



Frederiksborg Amt
Teknisk forvaltning

ARRESØ

TILSTAND OG UDVIKLING 1991



 **VANDMILJØ**
overvågning





ARRESQ

ARREST OG UDVIKLING 1947

Arrest og udvikling 1947

Arrest og udvikling 1947

Arrest og udvikling 1947

Vandmiljøovervågning - Søer

ARRESØ, TILSTAND OG UDVIKLING 1991

1. INDLEDNING

"Arresø, tilstand og udvikling 1991" er rapporteringen af undersøgelsesresultaterne for 1991 til Danmarks Miljøundersøgelser. Data og rapporter fra Frederiksborg Amt for denne periode er inddraget ved vurdering af udviklingstendenser. Der er desuden i en del tilfælde medtaget oplysninger fra ældre undersøgelser.

Afsnittet vedrørende sedimentkemi er et kort sammendrag af kapitel 4.4 i rapporten "Restaurering og fremtidig tilstand i Arresø", der er udarbejdet af COWIconsult i samarbejde med Danmarks Miljøundersøgelser for Hovedstadsrådet i 1989.

Afsnittet vedrørende dyreplankton og væsentlige dele af afsnittet vedrørende planteplankton er baseret på rapporten "Arresø 1985-1991. Plante- og dyreplankton", der er udarbejdet af Miljøbiologisk Laboratorium for Frederiksborg Amt.

Endelig er afsnittet vedrørende fisk et sammendrag af rapporten "Fiskebestanden i Arresø august 1991", der er udarbejdet af Fiskeøkologisk Laboratorium for Frederiksborg Amt.

Denne rapport er udarbejdet af Water Consult for Frederiksborg Amt.

I områder hvor bunden overvejende bestod af sand, var næringssaltindholdet meget lavt med et fosforindhold under 0.4 mg/g tørstof og kvælstofkoncentrationer lavere end 2 mg/g tørstof.

Mobilt fosfor i sedimentet

På baggrund af fosforfraktioneringsanalyser blev den potentielt frigivelige fosforpulje i ferskvandsgytjeaflejringerne anslået til 11 g P/m² i 1988. Den nedre og øvre grænse for dette estimat var hhv. 7 og 16 g P/m², svarende til omkring 430 t (280-630 t) totalt i hele søen. Den eksterne fosforbelastning var i 1989 27 t, og den potentielt frigivelige fosforpulje i sedimentet var således næsten 16 gange større end den eksterne fosfortilførsel i 1989.

Planteplankton

Planteplanktonet var i perioden 1985-91 artsfattigt og domineret af arter der er typiske for eutrofierede søer.

Planteplanktonbiomassen var meget høj i hele undersøgelsesperioden. Der var dominans af ganske få arter, især grønalgen *Chlorella* sp. der alle årene udgjorde en meget stor del af biomassen. I forbindelse med vindstille perioder forekom der masseopblomstring af blågrønalger (især *Microcystis wessenbergii*) sommer/efterår 1985, 1988 og 1990.

Fosforbelastningen blev væsentligt reduceret i perioden 1985-88, og der skete et fald i total-fosforniveauet. Den gennemsnitlige total-fosforkoncentration var dog fortsat høj fra 1988 og frem, 0.26-0.41 mg/l. Som resultat af denne belastningsreduktion optrådte der på enkelte tidspunkter i perioden 1988-91 lave koncentrationer af opløst fosfor i forårs- og sommerperioden. Der blev endvidere i 1986 og 1987 målt lave koncentrationer af opløst kvælstof. Mangel på uorganisk fosfor og kvælstof kan således i korte perioder have haft en vis begrænsende effekt på planteplanktonmængden.

Forår og efterår 1985, samt i april 1986 var silicium begrænsende for kiselalgernes vækst.

Indholdet af uorganiske næringsstoffer var generelt i hele perioden 1985-91 så højt, at planteplanktonet ikke var næringssaltbegrænset. Lys og temperatur har alle årene været de absolut væsentligste begrænsende faktorer.

Den reducerede fosforbelastning har således ikke medført noget fald i planteplanktonbiomassen, der i perioden 1985-91 lå på et meget højt niveau, 20-37 mg vådvægt/l som gennemsnit for sommerperioden (1.5-30.9).

Sigtdybde

Den gennemsnitlige sommersigtdybde var uændret lav i hele perioden 1985-91, mellem 0.3 og 0.5 m. I forhold til den

generelle relation mellem total-fosfor koncentration og sigtdybde for danske søer afviger Arresø ved at have en lavere sigtdybde end forventet, hvilket skyldes, at resuspension har væsentlig betydning for sigtdybdeforholdene.

Rørsumpvegetation

Rørsumvegetation er veludviklet og består overvejende af *Tagrør*, *Smalbladet Dunhammer* og *Søkogleaks*.

Undervandsvegetation

Der blev ved undersøgelser i 1987 og 1991 kun fundet undervandsvegetation (*Hjerterbladet Vandaks*, *Børstebladet Vandaks* og *Nåle-Sumpstrå*) ved 3-4 ud af 20 stationer. Antallet af arter blev reduceret fra 9 til 4 i perioden 1941-76. Undervandsvegetationen er i hele perioden 1922-1991 kun fundet på meget lavt vand, og har haft en meget ringe udbredelse i søen.

Der er foretaget en undersøgelse af pollen og planterester i bly 210-daterede sedimentkerner. Det blev konstateret, at der tidligere har været en rig undervandsvegetation overvejende bestående af vandaks og kransnålalger, der har vokset ned til en dybde af hhv. 3.25 og 4-6 m. Dybdeudbredelsen viser, at Arresø på daværende tidspunkt var klarvandet med en sommersigt dybde på 3-4 m. Skiftet i søens tilstand er sket på et tidspunkt i perioden 1700-1880.

Dyreplankton

Dyreplanktonet var i årene 1989-91 domineret af dafnier, der udgjorde mellem 50 og 87 % af den gennemsnitlige biomasse i sommerperioden. Der skete fra 1989 til 1990 en stigning i den gennemsnitlige sommerbiomasse af større dafnier fra 0.6 til 1.7 mg/l, og 1990 til 1991 steg biomassen yderligere til 5.9 mg/l. *Daphnia cucullata* var dominerende både i 1989 og 1990, mens den noget større art *Daphnia galeata* dominerede i 1991. Som gennemsnit for sommerperioden steg den totale dyreplanktonbiomasse med næsten 400 % i perioden 1989-91.

Dyreplanktons biomasse og artssammensætning er i høj grad reguleret af predationstrykket fra den store bestand af brasen og skalle, og især disse arters yngel. Såvel stigningen i mængden af større dafnier som øgningen i den totale dyreplanktonbiomasse skyldes, at rekrutteringen af skalle- og brasenyngel var dårlig både i 1990 og 1991.

Bredfauna

Bredfaunaen bestod i 1991 overvejende af arter, der er typiske for eutrofierede søer. Der blev dog fundet en vårfluelarve *Hydropsyche contubernalis*. Slægten findes ellers kun i vandløb, og *H. contubernalis* er ellers i Danmark kun kendt fra Gudenåens nedre løb. Det er en art, der er knyttet til store vandløb, og den er særdeles tolerant overfor organisk forurening.

Bundfauna

Bundfaunaen var i 1991 meget artsfattig og bestod udelukkende af børsteorme, familien Tubificidae og forskellige grupper af myggelarver.

Bundfaunaen var meget individfattig. De største individantal blev fundet i ca. 1.5 m's dybde, 1000-1550 ind/m², mens der på dybder fra 2.5 m og udefter blev fundet 200-500 ind./m².

Fisk

Der blev i alt fundet 11 fiskearter i 1991, aborre, hork, brasen, skalle, rudskalle, regnløje, løje, sandart, gedde, ål og nipigget hundestejle. I 1922 blev der udover de ovennævnte arter yderligere fundet grundling, suder, karusse, karpe, samt enkelte skrubber og ørreder. Kun suder blev genfundet ved en undersøgelse i 1984, hvor der tillige blev fanget flere.

Den beregnede fiskebiomasse var 74 g vådvægt/m² svarende til totalt 3.100 t. i søen. Småfisk under 10 cm udgjorde en meget lille andel af den beregnede biomasse - 1.2 g vådvægt/m², hvilket viser, at der har været en svigtende rekruttering i de senere år. Bestanden af fisk større end 10 cm var helt domineret af brasen med ca. 82 % af den totale biomasse. Skalle udgjorde ca. 16 %, og tilsammen udgjorde de to arter således omkring 98 % af den samlede biomasse af fisk over 10 cm. Rovfiskebestanden (gedde, aborre og sandart) var med under 1 % af biomassen meget lille.

Tidligere undersøgelser og indberetninger fra erhvervsfiskeren tyder på, at brasen gennem hele århundredet har været den dominerende art, og at søen desuden har huset en god bestand af ål. Sandart blev udsat i 1920'erne, og der var en stor bestand frem til midt i 1980'erne, hvorefter der er sket en meget kraftig tilbagegang. Det skyldes formodentlig en kombination af overfiskning, sygdom og forringede gyde- og opvækstforhold. Som konsekvens af nedgangen i sandartbestanden er der siden 1984 sket en kraftig fremgang i bestanden af skaller.

Den totale fiskebiomasse i Arresø var meget høj og lå på niveau med værdierne fundet i andre stærkt eutrofierede søer. Bortset fra en ekstremt lille andel af rovfisk var arts sammensætningen ligeledes typisk for denne type søer.

Fugle

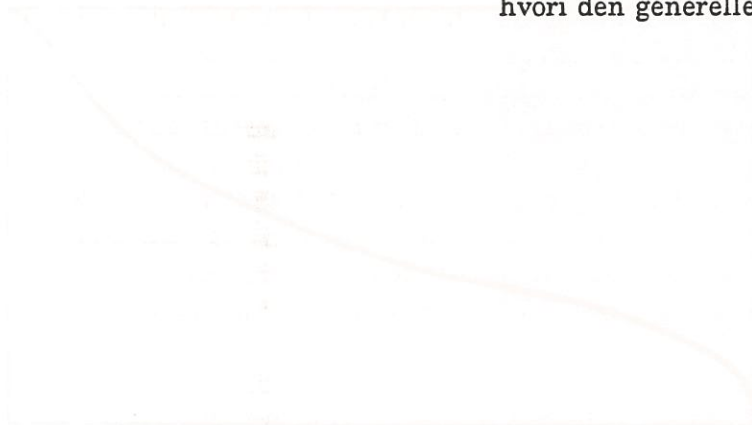
Der er foretaget fugletællinger i perioden 1965-1973 og 1978-1980. Området blev vurderet til at være en meget vigtig ynglelokalitet for andefugle, samt af meget stor betydning som rasteområde for ande- og rovfugle og af international betydning for *Stor Skallesluger*. Der blev fundet flere sjældne ynglefugle, blandt andet *Knarand*, *Plettet Rørvagtel* og *Drosselrørsanger* (rød-liste arter). Der blev

endvidere foretaget en optælling af rastende fugle i oktober 1988. Af *Stor Skallesluger* blev der talt godt 1400, af *Gråand* 3500 og af *Troldand* 2200.

Målsætning

Arresø er i recipientkvalitesplanen for Roskilde Fjord og opland, der blev vedtaget i Hovedstadsrådet i 1986, tildelt en generel målsætning (krav om et upåvirket eller kun svagt påvirket plante- og dyreliv). Søen opfyldte ikke denne målsætning i 1991. På baggrund af en større undersøgelse i 1988-89 blev det vurderet, at en opfyldelse af kravene til en generel målsætning ville kræve en reduktion af fosforbelastningen til ca. 6 t/år (der blev i 1991 tilført 23.5 t/år).

Der blev i 1990-91 foretaget en undersøgelse af de tekniske muligheder, for at nå ned på et belastningsniveau omkring 6 t/år. På baggrund af undersøgelsens resultater besluttede Frederiksborg Amtsråd i 1991, at udarbejde en regionplan, hvori den generelle målsætning for Arresø fastholdes.

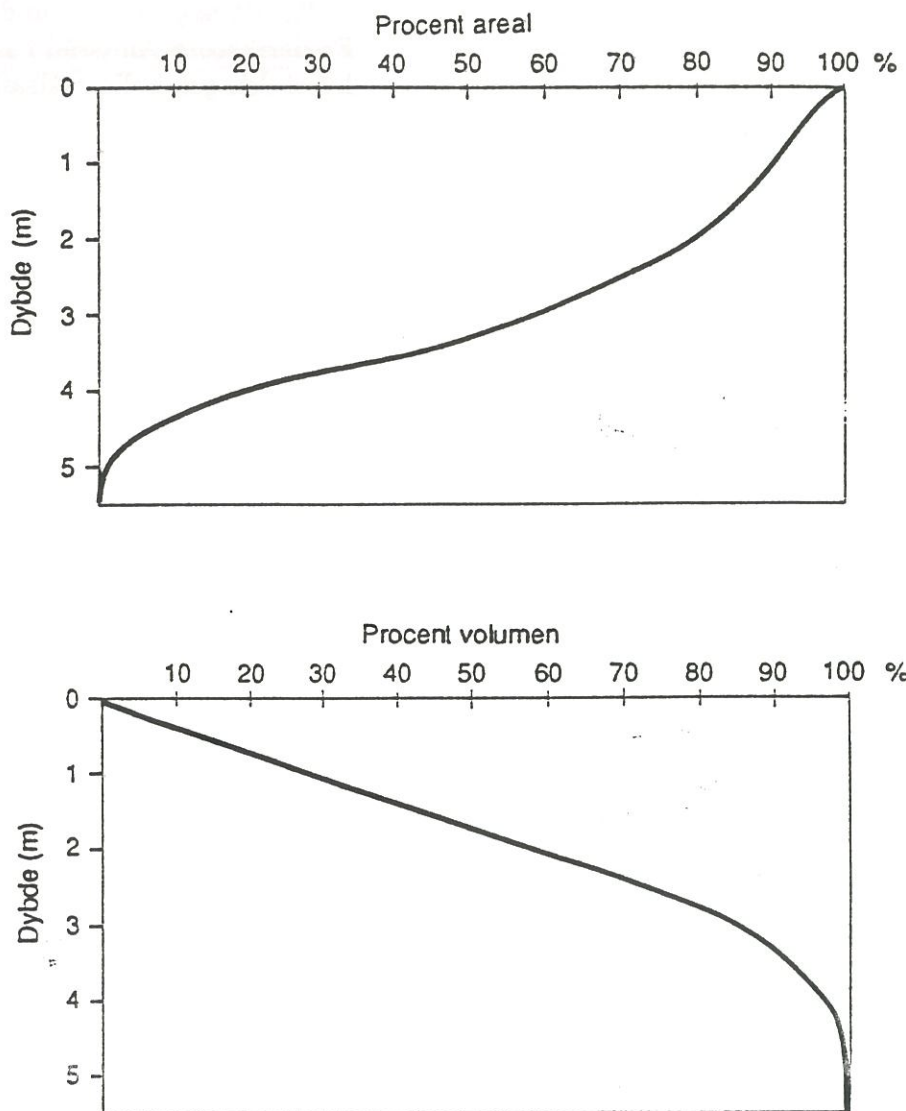


3. SYSTEMBESKRIVELSE

Arresø ligger i det nordvestlige hjørne af Frederiksborg Amt øst for Frederiksværk.

Morfometri

Søen er med et areal på 41.69 km² Danmarks største sø. Den er i forhold til de andre større nordsjællandske søer relativt lavvandet, idet maksimaldybden kun er 5.50 m og middeldybden er 2.93 m, se figur 3.2. Søens vandvolumen er opgjort til knap 123 mill. m³, areal og volumenhyposografer er vist i figur 3.1.



Figur 3.1 Areal- og volumen hypsografer for Arresø. Fra /2/.

Opland

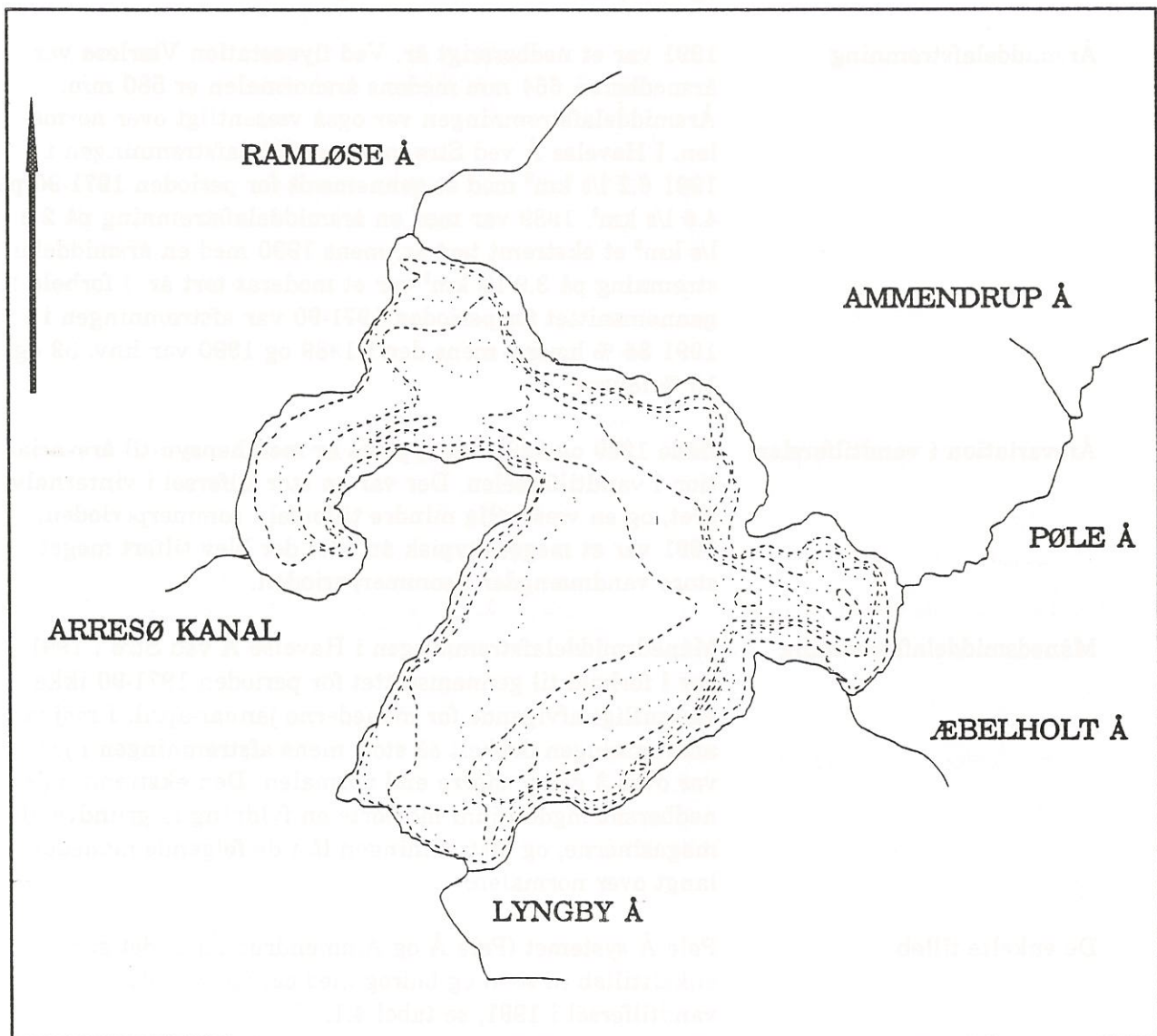
Det samlede opland til søen er på 216 km² og består overvejende af landbrugsområder. De største byer i oplandet er Hillerød og Helsingør.

Tilløb

I alt 4 vandløb løber til Arresø: Pøle Å systemet (Pøle Å og Ammendrup Å), Æbelholt Å, Lyngby Å og Ramløse Å. Pøle Å systemet er det største enkelttilløb, og bidrog i 1991 med ca. 58 % af den samlede vandtilførsel til søen. Tilsammen afvander disse vandløb et areal på 161 km².

Afløb

Arresø har afløb til Arresø Kanal, der udmunder i den nordligste del af Roskilde Fjord. Afløbet har i de sidste ca. 240 år været reguleret. Afløbskoten er i dag fastsat til 3.97 m DNN.



Figur 3.2 Dybdekort over Arresø baseret på opmåling foretaget i 1988. Fra /15/.

4. HYDROLOGI

	<p>Der er opstillet en vandbalance for årene 1989-1991 baseret på kontinuert registrering af vandføringen i tilløbene Æbelholt Å, Lyngby Å, Ramløse Å, Ammendrup Å og Pøle Å, der tilsammen udgør ca. 66 % af det samlede opland til Arresø. Vandtilførslen fra det direkte opland (47.94 km²) til søen er opgjort på basis af arealafstrømningen i oplandet til Pøle Å. Afstrømningen fra søen er beregnet ved daglig måling af vandføringen i Arresø Kanal. Bidraget af vand på søoverfladen er sat til 0 (nedbør lig fordampning).</p>
Total vandtilførsel	Totalt blev der i 1991 tilført 57.460.000 m ³ vand, se tabel 4.1 og figur 4.1. Tilførslerne var væsentligt mindre i 1989 og 1990, hhv. 33.124.000 m ³ og 39.100.000 m ³ .
Årsmiddelfafstrømning	1991 var et nedbørsrigt år. Ved flyvestation Værløse var årsnedbøren 664 mm medens årsnormalen er 580 mm. Årsmiddelfafstrømningen var også væsentligt over normalen. I Havelse Å ved Strø var årsmiddelfafstrømningen i 1991 6.2 l/s km ² mod et gennemsnit for perioden 1971-90 på 4.6 l/s km ² . 1989 var med en årsmiddelfafstrømning på 2.8 l/s km ² et ekstremt tørt år, mens 1990 med en årsmiddelfafstrømning på 3.9 l/s km ² var et moderat tørt år. I forhold til gennemsnittet for perioden 1971-90 var afstrømningen i 1991 35 % højere, mens den i 1989 og 1990 var hhv. 39 og 15 % lavere
Årsvariation i vandtilførslen	Både 1989 og 1990 var typiske år med hensyn til årsvariation i vandtilførselen. Der var en stor tilførsel i vinterhalvåret, og en væsentlig mindre tilførsel i sommerperioden. 1991 var et meget atypisk år, idet der blev tilført meget store vandmængder i sommerperioden.
Månedsmiddelfafstrømning	Månedsmiddelfafstrømningen i Havelse Å ved Strø i 1991 var i forhold til gennemsnittet for perioden 1971-90 ikke væsentligt afvigende for månederne januar-april. I maj var afstrømningen dobbelt så stor, mens afstrømningen i juni var over 3 gange større end normalen. Den ekstremt høje nedbørsmængde i juni medførte en fyldning af grundvandsmagasinerne, og afstrømningen lå i de følgende måneder langt over normalen.
De enkelte tilløb	Pøle Å systemet (Pøle Å og Ammendrup Å) er det største enkelttilløb til søen og bidrog med ca. 58 % af den samlede vandtilførsel i 1991, se tabel 4.1.
	Målt som procent af den totalt tilførte vandmængde til Arresø udgør de enkelte tilløb en relativt ens andel i de enkelte år. Den store afvigelse der optræder i Lyngby Å i

1989 må tilskrives usikkerhed på vandføringsberegningen, der er udregnet på baggrund af kilowattforbrug for pumperne. I 1990 blev der foretaget en revurdering af pumpekaraktistikken.

Afløb

Arresø har afløb til Arresø Kanal, der udmunder i den nordligste del af Roskilde Fjord. Afløbet har i de sidste ca. 240 år været reguleret. Afløbskoten er i dag fastsat til 3.97 m.

Tabel 4.1 Samlet vandtilførsel til Arresø fra deloplandene 1989-1991. Vandtilførslen fra de enkelte umålte oplande er beregnet på baggrund af værdier for de respektive målte oplande. Vandtilførslen for det direkte opland er beregnet på baggrund af arealafstrømningskoefficienten for Pøle Å oplandet (det åbne lands bidrag).

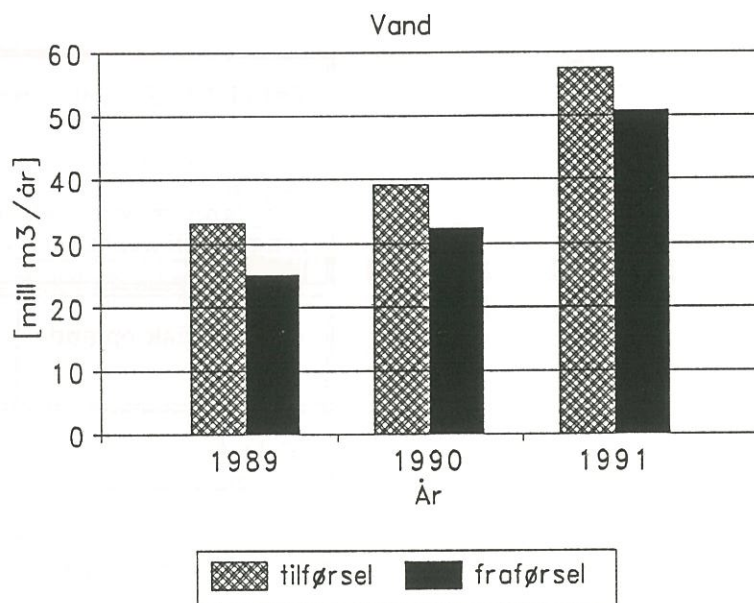
Topografisk opland	År	Vandmængde (1000 m ³)	Procent af total
Pøle Å ÷ Ammendrup Å	1989	16.025	48.4
	1990	20.430	52.2
	1991	28.495	49.6
Ammendrup Å (tilløb til Pøle Å)	1989	2.870	8.7
	1990	3.370	8.6
	1991	4.989	8.7
Ramløse Å	1989	2.320	7.0
	1990	2.560	6.6
	1991	4.566	8.0
Lyngby Å	1989	4.415	13.3
	1990	2.930	7.5
	1991	3.933	6.8
Æbelholt Å	1989	1.702	5.1
	1990	2.330	6.0
	1991	3.286	5.7
Direkte opland	1989	5.792	17.5
	1990	7.470	19.1
	1991	12.191	21.2
I alt	1989	33.124	-
	1990	39.110	-
	1991	57.460	-

Årsmassebalance

For perioden 1989-91 var de årlige fraførte vandmængder mindre end de tilførte, og der er således sket udsivning af vand fra søen.

Ind- og udsivning

Under antagelse af at nedbøren på søoverfladen svarer til fordampningen, var udsivningen i 1991 på baggrund af målinger i til- og afløb 6.7 mill. m³/år, se figur 4.1. Udsivningen var i 1989 og 1990 hhv. 8.1 og 6.8 mill. m³.



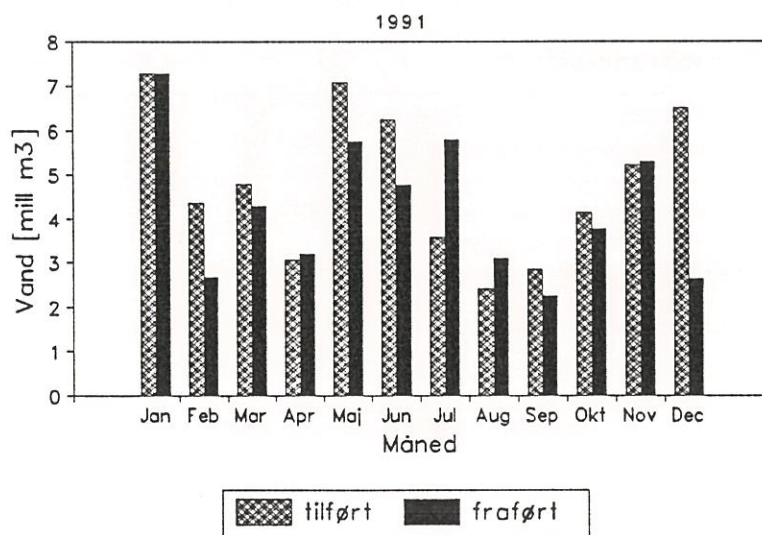
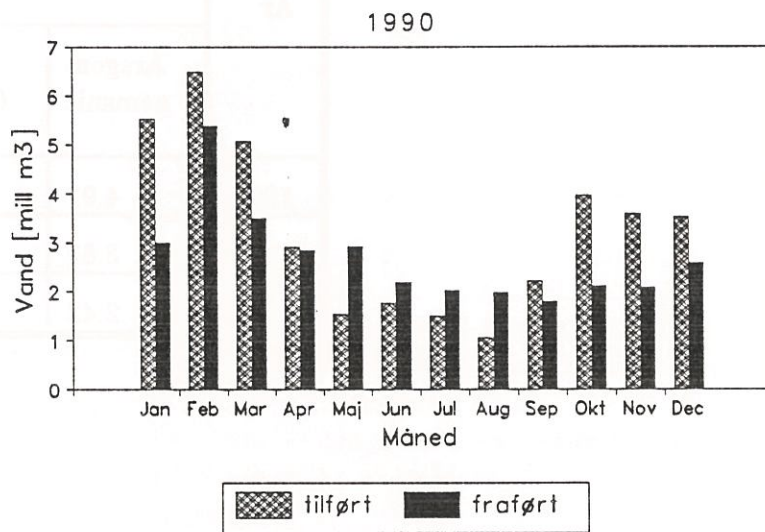
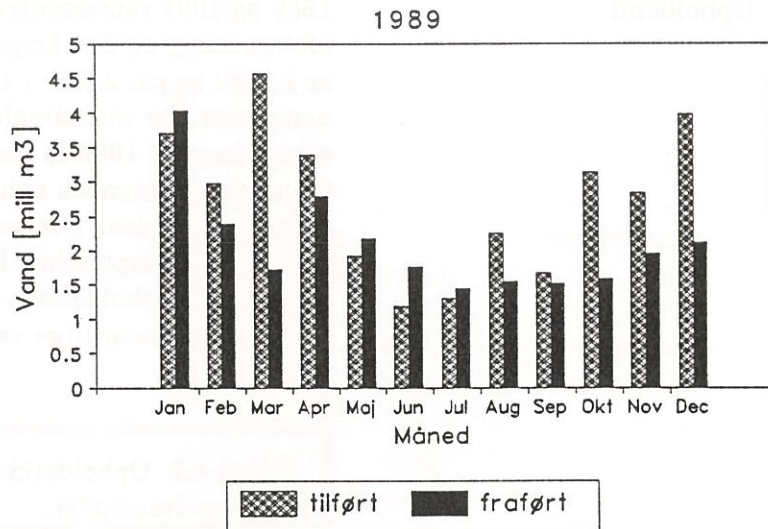
Figur 4.1 Den samlede årlige til- og fraførsel af vand 1989-1991 baseret på målinger i til- og afløb.

Grundvandsbidrag

I forbindelse med en større undersøgelse af Arresø fra 1976-1981 er der foretaget vurderinger af grundvandstilførslen og udsivningen fra søen /1/. Grundvandstilførslen fra et område på ca. 15 km² øst for søen blev beregnet til ca. 1.5 mill. m³/år.

Månedsmassebalance

Der er ikke på månedsbasis balance mellem til- og fraførte vandmængder, hvilket væsentligst skyldes, at afløbet er reguleret.



Figur 4.2 Til-og fraførte vandmængder 1989-91 baseret på målinger i til- og afløb.

Opholdstid

1989 og 1991 repræsenterer yderpunkter med hensyn til afstrømning, og den årgennemsnitlige opholdstid, knap 5 år i 1989 og ca. 2.5 år i 1991, er derfor også udtryk for noget nær den maksimale variation i opholdstiden. Afstrømningen i 1990 lå tæt på normalen for perioden 1971-90, og den beregnede opholdstid på knap 4 år, beskriver således forholdene i et gennemsnitsår. Afstrømningen i perioden maj-september 1991 var usædvanligt høj, hvilket medførte at opholdstiden i sommerperioden var lavere end den årgennemsnitlige værdi.

Tabel 4.2 Opholdstid beregnet på baggrund af fraførte vandmængder.

År	Opholdstid (år)			
	Årgennemsnit	Sommer (1.5-30.9)	Max. (måned)	Min. (måned)
1989	4.91	6.06	juli 7.19	jan. 2.58
1990	3.81	4.71	sep. 5.62	feb. 1.74
1991	2.42	2.38	sep. 4.51	jan. 1.43

5. BELASTNING

For perioden 1989-91 er der opstillet en massebalance for fosfor, kvælstof, jern, calcium og silicium baseret på daglig registrering af vandføring i tilløbene og afløbet samt 26 årlige målinger af stofkoncentration. Beregningerne er udført efter C-interpolationsmetoden.

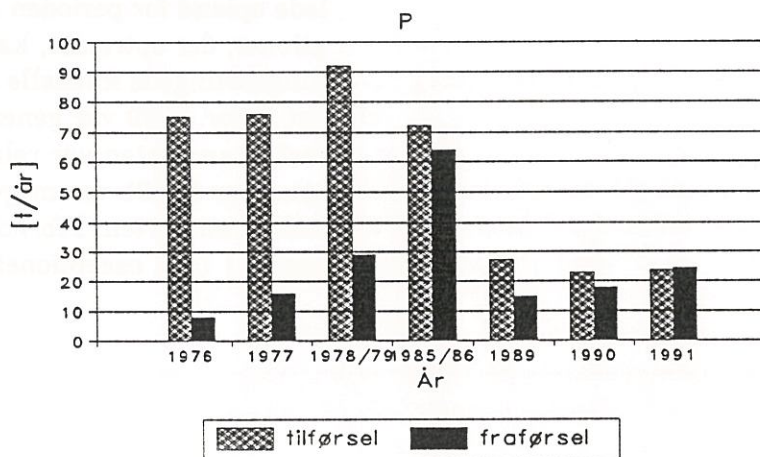
Der er desuden opstillet en massebalance for kvælstof og fosfor i 1976 og 1977 /17/ og perioden juli 1978-juli 1979 /1/ baseret på kontinuert registrering af vandføringen i Pøle Å og Arresø Kanal, samt målinger af stofkoncentration i Pøle Å, Ramløse Å og Lyngby Å. Beregningerne er udført ved trapezintegration.

For perioden april 1985-april 1986 foreligger der en massebalance for kvælstof og fosfor baseret på månedlige prøver i til- og afløb /18/. Beregningerne er foretaget efter C-interpolationsmetoden.

5.1 Fosfor

Total fosfortilførsel 1989-91

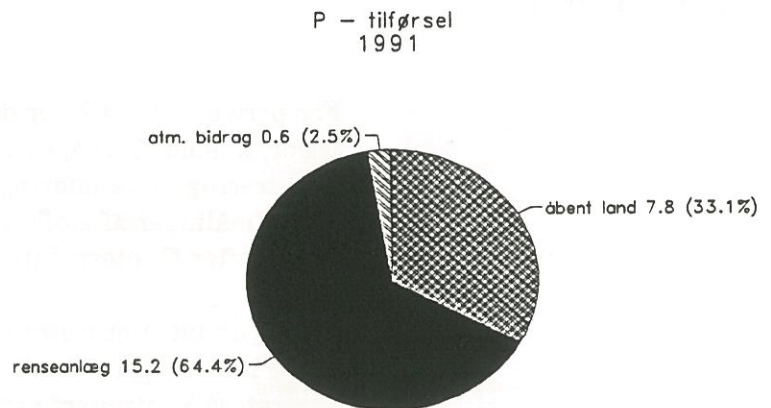
Der blev i 1991 tilført 23.6 t fosfor til Arresø, se figur 5.1. Fosforbelastningen er faldet fra 70-90 t/år i 1976-86 til ca. 27 t i 1989 og yderligere til omkring 23 t i 1990 og 1991. Reduktionen i fosforbelastningen skyldes forbedret spildevandsrensning og afskæring af spildevand.



Figur 5.1 Årlige til- og fraførsler af fosfor 1976-91.

Kildeopsplitning

Renseanlæg var med ca. 64 % af den samlede fosfortilførsel den største enkeltkilde.

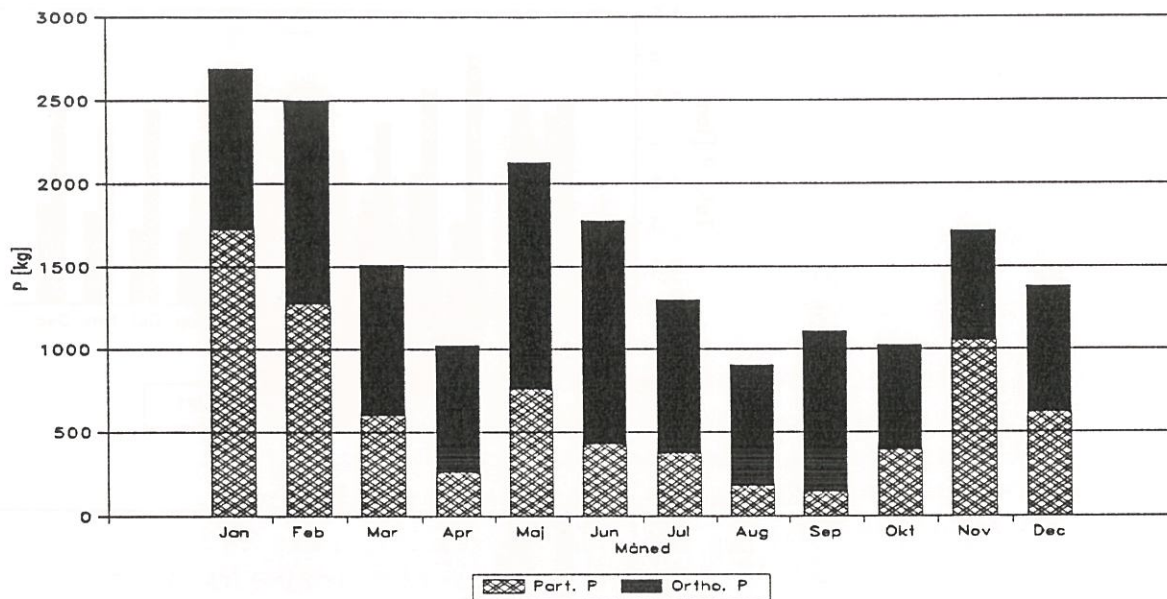


Figur 5.2 Fosfortilførsel til Arresø 1991 opdelt på rens anlæg, incl. overløbsbygværker; bidrag fra det åbne land, der omfatter arealbidrag; samt belastning fra spredt bebyggelse og atmosfærisk bidrag.

Fosfortilførsel - årsvariation

Fordelingen af fosfortransporten for de målte oplande er vist i figur 5.3. Tilførslen af opløst fosfor var i 1991 relativt konstant over året, mens der var en noget større variation i de tilførte mængder af partikulært bundet fosfor. Der er en høj grad af sammenhæng mellem tilførslen af partikulært bundet fosfor og afstrømningen, se figur 4.2 og 5.3. Under stor afstrømning sker der resuspension af aflejret materiale i vandløbene, og yderligere kan der ske tilførsel af jord til vandløbene ved overfladeerosion, samt organisk materiale fra overløbsbygværker.

Den månedsvise total-fosfortilførsel til Arresø fra det samlede opland for perioden 1989-91 er vist i figur 5.4. De variationer, der optræder, kan overvejende tilskrives afstrømningsbetingede forskelle i transporten af partikulært bundet fosfor. 1989 var generelt et meget nedbørsfattigt år, og fosfortransporten var relativt konstant året igennem, hvorimod der i 1991 var meget store nedbørsbetingede udsving i fosfortransporten. I forhold til 1989 og 1990 var fosfortransporten i 1991 exceptionelt høj i forsommeren.



Figur 5.3 Fosfortilførsel fra det målte opland til Arresø i 1991 fordelt på opløst fosfor og partikulært bundet fosfor.

Årsmassebalance 1976-86

I årene 1976-86 var der ikke væsentlig forskel i de tilførte fosformængder, men der var stor forskel i de fraførte mængder. I 1976 blev 89 % af den tilførte fosfor tilbageholdt, mens kun 11 % blev tilbageholdt i 1985/86, se figur 5.1.

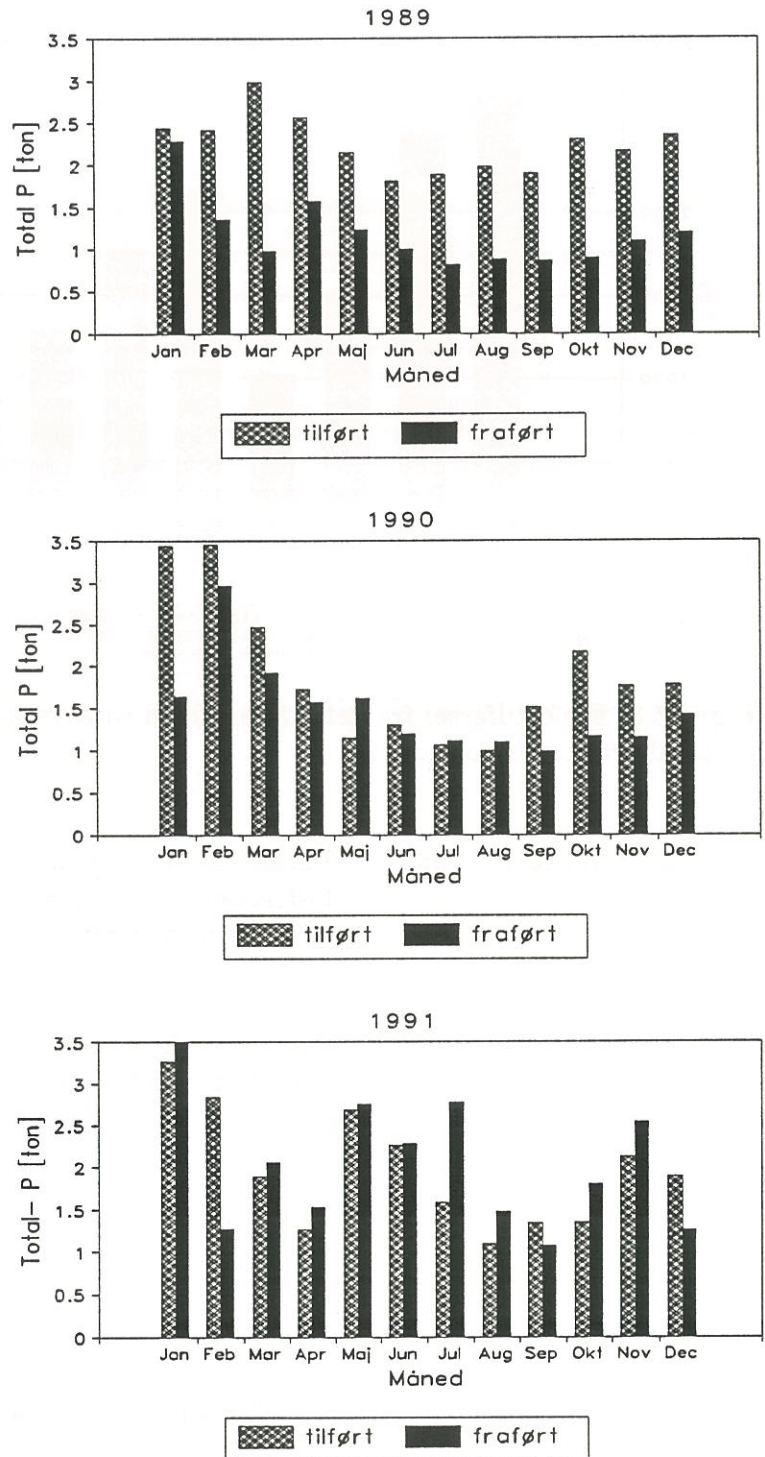
Årsmiddelaflstrømningen i Havelse Å i 1976 var den laveste, der er målt for perioden 1960-91. Den meget store tilbageholdelse i 1976 skyldes, at vandgennemstrømningen i Arresø var ekstremt lav.

Aflstrømningen i 1985-86 lå over gennemsnittet, og fosfortilbageholdelsen var da også lille.

Årsmassebalance 1989-91

Der var ikke væsentlig forskel i fosfortilførslen for årene 1989-91, og variationen i fosfortilbageholdelse kan derfor ligeledes forklares ved aflstrømningsvariationen.

I 1991 var der balance i til- og fraførsel. Det skyldes væsentligst, at der på grund af ekstremt høje nedbørsmængder i forsommeren var en meget stor vandgennemstrømning i sommerperioden, og at den eksterne fosforbelastning er reduceret.



Figur 5.4 Samlet til- og fraførsel af fosfor på månedsbasis 1989-1991.

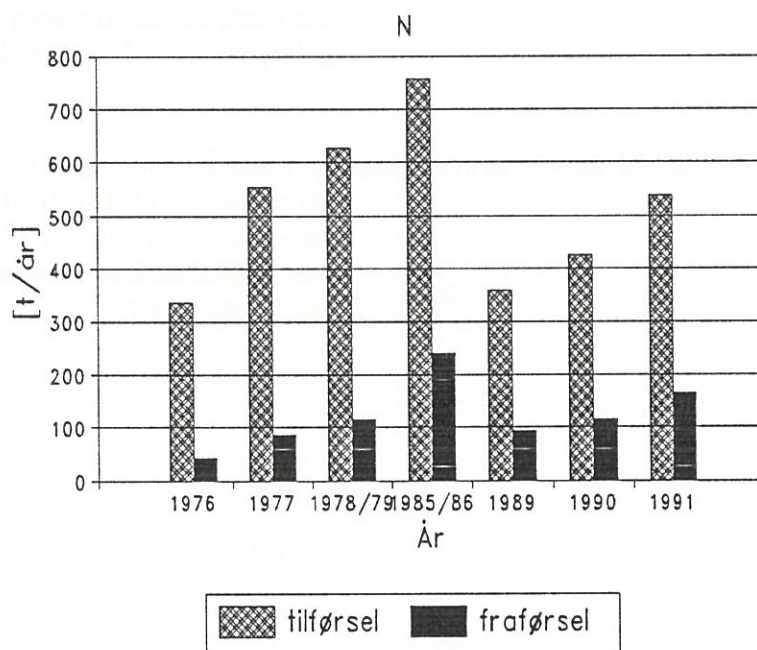
Månedsmassebalance

I 1989 var fosfortilførslen for alle 12 måneder højere end fraførslen, mens der i 1990 blev aflastet fosfor i maj, juli og august. I 1991 blev der aflastet fosfor i over halvdelen af året. Afstrømningen i januar og perioden maj-december 1991 lå væsentligt over gennemsnittet. På grund af fortyndingseffekten har fosforkoncentrationen i det tilledte

vand været relativt lav, hvilket er hovedårsagen til den generelt store aflastning af fosfor i årets sidste halvdel.

5.2 Kvælstof

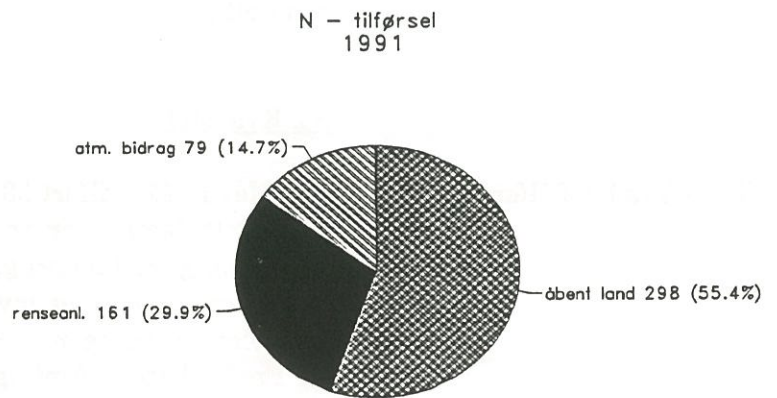
Total kvælstoftilførsel 1989-91 Der blev i 1991 tilført 539 t kvælstof til Arressø, se figur 5.5. Kvælstofbelastningen er udpræget nedbørsafhængig, da udvaskning fra landbrugsarealer er den største enkeltkilde. Tilførslen var således lav i de tørre år 1976 og 1989. Års-middelfafstrømningen i 1978-79 og 1990 lå tæt på normalen for Frederiksborg Amt og kvælstoftilførslen faldt i denne periode fra ca. 600 til ca. 400 t. Forbedret spildevandsrensning, afskæring af renseanlæg og indgreb overfor ulovlige landbrugsudledninger er de sandsynligste årsager til nedgangen i kvælstofbelastningen.



Figur 5.5 Samlet årlig til- og fraførsel af kvælstof 1976-91.

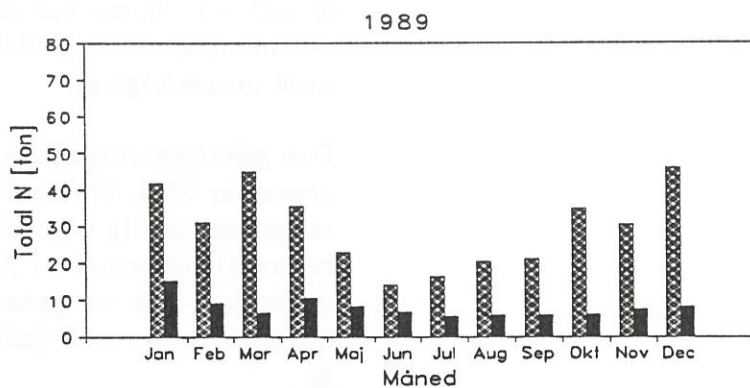
Kildeopsplitning

Kvælstof tilførsel fra det åbne land var den største kilde med ca. 55 % af den samlede belastning, se figur 5.6.

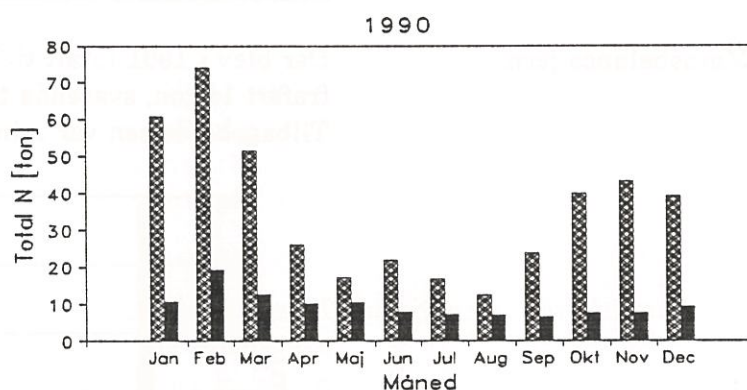


Figur 5.6 Kvælstoftilførsel til Arresø 1991 opdelt på renselanlæg, incl. overløbsbygværker; bidrag fra det åbne land, der omfatter arealbidrag samt belastning fra spredt bebyggelse; og atmosfærisk bidrag.

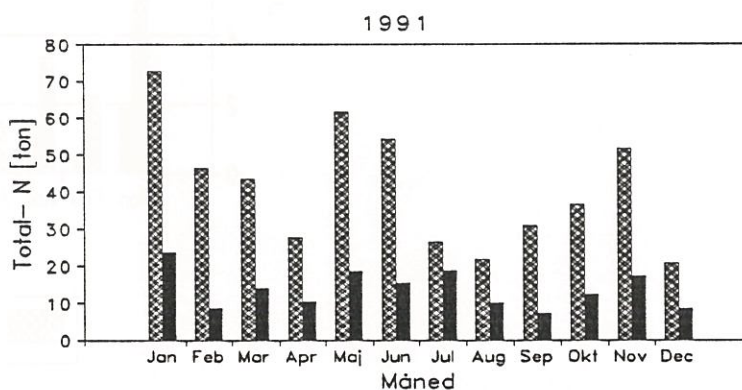
Kvælstoftilførsel - årsvariation Kvælstofbelastningen er overvejende bestemt af afstrømningsmønsteret. Generelt er tilførslen således lav i sommerperioden, men 1991 er en undtagelse, idet der på grund af den megen nedbør i forsommeren blev tilført store mængder, se figur 5.7.



tilført fraført



tilført fraført



tilført fraført

Figur 5.7 Samlet til- og fraførsel af kvælstof på månedsbasis 1989-1991.

Årsmassebalance

På baggrund af massebalancer for 69 danske søer er der fundet en klar sammenhæng mellem kvælstof tilbageholdelse og opholdstid - således at tabet opgjort som procent af totaltilførsel var størst i søer med lang opholdstid /7/.

Den største kvælstof tilbageholdelse (procent af totaltilførsel)

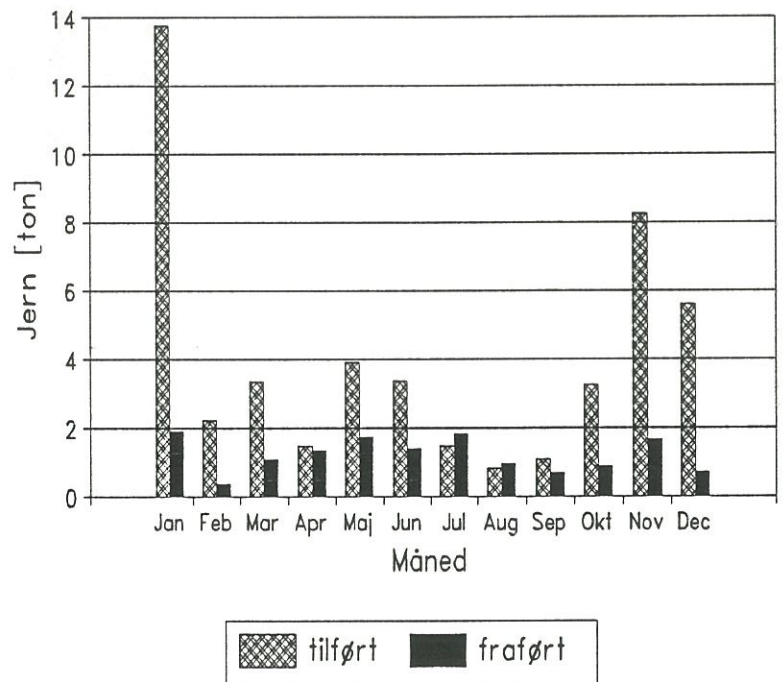
er målt i 1976, der var det mest nedbørsfattige år, mens den mindste tilbageholdelse er målt i 1991, der var det mest nedbørsrige år.

Den gennemsnitlige tilbageholdelse i Arresø for alle måleårene var 77 %. For de ovennævnte 69 søer blev der fundet en gennemsnitlig tilbageholdelse på 43 %. Den væsentligt højere tilbageholdelse i Arresø skyldes, at opholdstiden i de undersøgte søer var gennemsnitligt 1.2 år, mens opholdstiden for Arresø i et år med normale nedbørsforhold er ca. 4 år

5.3 Jern, Calcium og Silicium

Massebalance jern

Der blev i 1991 totalt tilført ca. 48 t jern, mens der blev fraført 14 ton, svarende til en tilbageholdelse på ca. 70 %. Tilbageholdelsen var mindst i sommerperioden, se figur 5.8.



Figur 5.8 Samlede til- og fraførte mængder af jern på månedsbasis, 1991.

Massebalance calcium

Totalt blev der i 1991 tilført ca. 4350 t calcium, mens der blev fraført ca. 2300 t, svarende til en tilbageholdelsesprocent på 46. For de søer der indgår i vandmiljøplanens overvågningsprogram, lå tilbageholdelsen generelt mellem 5 og 30 % og var delvis afhængig af vandets opholdstid, således at tilbageholdelsen var under 15 % for søer med en opholdstid under 0.2 år og større end 20 % for søerne med en opholdstid over 0.5 år /5/.

Den høje tilbageholdelsesprocent i Arresø skal ses i sammenhæng med den længere opholdstid. Det spiller desuden en rolle, at der optræder ekstremt høje pH-værdier i hele sommerperioden, idet der herved sker forskydninger i carbonat buffersystemet, hvilket medfører at der udfældes calciumcarbonat.

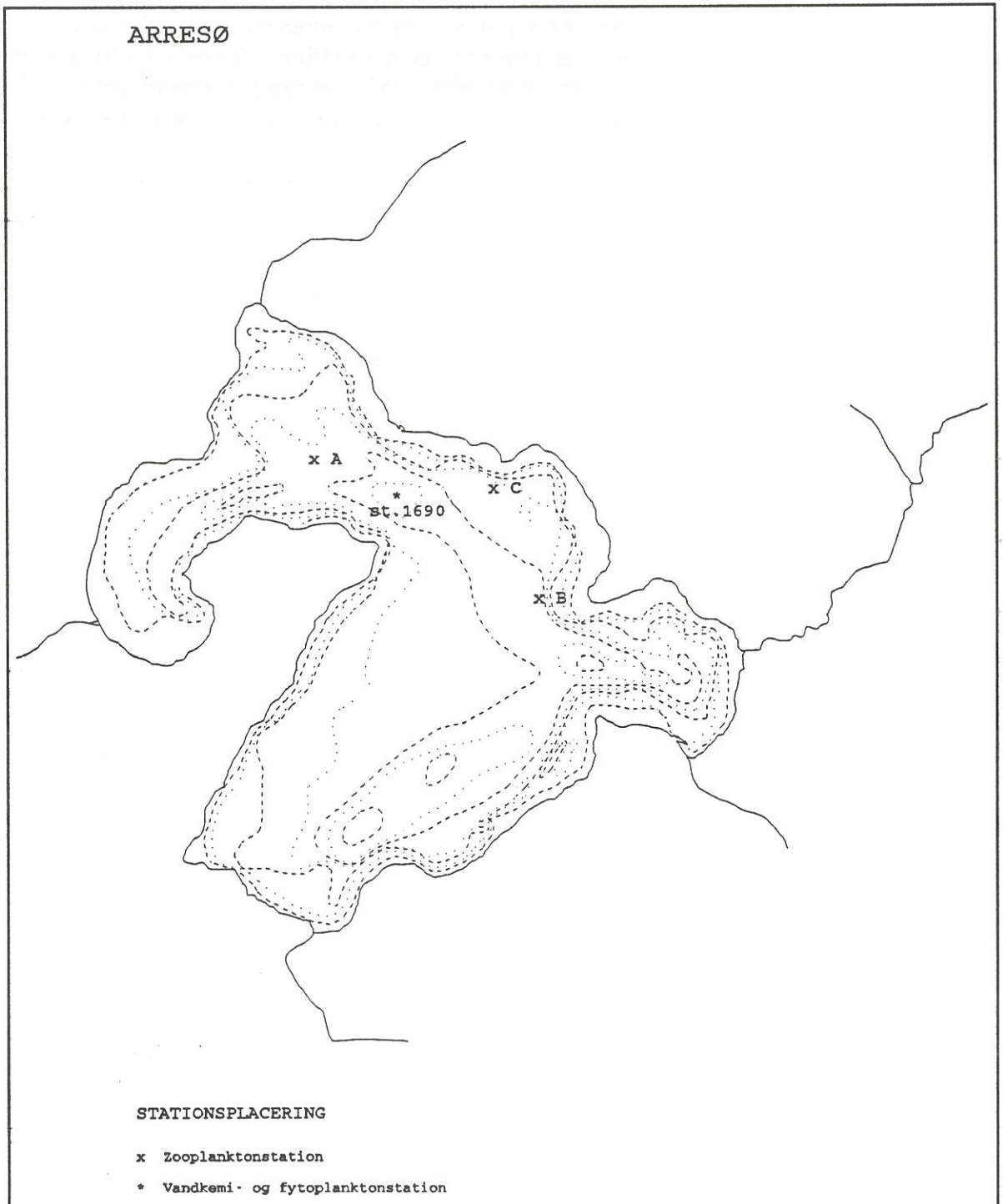
Massebalance silicium

Der blev totalt i 1991 tilført 334 t opløst silicium og fraført 279 t. Tilførslen sker overvejende som opløst silicium, mens en stor del af den fraførte mængde er partikulært bundet. Da der kun er foretaget målinger for opløst silicium, er de fraførte mængder således væsentligt undervurderet. Kiselalger optager silicium, der udnyttes som skeletelement, og siliciumtilbageholdelsen er i høj grad bestemt af forekomst og sæsonvariation i kiselalgebiomassen.

6. TEMPERATUR, ILT OG pH

6.1 Temperatur og ilt

Målingerne af temperatur- og iltforholdene er foretaget på station 1690, se figur 6.1. Vanddybden er ved denne station ca. 4.5 m.



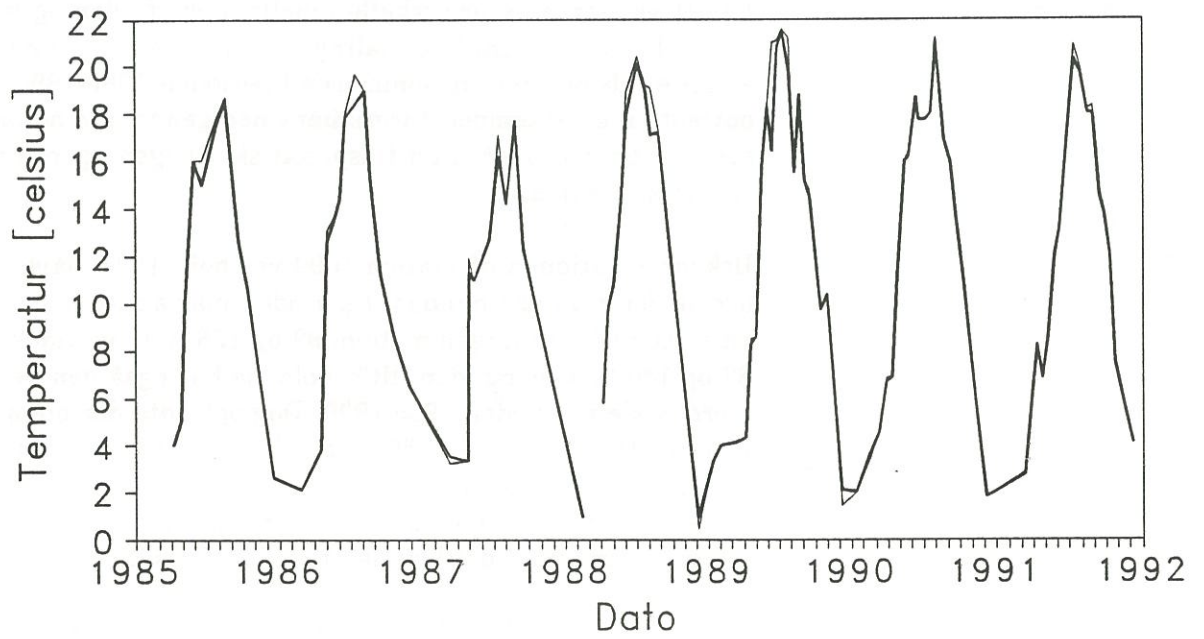
Figur 6.1 Placering af station 1690, samt stationer for udtagning af planktonprøver.

Temperatur

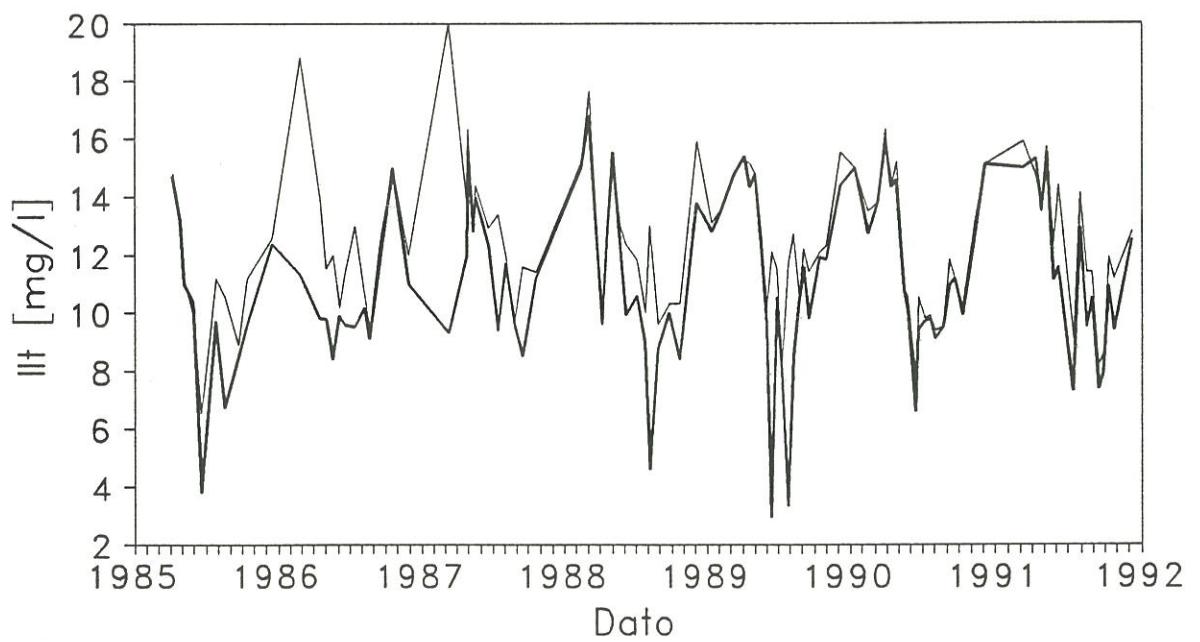
I 1991 var temperaturforskellen mellem overfladen og bund under 1 grad for samtlige målinger, se figur 6.2. Der har på enkelte tidspunkter om sommeren i perioden 1985-1990 optrådt en svag temperaturgradient ned gennem vandmasserne, men der er på intet tidspunkt sket nogen egentlig springlagsdannelse.

ilt

Iltkoncentrationen på station 1690 var høj i 1991, såvel i overfladen som ved bunden. I perioden marts-december varierede iltmætningen mellem 92 og 156 % i overfladen og 82 og 140 % over bunden. Iltforholdene har også generelt været gode i perioden 1985-1990. Dog optrådte der om sommeren i 1985, 1988 og 1989 lave iltkoncentrationer i bundvandet i forbindelse med en svag temperaturlagdeling af vandmasserne. Der blev dog på intet tidspunkt målt iltkoncentrationer under det kritiske niveau for fisk.



— Overflade — Bund



— Overflade — Bund

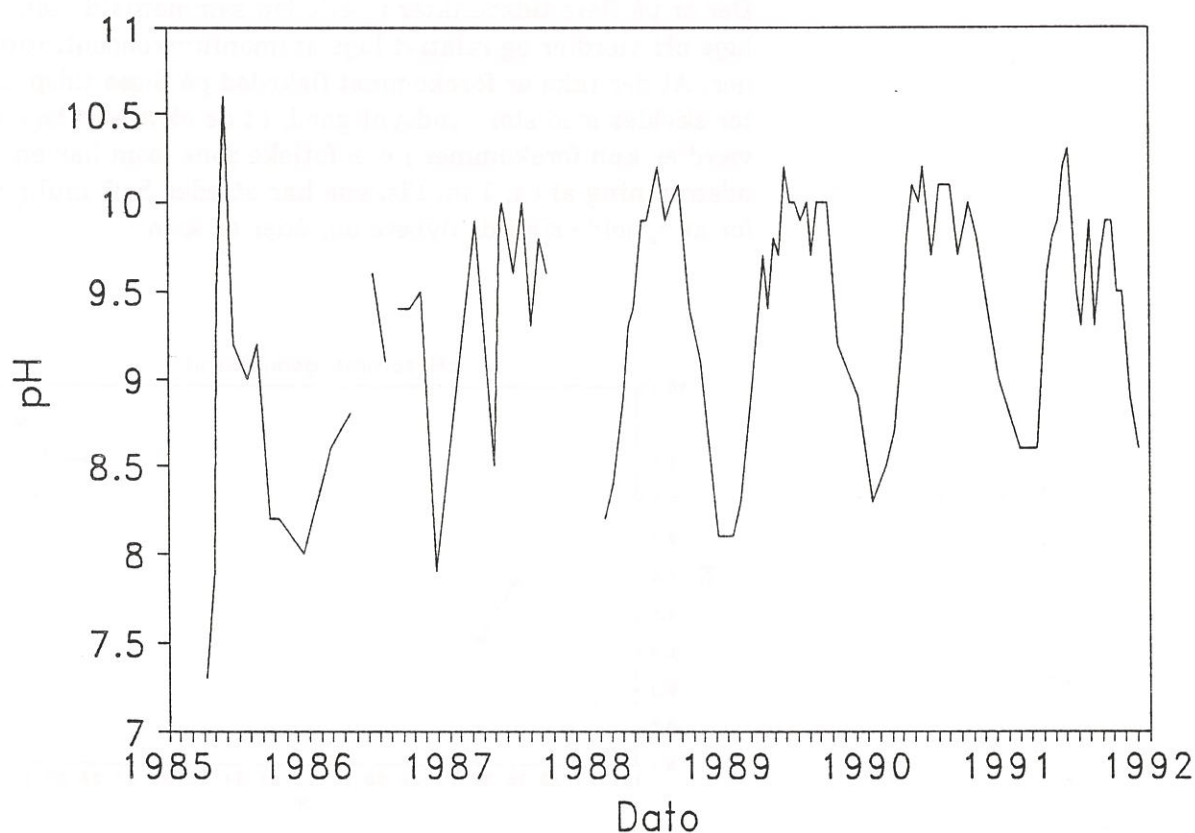
Figur 6.2 Temperatur og iltkoncentration i overfladen og ved bunden, 1985-1991.

6.2 pH

Målingerne er foretaget i overfladen på station 1690, se figur 6.1.

1991

Der blev i 1991 målt en pH værdi på 8.6 i januar, marts og december, mens der i perioden april-oktober optrådte værdier over 9, med et maksimum på 10.3 først i juni, se figur 6.3.



Figur 6.3 Årsvariation i pH, 1985-1991.

De generelt høje pH værdier i sommerperioden skyldes, at der ved høj fotosynteseaktivitet under udnyttelse af bicarbonat som kulstofkilde sker udskillelse af hydroxyl ioner.

1973-1990

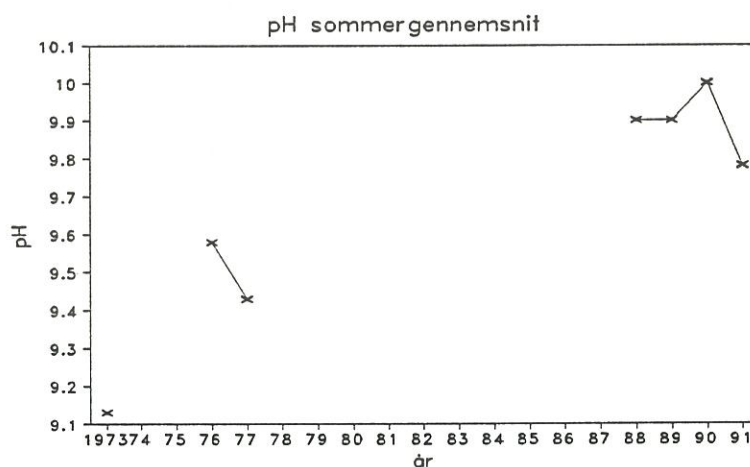
Der fandtes en lignende sæsonvariation for årene 1985-1990. Specielt for 1988-90 er der i længere perioder målt pH værdier over 10. Sommergennemsnittet er steget fra først i 1970'erne til 1991, se figur 6.4. I eutrofierede søer forekommer der døgnsvingninger i pH med maksimumværdier sidst på eftermiddagen og minimumværdier om natten. Da pH på døgnbasis kan svinge med op til 2 enheder, er det ikke muligt med sikkerhed at fastslå, hvorvidt der reelt har været tale om en stigning.

Toksiske effekter

Fiskebestanden blev undersøgt i 1991. De yngre årgange var generelt meget små, hvilket tyder på en svigtende gydesucces i de senere år. Det høje pH niveau har med stor sandsynlighed haft en negativ effekt på fiskenes gydelyst og overlevelsesmulighederne for æg og yngel /8/.

Ved høj pH forskydes ligevægten mellem ammonium og fri ammoniak mod fri ammoniak, der har en stærk giftvirkning på fisk. Ved pH ca. 9.5 er forholdet 1:1, men ved pH 10.3 findes ca. 95 % på fri ammoniak form.

Der er på flere tidspunkter i perioden sammenfald mellem høje pH værdier og relativt høje ammoniumkoncentrationer. At der ikke er forekommet fiskedød på disse tidspunkter skyldes med stor sandsynlighed, at de ekstremt høje pH værdier kun forekommer i den fotiske zone, som har en udstrækning af ca. 1 m. Fiskene har således haft mulighed for at opholde sig i de dybere områder af søen.



Figur 6.4 pH, sommergennemsnit (1.5-30-9) 1973-1991.

7. VANDKEMI

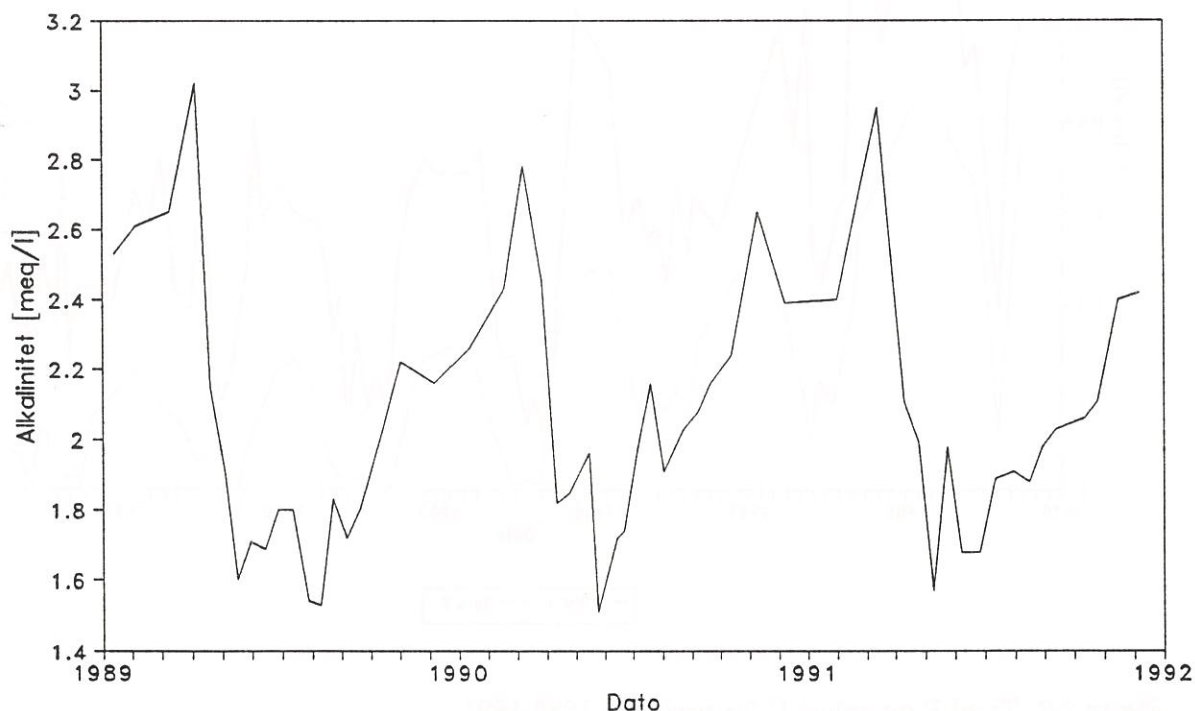
Udtagning af prøver til vandkemiske analyser er foretaget på station 1690, se figur 6.1.

7.1 Alkalinitet

Årsvariation 1989-1991

Alkalinitet er et mål for indholdet af basiske ioner. Bicarbonat er den absolut dominerende basiske ion i Arresø, og alkaliniteten er således i høj grad styret af bicarbonatkoncentrationen.

Alkaliniteten varierer over året med høje værdier i vinterhalvåret, og lavere værdier i sommerperioden, se figur 7.2.



Figur 7.1 Alkalinitet, årsvariation 1989-1991.

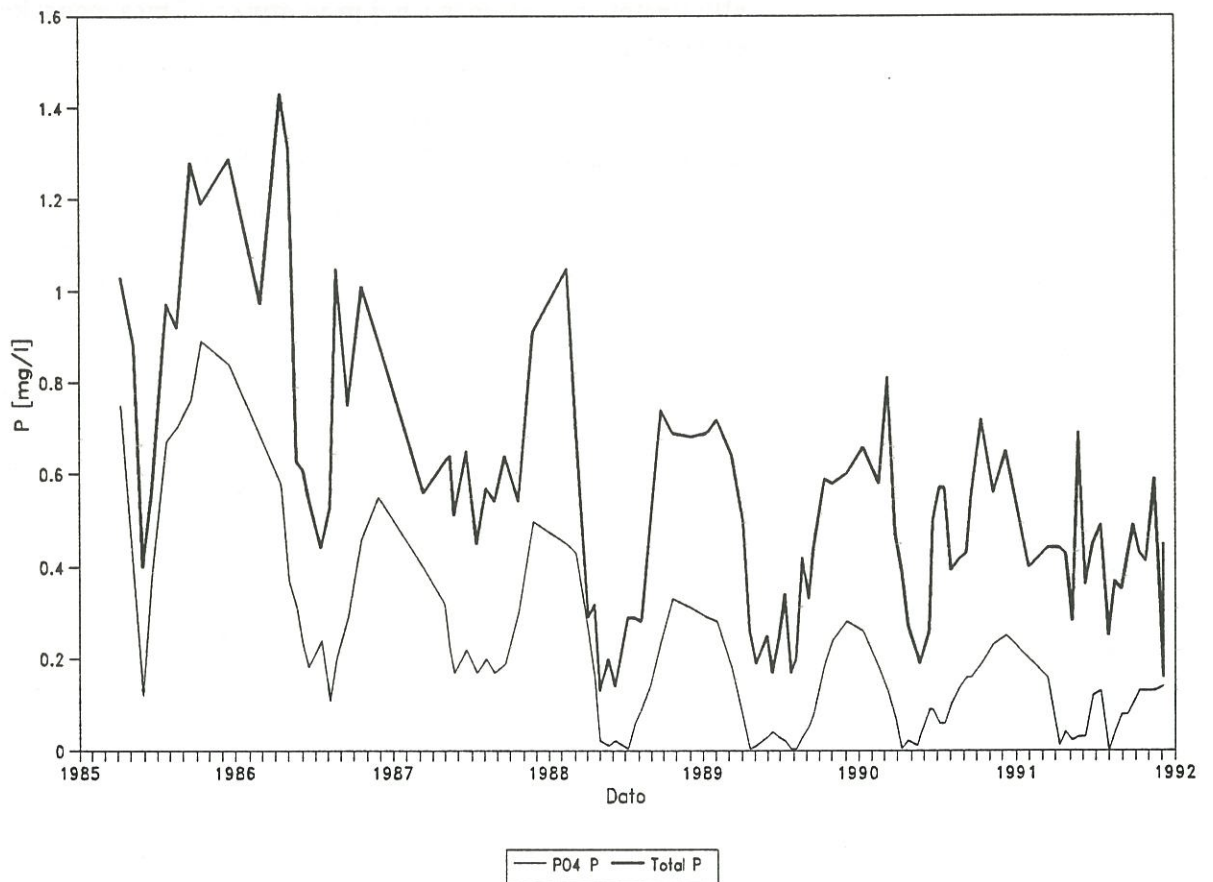
Ved de høje pH værdier i sommerperioden sker der udfældning af calciumcarbonat fordi ligevægten mellem calciumbicarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ og calciumcarbonat CaCO_3 forskydes. Desuden tilføres der store mængder bicarbonat i forbindelse med vinterafstrømningen.

7.2 Fosfor

Der foreligger målinger af opløst fosfor (ortofosfat) og total fosfor for 1976-1979 og 1985-1991.

Årsvariation 1991

Tilførslen af opløst fosfor var i 1991 relativt konstant over året se figur 5.3. Den variation der optræder skyldes således primært optagelse fra planteplankton og intern belastning.



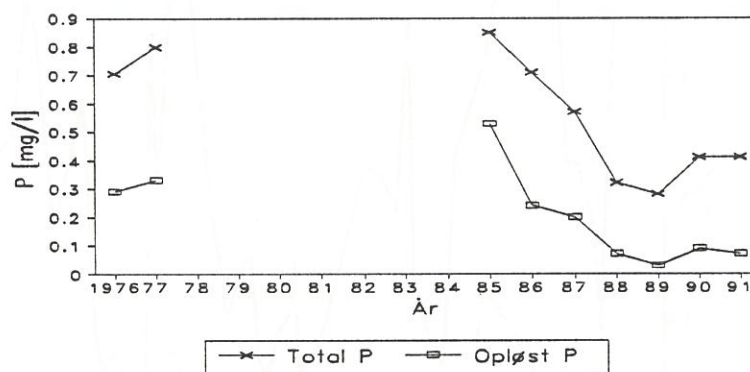
Figur 7.2 Total-P og opløst-P for perioden 1985-1991.

Udvikling 1976-91

Reduktionen i den eksterne fosforbelastning afspejles tydeligt i den gennemsnitlige koncentration af total-fosfor og opløst-fosfor i sommerperioden, se figur 7.3. Fosfortilførslen faldt fra 70-90 t/år i perioden 1976-86 til 23-27 t/år i perioden 1989-91. Tilsvarende faldt total-fosforkoncentrationen fra 0.71-0.89 mg/l til 0.26-0.41 mg/l og opløst fosfor fra 0.24-0.53 mg/l til 0.03-0.07 mg/l.

Der er endvidere, som konsekvens af den reducerede eksterne belastning, målt lave koncentrationer af opløst fosfor på flere tidspunkter i sommerperioden fra 1988-91, se figur

7.2, hvilket viser, at mængden af opløst fosfor i vandfasen nu er begyndt at nærme sig et begrænsende niveau for opbygningen af planteplanktonmaksima.



Figur 7.3 Sommergennemsnit for opløst-fosfor og total-fosfor 1976-91.

Baggrunds niveau

For søer i naturområder er koncentrationen af total-fosfor typisk 0.02-0.04 mg/l, og koncentrationen af opløst fosfor er generelt over året under 0.01 mg/l /6/. Kulturpåvirkningen af Arresø har således medført en markant øgning i fosfor-niveauet.

7.3 Kvælstof

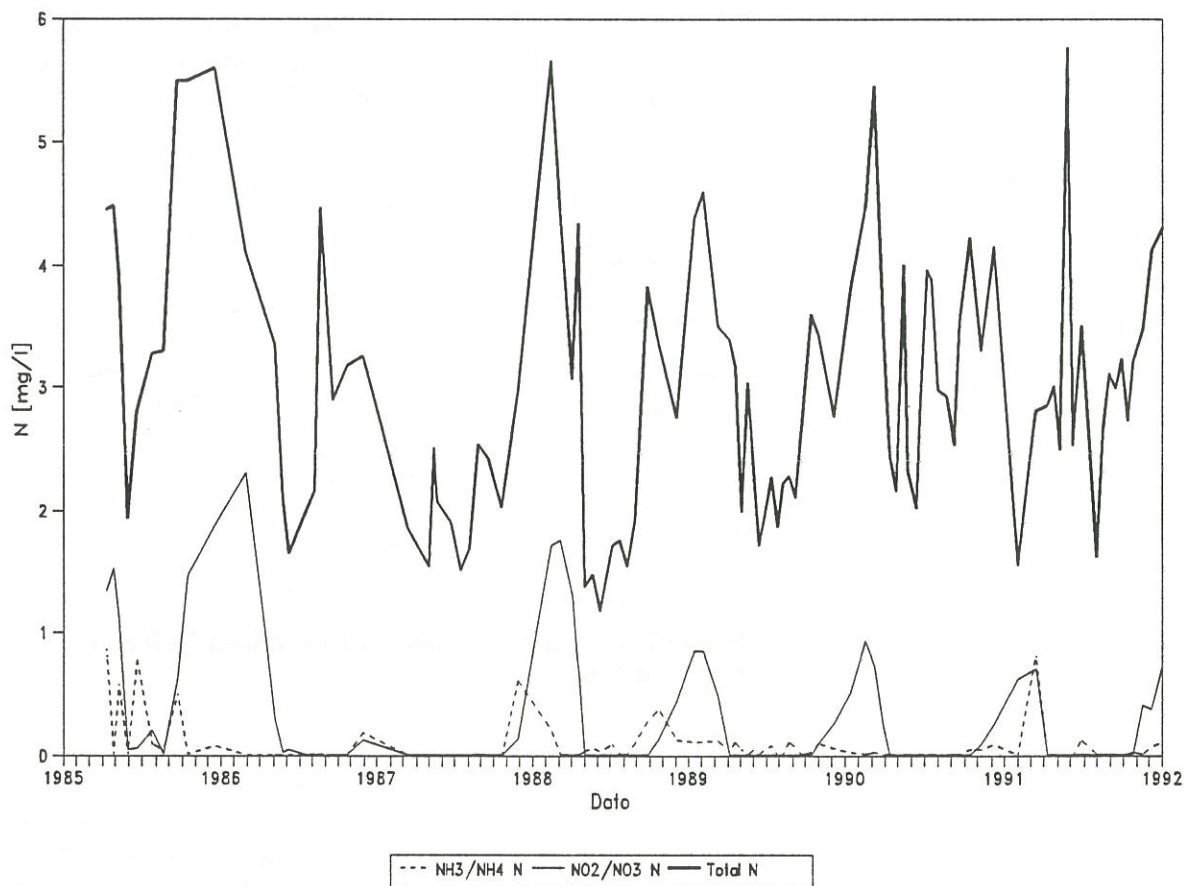
Der foreligger målinger af kvælstof for 1976-1979 og 1985-1991.

Årsvariation 1985-91

Gennemgående optræder der høje værdier for total-kvælstof i vinterhalvåret. Hovedparten af kvælstoftilførslen stammer fra det åbne land, og der tilføres store mængder nitrat i forbindelse med stor afstrømning i vinterhalvåret, se figur 7.4.

I sommerperioden er mængden af opløst kvælstof lav. Tilførslerne er generelt små, kvælstof indbygges i planteplanktonbiomassen, og der er en stor denitrifikation (omdannelse af nitrat til frit luftformigt kvælstof).

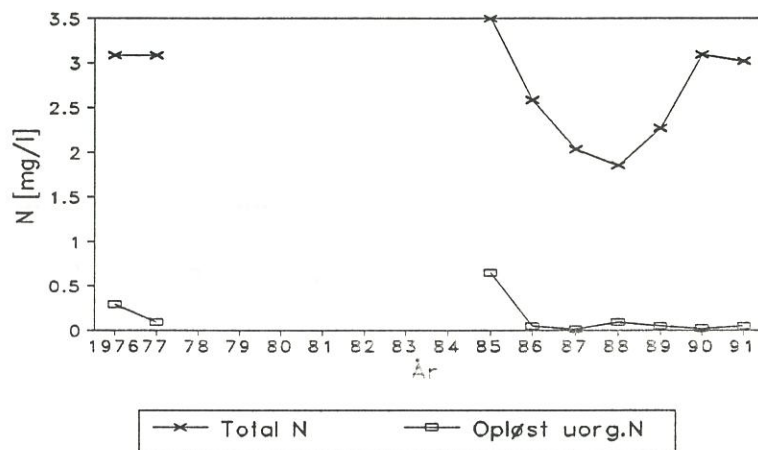
Den meget høje koncentration af total-kvælstof i maj 1991 skyldes resuspension. Vindhastigheden var 8 m/s på prøvetagningstidspunktet. Der blev ligeledes målt en meget høj totalfosforkoncentration på dette tidspunkt, se figur 7.2.



Figur 7.4 Total-kvælstof, nitrat og ammonium for perioden 1985-1991.

Udvikling 1976-91

Der er ikke i perioden 1976-91 sket nogen nedgang i total-kvælstof niveauet målt som gennemsnit for sommerperioden, mens der efter 1986 optræder et lidt lavere niveau i koncentrationen af opløst kvælstof.



Figur 7.5 Sommergennemsnit for total-kvælstof og opløst-kvælstof 1976-91.

Baggrundsniveau

For søer i naturområder er total-kvælstofkoncentrationen typisk 0.5-1 mg/l /6/. Landbrugsdriften i oplandet og spildevandsbelastningen har således medført en væsentlig øgning i kvælstofniveauet.

7.4 Silicium

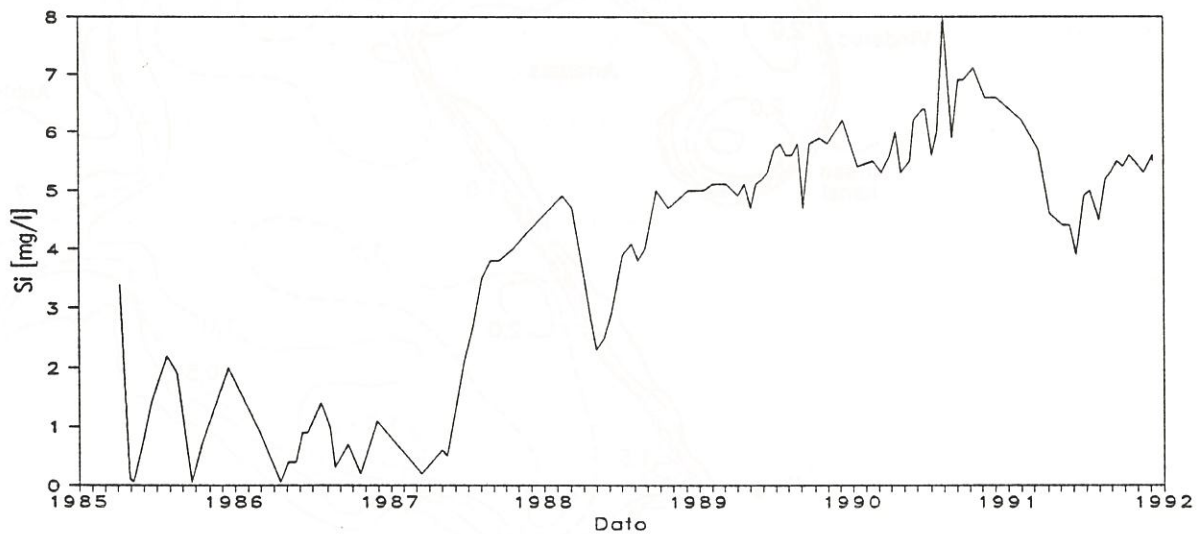
Kiselalger danner skaller opbygget af silicium, og der er derfor sammenhæng mellem biomassen af kiselalger og koncentrationen af opløst silicium.

Årsvariation 1989-91

Der optrådte et kiselalgemaksimum i foråret 1991, hvorunder siliciumkoncentrationen faldt. Koncentrationen af opløst silicium var generelt høj i 1989 og 1990. Kiselalger udgjorde generelt i 1989 og 1990 en meget beskeden del af den samlede planteplanktonbiomasse, se figur 9.2, og der fandtes heller ikke nogen væsentlig variation i siliciumkoncentrationen i ovennævnte periode, se figur 7.6.

Årsvariation 1985-87

I perioden 1985-87 lå koncentrationen af opløst silicium generelt på et lavere niveau, og der optrådte på enkelte tidspunkter meget lave siliciumkoncentrationer i forbindelse med biomassemaksima af kiselalger. Det generelt lavere niveau skyldes, at kiselalger over længere perioder udgjorde en væsentlig del af planteplanktonbiomassen i forhold til perioden 1988-91, se figur 9.1.



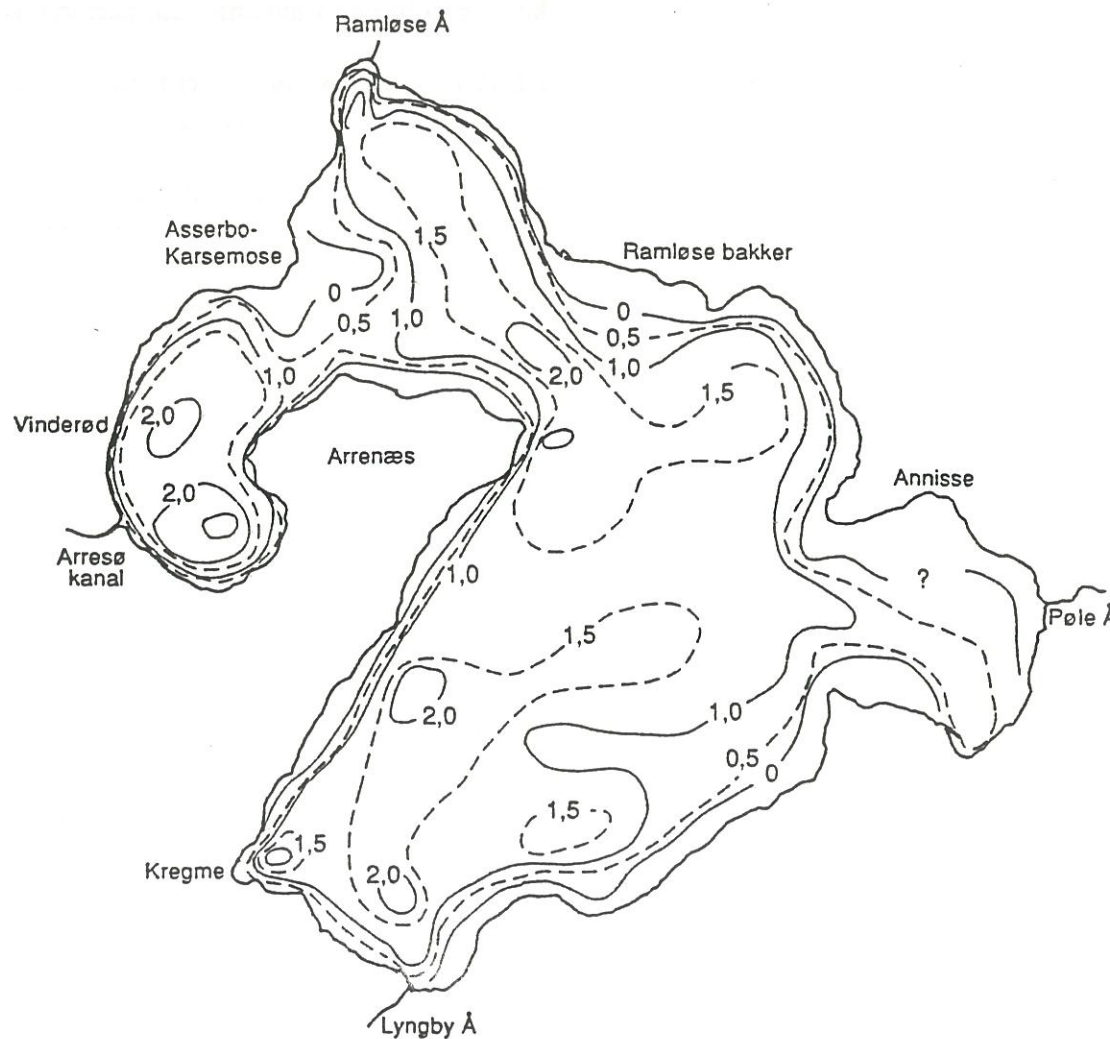
Figur 7.6 Årsvariation i koncentrationen af opløst silicium 1985-1991.

8.1 Sedimenttyper

Sedimentets sammensætning er kortlagt i 1988 ved udtagning af borekerner på i alt 98 stationer /2/.

Marin gytje

Fra afslutningen af den sidste istid og frem til for ca. 4500 år siden var Arresø en fjord med forbindelse til Kattegat. Aflejringerne fra denne periode består af marin gytje, der næsten overalt i søen er overlejret af ferskvandsgytje eller sand. Kun i et mindre område ud for Karsemose rager en knold af marine gytje iblandet sand op.



Figur 8.1 Ferskvandsgyttjens udbredelse og tykkelse i Arresø 1989. Fra /2/.

Ferskvandsgytje	Ferskvandsgytjen dækker i dag ca. 80 % af søens areal, og har en gennemsnitstykkelse på 1.2 m, se figur 8.1.
Sand/grusbund	I de vindeksponerede dele af søen findes der hård bund bestående af sand- og grusaflejringer. Det drejer sig typisk om den østlige bred. I de vindbeskyttede områder af søen, især mellem Vinderød og Arrenæs, består de øvre sedimentlag også i bredzonen af ferskvandsgytje.
Løst algelag	Overalt i søen består det øverste sediment af et løst pålejret grøn-blåt algelag med en største tykkelse på 5-10 cm i de dybeste eller mindst vindeksponerede områder. Dette lag har et meget stort vandindhold (ca 97 %) og er i perioder med kraftig blæst mere eller mindre resuspenderet.

8.2 Fysisk-kemisk karakteristik

Der er i 1988 udtaget sedimentprøver på 38 stationer med henblik på fastlæggelse af den horisontale og vertikale fordeling af fosfor, kvælstof, glødetab og tørvægt /2/. Følgende dybdefraktioner blev analyseret: 0-2, 2-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50 og 50-70 cm. Ved station AB2 mellem Vinderød og Arrenæs blev der desuden udtaget en borekerne helt ned til det marine sediment i godt 2 m's dybde.

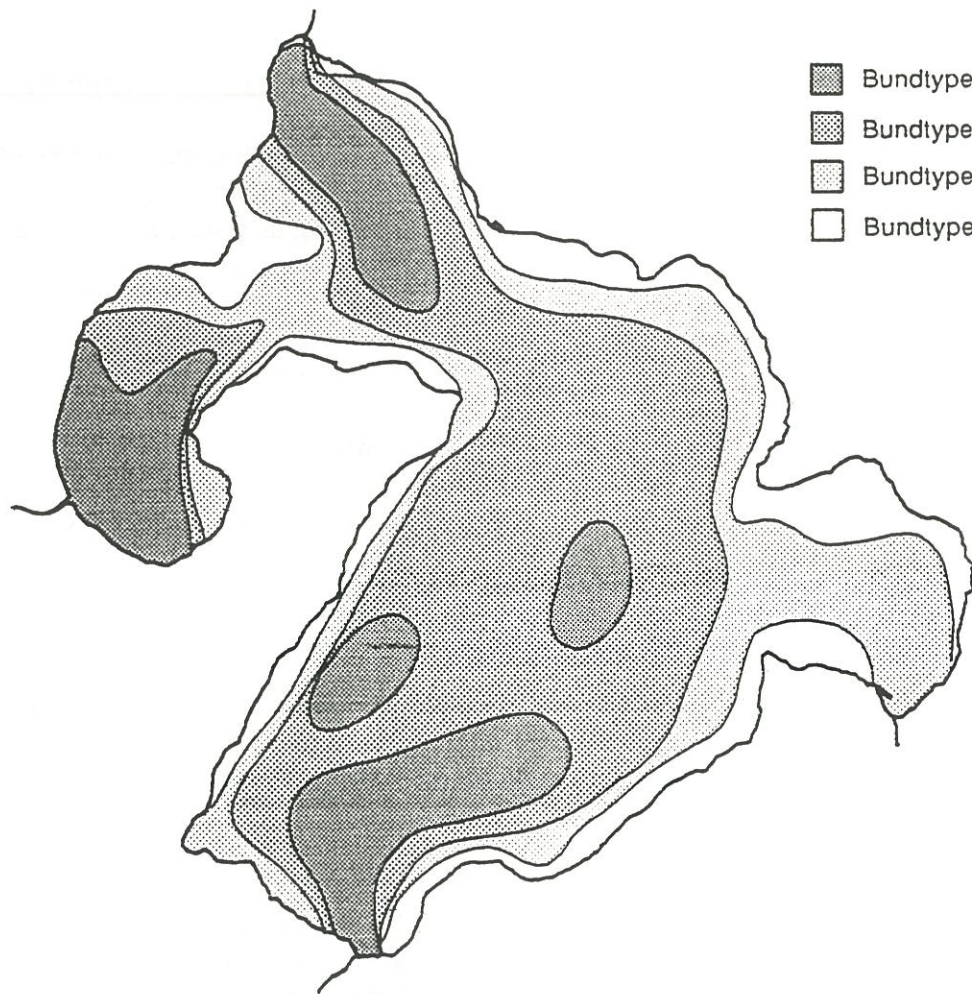
Generelt var der kun små variationer i næringssaltindholdet i de dybere områder af søen. Der var dog forskelle med hensyn til, hvor dybt nede i sedimentet fosforindholdet faldt til et lavt niveau.

Sedimenttyper	På baggrund af sedimentanalyserne blev sedimentet inddelt i 4 hovedtyper A-D. Grupperingen er foretaget således at type A udtrykker sediment med det højeste fosfor- og kvælstofniveau og det laveste tørstofindhold, se figur 8.2. Arealet af de forskellige typer blev opgjort. Nedenstående procentvise angivelser er arealet divideret med søens samlede areal fratrukket rørskov.
Type A	Ferskvandsgytje med meget lavt tørstofindhold, meget højt glødetab og højt fosfor- og kvælstofindhold. Dækker ca. 8.5 km ² , svarende til godt 21 % af søens areal.
Type B	Ferskvandsgytje med lavt tørstofindhold, højt glødetab og højt fosfor- og kvælstofindhold. Dækker ca. 16 km ² , svarende til godt 40 % af søens areal.
Type C	Ferskvandsgytje iblandet minerogent materiale. Moderat tørstofindhold, glødetab, fosfor- og kvælstofindhold. Dækker godt 8.5 km ² , svarende til knap 22 % af søens areal.

Type D

Hård bund med højt tørstofindhold, lavt glødetab og lavt fosfor- og kvælstofindhold. Dækker godt 6.5 km² svarende til ca. 16 % af søens areal

Sedimenttype A, B og C adskiller sig kun i mindre grad fra hinanden og udgør ca 84 % af det samlede sedimentareal (excl rørsump).



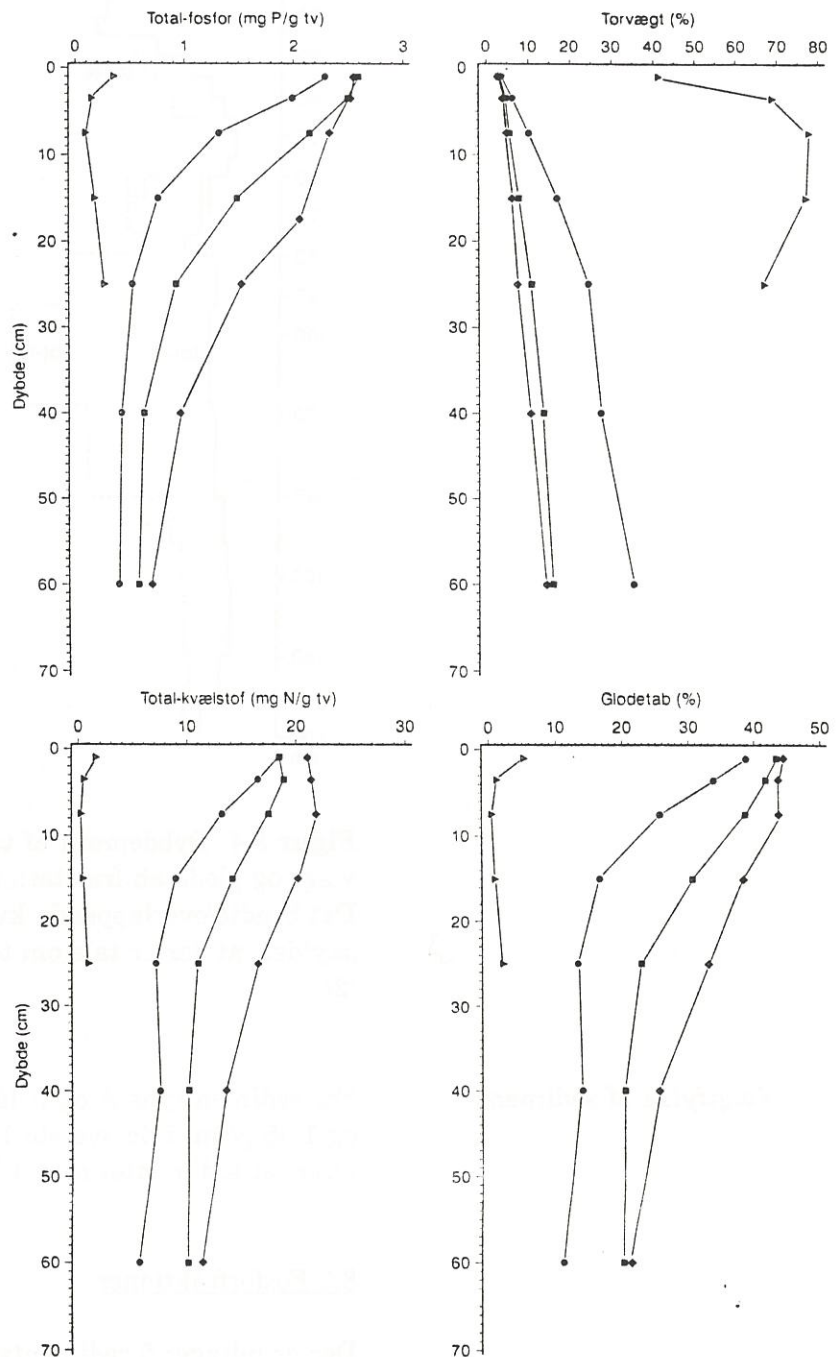
Figur 8.2 Udbredelsen af sedimenttype A-D. Fra /2/.

Typiske koncentrationer

På de store sedimentflader (type A og B) har overfladesedimentet (0-5 cm) et tørstofindhold på 3-4 %, et glødetab på 42-45 %, total-fosfor koncentrationer på 2.4-2.6 mg P/g tørvægt og total-kvælstof koncentrationer på 18-22 mg N/g tørvægt, se figur 8.3.

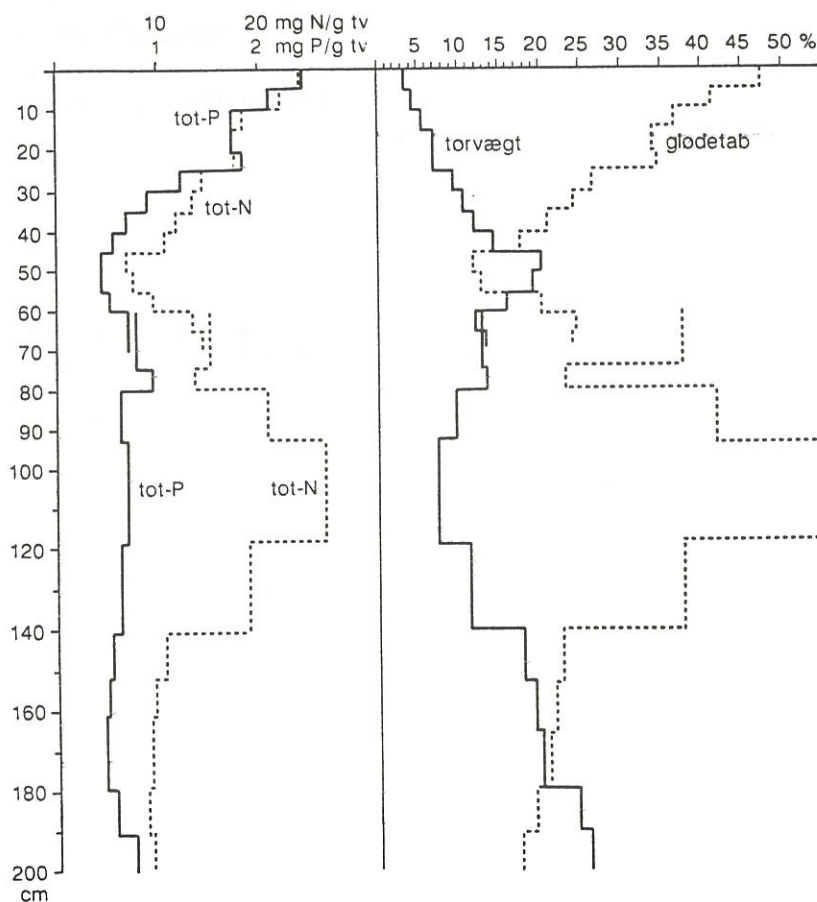
Dybere i sedimentet stiger tørstofindholdet typisk til omkring 10 %, mens glødetabet falder til omkring 20 %. Et konstant lavt fosforindhold med koncentrationer under 1 mg P/g tørvægt nås i 30-40 cm's dybde. Total kvælstofindholdet når ned på et niveau omkring 10-12 mg N/g tørvægt i 60 cm's dybde.

Sedimenttype D forekommer på erosionskysterne og i områder med sandbund. Næringssaltindholdet er meget lavt, med total-fosforkoncentrationer under 0.4 mg/g tørstof og kvælstofkoncentrationer under 2 mg/g tørstof.



Figur 8.3 Gennemsnitlige næringssaltkoncentrationer, glødetab og tørstofindhold i 0-60 cm's dybde for de 4 sedimenttyper. Fra /2/.

Fra omkring 60 cm's dybde ned til godt 2 m's dybde er fosforindholdet nogenlunde konstant med koncentrationer på 0.4-0.8 mg/g tørstof, mens kvælstofindholdet udviser en større variation med et markant maksimum i ca. 1.2 m's dybde, som følge af skift i undervandsvegetationens udbredelse, se figur 8.4.



Figur 8.4 Dybdeprofil af total-fosfor, total-kvælstof, tør-vægt og glødetab fra station AB2 beliggende ud for Ågabø. Det brudte/overlappende kurveforløb fra 60-70 cm's dybde skyldes, at der er tale om to forskellige sedimentsøjler. Fra /2/.

Vægtfylde af sediment

For sedimenttype A og B lå vægtfylden typisk mellem 1.01 og 1.05 g/cm³ i de øverste 10 cm. Den lave vægtfylde medfører, at sedimentet meget let ophvirvles.

8.3 Fosforfraktioner

Der er udtaget 5 sedimentsøjler, som repræsenterede forskellige repræsentative sedimenttyper sediment til bestemmelse af fosforfraktionerne. Fra hver station blev der ud-

taget 4 sedimentsøjler, og hver dybde blev puljet.

Der blev foretaget bestemmelse af følgende fosforfraktioner:

- løst adsorberet fosfor (ADS-P)
- jern- og aluminiumbundet fosfor (Fe-P)
- calcium- og magnesiumbundet fosfor (Ca-P)
- residual fosfor (Res-P). Res-P er udregnet som total-fosfor (Tot-P) - (ADS-P + Fe-P + Ca-P) og består af organisk bundet fosfor. Denne fraktion kan underinddeles i let bundet organisk fosfor (Org-Pl) og en hårdt bundet refraktær fosforfraktion (Org-Pr).

Variation

Fordelingen mellem de forskellige fosforfraktioner var nogenlunde ensartet ned gennem sedimentet på 4 af de 5 stationer. En station i bugten ved Pøleåens udløb adskilte sig dog væsentligt ved at have et højt minerogent indhold sammenlignet med gennemsnittet af de øvrige stationer for sedimenttype C, og blev derfor ikke benyttet til udregning af de gennemsnit, der er vist i tabel 8.1 og figur 8.5.

Tabel 8.1 Den gennemsnitlige koncentration (mg/g tørvægt af fosforfraktionerne i forskellige dybder (stationen ved Pøleåens udløb er ikke medtaget i beregningerne. Standardafvigelsen er angivet i parentes. Efter /2/.

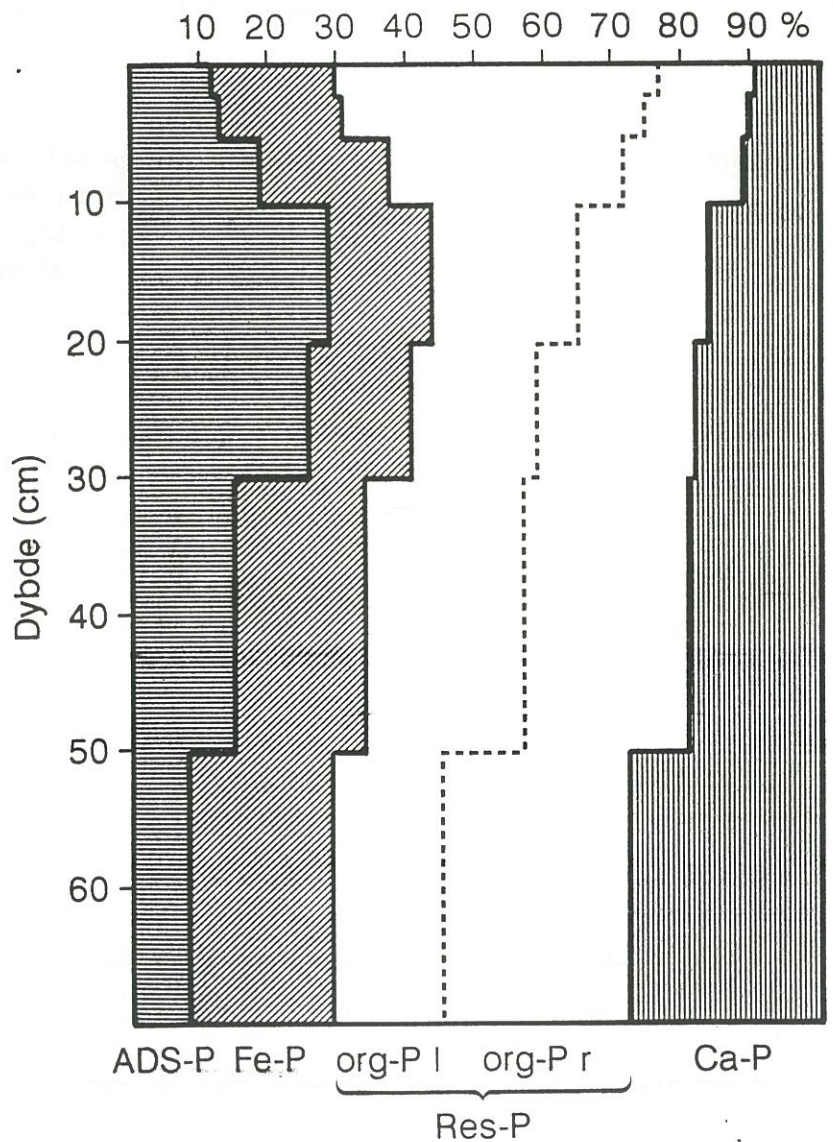
Dybde (cm)	Tot-P	ADS-P	Fe-P	Ca-P	Org-Pr	Res-P
0-2	2.65 (0.2)	0.32 (0.1)	0.47 (0.1)	0.24 (0.0)	0.37 (0.0)	1.62 (0.2)
2-5	2.63 (0.2)	0.35 (0.0)	0.50 (0.1)	0.27 (0.0)	0.40 (0.0)	1.51 (0.1)
5-10	2.36 (0.4)	0.44 (0.0)	0.44 (0.1)	0.25 (0.0)	0.40 (0.0)	1.23 (0.3)
10-20	1.78 (0.2)	0.51 (0.1)	0.26 (0.0)	0.29 (0.1)	0.34 (0.0)	0.74 (0.1)
20-30	1.40 (0.2)	0.37 (0.1)	0.21 (0.0)	0.25 (0.0)	0.32 (0.0)	0.58 (0.1)
30-50	0.91 (0.3)	0.14 (0.1)	0.17 (0.1)	0.17 (0.0)	0.22 (0.1)	0.38 (0.1)
Over 50	0.67 (0.2)	0.06 (0.1)	0.15 (0.1)	0.20 (0.0)	0.19 (0.1)	0.30 (0.1)

Organisk fosfor (Res-P)

Res-P eller organisk bundet fosfor udgjorde den største fosforfraktion, især i den øverste del af sedimentet (0-5 cm), hvor Res-P udgjorde mellem 55 og 60 % af total-fosfor. Dybere i sedimentet varierer indholdet mere og udgjorde mellem 30 og 50 % af total-fosfor. Det organisk bundne fosfor i overfladesedimentet stammer hovedsageligt fra sedimentation af organisk stof. Da sedimentsøjlerne blev udtaget i

maj, er det sandsynligt, at organisk bundet fosfor senere på året har udgjort en endnu større andel.

En stor del af det organisk bundne fosfor i det øvre sediment var potentielt frigiveligt til vandfasen (Org-Pl), mens hovedparten af den organisk bundne fosfor i de dybere lag var hårdt bundet (Org Pr). Andelen af hårdt bundet fosfor var relativt konstant ned gennem sedimentet, hvilket antyder, at en fast del af den organisk bundne fosfor er bundet i svært omsættelige organiske forbindelser.



Figur 8.5 Den relative fordeling af fosforfraktionerne (gennemsnit excl. stationen ved Pøleåens udløb). ADS-P er løst bundet fosfor. Fe-P jernbundet fosfor. Ca-P calciumbundet fosfor. Res-P er udregnet som Tot-P fratrukket (ADS-P + Fe-P + Ca-P) og består af en let bundet fraktion (Org-Pl) og en refraktært bundet fraktion (Org-Pr).

Løst bundet fosfor (ADS-P)	Løst bundet fosfor udgjorde mellem 10 og 30 % af total-fosfor i de øverste 30 cm. Puljen af løst bundet fosfor er generelt lav i søsedimenter. Det høje indhold i Arresø kan skyldes, at der er et stort indhold af organisk stof i de øvre sedimentlag, og at fosfor er løst bundet i denne organiske stofpulje.
Jernbundet fosfor (Fe-P)	I de øverste 10 cm udgjorde jernbundet fosfor ca 20 % af total-fosforindholdet, mens andelen dybere i sedimentet var ca. 15 %. Den jernbundne fosforpulje er forholdsvis lav i Arresø i forhold til andre eutrofierede søer, hvilket skyldes at jernindholdet er lavt i sedimentet - under 10 mg/g tør-vægt.
Calciumbundet fosfor (Ca-P)	Denne fraktion udgjorde ca. 10 % af total-fosforindholdet i de øvre 10 cm, og omkring 20 % i det dybere sediment.

8.4 Udvekselig fosforpulje

På baggrund af fosforfraktioneringen er det muligt at estimere hvor stor en del af sedimentets fosforpulje, der kan frigives til vandfasen. Puljen af løst bundet fosfor og en stor del af den organisk bundne pulje anses generelt for frigivelig, hvorimod den jernbundne fosfors mobilitet i høj grad afhænger af pH- og iltforholdene i de øverste sedimentlag. Til den ikke udvekselbare pulje regnes refraktært bundet organisk fosfor og calciumbundet fosfor, der ikke er frigiveligt ved de pH værdier der findes i Arresø.

Den udvekselige fosforpulje som procent af totalpuljen for forskellige sedimentdybder i Arresø er vist i tabel 8.2.

Udvekselig sedimentdybde	Det var ikke muligt at afgøre fra hvilke dybder i sedimentet fosfor kunne forventes frigivet. Erfaringer fra andre søer antyder, at fosfor vil kunne frigives ned til en dybde af mindst 10 cm. Målinger af resuspensionen i Arresø viste, at de øverste 4 cm af sedimentet kunne ophvirvles under kraftig blæst, og det blev derfor antaget, at den udvekselige fosforpulje strakte sig ned til 15 cm.
Puljestørrelse	Det blev vurderet, at udl var den mest realistiske beskrivelse af udvekslingsforholdene i Arresø. Under denne forudsætning var den gennemsnitlige udvekselige fosforpulje 11 g P/m ² i 1988. Den nedre og øvre grænse for dette estimat var henholdsvis 7 og 16 g P/m ² , svarende til omkring 430 (280-630) t udvekseligt fosfor totalt i hele søen. Den eksterne fosforbelastning i 1989 var 27.2 t, og den potentielt frigivelige fosforpulje i sedimentet var således næsten 16 gange større end den eksterne fosfortilførsel.

Tabel 8.2 Den udvekselige fosforpulje angivet som procent af total-fosfor. Den første kolonne (ud1) er baseret på den antagelse, at puljerne af ADS-P, Org-P1 og Fe-P er udvekselige. For (ud2) er det antaget, at den udvekselige pulje kun består af ADS-P og Org-P1, mens det under forudsætning ud3 er antaget, at koncentrationer over 1 mg P/g tørvægt kan frigives. Ud1 og ud2 er baseret på fraktioneringen, mens ud3 er baseret på samtlige målinger. Efter /2/.

Dybde (cm)	ud1 (%)	ud2 (%)	ud3 (%)
0-2	77	59	61
2-5	75	56	60
5-10	72	48	57
10-20	65	50	50
20-30	59	44	34
30-50	57	38	0

9. PLANTEPLANKTON

Alle planteplanktonprøver i perioden 1985-1991 er udtaget på station 1690, se figur 6.1. Prøverne er udtaget som blandingsprøver fra den fotiske zone.

9.1 Artssammensætning

Planteplanktonsamfundet i Arresø var i hele perioden 1985-91 artsfattigt - der blev fundet 55-78 arter/slægter.

Planteplanktonet var domineret af arter, der er typiske for eutrofe søer. Det drejer sig om blågrønalger (5-11 arter), centriske kiselalger (2-4 arter), øjealger (1 art) og chlorococcale grønalger (28-43 arter). Kun få arter tilhørte de såkaldte "rentvandsgrupper", furealger (0-3 arter), gulalger (0-2 arter), gulgrønalger (1-2 arter) og desmidiace-grønalger (1-4 arter).

Planteplankton, antal arter/slægter 1985-91.

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Blågrønalger							
kolonidannende	5	6	7	7	8	8	11
trådformer med heterocyster	2	2	2	1	2	3	2
trådformer uden heterocyster	4	3	3	3	2	4	4
Rekylalger	2	3	3	3	2	1	3
Furealger	-	2	2	2	1	1	3
Gulalger	-	-	1	2	-	-	-
Kiselalger							
centriske	2	2	2	4	3	4	2
pennate	4	4	3	8	6	9	6
Gulgrønalger	1	1	1	1	1	1	2
Stilkalger	-	-	1	1	1	-	-
Øjealger	1	1	-	-	1	-	1
Grønalger							
volvocales	1	2	3	2	2	1	1
chlorococcales	31	32	31	28	33	43	32
ulotrichales	-	1	-	1	2	1	2
desmidiaceae	2	3	1	4	3	2	4
Total	55	61	60	67	67	78	70

Tabel 9.1 Planteplanktonets artssammensætning i Arresø 1985-91.

Der er sket en fordobling i antallet af pennate kiselalger fra perioden 1985-87 til 1988-91. Der var tendens til et stigende antal arter af blågrønner gennem undersøgelsesperioden. Det skyldes dels en reel stigning i artsantallet, og dels en ny blågrønner-systematik, der har muliggjort artsbestemmelse af flere blågrønner. Det højere antal chlorococcale grønner i 1990 skyldes især, at slægten *Scenedesmus* og *Monoraphidium*-lignende arter i 1990 var opdelt i flere arter end i resten af undersøgelsesperioden.

Grønner

Den mest kvantitativt vigtigste grønner var den ca. 2 μm store chlorococcale grønner *Chlorella* sp., der udgjorde langt hovedparten af grønnerbiomassen det meste af året i alle 7 undersøgelsesår. Næstvigtigste grønner var *Scenedesmus* spp., der ligeledes fandtes i hele undersøgelsesperioden. *Chlorella* og *Scenedesmus* er små hurtigtvoksende arter, der ofte optræder i masseforekomst i hypereutrofe lavvandede søer.

Blågrønner

I 1985, 1988 og 1990 udvikledes i sommer- og efterårsperioden en kraftig vandblomst af kolonidannende blågrønner. *Microcystis wesenbergii* var i alle tilfælde den dominerende art. I 1985 var *Microcystis aeruginosa* den subdominerende art, og i 1988 var det blågrønnerlignende kolonier med 1-2 μm store celler og i 1990 flere trådformede blågrønner, især *Planktolyngbya contorta*.

I 1986, 1987 og 1989 var de vigtigste arter blågrønnerlignende kolonier (celler 1-2 μm) og *Microcystis wesenbergii*, mens de vigtigste blågrønner i 1991 var trådformede arter, bl.a. *Anabaena cf. cylindrica* og *Planktolyngbya subtilis*.

Giftige blågrønner

I 1985 blev der isoleret en toksisk stamme af *Microcystis aeruginosa*. Denne var sandsynligvis årsag til flere aborttilfælde hos kvier, der havde drukket vand fra søen. Siden har der ikke været rapporter om forgiftningstilfælde i forbindelse med blågrønneropblomstring i Arresø. *Microcystis aeruginosa* udgjorde i 1985 33 % af den gennemsnitlige blågrønnerbiomasse, men har ikke siden spillet nogen kvantitativ rolle.

Kiselalger

Kiselalgerne sæsonvariation udviste typisk et 2-toppet forløb med et forårsmaksimum bestående af *Stephanodiscus hantzschii* og et efterårsmaksimum, der i 1985-87 bestod af *Melosira granulata* og siden skiftevis af *Synedra acus* og *Nitzschia* sp..

Planteplankton 1985-91

Planteplanktonsamfundet må i hele undersøgelsesperioden karakteriseres som artsfattigt og hypereutroft med kvantitativ dominans af ganske få arter. Der er registreret en

ændring fra perioden 1985-87 til perioden 1988-91, som måske er den første spæde start på en udvikling mod et mindre eutroft samfund. Antallet af pennate kiselalger er fordoblet, og kvælstoffikserende blågrønalger har fået en lidt større betydning.

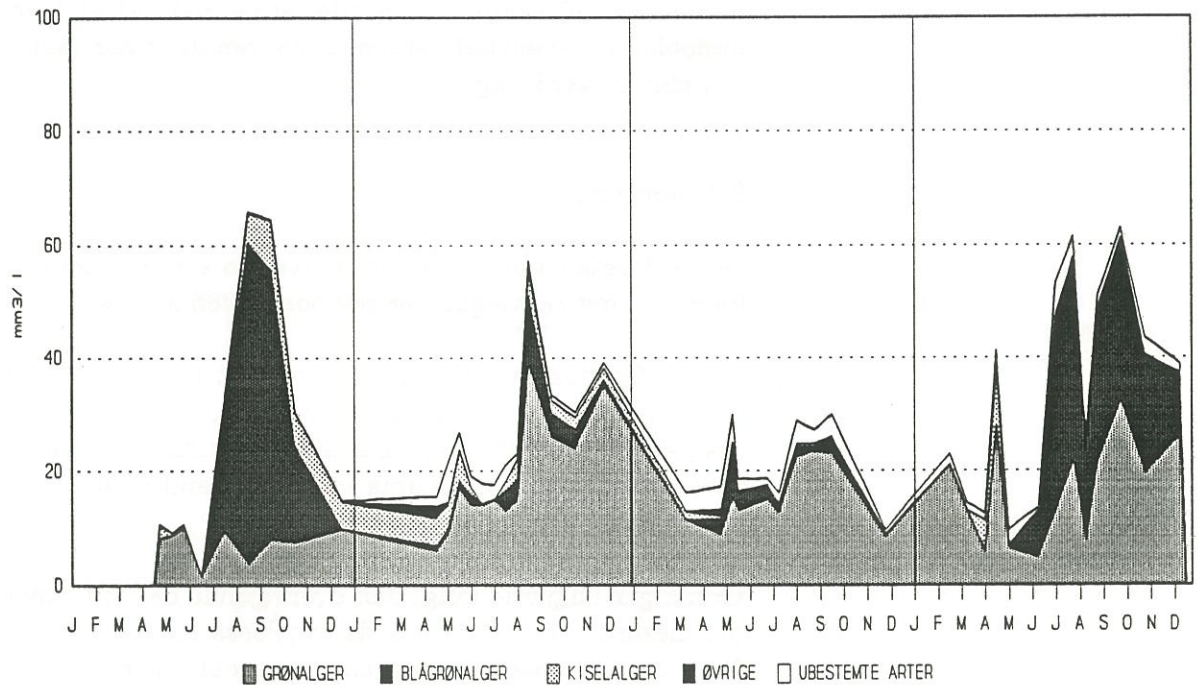
9.2 Biomasse

Der er foretaget opgørelse af biomassen som volumen ($\text{mm}^3/\text{l} = \text{mg vådvægt/l}$) for perioden 1985-91 /24/.

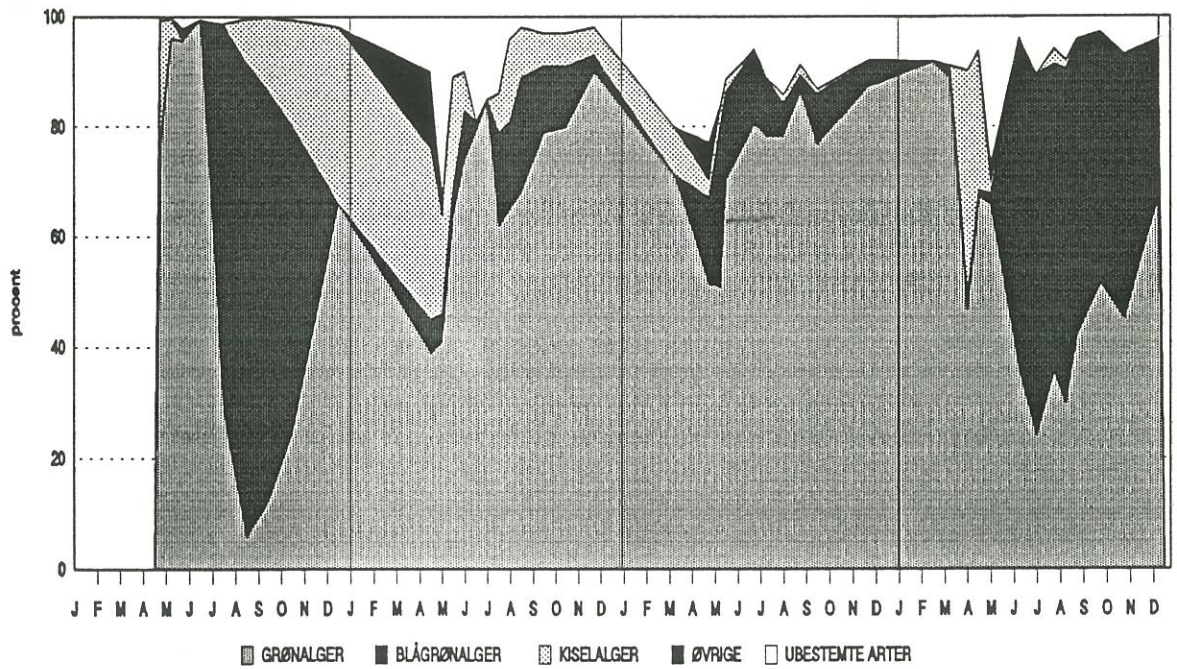
Typisk fandtes en cyklus med et med et 1-2 toppet forårsmaksimum og et ofte meget større 1-2 toppet sommer-efterårsmaksimum. I 1991 afveg sæsonvariationen fra dette mønster, idet forårsmaksima var højere end efterårsmaksima, se figur 9.1.

Grønalger udgjorde langt den overvejende del af biomassen det meste af året i alle 7 undersøgelsesår. I 1985, 1988 og 1990 udgjorde blågrønalger en stor andel i sommer- og efterårsperioden, og kiselalger udgjorde en væsentlig andel forår og efterår 1985-86 og forår 1988 og 1991.

ARRESØ 1985-1988
 PLANTEPLANKTONBIOMASSE

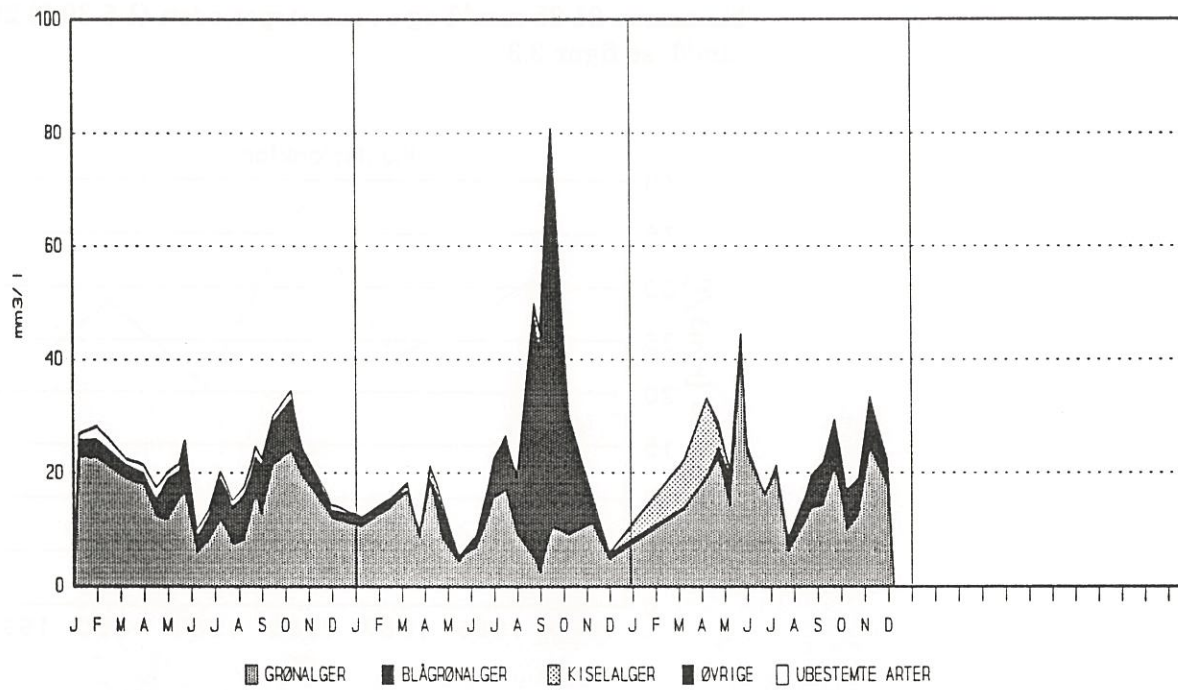


ARRESØ 1985-1988
 PLANTEPLANKTONBIOMASSE

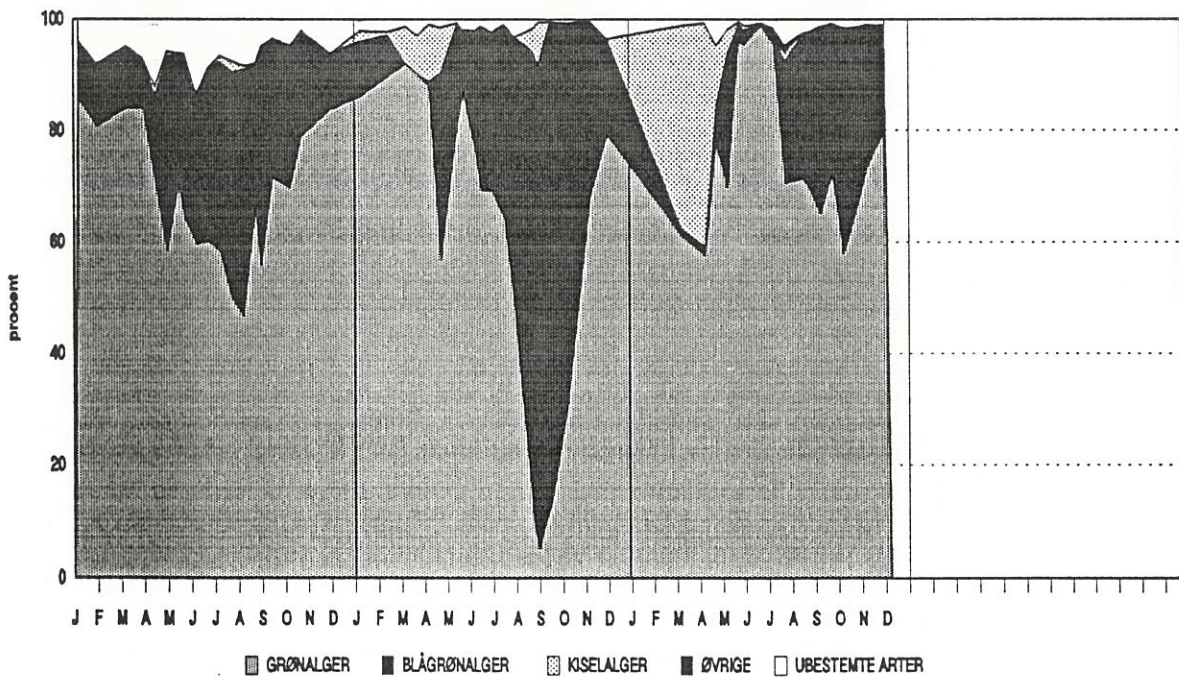


Figur 9.1 Planteplanktonbiomasse 1985-88. Volumen (mm^3/l) og procentvis fordeling på algegrupper. Fra /24/.

ARRESØ 1989-1991
 PLANTEPLANKTONBIOMASSE

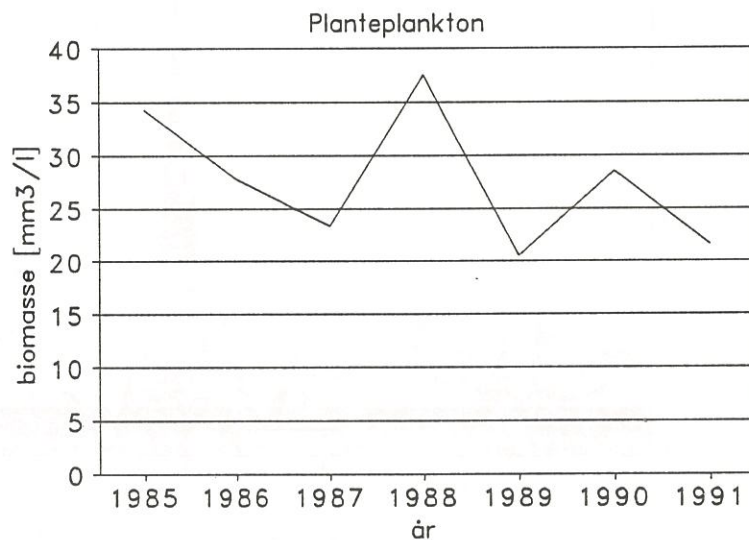


ARRESØ 1989-1991
 PLANTEPLANKTONBIOMASSE



Figur 9.2 Planteplanktonbiomasse 1989-91. Volumen (mm³/l) og procentvis fordeling på algegrupper. Fra /24/.

Biomasse gennemsnit 1985-91 Den gennemsnitlige planteplanktonbiomasse var meget høj i alle 7 år. I den produktive periode (marts-oktober) var biomassen 21-35 mm³/l og i sommerperioden (1.5-30.9) 20-37 mm³/l, se figur 9.3.



Figur 9.3 Biomasse (mm³/l), sommergennemsnit (1.5-30.9) 1989-1991.

9.3 Klorofyl a

Generelt var der i perioden 1985-91 sammenhæng mellem algebiomassen og klorofyl a-koncentrationen. Dog optrådte der alle årene et biomassemaksimum, der ikke blev modsvaret af et klorofyl a-maksimum eller omvendt.

Klorofyl a/volumenforhold

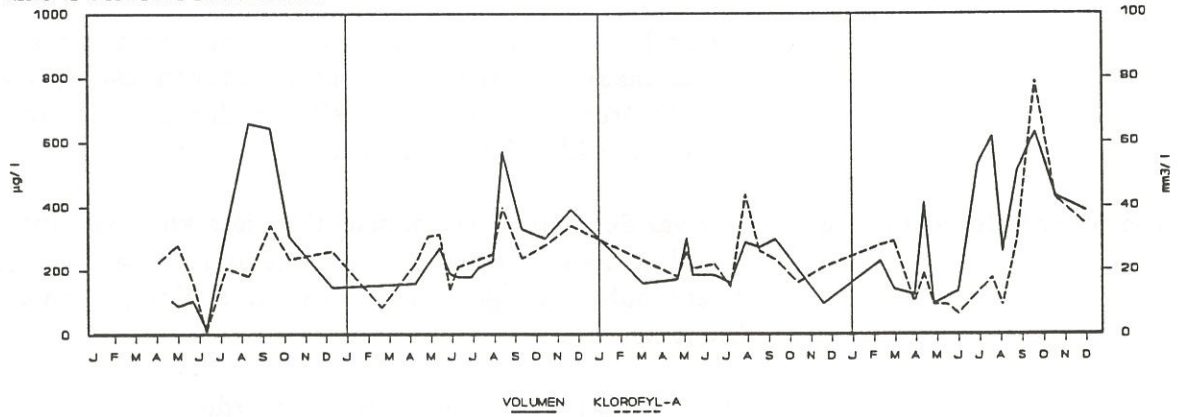
Der var de fleste år en tendens til højere klorofyl a-indhold pr volumenenhed i vintermånederne, hvilket sandsynligvis er et resultat af algerne tilpasning til dårlige lysforhold og lav temperatur.

Der var også en tendens til lavere værdier under blågrønalgemaksimum specielt i 1985 og 1988 og til dels i 1990.

I danske søer er der ofte fundet lavere klorofyl a-koncentrationer pr volumenenhed under blågrønalgemaksimum. De mulige årsager hertil er: at klorofyl a-indholdet rent faktisk er lavere i blågrønalger, at den stive gelé omkring kolonidannende blågrønalger vanskeliggør klorofyl a-ekstraktion, eller at biomassen af blågrønalger kan være overestimeret. Cellerne ligger mere eller mindre spredt i en fælles gelé, og biomassen er derfor ved beregningerne reduceret med en skønnet faktor.

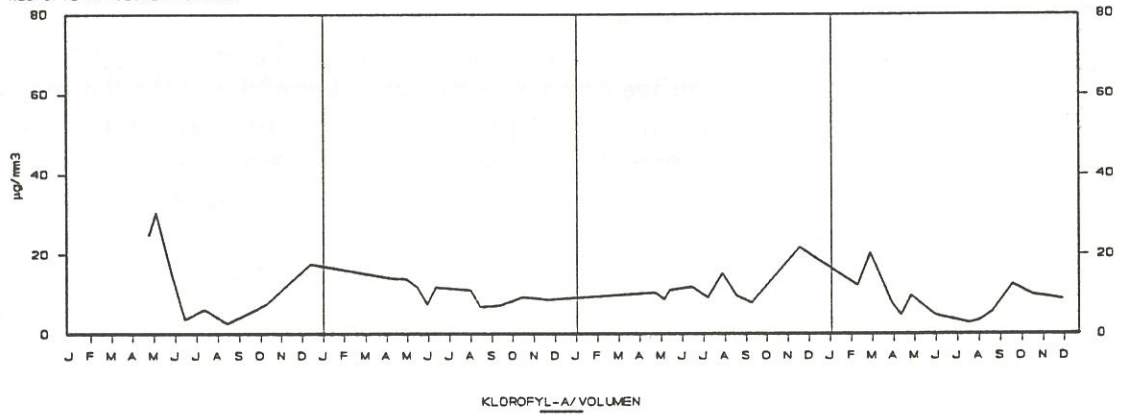
ARRESØ 1985-1988

KLOROFYL-A OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



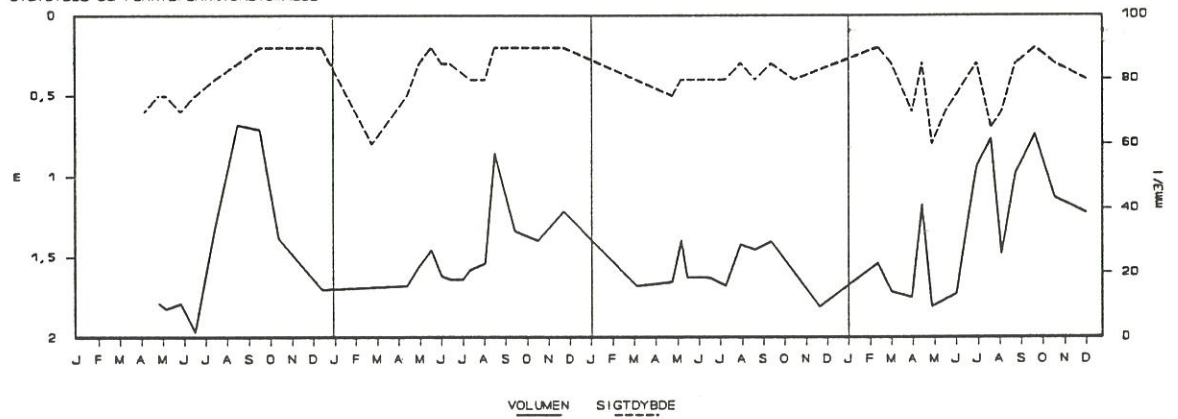
ARRESØ 1985-1988

KLOROFYL-A/VOLUMEN FORHOLD



ARRESØ 1985-1988

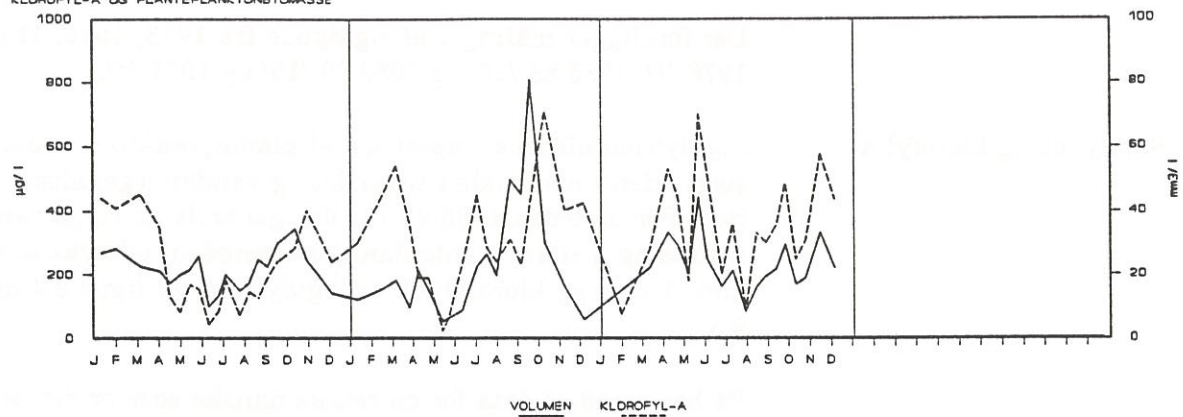
SIGTDYBDE OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



Figur 9.4 Arresø 1985-88. Øverst: Planteplanktonbiomasse (mm^3/l) og klorofyl a ($\mu\text{g}/\text{l}$). I midten: Klorofyl a pr volumenenhed ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$). Nederst: Planteplanktonbiomasse (mm^3/l) og sigtdybde (m).

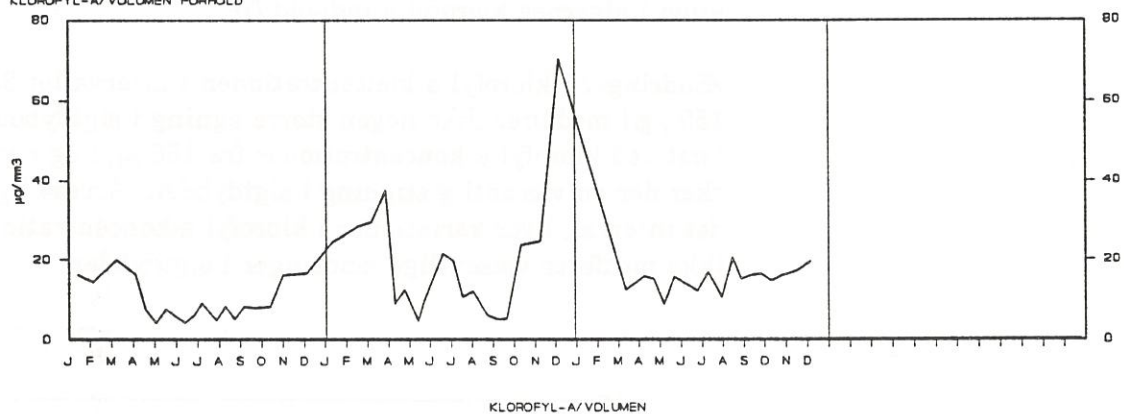
ARRESØ 1989-1991

KLOROFYL-A OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



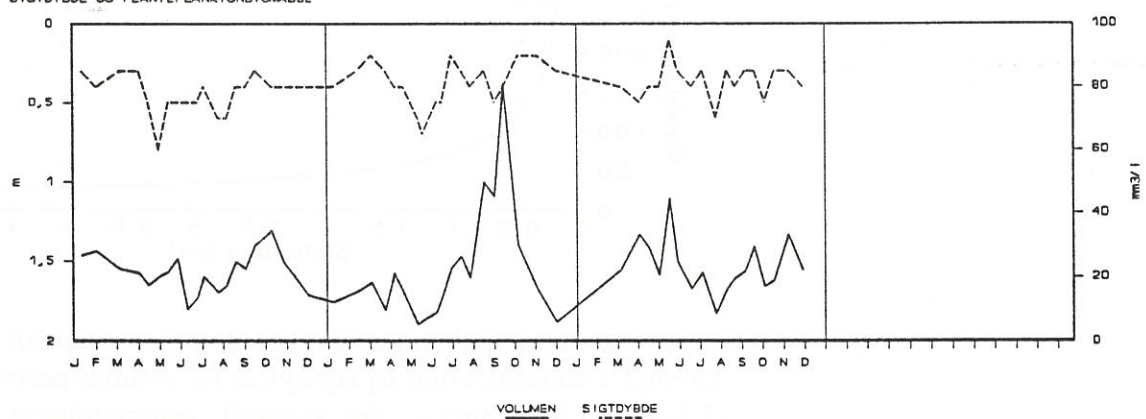
ARRESØ 1989-1991

KLOROFYL-A/VOLUMEN FORHOLD



ARRESØ 1989-1991

SIGTDYBDE OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



Figur 9.5 Arresø 1989-91. Øverst: Planteplanktonbiomasse (mm^3/l) og klorofyl a ($\mu\text{g}/\text{l}$). I midten: Klorofyl a pr volumen (enhed) ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$). Nederst: Planteplanktonbiomasse (mm^3/l) og sigtdybde (m). Fra /24/

9.4 Sigtdybde

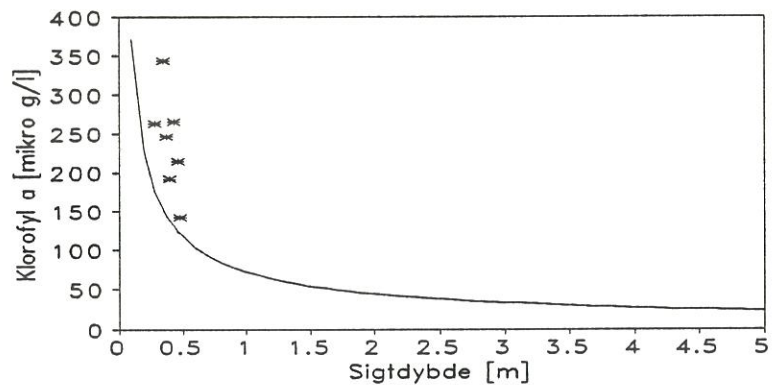
Der foreligger målinger af sigtdybde fra 1973, 1976, 1977, 1978 /1/, 1985-88 /18/ og 1989-90 /15/ og 1991 /4/.

Sigtdybde og klorofyl a

Sigtdybden afspejler mængden af planteplankton, andet suspenderet materiale i søvandet og vandets egenabsorption. For perioden 1985-91 var der generelt en ringe sammenhæng mellem planteplanktonmængden, udtrykt som mm^3/l eller μg klorofyl a/l, og sigtdybden, se figur 9.4 og 9.5.

På baggrund af data for en række danske søer er der opstillet en sammenhæng mellem sigtdybde og klorofyl a, se figur 9.6. Sammenhængen er usikker på grund af stor variation i algernes klorofyl a indhold /7/.

Ændringer i klorofyl a koncentrationen i intervallet 350-150 $\mu\text{g}/\text{l}$ medfører ikke nogen større øgning i sigtdybden, først ved klorofyl a koncentrationer fra 150 $\mu\text{g}/\text{l}$ og nedefter sker der en væsentlig stigning i sigtdybden. Arresø ligger i det interval, hvor variationer i klorofyl a-koncentrationen ikke medfører væsentlige ændringer i sigtdybden.

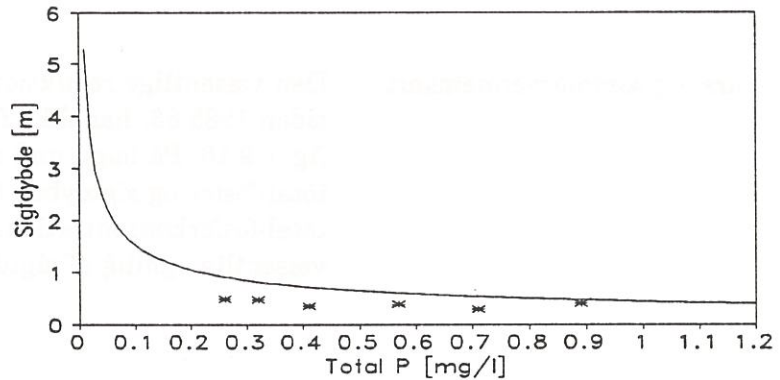


Figur 9.6 Sammenhængen mellem den gennemsnitlige klorofyl a-koncentration og sigtdybde for sommerperioden (1.5-30.9). Linjen angiver den generelle sammenhæng opstillet på baggrund af data fra 89 danske søer - Klorofyl a = $72 \times \text{sigtdybde}^{\text{exp. } -0.71}$ /7/. De målte sammenhænge for Arresø 1985-91 er angivet med stjerne (*).

Sigtdybde og total-fosfor

Planteplanktonmængden i danske søer er væsentligst styret af fosforniveauet, og kan derfor udtrykt som sigtdybde relateres til fosforkoncentrationen. Den generelle sammenhæng mellem total-fosfor og sigtdybde er vist i figur 9.7. I forhold til den generelle relation for danske søer er sigtdybden i Arresø lavere end forventeligt vurderet ud fra

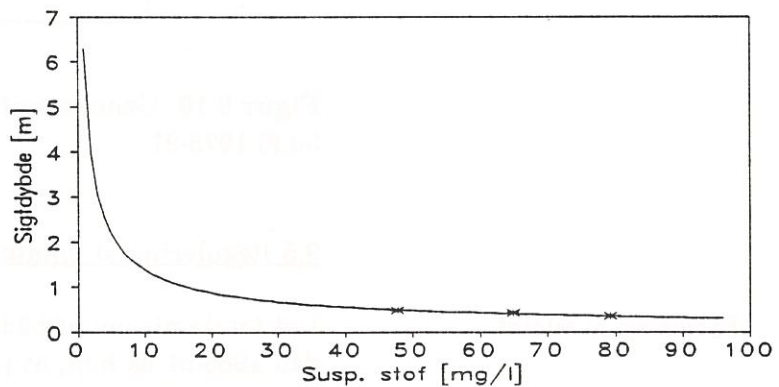
fosforkoncentrationen. Det indikerer, at andre faktorer end planteplanktonmængden har betydning for sigtddybden. Resuspension af dødt organisk materiale er således af væsentlig betydning for sigtddybden i Arresø.



Figur 9.7 Sammenhængen mellem den gennemsnitlige total-fosforkoncentration og sigtddybde for sommerperioden (1.5-30.9). Linjen angiver den generelle sammenhæng opstillet på baggrund af data fra 89 danske søer - Sigtdybde = $0.44 \times \text{fosforkoncentration}^{\text{exp. } -0.64}$ /7/. De målte sammenhænge for Arresø 1985-91 er angivet med stjerne (*).

Sigtddybde og suspenderet stof

Sammenhængen mellem den samlede mængde suspenderet stof (plankton og dødt organisk materiale) i vandfasen og sigtddybden for Arresø følger således også nøje den generelle sammenhæng for danske søer, se figur 9.8. I øvrigt fremgår det af figuren, at der skal ske en meget kraftig reduktion i mængden af suspenderet stof, før der kan forventes en afgørende forbedring af sigtddybden.



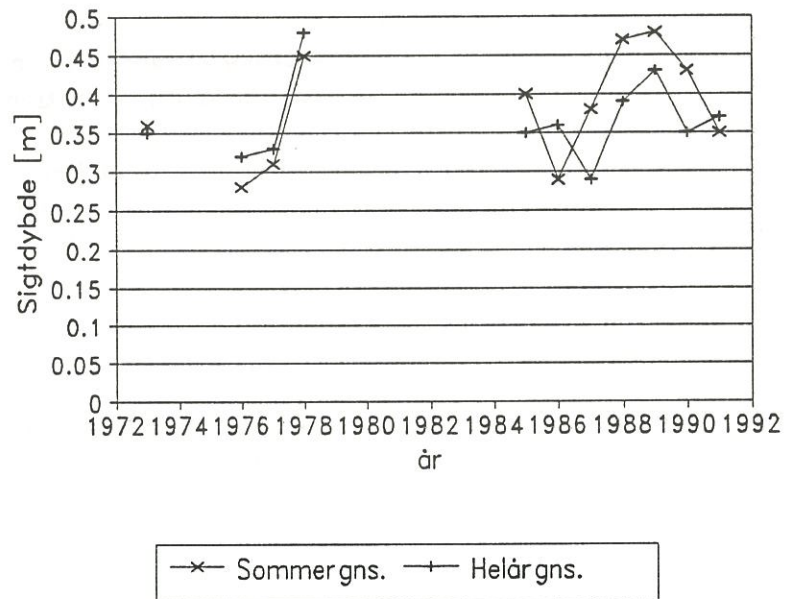
Figur 9.8 Sammenhængen mellem den gennemsnitlige mængde suspenderet stof og sigtddybde for sommerperioden (1.5-30.9). Linjen angiver den generelle sammenhæng opstillet på baggrund af data fra 89 danske søer - Sigtdybde = $6.3 \times \text{suspenderet stof}^{\text{exp. } -0.66}$ /7/. De målte sammenhænge for Arresø 1989-91 er angivet med stjerne (*).

Årsvariation i sigtddybde

Sigtddybden i Arresø varierer i perioden 1985-91 mellem 0.2 og 0.8 m, se figur 9.5. Planteplanktonbiomassens størrelse er af betydning for årsvariationen i sigtddybden, men også periodisk resuspension af dødt organisk materiale spiller en væsentlig rolle.

Års- og sommergennemsnit

Den væsentlige reduktion af fosforbelastningen, der er sket siden 1985-86, har ikke ført til en øgning i sigtddybden, se figur 9.10. På baggrund af den generelle relation mellem total-fosfor og sigtddybde for danske søer kan der først for total-fosforkoncentrationer under ca. 0.15 mg/l forventes en væsentlig øgning af sigtddybden, se figur 9.7.



Figur 9.10 Gennemsnitlig sigtddybde år og sommer (1.5-30.9) 1973-91.

9.5 Regulering af planteplanktonbiomassen

Fosfor og kvælstof

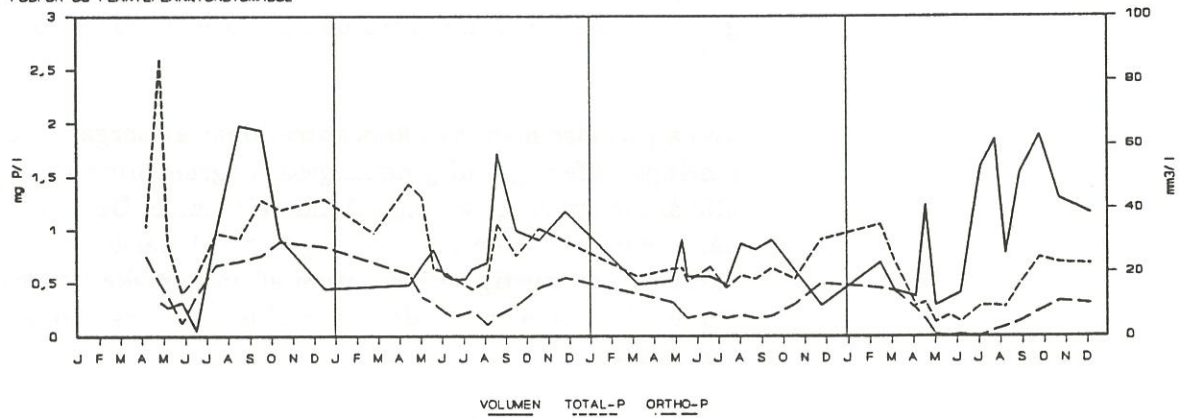
Det totale niveau af både fosfor og kvælstof var i hele perioden 1985-91 så højt, at planteplankton generelt ikke var næringsstofbegrænset, se figur 9.11.

Der er sket et markant fald i koncentrationen af total-fosfor og opløst fosfor i perioden 1985-88, og fra 1988 til 1991 fandtes kortere perioder forår og sommer med lave koncentrationer af opløst fosfor. Mangel på uorganisk fosfor kan have lagt en vis dæmper på udviklingen af biomassemaksima i disse perioder.

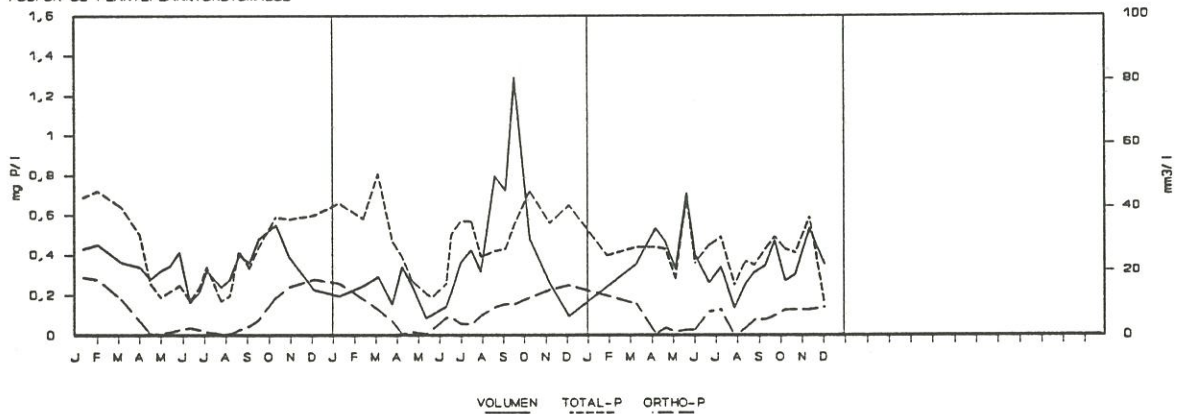
Mangel på uorganisk kvælstof kan have haft en vis begrænsende effekt i juni 1986 og i perioder forår og sommer 1987.

Trods perioder med lave koncentrationer af uorganiske næringsstoffer og mulig næringssaltbegrænsning blev der alle årene opbygget en høj stående biomasse. Dette tyder på, at der er sket en hurtig optagelse af tilførte næringsstoffer, og en hurtig recirkulation af uorganiske næringsstoffer. Arressø er lavvandet og totalomrørt langt hovedparten af året.

ARRESØ 1985-1988
FOSFOR OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



ARRESØ 1989-1991
FOSFOR OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE

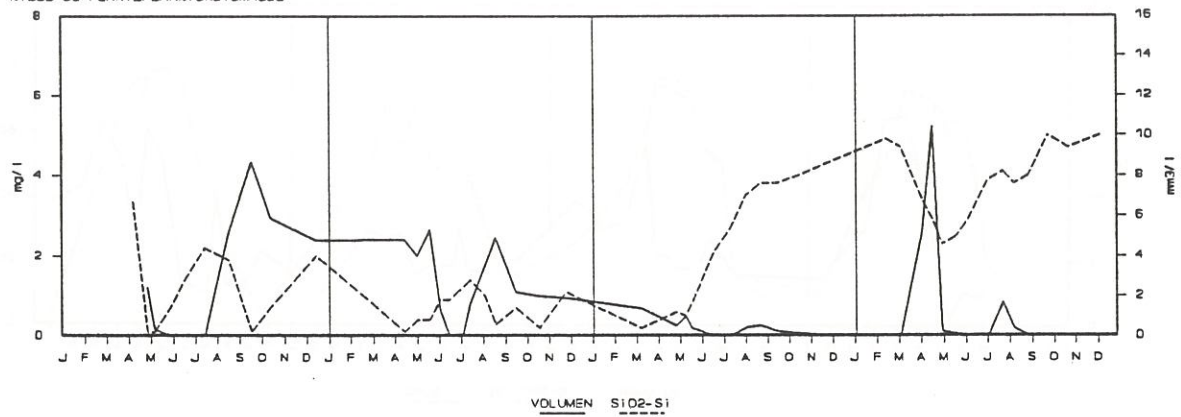


Figur 9.11 Planteplanktonbiomasse (mm^3/l), total-fosfor og opløst fosfor 1985-1991. Bemærk at koncentrationsangivelserne for total-fosfor på y akserne ikke er ens. Fra /24/.

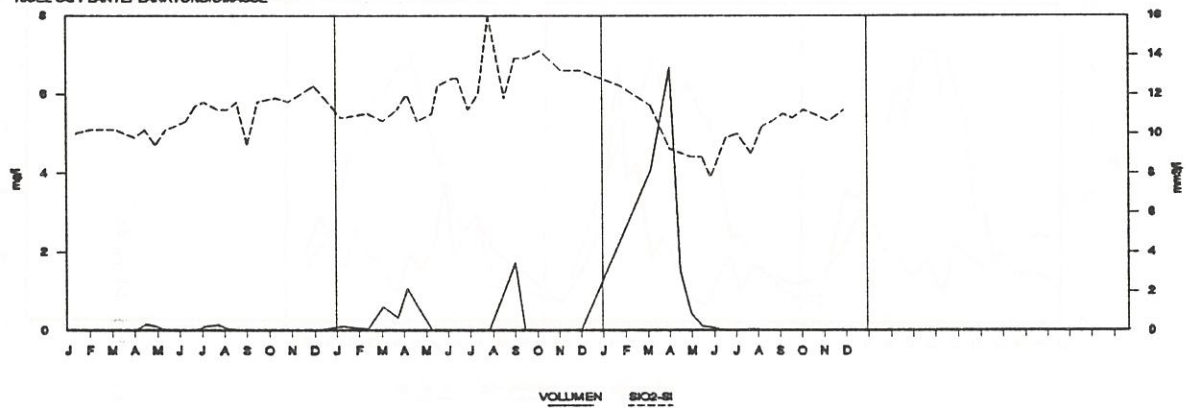
Silicium

I korte perioder forår og efterår 1985 og 1986 fandtes meget lave koncentrationer af opløst silicium under kiselalgemaksima. I april-maj og september 1985, samt i april 1986 var silicium begrænsende for kiselalgerne vækst, se figur 9.12. Fra sommeren 1987 og frem har silicium ikke været begrænsende.

ARRESØ 1985-1988
KISEL OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



ARRESØ 1989-1991
KISEL OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



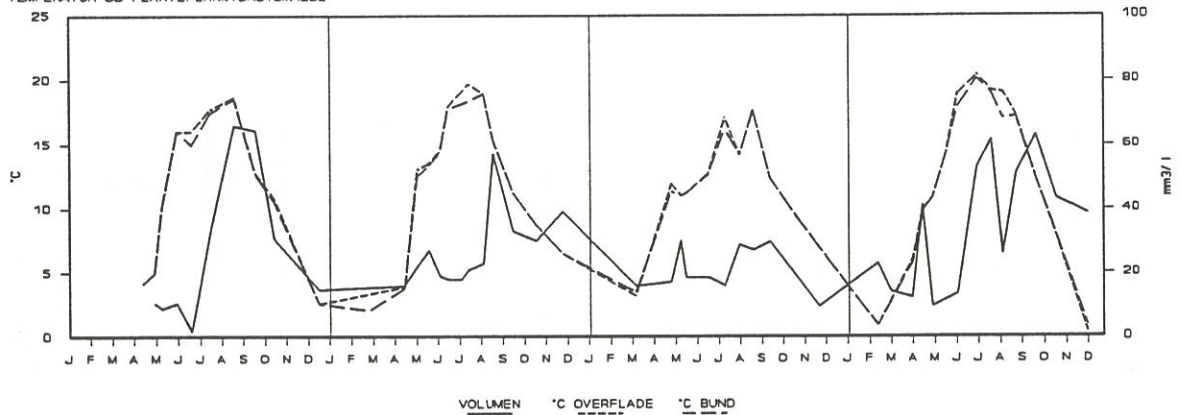
Figur 9.12 Kiselalgebiomasse (mm^3/l) og opløst silicium, 1985-1991. Fra /24/.

Temperatur

Planteplanktonmaksima fandtes typisk i den varmere periode af året, men der var tilsyneladende ingen generel sammenhæng mellem de fundne temperaturmaksima og planteplanktonmaksima. I 1987 var sommeren specielt kold, og det har sikkert været medvirkende årsag til at undersøgelsesperiodens laveste maksimale biomasse fandtes dette år, se figur 9.13.

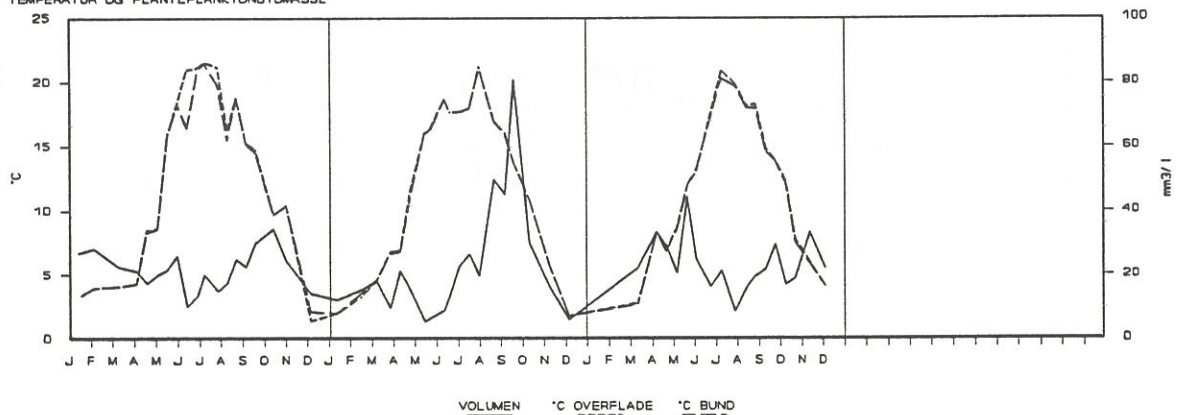
ARRESØ 1985-1988

TEMPERATUR OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



ARRESØ 1989-1991

TEMPERATUR OG PLANTEPLANKTONBIOMASSE



Figur 9.13 Planteplanktonbiomasse (mm^3/l) og temperatur (overflade og bund) 1985-1991. Fra /24/.

For 1988-90 foreligger der biomasseopgørelser for vintermånederne januar-februar. Alle tre år var vinteren meget mild og planteplanktonbiomassen usædvanlig høj for årstiden.

Søen var i størstedelen af året fuldt opblandet. Dog optrådte der i alle årene, bortset fra 1990, på enkelte tidspunkter i sommerperioden en temperaturgradient mellem overflade og bund større end $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, se figur 6.2.

Masseopblomstring af blågrønalger sker ofte i forbindelse med stagnationsperioder sommer og efterår. I Arresø forekom der kraftig opblomstring af blågrønalger i 1985 og 1988 efter stagnationsperioder med en temperaturgradient overflade-bund på mindst $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

I 1990 optrådte der et meget højt maksimum af blågrønalger i august-september, men der blev ikke registeret nogen nævneværdig temperaturgradient. Vindstatistiken fra flyvestation Værløse viser, at der fra midt i juli til midt i september 1990 optrådte en periode med relativt lave vindhastigheder. Der kan således i dette tidsrum have været en

ustabil stagnationsperiode, der ikke er blevet registreret på prøvetagningsdagen.

I juni-juli 1989 var der tydelige stagnationsperioder, der ikke blev efterfulgt af massiv blågrønalgopblomstring. Dette år har længere perioder med meget lave koncentrationer af opløst fosfor muligvis dæmpet blågrønalgernes vækst.

Dyreplanktongræsning

For perioden 1989-91 er der foretaget en vurdering af planteplanktonets egnethed som føde for dyreplankton, samt dyreplanktonets græsningsrate. Græsningen udtrykt som græsningsrate er beregnet som den mængde føde det totale herbivore dyreplankton indtager pr dag, og udtrykt som procent af planteplanktonbiomassen. Dyreplanktonets fødeoptagelse er beregnet på baggrund af den herbivore dyreplanktonbiomasse og skønnede forhold mellem biomasse og fødeoptagelse for de enkelte grupper.

De fleste såkaldt planteædende dyreplanktonarter kan endvidere i større eller mindre grad leve af rov og/eller detritus og bakterier. Fødeoptagelsen angiver således ikke en græsning alene på planteplankton, men kan omfatte optagelse af detritus, bakterier og byttedyr.

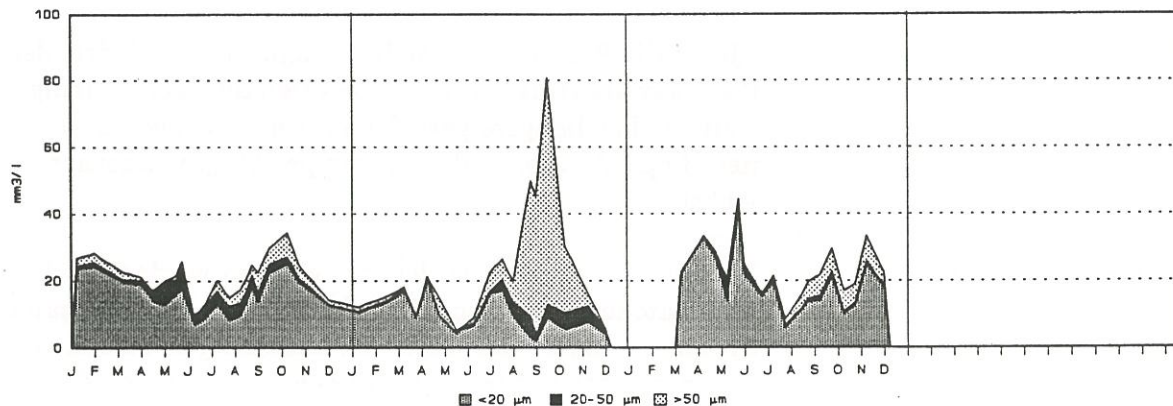
Planteplankton under 20 μm er fødemæssigt direkte tilgængeligt for selv mindre dyreplanktonformer.

Planteplankton med længder på 20-50 μm er tilgængeligt for de fleste dafnier og vandlopper.

Planteplankton over 50 μm er vanskeligt tilgængeligt for de fleste dyreplanktonformer.

Planteplankton med en størrelse under 20 μm , især *Chlorella* sp., dominerede i hele perioden bortset fra august-oktober 1990, hvor store kolonidannende blågrønalger dominerede. Planteplanktonet udgjorde således et ideelt fødegrundlag for dyreplankton i størstedelen af perioden, se figur 9.14.

ARRESØ 1989-1991
STØRRELSESGRUPPER



Figur 9.14 Planteplankton opdelt i størrelsesklasser, 1989-91. Fra /24/.

Græsningsrater

Dyreplanktonets fødeoptagelse pr dag i relation til planteplanktonbiomassen og dets græsningsrate er vist i figur 9.15.

1989

Det fremgår, at dyreplanktonets fødeoptagelse i 1989 var meget lav i forhold til planteplanktonbiomassen, og dyreplankton havde ikke nogen regulerende effekt på planteplanktonbiomassen i 1989.

1990

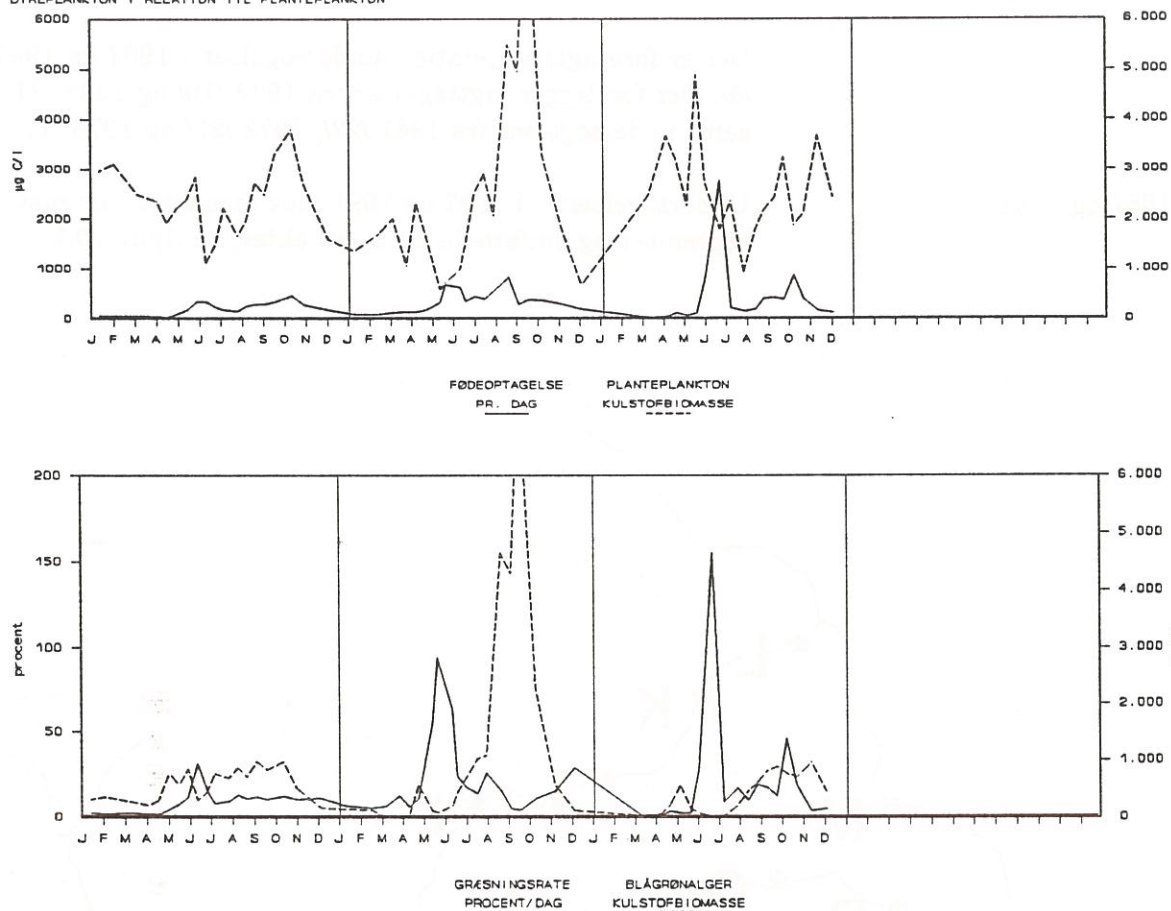
I maj 1990 var græsningsraten 94 %, og dyreplankton har sandsynligvis haft en regulerende effekt på planteplanktonbiomassen. Dyreplanktonet var dog ikke i stand til at holde planteplanktonbiomassen nede, hvilket sandsynligvis skyldes opblomstringen af blågrønalger.

1991

Græsningsraten var 155 % i juni 1991. Bortset fra juni havde dyreplanktonet ikke nogen regulerende effekt på planteplanktonbiomassen.

ARRESØ 1989-1991

DYREPLANKTON I RELATION TIL PLANTEPLANKTON



Figur 9.14 Sæsonvariation i dyreplanktonets fødeoptagelse og græsning i relation til planteplanktonbiomasse i Arresø 1989-91. Græsning angivet som dyreplanktonets konsumtion af planteplankton pr dag i procent, øvrige μg kulstof/l. Fra /24/.

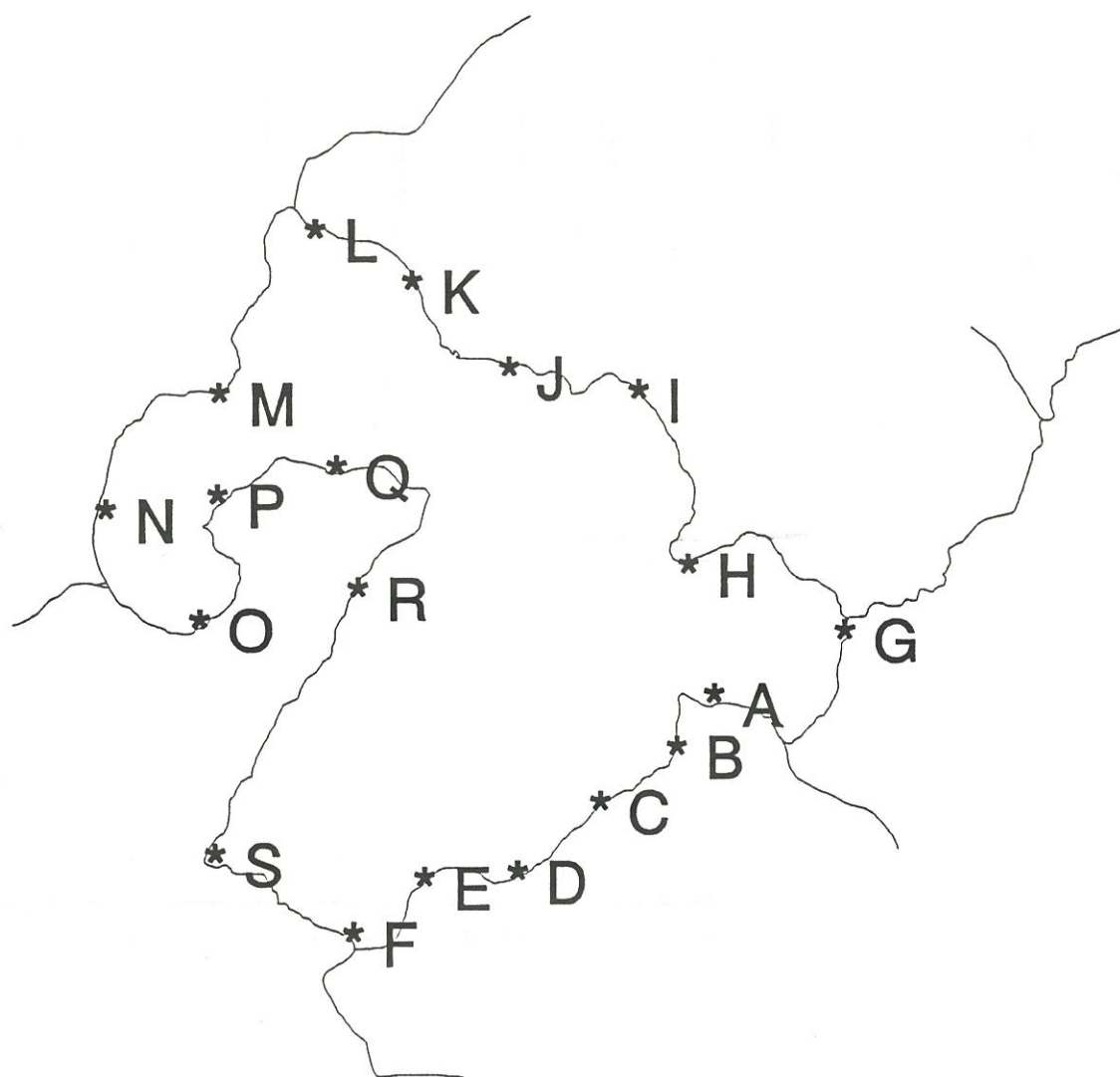
Dyreplanktonet var kun periodisk i stand til delvist at regulere planteplanktonbiomassen. Et stort predationstryk på især større dyreplanktonformer fra den meget store bestand af planktivore fisk, periodisk forekomst af blågrønalger samt et meget højt næringssaltniveau, er de afgørende faktorer i denne sammenhæng.

10. VEGETATION

Der er foretaget vegetationsundersøgelser i 1987 og 1991 /4/. Der foreligger iagttagelser fra 1922 /10/ og 1939 /21/, samt undersøgelser fra 1941 /22/, 1972 /23/ og 1976 /17/.

1987 og 1991

Undersøgelserne i 1987 og 1991 blev foretaget i august/september og omfattede 20 transektter, se figur 10.1.



Figur 10.1 Placering af transektter ved undersøgelserne i 1987 og 1991.

Rørsump 1987 og 1991

Rørsumpvegetationen var generelt veludviklet og bestod overvejende af *Tagrør*, *Smalbladet Dunhammer* og *Søkog-leaks*.

- Undervandsvegetation 1991 Der blev i 1991 fundet undervandsvegetation ved følgende transsektter. Ved A transsektet *Børstebladet Vandaks* ud til en dybde af 0.45 m og *Hjertebladet Vandaks* ud til 1 m, samt *Børstebladet Vandaks* mellem A og B transsektet. Ved E transsektet blev *Børstebladet Vandaks* fundet ud til 0.4 m's dybde. Mellem transsekt E og F, I og J samt ved G transsektet blev der fundet *Nåle-Sumpstrå* ud til 35-45 cm's dybde. *Nåle-Sumpstrå* er en sjælden art, og den er ikke kendt fra andre lokaliteter i Frederiksborg Amt /20/.
- Undervandsvegetation 1987 I 1987 blev der ved transsekt A fundet en spredt bestand af *Hjertebladet Vandaks* ud til 0.5 m's dybde, samt opskyllede eksemplarer af *Børstebladet Vandaks*, og en spredt bestand af *Børstebladet Vandaks* ved transsekt E ud til en dybde af 0.2 m. Der blev endvidere ved transsekt G fundet en spredt bestand af *Nåle-Sumpstrå* ud til 15 cm's dybde.
- 1941-76 Der blev registreret 9 arter af undervandsplanter i 1941, mens der i 1976 er fundet 4 arter, se tabel 10.1. For alle tre undersøgelser er det angivet, at alle arternes udbredelse var begrænset til det allerlaveste vand. Den egentlig undervandsvegetation dækkede i 1972 ca. 0.024 km² svarende til omkring 0.06 % af søens areal.
- Rørskovsareal 1976 Det samlede rørskovsareal blev i 1976 opgjort til ca. 2.76 km² svarende til ca. 6.8 % af søens samlede areal.
- De ældste iagttagelser Det hedder om plantevæksten i 1922, at den er svær at bedømme på grund af det uklare vand, men det synes som om rankede planter (vandaks, tusindblad o.l.) kun findes på lavt vand, og som om egentlig bundvegetation (kransnålagger, vandpest o.l.) helt mangler. Derimod når bredvegetationen en stærk udvikling (rør, siv og dunhammer).
- Wesenberg-Lund (1935) skriver: Karakteristisk for søens bred er de lange bæltter af *Tagrør*. Udenfor det - er det vandaksarterne, der pletvis optræder mange steder.
- Undervandsvegetation 1922-91 Antallet af arter er reduceret fra 9 til 4 i perioden 1941-76, og tusindblad er forsvundet i perioden 1976-87. Der blev i 1987 og 1991 kun fundet 2 arter af vandaks samt *Nåle-Sumpstrå* i Arresø.
- Der synes også at være sket et fald i udbredelsen af undervandsvegetationen. I 1935 optrådte vandaks pletvis mange steder, mens der i 1987 og 1991 kun blev fundet vandaks på 2 ud af 20 stationer. Undervandsvegetation er i hele perioden 1922-91 kun fundet på meget lavt vand, og har generelt haft en meget ringe udbredelse.

Tabel 10.1 Registrerede arter af undervandsplanter i Arresø 1941 /22/, 1972 /23/, 1976 /17/, 1987 og 1991 /4/.

Art	1941	1972	1976	1987	1991
<i>Hjerterbladet Vandaks</i>	+	+	+	+	+
<i>Børstebledet Vandaks</i>	+	+	+	+	+
<i>Glinsende Vandaks</i>	+	-	-	-	-
<i>Græsbladet Vandaks</i>	+	-	-	-	-
<i>Langstilket Vandaks</i>	+	-	-	-	-
<i>Tusindblad</i>	+	+	+	-	-
<i>Nåle-Sumpstrå</i>	+	-	+	+	+
<i>Chara aspera</i>	+	-	-	-	-
<i>Chara contraria</i>	+	-	-	-	-

Sedimentundersøgelser

Der blev i 1988 foretaget en undersøgelse af pollen og planterester i bly 210-daterede sedimentkerner /2/. Det blev konstateret, at der tidligere har været en rig undervandsvegetation bestående overvejende af vandaks og med spredt forekomst af kransnålalger. Vandaks har vokset ned 3,25 m's dybde, og kransnålalger har vokset ned til 4-6 m's dybde. Dybdeudbredelsen viser, at Arresø på daværende tidspunkt har været en klarvandet sø med en sigtdybde på mindst 3-4 m. Skiftet i søens tilstand er sket på et tidspunkt i perioden 1700-1880.

11. DYREPLANKTON

Der er foretaget undersøgelser af dyreplankton i perioden 1989-91 /24/

11.1 Artsantal

Artsantallet i de 3 år var meget ens. Der blev dog fundet flere arter af hjuldyr i 1990 og 1991, se tabel 11.1.

Tabel 11.1 Antal dyreplanktonarter i Arresø 1989-91.			
Gruppe	1989	1990	1991
Ciliater	6	7	6
Hjuldyr	7	14	11
Dafnier	7	8	7
Vandlopper	3	3	3
I alt	23	32	27

11.2 Biomasse og artssammensætning

Biomassen er karakteriseret ved lave vinterniveauer og et sommer- og efterårsmaksimum, se figur 11.1.

Den gennemsnitlige dyreplanktonbiomasse er steget meget kraftigt fra 1989 til 1990, mens der fra 1990 til 1991 er sket en mindre stigning.

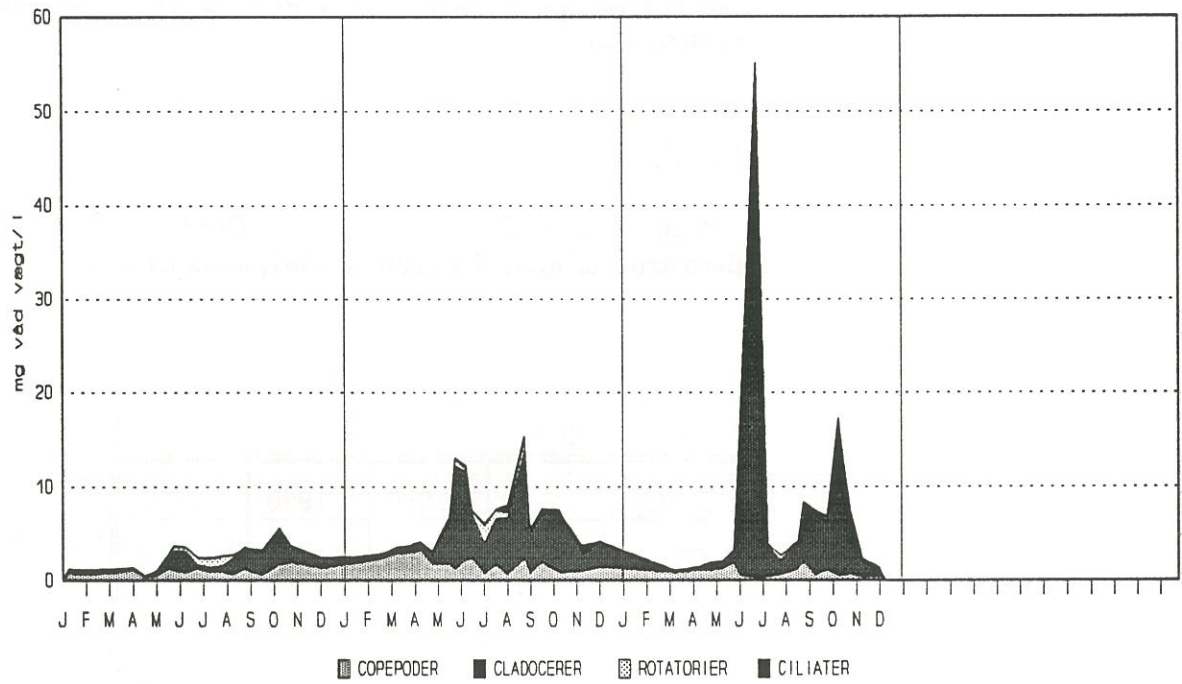
Dafnier udgjorde alle 3 år den væsentligste andel af den totale biomasse i sommerperioden - mellem 50 og 87 % som gennemsnit, se figur 11.2.

De vigtigste arter i 1989, bedømt efter biomasse, var dafnien *Daphnia galeata* og vandloppen *Eudiaptomus graciloides*. Dafnien *Diaphanosoma brachyurum* subdominerede.

I 1990 dominerede den lille kugledafnie *Chydorus sphaericus*. *Daphnia cucullata* subdominerede. Desuden forekom snabedafnien *Bosmina logirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, og vandloppen *Eudiaptomus graciloides* hyppigt og i relativt store mængder.

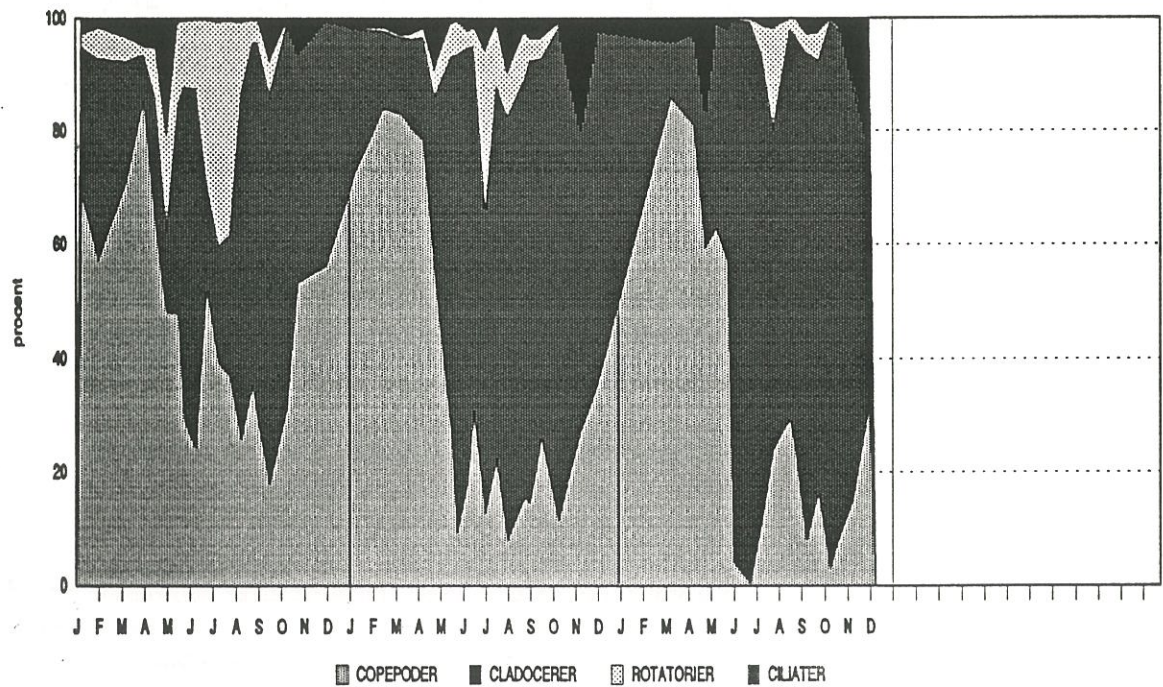
ARRESØ 1989-1991

DYREPLANKTONBIOMASSE



ARRESØ 1989-1991

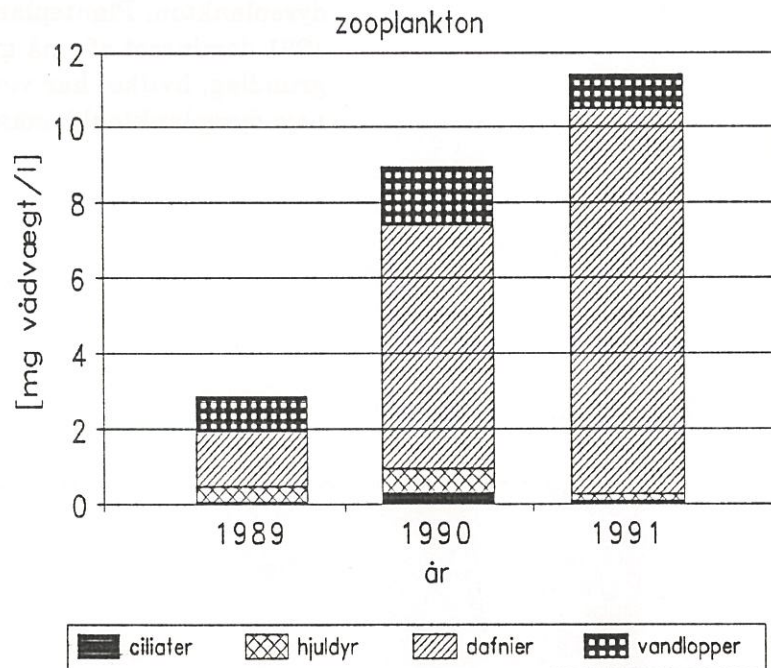
DYREPLANKTONBIOMASSE



Figur 11.1 Dyreplanktonbiomasse fordelt på hovedgrupper 1989-91. Øverst: Biomasse (mg vådvægt/l). Nederst: Procentvis fordeling. Fra /24/.

Under forårsmaksimum i maj-juni 1990 dominerede *Bosmina longirostris* og *Chydorus sphaericus*, hvorimod *Chydorus sphaericus* og *Diaphanosoma brachyurum* dominerede under sensommermaksimum i august.

I 1991 var det den store *Daphnia galeata* der dominerede. *Bosmina longirostris* dominerede under sommermaksimum i juni, men forsvandt herefter helt. *Daphnia galeata* dominerede under efterårsmaksimum i oktober. *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cucullata* og *Diaphanosoma brachyurum* var kun til stede i ringe mængder.



Figur 11.2 Dyreplanktonbiomasse (mg vådvægt/l) og de enkelte grupperes andele. Sommergennemsnit (1.5-30.9) 1989-91

11.3 Regulering af dyreplanktonbiomassen

Predation fra fisk

På baggrund af data for de 37 søer, der indgår i vandmiljøplanens overvågningsprogram, er det fundet, at den betydelige variation i biomasse og artssammensætning mellem søerne i vid udstrækning kunne forklares ved forskelle i fiskebestandens sammensætning og mængde, og dermed i predationstrykket på dyreplanktonet /5/.

Der er en meget stor bestand af brasen og skalle i Arresø, og især disse fiskearters yngel udøver et stort predationstryk på dyreplanktonet.

Fra 1989 til 1991 skete der en stigning i den gennemsnitlige dyreplanktonbiomasse i sommerperioden på næsten 400 %. Det skyldes først og fremmest et faldende predationstryk fra fiskebestanden, idet rekrutteringen af skalle- og brasen var dårlig i 1990 og 1991.

Den gennemsnitlige biomasse i sommerperioden af større dafnier steg fra 1.7 mg/l i 1989 til 5.9 mg/l i 1991. Predationstrykket er størst på de større dyreplanktonformer, og denne ændring i artssammensætningen antyder således, at predationstrykket har været faldende fra 1989 til 1991.

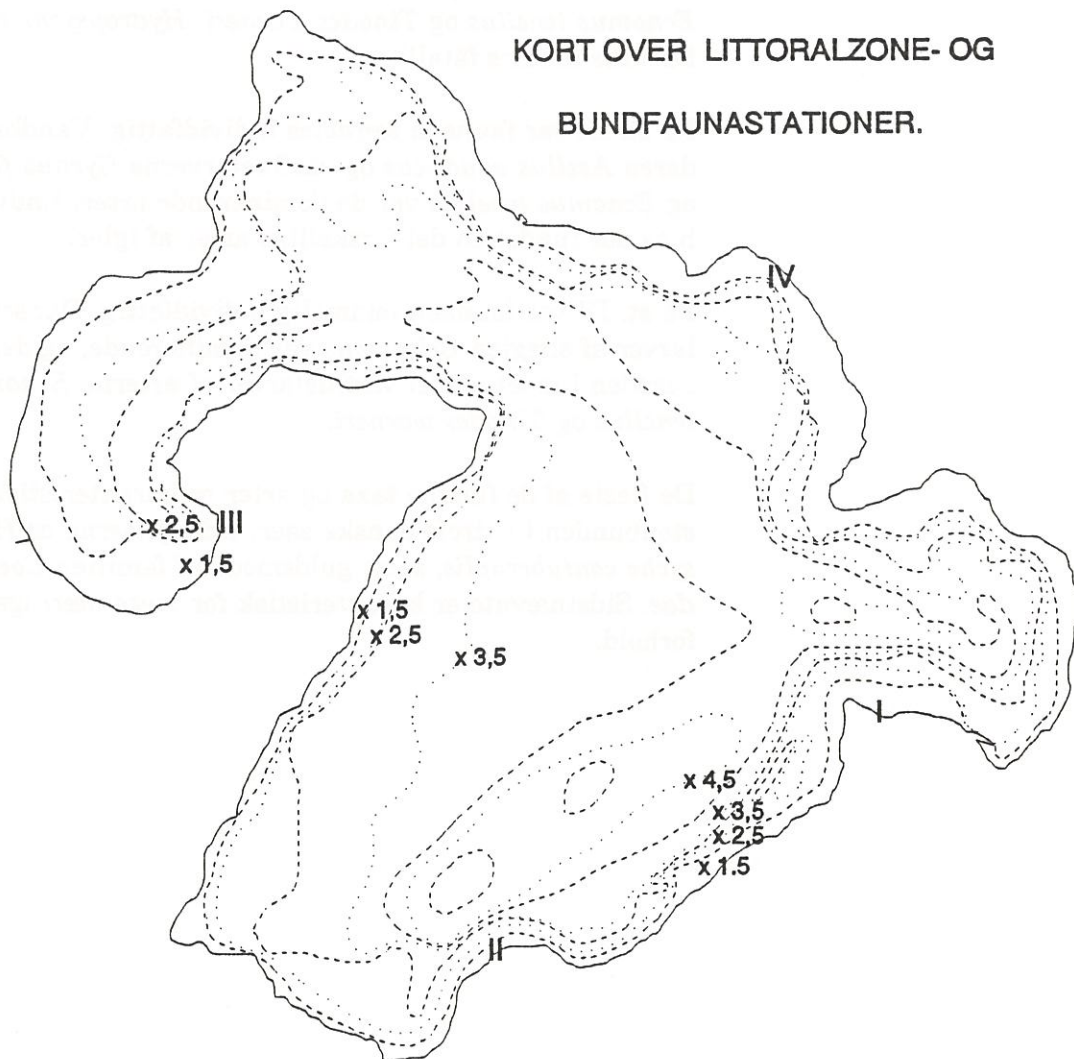
Føde kvalitet

Kolonidannende blågrønalger er et dårligt fødegrundlag for dyreplankton. Planteplanktonet var imidlertid gennem hele 1991 domineret af små grønalger, der er et ideelt fødegrundlag, hvilket har været en medvirkende årsag til den høje dyreplanktonbiomasse.

Bredzone- og bundfaunaen er undersøgt i 1991 /19/. Der foreligger desuden ældre undersøgelser af bundfaunaen fra 1957 /16/, 1976 /17/ og 1978 /1/.

12.1 Bredzonefauna

Der foretaget indsamling af stenfauna på 4 stationer i bredzonen. Ved hver station er der indsamlet 2 prøver i september 1991, se figur 12.1. Der blev i alt fundet 42 taxa, se tabel 12.1.



Figur 12.1 Beliggenhed af stationer ved undersøgelsen af bredzonefaunaen (I-IV) og bundfaunaen (sidstnævnte med prøvetagningsdybder) i 1991.

På st. 1, 2 og 4 er prøverne indsamlet på sammenhængende stenbund, mens der på st. 3 er foretaget indsamling fra spredte sten i en tæt bevoksning af tagrør. Artslisten for de 4 stationer er vist i tabel 12.1.

De enkelte stationer

På st. I var der en talrig forekomst af den netspindende vårfluelarve *Hydropsyche contubernalis*. Slægten findes normalt kun i vandløb, og arten *H. contubernalis* er i Danmark kun kendt fra Gudenåens nedre løb. Arten er knyttet til store vandløb og er særdeles tolerant overfor organisk forurening. Der forekom desuden mange vårfluer af slægten *Tinodes waeneri*, mange af klobillen *Oulimnius troglodytes*, samt en del døgnfluer af arten *Caenis luctuosa*.

På st. II var faunaen domineret af dansemyggelarver af slægten *Cricotopus*. Der forekom desuden en del klobiller, *Oulimnius troglodytes*, samt en del vårfluelarver af arterne *Ecnomus tenellus* og *Tinodes waeneri*. *Hydropsyche contubernalis* fandtes fåtalligt.

På st. III var faunaen særdeles individfattig. Vandbænkebidderen *Asellus aquaticus* og vårfluelarverne *Cyrrnus flavidus* og *Ecnomus tenellus* var de dominerende arter. Endvidere blev der fundet en del forskellige arter af igler.

På st. IV var faunaen temmelig individfattig. Dansemyggelarver af slægten *Cricotopus* var dominerende, og der blev desuden fundet en del vårfluelarver af arterne *Ecnomus tenellus* og *Tinodes waeneri*.

De fleste af de fundne taxa og arter er karakteristiske for stenbunden i eutrofe danske søer. Udtagelserne er *Hydropsyche contubernalis*, samt guldsmede af familien *Coenagrionidae*. Sidstnævnte er karakteristisk for mere næringsfattige forhold.

Tabel 12.1 Artsliste bredzonefaunau september 1991. Ved hver station er der indsamlet 2 prøver.

Gruppe	Art	Antal på de enkelte stationer			
		I	II	III	IV
Hårorme	<i>Mermithidae</i>	-	5/9	-	3/3
Fimreorme	<i>Dendrocoelum lacteum</i>	-	-	3/3	-
Børsteorme	<i>Naididae</i>	31/32	56/32	-	-
	<i>Tubificidae</i>	-	-	1/-	-
	<i>Stylaria lacustris</i>	-	-	-1	1/-
	<i>Chaetogaster sp.</i>	-	-	-	2/2
Igler	<i>Helobdella stagnalis</i>	-	-	2/6	3/3
	<i>Erpobdella sp.</i>	-	-	1/3	8/7
	<i>Erpobdella octoculata</i>	-	-	4/3	2/-
	<i>Erpobdella testacea</i>	-	-	1/1	-
Krebsdyr	<i>Asellus aquaticus</i>	-	-	16/38	-
	<i>Gammarus pulex</i>	-	-	-	-1
Døgnfluer	<i>Caenis luctuosa</i>	62/30	8/10	-	3/6
	<i>Cloeon dipterum</i>	-	-	1/4	-
Guldsmede	<i>Coenagriidae indet</i>	-	-	3/1	-
Biller	<i>Oulimnius troglodytes</i>	125/89	42/63	-	-4
	<i>Halipus sp.</i>	-	-	1/-	-
	<i>Gyrinus sp.</i>	-	-	-	-2
Dovenfluer	<i>Sialis lutaria</i>	-	-	1/-	-
Mitter	<i>Heleinae</i>	-	-	-1	-
Vårfluer	<i>Hydropsyche contubernalis</i>	360/334	11/14	-	-
	<i>Tinodes waeneri</i>	144/123	54/64	-	46/48
	<i>Ecnomus tenellus</i>	1/9	28/77	16/25	11/13
	<i>Athripsodes cinereus</i>	-4	4/2	-	-1
	<i>Cyrnus flavidus</i>	-	-	11/6	5/2
	<i>Orthotrichia sp.</i>	-	-	-	1/1
	<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	-	-	-	1/2
Dansemyg	<i>Thienemannimyia rk.</i>	2/2	-3	-	1/-
	<i>Cricotopus sp.</i>	48/96	429/298	-	145/151
	<i>Orthocladus sp.</i>	5/3	1/-	-	-
	<i>Thienemaniella sp.</i>	3/-	-	-	-
	<i>Dicrotendipes sp.</i>	1/-	-1	2/-	1/-
	<i>Glyptotendipes sp.</i>	2/5	-3	2/4	7/9
	<i>Microtendipes sp.</i>	-	-	4/7	1/-
	<i>Pseudochironimus sp.</i>	3/-	-3	-	-
	<i>Cryptochironimus sp.</i>	-1	-	-	-
	<i>Corynoneura sp.</i>	-1	1/-	-	1/-
	<i>Polypedilum sp.</i>	-	-	2/-	-
Snegle	<i>Lymnaea peregra</i>	-1	8/4	4/3	3/2
	<i>Gyraulus albus</i>	-	-	1/-	-
	<i>Physa fontinalis</i>	-	-	-	1/2
Muslinger	<i>Pisidium sp.</i>	-	-	-1	-
I alt arter/grupper		13/14	12/14	19/16	21/18
I alt antal individer		787/730	647/583	76/107	250/259
Littoralzoneindeks		2.8/2.9	3.0/2.7	2.2/4.0	3.4/2.3

12.2 Bundfauna

Bundfaunaen blev undersøgt i november 1991 /19/, og der foreligger desuden undersøgelser fra 1956/57 /16/, 1975 /17/ og 1978 /1/.

Bundfauna 1991

Der blev i 1991 foretaget undersøgelser langs 3 transsektorer fra 1.5 til maksimalt 4.5 m's dybde, se figur 12.1.

Bundfaunaen var meget arts- og individfattig. Der blev kun fundet børsteorme af familien *Tubificidae* og forskellige grupper af dansemyggelarver.

På 1.5 m's dybde blev der i områder med fast sandbund gennemsnitligt fundet 650 ind./m². Det største individantal, 1000-1550 ind./m², forekom på 1.5 m's dybde, i områder hvor bunden bestod af sand iblandet organisk materiale. På dybder fra 2 m og udefter var faunaen uhyre ensartet med individantal på 200-500 pr m².

De dårlige substratforhold i Arresø er hovedårsagen til den fattige bundfauna.

På lavere vand findes der store områder med næsten ren sandbund, som er et meget næringsfattigt substrat.

Mange af de dyr, der er knyttet til mudderbunden på dybere vand, lever i gange og rør. På dybere vand består bunden i Arresø overvejende af meget løst organisk stof, der meget let ophvirvles ved vindpåvirkning. Der forekommer resuspension i Arresø ved vindhastigheder på 4 m/s og derover /2/. Vindhastigheder af denne størrelsesorden forekommer i gennemsnit ca. 50 % af tiden, og der er derfor meget dårlige forhold for bundlevende dyr i Arresø.

Udvikling 1957-1991

Der er i forbindelse med undersøgelsen i 1991 foretaget en sammenligning med ældre undersøgelser, se tabel 12.2. Det understreges, at tabellen skal tages med et vist forbehold, idet de angivne individantal er gennemsnitsværdier.

I 1975 er der fundet langt flere taxa end ved de øvrige undersøgelser, hvilket skyldes, at der indgår prøver fra en længere periode, og at der er foretaget bestemmelser til et meget lavt taxonomisk niveau.

Ved undersøgelsen i 1978 er der kun bestemt til et overordnet taxonomisk niveau.

Tabel 12.2 Bundfaunaundersøgelser 1956/57 /30/, 1975 /17/, 1978 /1/ og 1991 /19/. Gennemsnitsværdi er pr m² og antal taxa.

Undersøgelsestids- punkt	Gennemsnitligt individantal pr m ² / antal fundne taxa	
	Ca. 1.5 m	Over 2 m
1956/57. Oktober 1956	-	921/7
November 1957	-	1168/5
1975. Maj-oktober	198/15	37/11
1978. August	179/5	25/2
1991. November	1066/7	375/5

Det er således vanskeligt, at drage konklusioner omkring udviklingen i perioden 1975-91. I forhold til undersøgelsen fra 1956-57 er individtallet faldet fra omkring 1000 til 375, og der synes altså at være sket en tilbagegang for faunaen på dybder over 2 m i denne periode.

Der er foretaget en fiskeundersøgelse i august 1991 /8/ efter retningslinjerne i vejledningen fra Danmarks Miljøundersøgelser /9/.

Ved undersøgelsen er fiskebestandens sammensætning, vækstforhold og størrelse bestemt, og sammenlignet med en række andre danske søer undersøgt efter samme metodik. Endelig er der med udgangspunkt i ældre undersøgelser foretaget en vurdering af udviklingen i fiskebestandens artssammensætning.

Artsantal

Der blev i 1991 registreret 11 arter, tabel 13.1. I forhold til 64 danske søer ligger artsantallet i Arresø lidt over gennemsnittet. Bortset fra fraværet af karusse svarer artssammensætningen til det forventelige i en næringsrig lavvandet østdansk sø.

I 1922 blev udover de ovennævnte arter fanget grundling, suder, karusse og karpe, samt enkelte skrubber og ørreder /10/. Af disse arter blev kun suder genfundet ved en undersøgelse i 1984 /11/, hvor der tillige blev fanget flere.

Det er sandsynligt, at karusse og suder stadig findes i små bestande i søen, og det kan heller ikke udelukkes, at nogle af de øvrige arter stadig forekommer.

Udsætninger

Der blev udsat sandart i årene 1924, 1927 og 1928. Disse udsætninger slog an, og der blev indledt et erhvervsmæssigt fiskeri efter sandart i 1932.

Fangst

Der blev ved undersøgelsen i 1991 i alt fanget 10.473 fisk med en samlet vægt på ca 711 kg, tabel 13.1.

Brasen var den absolut dominerende art og udgjorde i antal og vægt hhv. 40.7 og 69.6 % af den samlede fangst. Tilsammen udgjorde brasen og skalle på vægtbasis 96.3 % af den samlede fangst. Gedde, aborre og sandart androg med hensyn til vægt kun 1.5 % af fangsten.

Tæthed, CPUE værdier

De efterfølgende vurderinger af bestandtætheder er baseret på CPUE-værdier (Catch Per Unit Effort), der udtrykker den gennemsnitlige fangst i antal og vægt pr garn eller elektrobefiskning. Der er primært lagt vægt på garnfangsterne, da elektrofiskeriet var begrænset til bredzonen.

CPUE-værdierne for de enkelte arter er et udtryk for arternes relative tæthed, og kan således sammenlignes med CPUE-værdier for andre danske søer. Som sammenlignings-

grundlag er der anvendt data fra 43 danske søer undersøgt efter samme metodik /9/. Disse søer dækker et bredt spektrum med hensyn til næringssaltbelastning og morfometri.

Ved sammenligningen af fiskenes vækst og kondition i Arresø med andre søer er der benyttet et større datamateriale.

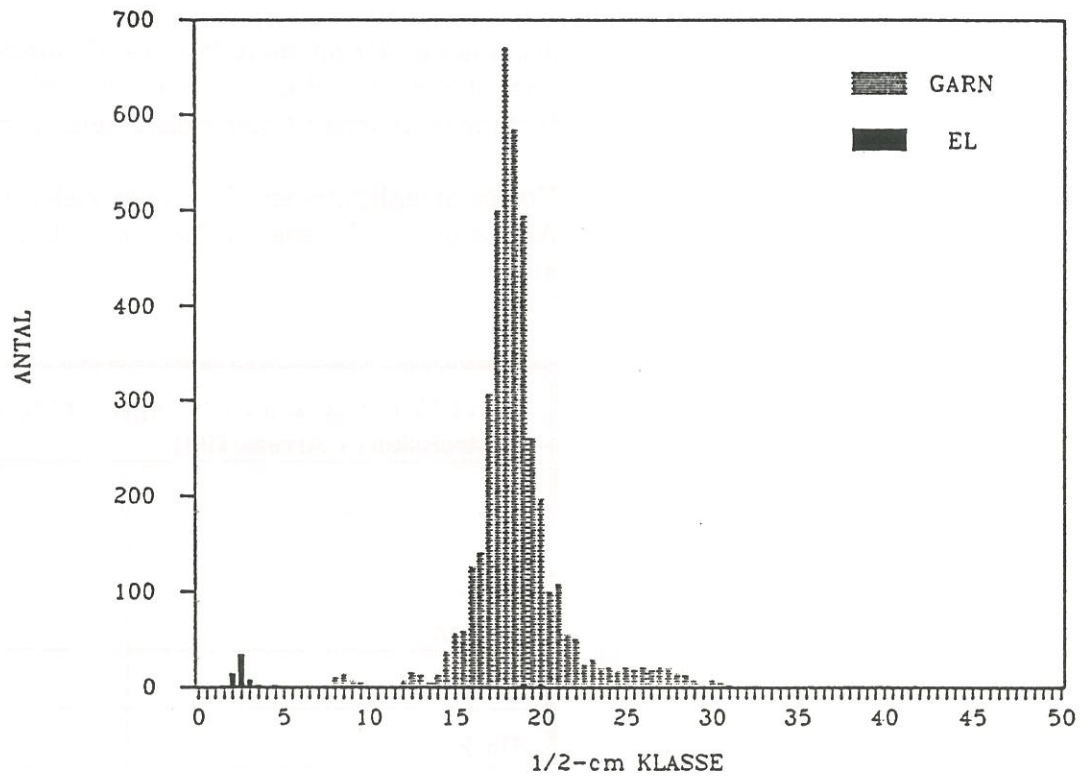
Tabel 13.1 Den samlede fangst, antal og vægt, ved garn- og elektrofiskeri i Arresø 1991.		
Art	Antal	Vægt (g)
Skalle	4117	190.192
Brasen	4197	494.887
Aborre	322	8.895
Hork	388	4.460
Rudskalle	177	2.012
Regnløje	128	98
Løje	1050	1.112
Sandart	11	1.156
Gedde	4	506
Ål	77	7.837
Nipigget hundestejle	1	1
Totalfangst	10473	711.480

Brasen

Brasenbestanden var domineret af 4 til ca 8 årige fisk med længder på 14-22 cm. Årsynglen, de etårige, toårige og treårige med længder på omkring 3, 5, 9 og 13 cm var kun meget sparsomt repræsenteret. Der blev fanget meget få fisk over 30 cm, se figur 13.1, og gennemsnitsvægten for brasen over 10 cm var den tredje laveste blandt de undersøgte søer.

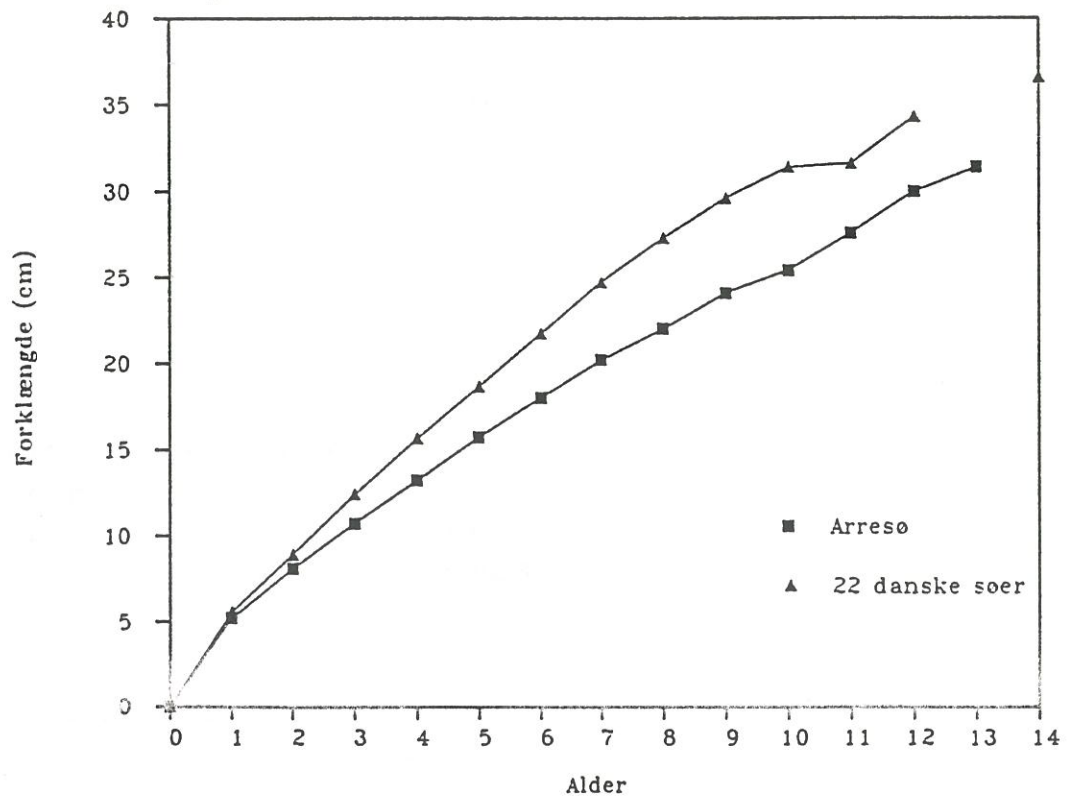
For garnfangsten lå antallet af brasen under 10 cm da også væsentligt under gennemsnittet, mens antallet af brasen over 10 cm var det højeste blandt de undersøgte søer.

Vægtmæssigt var CPUE-værdien for brasen da også den anden højeste blandt de undersøgte søer.



Figur 13.1 Længdehyppighed af brasen i Arresø 1991. Fra /8/.

For alle årgangene var tilvæksten under gennemsnittet, se figur 13.2.



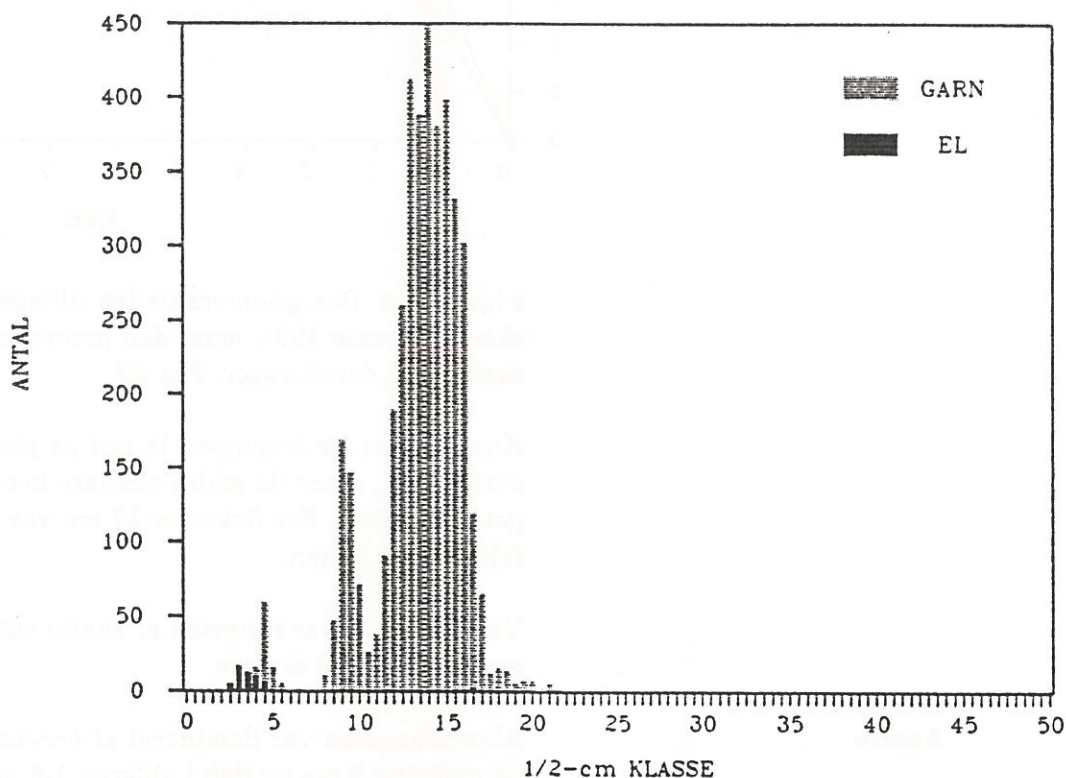
Figur 13.2 Den gennemsnitlige tilbageberegnete vækst af brasen i Arresø 1991, samt den gennemsnitlige vækst for brasen i 22 danske søer. Fra /8/.

Konditionen for brasen mellem 10 og 30 cm lå på niveau med gennemsnittet for de øvrige danske søer, mens fisk uden for denne størrelsesgruppe generelt havde en noget ringere kondition.

Vægtmæssigt var fangsten af brasen jævnt fordelt over hele søen.

Skalle

Størrelsessammensætningen af skaller var karakteriseret ved en stor top omkring 12-17 cm bestående af sammen-voksede årgange af 3-5 årige fisk. Der blev fanget meget få fisk ældre end 6 år, længde over ca. 17 cm, se figur 13.3, og gennemsnitsvægten for skaller over 10 cm var under gennemsnittet for de undersøgte søer.

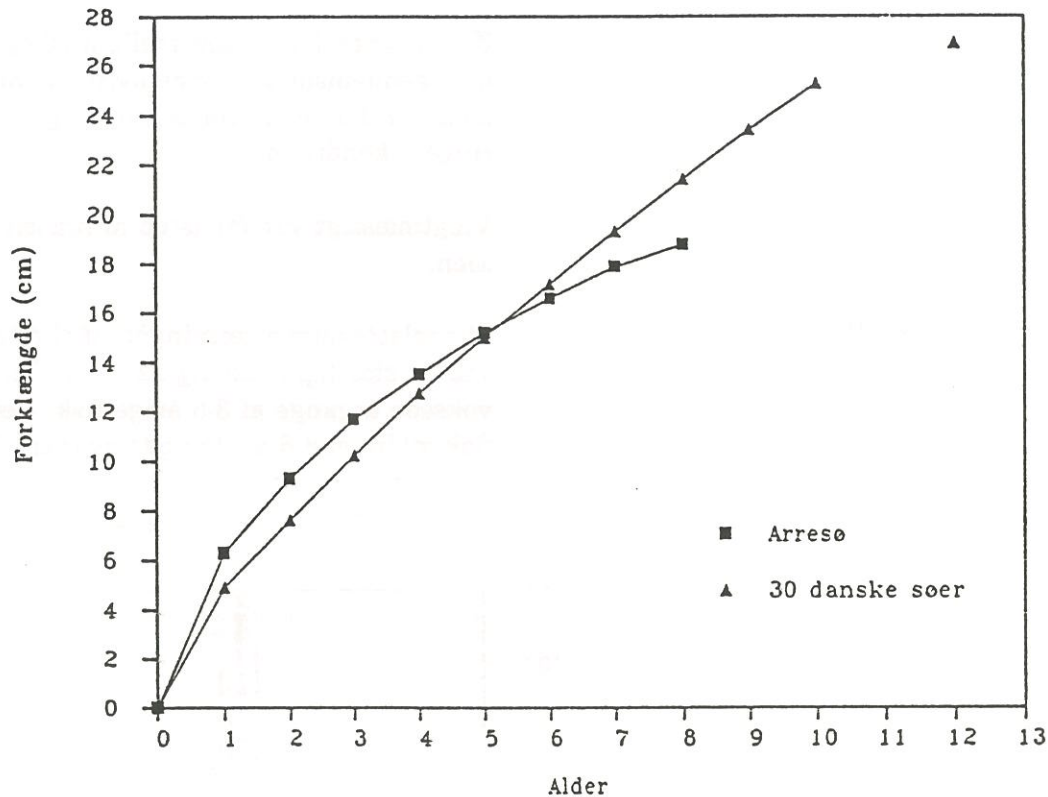


Figur 13.3 Længdehyppighed af skalle i Arresø 1991. Fra /8/.

For garnfangsten lå antallet af skaller under 10 cm væsentligt under gennemsnittet, mens antallet af skaller over 10 cm var det 6. højeste blandt de undersøgte søer.

Vægtmæssigt var CPUE værdien for skalle væsentligt over gennemsnittet for de undersøgte søer.

Væksten var usædvanlig god de to første leveår, men aftog herefter, og der var for de 7-8 årige skaller nærmest tale om dværgvækst, se figur 13.4.



Figur 13.4 Den gennemsnitlige tilbageberegnete vækst for skalle i Arresø 1991, samt den gennemsnitlige vækst for skalle i 30 danske søer. Fra /8/.

Konditionen for årsynglen lå tæt på gennemsnittet for de øvrige søer, mens de ældre skalleres kondition var over gennemsnittet. For fisk over 17 cm var der dog et markant fald i konditionen.

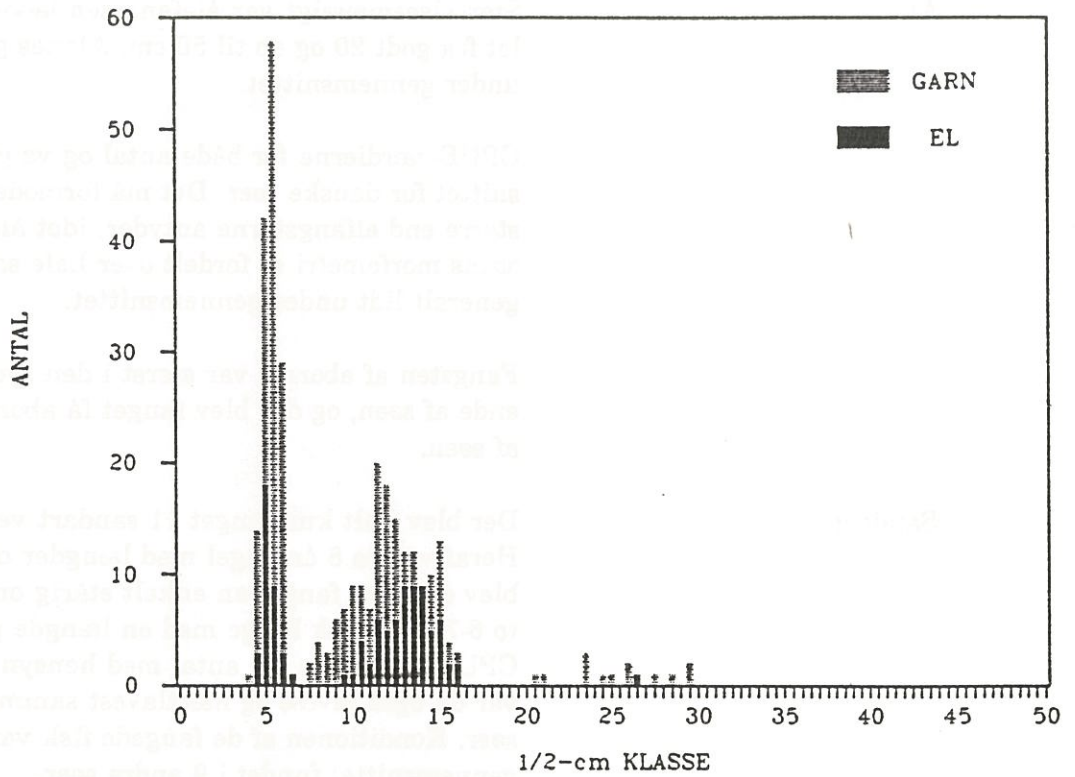
Vægtmæssigt var fangsten af skalle størst i den vestlige og nordvestlige del af søen

Aborre

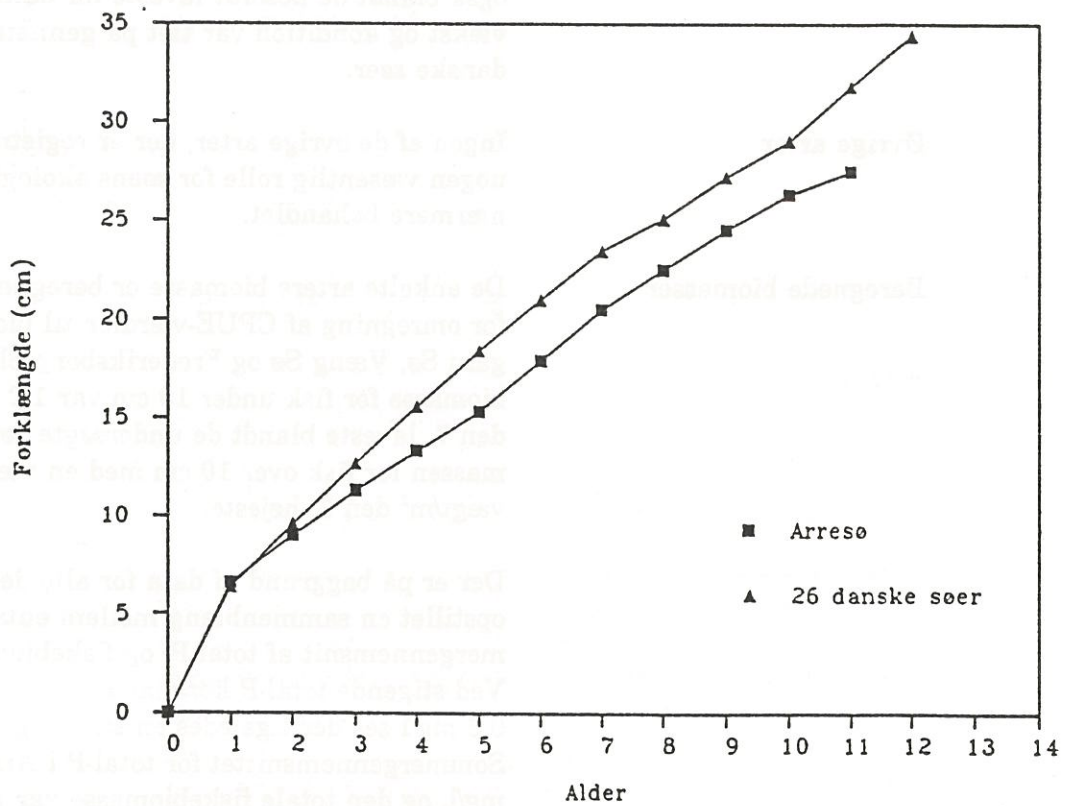
Aborrefangsten var domineret af årsynglen med en længde på omkring 5 cm og fisk i alderen 1-6 år med længder mellem 7 og 16 cm, hvor årgangene var delvist sammenvoksende. Der var få større aborrer, og gennemsnitsvægten for fisk over 10 cm var under gennemsnittet for de undersøgte søer.

Både for mindre fisk under 10 cm og de større over 10 cm var det gennemsnitlige antal blandt det laveste for de undersøgte søer. Vægtmæssigt var CPUE-værdien den 4. laveste.

Den tilbageberegnete vækst i de første leveår lå tæt på gennemsnittet for danske søer, men herefter faldt tilvæksten i det 2.-5. leveår til under normalen, se figur 13.6.



Figur 13.5 Længdehyppighed for aborre i Arresø 1991. Fra /8/.



Figur 13.6 Den gennemsnitlige tilbageberegnete vækst for aborre i Arresø 1991, samt den gennemsnitlige vækst for aborre i 26 danske søer. Fra /8/.

Ål

Størrelsesmæssigt var ålefangsten jævnt fordelt i intervallet fra godt 20 og op til 50 cm. Ålenes gennemsnitsvægt lå under gennemsnittet.

CPUE-værdierne for både antal og vægt var under gennemsnittet for danske søer. Det må formodes at ålebestanden er større end elfangsterne antyder, idet ålene på grund af søens morfometri er fordelt over hele søen. Konditionen var generelt lidt under gennemsnittet.

Fangsten af aborrer var størst i den sydlige og nordlige ende af søen, og der blev fanget få aborrer i den centrale del af søen.

Sandart

Der blev i alt kun fanget 11 sandart ved undersøgelsen. Heraf var de 8 årsyngel med længder omkring 5 cm. Der blev desuden fanget en enkelt etårig omkring 14 cm, samt to 6-7 årige fisk begge med en længde på knap 40 cm. CPUE-værdierne for antal med hensyn til små og store fisk var da også lavest og næstlavest sammenlignet med andre søer. Konditionen af de fangede fisk var på niveau med gennemsnittet fundet i 9 andre søer.

Gedde

Der blev kun fanget 4 gedder - to stk årsyngel, en etårig og en treårig. CPUE-værdierne for både antal og vægt var da også blandt de absolut laveste for de undersøgte søer. Både vækst og kondition var tæt på gennemsnittet for andre danske søer.

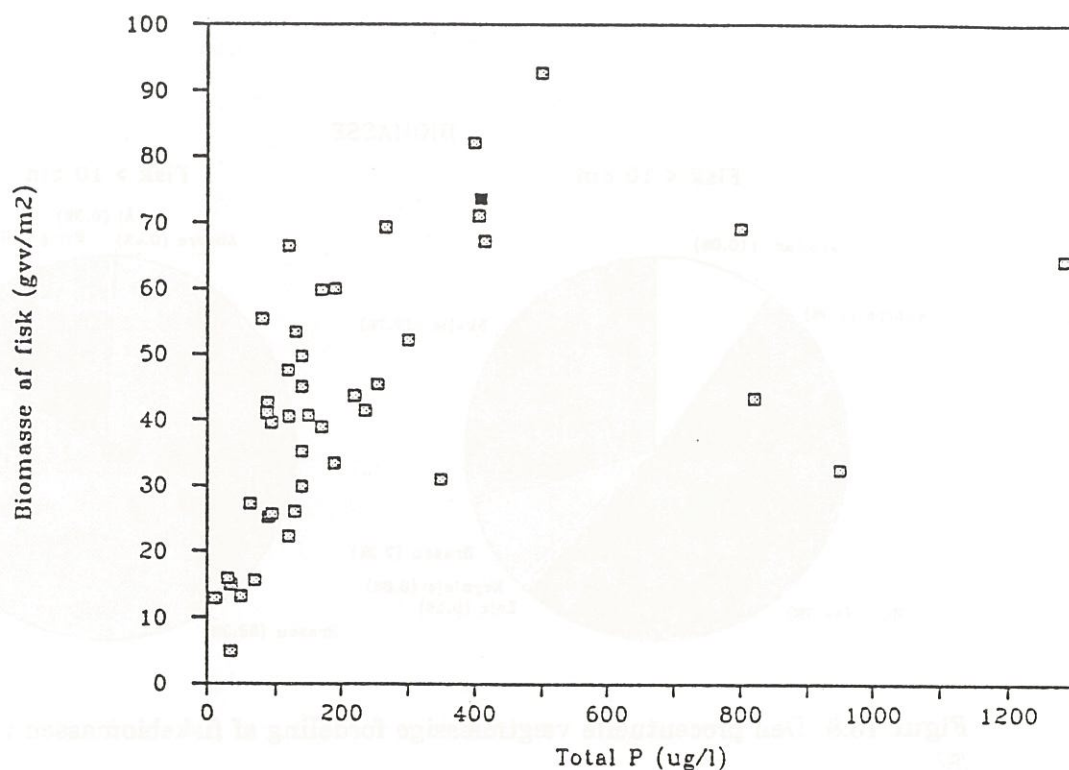
Øvrige arter

Ingen af de øvrige arter, der er registreret i søen, spiller nogen væsentlig rolle for søens økologi, og er derfor ikke nærmere behandlet.

Beregnete biomasser

De enkelte arters biomasse er beregnet ud fra erfaringstal for omregning af CPUE-værdier til biomasse fundet i Søbygård Sø, Væng Sø og Frederiksborg Slotssø. Den beregnede biomasse for fisk under 10 cm var 1.2 g vådvægt/m² og var den 7. laveste blandt de undersøgte søer. Derimod er biomassen for fisk over 10 cm med en værdi på 72 g vådvægt/m² den 3. højeste.

Der er på baggrund af data for alle de undersøgte søer opstillet en sammenhæng mellem eutrofieringsgrad (sommergennemsnit af total-P) og fiskebiomasse, se figur 13.7. Ved stigende total-P koncentration indtil et niveau omkring 0.6 mg/l ses der ligeledes en stigning i fiskebiomassen. Sommergennemsnittet for total-P i Arresø var i 1991 0.41 mg/l, og den totale fiskebiomasse var på ca. 74 g vådvægt/m². Arresø ligger således på niveau med de øvrige søer med total-P koncentrationer mellem 0.4 og 0.6 mg/l der havde fiskebiomasser mellem 65 og 95 g vådvægt/m².



Figur 13.7 Sammenholdte værdier af total-P koncentrationen (sommern gennemsnit) og den beregnede fiskebiomasse i en række danske søer. Fra /8/.

Det er anslået, at der totalt findes ca. 3.100 t. fisk i søen, hvoraf brasen udgør ca. 2.500 t. og skalle ca. 480 t..

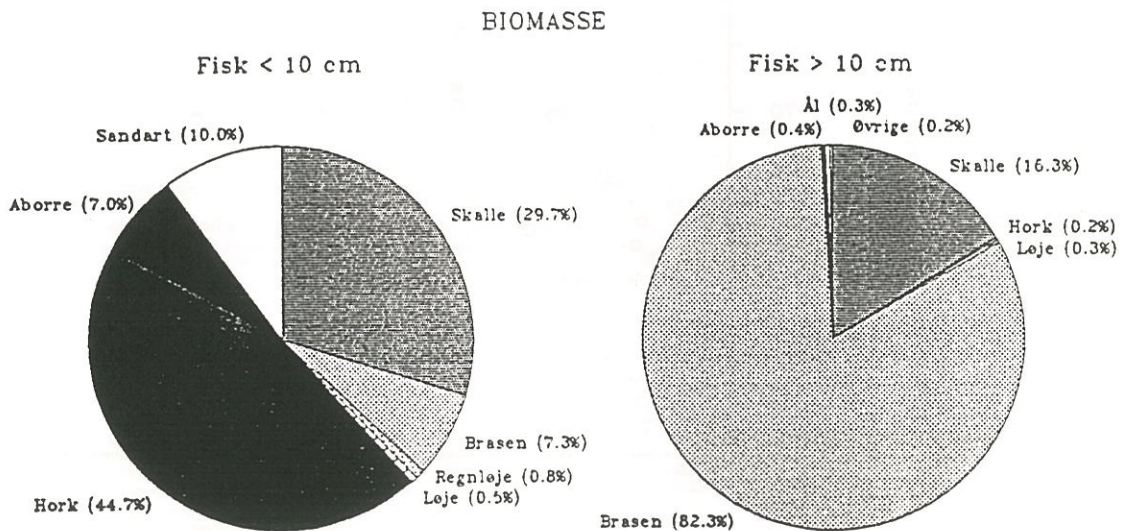
Artssammensætning

Artssammensætningen er typisk for kraftigt eutrofierede søer med en udpræget dominans af karpefisk og en meget lille bestand af rovfisk.

For fisk under 10 cm er hork og skalle de dominerende arter med andele af den totale biomasse på hhv. 44.7 og 29.7 %

For fisk over 10 cm udgør brasen således 82 % af den samlede biomasse, og tilsammen udgør de to arter skalle og brasen omkring 98 %, se figur 13.8. Det skal dog bemærkes, at ålebestanden antagelig er væsentlig undervurderet, idet ålene på undersøgelsestidspunktet var trukket ud af bredzonen og derfor ikke var fangbare ved elektrofiskeriet.

Rovfiskenes andel af den samlede biomasse er ekstremt lav og udgør under 1 %.



Figur 13.8 Den procentuelle vægtmæssige fordeling af fiskebiomassen i Arresø 1991. Fra /8/.

Artsdiversitetsindeks

Artsdiversitetsindekset, der udtrykker antallet af funktionelle arter, er med en værdi på 1.5 ekstremt lille - lavest af de 44 undersøgte søer.

Karpefiskebestanden

Brasenbestanden er meget stor og består næsten udelukkende af 5-9 årige fisk med længder mellem 15 og 22 cm. Der er kun fanget ganske få fisk over 30 cm og gennemsnitsvægten er meget lav, godt 160 g. Under ideelle forhold kan brasen opnå en længde af ca. 75 cm svarende til en vægt omkring 10 kg. Det er typisk for eutrofierede søer, at væksten stagnerer omkring 25-30 cm's længde på grund af en kombination af en forøget konkurrence om føden og faldende dødelighed som følge af rovfiskenes mindre prædation.

Skalle er den eneste betydende karpefisk i søen udover brasen. Væksten er god de første leveår, men stagnerer derefter og går næsten i stå for skaller større end 16 cm. Den kraftige fødekongurrence om bunddyrene fra den store brasenbestand er antagelig hovedårsagen til dette vækstmønster.

De yngre årgange af skalle og brasen er sparsomt repræsenteret. Dette skyldes formentlig, at de ekstremt høje pH-værdier i sommerperioden har påvirket ægudviklingen og gydelysten.

Rovfiskebestanden

Rovfiskenes betydning er ofte beskeden i eutrofierede søer. Med under 1 % af den samlede biomasse er rovfiskebestanden dog ekstremt lav i Arresø.

De dominerende rovfisk i danske søer - gedde, aborre og sandart, forekommer sjældent i betydende mængder i de samme søer grundet forskellige krav til habitat, fødekoneurrence og prædation. Sandarten lever således i de frie vandmasser, og kan klare sig i eutrofierede sommeruklare søer, da den jager ved brug af lugtesans og sidelinjeorgan. Føden består overvejende af mindre fisk, skalle, småaborrer og løje.

Umiddelbart forekommer forholdene i Arresø således som rimeligt gunstige for sandarten, og der har da også tidligere været en stor bestand. Vurderet både ud fra fiskeundersøgelsen og erhvervsfiskerens fangster, var bestanden dog meget lille i 1991.

Det har ikke været muligt med sikkerhed at fastslå årsagerne hertil. Intensivering af fiskeriet med anvendelse af drivgarn efter 1975 kan have medført en overfiskning af de største og dermed mest frugtbare sandarter. Desuden kan de vandkemiske forhold have haft indflydelse på overlevelsesmulighederne i de tidligste stadier. Æg og yngel kræver således et relativt højt iltindhold i vandet - mindst 4.5 mg/l, og såvel de voksne sandarter som æg og yngel er følsomme overfor høje pH-værdier. Endelig kan sygdom og parasitangreb have spillet en rolle. De varme vintre i de senere år kan således have medført bedre overlevelsesbetingelser for sygdomsfremkaldende organismer og parasitter.

I modsætning til sandarten er gedden overvejende knyttet til bredzonen og jager ved hjælp af synet. De større gedder er i stand til at spise større fisk end sandarten, blandt andet mindre brasener.

I store søer hvor bredzonen udgør et lille areal i forhold til søens volumen, eller hvor vanddybden eller sigtddybden begrænser rankegrødens udbredelse, viser resultaterne fra de øvrige undersøgte søer, at der sjældent findes store bestande af gedder. Selvom forholdene i Arresø således ikke er ideelle for gedden, er bestanden dog bemærkelsesværdig lille.

Aborre findes i et bredt spektrum af søer. Bestanden af store rovlevende aborrer er meget lille i Arresø. De høje pH-værdier i sommerperioden kan være dødelige for aborreynghen. Svigtende eller reduceret rekruttering hos aborren som følge af høje pH-værdier er set i andre danske søer. Aborren lever de første år af dyreplankton og bunddyr, indtil den

efter at have opnået en vis størrelse skifter til at leve af fisk. Den meget store bestand af brasen er derfor en hård fødekonzurrent for de opvoksede aborner, der på grund af dårlig vækst ikke når en størrelse, der sætter dem i stand til at ernære sig som rovfisk.

Ældre undersøgelser

Fiskebestandens sammensætning blev undersøgt i 1984 ved opsætning af bundgarn og elektrofiskeri /11/.

For de mest betydende arter er fangsterne ved undersøgelserne i 1984 og 1991 sammenstillet i tabel 13.2.

Tabel 13.2 Garnfangsterne af fisk større end 10 cm ved fiskeundersøgelserne i 1984 og 1991. Antal, vægtandel af totalfangst og procent vægtandel af totalfangst.

Art	1984			1991		
	Antal	Vægt	% vægt	Antal	Vægt	% vægt
Brasen	582	99.3	76.9	4082	489.4	71.5
Skalle	6	0.5	0.4	3591	184.3	26.9
Ål	16	2.5	1.9	3	0.8	0.1
Sandart	16	24.4	18.9	3	1.1	0.2
Aborre	3	0.7	0.5	88	5.8	0.8

For de større fisk var brasen også i 1984 den absolut dominerende art både med hensyn til biomasse og antal. De garn der blev anvendt ved undersøgelsen i 1991 selekterer positivt for skaller. Det vurderes dog, at skallebestanden har gennemgået en markant udvikling siden 1984 - fra at være ubetydelig til i 1991 at udgøre en væsentlig del af den samlede biomasse i søen.

Sandartbestanden var meget stor i 1984, mens fangsten af gedde og aborre ligesom i 1991 var beskedent.

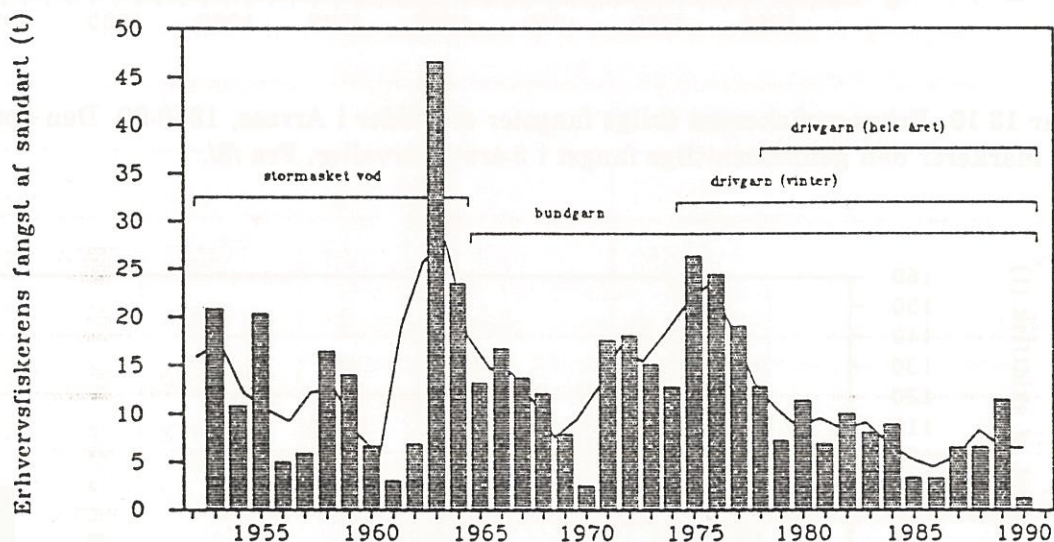
De mulige årsager til nedgangen i bestanden af sandart i perioden 1984-1991 er behandlet ovenfor. Skalle hører til de foretrukne byttefisk for sandarten, og den kraftige vækst i skallebestanden frem til 1991 skyldes med stor sandsynlighed, at der er sket en meget kraftig nedgang i bestanden af sandart.

Erhvervsfiskeri

De årlige fangster af sandart, gedde og skidtfisk (overvejende brasen) i perioden 1953-1990 er vist i figur 13.9, 13.10 og 13.11.

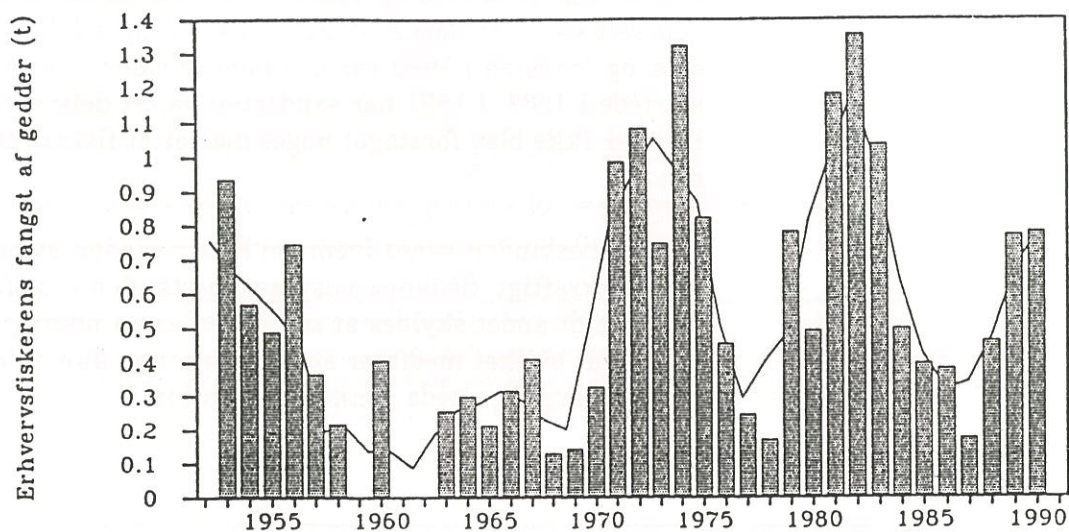
Fra midten af 1970'erne frem til 1990 har sandartudbyttet generelt været faldende på trods af en forøget fiskeriindsats, og fangsten i 1990 var den laveste siden fiskeriet startede i 1932. I 1991 har sandarten været delvist fredet, idet der ikke blev foretaget noget målrettet fiskeri efter den.

Sandartbestanden synes igennem hele perioden at have svinget kraftigt. Sådanne udsving i bestanden ses ofte, og kan blandt andet skyldes at sandarten er en udpræget kannibal, hvilket medfører at store årgange kan holde de følgende årgange nede gennem prædation.

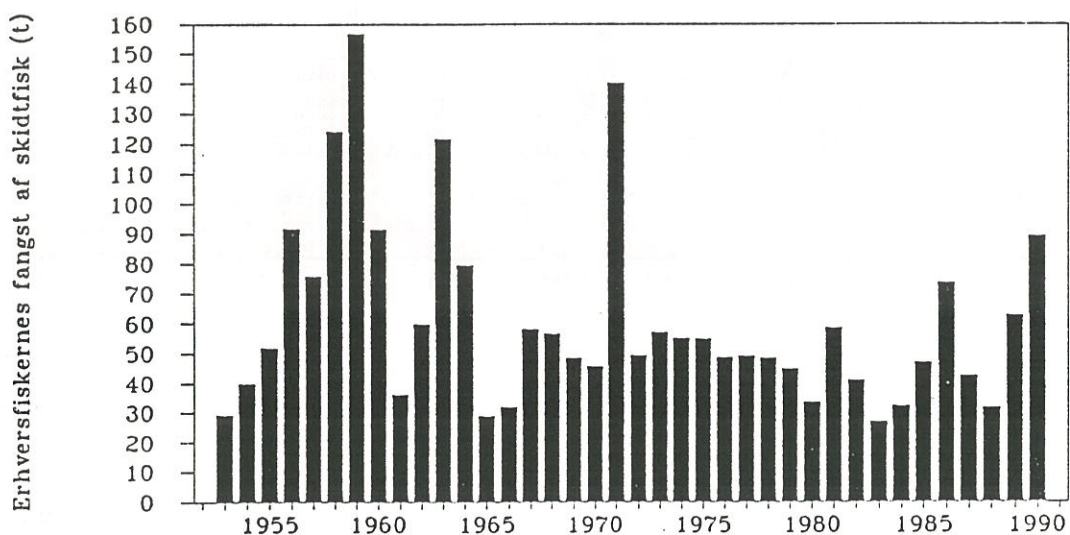


Figur 13.9 De årlige fangster af sandart i perioden 1953-1990. Der er endvidere angivet redskabstype. Den optrukne linje markerer den gennemsnitlige fangst i 3-årsintervaller. Fra /8/.

For geddebestanden tyder udbytteopgørelserne for erhvervsfiskeriet ligeledes på, at der har været tale om store svingninger i bestandsstørrelsen. I den første halvdel af århundredet før udsætningerne af sandart var fangsterne generelt noget større, op til 2.5-3 t/år. Svingninger i skallebestanden som følge af prædation fra sandart har således stor indflydelse på størrelsen af geddebestanden. I starten af århundredet var fiskebestanden domineret af småskaller og brasen, men efter sandartudsætningerne forsvandt småskallerne /12/.



Figur 13.10 Erhvervsfiskerens årlige fangster af gedder i Arresø, 1953-90. Den optrukne linje markerer den gennemsnitlige fangst i 3-års intervaller. Fra /8/.



Figur 13.11 Erhvervsfiskerens årlige fangster af skidtfisk (overvejende brasener) i Arresø, 1953-90. Fra /8/.

For fangsten af skidtfisk er der ikke skelnet mellem skalle og brasen. I sidste halvdel af 1950'erne til starten af 1960'erne blev der med bistand fra Danmarks Fiskeri & Havundersøgelser gennemført et intensivt fiskeri efter brasen, med det formål at nedbringe bestanden til gavn for ålefiskeriet. På trods heraf blev der i de efterfølgende år fanget store mængder brasen. Variationerne i udbyttet kan i vid udstrækning forklares ved varierende fiskeriindsats.

14. FUGLE

Der er foretaget optællinger af andefugle i perioden 1965-1973 og fuglebestanden er undersøgt i 1978-1980 /13/. Undersøgelserne omfattede selve Arresø, Lille Lyngby Mose, Nørremose, Ryeng og Alsønderup Enge. Der er yderligere optalt rastende fugle i Arresø i 1988-89 /32/.

Ynglefugle

Der blev ved undersøgelserne i 1978-80 registreret følgende ynglefugle (antal par):

Tal i parentes er skønnede antal.

Lille Lappedykker 2, *Toppet Lappedykker* 30 (-60?), *Gråand* 30, *Atlingand* 3, *Knarand* 2, *Skeand* 5, *Taffeland* 2, *Troldand* 1, *Gravand* 2, *Grågås* 15, *Knopsvane* 6 (-20?), *Rørhøg* 1, *Vandrikse* 10, *Plettet Rørvagtel* 0-1, *Rørhøne* 30 (-60?), *Blishøne* 50 (-100?), *Vibe* 25, *Dobbelt Bekkasin* 15, *Rødben* 5, *Nattergal* 30, *Græshoppesanger* 6, *Kærsanger* 70, *Rørsanger* 150, *Sivsanger* 35, *Drosselrørsanger* 2-3, *Gul Vipstjert* 8.

Området er karakteriseret som en meget vigtig ynglelokalitet for andefugle, og der blev fundet flere fåtallige og sjældne arter. Blandt andet *Knarand*, *Plettet Rørvagtel* og *Drosselrørsanger* (Rød-liste arter).

Rastende fugle

Der blev endvidere foretaget optællinger af rastende fugle i perioden 1965-73. Følgende arter er registreret (maksimalt antal):

Gråand 1500, *Krikand* 400, *Pibeand* 900, *Troldand* 250, *Stor Skallesluger* 2.600, *Grågås* 200 (fældeplads), *Vibe* 600, *Fiskeørn* 4-5, *Havørn* af og til.

Som rasteområde blev Arresø vurderet til at være af international betydning for *Stor Skallesluger* og af meget stor betydning for ande- og rovfugle.

EF fuglebeskyttelsesområde

Arresø er i henhold EF-fuglebeskyttelsesdirektivet udpeget til EF fuglebeskyttelsesområde (nr. 106). Der er foretaget tællinger af rastende fugle i perioden 1988-89 /32/. Det maksimale antal *Stor Skallesluger* blev registreret i oktober 1989 (1462), og der blev ved denne tælling yderligere talt 3500 gråænder og 2200 troldænder.

15. MÅLSÆTNING OG STATUS

- Recipientkvalitetsplan 1986** Arresø er omfattet af recipientkvalitetsplanen for Roskilde Fjord og opland, der blev vedtaget i Hovedstadsrådet i 1986. Det er blevet heri fastlagt, at Arresø skulle opfylde en generel målsætning, hvilket indebærer at der kun tillades en svag påvirkning af dyre- og plantelivet i søen. I erkendelse af at denne målsætning ikke kunne forventes opfyldt med den daværende fosforbelastning på omkring 70 t/år, blev det endvidere bestemt at fosforbelastningen skulle reduceres til 24 t/år.
- Teknikergruppe** Hovedstadsrådet nedsatte i 1986 en teknikergruppe bestående af repræsentanter for de 4 kommuner i oplandet, Miljøministeriet, Hovedstadsrådet, Frederiksborg Amt og repræsentanter for Arresøforeningen, der skulle vurdere mulighederne for at forbedre tilstanden i Arresø.
- Arresøundersøgelsen** Arbejdsgruppen fik gennemført en undersøgelse af sammenhængen mellem søens tilstand og næringssaltbelastningen med særlig vægt på den interne belastning. Endvidere blev mulighederne for at fremskynde en forbedring af søens tilstand ved restaureringsindgreb undersøgt.
- Konklusionen på denne undersøgelse var, at der, med den foreslåede reduktion i fosforbelastningen fra ca. 70 til 24 t/år, ikke kunne forventes en opfyldelse af recipientkvalitetsplanens krav om et naturligt og alsidigt dyre- og planteliv. Det blev vurderet, at en opfyldelse af kravene til en generel målsætning ville kræve en reduktion af fosforbelastningen til ca. 6 t/år.
- Det blev endvidere vurderet, at en fremtidig tilstand med en sigtddybde på mere end 0.8 m, et mere artsrigt planktonsamfund uden dominans af grønalger eller blågrøn-alger, samt kvalitative forbedringer af fiskesammensætningen, kunne forventes opnået 20-25 år efter en belastningsreduktion til 6 t/år.
- Endvidere blev der foretaget vurderinger af en række forskellige restaureringsindgreb. Forsegling af sedimentet blev foreslået som den bedste af de undersøgte indgreb. Ved en sådan forsegling blev det anslået, at overgangsfasen ville kunne forkortes med 10-15 år. Opfiskning af brasen og skalle og udplantning af undervandsplanter blev foreslået som et hensigtsmæssigt supplerende indgreb i den sidste del af overgangsfasen.
- Supplerende undersøgelser** På baggrund af konklusionerne i ovennævnte undersøgelse besluttede Frederiksborg Amt sammen med Skov- og Natur-

styrelsen at iværksætte en undersøgelse af de tekniske muligheder for at nå ned på et belastningsniveau omkring 6 t fosfor/år, og vurdere de enkelte fosforkilders størrelse.

På baggrund af undersøgelsens resultater besluttede Frederiksborg Amtsråd i december 1991, at udarbejde en regionplan, hvori den generelle målsætning for Arresø fastholdes.

REFERENCER

- /1/ Hovedstadsrådet, 1982.
Recipientundersøgelser af Arresø 1976-1981.
Rapport udarbejdet af VKI og COWIconsult.
- /2/ Hovedstadsrådet, 1989.
Restaurering og fremtidig tilstand i Arresø.
Rapport udarbejdet af COWIconsult i samarbejde med Danmarks Miljøundersøgelser.
- /3/ Frederiksborg Amt og Skov- og Naturstyrelsen, 1991.
Oplandsanalyse. Reduktion af Arresøens belastning.
Rapport udarbejdet af COWIconsult, Hedeselskabet og Danmarks Miljøundersøgelser.
- /4/ Frederiksborg Amt.
Diverse tilsynsdata.
- /5/ Kristensen P., J.P. Jensen, E. Jeppesen og M. Erlandsen, 1991.
Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1990.
Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport nr 38.
- /6/ Kristensen P., Kronvang B., Jeppesen E., Græsbøll M., Erlandsen M., Rebsdorf Aa., Bruhn A. og Søndergaard M., 1990.
Ferske vandområder - vandløb, kilder og søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1989.
Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport nr. 5.
- /7/ Kristensen P., Jensen J.P., og Jeppesen E., 1990.
Eutrofieringsmodeller for søer.
NPo forskning fra Miljøstyrelsen. Nr. C9.
- /8/ Frederiksborg Amt, 1992.
Fiskebestanden i Arresø, august 1991.
Rapport udarbejdet af Fiskeøkologisk Laboratorium for Frederiksborg Amt.
- /9/ Mortensen E., Jensen H.J., Müller J.P. og Timmermann M., 1990.
Fiskeundersøgelser i søer. Undersøgellesprogram, fiskeredskaber og metoder.
Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning nr. 3.
- /10/ Otterstrøm C.V., 1926.
Arresø - Rapport over en i 1922 foretagen fiskeribiologisk undersøgelse.
Danmarks Fiskeri og Havundersøgelser arkiv, Silkeborg.
- /11/ Mohr-Markmann. Fiskebiologisk Rådgivning, 1986.
Fiskebestanden i Arresø, erhvervsfiskeriet og ålefaringen til søen samt tungmetallbelastningen af udvalgte fiskearter.
Rapport til Hovedstadsrådet.

- /12/ Larsen K., 1978.
 Dansk Sportsfiskerleksikon. Bind 5, 1258-1263.
 Forlaget Branner & Korch, København 1978.
- /13/ Dybbro T. og Boeg H., 1982.
 Fuglelokaliteter i hovedstadsområdet. Resultaterne af Dansk Ornitologisk Forenings lokalitetsregistrering.
 Dansk Ornitologisk Forening med støtte fra Fredningsstyrelsen og Hovedstadsrådet. København 1982.
- /14/ SØHUND-udvalget, 1973.
 Vandbehov og vandindvindingsmuligheder i det nordøstlige Sjælland.
- /15/ Frederiksborg Amt, 1991.
 Vandmiljøovervågning. Arresø, tilstand og udvikling 1990.
- /16/ Dahl J. og Nielsen E., 1957.
 Notat af 20. november 1957 vedr. brasen- og bundfaunaundersøgelser i Arresø.
- /17/ Olesen E.M., 1977.
 Recipient- og belastningsvurdering, Arresø 1975-76.
 Specialrapport. Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Kbh. Universitet.
- /18/ Hovedstadsrådet, 1989.
 Arresø 1985-88. Tilsynsdata.
 Udarbejdet af COWIconsult for Hovedstadsrådet.
- /19/ Frederiksborg Amt, 1991.
 Notat vedr. bred- og bundfaunaen i Arresø 1991.
 Udarbejdet af Bio Consult.
- /20/ Sten Moeslund, 1991.
 Brev til Frederiksborg Amt angående bestemmelse af vandplantecollect fra Arresø.
- /21/ Wesenberg-Lund, 1943
 Lidt om de nordsjællandske søer.
 I Boisen H., Klem K., og Uhrskov A. (red). Hjemstavnsbog for Frederiksborg Amt.
- /22/ Olsen S., 1944.
 Danish Charoppyta. Chorological, ecological and biological investigations.
- /23/ Andersen F.Ø., 1976.
 Primary production in a shallow water lake with special reference to a reed swamp.
 Oikos 27: 243-250.
- /24/ Frederiksborg Amt, 1992.
 Arresø 1985-1991. Plante- og dyreplankton.
 Udarbejdet for Frederiksborg Amt af Miljøbiologisk Laboratorium ApS.

- /25/ Olrik K. & Sørensen A., 1987.
Phytoplankton i Arresø 1985.
Udarbejdet for Hovedstadsrådet af Miljøbiologisk Laboratorium Aps.
- /26/ Olrik K. & Sørensen A., 1988.
Phytoplankton i Arresø 1986.
Udarbejdet for Hovedstadsrådet af Miljøbiologisk Laboratorium Aps.
- /27/ Frederiksborg Amt, 1990.
Arresø 1987 og 1988. Phytoplankton.
Notat til Frederiksborg Amt. Udarbejdet af Miljøbiologisk Laboratorium ApS.
- /28/ Frederiksborg Amt, 1990.
Arresø 1989. Phyto- og zooplankton.
Notat til Frederiksborg Amt. Udarbejdet af Miljøbiologisk Laboratorium ApS.
- /29/ Carl Bro A/S, 1991.
Fyto- og zooplankton i Arresø 1990.
- /30/ Dahl J., 1957.
Notat af 17. april 1957 vedrørende brasen- og bundfaunaundersøgelser i Arresø.
- /31/ Frederiksborg Amt, 1992.
Udkast til redegørelse og retningslinjer for regionplan for Arresø.
Rapport udarbejdet af N & R Consult A/S.
- /32/ Miljøministeriet. Skov- og Naturstyrelsen, 1990.
Fuglene i internationale beskyttelsesområder i Danmark.

1. Introduction	1
2. Theoretical Framework	2
3. Methodology	3
4. Results	4
5. Discussion	5
6. Conclusion	6
7. References	7
8. Appendix	8
9. Bibliography	9
10. Index	10
11. Glossary	11
12. Acknowledgements	12
13. Author's Note	13
14. Contact Information	14
15. Declaration of Interest	15
16. Funding Sources	16
17. Data Availability	17
18. Ethics Approval	18
19. Conflicts of Interest	19
20. Supplementary Materials	20
21. Correspondence	21
22. Peer Review History	22
23. Copyright	23
24. Reprints and Permissions	24
25. Cite this Article	25
26. Additional Resources	26
27. Further Reading	27
28. Related Articles	28
29. Author's Biography	29
30. Editorial Board	30
31. Journal Information	31
32. Subscription Rates	32
33. Advertising Rates	33
34. Contact Us	34
35. Privacy Policy	35
36. Terms and Conditions	36
37. Disclaimer	37
38. Copyright Notice	38
39. All Rights Reserved	39
40. Printed in the USA	40
41. ISSN: 1234-5678	41
42. E-ISSN: 9876-5432	42
43. Volume 1, Issue 1, 2024	43
44. Page 1 of 44	44

