

 **VANDMILJØovervågning**

1991

Arreskov Sø

Udvikling 1989-1991



Fyns Amt

Teknik- og Miljøforvaltningen
Vand- og miljøafdelingen

Arreskov Sø

Udvikling 1989-1991



Fyns Amt

Teknik- og Miljøforvaltningen
Vand- og miljøafdelingen

Titel: Vandmiljøovervågning - Arreskov Sø 1991

Udgiver: Fyns Amt,
Teknik- og miljøforvaltningen
Vand/miljøafdelingen
Ørbækvej 100
5220 Odense SØ

Telefon 66 15 94 00
Telefax 66 15 45 59

Udgivelsesår: Maj 1992

Tryk: Fyns Amt/Hagen og Sørensen A/S

Oplag: 150

ISBN 87-7343-148-6

Indholdsfortegnelse

	Side
Forord	1
Indledning	3
1. Beskrivelse af søen og dens opland	5
1.1 Søens beliggenhed og morfometri	5
1.2 Målsætning for søens kvalitet og anvendelse	5
1.3 Oplandsbeskrivelse	10
1.4 Beskrivelse af søens tilstand	11
2. Meteorologiske og hydrologiske forhold	13
3. Søens eksterne belastningsforhold	17
3.1 Total ekstern belastning med kvælstof og fosfor	17
3.2 Afstrømning af kvælstof og fosfor	20
3.3 Atmosfærisk deposition	24
3.4 Grundvand	25
3.5 Øvrige belastningskilder	25
3.6 Vurdering af belastningen fra de enkelte hovedtilløb til søen	27
4. Vandbalance	31
5. Massebalance	33
6. Fysisk-kemiske forhold i søen	39
6.1 Søvand	39
6.2 Sammenhæng mellem stoftilførsel og stofkoncentration i søen	49
6.3 Stofudveksling mellem atmosfære, søvand og sediment	51
7. Biologiske forhold i søen	59
7.1 Planteplankton	59
7.2 Dyreplankton	64
7.3 Samspil mellem fysisk-kemiske og biologiske forhold i søen	72
8. Udvikling i søens miljøtilstand	75
8.1 Tidligere og nuværende tilstand	75
8.2 Søens fremtidige tilstand	79
9. Sammenfatning og konklusion	83
Referencer	85

Bilag 1.	Anvendt metodik	89
Bilag 2.	Vandbalance på måneds-, sommer- og årsbasis	99
Bilag 3.	Stofbalance på måneds-, sommer- og årsbasis	100
Bilag 4.	Udvikling i fysisk-kemiske forhold.	102
Bilag 5.	Månedlig nettoudveksling af total- fosfor med sediment	104
Bilag 6.	Månedlig nettoudveksling af total- kvælstof via interne processer	107
Bilag 7.	Sammenhænge mellem målte fysisk- kemiske og biologiske variable	110

Forord.

I foråret 1987 vedtog Folketinget en handlingsplan (Vandmiljøplanen), der skal nedbringe næringsstofbelastningen af det danske vandmiljø.

Målet med Vandmiljøplanen er at reducere den samlede kvælstofudledning til overfladevand og grundvand med 50% fra 290.000 til 145.000 tons pr. år og fosforudledningen med 80% fra 15.000 til 3.000 tons pr. år.

Vandmiljøplanen indebærer bl.a. øget spildevandsrensning for kommuner og industri samt krav til jordbruget med henblik på at mindske tilførslerne af næringsstoffer til vandmiljøet.

Samtidig er der med Vandmiljøplanen iværksat en øget overvågning af vandmiljøet med det formål at følge effekten af Vandmiljøplanen. Overvågningen omfatter alle de forskellige led i vandkredsløbet: Grundvand, vandløb, søer, marine områder mm.

Amterne er driftsansvarlige for overvågningsaktiviteterne, der omfatter følgende områder: Grundvand, vandløb, søer, særlige landovervågningsoplande, punktkilder (kommunale renseanlæg, industriudledninger) samt kystnære havområder.

Amterne udarbejder årligt rapporter over resultaterne af disse overvågningsopgaver. Tilsvarende udarbejder Danmarks Miljøundersøgelser rapporter over tilstanden i de åbne havområder og om stoftilførsler via nedbør/nedfald.

Rapporterne danner baggrund for landsdækkende oversigter, som udarbejdes af Miljøstyrelsen, Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Geologiske Undersøgelser. Endelig sammenfatter Miljøstyrelsen de landsdækkende oversigter til en årlig redegørelse.

Denne rapport er et led i Fyns Amts samlede rapportering af vandmiljøovervågningen i 1991, der i alt omfatter følgende rapporter:

- Vandløb og kilder 1991 (ISBN 87-7343-144-3)
- Arreskov Sø 1991 (ISBN 87-7343-148-6)
- Langesø 1991 (ISBN 87-7343-103-6)
- Søholm Sø 1991 (ISBN 87-7343-105-2)
- Det Særlige Landovervågningsopland 1991 (ISBN 87-7343-107-9)
- Punktkilder 1991 (ISBN 87-7343-109-5)
- Kystvande 1991 (ISBN 87-7343-111-7)
- Grundvand 1991 (ISBN 87-7343-113-3)
- Atmosfærisk nedfald 1991 (ISBN 87-7343-117-6)
- Sammenfatninger og konklusioner 1991 (ISBN 87-7343-119-2)

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE

Indledning.

Denne rapport beskriver de undersøgelser af Arreskov Sø, som Fyns Amt har foretaget i perioden 1989-1991 som et led i Vandmiljøplanens overvågningsprogram.

Arreskov Sø er således udpeget som én ud af ialt 37 nationale overvågnings-søer. Undersøgelserne i dette udsnit af danske søer skal om muligt give svar på, om Vandmiljøplanens gennemførelse medfører forbedringer af danske søers miljøtilstand. De pågældende søer er derfor udvalgt således, at de er beliggende i områder med forskellig grad af arealudnyttelse og med forskellige kilder til næringsstoftilførsel. Desuden indgår både lavvandede og dybe søer i overvågningsprogrammet.

De to forudgående års overvågning af Arreskov Sø er beskrevet i Fyns Amt (1990, 1991). I disse rapporter har alle dele af undersøgelsesprogrammet været beskrevet og resultaterne heraf behandlet. Enkelte områder har dog været behandlet relativt kortfattet.

I denne rapport er temaet, ud over en beskrivelse af resultatet af undersøgelserne i 1991, mulige tendenser i søens udvikling siden overvågningen blev sat igang. Specielt grundigt behandles søens vand- og stofbalance, såvel udefra som indefra kommende stofbelastning, og ikke mindst søens biologiske struktur. Her gøres der særlig meget ud af at beskrive sammenhænge mellem søens fysisk-kemiske og biologiske forhold. Derudover behandles også den betydning, som klimatiske forhold har for år-til-år-variationerne i bl.a. stofbelastning, stofbalance og biologisk struktur.

En række tidligere undersøgelser er herved ikke nærmere beskrevet i denne rapport, men resultaterne herfra er naturligvis inddraget i nødvendigt omfang. Som indledning til rapportens tema er der derfor givet en kort beskrivelse af søens udseende, dens opland og endelig dens nuværende miljøtilstand.

1. Beskrivelse af søen og dens opland.

I dette afsnit foretages en kortfattet beskrivelse af Arreskov Sø og dens opland. Disse forhold er mere detaljeret beskrevet i tidligere rapporter om Arreskov Sø, f.eks. (Fyns Amt, 1991).

1.1 Søens beliggenhed og morfometri.

Arreskov Sø ligger nordøst for Fåborg i et randmorænelandskab, der udgør en del af Svanninge Bakker (jvf. figur 1.1.1). Søen er dannet i en inderlavning, som blev afgravet af en gletchertunge i sidste istid. Det afgravede materiale er aflejret igen sydvest for søen i form af en randbakke.

Vandstanden i søen er blevet sænket flere gange. I 1924-25 skete der således en betydelig vandspejlssænkning på 75 cm. I afløbet fra søen ligger Arreskov Vandmølle, som via et stighord regulerer vandstanden i søen. Flodemålet (den højst tilladte vandstand) er fra og med 1. januar 1991 fastsat til 33,06 m over DNN.

Arreskov Sø er Fyns største sø med et overfladeareal på 317 ha. Søen er lavvandet, idet middeldybden kun er på 1,9 m. Da søen samtidig ligger vindeksponeret, bliver vandet normalt omrørt helt til bunden af vinden. Arreskov Sø er omkranset af en tæt, men ikke særlig bred rørsump. De nære omgivelser er naturprægede med enge, moser, marker og skov.

Søens dybdeforhold og morfometriske data fremgår af figur 1.1.2 og tabel 1.1.1.

Arreskov Sø	
Overfladeareal, ha	317
Middeldybde, m	1,9
Maksimumdybde, m	3,7
Vandvolumen, m ³	5.880.000
Kystlængde, km	8,50

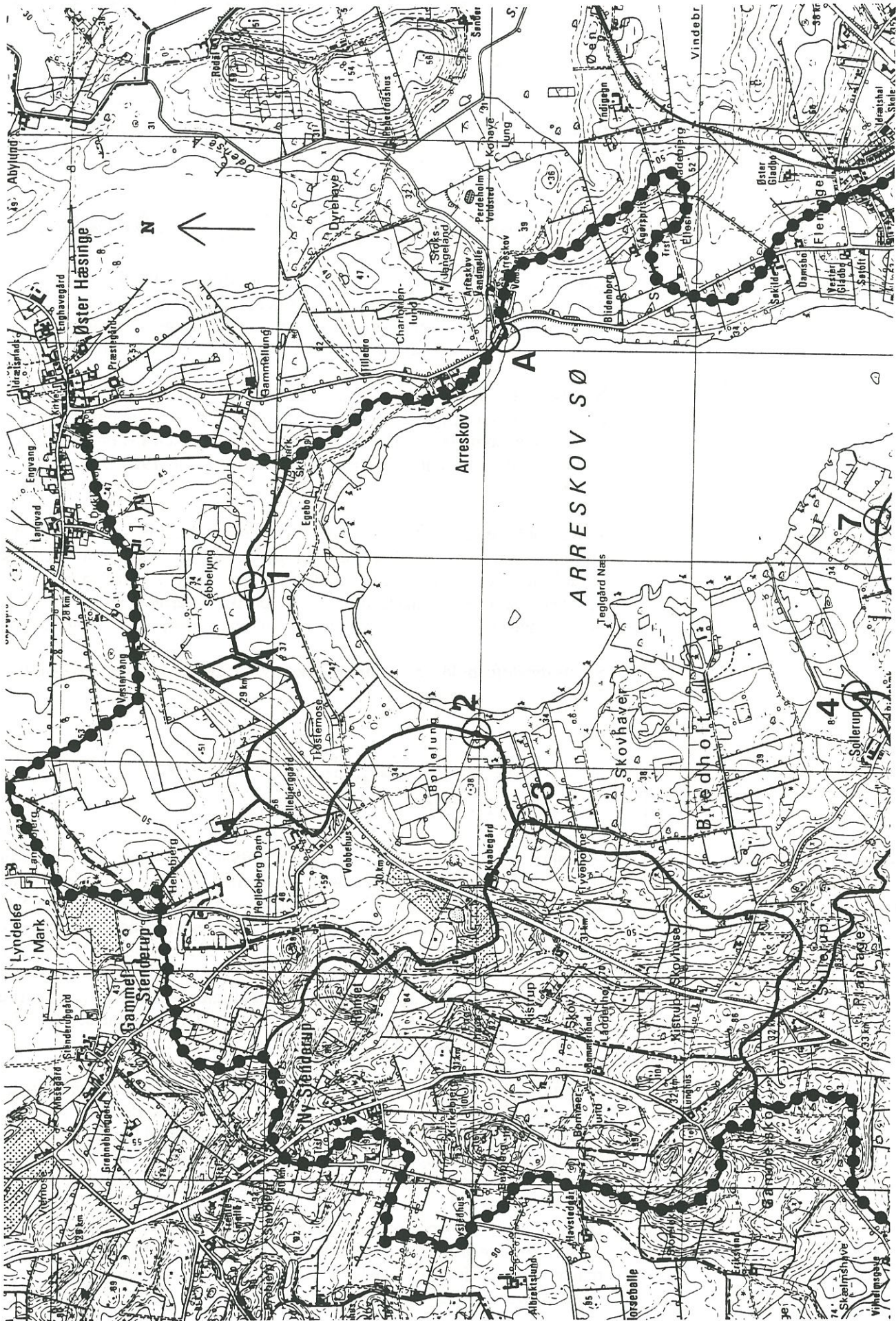
Tabel 1.1.1
Fysiske forhold i Arreskov Sø.

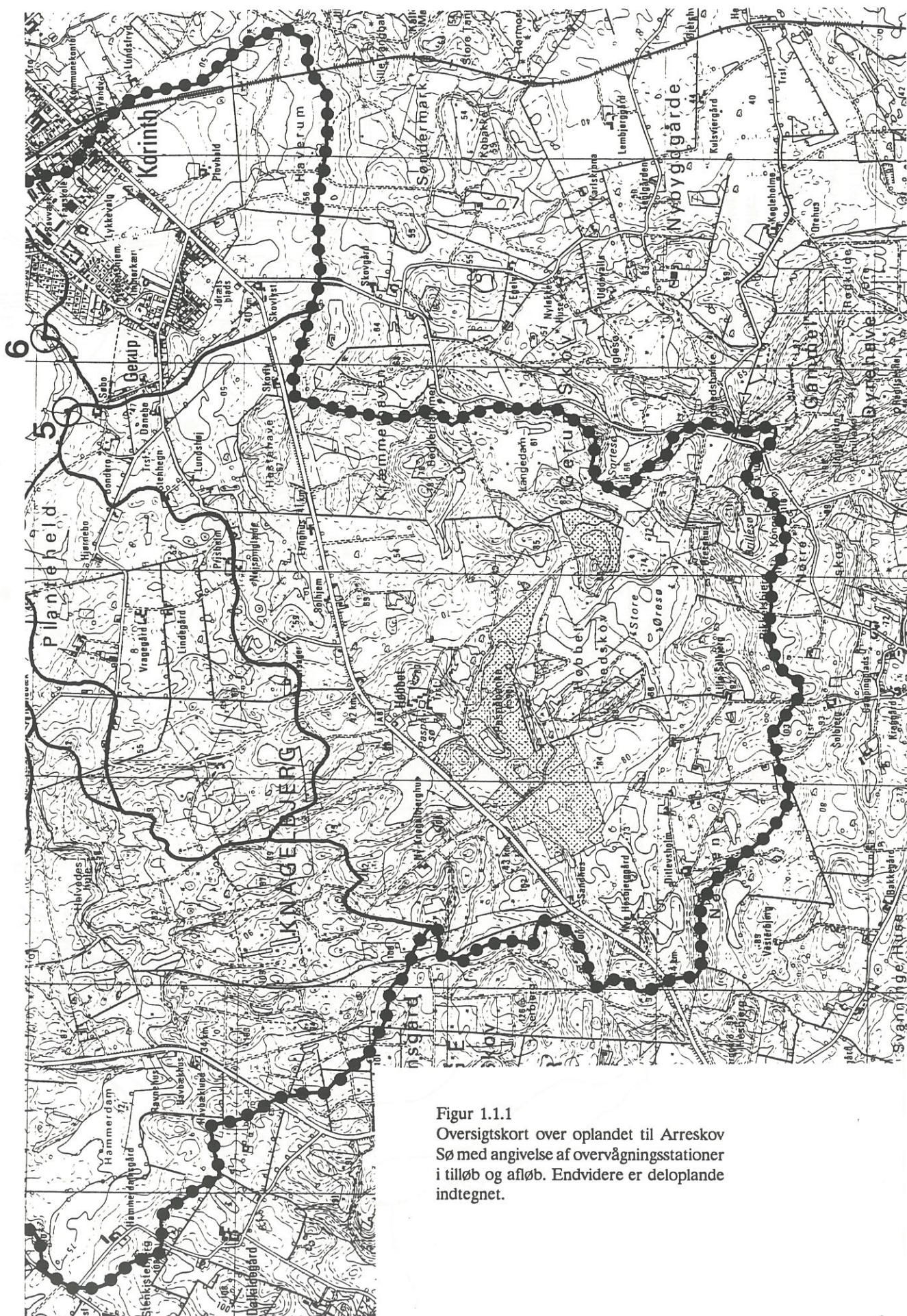
1.2 Målsætning for søens kvalitet og anvendelse.

Arreskov Sø er i Fyns Amts Regionplan 1989-2001 målsat som "Referencemråde for naturvidenskabelige studier". Baggrunden herfor er primært søens betydning som levested og rasteplass for fugle, specielt vandfugle, for hvilke søen er af international betydning. Søen er endvidere udpeget som EF-fuglebeskyttelsesområde. Den nordlige del af søen (ca. 240 ha) er siden 1985 vildtreservat. Indenfor reservatets område er der forbud mod indsamling af æg og jagt på svømme- og vadefugle. Der er endvidere forbud mod sejlads undtagen for ejere og brugere, der dog højst må sejle med en hastighed på 5 knob.

Regionplanen fastsætter ingen direkte krav til søens miljøkvalitet. Det indgår imidlertid som en retningslinie i planen, at al spildevandsafledning til Arreskov Sø og andre søer i videst muligt omgang skal undgås. Endvidere indebærer målsætningen, at søen skal have et naturligt og alsidigt plante- og dyreliv, som er upåvirket eller næsten upåvirket af forurening.

Det vurderes, at søen for at opfylde målsætningen skal have en middelsigtdybde i sommerperioden på mindst 1 m, et artsrigt plante- og dyreliv uden masseopblomstring af enkelte algegrupper (især blågrønalger), samt en (stedvist) veludviklet rankegrøde (Fyns Amt, 1991). Endelig skal fiskebestan-

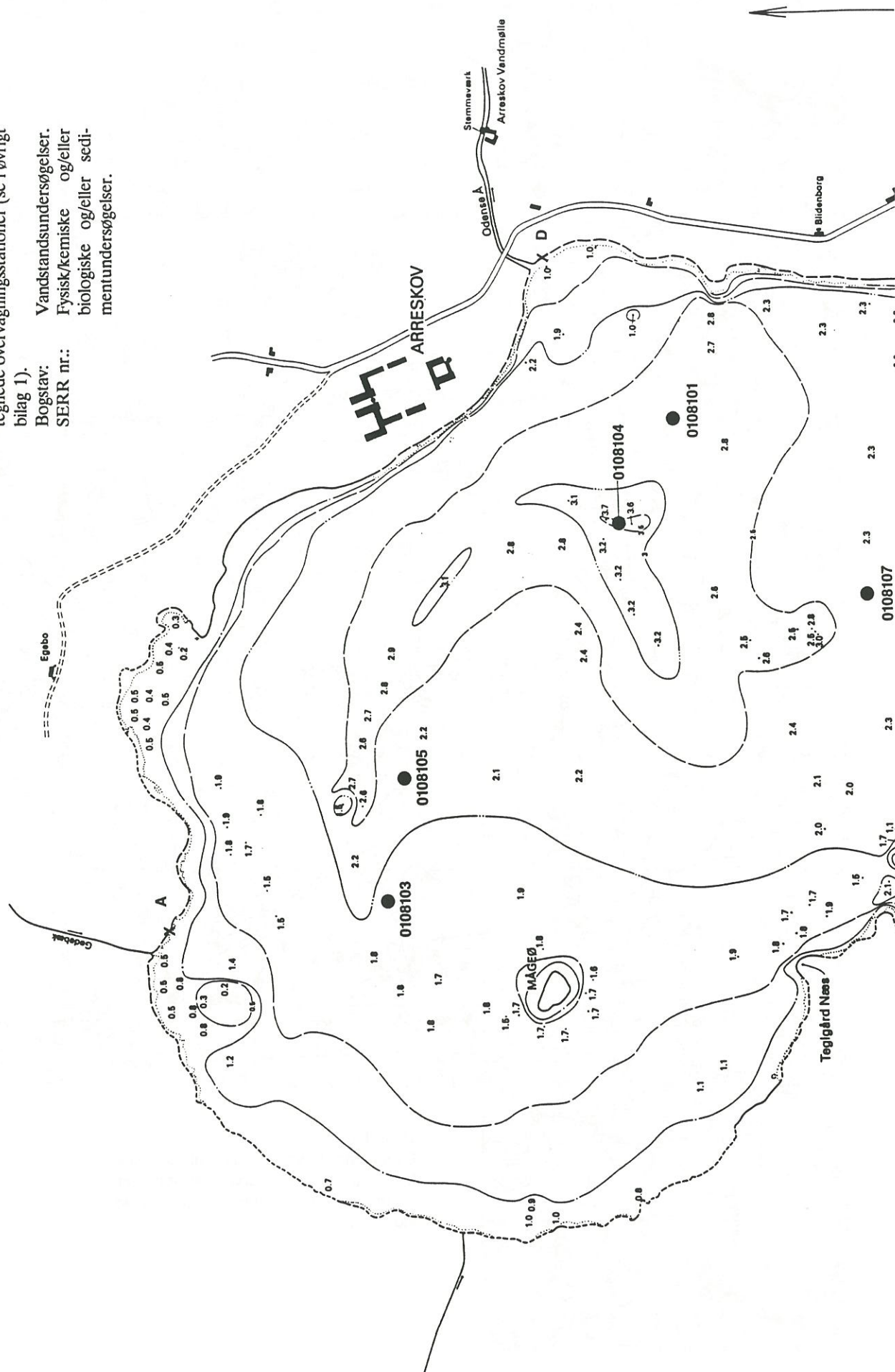




Figur 1.1.2

Dybdekort over Arreskov Sø med indtegnede overvågningsstationer (se i øvrigt bilag 1).

Bogstav: Vandstandsundersøgelser.
SERR nr.: Fysisk/kemiske og/eller biologiske og/eller sedimentundersøgelser.



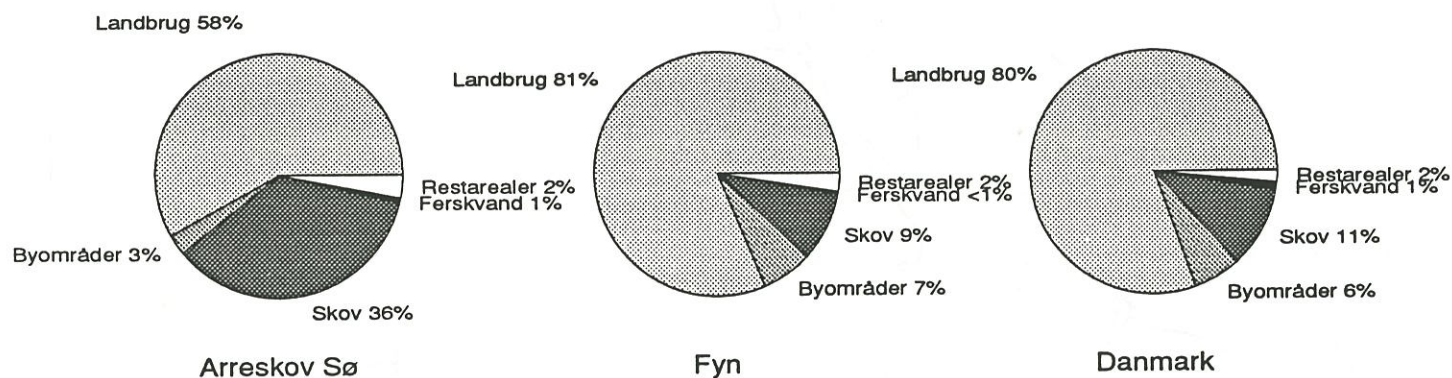
den have en naturlig alders- og artsfordeling med balance mellem fredfisk og rovfisk.

Danmarks Naturfredningsforening har i 1989 rejst fredningssag for Arreskov Sø med omgivelser. Formålet med fredningen er at bevare natur- og kulturhistoriske værdier, at genoprette og pleje naturtyper i området, samt at sikre befolkningens adgang til dele af området.

1.3 Oplandsbeskrivelse.

Afstrømningsoplandet til Arreskov Sø er på 24,8 km². Heraf består 58% af landbrugsområder og 36% af skovområder. I forhold til både Fyn og resten af Danmark er oplandet til Arreskov Sø naturpræget med meget skov og forholdsvis lidt landbrug (figur 1.3.1).

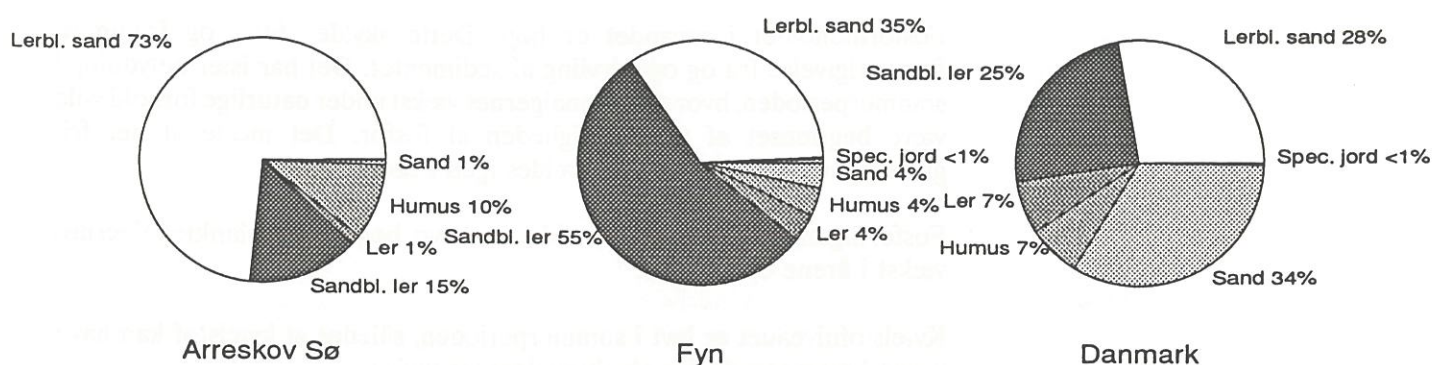
Husdyrholdet i landbrugsområderne er også mindre end i det øvrige land. Opgjort på dyreenheder findes der 0,5 dyreenheder pr. ha landbrugsjord i Arreskov Sø's opland mod 0,6 og 0,7 dyreenheder pr. ha i henholdsvis Fyn og Danmark som helhed.



Figur 1.3.1
Arealudnyttelse i oplandet til Arreskov Sø,
på Fyn og i Danmark.

Jordbunden i den altovervejende del af de landbrugsområder, som ligger i oplandet til søen, består af lerblandet sand (figur 1.3.2). I den resterende del af landbrugsområderne domineres jordbunden primært af sandblandet ler og humus.

Jorden i oplandet til Arreskov Sø er således noget lettere end på Fyn som helhed, og det er også karakteristisk, at der er en relativt stor andel af humusjord i oplandet. Dette skyldes, at store arealer, som for år tilbage var eng eller mose, er inddraget i dyrkningen.



Figur 1.3.2

Jordtypefordeling i landbrugsområderne i oplandet til Arreskov Sø, på Fyn og i Danmark.

Spildevandsforhold.

Der forekommer ikke udledning af spildevand fra kommunale renseanlæg til Arreskov Sø. En udledning af mekanisk rensset spildevand fra Korinth (970PE) blev afskåret i 1983 (1 PE svarer til den mængde spildevand, som 1 person i gennemsnit bidrager med).

Der udledes imidlertid regnvand fra den vestlige del af Korinth via et lille vandløb, tilløb 6 (se figur 1.1.1). I forbindelse med større regnskyl sker der via et overfaldsbygværk aflastning af urensset spildevand til dette vandløb. Det tilførte regnvand/spildevand passerer normalt et regnvandsbassin, inden det løber ud i vandløbet.

Fra den spredte bebyggelse sker der udledning af spildevand til grøfter, vandløb eller dræn med forbindelse til søen. Spildevandet passerer formodentlig oftest en septiktank eller lignende. I visse tilfælde nedsives spildevandet. Der er ikke foretaget nogen nøjere undersøgelse af spildevandsudledningen fra den spredte bebyggelse.

Tætheden af den spredte bebyggelse (0,20 PE/ha) svarer til det normale for Fyn (0,23 PE/ha), men er noget større end gennemsnitstætheden for hele landet (0,08 PE/ha).

Det er idag uvist, hvor stor en del af de udledte næringsstoffer fra den spredte bebyggelse i oplandet, der rent faktisk når ud i søen.

1.4 Beskrivelse af søens tilstand.

Arreskov Sø er stor og lavvandet med en meget ringe sigtddybde om sommeren (omkring 0,25 m), som følge af kraftig ophvirvlen af sedimentet og stor planktonalgebiomasse. Vandets opholdstid i søen er ca. 1 år.

Søen er omkranset af en tæt, men relativt smal rørsump, der især består af tagrør. Der er næsten ingen undervandsvegetation i søen, hvilket især skyldes de dårlige lysforhold i vandet. Ved en undersøgelse i 1989 blev der kun fundet spredte bevoksninger af Vandkrans og Børstebledet Vandaks (Fyns Amt, 1991). Der har tidligere været en udbredt undervandsvegetation i søen (omtalt i Fyns Amt, 1991).

Fosforindholdet i søvandet er højt. Dette skyldes først og fremmest fosforfrigivelse fra og ophvirvling af sedimentet. Det har især betydning i sommerperioden, hvor planktonalgernes vækst under naturlige forhold ville være begrænset af tilgængeligheden af fosfor. Det meste af det frigivne/ophvirvlede fosfor bundfældes igen i søen.

Fosfortilgængeligheden synes ikke at have begrænset planktonalgernes vækst i årene op til 1990.

Kvælstofniveauet er lavt i sommerperioden, således at kvælstof kan have været begrænsende for planktonalgernes vækst.

Det høje fosforindhold i søvandet er formodentlig årsag til, at søen i sommerperioden domineres af blågrønalger. Disse ser nemlig især ud til at trives ved høje fosforkoncentrationer (Kristensen m.fl., 1991).

Fiskebestanden er ifølge undersøgelser udført i 1987 (refereret i Fyns Amt, 1991) domineret af skaller og små aborrer. Erhvervsfiskeren på søen anfører dog, at hans fangster domineres af store brasen (pers. medd.). Karakteristiske bredzonefisk som karuds og suder synes at mangle, og bestanden af gedder og sandart er gået tilbage siden 1960'erne. Undersøgelsen tyder på, at der i perioder er forekommet betydende dødsfald blandt fiskene, og at der i visse år er fejlslagen gydning. Årsagen til fejlslagen gydning og fiskedød kan være høje pH-værdier, giftige koncentrationer af fri ammoniak eller perioder med dårlige iltforhold i søvandet (Fyns Amt, 1991).

Undersøgelser af søers fugleliv indgår ikke i vandmiljøplanens overvågningsprogram. Imidlertid foretager Fyns Amt en overvågning af fuglelokaliteter i amtet, herunder også af Arreskov Sø. Denne overvågning viser, at bestanden af ynglefugle i og ved søen er meget lille (Fyns Amt, 1992a). De planteædende fuglearter Svane og Blishøne er gået stærkt tilbage og har dårlig ynglesucces, formodentlig fordi vandplanter er blevet sjældne i søen. Bestanden af Toppet Lappedykker er ligeledes gået tilbage, antagelig fordi Lappedykkerens naturlige fødeemner, småfisk, mangler eller er vanskelige at fange i det uklare vand. Sammenfattende skønnes det, at søens dårlige vandkvalitet har reduceret ynglefuglebestandene til et niveau, der kunne rummes i en langt mindre sø. Kun bestanden af Grågåås på 40 par sikrer, at lokaliteten stadig kan klassificeres som en ekstraordinær god fuglelokalitet (Fyns Amt, 1992a).

Arreskov Sø har således et relativt fattigt og forureningspåvirket dyre- og planteliv, som slet ikke lever op til regionplanens målsætning om et naturligt og alsidigt plante- og dyreliv. Årsagen hertil skal først og fremmest søges i tidligere tiders spildevandstilledninger.

2. Meteorologiske og hydrologiske forhold.

De meteorologiske og hydrologiske forhold, som har betydning for Arreskov Sø og dens opland i årene 1989-1991, beskrives kortfattet i det følgende. Karakteristiske årstidsvariationer i lufttemperatur, soltimer, nedbør, ferskvandsafstrømning og vindforhold er illustreret i figur 2.1 og figur 2.2.

Ved karakteriseringen af års- og månedsværdier er der foretaget en sammenligning med 'normalværdier', som i de fleste tilfælde er beregnet som middelværdier for perioden 1976-91. Bilag 1 beskriver detaljer om de anvendte tidsserier.

Nedbør.

Set på årsbasis var 1989 et tørt år med en nedbør 24% under normalen. Bortset fra marts, juli og oktober var alle måneder relativt tørre, især januar, maj og november. 1990 var set på årsbasis et vådt år (16% over normalen), hvor det især var februar og sommermånederne, som var nedbørsrige. 1991 var et normalår set på årsbasis. Månederne januar og især juli var meget nedbørsrige.

Ferskvandsafstrømning.

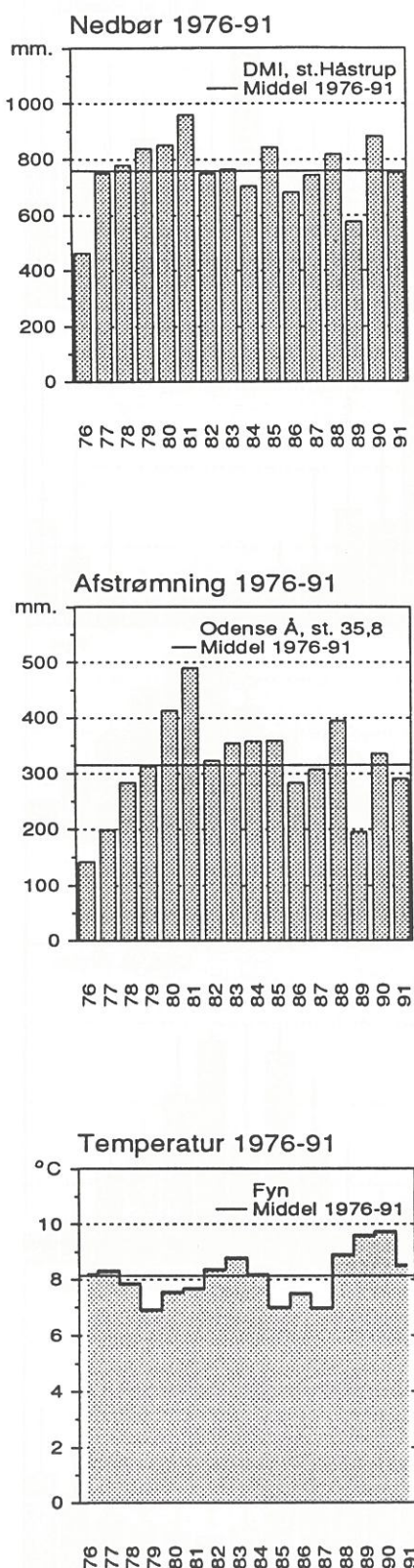
Ferskvandsafstrømningen følger i vid udstrækning nedbøren, bortset fra sommermånederne, hvor størsteparten af nedbøren normalt ikke kommer til afstrømning på grund af en stor fordampning og vandoptagelse i planterne på landjorden.

I 1989 er registreret den næstlaveste afstrømning siden 1976, med en afstrømning 38% under normalen. Bortset fra marts måned var afstrømningen langt under normalen alle årets måneder. 1990 lå afstrømningsmæssigt lidt over normalen. Set på månedsbasis var afstrømningen stor i februar og september. Afstrømningen i september var en af de største, som er registreret i denne måned siden 1976. 1991 havde en afstrømning lidt under normalen. Januar måned havde en stor afstrømning, hvorimod afstrømningen de øvrige måneder var forholdsvis normal.

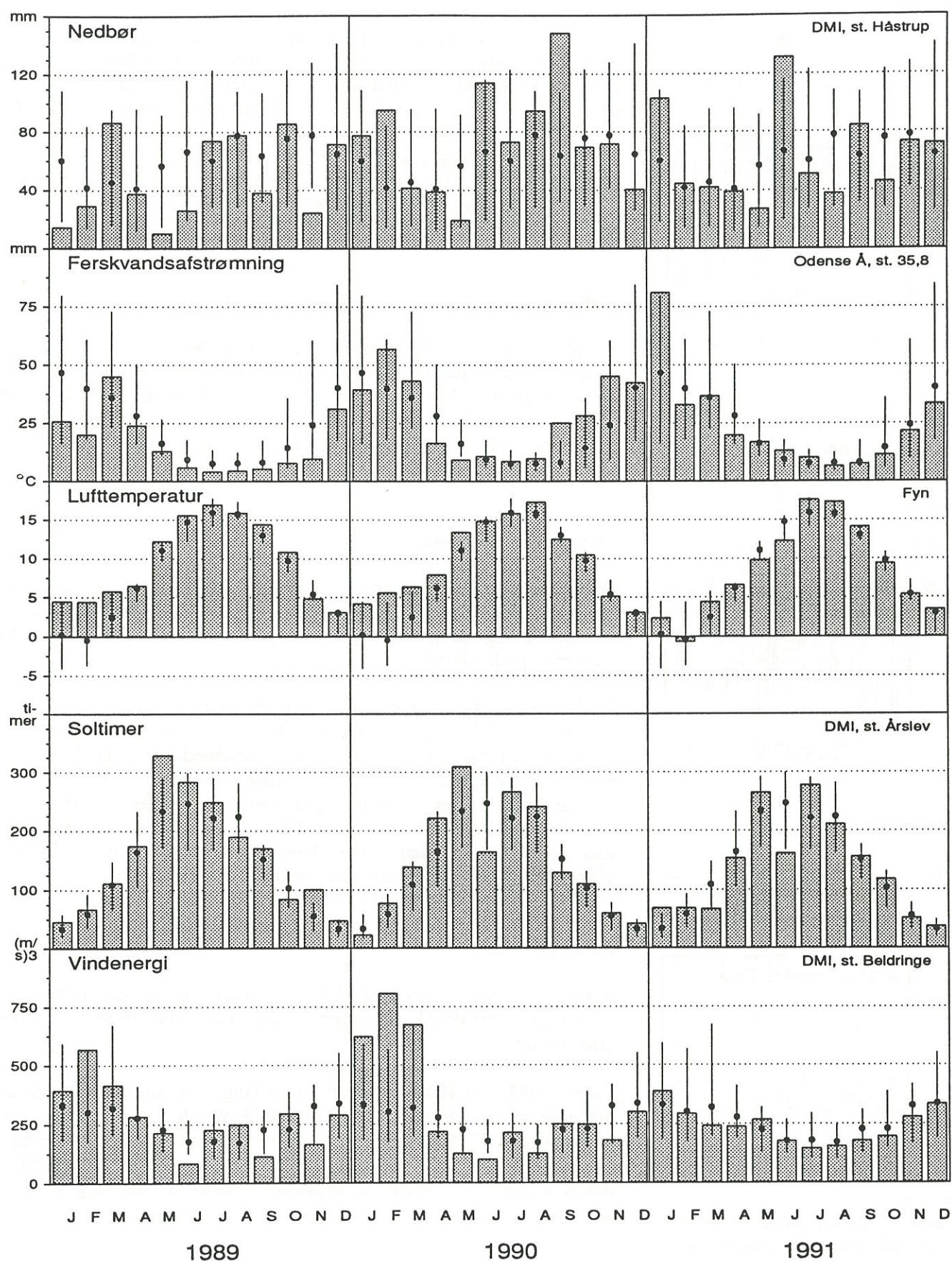
Lufttemperatur.

Årsmiddeltemperaturen har i 1989-1991 været over normalen alle år. Især er årene 1989 og 1990 karakteriseret ved at være blandt de varmeste i dette århundrede.

I såvel 1989 som 1990 lå temperaturen langt over normalen de første 6 måneder af året. Sidste halvdel af året havde begge år mere normale temperaturer. 1991 havde et koldt forår og forsommer, især var temperaturen i juni måned langt under normaltemperaturen. Til gengæld var temperaturen i juli, august og september måneder væsentlig højere end normalt.



Figur 2.1
Nedbør, ferskvandsafstrømning og temperatur på årsbasis. Middelnedbør, -ferskvandsafstrømning og -temperatur 1976-1991 er angivet som referencelinie.



Figur 2.2
Nedbør, ferskvandsafstrømning, lufttemperatur, soltimer og vindenergi på månedsbasis 1989, 1990 og 1991.

90% fraktil
median
10% fraktil

Soltimer.

Solindstrålingen er af betydning for søens opvarmning og for plantevæksten, herunder væksten af planktonalger i søen.

Målt i antallet af soltimer var 1989 og 1990 generelt solrige år, hvorimod 1991 må karakteriseres som et 'normalår'. Set på månedsbasis er der dog store afvigelser fra denne generelle karakteristik.

I 1989 var specielt maj, juni og juli forholdsvis solrige og august forholdsvis solfattig. 1990 havde et solrigt forår/forsommer, hvorimod juni måned var meget solfattig. 1991 er, modsat 1990, karakteriseret ved et forholdsvis solfattigt forår/forsommer, specielt juni måned var meget solfattig. Derimod var juli 1991 solrig.

Vindforhold.

Vinden er betydning for opblandingen af vandmasserne i en sø, hvilket bl.a. kan have betydning ved vurdering næringsstofindholdet og planteplankton-sammensætningen i søen. Endvidere har vind betydning for, hvor dybt et evt. springlag etableres, og dermed også udveksling af næringsstoffer mellem bundvand/sediment og de mere overfladenære vandmasser. Vinden spiller også en stor rolle ved at øge gasudvekslingen mellem vandet og atmosfæren.

Den energi vinden 'afleverer' over en åben vandoverflade til opblanding af vandmasserne er proportional med vindhastigheden opløftet til 3. potens, hvorfor det er sådanne størrelser, der vises og omtales.

1989 er set på årsbasis karakteriseret som et 'normalår', hvorimod 1990 kan karakteriseres som et forholdsvis vindrigt og 1991 som et forholdsvis vindfattigt år. Set på månedsbasis er der store afvigelser fra denne generelle karakteristik.

I 1989 var månederne juni og september meget vindfattige. De tre første måneder i 1990 var ekstremt vindrige, hvorimod de følgende 3 måneder var forholdsvis vindfattige. Alle måneder i 1991 havde vind i lidt under 'normalen'.

I sommerperioden (1. maj - 30. september) var vindenergien 177, 163 og 185 (m/s)³ i henholdsvis 1989, 1990 og 1991.

3. Søens eksterne belastningsforhold.

I det efterfølgende beskrives for perioden 1989-1991 den eksterne næringsstofbelastning af Arreskov Sø, - det vil sige afstrømningen af næringsstoffer via vandløb og grundvand, den atmosfæriske deposition på søen samt øvrige belastningskilder til søen, herunder belastningen fra rastende fugle.

Desuden gives en vurdering af belastningen fra de enkelte hovedvandløb, der afstrømmer til søen. Ved beskrivelserne af belastningsforholdene beskrives såvel år til år variationer samt variationer indenfor året, ligesom eventuelle særlige begivenheder skal omtales. Det er dog ikke på baggrund af tre års målinger muligt at udtale sig om kulturbetingede udviklingstendenser.

3.1 Total ekstern belastning med kvælstof og fosfor.

Den samlede eksterne belastning af Arreskov Sø i 1989, 1990 og 1991 samt den samlede belastning i sommerperioden (1. maj-30. september) fremgår af tabel 3.1.1 og 3.1.2. Den totale eksterne belastning på årsbasis og månedsbasis er endvidere illustreret på figur 3.1.1 og figur 3.1.2.

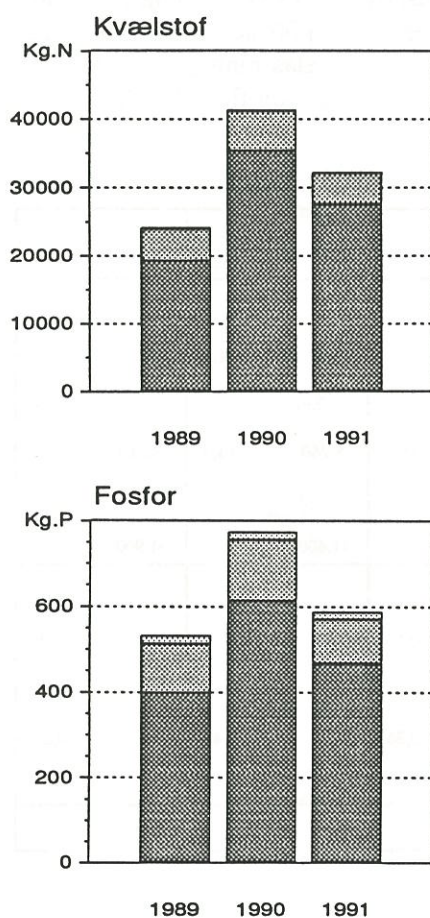
Tabel 3.1.1
Den totale eksterne belastning af Arreskov Sø 1989, 1990 og 1991.

	1989		1990		1991	
	kg	kg/ha	kg	kg/ha	kg	kg/ha
Kvælstof:						
Afstrømning via vandløb	19.200	7,74	35.400	14,3	27.600	11,1
Direkte grundvandstilførsel til søen	750	-	750	-	750	-
Atmosfærisk deposition	4.800	15,1	5.260	16,6	3.510	11,1
Øvrige tilførsler	42	-	42	-	42	-
I alt	24.800		41.400		31.900	
Fosfor:						
Afstrømning via vandløb	398	0,16	614	0,25	466	0,19
Direkte grundvandstilførsel til søen	20	-	20	-	20	-
Atmosfærisk deposition	115	0,36	127	0,40	89	0,28
Øvrige tilførsler	18	-	18	-	18	-
I alt	551		778		592	

Tabel 3.1.2

Den totale eksterne belastning af Arreskov Sø i sommerperioden (1. maj-30. september) 1989, 1990 og 1991.

	1989		1990		1991	
	kg	kg/ha	kg	kg/ha	kg	kg/ha
Kvælstof:						
Afstrømning via vandløb	2.110	0,85	4.500	1,83	3.730	1,50
Direkte grundvandstilførsel til søen	312	-	312	-	312	-
Atmosfærisk deposition	1.750	5,52	2.470	7,79	1.350	4,26
Øvrige tilførsler	38,7	-	38,7	-	38,7	-
I alt	4.210		7.370		5.430	
Fosfor:						
Afstrømning via vandløb	98,0	0,04	185	0,07	135	0,05
Direkte grundvandstilførsel til søen	8,3	-	8,3	-	8,3	-
Atmosfærisk deposition	68,1	0,21	88,2	0,28	55,9	0,18
Øvrige tilførsler	16,4	-	16,4	-	16,4	-
I alt	191		298		215	



Figur 3.1.1

Den totale eksterne belastning af Arreskov Sø 1989, 1990 og 1991.



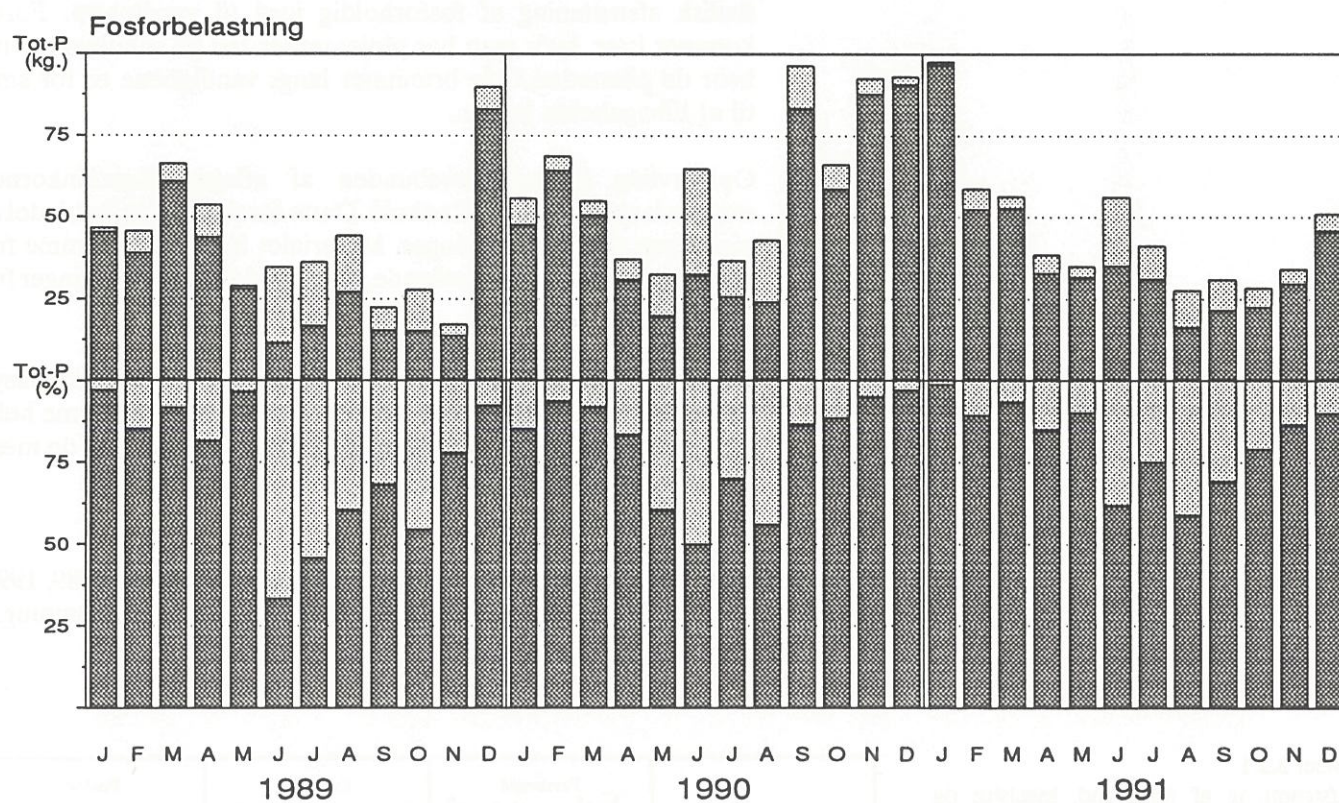
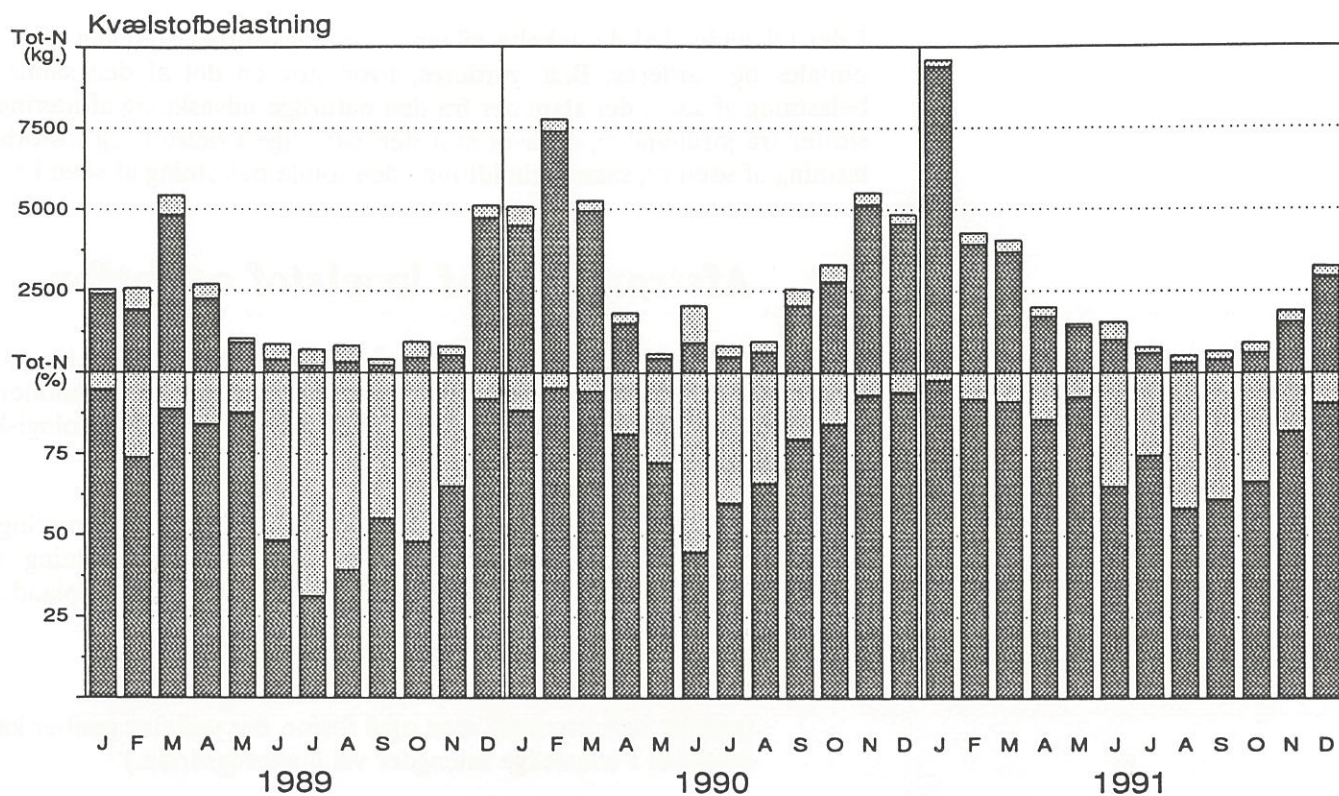
Der ses store udsving i kvælstofbelastningen fra år til år, hvilket alene er begrundet i nedbørsbetingede variationer i afstrømningen fra år til år.

Kvælstofafstrømningen via vandløb har i de tre år udgjort langt hovedparten (77-87%) af den totale belastning, mens den direkte grundvandstilførsel skønsmæssigt har bidraget med 2-3%, og den atmosfæriske deposition har ligget på 11-19% af den samlede tilførsel af kvælstof til søen. De øvrige belastningskilder har i samtlige år udgjort under 1%.

Fosforbelastningen på årsbasis af Arreskov Sø har i perioden 1989-1991 udvist samme variationer som kvælstofbelastningen, hvor forskellene fra år til år også her primært kan tilskrives nedbørsbetingede variationer.

Andelen af fosfor tilført søen via vandløbsafstrømning har, som for kvælstoftilførslen, udgjort størstedelen af den samlede fosforbelastning (72-79%). Den direkte grundvandstilførsel til søen har bidraget med skønsmæssigt 3-4%, mens den atmosfæriske deposition har ligget på 15-21% af totalbelastningen. Belastningen fra de øvrige kilder har andraget under 2-3% af den samlede fosforbelastning af Arreskov Sø i de belyste år.

Også i sommerperioden udgør afstrømningen hovedparten af den samlede belastning af både kvælstof og fosfor jf. tabel 3.1.2. Det skal dog bemærkes, at den atmosfæriske deposition i de afstrømningsfattige sommermåneder kan udgøre en væsentlig andel af den samlede belastning af søen jf. figur 3.1.2. I sommermånederne 1991 udgjorde det atmosfæriske bidrag af kvælstof og fosfor op til henholdsvis 54% og 49% af den samlede belastning af Arreskov Sø.



Figur 3.1.2

Kvælstof- og fosforbelastning til Arreskov Sø på månedsbasis fordelt på afstrømningsbidrag og atmosfærebidrag. Øverst er angivet den relative og den absolutte kvælstofbelastning. Nederst er vist tilsvarende for fosfor.

- Afstrømning
- Atmosfærisk deposition

I det følgende skal de enkelte kilder til næringsstofbelastningen af søen omtales og vurderes. Bl.a. vurderes, hvor stor en del af den samlede belastning af søen, der stammer fra den naturlige udvaskning af næringsstoffer fra jordbunden, og hvor stor den naturlige kvælstof- og fosforbelastning af søen er, sammenholdt med den totale belastning af søen i dag.

3.2 Afstrømning af kvælstof og fosfor.

De variationer, man ser i kvælstof- og fosforafstrømningen, følger i høj grad ferskvandsafstrømningen og er, ligesom denne, betinget af variationer i nedbøren især i vinterhalvåret jf. foregående afsnit 2 om meteorologiske og hydrologiske forhold.

En stor nedbør især i vinterhalvåret kan udløse en frigivelse af næringsstoffer fra en række 'næringsstofdepoter' især med tilknytning til landbrugsjorden i det åbne land. Følgende begivenheder i søens opland er betydningsfulde i relation til næringsstofafstrømning:

- Udvasning fra landbrugsjorden til dræn og grundvand. (gælder især kvælstof, men også fosfor, der ved stor nedbør kan udvaskes i betydelige mængder via landbrugsdrænen.)
- Erosion af jord fra pløjemarken under kraftig nedbør med overfladisk afstrømning af fosforholdig jord til vandløb/sø. Forekommer især, hvor man har pløjemarken tæt på vandløbene, og hvor de plantedækkede bræmmer langs vandløbene er for små til at tilbageholde jorden.
- Ophvirvling fra vandløbsbunden af aflejret slam/finkornet materiale med højt fosforindhold. Dette forekommer i forbindelse med store vandafstrømninger. Materialet kan typisk stamme fra landbrugsjorden, jf. ovenstående, eller spildevandsudledninger fra fx. spredt bebyggelse.
- Overløb til vandløb/sø af fortyndet spildevand fra fælleskloaksystemer under kraftig nedbør. Disse overløb kan forekomme hele året, men typisk mest om sommeren, fordi man her har de mest intensive nedbørsbegivenheder.

Afstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor til Arreskov Sø i 1989, 1990 og 1991 er vist i tabel 3.2.1. Tilsvarende er i tabel 3.2.2 vist afstrømningsværdier for sommerperioden (1. maj-30. september).

Tabel 3.2.1

Afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor til Arreskov Sø i 1989, 1990 og 1991.

	Ferskvand		Kvælstof		Fosfor	
	m ³ x10 ³	l/sek. km ²	kg	kg/ha	kg	kg/ha
1989	2.660	3,40	19.200	7,74	398	0,16
1990	4.140	5,29	35.400	14,3	614	0,25
1991	3.750	4,79	27.600	11,1	466	0,19

Tabel 3.2.2

Afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor til Arreskov Sø i sommerperioden (1. maj - 30. september) 1989, 1990 og 1991.

	Ferskvand		Kvælstof		Fosfor	
	m ³ x10 ³	l/sek. km ²	kg	kg/ha	kg	kg/ha
1989	519	1,58	2.110	0,85	98,0	0,04
1990	855	2,61	4.550	1,83	185	0,07
1991	808	2,46	3.730	1,50	135	0,05

Kvælstofafstrømning.

Størrelsen af kvælstofafstrømningen styres primært af intensiteten af landbrugsdriften i oplandet under forudsætning af, at de meteorologiske forhold har været ensartede (se i øvrigt (Fyns Amt, 1992d)).

De forholdsvis store variationer, som ses i kvælstofafstrømningen 1989-1991, kan alene forklares ud fra forskelle i nedbøren de pågældende år.

Med henblik på sammenligning med forholdene i oplandet til Arreskov Sø er arealafstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor fra forskellige oplande i 1991 vist i tabel 3.2.3.

Afstrømningen af kvælstof pr. arealenhed til Arreskov Sø i 1991 var omtrent halv så stor som gældende for det åbne land på Fyn som helhed, men cirka fem gange højere end den kvælstofafstrømning, som ses i naturvandløb.

At kvælstofafstrømningen til søen er mindre end generelt gældende for det åbne land på Fyn, skyldes, at en forholdsvis stor andel af nedbørsoplandet til Arreskov Sø er skovområder. Et af søens hovedtilløb, Gedderenden, har dog den største kvælstofafstrømning, der registreres på Fyn, hvilket bl.a. skal uddybes i afsnit 3.6.

Tabel 3.2.3

Sammenligning af arealafstrømningen fra forskellige oplande i Fyns Amt i 1991. Der er desuden angivet et gennemsnit af arealafstrømningen fra 7 danske naturvandløb.

	Ferskvand l/sek. km ²	Kvælstof kg N/ha	Fosfor kg P/ha
Arreskov Sø	4,8	11	0,19
Lange Sø	8,0	24	0,42
Søholm Sø	7,1	12	0,16
Fyn, total	7,9	24	0,84
Fyn, diffus	-	21	0,30
Holstenshuus, et skov/naturvandløb	2,9	1,8	0,035
Naturvandløb (gennemsnit af 7 danske)	5,6	2,2	0,084

Fosforafstrømning.

De år til år variationer, som observeres i fosforafstrømningen til Arreskov sø, kan, som for kvælstofafstrømningen, forklares med variationer i nedbørsforholdene i de enkelte år.

Arealafstrømningen af fosfor til Arreskov Sø var i 1991 cirka 1/3 under niveauet for afstrømningen fra det åbne land på Fynsplan, men omtrent dobbelt så stor som fosforafstrømningen pr. arealenhed fra naturvandløb.

At fosforafstrømningen pr. arealenhed til søen er mindre end generelt gældende for det åbne land på Fyn, skyldes, ligesom for kvælstof, at der er en forholdsvis stor andel af skov og tilsvarende mindre andel af landbrugsarealer i oplandet til søen. Det spiller måske også ind, at befolkningstætheden er lidt mindre end generelt gældende for det åbne land på Fyn.

Kilder til næringsstofafstrømningen.

Belastningskilder til kvælstof- og fosforafstrømning kan opsplittes i følgende kategorier:

- Basisbidrag (naturlig afstrømning)
- Punktkilder (renseanlæg/spredt bebyggelse > 30 PE)
- Regnvandsbetingede udløb
- Åbent land-bidrag ((landbrug+spredt bebyggelse)-basisbidrag)

En opdeling af afstrømningen af kvælstof og fosfor til søen fordelt på ovenstående belastningskilder fremgår af tabel 3.2.5 og figur 3.2.3. Da der ikke er udledning fra punktkilder til Arreskov Sø, er denne kilde ikke medtaget.

Hovedparten af kvælstofafstrømningen (75-81%) og fosforafstrømningen (56-61%) til Arreskov Sø er en kulturbetinget næringsstofafstrømning fra det åbne land.

Stort set hele kvælstofafstrømningen fra det åbne land stammer fra afstrømning fra landbrugsarealer. Den kvælstofmængde, der kommer fra spildevand fra spredt bebyggelse er lille sammenlignet med den samlede transport i vandløbene.

Fosforafstrømningen fra det åbne land stammer dels fra landbrugsarealerne, dels fra spildevand fra enkeltliggende ejendomme.

Antal PE:	492
Antal PE/ha:	0,20
Kvælstof:*)	1.968 kg/år
Fosfor: **)	645 kg/år

Tabel 3.2.4

Skønnet potentiel spildevandsproduktion fra spredt bebyggelse i oplandet til Arreskov Sø.

*) Beregnet som 4,00 kg N/PE år.

**) Beregnet som 1,31 kg P/PE år.

Det vurderes på nuværende tidspunkt ikke muligt at fastlægge, hvordan næringsstofafstrømningen af fosfor fra det åbne land fordeler sig på afstrømning fra landbrugsarealer og spredt bebyggelse. Årsagen hertil er, at det er et vanskeligt og uopklaret spørgsmål, hvor meget af det spildevand, der udledes fra enkeltliggende ejendomme, der når frem til vandløbene og søen.

Der er beregnet et potentielt spildevandsbidrag fra spredt bebyggelse (tabel 3.2.4) svarende til, hvad der maksimalt skønnes produceret af spildevand fra de optalte enkeltliggende ejendomme i oplandet til søen, men det er uvist, hvor stor en andel af dette spildevand, der når frem til søen.

Tabel 3.2.5

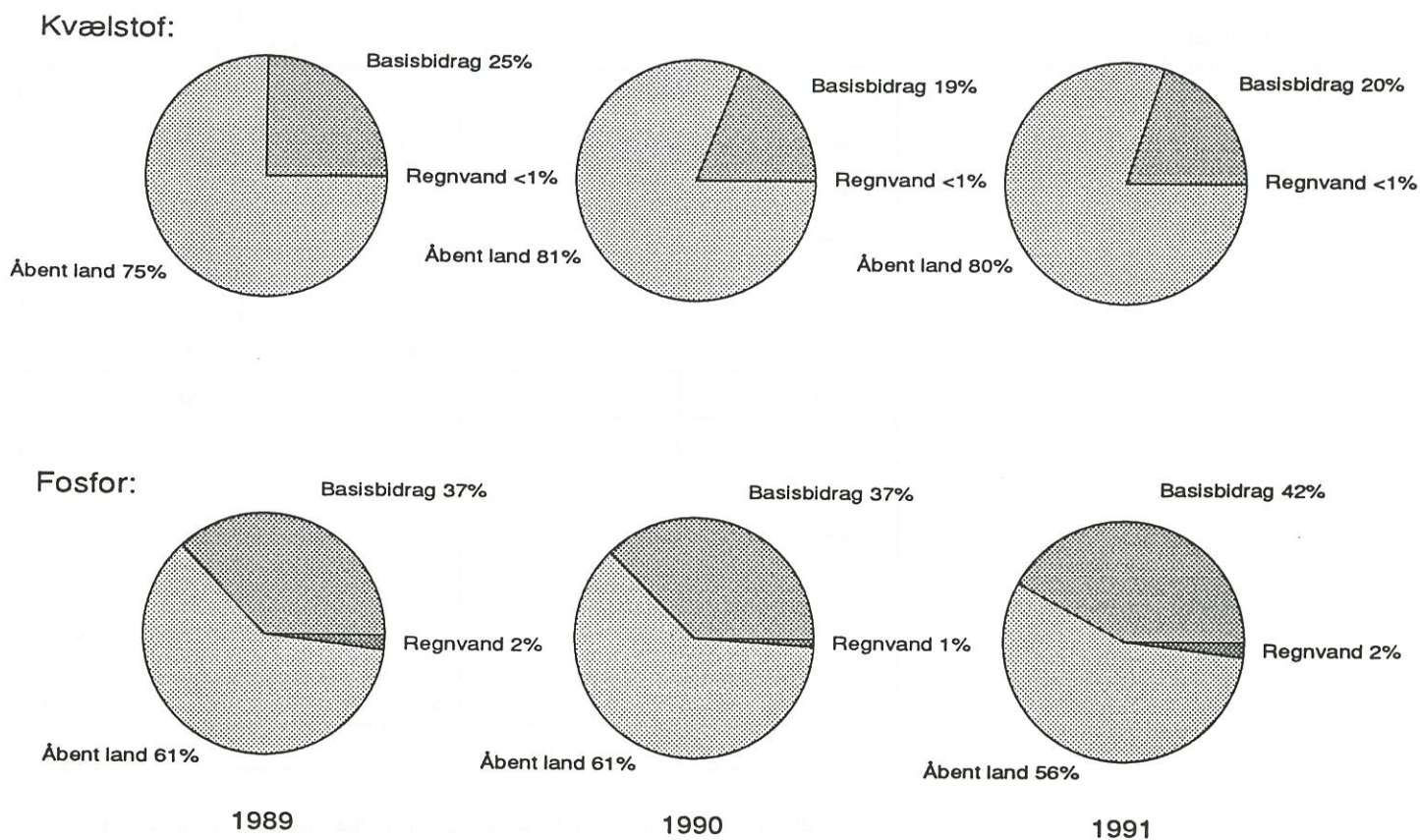
Kildeopsplitningen af afstrømningen af kvælstof og fosfor til Arreskov Sø i 1989, 1990 og 1991.

	1989		1990		1991	
	kg	kg/ha	kg	kg/ha	kg	kg/ha
Kvælstof:						
Basisbidrag*)	4.800	1,94	6.630	2,67	5.620	2,27
Punktkilder:						
- Renseanlæg	0	-	0	-	0	-
- Regnvandsbetingede udløb	36	0,01	36	0,01	36	0,01
Åbent land	14.400	5,81	28.700	11,6	21.900	8,83
I alt	19.200	7,74	35.400	14,3	27.600	11,1
Fosfor:						
Basisbidrag*)	147	0,06	228	0,09	195	0,08
Punktkilder						
- Renseanlæg	0	-	0	-	0	-
- Regnvandsbetingede udløb	9	<0,01	9	<0,01	9	<0,01
Åbent land	242	0,10	377	0,15	262	0,11
I alt	398	0,16	614	0,25	466	0,19

*) Basisbidraget er beregnet ud fra medianværdien for den vandføringsvægtede koncentration af henholdsvis N og P i 7 referenceoplande, jf. bilag 1.



Parti fra Arreskov Sø. Billedet er taget ved Søby Afløbets udløb i søen.



Figur 3.2.3
Kilderne til kvælstof- og fosforafstrømningen til Arreskov Sø 1989, 1990 og 1991.

Den fosforafstrømning, der ville være til søen, såfremt hele oplandet var naturarealer, udgør 37-42% af den samlede afstrømning til søen 1989-1991. Den naturlige kvælstofafstrømning udgør 19-25% af den samlede kvælstofafstrømning til søen de tre år.

Belastningen af søen med spildevand fra overløb fra kloaksystemerne i Korinth by under regn udgør skønsmæssigt mindre end 2% af den samlede kvælstof- og fosforafstrømning til søen (se i øvrigt bilag 1).

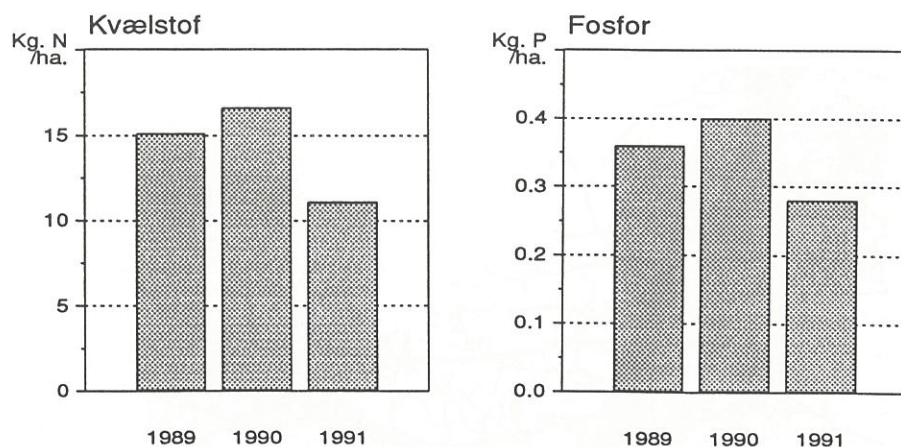
3.3 Atmosfærisk deposition.

Den atmosfæriske deposition på søen er skønnet på baggrund af depositions målinger fra målestationerne Årslev, Boelsmose og Grøftehøj, som ligger på henholdsvis Midt- og Østfyn. Ingen af disse stationer er placeret i oplandet til Arreskov Sø.

Den atmosfæriske deposition af kvælstof og fosfor på søen er har i de 3 år været af størrelsesorden 11-17 kg N/ha/år og 0,3-0,4 kg P/ha.

Den atmosfæriske deposition af kvælstof og fosfor på søen 1989 - 1991 er vist på figur 3.3.1.

Figur 3.3.1
Atmosfærisk deposition af kvælstof og fosfor på søen 1989, 1990 og 1991.



Der henvises i øvrigt til (Fyns Amt, 1992).

3.4 Grundvand.

Grundvandstilførsel direkte til en sø kan udgøre en betydende andel af søens samlede ferskvandstilførsel, og da grundvand også har et vist indhold af næringsstofferne kvælstof og fosfor, kan næringsstofbelastningen fra den direkte grundvandstilstrømning være betydende.

Arreskov Sø har en ret betydelig tilførsel af grundvand direkte til søen. Grundvandstilførslen vurderes, ud fra søens vandbalancer, at have udgjort 16-30% af den totale tilstrømning i de tre år. Metoden til opgørelse af næringsstoftilførslen via grundvandstilstrømning er beskrevet i bilag 1.

3.5 Øvrige belastningskilder.

Arreskov Sø er en meget vigtig rasteplass for grågæs i månederne august-september. Gæssene søger i perioden føde på tilgrænsende arealer, men tilbringer nattetimerne på søen. Herved sker der med gæssenes affaldsprodukter en tilførsel af næringsstoffer fra søomgivelserne til selve søen.

Den anvendte metode til opgørelse af til stoffbelastningen via rastende grågæs er nærmere beskrevet i bilag 1.



Parti fra Arreskov Sø. Billedet er fra den sydlige ende af søen.

3.6 Vurdering af belastningen fra de enkelte hovedtilløb til søen.

Belastningen fra hvert enkelt hovedtilløb til søen er illustreret for perioden 1989-1991 på figur 3.6.1. Dels er de målte koncentrationer af kvælstof og fosfor vist, dels er afstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor vist på månedsbasis. Endvidere er vist, hvad man har anslået, at der afstrømmer fra den del af oplandet til søen, som man ikke måler på. Den geografiske placering af de enkelte tilløb samt afgrænsning af nedbørsoplandet fremgår af figur 1.1.1.

Kvælstof- og fosforkoncentrationer.

Koncentrationen af kvælstof og fosfor i de enkelte tilløb til søen er sammenholdt med, hvad der er målt på 20 udvalgte fynske vandløb i samme periode, illustreret ved et fraktil-bånd dækkende 25-75%’s fraktilen for de målte koncentrationer. Det vil sige, at 50% af alle målingerne i disse vandløb ligger inden for fraktilbåndene.

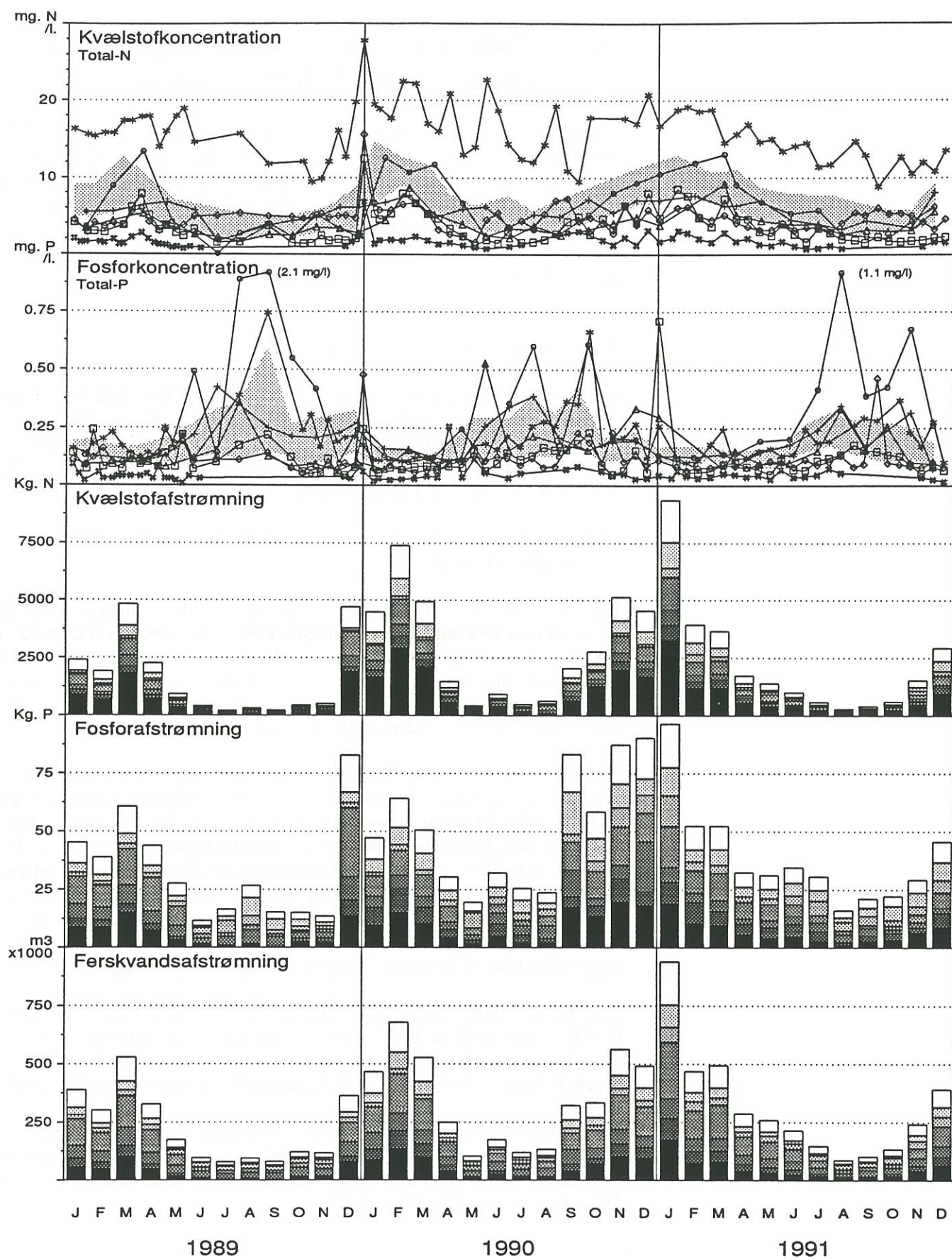
Fraktilbåndene er beregnet ud fra vandløb uden større tilledninger af spildevand fra punktkilder.

Kvælstofkoncentrationen er relativt lille i 4 ud af de 6 vandløb, der måles på i Arreskov sø’s opland sammenlignet med øvrige fynske vandløb. Dette skyldes, at disse vandløb afvander forholdsvis store skovarealer, og at landbrugsarealerne tilsvarende udgør en mindre andel af oplandet end, hvad der er generelt for fynske vandløb. Kvælstofkoncentrationen i disse tilløb er dog alle 2-3 gange større end, hvad man måler i et naturvandløb.

I 2 tilløb til søen er kvælstofkoncentrationen relativt høj sammenlignet med, hvad der generelt måles i de fynske vandløb. Dette skyldes, at en meget stor andel af oplandet består af landbrugsarealer. Men hvorfor vi i det ene tilløb, Gedderenden, har de højeste kvælstofkoncentrationer, der måles på Fyn, kan ikke umiddelbart forklares. En mulig forklaring kunne være et stort husdyrhold i oplandet, men dette er ikke tilfældet. Om der tidligere har været et stort husdyrhold med deraf følgende mulighed for opbygning af et stort kvælstofudvaskningspotentiale i landbrugsjorden, som følge af en ringe udnyttelse af husdyrgødningen, er dog ikke undersøgt.

Det er samtidig bemærkelsesværdigt, at kvælstofkoncentrationen i Gedderenden også er høj i sommerperioden, hvor afstrømningen især skyldes grundvand. Dette viser, at såvel overfladenært som grundvand har et stærkt forhøjet kvælstofindhold. Dette ses kun i meget få vandløb på Fyn.

Fosforkoncentrationen i de 6 hovedtilløb til søen, som der måles på, ligger på et niveau, der er 2-10 gange højere end, hvad der måles i naturvandløb. Det tilløb, som har den højeste gennemsnitlige fosforkoncentration set på årsbasis, er afløbet fra Planteheld.



Figur 3.6.1
Belastningen fra de enkelte deloplunde til Arreskov Sø i 1989, 1990 og 1991. Øverst er vist de målte koncentrationer af kvælstof og fosfor sammenholdt med værdier for andre fynske vandløb. Nederst er vist afstrømningen af kvælstof, fosfor og ferskvand på månedsbasis.

Signaturforklaring til figur 3.6.1:

- *-* Tilløb 1, Gedderenden
- +--+ Tilløb 2, Bollelung
- Tilløb 4, Rislebæk
- ◆-◆ Tilløb 5, Søbo Afløb
- ▲-▲ Tilløb 6, Korinth Regnvand
- Tilløb 7, Plantehøld
- *-* Naturvandløb, Holstenshuus
(afstrømmer ikke til søen)
- ▨ Variationsinterval (25%;75%-fraktiler)
for fynske vandløb
- Tilløb 1, Gedderenden
- Tilløb 2, Bollelung
- Tilløb 4, Rislebæk
- Tilløb 5, Søbo Afløb
- Tilløb 6, Korinth Regnvand
- Tilløb 7, Plantehøld
- Umålt opland

Fosforkoncentrationen svarer i øvrigt til, hvad der måles i andre fynske vandløb, der afvander landbrugsarealer, men ikke tilføres spildevand fra bysamfund.

Afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor.

Set på årsbasis er de mest betydende tilløb til Arreskov Sø, hvad angår ferskvandstilførsel, Gedderenden, Søbo afløbet og Rislebækken. De bidrog i 1989-1991 med tilsammen 57-58% af den samlede ferskvandstilførsel til søen. Søbo afløbet alene bidrog med en fjerdedel af ferskvandsafstrømningen til søen, Gedderenden 14-17% og Rislebækken med 16-19%.

Kvælstofafstrømningen til søen i 1989-1991 via de tre førnævnte hovedtilløb udgjorde 54-64% af den totale kvælstofafstrømning. Gedderenden var dog langt det betydeligste tilløb, idet 32-38% af den samlede kvælstofafstrømning til Arreskov Sø kom fra dette delopland. Rislebækens og Søbo afløbets andel lå i samme periode på henholdsvis 7-11% og 14-19%.

Ser man på den årlige fosforafstrømning til Arreskov Sø fra de tre hovedtilløb i perioden 1989-1991, var bidraget herfra 42-45% af den samlede afstrømning. I 1989 var Søbo afløbet det betydeligste tilløb, hvad angår fosforafstrømning (25%), mens det i de to efterfølgende år var Gedderenden, der bidrog med den største andel af fosfor til søen (17-19%).

Det skal nævnes, at de tre tilløb, Gedderenden, Rislebæk og Søbo afløbet udgør henholdsvis 7, 14 og 28% og dermed tilsammen 48% af søens samlede opland.

I sommerperioden (1. maj-30. september) 1989-1991 var billedet af kvælstofafstrømningen omtrent det samme som gældende på årsbasis, idet de tre førnævnte tilløb, Gedderenden, Rislebæk og Søbo afløbet tilsammen bidrog med 60-67% af den samlede kvælstofafstrømning til søen. Også i sommerperioden afstrømmer langt hovedparten af kvælstoftilførslen til søen via Gedderenden (23-38%), selv om oplandet til dette vandløb, som før nævnt, kun udgør 7% af søens samlede oplandsareal.

Fosforafstrømningen til Arreskov Sø i sommermånederne 1989-1991 fordeler sig til gengæld lidt anderledes de 6 vandløb imellem, end det er tilfældet set på årsbasis. I det tørre år 1989 bidrog Gedderenden og Bollelung afløbet med en bemærkelsesværdig lille andel (3% og 6%). Fosforafstrømningen fra de øvrige vandløbsoplande var nogenlunde lige stor, idet bidragene via disse tilløb var af størrelsesordenen 15-22%. I sommerperioden 1990 og 1991 var fosforafstrømningen fra de 6 deloplande til søen af samme størrelsesorden.

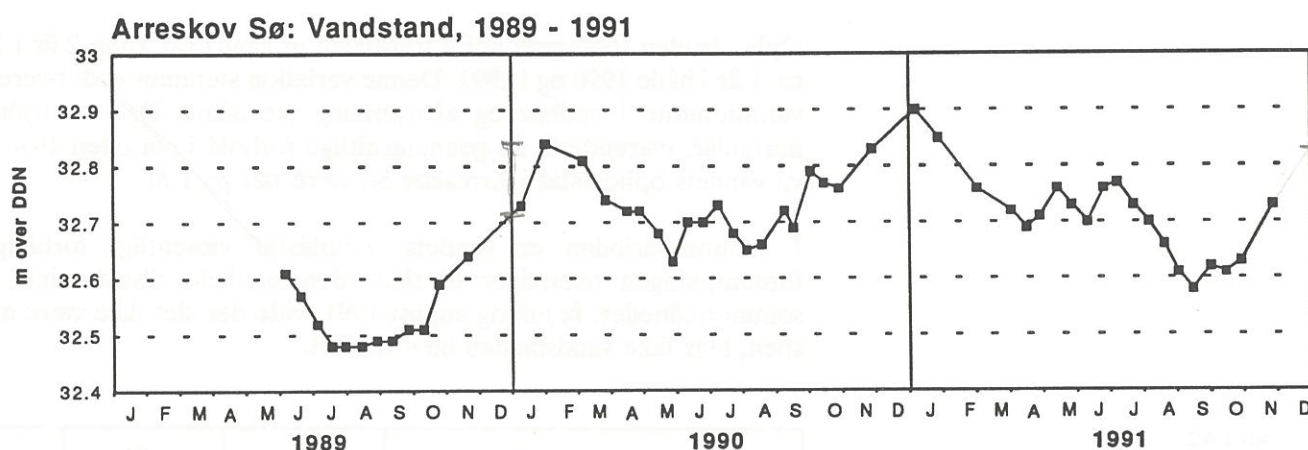
4. Vandbalance.

Dette afsnit beskriver vandbalancen for Arreskov Sø i perioden 1989 til 1991. Grundvandstilskuddet til søen er ikke målt, men beregnet ud fra vandbalanceligningen, der udtrykker, at der skal være balance mellem den vandmængde, der strømmer til søen, og den mængde, der strømmer fra søen:

$$Q_{\text{overfl.}} + \text{Nedbør} + \text{Grundvand} = Q_{\text{afløb}} + \text{Fordampning} + \text{Magasinændring}$$

$Q_{\text{overfl.}}$ betegner den samlede overfladiske tilstrømning fra det topografiske opland, og er beregnet på baggrund af målinger i 7 tilløb. Dette målte opland udgør 80% af søens samlede opland på 24,8 km². Afstrømningen fra restoplandet er beregnet på baggrund af det målte opland ved arealkorrektion som beskrevet i bilag 1. $Q_{\text{afløb}}$ betegner den samlede vandføring i afløbet. Magasinændringen beregnes ud fra ændringer i vandstanden (fig. 4.1) og regnes positiv, når der ophobes vand.

Vandstanden i søen reguleres ved en opstemning ved Arreskov Mølle i søens afløb. Som det fremgår af fig. 4.1, er vandstanden meget svingende, hvilket medfører, at magasinændringen har stor betydning for søens vandbalance. En ændring af søens vandstand på blot 1 cm, svarer således til et vandvolumen på ca. 32.000 m³. Igennem 1990 blev vandstanden hævet 11 cm, mens den igennem 1991 blev sænket 10 cm.



Figur 4.1
Vandstand i Arreskov Sø 1989-91 målt i meter over "Dansk Normal Nul".

I tabel 4.1 er de beregnede årsbalancer for 1989 til 1991 anført. De beregnede balancer på månedsbasis er anført i bilag 2, men skal dog tages med et vist forbehold, da der er væsentlig usikkerhed på de enkelte poster. Da grundvandsbidraget er beregnet ud fra de øvrige størrelser, er især dette usikkert bestemt. De anførte variationer fra måned til måned er derfor ikke i alle tilfælde reelle.

Tabel 4.1
Års-vandbalance for Arreskov Sø 1989-1991.

	$Q_{\text{overfl.}}$ 1.000 m ³	$Q_{\text{afløb}}$ 1.000 m ³	Nedbør 1.000 m ³	Fordampn. 1.000 m ³	Magasinændring 1.000 m ³	Grundvand 1.000 m ³
1989	2.665	3.158	1.826	2.118	-	-
1990	4.146	6.004	2.801	2.124	352	1.533
1991	3.748	5.147	2.382	1.999	-320	697

I 1989 er der ikke vandstandsmålinger for de første 4 måneder, og det har derfor ikke været muligt at beregne en magasinændring for denne periode. I konsekvens heraf kan der heller ikke beregnes en grundvandstilførsel i 1989.

Det beregnede grundvandstilskud udgør henholdsvis 37% og 19% af overfladetilførslen i 1990 og 1991. Det er ikke sandsynligt, at grundvandstilførslen varierer så meget, som tabellen antyder. Variationen skyldes snarere beregnings- og måleusikkerhed. Det anslås således, at grundvandstilførslen er omkring 1 mill. m³, svarende til i størrelsesordenen 25% af den overfladiske afstrømning.

På grund af søens store overfladeareal har nedbør og fordampning stor indflydelse på søens vandbalance. I sommermånederne bliver der tilført mere vand med nedbøren end via den overfladiske afstrømning. I 1989 var der et nedbørsunderskud (nedbør - fordampning) på 292.000 m³, hvorimod der i både 1990 og 1991 var et nedbørsoverskud på henholdsvis 677.000 og 383.000 m³.

I tabel 4.2 er vist den beregnede opholdstid for vandet i Arreskov Sø, dels på basis af den overfladiske tilstrømning og dels på basis af fraførslen af vand i søens afløb.

Opholdstiden (beregnet ud fra fraførslen af vand) var knap 2 år i 1989 og ca. 1 år i både 1990 og i 1991. Denne variation stemmer godt overens med variationerne i nedbør og afstrømning (se afsnit 2). I et hydrologisk normalår, svarende til de gennemsnitlige forhold i perioden 1976 - 1991, vil vandets opholdstid i Arreskov Sø være tæt på 1 år.

I sommerperioden er vandets opholdstid væsentligt forlænget, og fordampningen overstiger til tider den samlede tilstrømning. I flere sommermåneder, fx juli og august 1991, ville der slet ikke være afløb fra søen, hvis ikke vandstanden blev sænket.

Tabel 4.2
Oversigt over opholdstider for vand i
Arreskov Sø 1989-91.

			1989	1990	1991
Opholdstid (overfladisk tilførsel):					
År	(1.1 - 31.12)	år	2,2	1,4	1,6
Sommer	(1.5 - 30.9)	år	4,7	2,9	3,0
Vinter	(1.12 - 31.3)	år	1,2*	0,97	0,82
Maks. måned		år	6,4	4,7	5,6
Min. måned		år	0,93	0,74	0,52
Opholdstid (fraførsel):					
År	(1.1 - 31.12)	år	1,9	1,0	1,1
Sommer	(1.5 - 30.9)	år	7,4	3,5	3,4
Vinter	(1.12 - 31.3)	år	0,8*	0,63	1,5
Maks. måned		år	65	7,3	4,5
Min. måned		år	0,64	0,45	0,37

* I 1989 er vinteropholdstiden beregnet for perioden 1.1 - 31.3.

5. Massebalance.

Dette afsnit beskriver massebalancen for Arreskov Sø for en række stoffer, som enten direkte har betydning for vandplanternes vækst (næringsstofferne kvælstof og fosfor), eller har betydning for tilbageholdelsen af disse næringsstoffer (jern, calcium) i søen.

Ved massebalancen for et givet stof forstås forskellen mellem tilførsel og fraførsel af stoffet. I forbindelse med massebalancen vurderes tilførsel, fraførsel og tab i eller frigivelse af stoffet fra søen.

Tilførslen af de nævnte stoffer fra søens afstrømningsopland er beregnet ud fra udførte målinger (se bilag 1). For kvælstof og fosfor er endvidere beregnet en tilførsel fra atmosfære og fra rastende grågæs (se afsnit 3).

Som det fremgår af afsnit 4, er det på baggrund af vandbalancen beregnet, at der er en betydelig grundvandstilstrømning til søen. Grundvandets skønnede indhold af kvælstof og fosfor er medregnet i massebalancen, men tilførslen af jern og calcium med grundvandet er ukendt og ikke medregnet.

Borttransporten af stof fra søen er beregnet ud fra målinger i søens afløb (jf. bilag 1).

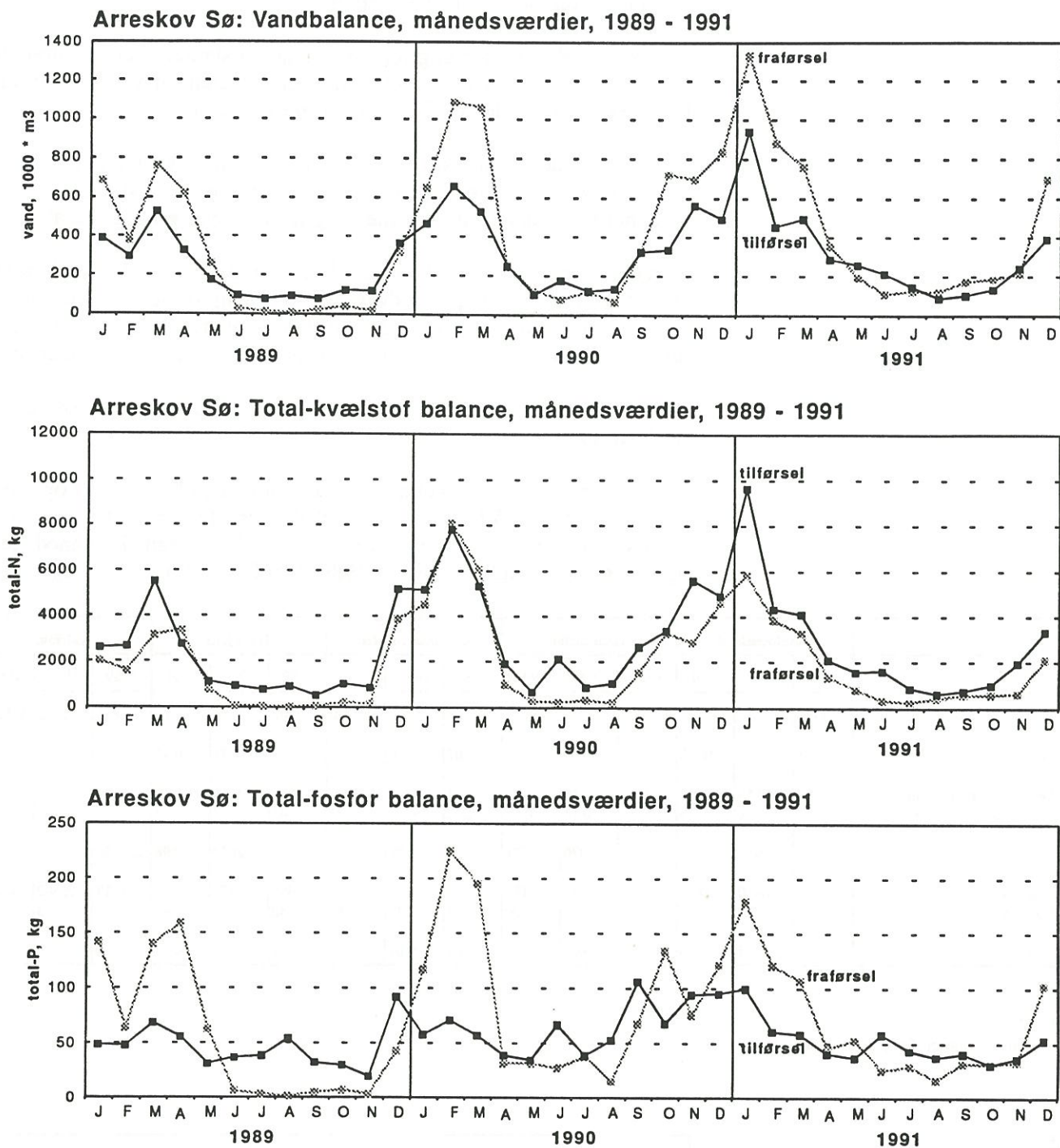
Massebalancen for de enkelte stoffer i perioden 1989 - 1991 er opgjort på årsbasis i tabel 5.1, mens massebalancen for kvælstof og fosfor sommerperioden 1/5-30/9 er vist i tabel 5.2. De beregnede månedlige til- og fraførsler af vand og stoffer i 1989-1990 fremgår af fig. 5.1 og bilag 3.

	Total-kvælstof			Total-fosfor			Ortofosfat-fosfor			Total-jern			Kalций		
	1989	1990	1991	1989	1990	1991	1989	1990	1991	1989	1990	1991	1989	1990	1991
Samlet tilførsel, kg	24824	41427	31872	551	778	592	211	315	228	2101	2258	1715	296855	451670	371255
Arealbelastning, g/m ² år	7,83	13,07	10,05	0,17	0,25	0,19	0,07	0,10	0,07	0,66	0,71	0,54	94	142	117
Indløbskoncentration, mg/l	7,22	8,53	7,36	0,15	0,15	0,12	0,08	0,08	0,06	0,79	0,54	0,46	111	109	99
Udløbskoncentration, mg/l	4,84	5,49	3,89	0,20	0,18	0,15	0,02	0,03	0,02	0,45	0,47	0,62	74	58	65
Fraført, kg	15270	32968	20047	632	1076	771	77	181	118	1421	2837	3198	232538	346168	336840
Nettotab, kg	9554	8460	11826	-81	-298	-179	134	133	110	680	-579	-1483	64317	105502	34415
Nettotab, %	38	20	37	-15	-38	-30	64	42	48	32	-26	-87	22	23	9
Nettotab, g/m ² *år	3,01	2,67	3,73	-0,03	-0,09	-0,06	0,04	0,04	0,03	0,21	-0,18	-0,47	20	33	11

Tabel 5.1
Årlig massebalance for Arreskov Sø 1989-91.

Tabel 5.2
Massebalance for Arreskov Sø i sommerperioden (1.maj-30.september), 1989-91.

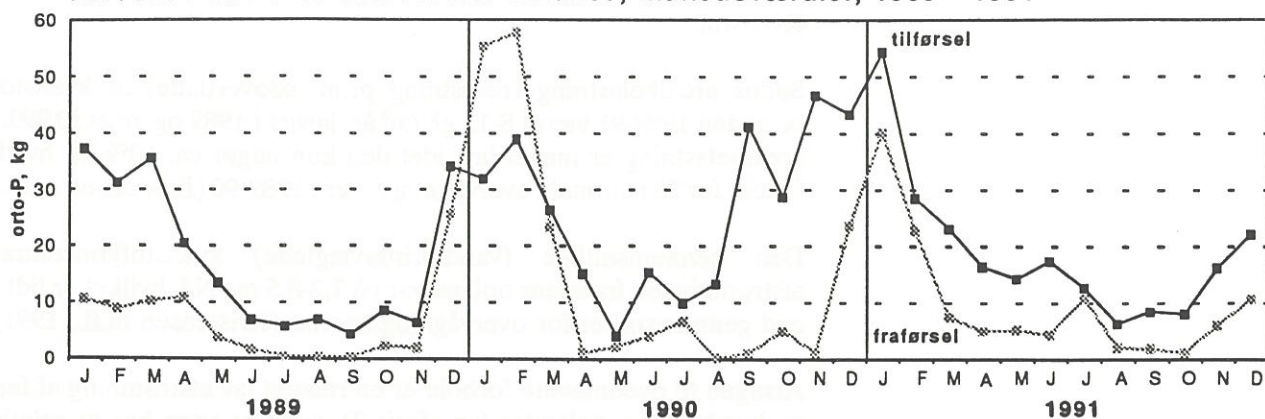
	Total-kvælstof			Total-fosfor		
	1989	1990	1991	1989	1990	1991
Tilført, kg	4209	7372	5429	191	298	215
Fraført, kg	920	2592	2405	76	178	154
Nettotab, kg	3289	4780	3024	115	120	61
nettotab, %	78	65	56	60	40	29



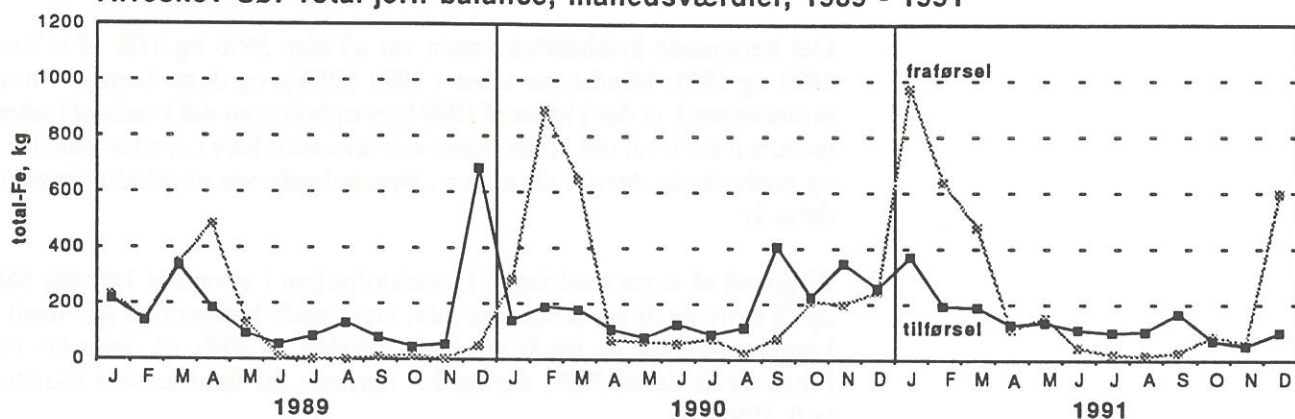
Figur 5.1

Månedlige transporter af vand, total-kvælstof, total-fosfor, ortofosfat-fosfor, jern og kalcium til og fra Arreskov Sø i 1989-91. De angivne vandtilførsler er den overfladiske afstrømning fra søens opland. For total-kvælstof og total-fosfor er vist den samlede beregnede tilførsel fra land, grundvand og andre kilder (nedbør og fugle), mens den angivne tilførsel af de øvrige stoffer kun er den overfladiske tilførsel.

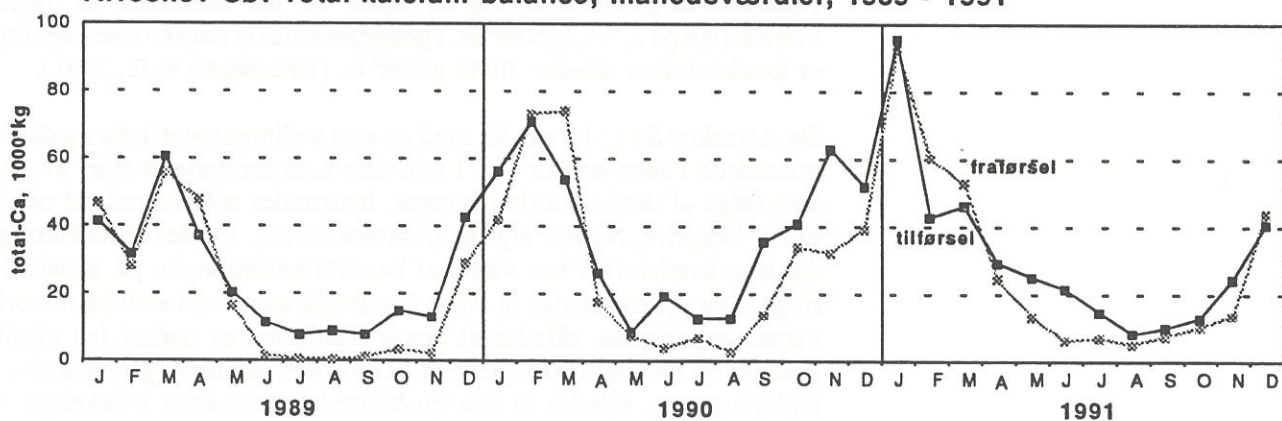
Arreskov Sø: Ortofosfat-fosfor balance, månedsværdier, 1989 - 1991



Arreskov Sø: Total-jern balance, månedsværdier, 1989 - 1991



Arreskov Sø: Total-kalcium balance, månedsværdier, 1989 - 1991



Figur 5.1 (fortsat)

I det følgende gennemgås de enkelte stoffers massebalancer for 1989-1991.

Kvælstof.

Søens arealbelastning (belastning pr. m² søoverflade) af kvælstof har i perioden 1989-91 været 8-13 gN/m² år, lavest i 1989 og højest i 1990. Denne arealbelastning er meget lav, idet den kun udgør ca. 10% af, hvad der er fundet for 25 nationale overvågningssøer i 1989-90 (Kristensen m.fl., 1991).

Den gennemsnitlige (vandføringsvægtede) kvælstofkoncentration i afstrømningen fra søens opland var på 7,2-8,5 mg N/l, hvilket er lidt mindre end gennemsnittet for overvågningssøerne (Kristensen m.fl., 1991).

Årsagen til ovennævnte forhold er en relativt lav afstrømning af ferskvand og kvælstof fra oplandet (se afsnit 3), samt at søen har et relativt stort overfladeareal.

Det beregnede kvælstoftab i søen var på hhv. 38% og 37% af tilførslen i 1989 og 1991. Mindst var tabet i 1990 (20%), og dette hænger antagelig sammen med, at der i løbet af 1989 blev ophobet en del kvælstof i søvandet (se afsnit 6.3). En del af det ophobede kvælstof blev derefter udledt i 1990 og medvirkede derved til, at der tilsyneladende var et mindre kvælstoftab dette år.

På grund af store ændringer i kvælstofpuljen i søvandet kan der således opstå store år til år variationer i det beregnede kvælstoftab (jf. afsnit 6.3). I gennemsnit for de tre år var kvælstoftabet på 30%, og dette tab er lille i forhold til de 40-50%, der er det normale for danske søer (Kristensen m.fl., 1991).

I forhold til søens areal har Arreskov Sø har endvidere et meget lavt kvælstoftab på 2,7-3,7 gN/m² år. I gennemsnittet af danske overvågningssøer er kvælstoftabet således 30-40 gN/m² år (Kristensen m.fl., 1991).

Da Arreskov Sø er lavvandet med en stor sedimentoverflade og da vandets opholdstid i søen er stor (ca. 1 år), ville man forvente et stort kvælstoftab som følge af denitrificering (proces, hvorunder nitrat-kvælstof omdannes til frit kvælstof, N₂, der afgives til atmosfæren). En del af forklaringen på det lave kvælstoftab kan være, at kvælstofbelastningen pr. arealenhed er ringe. Der synes således at være kvælstofmangel ved sedimentoverfladen i sommerperioden, således at denitrifikationen er nedsat (se afsnit 6.3). Endvidere kan den skønnede kvælstoftilførsel med grundvandet være undervurderet, således at kvælstoftilførslerne til søen i virkeligheden er større end beregnet.

Det procentvise kvælstoftab er relativt stort i sommerperioden (56-78%). Imidlertid er den tilbageholdte mængde af kvælstof i denne periode ikke særlig stor. Således sker kun ca. 25-50% af den samlede årlige tilbageholdelse i sommerperioden. Se endvidere afsnit 6.3 for en nærmere diskussion af kvælstofdynamikken.

Fosfor.

Arealbelastningen af fosfor har i perioden 1989-91 været 0,17 - 0,25 g P/m² år, hvilket er lavt i forhold til gennemsnittet af de danske overvågningssøer, hvor arealbelastningen var hhv. 4,0 og 4,5 g P/m² år 1989 og 1990 (Kristensen m.fl., 1991).

Den gennemsnitlige (vandføringsvægtede) fosforkoncentration i afstrømningen fra søens opland var ligeledes forholdsvis lav, nemlig 0,12 - 0,15 mg total P/l, imod 0,3 - 0,4 mg P/l i overvågningssøerne som helhed (Kristensen m.fl., 1991). Arreskov Sø er altså relativt svagt belastet med fosfor.

Fosforbalancen viser, at der hvert år sker en betydelig nettofrigivelse af fosfor fra søen. Den største frigivelse skete i 1990 (298 kg svarende til 38% af den tilførte fosformængde), men også i 1991 var frigivelsen betydelig (30%).

Som omtalt i afsnit 6 skyldes denne frigivelse først og fremmest en ændring af fosforpuljen i søvandet og altså ikke en frigivelse fra sedimentet.

Den gennemsnitlig fosforkoncentration i afløbet er faldet fra 0,20 mg/l i 1989 til 0,15 mg/l i 1991, hvilket tyder på, at fosforafkastningen fra søen generelt er aftagende.

I sommerperioden sker der en nettotilbageholdelse af fosfor, selvom fosforkoncentrationen i søvandet som følge af fosforfrigivelse fra sedimentet er høj. Dette skyldes, at vandføringen i afløbet i denne periode er meget lille. Denne vandføring er dog helt afhængig af driften af stemmeværket i afløbet.

Ortofosfat-fosfor.

For Arreskov Sø var 38-40% af den samlede årlige tilledning af fosfor i 1989-91 på opløst, uorganisk form (orto-fosfat-fosfor). I afløbet udgjorde orto-fosfat-fosfor imidlertid kun 12-15% af den borttransporterede fosformængde.

Selvom der skete en nettofrigivelse af total fosfor fra søen, var der således en nettotilbageholdelse af orto-fosfat. Tilbageholdelsen udgjorde 42-64% af tilførslen.

Dette skyldes, at der ved passagen gennem søen i stort omfang skete en optagelse af orto-fosfat i alger. Fosforen skiftede derved fra opløst til partikulær form. Dette var især udpræget i sommerperioden, hvor fraførslen af orto-fosfat var meget lille, og kun udgjorde 3-11% af den samlede fosforførsel. Selvom der i denne periode blev afgivet meget orto-fosfat fra sedimentet (se afsnit 6.3), blev dette hurtigt optaget i alger, og fandtes derfor ikke som orto-fosfat i vandet.

I vinterperioden kan fraførslen af orto-fosfat derimod være betydelig, fordi algemængden er lille og afstrømningen fra søen er stor. Kun i januar-februar 1990 var fraførslen imidlertid større end tilførslen.

Jern

Koncentrationen af jern i tilløbene til Arreskov Sø er på niveau med medianværdien for de danske overvågningssøer, som var på 0,67 og 0,46 mgFe/l i 1989 og 1990 (Kristensen m.fl., 1991).

Jernbalancen viser en særlig stor fraførsel i januar-marts både i 1990 og 1991. Denne er hovedårsagen til, at der i begge de to år strømmede mere jern fra søen, end der tilførtes via dens tilløb. For 1990 og 1991 er beregnet en jernafgivelse fra søen på hhv. 26% og 87% af tilførslen via tilløb. I modsætning hertil blev der for 1989 beregnet en tilbageholdelse på 32%.

Grundvandsbidraget spiller formodentlig en betydelig rolle for jernbalancen i søen. Jernkoncentrationen i grundvandet er ikke kendt, men det primære grundvandsmagasin (det dybtliggende grundvand) indeholder på Fyn normalt 1-3 mg jern pr. liter. Anvendes en koncentration på 2 mg/l, kan den tilførte jernmængde med grundvandet beregnes til 2000 kg/år, et bidrag, som er på niveau med tilførslen via vandløb. Indregnes denne i jernbalancen, fås en tilbageholdelse på hhv. 65, 33 og 14% i årene 1989-1991. Jernbalancen for Arreskov Sø er således behæftet med stor usikkerhed. Det kan til sammenligning nævnes, at Søholm Sø og Lange Sø tilbageholdt 74-90% af de tilførte jernmængder, og at de nationale overvågningssøer i 1989 og 1990 i gennemsnit tilbageholdt hhv. 58% og 27% (Kristensen m.fl., 1991).

Kalcium

Arealbelastningen med kalcium var i 1989-91 på 94-142 g/m²år. Denne belastning er meget mindre end gennemsnitlig fundet for de nationale overvågningssøer (Kristensen m.fl., 1991).

Den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration af kalcium i tilløbsvandet til Arreskov Sø var 99-111 mg/l i de tre år. Denne koncentration er på niveau med, hvad der gennemsnitligt er fundet for de nationale overvågningssøer (Kristensen m.fl., 1991).

Kalciumbalancen viser en tilbageholdelse på 22-23% i 1989-90 og 9% i 1991. Som for jern er kalciumbalancen meget usikker, da der formodentlig tilføres store mængder kalcium med grundvandet.

Kalciumkoncentrationen i grundvandet er ikke kendt, men det primære grundvandsmagasin indeholder på Fyn normalt 80-100 mg Ca/l. Anvendes koncentrationen 90 mg Ca/l i grundvandet, fås en tilførsel med grundvandet på ca. 140.000 kg Ca, hvilket øger calciumtilbageholdelsen til 42%. Til sammenligning tilbageholdt de nationale overvågningssøer i 1989 og 1990 dog i gennemsnit kun 20% af de tilførte kalciummængder (Kristensen m.fl., 1991).

6. Fysisk-kemiske forhold i søen

6.1 Søvand

Resultaterne af de i 1989-91 udførte fysisk-kemiske målinger i vandfasen i Arreskov Sø fremgår af figur 6.1.1 - 6.1.5. Beregnede sommer- og vinter middelværdier samt fraktiler af udvalgte parametre er i bilag 4 sammenstillet med værdier fra tidligere år. I det følgende gennemgås sæsonvariationen i 1991 i de vigtigste fysisk-kemiske parametre, idet forskelle og ligheder med de to tidligere år kommenteres.

Temperatur.

Der var i ingen af de tre år længerevarende isdække på søen. I 1991 skete der en kraftig opvarmning af vandet i slutningen af marts og i løbet af maj. Årets højeste temperatur på 24,2 °C blev målt i starten af juli. Temperaturen var meget svingende i sommerperioden, hvilket afspejler skift mellem varme, stille perioder og mere kølige, blæsende perioder.

I 1989 var forsommeren varmere end i 1991, og den højeste temperatur på 24,9 °C målt allerede i slutningen af juni. Til gengæld var vandet i selve sommerperioden relativt køligt med temperaturer under 20 °C. I 1990 blev temperaturer over 20 °C først konstateret i starten af august, hvor årets maksimale temperatur på 20,8 °C blev målt.

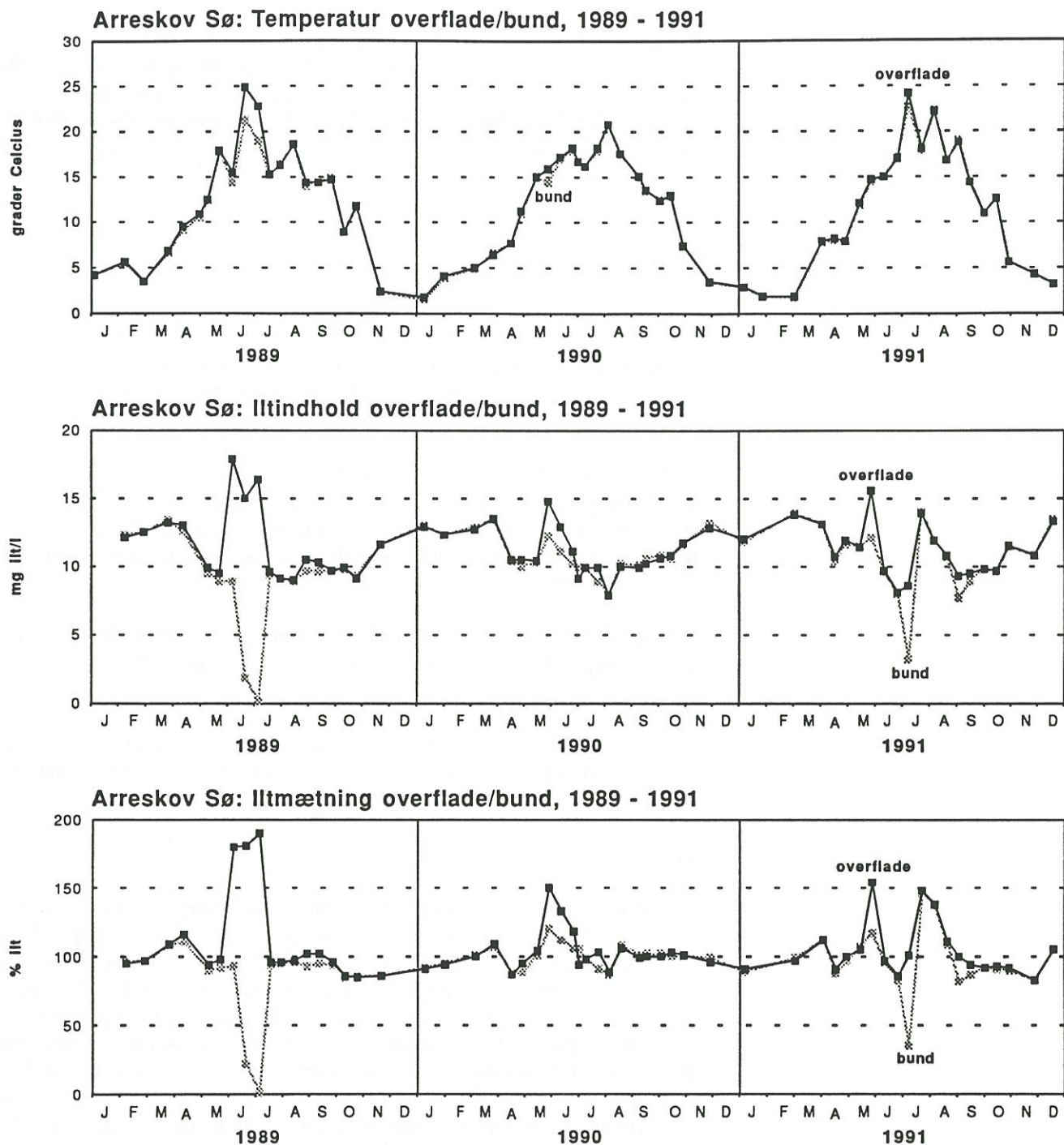
Selvom der således var forskelle i temperaturforløbet de tre år, var middeltemperaturen for sommerperioden næsten ens, hhv. 16,4 °C, 16,0 °C og 16,1 °C.

På grund af søens lavvandede og vindeksponerede karakter forekommer der normalt ingen længerevarende temperaturlagdeling af vandmassen.

Ilt.

Årstidsvariationen i iltindholdet i søens vand afspejler i vidt omfang de fysiske og biologiske processer, der foregår i søen. Iltmætningen i overfladevandet er således størst i perioder med varmt vand (evt. under opvarmning), ringe omrøring og stor planktonalgeproduktion. Tilsvarende optræder lave iltindhold ved bunden i perioder med ringe eller ingen omrøring af vandet. I disse perioder bliver nedbrydningsprocessernes forbrug af ilt ikke kompenseret ved en tilførsel af iltrigt overfladevand. Når iltindholdet det meste af tiden er nær 100% mætning skyldes det, at vandet omrøres af vinden, således at der er balance mellem iltproduktion, iltforbrug og udveksling af ilt med atmosfæren.

I alle tre år var vandmassen i størstedelen af tiden mættet med ilt. I sommerperioden forekom der dog perioder med reduceret iltindhold ved bunden som følge af lagdeling af vandet i varme og stille perioder. Dette var udpræget i begyndelsen af juli 1989, men forekom også til dels i begyndelsen af juli 1991.



Figur 6.1.1
Temperatur og iltindhold/iltmætning nær vandoverfladen (0,2 m's dybde) og lige over bunden i Arreskov Sø, 1989-91.

I efterårsperioden var vandet især i 1989 og 1991 undermættet med ilt. Dette hang sammen med en betydelig nedbrydning af organisk stof i disse perioden, jf. afsnit 6.3.

Sigtdybde.

Sigtdybden er generelt ringe i Arreskov Sø, men der er dog konstateret en tydelig forbedring i 1991 i forhold til de foregående to år.

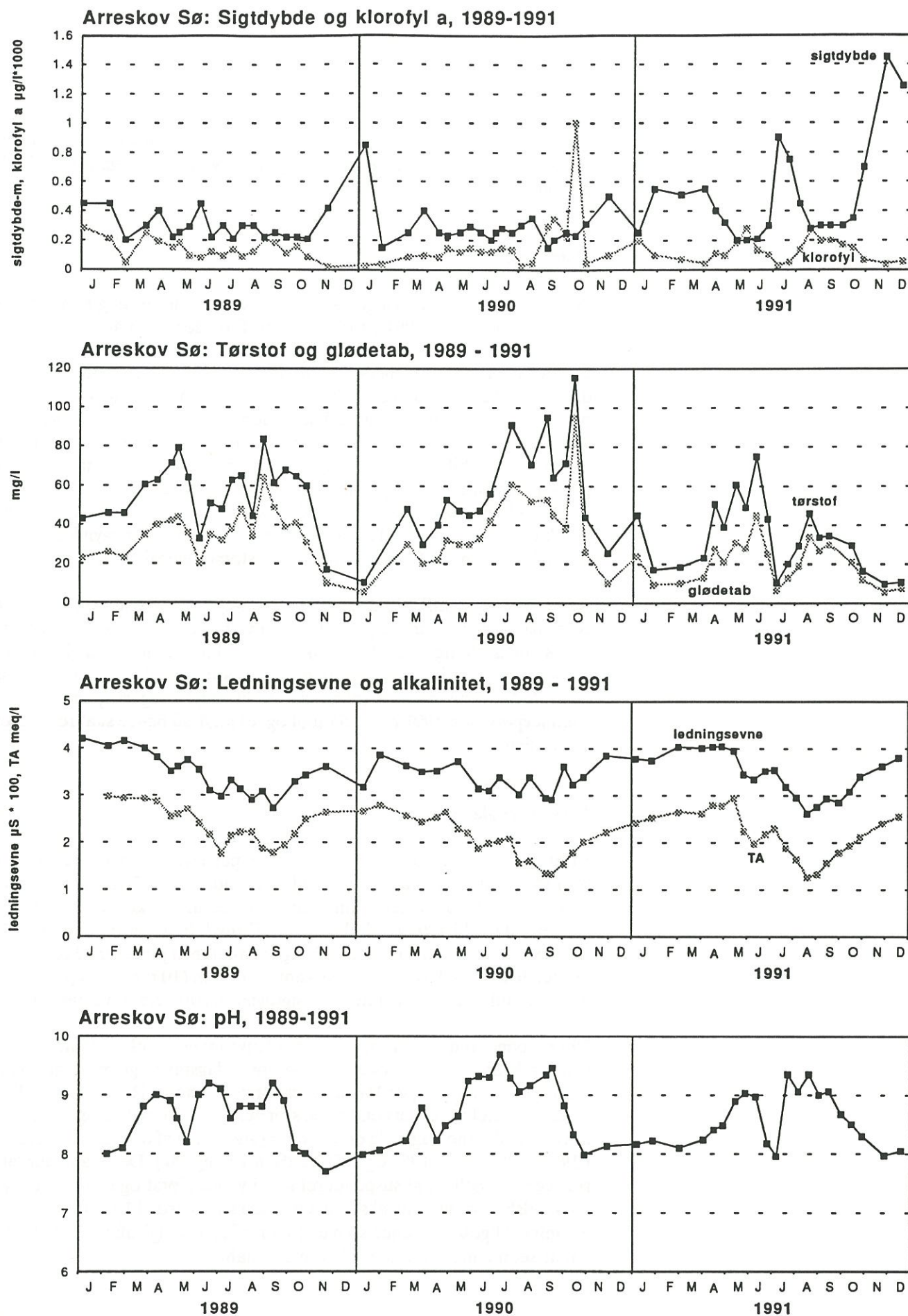
I 1991 var middelsigtdybden i sommerperioden således 0,38 m mod hhv. 0,27 m og 0,25 m i 1989 og 1990. Som det fremgår af bilag 4, er der i 1989 og 1990 målt de mindste sigtdybder siden 1974. Størrelsen af sigtdybden hænger tæt sammen med mængden af alger og suspenderet stof i vandet (fig. 6.1.2 og bilag 7). Når vinden omrører søens vandmasse, hvirvles partikler fra søbunden op i vandet, der derved bliver uklart. Modsat bliver vandet relativt klart i perioder med stille vejr og samtidigt sammenbrud af planktonalgensamfundet. Et sådant tilfælde forekom i begyndelsen af juli 1991. I november nåede sigtdybden sin største værdi på 1,45 m.

Resultater fra samtlige nationale overvågningssøer (Kristensen m.fl., 1991) tyder på, at hvis sommersigtdybden skal være på 1 meter eller derover (jf. søens målsætning, afsnit 1), skal søvandets indhold af klorofyl og suspenderet stof i sommerperioden bringes under hhv. 50 $\mu\text{g/l}$ og 10-15 mg/l . I Arreskov Sø var indholdet af klorofyl-a og suspenderet stof i sommerperioden 1991 hhv. 155 $\mu\text{g/l}$ og 40 mg/l , så begge skal reduceres til en trediedel.

Tørstof og glødetab.

I 1991 var vandets indhold af opslemmede partikler (suspenderet stof) målt som tørstof markant lavere end de foregående to år. Forskellen gjorde sig specielt gældende i sensommeren. Sommermiddelkoncentrationen var således 40 mg/l i 1991 mod hhv. 60 og 67 mg/l de foregående to år. I 1991 forekom den maksimale værdi (75 mg/l) i midten af juni måned på en meget blæsende dag. I juli var der et markant minimum (10 mg/l) i en periode med varmt og stille vejr (se afsnittet om sigtdybde), hvorefter niveauet igen steg.

Det suspenderede stof består dels af planktonalger, dels af bundmateriale, som er hvirvlet op i vandet. Regnes overslagsmæssigt med, at algerne klorofyl a-indhold udgør 1% af deres tørstofindhold (Reynolds, 1984), kan algerne andel af det suspenderede stof vurderes. En sådan beregning synes at vise, at algerne udgjorde en væsentlig større del af det suspenderede stof i 1991 (39%) end i 1989 og 1990 (22% for begge år). Dette antyder, at det reducerede indhold af suspenderet stof i vandet først og fremmest skyldes en mindsket ophvirvling af sedimentet. Da sommeren i 1991 tilsyneladende var mindst ligeså blæsende som de to foregående år (jf. afsnit 2), tyder dette på, at sedimentet er ved at blive mere stabilt.



Figur 6.1.2

Sigtdybde og indhold af klorofyl-a, tørstof, glødetab samt ledningsevne, alkalinitet og pH i søvandet nær vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Arreskov Sø, 1989-91.



Den organiske del af det suspenderede stof, målt som tørstoffets glødetab, udgjorde i 1991 en relativt konstant andel på ca. 50% frem til slutningen af juli. Fra august, hvor blågrønalger dominerede planteplanktonsamfundet, steg glødetabets andel til ca. 70% af tørstoffet.

Et tilsvarende billede er ikke tydeligt i 1989-90, hvor glødetabet udgjorde 60-70 % af tørstoffet i størstedelen af året. Der er således ikke konstateret nogen generel sammenhæng mellem dominans af blågrønalger og en forhøjet andel af organisk materiale i det suspenderede stof.

Ledningsevne og alkalinitet.



Ledningsevnen, der er et mål for vandets indhold af opløste ioner (herunder kalcium- og bikarbonationer) i søvandet, ligger i Arreskov Sø på et niveau, der er typisk for kalkrige søer. Såvel ledningsevne som total alkalinitet (angiver indholdet af basisk reagerende stoffer) i overfladevandet er i sensommeren lavere end på andre tider af året. Dette skyldes, at der i forbindelse med planteplanktonets fotosyntese foregår en produktion af baser med en udfældning af kalk (CaCO_3) til følge.

pH.



Vandets surhedsgrad, pH, var i sommerperioden 1991 gennemsnitlig 8,9 med den højst målte værdi på 9,4 i juli og august. De højeste pH-værdier forekom i sommerperioden som et resultat af planktonalgernes vækst (se afsnittet om ledningsevne og alkalinitet). Tilsvarende er den lave værdi i juli (8,2), observeret i forbindelse med et sammenbrud af planktonalgensamfundet. I vinterperioden var pH omkring 8.

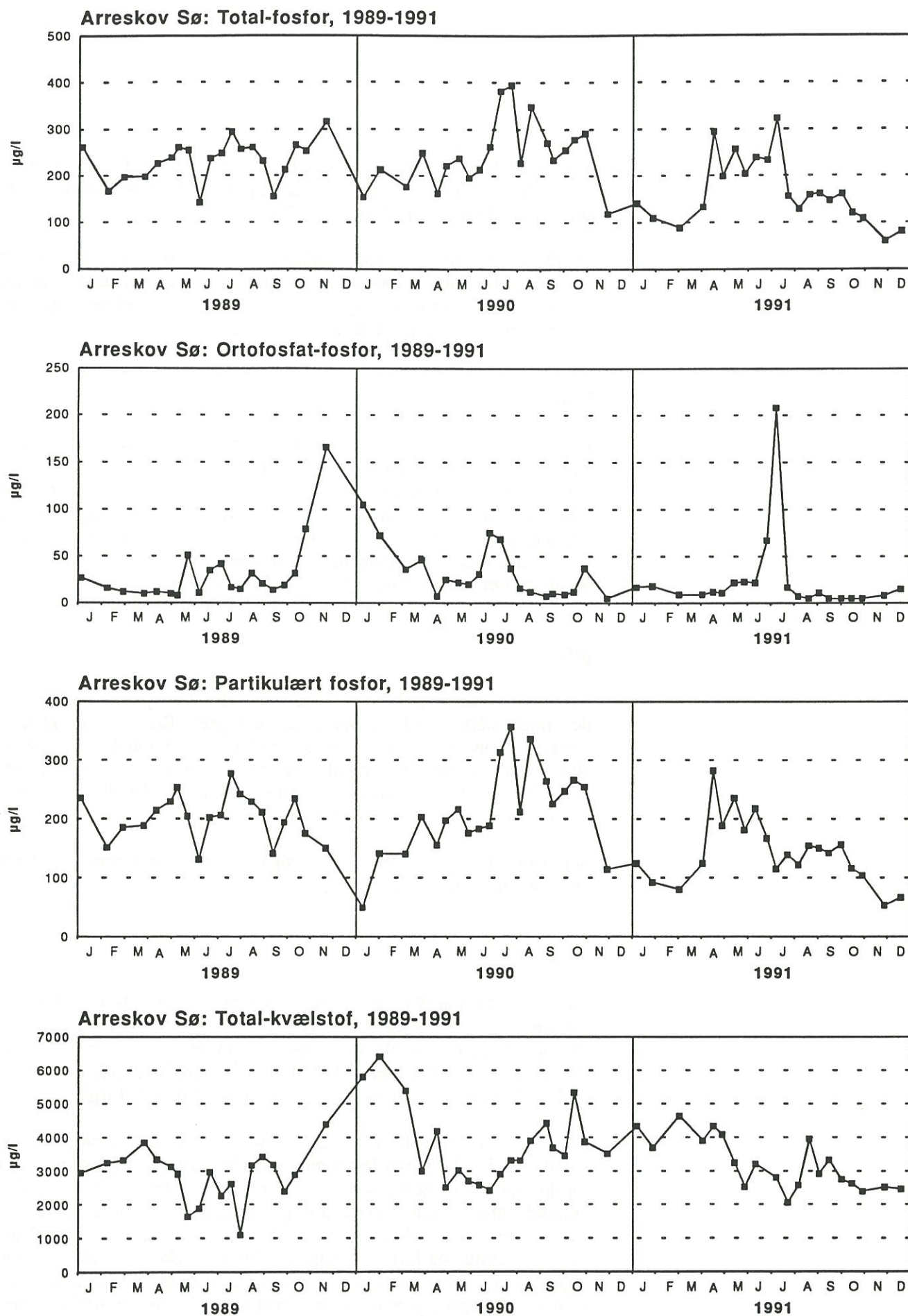
pH-niveauet i 1989 og 1990 adskilte sig kun lidt fra 1991. Sommergennemsnittet var disse to år hhv. 8,8 og 9,2.

Fosfor.



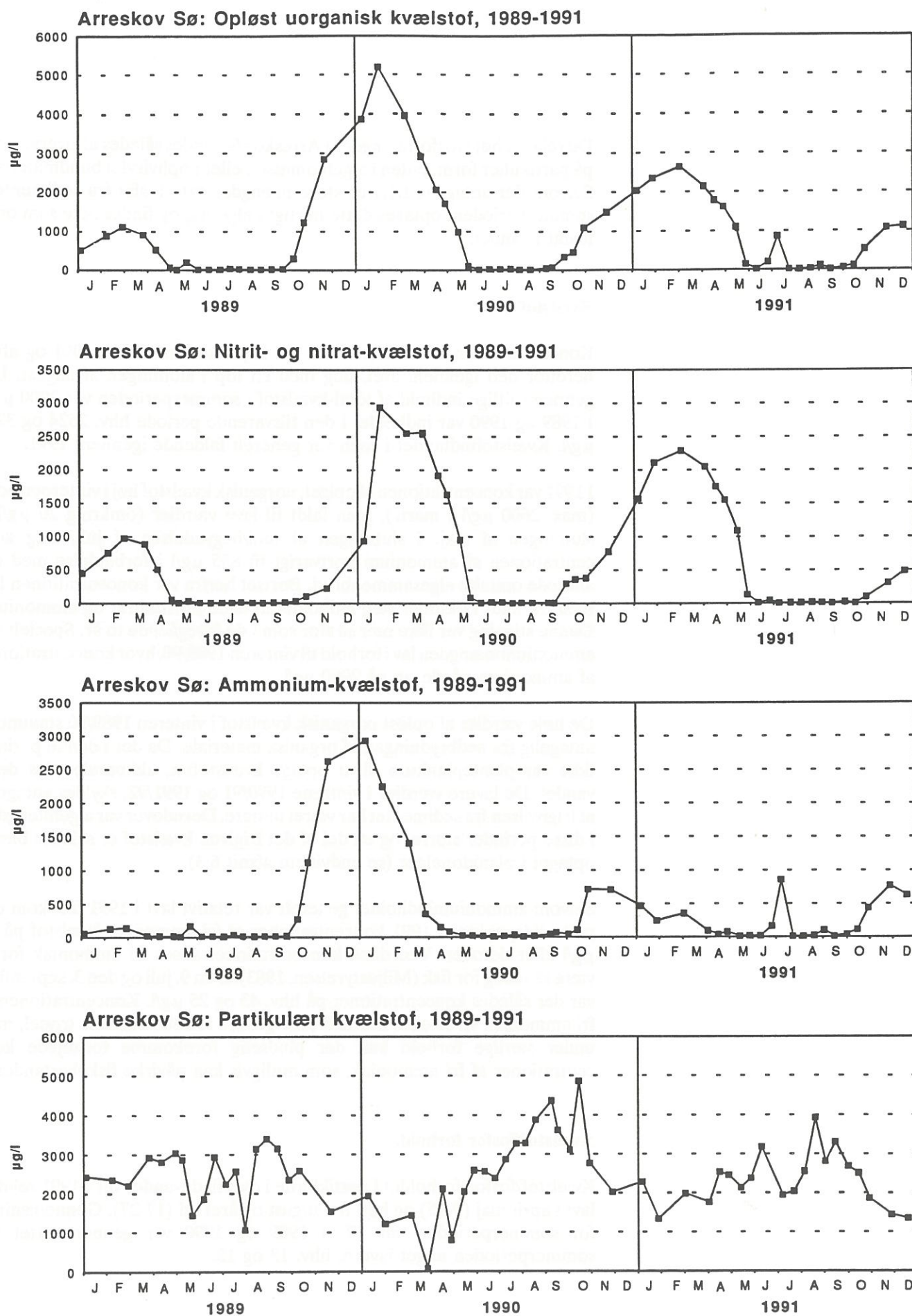
I sommerperioden 1991 var søvandets gennemsnitlige indhold af total-fosfor 199 $\mu\text{g/l}$, hvilket var væsentligt lavere end i både 1989 og 1990, henholdsvis 231 og 275 $\mu\text{g/l}$. Specielt var august og september 1991 kendetegnet ved at have lave fosforniveauer på 150 - 160 $\mu\text{g/l}$, hvor niveauet i samme periode de foregående to år var væsentligt højere, omkring 250 $\mu\text{g/l}$.

Kun en ringe del af fosforen fandtes som opløst uorganisk fosfat (ortofosfat), i middel 35 $\mu\text{g/l}$ for sommeren 1991. En undtagelse herfra sås i forbindelse med lagdelingen og algesammenbruddet i starten af juli, hvor indholdet af ortofosfat kortvarigt steg til 208 $\mu\text{g/l}$. Årsagen til denne kraftige stigning var en stor afgivelse af fosfat fra sedimentet på grund af høj vandtemperatur og lavt iltindhold ved bunden. Da der samtidig ikke var nogen alger til at optage fosfaten, akkumuleredes denne i vandet. Allerede 14 dage efter var algebiomassen stærkt stigende, og ortofosfaten optaget i alger.



Figur 6.1.3

Indhold af total-fosfor, ortofosfat-fosfor, partikulært fosfor og total-kvælstof i søvandet nær vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Arreskov Sø, 1989-91.



Figur 6.1.4

Indhold af opløst uorganisk kvælstof, nitrit- og nitrat-kvælstof, ammonium-kvælstof og partikulært kvælstof i søvandet nær vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Arreskov Sø, 1989-91.

De relativt høje fosformængder i Arreskov Sø findes således altovervejende på partikulær form, enten i algebiomassen eller i ophvirvlet bundmateriale. Selvom der antagelig frigives store mængder orto-fosfat fra sedimentet i sommerperioden, optages dette hurtigt i algerne, og findes ikke som orto-fosfat i vandet.

Kvælstof.

Koncentrationen af total-kvælstof var høj i starten af året 1991 og aftog herefter hen igennem året, dog med en top i slutningen af august. Det gennemsnitlige indhold af total-kvælstof i sommerperioden var 3000 µg/l. I 1989 og 1990 var indholdet i den tilsvarende periode hhv. 2524 og 3206 µg/l. Kvælstofindholdet i søen var generelt faldende igennem 1991.

I 1991 var koncentrationen af opløst, uorganisk kvælstof høj i vinterperioden (max. 2600 µg/l i marts), men faldt til lave værdier (omkring 20 µg/l) i slutningen af maj. I slutningen af juni/begyndelsen af juli, steg koncentrationen af ammonium kortvarigt til 855 µg/l i forbindelse med det allerede omtalte algesammenbrud. Bortset herfra var koncentrationen lav, men fra midt i oktober steg indholdet af både nitrit/nitrat og ammonium. Denne stigning var ikke nær så stor som i de foregående to år. Specielt var ammoniummængden lav i forhold til vinteren 1989/90, hvor koncentrationen af ammonium nåede op på 2900 µg/l.

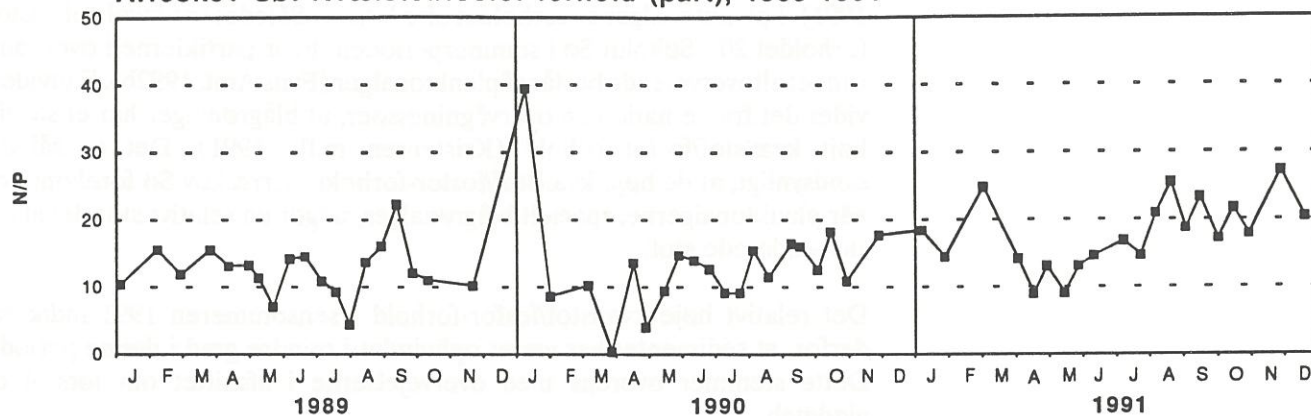
De høje værdier af opløst uorganisk kvælstof i vinteren 1989/90 stammede antagelig fra nedbrydningen af organisk materiale. Da der i denne periode ikke var planteplankton til at optage kvælstoffet, akkumuleredes det i vandet. De lavere værdier i vintrene 1990/91 og 1991/92, skyldes antagelig at frigivelsen fra sedimentet har været mindre. Derudover var algemængden i disse perioder større, og en del af det frigivne kvælstof er således blevet optaget i planktonalger (se endvidere afsnit 6.3).

Selvom ammoniumindholdet generelt var relativt lavt i 1991 forekom der på to tidspunkter i 1991 koncentrationer af fri ammoniak-kvælstof på 25 µg/l eller derover. Ved disse koncentrationer anses fri ammoniak for at være skadelig for fisk (Miljøstyrelsen, 1983). Den 9. juli og den 3. september var der således koncentrationer på hhv. 43 og 25 µg/l. Koncentrationen af fri ammoniak vil således normalt ikke genere fiskebestandens trivsel, men under særlige forhold kan der pludselig forekomme forhøjede koncentrationer af fri ammoniak, som muligvis kan påvirke fiskebestanden.

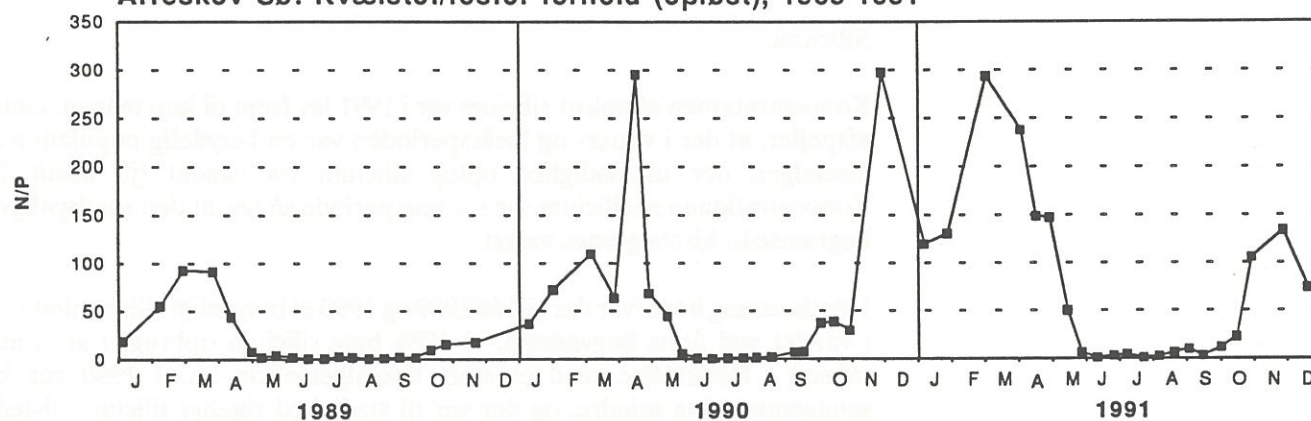
Kvælstof/fosfor-forhold.

Kvælstof/fosfor-forholdet i partiklerne i overfladevandet var i 1991 relativt lavt i april-maj (9-15) og højt fra august og året ud (17-27). Gennemsnittet for sommerperioden var 17. I 1989 og 1990 var gennemsnittet for sommerperioden noget lavere, hhv. 13 og 12.

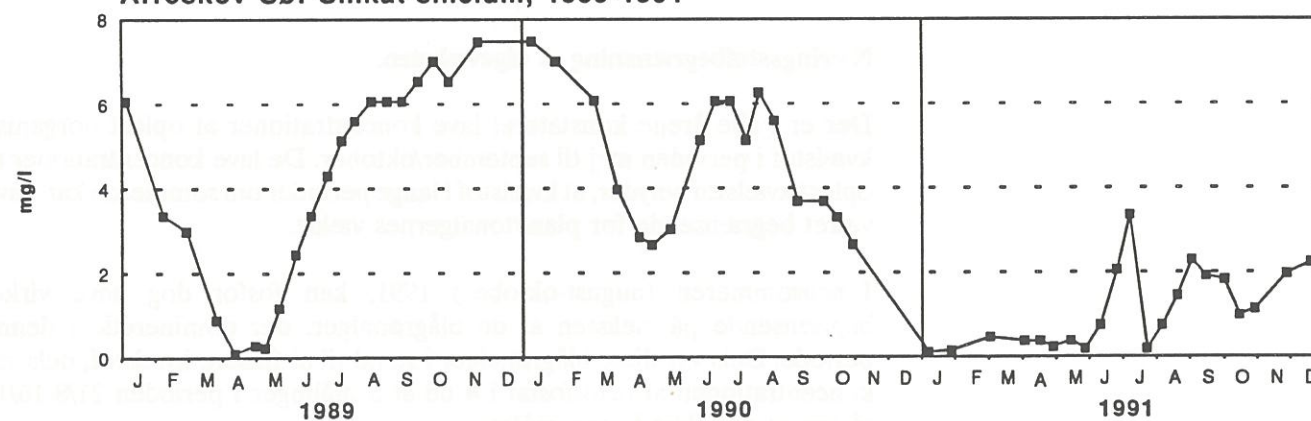
Arreskov Sø: Kvælstof/fosfor-forhold (part), 1989-1991



Arreskov Sø: Kvælstof/fosfor-forhold (opløst), 1989-1991



Arreskov Sø: Silikat-silicium, 1989-1991



Figur 6.1.5

Forholdet mellem kvælstof og fosfor i henholdsvis partikulær og opløst form samt indhold af silicium i søvandet nær vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Arreskov Sø, 1989-91.

Partiklerne i overfladevandet består dels af planktonalger, dels af ophvirvlet bundmateriale. Fra en tidligere undersøgelse af sedimentet i Arreskov Sø vides, at kvælstof/fosfor-forholdet i overfladesedimentet er ca. 10 (Fyns Amt, 1991). I planktonalger er forholdet ofte højere. Således var kvælstof/fosfor-forholdet 20 i Søholm Sø i sommerperioden, hvor partiklerne i overfladevandet altovervejende består af planktonalger (Fyns Amt, 1992b). Endvidere vides det fra de nationale overvågningssøer, at blågrønalger har et særligt højt kvælstof/fosfor-forhold (Kristensen m.fl., 1991). Det er således sandsynligt, at de høje kvælstof/fosfor-forhold i Arreskov Sø forekommer, når planktonalgerne, specielt blågrønalger, udgør en relativt stor del af det suspendede stof.

Det relativt høje kvælstof/fosfor-forhold i sensommeren 1991 indikerer derfor, at sedimentet har været ophvirvlet i mindre grad i denne periode. Dette stemmer overens med overvejelserne i afsnittet om tørstof og glødetab.

Silicium.

Koncentrationen af opløst silicium var i 1991 lav frem til juni måned. Dette afspejler, at der i vinter- og forårsperioden var en betydelig population af kiselalger, der til stadighed optog silicium fra vandet (jf. afsnit 7). Koncentrationen af silicium var i denne periode så lav, at den sandsynligvis begrænsede kiselalgerne vækst.

I modsætning hertil var der i både 1989 og 1990 et betydeligt siliciumindhold i vandet ved årets begyndelse. I 1989 blev silicium opbrugt i april-maj måned i forbindelse med et stort kiselalgemaksimum. I 1990 var kiselalgemængden mindre, og der var til stadighed rigeligt silicium tilstede i vandet.

Næringsstoffbegrænsning af algevæksten.

Der er i alle årene konstateret lave koncentrationer af opløst uorganisk kvælstof i perioden maj til september/oktober. De lave koncentrationer af opløst kvælstof betyder, at kvælstof i lange perioder om sommeren kan have været begrænsende for planktonalgerne vækst.

I sensommeren (august-oktober) 1991, kan fosfor dog have virket begrænsende på væksten af de blågrønalger, der dominerede i denne periode. Dels var disse blågrønalger i stand til at fiksere kvælstof, dels var koncentrationen af orto-fosfat i 4 ud af 5 målinger i perioden 21/8-16/10 så lav, at den ikke kunne måles.

Da der antagelig har været en betydelig frigivelse af orto-fosfat fra sedimentet i denne periode, kan denne imidlertid have været tilstrækkelig til at forsyne planktonalgerne med fosfor. Det er således usikkert, om fosfor i realiteten har begrænset planktonalgerne vækst, selvom det ikke fandtes i vandet i målbare koncentrationer.

I både 1989 og 1990 har koncentrationen af orto-fosfat været for høj til, at der kan have været tale om fosforbegrænsning af algevæksten i disse to år.

Som før omtalt kan silicium endvidere have begrænset kiselalgerne vækst i foråret 1991.

6.2 Sammenhæng mellem stoftilførsel og stofkoncentration i søen.

Der er for søer udviklet en række simple modeller, som beskriver sammenhængen mellem den årlige tilførsel af henholdsvis fosfor og kvælstof og den koncentration af stofferne, som findes i søvandet. Disse modeller kan bl.a. bruges til at vurdere, hvordan en sø vil udvikle sig ved en ændring af belastningens størrelse.

Fosfor.

Fosformodellerne bygger typisk på en generel sammenhæng udtrykt ved ligningen:

$$P_{ss} = P_{ind} (1 - R_p)$$

hvor P_{ss} og P_{ind} er årsmiddelkoncentrationen af total-fosfor i hhv. søvandet og indløbsvandet, og R_p er retentionskoefficienten for fosfor, dvs. den brøkdel af fosfortilførslen, som tilbageholdes i søen.

Modellerne adskiller sig i den måde, hvorpå R_p beregnes. Den model, der har vist sig bedst at beskrive forholdene i Arreskov Sø, er anført som model 12 af Kristensen m.fl. (1990a).

I denne model beregnes R_p således:

$$R_p = (0,11 + 0,18 Tw) / (1 + 0,18 Tw),$$

hvor Tw er vandets opholdstid i søen.

Model 12 er den, der bedst beskriver forholdene i lavvandede søer med relativ lang opholdstid (Kristensen m.fl., 1990a).

I nedenstående tabel er de observerede årsmiddelkoncentrationer af total-fosfor i Arreskov Sø sammenstillet med de værdier, der fremkommer udfra de målte fosfortilførsler ved anvendelse af ovennævnte model 12.

Tabel 6.2.1

Fosfortilførsler og middelkoncentrationen i tilløb til Arreskov Sø sammenstillet med den observerede årsmiddelkoncentration i søen og den koncentration, der kan modelberegnes ud fra formel 12 i Kristensen m.fl. (1990a).

År	Tilført udefra kg	P_{ind} µg/l	P_{ss} målt µg/l	P_{ss} beregnet µg/l	P_{ss} beregnet % af målt
1974	1560	435	110	300	272
1987	850	240	449	180	40
1989	551	172	232	114	49
1990	778	122	230	92	40
1991	592	123	153	90	76

I tabel 6.2.1 er P_{ind} beregnet som den totale fosfortilførsel divideret med den samlede vandtilførsel incl. grundvand og et evt. nedbørsoverskud. Dette gælder dog ikke 1974 og 1987, hvor kun den overfladiske tilførsel er anvendt ved beregningen. Resultaterne fra disse to år skal derfor tages med forbehold og kun betragtes som retningsgivende. Modellen er endvidere følsom overfor, om de beregnede/skønnede grundvandsmængder og koncentrationer er korrekte.

I 1974 synes søens sediment at have haft en god bindingskapacitet for fosfor. Selvom der blev tilført store fosformængder med spildevand, var den målte fosforkoncentration i søen således væsentligt lavere end den beregnede. Det skal dog bemærkes, at der er stor usikkerhed på tallene fra 1974.

De store tilledninger af spildevand fortsatte indtil 1983, og som følge heraf skete der en voldsom ophobning af fosfor i sedimentet. Denne ophobning har i 1980'erne og frem til nu forårsaget, at der hvert år afgives store mængder fosfor fra sedimentet. Dette har betydet, at de aftagende fosfortilførsler udefra ikke har medført en tilsvarende nedsat koncentration i søvandet.

Modellen beregner den fosforkoncentration, man ville forvente i en ligevægtssituation, dvs. uden den nuværende interne belastning. Det forhold at det observerede fosforniveau, bortset fra 1990, nærmer sig det modelberegnete tyder på, at fosforfrigivelsen fra sedimentet er aftagende. Dette vil blive nærmere behandlet i afsnit 6.3. Den lave beregnede værdi i 1990 kan skyldes, at grundvandstilførslen dette år er overvurderet.

Under forudsætning af, at den skønnede fosfortilførsel med grundvandet ikke er undervurderet, tyder modelberegningen på, at fosfortilførslerne til søen er ved at være bragt ned på et niveau, hvor den biologiske tilstand kan bedres væsentligt, så snart fosforfrigivelsen fra sedimentet mindskes yderligere (se i øvrigt afsnit 8.2).

Kvælstof.

Sammenhængen mellem kvælstoftilførslen til søen og søvandets kvælstofindhold er af Kristensen m.fl. (1990a) beskrevet ud fra 3 forskellige modeller:

$$\text{Model 1: } N_{sø} = 0,45 N_{ind}$$

$$\text{Model 2: } N_{sø} = 0,42 N_{ind} Tw^{-0,11}$$

$$\text{Model 3: } N_{sø} = 0,34 N_{ind} Tw^{-0,16} z^{0,17}$$

hvor $N_{sø}$ og N_{ind} er henholdsvis middelkoncentrationen af totalkvælstof i søvandet og i tilløbsvandet, Tw er vandets opholdstid i søen og z er søens middeldybde.

N_{ind} er beregnet som den totale kvælstoftilførsel divideret med den samlede vandtilførsel incl. grundvand og et evt. nedbørsoverskud.

I Arreskov Sø giver model 1 umiddelbart den bedste beskrivelse af forholdene, idet de beregnede koncentrationer ligger tæt på de observerede (74-110%), se tabel 6.2.2. Model 2, som tager hensyn til vandets opholdstid i søen, og model 3, som derudover også indregner middeldybden, beregner begge en lidt for lav kvælstofkoncentration i søen. Deres resultater svarer således til hhv. 69-96% og 62-84% af den målte kvælstofkoncentration. Grunden hertil er antagelig, at kvælstoftabet i Arreskov Sø er mindre end man ville forvente i en sø med en opholdstid på omkring 1 år (jf. afsnit 5 og afsnit 6.3).

Den største forskel mellem observeret og beregnet værdi ses i 1990. Dette skyldes muligvis (som også anført ved fosformodellen), at den beregnede grundvandstilførsel dette år er for stor.

Tabel 6.2.2

Sammenhæng mellem den årlige kvælstof-tilførsel til Arreskov Sø og søvandets årsmiddelkoncentration af kvælstof, dels målt og dels beregnet efter model 1, 2 og 3. I parentes er den beregnede værdi som procent af den målte værdi anført.

År	Tilført N kg	N _{ind} mg/l	T _w år	N _{ss} (målt) mg/l	N _{ss} (model 1) mg/l %	N _{ss} (model 2) mg/l %	N _{ss} (model 3) mg/l %
1989	24.000	7,77	1,86	3,18	3,49 (110)	3,05 (96)	2,66 (84)
1990	41.400	6,51	0,98	3,97	2,93 (74)	2,74 (69)	2,47 (62)
1991	31.900	6,61	1,14	3,26	2,97 (91)	2,74 (84)	2,45 (75)

6.3 Stofudveksling mellem atmosfære, søvand og sediment.

Udover den eksterne næringsstofbelastning af søen har også interne fysisk-kemiske og biologiske processer i søen væsentlig betydning for næringsstofindholdet i søvandet.

Fosfor.

Søvandets indhold af total-fosfor afhænger bl.a. af udvekslingen af fosfor mellem vand og sediment. Denne udveksling består dels af en fosforfrigivelse fra/ophvirvling af sedimenetet, dels af bundfældning af organisk og uorganisk stof indeholdende fosfor.

Fosforudvekslingen mellem søens vand og sediment i en given periode kan beregnes ud fra ændringerne i vandets fosforpulje, når der tages hensyn til de fosformængder, der tilføres og fraføres søen indenfor perioden. Til dette formål er fosforpuljen i søen opgjort til den første i hver måned ved interpolation mellem de målte værdier af vandstand (volumen) og fosforkoncentration.

Den beregnede månedlige fosforudveksling med sedimentet er vist i bilag 5. På baggrund heraf er der i tabel 6.3.1 opstillet en "årsbalance" for fosfor, hvor de beregnede puljeændringer og fosforudvekslingen med sedimentet er anført.

Det ikke muligt at skelne mellem, om en beregnet fosforfrigivelse skyldes en egentlig frigivelse af ortofosfat-fosfor, der kan optages af planteplankton, eller om den skyldes en (evt. kortvarig) ophvirvling af fosforholdigt bundmateriale.

Tabel 6.3.1

Årsbalance for fosfor i Arreskov Sø inklusiv puljeændringer i søvandet og udveksling med sedimentet.

	1989	1990	1991	1992
Pulje 1. januar, kg	1541	1087	864	470
Tilført, kg	551	778	592	
Ophobet i vand, kg	-453	-223	-394	
Sedimenteret, kg	372	-74	216	
Fraført, kg	632	1076	771	
Årsmiddel fosforpulje, kg	1306	1386	905	

se 4 %

På baggrund af den beregnede årsbalance ses følgende:

- * Fosforpuljen i søvandet ved årets begyndelse har været aftagende igennem perioden. Således udgjorde fosforpuljen den 1. januar 1992 kun 30 % af puljen den 1. januar 1989. Den lave fosforpulje 1. januar 1992 skyldtes overvejende en lav fosforkoncentration i vandet, men også, at vandstanden var relativt lav på dette tidspunkt.
- * Den faldende fosforpulje er et resultat af, at der hvert år er sket en udtømning af fosfor fra vandfasen. Dette har resulteret i faldende fosforkoncentrationer i vandet.
- * Der er i to af årene (1989 og 1991) sedimenteret betydelige fosformængder, svarende til hhv. 68% og 36% af de tilførte mængder. Selvom der sker en betydelig fosforfrigivelse fra sedimentet i visse perioder, er der altså på årsbasis sket en tilbageholdelse af fosfor i disse to år. I det tredje år, 1990, er den beregnede fosforfrigivelse ubetydelig, 74 kg, svarende til 10% af den tilførte fosformængde.

h/bye katalyse af P??

Den nettofraførsel af fosfor, der er sket i perioden 1989 til 1991, er altså først og fremmest et resultat af en fortyndingsproces, og ikke et udtryk for en fosforafgivelse fra sedimentet. Fosforpuljen i søvandet er pr. 1. januar 1992 for første gang i de tre år nede på niveau med den fosformængde, der tilføres i løbet af "1 opholdstid" (1 år) for søvandet. Fortyndingsprocessen er derved ved at være afsluttet, og hvis der også fremover sker en netto tilbageholdelse af fosfor i sedimentet vil fosforkoncentrationen kunne stabilisere sig på et noget lavere niveau.

Man må dog stadig forvente forhøjede fosforkoncentrationer om sommeren.

Årstidsvariation i fosforudveksling med sedimentet.

De beregnede månedlige netto-udvekslingsrater med sedimentet er vist i figur 6.3.1 og bilag 5. På grund af store usikkerheder ved opgørelsen, skal månedsværdierne tages med forbehold. Da fosforindholdet i overfladevandet endvidere er stærkt svingende, er den beregnede udveksling stærkt afhængig af den valgte periode. Den generelle tendens er imidlertid, at der er sket en nettofrigivelse af fosfor i januar-juni og en sedimentation af fosfor i juli-december.

Den beregnede frigivelse på månedsbasis er relativt lille. Den største frigivelse på månedsbasis har i 1989-91 været henholdsvis 3 mg/m²dag (april 1989), 6 mg/m²dag (juni 1990) og 5 mg/m²dag (april 1991). Dette dækker dog over store forskelle i frigivelsesrater indenfor den enkelte måned.

Indenfor 14 dages perioder kan der således for 1989-91 beregnes maksimale frigivelsesrater på henholdsvis 12 mgP/m²dag (juni 1989), 16 mgP/m²dag (juli 1990) og 22 mgP/m²dag (april 1991).

I 1987 fandt Jensen og Andersen (1990) væsentligt større frigivelsesrater i Arreskov Sø. For hele juli måned var frigivelsesraten omkring 20 mg/m²dag, og den maksimalt målte rate var 47 mg/m²dag (i maj). Fosforfrigivelsesraten er således væsentligt nedsat i Arreskov Sø siden 1987, og det er specielt frigivelsen i sommerperioden, der er reduceret.

Det er normalt ikke muligt at skelne mellem, om den beregnede frigivelse fra sedimentet er en egentlig frigivelse af ortofosfat-fosfor, eller om den skyldes ophvirvling af fosforholdigt bundmateriale. Frigivelsen af ortofosfat-fosfor kan dog vurderes i en klartvandsfase, hvor vandet er stillestående, og hvor algebiomassen er meget lav som følge af, at algerne er nedgræsset eller sedimenteret.

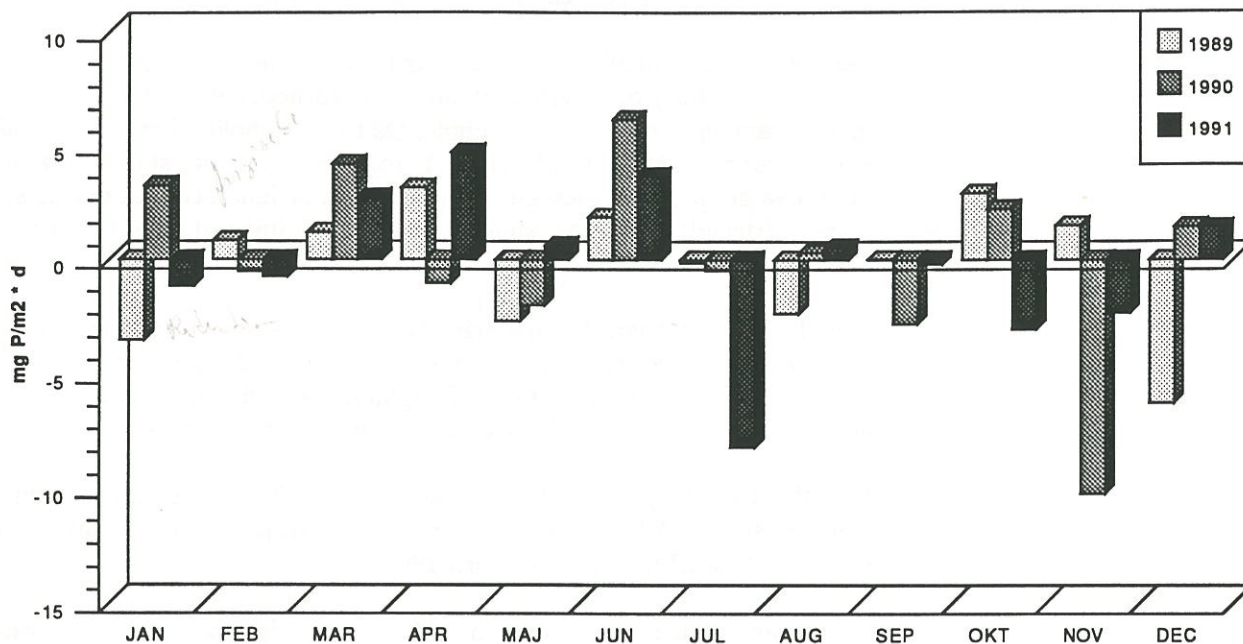
I en sådan periode sker der således hverken ophvirvling af sedimentet eller optagelse af fosfor i alger. Til gengæld kan frigivelsen af fosfor fra sedimentet være forøget som følge af iltfri forhold ved sedimentoverfladen.

I forbindelse med klartvandsfasen i begyndelsen af juli 1991 skete der på 10 dage en ophobning af total-fosfor og ortofosfat-fosfor på henholdsvis 549 og 863 kg, svarende til 17 og 27 mg/m²dag. Når ophobningen af ortofosfat er større end ophobningen af total-fosfor skyldes det antagelig, at en del af ortofosfaten er blevet mineraliseret i vandfasen under dyreplanktonets nedgræsning af planteplanktonet. Samtidig må der i perioden være sket en vis sedimentation af partikler. Den reelle frigivelse af ortofosfat fra sedimentet (bruttofrigivelse) må derfor antages at ligge imellem de to tal.

Eksemplet viser, at den potentielle frigivelse af ortofosfat-fosfor fra bunden er af samme størrelsesorden som de observerede frigivelser. Disse kan derfor i udstrakt grad være reelle frigivelser, og ikke bare en ophvirvling af fosforholdigt bundmateriale.

De største nettofrigivelser af fosfor på månedsbasis er konstateret i juni 1990 (620 kg) og april 1991 (440 kg). Det bemærkes således, at der på 1 måned, og i særlige tilfælde på 10 dage, jf. ovenstående, kan ske en

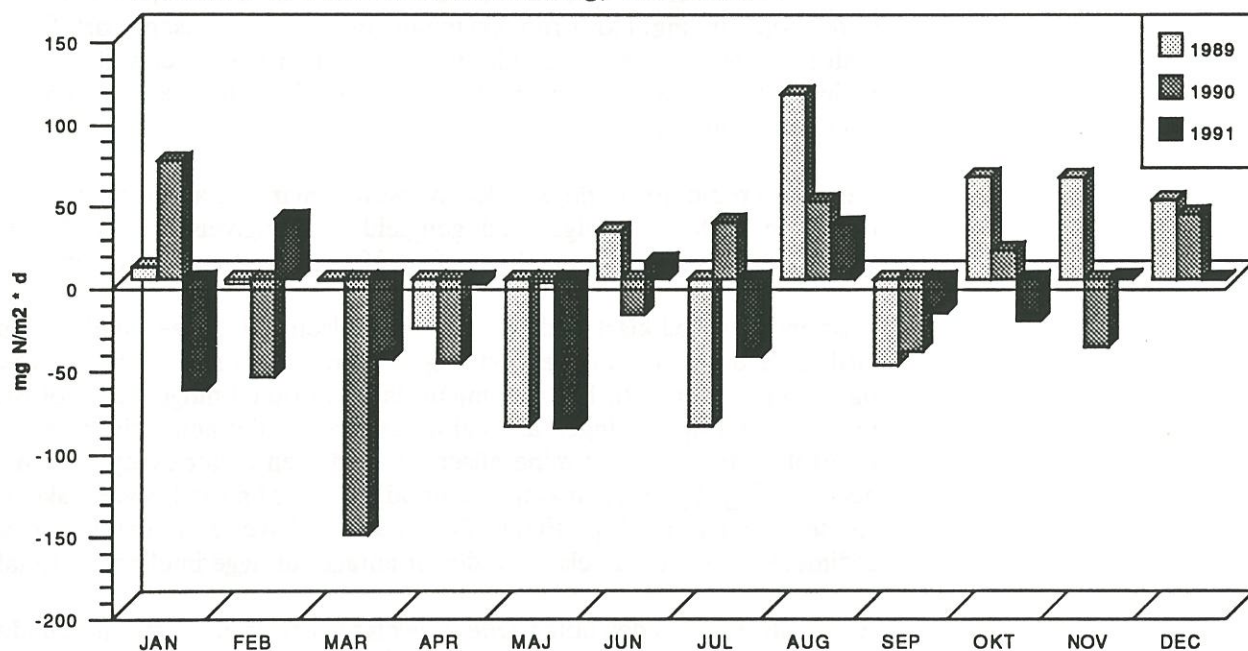
Arreskov Sø: Fosforudveksling, 1989-1991



Figur 6.3.1

Beregnet månedlig nettoudveksling af fosfor mellem sediment og vand i Arreskov Sø, 1989-91. Positive værdier betegner frigivelse af fosfor fra sedimentet og negative værdier betegner sedimentation af fosfor.

Arreskov Sø: Kvælstofudveksling, 1989-1991



Figur 6.3.2

Beregnet månedlig nettoudveksling af kvælstof mellem søvand og sediment/atmosfære i Arreskov Sø, 1989-1991. Positive værdier betegner tilførsel til søvandet fra sedimentet eller ved kvælstoffiksering. Negative værdier betegner tab fra søvandet ved enten sedimentation eller denitrifikation.

nettotransport af fosfor fra sediment til vandfase, som svarer til de samlede fosfortilførsninger fra søens opland igennem et år (592 kg i 1992).

Den største sedimentation er konstateret i november 1990 (950 kg) og juli 1991 (790 kg). Sidstnævnte hændelse er specielt interessant fordi den sedimenterede fosfor kun i ringe grad blev frigivet igen. Dette er overraskende, idet sedimentationen skete midt på sommeren, hvor man ellers ville forvente en fortsat stor frigivelse.

Sedimentationen skete efter den førnævnte klartvandsfase, hvorunder der var sket en afgivelse af fosfor fra sedimentet til vandet. En del af dette fosfor er antagelig blevet adsorberet til sedimentpartikler ved en efterfølgende omrøring af vandet, og sedimenteret sammen med disse. Endvidere forekom der middelbart efter klartvandsfasen en hurtig opblomstring af kiselalger, som også optog fosfor. Disse kiselalger henfaldt imidlertid hurtigt derefter (se afsnit 7) og sedimenterede med deres indhold af fosfor.

Herefter skete der i august en bemærkelsesværdig lav fosforfrigivelse (0,5 mg/m²dag) i forbindelse med opbygningen af et blågrøinalgemaksimum. Der er ingen umiddelbar forklaring på dette forhold, men medvirkende årsag kan have været, at mineraliseringen på dette tidspunkt var reduceret som følge af nitratmangel i sedimentet (jf. nedenstående).

På trods af et stort blågrøinalgemaksimum (57mm³/l) forblev fosforniveauet i søen derefter relativt lavt, og fosforkoncentrationen i søen har siden da har været lavere end i de foregående 5 år.

Fosfor i sedimentet i Arreskov Sø er overvejende bundet til organisk stof (Jensen og Andersen, 1990), og fosforfrigivelsen er derfor tæt koblet til nedbrydningen af dette. Forsøg med sediment fra Arreskov Sø har således vist, at nitrattilsætning til sedimentet om sommeren øger fosforfrigivelsen gennem at øge mineraliseringen (Jensen og Andersen, 1990). Dette må skyldes det ringe indhold af opløst uorganisk kvælstof i vandet. Kvælstofførslen udefra er samtidig lille, og søvandet i Arreskov Sø er stort set uden nitrat fra slutningen af maj til oktober.

Det er derfor sandsynligt, at nedbrydningen af organisk stof i sommerperioden er hæmmet af nitratmangel. Alt andet lige vil en mindsket nedbrydning af organisk stof dels mindske den direkte frigørelse af fosfor fra dette, dels øge den iltede mikrozone ved sedimentoverfladen, hvor fosfor kan bindes af jernforbindelser.

Det generelle billede er således, at den fosfor, som frigives fra sedimentet i forår-forsommer optages i alger, og således holdes suspenderet i vandet. Midt på sommeren kan fosforfrigivelsen fra sedimentet stadig være betydelig, men muligvis reduceret på grund af nitratmangel i sedimentet. Der sker i denne periode kontinuert en sedimentation af alger, og den mængde fosfor, der sedimenterer med algerne, er tilsyneladende ofte større end den mængde, der frigives fra sedimentet. Der er således konstateret både sedimentation og frigivelse af fosfor i perioden juli-september.

I efteråret sker der overvejende en sedimentation af fosfor, men der er konstateret frigivelse af fosfor i forbindelse med en kraftig nedbrydning af organisk stof (oktober-november 1989) eller et sent maksimum af blågrønalger (oktober 1990). Sedimentationen af fosfor er sket i forbindelse med henfald af algebiomassen (november 1990 og oktober-november 1991), og i øvrigt fordi sedimentets fosforfrigivelse er mindsket i denne periode bl.a. på grund af lave temperaturer, bedre iltforhold og tilstedeværelsen af nitrat i vandet (jf. Jensen og Andersen, 1990).

Resultaterne viser, at fosforudvekslingen med sedimentet er af afgørende betydning for fosforindholdet i søen. Fosforindholdet i søen kan således halveres eller fordobles på mindre end en måned blot som følge af sedimentation eller frigivelse af fosfor fra sedimentet.

Selvom fosforudvekslingen med sedimentet således er af stor betydning, var den i perioden 1989-91 stærkt nedsat i forhold til 1987. Endvidere synes fosforfrigivelsen at være blevet yderligere reduceret i sommeren 1991. Dette tyder på, at den samlede pulje af forholdsvis let frigiveligt fosfor er blevet væsentligt mindre siden 1987.

Kvælstof.

Sø vandet kan tilføres kvælstof ved kvælstoffrigivelse fra sedimentet og ved algers optagelse af frit kvælstof fra atmosfæren (kvælstoffiksering). Der fjernes kvælstof fra vandet i forbindelse med bundfældning af organisk stof og ved denitrifikation. Denitrifikation er en bakteriel omsætning af nitrat til frit kvælstof (N_2), der afgives til atmosfæren. Processen foregår først og fremmest i sedimentet, og bidrager ofte med omkring 70% af kvælstoftabet i søer (Kristensen m.fl., 1990a).

Nettoresultatet af disse processer er normalt et tab af kvælstof fra sø vandet.

Det beregnede månedlige kvælstoftab i Arreskov Sø i 1989-91 er vist i bilag 6. På baggrund heraf er der i tabel 6.3.2 opstillet en "årsbalance" for kvælstof, hvor de beregnede ændringer af kvælstofpuljen i vandet samt tabet af kvælstof er anført.

Tabel 6.3.2

Årsbalance for kvælstof i Arreskov Sø inklusiv ændringer i kvælstofpuljen i sø vandet og beregnet tab af kvælstof.

		1989	1990	1991	1992
Pulje 1. januar,	tons	17	33	26	16
Tilført,	tons	24	41	32	
Ophobet i vand,	tons	15	-6	-10	
Tab,	tons	-6	15	22	
Fraført,	tons	15	33	20	
Årsmiddel kvælstofpulje, tons		18	24	19	

På baggrund af den beregnede årsbalance ses følgende:

- * Kvælstofpuljen i vandet er steget fra 1. januar 1989 til 1. januar 1990, men er pr 1. januar 1992 igen faldet til 1989-niveauet.

- * 1989 adskiller sig fra de øvrige år ved, at der dette år er sket en kvælstofophobning i søen. Denne er sket på trods af, at kvælstoftilførslerne udefra i 1989 var mindre end i både 1990 og 1991.
- * Der har i både 1990 og 1991 været betydelige kvælstoftab i søen på hhv. 36 % og 69 % af de tilførte mængder. Modsat var der i 1989 en frigivelse/ophobning svarende til 25 % af tilførslen. Når der alligevel i massebalancen, afsnit 5, er beregnet et kvælstoftab på 38% i 1989 skyldes det, at denne massebalance ikke tager hensyn til puljeændringer i søvandet. Det frigivne kvælstof er kun i mindre grad løbet ud af søen, da afstrømningen fra søen i hele sommer- og efterårsperioden var relativt lille. Dette skyldtes dels en lav afstrømning dette år, dels at vandstanden i søen fik lov at stige godt 20 cm fra september og året ud. Det frigivne kvælstof blev således tilbageholdt i søens vandmasse (og strømmede først ud i foråret 1990).

På baggrund af de beregnede månedsbalancer, fig. 6.3.2 og bilag 6, kan årsbalancerne vurderes nærmere. På grund af usikkerhed på opgørelsen, bl.a. den skønnede kvælstoftilførsel med grundvandet (jf. afsnit 5), skal de enkelte månedsværdier dog tages med forbehold, og det er vanskeligt at udtrække en tydelig tendens af tallene. Visse hovedtræk synes dog at gøre sig gældende.

Det største tab af kvælstof synes generelt at finde sted i perioden januar til maj. I denne periode er der en høj koncentration af opløst uorganisk kvælstof i vandet. Dette kvælstof optages af algerne og føres til sedimentet, når de sedimenterer. Med stor nitratkoncentration og meget organisk stof er der en god mulighed for, at der kan ske denitrifikation. Denne hæmmes dog af lave vandtemperaturer.

I juni-juli er der ingen klar tendens i kvælstofudvekslingen, og der ses både tab og frigivelse i denne periode. Tabet er dog i både 1989 og 1991 større end frigivelsen.

I august er der alle tre år konstateret en frigivelse/ophobning af kvælstof. Denne kan til dels skyldes kvælstoffiksering hos blågrønalger, men der ses ingen god sammenhæng mellem perioder med ophobning og biomassemaksimum af kvælstoffikserende arter af blågrønalger. En anden forklaring kan være, at der afgives ammonium-kvælstof fra nedbrydningen af organisk materiale i sedimentet. Det frigivne ammonium optages derefter hurtigt af den store algebiomasse, der normalt er i vandet på dette tidspunkt. I andre søer, f.eks. den lavvandede Søbygård Sø, ser man den absolut største kvælstoffjernelse i sommerperioden (Kristensen m.fl., 1990a). Det beregnede kvælstoftab var på omkring 200 mgN/m²dag i juli-september 1984-89, hvor det i Arreskov Sø var omkring 30 mgN/m²dag. Årsagen til det lave kvælstoftab i sommerperioden i Arreskov Sø kan være en generelt nedsat denitrifikation som følge af, at kvælstoftilførslerne til søen er små. Eventuelt stammer en del af det omsatte kvælstof fra tidligere tilførsler, således at en kvælstofpulje i sedimentet er under nedbrydning.

I oktober-november 1989 ses en betydelig kvælstoffrigivelse. Denne er hovedårsagen til, at kvælstofpuljen i vandet stiger (jf. årsbalancen), og resulterer bl.a. i stærkt forhøjede koncentrationer af ammonium og nitrat

i vandet (figur 6.1.4). I 1990 er denne mekanisme knapt så udtalt, og i 1991 er der tale om et nettotab i denne periode. Den store frigivelse i 1989 skyldes sandsynligvis, at perioden august-oktober var forholdsvis varm og solrig. På grund af de højere vandtemperaturer kunne mineraliseringen af organisk stof derfor fortsætte i større omfang end normalt om efteråret.

Kvælstofbalancen i Arreskov Sø er således kendetegnet ved, at der i forårsperioden overvejende sker tab af kvælstof, og at der i sommer- og efterårsperioden til tider sker en stor frigivelse af kvælstof i forbindelse med nedbrydning af organisk stof.

7. Biologiske forhold i søen.

I det følgende beskrives resultaterne af de i 1989-91 udførte undersøgelser af plante- og dyreplanktonet i Arreskov Sø. Resultaterne af de øvrige gennemførte biologiske undersøgelser i søen er omtalt i afsnit 1 i denne rapport, samt i sidste års rapport om søen (Fyns Amt, 1991).

7.1 Planteplankton.

Resultaterne af undersøgelserne af planteplanktonet i Arreskov Sø 1989-91 fremgår af figur 7.1.1 og 7.1.2 samt tabel 7.1.1 og 7.1.2.

Artssammensætning.

Der blev i 1991 ialt registreret 103 arter/slægter i Arreskov Sø. Heraf var den helt overvejende del arter/slægter, der er karakteristiske for næringsrige, relativt lavvandede søer: blågrønalger (25 arter/slægter), kiselalger (17 arter/slægter), øjealger (2 arter/slægter) og chlorococcale grønalger (38 arter/slægter). Furealger, gulalger og desmidiaceer, der hovedsagelig er udbredt i næringsfattige eller relativt næringsfattige søer, var kun repræsenteret med 9 arter/slægter.

Den kvælstoffikserende blågrønalge *Anabaena flos-aquae*/cf. *spiroides* var dominerende art med gennemsnitlig 18% af den totale planktonbiomasse i den produktive periode (januar-oktober). Næstvigtigst var små, centriske kiselalger *Stephanodiscus/Cyclotella* <10 µm og >10 µm (hhv. 13 og 7%), den kvælstoffikserende blågrønalge *Anabaena spiroides* var. *crassata* (10%) og de chlorococcale grønalger *Chlorella* sp. (9%), *Oocystis* sp. (6%) og *Scenedesmus* spp. (6%).

I 1989 og 1990 blev der registreret hhv. 85 og 109 arter/slægter af planteplankton.

I 1989 var blågrønalgen *Microcystis aeruginosa* altdominerende, idet den udgjorde 38% af den totale biomasse i den produktive periode. Som i 1991 var kiselalgerne *Stephanodiscus/Cyclotella* næstvigtigst (18%).

I 1990 dominerede en tredje type blågrønalger, som bestod af kolonier med celler < 1 µm (34% af total biomassen). De næstvigtigste arter var også blågrønalger, den kvælstoffikserende art *Anabaena* cf. *circinalis* (22%) og den kolonidannende *Microcystis wesenbergii* (14%). De centriske kiselalger udgjorde dette år kun 6% af biomassen i den produktive periode.

Biomasse.

Planteplanktonmængden, biomassen, er for årene 1989-91 angivet både som indhold af klorofyl-a i søvandet (figur 7.1.1) og som volumen (figur 7.1.2). Klorofyl-a er en vigtig bestanddel af algecellernes grønne farvestof og kan derfor bruges som mål for algemængden. Klorofyl-indholdet i cellerne kan imidlertid variere meget, og er bl.a. afhængigt af algetypen og årstiden. Volumenbestemmelse af algerne formodes derfor normalt at være den metode, der giver det bedste mål for biomassen. Til gengæld er måling af

vandets indhold af klorofyl-a en let og hurtig måde til at opnå et indtryk af algebiomassens størrelse.

Klorofylindholdet i søvandet varierede i 1991 fra minimum 28 $\mu\text{g/l}$ i begyndelsen af juli til maksimum 280 $\mu\text{g/l}$ i slutningen af maj. Gennemsnitskoncentrationen i sommerperioden var 155 $\mu\text{g/l}$. I 1989 og 1990 var det gennemsnitlige klorofylindhold hhv. 129 og 148 $\mu\text{g/l}$, så indholdet har været svagt stigende gennem de tre år.

I modsætning hertil har sommerperiodens gennemsnitlige volumenbiomassen været faldende, hhv. 32, 29 og 22 mm^3/l i 1989-91 (tabel 7.1.1). Faldet skyldes først og fremmest en tilbagegang i blågrønalgerne biomasse, især fra 1990 til 1991. Biomassen af blågrønalger var således kun halvt så stor i 1991 (14 mm^3/l) som den var i 1989. Der skete dog samtidig en stigning i grønalgerne biomasse, hhv 3, 4 og 9 mm^3/l i årene 1989-91.

Det stigende klorofylindhold i søvandet kan derfor forklares ved den øgede andel af grønalger, idet disse normalt har et højere klorofylindhold i cellerne end blågrønalger (Reynolds, 1984).

Algegruppe	Den produktive periode						Sommerperiode					
	1989 ¹⁾ mm^3/l	%	1990 ²⁾ mm^3/l	%	1991 ³⁾ mm^3/l	%	1989 mm^3/l	%	1990 mm^3/l	%	1991 mm^3/l	%
Blågrønalger	17	55	21	72	9,3	43	30	77	27	77	14	51
Rekylalger	0,1	<1	0,2	1	0,2	1	0,03	0	0,11	0	0,21	1
Kiselalger	11	36	3,6	12	5,9	27	6,0	16	3,3	9	3,8	14
Øjealger	0,0	0	0,0	0	0,01	0	0,0	0	0,0	0	0,01	0
Stilkalger	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,02	0	0,0	0
Grønalger	2,6	8	3,5	12	5,7	26	2,7	7	3,8	11	8,8	32
Ubestemte arter	0,1	<1	0,9	3	0,7	3	0,0	0	0,83	2	0,80	3
Gns. biomasse	32	-	29	-	22	-	38	-	35	-	28	-
Maks. biomasse	64	-	63	-	61	-	64	-	63	-	61	-

1) Februar-november

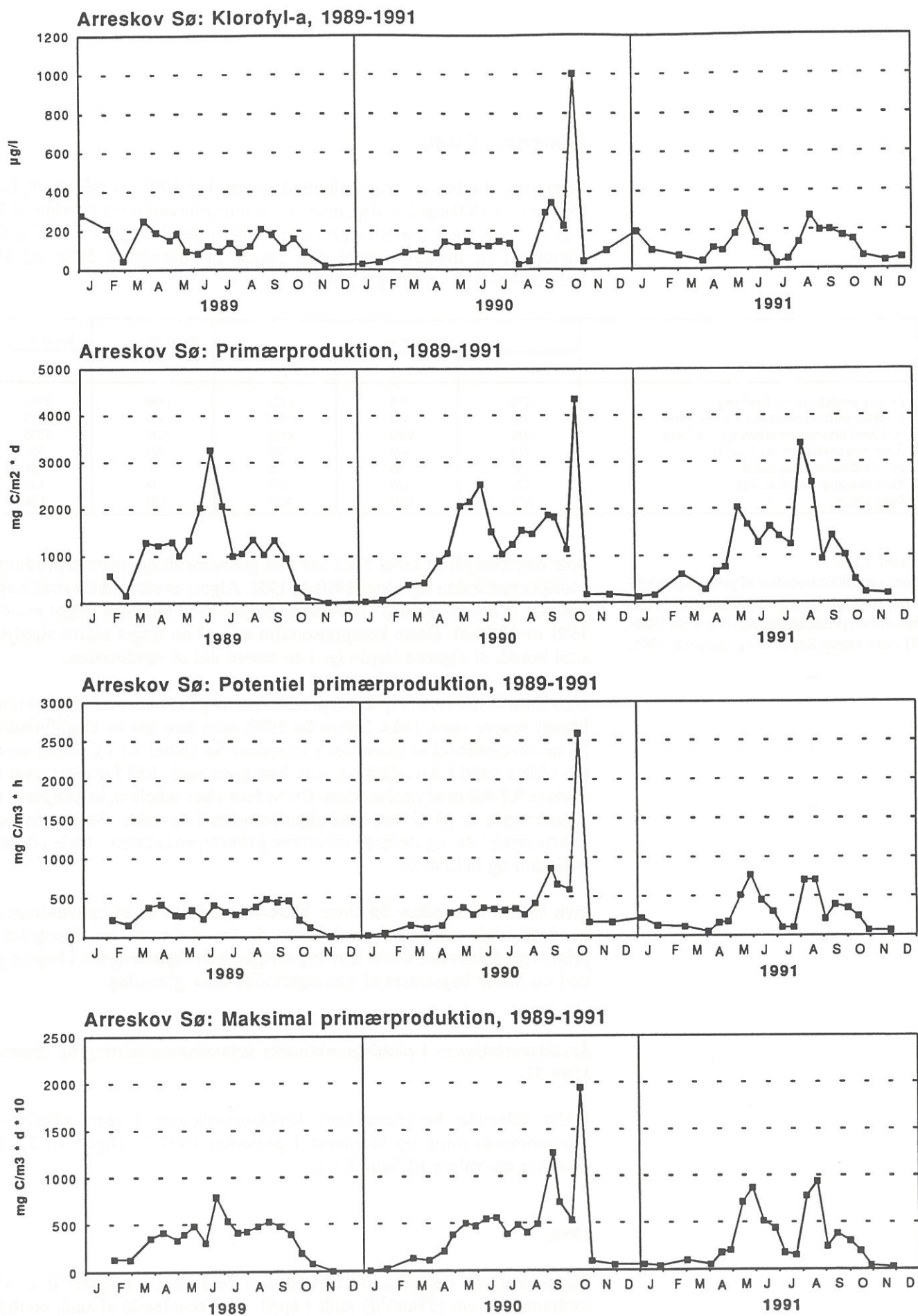
2) Marts-oktober

3) Januar-oktober

Tabel 7.1.1

Planteplankton i Arreskov Sø 1989-91.

Gennemsnitlig biomasse og procentvis sammensætning i sommerperioden 1. maj-30. september og i hele den produktive periode.



Figur 7.1.1

Klorofyl-a indhold, primærproduktion pr. m² søoverflade samt potentiel og maksimal primærproduktion i Arreskov Sø, 1989-91.

Primærproduktion.

Primærproduktionen pr. arealenhed varierede i 1991 fra minimum 125 til maksimum 3400 mgC/m² dag, med et gennemsnit i sommerperioden på 1674 mgC/m² dag. På årsbasis er primærproduktionen beregnet til 328 g C/m² (tabel 7.1.2), hvilket nogenlunde svarer til niveauet i 1989 og 1990, henholdsvis 319 og 376 g C/m² år.

	Arreskov Sø			Sarup Sø	Langesø
	1989	1990	1991	1990	1990
Primær produktion mg C/m ² dag	1530	1675	1674	1639	2701
Potentiel primærproduktion mg C/m ³ time	356	422	409	138	398
Maksimal primærproduktion mg C/m ³ dag	4740	5683	4958	2032	5326
Årsprimærproduktion mg C/m ² år	319	376	328	304	504
Fytoplanktonvolumen, mm ³ /l	38	35	28	-	51
Klorofyl-a-koncentration, µg/l	129	147	155	54	135
Sigtdybde, m	0,27	0,25	0,38	1,05	0,78

Tabel 7.1.2

Sommermiddelværdier af primærproduktion, sigtdybde og algebiomasse samt årsprimærproduktion i Arreskov Sø 1989-91 samt Sarup Sø, 1990 og Langesø, 1991.

Som det fremgår af tabel 7.1.2 var den gennemsnitlige primærproduktion i sommerperioden lige stor i 1990 og 1991. Algernes maksimale primærproduktion (i bedste dybde) i sommerperioden var imidlertid noget mindre i 1991 end i 1990. Dette kompenseredes dog af en noget større sigtdybde, som betød, at algerne havde lys i en større del af vandmassen.

Den forholdsvis lave årsprimærproduktion er på niveau med produktionen i langt renere søer, f.eks. Sarup Sø 1990, som kun har et klorofylindhold på ca. en trediedel af indholdet i Arreskov Sø (tabel 7.1.2). Dette skyldes det uklare vand i Arreskov Sø, som kun giver mulighed for algevækst i de øverste 0,7-0,8 m af vandmassen. Endvidere viser tabellen, at Langesø, hvis algemængde er på niveau med algemængden i Arreskov Sø har en noget større sigtdybde, og dermed en større primærproduktion i både sommerperioden og hele året.

Hvis vandet i Arreskov Sø bliver klarere som følge af, at ophvirvlingen af bundmateriale mindskes, må man derfor forvente en forøgelse af primærproduktionen. Dette kan dog undgås, hvis algemængden i højere grad end nu bliver begrænset af næringsstoffer eller græsning.

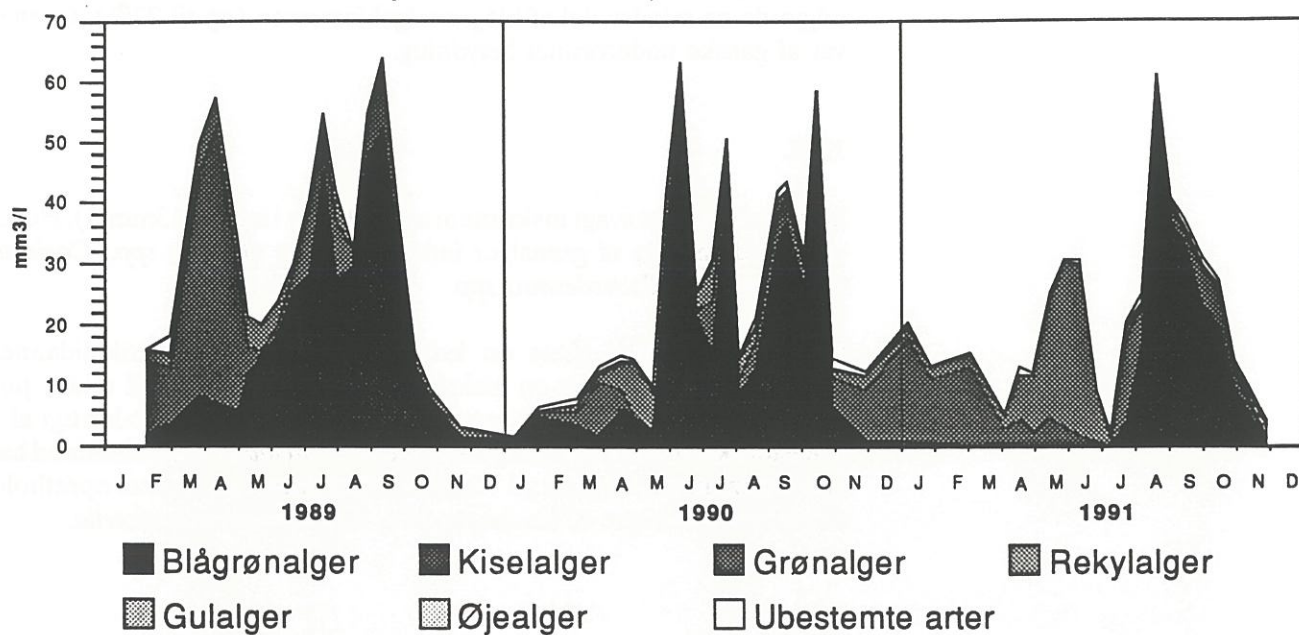
Årstidsvariationen i planteplanktonets artssammensætning og biomasse 1989-91.

I det følgende beskrives kort årstidsvariationen i planteplanktonets artssammensætning og biomasse i perioden 1989-91 (figur 7.1.2). Der henvises endvidere til figur 7.1.1.

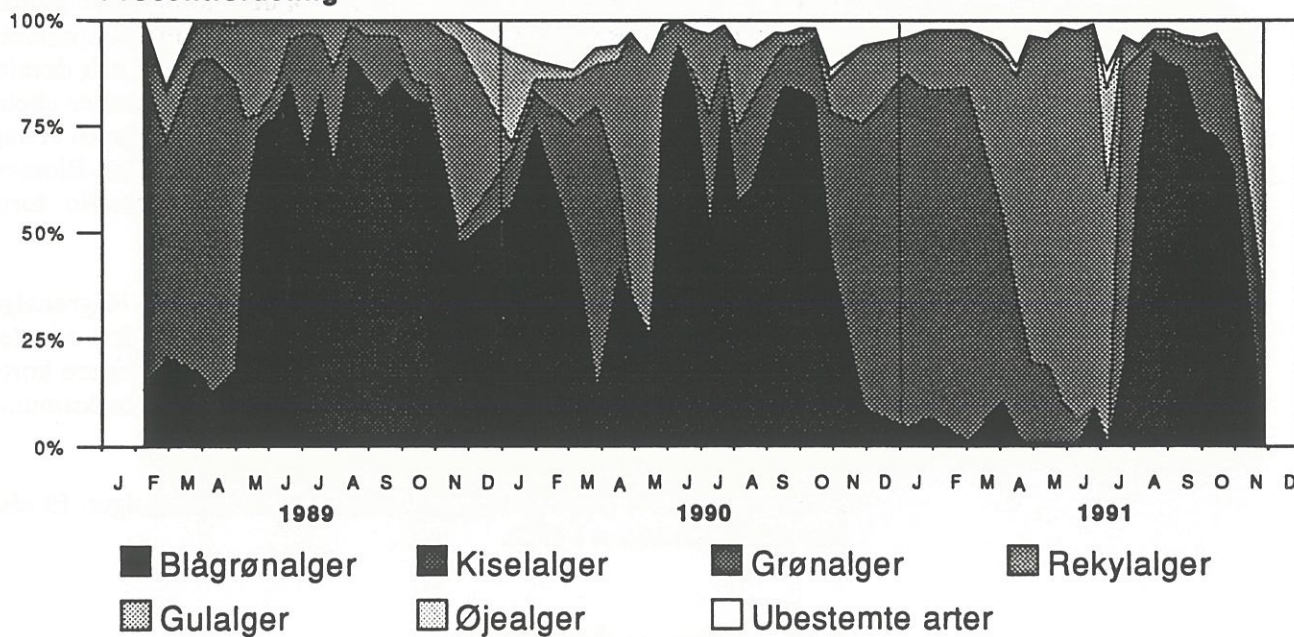
1989.

Biomassen var høj allerede i starten af februar og øgedes til et stort forårsmaksimum (57mm³/l) midt i april, især bestående af små, centriske kiselalger *Stephanodiscus/Cyclotella*. Blågrønalgerne blev fra midten af maj den dominerende gruppe, og biomassen voksede hen til slutningen af

Arreskov Sø: Planteplanktonbiomasse, 1989-1991



Procentfordeling



Figur 7.1.2

Planteplanktonets biomasse og den procentvise fordeling af de enkelte planteplankton-grupper i Arreskov Sø, 1989-91.

september, hvor den maksimale biomasse på 64mm³/l målttes. Langt den overvejende del af blågrønalgebiomassen var koloniformer med *Microcystis wesenbergii* som den dominerende art. Kvælstoffikserende blågrønalger udgjorde en mindre del af blågrønalgebiomassen (op til 27%). Grønalger var af ganske underordnet betydning.

1990.

Der udvikledes et svagt maksimum af kiselalger i marts (13mm³/l). Herefter var der dominans af grønalger indtil maj, især *Oocystis* spp., *Coelastrum microporum* og *Scenedesmus* spp.

Fra midten af maj skete en kraftig opvækst af små kolonidannende blågrønalger, der nåede en maksimal biomasse på 59mm³/l midt i juni. I starten af august brød dette samfund sammen, men afløstes hurtigt af den kvælstoffikserende blågrønalge *Anabaena* cf. *circinalis*. Dette samfund havde maksimum midt i oktober på 59mm³/l. Mod slutningen af året opretholdtes en ret stor biomasse af kiselalger, bl.a. *Stephanodiscus/cyclotella*.

1991.

Allerede i starten af januar forekom et kiselalgemaksimum på 17 mm³/l, især bestående af *Stephanodiscus/Cyclotella* spp. Kiselalgerne blev i maj/juni afløst af et grønalgemaksimum (28mm³/l), hvor de chlorococcale grønalger *Scenedesmus*, *Oocystis* og især *Chlorella* dominerede. Efter et sammenbrud af planktonsamfundet i starten af juli, observeredes en kortvarig dominans af kiselalger (14mm³/l), især *Stephanodiscus/Cyclotella*. Herefter skete en hurtig opblomstring af blågrønalger med maksimum i slutningen af august (57mm³/l), især af den kvælstoffikserende *Anabaena spiroides*. Biomassen aftog herefter, men blågrønalgerne, især kvælstoffikserende former, bevarede deres dominans.

Planteplanktonet var således i alle tre år domineret af blågrønalger i sommerperioden, omend det var forskellige arter, der dominerede de tre år. I 1991 var perioden med dominans af blågrønalger endvidere kortere, da disse først viste sig i juli, efter at forsommerens grønalgemaksimum var brudt sammen.

I 1989 og 1991 var der udprægede forårsmaksima af kiselalger. Et sådant blev ikke konstateret i 1990.

7.2 Dyreplankton

Resultaterne af undersøgelserne af dyreplanktonet i Arreskov Sø 1989-91 fremgår af figur 7.2.1 og 7.2.2 samt tabel 7.2.1 og 7.2.2.

Artssammensætning.

I Arreskov Sø blev der i 1991 ialt registreret 25 arter af rotatorier (hjuldyr) og krebsdyr. Der fandtes således 12 arter af rotatorier, 8 arter af cladocerer (dafnier) og 5 arter af copepoder (vandlopper), heraf 4 cyclopoide og 1 calanoid copepod. Af ciliater fandtes 6 slægter og 1 gruppe af tintinnider og en række ubestemte ciliater.

Cladocererne udgjorde 78% af den gennemsnitlige biomasse i januar til oktober, og de tre dominerende arter i perioden var cladocerer. *Bosmina coregoni*, *Bosmina longirostris* og *Daphnia galeata* udgjorde således hhv. 4,7 mm³/l, 3,1 mm³/l og 2,3 mm³/l ud af en total biomasse på 13,0 mm³/l. Den calanoide copepod *Eudiaptomus gracilis* udgjorde 1,3 mm³/l.

Også i 1989 og 1990 var cladocererne den dominerende gruppe med *Daphnia galeata* som dominerende art (hhv. 2,8 mm³/l og 4,5 mm³/l). *Daphnia hyalina* og *Bosmina longirostris* var af betydning i hhv. efteråret og foråret 1989, men uden større betydning i 1990.

Der var således kun ubetydelige ændringer i artssammensætningen i de tre år.

Biomasse.

Den gennemsnitlige biomasse i sommerperioden og i planteplanktonets produktive periode i årene 1989-91 fremgår af tabel 7.2.1.

Dyreplanktonbiomassen varierede i 1991 fra minimum 2 mm³/l i oktober til 45 mm³/l i april. Den gennemsnitlige biomasse i sommerperioden var 12 mm³/l.

Dyregruppe	Den produktive periode						Sommerperiode					
	1989 ¹⁾ mm ³ /l	%	1990 ²⁾ mm ³ /l	%	1991 ³⁾ mm ³ /l	%	1989 mm ³ /l	%	1990 mm ³ /l	%	1991 mm ³ /l	%
Ciliater	0,3	2	0,14	2	0,30	2	0,38	3	0,22	4	0,42	3
Rotatorier	0,5	4	2,0	22	0,34	3	0,64	6	1,13	22	0,49	4
Cladocerer	7,9	62	6,1	64	10,2	78	7,22	64	2,95	57	8,91	74
Copepoder	4,0	32	1,3	12	2,2	17	3,07	27	0,89	17	2,21	18
Gns. biomasse	12,6	-	9,6	-	13,0	-	11,3	-	5,2	-	12,0	-
Maks. biomasse	42,9	-	28,5	-	44,5	-	42,9	-	28,0	-	44,5	-

1) Februar-november

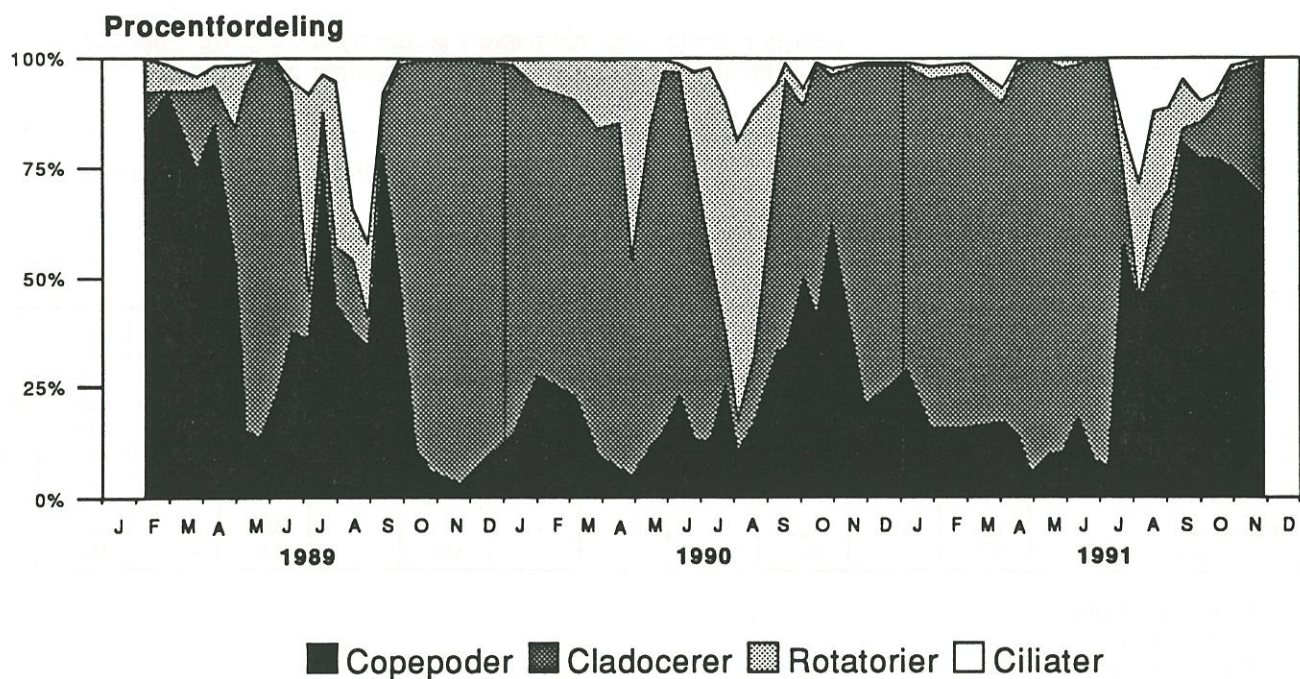
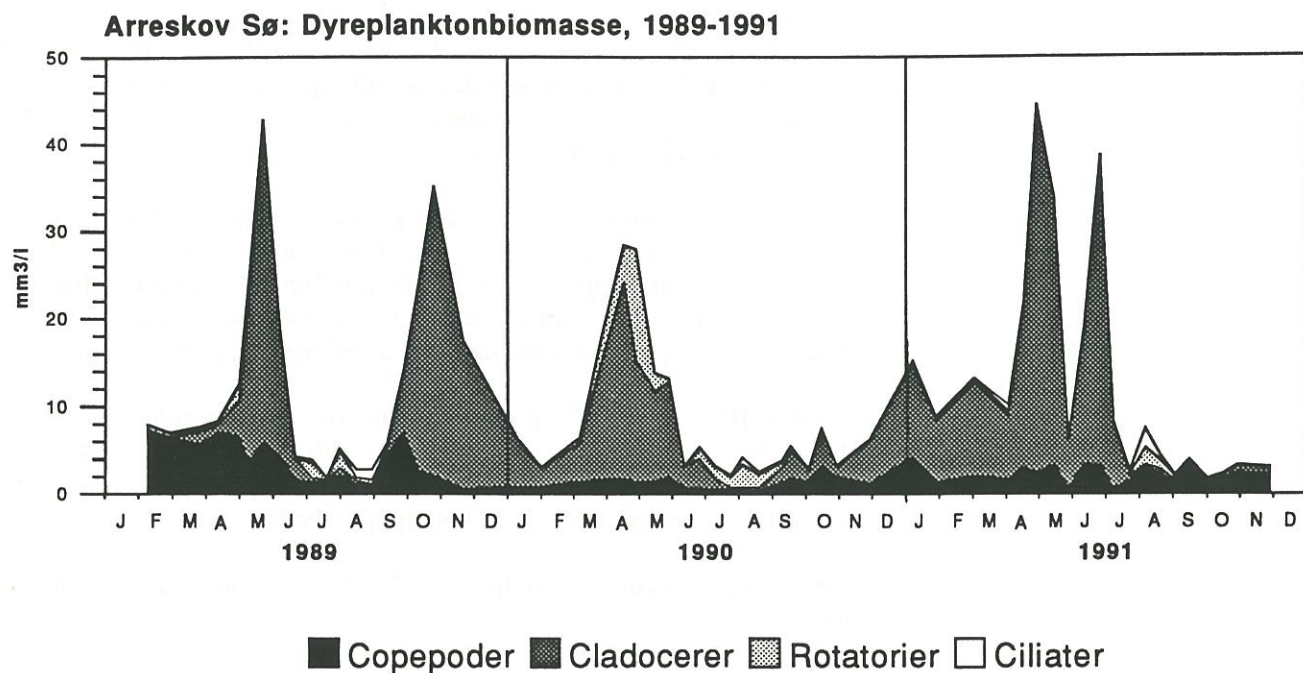
2) Marts-oktober

3) Januar-oktober

Tabel 7.2.1

Dyreplankton i Arreskov Sø, 1989-91. Gennemsnitlig biomasse og procentvis sammensætning i hhv. sommerperioden og planteplanktonets produktive periode.

Som det ses af tabellen var biomassen i sommerperioden 1989 og 1990 mere end dobbelt så stor som i 1990. Den forholdsvis lave biomasse i 1990 skyldtes først og fremmest lave biomasser af copepoder og cladocerer, der klarede sig dårligt under den massive opblomstring af blågrønaler, som strakte sig fra midt i maj til slutningen af oktober dette år.



Figur 7.2.1
Dyreplanktonets biomasse og den procentvise fordeling af de enkelte dyreplanktongrupper i Arreskov Sø, 1989-91.

Årstidsvariation i dyreplanktonets artssammensætning og biomasse.

I det følgende beskrives kort årstidsvariationen i dyreplanktonets artssammensætning og biomasse i perioden 1989 - 1991. Se endvidere figur 7.2.1.

1989.

I februar til april var biomassen relativt høj, 7-8 mm³/l, og domineret af copepoder (ca. 6 mm³/l), især *Cyclops strenuus*. I slutningen af april startede en stærk opvækst af cladocerer, der kulminerede i et stort maksimum (43 mm³/l) sidst i maj. Maksimet domineredes af *Bosmina longirostris*, der udgjorde 25 mm³/l.

Fra slutningen af juni til midt i september var biomassen lav (2-6 mm³/l). Indenfor denne periode opnåede rotatorier og ciliater deres største biomasser, og ciliaterne var dominerende sidst i august.

I slutningen af september forekom en kortvarig opvækst af copepoder, især *Cyclops strenuus*. Copepoderne udgjorde dog kun halvdelen af den samlede biomasse på dette tidspunkt, da cladocerernes biomasse samtidig øgedes til et maksimum (35 mm³/l) i slutningen af oktober. Dette maksimum bestod af cladocerer, især *Daphnia galeata* og *Daphnia hyalina*, hvis biomasse udgjorde hhv. 13 mm³/l og 9 mm³/l.

I slutningen af november var biomassen stadig høj (17 mm³/l). Cladocerer var fortsat den altdominerende gruppe med *Daphnia hyalina* og *Daphnia galeata* som vigtigste arter.

1990.

Året startede med en moderat biomasse på omkring 3 mm³/l domineret af cladoceren *Daphnia galeata*. Fra februar til midt i april steg biomassen til årets maksimale værdi på 28 mm³/l, stadig med *Daphnia galeata* som dominerende art. Parallelt med det efterfølgende fald i cladocerbiomassen, var der en kortvarig opblomstring af rotatorien *Asplanchna priodonta* sidst i april.

Fra starten af maj aftog biomassen mod et lavt sommerniveau, hvor cladocererne stort set forsvandt fra planktonet.

I juli og august var biomassen lav (2-5 mm³/l) og rotatorierne *Collotheca* sp., *Trichocerca* sp. og *Filinia longiseta* dominerede. Ciliaterne opnåede i denne periode deres maksimale biomasser, men havde ikke så stor betydning som i 1989.

Fra september og året ud var biomassen noget svingende (3-8 mm³/l). Der forekom ikke nogen efterårstop som i 1989. *Daphnia galeata* var stadig af betydning i planktonet, men ingen enkelt art var dominerende. Cladocerer og copepoder udgjorde nogenlunde samme andel af biomassen, men med skiftende dominans. Blandt cladocererne var både *Daphnia galeata*, *Bosmina*

coregoni og *Chydorus sphaericus* af betydning, og blandt copepoderne skiftedes *Eudiaptomus gracilis*, *Cyclops vicinus* og *Cyclops strenuus* til at være dominerende.

1991.

I årets første tre måneder var biomassen relativt høj (9-15 mm³/l) i forhold til de foregående to år. Cladocerer, især *Bosmina longirostis* og *Bosmina coregoni*, var dominerende. I slutningen af april forekom et betydeligt biomassemaksimum (45 mm³/l), ligeledes domineret af *Bosmina longirostis* og *Bosmina coregoni*.

Gennem sidste halvdel af maj faldt biomassen brat, men steg allerede i juni til et sekundært maksimum på 39 mm³/l. Selve maksimumet domineredes af *Bosmina coregoni*, men *Daphnia galeata* var også af stor betydning, og dominerede i starten og slutningen af maksimumet.

Sidst i juli var biomassen faldet til 3 mm³/l, og i august opstod der et blandet samfund med dominans af copepoden *Eudiaptomus gracilis* og subdominans af ciliater <100 µm samt rotatorierne *Trichocerca stylata* og *Keratella* spp.

Fra september og året ud var copepoderne dominerende, først med *Eudiaptomus gracilis*, men fra midten af oktober med *Cyclops vicinus* og gruppen af cyclopoide copepoditer som mest betydnende arter.

Græsning og predation.

Mange dyreplanktonarter lever i overvejende grad som planteædere, idet de ernærer sig af alger, bakterier og fine partikler af dødt organisk materiale. Denne levevis betegnes græsning. Typiske planteædere er f.eks. mange rotatorier, mange af de store cladocerer og de calanoide copepoder, samt nauplier og mange copepoditer (yngre og ældre larvestadier) af copepoder. Disse græssere kan have endog meget stor betydning for artssammensætning og biomasse af planteplanktonet i en sø.

Dyreplanktonet er endvidere udsat for at blive spist af andre dyr. Dette kaldes predation. Det er især fisk, som derved får indflydelse på mængden af dyreplankton i søvandet, men også visse dyreplanktonarter lever af andre mindre dyreplanktonformer. Blandt disse rovlevende dyreplanktonorganismer er mange cyclopoide copepoder og rotatorien *Asplanchna priodonta*.

I søer ses ofte, at dyreplanktonædende fisk er i stand til næsten at "udrydde" de store dyreplanktonarter, f.eks. *Leptodora hyalina* og arter af *Daphnia*. Dette vil specielt være tilfældet i perioder, hvor der er klækket en ny generation af fiskeyngel i søen. Blandt fiskene er det især skalle og små brasen, som lever af dyreplankton. Skaller lever imidlertid også af bundlevende smådyr, medens større brasen udelukkende lever af bunddyr. Aborrer har ligeledes betydning for mængden af dyreplankton, idet de især som små lever af disse organismer. Større aborrer lever derimod af mindre fisk og bunddyr.

Aborren gyder i april ved vandtemperaturer på 7-8 grader, og yngelen klækkes efter 2-3 uger. I en periode derefter, dvs. omkring maj måned lever yngelen af planktondyr i søens åbne vandmasser. Herefter trækker den ind til bredzonen (Muus og Dahlstrøm, 1984). Skallen gyder indenfor perioden april-maj, når vandtemperaturen er over 10 grader. Efter 4-10 dage klækkes yngelen, og 2-5 dage efter klækningen begynder yngelen at jage planktondyr. Dette foregår mest i bredzonen (Muus og Dahlstrøm, 1984). Brasen gyder i maj-juni ved temperaturer over 12 grader. Æggene klækkes efter 3-12 dage og efter et par dage begynder yngelen at æde planktondyr (Muus og Dahlstrøm, 1984).

Både skaller, brasen og aborrer udgør en betydelig del af fiskebestanden i Arreskov Sø (se afsnit 1).

I det følgende beskrives dyreplanktonets betydning for mængden af planteplankton i vandet i Arreskov Sø. Derudover foretages en vurdering af fiskenes betydning for mængden af dyreplankton i søvandet.

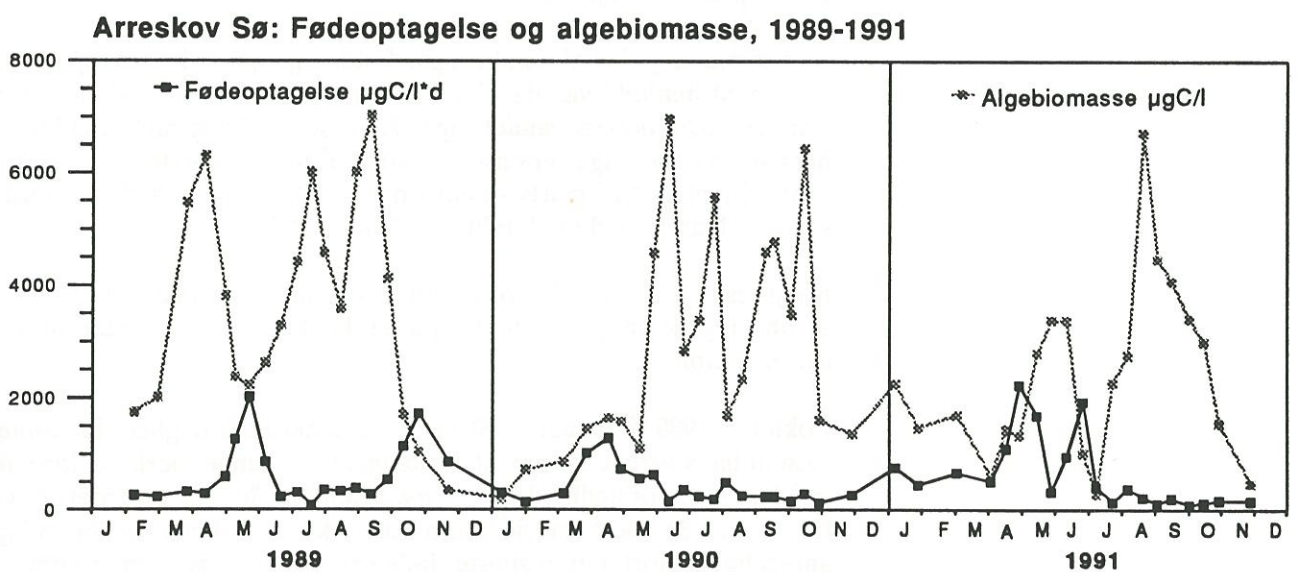
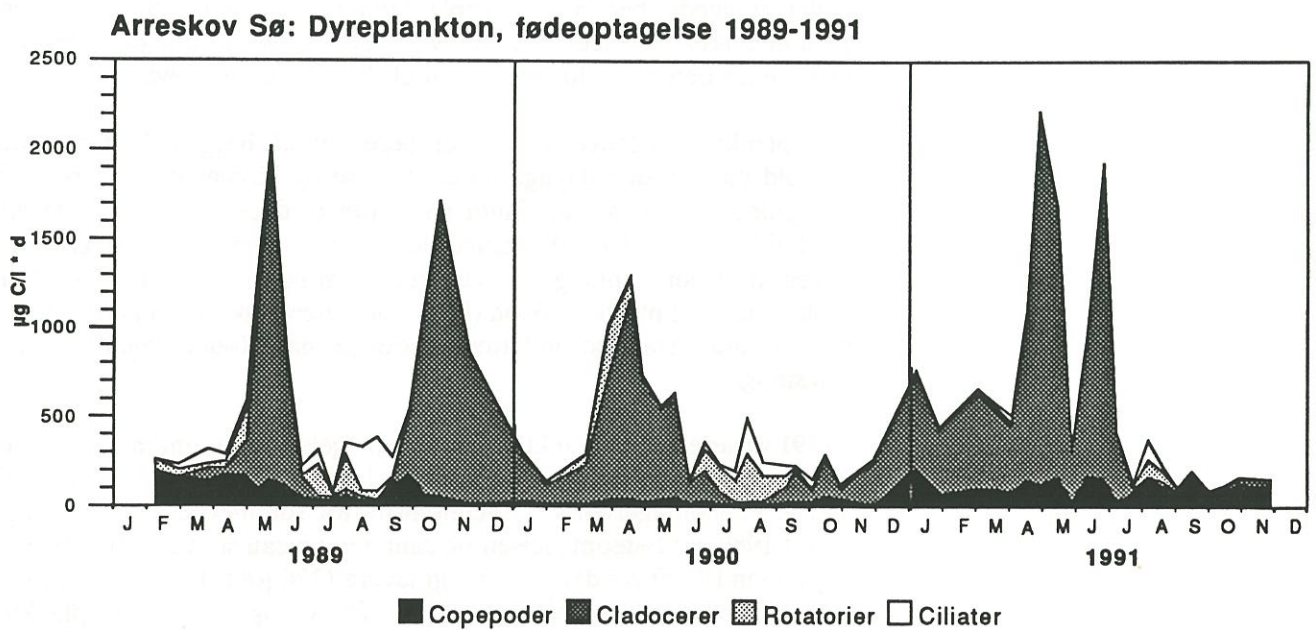
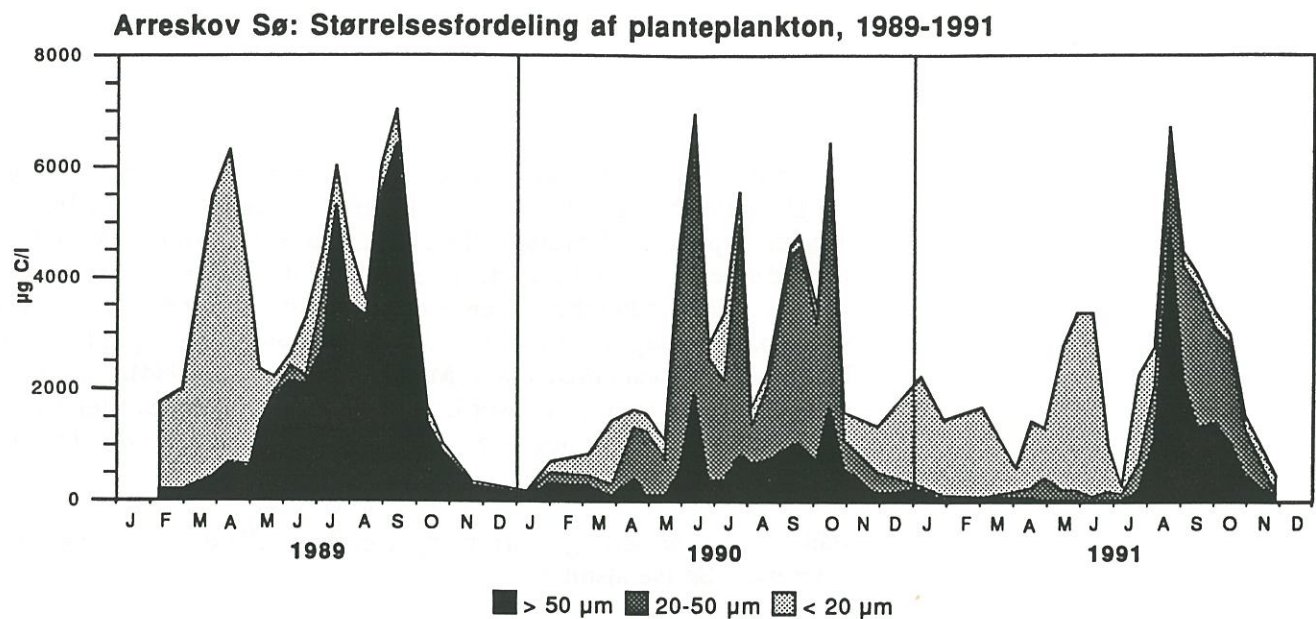
Dyreplanktonets fødeoptagelse er beregnet på baggrund af et skønnet forhold mellem den daglige fødeoptagelse og biomassen af dyrene. Ved beregningerne antages, at ciliater, rotatorier, cladocerer og copepoder spiser henholdsvis 5, 2, 1 og 0,5 gange deres egen biomasse pr. dag. Ved opgørelsen er der samtidig udeladt arter, som ikke eller kun i meget ringe omfang lever af planteplankton (f.eks. rotatorien *Asplanchna priodonta*). Den angivne fødeoptagelse omfatter således primært fødeoptagelse i form af græsning.

I 1991 varierede dyreplanktonets fødeoptagelse fra minimum 92 $\mu\text{g C/l dag}$ (i oktober) til maksimum 2227 $\mu\text{g C/l dag}$ (i slutningen af april) (se figur 7.2.2). Fødeoptagelsen var i gennemsnit for sommerperioden 601 $\mu\text{g C/l dag}$. I 1989 var fødeoptagelsen på samme niveau som i 1991 (598 $\mu\text{g C/l dag}$), men i 1989 var den væsentligt lavere (326 $\mu\text{g C/l dag}$). I den treårige periode er den maksimalt registrerede fødeoptagelse hos dyreplanktonet 2227 $\mu\text{g C/l dag}$ (april 1991).

Ved sammenligning af den beregnede fødeoptagelse hos dyreplanktonet i 1991 med henholdsvis algebiomassen (se figur 7.2.2) og den maksimale primærproduktion i søvandet (figur 7.1.1) ses, at dyreplanktonet formentlig har haft en væsentlig begrænsende effekt på planteplanktonmængden i april - midt i maj 1989, i marts - midt i maj 1990, i januar til sidst i april 1991 samt en kort periode i slutningen af juni 1991.

Når græsningstrykket alle tre år reduceres i maj måned skyldes det antagelig, at aborrengelen på dette tidspunkt klækkes og begynder at leve af dyreplankton.

I oktober 1989 til januar 1990, var dyreplanktonets daglige fødeoptagelse væsentligt større end planktonmængden. I denne periode foregik der imidlertid en stor nedbrydning af organisk stof, både i sedimentet og i vandet (se afsnit 6.3). De bakterier, som medvirkede til denne nedbrydning, har antagelig udgjort det vigtigste fødegrundlag for dyreplanktonet. Dette omfattede således cladocerer, bl.a. *Daphnia galeata* og *Bosmina coregoni*, der er i stand til at leve af bakterier i vandet.



Figur 7.2.2
Planteplanktonets biomasse og størrelsesfordeling samt dyreplanktonets beregnede fødeoptagelse i Arreskov Sø, 1989-91.

Udenlandske og danske undersøgelser har vist, at rotatorier og krebsdyr i dyreplanktonet er afhængige af, at fødepartiklerne i søvandet har en passende størrelse. Generelt synes partikler mindre end 50 μm således at være de bedste fødeemner for dyreplanktonet som helhed (se f.eks. Bosselmann og Riemann, 1986). Cladocerer som *Daphnia* og *Bosmina* kan dog udnytte partikler op til mere end 120 μm (Hansen m.fl., 1990).

Store alger, som trådformede eller kolonidannende blågrønalger, må dog generelt anses for dårlige fødeemner for dyrene. Selvom små kolonier og tråde af blågrønalger, samt større kolonier og tråde af disse alger (spises af nogle dyr "i småbidder"), kan fungere som føde for visse dyreplanktonarter, formodes fødekvaliteten af blågrønalger generelt at være ringe. Dette skyldes dels, at dyrenes udnyttelse af denne føde er relativt dårlig, dels at blågrønalgerne i mange tilfælde udskiller kemiske stoffer, som er giftige for dyrene (se f.eks. Fulton (1988), Fulton og Paerl (1987), Fulton og Paerl (1988)). Specielt de store cladocerer, der ellers er effektive græssere, har problemer med blågrønalgerne, da de sætter sig i filtreringsorganerne og dermed hæmmer fødeoptagelsen.

Det fremgår af figur 7.1.1 og 7.2.2, at mængden af store alger ($> 50 \mu\text{m}$) i 1989-91 var størst i perioden, hvor blågrønalger dominerede.

I sommerperioden 1991 udgjorde algearter mindre end 50 μm 18,8 mm^3/l , svarende til 68% af den totale biomasse. I 1989 og 1990 udgjorde de små algearter tilsvarende 7,8 mm^3/l (20%) og 27,4 mm^3/l (79%).

Hvis algecellernes størrelse var eneafgørende, ville man altså forvente den største fødeoptagelse i 1990. I modsætning hertil observerede man faktisk den mindste fødeoptagelse i 1990 på 326 $\mu\text{gC}/\text{l}$ dag imod henholdsvis 598 og 601 $\mu\text{gC}/\text{l}$ dag i 1989 og 1991. De små algeceller i 1990 bestod overvejende af blågrønalger, så "blågrønalgeeffekten" oversteg altså "størrelseseffekten".

Inden for sommerperioden har dyreplanktonets fødeoptagelse kun i forsommeren betydning for, hvor mange alger der findes i søen. I perioder med blågrønalger er græsningen af ganske underordnet betydning uanset størrelsen af disse alger.

Fisk, som lever af dyreplankton, spiser fortrinsvis de større former af calanoide copepoder og cladocerer i søvandet. I søer, hvor fiskenes predation på dyreplanktonet er meget stor, vil mindre dyreplanktonformer derfor typisk blive dominerende.

Gennemsnitsstørrelsen af cladocernerne *Daphnia* og *Bosmina* (hhv. 514-862 og 363-509 μm), se tabel 7.2.2, var i 1989-91 på størrelse med, hvad der typisk er fundet i andre lavvandede og næringsberigede nationale overvågningssøer (Kristensen m.fl., 1991).

Der er ikke observeret nogen generel ændring af gennemsnitsstørrelsen, af de enkelte arter gennem de tre år.

Den forholdsvis store cladocer, *Bosmina coregoni*, var dog større og mere dominerende i 1991 end i de foregående to år. Dette kan dog næppe tages

som udtryk for et generelt ændret prædationstryk fra fisk, idet forekomsten snarere var knyttet til grønalgerne som fødegrundlag.

En nøjere vurdering af fiskepredationens betydning for dyreplanktonets sammensætning og mængde forudsætter imidlertid, at der udføres jævnlige undersøgelser af fiskeynglens sammensætning og mængde i søen.

Tabel 7.2.2

Gennemsnitslængde (μm) af store dyreplanktonarter i Arreskov Sø i sommerperioden (1.5-30.9), 1989-1991.

Dyregruppe og -art	1989	1990	1991
Copepoder (calanoide):			
<i>Eudiaptomus graciloides</i>	1113	1213	1195
Cladocerer:			
<i>Daphnia cucullata</i>	776	526	(514)
<i>Daphnia galeata</i>	844	807	862
<i>Bosmina longirostris</i>	363	(363)	379
<i>Bosmina coregoni</i>	-	(350)	509
<i>Chydorus sphaericus</i>	239	261	264

() = mindre end 5 målinger i perioden 1.5-30.9.

7.3 Samspil mellem fysisk-kemiske og biologiske forhold i søen.

I det følgende diskuteres plante- og dyreplanktonets variation i 1991, idet ligheder med og forskelle fra de to tidligere år inddrages.

Den milde vinter 1990/91 synes at have forårsaget, at der kunne opretholdes en stor population af kiselalger i perioden november 1990 til marts 1991. Denne population, og sandsynligvis også bakterier knyttet til nedbrydning af organisk stof, udgjorde et godt og stabilt fødegrundlag for cladocererne, der dominerede dyreplanktonet i denne periode. I modsætning til de to foregående år, hvor *Daphnia galeata* var den dominerende cladocer, var det i 1991 *Bosmina longirostris* og *Bosmina coregoni*, der dominerede.

Kiselalgerne har antagelig været begrænset af tilgængeligheden af silicium, idet koncentrationen var meget lav i perioden (figur 6.1.5).

I starten af april skete der et fald i biomassen af både plante- og dyreplankton. Dette var antagelig en følge af, at kiselalgerne blev bundfældet i forbindelse med en stærk opvarmning af vandet og deraf følgende nedsat vandcirkulation.

Derefter skete der en opvækst af små grønalger, og denne gav grundlag for en tilsvarende vækst af cladocerer indtil slutningen af april. På dette tidspunkt oversteg dyreplanktonets daglige fødeoptagelse mængden af planteplankton, der således faldt en smule.

Igennem maj måned faldt cladocermængden imidlertid stærkt, og grønalgerne fortsatte deres vækst. Grunden til den faldende cladocermængde kan således ikke være fødemangel, men at cladocererne blev ædt af opvoksende fiskeyngel.

Et tilsvarende fald i dyreplanktonets biomasse omkring maj måned er også set de to foregående år. Det var mest tydeligt i 1989, hvor det dog indfandt sig ca. 14 dage senere end i 1991.

Efter dyreplanktonets biomasseminimum sidst i maj, skete der påny en opvækst af cladocerer, hvis biomasse toppede i slutningen af juni. På dette tidspunkt udgjorde dyreplanktonets daglige græsning ca. 200% af algebiomassen (se figur 7.2.2), og algemængden aftog brat. Algevæksten kan dog også være blevet begrænset af kvælstofmangel. Koncentrationen af opløst uorganisk kvælstof var således blevet stærkt reduceret i forbindelse med grønalgernes opvækst.

Sammenbruddet af algesamfundet forekom samtidig med en periode med varmt og stille vejr. Dette resulterede i, at der i starten af juli fremkom en klartvandsperiode med en sigtddybe på 0,9 m.

Dette fald i algebiomasse fulgtes umiddelbart af et fald i dyreplanktonets biomasse. Dette fald kan dels skyldes fødemangel dels, at dyrene blev ædt af fisk. På dette tidspunkt er det sandsynligt, at yngel af brasen og skalle begynder at æde dyreplankton.

Efter klartvandsfasen skete en hurtig opvækst af små kiselalger, der på dette tidspunkt havde rigelig med kvælstof og fosfor til rådighed. Imidlertid udtømte de vandet for silicium, og det er antagelig dette snarere end græsning, der førte til deres hurtige henfald i starten af august. På dette tidspunkt var græsningen nemlig stadig meget lav, og specielt cladocererne, der er de mest effektive græssere, var fraværende.

Fra august til oktober dominerede blågrønalgen *Anabaena flos-aquae* planteplanktonet. Denne art har ikke i de foregående år været betydende, og dominansen i 1991 kan muligvis hænge sammen med, at der i denne periode var et markant lavere fosforniveau end i de foregående år (se afsnit 6). *Anabaena flos aquae* adskiller sig nemlig fra de øvrige arter af blågrønalger ved hovedsagelig at opnå høje biomasser ved temmeligt lave fosforniveauer (Kristensen m.fl., 1991).

I perioden med dominans af *Anabaena flos-aquae* var cladocererne stort set fraværende i planktonet. Prædation fra fisk kan have gjort sig gældende, især i starten af perioden, men det er snarere en effekt af blågrønalgernes dårlige fødekvalitet. Så snart blågrønalgerne blev mindre dominerende i planktonet, tiltog nemlig mængden af cladocerer. I perioden dominerede endvidere den calanoide copepod *Eudiaptomus gracilis* zooplanktonsamfundet. Denne store og langsomt bevægelige copepod er følsom overfor prædation fra fisk (Hansen m.fl., 1990).

Sidst på året aftog betydningen af blågrønalger. Kiselalger og specielt rekylalger dominerede i denne periode, der var klarvand og havde årets største sigtddybe. Der var derfor kun et ringe fødegrundlag for dyreplanktonet, hvis biomasse var lav.

De tre års undersøgelser af planktonet i Arreskov Sø viser, at mange forhold spiller ind i det komplicerede samspil mellem fysisk-kemiske og biologiske forhold i søen.

Næringsstofbegrænsning kan gøre sig gældende i kortere perioder, men synes ikke at spille nogen afgørende rolle. Sammensætningen af planktonet karakteriserer således Arreskov Sø som en næringsrig, lavvandet sø, hvor et højt fosforniveau (og til dels kvælstofbegrænsning i sommerperioden) antagelig favoriserer blågrønalger på bekostning af andre algegrupper, som f.eks. grønalger.

I foråret/forsommeren er planktonalgerne normalt velforsynede med næringsstoffer. Væksten af kiselalger hhv. grønalger kan i denne periode være stor, og algernes biomasse er i høj grad reguleret af dyreplanktons græsning. Under sommerperiodens blågrøinalgemaksimum er dyreplanktonets biomasse og græsning derimod meget lav.

I maj og til dels juni måned synes den opvoksende fiskeyngel at kunne øve en stærk prædation på dyreplanktonet, og således reducere mængden af dette.

Endelig spiller klimatiske forhold i høj grad ind som regulerende faktor. Især kortere eller længere perioder med varmt, stille vejr, kan føre til dramatiske ændringer i planktonet. I forbindelse med sådanne perioder er der f.ex. registreret: 1) bundfældning af kiselalger (april 1991), 2) opblomstring af blågrønalger (juni 1990), 3) sammenbrud af et blågrønalgesamfund (august 1990). Endvidere fremkom den markante klartvandsperiode i juli 1991 i forbindelse med en sådan periode.

8. Udvikling i søens miljøtilstand.

8.1 Tidligere og nuværende tilstand.

Der foreligger kun spredte optegnelser over den tidligere miljøtilstand i Arreskov Sø. De første oplysninger er fra 1920, hvor der i august blev målt en sigtddybde på 0,3 m, og hvor blågrønalger tilsyneladende dominerede i planteplanktonet (Petersen, 1950). Enkeltmålinger af sigtddybden i 1938, 1950 og 1961 viser, at vandet, i hvert fald i perioder om sommeren, har været uklart med sigtddybder på 0,15 til 0,18 meter. På trods af dette synes søen i visse dele at have haft en rig undervandsvegetation af bl.a. Børsteblandet vandaks og Vandranunkel.

Arreskov Sø synes således at have været næringsrig med uklart vand igennem det meste af dette århundrede. Årsagen til dette er ikke klar, men det kan have spillet ind, at vandstanden er blevet sænket i betydelig grad. I 1924-25 blev vandstanden således sænket ca. 75 cm, for at forbedre dyrkningsforholdene på de omgivende enge. I 1950 kunne Petersen (1950) konstatere, at rørsump- og undervandsvegetationen kun langsomt bredte sig ud i søen. Der har således kun været sparsom vegetation til at stabilisere bunden og mindske ophvirvling af sedimentet.

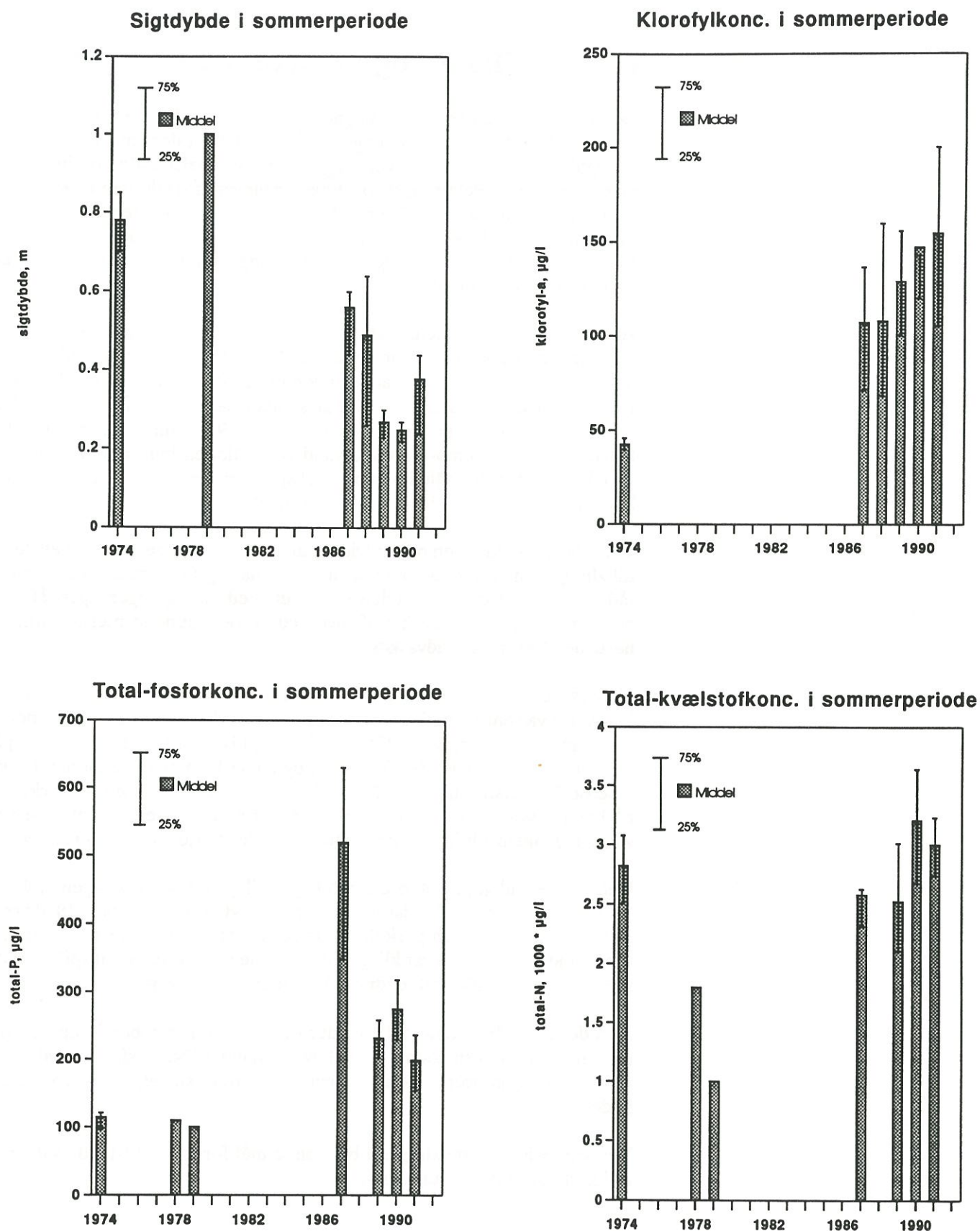
Vandstandssænkningen må endvidere antages at have medført en betydelig tilledning af næringsstoffer til søen fra de nærliggende mose- og engområder, der blev tørlagt og til dels opdyrket. Ved tørlægningen øges således nedbrydningen af organisk stof, hvorved de deri bundne næringsstoffer, herunder fosfor, kan udvaskes.

Undersøgelser fra 1970-erne tyder på, at miljøtilstanden i denne periode har været væsentligt bedre end både tidligere (1920-1960'erne) og senere. Fyns Amt konstaterede i 1974 en middelsigtddybde i sommerperioden på knap 0,8 m (4 målinger) (se figur 8.1), og medarbejdere og studerende ved Odense Universitet har i 1977 og 1979 målt sigtddybder i sommerperioden på henholdsvis 0,3-1,1 meter og 0,3-3,3 meter (Andersen, upubl.). I 1979 var den gennemsnitlige sommersigtddybde således 1,0 meter (10 målinger).

Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at vurdere årsagen til disse ændringer. En mulig forklaring på den relativt bedre tilstand i 1970'erne kan være, at det var en periode, hvor de (eventuelle) negative effekter af vandstandssænkningen var klinget af, og de negative effekter af spildevandsudledningen fra Korinth endnu ikke var slået igennem.

Som det fremgår af figur 8.1.1 er der sket en gennemgribende og negativ udvikling i miljøtilstanden i Arreskov Sø siden 1974. Fosformængden er steget, klorofylkoncentrationen (algemængden) er steget, og sigtddybden er faldet.

Ved vurdering af udviklingen i bl.a. disse mål for søens tilstand skal visse usikkerheder tages i betragtning.



Figur 8.1.1

Middelværdier af sigtdybde, og koncentration af klorofyl, total-fosfor og total-kvælstof i sommerperioden, 1974-91.

De angivne middelkoncentrationer og middelsigtdybden i 1974 og 1987 bygger således kun på henholdsvis 4 og 5 målinger i sommerperioden og er derfor ikke så sikkert bestemt som de senere års middelværdier, der bygger på 10-12 målinger. Endvidere antyder sigtgybde målinger fra 1972 og 1973, at vandet i Arreskov Sø var specielt klart i 1974.

Fosforkoncentrationen i sommerperioden synes dog at have ligget forholdsvis konstant omkring 0,1 mg/l i både 1973-1974 og 1977-79 (Vandkvalitetsinstituttet, 1975 og Jensen og Andersen, 1990). Da middelsigtdybden i sommerperioden 1979 endvidere var på 1,0 m, må det konstateres, at forringelsen har fundet sted gennem 1980'erne. Dette stemmer også overens med, at der gennem 1980'erne er konstateret en tilbagegang for blishøns, svaner og lappedykkere ved søen. Denne tilbagegang tilskrives forringede miljøforhold i søen (se afsnit 1).

Kvælstofniveauet i søen synes at have været nogenlunde konstant, bortset fra i 1978/79, hvor det tilsyneladende var markant lavere. Den analysemetode, der blev anvendt disse to år, var imidlertid anderledes end den metode, der blev anvendt de øvrige år, og dette kan muligvis forklare en del af forskellen.

I 1989-91, hvor Arreskov Sø er blevet overvåget intensivt, har søen været præget af et højt fosforniveau, stor algebiomasse af især blågrønalger og en meget ringe sigtgybde.

Den intensive overvågning, og opstilling af massebalancer for kvælstof og fosfor, har givet mulighed for mere præcist at vurdere årsagssammenhænge.

Den dårlige miljøtilstand igennem 1980'erne skyldes utvivlsomt spildevandstillæningen fra Korinth, som blev afskåret i 1983. Spildevandstillæningen havde således medført en ophobning af fosfor i søens sediment. Sedimentet synes at have haft en god bindingskapacitet for fosfor, eftersom fosforniveauet i søen var relativt lavt (ca 0,1 mg/l) helt op til slutningen af 70'erne. På et tidspunkt herefter begyndte sedimentet imidlertid at frigive den ophobede fosfor, og en voldsom frigivelse blev konstateret i 1987.

Da overvågningsprogrammet startede i 1989, var frigivelsen allerede mindsket, og fosforkoncentrationen i søen var nået ned på et lavere niveau. Imidlertid var algemængden øget og sigtgybden faldet i forhold til 1987. Den reducerede sigtgybde skyldes især en ophvirvling af sedimentet, der tilsyneladende er blevet mere løst og let ophvirvleligt igennem slutningen af 1980'erne. I 1989-91 var mængden af suspenderet stof i søvandet målt som tørstof således væsentligt større end i 1978 (Andersen og Lastein, 1979).

Sedimentets sammensætning viser, at det er meget rigt på organisk stof, og at fosforen overvejende er bundet til dette. Det er derfor sandsynligt, at den store fosforfrigivelse først og fremmest stammer fra nedbrydningen af dette organiske stof, og at de partikler, som ophvirvles i vandet, i overvejende grad består af forholdsvis tungt nedbrydelige organiske forbindelser.

Selvom nedbrydningen af organisk stof tilsyneladende er nedsat i større eller mindre grad på grund af kvælstofmangel om sommeren (afsnit 6.3), er der

gennem årene antagelig sket en vis nedbrydning af de stofmængder, der formodes at være ophobet i midten af 1980'erne. Massebalancerne for fosfor og kvælstof tyder således på, at der i efteråret 1989 skete en usædvanlig kraftig nedbrydning af organisk stof. Årsagen til dette var antagelig, at efteråret var varmere end sædvanligt, og at nedbrydningsprocesserne derfor kunne foregå hurtigere. De senere års milde vintre kan endvidere have medvirket til at øge den generelle stofnedbrydning i søen.

Selvom der i forårs- og sommerperioden sker en væsentlig fosforafgivelse fra sedimentet, er der tilsyneladende på årsbasis en tilbageholdelse af fosfor i sedimentet. Når der alligevel er konstateret en nettofrigivelse af fosfor fra søen, skyldes det, at fosforpuljen i vandet er faldet. Den 1. januar 1992 var fosforpuljen (og forforkoncentrationen) i vandet således kun ca. 30% af puljen (koncentrationen) den 1. januar 1989.

Fosforindholdet i søen er dog i høj grad styret af de interne processer som frigivelse fra sedimentet og sedimentation. Begge processer kan således på mindre end en måned fjerne eller tilføre en ligeså stor mængde fosfor, som der årligt tilføres søen udefra.

Størrelsen af disse processer er dog aftaget mærkbart siden 1987, og dette tyder på, at sedimentets udvekslelige pulje er blevet væsentligt mindre. Specielt har der siden juli 1991 været usædvanligt lave fosforkoncentrationer i vandet.

Også de første målinger i 1992 har vist et lavere fosforindhold (og en større sigtgybde) end i de to foregående år.

Det er på nuværende tidspunkt for tidligt at udtale sig om, hvorvidt denne forbedring er permanent. Dette vil i høj grad være afhængig af, hvordan de biologiske forhold reagerer. Resultaterne giver imidlertid håb om, at der er mulighed for en hurtig forbedring af miljøforholdene i Arreskov Sø.

Plante- og dyreplanktonet har ikke ændret sig væsentligt gennem de tre år. Planteplanktonets primærproduktion og biomasse har været nogenlunde konstant, og der har i alle tre år været dominans af blågrønalger. Primærproduktionen er i høj grad begrænset af de dårlige lysforhold i vandet. Disse dårlige lysforhold skyldes i høj grad ophvirvlingen af sedimenteret materiale. Man må således forvente, at en mindsket sedimentophvirvling, som der var tegn på i sommer-efterårsperioden 1991, kan medføre en øget primærproduktion og algebiomasse.

Den fremtidige udvikling vil således i høj grad være afhængig af, om næringsstofbegrænsning og græsning fra dyreplankton vil være i stand til at holde algemængden på et begrænset niveau.

I 1989-91 var dyreplanktonet i stand til at begrænse planteplanktonets biomasse i foråret og forsommeren, men så snart opblomstringen af blågrønalger startede, var græsningen uden betydning. Da blågrønalger især forekommer ved relativt høje fosforkoncentrationer, er der mulighed for, at et nedsat fosforniveau i Arreskov Sø kan bryde dominansen af blågrønalger.

I 1991 var perioden med dominans af blågrønalger væsentligt kortere end de foregående to år. Dette behøver dog ikke at være tegn på en forbedring, men kan være et resultat af almindelige år-til-år-variationer, som fx. set i Langesø (Fyns Amt, 1992c).

Der er dog ingen tvivl om, at fosforniveauet i søen er faldet i 1991, så grundlaget for forbedringer er skabt.

8.2 Søens fremtidige tilstand.

Hvis målsætningen i regionplan 1989-2001 for Arreskov Sø skal opfyldes, indebærer dette frem for alt, at middelsigtdybden i søen bliver mindst 1 meter, og at søen får en (stedvis) udbredt undervandsvegetation.

Dette kræver, at søvandets fosforindhold nedsættes væsentligt, først og fremmest gennem en nedsat fosforfrigivelse fra sedimentet. Når dette er sket, vil den fremtidige fosforkoncentration i søen være bestemt af tilførslerne udefra.

Niveauet for det fremtidige fosforindhold i søvandet kan beregnes ud fra den skønnede fosforbelastning ved anvendelse af den fosformodel, der blev omtalt i afsnit 6.2.

Endvidere er der af Kristensen m.fl. (1990) og Kristensen m.fl. (1991) opstillet følgende sammenhænge mellem søvandets indhold af total-fosfor og sommersigtdybden:

$$\text{Model 1} \quad \text{Sigtdybde (m)} = 0,34 P_{\text{ss}}^{-0,29} Z^{0,55}$$

$$\text{Model 2} \quad \text{Sigtdybde (m)} = 0,25 P_{\text{ss}}^{-0,61} Z^{0,25}$$

hvor P_{ss} er søvandets årsmiddelkoncentration af total-fosfor (mg/l) og Z søens middeldybde (m). Model 1 er opstillet ud fra undersøgelser i et stort antal (især mindre og lavvandede) søer, og model 2 er opstillet på baggrund af resultater fra de 37 danske nationale overvågningssøer.

Kristensen m.fl.(1991) vurderer, at model 2 rimeligt godt beskriver den målte middelsigtdybde i de nationale overvågningssøer, omend med betydelig variation.

Tabel 8.2.1.

Sammenligning mellem målte og beregnede middelsigtdybder i Arreskov Sø for sommerperioden (1.5 - 30.9), 1989-91. For model 1 er i parentes angivet variationsintervallet (standard error). Se i øvrigt teksten for nærmere forklaring.

År	P_{ss} (mg/l)	Sigtdybde, målt (m)	Sigtdybde, beregnet (m)	
			Model 1	Model 2
1974	0,114	0,78	0,91 (0,8-1,1)	1,10
1987	0,449	0,57	0,61 (0,5-0,7)	0,48
1989	0,232	0,27	0,74 (0,6-0,9)	0,71
1990	0,230	0,25	0,74 (0,6-0,9)	0,72
1991	0,153	0,38	0,83 (0,7-1,0)	0,92

Middeldybden, Z : 1,9 m.

De to modeller stemmer godt overens, men model 2 forudsiger forholdsvis større sigtddybder ved lave fosforindhold. Model 1 og 2 har passeret godt med den målte sigtddybde i 1974 og 1987, men i 1989-91 var den målte sigtddybde væsentligt lavere end de beregnede. Dette skyldes antagelig en stor ophvirvling af bundmateriale.

Ved at kombinere fosformodellen og sigtddydemodellen kan sigtddyden i søen ved forskellige fosforbelastninger vurderes. Denne vurdering forudsætter, at den interne belastning fra sedimentet er stoppet, og at bundmaterialet har en "normal" beskaffenhed, dvs. at der ikke forekommer samme voldsomme ophvirvling som i 1989-91.

Tabel 8.2.2

Beregnet fremtidig sigtddybde i Arreskov Sø ved det nuværende belastningsniveau og ved forskellige grader af reduktion af belastningen.

Belastning	P_{ind} (mg/l)	$P_{sø}$ (mg/l)	Beregnet sigtddybde (m)	
			Model 1	Model 2
Nuværende niveau	0,123	0,092	0,97	1,27
10% reduktion	0,111	0,083	1,00	1,34
20% reduktion	0,098	0,074	1,03	1,44
40% reduktion	0,074	0,055	1,12	1,72
Basisbelastning (60% reduktion)	0,049	0,037	1,26	2,19

Tages udgangspunkt i belastningen og afstrømningsforholdene i 1990/91, hvor fosforbelastningen i gennemsnit for de to år var på 685 kg, beregnes en fremtidig sigtddybde på knap 1 meter efter model 1, der antages at passe bedst på Arreskov Sø. Beregningen efter model 2 kan give et fingerpeg om en yderligere forbedring, såfremt der fx. indfinder sig en udbredt bundvegetation i søen.

Det ser således ud til, at fosforbelastningen på nuværende tidspunkt er tæt på et niveau, hvor målsætningens krav om en sigtddybde på mindst 1 meter vil kunne opfyldes.

Man må imidlertid huske på, at der er stor usikkerhed på disse modeller, så deres forudsigelser kan kun tages som retningslinier. Endvidere er modellen følsom over for størrelsen af fosfortilførslen med grundvandet. Denne er kun skønnet, og hvis den i realiteten er større end antaget, vil modellen undervurdere fosforbelastningen af søen en smule (ca. 5% hvis fosforkoncentrationen i grundvandet er 0,1 mg/l).

Disse modelberegninger kan derfor ikke entydigt bruges til at afgøre, om belastningen er nået til et acceptabelt niveau.

Det er i Vandmiljøplanen forudsat, at udledningerne af kvælstof og fosfor til vandmiljøet skal reduceres med henholdsvis 50% og 80%. Dette gælder såvel for udledninger fra større renseanlæg, for virksomheder med særskilt udledning til vandområder og tilførsler i forbindelse med landbrugsdrift. Derimod stiller planen ingen krav til udledninger fra mindre renseanlæg og spredtliggende ejendomme. Dette er en afgørende mangel, idet det netop er på dette område, at fosfortilførslen til Arreskov Sø og mange andre søer kan reduceres.

I oplandet til Arreskov Sø bidrager såvel spildevand fra spredtliggende ejendomme (492 PE dvs. potentielt op til 645 kg fosfor pr. år, hvis alt spildevandet når frem, jf. tabel 3.2.4) som landbrugsdrift formodentligt væsentligt til tilførslen af fosfor. Disse kilder har således i 1989-91 tilsammen udgjort 58-63% (svarende til 251-386 kg P/år) af den samlede fosfortilførsel til søen (se afsnit 3.2). Det er denne kulturbetingede tilførsel, der i givet fald skal reduceres.

Midlerne til at opnå denne reduktion kan omfatte både forbedret spildevandsbehandling ved de spredtliggende ejendomme samt formindsket tilførsel af fosfor fra de dyrkede arealer, idet begge kilder skønnes betydningsfulde, selvom det er usikkert, hvor stor en andel de hver især bidrager med.

Spildevandsbelastningen kan reduceres ved fx. nedsivning, opsamling af spildevandet, etablering af nye forbedrede renseanlæg på den enkelte ejendom, og/eller anvendelse af fosfatfri vaskemidler.

Tilførslen af fosfor fra de dyrkede marker vurderes bl.a. at kunne reduceres ved, at marker langs åbne vandløb i oplandet i større grad er plantedækkede i vinterperioden (fx. med efterafgrøder), og/eller udlægning af passende brede udyrkede arealer langs de dele af tilløbene til søen, der ikke allerede i dag forløber gennem udyrkede engarealer.

Endvidere er det vigtigt, at der ikke foretages yderligere vandstandssænkninger i søen, og at søens vandspejl holdes på et højt niveau i sommerperioden, så omsætningen af organisk stof og den dermed forbundne risiko for fosforudvaskning ikke øges.

De nævnte virkemidler ligger, hvad angår fosforbidraget via spildevand, uden for rammerne af vandmiljøplanen. Miljølovgivningen giver imidlertid mulighed for indgreb med henblik på at mindske belastningen fra de spredtliggende ejendomme. Det er efter gældende lovgivning kommunerne i oplandet til søen, som har kompetencen hertil.

9. Sammenfatning og konklusion.

Arreskov Sø, der er Fyns største sø, ligger i et naturpræget opland med forholdsvis store skovarealer og en relativt begrænset landbrugsmæssig udnyttelse. Godt halvdelen af arealerne i oplandet udnyttes således til jordbrug. Søen er temmelig lavvandet, og vandet bliver derfor let omrørt, når det blæser. Som følge heraf er der normalt gode iltforhold i søen, men omrøringen medfører en ophvirvling af bundmateriale.

Søen er i regionplan 1989-2001 målsat som referenceområde for naturvidenskabelige studier. For at opfylde denne målsætning bør søen have en sigtddybde på mindst 1 meter, et artsrigt planteplankton uden masseopblomstringer af enkelte algegrupper, en stedvist veludviklet undervandsvegetation (rankegrøde), og en arts- og individrig smådyrsfauna. Endelig skal fiskebestanden have en naturlig alders- og artsfordeling med balance mellem fredfisk og rovfisk. Denne målsætning er idag ikke opfyldt.

Søen er således stærkt beriget med plantenæringsstofferne kvælstof og fosfor. Som følge heraf er sigtddybden i vandet ringe, og der forekommer langvarige opblomstringer af blågrønalger om sommeren. Årsagen er først og fremmest en tidligere udledning af dårligt rensset spildevand fra Korinth by, men også den nuværende kulturbetingede afstrømning af næringsstoffer fra spredt bebyggelse og landbrugsarealer i oplandet er af betydning for søens miljøtilstand. Udledningen fra Korinth by blev standset i 1983, men tilstanden er alligevel blevet forværret op igennem 1980'erne.

Tilførslen af kvælstof og fosfor til søen har i 1989-1991, hvor den er undersøgt som en del af Vandmiljøplanens overvågningsprogram, varieret fra år til år, væsentligst som følge af forskelle i nedbør og afstrømning. Tilførslen er dog relativt beskeden, sammenlignet med andre danske søer. Fosforbelastningen synes således at være tæt på det niveau, der skal til, for at sigtddybden teoretisk kan blive 1 meter.

Omkring 80% af kvælstof- og 60% af fosforbelastningen skyldes en kulturbetinget tilførsel fra det åbne land. For kvælstof udgør afstrømning fra dyrkede arealer stort set hele denne tilførsel. For fosfors vedkommende omfatter den kulturbetingede tilførsel spildevand fra spredt bebyggelse, men også bidrag i forbindelse med landbrugsdrift.

Tilførslen af fosfor til søvandet fra søbunden er i perioder relativt stor, sammenlignet med den udefra kommende tilførsel. Søbunden indeholder således store mængder fosfor, som er ophobet i forbindelse med den tidligere spildevandstilledning fra Korinth. Der synes imidlertid i 1991 at være en vis forbedring, idet ophvirvlingen af bundmateriale og fosforindholdet i søvandet har været væsentlig nedsat i sensommeren. En forklaring er muligvis, at den letomsættelige fosforpulje i søbunden efterhånden er blevet mindsket og bundmaterialet stabiliseret.

Der er i alle de tre undersøgelsesår ført mere fosfor fra søen, end der er ledt til. Denne afgivelse har ført til, at fosforniveauet i søvandet er blevet væsentligt mindre.

Kvælstoftilbageholdelsen i søen har i de tre år i gennemsnit været på ca. 30%, hvilket er noget lavere end normalt for danske søer. Den lave tilbageholdelse skyldes muligvis en til tider stor afgivelse af kvælstof fra sedimentet i forbindelse med nedbrydning af organisk stof.

Planteplanktonet har alle tre år været domineret af blågrønalger i sommerperioden. I 1991 var perioden med dominans af blågrønalger imidlertid kortere end de foregående to år, idet der i forsommeren forekom en periode med dominans af grønalger.

Blågrønalger udgør et meget dårligt fødegrundlag for dyreplanktonet. Dyreplanktonets græsning på algerne er derfor stærkt nedsat, når blågrønalgerne dominerer. Det er således kun i vinter-, forårs- og forsommerperioden, at dyreplanktonets græsning kan holde planteplanktonet nede.

Algebiomassens størrelse er formodentlig i perioder om sommeren noget begrænset som følge af mangel på henholdsvis kvælstof og fosfor.

Imidlertid synes planktonalgernes vækst hovedsagelig at være begrænset af lysmangel. På grund af søens uklare vand, der i høj grad skyldes ophvirvlet bundmateriale, rækker lyset ikke ret langt ned i vandet. Algernes produktion af organisk stof er derfor på niveau med, hvad man finder i langt renere søer.

Der har i efteråret 1991 været en tendens til, at søens bundmateriale ikke hvirvles op i så høj grad som tidligere. Fortsætter denne tendens uden en væsentlig reduktion i næringssaltniveauet, er der risiko for, at produktionen af organisk stof (alger) stiger. Søens udvikling vil derfor i høj grad være afhængig af den biologiske struktur i søen, herunder især dyreplanktonets mulighed for at holde planteplanktonet nede. Det er derfor vigtigt, at de fisk, som lever af dyreplankton holdes nede i antal. Dette sker i et vist omfang idag, hvor erhvervsfiskeren på søen hvert år opfisker adskillige tons "skidtfisk", især brasen.

Det vil endvidere være af afgørende betydning for søens miljøtilstand, at bundplanter igen indfinder sig i søen. Resultater fra andre søer viser således, at fremvækst af bundplanter bl.a. stabiliserer søbunden og forhindrer ophvirvling af bundmateriale, således at søvandet bliver mere klart.

Midlerne til at reducere tilførslerne af næringsstoffer til Arreskov Sø er en forbedret rensning af spildevand fra den spredte bebyggelse i oplandet til søen og/eller anvendelse af fosfatfri vaskemidler på disse ejendomme. Endvidere bør der ske en øget anvendelse af efterafgrøder på landbrugsarealer langs vandløb i oplandet samt etablering af udyrkede bræmmer langs de dele af tilløbene til søen, der ikke allerede idag forløber gennem udyrkede engarealer. Hertil bør føjes andre foranstaltninger, der kan reducere fosfortilførslen fra dyrkede arealer.

Referencer.

Andersen, F.Ø., upubl.: Data fra undersøgelser foretaget i Arreskov Sø i perioden 1977-79 af medarbejdere og studerende ved Odense Universitet.

Andersen, F.Ø. og E. Lastein, 1979: Måling og beregning af sedimentation i en lavvandet sø. - I Enell, M. og G. Gahnström (eds.): 7th Nordic Symposium on Sediments. Presentation of Methods and Analytical Results. - Limnologiska Institutionen, Lunds Universitet, 1979, s. 95-110.

Dahl, J., 1963: Beretning vedrørende den fiskeribiologiske undersøgelse af Arreskov Sø, 5. - 10. juni 1961. - Danmarks Fiskeri- og havundersøgelser, Charlottenlund 1963.

Fulton, R.S., 1988: Grazing on filamentous algae by herbivorous zooplankton. - Freshwater biology 20, s. 263-271.

Fulton, R.S. og H. Pearl, 1987: Effects of colonial morphology on zooplankton utilization of algal resources during blue-green algal (*Microcystis aeruginosa*) blooms. - Limnol. Oceanogr. 32, s. 634-644.

Fulton, R.S. og H. Pearl, 1988: Zooplankton feeding selectivity for unicellular and colonial *Microcystis aeruginosa*. - Bulletin Marine science 43, s. 500 - 508.

Fyns Amt, 1990: Vandmiljøovervågning. De ferske vandområder: Arreskov Sø 1989. - Rapport, 59 s.

Fyns Amt, 1991: Vandmiljøovervågning: Arreskov Sø, 1990. - Rapport, 90 s.

Fyns Amt, 1991a: Afstrømningsmålinger i Fyns Amt 1989. - Rapport udarbejdet af Hedeselskabet for Fyns Amt, 25 s. + bilag.

Fyns Amt, 1991b: Afstrømningsmålinger i Fyns Amt 1990. - Rapport udarbejdet af Hedeselskabet for Fyns Amt, 22 s. + bilag.

Fyns Amt, 1992: Vandmiljøovervågning: Atmosfærisk nedfald, 1991. - Rapport, 22 s.

Fyns Amt, 1992a: Overvågning af fuglelokaliteter i Fyns Amt - 1989. - Rapport (i trykken).

Fyns Amt, 1992b: Vandmiljøovervågning: Søholm Sø, 1989-91. Rapport, 116 s.

Fyns Amt, 1992c: Vandmiljøovervågning: Langesø, 1989-91. - Rapport, 114 s.

Fyns Amt, 1992d: Vandmiljøovervågning: Vandløb og kilder, 1991. - Rapport, 93 s.

Hansen, A.-M., E. Jeppesen, S. Bosselmann, P. Andersen, 1990: Zooplanktonundersøgelser i søer. Metoder. - Udkast fra Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen, 1990, 92 s.

Jensen, H.S. og F.Ø. Andersen, 1990: Fosforbelastning i lavvandede eutrofe søer. - NPO-forskning fra Miljøstyrelsen nr. C4, Miljøstyrelsen, 94 s.

Jensen, H.S. og F.Ø. Andersen, 1990a: Impact of nitrate and blue-green algae abundance on phosphorus cycling between sediment and water in two shallow, eutrophic lakes. - Verh. Internat. Verein. Limnol. 24, s. 224-230.

Kristensen, P., M. Søndergaard, E. Jeppesen, E. Mortensen og Aa. Rebsdorf, 1990: Overvågningsprogram. Prøvetagning og analysemetoder i søer.- Danmarks Miljøundersøgelser, 32 s.

Kristensen, P., J.P. Jensen, E. Jeppesen, 1990a: Eutrofieringsmodeller for søer. - NPO-forskning fra Miljøstyrelsen nr. C9, Miljøstyrelsen, 120 s.

Kristensen, P., J.P. Jensen, E. Jeppesen og M. Erlandsen, 1991: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1990. Ferske vandområder -søer. -Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport nr. 38, 104 s.

Kronvang, B. og A.J. Bruhn, 1990: Overvågningsprogram. Metoder til bestemmelse af stoftransport i vandløb. - Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for ferskvandsøkologi, 22 s.

Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium, 1977: Limnologisk metodik. Akademisk Forlag, 172 s.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1990: Arreskov Sø 1989, Phyto- og zooplankton. - Notat til Fyns Amt.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1991: Arreskov Sø 1990, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1992: Arreskov Sø 1991, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt.

Miljøstyrelsen, 1983: Vejledning i recipientkvalitetsplanlægning. Del 1. Vandløb og søer. - Miljøstyrelsen, 89 s.

Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium, 1988: Overvågningsprogram. Vand- og sedimentanalyser i ferskvand. Særlige kemiske analyse- og beregningsmetoder. - Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium. Teknisk rapport nr. 21, 59 s.

Mortensen, E., H.J. Jensen, J.P. Müller, M. Timmermann, 1990: Overvågningsprogram. Fiskeundersøgelser i søer. Undersøgelsesprogram, fiskeredskaber og metoder. - Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning nr. 3, 60 s.

Muus, B. og P. Dahlstrøm, 1984: Europas ferskvandsfisk. - Gads natur forum. 224 s.

Olesen, J.E., H.E. Mikkelsen og E. Friis (red.), 1991: Emnedag om meteorologiske målemetoder i jordbrugs- og miljøforskningen. - Tidsskrift for Planteavls specialserie, beretning nr. S 2112, 94 s.

Olrik, K., 1988: Vejledning i phytoplankton bedømmelse, del I, Metoder. - Miljøbiologisk Laboratorium, rapport til Miljøstyrelsen, 57 s.

Olrik, K. (i tryk): Bedømmelse af planteplankton. Metoder. - Udarbejdet for Miljøstyrelsen. - Miljøbiologisk Laboratorium Aps. 39 pp. + bilag.

Petersen, J.B., 1950: Arreskov Sø 1950. - Djur och Natur 1950, s. 154-157.

Reynolds, C.S., 1984: The ecology of freshwater phytoplankton. -Cambridge University Press, 384 s.

Vandkvalitetsinstituttet, 1975: Recipientundersøgelse af Sørup Sø, Hvidkilde Sø, Nielstrup Sø, Ollerup Sø, Brændegård Sø, Nørre Sø, Arreskov Sø. - Rapport til Fyns Amtskommune. 107 s. + bilag.

Bilag 1.

Metodik anvendt ved undersøgelser af Arreskov Sø og dens opland.

Morfometri.

Søens dybdeforhold er i 1989 kortlagt af landinspektør Thorkild Høy ved hjælp af ekkolodning. Beregning af søens kystlinielængde, areal og volumen er foretaget af Fyns Amt ved anvendelse af planimeter.

Oplandsbeskrivelse.

Søens afstrømningsopland og deloplandet til søens tilløb er afgrænset af Hedeselskabet i 1990 på baggrund af Geodætisk Instituts højdekurvekort i målestoksforholdet 1:25.000, samt oplysninger om dræninger i området.

Arealanvendelsen i oplandet er herefter opgjort på basis af oplysninger fra Landbrugsministeriet, Afdelingen for Arealdata og Kortlægning, Vejle. Disse oplysninger stammer fra perioden 1974-1981.

Jordtypefordelingen i landbrugsområderne er ligeledes opgjort på basis af oplysninger fra Afdelingen for Arealdata og Kortlægning. Disse oplysninger stammer fra perioden 1977-1978, og angiver kun forekomst af dominerende jordtyper i dybden 0-20 cm.

Oplysninger om husdyrhold i oplandet er indhentet af Fåborg og Broby Kommuner i forbindelse med kommunens landbrugstilsyn i perioden 1986-1989. Ifølge Fåborg og Broby Kommuner er der ikke siden sket væsentlige ændringer i husdyrholdet (oplyst primo 1992).

Tætheden af spredt bebyggelse i oplandet er endvidere skønnet på baggrund af en optælling af ejendomme på Geodætisk Instituts kort i målestoksforholdet 1:25.000 (fra 1983). Det er herefter antaget, at der fra hver ejendom i gennemsnit udledes spildevand fra 3 personer (3 PE/ejendom). For Fyn og Danmark er oplysningerne om spredt bebyggelse baseret på opgørelser over befolkningsandel uden tilslutning til offentligt kloaknet.

Oplandet til Arreskov Sø, herunder grundlaget for opgørelsen af arealanvendelsen, er mere detaljeret beskrevet i Fyns Amts seneste rapport om Arreskov Sø (Fyns Amt, 1991).

Nedbør.

Til beskrivelse af nedbørsforholdene ved Arreskov Sø er benyttet en af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) drevet nedbørsmåler i Håstrup (DMI-stnr. 28390).

Nedbørsdata fra DMI er normalt ukorrigerede data, hvorfor de opgivne nedbørstal aldrig helt svarer til den nedbør som falder på jordoverfladen.

De anvendte nedbørsdata er korrigerede data, hvilket betyder at den månedsvise nedbør er multipliceret med en korrektions-faktor opgjort i Olesen m.fl. (1991). Korrektionen er udført af Fyns Amt efter retningslinier fra DMI.

Da læforholdene omkring stationen kan karakteriseres som moderate (DMI) kendes de korrektionsfaktorer, som skal benyttes for at bestemme den "sande" nedbør på jord-/søoverfladen.

På årsbasis betyder korrektionen at den målte nedbør forøges med 16%.

Fraktilbåndene i figur 2.2 er beregnet ud fra nedbørsdata for perioden 1961-91.

Fordampning.

Til brug for vandbalancen er benyttet den potentielle fordampning fra Årslev (DMI-stnr. 28280) beregnet af Statens Planteavlsforsøg vha. Makkink's ligning. For at danne den aktuelle fordampning fra en fri vandoverflade, er de modtagne data multipliceret med faktoren 1.10, efter anbefaling fra Harald Mikkelsen, Statens Planteavlsforsøg.

Ferskvandsafstrømning.

Til beskrivelse af ferskvandsafstrømningens variation i perioden 1989-91, er antaget samme afstrømningsvariation som ved vandløbs-målestationen beliggende i Odense Å ved Nr. Broby.

Denne antagelse er vurderet god, ud fra en visuel sammenligning af hydrografen for ferskvandstilstrømningen til Arreskov Sø og afstrømningen målt i Odense Å ved Nr. Broby.

Ved antagelsen opnås kendskab til ferskvandsafstrømningens historiske variation.

Tidsserien er udarbejdet af Det danske Hedeselskab, Hydrometriske Undersøgelser, som har drevet denne station siden 1918.

De viste fraktilbånd i figur 2.2 er beregnet for perioden 1961-91.

Lufttemperatur.

Temperaturen er beregnet som et middel af målinger ved Rudkøbing (DMI-stnr. 28590), Gundestrup (DMI-stnr. 28335) og Skjoldnæs Fyr (DMI-stnr. 28490). Denne tidsserie foreligger for perioden 1976-91, som de viste fraktilbånd i figur 2.2 er beregnet ud fra.

Soltimer.

Fra Årslev (DMI-stnr. 28280) er fremskaffet det registrerede antal soltimer fra 1961-1991. Fraktilbåndene i figur 2.2 er derefter beregnet for normalperioden 1961-90.

Vindforhold.

Ved Beldringe Lufthavn er opsat en klimastation (DMI-stnr. 06120), hvor der bl.a. registreres vindhastigheden i 10 m's højde 8 gange dagligt. Disse er opløftet i 3.potens, hvorefter månedsmidler er beregnet. Danmarks meteorologiske Institut har leveret disse data for perioden 1961-1990, og herudfra er de viste fraktilbånd i figur 2.2 er dannet.

Stofafstrømning.

Fyns Amt har i 1989-1991 gennemført intensive fysisk-kemiske undersøgelser i søens tilløb og afløb. Stationering, analyseomfang og undersøgelses-hyppighed fremgår af figur 1.1.1 og tabel B1.1-B1.2.

På baggrund af Fyns Amts enkeltmålinger af vandføringen og en samtidig kontinuerlig registrering af vandstanden, har Hedeselskabet beregnet døgnmiddelvandføringen i vandløbene (jf. Fyns Amt, 1991a og b, samt upubl. data for 1991).

Næringsstofafstrømningen er herefter beregnet ved anvendelse af lineær-interpolationsmetoden. Denne metode er detaljeret beskrevet af Kronvang og Bruhn (1990).

Der er i enkelte tilfælde foretaget justeringer, idet enkelte ekstreme værdier er udeladt i beregningen. Justeringerne er beskrevet i et internt notat.

Afstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor til søen er beregnet ud fra målinger dækkende 80% af søens samlede oplandsareal. Tilførslen af ortofosfat-fosfor, total-jern og kalcium til søen er dog beregnet ud fra målinger dækkende 48% af oplandsarealet.

Ferskvands- og næringsstofafstrømningen fra den resterende del af oplandet, det såkaldte umålte opland, er dernæst beregnet under antagelse af, at arealafstrømningen (afstrømningen/ha) er ens i det målte og det umålte opland.

Målestationen i sø afløbet er placeret cirka 4-500 m nedstrøms selve søen, hvorfor den målte afstrømning korrigeres for det areal (144 ha), som ikke indgår i sø oplandet. Ferskvandsafstrømningen korrigeres ved antagelse om samme arealafstrømning som i sø oplandet.

Stofafstrømningens basisbidrag.

Næringsstofafstrømningens basisbidrag er den næringsstofftilførsel til søen, som ville forekomme, såfremt søens opland udelukkende bestod af "naturområder". Basisbidraget skønnes ud fra belastningen fra udyrkede referenceoplande, og beregningen kan foretages på 2 måder:

- Den aktuelle ferskvandsafstrømning ganget med koncentrationen af næringsstoffer i et eller flere referencevandløb i udyrkede oplande.

Tabel B1.1

Oversigt over vandkemiske undersøgelser i tilløb til og afløb fra Arreskov Sø i Fyns Amt, 1989-91.

Målinger ved Miljø- og levnedsmiddelkontrollen, Odense.

Analysevariable	Analyseforskrift	Programtype	
		VA 3	VA 4
pH (20°)	DS 287	+	
Suspenderet stof = Tørstof (part.)	DS 207	+	
COD (foreliggende tilstand)	DS 217 ¹⁾	+	
Total-N	DS 221	+	+
(NH ₃ +NH ₄)-N (F)	DS 204	+	
(NO ₂ +NO ₃)-N (F)	DS 223	+	
Total-P	DS 292	+	+
PO ₄ -P = Orto-P (F)	DS 291	+	
Silikat-Si	MFL ¹⁾	+	
Total-Fe	MFL ¹⁾	+	
Total-Ca	DS 248	+	

Bemærkninger:

1) Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium (1988).

(F) Analyse på filtreret prøve (GF/C).

	Sted	Stationsnummer	Undersøgelsesaktivitet		Undersøgelseshyppighed		Analyseomfang
	Vandløbsnavn	SERR-nr.	Q/H-st.	Vandkemist.	Vandførings-måling	Vandkemi-prøve	Programtype
Arreskov Sø:							
Tilløb 1	Geddebæk	0107110		+	26/år	26/år	VA3
Tilløb 2	Bollelung	0107120		+	12/år	12/år	VA4
Tilløb 3 ¹⁾	Tyvholm	0107130		+	12/år	12/år	VA4
Tilløb 4	Rislebæk	0107140	+	+	26/år	26/år	VA3
Tilløb 5	Søbo afløb	0117160	+	+	26/år	26/år	VA3
Tilløb 6	Korinth regnvand	0107170		+	12/år	12/år	VA4
Tilløb 7	Planteheld	0107150		+	12/år	12/år	VA4
Afløb	Odense Å	0105350	+	+	19/år	19/år	VA3

Bemærkning:

1) Tilløb 3 kun målt i 1989-90.

Tabel B1.2

Oversigt over fysisk-kemiske undersøgelser i tilløb til og afløb fra Arreskov Sø i Fyns Amt, 1989-91.

- Arealafstrømningen af næringsstoffer i referenceoplandet ganget med arealet af det aktuelle topografiske opland

Usikkerheder vedrørende de to metoder til opgørelse af baggrundsbidraget er beskrevet i (Fyns Amt, 1991).

Basisbidraget til Arreskov Sø 1989-91 er beregnet ved hjælp af medianværdien for den vandføringsvægtede næringsstofkoncentration i 7 referenceoplande i Danmark ganget med den totale vandafstrømning til Arreskov Sø i det pågældende år, jf. anvisninger fra Danmarks Miljøundersøgelser.

Atmosfærisk deposition.

Fyns Amt har 4 stationer til måling af atmosfærisk deposition, Årslev, Boelsmose, Grøftehøj og Højestene Løb. De tre førstnævnte er landstationer, mens den sidstnævnte er en kyststation. Til beregning af den atmosfæriske deposition på Arreskov Sø er de tre landstationer anvendt.

Den atmosfæriske deposition opsamles vha. en bulksamler. Den tragtformede opsamler er placeret i 1,5 m højde, og er forbundet til en nedgravet opsamlingsflaske.

Ved benyttelse af bulkopsamling er det primært de atmosfæriske forbindelser, der tilføres med nedbøren, som opsamles. I tørvejrperioder opsamles endvidere større partikler og i mindre omfang gasser. Denne form for afsætning (deposition) af forureningskomponenter benævnes våddeposition.

Til beregning af våddepositionerne anvendes desuden nedbørsdata fra DMI. De anvendte nedbørsstationer er placeret i Årslev og Boelsmose.

De anvendte nedbørsdata er ikke korigeret for vindpåvirkning, hvorfor de faktiske nedbørsmængder er noget højere (se under "nedbør").

Grundvand

Tilførslen af grundvand til Arreskov Sø er beregnet ud fra søens vandbalance, det vil sige forskel mellem tilførte og fraførte vandmængder - på årsbasis.

Denne opgørelse er behæftet med stor usikkerhed. Til brug for beregning af stoftilførslen med grundvandet er det antaget, at grundvandstilstrømningen er nogenlunde ens fra år til år. Grundvandstilstrømningen er herefter beregnet som et gennemsnit af de beregnede tilstrømninger i 1990 og 1991 og herefter afrundet til en værdi (1 mill. m³), som er anvendt for hvert af de 3 år.

Stoftilførslen fra den direkte grundvandstilførsel er derefter beregnet under antagelse af, at grundvandstilstrømningen er ligeligt fordelt over året, og ud fra følgende typiske værdier for kvælstof- og fosforindholdet i grundvand fra smeltevandssand i Danmark: 0,75 mgN/l og 0,02 mgP/l.

Tabel B1.3

Oversigt over fysisk-kemiske undersøgelser samt undersøgelser af klorofylindhold og primærproduktion i vandfase i Arreskov Sø i Fyns Amt, 1989-91.

Feltmålinger:

Vandstand
Sigtdybde
Total vanddybde

Lufttemperatur
Vandtemperatur (profil)

Lys (profil)
O₂ (profil)

Målinger i vand/miljøafdelingens laboratorium:

Analysevariable	Analyseforskrift	Programtype	
		Sø 1	Sø 2
Ledningsevne	DS 288	+	+
pH (20° C)	DS 287	+	+
Total alkalinitet	LM ¹⁾	+	+
Total-CO ₂	LM ¹⁾	+	+
O ₂ (Winkler)	LM ¹⁾	+	+
Tørstof (part.)	DS 207	+	
Glødetab (part.)	DS 207	+	
Klorofyl-a	DS 2201	+	
Primærproduktion (planteplankton)	DS 293	+	

Målinger ved Miljø- og levnedsmiddelkontrollen, Odense:

Analysevariabel	Analyseforskrift	Programtype	
		Sø 1	Sø 2
COD (part.)	DS 217 ^{2) 3)}	+	
Total-N	DS 221 ²⁾	+	+
(NH ₃ +NH ₄)-N (F)	DS 224	+	+
(NO ₂ +NO ₃)-N (F)	DS 223	+	+
Total-P	DS 292	+	+
PO ₄ -P = Orto-P (F)	DS 291	+	+
Silikat-Si	MFL ²⁾	+	

Bemærkninger:

- 1) Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium (1977).
 - 2) Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium (1988).
 - 3) Analyseresultaterne indgår ikke i nærværende rapport på grund af analysefejl.
- (F) Analyse på filtreret prøve (GF/C).
- Sø 1. Udføres på blandingsprøve fra 0,2 m sigtdybde og 2 x sigtdybde.
- Sø 2. Udføres på vandprøve under springlag.

Det har endnu ikke været muligt at fremskaffe repræsentative grundvandskvalitetsdata fra Arreskov Sø's opland.

Overløb fra fælleskloaksystemer (regnvand).

Kvælstof- og fosforafstrømningen fra overløb fra fælleskloaksystem i en del af Korinth by bygger på en beregning ud fra middelnedbøren for Fyn. Beregningen tager således ikke hensyn til aktuelle nedbørsforhold, herunder nedbørsvariationer fra år til år.

Belastningen fra regnvandsbetingede udløb kan meget vel tænkes at udgøre en større andel end beregnet her, men en vurdering heraf må foretages på baggrund af en forbedret opgørelse. En sådan vil blive udført i forbindelse med næste års rapportering.

Fysisk-kemiske forhold i søvandet.

Fyns Amt har i 1989-1991 gennemført fysisk-kemiske undersøgelser, samt undersøgelser af klorofylindhold og primærproduktion i søvandet. Stationering og analyseomfang fremgår af figur 1.1.2 og tabel B1.3-B1.4. Undersøgelserne er foretaget med en hyppighed på 20 gange/år.

Der er ved hjælp af hjerteklapvandhenter udtaget delprøver i overfladelaget, d.v.s. i 0,2 m, sigtdybde og 2*sigtdybde. Delprøverne er herefter blandet til én prøve (betegnes blandingsprøve). Prøvetagning er iøvrigt foretaget som foreskrevet af Kristensen et al. (1990).

Plankton.

Der er i 1989-1991 foretaget undersøgelser af søens plante- og dyreplankton. Undersøgelserne er foretaget med en hyppighed på 20 gange/år.

Prøver af planteplanktonet er udtaget af Fyns Amt på samme station og ved samme metode som anvendt ved de vandkemiske undersøgelser. Under omrøring er 100 ml af blandingsprøven overført til glasflaske, hvorefter prøven er tilsat lugol (konservering).

Prøver af dyreplanktonet er indsamlet ved hjælp af hjerteklapvandhenter på ialt 3 stationer i søen (jf. figur 1.1.2 og tabel B1.4). På den enkelte station er udtaget delprøver i forskellige dybder som foreskrevet i Kristensen m.fl. (1990).

Samtlige delprøver er blandet til én prøve (blandingsprøve). Under omrøring af blandingsprøven er herefter udtaget 4,5 l til filtrering i felten (maskevidde på filter 90 µm). Filterresten er overført til en 100 ml glasflaske og tilsat lugol. Derudover er udtaget 0,9 l af blandingsprøven til sedimentation. Hertil er ligeledes tilsat lugol, og det bundfældede materiale er efter 48 timers henstand overført til en 100 ml glasflaske og atter tilsat lugol.

Tabel B1.4

Oversigt over prøvetagningsstationer i Arreskov Sø i Fyns Amt, 1989-91.

SERR-nr.	Undersøgelsesprogram
010 8104	Vandkemi, klorofyl, primærproduktion og fytoplankton.
010 8105	Sedimentkemi og zooplankton.
010 8106	Sedimentkemi og zooplankton.
010 8107	Sedimentkemi og zooplankton.

Bemærkninger:

Ud over de ovennævnte stationsnumre er på figur 3.1 angivet numre på prøvetagningsstationer, hvor der tidligere er udført undersøgelser.

Tabel B1.5

Oversigt over fysisk-kemiske undersøgelser i sediment i Arreskov Sø i Fyns Amt, 1990.

Målinger ved Miljø- og levnedsmiddelkontrollen, Odense:

Analysevariabel	Analyseforskrift	Programtype Sø 3
Tørstof	DS 204	+
Glødetab	204	+
Total-Fe	DSD 263	+
Total-Ca	DS 259	+
Total-N	DS 242	+
Total-P	DS 291 ¹⁾	+
Ads.-P	MFL ²⁾	+
Fe-P	MFL ²⁾	+
Ca-P	MFL ²⁾	+

Bemærkninger:

- 1) Efter kogning af glødet sediment i 10% HCl.
- 2) Miljøstyrelsens ferskvandslaboratorium (1988).

Endvidere er der ved lodret og vandret træk med et planktonnet gennem søvandet udtaget prøver af såvel plante- som dyreplankton (netmaskevidde henholdsvis 20 og 140 μm).

Bearbejdningen af de indsamlede planktonprøver er foretaget af Miljøbiologisk Laboratorium, Humlebæk. (Miljøbiologisk Laboratorium, 1990, 1991 og 1992). Bearbejdningen af prøverne er iøvrigt foretaget som foreskrevet i Olrik (1988) og Hansen m.fl. (1990).

Kulstofindholdet i henholdsvis plante- og dyreplankton er beregnet ud fra en antagelse om, at pansrede furealger har et kulstofindhold på 13% og alle andre ferskvandsalgeer har et kulstofindhold på 11% af vådvægten (Olrik (i tryk)).

Dyreplanktonets kulstofindhold antages at være 5% af vådvægten (Miljøbiologisk Laboratorium, 1992).

Sediment.

Fyns Amt har én gang i november 1990 udtaget prøver af søens bund, søsedimentet, på samme stationer som anvendt ved indsamling af dyreplanktonprøverne (jf. figur 1.1.2 og tabel B1.4). Der er på hver station ved hjælp af kajakrør (areal 21,4 cm^2) udtaget mindst 3 sedimentsøjler af en længde på om muligt 70 cm. Sedimentsøjlerne er opskåret i følgende delprøver (dybdeintervaller): 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm. Sediment fra de samme dybdeintervaller fra de 3 søjler er blandet sammen til én prøve.

Analyseomfanget fremgår af tabel B1.5.

Bundvegetation.

Fyns Amt har i august 1989 gennemført en orienterende vegetationsundersøgelse i søen. Langs hele søbredden er der fra søsiden foretaget en registrering af sammensætning af og dybdegrænser for rørsump, flydebladszone og rankegrøde (undervandsvegetation). Undervandsvegetationen er lokaliseret ved hjælp af vandkikkert, planterive og ved undersøgelse af opskyllet plantemateriale.

Smådyrfauna.

Smådyrfaunaen på søens barbund og i bredzonen er undersøgt hvert år i perioden 1989-1991. Bundfaunaen er indsamlet ved hjælp af kajakbundhenter i april - maj, medens bredfaunaen er indsamlet på stenbund i april - maj og i oktober. Resultaterne af smådyrundersøgelserne vil fremgå af en særskilt udarbejdet rapport herom (følger senere).

Fiskefauna.

Fiskebestanden i Arreskov Sø er undersøgt i perioden 28. september - 18. oktober 1987. Undersøgelsen er foretaget af Københavns Universitets Ferskvandsbiologiske Laboratorium som en del af forarbejdet til udarbejdelsen af det såkaldte "normalprogram" til fiskeundersøgelser i søer, jvf. (Mortensen m.fl., 1990). Der blev fisket med biologiske oversigtsgarn, ruser, vod og elfiskeri. Metoder og resultater fremgår af et internt notat om projektet og af rapporten Arreskov Sø, 1990 (Fyns Amt, 1991).

Bilag 2.

Vandbalance (m³) opgjort på måneds- sommer- (1.5.-30.9.) og årsbasis for Arreskov Sø, 1989-1991. Der henvises til teksten i afsnit 4 for nærmere forklaringer.

År	Måned	Q til m ³	Q fra m ³	Nedbør m ³	Fordampn. m ³	Magasin ændring m ³	Grundvand beregnet m ³	Grundvand i % af Q til
1989	1	389214	688040	46028	24409			
1989	2	295511	378208	92818	46377			
1989	3	528373	761954	274585	109841			
1989	4	328178	621255	119699	186555			
1989	5	174297	261521	32810	380780	-221323	213872	123
1989	6	95208	27217	83117	395426	-281983	-37665	-40
1989	7	77048	11510	234326	368227	-186386	-118023	-153
1989	8	92844	7569	246309	268499	30976	-32109	-35
1989	9	79304	22784	121791	189344	62057	73089	92
1989	10	122610	40142	271035	82293	281020	9810	8
1989	11	118312	18186	77221	45331	188954	56938	48
1989	12	363962	319628	226338	21271	158446	-90954	-25
Hele 1989		2664860	3158015	1826079	2118353			
1990	1	465488	651929	245485	19527	416171	376654	81
1990	2	659150	1085730	301657	54746	-64423	115246	17
1990	3	526729	1060337	131492	124835	-256249	270702	51
1990	4	249991	246404	123440	233280	-63702	42551	17
1990	5	103730	123275	61974	381129	-253371	85330	82
1990	6	175297	78693	361380	296046	221574	59636	34
1990	7	120837	116976	230776	383221	-158446	-9861	-8
1990	8	131851	67097	299090	327778	94960	58894	45
1990	9	323041	324208	469255	160053	295821	-12215	-4
1990	10	335281	719287	220442	89616	-72990	180190	54
1990	11	561706	696497	227986	34870	160245	101919	18
1990	12	492525	833492	128258	19179	32158	264046	54
Hele 1990		4145626	6003924	2801234	2124280	351748	1533093	37
1991	1	938795	1334283	327952	26501	-64279	29757	3
1991	2	453741	880508	141547	44982	-191970	138232	30
1991	3	493846	760071	133619	92057	-127260	97402	20
1991	4	287433	353966	124188	184462	31761	158569	55
1991	5	259140	194214	85122	323942	-31761	142133	55
1991	6	213077	109711	416490	274776	287145	42064	20
1991	7	145692	122264	161543	411815	-223587	3257	2
1991	8	87499	122273	119812	306507	-284881	-63412	-72
1991	9	102276	172996	266866	190042	-31474	-37579	-37
1991	10	132534	185581	144913	92057	31474	31665	24
1991	11	242402	214280	232215	34173	316714	90549	37
1991	12	391137	696828	227847	18132	-31833	64144	16
Hele 1991		3747573	5146975	2382116	1999446	-319951	696781	19
Årsbalance								
År		Q til m ³	Q fra m ³	Nedbør m ³	Ford. m ³	Magasin ændring m ³	Grundv. beregnet m ³	Grundvand i % af Q til
1989		2664860	3158015	1826079	2118353			
1990		4145626	6003924	2801234	2124280	351748	1533093	37
1991		3747573	5146975	2382116	1999446	-319951	696781	19
Sommerbalance 1.maj - 30.sept								
År		Q til m ³	Q fra m ³	Nedbør m ³	Fordampn. m ³	Magasin ændring m ³	Grundv. beregnet m ³	Grundvand i % af Q til
1989		518702	330602	718354	1602277	-596659	99164	19
1990		854756	710248	1422474	1548228	200538	181784	21
1991		807684	721457	1049834	1507081	-284558	86462	11

dec 89
Til
364
226
590
41:
319
21
158
598

Bilag 3.

Massebalance for total-kvælstof, total-fosfor, opløst uorganisk fosfor (ortofosfat-fosfor), total-jern og calcium (i kg) på måneds-, sommer- (1.5.-30.9.) og årsbasis for Arreskov Sø, 1989-1991. Der henvises i øvrigt til teksten i afsnit 5 for nærmere forklaringer.

År	Måned	Tot-N tilført kg	Tot-N fraført kg	Tot-N til-fra kg	Tot-N til-fra % af til	Tot-P tilført kg	Tot-P fraført kg	Tot-P til-fra kg	Tot-P til-fra % af til	Orto-P tilført kg	Orto-P fraført kg	Orto-P til-fra kg	Orto-P til-fra % af til
1989	1	2604.64	2011.78	592.86	23	48.3674	141.743	-93.3756	-193	37.2211	10.5518	26.6693	72
1989	2	2659.96	1587.95	1072.01	40	47.5636	63.611	-16.0474	-34	31.1937	8.8548	22.3389	72
1989	3	5512.67	3138.25	2374.42	43	68.2125	139.969	-71.7565	-105	35.5832	10.1829	25.4003	71
1989	4	2759.54	3357.82	-598.28	-22	55.4785	158.51	-103.032	-186	20.48	10.9018	9.5782	47
1989	5	1113.56	771.66	341.9	31	30.7145	62.597	-31.8825	-104	13.4147	3.7731	9.6416	72
1989	6	921.04	49.42	871.62	95	36.3509	5.563	30.7879	85	6.8926	1.6258	5.2668	76
1989	7	763.22	25.39	737.83	97	38.0116	2.766	35.2456	93	5.7326	.4211	5.3115	93
1989	8	906.59	16.18	890.41	98	53.7816	1.089	52.6926	98	7	.3095	6.6905	96
1989	9	504.43	57.47	446.96	89	31.9699	4.233	27.7369	87	4.3179	.2023	4.1156	95
1989	10	1019.39	215.79	803.6	79	29.5723	6.65	22.9223	78	8.5684	2.2825	6.2859	73
1989	11	867.73	162.57	705.16	81	19.2211	2.7	16.5211	86	6.3811	1.9065	4.4746	70
1989	12	5191.39	3875.42	1315.97	25	91.8238	42.67	49.1538	54	34.1347	25.742	8.3927	25
Hele 1989		24824.16	15269.7	9554.46	38	551.0677	632.101	-81.0333	-15	210.92	76.7541	134.1659	64
1990	1	5157.22	4494.91	662.31	13	57.549	116.685	-59.136	-103	31.8716	55.3274	-23.4558	-74
1990	2	7813.84	8095.31	-281.47	-4	70.463	224.799	-154.336	-219	38.92	57.7261	-18.8061	-48
1990	3	5315.9	6047.36	-731.46	-14	56.744	194.834	-138.09	-243	26.4379	23.3239	3.114	12
1990	4	1905.95	1002.61	903.34	47	38.686	30.982	7.704	20	15.0232	1.0847	13.9385	93
1990	5	670.55	279.21	391.34	58	34.393	31.316	3.077	9	4.0505	2.2028	1.8477	46
1990	6	2109.31	227.31	1882	89	66.528	26.997	39.531	59	15.3137	3.9848	11.3289	74
1990	7	885.43	344.09	541.34	61	38.43	37.427	1.003	3	9.8842	6.6821	3.2021	32
1990	8	1055.18	205.55	849.63	81	52.448	14.758	37.69	72	13.2358	.1575	13.0783	95
1990	9	2651.09	1535.35	1115.74	42	105.953	67.696	38.257	36	41.1642	1.0358	40.1284	97
1990	10	3372.7	3263.63	109.07	3	67.947	134.03	-66.083	-97	28.7053	4.9852	23.7201	83
1990	11	5584.02	2852.98	2731.04	49	94.225	75.457	18.768	20	46.6442	1.1306	45.5136	98
1990	12	4906.14	4619.19	286.95	6	95	121.034	-26.034	-27	43.3368	23.6657	19.6711	45
Hele 1990		41427.33	32967.5	8459.83	20	778.366	1076.015	-297.649	-38	314.5874	181.3066	133.2808	42
1991	1	9651.24	5849.49	3801.75	39	99.4638	179.021	-79.5572	-80	54.3516	40.218	14.1336	26
1991	2	4340.74	3830.2	510.54	12	60.4415	120.434	-59.9925	-99	28.5432	22.819	5.7242	20
1991	3	4096.56	3285.6	810.96	20	58.0264	106.947	-48.9206	-84	23.0863	7.408	15.6783	68
1991	4	2081.19	1344.16	737.03	35	40.1926	45.122	-4.9294	-12	16.4042	5.041	11.3632	69
1991	5	1572.41	821.67	750.74	48	36.6444	52.526	-15.8816	-43	14.2989	5.174	9.1249	64
1991	6	1617.35	324.05	1293.3	80	57.9307	24.959	32.9717	57	17.3684	4.297	13.0714	77
1991	7	863.56	258.96	604.6	70	42.9932	28.668	14.3252	33	12.6863	10.852	1.8343	14
1991	8	621.45	420.86	200.59	32	37.1497	16.215	20.9347	56	6.2968	2.094	4.2028	67
1991	9	754.16	579.67	174.49	23	40.433	31.416	9.017	22	8.4821	1.882	6.6001	78
1991	10	1002.1	588.73	413.37	41	30.1605	30.536	-.3755	-1	8.0863	1.163	6.9233	86
1991	11	1952.25	640.02	1312.23	67	35.884	32.47	3.414	10	16.1747	5.992	10.1827	63
1991	12	3319.33	2103.36	1215.97	37	52.75	102.443	-49.693	-94	22.1368	10.618	11.5188	53
Hele 1991		31872.34	20046.77	11825.57	37	592.0698	770.757	-178.687	-30	227.9156	117.558	110.3576	49
Årsbalance		Tot-N tilført kg	Tot-N fraført kg	Tot-N til-fra kg	Tot-N til-fra % af til	Tot-P tilført kg	Tot-P fraført kg	Tot-P til-fra kg	Tot-P til-fra % af til	Orto-P tilført kg	Orto-P fraført kg	Orto-P til-fra kg	Orto-P til-fra % af ti
1989		24824	15270	9554	38	551	632	-81	-15	211	77	134	6
1990		41427	32968	8460	20	778	1076	-298	-38	315	181	133	4
1991		31872	20047	11826	37	592	771	-179	-30	228	118	110	4
Sommerbalance		Tot-N tilført kg	Tot-N fraført kg	Tot-N til-fra kg	Tot-N til-fra % af til	Tot-P tilført kg	Tot-P fraført kg	Tot-P til-fra kg	Tot-P til-fra % af til	Orto-P tilført kg	Orto-P fraført kg	Orto-P til-fra kg	Orto-P til-fra % af ti
1989		4209	920	3289	78	191	76	115	60	37	6	31	8
1990		7372	2592	4780	65	298	178	120	40	84	14	70	8
1991		5429	2405	3024	56	215	154	61	29	59	24	35	5

Bilag 3 fortsat

År	Måned	Kalcium tilført kg	Kalcium fraført kg	Kalcium til-fra kg	Kalcium til-fra % af til	Tot-Fe tilført kg	Tot-Fe fraført kg	Tot-Fe til-fra kg	Tot-Fe til-fra % af til
1989	1	41254.34	46748.65	-5494.31	-13	216.219	229.674	-13.455	-6
1989	2	31785.23	28104.26	3680.97	12	139.415	141.637	-2.222	-2
1989	3	60562.71	56006.01	4556.7	8	336.813	346.026	-9.213	-3
1989	4	37135.66	47798.58	-10662.9	-29	184.181	484.427	-300.246	-163
1989	5	20297.04	16240.73	4056.31	20	93.301	130.986	-37.685	-40
1989	6	11334.63	1414.66	9919.97	88	53.632	11.226	42.406	79
1989	7	7631.29	457.77	7173.52	94	82.823	2.537	80.286	97
1989	8	8764.99	257.96	8507.03	97	130.467	- .963	131.43	101
1989	9	7658.17	1121.6	6536.57	85	79.206	7.803	71.403	90
1989	10	14799.06	3290.62	11508.44	78	46.223	13.106	33.117	72
1989	11	12997	2002	10995	85	54.248	5.069	49.179	91
1989	12	42635.31	29095.46	13539.85	32	684.522	49.135	635.387	93
Hele 1989		296855.4	232538.3	64317.13	22	2101.05	1420.663	680.387	32
1990	1	56220.14	41902.66	14317.48	25	138.695	286.55	-147.855	-107
1990	2	71062.81	73265.71	-2202.9	-3	187.267	892.978	-705.711	-377
1990	3	53898.41	74120.12	-20221.7	-38	177.886	644.823	-466.937	-262
1990	4	26261.48	17656.73	8604.75	33	107.872	69.212	38.66	36
1990	5	8547.82	7433.06	1114.76	13	78.878	63.058	15.82	20
1990	6	19344.33	3832.18	15512.15	80	125.627	56.097	69.53	55
1990	7	12605.19	6704.16	5901.03	47	90.749	73.307	17.442	19
1990	8	12745.95	2579.21	10166.74	80	115.032	24.619	90.413	79
1990	9	35437.2	13600.53	21836.67	62	407.122	75.555	331.567	81
1990	10	40772.23	33769.41	7002.82	17	224.964	208.255	16.709	7
1990	11	62907.65	32073.8	30833.85	49	346.714	198.6	148.114	43
1990	12	51866.97	39230.8	12636.17	24	256.716	243.724	12.992	5
Hele 1990		451670.2	346168.4	105501.8	23	2257.522	2836.778	-579.256	-26
1991	1	95511.2	92653.04	2858.16	3	371.088	972.39	-601.302	-162
1991	2	42745.29	60325.37	-17580.1	-41	193.697	637.619	-443.922	-229
1991	3	46177.94	52842.57	-6664.63	-14	188.876	475.757	-286.881	-152
1991	4	29278.87	24555.75	4723.12	16	126.949	108.692	18.257	14
1991	5	25084.23	13131.7	11952.53	48	133.987	151.638	-17.651	-13
1991	6	21641.34	6170.55	15470.79	71	108.909	44.555	64.354	59
1991	7	14610.59	6891.07	7719.52	53	99.644	20.942	78.702	79
1991	8	8240.58	5101.11	3139.47	38	102.655	16.565	86.09	84
1991	9	9971.74	7461.48	2510.26	25	167.204	27.066	140.138	84
1991	10	12912.32	10166.29	2746.03	21	69.598	85.478	-15.88	-23
1991	11	24398.79	13686.74	10712.05	44	52.322	61.339	-9.017	-17
1991	12	40682.44	43854.64	-3172.2	-8	99.672	595.956	-496.284	-498
Hele 1991		371255.3	336840.3	34415.02	9	1714.601	3197.997	-1483.40	-87
Årsbalance		Kalcium tilført kg	Kalcium fraført kg	Kalcium til-fra kg	Kalcium til-fra % af til	Tot-Fe tilført kg	Tot-Fe fraført kg	Tot-Fe til-fra kg	Tot-Fe til-fra % af til
1989		296855	232538	64317	22	2101	1421	680	32
1990		451670	346168	105502	23	2258	2837	-579	-26
1991		371255	336840	34415	9	1715	3198	-1483	-87
Sommerbalance		Kalcium tilført kg	Kalcium fraført kg	Kalcium til-fra kg	Kalcium til-fra % af til	Tot-Fe tilført kg	Tot-Fe fraført kg	Tot-Fe til-fra kg	Tot-Fe til-fra % af til
1989		55686	19493	36193	65	439	152	288	66
1990		88680	34149	54531	61	817	293	525	64
1991		79548	38756	40793	51	612	261	352	57

Bilag 4

Oversigt over fysisk-kemiske forhold i Arreskov Sø, st. 198101 - 198124, i perioden 1974-1991.

		2) 1974	1) 1987	1) 1988	3) 1989	3) 1990	3) 1991
Sigtdybde - sommer (1.5 - 30.9)							
Sigtdybde, gns.	(m)	0,78	0,56	0,49	0,27	0,25	0,38
Sigtdybde, 50% frakt.	(m)	0,75	0,56	0,46	0,25	0,25	0,30
Sigtdybde, 75% frakt.	(m)	0,85	0,60	0,64	0,30	0,27	0,44
Sigtdybde, maks.	(m)	1,00	0,90	0,90	0,45	0,35	0,90
Sigtdybde, min.	(m)	0,70	0,40	0,25	0,21	0,15	0,20
Fosfor - sommer (1.5 - 30.9)							
Total-fosfor, gns.	(µg P/l)	114	519	-	231	275	199
Total-fosfor, 50% frakt.	(µg P/l)	117	575	-	243	253	206
Total-fosfor, maks.	(µg P/l)	150	782	-	294	394	323
Total-fosfor, min.	(µg P/l)	79	194	-	142	196	129
Orto-fosfat, gns.	(µg P/l)	33	334	-	24	29	35
Orto-fosfat, 50% frakt.	(µg P/l)	32	380	-	21	22	17
Orto-fosfat, 25% frakt.	(µg P/l)	8	241	-	16	11	7
Orto-fosfat, maks.	(µg P/l)	71	484	-	51	75	208
Orto-fosfat, min.	(µg P/l)	5	54	-	8	7	<5
Part. fosfor, gns.	(µg P/l)	82	185	-	207	246	164
Part. fosfor, 50%	(µg P/l)	82	179	-	207	235	151
Part. fosfor, 25%	(µg P/l)	70	125	-	180	198	137
Part. fosfor, maks.	(µg P/l)	107	342	-	277	357	235
Part. fosfor, min.	(µg P/l)	65	105	-	131	176	115
Kvælstof - sommer (1.5 - 30.9)							
Total-kvælstof, gns.	(µg N/l)	2821	2580	-	2526	3205	3000
Total-kvælstof, 50% frakt.	(µg N/l)	2637	2467	-	2534	3033	3007
Total-kvælstof, maks.	(µg N/l)	3790	3420	-	3420	4411	4022
Total-kvælstof, min.	(µg N/l)	2500	2097	-	1094	2420	2059
Opl. uorg. kvælstof, gns.	(µg N/l)	751	103	-	45	231	311
Opl. uorg. kvælstof, 50% frakt.	(µg N/l)	741	32	-	28	36	85
Opl. uorg. kvælstof, 25% frakt.	(µg N/l)	441	30	-	23	28	31
Opl. uorg. kvælstof, maks.	(µg N/l)	1562	592	-	201	1667	1588
Opl. uorg. kvælstof, min.	(µg N/l)	119	27	-	16	21	15
Part. N/Part. P - sommer (1.5 - 30.9)							
Part. N/Part. P, gns.		26	15	-	13	12	17
Part. N/Part. P, 50% frakt.		26	13	-	12	13	16
Part. N/Part. P, maks.		34	23	-	22	17	25
Part. N/Part. P, min.		19	9,9	-	4,4	4	9

Bemærkninger:

- 1) Station 108101
- 2) Station 108103
- 3) Station 108104

De angivne gennemsnits- og fraktilværdier er tidsvægtede. Maksimum og minimum er ikke nødvendigvis målte værdier, men kan i visse tilfælde være beregnet ved interpolation mellem en værdi inden for den angivne periode og en højere/lavere værdi uden for perioden.

Det skal fremhæves, at de ovenstående værdier på grund af en ændret beregningsmetode kan afvige fra de af Fyns Amt tidligere angivne værdier for søen (Fyns Amt, 1990 og 1991).

Bilag 4 fortsat

Oversigt over fysisk-kemiske og biologiske forhold i Arreskov Sø, st. 108101 - 108124, i perioden 1974-1991.

		2) 1974	2) 1987	1) 1988	3) 1989	3) 1990	3) 1991
Øvrige variable - sommer (1.5 - 30.9)							
(Nitrit+nitrat)-kvælstof, gns.	(µg N/l)	380	51	-	15	204	200
Ammonium-kvælstof, gns.	(µg N/l)	373	51	-	30	27	111
pH, gns.		8,4	9,1	9,2	8,8	9,2	8,9
Ledningsevne, gns.	(µg)	425	350	-	320	327	325
Total-alkalinitet, gns.	(meq/l)	2,44	-	-	2,18	1,87	1,97
Total-kuldioxid, gns.	(mmol/l)	-	2,38	-	2,10	1,76	1,89
Silikat-Si, gns.	(mg Si/l)	-	5,6	-	4,1	4,7	1,3
Tørstof (part.), gns.	(mg/l)	-	33	-	60	66	40
Glødetab (part.), gns.	(mg/l)	-	24	-	40	44	26
Alle variable - vinter (1.12 - 31.3)							
Total-fosfor, gns.	(µg/l)	88	231	-	204	205	116
Orto-fosfat, gns.	(µg/l)	41	158	-	16	83	12
Total-kvælstof, gns.	(µg N/l)	6041	2921	-	3303	5347	4095
(Nitrit+nitrat)-kvælstof, gns.	(µg N/l)	2546	827	-	767	1857	1821
Ammonium-kvælstof, gns.	(µg N/l)	990	326	-	94	2095	381
pH, gns.		7,9	8,3	8,0	8,2	8,1	8,1
Ledningsevne		412	396	-	410	354	391
Total-alkalinitet, gns.	(meq/l)	2,1	-	-	2,95	2,64	2,48
Total-kuldioxid, gns.	(mmol/l)	-	2,9	-	2,98	2,67	2,51
Silikat, gns.	(mg Si/l)	-	7,9	-	3,4	6,7	0,23
Tørstof (part.), gns.	(mg/l)	-	14,9	-	48	25	30
Glødetab (part.), gns.	(mg/l)	-	8,2	-	26	16	16
Årsprimærproduktion	(g C/m ² år)	169	369	-	319	376	328
Primærprod. - sommer (1.5 - 30.9)							
Primærprod., gns.	(mg C/m ² d)	791	1657	-	1527	1672	1674
Primærprod., 50% frakt.	(mg C/m ² d)	744	1329	-	1259	1587	1469
Primærprod., 75% frakt.	(mg C/m ² d)	992	2101	-	1751	1885	1848
Primærprod., max.	(mg C/m ² d)	1472	3334	-	3261	2524	3398
Primærprod., min.	(mg C/m ² d)	464	682	-	868	1042	839
Klorofyl-a - sommer (1.5 - 30.9)							
Klorofyl-a, gns.	(µg/l)	42	107	108	129	147	155
Klorofyl-a, 50% frakt.	(µg/l)	41	114	113	117	132	167
Klorofyl-a, 75% frakt.	(µg/l)	46	137	160	156	143	200
Klorofyl-a, max.	(µg/l)	57	160	170	210	345	280
Klorofyl-a, min.	(µg/l)	29	37	18	81	27	28

Bemærkninger:

- 1) Station 108101
- 2) Station 108103
- 3) Station 108104

Bilag 5.

Beregning af fosforudveksling via interne processer i Arreskov Sø, 1989-1991. Beregnet tilførsel, fraførsel, magasinændring og nettostofudveksling med sedimentet for total-fosfor (kg) på månedsbasis. Års- og sommermiddelværdier er ligeledes angivet. Der henvises til afsnit 6.3 for nærmere forklaringer.

ARRESKOV SØ 1989

Areal af sø, m²:

3170000

BEREGNING AF FOSFORUDVEKSLING MED SEDIMENTET

Måned	dage	middel søvolume m ³	Tot-P konc. pr.d.1. µg/l	Stign./md kg	Tot-P til kg	Tot-P fra kg	P-tilbage- holdt kg
1	31	5880000	262	-441.00	48.37	141.74	-93.38
2	28	5880000	187	58.80	47.56	63.61	-16.05
3	31	5880000	197	47.04	68.21	139.97	-71.76
4	30	5880000	205	194.04	55.48	158.51	-103.03
5	31	5880000	238	-296.08	30.71	62.60	-31.88
6	30	5658277	195	208.45	36.35	5.56	30.79
7	31	5376294	244	21.99	38.01	2.77	35.25
8	31	5189908	257	-179.99	53.78	1.09	52.69
9	30	5220884	221	29.56	31.97	4.23	27.74
10	31	5282941	224	307.76	29.57	6.65	22.92
11	30	5563961	268	159.95	19.22	2.70	16.52
12	31	5752915	287	-563.40	91.82	42.67	49.15
1		5911361	184				
max			287	307.76	91.82	158.51	52.69
sommermiddel			231	-43.21	38.17	15.25	22.92
sum, sommer			1155	-216.06	190.83	76.25	114.58
årsmiddel			232	-37.74	45.92	52.68	-6.75
sum, år			2785	-452.87	551.07	632.10	-81.03

FOSFOR FRIGØRELSE (+) BINDING (-) FOR H KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT FOSFOR

Måned	Fri/bundet P hele søen kg P/måned	Fri/bundet P pr.søoverfl. mgP/m ² /måned	Fri/bundet P hele søen kg P/dag	Fri/bundet P pr.søoverfl. mg P/m ² /dag
1	-347.62	-109.66	-11.21	-3.54
2	74.85	23.61	2.67	.84
3	118.80	37.48	3.83	1.21
4	297.07	93.71	9.90	3.12
5	-264.19	-83.34	-8.52	-2.69
6	177.66	56.05	5.92	1.87
7	-13.25	-4.18	-.43	-.13
8	-232.68	-73.40	-7.51	-2.37
9	1.83	.58	.06	.02
10	284.84	89.86	9.19	2.90
11	143.42	45.24	4.78	1.51
12	-612.55	-193.23	-19.76	-6.23

max	297.07	93.71	9.90	3.12

sommermiddel	-66.13	-20.86	-2.09	-.66
ialt fri/bund. sommer, kg	-330.64			

årsmiddel	-30.99	-9.77	-.92	-.29
ialt fri/bundet år, kg	-371.84			

Bilag 5 fortsat

ARRESKOV SØ 1990

Areal af sø, m2:

3170000

BEREGNING AF FOSFORUDVEKSLING MED SEDIMENTET

Måned	dage	middel søvolume m3	Tot-P konc. pr.d.1. µg/l	Stign./md kg	Tot-P til kg	Tot-P fra kg	P-tilbage- holdt kg
1	31	5911361	184	260.07	57.55	116.69	-59.14
2	28	6327532	213	-201.62	70.46	224.80	-154.34
3	31	6263109	183	271.47	56.74	194.83	-138.09
4	30	6006860	236	-92.29	38.69	30.98	7.70
5	31	5943158	223	-193.06	34.39	31.32	3.08
6	30	5689787	199	623.41	66.53	27.00	39.53
7	31	5911361	297	-47.06	38.43	37.43	1.00
8	31	5752915	297	69.14	52.45	14.76	37.69
9	30	5847875	304	-229.54	105.95	67.70	38.26
10	31	6143696	252	151.59	67.95	134.03	-66.08
11	30	6070706	280	-952.08	94.23	75.46	18.77
12	31	6230951	120	116.59	95.00	121.03	-26.03
1		6263109	138				
max			304	623.41	105.95	224.80	39.53
sommermiddel			264	44.58	59.55	35.64	23.91
sum, sommer			1320	222.89	297.75	178.19	119.56
årsmiddel			232	-18.62	64.86	89.67	-24.80
sum, år			2788	-223.38	778.37	1,076.02	-297.65

FOSFOR FRIGØRELSE (+) BINDING (-) FOR H KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT FOSFOR

Måned	Fri/bundet P hele søen kg P/måned	Fri/bundet P pr.søoverfl. mgP/m²/måned	Fri/bundet P hele søen kg P/dag	Fri/bundet P pr.søoverfl. mg P/m²/dag
1	319.21	100.70	10.30	3.25
2	-47.28	-14.91	-1.69	-.53
3	409.56	129.20	13.21	4.17
4	-100.00	-31.55	-3.33	-1.05
5	-196.13	-61.87	-6.33	-2.00
6	583.88	184.19	19.46	6.14
7	-48.06	-15.16	-1.55	-.49
8	31.45	9.92	1.01	.32
9	-267.80	-84.48	-8.93	-2.82
10	217.67	68.67	7.02	2.22
11	-970.85	-306.26	-32.36	-10.21
12	142.63	44.99	4.60	1.45

max	583.88	184.19	19.46	6.14
sommermiddel	20.67	6.52	.73	.23
ialt fri/bund. sommer, kg	103.33			
årsmiddel	6.19	1.95	.12	.04
ialt fri/bundet år, kg	74.27			

Bilag 5 fortsat

ARRESKOV SØ 1991

Areal af sø, m²:

3170000

BEREGNING AF FOSFORUDVEKSLING MED SEDIMENTET

Måned	dage	middel søvolume m ³	Tot-P konc. pr.d.1. µg/l	Stign./md kg	Tot-P til kg	Tot-P fra kg	P-tilbage- holdt kg
1	31	6263109	138	-194.84	99.46	179.02	-79.56
2	28	6198830	108	-128.86	60.44	120.43	-59.99
3	31	6006860	90	217.85	58.03	106.95	-48.92
4	30	5879600	129	441.54	40.19	45.12	-4.93
5	31	5911361	203	46.47	36.64	52.53	-15.88
6	30	5879600	212	381.55	57.93	24.96	32.97
7	31	6166745	264	-790.04	42.99	28.67	14.33
8	31	5943158	141	73.00	37.15	16.22	20.93
9	30	5658277	161	-10.69	40.43	31.42	9.02
10	31	5626803	160	-300.51	30.16	30.54	-.38
11	30	5658277	106	-217.38	35.88	32.47	3.41
12	31	5974991	64	87.11	52.75	102.44	-49.69
1		5943158	79				
max			264	441.54	99.46	179.02	32.97
sommermiddel			196	-59.94	43.03	30.76	12.27
sum, sommer			981	-299.72	215.15	153.78	61.37
årsmiddel			148	-32.90	49.34	64.23	-14.89
sum, år			1776	-394.80	592.07	770.76	-178.69

FOSFOR FRIGØRELSE (+) BINDING (-) FOR H KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT FOSFOR

Måned	Fri/bundet P hele søen kg P/måned	Fri/bundet P pr.søoverfl. mgP/m ² /måned	Fri/bundet P hele søen kg P/dag	Fri/bundet P pr.søoverfl. mg P/m ² /dag
1	-115.28	-36.37	-3.72	-1.17
2	-68.86	-21.72	-2.46	-.78
3	266.77	84.16	8.61	2.71
4	446.47	140.84	14.88	4.69
5	62.35	19.67	2.01	.63
6	348.57	109.96	11.62	3.67
7	-804.36	-253.74	-25.95	-8.19
8	52.06	16.42	1.68	.53
9	-19.71	-6.22	-.66	-.21
10	-300.14	-94.68	-9.68	-3.05
11	-220.79	-69.65	-7.36	-2.32
12	136.80	43.16	4.41	1.39
max	446.47	140.84	14.88	4.69
sommermiddel	-72.22	-22.78	-2.26	-.71
ialt fri/bund. sommer, kg	-361.08			
årsmiddel	-18.01	-5.68	-.55	-.17
ialt fri/bundet år, kg	-216.11			

Bilag 6.

Beregning af kvælstofudveksling via interne processer i Arreskov Sø, 1989-1991. Beregnet tilførsel, fraførsel, magasinændring og nettostofudveksling med sediment/atmosfære for total-kvælstof (kg) på månedsbasis. Års- og sommermiddelværdier er ligeledes angivet. Der henvises til afsnit 6.3 for nærmere forklaringer.

ARRESKOV SØ 1989

Areal af sø, m²:

3170000

BEREGNING AF KVÆLSTOFFRIGIVELSE/TAB

Måned	dage	middel søvolume m ³	Tot-N konc. pr d. 1. µg/l	Stign./md kg	Tot-N til kg	Tot-N fra kg	N tilbage- holdt kg
1	31	5880000	2950	1,352.40	2,604.64	2,011.78	592.86
2	28	5880000	3180	823.20	2,659.96	1,587.95	1,072.01
3	31	5880000	3320	2,322.60	5,512.67	3,138.25	2,374.42
4	30	5880000	3715	-3,428.04	2,759.54	3,357.82	-598.28
5	31	5880000	3132	-8,406.67	1,113.56	771.66	341.90
6	30	5658277	1769	3,646.29	921.04	49.42	871.62
7	31	5376294	2540	-7,978.03	763.22	25.39	737.83
8	31	5189908	1094	12,000.15	906.59	16.18	890.41
9	30	5220884	3386	-4,518.11	504.43	57.47	446.96
10	31	5282941	2491	6,937.22	1,019.39	215.79	803.60
11	30	5563961	3612	6,596.50	867.73	162.57	705.16
12	31	5752915	4640	6,049.50	5,191.39	3,875.42	1,315.97
1		5911361	5539				
max				4640	12,000.15	5,512.67	2,374.42
sommermiddel				2384	-1,051.27	841.77	657.74
sum, sommer				11921	-5,256.35	4,208.84	3,288.72
årsmiddel				5642811	2986	1,283.09	796.21
sum, år				35829	15,397.03	24,824.16	9,554.46

KVÆLSTOF FRIGØRELSE (+) TAB (-) FOR HEL KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT KVÆLSTOF

Måned	Fri/bundet N hele søen kg N/måned	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² måned	Fri/bundet N hele søen kg N/dag	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² dag
1	759.54	239.60	24.50	7.73
2	-248.81	-78.49	-8.89	-2.80
3	-51.82	-16.35	-1.67	-.53
4	-2,829.76	-892.67	-94.33	-29.76
5	-8,748.57	-2,759.80	-282.21	-89.03
6	2,774.67	875.29	92.49	29.18
7	-8,715.86	-2,749.48	-281.16	-88.69
8	11,109.74	3,504.65	358.38	113.05
9	-4,965.07	-1,566.27	-165.50	-52.21
10	6,133.62	1,934.90	197.86	62.42
11	5,891.34	1,858.47	196.38	61.95
12	4,733.53	1,493.23	152.69	48.17

max	11,109.74	3,504.65	358.38	113.05
sommermiddel	-1,709.01	-539.12	-55.60	-17.54
ialt fri/bund. sommer, kg	-8,545.07			
årsmiddel	486.88	153.59	15.71	4.96
ialt fri/bundet år, kg	5,842.57			

Bilag 6 fortsat

ARRESKOV SØ 1990

Areal af sø, m²:

3170000

BEREGNING AF KVÆLSTOFFRIGIVELSE/TAB

Måned	dage	middel søvolume m ³	Tot-N konc. pr d.1. µg/l	Stign./md kg	Tot-N til kg	Tot-N fra kg	N tilbage- holdt kg
1	31	5911361	5539	7,753.18	5157.22	4494.91	662.31
2	28	6327532	6400	-5,523.00	7813.84	8095.31	-281.47
3	31	6263109	5584	-15,937.46	5315.9	6047.36	-731.46
4	30	6006860	3169	-3,940.12	1905.95	1002.61	903.34
5	31	5943158	2540	170.08	670.55	279.21	391.34
6	30	5689787	2683	-150.35	2109.31	227.31	1,882.00
7	31	5911361	2557	3,915.29	885.43	344.09	541.34
8	31	5752915	3308	5,483.65	1055.18	205.55	849.63
9	30	5847875	4192	-3,042.07	2651.09	1535.35	1,115.74
10	31	6143696	3495	1,845.36	3372.7	3263.63	109.07
11	30	6070706	3841	-1,172.78	5584.02	2852.98	2,731.04
12	31	6230951	3554	4,160.26	4906.14	4619.19	286.95
1		6263109	4200				
max			6400	7,753.18	7,813.84	8,095.31	2,731.04
sommermiddel			3056	1,275.32	1,474.31	518.30	956.01
sum, sommer			15280	6,376.60	7,371.56	2,591.51	4,780.05
årsmiddel			6027878	3905	-536.50	3,452.28	704.99
sum, år			46862	-6,437.97	41,427.33	32,967.50	8,459.83

KVÆLSTOF FRIGØRELSE (+) TAB (-) FOR HEL KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT KVÆLSTOF

Måned	Fri/bundet N hele søen kg N/måned	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² måned	Fri/bundet N hele søen kg N/dag	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² dag
1	7,090.87	2,236.87	228.74	72.16
2	-5,241.53	-1,653.48	-187.20	-59.05
3	-15,206.00	-4,796.85	-490.52	-154.74
4	-4,843.46	-1,527.90	-161.45	-50.93
5	-221.26	-69.80	-7.14	-2.25
6	-2,032.35	-641.12	-67.74	-21.37
7	3,373.95	1,064.34	108.84	34.33
8	4,634.02	1,461.84	149.48	47.16
9	-4,157.81	-1,311.61	-138.59	-43.72
10	1,736.29	547.73	56.01	17.67
11	-3,903.82	-1,231.49	-130.13	-41.05
12	3,873.31	1,221.86	124.95	39.41

max	7,090.87	2,236.87	228.74	72.16

sommermiddel	319.31	100.73	8.97	2.83
ialt fri/bund. sommer, kg	1,596.55			

årsmiddel	-1,241.48	-391.64	-42.90	-13.53
ialt fri/bundet år, kg	-14,897.80			

Bilag 6 fortsat

ARRESKOV SØ 1991

Areal af sø, m²:

3170000

BEREGNING AF KVÆLSTOFFRIGIVELSE/TAB

Beregning af kvælstoffrigivelse/TAB								
Måned	dage	middel søvolume m3	Tot-N konc. pr.d.1. µg/l	Stign./md kg	Tot-N til kg	Tot-N fra kg	N tilbage- holdt kg	
1	31	6263109	4200	-2,780.50	9,651.24	5,849.49	3,801.75	
2	28	6198830	3795	3,776.62	4,340.74	3,830.20	510.54	
3	31	6006860	4545	-3,959.17	4,096.56	3,285.60	810.96	
4	30	5879600	3970	433.48	2,081.19	1,344.16	737.03	
5	31	5911361	4022	-8,100.48	1,572.41	821.67	750.74	
6	30	5879600	2666	2,325.72	1,617.35	324.05	1,293.30	
7	31	6166745	2919	-4,022.42	863.56	258.96	604.60	
8	31	5943158	2352	3,432.21	621.45	420.86	200.59	
9	30	5658277	3077	-1,773.63	754.16	579.67	174.49	
10	31	5626803	2779	-2,068.34	1,002.10	588.73	413.37	
11	30	5658277	2398	1,404.78	1,952.25	640.02	1,312.23	
12	31	5974991	2506	1,198.01	3,319.33	2,103.36	1,215.97	
1		5943158	2721					

max			4545	3,776.62	9,651.24	5,849.49	3,801.75	
sommermiddel			3007	-1,627.72	1,085.79	481.04	604.74	
sum, sommer			15036	-8,138.61	5,428.93	2,405.21	3,023.72	
årsmiddel			5931598	3269	-844.48	2,656.03	985.46	
sum, år			39229	-10,133.72	31,872.34	20,046.77	11,825.57	

KVÆLSTOF FRIGØRELSE (+) TAB (-) FOR HEL KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT KVÆLSTOF

Måned	Fri/bundet N hele søen kg N/måned	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² måned	Fri/bundet N hele søen kg N/dag	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² dag
1	-6,582.25	-2,076.42	-212.33	-66.98
2	3,266.08	1,030.31	116.65	36.80
3	-4,770.13	-1,504.77	-153.88	-48.54
4	-303.55	-95.76	-10.12	-3.19
5	-8,851.22	-2,792.18	-285.52	-90.07
6	1,032.42	325.68	34.41	10.86
7	-4,627.02	-1,459.63	-149.26	-47.08
8	3,231.62	1,019.44	104.25	32.89
9	-1,948.12	-614.55	-64.94	-20.48
10	-2,481.71	-782.87	-80.06	-25.25
11	92.55	29.20	3.08	.97
12	-17.96	-5.67	-.58	-.18

max	3,266.08	1,030.31	116.65	36.80
sommermiddel	-2,232.47	-704.25	-72.21	-22.78
ialt fri/bund. sommer, kg	-11,162.33			
årsmiddel	-1,829.94	-577.27	-58.19	-18.36
ialt fri/bundet år, kg	-21,959.29			

Bilag 7

Analysér af mulige sammenhænge mellem forskellige målte variable i søvandet i Arreskov Sø, 1989-1991. Følgende par af variable er herved undersøgt:

- * Sigtdybde (m) - partikelindhold målt som tørstof (mg/l)
- * Sigtdybde (m) - planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)
- * Partikulært kvælstof ($\mu\text{g N/l}$) - total-kvælstof ($\mu\text{g N/l}$)
- * Partikulært fosfor ($\mu\text{g P/l}$) - total-fosfor ($\mu\text{g P/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - total-kvælstof ($\mu\text{g N/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - total-fosfor ($\mu\text{g P/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - partikulært kvælstof ($\mu\text{g N/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - partikulært fosfor ($\mu\text{g P/l}$)
- * Partikulært kvælstof ($\mu\text{g N/l}$) - partikulært fosfor ($\mu\text{g P/l}$)
- * Planktonalgebiomasse målt som klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$) - planktonalgebiomasse målt som volumen (mm^3/l).

For hvert par af variable er indtegnet den bedst mulige linie (regressionslinie) igennem de afbildede målepunkter. Der er herved anvendt rette linier undtagen for sammenhænge mellem sigtdybde-tørstof og sigtdybde-klorofyl-a, hvor der er forventet en logaritmisk sammenhæng. De enkelte års målinger er markeret med en særskilt signatur.

