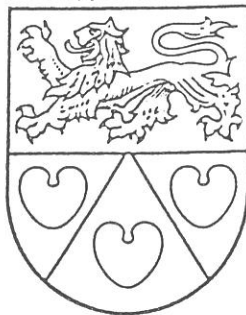
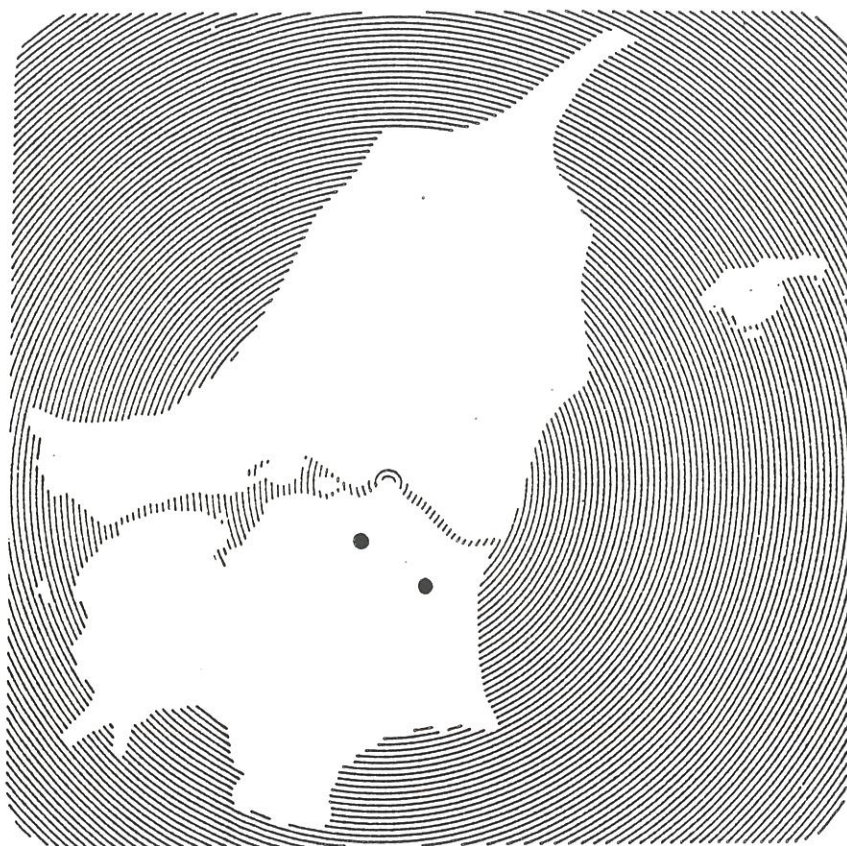


Nordjyllands Amt



V **VANDMILJØ**
overvågning

Søer



Forvaltningen for teknik og miljø · Miljøkontoret
Juni 1993

Sørapport 1992

Indhold

1. Indledning	1
2. Metoder	2
3. Madum sø	6
3.1 Vand- og stofbalance	6
3.2 Vandkemiske og -fysiske undersøgelser	9
3.3 Sedimentkemi	24
3.4. Biologiske undersøgelser	24
3.5. Generel vurdering	31
4. Hornum sø	32
4.1. Vand- og stofbalance	32
4.2. Vandkemiske og -fysiske undersøgelser	34
4.3. Sedimentkemi	49
4.4. Biologiske undersøgelser	49
4.5. Generel vurdering	56

Bilag:

- 1** **Oversigtskort over Madum sø med oplandsgrænse og markering af prøvetagningsstationer (H = hovedstation, A, B og C = zooplanktonstationer og udtagning af sedimentprøver).**
- 2** **Oversigtskort over Hornum sø med oplandsgrænse og markering af prøvetagningsstationer (H = hovedstation, A, B og C = zooplanktonstationer og udtagning af sedimentprøver).**
- 3** **Vandkemiske og fysiske variable, Madum sø, 1989 – 1992: Sommergennemsnit, vintergennemsnit, helårlige gennemsnit, fraktiler, maksimum- og minimumværdier.**
- 4** **Vandkemiske og fysiske variable, Hornum sø, 1989 – 1992: Sommergennemsnit, vintergennemsnit, helårlige gennemsnit, fraktiler, maksimum- og minimumværdier.**

1. INDLEDNING

Med Folketingets vedtagelse af "Handlingsplanen mod forureningen af det danske vandmiljø med næringssalte" (Vandmiljøplanen) af 31. januar 1987, der som hovedmål har en reduktion af den samlede kvælstofudledning med 50% og en reduktion af fosforudledningen med 80% inden 1993, fulgte opstillingen af et overvågningsprogram for grundvandsressourcerne, de ferske vandområder, de kystnære og åbne vandområder samt nedbøren og dens kvalitet. Med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram ønskede man dels at følge og fremskaffe dokumentation for, at de tiltag der ligger i Vandmiljøplanen opfylder målsætningerne, og dels at følge effekten af de forventede reduktioner på de biologiske forhold i recipienterne.

Denne rapport opsummerer resultaterne for perioden 1989 – 1992 for overvågningsprogrammet for søer i Nordjyllands Amt. Hovedvægten er lagt på belastningsopgørelser for søerne i 1992, de væsentligste vandkemiske og fysiske parametre, samt de biologiske undersøgelser vedrørende fyto- og zooplanktons biomasse og årsvariation, og med de indsamlede datamateriale for de fire år overvågningsprogrammet nu har kørt at beskrive nogle af væsentligste interaktioner mellem de kemiske og biologiske variable samt det indbyrdes samspil mellem de biologiske komponenter.

Søernes morfometri, opland, f.eks. størrelse og arealanvendelse, m.v. er nærmere beskrevet i "Vandmiljø- overvågning, søer 1989", Nordjyllands amt 1990.

Madum sø er privatejet og tilhører Lindenberg Gods og Villestrup Gods i fællesskab. begge har velvilligt tilladt aktiviteterne på søen i forbindelse overvågningsprogrammet.

2. Metoder

Prøvetagningsprogrammet for i perioden 1989 – 1992 har for begge søer omfattet i alt 19 årlige prøvetagninger med "stratificeret" prøvetagningsfrekvens, der omfatter månedlige prøvetagninger i perioden 1/10 – 31/3 og prøvetagning med 14 dages interval i perioden 1/4 – 30/9. Perioden, hvor søernes dynamik formodes at være størst, undersøges således med den største intensitet, (jfr. Miljøprojekt 115, 1989).

2.1. Stationsnet i søerne

I hver sø er der udlagt i alt fire stationer; en hovedstation (H) på søens dybeste punkt, hvor feltmålinger og udtagning af prøver til laboratorieanalyse og bestemmelse af phytoplanktons artssammensætning og volumen foretages. Desuden tre stationer A, B og C, hvor udtagning af prøver til bestemmelse af zooplanktons artssammensætning og biomasse er foretaget. Disse er beliggende på de 20% af søens areal og de dybder som svarer til intervallet mellem 70% og 90% grænserne på hypsografen, regnet fra land mod største dybde. Stationernes placering i de to søer er angivet på bilag 1 og bilag 2.

2.2. Feltnålinger

Ved hver prøvetagning er følgende registreret: lufttemperatur, skydække, vindstyrke og – retning, nedbør samt evt. istykkelse.

Vandstand (relativ og i forhold til Dansk Normal Nul (DNN))

Sigtdybde på hovedstationen og de tre zooplanktonstationer (målt med secchiskive)

Profilmålinger af vandtemperatur

Den aktuelle dybde på hovedstation og zooplanktonstationer (målt med ekkolod)

Hvor temperaturprofilerne antyder lagdeling er der tillige målt profiler af iltkoncentration, og pH

2.3. Prøveudtagning (vandkemi og biologi)

Al udtagning af vandprøver er foretaget med en hjerteklapvandhenter med et volumen på 3 l. På hovedstationen er der fra 0,2 m's dybde til max. 0,5 m over bunden udtaget delprøver med lige store dybdeintervaller. I Madum sø er der således udtaget delprøver i 0,2, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 m dybde og i Hornum sø i 0,2, 1,0, 2,0 m dybde. På hver delprøve er der målt temperatur, samt evt. iltindhold og pH (jfr. ovenfor) for påvisning af evt. lagdeling af søen.

Delprøverne er blandet og herfra er udtaget en blandingsprøve (0,4 l) som er konserveret med en sur lugol opløsning til bestemmelse af phytoplanktons artssammensætning, antal

og volumen, samt en blandingsprøve (5 l) til laboratorieanalyse (Hygiejnisk forvaltning Aalborg), hvor der er analyseret for følgende parametre:

	ufiltreret	filtreret
pH ved 25 °C	X	
Totalalkalinitet (-aciditet)	X	
Ammonium-kvælstof		X
Nitrit+nitrat-kvælstof		X
Totalkvælstof	X	
Opløst fosfat-fosfor		X
Totalfosfor	X	
Silikat - silicium		X
Suspenderet stof	X	
Glødetab af suspenderet stof	X	
COD partikulært	X	
Klorofyl-a		X

Som supplement til de kvantitative prøver til phytoplankton- og zooplanktonundersøgelser er der på hovedstationen endvidere foretaget horisontale og vertikale træk med planktonnet (maskediameter 20 μ og 140 μ) til artsbestemmelse af ikke så hyppigt forekommende arter.

På zooplanktonstationerne A, B og C er der ligeledes udtaget delprøver med hjerteklapvandhenteren fra 0,5 m's dybde ned til max. 0,5 m over bunden med 1 m's interval. Delprøverne er blandet og prøverne fra de tre stationer er puljet. Fra den puljede prøve er der udtaget en prøvemængde (0,9 l i Hornum sø og 1,8 l i Madum sø) til sedimentation, hvor det mindste zooplankton (hjuldyr og ciliater) kvantificeres, samt en prøvemængde (4,5 l i Hornum sø og 9 l i Madum sø) som er filtreret på 90 μ m net. Filtratet er herefter overført til en 100 ml glasflaske, og anvendes til kvantificering af de store zooplankton typer vandlopper og dafnier. Begge prøvetypers indhold er konserveret med lugol.

2.5 Fiskeundersøgelser

I begge søer er der i august 1991 udført fiskeundersøgelser efter normalprogrammet. En rapport, der beskriver resultaterne af disse, er under udarbejdelse.

2.6. Beregninger og behandling af biologiske prøver

For alle fysiske og kemiske analyseparametre er der beregnet tidsvægtede gennemsnit, således der tages højde for forskellene i prøveintervallerne i den stratificerede prøvetagning. Det tidsvægtede gennemsnit beregnes som:

sum($(T_j - T_{(j-1)}) * (X_j + X_{(j-1)})/2$)/ant.dage,

hvor

$T_j - T_{(j-1)}$ = antal dage mellem to prøvetagninger

$X_j, X_{(j-1)}$ = koncentrationen af X på de to prøvetagningsdatoer

Antal dage = i perioden, år, sommer eller vinter

Artsbestemmelse og kvantificering af phytoplankton og zooplankton er udført på et omvendt mikroskop i Miljøkontorets eget laboratorie efter retningslinjerne i Miljøprojekt nr. 187, 1991. Algernes volumen er således bestemt efter opmåling i mikroskopet og efterfølgende tilpasning af algernes form til geometriske figurer. Data er oplagret og behandlet i "Algesys", Bio/consult 1992.

2.4. Vandbalance og belastningsforhold

Madum og Hornum sø ligger i et morænelandskab fra sidste istid. NØ for Madum sø ligger en randmoræne, der har en fortsættelse NV for Hornum sø. Det indicerer at isen har gjort hold i en linie der strækker sig fra Hornum sø til NØ for Madum sø og afsat moræne strøget.

Madum sø er beliggende øverst i Lindenberg Å-system. Søen har hverken til- eller afløb. Der findes dog et temporært afløb Asp bæk i søens nordlige ende, som kun er vandførende ved vandstande > 37,00 meter over DNN.

Hornum sø er beliggende i oplandet til Øster Å-systemet dog uden at stå i direkte forbindelse hermed. Søen har således hverken til- eller afløb. Et tidligere afløb "en grøft" er nu blokeret og hermed uvirksom.

Da, der til Hornum og Madum sø ikke foreligger til- og afløb og ej heller detaljeret geologiske og hydrogeologiske undersøgelser, er det ikke muligt at opstille et detaljeret vand- og stofbalance regnskab for søerne.

I lighed med tidligere år, er der foretaget et estimat over søernes vandbalance under følgende forudsætninger.

- 1) Den arealspecifikke afstrømning for søens opland sættes lig med den arealspecifik afstrømning for nærmeste sammenlignelige opland, der indgår i overvågningsprogrammet for vandløb og kilder.
- 2) Fordampning = Nedbør
- 3) Udsivning = Indsivning
- 4) Næringsstofkoncentrationerne i det udsivende vand = koncentrationerne af de opløste uorganiske fraktioner i søvandet.
- 5) Søens vandstand er konstant fra år til år.

Estimaterne over søernes vandbalance ligger til grund for den del af massebalancen som omfatter arealbidraget. Samtidig er der i beregningerne taget højde for forskelle m.h.t. oplandsareal og omfanget af spredt bebyggelse i søernes og de sammenlignelige

oplande. Belastningen af søerne omfatter derfor estimater over bidrag fra luften (deposition direkte på søen) og det estimerede arealbidrag inklusive bidrag fra spredt bebyggelse. I overvågningsprogrammet indgår målinger af det atmosfæriske nedfald, og foreløbige data for kvælstof er anvendt. For fosfor er anvendt erfaringstal.

Næringsstofdeposition via luften:

Fosfor:	0,15 kg P ha ⁻¹ år ⁻¹
Kvælstof:	13,5 kg N ha ⁻¹ år ⁻¹

Belastningen fra spredt bebyggelse beregnes som:

$$\text{Antallet af huse i oplandet} \cdot 3 \text{ PE} \cdot 50 \% \text{ reduktion} \cdot 1,31 \text{ kg} \frac{\text{P}}{\text{PE}} \text{ år}$$

$$\text{Antallet af huse i oplandet} \cdot 3 \text{ PE} \cdot 50 \% \text{ reduktion} \cdot 4,0 \text{ kg} \frac{\text{N}}{\text{PE}} \text{ år}$$

Som supplement til ovenstående opstillet en vandbalance på måned og årsbasis baseret på en simpel vandbalance model, hvor nedbør, fordampning og registreret vandstandsændring indgår.

For begge søer gælder, at de er stærkt grundvandspåvirket. Ud fra geologiske boringer ses der at være en direkte kontakt mellem smeltevandssandet og det underliggende kalk. Kun stedvis er smeltevandssandet og kalken adskilt af et lerlag.

I nærværende beregninger antages der at være et frit grundvandsmagasin, der står i direkte kontakt til søerne, og det antages, at det topografiske opland er lig grundvandsoplandet.

Søvandsspejlet antages at være et udtryk for grundvandsspejlet, d.v.s. at en vandstadssænkning i søen er lig grundvandssænkingen i oplandet.

Ligningen for vandbalancen har formen:

$$\Delta H - (N - F) \pm A_u = 0$$

Nedbøren, N, er en middel af 5 nedbørsstationer fra DMI, (20300 Klarup, 20480 Veggerby, 20560 Nørager, 20590 Skørping og 20670 Havnø), der ligger i et net omkring og mellem søerne. Der er ikke korrigeret for læeffekt og wettingstab. Fordampningen er den potentielle fordampning, EP taget for landovervågningsopland nr. 1 Odderbæk. Søvandsspejlet er målt ved en pæl, som er nivelleret i forhold til DNN.

3. Madum sø

3.1 Vand – og stofbalance

Vandbalancen for Madum sø er i lighed med tidligere år beregnet ud fra en antagelse om underjordisk tilstrømning til søen fra det opgjorte topografiske opland, med en areal specifik afstrømning svarende til Lille Blåkildes. Lille Blåkilde indgår i et kompleks af grundvandsoplande, der omfatter oplande til Kovads bæk, Ravnkilde, Store Blåkilde og Madum sø. Arealudnyttelsen for Madum sø og Lille Blåkilde er stort set identiske.

Der er tillige opstillet en vandbalance, baseret på nedbør, fordampning og registreret vandstandsændring i søen. Endelig er den specifikke årlige middelfafstrømning og medianminimums afstrømningen for Lindenberg å ved station 14.01 inddraget som sammenligningsgrundlag.

Følgende data fra 1992 fra Lille Blåkilde er anvendt;

Oplandsareal:	1180 ha
Middel vandføring:	85,5 l/s
Middel koncentration for Total kvælstof:	1,678 mg N l ⁻¹
Middel koncentration for Total fosfor:	0,010 mg P l ⁻¹
Spredt Bebyggelse:	12 huse 2 gårde

Basiskoncentrationen for oplandet til Lille Blåkilde kan herefter beregnes til :

$$\frac{\text{Bidrag fra det åbne land} - \text{Bidraget fra spredt bebyggelse} / \text{år}}{\text{Vandføring} / \text{år}}$$

d.v.s.

$$\text{Total kvælstof} = \frac{5096 \text{ kg} - 84 \text{ kg}}{2,696 \cdot 10^6 \text{ m}^3} = 1,859 \text{ mg N l}^{-1}$$

$$\text{Total fosfor} = \frac{27 \text{ kg} - 27,5 \text{ kg}}{2,696 \cdot 10^6 \text{ m}^3} \approx 0 \text{ mg P l}^{-1}$$

For oplandet til Lille Blåkilde beregnes en arealspecifik afstrømning på :

$$85,5/1180 = 0,07 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

Indsivningen til Madum sø beregnes til: $1109 \cdot 0,07 = 80,4 \text{ l s}^{-1}$

Den specifikke indstrømning er: $80,4/11,09 = 7,2 \text{ l s}^{-1} \text{ pr. km}^2$

Indsivningen på $80,4 \text{ l s}^{-1}$ betyder for Madum sø en årlig vandtilførsel på $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Udsivningen er forudsat svarende til indsivning således at nedbør er lig fordampning og

magasinændringen er nul. Opholdstiden for søen kan beregnes til 2,5 år.

Vandbalancen for Madum sø

Af vandbalance regnskabet for Madum sø ses den specifikke afstrømning at være 9,2 l/s km² i 1991 og 10,4 l/s km² for 1992.

Indsivningen på 102,4 l/s i 1991 svarer til $3,2 \cdot 10^6$ m³. Opholdstiden for søen kan herefter beregnes til 1,9 år.

Indsivningen på 137,2 l/s i 1992 svarer til $4,3 \cdot 10^6$ m³. Opholdstiden for søen kan herefter beregnes til 1,4 år.

Til sammenligning har Lindenberg å ved st. 14.01 en specifik årlig middelfafstrømning på 10,7 l/s km² og en specifik medianminimumsafstrømning på 7,1 l/s km² taget for perioden 1971–1990.

Antages Madum sø at modtage vand fra en grundvandsindstrømning samt fra et nedbørsoverskud er der god overensstemmelse mellem den specifikke afstrømning for Madum sø og Lindenberg Å st 14.01.

Ses der på den specifik afstrømning for Madum sø, der er beregnet ud fra Lille Blåkilde, er der en god overensstemmelse med den specifikke medianminimumsafstrømning ved Lindenberg Å st 14.01. Her antages det, at der kun er en grundvands påvirkning.

Ud fra den månedlige vandbalance fig 3.1 ses vandmagasinet i Madum sø at aftage med minimum i september for både 1991 og 1992. Den største udsivning fra søen er for 1991 i juni og for 1992 i august. Det største magasin volumen er for 1991 i marts og i april for 1992. Den største indsivning ses for 1991 i maj og for 1992 i april. 1991 var et mere vådt år end 1992 samtidig med at der i 1992 var en større fordampning. Alt i alt har der været 38 mm mindre vand i 1992 ud fra N-EP.

Stofbalance

Stofbalancen for Kvælstof og fosfor er opgjort under forudsætning af værdier for specifik afstrømning og koncentrations niveauer i indsivende vand, svarende til Lille Blåkilde.

Udsivningsmængderne beregnes som den årlige udsivning \cdot den Årlige middelmiddelfkoncentration af de opløste uorganiske fraktioner af N og P.

Fosfor tilførslen til Madum sø stammer fra spredt bebyggelse og luftbidraget. Fosfor tilførslen svarer til en arealspecifik belastning på ialt $0,027$ g P m⁻² år⁻¹, hvilket er lavt Kun 0,7 % af værdien for gennemsnittet af 25 danske søer. Den totale fosfor mængde er aftaget med 25 kg fra 1990 til 1992. Det kan til dels hænge sammen med, at der har været en aftagende vandtilførsel til søen i perioden.

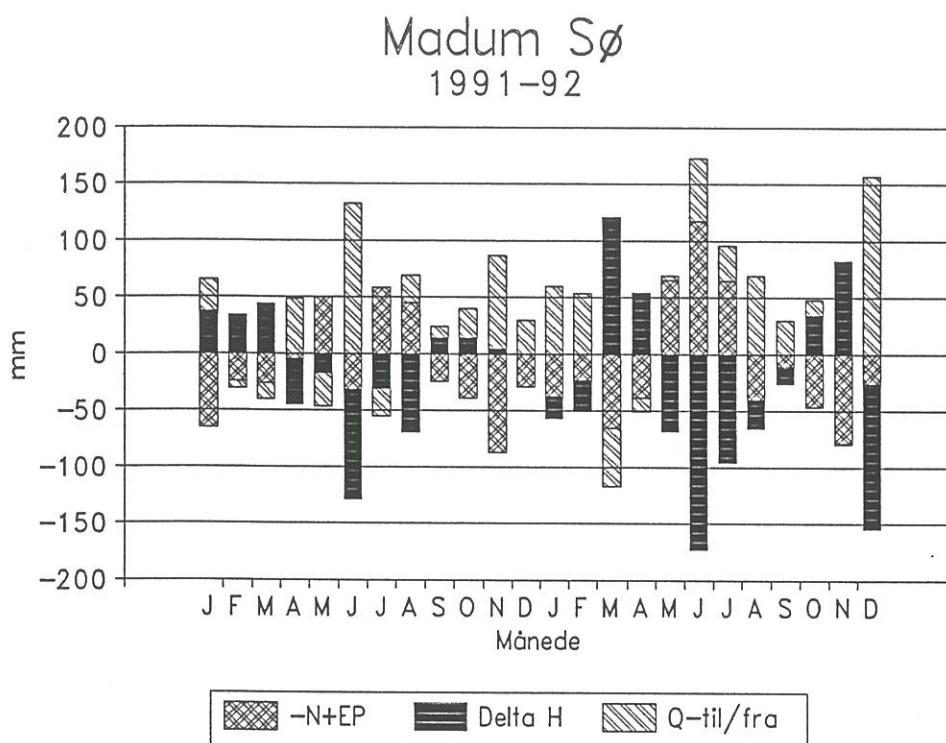


Fig 3.1 Den månedlige vandbalance for Madum sø.

	N		P	
	tons N/år	%	kg P/år	%
Basisbidrag	5,0	63	0	0
Spredt bebyggelse	0,1	1	25,5	44
Luftbidrag	2,9	26	31,8	56
Total tilførsel	8,0	100	57,3	100
Fraførsel	1,5	19	45	79
Netto tilførsel	6,5	81	12,3	21

Tabel 3.1. Belastningsopgørelse for Madum sø.

Kvælstof tilførslen til Madum sø stammer hovedsageligt fra det åbne land og depositionen fra luften, medens bidraget fra den spredte bebyggelse er ubetydeligt. Af den totale belastning fås den arealspecifik belastning af søen til $3,78 \text{ g m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ svarende til 3 % af den gennemsnitlige værdi for øvrige danske søer. Kvælstof mængden har varieret fra år til år. Der er en stigning på 0,4 tons fra 1991 til 1992.

Vurderingen af Madum sø's massebalance- og belastningsforhold er naturligvis behæftet med en vis usikkerhed p.g.a. de store forbehold, der ligger i de forudsætninger, vandbalancen og belastningen er opgjort under.

3.2. Vandkemiske og fysiske undersøgelser

Der er i 1992 ikke registreret stabile forskelle i temperatur, iltindhold og pH mellem overflade- og bundvand i Madum sø. Søen har således været fuldstændigt opblandet hele året igennem.

Alle vandkemiske og -fysiske prøver er udtaget på hovedstationen (H) som blandingsprøver af hele vandsøjlen, bestående af delprøver fra følgende dybder: 0.2 m, 1.5 m, 3.0 m, 4.5 m og 6 m.

En oversigt over de vandkemiske forhold i Madum sø (sommern gennemsnit, vinter gennemsnit (for vinteren 91/92) er givet i bilag 3.

Sigtdybde og klorofyl a

Sigtdybden i Madum sø (figur 3.2) udviser en betydelig sæsonvariation og år til år variation. Der registreres typisk en forholdsvis lav sigtdybde (1 – 2m) i vinterperioderne, men sigtdybden var højst i sommerperioden i 1989 og 1991 (5 – 6m), mens den i 1990 og især i 1992 var lav (2 – 3m).

Det ses endvidere at det typiske forløb for årene 1989 til 1991 var, at sigtdybden i løbet af forårsperioden steg til et maksimum på 7,3m (maksimumsdybden på hovedstationen) og stabiliseredes der (som i 1989 og 1991) eller faldt brat som i 1990. Dette forløb registreredes overhovedet ikke i 1992, hvor sigtdybden var konstant lav gennem hele året.

Årsagen til de markante udsving fra år til år skyldes, at phytoplanktonsamfundenes størrelse og biomasse (målt som chl. a) og dermed sigtdybden i høj grad kontrolleres af zooplanktons græsningstryk (se iøvrigt afsn. 3.4).

Sigtdybden ses at forholde sig omvendt til klorofyl-a indholdet (se fig. 3.5), dvs. ved høje klorofyl-a koncentrationer iagttages små sigtdybder og omvendt, se sammenstillingerne nedenfor.

Forløbet i sigtdybden over året er som nævnt i tidligere års rapporter ret usædvanlig, idet den forholder sig diametralt modsat til forløbet i de fleste søer, hvor den laveste sigtdybde ofte registreres i løbet af sommerperioden og den højeste sigtdybde om vinteren. Hornum sø (afsn. 4.2.) er et udmærket eksempel herpå.

Ph og alkalinitet

Det fremgår, at Madum sø er en sur sø med en forholdsvis lav Ph værdi året igennem (figur 3.3). Samtidig er dens bufferkapacitet overfor yderligere forsurening meget lav, da alkaliniteten er lille. Det gør Madum sø meget følsom overfor tilførsel af yderligere mængder syre (f.eks. i form af sur nedbør).

Der ses i 1992 en lille stigning i pH-niveauet i forhold til de tidligere år, hvilket kan relateres til det noget højere niveau for phytoplankton 1992.

Omvent sås der dog i 1992 ikke en generelt faldende alkalinitet med den stigende pH og omvendt, som det ville forventes ved fotosyntese inducerede ændringer.

COD, suspenderet stof og glødetab af suspenderet stof

Årene igennem ses lave indhold af organisk stof (COD) i søvandet, hvilket også ses af de lave værdier for indholdet af suspenderet stof og glødetabet af suspenderet stof bilag 3. I hovedparten af analyserne er COD-værdien og indholdet af suspenderet stof under detektionsgrænsen (5 mg/l).

Silicium

Silicium er målt på filtrerede prøver, idet stoffet på opløst form er essentielt for især kiselalger, da det udgør en væsentlig bestanddel af algernes kiselskaller. Tilgængeligt silicium er derfor en forudsætning for forekomsten af kiselalger.

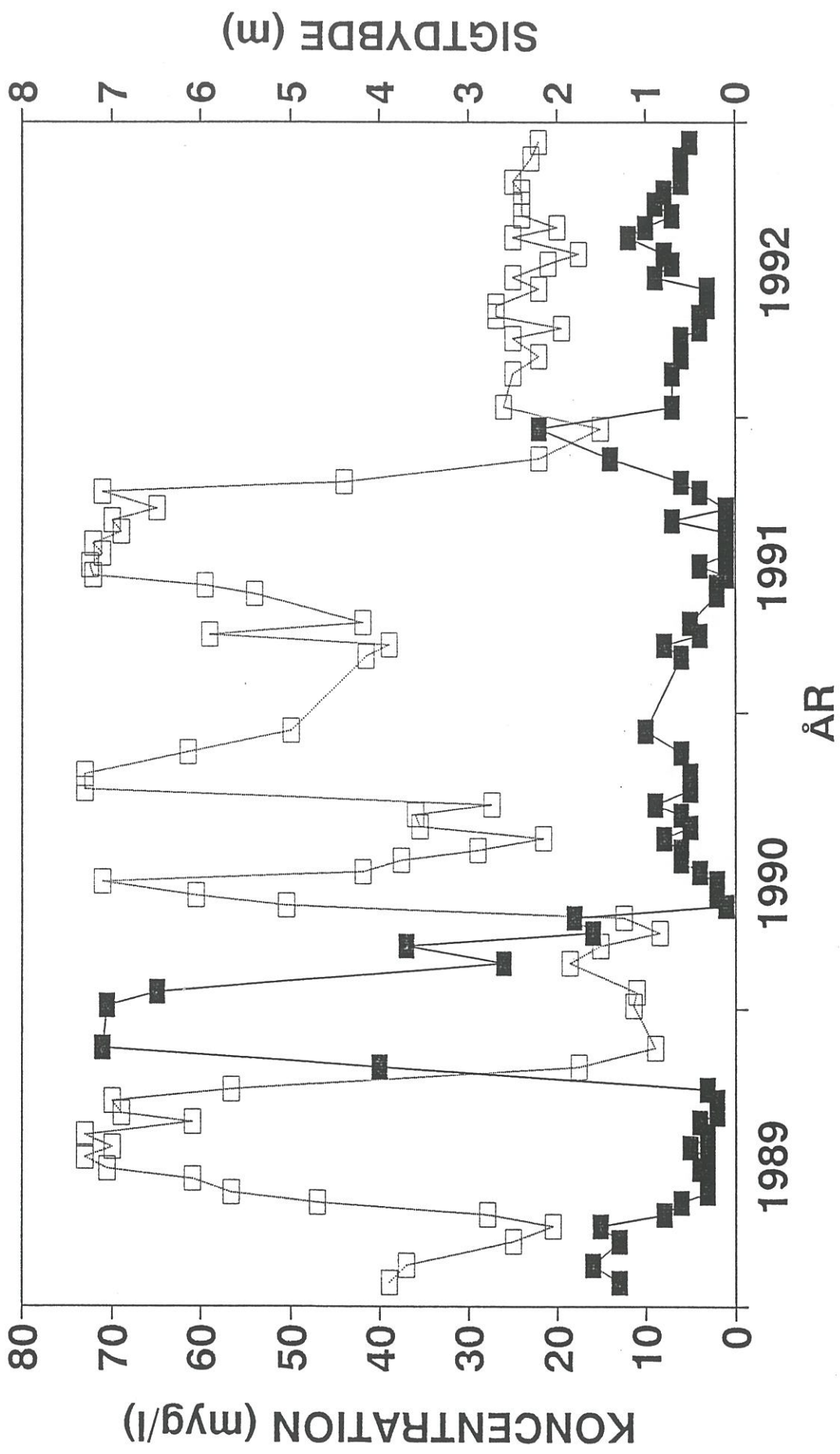
I alle år er søvandets indhold af Silicium nær $0,1 \text{ mg Si l}^{-1}$.

På grund af de lave næringsstofniveauer og det tilsvarende lave siliciumniveau er kiselalgerne kun i meget ringe omfang repræsenteret i Madum sø's algesamfund.

Fosfor

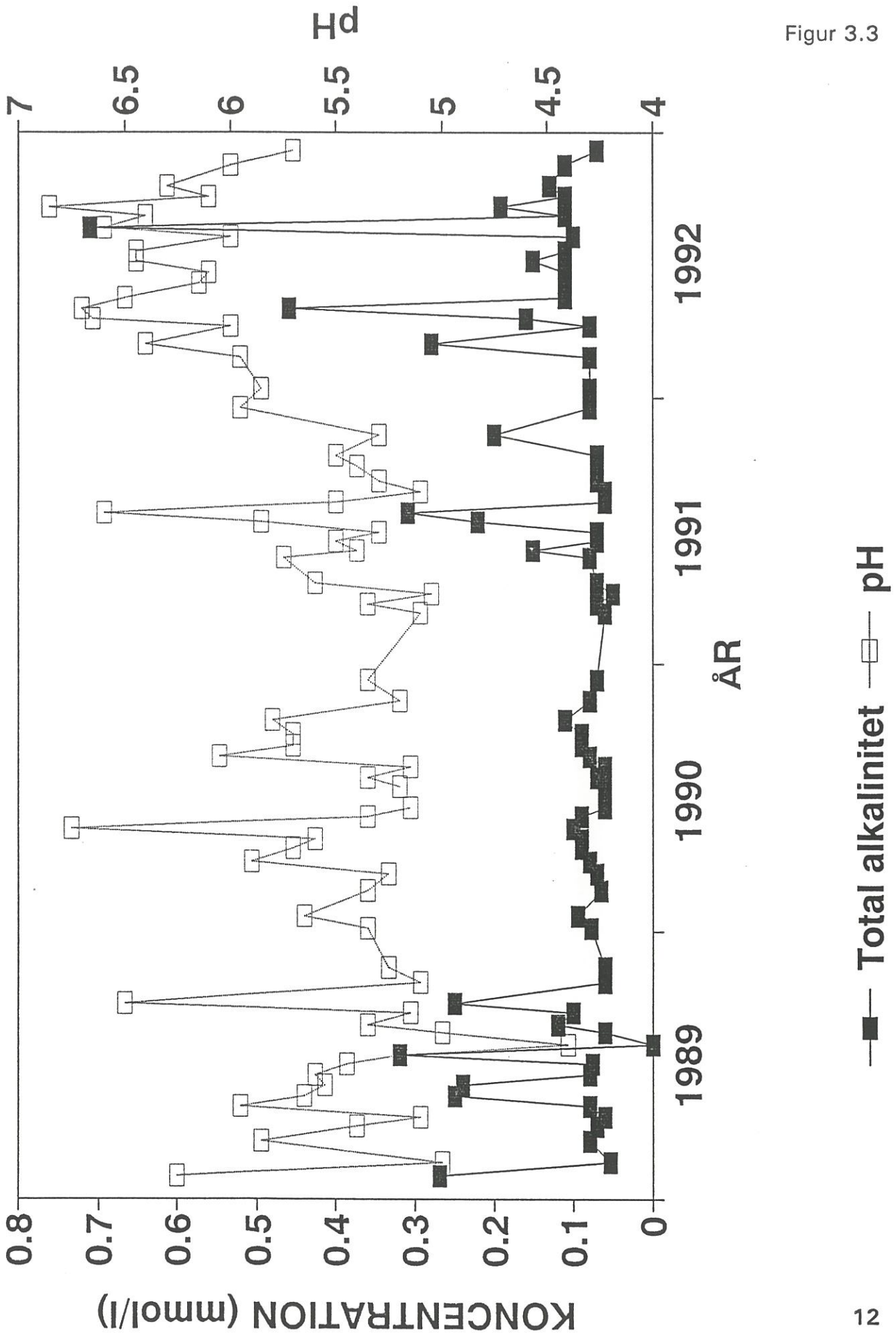
Total-fosfor niveauet (fig 3.4) i Madum sø har i sommerperioden i årene 1989–92 ligget mellem $21\text{--}37 \mu\text{g/l}$. Vinterniveauet i 1990–91 var stort set tilsvarende ($27 \mu\text{g/l}$). I nogle år ses et noget højere niveau (vintergennemsnit ca. $50 \mu\text{g/l}$), som bygges op fra oktober måned. Stigningen er sammenfaldende med opstigningen af store mængder af Mougotia sp. i de frie vandmasser. I årene, hvor dette forløb findes er vintergennemsnittet for total-fosfor som nævnt næsten dobbelt så stort som sommergennemsnittet. I vinteren 1991–92 ses ingen markant øgning af total-fosfor koncentrationen, mens udviklingen i fosforkoncentration og biomasse af Mougotia sp. i efteråret 1991 tyder på et forløb i princippet svarende til vinteren 1989–90.

Madum sø 1989 - 1992, sigtdybde og chl



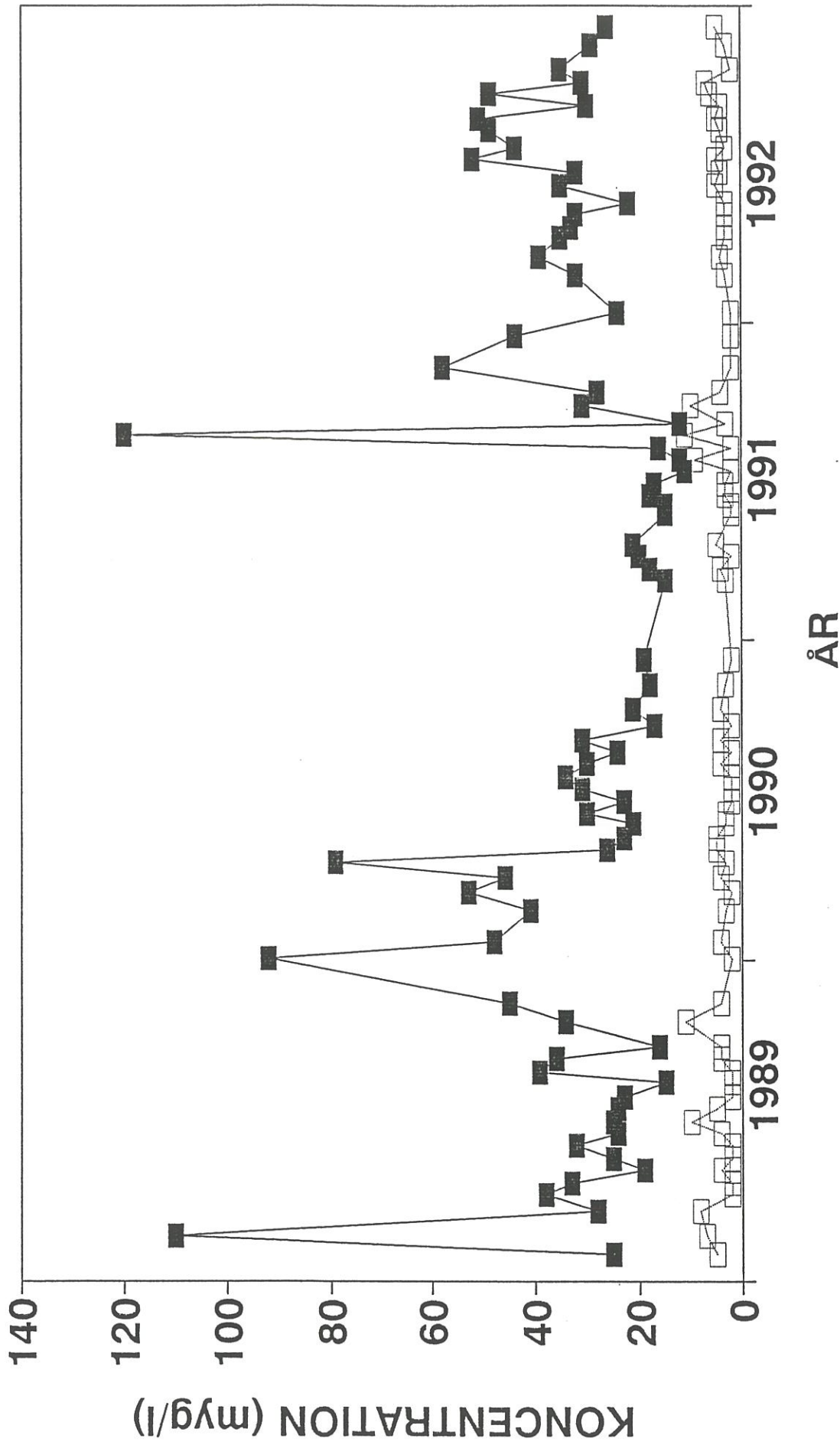
Figur 3.2

Madum sø 1989 - 1992, alkalinitet og pH



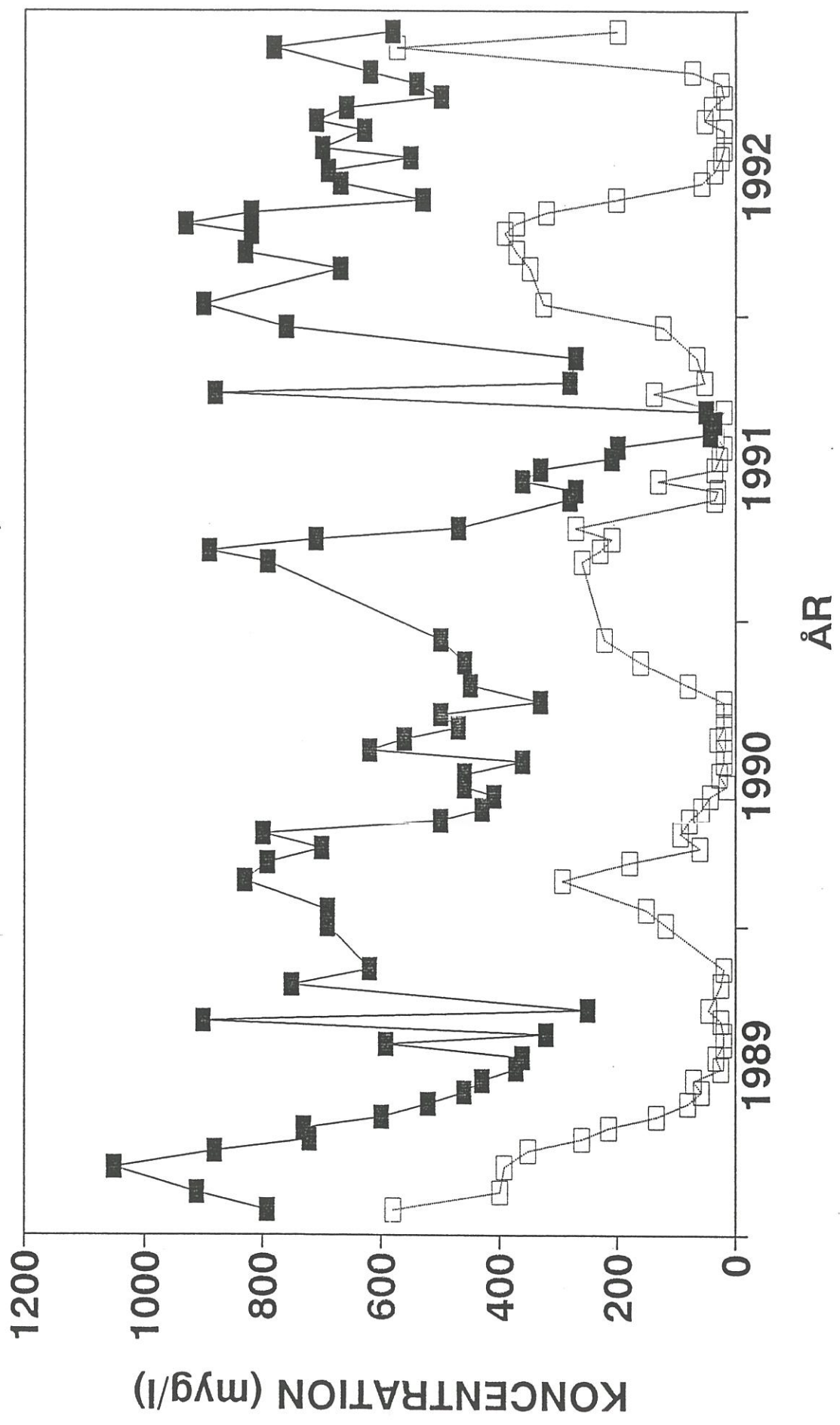
Figur 3.3

Madum sø 1989 - 1992, fosfor



Figur 3.4

Madum sø 1989 - 1992, kvælstof



Figur 3.5

■ Total kvælstof □ Opl.uorg. kvælstof

Det fremgår af figur 3.4, at mængden af frit opløst fosfat gennem hele året er lav ($< 10 \mu\text{g P l}^{-1}$) og sommermiddelkoncentrationen er i årene 1989–92 mellem 2 og $4 \mu\text{g P l}^{-1}$. Al fosforet er således bundet som partikulært fosfor, da orthofosfaten hurtigt omsættes og indbygges i algebiomassen. Der er således ikke på noget tidspunkt et overskud af frit fosfor i søen. Søen må derfor siges at være fosforbegrænset.

Kvælstof

Kvælstofniveauet er højt med en forholdsvis stort overskud af opløst kvælstof i vinter- og forårsmånederne (figur 3.5). Vinterniveauet af total-N er dog væsentligt lavere end total-N koncentrationen i det grundvand, som antages at strømme til søen. I løbet af foråret og forsommeren sedimenterer en del kvælstof ud, samtidig med at hele kvælstof-puljen overgår til at være i den partikulære fase, d.v.s. inkorporeret i algebiomassen.

Sammenhænge

Der er på data for årene 1989–92 opstillet sammenhænge mellem : sigtddybde og COD, sigtddybde og klorofyl-a, klorofyl-a og total-fosfor, klorofyl-a og total-kvælstof. Der er opstillet sammenhænge for dels data fra hele året og for sommerperioden alene.

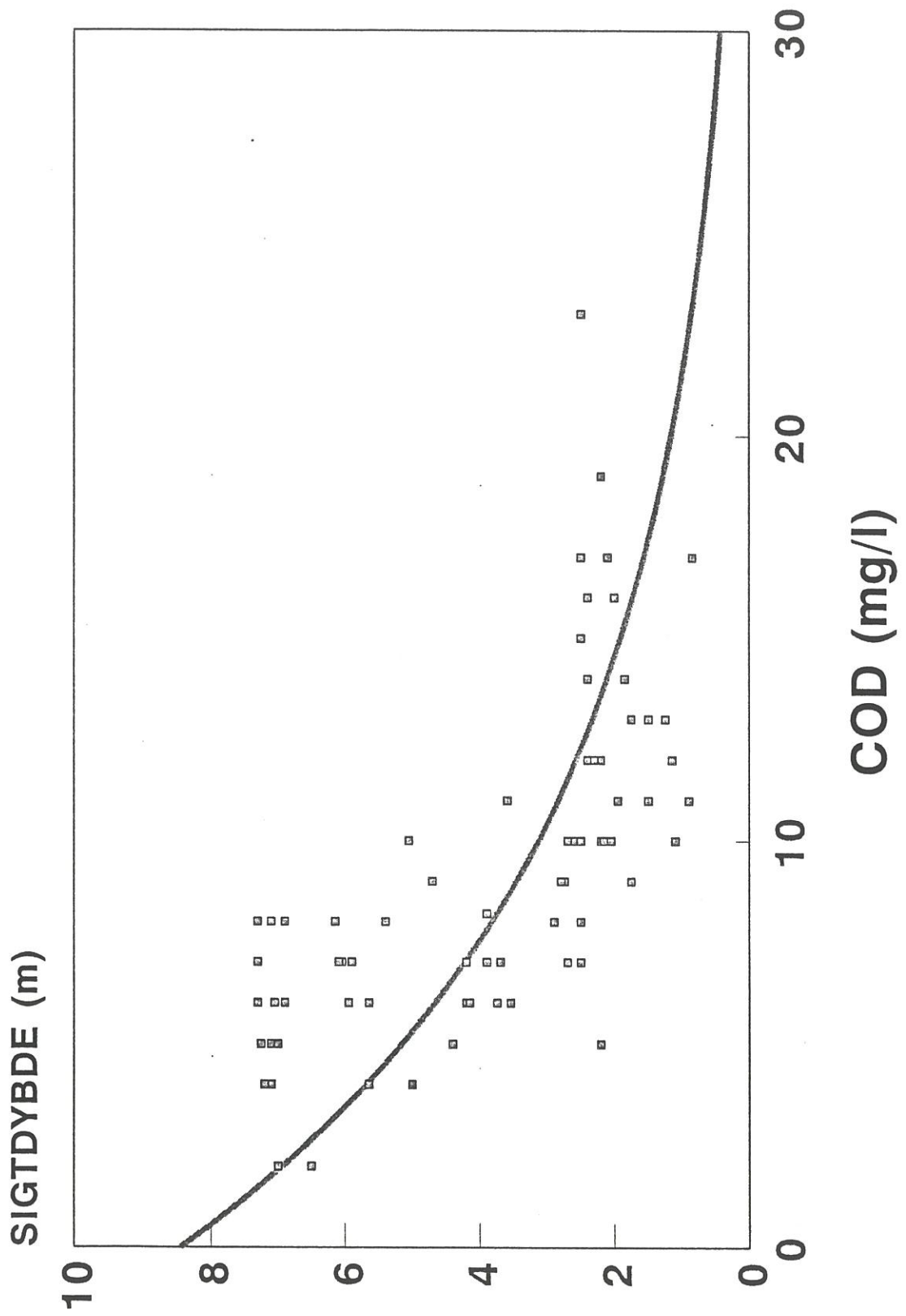
Sigtddybde og COD (fig. 3.6 og 3.7) viser en tydelig negativ sammenhæng, som tilsyneladende er eksponentiel. Sammenhængen ses tydeligt ved begge sammenstillinger af data.

Sigtddybde og klorofyl-a (fig 3.8 og 3.9) koncentration viser ligeledes en klar, negativ sammenhæng, som tilsyneladende er eksponentiel. Sammenhængen ses tydeligst ved sammenstilling af data for hele året.

Klorofyl-a og total-fosfor (fig 3.10 og 3.11) koncentrationen viser tilsyneladende en lineær positiv sammenhæng, både på årsbasis og i sommerperioden. Værdierne viser dog stor spredning.

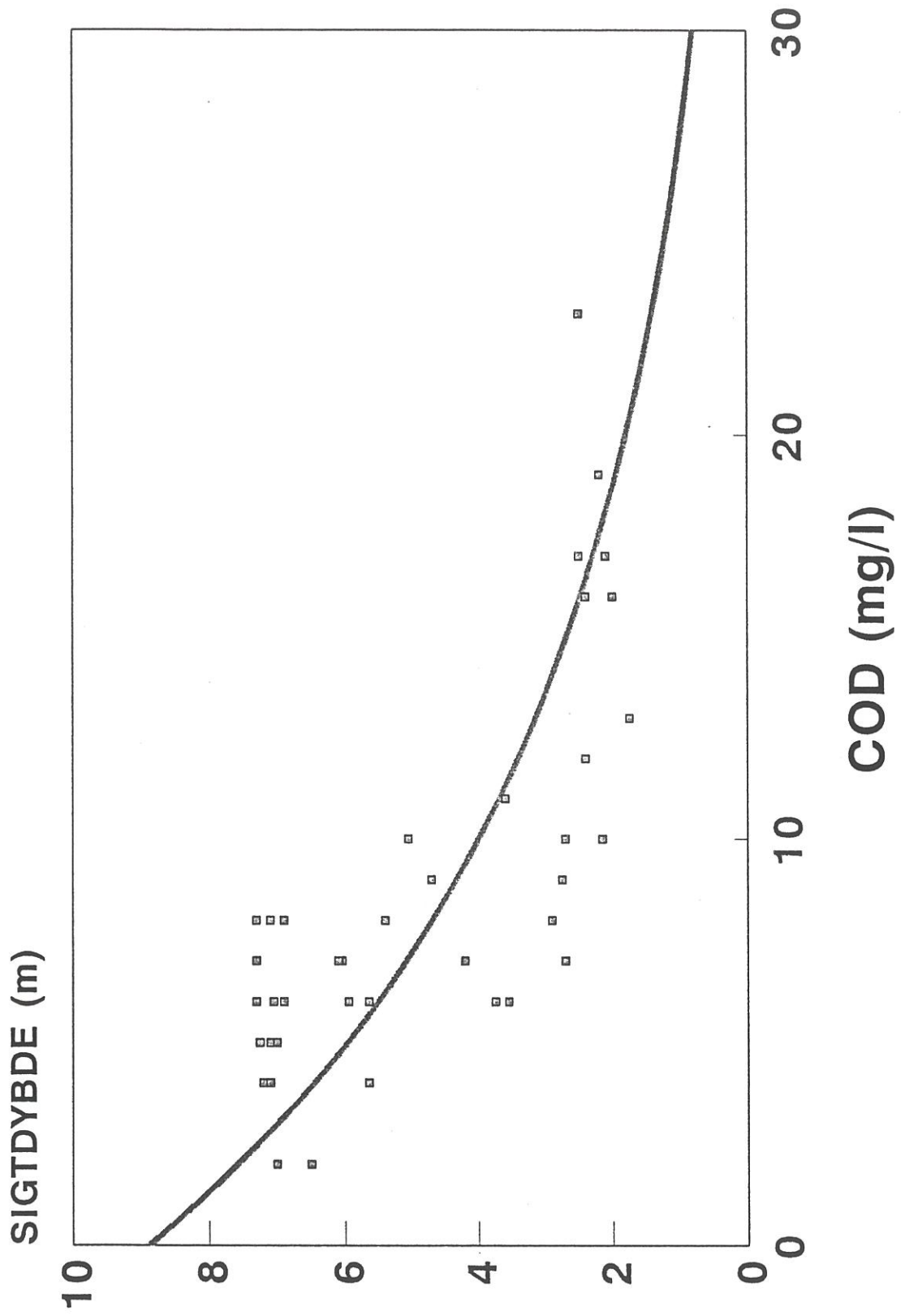
Klorofyl-a og total-kvælstof (fig. 3.12 og 3.13) koncentrationen viser tilsyneladende ingen positiv sammenhæng. Disse værdier viser stor spredning, men understøtter som nævnt, at kvælstofkoncentrationerne på de målte niveauer ingen indflydelse har på algevæksten og søen er således fosforgrænset.

Madum sø 1989 - 1992, sigtdybde og COD, år



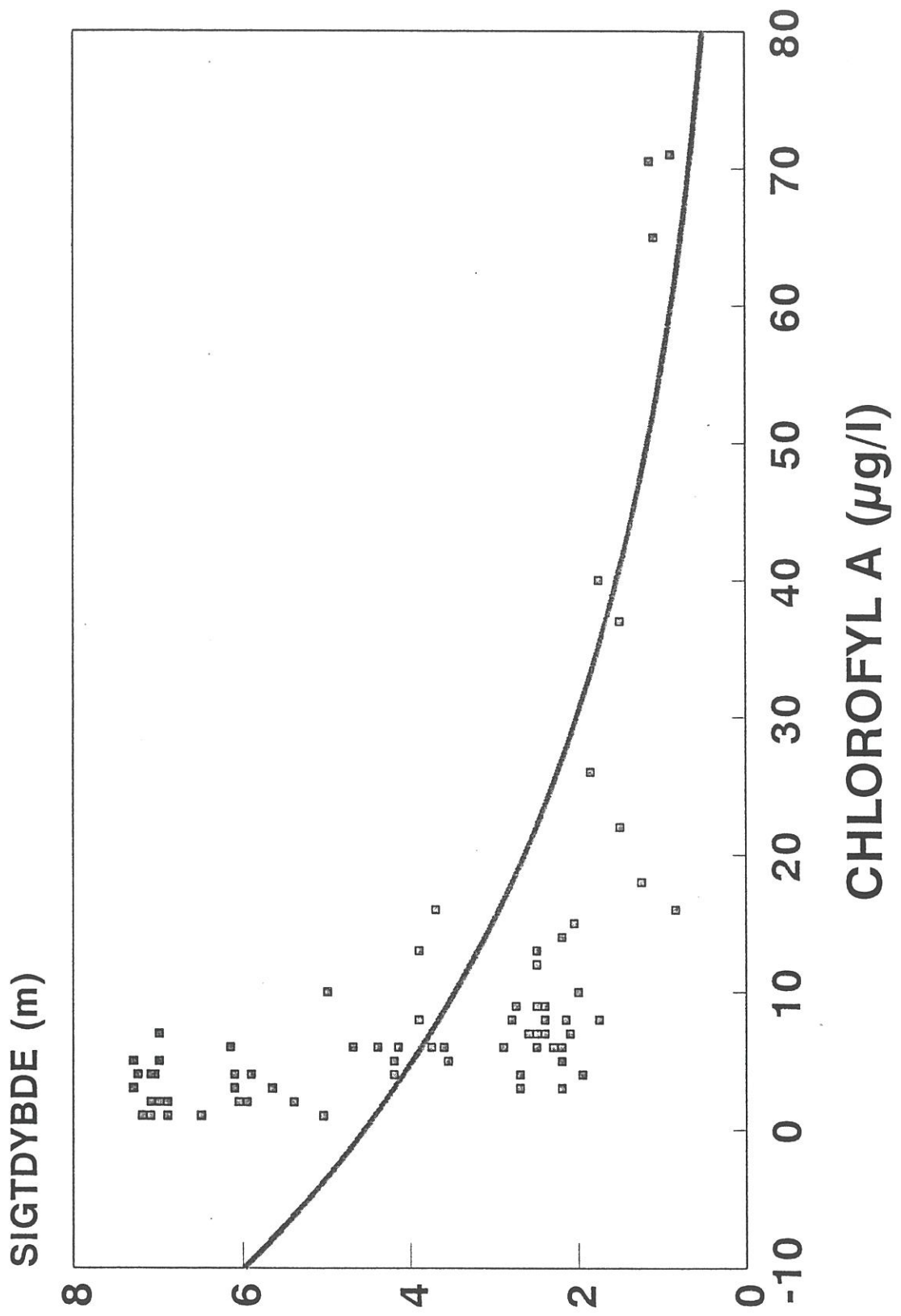
Figur 3.6

Madum sø, sigtdybde og COD, sommer



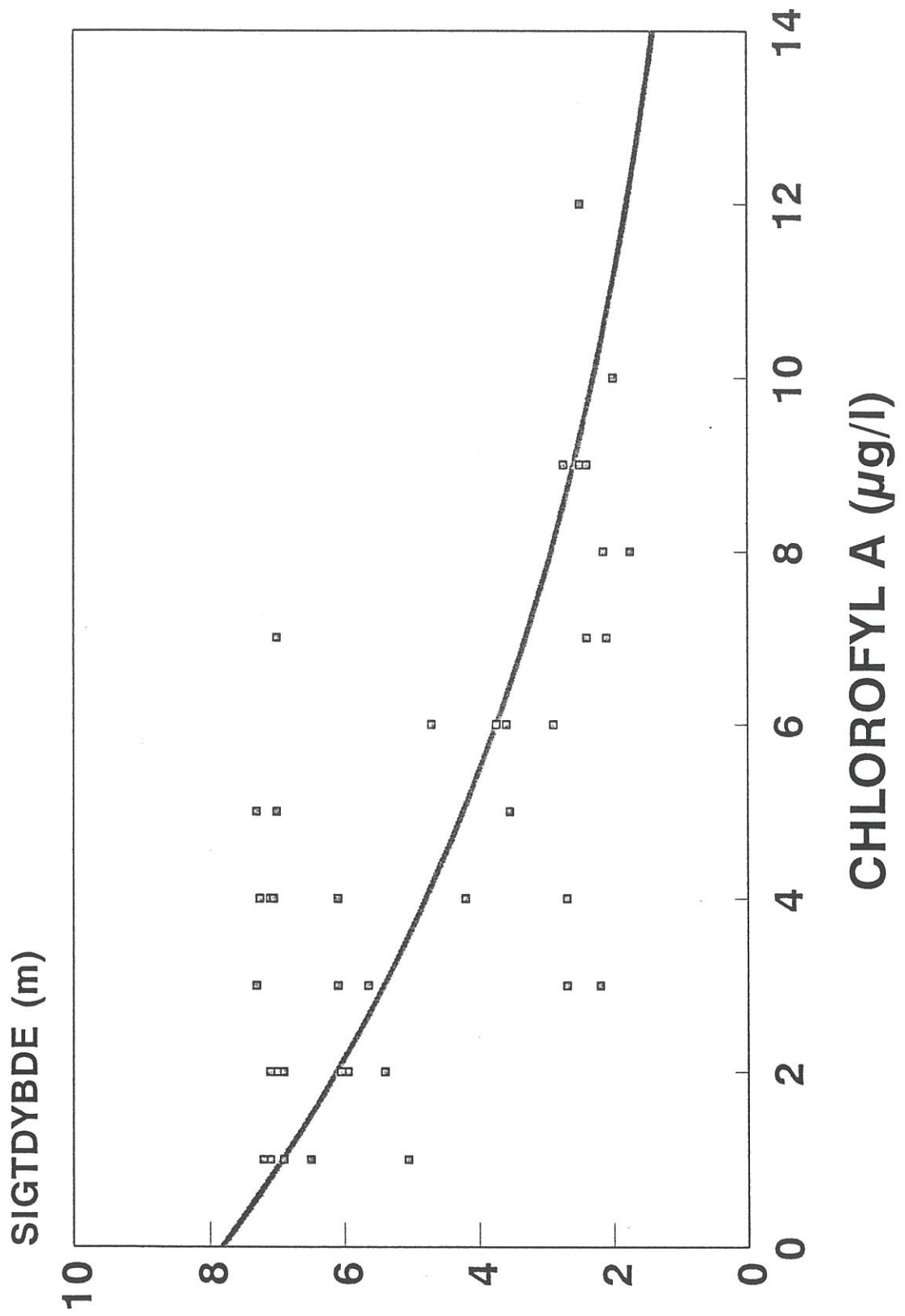
Figur 3.7

Madum sø 1989 - 1992, sigtdybde og chl a, år



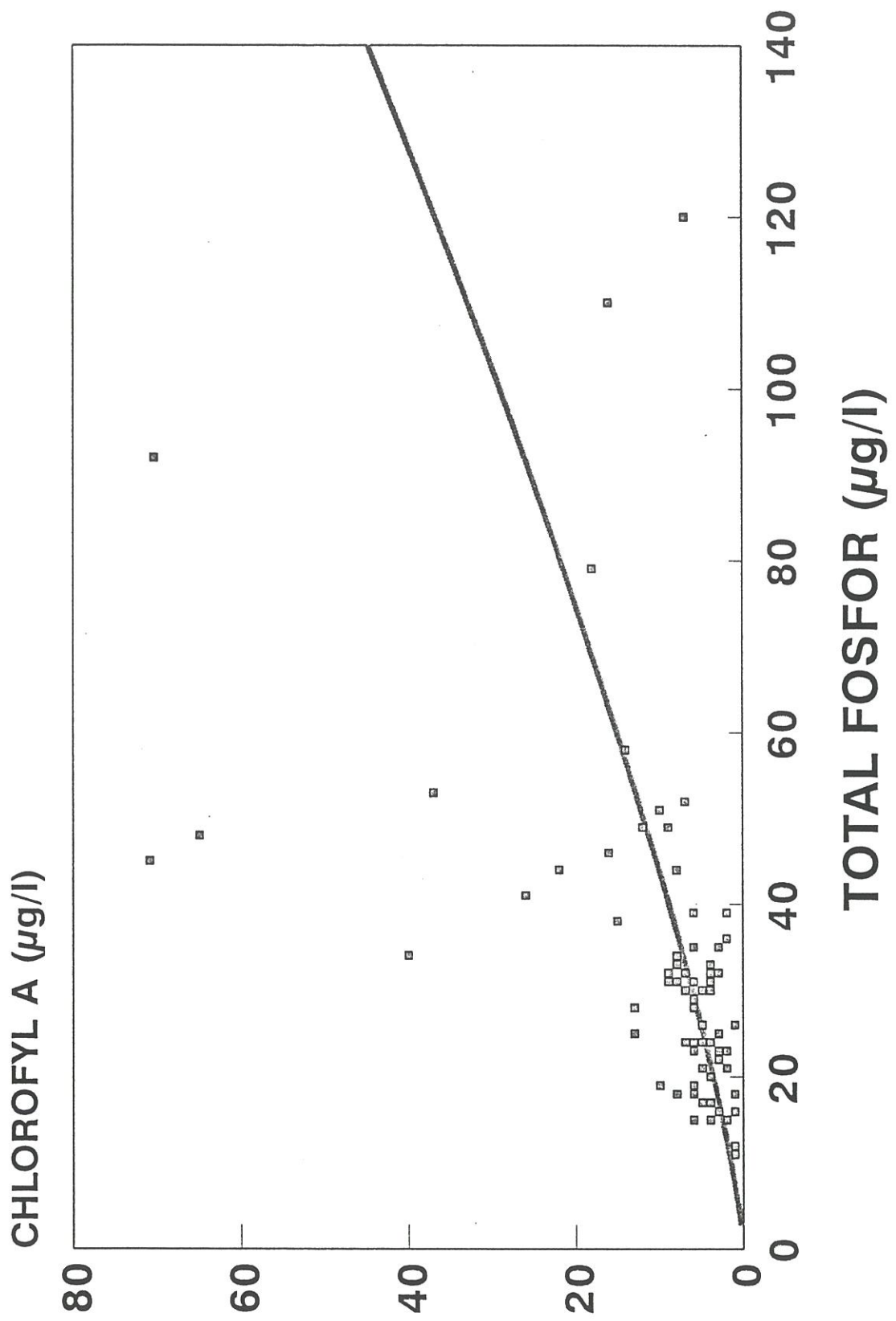
Figur 3.8

Madum sø, sigtdybde og chl a, sommer



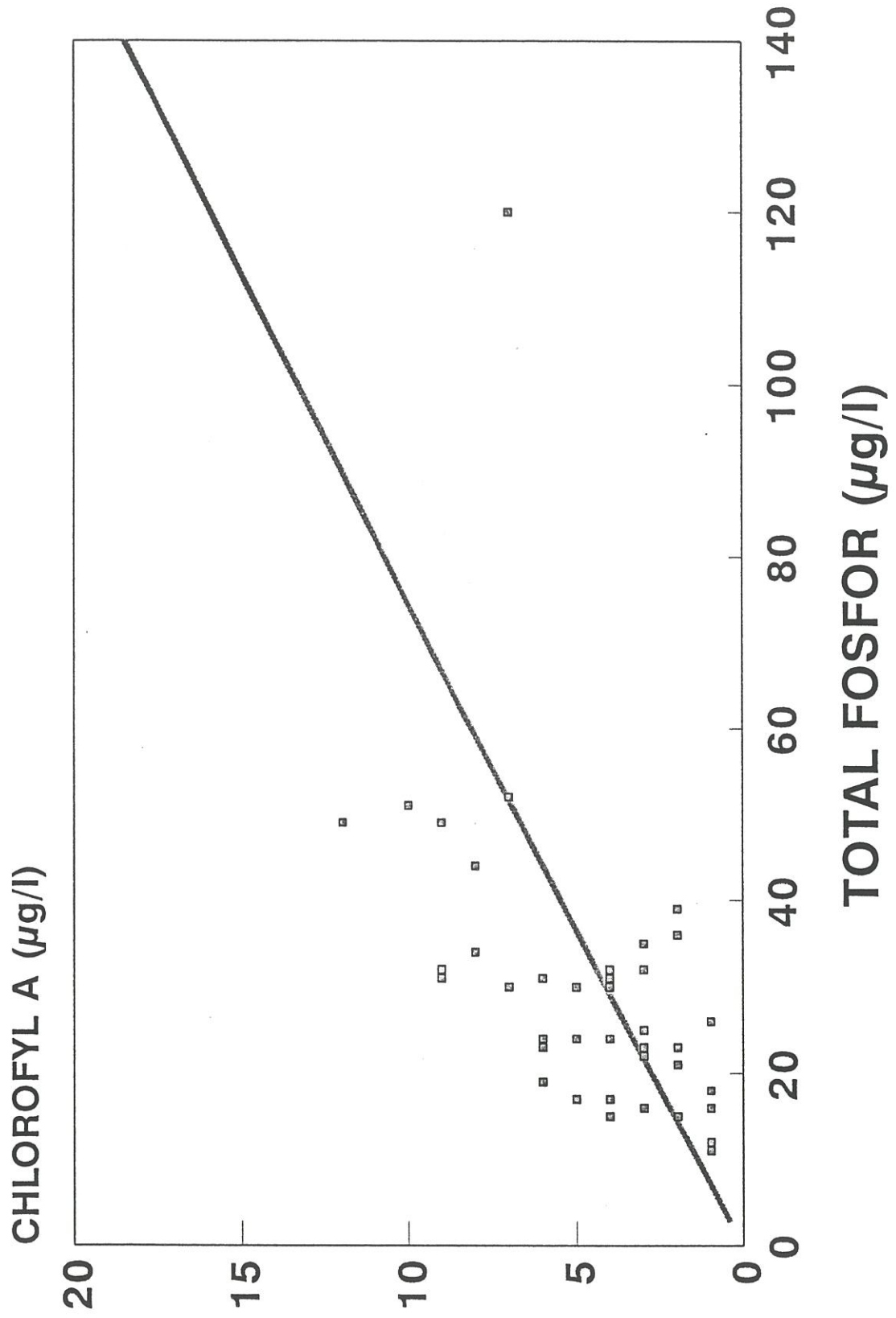
Figur 3.9

Madum sø 1989 - 1992, chl a og TOTP, år



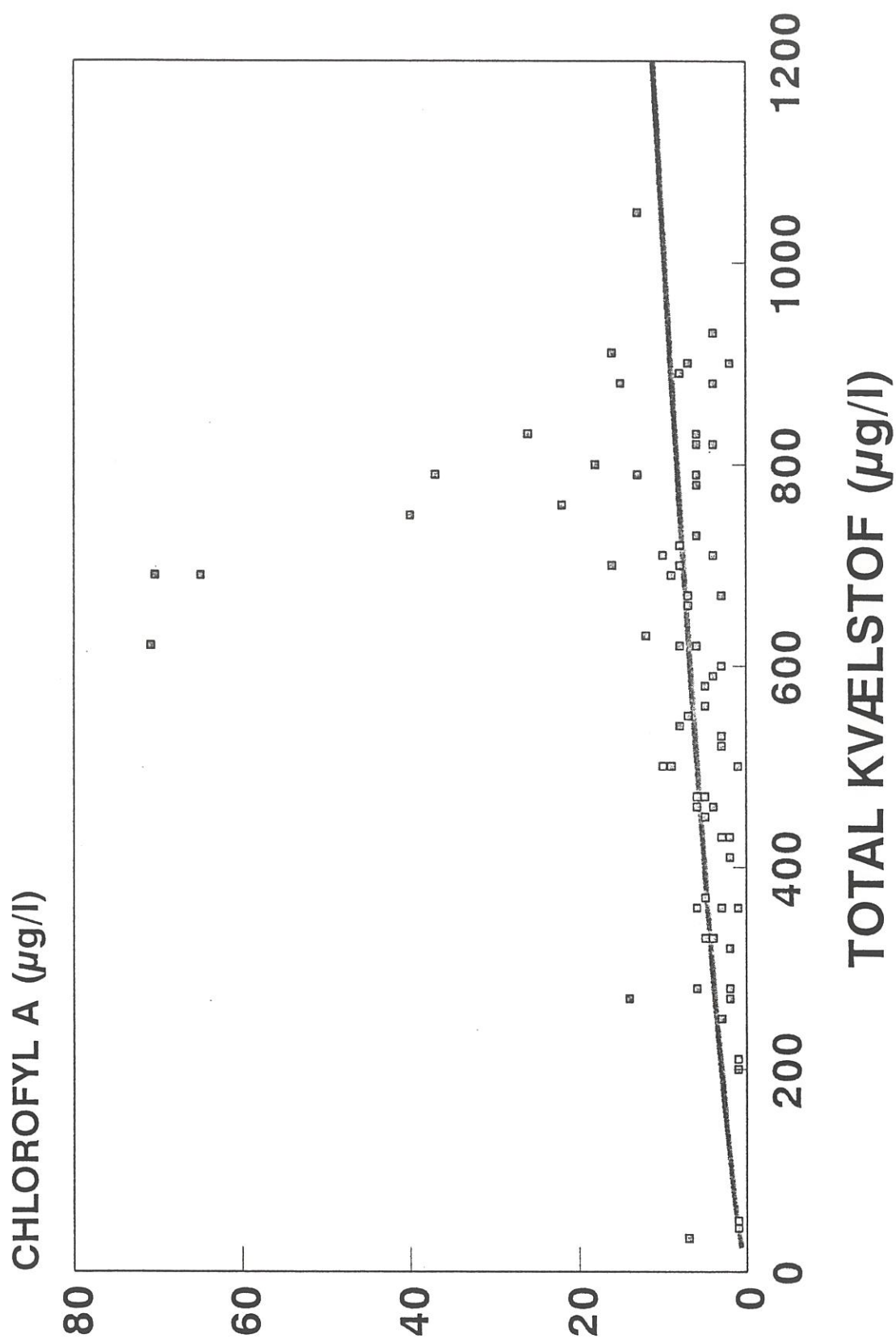
Figur 3.10

Madum sø 1989 - 1992, chl a og TOTP, sommer



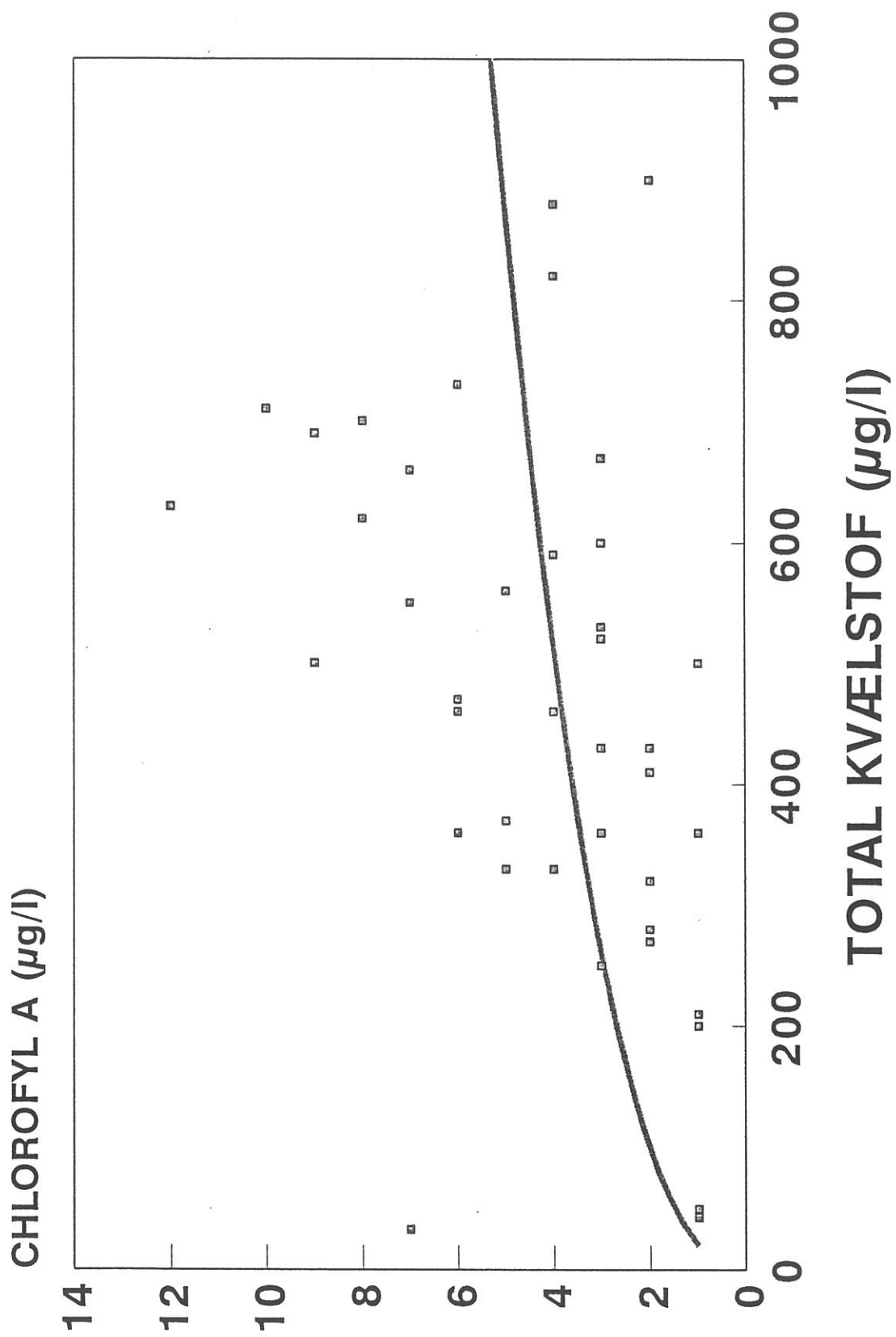
Figur 3.11

Madum sø 1989 - 1992, chl a og TOTN, år



Figur 3.12

Madum 1989 - 1992, chl a og TOTN, sommer



Figur 3.13

3.3. Sedimentkemi

Der er i 1990 foretaget afrapportering af sedimentundersøgelserne i august 1989. Her skal fremdrages 2 forhold, som er af betydning for vurdering af fosfordynamikken i søen:

- total-fosforprofilerne viser, at koncentrationen af total-fosfor i overfladelaget er ca. dobbelt så højt som niveauet i de dybere lag.
- jern:fosfor forholdet er lavt, i overfladelaget 7,3.

I 1992 konstateredes der ikke iltfrie forhold ved søens bund. Den anaerobe frigivelse af PO_4^{3-} antages derfor for at være ubetydelig.

Tilsvarende optræder der ikke i søen pH værdier, som kan betinge frigivelse af jernbundet fosfor.

Derimod kan det fundne Fe:P forhold (7,3) ifølge (NPO-rapport C4 1990) medføre en relativt høj aerob fosforfrigivelse fra sedimentet. Der foreligger ikke på nuværende tidspunkt aktuelle målinger, som kan beskrive størrelsen af en aerob fosforfrigivelse.

Der er som nævnt ovenfor ikke i årsforløbet af fosforkoncentrationerne tegn på en intern belastning i form af frigivelse af ortofosfat til vandfasen i søen. Derimod kan fosfor frigivet i sommerperioden antages at optages i bundvegetationen (makrofyter eller trådformede alger) og eventuelt senere frigives herfra. Total-fosfor koncentrationens årsforløb i efteråret 1989 og 1991 kan tyde på, at total-P transporteres op i vandfasen via løsrevne tråde af Mougeotia sp.

3.4. Biologiske undersøgelser

Plantep plankton

På figur 3.14 er vist årstidsvariationen og år til år variationen i det samlede algevolumen (= biomasse). Figurens forløb følger vandets indhold af klorofyl-a (figur 2), med et ret konstant algevolumen i vinteren, et minimum i marts, et maksimum i april/maj afløst af et lavt algevolumen i sommerperioden og den efterfølgende stigning i løbet af september og oktober.

Algesamfundene domineres frem til midt i juli af små ubestemte arter (< 10 μm), hvoraf arterne < 2 μm (hovedsageligt Chlorella sp.) dominerede (oftest > 90% af det samlede volumen). Rekyalger (slægten Cryptomonas) og Gulalger (Chrysococcus sp.) optrådte regelmæssigt, men med lave volumener. I sensommer og efterår ses et maximum af Mougeotia sp.

I de kvantitativt små algesamfund i sommerperioden ses afvekslende dominans af ubestemte arter < 10 μm og grønalgerne Sphaerocystis schroeteri og Oocystis parva, men med indslag af Rekyalger (Cryptomonas sp.) og Gulalger (Chrysococcus sp.). I september opbygges i vandfasen markante forekomster af trådformede grønalger af slægten

Mougotia som dominerer algesamfundet indtil november. Disse er ikke egentlige planktoniske alger, men træffes i vandfasen om efteråret, hvor de i forbindelse med henfald taber i vægtfylde, samtidig med, at vandets bæreevne stiger under temperaturfaldet.

De trådformede grønalger forbliver i vandfasen til midt i november og afløses af et maximum af ubestemte arter $< 2\mu\text{m}$, formodentlig Chlorella sp.,

Forløbet i 1992 var dog forskelligt fra det ovenfor beskrevne typiske forløb fra de tre foregående år, idet algebiomassen gennem en stor del af året var domineret af Furealger henholdsvis Peridinium sp. i foråret og forsommeren og Peridinium inconspicuum med et maksimum i juni og igen i august–september. Det ses endvidere at biomassemaksima i 1992 var væsentligt højere end set de foregående år og netop knyttet til furealgerne.

Opstigningen af trådalger i efteråret sås ikke i 1992, formodentlig fordi lysforholdene på bunden gennem hele året var for ringe til at de udbredte algetæpper som tidligere er registreret ikke har kunnet etablere sig.

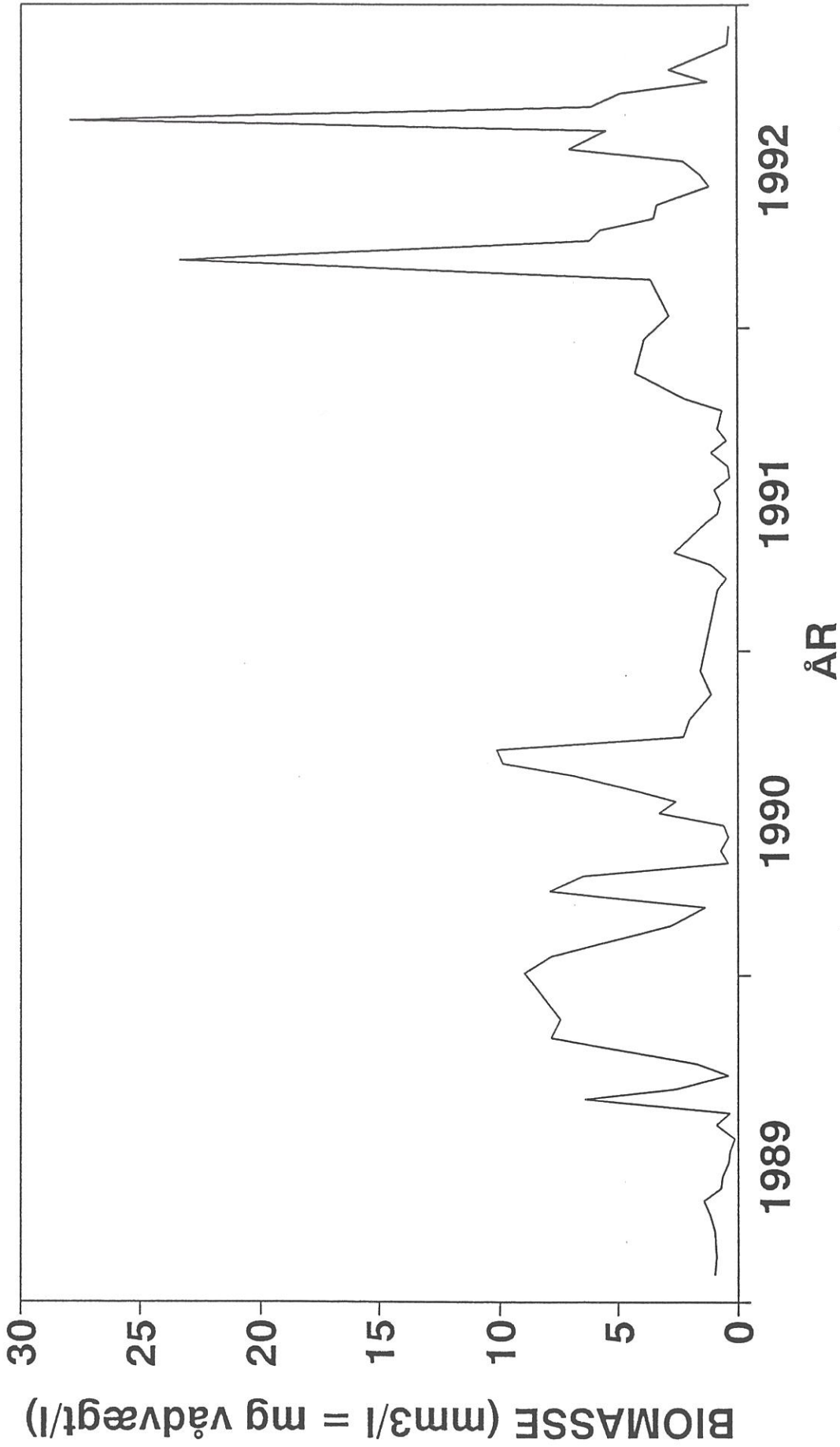
De for størstedelen af årets vedkommende meget små algeforekomster, kombineret med det lave artsantal, er ret typiske for meget næringsfattige søer. De store forekomster i vinterperioden er dog usædvanlige, men kan forklares ud fra en række forhold. Stigningerne i næringsstofkoncentrationerne i september er knyttet til opstigningen af Mougotia sp. i samme tidsrum. Den trådformede grønalge, der normalt ligger som et tæppe over bunden optager næring fra sedimentoverfladen. Ved opstigningen fragtes næringsstoffer op i vandfasen og frigives under nedbrydning. Disse næringsstoffer optages af Chlorella.

Chlorella sp. hører til mikroalgerne med en gennemsnitlig størrelse på ca. $1,5\mu\text{m}^3$. I marts/april og fra det sene efterår var disse små grønalger den væsentligste primærproducent med en biomasse op til $10\text{mm}^3\text{ml}^{-1}$). Hverken den sæsonmæssige variation eller celleantallet såvel som biomassen af Chlorella sp. er usædvanlig for oligotrofe søer. Idet de meget små alger alene i kraft af deres størrelse besidder en række morfologiske tilpasninger, der gør dem specielt velegnede til at vokse i næringsfattige miljøer.

Zooplankton

Sæson- og fra år til år variation i zooplanktons biomasse fordelt på hovedgrupper er vist i figur 3.15. To typiske forløb ses at fremtræde. Enten som i 1990 og 1992. Her forsvinder stort set al zooplankton ud af søvandet i løbet af maj–juni måned for så at dukke op igen iløbet af september måned, hvorefter zooplankton samfundene bygges op igen. Eller som i 1989 og 1991, hvor zooplankton optræder gennem hele året. Disse forløb har en afgørende indflydelse på søens algesamfund og dermed søens sigtddybde og antages at styres af fiskenes ynglesucces, idet der sammenfald mellem klækningen af aborrens æg og zooplanktons forsvinden. Endvidere kan det udledes

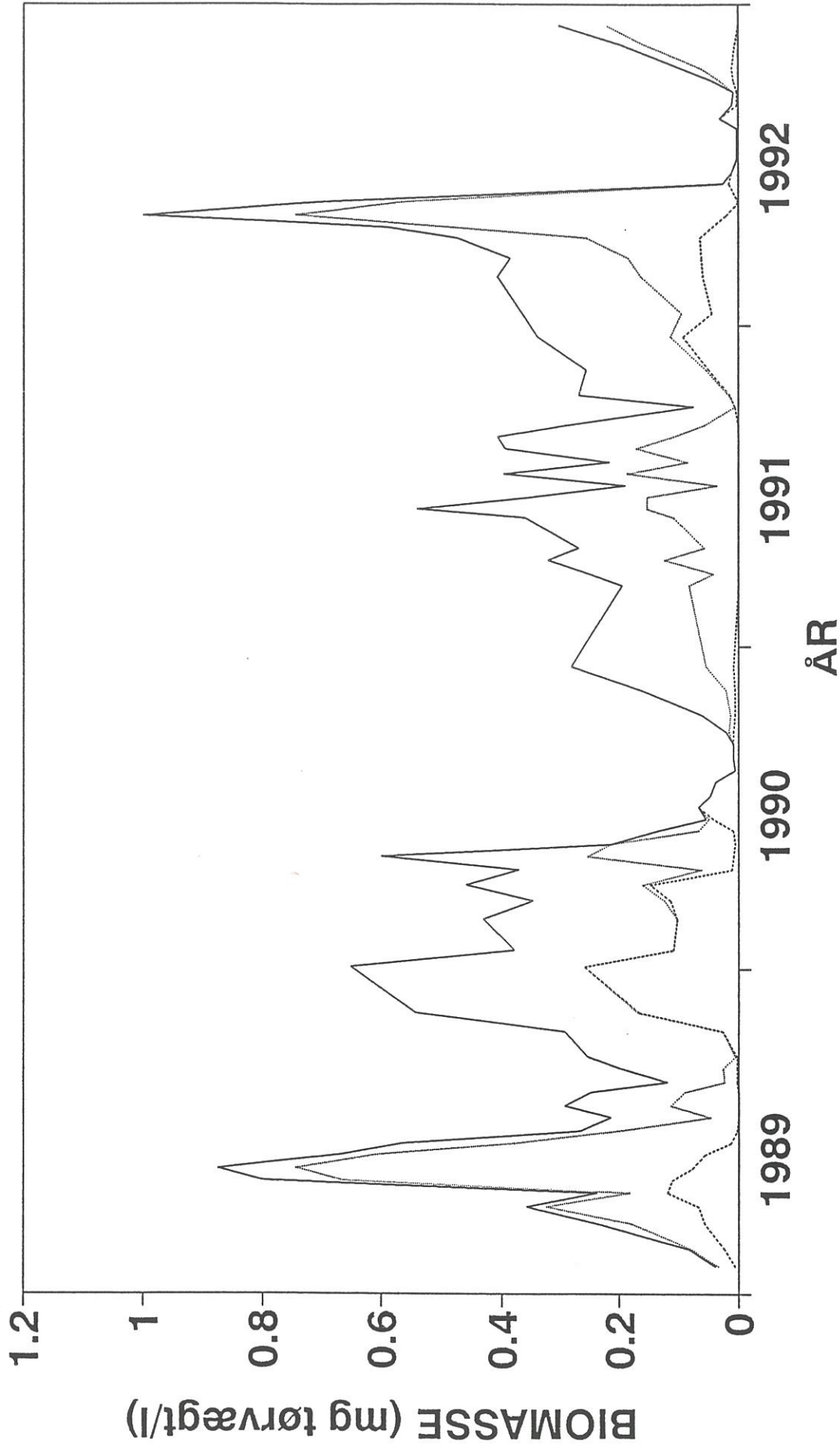
Madum sø 1989 - 1992, phytoplankton



— Grand Total

Figur 3.14

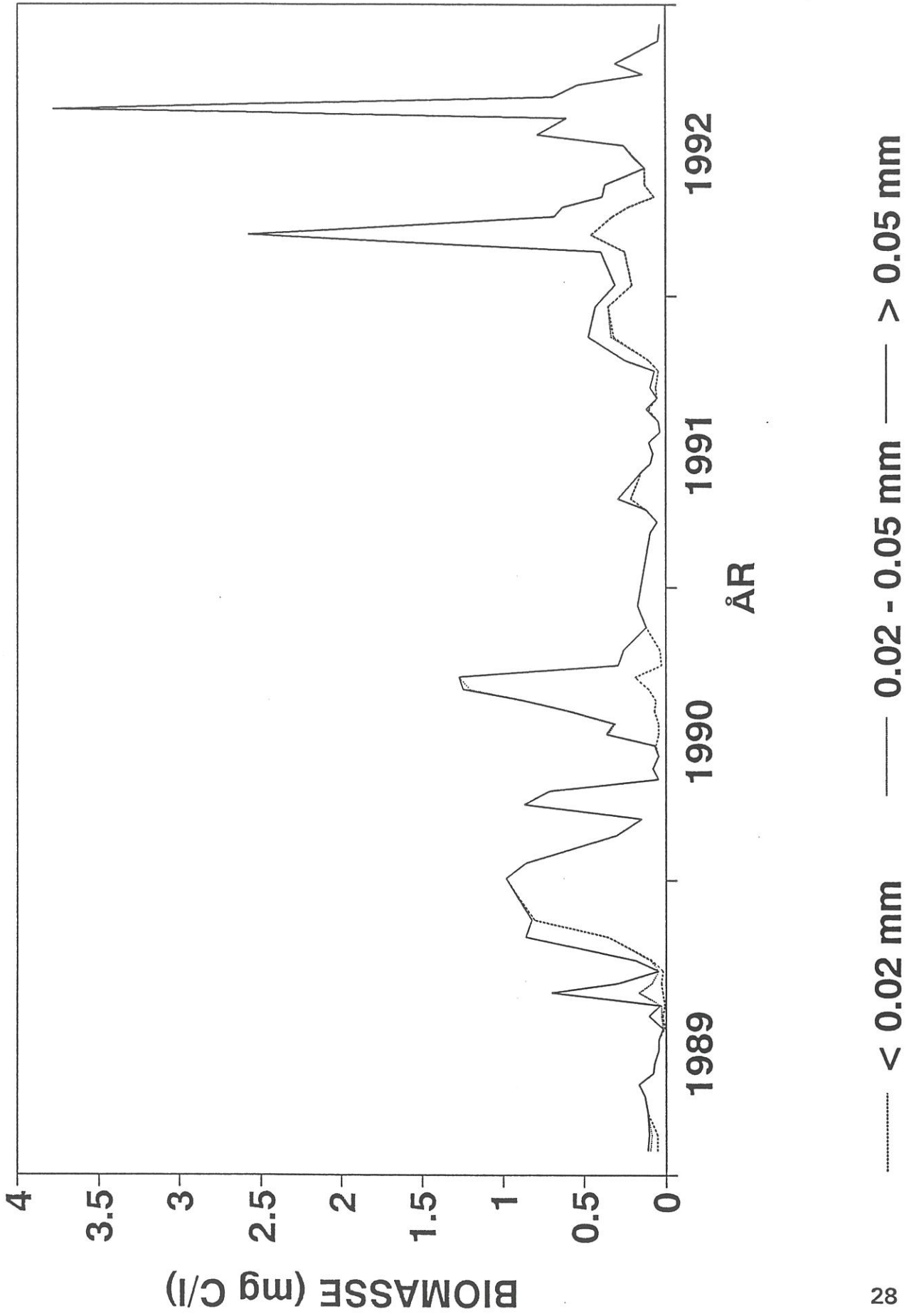
Madum sø 1989 - 1992, zooplankton



Figur 3.15

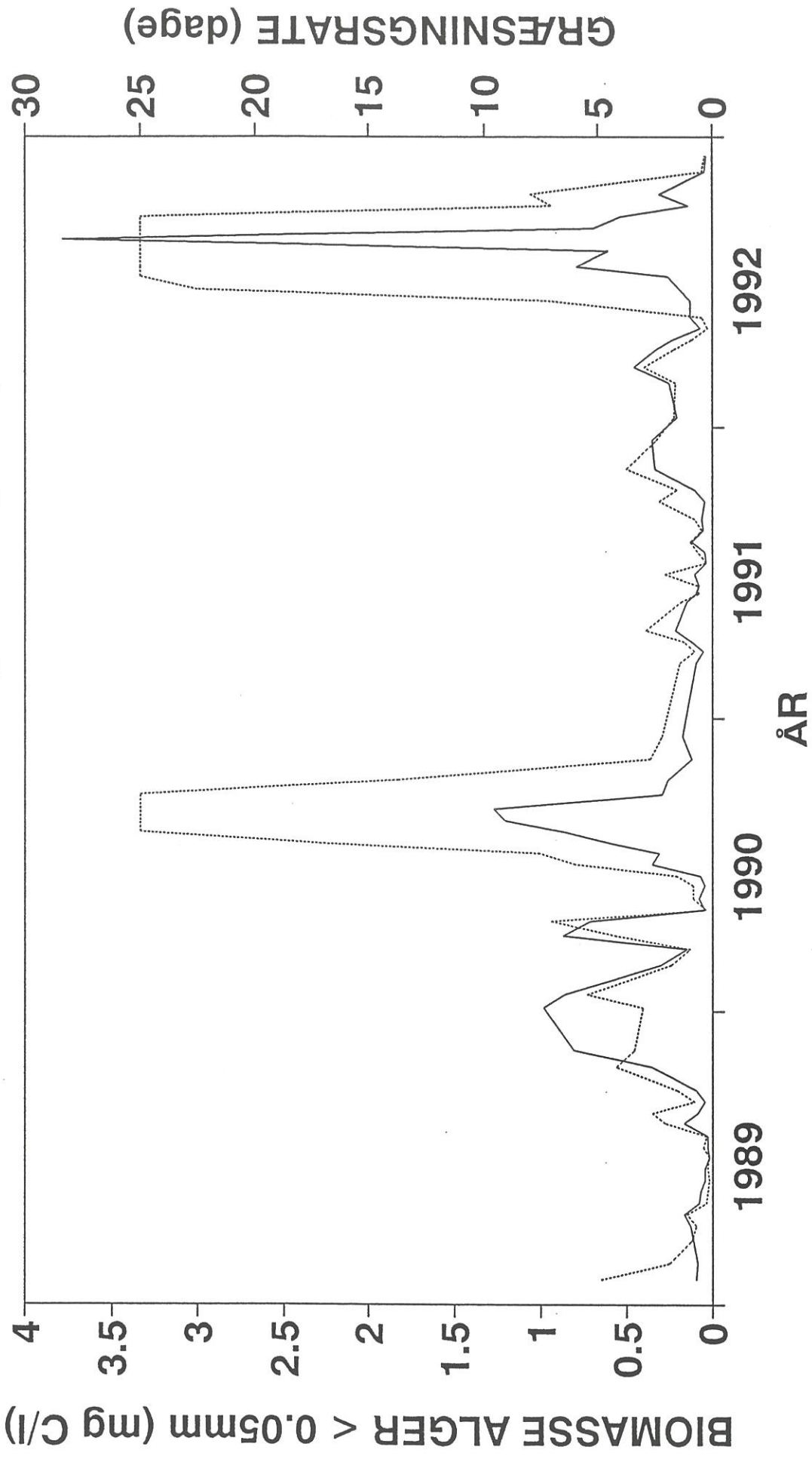
..... Rotatorier - - - - Chladocerer - - - - Copepoder

Madum sø 1989 - 1992, phytopl.fordel.



Figur 3.16

Madum sø 1989 - 1992, græsning zoopl.



..... Græsningssrate — Algebiomasse

Figur 3.17

at særligt i årene 1990 og 1992 havde fiskene i søen en ekstraordinær god ynglesucces, hvor ynglen var istand til at nedgræsse zooplankton totalt.

Zooplanktonsamfundene i Madum sø har vist sig at være ret artsfattige hovedsageligt domineret af vandloppen Eudiaptomus graciloides. Dafniegruppen (Chladocerer) er optræder særligt i foråret med snabeldafnien Bosmina longirostris, og i 1990 sås et betydeligt indslag af Diaphanosoma brachyurum. Kun i vinterperioder er hjuldyrene af kvantitativ betydning og der registreres ofte betydelige antal af arterne Keratella cochlearis og K. quadrata.

Græsning

Phytoplankton domineres primært af alger $< 50 \mu\text{m}$ (fig 3.16) grundet de forholdsvis lave næringsstofkoncentrationer, således at hele phytoplanktonsamfundet i visse år kan risikere at blive mål for et græsningstryk udøvet af zooplankton.

De sammenhørende værdier af biomasse af fytoplankton $< 50 \mu\text{m}$ og zooplanktons græsningsrate (udtrykt som dage nødvendig til nedgræsning af aktuel biomasse) i figur 3.17 viser, at zooplankton i sommeren 1989 og i hele 1991 har kunnet udøve en væsentlig kontrol over fytoplanktonbiomassen, idet græsningsraten generelt er under 5 dage og i hovedparten af sommerperioden 2–3 dage. Netop de år, hvor sigtddybden generelt var god.

I modsætning hertil sås både i 1990 og i 1992 længerevarende perioder, hvor græsningsraten var høj, og at der i disse perioder sås en ringe sigtddybde. I disse år optrådte der således situationer, hvor zooplankton kun udøvede en begrænset kontrol over fytoplanktonbiomassen under $50 \mu\text{m}$.

Altså illustrerer Madum sø i 1989 og 1991 en situation, hvor zooplankton primært reguleres af den tilgængelige fødemængde og i 1990 og 1992 af fiskenes predation. Omvendt gælder det for planteplankton at den ringe størrelse af planktonsamfundene og dermed vandets store klarhed i 1989 og 1991 i høj grad var reguleret af zooplanktongræsningen, mens planteplankton i 1990 og 1992 kunne udvikle sig "optimalt" i fraværet af zooplankton. Planteplanktonsamfundene var derfor i 1989 og 1991 styret fra oven (græsning) og i 1990 og 1992 fra neden (næringsstofforholdene).

Fisk

Ved fiskeundersøgelsen i 1991 i Madum sø blev der registreret i alt tre arter:

Helt (*Coregonus lavaretus*)

Gedde (*Esox lucius*)

Aborre (*Perca fluviatilis*)

Af resultaterne fremgik, at Aborre udgør 100% af biomassen af fisk mindre end 10 cm og 98 % af fisk større end 10 cm. Der er således kun registreret Gedder og Helt større end 10 cm. Hos Aborrerne udgøres kun 3 % af biomassen fanget i de biologiske

oversigtsgarn af individer mindre end 10 cm længde. Længde fordelingen viser tre størrelsesklasser, omkring 6,5 cm, omkring 10,5 cm og omkring 35 cm.

Resultaterne fra fiskeundersøgelserne er i overensstemmelse med søens karakter. Den klarvandede sø domineres typisk af rovfisk, der jager v.h.a. synet som f.eks. aborren.

3.5 Generel vurdering

Den generelle tilstand i Madum sø er umiddelbart god. Det lave fosforniveau og et veludviklet zooplankton betinger i hovedparten af året lave fytoplankton-biomasser og deraf følgende god sigtddybde. I Miljøprojekt 184. 1991 konkluderes det, at søen ikke umiddelbart ses at være forsuret.

Det fremgår af de fire års undersøgelser at udviklingen af planktonsamfundene styres af interne forhold i søen mellem de biologiske komponenter, hvor nøglefaktoren er fiskenes dvs. aborrens ynglesucces.

Der er imidlertid en række forhold, som bør vurderes nøje ved vurdering af søens generelle tilstand. Som beskrevet i 1989 rapporten indikerer resultaterne fra sedimentundersøgelserne at der i perioden fra 1975 til 1989 er sket en ophobning af fosfor og kvælstof i sedimentet. Det fremgår, at fordoblingen af N og P er sket parallelt med en fordobling af sedimentets indhold af organisk stof, mens tørstofindholdet er halveret. Den absolutte tilførsel af kvælstof og fosfor kan kun opgøres skønsmæssigt, idet vandbalancen, og bidragene fra spredt bebyggelse og atmosfæren er dårligt kendt.

Det vil være ønskeligt at etablere et bedre videngrundlag om disse forhold, ligesom det søens økologiske baggrundstilstand bør beskrives.

Endvidere bør det stigende fosforindhold vække en alarm, idet der sammenfaldende med det stigende fosforindhold, sås en kvantitativt mere betydelig opvækst af alger $> 50 \mu\text{m}$, som ligger udenfor zooplanktons kontrol. Dette kan være indledningen på en udviklings spiral, der fører søen ind i tilstand, hvor søens sigtddybde mere permanent vil være forringet, med store afledte effekter på søens øvrige plante og dyresamfund.

Det må dog konkluderes, at de konstaterede variationer indtil videre kan forklares ud fra interaktionerne mellem de forskellige biologiske komponenter, og at søen fortsat henligger i naturtilstand.

Målsætningen for søen er derfor opfyldt.

4. Hornum sø

4.1. Vand og stofbalance

Vandbalancen for Hornum sø er i lighed med tidligere år beregnet ud fra data fra det opland, hvori Hornum sø indgår, d.v.s. Øster Å – systemet, der indgår i overvågningsprogrammet.

Der er anvendt følgende data fra Øster Å – systemet:

Oplandsareal:	12.840 ha
Middelafstrømning:	603 l/s
Arealbidrag kvælstof:	95,450 tons/år
Arealbidrag fosfor:	1,830 tons/år

Heraf beregnes arealspecifik afstrømning og koncentrationer for bidraget fra det åbne land.

Arealspecifik afstrømning:	0,047 l/s ha ⁻¹
Koncentration af Total kvælstof:	5,754 mg N l ⁻¹
Koncentration af Total fosfor:	0,054 mg P l ⁻¹

Herefter kan indsivningen til Hornum sø beregnes til:

$$789 \text{ ha} \cdot 0,047 \text{ l/s ha}^{-1} = 37,1 \text{ l/s}$$

Den specifikke afstrømning er: $= 4,7 \text{ l/s km}^2$

En indsivning på 37,1 l/s svarer til en årlig tilførsel af vand på $1,170 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vand, hvilket giver søen en opholdstid på 3,4 mdr.

Som for Madum sø er der opstillet en vandbalance ud fra nedbør, fordampning og ændring i søvandsspejlet. Af vandbalancen for Hornum sø ses den specifikke afstrømning at være $9,49 \text{ l/s km}^2$ i 1991 og $3,67 \text{ l/s km}^2$ i 1992.

Indsivningen på $74,86 \text{ l/s}$ i 1991 svarer til en årlig tilførsel af vand på $2,36 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Opholdstiden kan beregnes til 1,7 mdr.

Indsivningen på $28,94 \text{ l/s}$ i 1992 svarer til en årlig tilførsel af vand på $9,13 \cdot 10^5 \text{ m}^3$.

Opholdstiden for søen kan beregnes til 4,3 mdr.

Til sammenligning har Øster Å st. 10.05 en specifik årlig middelafstrømning på $6,3 \text{ l/s km}^2$ og en specifik medianminimumsafstrømning på $3,1 \text{ l/s km}^2$ taget for perioden 1971 – 1990.

Under den antagelse at Hornum sø modtager vand ved grundvandsindsivning og fra et

nedbørsoverskud er der en god overensstemmelse mellem middelfstrøminigen for Øster Å og middelfstrøminigen i Hornum sø, der er 6,57 l/s km² for 1991–1992.

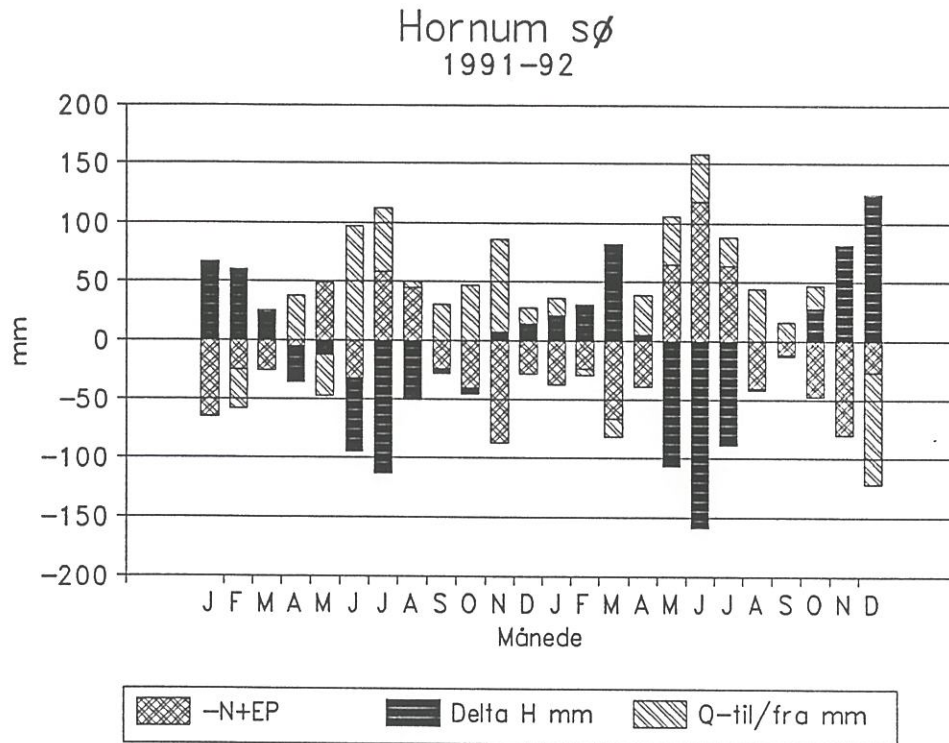


Fig. 4.1 Den månedlige vandbalance for Hornum sø

Af fig. 4.1 ses vandbalancen at være gjort op for Hornum sø for hver måned i perioden 1991–1992. Det mindste magasin volumen ses i oktober for 1991 og i august–september for 1992. Hvor det største magasin volumen fås i marts 1991 og marts–april 1992. Der er generel en udsivning for sommer månederne, hvor max. udsivning for 1991 ses i juni og i august for 1992. Den største indsivning sker i maj for 1991 og i december for 1992.

Stofbalance

Stofbalancen for Kvælstof og fosfor er opgjort under forudsætning for specifik afstrømning og koncentrationsniveauer i indsivende vand svarende til Øster Å st. 10.05

Udsivningsmængden beregnes som den årlige udsivning · den årlige middelkoncentration af de opløste uorganiske fraktioner af N og P.

	N		P	
	tons N/år	%	kg P/år	%
Basisbidrag	6,7	93	63,2	46
Spredt bebyggelse	0,2	3	70,7	52
Luftbidrag	0,3	4	3,4	2
Total tilførsel	7,2	100	137,3	100
Fraførsel	0,8	11,1	41,9	30,5
Netto tilførsel	6,4	88,9	95,4	69,5

Tabel 4.1. Belastningsopgørelse for Hornum sø.

Fosfor tilførslen til Hornum sø sker primært fra spredt bebyggelse og basisbidraget. Den arealspecifikke belastning er på $0,613 \text{ g P m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, det er højt i forhold til de tre foregående år, der ligger på ca. $0,4 \text{ g P m}^{-2} \text{ år}^{-1}$.

Kvælstof tilførslen sker primært fra det åbne land. Den arealspecifikke belastning for søen er beregnet til $32,12 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Der er sket en svag stigning i forhold til året før.

4.2 Vandkemiske og fysiske undersøgelser

Der er i perioden 1989–92 ikke registreret stabile forskelle i temperatur, iltindhold og pH mellem overflade- og bundvand i Hornum sø. Søen er således været fuldstændigt opblandet hele året igennem.

Alle vandkemiske og –fysiske prøver er udtaget på hovedstationen (H) som blandingsprøver af hele vandsøjlen, bestående af delprøver fra følgende dybder: 0.2m, 1.0m og 2.0m (se bilag 2).

En oversigt over de vandkemiske forhold i Hornum sø målt som sommergennemsnit, vintergennemsnit er givet i bilag 4.

Sigtdybde

Sigtdybden i Hornum sø (fig. 4.2) blev i 1991 markant forbedret i forhold til de to tidligere år. Således sås ingen sæsonvariation, idet der gennem hele året stort set var sigt til bunden. Dette er i modsætning til de tidligere år, hvor der optrådte et tydeligt forårs og forsommer minimum med sigtdybdeværdier på 1 m eller mindre. I 1992 var sigtdybden fortsat betydeligt forbedret i forhold til 1989 og 1990 men med større variation henover året. Bortset fra enkelte perioder var sigtdybden konstant større end 2 m.

Klorofyl-a

En tilsvarende udvikling ses for chlorofylkoncentrationen, hvor der i 1991 målttes en meget lav koncentration i forhold til tidligere år (fig. 4.2) og ligeledes i 1992.

Dette skyldes fraværet af de store opblomstringer af Blågrønner som var meget markante i både 1989 og 1990. Blågrønner blev ikke registreret hverken i 1991 eller 1992.

pH og alkalinitet

Det fremgår af figur 4.3, at Hornum sø er en svagt sur sø med en forholdsvis lav pH værdi året igennem. Der er i 1991 og 1992 udsving i pH værdierne på ca. en enhed, hvilket er noget mindre end de to foregående år. Dette må have årsag i den langt lavere planktonproduktion.

I hele 1991 og 1992 ligger pH lavere end de tidligere år. Der kan ikke umiddelbart peges på en årsag til denne udvikling. Det må tages med i betragtningen, at søens bufferkapacitet overfor forsuring er meget lav, da alkaliniteten er lille.

COD, suspenderet stof og glødetab af suspenderet stof

Kun i 1989 og 1990 var der et relativt højt indhold af organisk stof (COD) i søvandet i tilknytning til de store opblomstringer af Blågrønner i sommerperioderne, og således også for parametrene Suspenderet Stof og Glødetab af Suspenderet Stof. I 1991 og 1992 var der i forhold til de tidligere år så væsentligt lavere værdier for indholdet af suspenderet stof og glødetabet af suspenderet stof. I en stor del af analyserne er COD-værdien og indholdet af suspenderet stof under detektionsgrænsen (5 mg/l).

Silicium

Silicium er målt på filtrerede prøver, idet stoffet på opløst form er essentielt for især kiselalger, da det udgør en væsentlig bestanddel af algernes kiselkaller. Tilgængeligt Silicium er derfor en forudsætning for forekomsten af kiselalger.

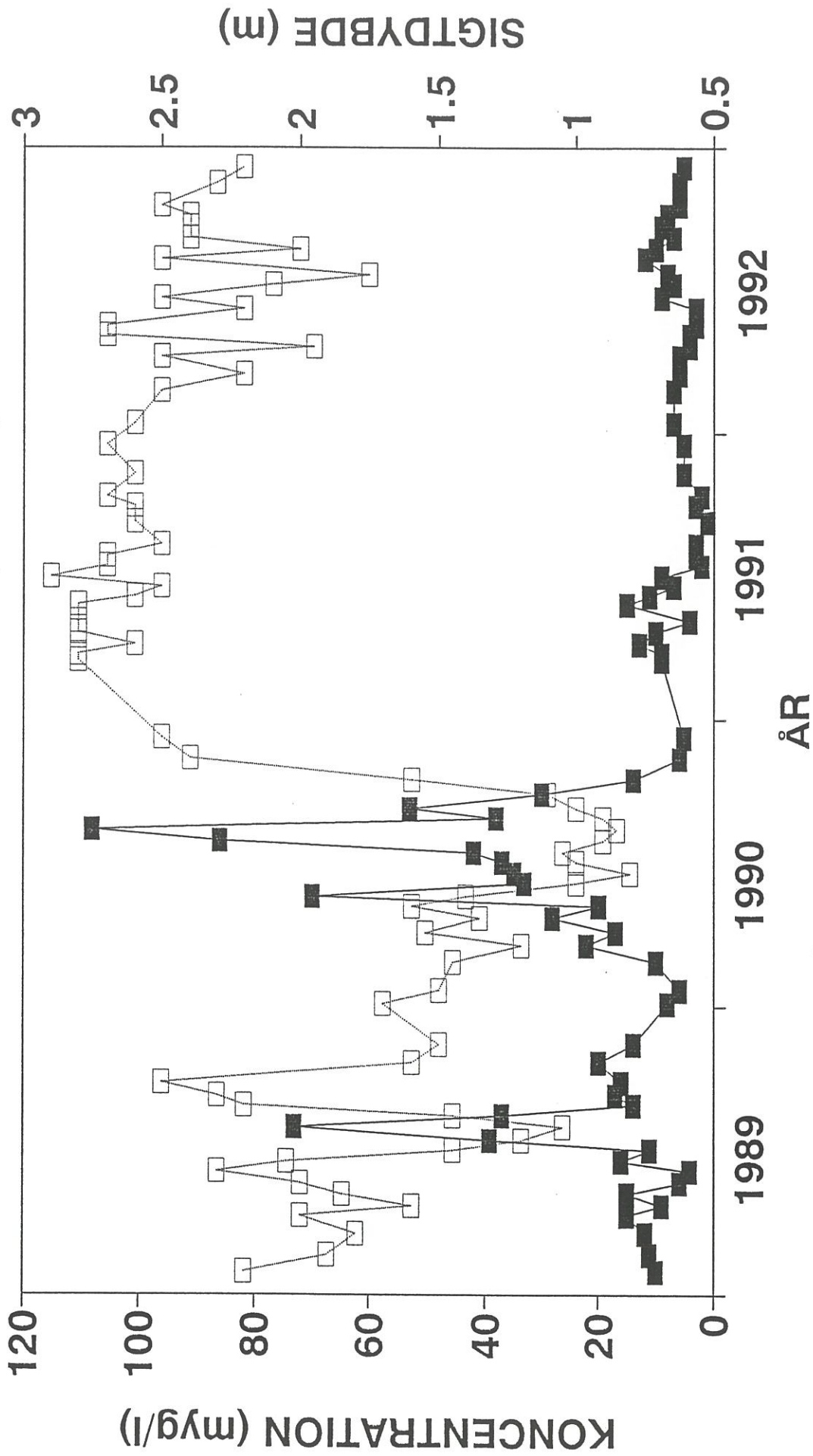
Gennem alle år er søvandets indhold af Silicium under eller nær detektionsgrænsen (0,1 mg Si l⁻¹).

På grund af de lave næringsstofniveauer og det tilsvarende lave siliciumniveau er kiselalgerne kun i meget ringe omfang repræsenteret i Hornum sø's algesamfund.

Fosfor

Totalfosfor niveauet i Hornum sø har i sommerperioden i årene 1989-90 ligget mellem 66 og 74 µg/l (se figur 4.4). I modsætning hertil er gennemsnitskoncentrationen i

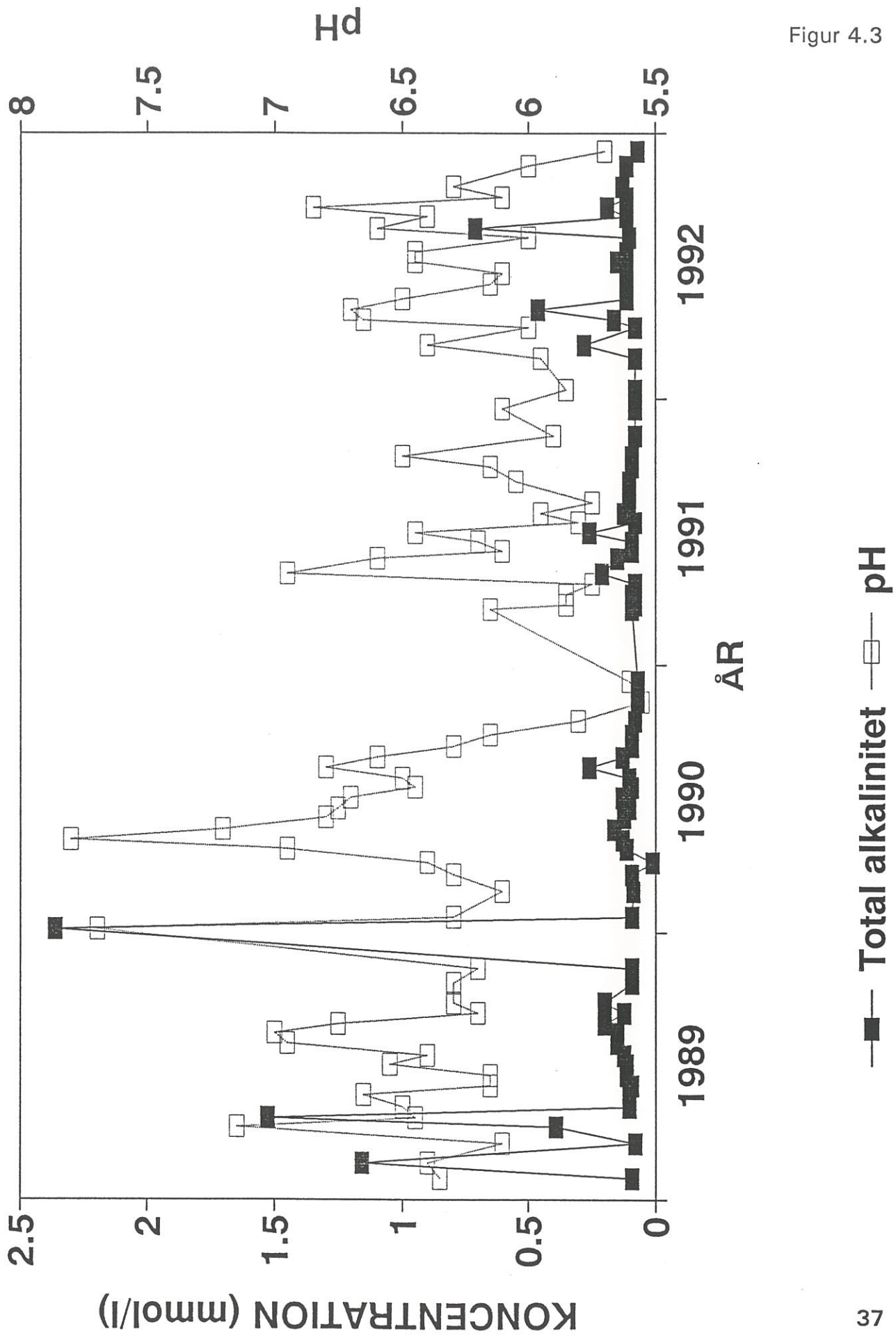
Hornum sø 1989 - 1992, sigt dybde og chl



Figur 4.2

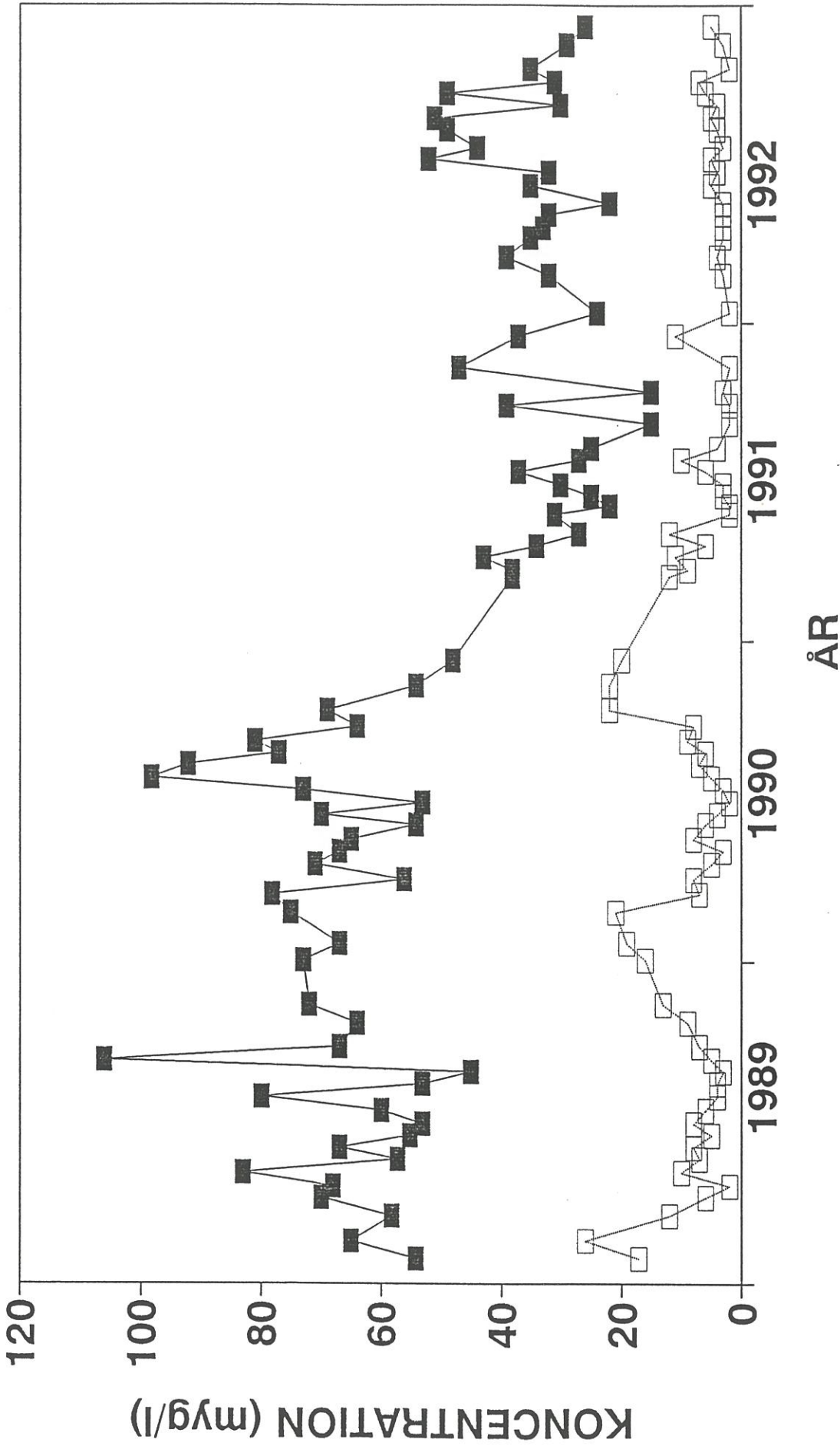
—■— Chlorofyl a —□— Sigt dybde

Hornum sø 1989 - 1992, alkalinitet og pH



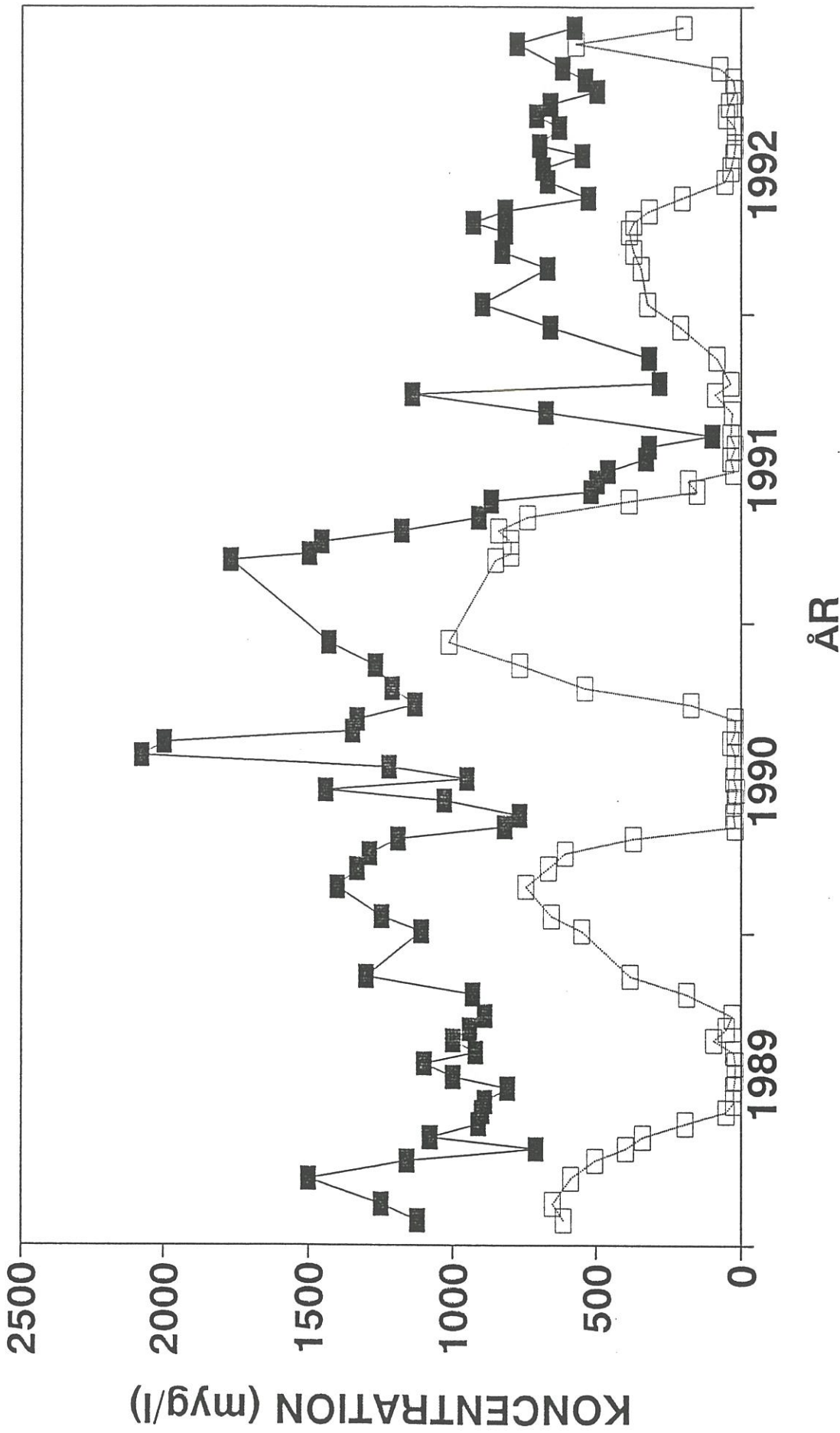
Figur 4.3

Hornum sø 1989 - 1992, fosfor



Figur 4.4

Hornum sø 1989 - 1992, kvælstof



Figur 4.5

1991 27 $\mu\text{g/l}$ og i 1992 38 $\mu\text{g/l}$. I vinteren 1990–91 og igen i vinteren 1991–92 er gennemsnitskoncentrationen også lavere end de tidligere år. Tilsyneladende starter faldet i koncentrationesniveaueet i oktober–november 1990. I alle fire år ses et noget højere totalfosfor niveau i juli kvartal, dette tyder på en intern fosforbelastning fra sedimentet.

Det fremgår af figuren at mængden af frit opløst fosfat i sommerperioden i alle tre år er lav ($> 10 \mu\text{g P l}^{-1}$) og sommermiddelkoncentrationen er i årene 1989–92 mellem 4 og 7 $\mu\text{g P l}^{-1}$. Al fosforet er i denne periode således bundet som partikulært fosfor, (dvs. alger), da orthofosfaten hurtigt omsættes og indbygges i algebiomassen. I efterårs og vintermånederne ses et noget højere niveau, vintergennemsnit i de tre første år mellem 16 og 18 $\mu\text{g P l}^{-1}$. I 1992 faldt niveaueet til 5 $\mu\text{g P l}^{-1}$. Søen må formodes at være fosforbegrænset i sommerperioden og nu ligeledes i en stor del af vinterperioden.

Kvælstof

Kvælstofniveaueet var indtil midtsommer 1991 højt med en forholdsvis stort overskud af opløst kvælstof i vinter- og forårsmånederne, se figur 4.5. Vinterniveaueet af total-N er dog væsentligt lavere end total-N koncentrationen i det grundvand, som antages at strømme til søen (i 1991 1,6 mg/l i forhold til ca. 5 mg/l). I løbet af foråret og forsommeren sedimenterede en del kvælstof ud, samtidig med at hele kvælstofpuljen overgik til at være i den partikulære fase, d.v.s. inkorporeret i algebiomassen. I august 1991 faldt total-N koncentrationen til minimum på 50 $\mu\text{g/l}$ gennem en periode på 4–6 uger. Resten af denne sommer sås store udsving i total-N koncentrationen i søen. Niveaueet af opløst, uorganisk kvælstof er i sommerperioden i gns. 79–170 $\mu\text{g/l}$, minimumsværdier på 10–20 $\mu\text{g/l}$ forekommer. Efterfølgende er kvælstofniveaueet i 1992 reduceret med ca. 0,5 mg N i forhold til 1989 og 1990. Årsagen hertil er sandsynligvis, at de kvælstoffixerende Blågrønalger nu ikke længere er tilstede og det bevirker, at man således ikke som i 1989 og 1990 ser den samme stigning i kvælstofniveaueet.

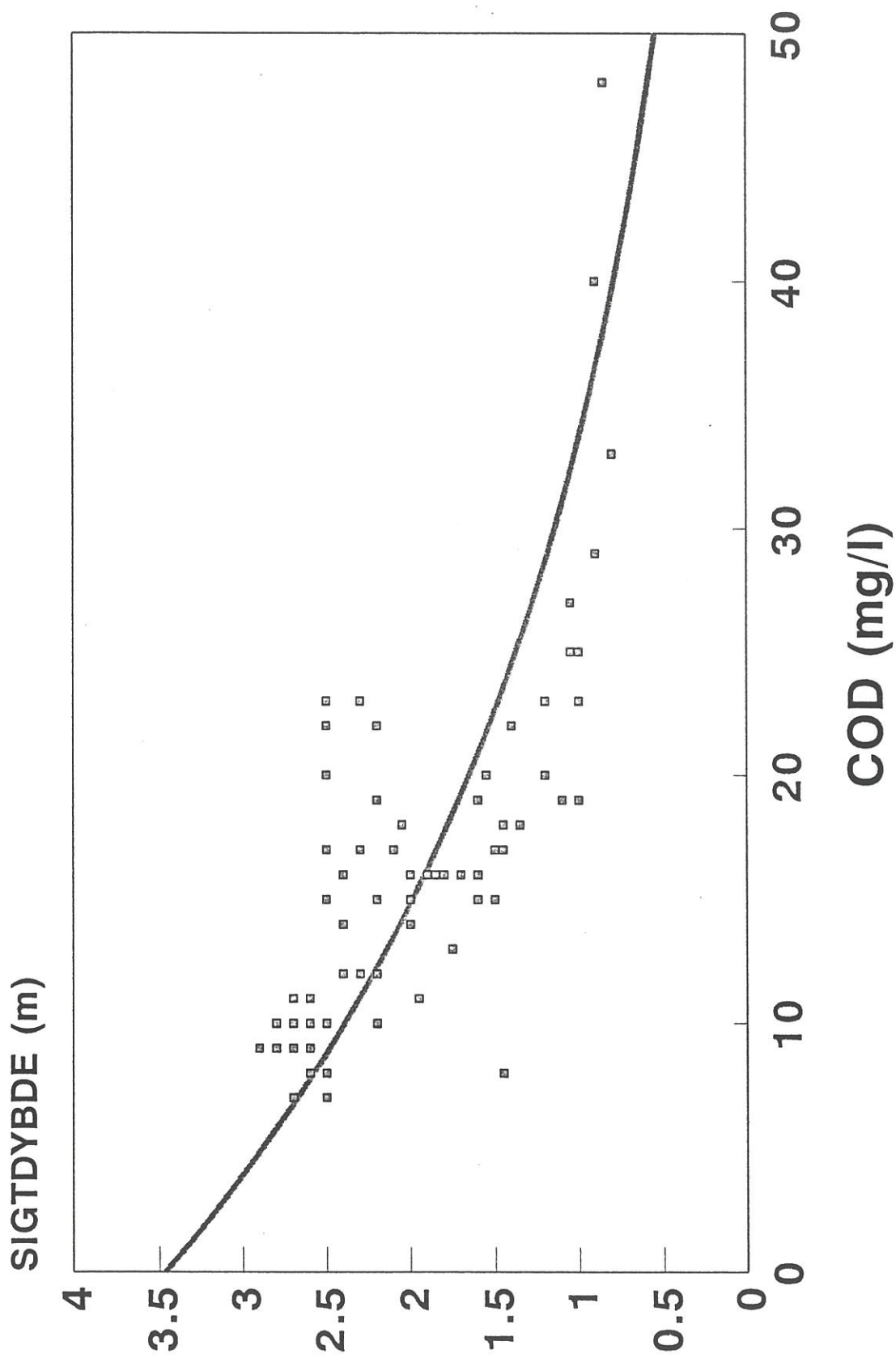
Sammenhænge

Der er på data for årene 1989–91 opstillet sammenhænge mellem sigtddybde og COD, sigtddybde og klorofyl-a, klorofyl-a og total-fosfor, klorofyl-a og total-kvælstof. Der er opstillet sammenhænge for dels data fra hele året og for sommerperioden alene.

Sigtddybde og partikulært COD (figur 4.6 og 4.7) viser en tydelig negativ sammenhæng, som tilsyneladende er eksponentielt aftagende.

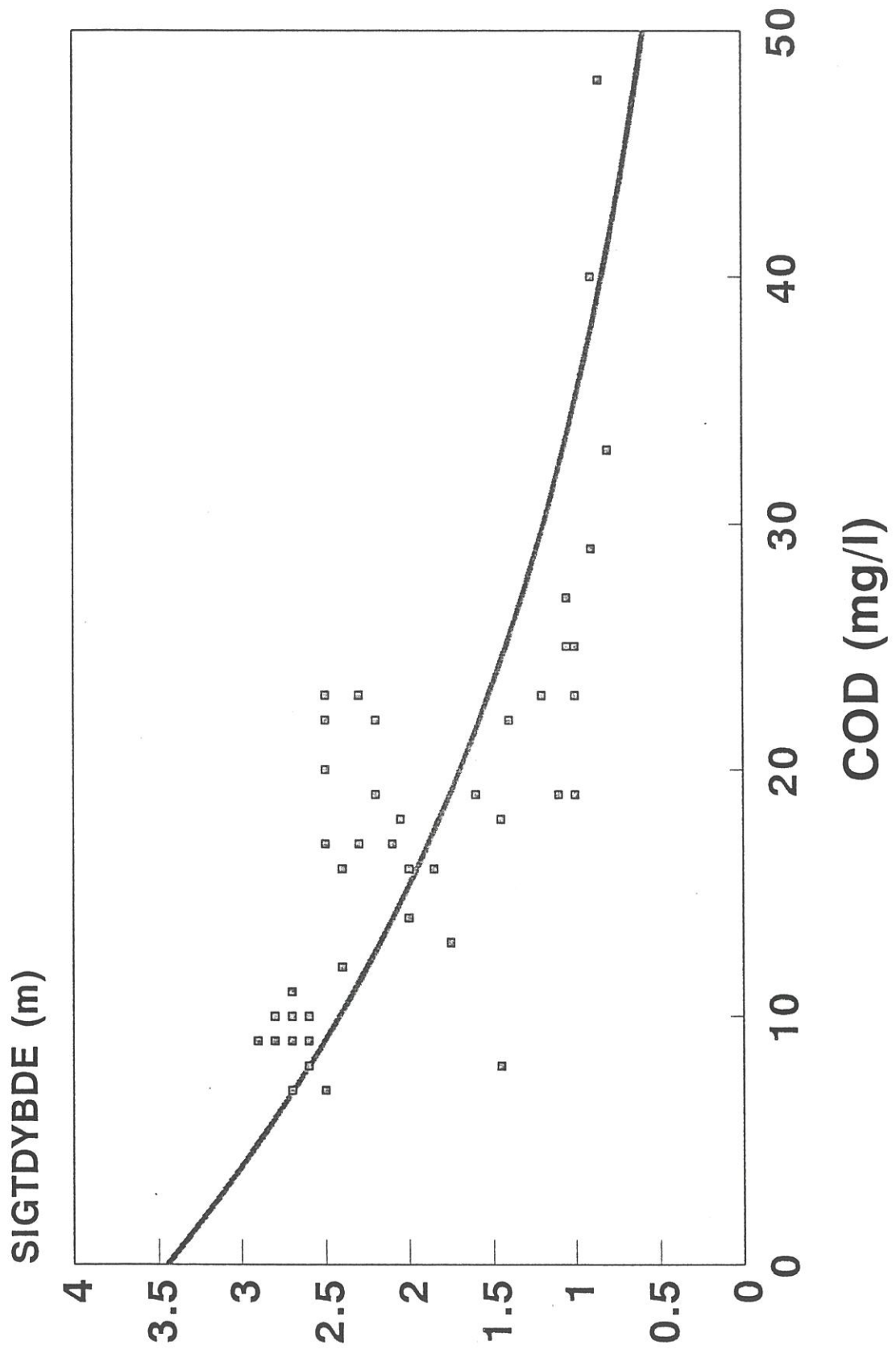
Sigtddybde og klorofyl-a (figur 4.8 og 4.9) koncentrationen viser ligeledes en klar, negativ sammenhæng, som tilsyneladende er eksponentielt aftagende.

Hornum sø 1989 - 1992, sigtdybde og COD, år



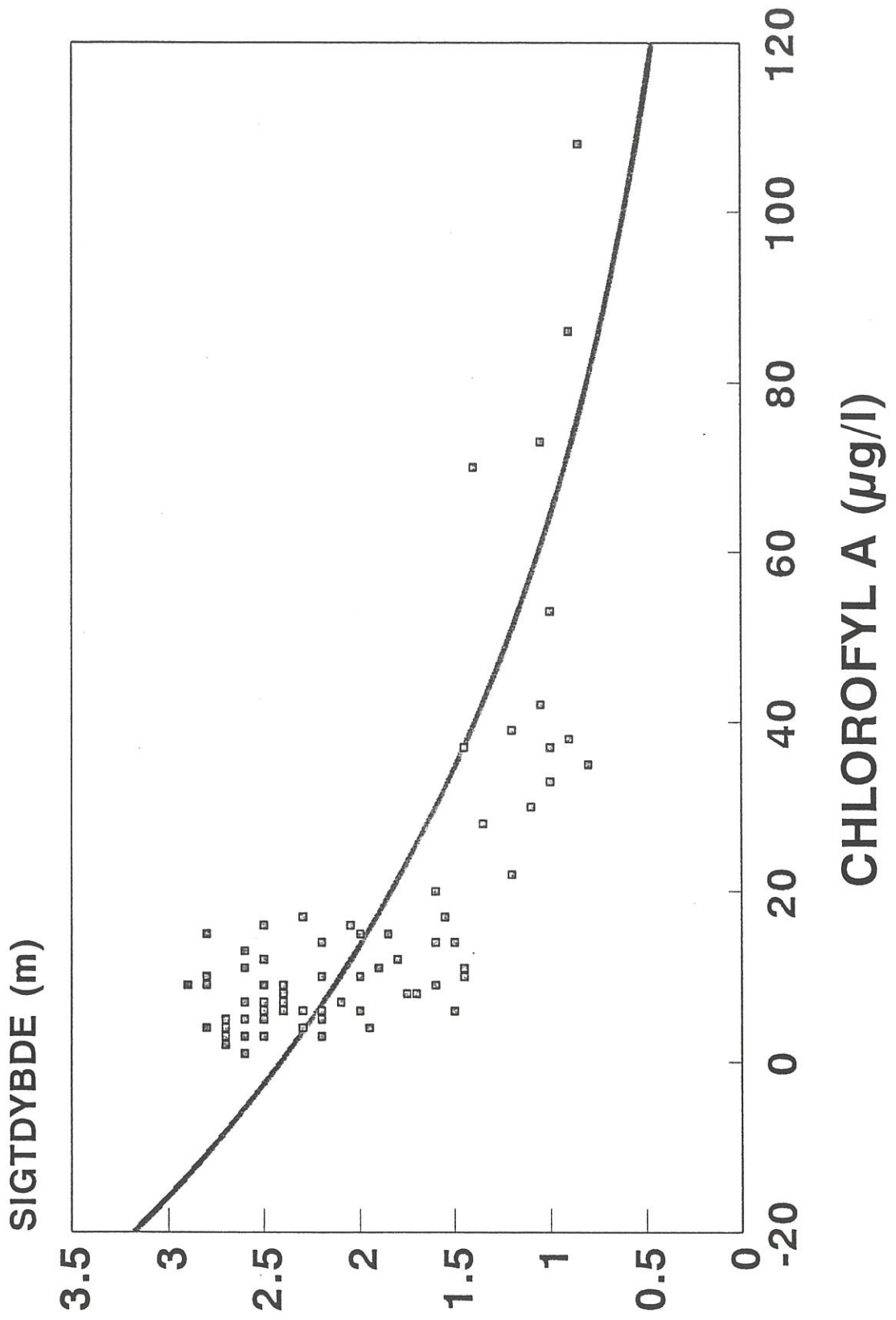
Figur 4.6

Hornum sø 1989 - 1992, sigtdybde og COD, sommer



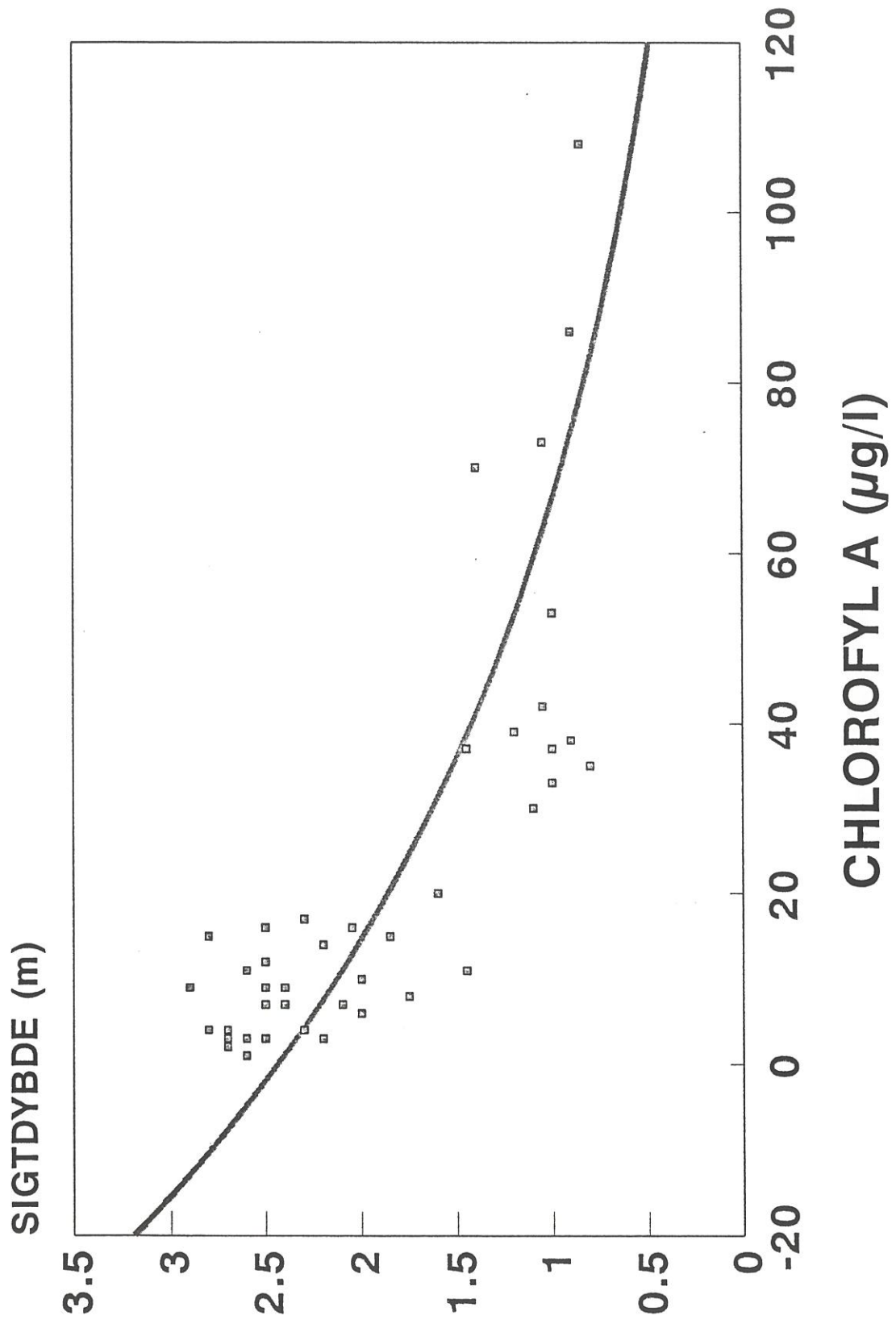
Figur 4.7

Hornum sø 1989 - 1992, sigtdybde og chl a, år



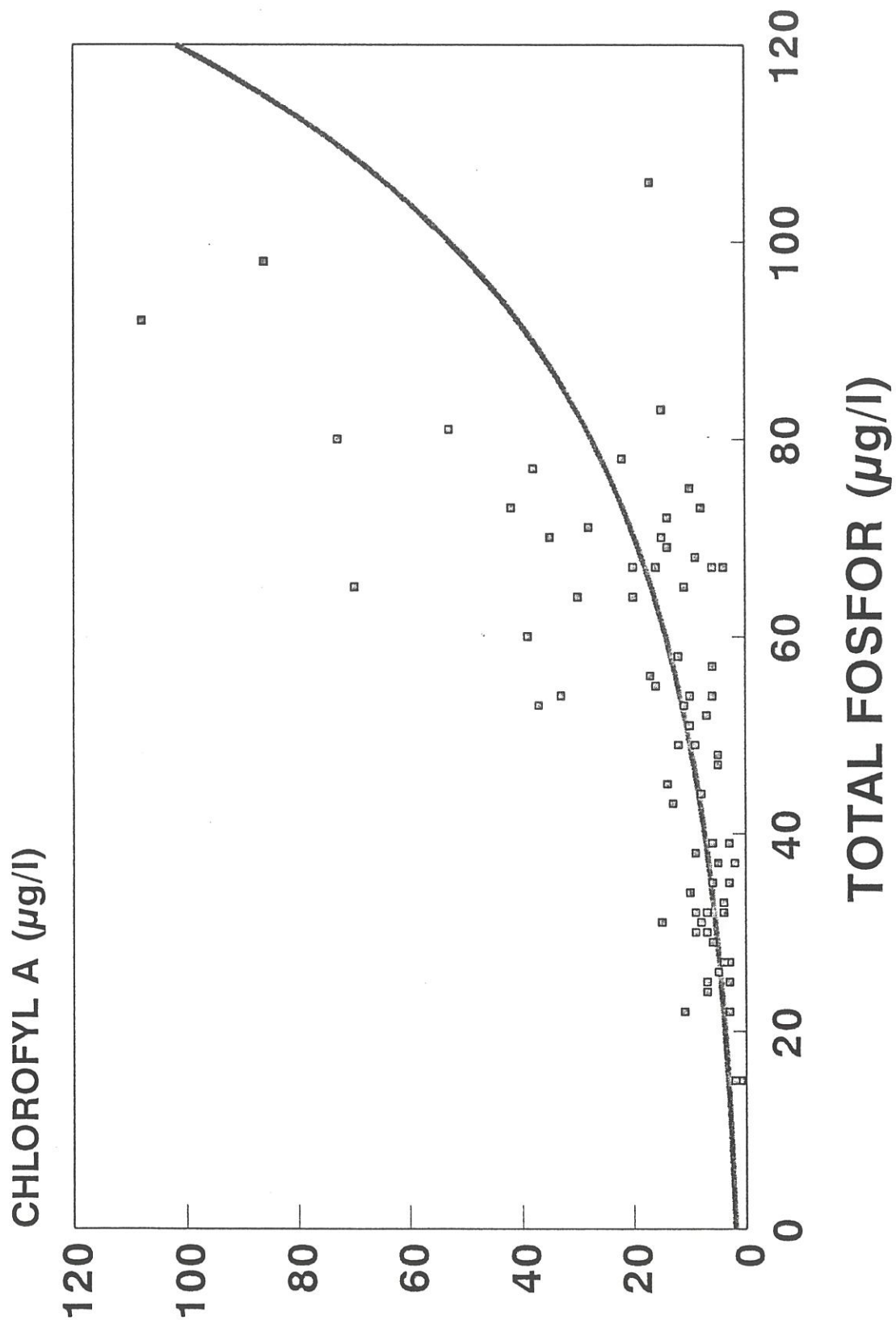
Figur 4.8

Hornum sø 1989 - 1992, sigtdybde og chl a, sommer



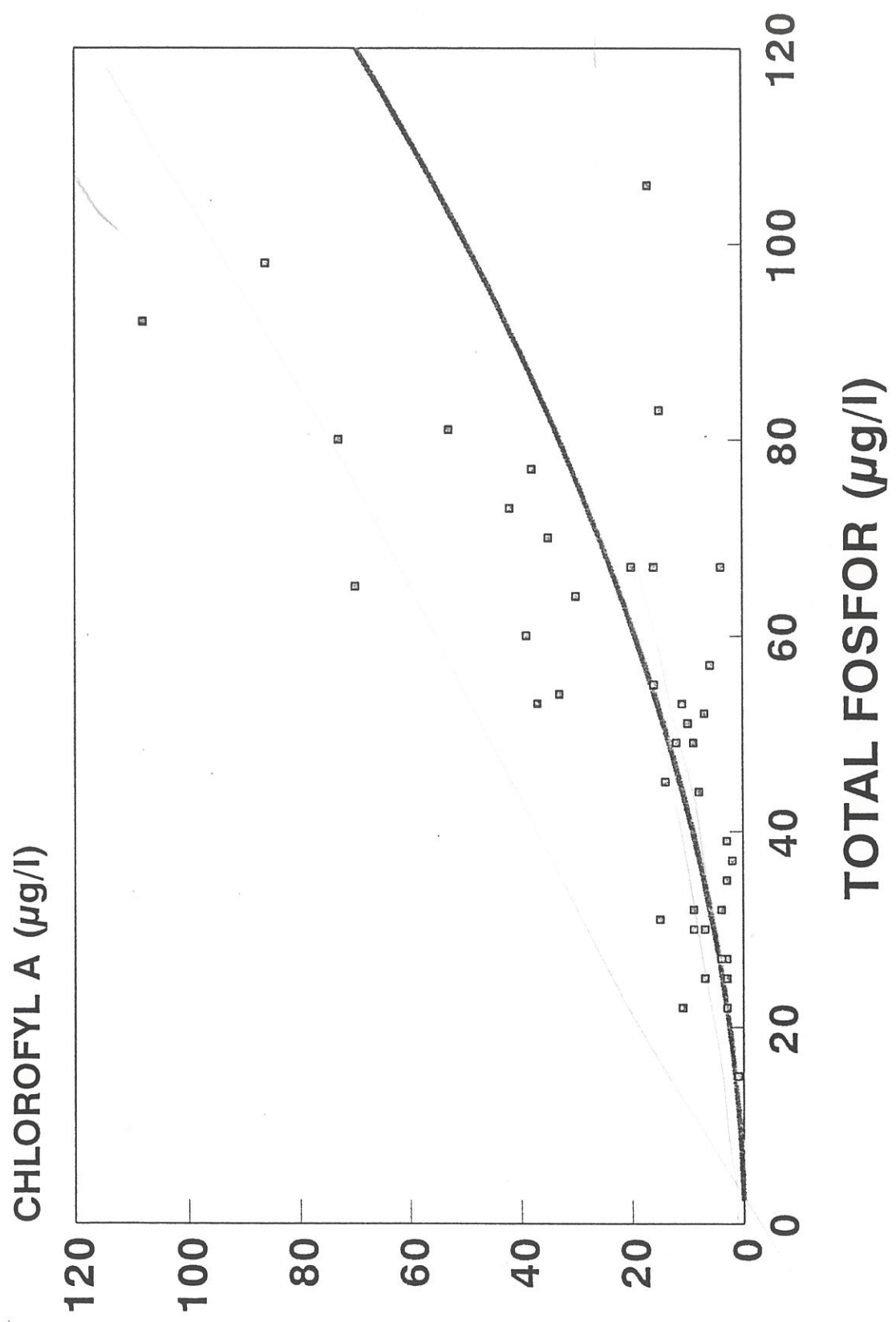
Figur 4.9

Hornum sø, 1989 - 1992, chl a og TOTP, år



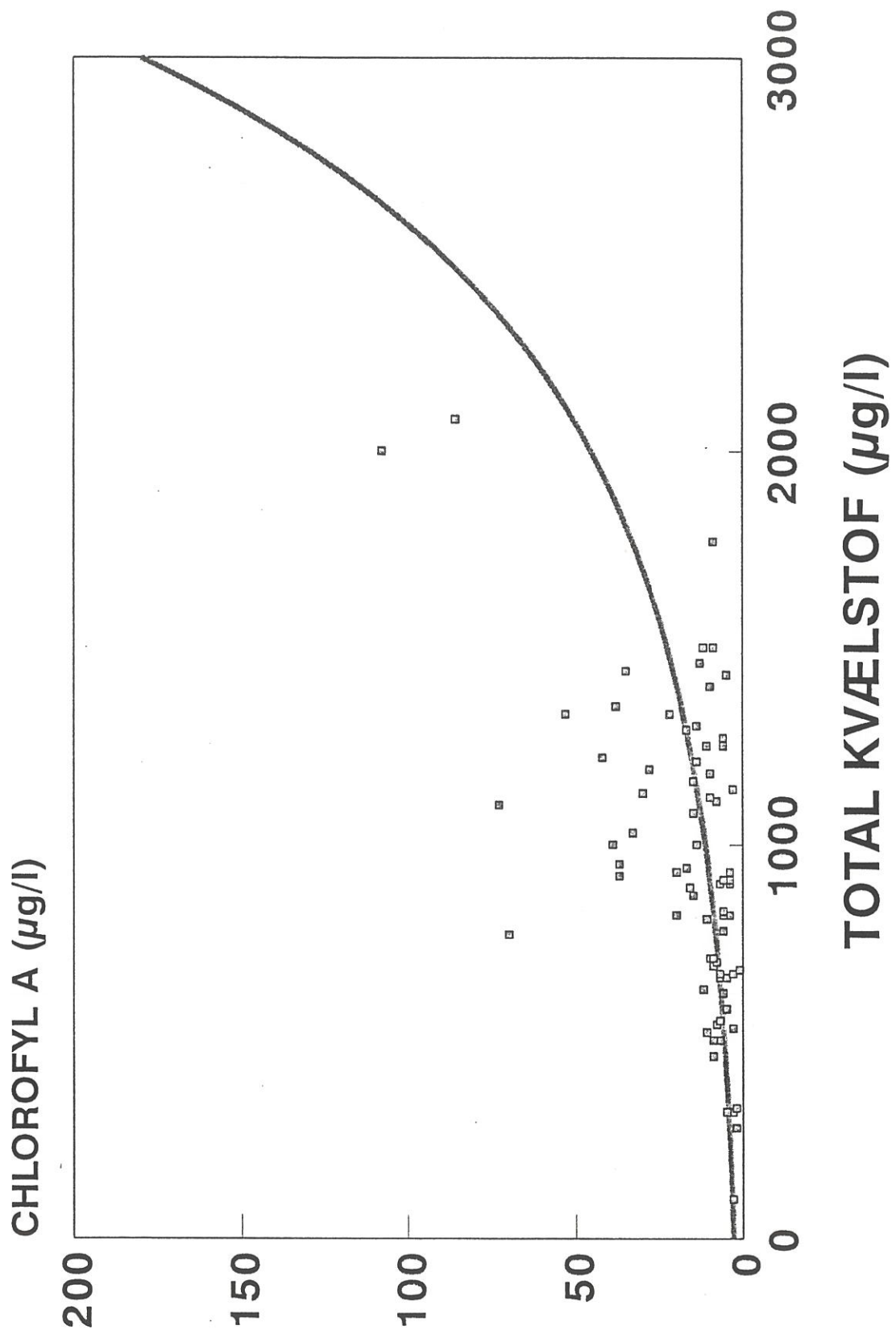
Figur 4.10

Hornum sø 1989 - 1992, chl a og TOTP, sommer



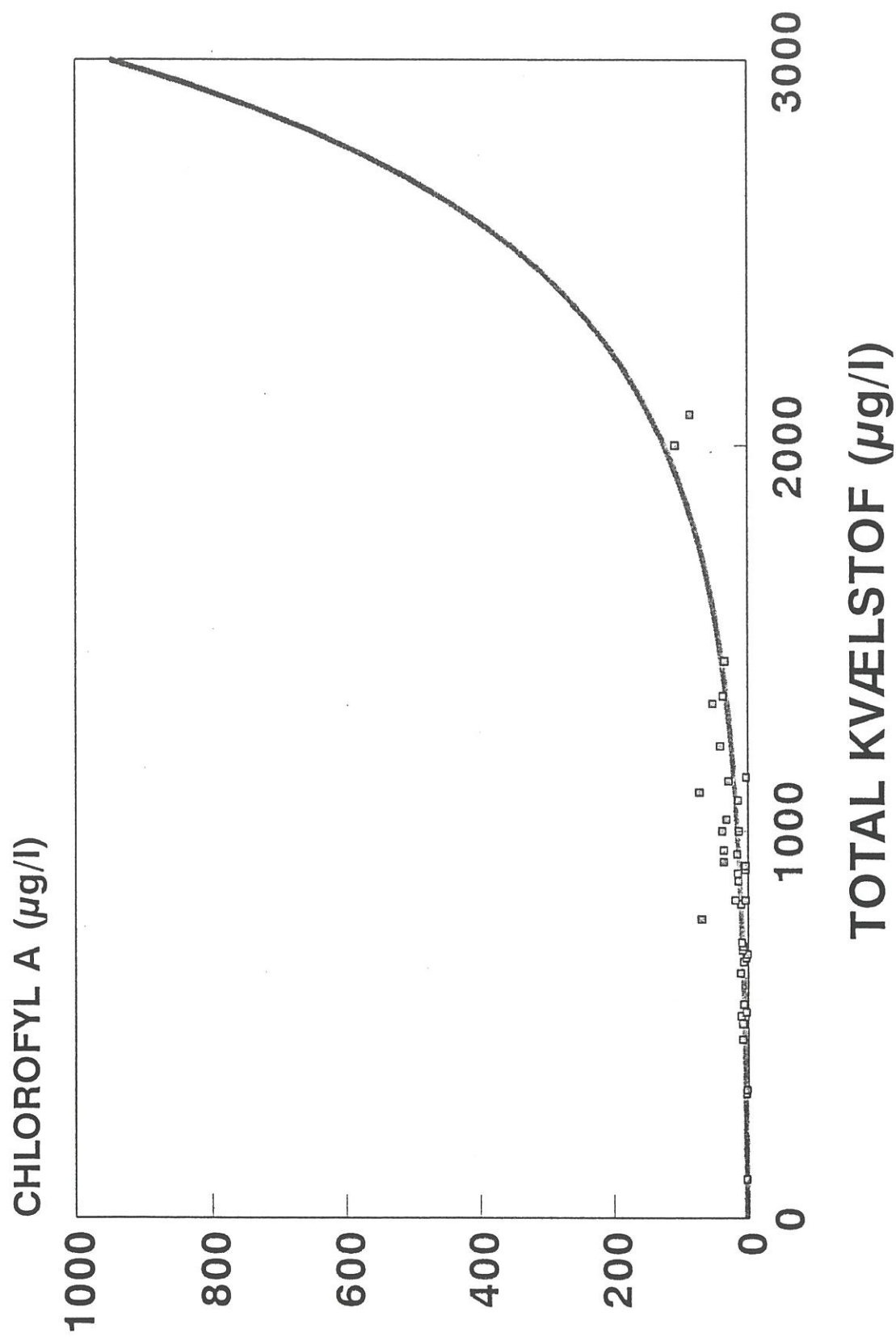
Figur 4.11

Hornum sø, 1989 - 1992, chl a og TOTN, år



Figur 4.12

Hornum sø, 1989 - 1992, chl a og TOTN, sommer



Figur 4.13

Klorofyl-a og total-fosfor koncentrationen (figur 4.10 og 4.11) viser tilsyneladende en positiv eksponentiel sammenhæng både på årsbasis og i sommerperioden. Mest markant når sammenhængen vurderes på data for hele året. Værdierne viser dog stor spredning. Dette tyder på at algeforekomsterne i Hornum sø i høj grad styres af fosforniveauet, hvorved sammenhængen mellem faldet i fosforkoncentrationen og klorofylkoncentrationen fra 1989–1990 til 1991–1992 kan forklares.

Klorofyl-a og total-kvælstof koncentrationen (figur 4.12 og 4.13) viser tilsyneladende en positiv sammenhæng, både på årsbasis og sommerbasis. Også disse værdier viser stor spredning. En sammenhæng der sandsynligvis skyldes at kvælstofniveauet specielt i 1989 og 1990 var knyttet de til store klorofyl a koncentrationer i forbindelse med opblomstringer af Blågrønalger.

4.3. Sedimentkemi

Der er i 1990 foretaget afrapportering af sedimentundersøgelserne i august 1989. Her skal fremdrages 2 forhold, som er af betydning for vurdering af fosfordynamikken i søen:

- total-fosforprofilerne viser, at koncentrationen af total-fosfor i overfladelaget er ca. dobbelt så højt som niveauet i de dybere lag.
- jern:fosfor forholdet er lavt, i overfladelaget 4,9.

I hele den undersøgte periode er der ikke konstateret iltfrie forhold ved søens bund. Den anaerobe frigivelse af PO_4^{3-} antages derfor for at være ubetydelig.

Tilsvarende optræder der ikke i søen pH værdier, som kan betinge frigivelse af jernbundet fosfor.

Derimod kan det fundne Fe:P forhold (4,9) ifølge (NPO-rapport C4 1990) medføre en relativt høj aerob fosforfrigivelse fra sedimentet. Der foreligger ikke på nuværende tidspunkt aktuelle målinger, som kan beskrive størrelsen af en aerob fosforfrigivelse.

Der er som nævnt ovenfor i årsforløbet af fosforkoncentrationerne tegn på en intern belastning i form af forøgelse af totalfosforkoncentrationen i vandfasen i søen. Omfanget af fosfor optagelse i bundvegetationen (makrofyter eller trådformede alger) kendes ikke. En sådan optagelse vil formodentlig tilsløre omfanget af en fosforfrigivelse fra sedimentet.

4.4. Biologiske undersøgelser

Planteplankton

I figur 4.14 er årstidsvariationen i det samlede algevolumen (= biomasse) vist. Der optræder toppe i april, maj-juni, juli og september-november. Biomassens forløb afspejles i foråret i vandets indhold af klorofyl-a (figur 19), mens maksimerne i juli og i efterårsperioden ikke går igen i klorofylkoncentrationen.

Algesammensætningen og årstidsvariationen fordelt på størrelsesfraktioner heri er tillige illustreret i figur 4.15.

Algesamfundene domineres i foråret af små ubestemte arter ($< 10\mu\text{m}$). Der er oftest tale om små, ubestemte arter $< 2\mu\text{m}$ (hovedsageligt Chlorella sp.) dominerede. I planktonet indgår desuden rekyalger (slægten Cryptomonas), Gulalger (Chrysococcus og Dinobryon spp.) regelmæssigt, men med lave volumener. Desuden optræder små maksima af Peridinium sp og Phacotus sp (i maj) og grønalger (Ankistrodesmus falcatus, Dichytosphaerium pulchellum og Phacotus) i juni. I juli optræder igen et maksimum af grønalger, nu Monoraphidium sp. og Sphaerocystis scroeteri. De relativt høje biomasser i september-oktober skyldes kolonier af Volvox sp. og Furealgen Ceratium hirundinella. Som nævnt bidrager disse ikke i samme grad som arterne i forårsmaksimet til koncentrationen af klorofyl-a. I november måned optræder årets sidste maksimum, bestående af ubestemte arter, overvejende $< 2\mu\text{m}$. Der ses i lighed med Madum sø i september en opstigning af trådformede grønalger af slægten Mougotia i vandfasen. I Hornum sø er biomassen af disse alger dog relativt beskedne, og varigheden af forekomsten af kort varighed.

I Hornum sø forekommer i størstedelen af året relativt små algeforekomster, kombineret med et artsrigt og varieret fytoplankton typisk for moderat næringsfattige søer. Artsdiversiteten synes dog at være aftaget markant efter det generelle fald i søens næringsstofniveau.

Zooplankton

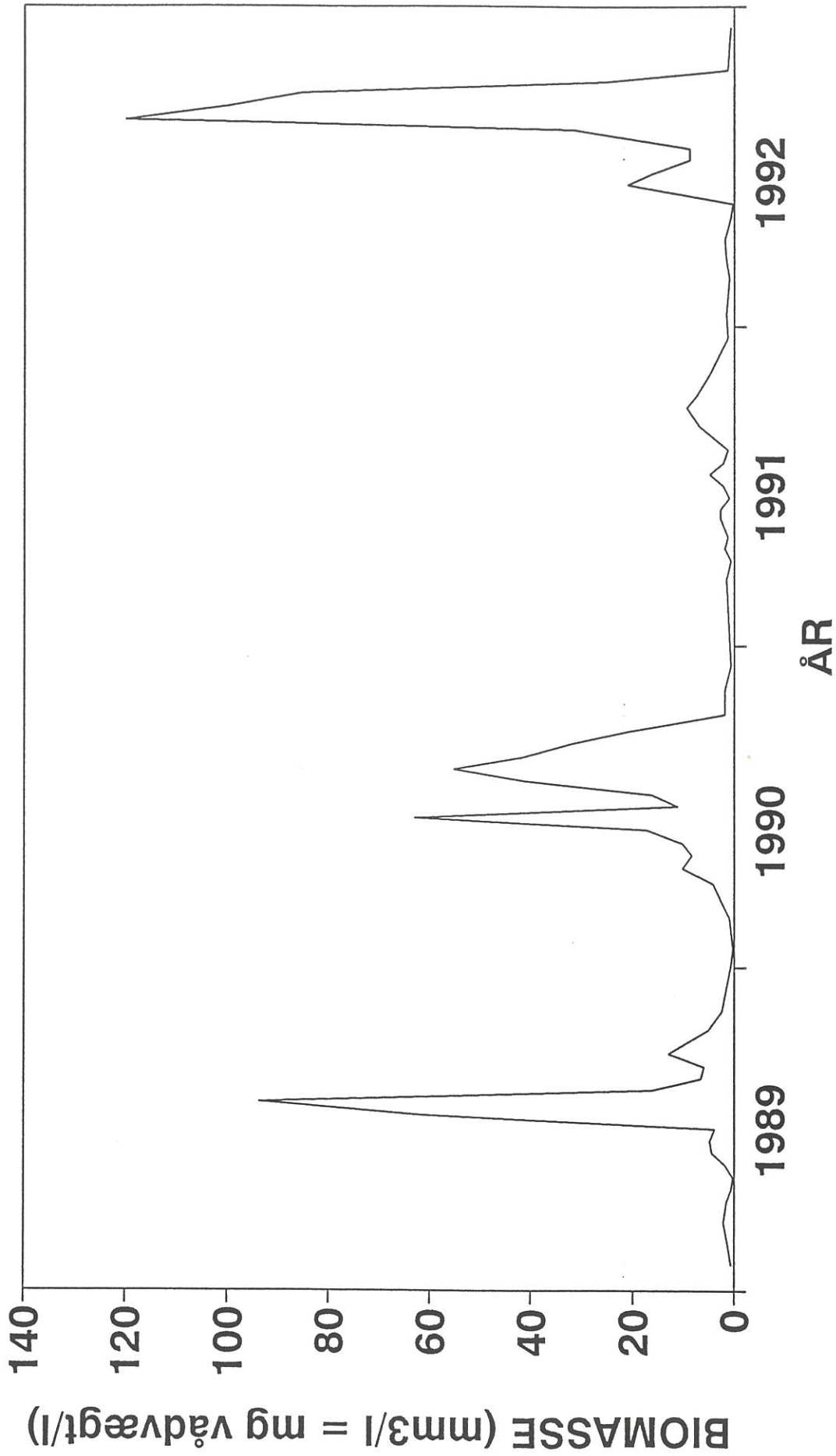
Figur 4.16 viser zooplanktons biomasse (mg tørvægt/l), fordelt på hovedgrupper. Der optræder indtil juni (bortset fra 1990) en lav biomasse, domineret af copepoder og hjuldyr. Cladoceerne opnår først betydende biomasser i juli, og opretholder denne gennem august og september. Gruppen forbliver i planktonet, dog med mindre biomasser, året ud. Copepoderne opnår tilsvarende biomassemaksimum i sensommeren.

Sammenstillingen af zooplanktondata for årene 1989–92 viser store forskelle i både den absolutte størrelse af biomassen, fordelingen på hovedgrupper og den tidsmæssige udvikling gennem året.

Zooplankton domineres primært af Chladocerer primært Bosmina longiristris, Diaphanosoma brachyurum og i perioder Daphnia longispina og Copepoder. Fra 1989–90 til 1991–92 er dog sket i artssammensætningen for sidstnævnte gruppe, således har Eudiaptomus graciloides afløst den mere tolerante E. gracilis.

Det ses, at positive udvikling i sigtddybden i 1991 og 1992 sker parallelt med et veludviklet zooplanktonsamfund, samtidig med et ringe indslag (bortset fra efteråret 1992) af alger $> 50\mu\text{m}$.

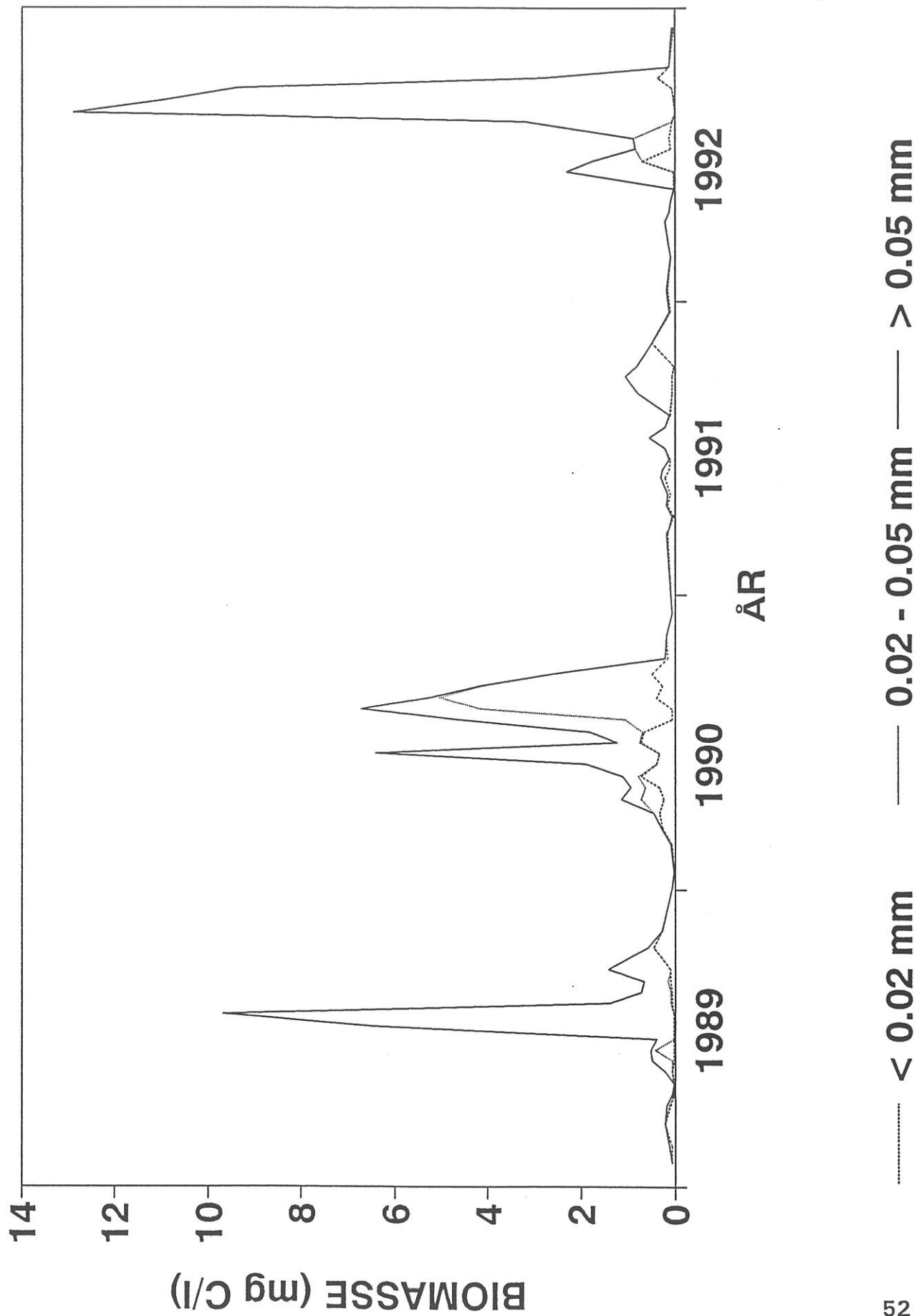
Hornum sø 1989 - 1992, phytoplankton



— Grand Total

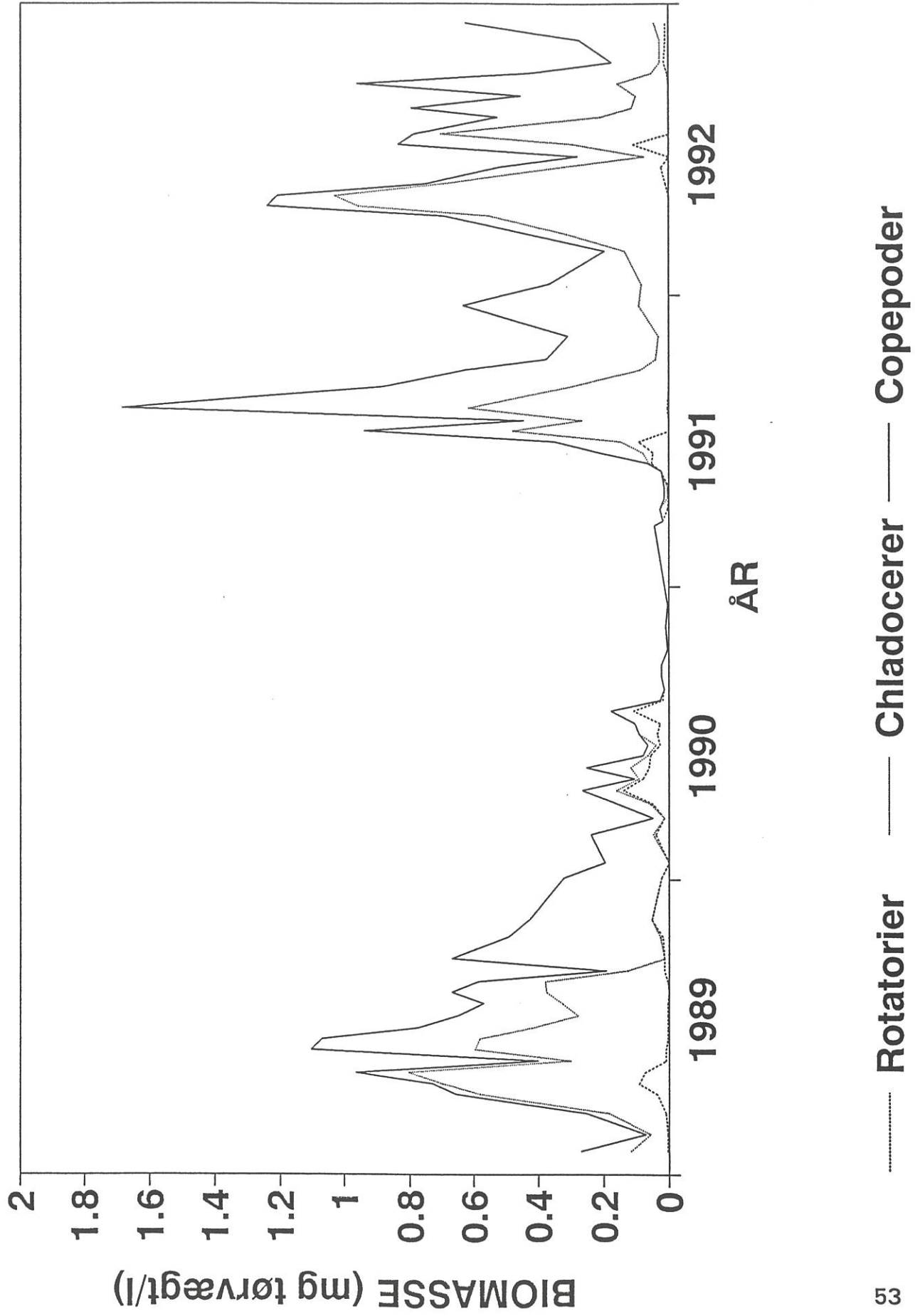
Figur 4.14

Hornum sø 1989 - 1992, phytopl.fordel.



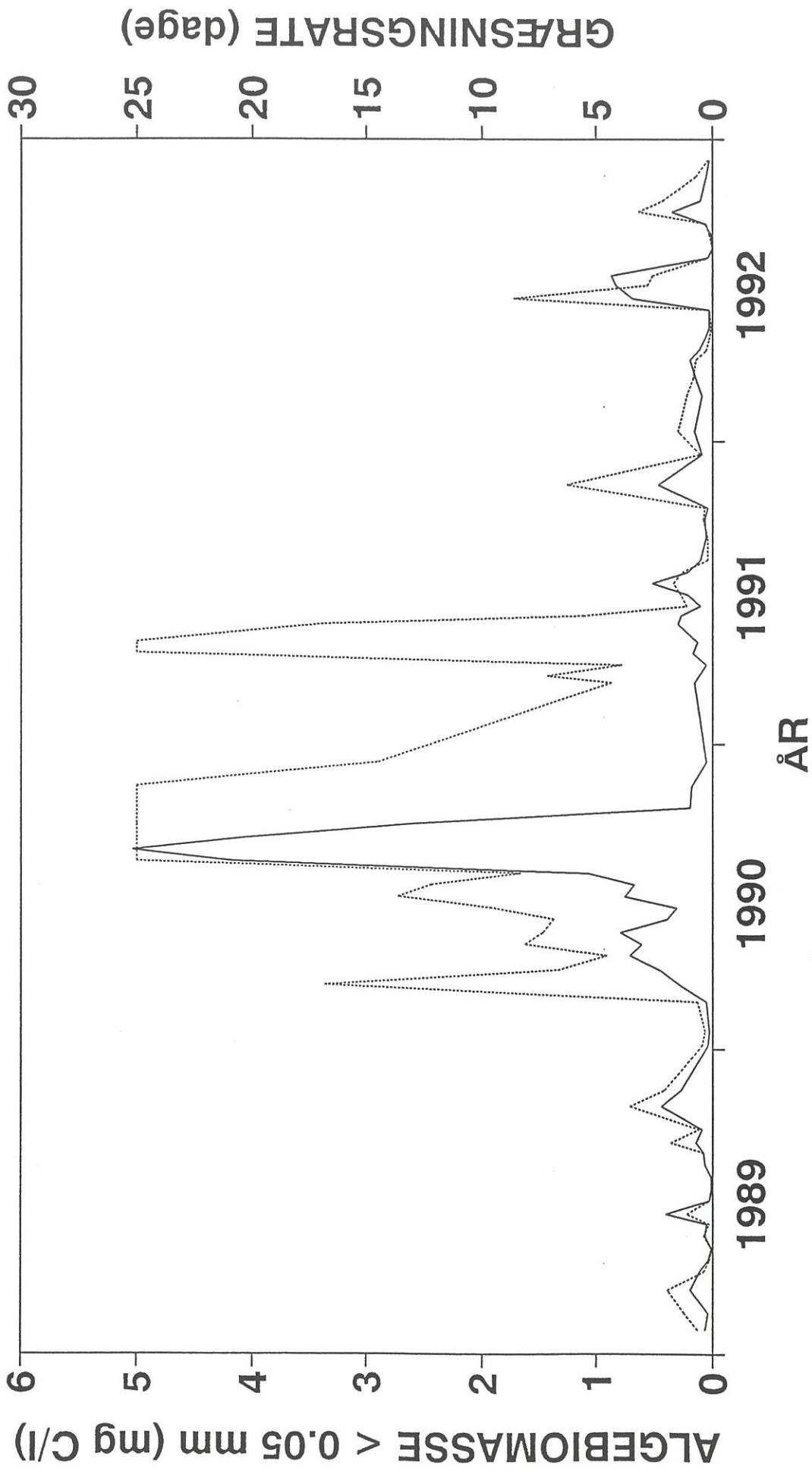
Figur 4.15

Hornum sø 1989 - 1992, zooplankton



Figur 4.16

Hornum sø 1989 - 1992, græsning zoopl.



..... Græsningsrate — Algebiomasse

Figur 4.17

Græsning

De sammenhørende værdier af biomasse af fytoplankton < 50 μm og zooplanktons græsningsrate (udtrykt som dage nødvendig til nedgræsning af aktuel biomasse, se figur 4.17) viser zooplanktons mulighed for at udøve en væsentlig kontrol over fytoplanktonbiomassen. Det fremgår, at bortset fra en periode foråret 1990 til sommeren 1991 har græsningen betydelig indflydelse, det er her hjuldyrene der dominerer. Fra og med juni, hvor cladoceerne opbygger en væsentlig biomasse, er græsningsraten generelt er under 5 dage og i hovedparten af sommerperioden 2–3 dage. Der er her formodentlig tale om en konstant nedgræsning.

I perioden 1989–91 har græsningsraten været yderst varierende, i overensstemmelse med beskrivelsen af zooplankton ovenfor. I 1989 styrer zooplankton over hele året algerne < 50 μm . I 1990 derimod ses kun i april–maj måned en situation, hvor zooplankton udøver en væsentlig påvirkning. Først i løbet af sommeren 1991 herefter stort set hele 1992 kontrolleres algerne af zooplanktons græsning.

I Hornum sø ses således i 1989, 1991 og 1992 situationer, hvor zooplankton primært reguleres af den tilgængelige fødemængde og i 1990 af fiskenes predation.

Omvendt gælder det for planteplankton, at den ringe størrelse af planktonsamfundene og dermed vandets store klarhed i 1991 og 1992 i høj grad var reguleret af zooplanktongræsningen, mens planteplankton i 1990 kunne udvikle sig "optimalt" i fraværet af zooplankton. Det høje græsningstryk i 1989 gav sig ikke udslag i en høj sigtddybde pga. opvæksten af især blågrøn alger, som ligger uden for zooplanktons rækkevidde. Planteplanktonsamfundene var derfor i 1991 og 1992 styret fra oven (græsning) og i 1989 og 1990 fra neden (næringsstofforholdene).

Fisk

Ved fiskeundersøgelsen i Hornum sø er der registreret i alt fire arter:

Ål (*Anguilla anguilla*)
Skalle (*Rutilus rutilus*)
Gedde (*Esox lucius*)
Aborre (*Perca fluviatilis*)

Af undersøgelsens resultater fremgår, at Aborre og Gedde hver udgør 50% af biomassen af fisk mindre end 10 cm mens Aborrer udgør 93 % af fisk større end 10 cm.

Der er således kun registreret Skaller større end 10 cm. Hos Aborrerne udgøres kun 1 % og hos Gedde kun ca. 2 % af biomassen fanget i de biologiske oversigtsgarn af individer mindre end 10 cm længde. Længde fordelingen af Aborre viser to størrelsesklasser, omkring 12 cm og omkring 18 cm.

Resultaterne fra fiskeundersøgelserne er i overensstemmelse med søens karakter, og de generelle sammenhænge mellem sigtddybde og rovfiske/freds-fiske forholdet. De viser

desuden, at fiskenes predation på zooplankton i søen næppe fører til nedgræsning af disse.

I forhold til Madum sø udgør Gedde en væsentlig større andel af biomassen.

4.5 Generel vurdering

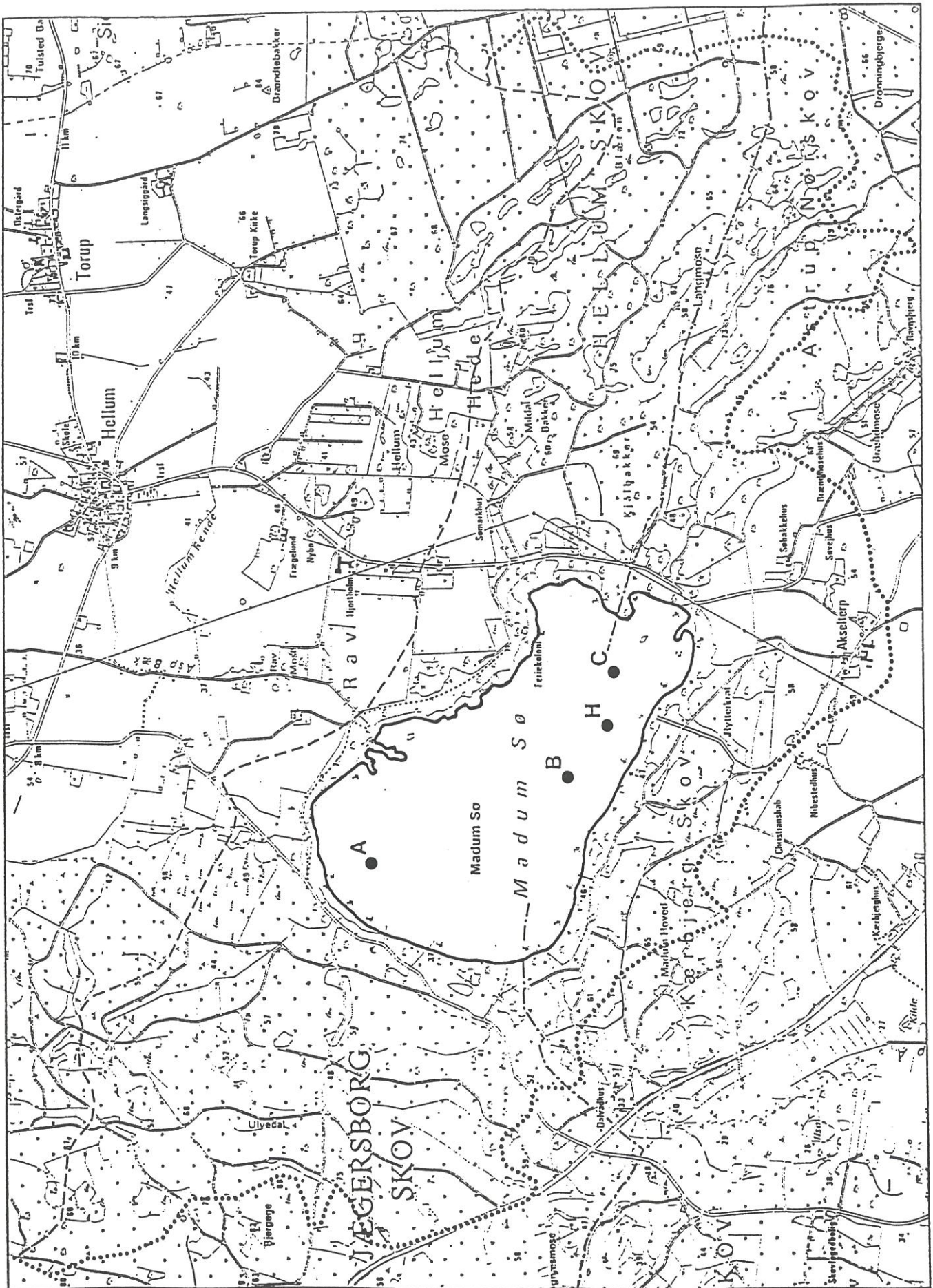
Som beskrevet er søens tilstand i 1991 og 1992 generelt god, og der er indtruffet en markant forbedring i sigtdybden i forhold til tidligere år. Endvidere forekommer der ikke blågrønalger i søen efter 1990.

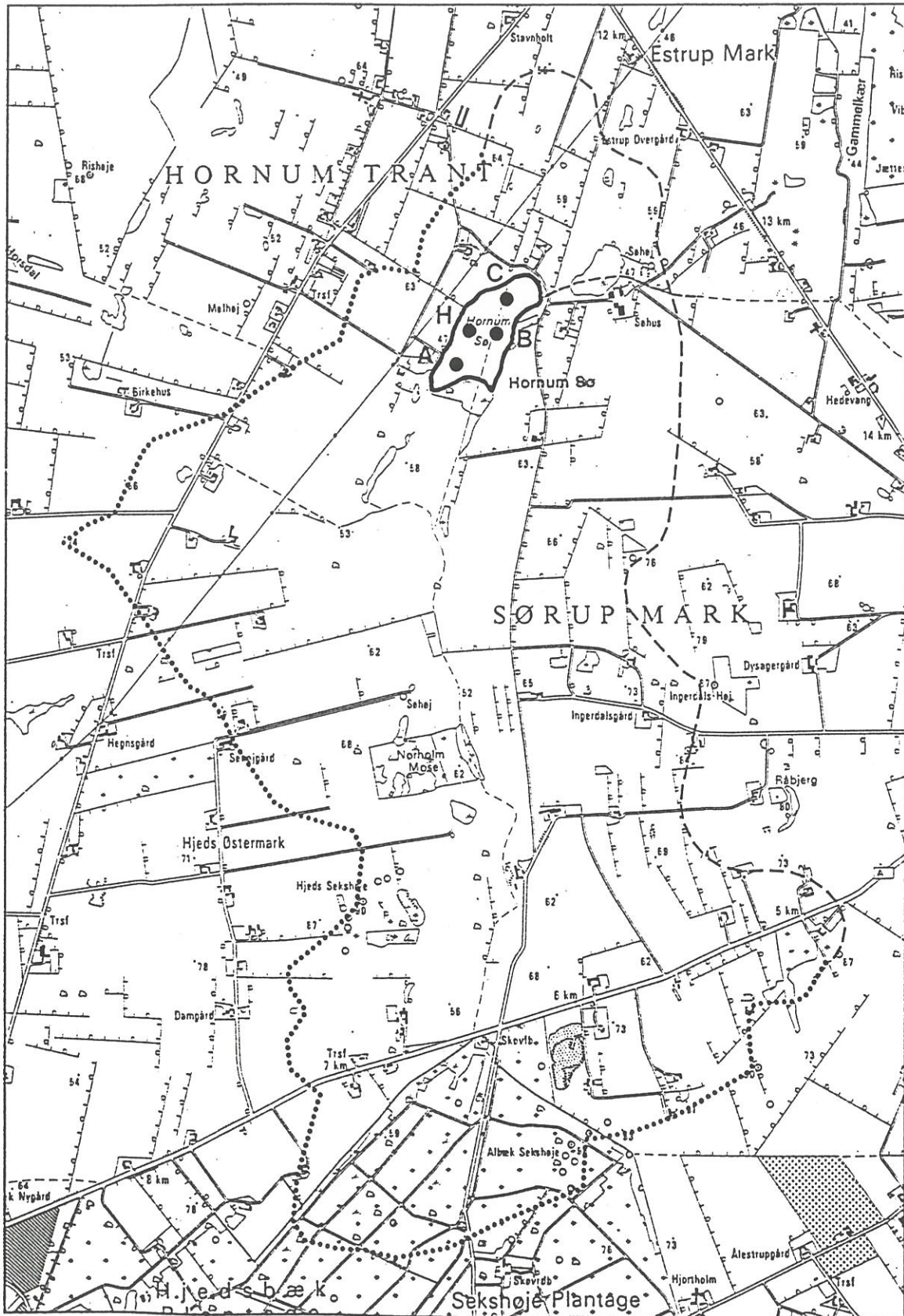
Disse ændringer hænger tilsyneladende sammen med de markante ændringer i søens vandkemi, som er indtruffet i efteråret 1990. Der er tale om et pH fald, samt et fald i koncentrationen af fosfor og et deraf følgende fald i kvælstofniveauet. Årsagerne til faldet i fosforkoncentrationen, som sandsynligvis bærer hovedårsagen til de observerede ændringer kan ikke umiddelbart identificeres.

Ændringer har mere overordnet betydet at i 1991 og 1992 var søen i modsætning til de foregående år i højere grad reguleret af interne biologiske processer, først og fremmest et højt græsningstryk på algerne af udøvet zooplankton, en afledt effekt af en ringe reproduktion fra fiskene.

Der er i øvrigt de samme usikkerheder, som for Madum sø: Den absolutte tilførsel af kvælstof og fosfor kan kun opgøres skønsmæssigt, idet vandbalancen, og bidragene fra spredt bebyggelse og atmosfæren er dårligt kendt. Det vil være ønskeligt at etablere et bedre videngrundlag om disse forhold, ligesom det søens økologiske baggrundstilstand bør beskrives.

De konstaterede ændringer fra 1989–90 til 1991–92 betyder dog, at søens målsætning nu må anses for opfyldt i modsætning til tidligere.





Bilag 3

Madum sø	1989	1990	1991	1992
Vandkemi & fysiske målinger i søvandet				
Sigtdybde - sommer (1/5 - 30/9)				
Sigtdybde gns. (m)	6,31	4,72	4,94	2,74
Sigtdybde 50 % fraktil (m)	6,60	3,74	4,76	2,40
Største sigtdybde (m)	7,30	7,30	7,30	6,00
Mindste sigtdybde (m)	1,75	2,15	2,75	1,50
Fosfor - sommer (1/5 - 30/9)				
Total fosfor gns.	0,026	0,026	0,021	0,036
Total fosfor 50% fraktil (mg P/l)	0,026	0,027	0,019	0,034
Total fosfor max. (mg P/l)	0,039	0,034	0,031	0,056
Total fosfor min. (mg P/l)	0,015	0,017	0,015	0,020
Opløst fosfat gns. (mg P/l)	0,004	0,003	0,003	0,003
Opløst fosfat 50% fraktil (mg P/l)	0,003	0,003	0,003	0,003
Opløst fosfat 25% fraktil (mg P/l)	0,002	0,003	0,003	0,002
Opløst fosfat max. (mg P/l)	0,010	0,005	0,005	0,004
Opløst fosfat min. (mg P/l)	0,002	0,002	0,002	0,002
Part. P (PTOT-PO ₄ P) gns. (mg P/l)	0,022	0,023	0,018	0,033
Part. P (PTOT-PO ₄ P) 50% (mg P/l)	0,021	0,023	0,016	0,031
Part. P (PTOT-PO ₄ P) 25% (mg P/l)	0,018	0,021	0,016	0,021
Part. P (PTOT-PO ₄ P) max. (mg P/l)	0,037	0,032	0,027	0,052
Part. P (PTOT-PO ₄ P) min. (mg P/l)	0,012	0,015	0,012	0,017
Kvælstof - sommer (1/5 - 30/9)				
Total kvælstof gns. (mg N/l)	0,517	0,471	0,563	0,548
Total kvælstof 50% fraktil (mg N/l)	0,498	0,457	0,524	0,520
Total kvælstof max. (mg N/l)	0,900	0,620	0,890	0,780
Total kvælstof min. (mg N/l)	0,250	0,330	0,330	0,370
Opl. uorg. N gns. (mg N/l)	0,067	0,022	0,138	0,050
Opl. uorg. N 50% fraktil (mg N/l)	0,042	0,011	0,170	0,020
Opl. uorg. N 25% fraktil (mg N/l)	0,029	0,010	0,035	0,020
Opl. uorg. N max. (mg N/l)	0,213	0,059	0,270	0,180
Opl. uorg. N min. (mg N/l)	0,020	0,010	0,020	0,020
Part-N/part-P - sommer (1/5 - 30/9)				
Part-N/Part-P gns.	22,1	20,2	24,9	16,2
Part-N/Part-P 50% fraktil	22,2	19,6	20,3	16,8
Part-N/Part-P max.	43,8	21,8	47,1	24,5
Part-N/Part-P min.	8,1	12,1	12,5	10,6

Bilag 3 forts.

Madum sø	1989	1990	1991	1992
Vandkemi & fysiske målinger i søvandet				
Klorofyl a - sommer (1/5 - 30/9)				
Klorofyl a gns. (mg/l)	0,004	0,006	0,006	0,010
Klorofyl a 50% fraktil (mg/l)	0,005	0,006	0,006	0,011
Klorofyl a 75% fraktil (mg/l)	0,006	0,007	0,007	0,013
Klorofyl a max. (mg/l)	0,040	0,009	0,010	0,016
Klorofyl a min. (mg/l)	0,002	0,001	0,004	0,003

Øvrige variable - (1/5 - 30/9)				

pH gns.	5,38	5,71	5,45	5,95
Total alkalinitet gns (meq/l)	0,14	0,08	0,07	0,17
Silikat gns. (mg Si/l)	0,10	0,16	0,10	0,12
Suspenderet stof gns. (mg ts/l)	< 5	5,2	5,0	5,2
Glødetab af susp. stof (mg ts/l)	< 5	5,2	5,0	5,0
Part. COD gns. (mg O2/l)	6,3	8,1	7,2	15,0
Nitrat+nitrit-kvælstof gns. (mg N/l)	0,049	0,022	0,127	0,036
Ammonium-kvælstof gns. (mg N/l)	0,018	0,012	0,011	0,014

Alle variable - vinter (1/12 - 31/3)				

Total fosfor gns. (mg P/l)	0,049	0,056	0,027	0,035
Opløst fosfat gns. (mg P/l)	0,006	0,003	0,002	0,003
Total kvælstof gns. (mg N/l)	0,873	0,726	0,958	0,790
Nitrat+nitrit kvælstof gns. (mg N/l)	0,422	0,124	0,014	0,273
Ammonium-kvælstof gns. (mg N/l)	0,050	0,033	0,008	0,019
Klorofyl a gns. (mg/l)	0,014	0,052	0,005	0,011
pH gns.	5,71	5,41	5,22	6,03
Total alkalinitet gns. (meq/l)	0,16	0,08	0,06	0,13
Silikat gns. (mg Si/l)	0,51	0,35	0,10	0,18
Suspenderet stof gns. (mg ts/l)	< 5	5,7	5,7	5,0
Glødetab af susp. stof (mg ts/l)	< 5	6,3	6,3	5,0
Part. COD gns. (mg O2/l)	7,6	12,3	12,3	10,3

Bilag 4

Hornum sø	1989	1990	1991	1992
Vandkemi & fysiske målinger i søvandet				
Sigtdybde - sommer (1/5 - 30/9)				
Sigtdybde gns. (m)	1,81	1,10	2,68	2,30
Sigtdybde 50 % fraktil (m)	1,88	0,97	2,65	2,40
Største sigtdybde (m)	2,05	1,60	2,9	2,7
Mindste sigtdybde (m)	1,05	0,80	2,5	1,8
Fosfor - sommer (1/5 - 30/9)				
Total fosfor gns.	0,066	0,074	0,027	0,038
Total fosfor 50% fraktil (mg P/l)	0,066	0,069	0,027	0,034
Total fosfor max. (mg P/l)	0,106	0,098	0,039	0,052
Total fosfor min. (mg P/l)	0,045	0,053	0,015	0,022
Opløst fosfat gns. (mg P/l)	0,006	0,007	0,005	0,004
Opløst fosfat 50% fraktil (mg P/l)	0,006	0,006	0,003	0,004
Opløst fosfat 25% fraktil (mg P/l)	0,003	0,004	0,002	0,003
Opløst fosfat max. (mg P/l)	0,010	0,009	0,012	0,007
Opløst fosfat min. (mg P/l)	0,002	0,002	0,002	0,003
Part. P (PTOT-PO ₄ P) gns. (mg P/l)	0,060	0,067	0,022	0,034
Part. P (PTOT-PO ₄ P) 50% (mg P/l)	0,061	0,063	0,022	0,030
Part. P (PTOT-PO ₄ P) 25% (mg P/l)	0,050	0,056	0,019	0,027
Part. P (PTOT-PO ₄ P) max. (mg P/l)	0,101	0,089	0,037	0,047
Part. P (PTOT-PO ₄ P) min. (mg P/l)	0,042	0,051	0,013	0,019
Kvælstof - sommer (1/5 - 30/9)				
Total kvælstof gns. (mg N/l)	0,944	1,360	0,575	0,660
Total kvælstof 50% fraktil (mg N/l)	0,918	1,203	0,583	0,665
Total kvælstof max. (mg N/l)	1,100	2,080	1,140	0,930
Total kvælstof min. (mg N/l)	0,810	0,770	0,108	0,500
Opl. uorg. N gns. (mg N/l)	0,085	0,079	0,170	0,099
Opl. uorg. N 50% fraktil (mg N/l)	0,045	0,027	0,084	0,037
Opl. uorg. N 25% fraktil (mg N/l)	0,022	0,013	0,042	0,021
Opl. uorg. N max. (mg N/l)	0,338	0,160	0,790	0,370
Opl. uorg. N min. (mg N/l)	0,017	0,010	0,020	0,020
Part-N/part-P - sommer (1/5 - 30/9)				
Part-N/Part-P gns.	15,2	19,3	19,9	17,4
Part-N/Part-P 50% fraktil	15,8	18,4	15,7	17,3
Part-N/Part-P max.	21,6	23,4	50,2	23,9
Part-N/Part-P min.	8,8	12,1	3,0	11,2

Bilag 4 forts.

Hornum sø	1989	1990	1991	1992
Vandkemi & fysiske målinger i søvandet				
Klorofyl a - sommer (1/5 - 30/9)				
Klorofyl a gns. (mg/l)	0,023	0,050	0,006	0,007
Klorofyl a 50% fraktil (mg/l)	0,017	0,046	0,003	0,008
Klorofyl a 75% fraktil (mg/l)	0,027	0,062	0,008	0,009
Klorofyl a max. (mg/l)	0,073	0,108	0,015	0,012
Klorofyl a min. (mg/l)	0,004	0,020	0,001	0,003

Øvrige variable - (1/5 - 30/9)				

pH gns.	6,51	6,72	6,21	6,42
Total alkalinitet gns (meq/l)	0,17	0,12	0,13	0,020
Silikat gns. (mg Si/l)	0,13	0,26	0,11	0,10
Suspenderet stof gns. (mg ts/l)	< 5	8,37	5,03	5,01
Glødetab af susp. stof (mg ts/l)	< 5	7,64	5,03	5,00
Part. COD gns. (mg O ₂ /l)	19	28	10,7	14,58
Nitrat+nitrit-kvælstof gns. (mg N/l)	0,066	0,079	0,153	0,087
Ammonium-kvælstof gns. (mg N/l)	0,019	0,011	0,018	0,012

Alle variable - vinter (1/12 - 31/3)				

Total fosfor gns. (mg P/l)	0,059	0,071	0,044	0,033
Opløst fosfat gns. (mg P/l)	0,018	0,016	0,016	0,005
Total kvælstof gns. (mg N/l)	1,239	1,274	1,589	0,765
Nitrat+nitrit kvælstof gns. (mg N/l)	0,558	0,544	0,907	0,293
Ammonium-kvælstof gns. (mg N/l)	0,055	0,069	0,016	0,021
Klorofyl a gns. (mg/l)	0,011	0,011	0,007	0,006
pH gns.	6,35	6,55	5,91	6,08
Total alkalinitet gns. (meq/l)	0,39	0,58	0,08	0,13
Silikat gns. (mg Si/l)	0,20	0,38	0,15	0,10
Suspenderet stof gns. (mg ts/l)	5,0	5,0	5,04	5,0
Glødetab af susp. stof (mg ts/l)	5,0	5,2	5,04	5,0
Part. COD gns. (mg O ₂ /l)	15,5	16,9	9,2	9,7

