 kg en voor organische stof uitgedrukt als gloeiverlies van 29800 kg. Uit de dikte van de sliblaag, de droogrest en het percentage gloeiverlies kan een schatting gemaakt worden van de totaal aanwezige hoeveelheid aan slib en gloeiverlies.

Vergelijkt men deze waarden met de totaal geaccumuleerde hoeveelheid (zie tabel 4-6) dan blijkt dat er nauwelijks mineralisatie optreedt.

Tabel 4-6 Vergelijking van totaal geaccumuleerde - en aanwezige hoeveelheid zwevende stof en gloeiverlies geëxtrapoleerd over de leeftijd van de vijver.

	totaal geaccumuleerde hoeveelheid	totaal aanwezige hoeveelheid
Zwevende stof	106.050	98.200
Gloeiverlies	29.800	25.020

4.3.3.2 Stikstof

Een volledige stikstofbalans over de vijver kan niet worden gemaakt, omdat de concentraties aan nitriet en nitraat in het overstortende water niet bepaald zijn. De nitrietconcentraties in de vijver zijn altijd laag. Voor nitraat wordt alleen kort na een overstorting (2-24 uur) een verhoogde concentratie gevonden. De relatief hoge vracht aan nitraat wordt waarschijnlijk voor een belangrijk deel veroorzaakt door de emissie uit het stelsel. De lage concentratie in de achtergrond-situatie en enige dagen na een overstorting duiden erop dat er geen of nauwelijks nitrificatie optreedt.

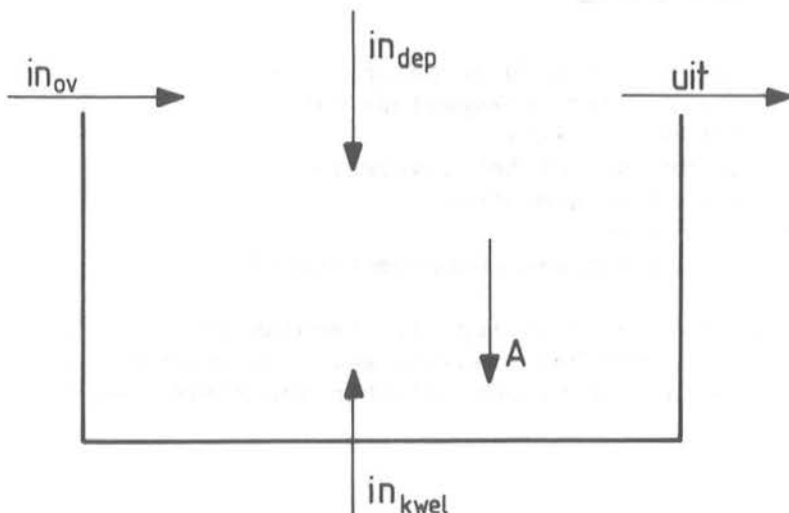
Voor ammoniumstikstof wordt de massabalans gegeven door:

$$IN_{ov} + IN_{kwel} + IN_{dep} = UIT + A \quad (4-4)$$

waarin:

IN_{ov}	de vracht uit het stelsel
IN_{kwel}	de inkomende ammoniumvracht met het kwelwater
IN_{dep}	de inkomende vracht door depositie vanuit de atmosfeer
UIT	de uitgaande vracht
A	de netto verwijdering van ammoniumstikstof door nitrificatie en biosynthese enerzijds en ammonificatie anderzijds

Figuur 4-6 toont een schematisch overzicht van deze balans.



Figuur 4-6 Schematisch overzicht van de massabalans voor ammoniumstikstof.

De emissie uit het stelsel en de uitgaande vracht zijn bekend (zie tabel 4-3) en bedragen resp. 37 en 65 kg over de onderzoeksperiode.

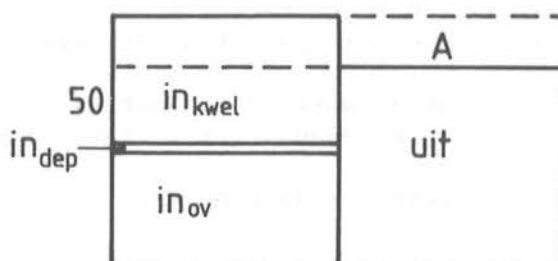
De jaarlijkse vracht aan ammonium door natte depositie ligt in de orde van 5 kg. Deze waarde is geschat uit de natte depositie gemeten op de stations Epe en Deelen van het landelijk meetnet regenwatersamenstelling [16]. Over de onderzoeksperiode bedraagt de bijdrage van de natte depositie aan ammoniumbalans ongeveer 3 kg.

De ammoniumconcentratie in de kwel ligt in de orde van 0,3 - 0,5 mg N/l (zie bijlage 8), wat overeenkomt met een inkomende vracht over de onderzoeksperiode van 25 - 41 kg.

De over de onderzoeksperiode gemiddelde afname van ammonium kan nu worden berekend uit de balansvergelijking (verg. 4-4).

	IN _{ov}	37	
	IN _{dep}	3	
	IN _{kwel}	25 (41)	
	-----		+
		65 (81)	
UIT		65	
		-----	-
		0 (16) kg	

De gemiddelde afname ligt tussen de 0 en 0,018 g/m², dag. Er treedt dus netto niet of nauwelijks nitrificatie op in de vijver. In figuur 4-7 worden de verschillende termen in de balans voor ammoniumstikstof nogmaals weergegeven.



Figuur 4-7 Orde van grootte van de termen in de balans voor ammoniumstikstof over de onderzoeksperiode (in kg)

IN_{ON} de vracht uit het stelsel
 IN_{level} de inkomende vracht met het luvelwater
 IN_{dep} depositie vanuit de atmosfeer
 UIT de uitgaande vracht
 A de nettoverwijdering van ammoniumstikstof.

De bijdrage van de kwel aan de totale belasting met ammonium is ongeveer even groot als de emissie uit het rioolstelsel. Het grootste deel van de inkomende vracht verlaat de vijver, slechts een klein deel wordt verwijderd.

4.3.3.3 Fosfaat

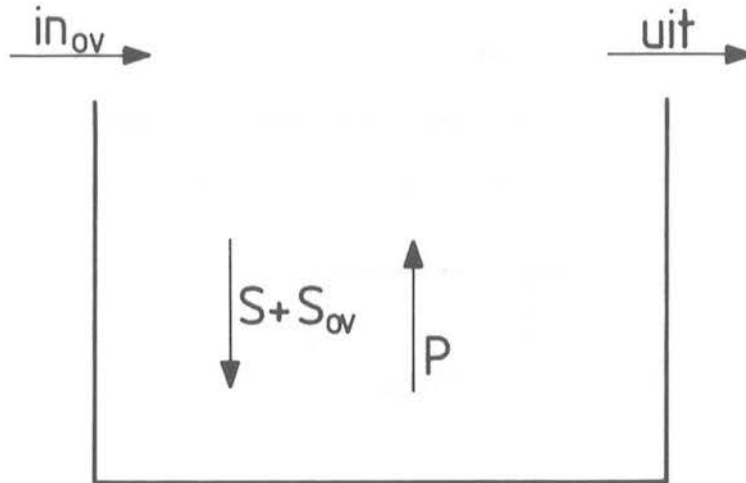
De inkomende en uitgaande vracht aan totaal-fosfaat zijn nagenoeg aan elkaar gelijk. Omdat in de fosfaathuishouding verder een groot aantal processen een rol spelen zoals: nalevering van het sediment, sedimentatie en resuspensie en opslag van P in biomassa kunnen op grond van de metingen de verschillende termen in de fosfaatbalans niet nader worden uitgewerkt.

De natte depositie van fosfaat is te verwaarlozen. Voor de meetstations Deelen en Epe is de depositieflux kleiner dan 0,004 g/m², jaar.

Uit het verschil tussen de inkomende- en uitgaande vracht over de onderzoeksperiode blijkt dat er per jaar slechts enkele kilogrammen P accumuleren in de vijver. Een schatting van de totale hoeveelheid P in het sediment leverde echter 180 kg (zie bijlage 7) wat in het geheel niet overeenkomt met een accumulatie van 1-2 kg P/jaar.

4.3.3.4 Zuurstofbindende stoffen en zuurstof

Figuur 4-8 geeft een schematisch overzicht van de CZV balans.



Figuur 4-8 Schematisch overzicht van de CZV balans

De CZV balans over de onderzoeksperiode wordt gegeven door de vergelijking:

$$IN_{ov} + P = S + S_{ov} + UIT \quad (4-5)$$

waarin:

IN_{ov}	de inkomende vracht t.g.v. de overstortingen
P	de netto productie van CZV in de achtergrondsituatie
S	de netto sedimentatie in de achtergrondsituatie
S_{ov}	de sedimentatie t.g.v. de overstortingen
UIT	de uitgaande vracht aan CZV

De belasting met CZV door vallend blad en depositie vanuit de atmosfeer zijn te verwaarlozen t.o.v. de emissie uit het rioolstelsel.

De inkomende en de uitgaande vracht aan CZV bedraagt resp. 2270 en 1840 kg (zie tabel 4-3).

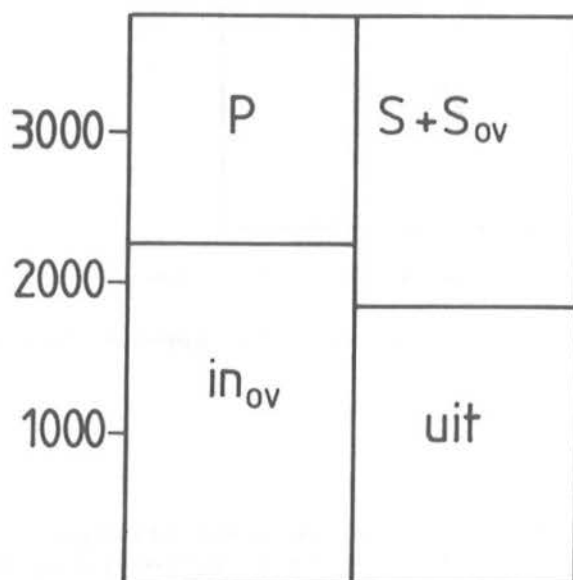
De netto sedimentatieflux van CZV in de achtergrondsituatie is niet bekend. Deze kan worden geschat uit de netto sedimentatieflux van organische stof wanneer wordt aangenomen dat de verhouding tussen CZV en organische stof 1,4 bedraagt. De netto sedimentatieflux van organische stof in de achtergrondsituatie is $1,2 \text{ g/m}^2, \text{ dag}$. De sedimentatie t.g.v. de overstortingen in de onderzoeksperiode bedraagt 310 kg, zodat totaal 1370 kg organische stof sedimenteert. De totale sedimentatie aan CZV bedraagt dan $1,4 \cdot 1370 = 1920 \text{ kg}$.

De netto productie aan CZV kan nu worden berekend uit vergelijking 4-5.

UIT	1840
S + S _{ov}	1920
	----- +
	3760
IN _{ov} 2270	2270
	----- -
	P = 1490 kg

De gemiddelde netto productie aan CZV bedraagt dan: 1,7 g/m², dag.

In figuur 4-9 worden de verschillende termen van de CZV-balans nogmaals weergegeven.



Figuur 4-9 Orde van grootte van de termen in de CZV-balans over de onderzoeksperiode (in kg)

De CZV balans over de onderzoeksperiode kan worden gekoppeld aan een zuurstofbalans. Er geldt voor zuurstof:

$$P + R - SZV - \Delta CZV - O_{2, uit} = 0 \quad (4-6)$$

waarin:

P	de netto zuurstofproductie
R	de aanvoer van zuurstof door reaëratie
SZV	het totale zuurstofverbruik van het sediment
ΔCZV	het verschil tussen de inkomende en uitgaande vracht aan chemisch zuurstofverbruik
$O_{2, uit}$	de totale uitgaande vracht aan zuurstof

De reaëratieflux kan berekend worden uit het gemiddelde deficit:

$$R = K_l \cdot D \quad (4-7)$$

met:

K_l	de reaëratieconstante (dag ⁻¹)
D	het gemiddelde deficit (g/m ³)

Het gemiddelde deficiet over de onderzoeksperiode is berekend door integratie van de gemeten zuurstofconcentratie over de onderzoeksperiode. De waarde hiervan is gelijk aan 5,8 mg/l. De reaëratieconstante is een aantal malen gemeten. Voor de meetmethode en de resultaten van de metingen wordt verwezen naar bijlage 3. De gemiddelde waarde van de reaëratieconstante bedraagt 0,185 dag⁻¹.

Het zuurstofverbruik van het sediment hangt af van de concentratie aan zuurstof in het bovenstaande water. Bij de gemiddelde concentratie in de vijver bedraagt de waarde ongeveer 0,7-0,8 g/m², dag (zie deelonderzoek sedimentonderzoek [6]).

Het verschil tussen de inkomende - en uitgaande CZV vracht is gelijk aan 440 kg (zie tabel 4-3). De totale uitgaande vracht aan zuurstof is berekend door integratie van de afvoer van de vijver x de zuurstofconcentratie en is gelijk aan 470 kg.

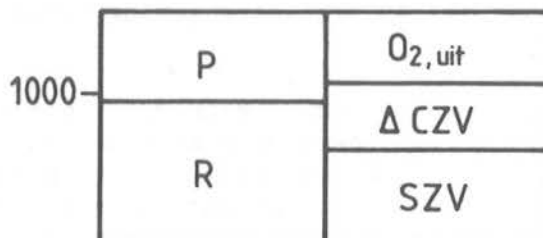
De netto zuurstofproductie kan nu worden berekend uit vergelijking 4-6

SZV	620	
CZV	440	
0,2,uit	470	
-----	+	
	1530	R 950
	950	950

P	580 kg	

Wat overeenkomt met een gemiddelde netto productie van 0,7 g/m², dag

Figuur 4-10 toont nogmaals de verschillende termen in de zuurstofbalans.



Figuur 4-10 Orde van grootte van de termen in de zuurstofbalans over de onderzoeksperiode (in kg)

P	netto zuurstofproductie
R	reaeratie
SZV	zuurstofverbruik van het sediment
ΔCZV	verschil tussen inkomende - en uitgaande vracht aan CZV
O _{2,uit}	uitgaande O ₂ -vracht

De puttermen in de zuurstofbalans, de doorspoeling met zuurstofloze kwel, het zuurstofverbruik van het sediment en de zuurstof nodig voor de afbraak van CZV, zijn allemaal van dezelfde orde van grootte. De netto productie van zuurstof is laag ca. 0,7 g/m², dag. Samen met de puttermen in de balans verklaart dat de lage gemiddelde zuurstofconcentratie in de vijver. De gemiddelde zuurstofconcentratie over de onderzoeksperiode bedraagt 4,5 mg/l.

4.3.4 Productie en mineralisatie

In de vorige paragraaf is uit de massabalansen een schatting gemaakt van de netto productie van organische stof, CZV en zuurstof. Uit de balans van gloeiverlies volgt een waarde voor de netto productie van organische stof van $1,2 \text{ g/m}^2$, dag. Volgens de onderstaande reactievergelijking, die de omzetting van koolstofdioxide en nutriënten in biomassa beschrijft, volgt voor een dergelijke productie aan organische stof een netto zuurstofproductie van $1,4 \cdot 1,2 = 1,7 \text{ g/m}^2$, dag.



Deze waarde komt niet overeen met de uit de balans voor zuurstof geschatte netto productie. De geschatte productie is veel lager, deze bedraagt slechts $0,7 \text{ g/m}^2$, dag. De uit de CZV balans geschatte productie ($1,7 \text{ g/m}^2$, dag) komt wel goed overeen met de nettoproductie aan biomassa.

De discrepantie tussen de productie aan zuurstof en organische stof geeft nog eens aan hoe moeilijk het is goede schattingen te maken van de verschillende termen in de balansen. Door de vele aannamen zijn de resultaten van de berekeningen niet erg nauwkeurig. Het is mogelijk dat de geschatte zuurstofproductie te laag is door een te lage schatting van het sedimentzuurstofverbruik en/of door overschatting van de reaëratie. Mogelijk is de werkelijke zuurstofproductie hoger doordat een deel van de zuurstof wordt geproduceerd door waterplanten en rechtstreeks wordt afgegeven aan de atmosfeer. De aldus geproduceerde zuurstof wordt dan niet teruggevonden in de uitgaande zuurstofvracht. Overigens is m.b.v. de geschatte termen in de zuurstofbalans wel het lage gemiddeld zuurstofgehalte te verklaren. Mogelijk is dan ook de schatting van de productie aan organische stof en CZV aan de hoge kant. Bijv. wanneer er nalevering van organische stof en CZV uit het sediment plaats vindt (een term die niet in de balansen is meegenomen) zal de schatting van de netto productie aan biomassa lager uitvallen.

Uit de reactievergelijking voor de vorming van organische stof volgt dat uit 1 mg ammoniumstikstof ongeveer 8 mg biomassa gevormd kan worden. Bij een netto productie aan organische stof van $1,2 \text{ g/m}^2$, dag zou dit moeten leiden tot een netto afname van ammonium van $0,15 \text{ g/m}^2$, dag. De uit de ammoniumbalans geschatte waarde voor de afname ligt veel lager ($0 - 0,018 \text{ g/m}^2$, dag). Bekend is echter dat het stikstofgehalte van biomassa sterk kan variëren.

Nogmaals zij vermeld dat de geschatte waarde van de verschillende termen slechts een indruk geven van de orde van grootte en de nauwkeurigheid van de berekeningen niet erg groot is. Op grond van de geschatte productie kan echter wel worden geconcludeerd dat de productiviteit van de vijver niet erg groot is. Een netto productie van biomassa van 1 à 2 g/m^2 , dag duidt op een matig eutroof systeem. Ook de lage chlorofylconcentraties duiden hierop (zie deelonderzoek hydrobiologische effecten [7]). Voor de geringe productiviteit zijn de volgende oorzaken aan te wijzen:

- De nutriëntenconcentraties in de vijver zijn vrij laag. De concentratie aan ortho-fosfaat varieert in de achtergrondsituatie tussen de 0 en 50 $\mu\text{g P l}$. Na een overstorting nemen de concentraties aan nutriënten weliswaar toe, maar door de doorspoeling met nutriënten-arm kwelwater nemen de concentraties ook snel weer af.
- Mogelijk blijft de biomassaconcentratie laag door uitspoeling, met name bij lage temperaturen (veroorzaakt door de kwel) kan de groeisnelheid van de algen lager zijn dan de uitspoelsnelheid (gemiddeld ongeveer 0,1 per dag).
- Een andere oorzaak is de hoge extinctiecoëfficiënt veroorzaakt door het kolloïdale ijzer. In de achtergrondsituatie varieert de extinctiecoëfficiënt tussen 2 en 4 per meter, waardoor licht mogelijk een beperkende factor voor de groei kan zijn.

Het is niet duidelijk welke van de genoemde oorzaken de lage productiviteit van de vijver verklaart. Waarschijnlijk speelt een combinatie van factoren een rol.

De mineralisatie van organische stof vindt plaats zowel in de waterfase als in het sediment. De mineralisatie in de waterfase is niet afzonderlijk te bepalen. Uit de massabalansen volgt alleen de netto productie (productie - mineralisatie).

De mineralisatie van organische stof in het sediment kan geschat worden uit de totale accumulatie van gloeiverlies en de totaal op de bodem aanwezige hoeveelheid gloeiverlies (zie tabel 4-6). Uit deze tabel blijkt dat er in 15 jaar 4.780 kg organische stof is gemineraliseerd, wat overeenkomt met een mineralisatiesnelheid van gemiddeld 0,2 g/m^2 , dag. De waarde van de aldus gevonden mineralisatiesnelheid is erg laag. De balans over het slib is bijzonder onnauwkeurig enerzijds door de sterke variaties van de sedimentatie in tijd en plaats, anderzijds door de inhomogene verdeling van het slib op de bodem. Op grond van het sedimentzuurstofverbruik (0,7 g/m^2 , dag) zou men een mineralisatiesnelheid verwachten van $0,7/1,4 = 0,5 \text{ g/m}^2$, dag. Naast de aerobe afbraak zal er met name in de diepere sedimentlagen ook anaerobe mineralisatie plaatsvinden. Over deze mineralisatiesnelheid is niets bekend, echter gezien de lage temperatuur van het kwelwater is te verwachten dat de invloed hiervan niet erg groot zal zijn.

4.4 Conclusies

De balansen over de bemonsterde overstortingen geven inzicht in de bufferende werking van de vijver voor het aangrenzende oppervlaktewater. Er is geen eenduidige samenhang tussen het vangstpercentage van de vijver en de grootte resp. duur van de overstorting.

Het vangstpercentage is voor zwevende stof het grootst en voor ammonium het kleinst.

Uit de onderverdeling van de totale emissie in een aandeel van de overstortingen en een achtergrondvracht blijkt dat een aanzienlijk deel van de emissie uit het stelsel de vijver verlaat. Het percentage van de emissie uit het stelsel dat de vijver verlaat is voor gloeirest het laagst (25%) en voor ammonium het hoogst (68%).

Voor de meeste stoffen is de emissie uit het stelsel de belangrijkste bijdrage aan de externe belasting van de vijver. Voor ammonium is de belasting t.g.v de kwel ongeveer gelijk aan de inkomende vracht t.g.v de overstortingen.

De invloed van de resuspensie op het gedrag van het gesuspendeerd materiaal is in de achtergrondsituatie groot. Zo is bijv. de bruto sedimentatieflux voor zwevende stof gelijk aan $12,9 \text{ g/m}^2$, dag en de resuspensieflux is $10,4 \text{ g/m}^2$, dag, zodat de netto sedimentatieflux gelijk is aan $2,5 \text{ g/m}^2$, dag. Voor de waarde van de resuspensieflux kan slechts een ruwe schatting worden gemaakt.

De netto productie van gesuspendeerd materiaal is een belangrijke term. Zo is de productie van zwevende stof en gloeirest groter dan de externe belasting. Voor organische stof is de netto productie ongeveer even groot als de externe belasting. De over de onderzoeksperiode gemiddelde productie van zwevende stof, gloeirest en gloeiverlies bedraagt resp. 3,4, 2,2 en $1,2 \text{ g/m}^2$, dag. De netto productie van zwevende stof en gloeirest kan voor een deel ($0,4 \text{ g/m}^2$) verklaard worden uit de vorming van kolloïdaal ijzer.

Voor fosfaat is het niet mogelijk op grond van de resultaten de verschillende termen in de balans nader uit te werken.

Een schatting van de gemiddelde netto productie aan CZV levert een waarde van $1,7 \text{ g/m}^2$, dag, wat niet overeenkomt met de geschatte netto zuurstofproductie van $0,7 \text{ g/m}^2$, dag.

Alhoewel de resultaten van de berekeningen onnauwkeurig zijn en de termen in de verschillende balansen slechts een indruk van de orde van grootte geven, kan geconcludeerd worden dat de productiviteit van de vijver niet erg hoog is.

Uit de vergelijking van de totale belasting van het sediment met organische stof en de totaal op de bodem aanwezige hoeveelheid organische stof blijkt dat er slechts een gering deel van de organische stof is gemineraliseerd. De gemiddelde mineralisatiesnelheid is $0,2 \text{ g/m}^2$, dag.

LITERATUUR

1. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Onderzoeksplan: NNRW, 1982.
2. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 9: Globaal onderzoek naar de gevolgen van de vuiluitworp van rioolstelsels voor de kwaliteit van het ontvangende water, projektvoorstel, Landbouwhogeschool Wageningen, juni 1984, Wageningen.
3. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 10.1: Effecten van directe vuilemissies uit het gemengde rioolstelsel van Loenen op de waterkwaliteit van de ontvangende bergingsvijver, projektvoorstel; DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV en Landbouwhogeschool Wageningen, september 1983, Amersfoort.
4. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 5: Project 38B 3e fase: Vuilemissie van rioolstelsels. Tweede rapport inzake de metingen aan de vuilemissie van rioolstelsels; DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, november 1985, Amersfoort.
5. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 10.1: deelrapport I: Effecten van directe vuilemissies uit het gemengde rioolstelsel van Loenen op de waterkwaliteit van de ontvangende bergingsvijver, Deelonderzoek I; DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, februari 1986, Amersfoort.
6. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 10.1: deelrapport 3: Effecten van directe vuilemissies uit het gemengde rioolstelsel van Loenen op de waterkwaliteit van de ontvangende bergingsvijver, Deelonderzoek IV en V; Landbouwhogeschool Wageningen, februari 1986, Wageningen.
7. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 10.1: deelrapport 4: Effecten van directe vuilemissies uit het gemengde rioolstelsel van Loenen op de waterkwaliteit van de ontvangende bergingsvijver, Deelonderzoek VI; Landbouwhogeschool Wageningen, februari 1986, Wageningen.
8. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 10.1: Effecten van directe vuilemissies uit het gemengde rioolstelsel van Loenen op de waterkwaliteit van de ontvangende bergingsvijver, Overzichtsrapport; DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, oktober 1982, Amersfoort.
9. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 5: Project 38B 3e fase: Vuilemissie van rioolstelsels, Eerste rapport inzake de metingen aan de vuilemissie van rioolstelsels, DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, oktober 1982, Amersfoort.
10. Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit; Thema 5: Project 38B 3e fase: Vuilemissie van rioolstelsels, Derde rapport inzake de metingen aan de vuilemissie van rioolstelsels; DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, november 1984, Amersfoort.
11. Nelder, J.A. and Mead, R.; A simplex method for function minimization; The Computer Journal; Vol. 7; January 1965.
12. Elzawahry, A.E. and James, W.; Program TotSed: Transient sediment deposition and resuspension in a one-dimensional zone between an outfall and a receiving water, Background Theory and User's Manual; CHI Publications report R79/80; Hamilton Canada, February 1982.
13. Huber, W.C., Heaney, J.P., Medina, M.A., Peltz, W.A., Sheikh, H. and Smith, G.F.; Storm Water Management Model User's Manual Version II, EPA-607/2-75-017 (NTIS PB 257 809, E.P.A.), Cincinnati, OH, March 1975.

14. Bowie, G.L., Mills, W.B., Porcella, D.P., Campbell, C.L., Pagenkopf, J.R.; Rates, constants and kinetics formulations in surface water quality modelling (second edition); Environmental Research Laboratory U.S. E.P.A., Athens, Georgia, June 1985.
15. Nationale Werkgroep Riolerings en Waterkwaliteit; Thema 1: Overstortsituaties in Nederland; VROM en RIVM; juni 1984, Den Haag.
16. KNMI en RIVM. Chemical composition of precipitation over the Netherlands, Annual report 1983; KNMI en RIVM; 1985, De Bilt en Bilthoven.

Bijlage 1. Een aantal waargenomen variabelen in het overstortende water.

Overstorting 42 21/5
Start Overstorting 21/5 12:30

Tijdstip monstername (min. na 21/5 0:00 uur)	EGV (uS/cm)	BZV na bezinken (mg/l)	Verschil BZV tot en BZV na bezink. (mg/l)	Zwevende stof (mg/l)
742.5	270.	44.	7.	31.
747.0	270.	46.	2.	125.
751.5	255.	41.	11.	139.
758.0	160.	21.	26.	207.
767.5	160.	26.	39.	196.
780.0	160.	29.	16.	152.
841.0	200.	30.	6.	66.
904.0	165.	21.	11.	72.
920.0	155.	21.	9.	115.
935.0	130.	16.	8.	95.
1016.0	150.	14.	6.	57.
1126.5	125.	15.	0.	16.

Overstorting 43 04/6
Start Overstorting 04/6 6:50

Tijdstip monstername (min. na 06/6 0:00 uur)	EGV (uS/cm)	BZV na bezinken (mg/l)	Verschil BZV tot en BZV na bezink. (mg/l)	Zwevende stof (mg/l)
1850.0	106.	17.	0.	86.
1851.0	97.	21.	0.	98.
1853.0	103.	24.	17.	144.
1855.0	107.	33.	74.	391.
1857.0	86.	27.	52.	828.
1860.0	84.	27.	76.	695.
1864.0	95.	46.	61.	775.
1878.0	112.	34.	26.	293.
1893.0	114.	26.	8.	381.
1894.0	113.	25.	6.	292.
1936.0	120.	21.	0.	281.

Overstorting 45 10/7 en 13/7 1984
Start Overstorting 10/7 21:05 uur
Start Overstorting 13/7 15:31 uur

Tijdstip monstername (min. na 10/7 0:00 uur)	EGV (uS/cm)	BZV na bezinken (mg/l)	Verschil BZV tot en BZV na bezink. (mg/l)	Zwevende stof (mg/l)
1260.0	215.	76.	89.	604.
1261.0	210.	84.	106.	1481.
1262.0	175.	92.	122.	1461.
1264.0	145.	57.	101.	1199.
1266.0	155.	50.	62.	1232.
1269.0	160.	55.	18.	986.
1274.0	180.	55.	74.	1374.
1281.0	155.	55.	100.	1207.
1304.0	160.	55.	35.	1083.
1306.0	135.	30.	26.	544.
1338.0	135.	30.	14.	460.
5181.0	205.	35.	18.	453.
5184.0	195.	43.	5.	433.
5187.0	188.	25.	32.	571.
5191.0	144.	39.	13.	519.
5201.0	117.	26.	24.	550.
5211.0	115.	18.	0.	706.
5212.0	102.	19.	0.	851.
5236.0	128.	17.	2.	406.

Bijlage 2. Een aantal waargenomen variabelen in de bergingsvijver tijdens en na een overstorting.

PLATFORM 1
21/5 12:30

FLES	DATUM	TIJD	SS	GLR	BZV	NKJ	NH4	CZV	EGV	pH
1	840521	1240	12.8	6.0	12.6	0.55	0.26	58.6	310	6.75
2	840521	1310	29.2	10.2	12.0	1.85	0.87	63.0	300	6.78
3	840521	1340			25.3	4.34	2.29	99.6	250	6.98
4	840521	1410	61.7	27.0	20.2	3.81	1.9	76.8	273	6.84
5	840521	1440	57.0	28.0	19.5	3.53	1.86	68.0	267	6.88
6	840521	1510	73.8	35.4	24.1	5.07	2.83	92.6	250	6.82
7	840521	1540	73.2	30.6	24.5	4.28	2.72	92.6	240	6.84
8	840521	1610	61.4	24.9	23.1	4.00	2.83	80.9	244	6.82
9	840521	1640	51.4	20.3	22.8	4.09	2.65	86.7	238	6.80
10	840521	1710	53.4	25.8	22.4		2.52	69.7	243	6.80
11	840521	1740			21.9		2.30	69.2	244	6.78
12	840521	1810	53.5	25.7	22.6		2.56	59.8	242	6.80
13	840521	1840			20.8	2.97	1.90	56.3	250	7.05
1	840521	1930	47.5	30.4					230	6.70
2	840521	2000	48.6	30.2	16.6	3.78	2.72	62.0	223	6.70
3	840521	2030							219	6.72
4	840521	2100							216	6.69
5	840521	2130							224	6.66
6	840521	2200	43.0	22.4	17.3	3.70	2.43	60.8	229	6.71
7	840521	2230							225	6.66
8	840521	2300							245	6.59
9	840521	2330							229	6.65
10	840521	2400							239	6.60
11	840522	030	34.6	22.6	14.3	3.33	2.15	42.7	254	6.65
12	840522	100							255	6.57
13	840522	130							259	6.50
14	840522	200							280	6.55
15	840522	230	29.1	20.2		2.27	1.76	33.0	273	6.64
16	840522	300							267	6.70
17	840522	330							274	6.45
18	840522	400							263	6.49
19	840522	430							263	6.45
20	840522	500	34.1	22.0	8.1	2.58	2.00	32.7	260	6.60
21	840522	530							251	6.40
22	840522	600							249	6.45
23	840522	630			11.2	2.63	2.00	39.2	255	6.52
24	840522	700							255	6.75
14	840522	1400			10.1	1.74	1.29	28.3	280	6.70
15	840522	1800							285	6.70
16	840522	2200							285	6.74
17	840523	200							285	6.74
18	840523	600							289	6.75
19	840523	1000							290	6.78
20	840523	1400	23.1	9.5	10.1	1.57	1.22	24.3	290	6.78
21	840523	1800							292	6.70
22	840523	2200			8.2				294	6.79
24	840524	600				1.43	0.57		296	6.78
26	840524	1400							305	6.84
28	840524	2200							305	6.80
30	840525	600	12.0	9.5		0.79	0.76	3.7	305	6.79

PLATFORM 2
21/5

FLES	DATUM	TYD	SS	GLR	BZV	NKJ	NH4	CZV	EGV	PH
1	840521	1322	7.9	4.8	7.4	0.34	0.16	13.1	330	6.85
2	840521	1522	25.6	13.3		1.51	1.32	18.5	320	-99
3	840521	1722	59.4	37.5	23.9	4.20	2.13	66.7	233	7.15
4	840521	1922							222	
5	840521	2122	45.4	28.3	19.3	4.14	2.45	66.7	219	6.84
6	840521	2322							222	
7	840522	122	37.9	23.4	17.8		2.0	49.7	227	6.3
8	840522	322							227	
9	840522	522	29.7	19.2	15.5		2.37	51.5	229	6.85
10	840522	722							248	
11	840522	922							235	
12	840522	1122	32.7	21.6			2.13	61.4	249	6.77
13	840522	1415	23.1		10.1	2.71	1.57	19.6	280	6.64
14	840522	1815							280	6.60
15	840522	2215							285	6.62
17	840523	615							286	6.62
19	840523	1415			10.5	2.38	1.29	15.0	284	6.62
21	840423	2215	18.6			1.76	1.17	19.1		
23	840524	615							286	6.62
25	840524	1415			11.8		0.40		295	6.62
27	840524	2215			9.5		0.43		299	6.75
29	840525	615			7.7	1.51		6.9	310	6.80
30	840525	1015					0.72			

Bijlage 2

21/5 12:30

LOKATIE L4

FLES	DAT	TIJD	SS	GLR	BZV	NJK	NH4	NO2	NO3	PO	PT	CZV	EGV
1	840521	1415	6.9		1.8		0.43	0.0	0.12	122	107.6	11.1	340
2	840521	1815	55.2	28.0	21		2.57	0.15	0.90	619	2045.2	62.0	216
3	840521	2215			18.4		2.93	0	0.94	574	2421.9	64.3	220
4	840522	215	41.1	19.9	15.8		2.46	0	0.75	522	1399.3	45.0	240
5	840522	615	30.4	17.8			2.36	0.11	0.69	427	1184.0	46.2	250
6	840522	1015	33.8	16.6	12.4		2.27	0.14	0.61	314	1076.4	38.5	255
1	840522	1415				2.97	1.86	0	0.45	147		37.6	274
2	840522	1815			8.7								292
3	840522	2215											288
4	840523	215											305
5	840523	615				1.52							290
6	840523	1015											286
7	840523	1415			7.4								285
8	840523	1815											282
9	840523	2215				2.00	1.32	0		54		12.7	288
10	840524	215											285
11	840524	615								22			288
12	840524	1015			5.2								295
	840524	1415					0.87						296
	840524	1815											299
--	840524	2215											310
16	840525	215			4.7	1.32							305
17	840525	615					0.96	0				10.4	310
1	840525	1015			3.5								330
2	840525	1415				1.57		0	0		237	21.9	330
3	840525	1815											340
4	840525	2215											340
5	840526	215			4.2								340
6	840526	615											340
7	840526	1015				0.73		0	0.15				310
8	840526	1415											310
9	840526	1815											320
10	840526	2215			2.7								340
11	840527	215											340
12	840527	615											340
13	840527	1015											340
14	840527	1415				0.34	0.67	0	0.34		108	19.1	300
15	840527	1815											320
16	840527	2215											310
17	840528	215											330
18	840528	615											340
19	840528	1015				0.67	0.30	0	0.21		130	17.9	340
20	840528	1415			1.2								340
21	840528	1815											340
22	840528	2215											350
	840529	215											350
	840529	615			4.0	0.45	0.20	0	0.20		95	17.4	350

Bijlage 2

PLATFORM 1
4/6 6:50

FLES	DAT	TYD	SS	GLR	BZV	NKJ	NH4	CZV	EGV
1	840604	700	85.5	50.0	18.6	2.74	0.55	79.6	296
2	840604	730	98.0	59.5	18.6	3.42	1.12	77.8	254
3	840604	800	66.5	39.5	14.4		1.23	54.6	259
4	840604	830	59.0	34.0	11.4	2.83	1.29	48.7	248
5	840604	900	58.5	34.0	13.8	2.49	1.32	57.6	240
6	840604	930	52.0	28.5	12.9	2.44	1.22	43.3	246
7	840604	1000	50.0	28.0	11.0		1.26	48.1	243
8	840604	1030	49.0	27.0	12.9	2.46	1.20	45.7	248
9	840604	1100	42.0	23.0	13.8		1.14	42.2	251
10	840604	1130	40.0	21.5	12.3	2.69	1.13	55.2	251
11	840604	1200	33.0	20.5	12.3		1.02	48.1	248
12	840604	1230	33.0	21.0	12.9	2.32	1.14	47.5	244
13	840604	1300	28.0	14.0	10.5		0.89	42.2	254
14	840604	1330	28.0	14.0	9.0		1.00	45.7	247
15	840604	1400	28.0	13.0	11.7	2.38	1.17	45.1	247
16	840604	1552	22.0	11.0	12.0	2.04	0.93	49.9	265
17	840604	1752	17.0	4.0					276
18	840604	1952	18.0	8.0					266
19	840604	2152	15.0	6.0	7.8	2.30	0.93	41.6	266
20	840604	2352	10.0	3.0					270
21	840605	152	14.0	5.0				-99	279
22	840605	352	17.0	5.0	8.4	1.43	0.79	37.4	280
23	840605	552	14.0	6.0					279
24	840605	752	15.0	5.0					284
25	840605	952	19.0	7.0	6.6	1.46	0.57	33.3	296
26	840605	1252	18.0	9.7					320
28	840605	1652	14.0	4.7					
30	840605	2052	18.0	14.6	4.8		0.86	22.2	
32	840606	52	11.0	11.2					
34	840606	452	19.0	11.0	4.2		0.64		310
36	840606	852	16.0	12.9					
38	840606	1252	22.0	15.0					
40	840606	1652	20.0	9.2	9.3		0.57	28.6	310
47	840607	652			4.8		0.40	11.7	310

PLATFORM 2
4/6 6:50

FLES	DAT	TIJD	SS	GLR	BZV	NKJ	NH4	CZV	EGV
1	840604	742	51.5	23.0	27.6	2.69	1.00	52.3	310
2	840604	942	24.5	14.0	9.3	1.26	0.72	26.7	285
3	840604	1142	28.0	16.0	9.3		0.73	46.3	282
4	840604	1342	26.0	12.0	10.8		0.72	40.9	288
5	840604	1542	20.0	10.0	8.7	1.34	0.92	10.9	288
6	840604	1742			9.3		0.89	16.0	288
7	840604	1942	19.5	10.0	15.0		0.90	20.7	285
8	840604	2142	25.0	9.0	9.6	1.60	0.94	24.9	282
9	840604	2342	16.0	9.0	9.6		0.82	23.7	280
10	840605	142	15.0	7.0	8.7		1.04	20.8	281
11	840605	342	19.0	10.0	9.0	1.46	1.10	19.6	275
12	840605	542	12.0	7.0	7.2		1.14	16.6	279
13	840605	742	13.0	4.3	7.8	1.34	1.14	19.0	271
14	840605	942	16.0	6.4	8.1		1.04	23.2	285
15	840605	1142	15.0	8.8	9.6	1.57	0.96	17.8	300
16	840605	1322	16.0	6.4	4.2		0.83		305
17	840605	1522	15.0	4.7					
18	840605	1722	21.0	5.8					
19	840605	1922	17.0	6.0					
20	840605	2122	25.0	5.8	3.6	1.32	0.80	17.5	305
21	840605	2322	11.0	5.7					
22	840606	122	8.0	0.8					
23	840606	322	11.0	3.0					
24	840606	522	9.0	2.6	3.6				
25	840606	722	11.0	10.9					
26	840606	922	14.0	4.1					
27	840606	1122	28.0	15.8	3.5		0.86	27.5	305
28	840606	1322		6.3					
29	840606	1522	16.0	6.0					
30	840606	1722	11.0						
32	840606	2122	17.0	11.0	4.5		0.70		310
34	840607	122	10.0	4.6					
36	840607	522	10.0						
37	840607	722			4.2		0.39	17.3	310
38	840607	922	9.0	0.6					

Bijlage 2

LOKATIE L4
4/6 6:50

FLES	DAT	TYD	SS	GLR	BZV	NKJ	NH4	NO2	NO3	PO	PT	CZV	EGV
1	840604	835			5.1	0.90	0.31	0	0		144	9.3	330
2	840604	1235			3.9	1.26	0.43	0	0.19	22	324	15.2	310
3	840604	1635			4.8	1.43	0.97	0	0.11	39	313	17.5	285
4	840604	2035			7.5	1.71	1.03	0	0.12	32	356	19.2	274
5	840605	35	11.4	2.8	5.1		1.03	0	0.45	32	376	20.4	276
6	840605	435	22.3	4.9	5.1	1.76	1.10	0	0.17	22	410	22.7	276
7	840605	835	13.5	6.8	5.1		1.13	0	0.26	22	313	22.7	284
8	840605	1235			4.5		1.04	0	0.10	22	324	13.4	276
9	840605	1635			6.0	1.76	0.84	0	0.02	19	335	16.9	237
10	840605	2035	13.2	0.9	3.3		0.58	0		19	237	27.4	294
11	840606	35	13.2	3.0	3.9		0.74	0	0.06	19	302	21.6	310
12	840606	435	19.5	9.9	3.6	0.56	0.44	0	0.04	22	442	30.9	310
13	840606	835	9.5	5.3			0.27	0.03	0.11				
			315										
14	840606	1235	23.1	15.9			0.43	0	0.20			15.7	305
15	840606	1635			4.5	0.28	0.44	0	0.15	26	313		315
16	840606	2025	11.8	6.2			0.47	0	0			22.1	310
17	840607	35					0.37	0	0.10				310
18	840607	435						0	0.12				164
19	840607	835			4.8	0.56	0.30	0	0	32	302	16.3	320
	840607	1345						0	0.21	11	324		320
	840607	1745	15.8	6.4	2.7		0.72						320
	840607	2145										8.2	320
23	840608	145											330
24	840608	545			3.9		0.54	0	0	11	194		330
25	840608	945											320
26	840608	1345											330
27	840608	1745			3.6	0.47	0.23	0	0	11	270	11.1	350
30	840612	1200			4.5	0.19	0.31	0.08	0.08	11	151	13.4	350

Bijlage 2

PLATFORM 1

10/7 21:05

13/7 15:31

FILES	DAT	TYD	SS	GLR	BZV	NKJ	NH4	CZV	EGV
1	840710	2115	74.4	46.4	14.0	4.48	0.96	46.2	305
2	840710	2145	102.4	61.2	26.0	4.45	2.37	77.8	267
3	840710	2215	84.0	47.2	24.4		2.30	64.3	260
4	840710	2245	106.0	64.0	28.4	5.49	3.69	74.3	227
5	840710	2353	63.0	34.0	17.6		2.77	59.1	242
6	840711	153	35.5	16.5	15.6	3.08	2.50		272
7	840711	353	37.6	16.4	14.0		2.95	40.4	247
8	840711	553	33.6	16.0	15.2	3.70	2.87	40.9	258
9	840711	753	26.8	10.8	12.4		2.70		256
10	840711	953	25.6	10.0	14.0	3.02	2.67	30.4	267
11	840711	1153	21.6	6.4			2.43		264
12	840711	1353	17.6	5.2	9.2	4.28	1.98	22.8	270
13	840711	1553	16.8				2.10		268
14	840711	1753	15.8	5.5	8.0		2.20	25.1	274
15	840711	1953	15.3	6.3			2.15		272
16	840711	2153	13.5	4.3	8.0	4.34	2.11	25.7	269
17	840711	2353					2.11		268
18	840712	153	10.3	2.8	6.8		2.20	18.1	270
19	840712	353					2.30		268
20	840712	553			7.2		2.16	21.6	292
21	840712	753	11.8	3.8			2.21		267
22	840712	953			8.4	3.86	2.18	19.9	285
23	840712	1153					1.94		285
24	840712	1353	12.8	4.0	8.0		1.93	17.5	284
25	840712	1553					1.95		280
26	840712	1753			7.6		1.95	14.0	296
27	840712	1953	11.5	5.0			1.96		294
28	840712	215			6.4	3.78	2.0	15.8	290
29	840712	2353					2.15		287
30	840713	153	7.5	2.7	4.0		2.01	11.7	282
31	840713	353					1.96		292
32	840713	553			5.2		1.98	17.0	289
33	840713	753	10.2	3.0			1.94		287
34	840713	953			5.6	1.88	1.96	14.0	293
35	840713	1245	14.7	6.5	6.4	2.04	1.41	16.0	297
36	840713	1645	34.9	19.2	9.6	1.48	1.64	33.8	270
37	840713	2045	21.0	8.8	7.2		1.49		272
38	840714	45	14.7	6.3	6.4		1.64	21.9	281
39	840714	445	13.8	7.2	5.6		1.63		284
40	840714	845					1.51		281
41	840716	1245	11.4	2.4	6.8	1.18	1.34	17.8	290
42	840716	1645			22.0		0.40		320
43	840716	204	6.4						310
44	840717	45			7.6	0.45	0.42	10.7	320
45	840717	445	9.3						305
46	840717	845			6.8		0.40	14.2	315
47	840717	1245	15.8		12.8		0.34	13.0	320
48	840717	1645							320
49	840717	2045	11.8						320
50	840718	45			6.8		0.46		325
51	840718	445	8.5						310
52	840718	845				0.78	0.38	14.2	330
53	840718	1245			8.4				335

Bijlage 2

PLATFORM 2
10/7
13/7

FLES	DAT	TYD	SS	GLR	BZV	NKJ	NH4	CZV	EGV
1	340710	2157	50.5	27.8	16.8	2.3	1.31	56.7	273
2	340710	2357	52.0	26.4	16.0	3.64	2.48	48.5	242
3	340711	157	23.5	7.5	7.6	2.52	1.96	36.3	260
4	340711	357	23.2	9.2	20.8		1.98	36.3	264
5	340711	557	22.5	9.8	9.6	3.14	2.08		260
6	340711	757	21.1	7.2	8.4		2.15	28.7	260
7	340711	957	16.8	4.4	8.0	1.85	2.06		265
8	340711	1157	14.8	5.5	4.4		1.63	30.4	274
9	340711	1357	14.7	4.8	7.2	2.02	1.85		264
10	340711	1557	10.5	1.2	7.6		1.95	10.5	266
11	340711	1757	11.4	1.0	6.8		1.93		265
12	340711	1957						24.6	274
13	340711	2157			8.8	1.71	2.10		262
14	340711	2357						19.9	268
15	340712	157	9.0	1.8	6.8		2.26		277
16	340712	357						18.1	273
17	340712	557	6.0	0.3	6.8	0.62			267
18	340712	757						15.2	281
19	340712	957			7.6		2.03		273
20	340712	1122	7.8	1.3				13.5	276
21	340712	1322			8.0	0.95	1.98		285
22	340712	1522						17.0	285
23	340712	1722	8.8	1.30	7.6		1.86		289
24	340712	1922							289
25	340712	2122			6.4	0.39	1.93		280
26	340712	2322	7.0	0.8				15.2	284
27	340713	122			6.0		1.93		283
28	340713	322	7.0	1.3				18.1	284
29	340713	522	7.3	0.8	6.4	0.34	1.93		282
30	340713	722	7.3	1.5					287
31	340713	922	6.8	0.5	6.0	0.22	1.93	12.3	285
35	340713	1227	8.3	0.3	4.8	0.59	1.34	23.1	300
36	340713	1627	12.5	3.0		0.36	1.31	20.7	300
37	340713	2027	10.8	2.5	6.4		1.34		285
38	340714	27	10.3	1.3		0.64	1.51	20.1	300
39	340714	427	9.3	2.8	5.2		1.34		288
40	340714	827	8.3	1.5			1.34		290
41	340714	1227	7.3	1.8	6.4	0.53	1.21	15.4	285
42	340714	1627	5.8	0.3			1.17		293
43	340714	2027	5.0				0.97		293
44	340715	27			7.6		1.12	16.0	299
45	340716	1645			8.4	0.20	0.40	10.1	315
46	340716	2045	4.8						315
47	340717	45			2.8	0.25	0.70	3.6	320
48	340717	445	4.4						310
49	340717	845					0.36	11.8	320
50	340717	1245							325
51	340717	1645	3.4		4.8		0.38	3.0	320
52	340717	2045							320
53	340718	445			4.0		0.54		320
54	340718	845							330
55	340718	1245	4.0				0.54	8.3	320
56	340718	1645			6.0				320

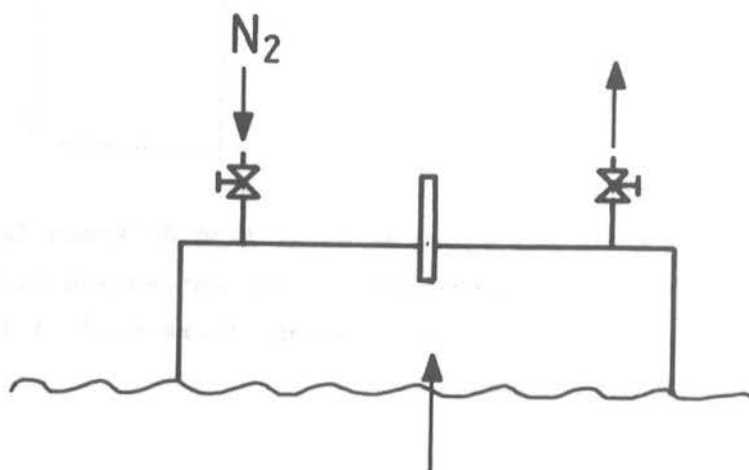
Bijslage 2

LOKATIE L4
10/7 EN 13/7

FLES	DAT	TYD	SS	GLR	BZV	NKJ	NH4	N02	N03	P0	PT	CZV	EGV
1	840710	2250	63	37	17.6	6.75	1.56	0.02	0.50	80.6	780	75.4	290
2	840711	250	26	13	13.6	4.62	1.61	0.04	0.50	119.6	603	43.9	287
3	840711	650	22	6.5	13.6	4.62	1.61	0.04	0.5	114.4	463	38.0	290
4	840711	1050	25	5.0	13.5	8.09	1.70	0.03	0.47	96.2	493	36.8	300
5	840711	1450	12	4.5	12.0	2.10	1.69	0.04	0.41	75.4	208		297
6	840712	1850	15	3.5	7.4	2.27	1.56	0.04	0.33	78.0	281	34.5	305
7	840712	2250			6.8	1.93	1.37	0.06	0.39	59.8	265	29.2	310
8	840713	250	10.5	1.0	8.4	2.97	1.57	0.08	0.39	96.2	312	28.7	297
9	840712	650			11.8	3.42	1.75	0.07	0.41	109.2	468	26.3	295
10	840712	1300			8.0	7.22	1.57	0.07	0.28	132.6	1138.7	18.1	310
11	840712	1700	22	12.0	6.8	1.82	1.18	0.04	0.10	46.8	467.9	23.9	330
12	840712	2100	28	8.9	5.2	1.68	0.84	0.03	0.08	2.5	207.9	28.1	340
14	840713	500			7.6	3.53	1.53	0.08	0.18	0	525.2	37.4	305
15	840713	900				2.41	1.54	0.10	0.15	13.0	202.7	52.6	305
16	840713	1300			6.4	1.04	2.01	0.10	0.27	13.0	207.9	11.8	305
17	840713	1700			5.2	0.64	1.63	0.06	0.21	28.6	317.2	17.2	300
	840713	2100			4.8		1.61	0.05	0.20	59.8	338.0		300
	840714	100			6.0	0.59	1.63	0.05	0.20	41.6	291.2	14.8	300
	840714	500			12.0	3.78	2.25	0.08	0.31	75.4	468.0	18.9	300
21	840714	900			13.2	1.85	1.83	0.04	0.30			39.1	30
22	840714	1300					1.58	0.04	0.20	70.2			305
23	840714	1700			12.4	0.84	1.68	0.03	0.20			17.9	315
24	840714	2100				1.65	1.32	0.03	0.20			17.2	325
25	840715	100			4.0		0.87	0.01	0.19				330
26	840715	500											330
27	840715	900			16.0	4.0	1.33	0.01	0.20	72.8	527.0	58.6	340
28	840715	1300											325
29	840715	1700			7.6		1.01	0.02	0.25				330
30	840715	2100									161.2		315
31	840716	100			3.6		1.11	0.01	0.16				310
32	840716	500											310
33	84071	900			4.8	1.85	1.09	0.02	0.20	20.7	410.8	35.0	310
34	840716	1645			5.2		0.74	0.01		0		12.4	310
35	840716	2045											305
36	840717	45									104.0	10.1	310
37	840717	445											310
38	840717	845			37.2	4.48	1.77	0.04		78.0	1133.5	135.7	320
39	840717	1245											310
40	840717	1645				1.37					442	32.6	310
41	840717	2045											310
42	840718	45			12.4	5.68	1.58	0.01		0	104		320
43	840718	445	33							57.2			330
44	840718	845			36.8		0.70	0.01			925.5	117.3	335
	840718	1245	116										340

Bijlage 3. Bepaling van de stofoverdrachtsconstante

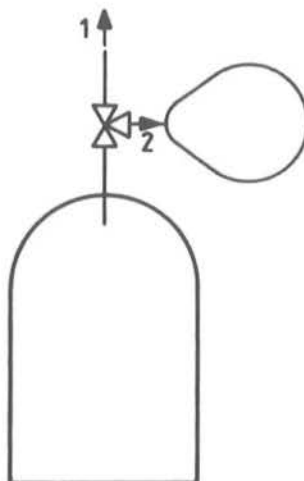
De stofoverdrachtsconstante werd bepaald m.b.v. een drijvende kap (zie figuur). De kap werd doorspoeld met N_2 gas. Uit de toename van de O_2 concentratie in de lucht onder de kap kan de stofoverdrachtsconstante worden bepaald.



Bijlage 4. Kwelmetingen 1983

Methode

De metingen zijn uitgevoerd met een kwelmeter. Dit is een gesloten kap die op de bodem van de vijver wordt geplaatst. De kap is voorzien van ontluchting en een rubberen waterzak.



Figuur a kwelmeter

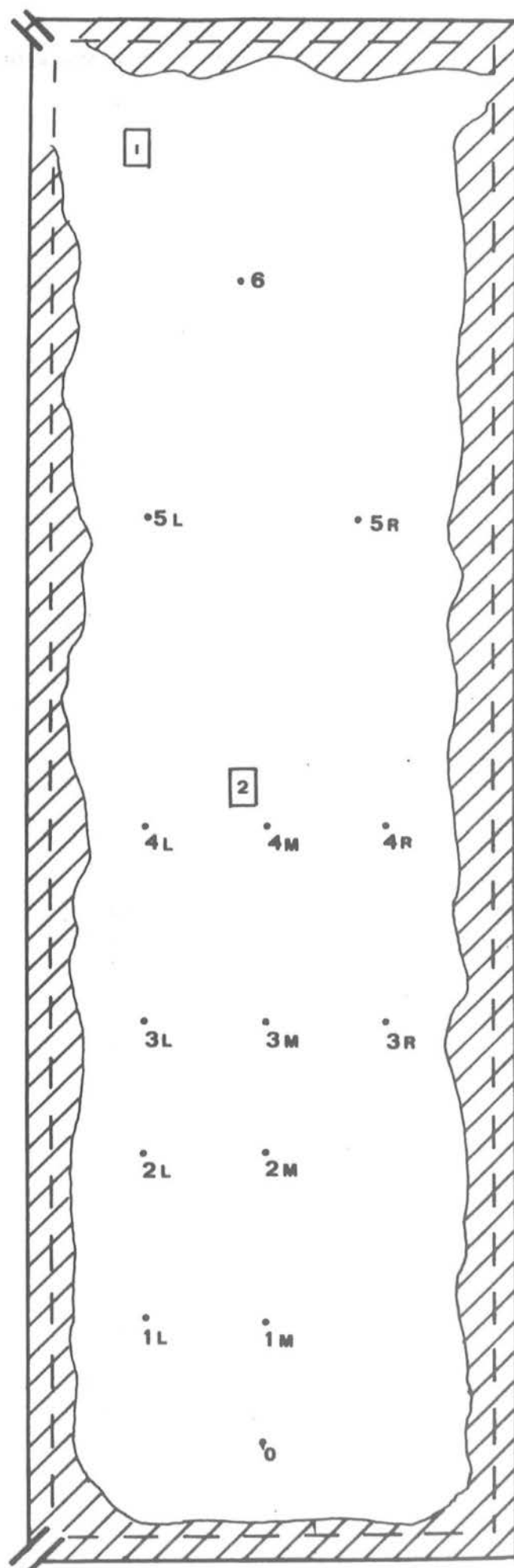
Na plaatsing van de kap wordt na enige tijd de kraan (zie figuur a) in stand 2 gezet, zodat er een open verbinding ontstaat tussen de kap en de waterzak. Uit de hoeveelheid water die gedurende een zekere tijd in de waterzak stroomt kan de kwelsterkte worden bepaald.

Resultaten

De resultaten van de in 1983 verrichte metingen staan in de onderstaande tabel. Voor de aanduiding van de meetlokaties wordt verwezen naar figuur b.

Kwelmeingen 1983.

Datum	Kwelsterkte cm/dag	Lokatie	Datum	Kwelsterkte cm/dag	Lokatie
13/5	7.8	5R	11/8	12.5	5R
20/5	3.1	6	11/8	27.3	5R
20/5	10.2	5L	22/8	5.4	5L
17/6	10.3	4R	25/8	5.4	2M
17/6	7.6	4L	25/8	3.2	2M
23/6	6.2	3M	26/8	3.9	1L
1/7	9.8	2M	26/8	0.9	1L
1/7	10.1	1M	29/8	19.1	5R
23/6	16.1	3R	29/8	11.0	5R
5/8	8.8	6			
5/8	3.1	6			



Figuur b Lokaties kwelmetingen 1983

OVERSTORTING 1
21-5-84

NEERSLAG OP DE VIJVER : 135 m3
OVERGESTORT VOLUME : 1991 m3
TOTALE AFVOER - AANDEEL KWEL : 2170 m3

	CZV kg		BZV kg		KJELDAHL-N		AMMONIUM-N		TOTAAL P		ZWEVENDE STOF	
Immissie	314.0		63.0		15.0		8.8		5.0		176.0	
Dag	Emissie	Correctie Achter- grond c 9.6 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 2.0 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.60 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.35g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.07g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 10.5g /m3
1	118.7	4.3	37.3	0.7	8.8	0.25	5.1	0.16	3.8	0.03	99.3	4.7
2	132.0	8.7	41.2	1.4	9.8	0.48	5.9	0.31	4.2	0.05	108.2	9.4
3	138.2	13.0	43.9	2.1	10.6	0.72	6.4	0.47	4.5	0.08	111.4	14.1
4	143.6	17.3	46.0	2.8	11.2	0.96	6.8	0.62	4.6	0.10	118.4	18.7
5	153.1	21.7	47.7	3.5	11.8	1.21	7.2	0.78	4.7	0.13	120.1	23.4
6	162.0	25.8	48.9	4.2	12.1	1.45	7.5	0.94	4.8	0.15	125.3	28.1
7	170.2	30.1	49.7	4.9	12.4	1.70	7.7	1.09	4.8	0.18	128.1	32.8

OVERSTORTING 2
04-6-84

NEERSLAG OP DE VIJVER : 78 m3
OVERGESTORT VOLUME : 623 m3
TOTALE AFVOER - AANDEEL KWEL : 719 m3

	CZV kg		BZV kg		KJELDAHL-N		AMMONIUM-N		TOTAAL P		ZWEVENDE STOF	
Immissie	325.4		51.4		9.1		4.8		2.3		340.0	
Dag	Emissie	Correctie Achter- grond c 8.1 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 4.0 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.40 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.20 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.090g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 10.0 g/m3
1	16.9	3.6	5.6	1.6	1.3	0.18	0.6	0.08	0.2	0.04	14.0	4.0
2	26.8	7.3	7.6	3.1	1.9	0.35	1.0	0.16	0.4	0.07	20.4	8.9
3	35.6	10.9	9.6	4.7	2.1	0.52	1.1	0.23	0.6	0.11	27.0	13.3
4	40.6	14.5	11.2	6.2	2.3	0.70	1.4	0.31	0.7	0.15	33.9	17.8
5	45.5	18.2	12.9	7.8	2.5	0.87	1.5	0.39	0.8	0.19	40.6	22.3
6	50.7	21.8	14.6	9.4	2.7	1.03	1.6	0.47	0.9	0.22	47.2	26.7
7	56.2	25.6	16.4	11.0	2.8	1.23	1.7	0.55	1.0	0.26	53.5	31.2

OVERSTORTING 3
23-6-84

NEERSLAG OP DE VIJVER : 62 m3
OVERGESTORT VOLUME : 54 m3
TOTALE AFVOER - AANDEEL KWEL : 73 m3

	CZV kg		BZV kg		KJELDAHL-N		AMMONIUM-N		TOTAAL P		ZWEVENDE STOF	
Immissie	6.2		1.2		0.6		0.5		0.11		3.4	
Dag	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie
	Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c	
	12.0 g/m3		2.0 g/m3		0.45 g/m3		0.33 g/m3		0.07 g/m3		---	
1	7.2	5.4	1.5	0.9	0.5	0.20	0.5	0.15	0.04	0.03	---	---
2	11.4	10.7	2.7	1.7	1.1	0.39	0.8	0.30	0.07	0.06	---	---
3	12.2	16.1	3.7	2.6	1.4	0.59	1.2	0.45	0.09	0.10	---	---
4	17.6	21.4	4.4	3.4	1.7	0.78	1.5	0.59	0.10	0.13	---	---

OVERSTORTING 4
10-7-84
13-7-84

NEERSLAG OP DE VIJVER : 96 m3
OVERGESTORT VOLUME : 1044 (+228) m3
TOTALE AFVOER - AANDEEL KWEL : 1211 (+350) m3

	CZV kg		BZV kg		KJELDAHL-N		AMMONIUM-N		TOTAAL P		ZWEVENDE STOF	
Immissie	915.7 (77.9)		63.0 (11.3)		27.4 (2.7)		7.2 (1.5)		7.6 (0.9)		1254.1 (123.9)	
Dag	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie
	Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c	
	13.8 g/m3		3.0 g/m3		0.44 g/m3		0.43 g/m3		0.045g/m3		11.8 g /m3	
1	104.7	8.4	27.5	1.4	9.8	0.20	2.9	0.19	1.1	0.02	77.2	5.3
2	119.9	16.9	31.6	2.7	10.8	0.39	3.6	0.38	1.2	0.03	83.9	10.6
3	132.6	25.3	34.5	4.1	11.7	0.59	4.3	0.57	1.4	0.05	97.0	15.9
4	142.4	33.7	39.2	5.5	12.4	0.78	5.1	0.76	1.6	0.06	110.2	21.2
5	162.0	42.2	43.2	6.8	13.8	0.97	5.6	0.96	1.8	0.08	123.7	26.6
6	175.0	50.6	45.9	8.2	14.9	1.17	6.1	1.14	1.9	0.10	137.6	31.9
7	201.7	59.1	57.8	9.6	16.3	1.37	6.7	1.34	2.2	0.11	152.0	37.2

OVERSTORTING 5
 9-9-84
 10-9-84

NEERSLAG OP DE VIJVER : 150 m3
 OVERGESTORT VOLUME : 2120 m3
 TOTALE AFVOER - AANDEEL KWEL : 1849 m3

	CZV kg		BZV kg		KJELDAHL-N		AMMONIUM-N		TOTAAL P		ZWEVENDE STOF	
Immissie	562.7		96.5		17.4		11.3		4.0		513.7	
Dag	Emissie	Correctie Achter- grond c 6.9 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 1.0 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.76 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.80 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.045g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 6.9 g /m3
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	102.6	3.1	13.9	0.3	4.6	0.34	4.2	0.37	1.2	0.02	33.7	3.1
3	119.9	6.2	16.1	0.6	5.3	0.69	5.0	0.73	1.3	0.04	37.7	6.2
4	135.0	9.4	17.9	0.8	6.0	1.03	5.7	1.10	1.4	0.06	41.4	9.4
5	148.2	12.5	19.4	1.1	6.6	1.37	6.3	1.47	1.4	0.08	44.8	12.4
6	159.2	15.6	20.8	1.4	7.2	1.72	6.8	1.84	1.5	0.10	47.8	15.6
7	168.2	18.7	22.3	1.6	7.7	2.06	7.3	2.20	1.6	0.12	50.6	18.7

OVERSTORTING 6
 1-10-84

NEERSLAG OP DE VIJVER : 98 m3
 OVERGESTORT VOLUME : 722 m3
 TOTALE AFVOER - AANDEEL KWEL : 983 m3

	CZV kg		BZV kg		KJELDAHL-N		AMMONIUM-N		TOTAAL P		ZWEVENDE STOF	
Immissie	45.0		8.0		2.4		1.4		0.7		37.2	
Dag	Emissie	Correctie Achter- grond c 8.3 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 1.0 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.25 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.38 g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 0.070g/m3	Emissie	Correctie Achter- grond c 8.3 g/m3
1	15.2	3.7	3.4	0.4	2.1	0.11	0.9	0.17	0.2	0.03	10.0	1.9
2	18.5	7.4	5.2	0.8	2.5	0.21	1.2	0.36	0.3	0.07	12.7	3.7
3	21.9	11.1	6.1	1.2	2.7	0.33	1.4	0.54	0.4	0.10	16.7	5.6

OVERSTORTING 7
5-10-84

NEERSLAG OP DE VIJVER : 50 m3
OVERGESTORT VOLUME : 209 m3
TOTALE AFVOER - AANDEEL KWEL : 110 m3

	CZV kg		BZV kg		KJELDAHL-N		AMMONIUM-N		TOTAAL P		ZWEVENDE STOF	
Immissie	25.3		5.0		1.4		1.3		0.5		11.5	
Dag	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie
	Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c	
	6.9 g/m3		1.0 g/m3		0.76 g/m3		0.80 g/m3		0.045g/m3		6.9 g /m3	
1	8.1	3.7	0.7	0.4	0.4	0.24	0.1	0.23	0.1	0.03	---	---
2	11.3	7.5	1.4	0.8	0.7	0.49	0.2	0.46	0.2	0.06	---	---
3	13.2	11.2	2.3	1.2	0.9	0.75	0.3	0.70	0.2	0.07	---	---

OVERSTORTING 8
23-10-84
25-10-84

NEERSLAG OP DE VIJVER : 210 m3
OVERGESTORT VOLUME : 335 (+4123) m3
TOTALE AFVOER - AANDEEL KWEL : 260 (+4217) m3

	CZV kg		BZV kg		KJELDAHL-N		AMMONIUM-N		TOTAAL P		ZWEVENDE STOF	
Immissie	45.0		11.1		2.9		2.6		0.8		31.8	
	2982.0		206.5		73.3		62.4		30.9		4710.0	
Dag	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie	Emissie	Correctie
	Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c		Achtergrond c	
	6.9 g/m3		2.5 g/m3		0.54 g/m3		0.54 g/m3		0.090g/m3		8.7 g/m3	
1	17.4	4.0	3.7	1.1	1.3	0.24	0.6	0.24	0.4	0.04	22.2	3.9
2	334.2	8.0	40.7	2.3	12.9	0.48	5.3	0.48	4.5	0.08	573.6	7.8
3	378.9	12.0	45.1	3.4	14.5	0.73	6.5	0.73	5.1	0.13	648.4	11.7
4	387.1	15.9	47.5	4.5	15.2	0.97	6.6	0.97	5.3	0.17	664.0	15.6
5	402.1	19.9	49.5	5.7	15.8	1.21	6.8	1.21	5.4	0.21	673.7	19.5
6	411.9	23.9	51.2	6.8	16.5	1.45	7.2	1.45	5.5	0.26	679.2	23.4

Bijlage 6. Gemeten sedimentatiefluxen in de achtergrondsituatie voor zwevende stof en gloeirest (g/m², dag).

Datum	L1		L2		L3	
	Zw. stof	Gl. rest	Zw. stof	Gl. rest	Zw. stof	Gl. rest
21- 2-84	9.8	6.7	11.0	7.9	10.9	7.9
28- 2-84	11.8	8.7	11.2	8.1	11.1	8.2
7- 3-84	17.5	8.7	14.5	7.6	8.4	6.1
13- 3-84	12.8	9.2	21.7	15.7	9.1	6.3
16- 3-84	13.6	10.1	31.3	21.0	9.3	7.5
27- 3-84	12.5	8.9	13.8	10.1	11.1	8.3
4- 4-84	15.9	11.1	14.4	10.6	11.5	8.6
11- 4-84	10.1	7.5	11.6	8.8	8.5	6.1
17- 4-84	14.0	6.0	18.7	5.6	15.7	4.7
24 -4-84	8.3	5.1	11.4	7.2	8.9	5.6
1- 5-84	45.8	29.4	35.8	24.4	13.2	8.1
12- 6-84	10.5		26.7		18.7	
18- 7-84	27.6				13.6	
23- 7-84	5.8				4.5	
31- 7-84	19.7				13.3	
7- 8-84	13.1				33.4	
14- 8-84	17.9				17.1	
21- 8-84	10.5				6.0	
4- 9-84	5.5	3.2			15.1	10.8
18- 9-84	6.1		9.7		5.3	
25- 9-84	5.0	3.1	9.5	6.9	8.5	6.0
1-10-84	8.7		6.0		4.6	
15-10-84	4.9	2.8	4.7	2.8	4.4	2.7
23-10-84	8.9		5.6		3.4	

Bijlage 7. Schatting van de aanwezige hoeveelheden van een aantal stoffen op de bodem van de vijver.

Volume sliblaag (m ³)	600
Droge stof (kg)	99000
Gloeiverlies (kg)	25000
Kjeldahl- N (kg N)	800
Fosfaat (kg P)	180
Fe (kg)	9120
Pb (kg)	15
Cu (kg)	8
Zn (kg)	60

De aanwezige hoeveelheden zijn geschat uit de gemiddelde dikte van de sliblaag en de gemiddelde samenstelling van het slib (zie deelonderzoek Sediment).

Bijlage 8. Samenstelling van het kwelwater.

Op een aantal manieren is getracht een indruk van de samenstelling van het kwelwater te krijgen.

1. De beek die vlak naast de vijver stroomt is bemonsterd. Het grondwater komt hier direct aan de oppervlakte.

Datum	21- 2-84	8- 5-84
Geleidingsvermogen uS/cm	400	460
pH	5.8	
Ammonium mg N/l	2.1	1.5
Opgelost Fe mg/l	2.5	
Nitriet mg N/l	0.01	0.00
Nitraat mg N/l	2.6	
Ortho fosfaat ug P/l	11	

2. De samenstelling van het water verzameld in de kwelmeter is bepaald, nadat deze enige malen doorstroomd was.

Datum	1- 5-84	3- 5-84	5- 5-84
Geleidingsvermogen uS/cm	220	215	210
pH	7.5	7.4	
Ammonium mg N/l	0.5	0.3	0.4
Opgelost Fe mg/l	2.2		
Nitriet mg N/l	0.00	0.01	0.00
Nitraat mg N/l	0.0		

Methode 2 geeft de beste indruk van de samenstelling van het water dat direct door het grensvlak water bodem de vijver inkomt.

In deze reeks zijn tot dusverre verschenen:

1.1. Overstortsituaties in Nederland ISBN 90 346 0366 0	f 7,50
2.1. Ervaringen bij waterkwaliteitsbeheerders ISBN 90 346 0367 9	f 10,--
3.1. Randvoorzieningen aan rioolstelsels ISBN 90 346 0368 7	f 25,--
4.1. Regionale verschillen in neerslaggebeurtenissen	f 12,50
4.4. Regenmeters ISBN 90 346 1297 X	f 9,--
5.1. Vuiluitworp uit rioolstelsels ISBN 90 346 1299 6	f 17,50
6.1. Slib in rioolstelsels	f 20,--
7.1. Verhard oppervlak en watervervuiling	f 22,50
8.1. Rendement randvoorzieningen bergbezinkbassin Amersfoort	f 15,--
8.2. Rendement randvoorzieningen bergbezinkbassin Kerkrade	f 15,--
8.4. Verbeterde overstortputten	f 15,--
10.1.2. Invloed overstortwater vijver te Loenen ISBN 90 346 1300 3	f 19,--
10.1.3. Invloed overstortwater vijver te Loenen ISBN 90 346 1298 8	f 14,--
11.1. Waterhuishoudkundige maatregelen	f 11,--

Prijswijzigingen voorbehouden.

