

HYDROBIOLOGISCHE WAARNEMINGEN IN EEN BOSVIJVER
CRM-reservaat landgoed Broekhuizen, Leersum

P. Leentvaar

Rijksinstituut voor Natuurbeheer

Leersum

1984

Overneming van gegevens is alleen
toegestaan na overleg met de auteur

205050

INHOUD

Beschrijving van de vijver	3
Onderzoekresultaten	5
Het zuurstofgehalte van de vijver	5
De grondwaterkwel	8
Gevolgen van droogliggen	12
Gevolgen van de droogte op de chemische samenstelling van het water	12
Korte-termijneffecten van droogliggen	13
Lange-termijneffecten	18
Verzuring, uitloging en eutrofiëring	19
Literatuur	21
Kaarten en grafieken	22

Beschrijving van de vijver

Het landgoed Broekhuizen te Leersum heeft een vijver die in de 19e eeuw gegraven is. Hij heeft een zandige bodem die in sommige gedeelten bedekt is met een meer of minder dikke laag afgevallen blad en modder. In 1969 is de dikte van de sapropeellaag opgemeten en werd tevens de waterdiepte in kaart gebracht (kaart 1). Het meeste sapropeel is opgehoopt in het gedeelte dat vanaf de weg tot het eerste bruggetje loopt en in de inbochtiging naast het kasteel. De waterdiepte is hoogstens 110 cm midden in de vijver, waar zich ook de minste modder bevindt. Alle oevers zijn door hoog geboomte omgeven. In het midden bevindt zich een bebost eiland en ten zuiden ervan een rietveld. In deze buurt vinden we ook de enige groei van gele plomp van de vijver. Er verblijven vooral in herfst en winter vele eenden op het water.

Wegens de doorlatendheid van de bodem valt de vijver in sommige jaren geheel of gedeeltelijk droog. Dit was het geval in 1959 en verder in 1973 (3 maanden) en 1976 (6 maanden). Het gedeelte naast het koetshuis valt bovendien door zijn ondiepte vaker droog, zoals in 1973 en 1974 (4 maanden) en in 1975 (3 maanden). Behalve door neerslag wordt de vijver gevoed door grondwater. Aanvoer van oppervlaktewater is mogelijk via de sluis onder de weg naast het koetshuis, maar dit komt zelden voor doordat een moerasvegetatie dit verhindert. In de zuidwesthoek kan bij hoge waterstand via een drempel water worden afgevoerd.

Het water in de vijver is transparant. Er is geen kleuring van het water door sterke algengroei, de bodem is meestal overal zichtbaar. Incidenteel is er troebeling van het water door een korte opbloei van kleine eencellige algen of van raderdieren. In het open water voor het kasteel kan zich in sommige jaren in de zomer een dichte vegetatie van draadalgen of fonteinkruid ontwikkelen, zoals in 1969, 1973, 1974, 1975 en 1977. In 1973 bestond de visstand hoofdzakelijk uit grote snoeken die verwijderd werden. In het droge jaar 1976 werden in het resterende water alleen palingen gevangen (687 stuks!). Na 1977 werden grote scholen blankvoorns waargenomen van verschillende jaarklassen, die voordien niet voorkwamen (predatie door snoek). In deze jaren kwamen ook geen flapvelden tot ontwikkeling (vraat van voorn), werden geen kikkers meer gehoord en gezien die zich in het flap plachten op te houden, maar werden wel meer visetende vogelsoorten zoals ijsvogel, reiger, dodaars en zelfs aalscholver en visarend door de grote visbezetting aangetrokken. Een

interessante ontwikkeling dus als gevolg van een ingreep in de voedselketen naar we mogen aannemen. Te verwachten is dat bij het droogvallen van de vijver in een droog jaar de voorstand een klap zal krijgen wat weer ontwikkeling van flap tot gevolg kan hebben.

Ten noorden van de vijver bevindt zich op hoger gelegen grond een afwatering van een voormalig hertenkamp. In de oorsprong van deze verder als kwelsloot aangeduide afwatering kunnen in sommige perioden tussen de dichte begroeiing met pitrus kwelplekken worden waargenomen, herkenbaar aan een wit neerslag van zwavel. Ook is er een bruine neerslag van ijzerverbindingen die bij contact met zuurstof langs de oevers en op planten wordt afgezet. Er bevinden zich langs de oevers veel amfibieën. De kwelsloot werd aan de monding bij de weg naar de boerderij maandelijks bemonsterd op chemie en planktonsamenstelling. Er is geen verbinding met de vijver, die op dezelfde tijd op drie punten werd bemonsterd. De kwelsloot lag in 1972 gedurende twee maanden droog; kwelsloot en vijver lagen in 1973 en 1976 respectievelijk drie en zes maanden droog.

Onderzoekresultaten

De maandelijkse chemische bemonsteringen gedurende tien jaar op drie punten in de vijver en op een punt in de kwelsloot werden in de computer opgeslagen. Het plankton werd apart bewerkt voor zover het betreft de jaren nadat de vijver was drooggevallen. Deze gegevens werden in het RIN-rapport 81/20 van J.A.Sinkeldam vastgelegd, voornamelijk om bloei van planktonsoorten na de droge perioden te kunnen aangeven.

Het hier volgende verslag beperkt zich tot een analyse van de zuurstofhuishouding van de vijver en de kwelsloot, terwijl van de vier bemonsterde punten (zie kaart 2) alleen punt 2 (vijver) en punt 4 (kwelsloot) geanalyseerd werden op een aantal chemische elementen na de perioden van droogte, dus na 1973. Alleen voor chloride is terwille van het overzicht in grafiek 16 de gehele waarnemingsperiode voor de vier punten weergegeven. De lezer wordt naar deze grafiek verwezen alvorens hij zich in de min of meer ingewikkelde andere grafieken en tekst verdiept zodat hij een indruk krijgt van monsterdata, droge perioden en algemene verschillen tussen de monsterpunten.

In dit verslag wordt niet op alle aspecten uit de grafieken ingegaan maar wordt alleen een schets gegeven van enige duidelijk samenhangende verschijnselen. Daarbij is het interessant vooral de gevolgen van droogte na te gaan zoals die uit de grafieken zijn af te lezen.

Het zuurstofgehalte van de vijver

Het zuurstofgehalte in de vijver wordt door verschillende processen en factoren beïnvloed. Genoemd kunnen worden de zuurstofconsumptie door reducerende componenten in het water en op de bodem (modder, blad); invloed van aanvoer van anaëroob grondwater; zuurstofproductie door fytoplankton, draadalgén of waterplanten; invloed van het lichtklimaat, zowel door dagelijkse fluctuaties als door seizoenfluctuaties en effect van beschaduwing door het omgevende hoge geboomte. Hoe groot het aandeel van deze verschillende componenten is bij de totstandkoming van het actuele zuurstofgehalte, kan globaal worden afgeleid uit de grafieken van de maandelijkse waarnemingen in de jaren 1969-1979. Daaruit blijkt dat het vijverwater alleen in voorjaar en zomer verzadigd of oververzadigd is met zuurstof en het grootste deel van het jaar sterk onder-

verzadigd, met zelfs totale afwezigheid van zuurstof omstreeks december/januari bij hoge grondwaterstand. De perioden van verzadiging of oververzadiging zijn verder van korte duur, die van onderverzadiging strekken zich meestal over enige maanden uit.

De zuurstofreductie in het water is niet bijzonder groot, ook niet in verschillende jaren. Er zijn geen grote hoeveelheden reduceerbare organische stoffen in het water. De onderverzadigingen moeten toegeschreven worden aan overheersende invloed van anaërobe grondwaterkwal. Reducerende invloed van de bodemmodder kan plaatselijke effect hebben, maar dit effect is niet experimenteel nagegaan. Bemonsteringen ter bepaling van zuurstofgehalte en chemie zijn alleen voor en achterin de vijver uitgevoerd en naast het koetshuis. Op kaart 1 is de waterdiepte en modderdikte aangegeven van april 1969.

Zuurstofbepalingen op diverse punten van de vijver gaven verschillen te zien naar gelang de monsterplaats boven een modderbodem of boven een zandige bodem is gekozen. Vooral in dag- en nachtwaarnemingen zouden deze verschillen en de fluctuaties zichtbaar gemaakt kunnen worden, zoals ook in de vergelijkbare ondiepe tichelgaten is gebeurd (Repko & Sinkeldam 1981). In het geval van de vijver werden monsters van de oppervlakkige waterlaag vergeleken die maandelijks door de jaren heen waren genomen, waaruit de verschillen in zuurstofhuishouding op drie plaatsen van de vijver konden worden gevonden. Dit verschil is schematisch voorgesteld in grafiek 1. Omdat er door de jaarlijkse verschillen in klimaat variaties optreden in de ligging van maxima en minima, moet de grafiek als gemiddelde afgeleide gezien worden van de tien jaarlijkse grafieken. De volgende opmerkingen kunnen worden gemaakt:

Op monsterpunt 2 gelegen voor het kasteel waar het zonlicht van ochtend tot avond zijn invloed kan uitoefenen (kaart 2), zien we na aanvankelijke meer of mindere anaërobie in de winter een snelle stijging van het zuurstofgehalte met een maximum in april/mei. Een tweede maximum treedt op in augustus/september, waarna weer onderverzadiging, eventueel zelfs anaërobie in november/december kan optreden. De zuurstofoververzadiging in het voorjaar wordt door ontwikkeling van fytoplankton veroorzaakt, in de zomer kan dit ook door draadalg of waterplanten veroorzaakt worden. De stijging van temperatuur in het voorjaar stimuleert de ontwikkeling en activiteit van het fytoplankton, maar zoals grafiek 1 laat zien bereikt de zuurstofverzadiging niet de hoogte van de zomerpiek. Behalve aan verschil tussen zuurstof

producerende soorten in voorjaar en zomer kan men hier denken aan de invloed van het tegenwerkende sterk gereduceerde (grond)water in het voorjaar op de maximale zuurstofproduktie.

Monsterpunt 3 ligt achter aan de vijver. Op deze plaats komt 's zomers weinig zonlicht, maar in het voorjaar is er voor het verschijnen van blad aan de bomen een redelijke hoeveelheid. In grafiek 1 is het effect van dit seizoenverschil in lichtklimaat (zie ook het lichtklimaat, kaart 2) weergegeven, doordat slechts één zuurstoftop aanwezig is, die in het voorjaar en ook eerder dan op punt 2 aangetoond kan worden. De zomertop ontbreekt en het water is in de rest van het jaar doorgaans onderverzadigd (zie ook grafiek 2, punt 3). Dat de potentie tot zuurstofproduktie aanwezig is en dus ook fytoplankton, blijkt uit de lichtproef waarvan deze potentie in grafiek 2 monsterpunt 3 met een stippellijn is aangegeven. De potentie tot zuurstofproduktie is op dit punt wel aanwezig, maar in de zomer is het licht hier de beperkende factor.

Monsterpunt 1 ligt naast het koetshuis. Er is een geringe waterdiepte en geen avondzon. De vijver ligt hier vaker droog en er is veel blad en modder. Evenals op punt 2, waarmee het in den regel in open verbinding staat, vinden we een voorjaarsmaximum en een zomer-herfst-maximum, die echter langer duren maar op een lager niveau liggen (grafiek 2). Niet alleen door het ontbreken van avondzon maar ook door het reducerend effect van de bodemmodder worden de maxima laaggehouden.

In grafiek 1 en 2 is ook het zuurstofverloop van de kwelsloot (monsterpunt 4) weergegeven. Op dit punt is alleen avondzon. De voorjaarstop valt enige maanden later dan in de vijver omdat de zuurstofproduktie bepaald wordt door hogere planten die hier - in tegenstelling tot in de vijver - een dichte moerasachtige vegetatie vormen en in het voorjaar pas laat tot ontwikkeling komen. De zomer/herfsttop ligt hier ook laag, waarschijnlijk een gevolg van minder licht, bodemeffect en anaëroob kwelwater. Vermoedelijk is het aandeel van anaëroob kwelwater op de zuurstofhuishouding in de kwelsloot relatief groot. De aanwezigheid ervan kan opgemerkt worden tussen de moerasvegetatie bij de oorsprong, waar lokale kwelplekken herkenbaar zijn aan een witte neerslag van gereduceerde zwavel. Langs de oever en op waterplanten is het waarneembaar als een bruine neerslag van geoxydeerd ijzer met ijzerbacteriën. Hoewel enige analyses van grondwater uit peilbuizen ter plaatse gemaakt zijn, kon hieruit niet worden opgemaakt

dat het oppervlaktewater in de kwelsloot qua samenstelling overeenkwam met het grondwater, wat te verwachten zou zijn. Ook voor de vijver gold dit waar, zoals reeds werd gezegd, grondwater de waterhuishouding zou beïnvloeden. Een nadere argumentatie hiervan wordt in het volgende gegeven.

De grondwaterkwel

Analyses van grondwater zijn slechts incidenteel gemaakt. De grondwaterstanden zijn wel regelmatig opgenomen en in grafiek 3 is het jaarlijks verloop schematisch weergegeven: 's winters hoog, 's zomers laag (zie ook grafiek 14). We zouden nu verwachten dat het chloridegehalte van het oppervlaktewater 's winters lager zou zijn dan 's zomers, zoals we kunnen vinden in ondiepe wateren die niet beïnvloed worden door grondwater en alleen afhankelijk zijn van neerslag en verdamping. Grafiek 3 laat zien dat dit alleen op punt 1 het geval is, in de rest van de vijver en in de kwelsloot is het chloridegehalte 's zomers lager dan in de winter. Dit wijst op invloed van grondwater.

Een ander argument dat grondwater een grote rol speelt in de waterhuishouding van de vijver is de relatief hoge waarde van het chloridegehalte van omstreeks 25 mg/l. Een vijver of ander ondiep water zoals een ven dat alleen regenwater ontvangt, heeft een chloridegehalte van omstreeks 10 mg/l. Deze lage waarde troffen we aan in een nabijgelegen kleine bosvijver die blijkbaar alleen regenwater ontvangt. De kwelsloot, die hoger ligt dan de vijver, heeft altijd een lager chloridegehalte dan de vijver hoewel de seizoenvariatie hetzelfde beeld vertoont. Vergeleken met de vijver heeft de sloot scherpere fluctuaties ten gevolge van het kleinere watervolume. Punt 1 naast het koetshuis heeft een afwijkend gedrag in de zomer. Door ondiepte zou de verdamping hier in de zomer een groot aandeel kunnen hebben in de verhoging van het chloridegehalte, maar andere gegevens die hierna besproken worden, wijzen erop dat er een grondwaterstroming is die afwijkt van de andere monsterpunten. Er is geen aanvoer van oppervlaktewater en de aanwezigheid van kwel door grondwater-onder-druk werd bewezen toen in 1971 een poging gedaan werd dit vijvergedeelte schoon te maken met een bulldozer. Het grondwater dat waarschijnlijk gevoed wordt door een watervoerende laag uit een nabijgelegen maisveld, borrelde er toen krachtig omhoog.

Een duidelijk bewijs voor de aanwezigheid van (plaatselijke) kwel in

de vijver toont de foto die na een nacht vorst met sneeuw in december 1981 genomen werd. De ronde kwelplekken zijn duidelijk in de sneeuw te zien als gevolg van kwelbronnen met grondwater van een hogere temperatuur dan het oppervlaktewater. De smeltstroken langs de oever zijn een gevolg van warmteuitstraling van de oevers; eerder op de dag waren hier ook plaatselijk kwelplaatsen te zien.

Een ander argument dat de vijver voornamelijk door grondwater wordt gevoed en door een andere grondwaterstroom dan bijvoorbeeld de kwelsloot, werd gevonden bij chloridebepalingen na langdurige regenval in maart 1981. De gegevens van het oppervlaktewater zijn weergegeven in tabel 2 en kaart 4. Daaruit blijkt dat de drie monsterpunten in de vijver een chloridegehalte van omstreeks 20 mg/l hadden terwijl dat elders aanzienlijk lager lag. Er zijn vaak op slechts korte afstand van elkaar grote verschillen zoals in de proeftuin, waar het gehalte in grondwaterbuizen werd bepaald (voor ligging van de monsterbuizen zie kaart 3). Het is echter de vraag of hier grondwater dan wel er bovenstaand neerslagwater is afgetapt. De bemonstering van het oppervlaktewater toont echter duidelijk aan dat de vijver ander water dan alleen regenwater ontvangt. Het is nog niet duidelijk geworden hoe oppervlakkige en diepere grondwaterstromingen in de verschillende delen van het landgoed verlopen en van waaruit zij gevoed worden. Een aantal aspecten van dit verschijnsel komt ter sprake bij de hierna te behandelen gevolgen van perioden van droogte.

Tabel 1.

(zie ook kaart 4)

Kasteelvijver Broekhuizen. cl-bepalingen 1981, 16 maart na veel regen.

Oppervlaktewater	<u>16.3.81</u>	<u>12.3.81</u>
1. vijver naast koetshuis	19 mg/l	19 mg/l
2. vijver voor kasteel	18 "	
3. einde vijver bij bruggetje	19 "	
4. einde kwelsloot	10 "	10 mg/l
5. begin kwelsloot		10 mg/l
6. sloot langs oostschutting moestuin	6 "	
7. zelfde sloot in het bos	11 "	
8. sloot voor ronde wei	11 "	
9. ronde vijver ten zuiden van zwembad	14 "	
10. waterpartij zuidzijde landgoed	8 "	
11. idem noordzijde pad tegen weiland	8 "	
12. sloot langs pad naar noorden	13 "	
13. idem westzijde pad	9 "	
14. 'toevoer' voor sluis	11 "	
15. idem hoger op	11 "	11 mg/l
16. bosvijver	10 "	
17. poel moestuin	5 "	5 mg/l
18 moeras voor poel	4 "	

Cl-bepalingen van grondwaterbuizen op het landgoed d.d. 14.4.1981

<u>proeftuin</u>		<u>om vijver</u>	
nr. 1	12 mg/l	nr. 17	5 mg/l
4	6 "	18	13 "

5	37	"
6	11	"
7	18	"

30	6	"
----	---	---

westzijde landgoed

omgeving kwelsloot

nr. 5	4 mg/l
6	4 "
7	4 "

18	13 mg/l
9	12 "
13	17 "
12	12 "

oostzijde

15	21 mg/l
----	---------

Gevolgen van droogliggen

In de grafieken 5-8 (vijver) en de grafieken 9-12 (kwelsloot) zijn de maandelijkse waarnemingen van pH, HCO_3 , Fe, PO_4 , Cl, EGV, SO_4 , Ca en NO_3 volgens de computergegevens getekend. Hierbij is niet het gehele traject vanaf 1969 weergegeven, maar alleen de periode vanaf 1974 zodat het verloop na het droogliggen in 1973 en 1976 in deze grafieken wordt beschouwd. In tabel 3 is een globaal overzicht gegeven van de gehele waarnemingsperiode.

In deze grafieken zien we de volgende algemeen jaarlijks weerkerende verschijnselen, waarvan een deel reeds schematisch in het voorgaande is weergegeven.

De pH in de vijver vertoont ieder jaar vooral in de nazomer een piek ten gevolge van de assimilatie. Opname van HCO_3 veroorzaakt in samenhang hiermede in dezelfde tijd een daling van HCO_3 . PO_4 en NO_3 zijn dan laag en komen na de pH-piek door afsterven van de algen weer in oplossing. Het chloridegehalte, dat biologisch niet beïnvloed wordt, daalt in de herfst en is hoog in de winter. In sommige gevallen kan worden afgeleid, dat zowel ijzer als fosfaat gelijktijdig een piek vertonen, die niet in verband gebracht kan worden met biologische activiteit door afname van een bloei. In dat geval is deze toename een gevolg van een groter aandeel van grondwater in de Fe-P-huishouding.

De grafieken van de kwelsloot geven grotere schommelingen te zien. De pH is lager dan in de vijver en de pieken zijn flauw. De relatie tussen ijzer, fosfaat en grondwater is er duidelijker. Ook de pH wordt hier duidelijk beheerst door het bicarbonaatevenwicht zoals o.a. blijkt uit de samenhang van de zeer lage pH (3) in mei 1978 met het ontbreken van HCO_3 .

In de volgende paragraaf wordt het effect van de perioden van droogliggen volgens de grafieken 4-12 nagegaan.

Gevolgen van de droogte op de chemische samenstelling van het water

Wanneer de bodem van een water droog ligt, wordt door beluchting het sediment gemineraliseerd. Te verwachten is daarom dat bij hernieuwde inundatie deze stoffen in oplossing gaan, zodat hoge concentraties gevonden kunnen worden. Na verloop van tijd ontstaat er een evenwicht

waarbij ook biologische processen een rol gaan spelen. De overmaat aan mineralen, waaronder nutriënten, geven aanleiding tot een opbloei van algen waarna zich ook een opbloei van zoöplankton kan voordoen. In de praktijk van de viskweek past men tijdelijke drooglegging van visvijvers toe om zodoende voldoende voedselorganismen voor het jongbroed te hebben.

Het is nu interessant na te gaan hoe de verschillende elementen in vijver en kwelsloot zich herstelden na een droogte van 3 en 6 maanden in resp. 1973 en 1976. Dit kon uit de grafieken worden afgeleid en is in het volgende weergegeven.

Korte-termijneffecten van droogliggen

In grafiek 4 is het effect van droogliggen van de vijver op de zuurstofhuishouding schematisch weergegeven, afgeleid uit de tien jaar maandelijkse waarnemingen van 1969-1979. De conclusie is dat het actuele zuurstofgehalte c.q. de verzadigingswaarde voor en na het droogliggen niet belangrijk verschilt. De voorjaars- en zomertop in de grafiek blijven op gelijke hoogte. Dat er toch een duidelijk verschil is in biologische activiteit blijkt wanneer we de zuurstofproductiepotentie door middel van de lichttest vergelijken. Het blijkt dat in de periode vóór 1972, toen er permanent water in de vijver was, meestal een negatieve waarde werd gevonden voor de lichttest. Dit is grafiek 4 aangegeven met de gestippelde kromme, die binnen de lijn voor het actuele zuurstofgehalte verloopt. Na droogte zien we dat de gestippelde lijn, de zuurstofproductiepotentie, het actuele zuurstofgehalte overtreft. Dit was vooral duidelijk bij punt 1 dat vaak droog lag. Dat wil zeggen dat het fytoplankton als zuurstofproducent na een droogte krachtig werkzaam is. Hetzelfde verschijnsel vinden we in ondiep water in het voorjaar wanneer de temperatuur ongeveer 10°C nadert. Er worden dan weer voedingsstoffen in circulatie gebracht, gevolgd door planktonopbloei en zuurstofproductie. Dat gebeurde dus ook na droogliggen van de vijver. Er treedt tijdelijke hypertrofie op door de normale voorjaarscirculatie.

In dezelfde grafiek 4 is aangegeven hoe de nutriënten PO_4 en NO_3 zich voor en na droogte gedragen. Na droogte is er veel fosfaat en nitraat waarvan de toppen na de zuurstofmaxima liggen, m.a.w. fosfaat en nitraat zijn in de vegetatieperiode opgeslagen in de biomassa en komen erna vrij. Het fosfaatgehalte is zeer hoog vooral na de droogte en zeker geen

beperkende factor voor de algengroei. Het nitraat is voor en na droogte weinig verschillend, wordt vaak in de vegetatieperiode uitgeput en kan als beperkende factor in het vijverwater gezien worden.

Hoewel er duidelijk na iedere droogte een positieve zuurstofproductiepotentie kon worden geconstateerd, kon niet worden gevonden dat na iedere droogte een hoger maximum in fosfaat of nitraat werd aangetroffen, afgezien van een tijdelijke uitputting kort na de droogte, zoals hiervoor werd besproken. Na de lange droogte van 1976 zien we wel in de jaren 1977 en 1978 zeer hoge fosfaatgehalten van soms meer dan 1 mg/l (grafiek 6, 8, 9 en 11). Dit roept de vraag op, of hier niet tevens een effect op lange termijn een rol speelt als gevolg van opeenvolging van jaren met veel en weinig neerslag. In de grafieken 7 en 8 is voor een aantal elementen weergegeven hoe na zes maanden droogliggen van de vijver in 1976 het verloop is af te leiden op monsterpunt 2. We zien daaruit dat aangenomen mag worden, dat zowel Ca als SO_4 eerst in augustus 1977, dus na 8 maanden in de evenwichtssituatie teruggekeerd zijn. In dezelfde grafiek zien we dat het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) eveneens in augustus weer in evenwicht gekomen kan zijn, maar dat dit voor chloride niet geldt. Wat chloride betreft heeft het droogliggen geen invloed gehad. Het vertoont de normale seizoenfluctuatie.

Dit geldt ook voor het EGV, waarvoor de volgens grafiek 7 gesteld zou kunnen worden dat niet met zekerheid is te zeggen dat in augustus 1977 het evenwicht is bereikt omdat een verder dalende tendens tot augustus 1978, zij het meer geleidelijk, kan worden afgeleid. Aangezien het EGV voornamelijk wordt bepaald door het bicarbonaat trekken we dit bij grafiek 8 in de beschouwing. We zien daarin dat bicarbonaat na mei 1977 sterk gaat stijgen tot september 1977. De sterke daling van het EGV wordt omstreeks mei daardoor afgeremd en in 1978 zien we dat EGV en bicarbonaat een vrijwel parallel verloop hebben. Er is daarom reden aan te nemen dat het EGV ook na acht maanden, dus in augustus 1977 weer in evenwicht is en dan door het bicarbonaat bepaald wordt. Bicarbonaat zelf wordt in en vóór mei 1977 betrokken in het assimilatieproces, wat afgeleid kan worden uit de samenhang met de pH-piek in mei, die tevens, maar hier niet in grafiek weergegeven, samenvalt met een hoog zuurstofgehalte en planktonbloei. De pH heeft in 1978 een normaal verloop. In 1977 is de waarde tot maart lager dan normaal. We kunnen aannemen dat de pH in deze eerste drie maanden na het droogliggen bepaald wordt door processen samenhangende met laag bicarbonaat, veel organische stof en reductieprocessen. In deze

eerste paar maanden na droogliggen is er een ophoping van organische stof tegelijk met veel ijzer. Grafiek 8 laat het verloop van het ijzer zien dat na twee maanden het normale beeld geeft en vermoedelijk dan samenhangt met het ijzergehalte van het grondwater. de nutriënten PO_4 en NO_3 tenslotte worden in het voorjaar uitgeput om na de planktonbloei in juni weer vrij te komen. Vlak na het droogliggen vinden we geen hoge waarden. We mogen aannemen dat vooral fosfaat dan gebonden is aan de organische stof.

Nitraat gaat eerder in oplossing en heeft reeds direct na droogliggen een waarde van omstreeks 1,5 mg/l wat normaal genoemd kan worden voor oppervlaktewater. In tabel 2 zijn de gegevens samengevat. Voor de kwelsloot (punt 4) is het moeilijker af te leiden wanneer na het droogliggen het evenwicht weer hersteld is, zoals de grafieken 9 t/m 12 laten zien. Als slootmilieu is de kwelsloot reeds anders dan de vijver, maar ook zijn er veel lagere waarden voor wat betreft de chemische elementen, in het bijzonder Ca. Uit de grafieken van voorgaande jaren blijkt, dat reeds na de droogte van drie maanden in 1973, maar ook al na 1971 als gevolg van de inzet van jaren met geringere neerslag het kalkgehalte, maar ook het bicarbonaatgehalte verstoord werden. We vinden in 1978 in de kwelsloot het lage kalkgehalte van 10 mg/l, terwijl dat in de vijver niet beneden 25 mg/l komt. Men kan nu volgens grafiek 12 stellen dat evenals bij de vijver Ca in augustus, dus na acht maanden, weer in evenwicht was. Er is echter ook iets voor te zeggen dat dit twee maanden later, in november pas het geval was gezien het verloop van de kromme. Voor sulfaat is dit nog later nl. december of januari 1978. Voor chloride en EGV zou augustus 1977 als punt van evenwicht kunnen gelden, maar voor chloride moet daling van de waarde omstreeks augustus als normaal gezien worden. Voor de kwelsloot is het niveau van 14 mg/l altijd lager dan de vijver. In mei 1978 wordt een piek van omstreeks 30 mg gevonden, waarvoor geen verklaring is, maar die wel samenvalt met een onverwacht pH van 3 a 4 (grafiek 11), een waarde die ook direct na de droogte gevonden werd. de samenhang van pH met een bicarbonaatgehalte van vrijwel 0 vinden we zowel in mei 1978 als in januari 1977 (grafiek 11). De pH stijgt na januari langzaam tot augustus om snel in september, dus na negen maanden op het evenwichtsniveau van 6 te komen. De pH wordt dus in de kwelsloot veel langer op een laag niveau gehouden dan in de vijver. Behalve het zeer lage bicarbonaatgehalte zal hier ook de grotere hoeveelheid organische stof met reductieverschijnselen een rol spelen.

Evenals in de vijver vinden we aanvankelijk na droogliggen een hoog ijzer- en een organische-stofgehalte (niet in grafiek) dat na twee maanden weer op normaal niveau ligt. Een verschil is dat het ijzergehalte in de kwelsloot na mei zeer sterk stijgt tot augustus en daarna op een hoger niveau blijft dan in de vijver. Behalve dat de invloed van ijzerrijk grondwater in het kleinere slootvolume groter zal zijn, moet er invloed zijn van de lagere zuurstofgehalten in de sloot waardoor meer ijzer in oplossing gaat. Fosfaat en nitraat gedragen zich in de eerste maanden zoals in de vijver. De fosfaat-top in juni is in de kwelsloot lager maar strekt zich over meer maanden uit. Mogelijk is hier meer aandeel van fosfaat uit grondwater.

Tenslotte merken we op, dat b.v. bicarbonaat toch in 1977/78 een zekere stijging laat zien, waaruit zou zijn op te maken dat de verhouding tussen kalk en koolzuur nog niet is gestabiliseerd. Hetzij als gevolg van droogliggen, hetzij als gevolg van jaren met veel neerslag gevolgd door perioden met weinig neerslag. Hierop wordt in het volgende ingegaan.

Tabel 2.

Vijver na 3 maanden (x, 1973) en 6 maanden (o, 1976) droogliggen

Herstel na:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12mnd.
Cl	ox												
pH	ox												
HCO ₃	x						o						
Fe	x		o										
PO ₄	ox												
Ca			x						o				
K			x							o			
NO ₃	ox		x?	o									
KmnO ₄			ox										
EGV							x		o				
SO ₄										ox			

Kwelsloot na 3 (x, 1973) en 6 maanden (o, 1976) droogliggen

Herstel na:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12mnd.
Cl	ox												
pH							x			o			
HCO ₃										x		o	
Fe	x		o										
PO ₄	ox												
Ca										ox			
K			x							o			
NO ₃	x					o?							
KmnO ₄		o	x										
EGV									o	x			
SO ₄										ox			

Lange-termijneffecten

Dat er als gevolg van droge en natte jaren effecten zijn te verwachten op de waterhuishouding van de vijver laat zich afleiden uit de waarnemingen van de stijghoogten in de peilbuizen op het landgoed. Moeilijker is het om het najlen te volgen omdat een intensiever hydrologisch onderzoek nodig zou zijn. Niettemin volgen hier enige gegevens over peilstanden, neerslag en waterkwaliteit die misschien vatbaar zijn voor verdere uitwerking.

Grafiek 14 geeft het peilverloop weer van twee peilbuizen nl. in de kwelsloot (bovenste lijn) en de vijver (onderste lijn). Behalve dat de stijghoogte jaarlijks in de winter hoger is dan in de zomer, zien we dat vooral in 1976 een zeer lage grondwaterstand aanwezig was. In 1973 ontbreken waarnemingen. Behalve seizoenfluctuaties kunnen we in de stijghoogtelijnen een meerjarige fluctuatie vinden. Ditzelfde patroon over deze jaren is waargenomen in het grondwaterstandsverloop in enige putten op de Veluwe bij Hoenderlo en Nijkerk. Zie hiervoor het rapport van Van der Heijde (1978).

In grafiek 15 is het 'tekort' en het 'overschot' aan neerslag uitgezet ten opzichte van het gemiddelde van 61,4 mm/md over de tien jaar volgens gegevens van het KNMI voor Amerongen (cumulatief gemiddelde). Daaruit is af te leiden dat de neerslagarme jaren duurden tot waarna weer neerslagrijke jaren volgden. Gegevens over verdamping zijn niet aanwezig, zodat de nuttige neerslag en daarmee grondwater c.q. vijverpeil niet zijn af te leiden. Wel is er misschien grofweg overeenstemming te vinden in het verloop van de maxima en minima in de beide grafieken. Wat betreft de jaren dat er neerslag-'tekorten' waren (onder de nullijn, eind 1971 t/m begin 1975) kan opgemerkt worden dat het water in de vijver kwalitatief vooral wat betreft chloride en EGV van 1972 t/m 1976 enigszins en gelijkmatigere waarde had dan voor en na deze periode (zie grafiek 16). Hier kan nog aan toegevoegd worden dat het gedeelte van de vijver naast het koetshuis (punt 1) vaak droog lag en met name in de neerslagarme jaren 1973 t/m 1976.

Wanneer we ons tenslotte afvragen of de spectaculaire toename van de fosfaatmaxima in 1977 en 1978 een gevolg zijn van het lange droogliggen van 1976 ofwel van najling als gevolg van de drogere jaren, zouden de waarnemingen moeten worden voortgezet. Duidelijk is dat door het droogliggen in 1976 een structuurverandering is opgetreden die vooral in

de kwelsloot en naast het koetshuis waarneembaar is, o.a. in resp. lagere en hogere EGV. De kwelsloot vertoonde de EGV-verlaging reeds na de kortere droogligging in 1973, zonder dat toen echter een spectaculaire toename van fosfaat was waar te nemen.

Verzuring, uitloging en eutrofiëring

In tabel 3 is een globaal overzicht gegeven van enkele chemische gegevens in drie perioden vanaf 1969 van de vijver (punt 2) en de kwelsloot (punt 4). Hieruit kan een tendens worden afgeleid die zich in de loop der jaren voordoet zoals verzuring, uitloging en eutrofiëring.

Voor het water van de vijver valt het op dat zowel Cl als EGV in de periode III iets lager liggen dan daarvoor. De pH is iets lager geworden en dit geldt ook voor de ermee samenhangende Ca- en HCO_3 -gehalten. Anderzijds is er een zeer grote toename van fosfaat in periode III. Enerzijds zou men dus kunnen spreken van verzuring en uitloging, anderzijds van fosfaateutrofiëring. In periode III is ook het Fe-gehalte hoger dan in vorige perioden. Mogelijk is er een wijziging gekomen in de ijzerfosfaathuishouding waarbij uitloging en verzuring een rol spelen door een groter aandeel van grondwater. Stikstof heeft vrijwel geen wijziging ondergaan. Het stikstofgehalte is en blijft laag.

In de kwelsloot is in periode III de verzuring en de uitloging duidelijker. Ook de fosfaateutrofiëring bereikt hogere waarden, terwijl EGV en sulfaat in periode III weer stijgen, in tegenstelling tot de vijver waar ze gelijk blijven. Door de hogere ligging van de kwelsloot is uitloging door uitzijging wel aan te nemen, gevolgd door verzuring. De toename van ijzer en fosfaat die groter is dan in de vijver, kan samenhangen met een groter aandeel van grondwater, waarop ook het gedrag van sulfaat zou kunnen wijzen. De stijging van kalium zou er dan op wijzen dat dit grondwater residuen van de landbouw bevat. We zouden dan ook een toename van stikstof kunnen verwachten, niet in de vorm van nitraat maar wel in de vorm van gereduceerde N-verbindingen. Samenhang met de zuurstofhuishouding is in dit verband aan te nemen. Helaas zijn geen gegevens over de chemische samenstelling van het grondwater bekend en is ook te weinig bekend over grondwaterstromingen die de verschillen tussen vijver en kwelsloot zouden kunnen verklaren.

Tabel 3.

Niveau chemische elementen vijver

		I	II	III
	periode	<u>1969-1973</u>	<u>1973-1976</u>	<u>1976-1979</u>
Cl	mg/l	25-20	20	20-25
pH		7,5	7,5	7
HCO ₃	mg/l	100-150	50-100	50-100
Fe	"	0,1	0,1	0,1
PO ₄	"	0,1 max 0,8	0,1 max 0,6	0,1 max 1,6
Ca	"	50	40	35
K	"	5	5	5-9 max
NO ₃	"	1	1	1
EGV	uS	300	290	290
SO ₄	mg/l	50	50	40

idem kwelsloot

Cl	mg/l	25-15	20-10	20-6
pH		7	7-6	6
HCO ₃	mg/l	100-50	0-20	0-20
Fe	"	0,1-1	1	0,5-1,5
PO ₄	"	0,1 max 1,1	0,1 max 1,1	0,1 max 3
Ca	"	25	10	10
K	"	4-5	3-5	5-8 max
EGV	uS	160	100	150
SO ₄	mg/l	45 max 145	25	35
NO ₃	"	1	1	1

Literatuur

- Heijde, P.K.M. van der 1978. De droogte van 1976. Een samenvatting en overzicht van de over de droogte van 1976 verschenen literatuur. Rapporten en nota's nr. 3, CHO-TNO, Den Haag. 113 p.
- Leentvaar, P. 1966. Verslag van het onderzoek van de Hel bij Veenendaal in 1966. Rivon-rapport. 17 p.
- Munneke, B.R. 1970. Hydrobiologisch onderzoek in het Staatsnatuurreservaat 'de Hel' bij Veenendaal. Rapport-RIN. 53 p.
- Repko, F.F. & J.A. Sinkeldam 1981. Hydrobiologisch onderzoek in twee tichelgaten van het CRM-reservaat De Mijntjes (Terwolde); plankton, macrofauna en fysisch-chemische factoren. RIN-rapport 81/15. 133 p.
- Sinkeldam, J.A. 1981. Het plankton van de vijver van kasteel Broekhuizen, Leersum, november 1973-september 1977. RIN-rapport 81/20. 46 p.

Kaarten en grafieken

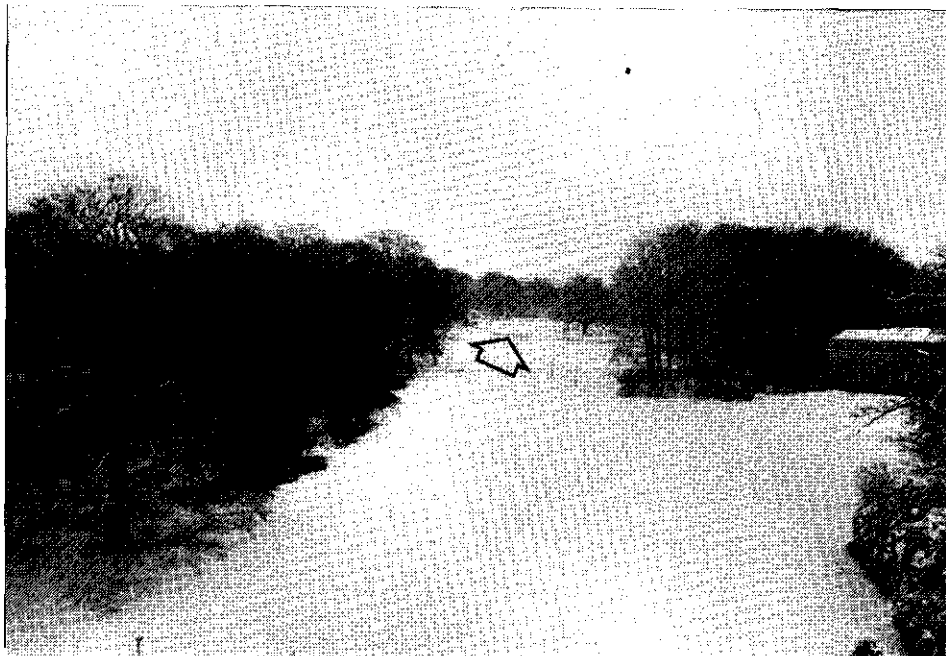
Kaart	1	Waterdiepte en modderdikte in 1969
Kaart	2	Lichtklimaat op de monsterplaatsen
Kaart	3	Meetplaatsen grondwaterbuizen
Kaart	4	Chloride oppervlaktewater op 16 maart 1981
Grafiek	1	pH en O_2 -verzadiging per seizoen - schematisch
Grafiek	2	O_2 -verloop per seizoen - schematisch
Grafiek	3	Verloop van peil, Cl, EGV en Ca per seizoen
Grafiek	4	Verloop van PO_4 , NO_3 en O_2 -produktie per seizoen
Grafiek	5	Computergrafiek verloop Cl, EGV, Ca, SO_4 en NO_3 in de vijver (punt 2) vanaf 1973 - na 3 maanden droogliggen
Grafiek	7	Vervolg computergrafiek 5 van de vijver - na 6 maanden droogliggen eind 1976
Grafiek	8	Vervolg computergrafiek 7 van de vijver - na 6 maanden droogliggen eind 1976
Grafiek	9	Computergrafiek verloop pH, HCO_3 , Ca, SO_4 en NO_3 in de kwelsloot (punt 4) vanaf 1973 - na 3 maanden droogliggen
Grafiek	10	Computergrafiek verloop Cl, EGV, Ca, SO_4 en NO_3 in de kwelsloot (punt 4) vanaf 1973 - na 3 maanden droogliggen
Grafiek	11	Vervolg computergrafiek 9 van de kwelsloot - na 6 maanden droogliggen eind 1976
Grafiek	12	Vervolg computergrafiek 10 van de kwelsloot - na 6 maanden droogliggen eind 1976
Grafiek	13	Verloop kalium in vijver en kwelsloot vanaf 1973
Grafiek	14	Stijghoogte in peilbuizen vanaf 1969 in vijver en kwelsloot
Grafiek	15	Cumulatieve neerslag volgens KNMI bij Amerongen
Grafiek	16	Computergrafiek van chloride vanaf 1969

Kwelplekken in het ijs in december 1981

Het hoger gelegen gebied met kwelsloot op de achtergrond
(december 1981)



Kwelplekken in de vijver. (december 1981)









Het hoger gelegen gebied met kwelsloot op de achtergrond
(december 1981)

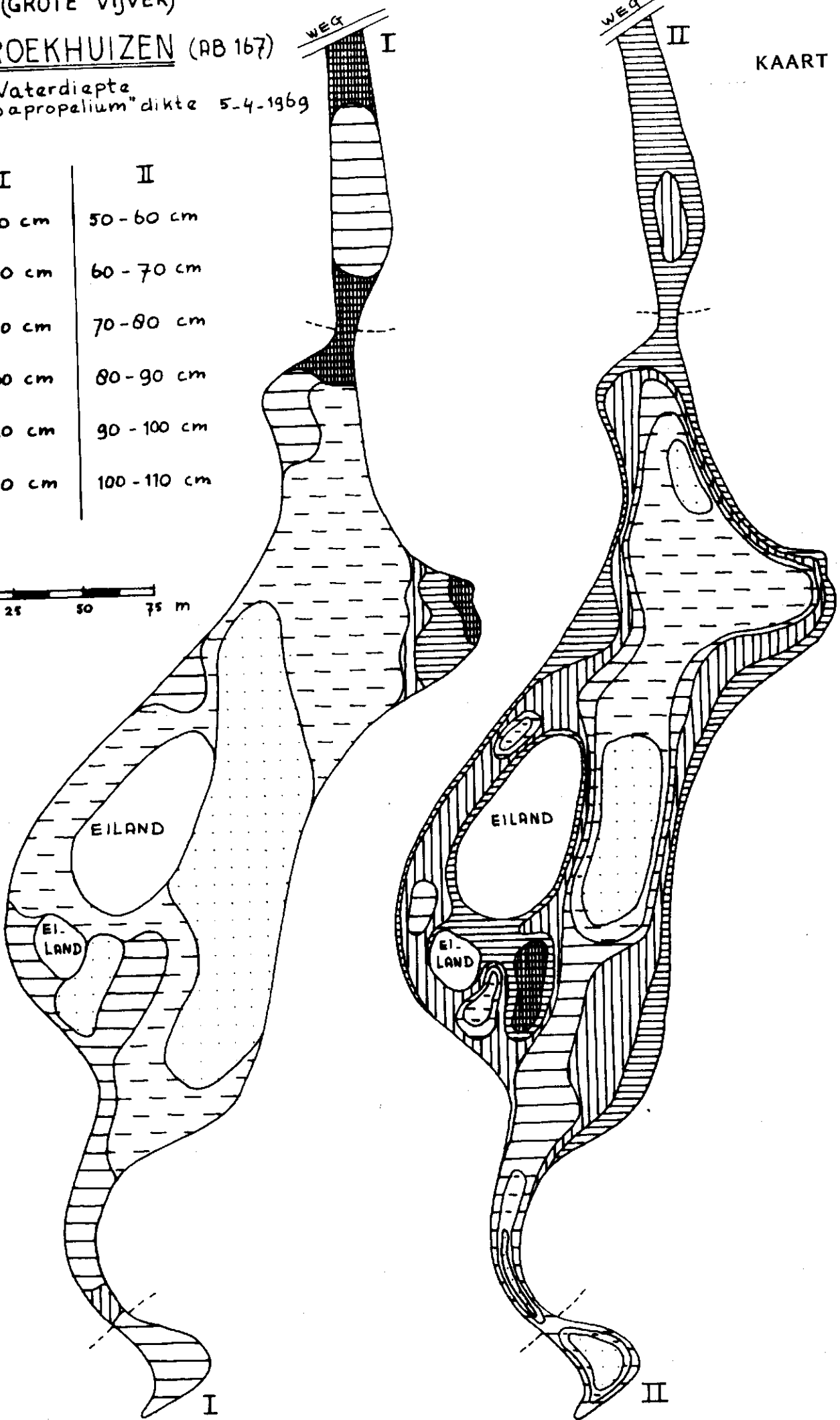
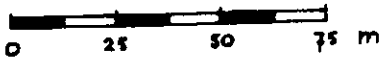
(GROTE VIJVER)

BROEKHUIZEN (AB 167)

KAART 1

II. Waterdiepte
I. „Sapropelium”dikte 5-4-1969

I	II
 50-60 cm	50-60 cm
 40-50 cm	60-70 cm
 30-40 cm	70-80 cm
 20-30 cm	80-90 cm
 10-20 cm	90-100 cm
 0-10 cm	100-110 cm



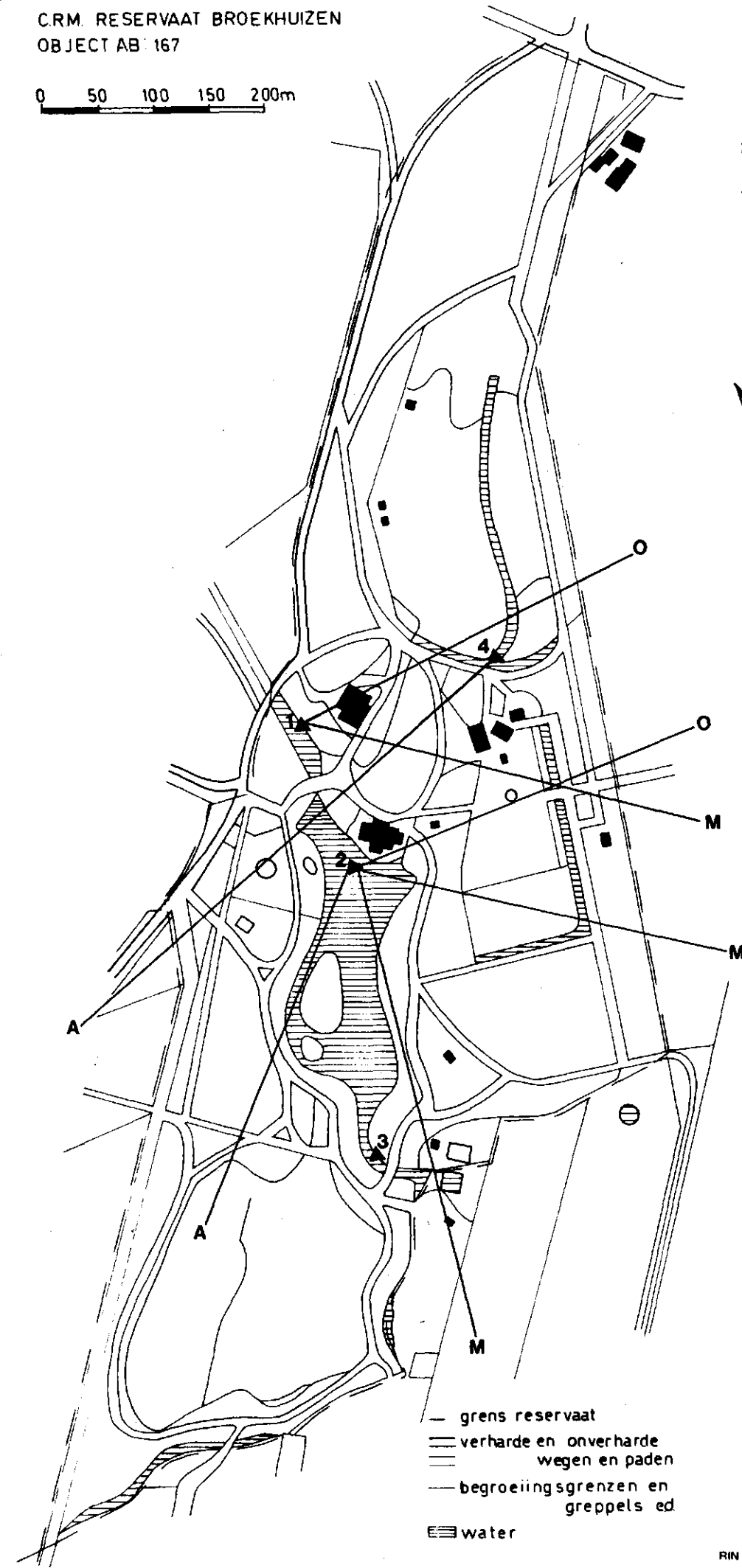
C.R.M. RESERVAAT BROEKHUIZEN
OBJECT AB 167

0 50 100 150 200m

KAART 2

Lichtklimaat op de
monsterpunten

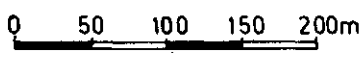
O ochtendzon
M middagzon
A avondzon
(zomer)





C.R.M. RESERVAAT BROEKHUIZEN
OBJECT AB 167

KAART 3

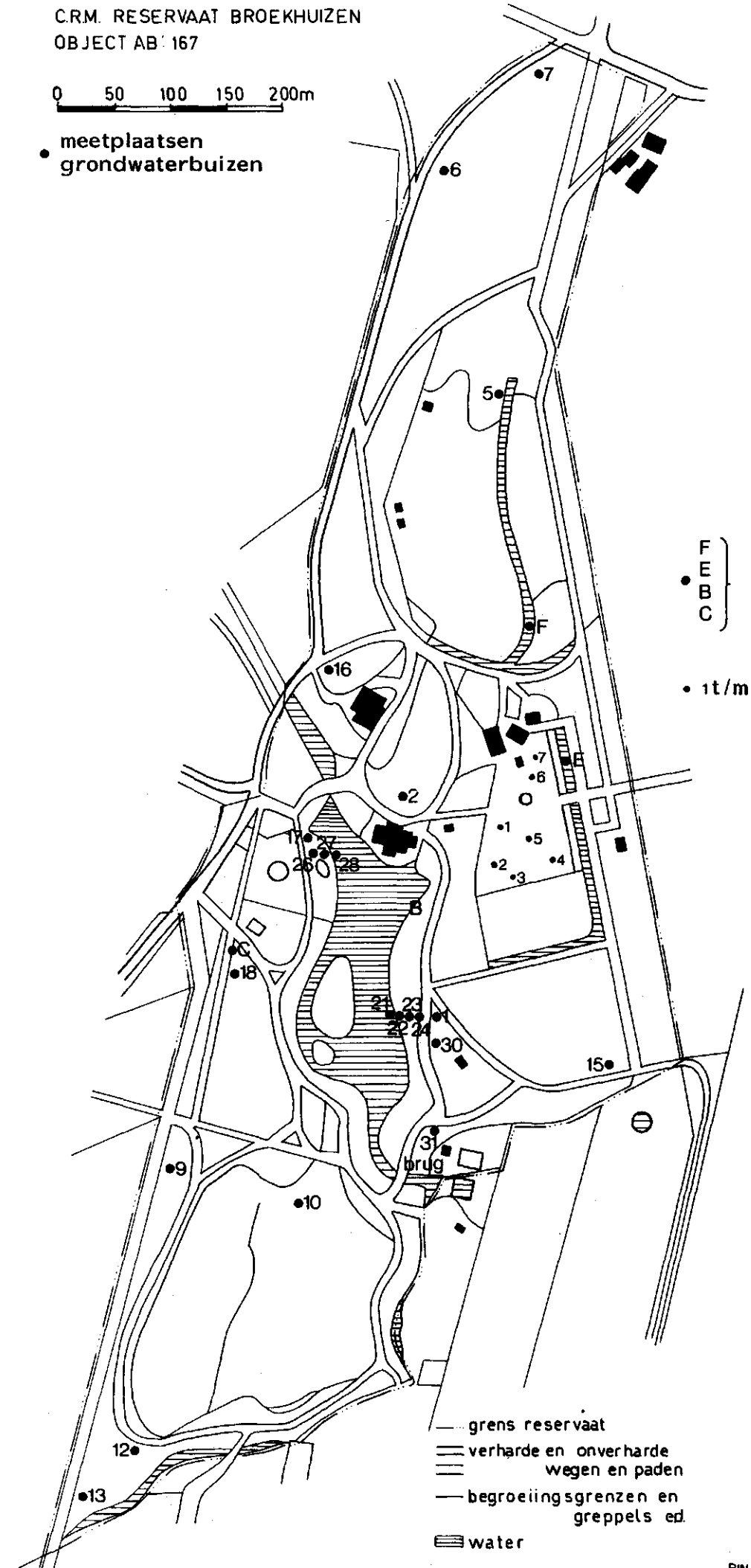


• meetplaatsen
• grondwaterbuizen



F } meetplaatsen
E } in vijver en
B } sloten
C }

• 1t/m7 in proeftuin



— grens reservaat
 — verharde en onverharde
 wegen en paden
 — begroeiingsgrenzen en
 greppels ed.
 — water

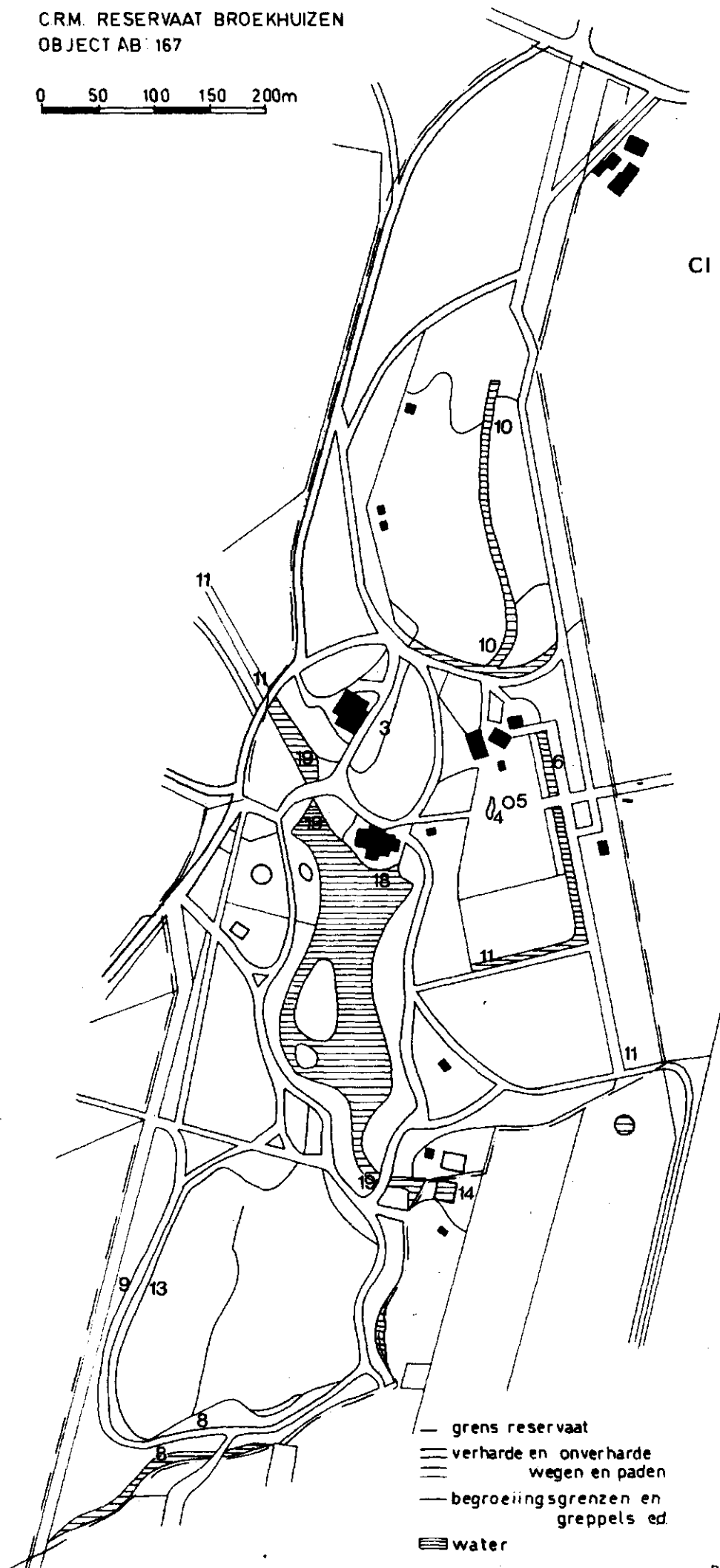


CRM. RESERVAAT BROEKHUIZEN
OBJECT AB 167

0 50 100 150 200m

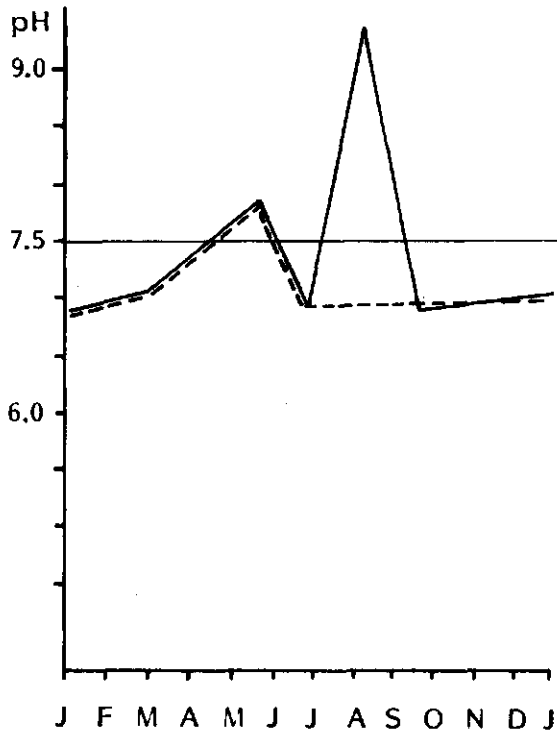
KAART 4

Cl oppervlakte water
16 maart '81

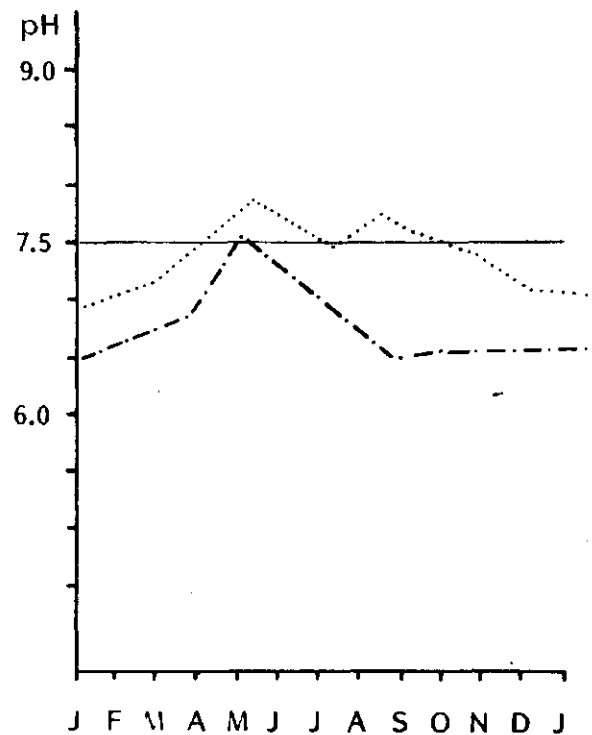


- grens reservaat
- verharde en onverharde
wegen en paden
- begroeiingsgrenzen en
greppels ed
- ▨ water

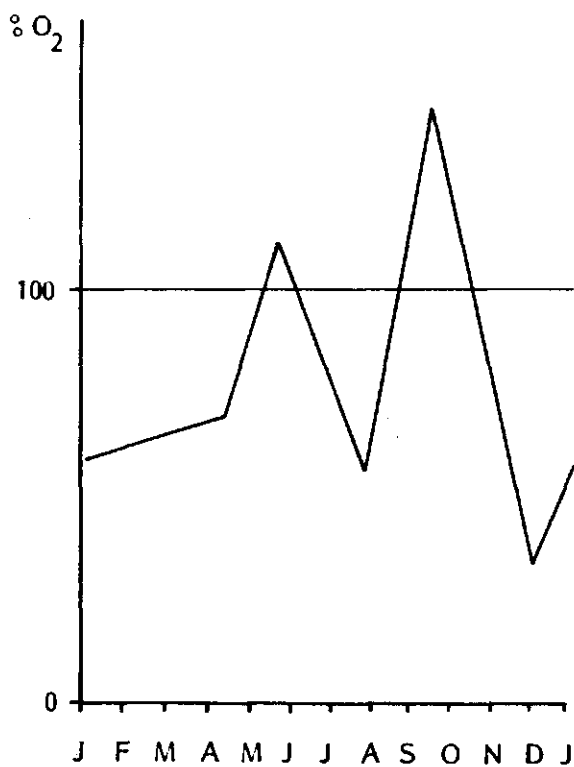
Grafiek 1. Schematische voorstelling van het verloop van pH en zuurstofverzadiging in één jaar.



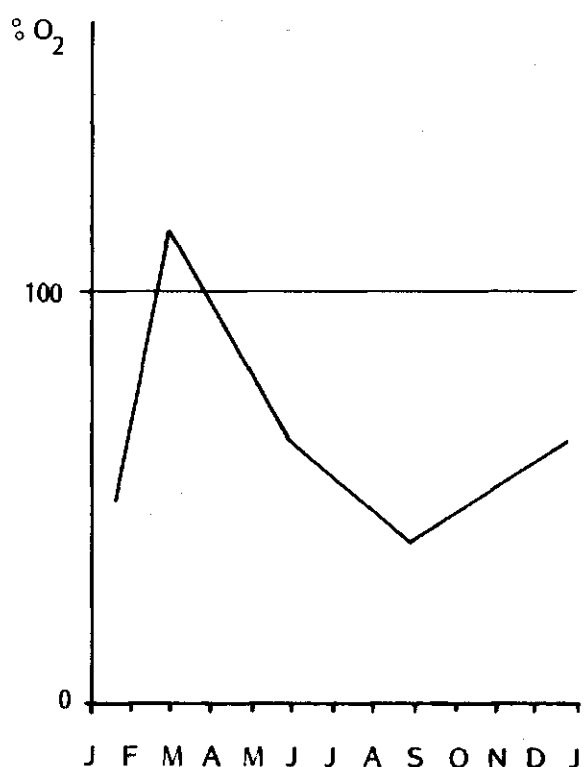
— Monsterpunt 2
 - - - Monsterpunt 3



..... Monsterpunt 1
 - . - . Monsterpunt 4

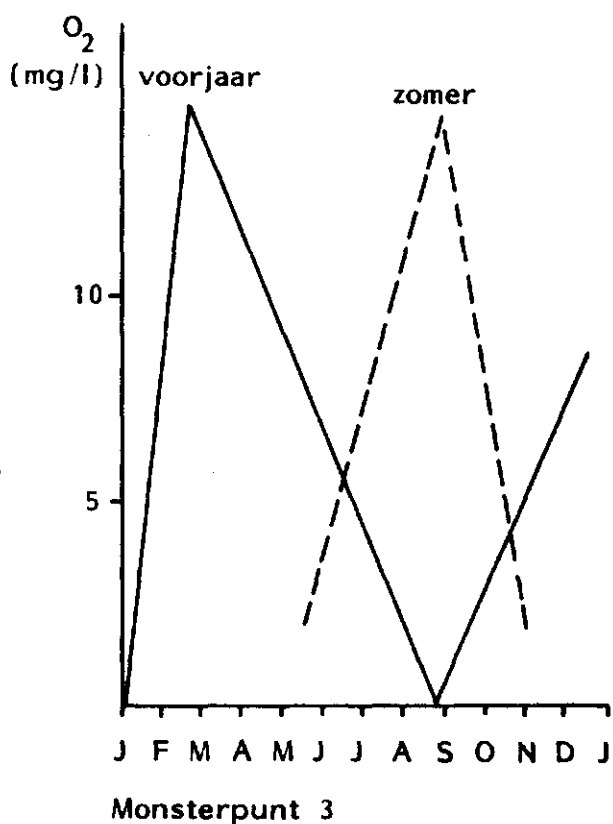
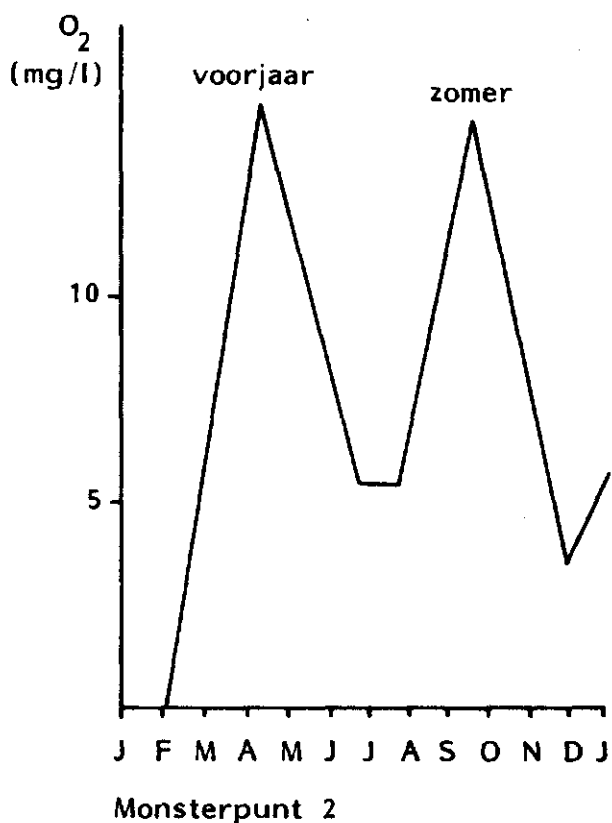
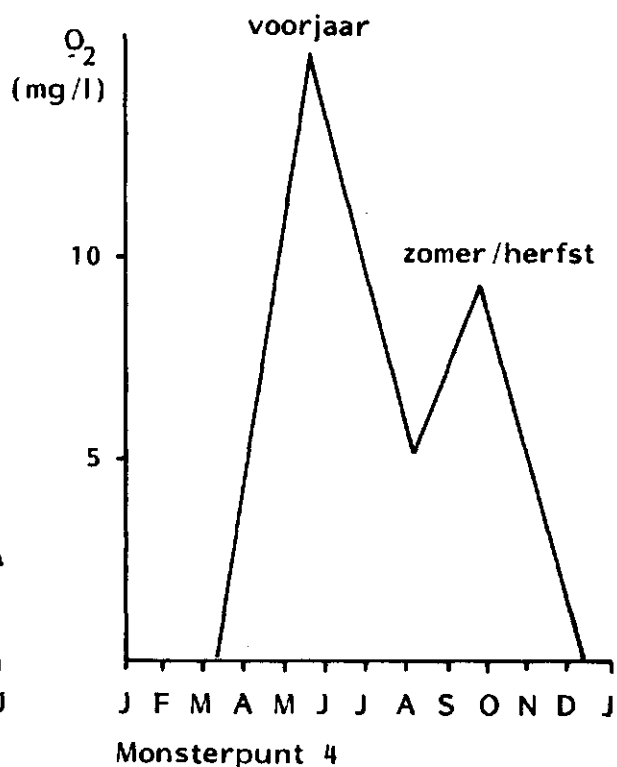
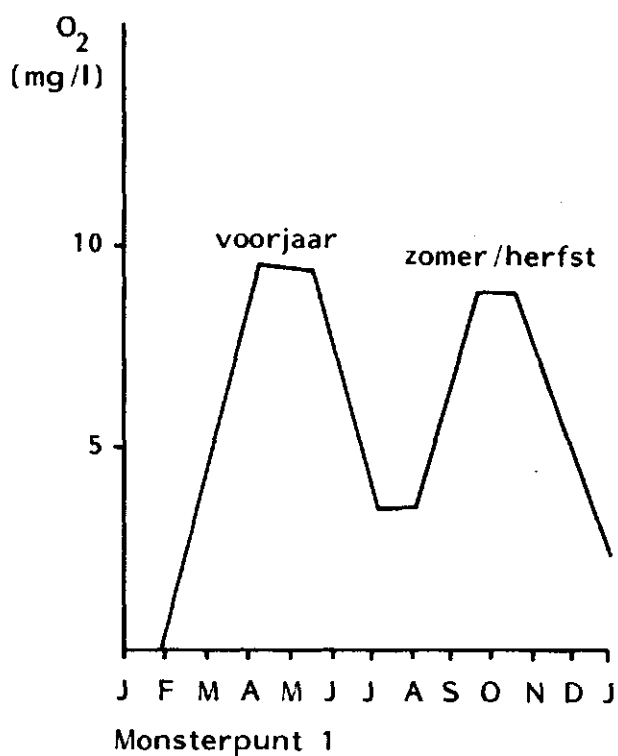


— Monsterpunt 2



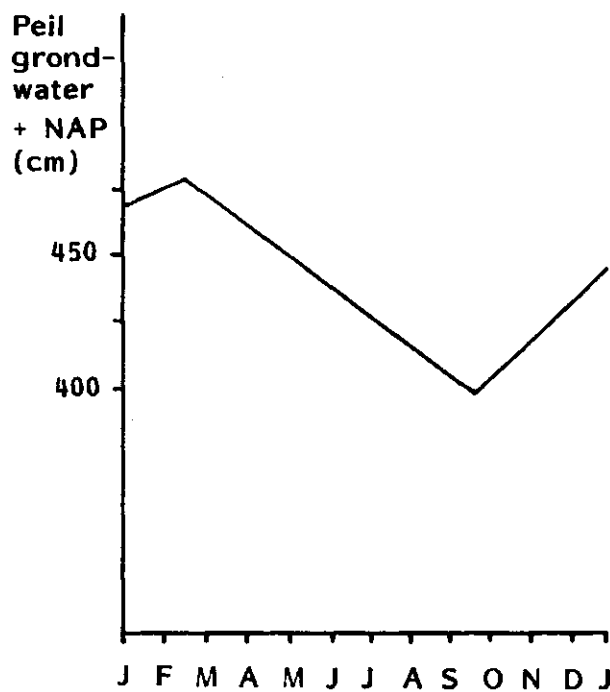
— Monsterpunt 3

Grafiek 2. Schematische voorstelling van het zuurstofgehalte op de monsterpunten van vijver en kwelsloot in één jaar.

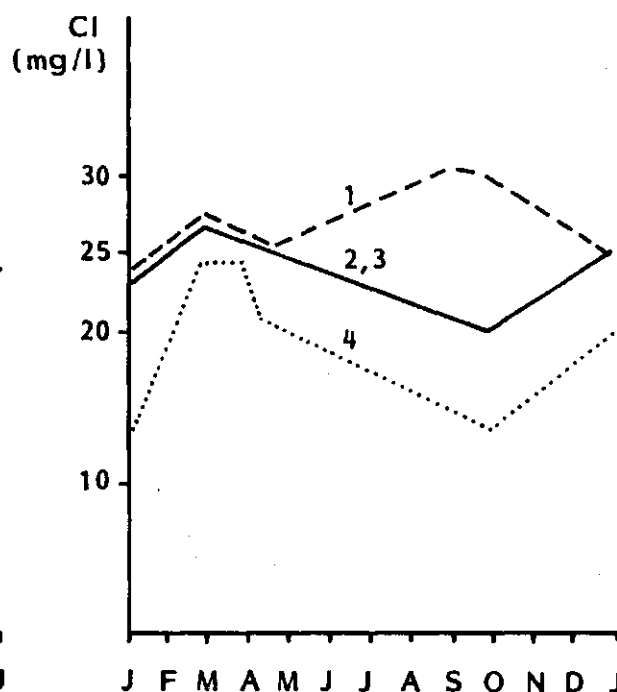


— O₂ gehalte
 --- O₂ productiepotentie (lichtproef)

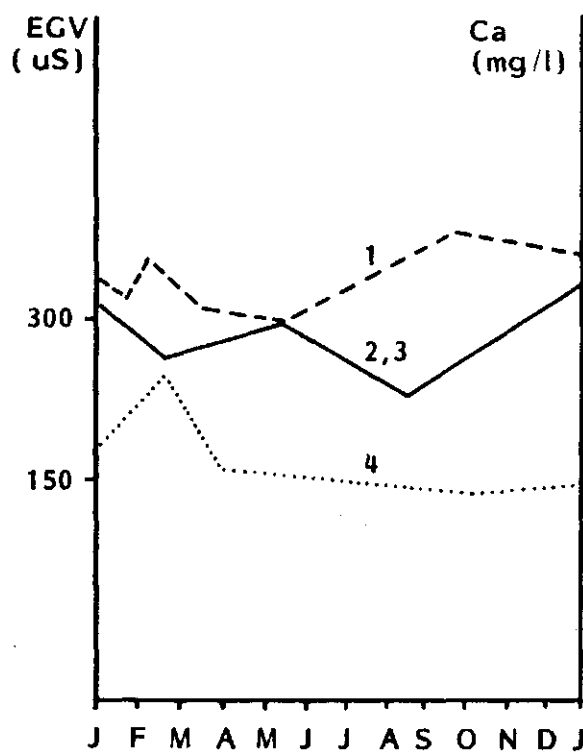
Grafiek 3. Schematische voorstelling van het peilverloop, chloride, geleidbaarheid en Ca in één jaar.



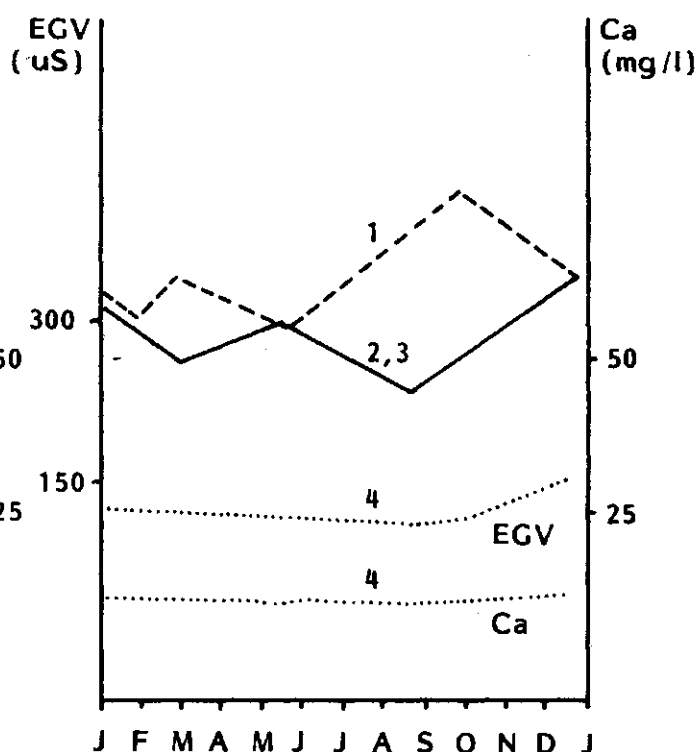
Peilverloop voor elk monsterpunt



Cl-gehalte van de monsterpunten 1 t/m 4

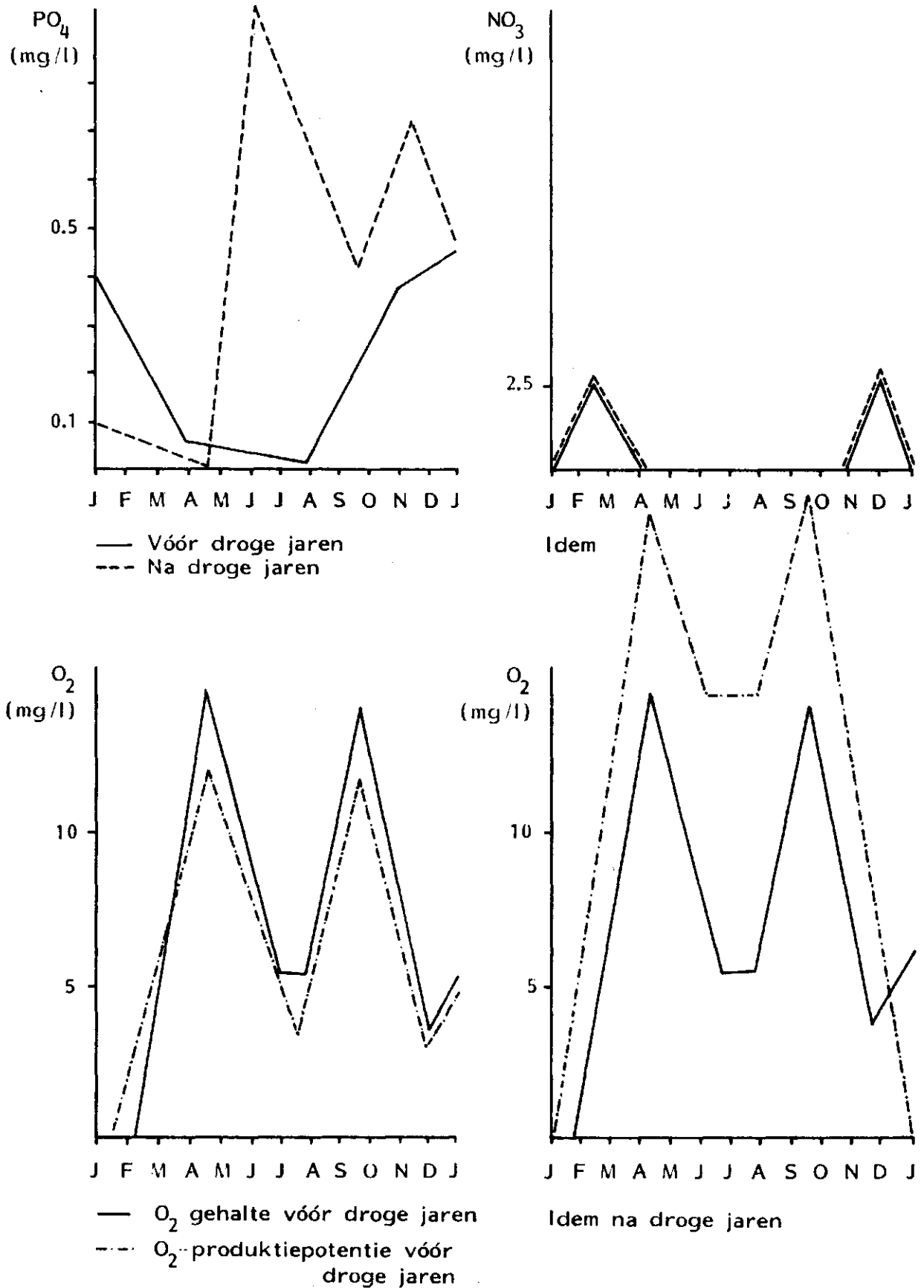


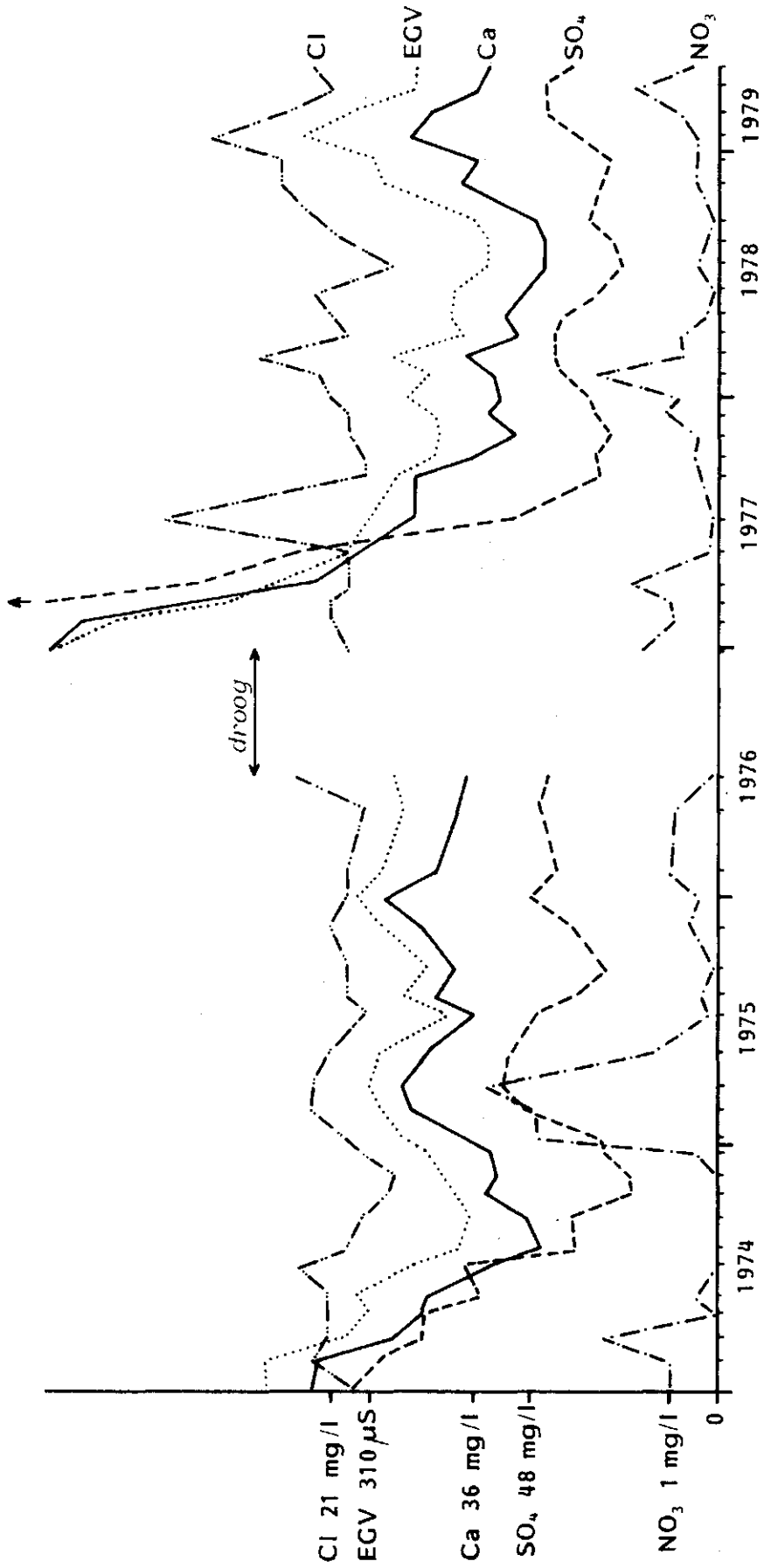
Vóór droge jaren



Na droge jaren

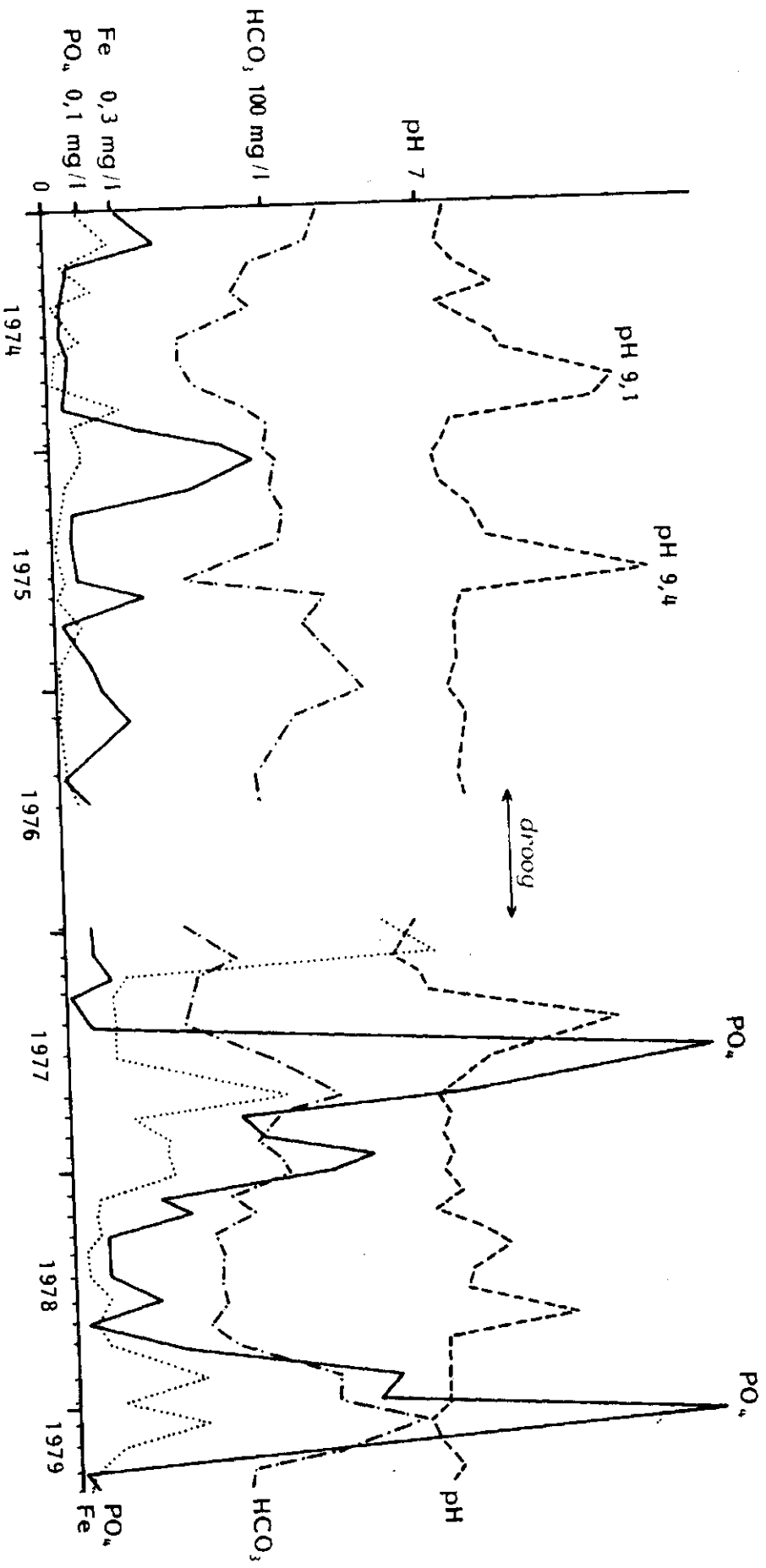
Grafiek 4. Schematische voorstelling van het verloop van PO_4 , NO_3 , zuurstofgehalte en zuurstofproductiepotentie vóór en na droge jaren.-





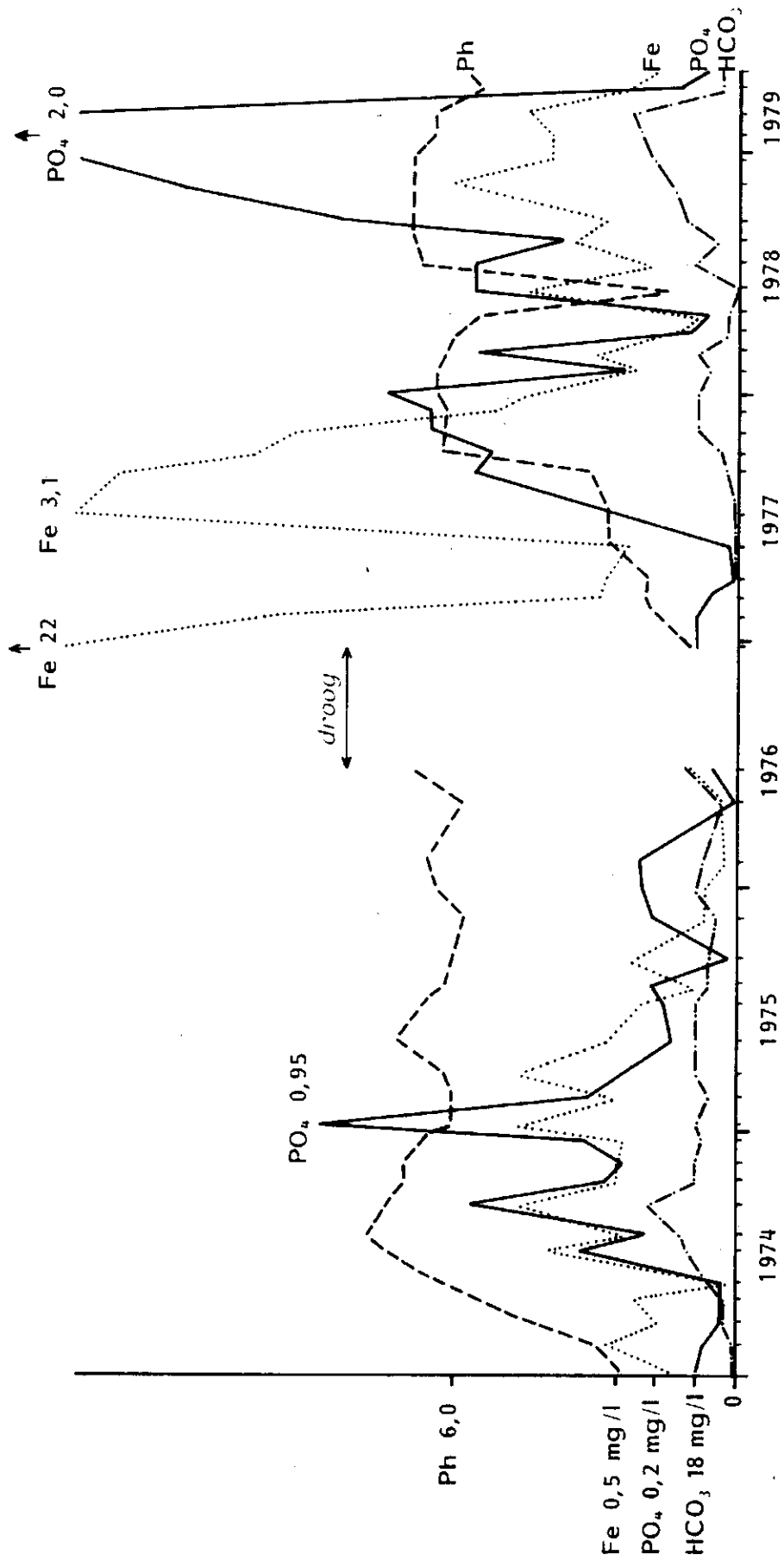
Grafiek 5. Verloop van enige chemische elementen na 3 maanden droogliggen eind 1973
Vijver punt 2

Grafiek 7. Verloop van enige chemische elementen na 6 maanden droogliggen eind 1976
Vijver punt 2



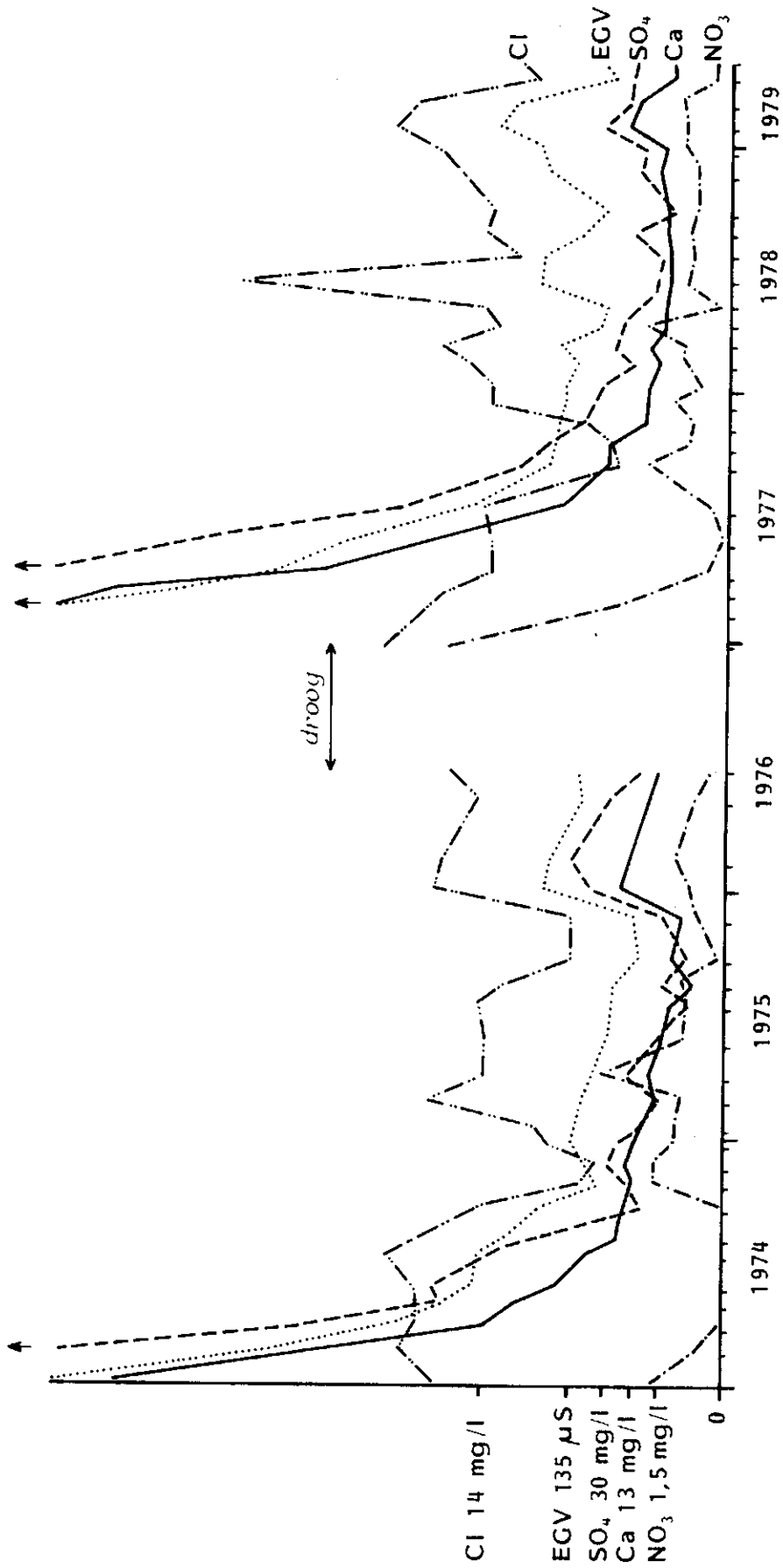
Grafiek 6. Verloop van enige chemische elementen na 3 maanden droog-
liggen eind 1973
Vijver punt 2

Grafiek 8. Verloop van enige chemische elementen na 6 maanden droog-
liggen eind 1976
Vijver punt 2



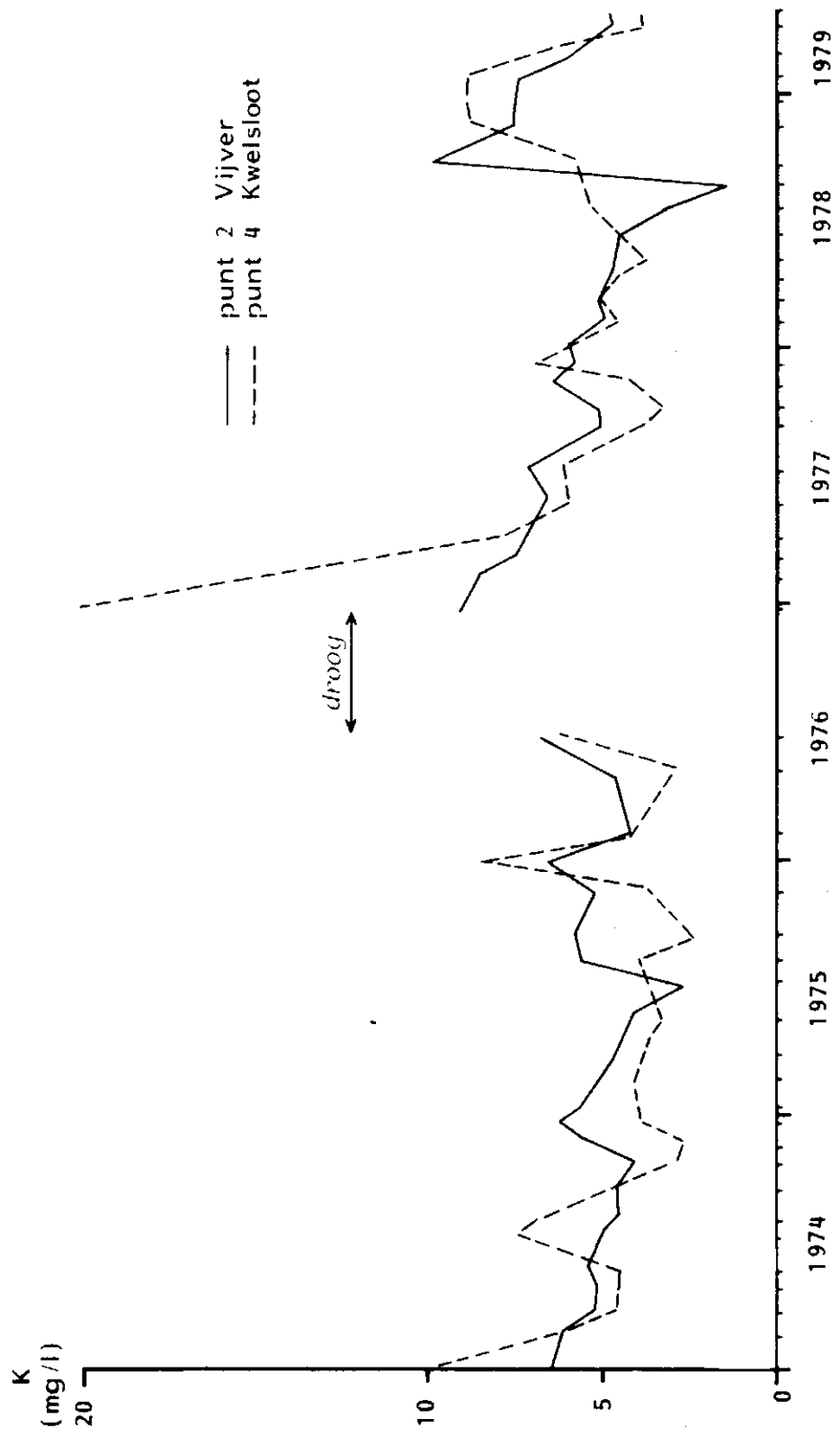
Grafiek 9. Verloop van enige chemische elementen na 3 maanden droogliggen eind 1973
Kwelsloot punt 4

Grafiek 11. Verloop van enige chemische elementen na 6 maanden droogliggen eind 1976
Kwelsloot punt 4



Grafiek 10. Verloop van enige chemische elementen na 3 maanden droogliggen eind 1973
Kwelsloot punt 4

Grafiek 12. Verloop van enige chemische elementen na 6 maanden droogliggen eind 1976
Kwelsloot punt 4

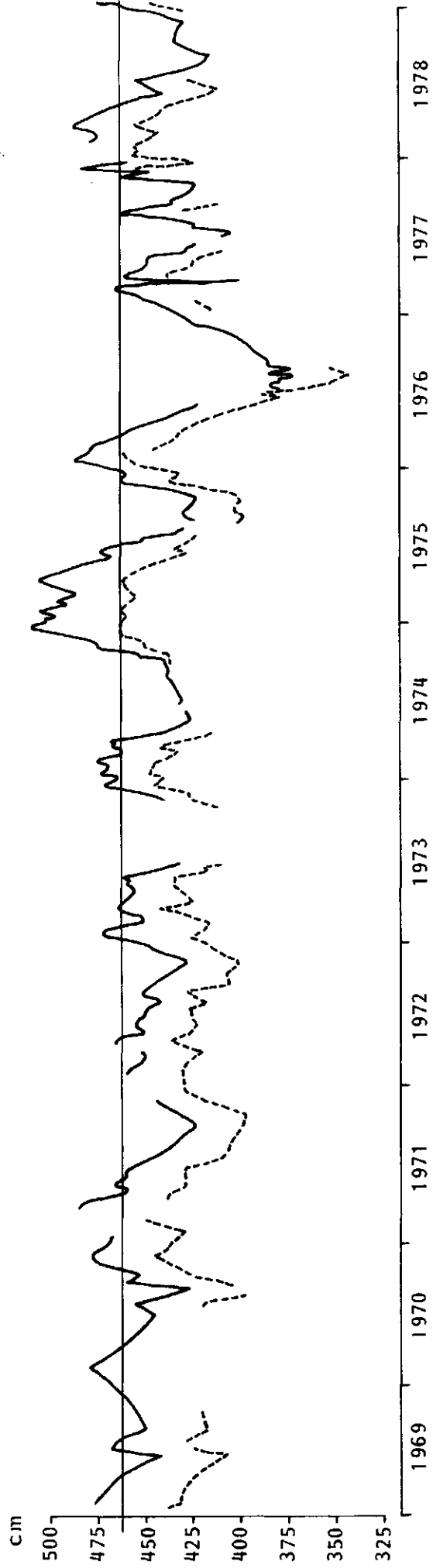


Grafiek 13. Verloop kalium
Vijver en Kwelsloot

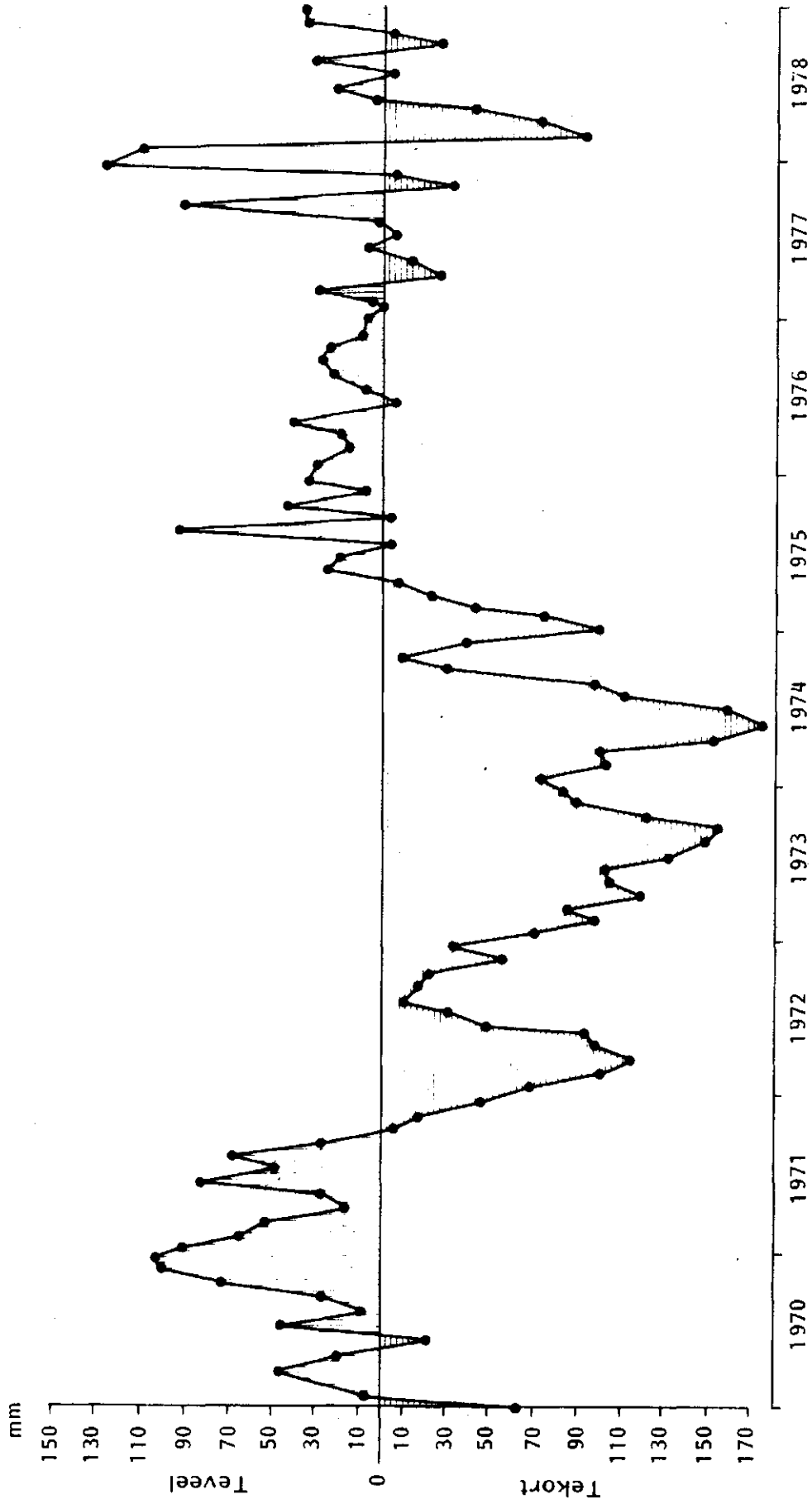
Stijghoogte grondwater in peilbuizen

Peil
t.o.v.
NAP

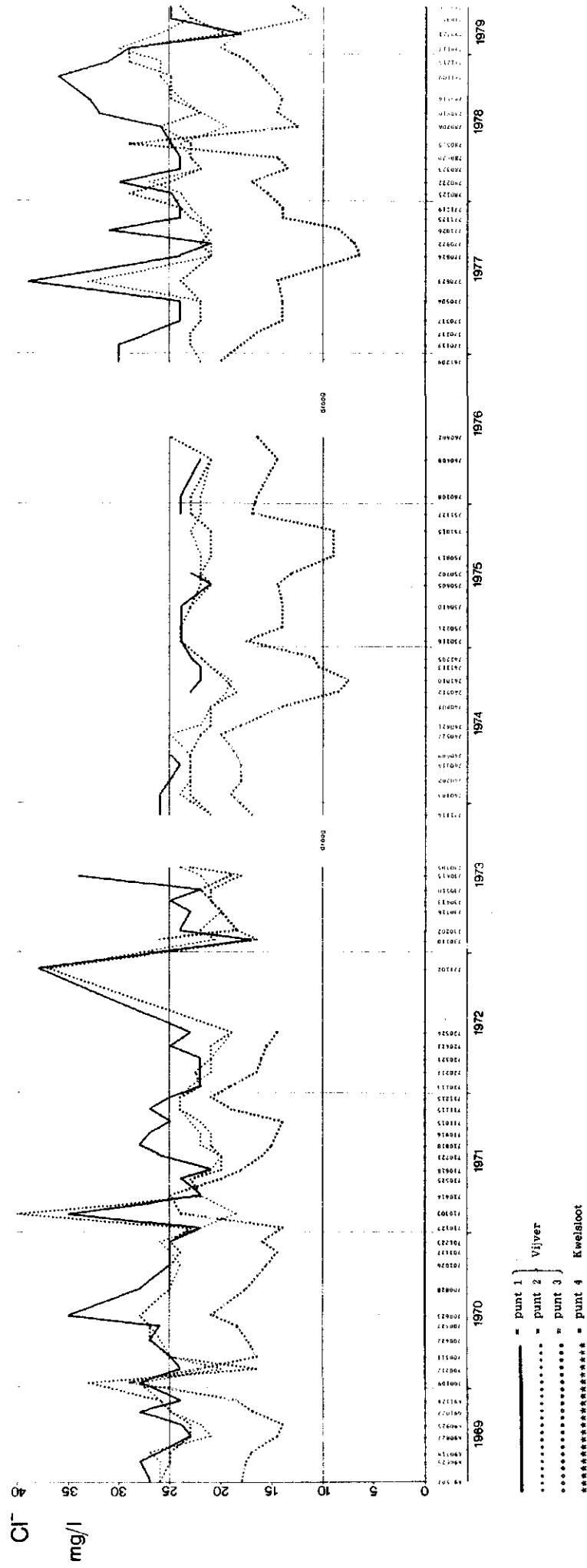
— vijver
---- kwelsloot



Grafiek 14



Grafiek 15. Gemiddelde neerslag is 61,4 mm/maand



Grafiek 16
 Cl⁻ -maandelijks verloop Broekhuizen
 1969-1979