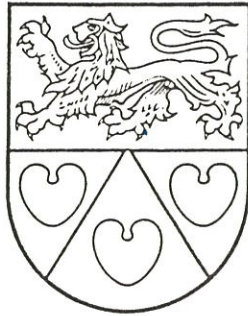
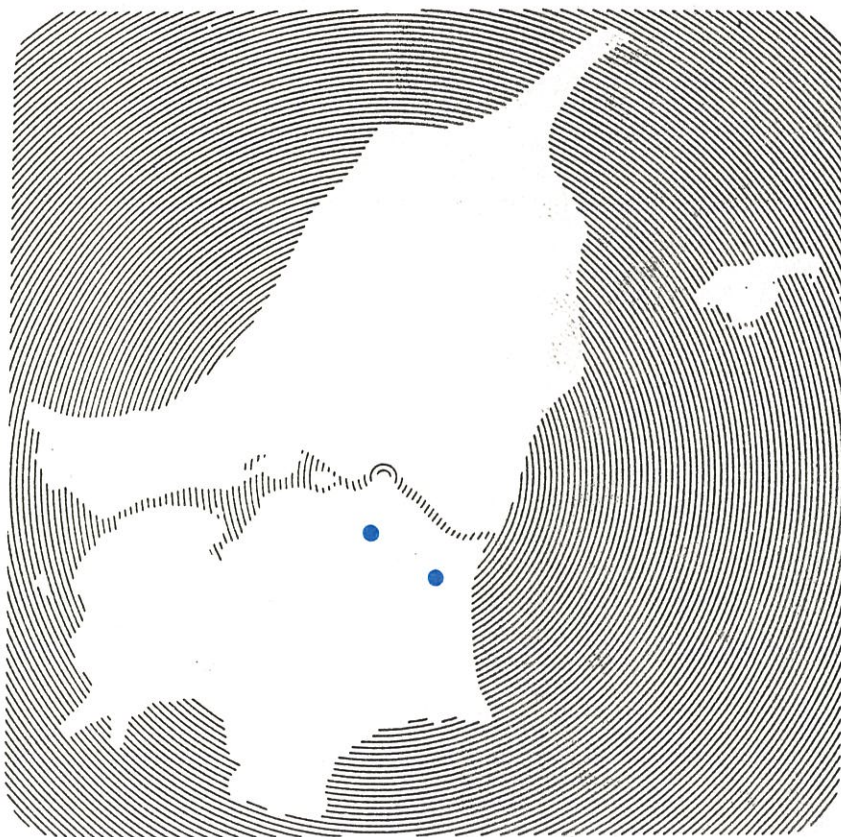


Nordjyllands Amt



Søer



Forvaltningen for teknik og miljø · Miljøkontoret
Maj 1990

SAMMENFATNING

I denne rapport beskrives resultaterne for det første års undersøgelser i forbindelse med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for søer i Nordjyllands Amt. Heri er indgået Madum sø og Hornum sø, der begge er beliggende i den centrale del af Himmerland.

I afrapporteringen for 1989 indgår opgørelser af søernes oplandsforhold, arealanvendelse, vand-, sediment- og massebalanceforhold, årstidsvariation af vandkemiske- og fysiske parametre og endelig en beskrivelse af årstidsvariationen i planteplanktons artssammensætning og biomasse. Endvidere er der foretaget en vurdering af søernes tilstande og udviklingen heri i forhold til tidligere undersøgelser, samt en vurdering af søernes fremtidige tilstand i relation til de tiltag der ligger i Vandmiljøplanen.

Madum sø er udvalgt som en af fem referencesøer i programmet, hvor udviklingen i den naturgivne tilførsel af næringsstoffer og dennes påvirkning af søens kemisk/fysiske og biologiske miljø kan følges. Resultaterne bekræfter stort set et Madum sø er en ret ubelastet sø. Baggrunden hertil skal søges i søens beliggenhed i et stort sammenhængende naturområde på næringsfattig sandjord, hvor landbrugsarealerne kun udgør en beskeden del. Langt den største del af oplandsarealet er beklædt af skov. Madum sø karakteriseres derfor som en oligotrof ("lavproduktiv"), sur sø af lobelie-typen med et ret artsfattigt planteplankton.

I forhold til tidligere undersøgelser påvises det at, der gennem de seneste femten år er sket en fordobling af sedimentets indhold af næringssaltene N og P og samtidig er kvælstofniveauet i vandfasen i stigning. Dette tolkes som et resultat af den stigende belastning via nedbør og nedfald.

Oligotrofe, sure søer hører til de mest følsomme naturtyper overfor stigende næringssaltbelastning, hvorfor Madum sø må anses for særdeles velegnet til at monitorere effekten heraf. Da den luftbårne belastning udgør så stor en del af søens samlede belastning, vil effekten af de tiltag, der sigter på at nedsætte de atmosfæriske bidrag, derfor kunne aflæses i Madum sø's fremtidige næringsstofniveauer i sediment og vandfase samt udviklingen i de biologiske forhold.

Hornum sø er udvalgt som en af 14 søer i landbrugsområder, hvor effekten af Vandmiljøplanens tiltag vedrørende næringssaltbelastningen fra landbrug på søer skal følges. Hornum sø fremtræder derfor som en noget mere næringsberiget sø i forhold til Madum sø med en specifik belastning, der er ca. 10 gange så stor. De højere næringssaltniveauer (svarende til let eutrofieret) danner livsgrundlag for et meget artsrigt og varieret planktonsamfund, og stadig findes der i søen udbredte lobeliesamfund, der normalt forsvinder ved stigende eutrofiering.

Søens biologiske tilstand er muligvis bedret noget gennem de seneste 10 år. Der forekommer ikke længere langvarige masseforekomster af blågrønalger, hvilket har betydet, at den gennemsnitlige sommersigtdybde er øget med ca. 0,5 m siden 1981 sideløbende med et fald i klorofyl-a koncentrationen. Den samme udvikling har dog ikke kunnet aflæses som ændringer i søens sedimentforhold og

næringsstofniveauer, der i samme periode ikke har ændret sig.

Set i forhold til tiltagene i vandmiljøplanen må det forventes, at en øget overgang til grønne marker i vinterperioden over en årrække vil have en gavnlig indflydelse på søens tilstand, idet den nedsatte udvaskning af næringssalte specielt fosfor vil forringe mulighederne for de markante maxima af blågrønalger yderligere. Herved bliver søen mere klarvandt over en længere periode og risikoen for badeforbud p.g.a. de toxiske blågrønalger vil i den sidste ende blive ubetydelig.

0. INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
1. Indledning.....	1
2. Beskrivelse af søerne og deres opland.....	1
2.1. Madum sø.....	1
2.1.1. Morfometriske forhold.....	2
2.1.2. Oplandskarakteristik.....	3
2.2. Hornum sø.....	8
2.2.1. Morfometriske forhold.....	8
2.2.2. Oplandskarakteristik.....	9
3. Metoder.....	14
3.1. Belastningsopgørelserne.....	14
3.2. Prøvetagningsfrekvens.....	15
3.3. Stationsnet i søerne.....	15
3.4. Feltmålinger.....	15
3.5. Prøveudtagning (vandkemi og biologi).....	15
3.6. Beregninger og behandling af biologiske prøver.....	16
3.6. Sedimentundersøgelser.....	17
4. Resultater og diskussion.....	17
4.1. Madum sø.....	17
4.1.1. Sedimentforhold.....	17
4.1.2. Belastning.....	19
4.1.3. Vandkemiske og fysiske undersøgelser....	21
4.1.3.1. Sigtdybde.....	21
4.1.3.2. Klorofyl-a.....	23
4.1.3.3. pH og alkalinitet.....	24
4.1.3.4. COD, suspenderet stof og glødetab af suspenderet stof....	25
4.1.3.5. Silicium.....	25
4.1.3.6. Fosfor.....	25
4.1.3.7. Kvælstof.....	26
4.1.4. Biologiske undersøgelser.....	27
4.1.4.1. Planteplankton.....	27
4.2. Hornum sø.....	30
4.2.1. Sedimentforhold.....	30
4.2.2. Belastning.....	31
4.2.3. Vandkemiske og fysiske undersøgelser....	32
4.2.3.1. Sigtdybde.....	33
4.2.3.2. Klorofyl-a.....	34
4.2.3.3. pH og alkalinitet.....	35
4.2.3.4. COD, suspenderet stof og glødetab af suspenderet stof....	37
4.2.3.5. Silicium.....	37
4.2.3.6. Fosfor.....	37
4.2.3.7. Kvælstof.....	38
4.2.4. Biologiske undersøgelser 1989.....	39
4.2.4.1. Planteplankton.....	39
5. Tidligere undersøgelser.....	42
5.1. Madum sø.....	42

5.2. Hornum sø.....	44
6. Samlet vurdering af resultater i 1989.....	46
7. Referencer.....	48

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. Samtidig er overvågningsprogrammet struktureret således, at det er muligt at vurdere i hvor høj grad de enkelte samfundssektorer opfylder de krav der i vandmiljøplanen.

Overvågningsprogrammet er derfor opstillet som en nødvendig forudsætning for at kunne vise virkningerne af den betydelige investeringsindsats (12 mia. kr i rensningsanlæg m.v. inden 1993), idet der tilvejebringes tidsserier af data der bl.a. kan danne grundlag for vurderinger af udviklingstendenser.

Denne rapport opsummerer resultaterne for det første år af overvågningsprogrammet for søer i Nordjyllands Amt. Hovedvægten er lagt på belastningsopgørelser for søerne og de væsentligste vandkemiske og fysiske parametre. Derudover er der i summarisk form medtaget resultaterne af sedimentundersøgelserne og de biologiske undersøgelser vedrørende planteplanktons biomasse og årsvariation.

2. BESKRIVELSE AF SØERNE OG DERES OPLAND

I Vandmiljøplanens Overvågningsprogram indgår ialt 37 søer fordelt over hele landet. Heraf er to søer udvalgt i Nordjyllands amt. Madum sø, der er én af ialt fem referencesøer i naturområder, hvor udviklingen i søernes baggrundstilstand følges, og Hornum sø, som er en af 14 søer, hvor belastningen primært stammer fra landbrugsdyrkning i oplandet. En oversigt over hele overvågningsprogrammet kan ses i /1/.

2.1. Madum sø

Madum sø udgør et væsentligt element i Himmerlands varierede naturlandskab med store naturvidenskabelige interesser og mange kulturspor. Søen er formentlig opstået som et dødsishul i det bakkede og kuperede landskab, som domineres af den store åbne søflade og de sammenhængende skovarealer i omgivelserne. Til søen og dens omgivelser knytter der sig store biologiske interesser, og området er derfor højt målsat i både recipient- og landskabsplanlægning, hvis hovedmålsætninger kan sammenfattes til, at søen og omgivelserne skal friholdes for alle former for kulturpåvirkning, når ses bort fra en kontrolleret rekreativ udnyttelse.

Søen er privatejet og tilhører Lindenberg Gods og Villestrup Gods i fællesskab, som begge velvilligt har tilladt færdsel på søen i forbindelse overvågningsprogrammet.

Hele søen er omkranset af skov, nærmest et smalt bælte af løvskov og bagved nåleskov. Randzonen består af en mere eller mindre sammenhængende bevoksning af Tagrør (Phragmites australis) med en meget lav skudtæthed. I bunden af tagrørsbevoksningerne og iøvrigt hele søen rundt findes en tæt, sammenhængende bevoksning af Tvepibet Lobelie (Lobelia dortmanna). Ud til ca. 4 m's dybde kan man herefter følge de to øvrige karakteristiske plantearter for den sure sø, nemlig Strandbo (Littorella uniflora) og Sortgrøn Brasenføde (Isoetes lacustris). Ud over 4 m's dybde forsvinder de højere planter (dybdegrænsen for søens makrofyter er dog ikke nøjagtigt bestemt). Herfra og ud til søens største dybder træffes et næsten sammenhængende tæppe af Sphagnum subsecundum. Samtidig findes overalt på søens bund løse måtter af trådede grønalger /25/.

Madum sø er i alene i kraft af sin størrelse, lave pH og ringe indhold af næringssalte enestående i Danmark. Den karakteriseres som en lobelie-sø, men også den her i landet sjældne Gulgrøn Brasenføde (Isoetes echinospora) vokser her sammen med et iøvrigt særpræget plante- og dyreliv.

Recipientmålsætning: Madum sø er omfattet af Nordjyllands Amtskommunes recipientplan /6/ med følgende målsætning:
A₁ Særligt naturvidenskabeligt interesseområde med en gennemsnitlig sommersigtdybde > 3 m.

Målsætningen er opfyldt.

2.1.1. Morfometriske forhold

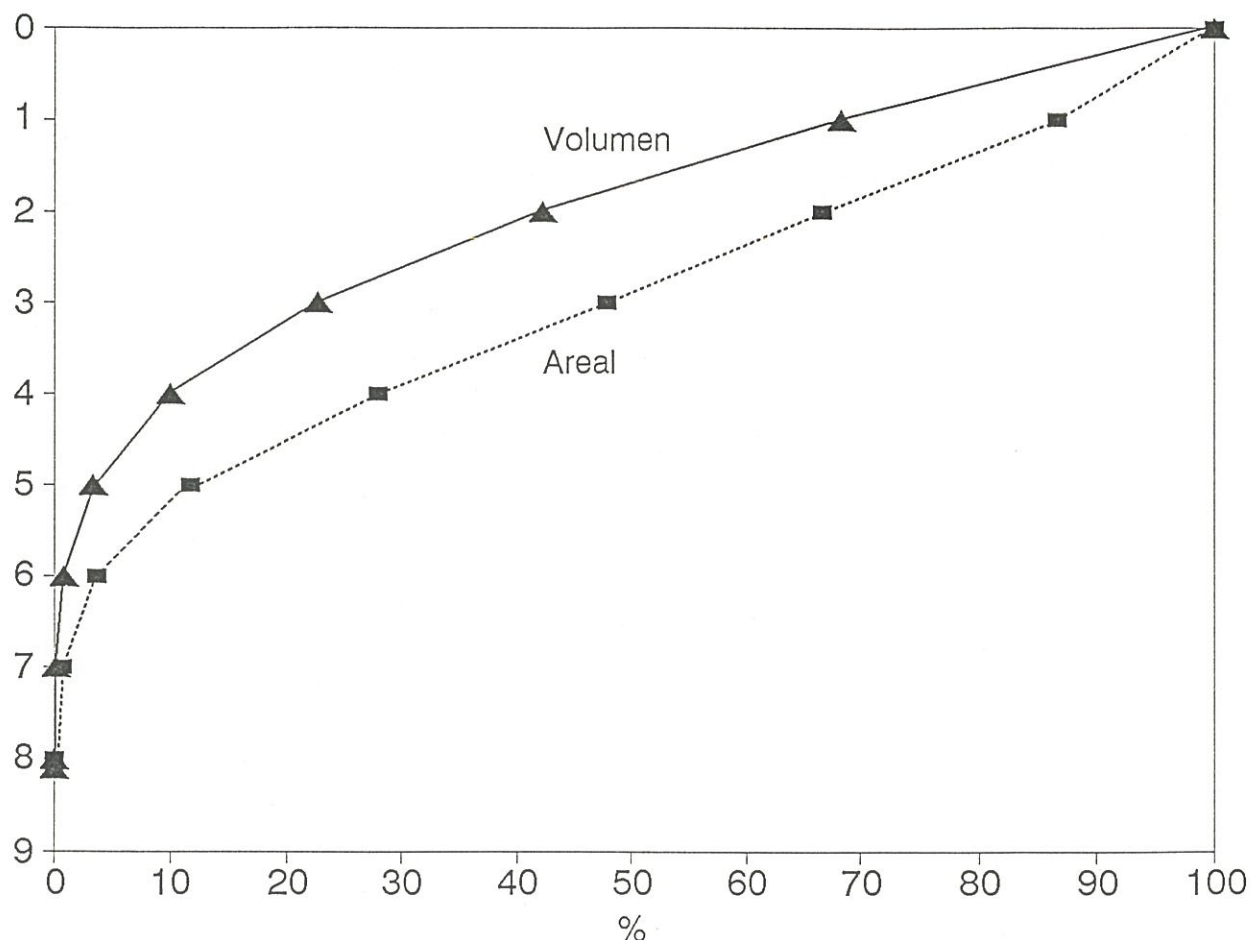
Tabel 2.1.1. Morfometriske data for Madum sø. (beregning af søernes volumen er foretaget efter /4/ og I(a) og I(d) efter /5/).

Søens areal	km ²	2,120
Søens volumen	mio. m ³	6,215
Største dybde	m	8,1
Middel dybde	m	2,93
Kystlængde	km	6,492
Arealindex I(a)	km ²	2,55
Dybdeindex I(d)	m	4,8

Madum sø er en af de største søer i Nordjylland med et areal på 212 ha og en samlet kystlængde på 6,5 km. Gennemsnitsdybden i den forholdsvis lavvandede sø er på 2,93 m og max. dybde på 8,1 m (tab. 2.1.1.). Det ses endvidere af figur 2.1.1., at de dybeste

dele af søen (dybde > 6 m) kun udgør en ringe andel af søens samlede volumen og areal (< 1 %). De lavvandede dele og dermed potentielt mest produktive områder udgør derfor den væsentligste del af søens areal og vandvolumen.

På fig. 2.1.2. er der vist et dybdekort over søen.



Figur 2.1.1. Hypsografisk kurve for Madum sø, hvor både forholdet areal/dybde og volumen/dybde er afbildet (dybdeintervallernes areal er opmålt ved planimetri på dybdekort og volumen er beregnet efter /4/).

2.1.2. Oplandskarakteristik

Madum sø er beliggende øverst i Lindenberg å-systemet (fig. 2.1.3.) uden egentlige tilløb og med et temporært afløb, Asp bæk i søens nordøstlige ende (fig. 2.1.4), der står i forbindelse med Lindenberg å.

Oplandskarakteristikken er foretaget på baggrund af Arealdatakontorets opmålinger af det samlede opland kombineret med planimetriske opmålinger af de forskellige arealtyper på luftfotografier (målestoksforhold 1:10.000). Herefter er den procentvise fordeling på arealtyperne overført på det totale oplandsareal fra Arealdatakontoret (iøvrigt efter anvisninger i /7/).

Tabel 2.1.1. Arealanvendelse i oplandet til Madum sø (opgjort ved planimetri på luftfotografier (1:10.000) og data fra Arealdatakontoret).

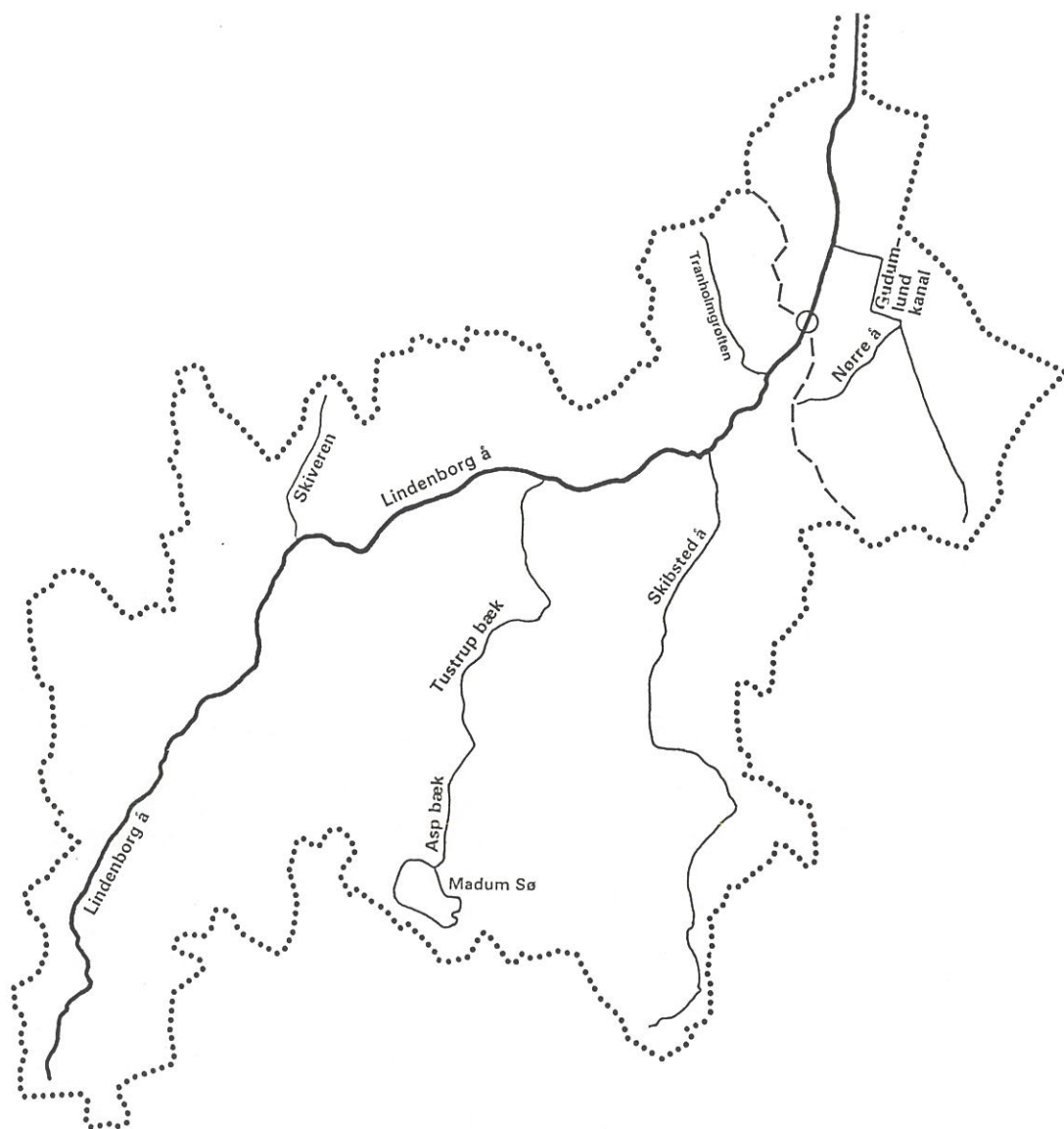
	ha	%
Dyrket areal	103	9,3
Eng	12	1,1
Løvskov	111	10,0
Nåleskov	617	55,6
Heder	45	4,1
Moser	-	-
Ferskvand	213	19,2
Bebygget	9	0,8

Madum sø ligger som det fremgår af fig. 2.1.2. omkranset af den sydøstlige del af Jægersborg skov som hører ind under Rold skov. Hovedparten af det samlede topografiske opland (totalt 11,09 km²) til Madum sø er derfor skovdækket, væsentligst nåleskov samt en del løvskov ialt 7,28 km² (= 65,6%, tab. 2.1.1). Kun en mindre del (9,3%) af oplandet udnyttes landbrugsmæssigt. Ialt 5,2% af oplandsarealet henligger som naturområder og 0,8% er bebygget/befæstet areal, som efter optælling udgøres af ialt 9 gårde og 4 huse (spredt bebyggelse). Resten (19,2%) er ferskvandsareal som udgøres af søen.

Kun en mindre del af Madum sø's opland (140 ha = 12,6%) er klassificeret af Arealdatakontoret (tab. 2.1.2.). Den fremgår heraf, at den klassificerede del væsentligst består af finsandet jord (48,6%) og lerblandet sandjord (39,3%) samt en mindre del (12,1% af det klassificerede areal), der er klassificeret som grovsandet jord.



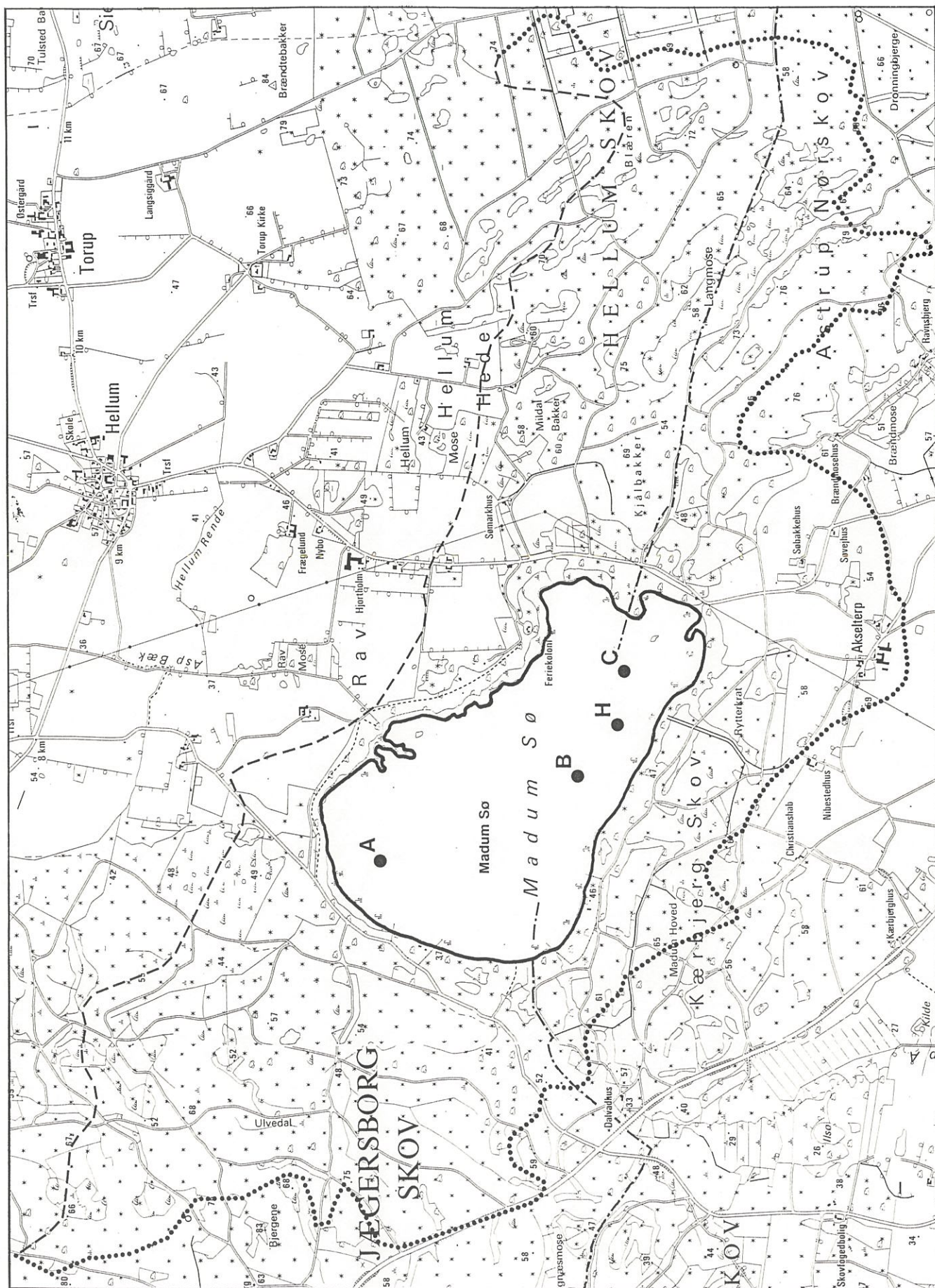
Figur 2.1.2. Dybdekort over Madum sø (opmålt juni 1932 af Geodætisk Institut. Vandspejlshøjde i kote 37,10 DNN).



Figur 2.1.3. Kort over Lindenberg å-systemet med indtegning af Madum sø.

Tabel 2.1.2. Den klassificerede del af oplandsarealet til Madum sø fordelt på jordtyper (farvekoder FK. Data fra Arealdata-kontoret).

	ha	%
FK 1 (grovsandet jord)	17	12,1
FK 2 (finsandet jord)	68	48,6
FK 3 (lerblandet sandjord)	55	39,3
FK 4 (sandblandet lerjord)	0	0,0
FK 5 (lerjord)	0	0,0
FK 6 (svær lerjord)	0	0,0
FK 7 (humus)	0	0,0
FK 8 (specielle jordtyper)	0	0,0



Figur 2.1.4. Oversigtskort over Madum sø med oplandsgrænse og markering af prøvetagningsstationer (H = hovedstation, A, B og C = zooplanktonstationer).

2.2. Hornum sø

Hornum sø ligger i et åbent, landbrugspræget og storbakket landskab med mange kulturspor. I det bakkede morænelandskab, som Hornum sø er en del af, fremtræder mange mindre biotoper af biologisk betydning. Især småsøer, vandhuller og mindre moseområder med Hornum sø som den største sø i området. I fredningsmæssig sammenhæng sigter planlægningen primært på at sikre de landskabelige og kulturgeografiske interesser.

Søen er omgivet dels af et mindre moseareal i den sydlige ende med spredte bevoksninger af birk, pil og pors, her er også en mindre tagrørsbevoksning. Resten af søens bredareal kan karakteriseres som overdrev og tilplantede arealer (lidt fyr og birk på den østlige bred). Disse arealer udgør dog kun en smal bræmme op mod de intensivt dyrkede landbrugsarealer.

Søen betegnes som en let brunvandet (dvs. et højt indhold af humusstoffer), sur sø af lobelietypen med en udbredt undervandsvegetation bestående af de karakteristiske plantearter Strandbo (*Littorella uniflora*), Sortgrøn Brasenføde (*Isoetes lacustris*) og Tvepibet Lobelie (*Lobelia dortmanna*).

Recientmålsætning: Hornum sø er omfattet af Nordjyllands amtskommunes recientkvalitetsplan med følgende målsætning:

A₂, B badevand med naturligt alsidigt dyre- og planteliv og en gennemsnitlig sommersigtdybde på 2 m.

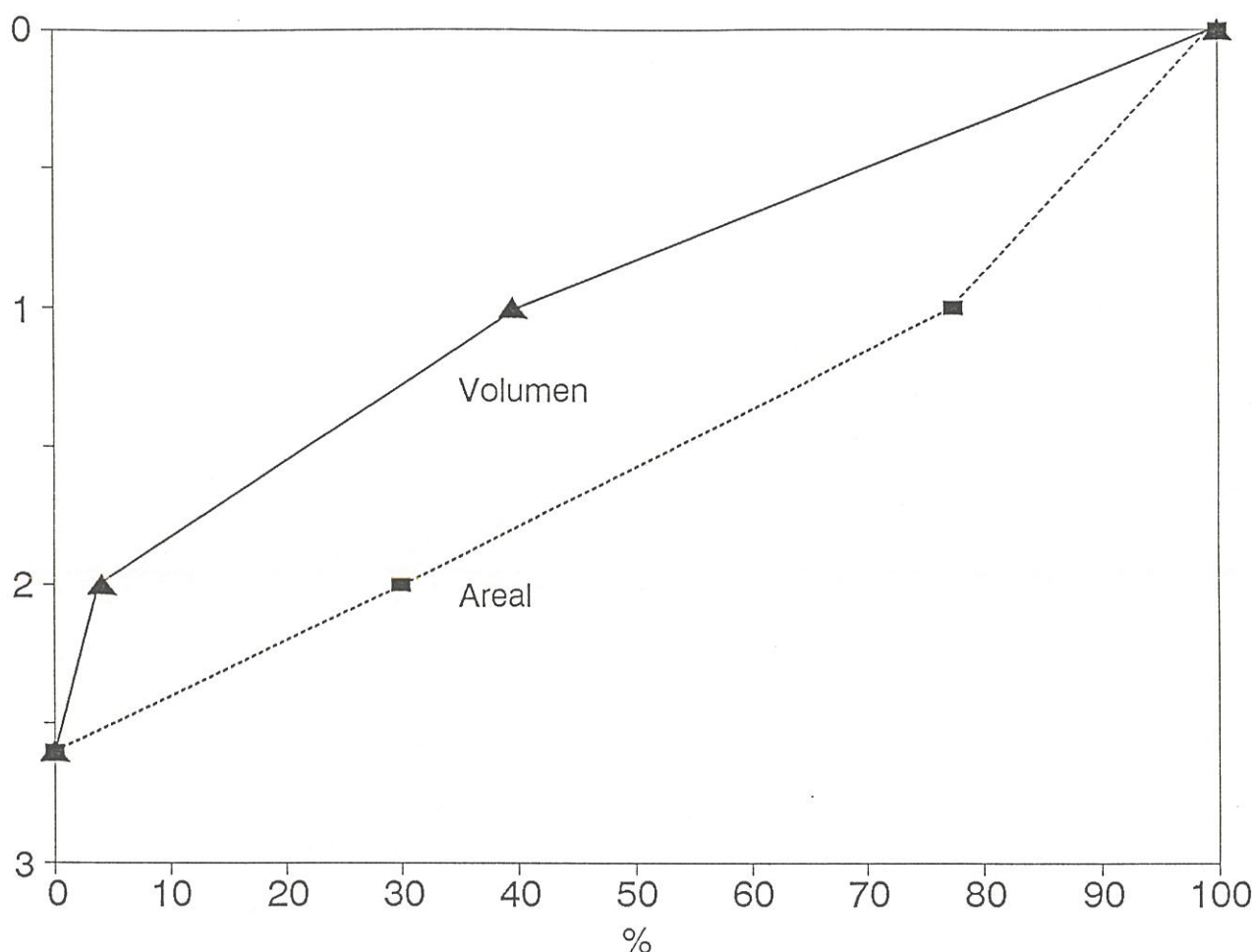
Målsætningen er ikke opfyldt.

2.2.1. Morfometriske forhold

Hornum sø er en forholdsvis lille sø med et areal på 22,6 ha og en samlet kystlængde på ca. 2,8 km. Gennemsnitsdybden i den lavvandede sø er 1,46 m og max. dybden 2,6 m (tab 2.2.1.)

Tabel 2.2.1. Morfometriske data for Hornum sø. (beregning af søernes volumen er foretaget efter /4/ og I(a) og I(d) efter /5/).

Søens areal	km ²	0,224
Søens volumen	mio. m ³	0,327
Største dybde	m	2,6
Middel dybde	m	1,46
Kystlængde	km	2,276
Arealindex I(a)	km ²	0,285
Dybdeindex I(d)	m	2,1



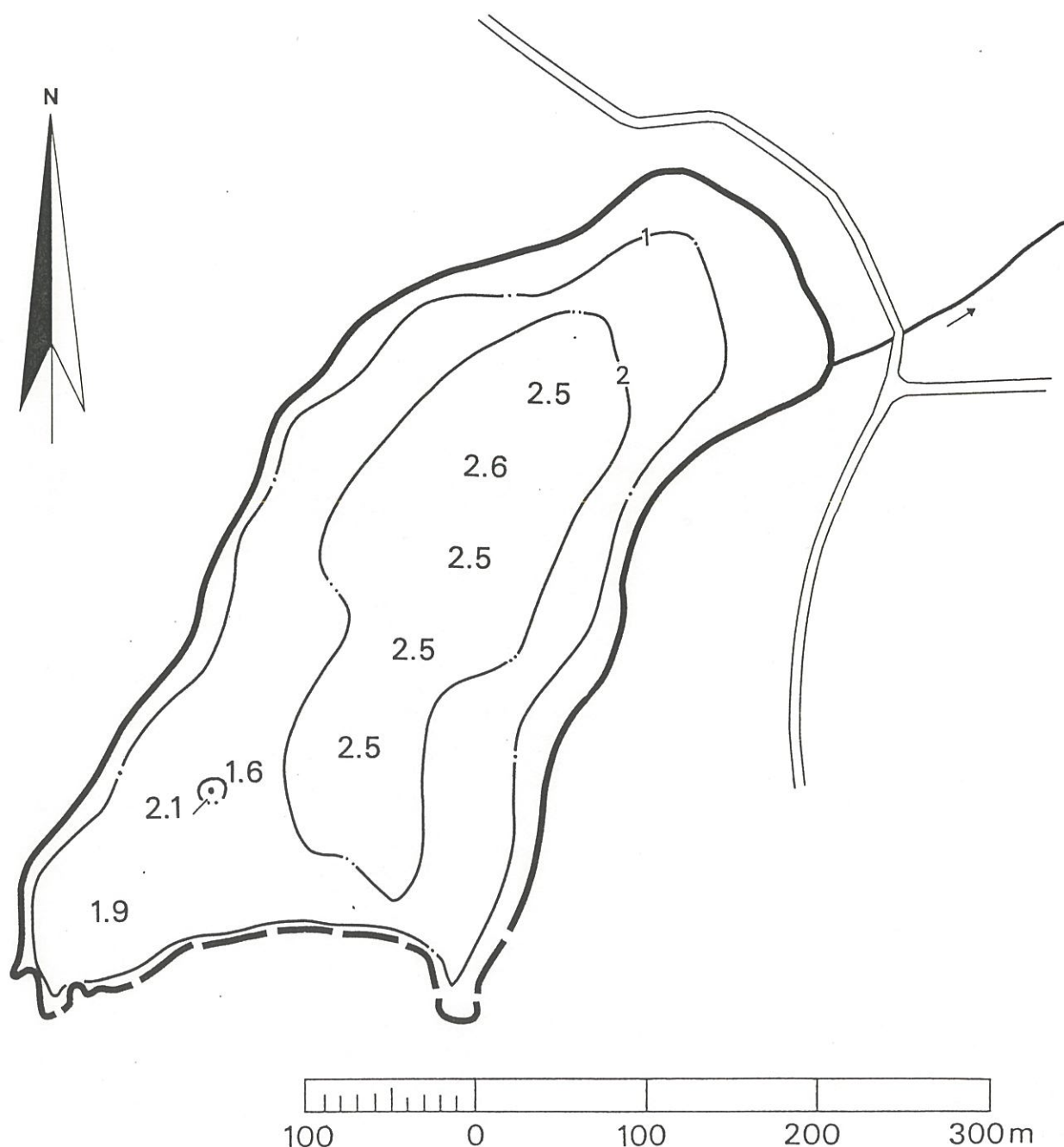
Figur 2.2.1. Hypsografisk kurve for Hornum sø, hvor både forholdet areal/dybde og volumen/dybde er afbildet (dybdeintervallernes areal er opmålt ved planimetri på dybdekort og volumen er beregnet efter /4/).

2.2.2. Oplandskarakteristik.

Hornum sø tilhører Kærs Mølle å-systemet (fig. 2.2.1.), uden dog at stå i direkte forbindelse hermed. Der er således hverken afløb eller tilløb til søen. Dette fremgår af oversigtskortet over Hornum sø med opland (figur 2.2.2.), hvor en nu blokeret grøft, der tidligere fungerede som afløb fra søen er markeret.

Oplandskarakteristikken er foretaget på baggrund af Arealdatakontorets opmålinger af det samlede opland kombineret med planimetriske opmålinger af de forskellige arealtyper på luftfotografier (målestoksforhold 1:10.000). Herefter er den procentvise fordeling på arealtyperne overført på det totale oplandsareal fra Arealdatakontoret (iøvrigt efter anvisninger i /7/).

Hornum sø ligger som det fremgår af fig. 2.2.2. i det åbne landbrugsland. Hovedparten (75,9%) af det samlede opland (7,89 km²) henligger som dyrkede arealer (tab. 2.2.1.). Ialt 12,5% er



Figur 2.2.2. Dybdekort over Hornum sø (opmålt aug. 1981 af landinspektør Th. Høy. Vandspejlshøjde i kote 46,50 DNN).

dækket af løv- og nåleskov og 5,0% henligger som naturarealer. Ialt 20 ha (2,5%) er opført som bebygget/befæstet areal, hvor der er registreret 30 gårde og 6 huse. Resten (4,1%) fordeler sig på ferskvand (søen og en nærliggende mose) samt en råstofgrav. Da den væsentligste del af Hornum sø's oplandsareal er opdyrket, foreligger der ligeledes en stor del af oplandet klasificeret på

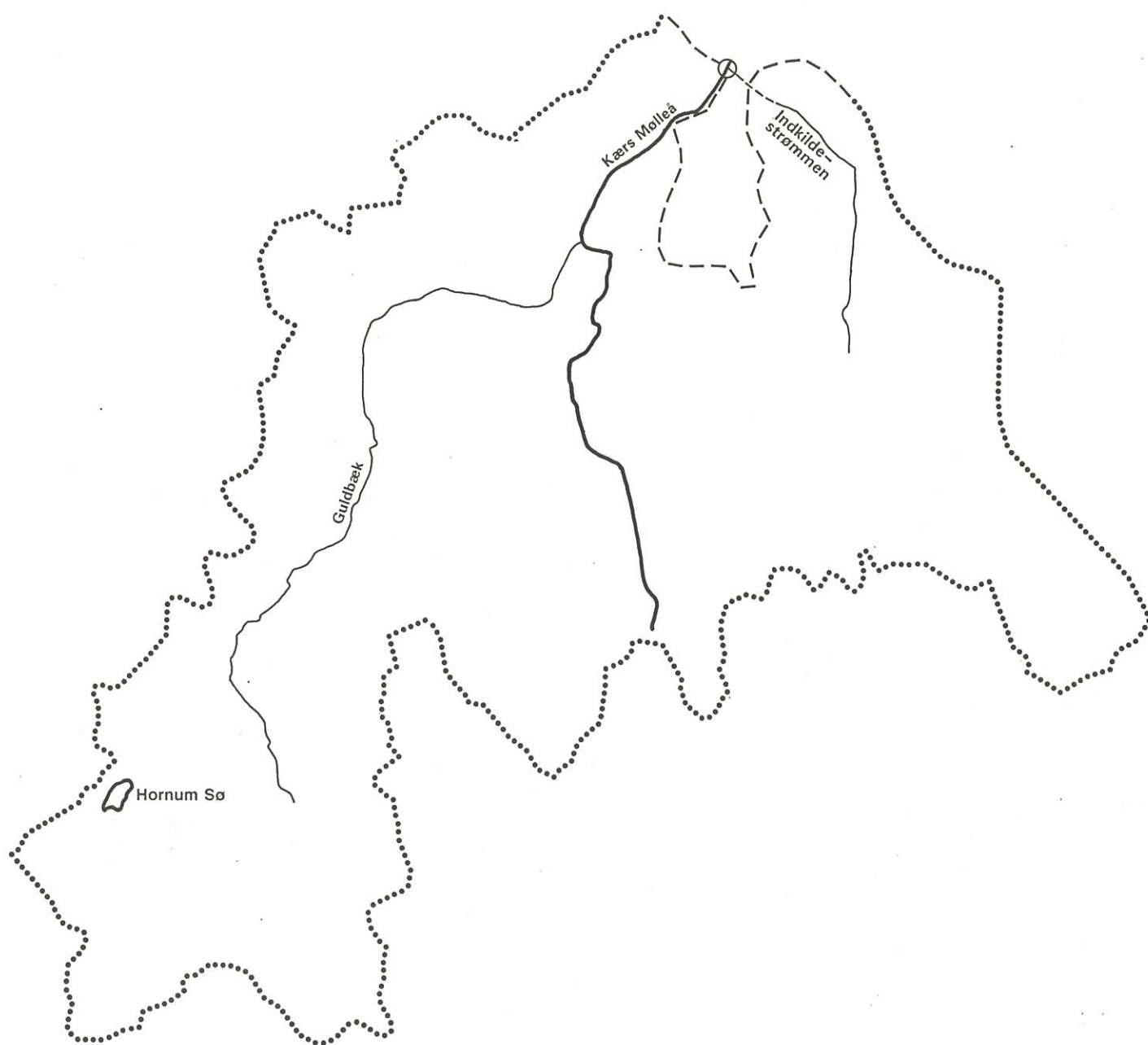
jordtyper (ialt 685 ha svarende til 87,0% af det totale oplandsareal). Det fremgår af tab. 2.2.2. af jordtyperne fordeler på de tre lette jorde, finsandet jord med 44,5%, lerblandet sandjord med 27,9% og grovsandet jord 27,6%.

Tabel 2.2.1. Arealanvendelse i oplandet til Hornum sø (opgjort ved planimetri på luftfotografier (1:10.000) og data fra Arealdatakontoret).

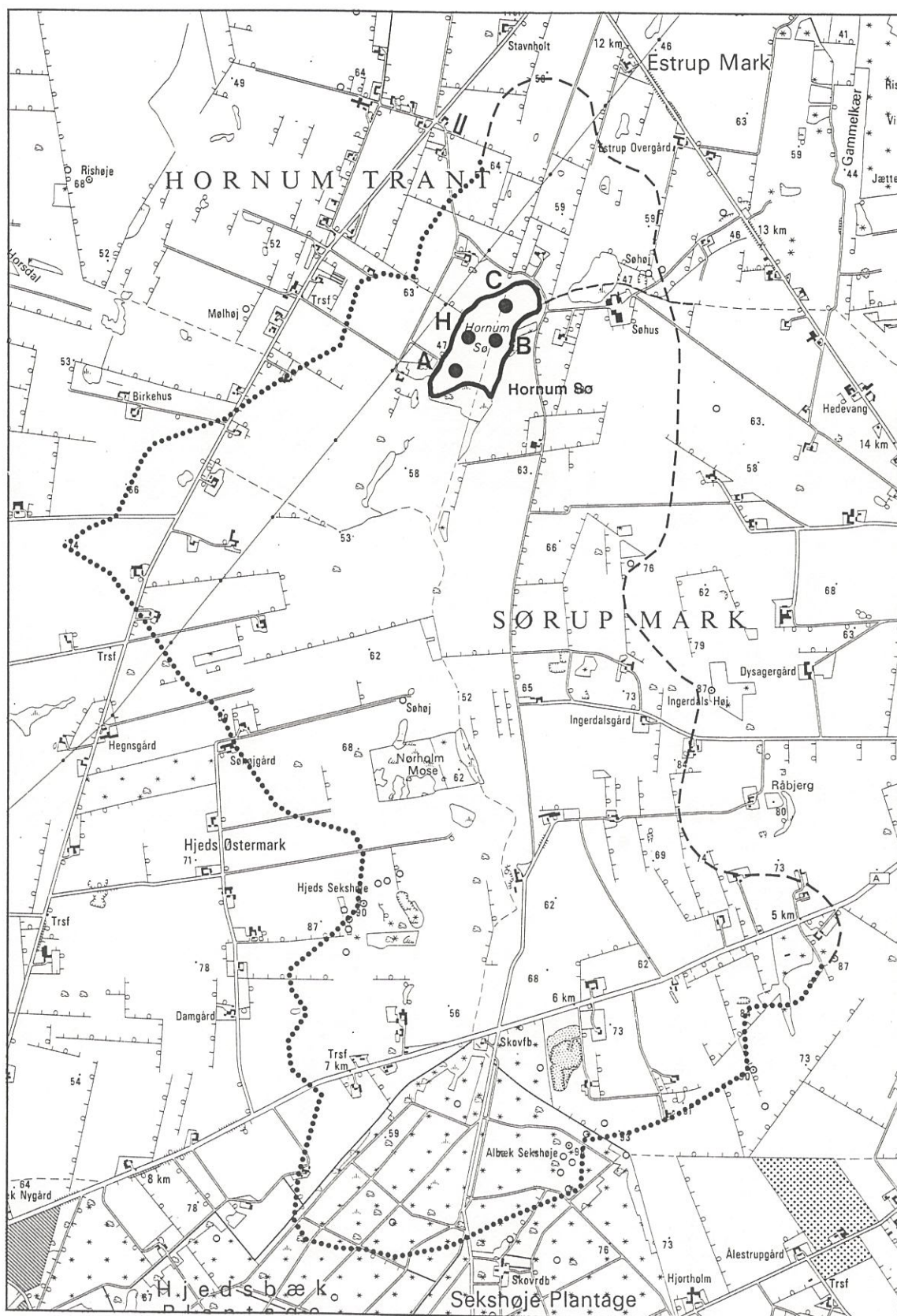
	ha	%
Dyrket areal	597	75,9
Eng	35	4,4
Løvskov	13	1,7
Nåleskov	85	10,8
Heder	5	0,6
Moser	-	-
Ferskvand	24	3,0
Bebygget	20	2,5
Råstofgrave	9	1,1

Tabel 2.2.2. Den klassificerede del af oplandsarealet til Hornum sø fordelt på jordtyper (farvekoder FK. Data fra Arealdatakontoret).

	ha	%
FK 1 (grovsandet jord)	189	27,6
FK 2 (finsandet jord)	305	44,5
FK 3 (lerblandet sandjord)	191	27,9
FK 4 (sandblandet lerjord)	0	0,0
FK 5 (lerjord)	0	0,0
FK 6 (svær lerjord)	0	0,0
FK 7 (humus)	0	0,0
FK 8 (specielle jordtyper)	0	0,0



Figur 2.2.3. Kort over Kær Mølle å-systemet med indtegning af Hornum sø.



Figur 2.2.4. Oversigtskort over Hornum sø med oplandsgrænse og markering af prøvetagningsstationer (H = hovedstation, A, B og C = zooplanktonstationer).

3.2. Prøvetagningsfrekvens

I forhold til amtets rutinemæssige tilsyn af søerne i Nordjylland er intensiteten i overvågningsprogrammet væsentligt højere. Dette er nødvendigt for at kunne beskrive udviklingstendenserne i søernes næringssaltbelastning og i søernes fysiske/kemiske og biologiske forhold, hvori der kan indgå en vurdering af sæsonvariationernes og fra år til år svingningers betydning.

Prøvetagningsprogrammet for 1989 har omfattet ialt 19 prøvetagninger i hver sø efter en såkaldt "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 højest, undersøges således med den største intensitet.

3.3. Stationsnet i søerne

I hver sø er der udlagt ialt 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, der er beliggende på de 20% af søens areal og de dybder som svarer til intervallet mellem 70% og 90% grænserne på hypsografen (fig., regnet fra land mod største dybde, hvor udtagning af prøver til bestemmelse af zooplanktons artssammensætning og biomasse er foretaget. Stationernes placering i de to søer er angivet på fig. 2.1.2. og fig. 2.2.2.

3.4. Feltmålinger

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 (målt med secchiskive)

Profilmålinger af vandtemperatur, iltkoncentration - iltmætning samt pH

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

3.5. 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, hvis størrelse er bestemt af dybden.

På hver delprøve er der målt temperatur, iltindhold og pH 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 zooplanktontyper vandlopper og dafnier. Begge prøvetypers indhold er konserveret med lugol.

3.6. 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:

$$\text{hvor } \frac{\sum((T_j - T_{(j-1)}) * (X_j + X_{(j-1)})/2)/\text{ant.dage},}{T_j - T_{(j-1)}} = \text{antal dage mellem to prøvetagninger}$$

$X_j, X_{(j-1)}$ = 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 laboratorium efter retningslinjerne i /2/ og /3/, dvs. optællinger i sedimentationskamre. Den anvendte litteratur ved artsbestemmelserne er angivet ved referencerne /12/, /13/, /14/ og /15/. Algernes volumen er bestemt efter opmåling i mikroskopet og efterfølgende tilpasning af algernes form til geometriske figurer kan volumen beregnes efter gældende formler (f.eks. i /2/).

3.7. Sedimentkemi

Der er udtaget prøver på tre stationer (zooplanktonstationerne A, B og C, fig. 2.1.4 og fig. 2.2.4.) med 50 cm kajakrør ($\phi = 5$ cm). Prøverne i Madum sø blev udtaget af dykker på 5 m's dybde. I Hornum sø blev prøverne udtaget på 2m's dybde med forlængerstang. På hver station udtoges tre delprøver som i laboratoriet blev fraktioneret i følgende intervaller: 0 - 2 cm, 2 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10 - 15 cm, 15 - 20 cm og 20 - 30 cm. Fraktionerne fra de tre delprøver blev puljet og analyseret for følgende parametre:

- Tørstof (TS)
- Glødetab
- Total kvælstof
- Total fosfor
- Jern
- Calcium
- Adsorberet fosfor (Ads-P)
- Jern-bundet fosfor (Fe-P)
- Calcium-bundet fosfor (Ca-P)
- Organisk-bundet fosfor (Org-P)

Vurderingen af søernes sedimentforhold er foretaget ud fra gennemsnitsværdien af resultaterne for overfladesedimentet (0-2 cm) fra de tre stationer.

4. RESULTATER OG DISKUSSION

4.1. Madum sø

4.1.1. Sedimentforhold

Resultaterne af sedimentundersøgelserne anvendes primært til en vurdering af sedimentets betydning for oplagring og frigivelse af fosfor samt omfanget af kvælstofsedimentationen, der derefter kan anvendes i en sammenligning med sedimentforholdene i andre danske søer.

Sedimentet i Madum sø karakteriseres som vandholdigt gyttje med et tørstofindhold på 9 -14% jævnt stigende med sedimentdybden, og med et i forhold til mere belastede søer (f.eks. Karl sø,

Bryrup Langsø, Kvind sø og Kul sø /17/, Dons Nørre sø og Søgaard sø /18/) ret lavt organisk stofindhold på 3 - 4 %. Dette afspejles også i værdierne for Total-N og Total-P (tab. 4.1.1), der ligeledes ligger noget lavere end de omtalte søer i /17/ og /18/. Der ligger således ikke større puljer af N og P ophobet i Madum sø's sediment. Værdierne for Calcium og Jern er ligeledes lave i forhold til andre søers sediment.

Af tab. 4.1.1. ses endvidere af N/P - forholdet i den øverste del af sedimentet kan beregnes til 5,75.

Tabel 4.1.1 Resultater af kemiske analyser af overfladesedimentet i Madum sø vist som gennemsnit af 3 stationer (A, B og C).

Sediment 0 - 2 cm 30. august 1989		Madum sø
Tørstof (TS)	%	8,9
Glødetab	% af TS	31,5
Total Kvælstof	g N/kg TS	14,0
Total fosfor	g P/kg TS	2,4
Adsorberet fosfor	g P/kg TS	0,056
Jernbundet fosfor	g P/kg TS	0,315
Calciumbundet fosfor	g P/kg TS	0,022
Organiskbundet fosfor	g P/kg TS	2,068
Calcium	g Ca/kg TS	2,090
Jern	g Fe/kg TS	17,533

Fe/P forholdet beregnes for den øverste del af sedimentet til 7,3, hvilket er lidt under forholdet for de belastede søer i /16/ og /17/. Det indikerer, at potentialet for jerns binding af fosfor er fuldt udnyttet, da der erfaringsmæssigt går 1 mg Fe til binding af 30 μg P.

I 1989 konstateredes der ikke iltfrie forhold ved søens bund. Den interne belastning af søen ved reduktion af Fe^{3+} til Fe^{++} under frigivelse af PO_4^{3-} antages derfor for at være ubetydelig.

Det fremgår også af fosfors fordeling i de mobile (Ads-P og Fe-P), der f.eks. kan mobiliseres (frigives) ved høje pH-værdier eller anoxiske forhold og de immobiler puljer (Ca-P og Org-P), hvor langt den største del af fosforet (ca. 85%) er bundet i de immobiler puljer (efter /18/ og /19/).

Sammenfattende vurderes den interne belastning af Madum sø til at være uden betydning for søens omsætningsforhold som følge af, at iltfrie forhold ved bunden kombineret med høje pH værdier sjældent eller aldrig forekommer og de immobile puljers kvantitative betydning.

4.1.2. Belastningsforhold

Arealbidrag:

Der er anvendt data fra Lille Blåkilde (afsn. 5.3. i /10/), som indgår i et kompleks af grundvandsoplande, der omfatter oplande til Kovads bæk, Ravnkilde, Store Blåkilde og Madum sø. Desuden er arealudnyttelserne stort set identiske for Madum sø og Lille Blåkilde. Følgende data fra Lille Blåkilde er anvendt:

Oplandsareal:	1180 ha
Vandføring:	150 l s ⁻¹
Middel koncentration:	Total kvælstof: 1,678 mg N l ⁻¹
	Total fosfor: 0,013 mg P l ⁻¹
Spredt bebyggelse:	12 huse
	2 gårde

Basiskoncentrationen for oplandet til Lille Blåkilde kan herefter beregnes til:

$$\frac{(\text{bidraget fra det åbne land} - \text{bidraget fra spredt bebyggelse})/\text{år}}{(\text{vandføring}/\text{år})}$$

Dvs.

$$\text{Total kvælstof} = (7938 \text{ kg} - 84 \text{ kg})/4,73 \text{ mio.m}^3 = 1,660 \text{ mg N l}^{-1}$$

$$\text{Total fosfor} = (61,5 \text{ kg} - 27,5 \text{ kg})/4,73 \text{ mio.m}^3 = 0,007 \text{ mg P l}^{-1}$$

$$\text{For oplandet til Lille Blåkilde beregnes en arealspecifik afstrømning på } (150/1180) = 0,127 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

$$\text{Indsivningen til Madum sø beregnes til } (1109 \cdot 0,127) = 141 \text{ l s}^{-1}$$

Udsivningsmængderne beregnes som den årlige udsivning * den årlige middelkoncentration af de opløste uorganiske fraktioner af N og P (se tab. 4.1.3).

Indsivningen på 141 l s⁻¹ svarer for Madum sø til en årlig vandtilførsel på 4,447 10⁶ m³. Opholdstiden for søen kan herefter beregnes til 1,4 år.

Fosfortilførslen til Madum sø er jævnt fordelt på de tre kilder (tab. 4.1.2.). Det svarer til en arealspecifik belastning på ialt 0,041 g P m⁻² år⁻¹, hvilket er lavt (f.eks. 10 gange mindre end Hornum sø og < 1% af den arealspecifikke belastning i de belastede og eutrofierede søer i /17/). Af den tilførte mængde fjernes ca. 30% ved udsivning. Resten (61,8 kg) sedimenterer og bindes til f.eks. jern og organisk stof.

De væsentligste kilder til kvælstof for søen er bidraget fra det åbne land og depositionen fra luften (71% og 28% henhv.), mens bidraget fra den spredte bebyggelse er ubetydeligt. Regnes der på den totale belastning fås således en arealspecifik belastning af søen på $4,9 \text{ g m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, svarende til ca. 1/6 af belastningen af Hornum sø eller < 5% af belastningen til Dons Nørre sø og Søgård sø /17/.

Af den tilførte mængde fraføres 8% ved udsivning, dvs. 92% (9,6 tons) tilbageholdes i søen. Heraf kan det beregnes, at ca. 0,4 tons sedimenter, idet det forudsættes at kvælstof i forhold til fosfor sedimenterer i samme forhold som N/P-forholdet i den øverste del af sedimentet (5,75). Resten (9,2 tons), idet søvandets koncentration af Total-N er konstant fra år til år, afgasser fra søen som frit kvælstof (N_2) ved denitrifikation, svarende til en denitrifikationsrate for Madum sø på $4,3 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, som er lav i forhold til denitrifikationsrater fra eutrofierede søer (gennemsnit for 58 danske søer er $23 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ /11/).

Tabel 4.1.2. Belastningsopgørelse for Madum sø.

	N		P	
	tons N/år	%	kg P/år	%
Basisbidrag	7,4	71	31,1	35
Spredt bebyggelse	0,1	1	25,5	29
Luftbidrag	2,9	28	31,8	36
Total tilførsel	10,4	100	88,4	100
Fraførsel	0,8	8	26,6	30
Netto tilførsel	9,6	92	61,8	70

Belastningsforholdene karakteriserer således Madum sø som en ubelastet sø.

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, massebalancen og belastningen er opgjort under. På trods heraf synes der, at være en rimelig god overensstemmelse mellem de beregnede estimater, og de mere præcise opgørelser fra de refererede undersøgelser i /11/, /16/ og /17/.

4.1.3. Vandkemiske og fysiske undersøgelser

En maximumsdybde på 8,1 m og en gennemsnitsdybde på ca. 3 m gør, at der der i 1989 ikke kunne registreres stabile forskelle 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 vand hentet op med hjerteklapvandhenteren fra følgende dybder: 0.2m, 1.5m, 3.0m, 4.5m og 6m.

En oversigt over de vandkemiske forhold i Madum sø (sommergennemsnit, vintergennemsnit (for vinteren 88/89) og årsgennemsnittet er givet i tabel 4.1.3.

Tabel 4.1.3. Oversigt over vandkemi og fysiske målinger i Madum sø 1989 (beregnet som tidsvægtede gennemsnit).

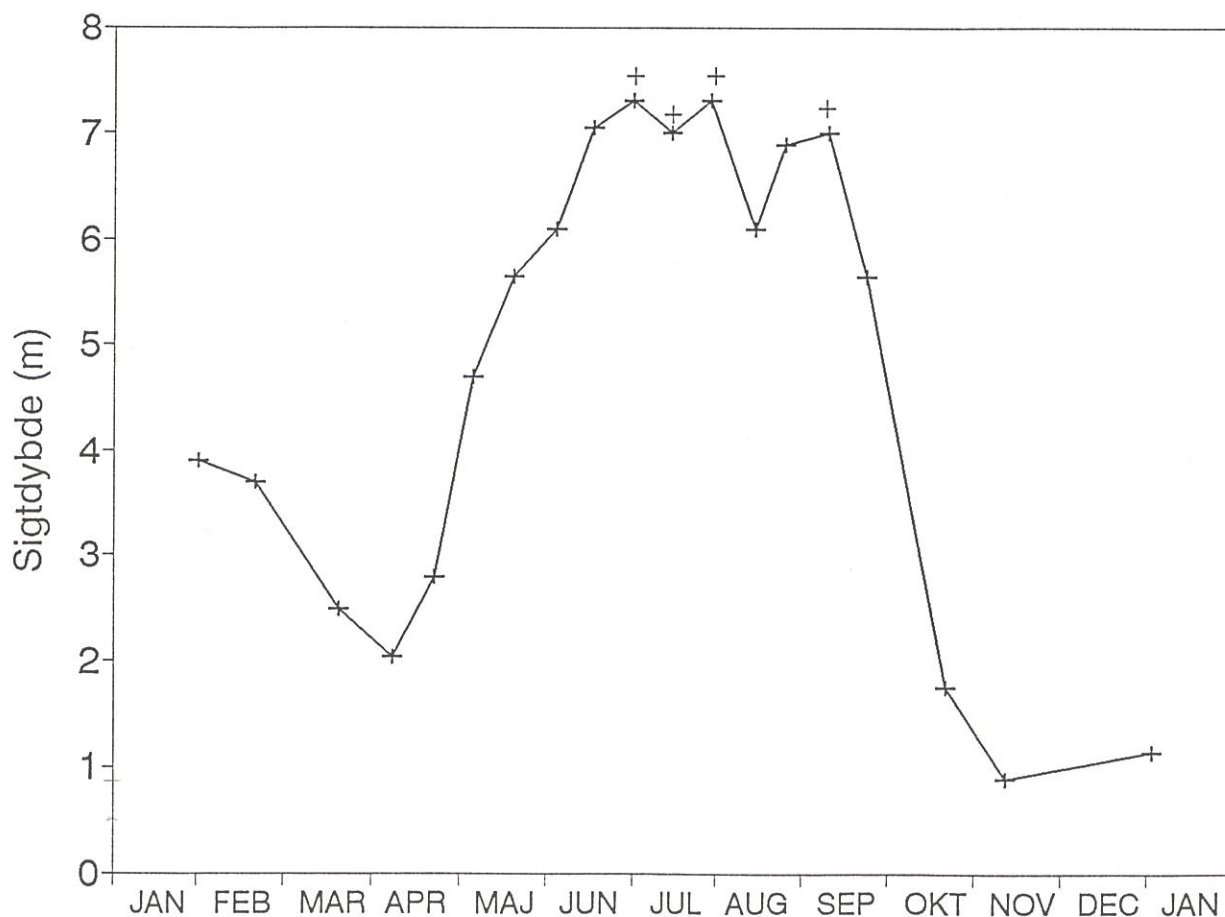
		Sommergns. 1/5-30/9	Vintergns. 1/12-31/3	Årsgns.
Sigtdybde	(m)	6,30	3,4	4,20
Total fosfor	($\mu\text{g/l}$)	26	49	39
Opløst fosfat	($\mu\text{g/l}$)	4	6	6
Partikulært P	($\mu\text{g/l}$)	22	43	34
Total Kvælstof	($\mu\text{g/l}$)	517	873	658
Nitrat+nitrit-N	($\mu\text{g/l}$)	49	422	158
Ammonium-N	($\mu\text{g/l}$)	18	50	25
Opl. uorg. N	($\mu\text{g/l}$)	67	472	173
Partikulært-N	($\mu\text{g/l}$)	450	401	475
Part.-N/Part.-P		22	14	19
Klorofyl-a	($\mu\text{g/l}$)	4	14	20
pH		5,38	5,71	5,47
Alkalinitet	(mmol/l)	0,14	0,16	0,12
Silicium	(mg/l)	< 0,1	0,51	0,28
Susp. Stof SS	(mg/l)	< 5	< 5	5,15
Glødetab af SS	(mg/l)	< 5	< 5	< 5
Part. COD	(mg/l)	6	8	8

4.1.3.1. Sigtdybde

Sigtdybden (fig 4.1.1.) i Madum sø viste en udpræget sæsonvariation med en forholdsvis lav sigtdybde i starten af året på ca. 4 m. Frem til slutningen af marts faldt sigtdybden til ca. 2 m, uden det dog faldt sammen med opbygningen af større algemængder, som i samme periode stort set var konstant (fig.

4.1.2 og 4.1.6). I løbet af april og maj steg sigtddybden jævnt indtil midten af juni, hvor den aktuelle sigtddybde ikke længere kunne registreres, idet der var sigt til bunden (+ 7,3 m). Den høje sigtddybde holdt hele sommeren igennem, under meget lave algeforekomster ($2 - 4 \mu\text{g Chl. a l}^{-1}$) frem til starten af september, hvorefter den faldt brat frem til ultimo oktober. Herfra og året ud var sigtddybden konstant lav ($< 1 \text{ m}$). Faldet i sigtddybden faldt sammen med store mængder af trådede grønalger *Mougotia sp.*, der fra bunden var vandret op i vandfasen og en efterfølgende opbygning af store algetætheder ($71 \mu\text{g Chl. a l}^{-1}$) i november, der fuldstændigt var domineret af en lille grønalge fra slægten *Chlorella*. Sigtdybden forholder sig således omvendt til klorofyl-a indholdet, dvs. ved høje klorofyl-a koncentrationer iagttages små sigtddybder og omvendt.

Selve forløbet i sigtddybden udvikling over året er ret usædvanlig, idet den forholder sig diametralt modsat til forløbet i de fleste søer. Her er det ofte sådan, at den laveste sigtddybde registreres i løbet af sommerperioden og den højeste sigtddybde om vinteren. Hornum sø (afsn. 4.2.) er et udmærket eksempel herpå.

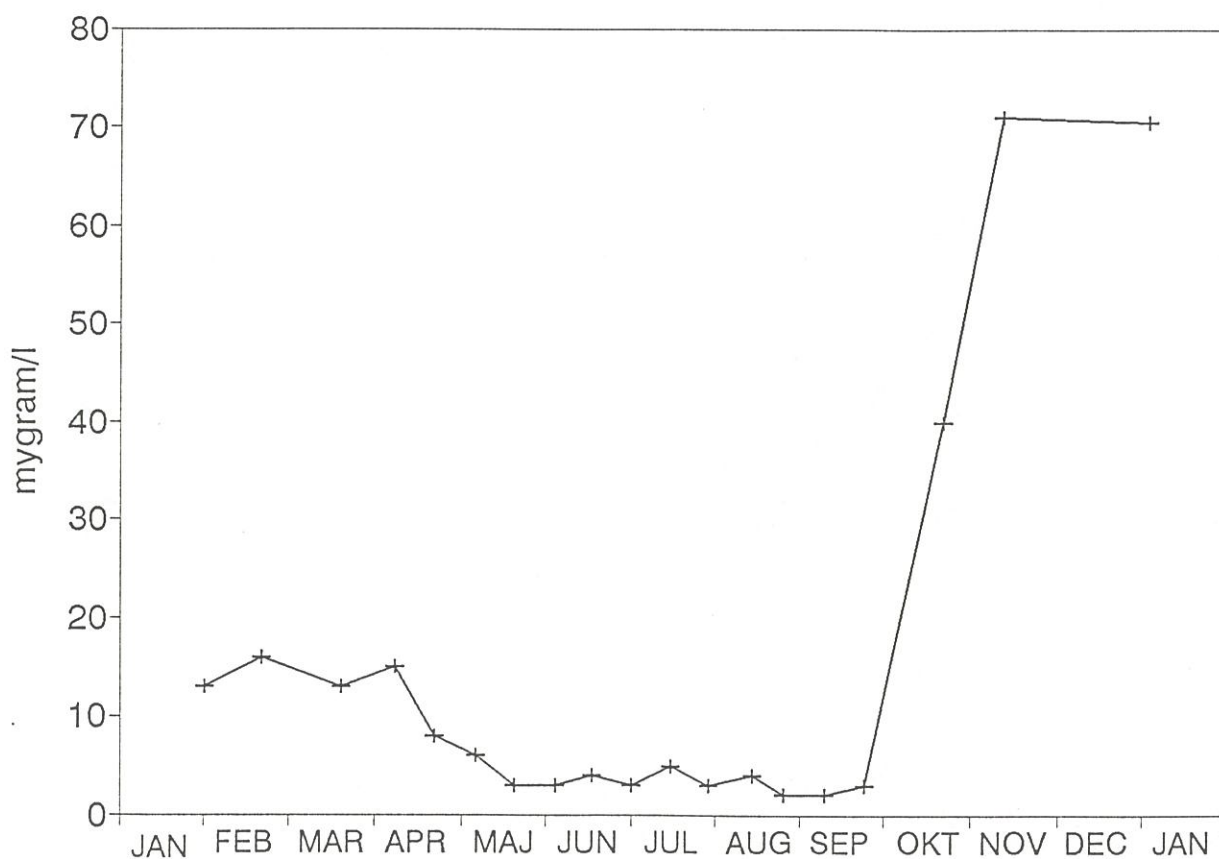


Figur 4.1.1. Sæsonvariation i sigtddybden for Madum sø 1989.

4.1.3.2. Klorofyl-a

Mængden af plankton alger i Madum sø kan udtrykkes som koncentrationen af klorofyl-a, et af de aktivt fotosyntetiserende pigmenter i alle alger.

I løbet af foråret faldt koncentrationen af klorofyl-a til et meget lavt sommerniveau på 2-4 μg . Dette niveau holdt sig frem til september, hvor koncentrationen atter stiger, først i forbindelse med opsvævningen af Mougotia sp. til vandfasen, senere med opvæksten af de store koncentrationer af små grønalger. Fra oktober og året ud ses et, for en næringsfattig sø, ret højt indhold af klorofyl-a.

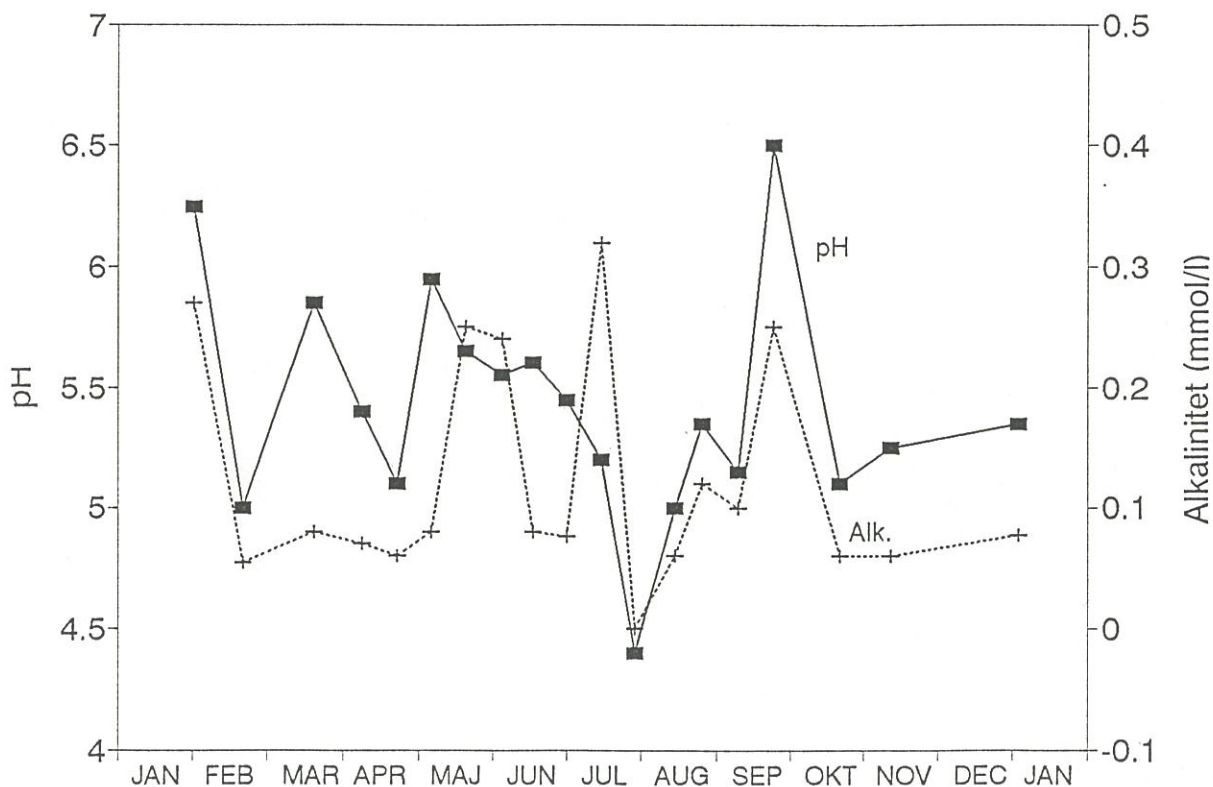


Figur 4.1.2. Sæsonvariation i vandets indhold af klorofyl-a for Madum sø 1989.

4.1.3.3. pH og alkalinitet

Det fremgår, at Madum sø er en sur sø med en forholdsvis lav pH værdi året igennem (fig. 4.1.3.). Det ses, at pH er smule højere i vinterperioden end i sommerperioden, hvilket hænger sammen med den højere algemængde (Chl.a), idet algerne under fotosyntesen forbruger CO_2 , hvorved der frigøres H^+ ioner. Samtidig er dens bufferkapacitet (vandets evne til neutralisere H^+ -ioner) 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). Det kan betyde store ændringer i søens biologiske samfund.

Ved værdier under 6 begynder pH at få stor betydning for sammensætningen af søernes biologiske samfund. Mange arter enten dør eller får deres formeringsevne ødelagt, f.eks. vil pH-værdier under 5,5 kraftige forringelser i livsgrundlaget for flere fiskearter (Aborre og Gedde bl.a.), Flodkrebs og døgnfluer vil uddø bl.a. vil formeringen hos Skalle ødelægges /22/. Det lave pH-niveau for Madum sø vil derfor betyde ret artsfattige plante- og dyresamfund.



Figur 4.1.3. Sæsonvariationen i pH og alkalinitet for Madum sø 1989.

4.1.3.4. COD, suspenderet stof og glødetab af suspenderet stof

Året igennem var der lavt indhold af organisk stof i søvandet (COD), hvilket også ses af de lave værdier for indholdet af suspenderet stof og glødetabet af samme i tab. 4.1.3.. Værdierne er typiske for en meget næringssfattig sø som Madum sø.

4.1.3.5. 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.

Gennem hele året er søvandets indhold af Silicium ringe ($< 1 \text{ mg Si l}^{-1}$). Hele sommerperioden (1/5 - 30/9) lå siliciumindholdet under detektionsgrænsen ($0,1 \text{ mg Si l}^{-1}$), mens der for vinterperioden registreredes en gennemsnitlig siliciumkoncentration på $0,5 \text{ mg Si}$. I forhold til andre søer er disse niveauer meget lave ($4 - 5 \text{ mg Si l}^{-1}$) er ikke usædvanligt, og registreres ofte store maksima af kiselalger, hvis siliciumindholdet er koblet til en høj næringsstofbelastning.

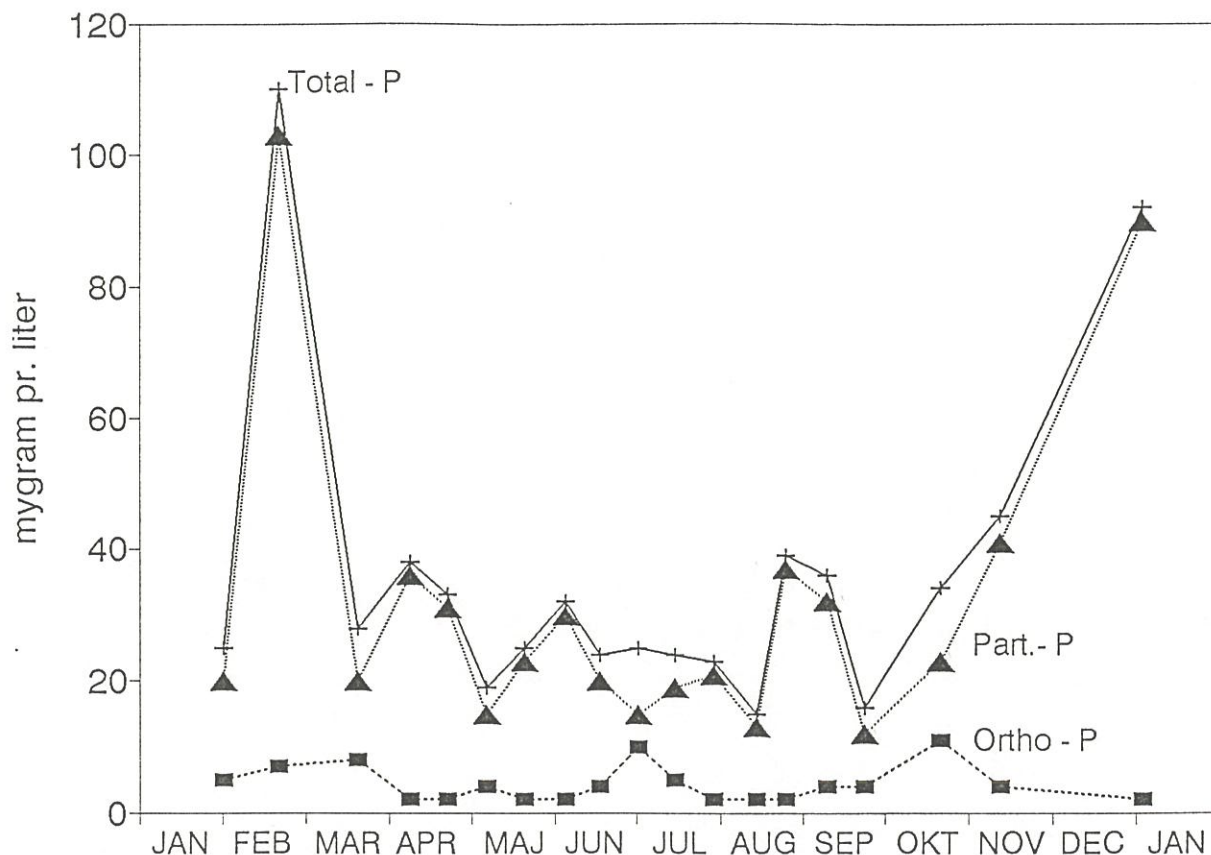
På grund af de lave næringsstofniveauer og det tilsvarende lave siliciumniveauet er kiselalgerne kun meget ringe omfang repræsenteret i Madum sø's algesamfund.

4.1.3.6. Fosfor

Året startede med en fem-dobling af mængden af total-fosfor fra januar til februar (fig. 4.1.4), hvorefter den faldt til et niveau omkring $30 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$ i marts. Resten i af foråret og sommeren igennem indtil august var der forholdsvis små udsving i niveauet. I august steg total-fosforniveauet pludseligt, hvilket kan korreleres til et mindre maksimum af furealger og chlorocale grønalger, hvorefter niveauet atter faldt i september. Herfra og året ud steg mængden af total-fosfor jævnt sammenfaldende med opbygningen af de store algemængder, først Mougotia sp. senere Chlorella sp. Vintergennemsnittet for total-fosfor er derfor næsten dobbelt så stort som sommergennemsnittet.

Det fremgår af figuren at mængden af frit opløst fosfat gennem hele året er lav ($> 10 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$). Al fosforet er således bundet som partikulært fosfor, dvs. algerne, 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.

Det generelle fosforniveau (tab 4.1.3.) er lavt og typisk for en oligotrof, d.v.s en lavproduktiv sø /4/.

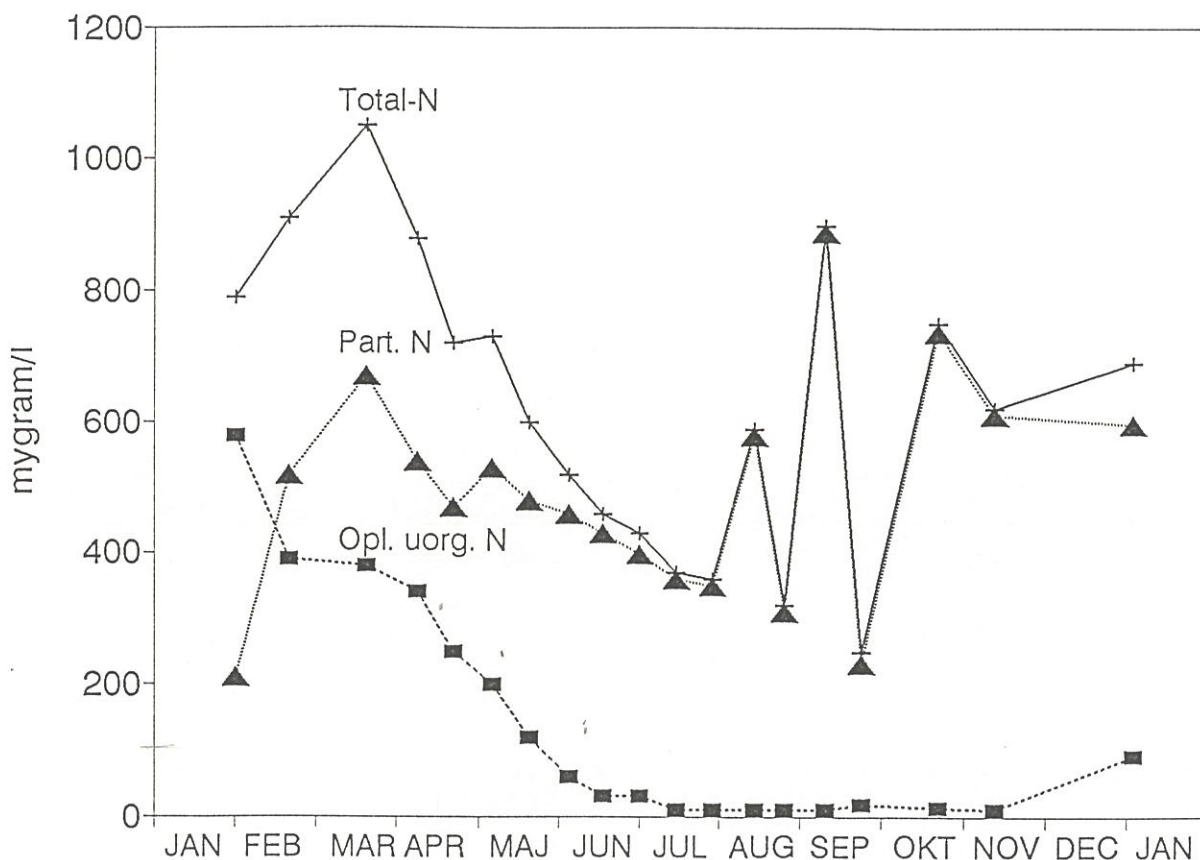


Figur 4.1.4. Sæsonvariationen i koncentrationerne af Total-fosfor, Opløst Uorganisk Fosfor (Ortho-P) og Partikulært bundet fosfor (beregnet som forskellen mellem Total-P og Ortho-P) i Madum sø 1989.

4.1.3.7. Kvælstof

Først på året var kvælstofniveauet højt med en forholdsvis stort overskud af opløst kvælstof (fig. 4.1.5). 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. Resten af året var mængden af opløst uorganisk kvælstof herefter ringe ($< 10 \mu\text{g N l}^{-1}$ detektionsgrænsen for begge fraktioner Ammoniak-N og Nitrat+Nitrit-N) trods store udsving i den samlede kvælstofmængde i søen. Stigningerne i juli, august og oktober faldt sammen med en række algemaksima, først et maksima domineret af chlorocale grønalger og furealger, dernæst forekomsterne af trådede grønalger i vandfasen og sidst opblomstringen af *Chlorella* sp.

For en oligotrof sø er kvælstofniveauet noget højt. Det fremgår dog af figuren, at al kvælstoffet i sommerperioden er bundet i den partikulære del, d.v.s. indbygget i algebiomassen.



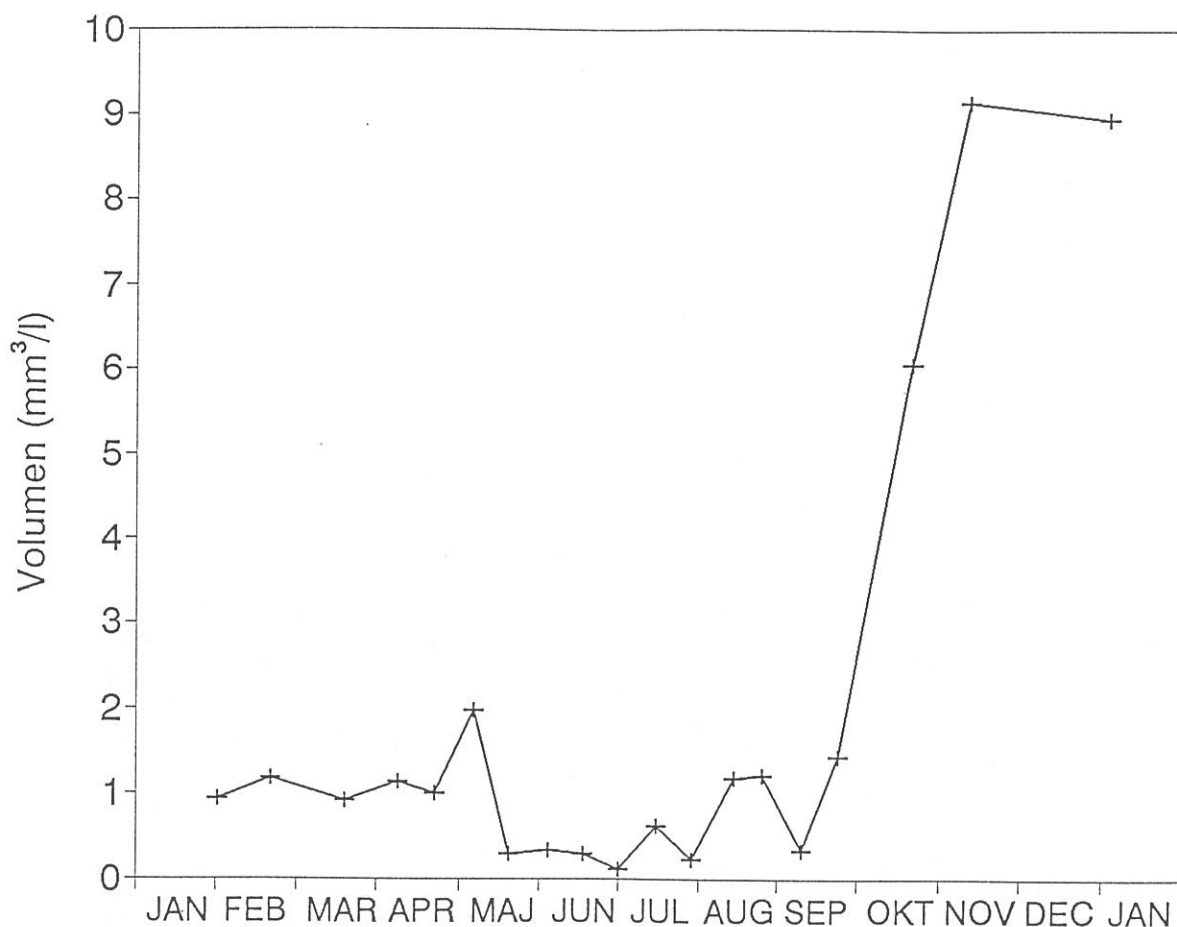
Figur 4.1.5. Sæsonvariationen i koncentrationerne af Total-Kvælstof, Opløst Uorganisk Kvælstof (beregnet som summen af Nitrat+Nitrit-N og Ammonium-N) og Partikulært Bundet Kvælstof (forskellen mellem Total-N og Opløst Uorganisk-N) i Madum sø 1989.

4.1.3. Biologiske undersøgelser

4.1.3.1. Planteplankton

I fig 4.1.6. er årstidsvariationen i det samlede algevolumen (= biomasse) vist. Figurens forløb følger nøje vandets indhold af klorofyl-a (fig. 4.1.2.), med et ret konstant algevolumen i vinteren og det tidlige forår afløst af et lille algevolumen i sommerperioden og den efterfølgende stigning i løbet af september og oktober.

Algesammensætningen og årstidsvariationen heri er illustreret ved de forskellige algeklassers procentvise andel af det samlede algevolumen året igennem (fig 4.1.7).



Figur 4.1.6. Sæsonvariation i planteplanktons total volumen i Madum sø 1989

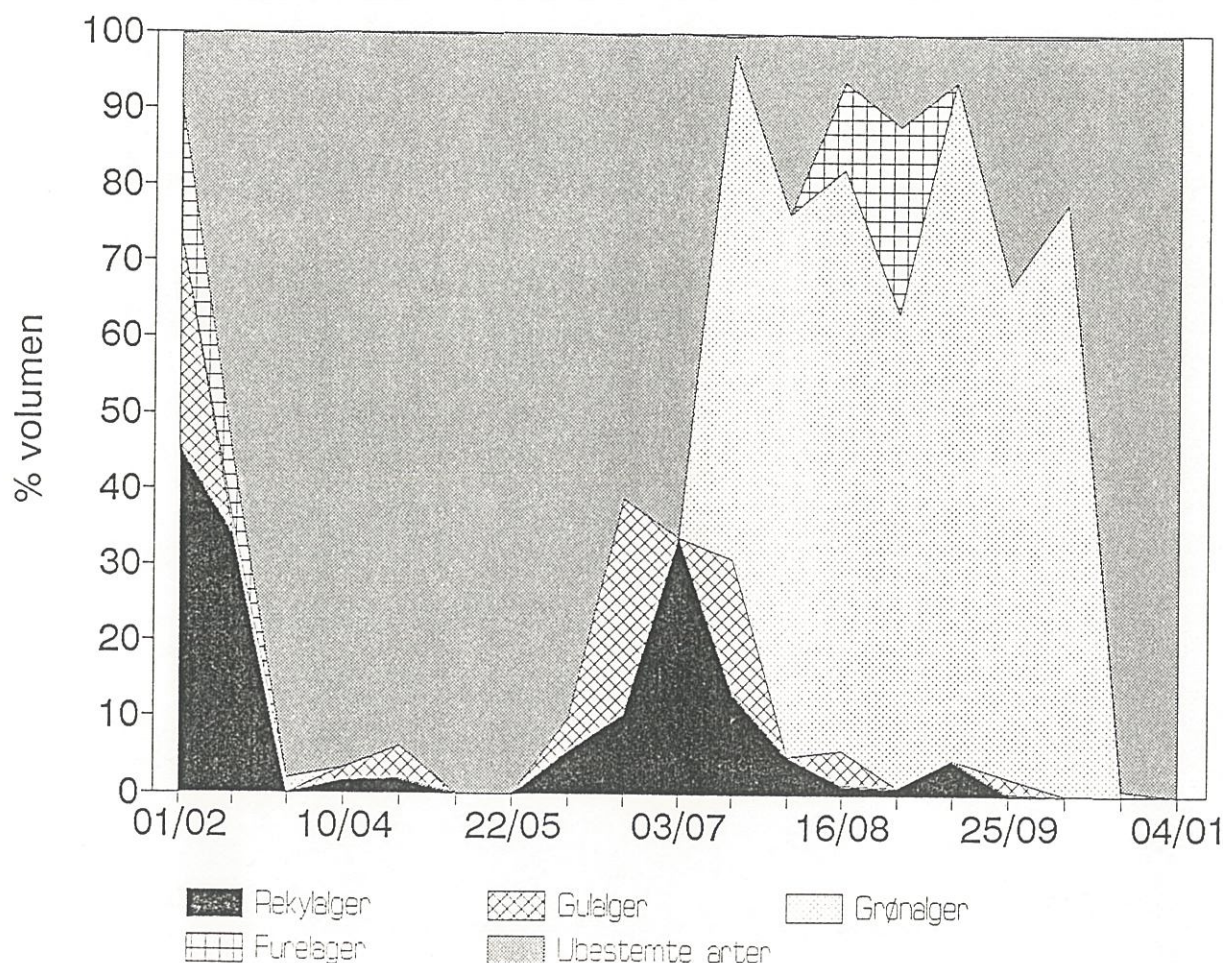
Algesamfundene først på året domineres af Rekyalger (slægten Cryptomonas) og Gulalger (Chrysococcus sp.) figur 4.1.7. De afløses af et maximum af små ubestemte arter ($< 10\mu\text{m}$), hvoraf arterne (hovedsageligt Chlorella sp.) $< 1\mu\text{m}$ dominerede ($> 90\%$ af det samlede volumen).

De kvantitativt små algesamfund i sommerperioden var domineret ubestemte arter $< 10\mu\text{m}$, men med markante indslag af Rekyalger (Cryptomonas sp.) og Gulalger (Chrysococcus sp.). De afløses i august af et markant, længerevarende maximum af slægten Oocystis med O. lacustris som den dominerende art. Dette maksimum klinger i september, hvorefter de markante forekomster af trådede grønalg af slægten Mougotia dominerer algesamfundet indtil november. Den trådede grønalg fra slægten Mougotia 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 trådede grønalg forsvinder hurtigt fra vandfasen og afløses af det markant, høje maximum af Chlorella sp., der optalt som ubestemte arter $< 1\mu\text{m}$ (0,001mm).

Året igennem var der tale om en forholdsvis lille artsdiversitet vekslende mellem 8-11 arter (apr/maj) og 20-27 arter i (juli-sept.).

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



Figur 4.1.7. Sæsonvariation i den relative andel af det totale algevolumen for Rekylalger, Gulalger, Grønalger, Furealger og Ubestemte Arter < 10 μ m udtrykt som procent af totalvolumen (NB! x-aksen er ikke udtegnet som en ægte tidsakse).

til opstigningen af *Mougotia* sp. i samme tidsrum. Den trådede 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 μ m³. I marts/april og fra det sene efterår var disse små grønalger den væsentligste primærproducent både

hvad angår celletal (op til 4 mio. celler pr. ml) og biomasse (op til ca. 70 mm³ 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 (mere effektiv næringstofoptagelse og lysabsorption) i forhold til større alger /20/. Samtidig synes Chlorella tilsyneladende kun i meget ringe omfang at være udsat for et græsningstryk fra f.eks. Hjuldyr /4/, hvilket yderligere fremmer vækstmulighederne.

4.2 Hornum sø

4.2.1. Sedimentforhold

Sedimentet i Hornum sø karakteriseres som gyttje med et højt vandindhold (91,4%) og ret lavt indhold af organisk stof (2,8%). samtidig er værdierne for Total-N og Total-P forholdsvis lave.

Tabel 4.2.1 Resultater af kemiske analyser af overfladesedimentet i Hornum sø vist som gennemsnit 9 prøver fordelt på 3 stationer (A, B og C).

Sediment 0 - 2 cm 27. september 1989		Hornum sø
Tørstof (TS)	%	8,6
Glødetab	% af TS	32,6
Total Kvælstof	g N/kg TS	13,3
Total fosfor	g P/kg TS	1,6
Adsorberet fosfor	g P/kg TS	0,035
Jernbundet fosfor	g P/kg TS	0,221
Calciumbundet fosfor	g P/kg TS	0,035
Organiskbundet fosfor	g P/kg TS	1,244
Calcium	g Ca/kg TS	2,597
Jern	g Fe/kg TS	7,813

På denne baggrund karakteriseres sedimentet i Hornum sø som ubelastet i forhold til andre danske søer /16/ og /17/.

Af tab. 4.2.1. beregnes endvidere et N/P-forhold på 8,3 i sedimentet.

Fe/P-forholdet i den øverste del af sedimentet beregnes til 4,9, hvilket er noget lavere end i de belastede søer refereret i /16/ og /17/. 17% af fosforet er bundet i de mobile puljer (Ads-P og Fe-P). Der således en stor andel af fosforet bundet i immobile puljer (Ca-P og Org-P) (efter /18/ og /19/).

Tages koncentrationerne i sedimentet og fordelingen af fosforet på de mobile og immobile puljer i betragtning, må den interne belastning m.h.t. fosfor vurderes til at være ubetydelig.

4.2.2. Belastningsforhold for Hornum sø

Til beregning af belastningsforholdene for Hornum sø er der anvendt data fra oplandet til Kærs Mølle å, som indgår i overvågningsprogrammet for vandløb og kilder (afsnit 7.8. i /10/), og Hornum sø indgår som nævnt i Kærs Mølle å's opland.

Arealbidrag:

Der er anvendt følgende data fra kildeopsplitningen på Kærs Mølle å-systemet (afsnit 7.8. i /10/), som Hornum sø tilhører:

Oplandsareal	13.386 ha
Middelaflstrømning	676 l s^{-1}
Arealbidrag kvælstof:	96.5 tons N/år
fosfor:	435 kg P/år

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

Areal specifik afstrømning =	$0,051 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$
Koncentrationer: Total kvælstof =	$4,527 \text{ mg N l}^{-1}$
Total fosfor =	$0,020 \text{ mg P l}^{-1}$

Herefter kan indsivningen til Hornum sø beregnes til $(789 \text{ ha} * 0,051 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}) = 40,2 \text{ l s}^{-1}$

En indsivning på $40,2 \text{ l s}^{-1}$ svarer til en årlig tilførsel af vand på $1,267 * 10^6 \text{ m}^3$ vand, hvilket giver søen en opholdstid på 3 mdr.

Den væsentligste fosfortilførsel til Hornum sø stammer fra den spredte bebyggelse, der omfatter nedslivningsanlæg trix- og septiktanke m.v., men også bidrag fra fritgående husdyr m.v. ialt 71% af den samlede tilførsel. Baggrundsbelastningen fra det åbne land er beregnet til at udgøre 26%.

Af den tilførte fosformængde forsvinder 13% ved udsivning resten akkumuleres i sedimentet og bindes til f.eks. jern, organisk stof etc.

Langt den væsentligste del af kvælstoftilførslen til Hornum sø stammer fra det åbne landskab, mens bidragene fra spredt bebyggelse og luften er ubetydelige. Kun en mindre del af det tilførte kvælstof fjernes via udsivning. Af den resterende del

(5,8 tons) akkumuleres en del biologisk i sedimentet. Den resterende del afgasser fra søen i form af frit kvælstof (N_2) som følge af denitrifikation. Forudsættes det, at sedimentationen af kvælstof følger fosforsedimentationen i samme forhold som N/P-forholdet i sedimentets øverste lag (8,3), kan det herefter beregnes at 0,7 tons N akkumuleres pr. år i sedimentet. Resten (5,1 tons) denitrificeres. Det svarer til en årlig denitrifikationsrate på $23 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, som er sammenlignelig med denitrifikationsrater fra andre danske søer /11/.

Tabel 4.2.2. Belastningsopgørelse for Hornum sø

	N		P	
	tons N/år	%	kg P/år	%
Arealbidrag	5,7	92	25,4	26
Spredt bebyggelse	0,2	3	70,7	71
Luftbidrag	0,3	5	3,4	3
Total tilførsel	6,2	100	99,5	100
Fraførsel	0,4	6	12,7	13
Netto tilførsel	5,8	94	86,8	87

Udfra tab. 4.2.2. kan der for søen endvidere beregnes arealspecifikke belastningstal for kvælstof og fosfor svarende til henholdsvis $28 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ og $0,5 \text{ g P m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Begge noget lave værdier i forhold til f.eks. Dons Nørre sø og Søgård sø /17/ og et gennemsnit af 58 eutrofierede danske søer /11/, men ca. en faktor 10 højere for begge parametre end belastningen i Madum sø.

Hornum sø karakteriseres derfor som en let belastet sø i forhold til de ovennævnte søer og Madum sø (afsn. 4.1.2.).

I lighed med Madum sø er massebalancen og belastningsopgørelsen for Hornum sø behæftet med en vis usikkerhed, p.g.a. formen opgørelserne er foretaget på. Det er dog fremgået, at de beregnede estimater er i god overensstemmelse med resultaterne fra andre undersøgelser, og sammenlignes de med resultaterne fra Madum sø, må de estimerede opgørelser vurderes til at karakterisere søens belastningsforhold rimeligt godt.

4.2.3. Vandkemiske og fysiske undersøgelser

Med maximumsvanddybde på kun 2,6m og en gennemsnitsdybde på 1,46 m, sker der ikke nogen lagdeling af Hornum sø på noget tidspunkt i løbet af året. Søen er fuldstændigt opblandet året igennem. Der

blev derfor heller ikke ved feltmålingerne af temperatur, ilt og pH konstateret større forskelle mellem overflade- og bundvand.

Alle prøver til vandkemiske og -fysiske analyser er udtaget på hovedstationen som blandingsprøver af vand fra følgende dybder 0.2m, 1.0m og 2.0m.

En oversigt over de vandkemiske forhold er givet i tabel 4.2.3 som gennemsnitsværdier for sommerperioden (1/5-30/9), vinterperioden (1/12/88-31/3/89) og endelig for hele året.

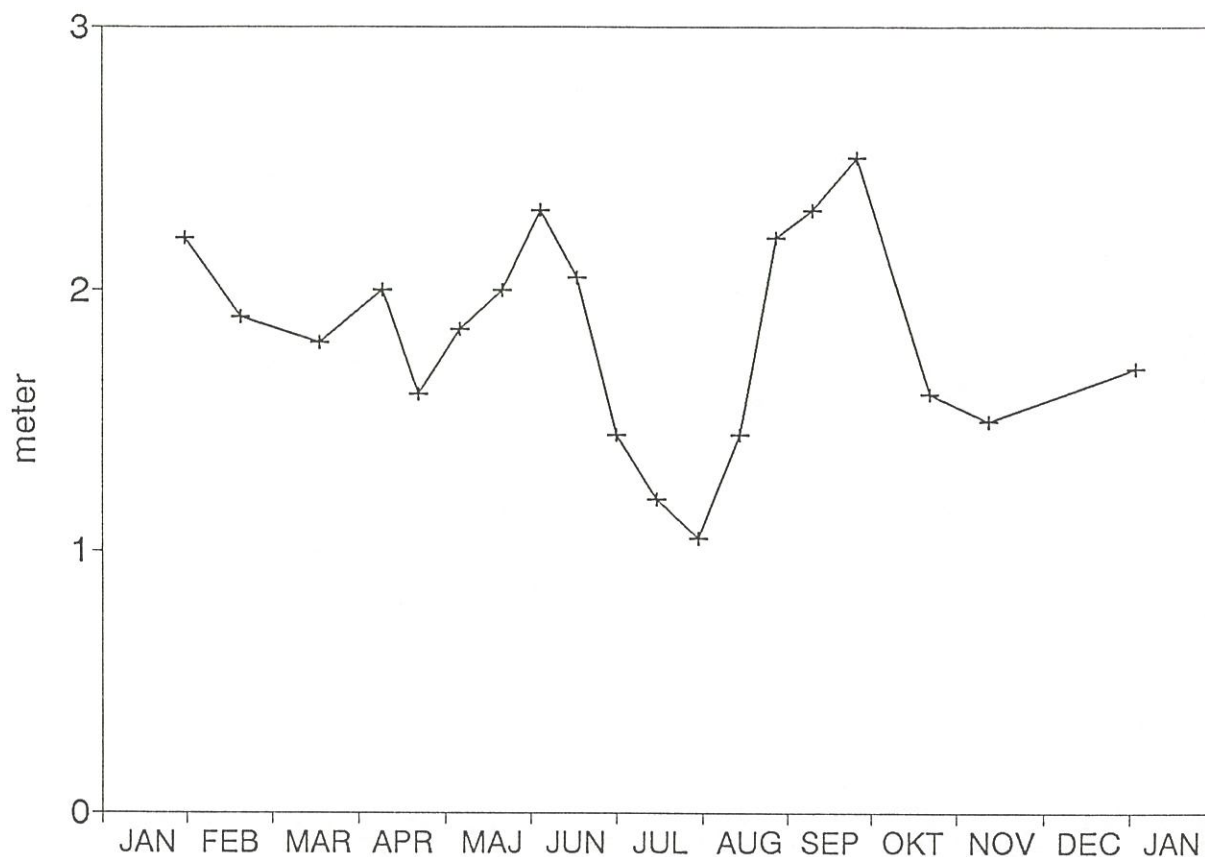
Tabel 4.2.3 Oversigt over vandkemi og fysiske målinger i Hornum sø 1989 (beregnet som tidsvægtede gennemsnit).

	Sommergns. 1/5-30/9	Vintergns. 1/12-31/3	Årsgns.
Sigtdybde (m)	1,81	2,03	1,84
Total fosfor ($\mu\text{g/l}$)	66	59	65
Opløst fosfat ($\mu\text{g/l}$)	6	18	10
Partikulært P ($\mu\text{g/l}$)	60	41	55
Total Kvælstof ($\mu\text{g/l}$)	943	1247	1068
Nitrat+nitrit-N ($\mu\text{g/l}$)	66	560	249
Ammonium-N ($\mu\text{g/l}$)	19	55	40
Opl. uorg. N ($\mu\text{g/l}$)	85	615	289
Partikulært-N ($\mu\text{g/l}$)	858	631	779
Part.-N/Part.-P	14,3	15,4	14,2
Klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)	23	11	17
pH	6,51	6,36	6,51
Alkalinitet (mmol/l)	0,17	0,39	0,40
Silikat (mg/l)	0,13	0,21	0,26
Susp. Stof SS (mg/l)	5	5	5
Glødetab af SS (mg/l)	< 5	< 5	< 5
Part. COD (mg/l)	19	16	18

4.2.3.1. Sigtdybde

Fra januar til juni lå sigdybden konstant omkring 2 m med ret små udsving (fig 4.2.1), hvorefter den i løbet af en måned faldt til 1 m i slutningen af juli. Dette fald i sigtdybden faldt sammen med opbygningen af det store maksimum af blågrønalger omkring månedsskiftet juli/august, hvor der blev konstateret vandblomst af flere arter af slægten Anabaena. Herefter steg sigtdybden atter til årets maksimumsværdi 2,5m i slutningen af september, hvorefter den atter faldt til ca. 1,8 m, hvor den holdt sig året ud. Svingningerne i sigtdybden følger ikke

variationerne i vandets indhold af klorofyl-a og algemængderne (målt som volumen) synkront, men er istedet noget dæmpet af vandets brune farve som skyldes et højt indhold af humusstoffer, der gør vandet uklart. Der er derfor ikke stor forskel i sommer- og vintersigtdybden (0,2 m, tab. 4.2.3.).

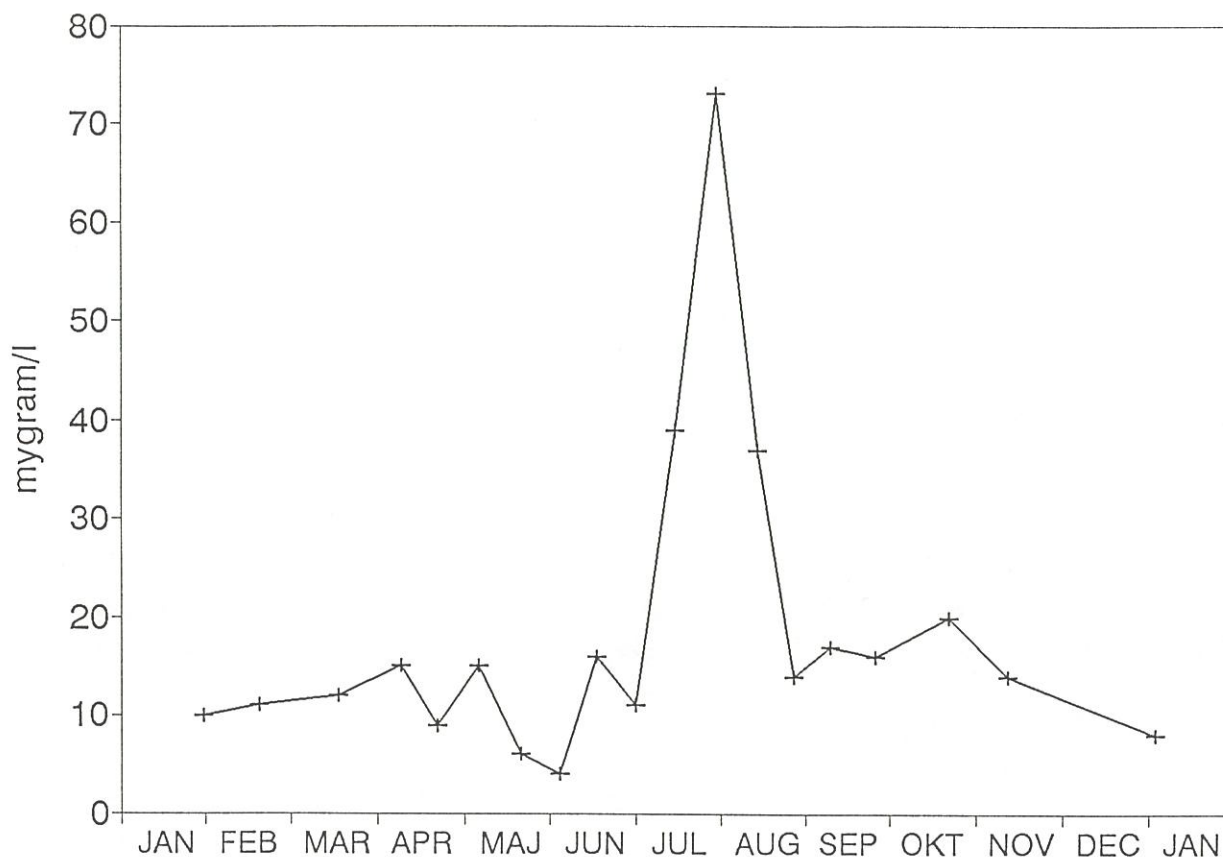


Figur 4.2.1. Sæsonvariation i sigtdybden for Hornum sø 1989.

4.2.3.2. Klorofyl-a

Sæsonvariationen i algerne biomasse udtrykt ved klorofyl-a (fig. 4.2.2.) viser året igennem omvendt korreleret forløb i forhold til sigtdybden, således at de laveste sigtdybder iagttages ved høje klorofyl-a koncentrationer.

Vinteren igennem og hele foråret var klorofyl-a koncentrationen forholdsvis lav med et lille maxima i begyndelsen af april, der afløstes af et minimum i en periode, hvor søen tilsydelende var fosforbegrænset (fig. 4.2.4). Senere i maj sås et mere markant maxima. Ved månedsskiftet maj/juni kolliderer algepopulationerne og efterfølges af en eksponentiel stigning i klorofyl-a indholdet frem slutningen af juli, hvor årets maksimumsværdi på $73 \mu\text{g Chl.a. l}^{-1}$ nås. I løbet af august klinger dette maximum af og året ud ses en jævnt faldende koncentration med et lille maximum i oktober.



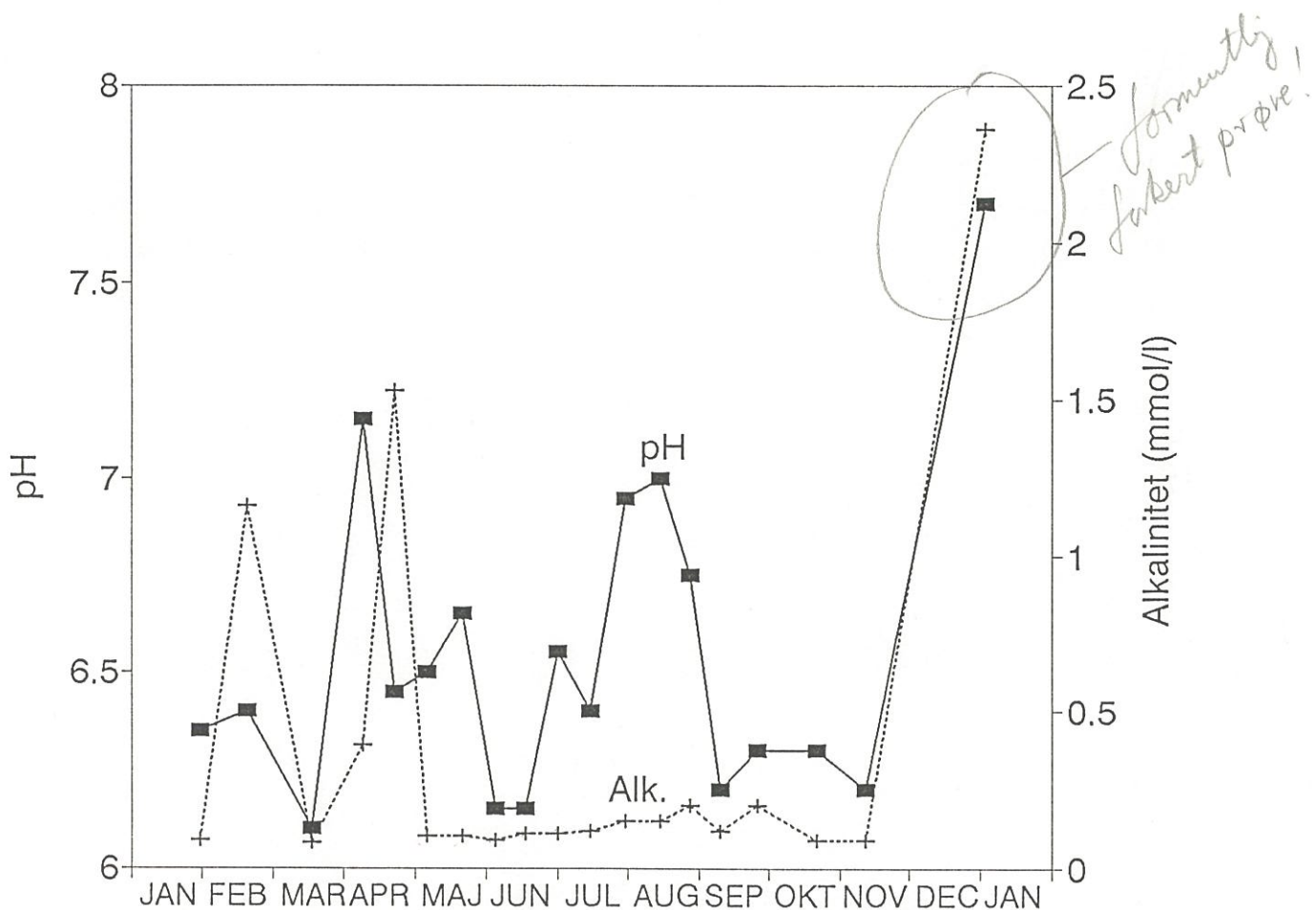
Figur 4.2.2. Sæsonvariation i vandets indhold af Klorofyl-a for Hornum sø 1989.

4.2.3.3. pH og alkalinitet

Målinger af pH (måles som logaritmen til brintionkoncentrationen H^+) og alkaliniteten er essentielle for klassifikationen af søer. Idet mange stoffers opløselighed og tilgængelighed er direkte afhængig af pH. pH påvirker derfor mange biologiske og kemiske processers forløb og retning. pH er for en stor del afhængig af alkaliniteten, der er defineret som vandets bufferkapacitet, hvis variationer skyldes biologisk aktivitet (fotosyntese og respiration).

Hornum sø er en svagt sur sø med en gennemsnitsværdi for sommerperioden på 6,51 og 6,36 for vinterperioden. Disse gennemsnitsværdier dækker dog over store variationer indenfor begge perioder. I vinter- og forårsperioden svingede pH med $\frac{1}{2}$ pH-enhed (svarer forskelle i koncentrationen af H^+ til en faktor 10) omkring 6,5. Udsvingene i pH i april og maj var korreleret til to på hinanden følgende maksima, hvorefter der var en periode med ret lav pH i søen. I denne periode var ret stor overensstemmelse mellem udsvingene i pH og alkalinitet. Fra maj og til og med november var alkaliniteten i søen konstant lav omkring $0,15 \text{ mmol l}^{-1}$. Søen havde således en ringe bufferkapacitet i

denne periode ($0,17 \text{ mmol l}^{-1}$, mens der i denne periode skete ret store udsving i pH, igen korreleret til algevæksten med det markante sammenfald af stigningen i pH og opvæksten af blågrønalger i juli/august. Fra november til januar 1990 sker der en brat stigning (svarende til en faktor 100 i forskel på brintionkoncentrationerne) i både pH til 7,7 og alkaliniteten til mere end 2 mmol l^{-1} . En stigning som ikke umiddelbart kan forklares med baggrund i ændringer i søens øvrige forhold, idet der ikke samtidig registreres ændringer i næringsstofkoncentrationer eller den biologiske aktivitet, der indikerer f.eks. en tilledning af overfladevand.



Figur 4.2.3. Sæsonvariation i pH og alkalinitet for Hornum sø 1989.

4.2.3.4. COD, Suspenderet Stof og Glødetab af suspenderet stof.

Værdierne for Suspenderet stof og Glødetabet af det suspendere stof (dvs. dets indhold af organisk stof) var stort set konstante over hele året med værdier $< 5 \text{ mg l}^{-1}$, detektionsgrænsen) hele året igennem.

For målingerne af COD (det kemiske iltforbrug ved nedbrydningen

af det organiske stof) var en variation som koblet til algemængderne, således at de højeste værdier for COD ($27 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) optrådte i forbindelse med blågrønalgemaximaet i juli/august.

Det bemærkes endvidere at ændringerne i pH og alkalinitet i slutningen af 1989 ikke var fulgt af ændringer i de tre variable (der var således næppe tale om tilførsler af vand rigt på organisk stof eller næringsstoffer). Iøvrigt er værdierne lave set i forhold til andre let belastede søer, men væsentligt højere end ubelastede søer (Madum sø) for COD's vedkommende.

4.2.3.5. Silicium

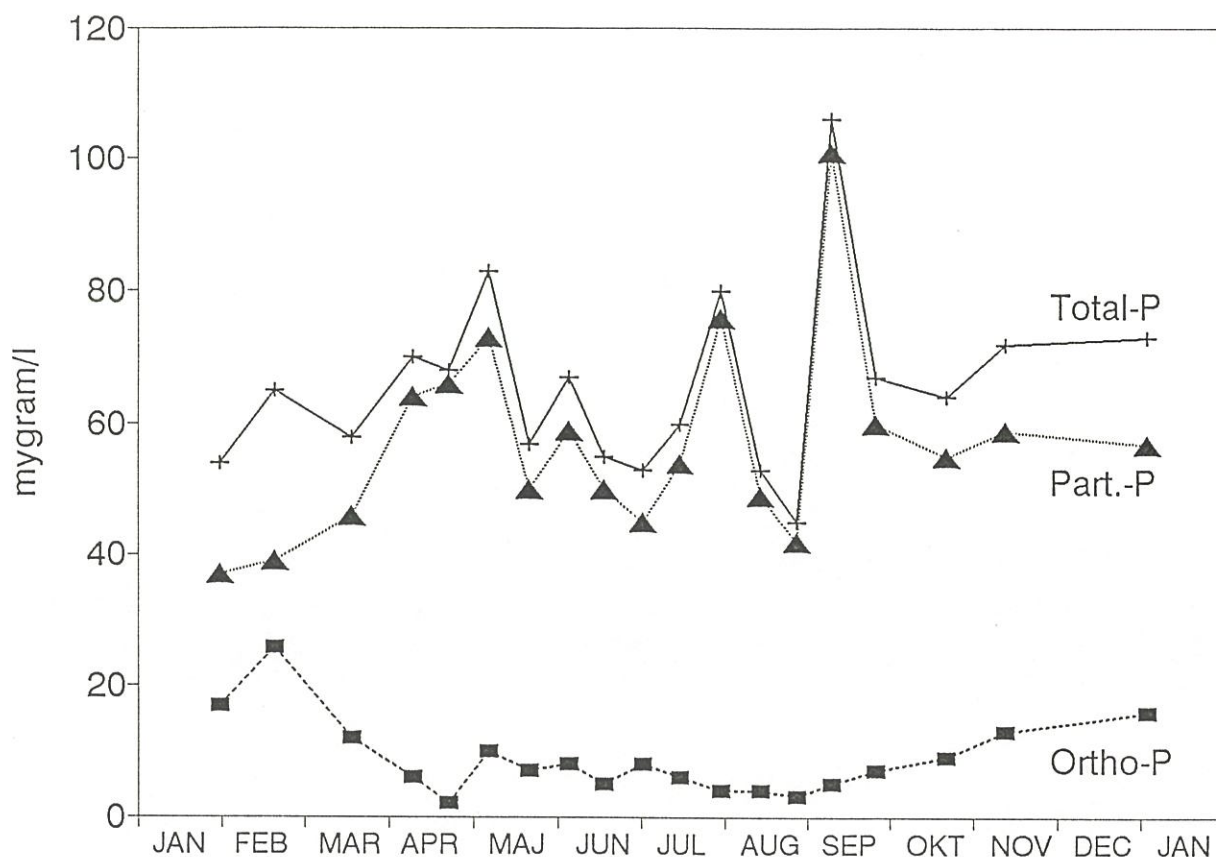
Siliciumværdierne for Hornum sø er meget lave både sommer og vinter ($<0,3 \text{ mg Si l}^{-1}$). Der kan p.g.a. de lave koncentrationer, derfor ikke kan forventes markante indslag af kiselalger i Hornum sø's algesamfund, da Silicium ved disse koncentrationer virker begrænsende på kiselalgernes vækst. De er da også kun registreret i et meget lille omfang under de kvalitative og kvantitative opgørelser.

4.2.3.6. Fosfor

I starten af året var der et forholdsvist højt overskud af opløst uorganisk fosfor (ortho-P), som dog hurtigt reduceres ved den stigende aktivitet fra algerne under opbygningen af de første maxima. Fra marts og frem til juli er der dog stadig et overskud af opløst fosfat ($5-10 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$), som er tilgængeligt for algerne.

Først under opbygningen det markante maxima af kvælstoffixerende blågrønalger i juli/august og det efterfølgende maximum af desmidiaceer opsluges den sidste rest af opløst uorganisk fosfor. Det behøver dog ikke betyde, at søen er fosforbegrænset i denne periode, idet algerne har en såkaldt luxusoptagelse af fosfor, der kan anvendes under perioder med fosformangel, og samtidig foregår der en meget hurtig omsætning af det fosfor, der frigøres ved mineralisering i vandfasen. Det fremgår heraf, at fosfor er yderst vanskelig at vurdere vækstbegrænsende faktor. Mod slutningen af året aftager den biologiske aktivitet, og der kan atter iagttages et lille overskud af opløst fosfat.

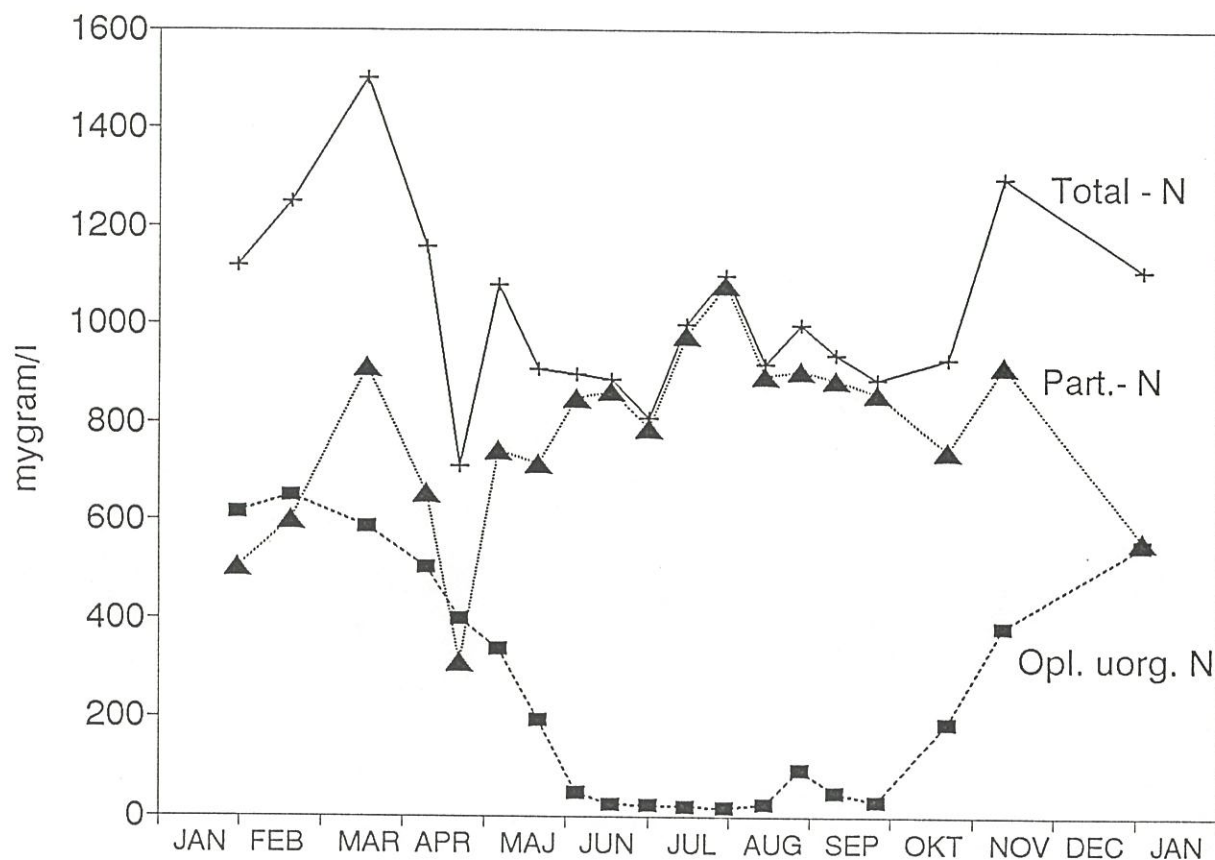
Niveauerne karakteriserer Hornum sø som en svagt eutrof sø /4/.



Figur 4.2.4. Sæsonvariationen i koncentrationerne af Total fosfor, Partikulært fosfor og Opløst uorganisk fosfat (Ortho-P) i Hornum sø 1989.

4.2.3.7. Kvælstof

I begyndelsen af året iagttages en stigning i koncentrationen af Total-N og Part-N (fig. 4.2.5), hvorefter de falder jævnt hen i april, hvor et algeminimum iagttoges. Fra maj og herefter er kvælstofniveauet stort set konstant omkring $900 \mu\text{g N l}^{-1}$ med et maximum i juli/august, hvor der forekom vandblomst af kvælstoffixerende blågrønalger hovedsageligt af arten *Anabaena flos-aquae*. Fra slutningen af september og året ud stiger kvælstofniveauet atter i forbindelse med en øget afstrømning under nedbør. Det fremgår endvidere, at al kvælstoffet i sommerperioden ligger i den partikulære fraktion (dvs. inkorporeret i algebiomasse), hvilket indikerer at kvælstof i denne periode har været begrænsende for algeproduktionen, og dermed favoriseret opblomstringen af kvælstoffixerende blågrønalger.



Figur 4.2.5. Sæsonvariationen i koncentrationerne af Total-kvælstof, Partikulært kvælstof og Opløst uorganisk kvælstof i Hornum sø 1989.

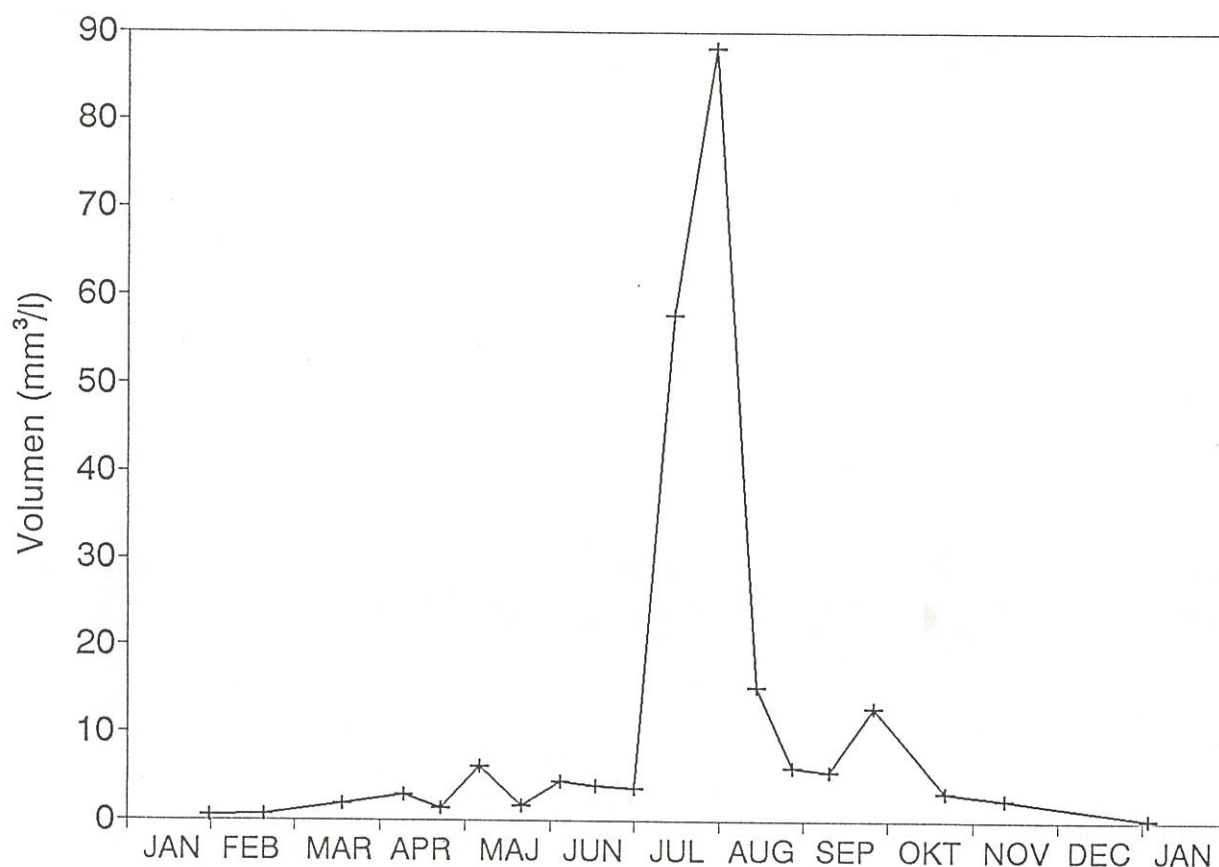
4.1.3. Biologiske undersøgelser

4.1.3.1. Planteplankton

Årstidsvariationen i volumen og den relative artssammensætning af Hornum sø's planktonalgesamfund er vist i fig 4.2.6. og fig. 4.2.7.

I hovedparten af året er algevolumen i Hornum sø forholdsvis lille ($< 5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$), når ses bort fra tre markante, men kortvarige maxima i april/maj, juli og slutningen af september. Herudover kan der iagttages et lille maxima i begyndelsen af april. Iøvrigt forløber figuren stort set synkront med kurven over Klorofyl-a koncentrationen (fig. 4.2.2.).

I årets første måneder domineres algesamfundene af Gulalger (*Mallomonas caudata* og *Chrysococcus* sp.) med et stigende indslag af Grønalger (den lille stavformede grønalge *Koliella longiseta*) og en kortvarig opvækst af Rekyalger (*Cryptomonas* sp.) i marts.



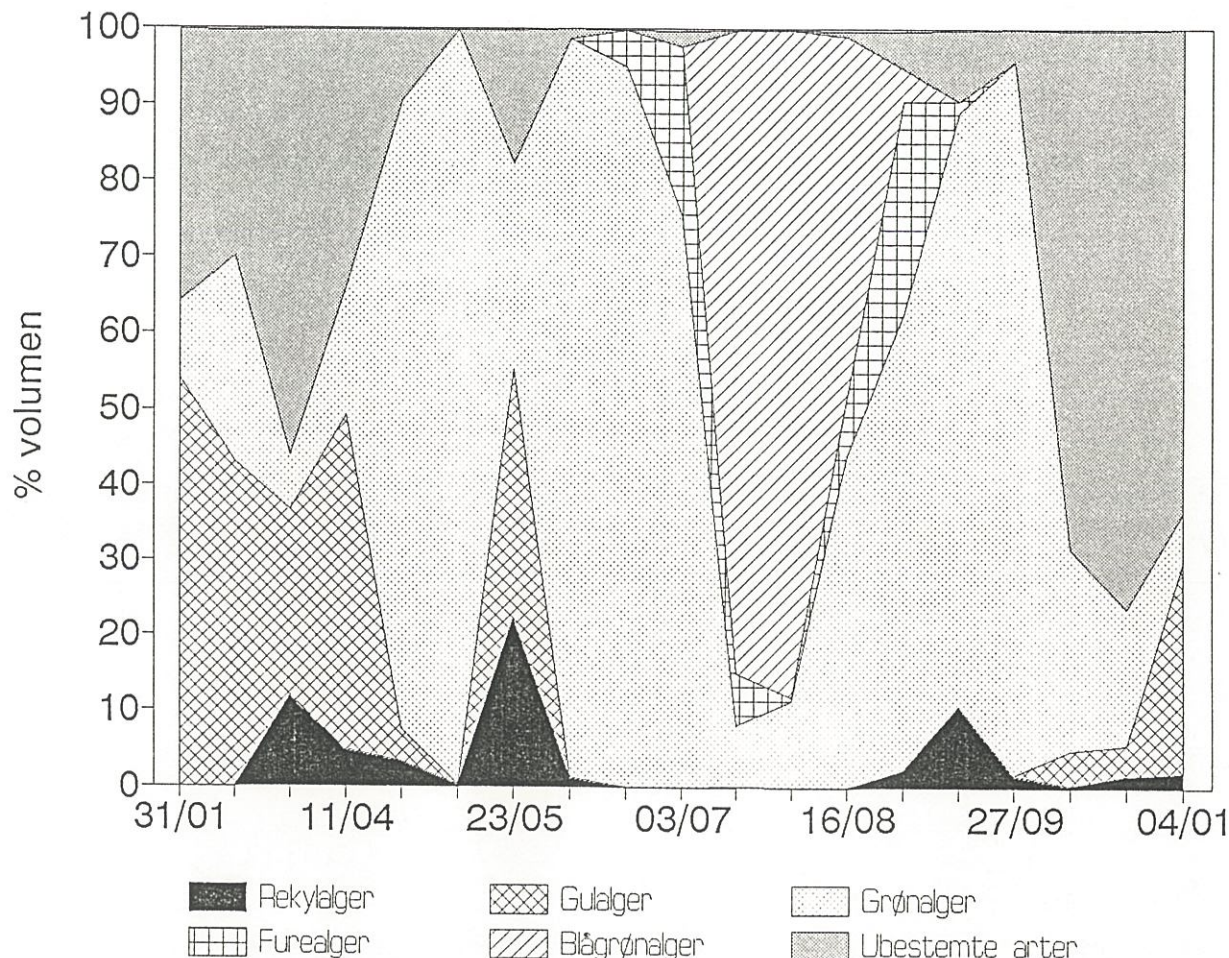
Figur 4.2.6. Sæsonvariation i planteplanktons total volumen i Hornum sø 1989

Det markante maximum i algevolumen i begyndelsen af maj domineres fuldstændigt af Grønalger, hvoraf desmidiaceen Staurastrum paradoxum udgør ca. 95 af det samlede volumen. S. paradoxum forsvinder fuldstændigt i løbet af den følgende 14-dages periode, og afløses af et kvantitativt lille algesamfund, der var domineret af grønalgen Sphaerocystis schroëteri, Gulalgen Dinobryon cylindricum og Cryptomonas sp.

Bedømt ud fra biomassen synes der i juni at være ret lille aktivitet i algesamfundet, der i det væsentligste består af Grønalger med et stigende indslag af Furealgen Ceratium hirundinella. Inden for den taxomiske klasse Grønlager (Chlorophyta) sker der et hurtigt skift i de to ordner (Chlorococcales og Volvocales) indbyrdes dominansforhold (fig 4.2.8.). De to ordner adskiller sig ved at flertallet af arter tilhørende Chlorococcales er ubevægelige og indikerer god adgang til næringsstoffer, mens arterne indenfor ordenen Volvocales i det væsentligste i selvbevægelige (bortset fra familien Desmidiaceae), og dermed indikerer en ringere adgang til næringsstoffer.

Det markante maximum af Sphaerocystis schroëteri (Chlorococcales) klinger hurtigt af i slutningen af juni og afløses i

begyndelsen af juli af et tydeligt desmidiacémaximum bestående af Staurostrum planctonicum og S. brachiatum (Volvocales).

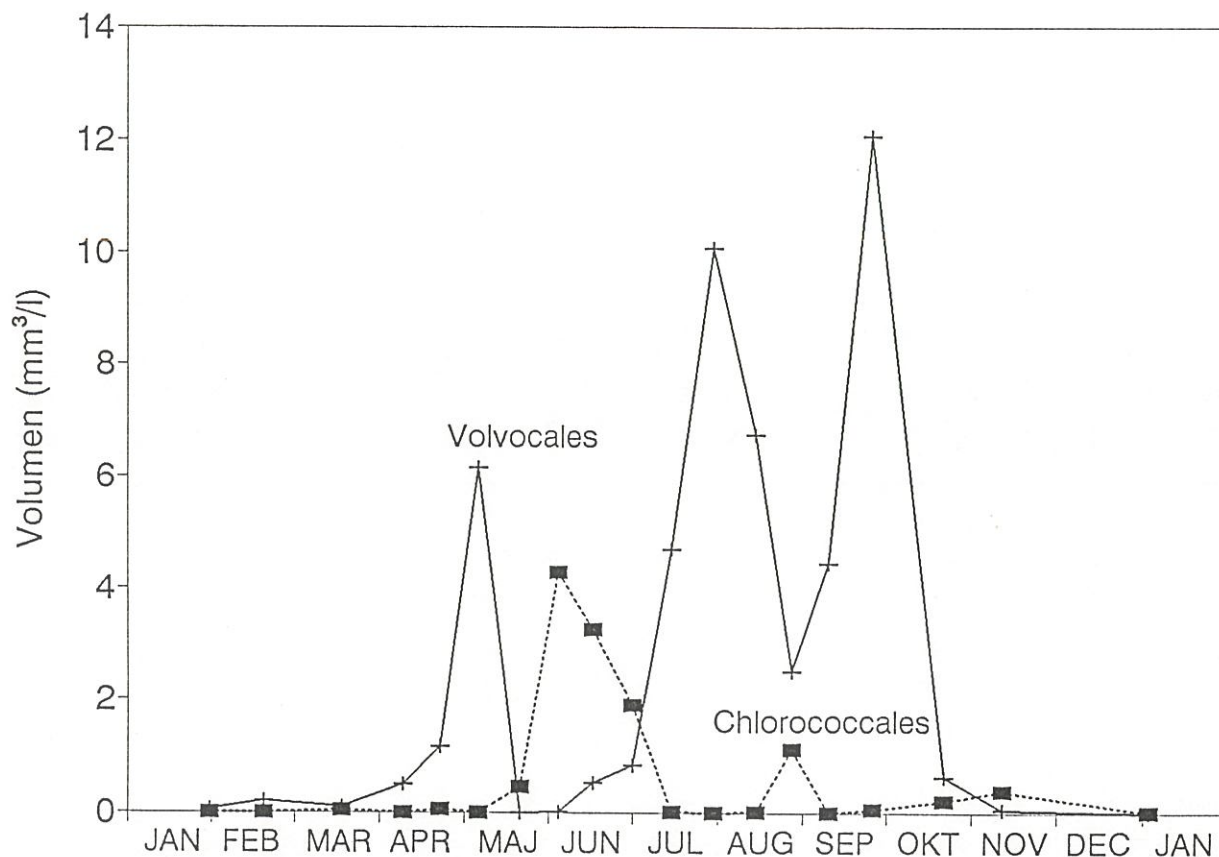


Figur 4.2.7. Sæsonvariation i den relative andel af det totale algevolumen for Rekylalger, Gulalger, Grønalger, Furealger, Blågrønalger og Ubestemte Arter < 10 μ m udtrykt som procent af totalvolumen (NB! x-aksen er ikke udtegnet som en ægte tidsakse).

Omkring den 1. august registreres årets største totale algebiomasse som falder sammen med årets maximumskoncentration af Klorofyl-a. Her blev der iagttaget en markant opvækst af Blågrønalger, der var domineret af de kvælstoffixerende arter indenfor slægten Anabaena. Herudover var der stadig et markant indslag af desmidiacéer, idet S. planctonicum her nåede sin højeste biomasse, mens S. brachiatum ikke længere var af kvantitativ betydning.

Blågrønalgerne forsvinder hurtigt ud af Hornum sø, og frem mod månedsskiftet sept./okt. domineres algesamfundene af Furealger Ceratium hirundinella og chlorocale grønalger, der var repræsenteret ved et nyt desmidiacémaximum domineret Staurodesmus dejectus.

I årets sidste måneder ses et stigende indslag af ubestemte arter (hovedsageligt *Chlorella* sp.), samtidig med en stigende repræsentation af Reekyllalger (*Cryptomonas* sp.) og Gulalgerne optræder atter.



Figur 4.2.8. Sæsonvariation i forekomsten volvocale og chlorocale grønalger givet ved volumen i Hornum sø 1989.

5. TIDLIGERE UNDERSØGELSER

5.1. Madum sø

På trods af Madum sø's åbenbare naturvidenskabelige interesse foreligger der kun få publicerede undersøgelser af søen, der dels har specielle temaer (f.eks. /23/), og samtidig er de ikke umiddelbart sammenlignelige med de indsamlede data i 1989.

Fra det amtslige recipienttilsyn foreligger to tidsserier over vandkemien, én fra 1975 og én fra 1980, hvor det er muligt at beregne gennemsnitsværdier for de vigtigste parametre i sommerperioden (tab. 5.1). Herudover er der i de mellemliggende perioder et meget ekstensivt tilsyn, hvor der er udført en til to eller ingen prøvetagningsrunder hvert år. Data herfra kan ikke indgå i en sammenligning med de indsamlede data fra overvågningsprogrammet p.g.a. den manglende kontinuitet i tilsynet.

Desuden foreligger der fra 21. august 1975 en undersøgelse af de to øverste cm af sedimentet. Resultaterne heraf er til sammenligning med resultaterne fra 1989 opført i tabel 5.2.

Sommergennemsnitsværdierne for tidsserierne i 1975 og 1980 samt de tilsvarende værdier for 1989 er opført i tab. 5.1.1. Det fremgår at der 1975 ikke kunne beregnes gennemsnitsværdier for pH, klorofyl-a og sigtdybden.

Tabel 5.1.1. Oversigt over vandkemiske og fysiske målinger (vist som tidsvægtede gennemsnit for sommerperioden (1/5-30/9) fra tidligere undersøgelser og 1989 i Madum sø.

	1975 (n=3)	1980 (n=6)	1989 (n=11)
pH	-	4,96	5,38
Sigtdybde (m)	-	3,30	6,34
Total fosfor ($\mu\text{g/l}$)	67	29	26
Total kvælstof ($\mu\text{g/l}$)	562	357	517
Klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)	-	5	4

For næringssaltene sker der tilsyneladende nogle markante skift i koncentrationsniveauerne - en halvering af fosfor- og kvælstofniveauet fra 1975 til 1980. Disse ændringer er dog ikke statistisk signifikante (Mann-Whitney U-test $P > 5\%$ /24/), p.g.a. stor variation i analyseresultaterne og det lille prøveantal i 1975.

Tilsvarende gælder det for ændringen i kælstofniveauet fra 1980 til 1989 at det ikke er statistisk signifikant p.g.a. for stor spredning på analyseresultaterne. Her ses også, at pH-niveauet er uændret, og at den gennemsnitlige sommerkoncentration af klorofyl-a er ens for de to tidsserier. Ligeledes anses sigtdybden for at være ens i de to år, da målingerne i 1980 svarer til totaldybden på de anvendte stationer, således at den egentlige sigtdybde ikke har kunnet registreres.

Resultaterne fra sedimentundersøgelserne indikerer at der er 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. Det kan forklares ved, at en stigende sedimentation af organisk stof (dvs. alger) vil nedsætte tørstofindholdet. Samtidig stiger glødetabet som følge af sedimentationen af organisk stof, og næringssaltindholdet i det sedimenterede og ophobede stof vil få indholdet af N og P i sedimentet til at stige.

Tabel 5.1.2. Oversigt over resultater af sedimentundersøgelser i 1975 og 1989.

Madum sø sediment 0 - 2 cm		21/8/75 (n=2)	30/8/89 (n=9)
Tørstof	% af vådvægt	20,5	8,9
Glødetab	% af TS	15,1	31,5
Total-N	g N/kg TS	5,28	14,0
Total-P	g P/kg TS	1,13	2,4

Det blev tidligere konkluderet at risikoen for en intern belastning af Madum sø ved frigivelse af fosfor fra sedimentet var ubetydelig, idet langt den største del af fosforet er bundet i de immobile puljer. Fortsætter denne ophobning af fosfor vil denne risiko naturligvis øges, og da Madum sø i forvejen er lavt belastet kan de biologiske konsekvenser af selv en lille intern belastning i den sidste ende vise sig at være betydelige. Denne udvikling bør naturligvis følges nøje.

På denne baggrund vurderes udviklingen i Madum sø's tilstand m.h.t. kvælstofkoncentrationen i søvandet og ophobningen af næringsstoffer i sedimentet til betyde en forringelse i søens naturforhold.

Årsagen til disse ændringer skal sandsynligvis søges i den stigende belastningsandel (30% af den totale belastning af Madum sø) fra nedbør og nedfald fra atmosfæren /26/. Idet der m.h.t. koncentrationsniveauerne i det tilstrømmende grundvand formentlig ikke er sket ændringer, der skulle medføre de registrerede forskelle i søens sediment- og vandkemiske forhold.

5.2. Hornum sø

Fra det amtslige tilsyn med Hornum sø foreligger en enkelt tidsserie fra 1981. Herudover er der både før og i den mellemliggende periode op til 1989 gennemført et meget omfattende tilsyn med søen varierende fra 0 til 2 besøg pr. år. Resultaterne er herfra er m.h.t. frekvensen, at de ikke kan danne grundlag for vurderinger på udviklinger i søens kemiske og biologiske tilstand.

Det fremgår af tabel 5.2.1 at næringsaltniveauerne og pH er uændrede i 1989 i forhold til 1981. Det ses endvidere at der er sket en markant forbedring i sigtddybden parallelt med et fald i klorofyl-a. Der måtte i 1981 indføres badeforbud i Hornum sø p.g.a. et længerevarende blågrønalgemaxima, som strakte sig fra midt i juli til primo oktober, hvor sigtddybden i samme periode konstant var mindre end 1m. Samtidig registreredes der også et

højt forårsmaximum i april. Dette imodsetning til 1989, hvor der kun registreredes et kortvarigt algemaximum i juli/august. Denne udvikling må betegnes som en bedring i søens biologiske forhold. Det skal dog anføres at en statistisk behandling af de to variable ikke viste nogen signifikant forskel (Mann-Whitney U test, $P > 5\%$) på sigtdybden og klorofyl-a indholdet i Hornum sø.

Tabel 5.2.1. Oversigt over vandkemiske og fysiske målinger (vist som tidsvægtede gennemsnit for sommerperioden (1/5-30/9) fra en tidligere undersøgelse i 1981 og 1989 i Hornum sø.

	1981 (n=7)	1989 (n=11)
pH	6,65	6,51
Sigtdybde (m)	1,28	1,80
Total fosfor ($\mu\text{g/l}$)	55	66
Total kvælstof ($\mu\text{g/l}$)	1069	846
Klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)	31	23

Der blev i 1975 taget en sedimentprøve midt i søen. Resultatet af laboratorieanalyserne herfra i listet i tab. 5.2.2., hvor de tilsvarende analysereultater fra 1989 er medtaget til sammenligning.

Det fremgår af tabellen at værdierne for alle variable ikke har undergået ændringer over den forløbne 15 års periode (idet der tages hensyn til at 1975 kun er repræsenteret ved en enkelt prøve i modsætning til 9 i 1989), faktisk er de bemærkelsesværdigt ens.

Tabel 5.2.2. Oversigt over resultater af sedimentundersøgelser i 1975 og 1989.

Hornum sø sediment 0 - 2 cm		10/9/75 (n=1)	27/9/89 (n=9)
Tørstof	% af vådvægt	12,9	8,6
Glødetab	% af TS	31,8	32,6
Total-N	g N/kg TS	12,2	13,3
Total-P	g P/kg TS	1,84	1,3

6. SAMLET VURDERING AF RESULTATER I 1989

På trods af de store usikkerheder i måden hvorpå opgørelserne over begge søers vand- og massebalanceforhold blev opgjort på, synes der at være en rimelig god overensstemmelse mellem de forskelle, der blev fundet i arealudnyttelsen i søernes opland og forskellene i søernes sediment, vandkemi og biologiske forhold, idet det bemærkes at jordtypesammensætningen stort set var ens i de to søers oplande.

Madum sø, der ligger i et udpræget naturområde, fremtrådte som en ret næringsfattig, oligotrof sø, som dog havde et noget højt kvælstofniveau. Hornum sø som ligger i et opland, hvor den intensive landbrugsudnyttelse har en langt højere andel af arealanvendelsen, og fremtrådte derfor som en mere næringsbelastet (svarende til moderat eutrofieret) sø med ret typiske næringsstofniveauer.

Begge søer fremtrådte således i god overensstemmelse med de kriterier de på forhånd var udvalgt efter.

I forhold til tidligere undersøgelser var der for Hornum sø's vedkommende ikke sket ændringer, hverken i sediment eller vandkemiske forhold.

I Madum sø blev det konstateret, at der over en 15 års periode var sket en reel fordobling af sedimentets næringsstofindhold, der kunne relateres til en stigende belastning (især kvælstof) fra luften, idet der næppe er sket ændringer i søens opland, der med den indbyggede træghed i grundvandets reaktion, har kunnet betinge så markante skift i søens forhold. Fra referencemålingerne i Lille Blåkilde har der da heller kunnet spores entydige ændringer i indholdet af fosfor og kvælstof, som kan relateres til en øget udvaskning af næringssalte i oplandet. Endvidere registreredes der parallelt ændringerne i sedimentet et øget kvælstofindhold i sommerperioden (dette var dog ikke statistisk signifikant).

Det må derfor imødeses, at såfremt størrelsen af det luftbårne næringssaltbidrag ikke nedsættes, står Madum sø i risiko for at miste sin status som landets største sure, klarvandede sø.

Grundet sin store følsomhed overfor næringstoftilførsel i det hele taget, må Madum sø anses for specielt velegnet til overvågning af udviklingen i de atmosfæriske næringsstofbidrag og effekten heraf på søers kemiske og biologiske forhold. D.v.s. at effekten af vandmiljøplanens tiltag specielt vedrørende de foranstaltninger, der skal modvirke ammoniakafdamning fra landbruget og udsendelse af kvælstofilter fra f.eks. kraftværker, der er de væsentligste kilder til kvælstofindholdet i nedbør og atmosfære.

Undersøgelserne i Hornum sø skal efter vise effekten af de tiltag i vandmiljøplanen, der skal nedsætte udvaskningen af næringsstoffer fra de dyrkede arealer, øget udbredelse af grønne marker i vinterperioden f.eks. Men da Hornum sø (som Madum sø iøvrigt)

i det væsentligste modtager vand via grundvandsindsivning), må der forventes en vis træghed i søens respons på en nedsat udvaskning, idet denne først skal nå grundvandet, og derfra videre ud i søen. Men det vil uden tvivl være muligt at opnå betydelige forbedringer i grundvandskvaliteten ved en forbedret udnyttelse af både kvælstof og fosfor.

For søen vil dette betyde en væsentlig nedgang i forekomsten af blågrønalgeopblomstringer og en væsentlig forbedret sigtddybde.

Sammenfattende vurderes det, at overvågningsprogrammet i begge søer har givet et omfattende og tilstrækkeligt datamateriale til at vurdere søernes tilstand på. Og at det for fremtiden vil være istand til at monitorere de mulige ændringer der vil fremkomme som følge af tiltagene i Vandmiljøplanen.

- /14/ Bourelly, P. : Les Algues d'eau douce. - M. Boubée & Cie, Paris.
- 1 Les Algues vertes (1966)
 - 2 Les Algues jaunes et brunes (1968)
 - 3 Les Algues bleues et rouges, Les Euglénien, Peridiens et Cryptomonadines (1970)
- /15/ Ettl, H., Gerloff, I., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (eds.): Süßwasserflora von Mitteleuropa. - Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- 1 Chrysophyceae und Haptophyceae (1985)
 - 3 Xanthophyceae (1) (1978)
 - 4.2 Xanthophyceae (2) (1985)
 - 9 Chlorophyta I. Phytomonadina (1983)
 - 10 Chlorophyta II. Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales (1988)
 - 14 Chlorophyta VI. Oedogoniophyceae: Oedogoniales (1985)
 - 16 Conjugatophyceae I. Chlorophyta VIII. Zygnematales (1984)
 - 20 Schizomycetes. Bakterien (1982)
- /16/ Andersen, J.M. & Windolf, J. (1989): Bryrup søerne 1987. - Miljøtilstanden i Bryrup Langsø, Karlsø, Kvind sø og Kul sø. - Århus Amtskommune, Miljøkontoret.
- /17/ Sørensen, H.L. & Dall, E. (1989): Overvågningssøerne: Dons Nørre Sø 1977-88. Søgård Sø 1980-88. - Vejle Amt, forvaltningen for teknik og miljø, Miljøkontoret.
- /18/ Jensen, H.S. (1990): Hvad kan sedimentkarakteristikken sige om den interne fosforbelastning i søerne. - Resumé af foredrag holdt på fagmøde vedr. overvågningsprogrammet for søer februar 1990.
- /19/ Larsen, H., Jensen, J. Krogsgaard & Mortensen P.B. (1990): Sedimentundersøgelser i søer. - Vand og Miljø 1/1990, pp. 15 - 17.
- /20/ Haphey-Wood, C.M. (1988): Ecology of freshwater planktonic green algae. Pp. 175-227 i Sandgren, C.D. (ed.): Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton. - Cambridge University Press.
- /21/ Reynolds, C.S. (1984): The ecology of freshwater phytoplankton. - Cambridge University Press.
- /22/ Hasselrot, B. (1985): Förurning - den tysta krisen. - Miljöförbundet.
- /23/ Søndergård, M. & Riemann, B. (1979): Ferskvandsbiologiske analysemetoder. - Akademisk Forlag, Universitetsforlaget, København.

- /24/ Elliot, J.M. (1977): Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. - Freshwater Biological Association. Scientific Publication no. 25.
- /25/ Jørgensen. E.G. (1943): Algevegetationen i Madum sø. - Botanisk Tidsskrift 48 (II) pp. 141 - 155.
- /26/ Danmarks Naturfredningsforening (1989): Luftmiljøet. - Danmarks Naturfredningsforening.