



# ARRESØ TILSTAND OG UDVIKLING 1995



Titel: Arresø - tilstand og udvikling 1995

Serietitel: Vandmiljøovervågning nr. 25

Udgiver: Frederiksborg Amt, Teknik & Miljø, Miljøafdelingen

Udgivelsesår: 1996

Rapport: Bio/consult  
Bjarne Moeslund

Tryk: Frederiksborg Amt

ISBN: 87-7781-105-4

ISSN: 0906-7299

Købes hos: Frederiksborg Amt, Teknik & Miljø  
Miljøafdelingen, tlf.: 42 26 66 00

Pris: 50 kr.

Arresø

tilstand og udvikling  
1995



# Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	I-II
Forord	1
1. Baggrundsmateriale	2
2. Beskrivelse af Arresø og det topografiske opland	3
2.1. Beliggenhed og morfologi	3
2.2. Opland	5
2.3. Målsætning	6
3. Vand- og stofbalancer	7
3.1. Vandbalance	7
3.1.1. Nedbør og fordampning	7
3.1.2. Vandstand og volumenændringer	8
3.1.3. Vandbalance	10
3.1.4. Areal-specifik afstrømning	11
3.1.5. Afstrømningshøjde og vandets opholdstid 1995	11
3.1.6. Vandets opholdstid 1989-1995	12
3.2. Næringsstofbalancer 1995	13
3.2.1. Areal-specifik næringsstofbelastning mv.	14
3.3. Næringsstofbalancer 1989-1995	16
4. De frie vandmasser - fysiske og kemiske forhold	18
4.1. Status 1995	18
4.1.1. Ilt og temperatur	18
4.1.2. Sigtdybde	20
4.1.3. Klorofyl-a	22
4.1.4. Suspenderet stof	22
4.1.5. Kvælstof	24
4.1.6. Fosfor	25
4.1.7. Kvælstof-fosfor-forholdet	26
4.1.8. Relationer mellem sedimentet og vandet	27
4.1.9. pH og alkalinitet	28
4.1.10. Silicium	29
4.2. Udvikling 1989-1995	29
5. Plankton	32
5.1. Planteplankton 1995	32
5.1.1. Artssammensætning og biomasse	32
5.1.2. Størrelsesforhold	34
5.2. Planteplankton 1985-1995	35
5.2.1. Sammenligning med andre søer	36



5.3. Dyreplankton 1995	37
5.3.1. Artssammensætning og biomasse	37
5.3.2. Relationer mellem dyreplankton og planteplankton 1995	39
5.4. Dyreplankton 1989-1995	39
6. Sediment, bundvegetation, bundfauna og fisk	42
6.1. Sediment	42
6.2. Bundvegetation	42
6.3. Bundfauna	42
6.4. Fisk	42
7. Samlet vurdering	43
8. Referencer	45
Bilag	46





## Sammenfatning

Med undersøgelserne i 1995 er der gennemført detaljerede undersøgelser i Arresø i 11 år, og der er dermed tilvejebragt et detaljeret billede af søens tilstand og udviklingen gennem de seneste 11 år. Der er bl.a. sket en væsentlig reduktion af fosfortilførslen til søen som følge af forbedret spildevandsrensning og senest etablering af Solbjerg Eng sø, der indtil nu har fældet betydelige mængder næringsstoffer.

1995 har været et år præget af stor afstrømning fra oplandet i de fire første måneder, da søen modtog ikke mindre end ca. 85% af årets samlede vandtilførsel. Dette har, sammen med en meget varm og tør sommer med ringe afstrømning fra oplandet og et stort vandtab fra vandoverfladen som følge af fordamning, haft væsentlig indflydelse på den miljømæssige tilstand og udvikling.

Den meget uensartede vandtilførsel er årsag til, at vandets opholdstid i februar har været så kort som 3/4 år, mens den omvendt har været så lang som ca. 10 år i september. Med en gennemsnitlig opholdstid på ca. 2 år er det i det hele taget karakteristisk, at den samlede vandtilførsel til søen er meget ringe i forhold til det store vandvolumen, og at vandets opholdstid i søen derfor er meget lang.

Alene som følge af den store vandtilførsel i årets første måneder har den samlede vandtilførsel i 1995 været forholdsvis høj. Erfaringsmæssigt er der god sammenhæng mellem afstrømningen og næringsstofftilførslen, men i 1995 har næringsstofftilførslen i årets første fire måneder været forholdsvis mindre end vandtilførslen, og det betyder, at der ikke har været fuld proportionalitet mellem vandtilførslen og næringsstofftilførslen. Sammen med forholdsvis ringe næringsstofftilførsel i årets sidste 8 måneder har det resulteret i, at 1995 blev et år med forholdsvis lille kvælstoftilførsel og den hidtil laveste fosfortilførsel. Sidstnævnte skal dog også ses i relation til fosforfældningen i Solbjerg Eng sø.

En meget stor del, ca. 45%, af den samlede kvælstofmængde (375 t) blev tilbageholdt og/eller denitrificeret i søen med det resultat, at kun godt halvdelen af den tilførte mængde har forladt søen igen via afløbet. For fosfors vedkommende har det forholdt sig lige omvendt, idet hele den tilførte mængde (8,6 t) har forladt søen via afløbet tillige med yderligere en meget stor mængde (14,7 t), som er blevet frigivet fra søens bund.

Sidstnævnte betyder, at selvom den udefra kommende tilførsel kun har været 8,6 tons, så har fosforbidraget fra sedimentet bragt den samlede belastning op på det niveau, som var gældende, før spildevandsrensningen blev forbedret. Da kvælstofbelastningen ikke er blevet reduceret i perioden, har den samlede fosforbelastning bevirket, at søens næringsstoffmæssige status ikke er blevet forbedret.

Det kommer tydeligst til udtryk i vandets klarhed. Sommermiddelsigt dybden har gennem hele perioden fra 1985 været meget ringe, 0,29-0,47 m, og 1995 har med 0,43 m ikke været nogen undtagelse. Arresø må derfor karakteriseres som en meget uklar sø.



En væsentlig del af årsagen til det uklare vand er de meget høje biomasser af planteplankton, først og fremmest små chlorococcale grønalger, men de er langt fra den eneste årsag. En nærmere analyse af datamaterialet har vist, at hovedparten af de partikler, der gør vandet uklart, er resuspenderede sedimentpartikler, antagelig først og fremmest detritus bestående af dødt planteplankton.

Det har ydermere vist sig, at den generelt store resuspension af sediment spiller en central rolle for søens økologi. Koncentrationerne af plantetilgængeligt kvælstof og fosfor har fra maj og frem til årets slutning ligget på så lave niveauer, at planteplanktonbiomasserne kunne forventes at være begrænset heraf; men det har ikke været tilfældet. Det må tilskrives den løbende resuspension af detritus, idet der i forbindelse med resuspensionen sker en mobilisering og recykling af næringsstofferne, som derved bliver gjort tilgængelig for planteplanktonet. Optagelsen af de frigjorte næringsstoffer er så hurtig, at der ikke sker nogen stigning i vandets indhold af uorganisk kvælstof og fosfor, men vurderet ud fra planteplanktonets biomasseniveau må der til gengæld være en stor fluks af næringsstoffer mellem sedimentet og planteplanktonet.

Det er sandsynligt, at næringsstofferne recykles adskillige gange, førend de forlader søen via afløbet. Kvælstof-fosfor-forholdet ligger til stadighed nær værdien i levende planteplankton, og det indikerer, at det er levende planteplankton, der sammen med "ungt" detritus er i resuspension.

Selvom resuspensionen således er årsag til, at vandet er uforandret uklart, trods reduceret fosforbelastning, er den også årsag til, at store mængder fosfor i disse år frigives fra sedimentet og forlader søen via afløbet. Det er en proces, der vil fortsætte i mange år fremover, og selvom fosforbelastningen bliver reduceret yderligere, vil det i vid udstrækning være resuspensionen, der bliver bestemmende for vandets klarhed, dels på grund af de resuspenderede partiklers egen effekt på vandets klarhed, dels på grund af resuspensionens mobilisering af plantetilgængelige næringsstoffer, som omsættes til planteplanktonbiomasse.

På grund af vandets ringe klarhed og høje indhold af næringsstoffer befinder Arresø sig i gruppen af meget næringsrige og særdeles uklare søer, hvor undervandsvegetation har meget dårlige vækstbetingelser, og hvor fiskefaunaen på grund af dominans af *brasen* og *skalle* til stadighed øver et stort prædationstryk på dyreplanktonet, som herved bliver ude af stand til at kontrollere mængden af planteplankton.

Konsekvensen heraf er, at målsætningen for Arresø ikke kan betragtes som opfyldt. Med den resuspension, der også vil forekomme i årene fremover, og med den store næringsstofpulje, der er ophobet i sedimentet, må det forventes at vare lang tid, førend målsætningen bliver opfyldt.



## Forord

Frederiksborg Amt har i henhold til Miljøbeskyttelsesloven pligt til at føre tilsyn med tilstanden i vandløb, søer og kystnære områder. Derudover har amtet i henhold til Vandmiljøplanens Overvågningsprogram endvidere pligt til hvert år at gennemføre et intensivt tilsyn med de særligt udvalgte søer Arresø, Bastrup Sø og Fuglesø.

Undersøgelserne er hvert år blevet afrapporteret efter de retningslinier, der er afstukket af Miljøstyrelsen og Danmarks Miljøundersøgelser, og undersøgelsesresultater er årligt blevet indberettet til Danmarks Miljøundersøgelser, som har forestået den landsdækkende afrapportering.

Denne rapport indeholder en præsentation og vurdering af undersøgelsesresultater og data indsamlet i 1995. Disse data er endvidere indføjede i de eksisterende tidsserier, og der er foretaget en vurdering af udviklingen i søen frem til og med 1995. Med baggrund i Miljøstyrelsens "Paradigma for rapportering af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995" er der i 1995 foretaget en normalrapportering uden særligt tema.



# 1. Baggrundsmateriale

Indholdet af denne rapport er baseret på følgende data og undersøgelsesresultater:

Fysiske og kemiske forhold i de frie vandmasser (Frederiksborg Amt)

Vandføring, vandkemi og stoftransport i tilløb og afløb (Frederiksborg Amt)

Nedbør og fordampning (Forskningscenter Foulum og Danmarks Meteorologiske Institut)

Plante- og dyreplankton (Miljøbiologisk Laboratorium)

Frederiksborg Amt har desuden forestået beregning af de værdier, der skal indberettes til Danmarks Miljøundersøgelser sammen med undersøgelsesernes primærdata.





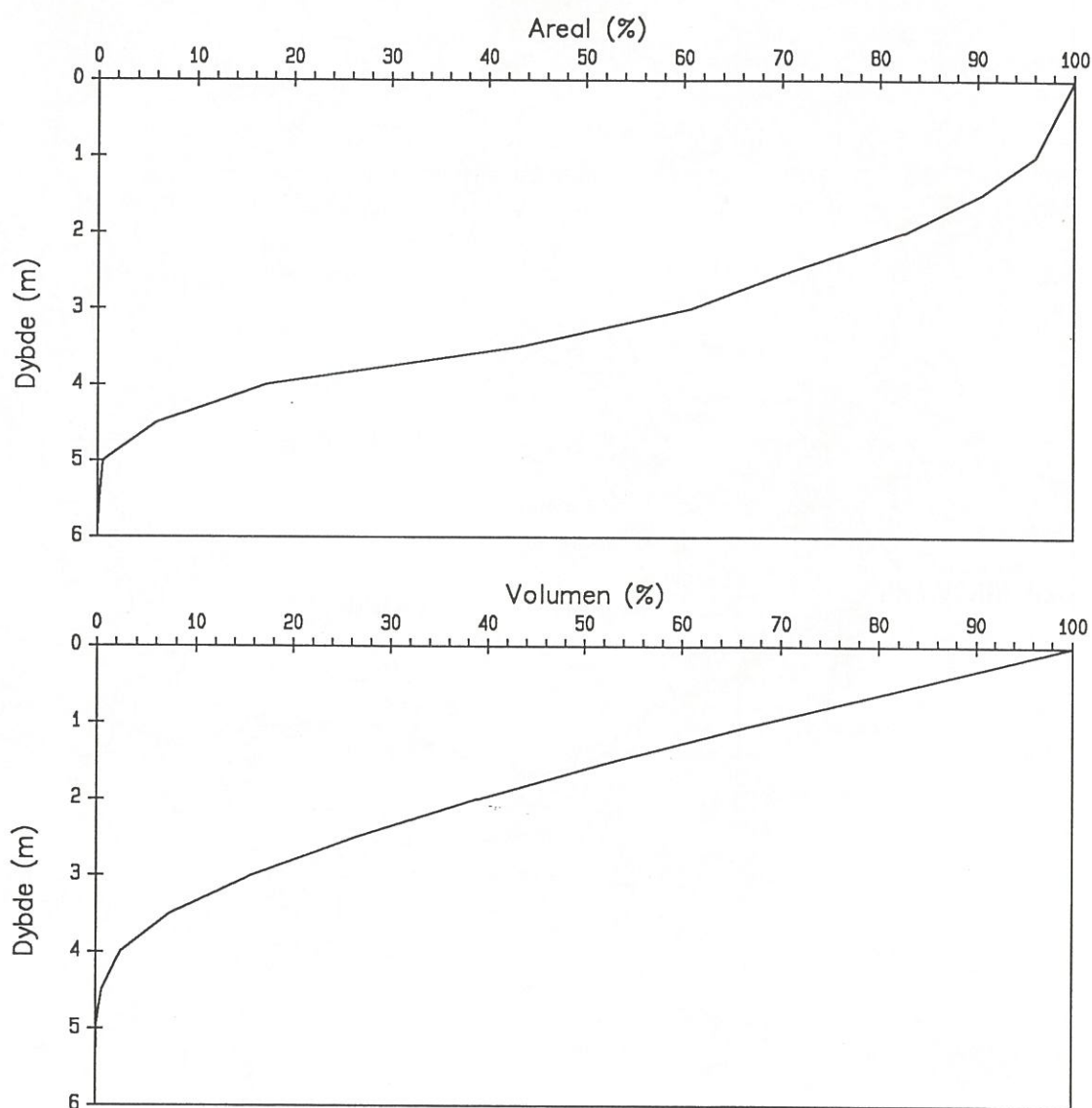
## 2. Beskrivelse af Arresø og det topografiske opland

### 2.1. Beliggenhed og morfologi

Arresø ligger i den nordvestlige del af Frederiksborg Amt, se kortet side 4.

Søen er med et areal på 39,87 km<sup>2</sup> Danmarks største sø. Søens største dybde er 5,90 m, middeldybden er 3,07 m, og volumenet er 122.750.000 m<sup>3</sup>. Alle værdier er gældende ved vandspejlskote 3,97 m o. DNN (ny opmåling af Høy (1995)), jf. også kortet i figur 2.

Hypsografen og volumenkurven er vist i figur 1.



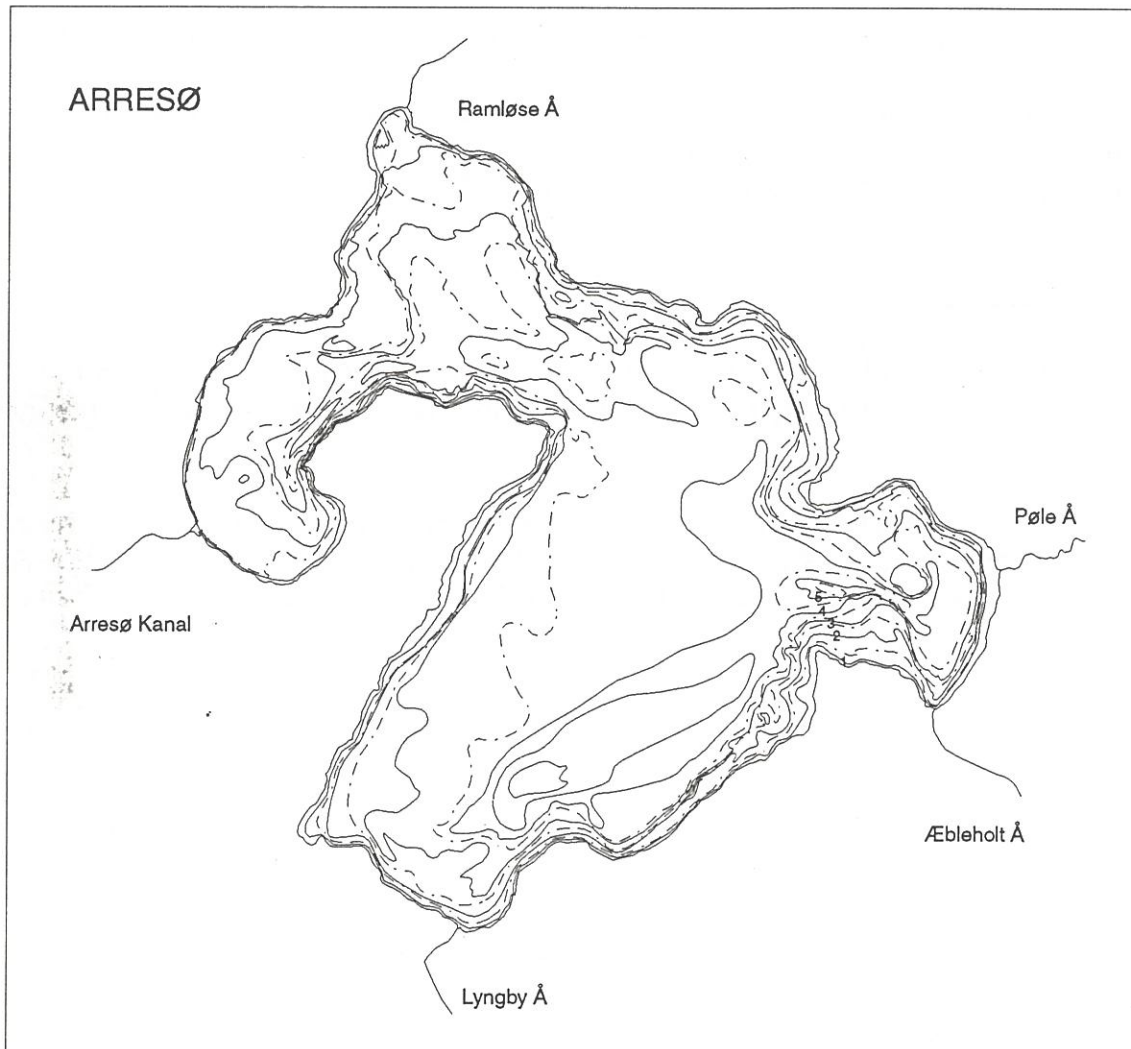
Figur 1. Hypsograf og volumenkurve for Arresø, angivet ved vandspejlskote 3,97 m o. DNN. Data efter (Høy, 1995).



## 2.2. Opland

Det topografiske opland til Arresø er i alt 216 km<sup>2</sup> (excl. søen), som hovedsagelig består af dyrkede landbrugsarealer. De største byer i oplandet er Hillerød og Helsinge.

161 km<sup>2</sup> af de i alt 216 km<sup>2</sup> opland afvandes til søen via de 4 største vandløb, Pøle Å, Æbelholt Å, Lyngby Å og Ramløse Å, se figur 2.



Figur 2. Dybdekort for Arresø, baseret på opmåling i 1995. Kortet viser desuden beliggenheden af de 4 største tilløb samt afløbet.

Oplandet til Pøle Å er på 104 km<sup>2</sup> og omfatter de to største byer Hillerød og Helsinge.

Oplandet til Æbelholt Å er på 12 km<sup>2</sup> og omfatter foruden landbrugsarealer kun enkelte, mindre bebyggelser.

Oplandet til Lyngby Å er på 20 km<sup>2</sup> og omfatter foruden landbrugsarealer kun enkelte, mindre bysamfund. Vandet fra dette opland pumpes op i Arresø via en pumpestation.

Oplandet til Ramløse Å er på 27 km<sup>2</sup> og består foruden landbrugsarealer også af skov- og moseområder.

De 4 store tilløb er genstand for løbende målinger af vandføring og stoftransport. De resterende 53 km<sup>2</sup> af de samlede opland afvandes til søen via en række mindre vandløb og grøfter, hvori der ikke foretages målinger af vandføring og stoftransport.

Arresø har afløb til Roskilde Fjord via Arresø Kanal i Frederiksværk, hvori der foretages løbende målinger af vandføring og stoftransport. Afløbet har i de seneste ca. 240 år været reguleret med henblik på at styre vandstanden i søen. I dag er afløbskoten for vandspejlet i søen fastsat til 3,97 m o. DNN. Men i tørre, nedbørsfattige somre kan vandspejlskoten komme langt under den fastsatte afløbskote.

### 2.3. Målsætning

Arresø er i recipientkvalitetsplanen for Roskilde Fjord og opland målsat med basismålsætning, hvilket betyder, at søen skal være upåvirket eller kun svagt påvirket af menneskelige aktiviteter.

Målsætningen indebærer, at fosforbelastningen skal nedbringes til et meget lavt niveau. Der er allerede taget skridt hertil gennem forbedret spildevandsrensning, og derudover er Solbjerg Eng sø etableret med henblik på at fælde en stor del af den resterende fosformængde.

### 3. Vand- og stofbalancer

Grundlaget for opstilling af vand- og stofbalancer for Arresø er de løbende målinger af vandføring og stoftransport i de 4 store tilløb og i afløbet. Forudsætningerne for beregningerne er beskrevet i et særskilt notat (Frederiksborg Amt, 1996) samt i bilag 1.

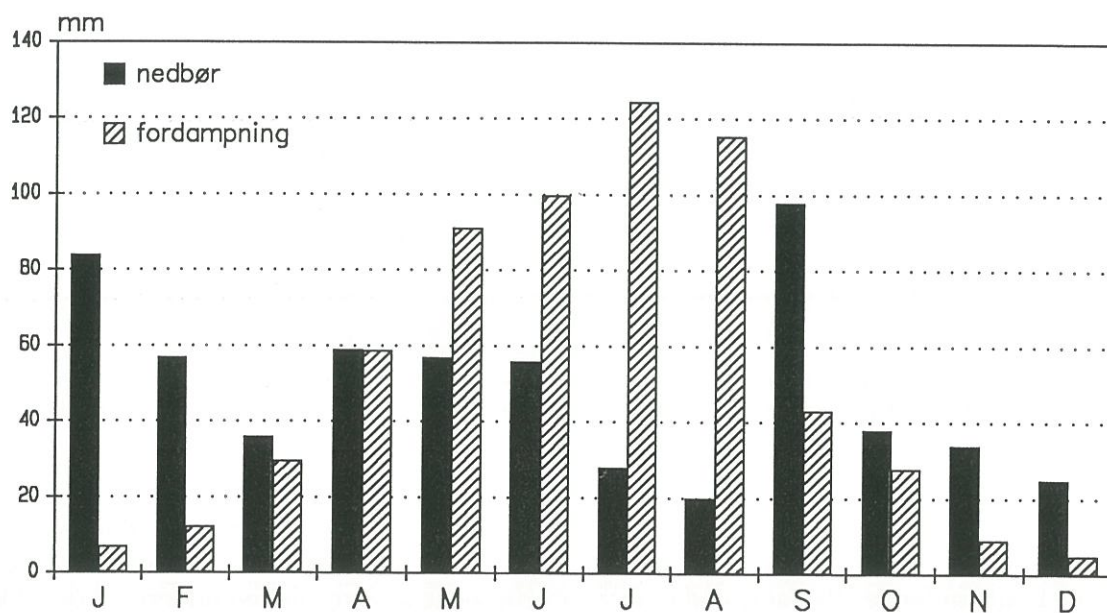
Målestationerne i de 4 tilløb dækker et oplandsareal på i alt 130,96 km<sup>2</sup>, benævnt det målte opland. De resterende 85,04 km<sup>2</sup> opland benævnes det umålte opland.

Beregninger af vand- og næringsstofftilførslen fra det umålte opland er gennemført på grundlag af målingerne i de målte oplande. Det antages i den forbindelse, at den arealspecifikke afstrømning fra det umålte opland svarer til middelfaststrømningen fra de målte oplande, og at næringsstoffindholdet i det tilstrømmende vand fra det umålte opland kan beskrives ved de vandføringsvægtede gennemsnitsindhold af næringsstoffer i vandet fra de målte oplande. På baggrund af terrænforholdene antages det endvidere, at der ikke sker grundvandstilstrømning til søen (Frederiksborg Amt, 1995).

#### 3.1. Vandbalance

##### 3.1.1. Nedbør og fordampning

Variationen af den månedlige nedbør og fordampning er vist i figur 3. Den samlede nedbør er i 1995 målt til 592 mm, mens fordampningen er målt til 624 mm, svarende til at der på årsbasis har været et nedbørsunderskud på 32 mm. Dette underskud er primært fremkommet i den meget tørre og varme sommerperiode. Årsnedbøren har i 1995 ligget lidt under årsnormalen på 619 mm.



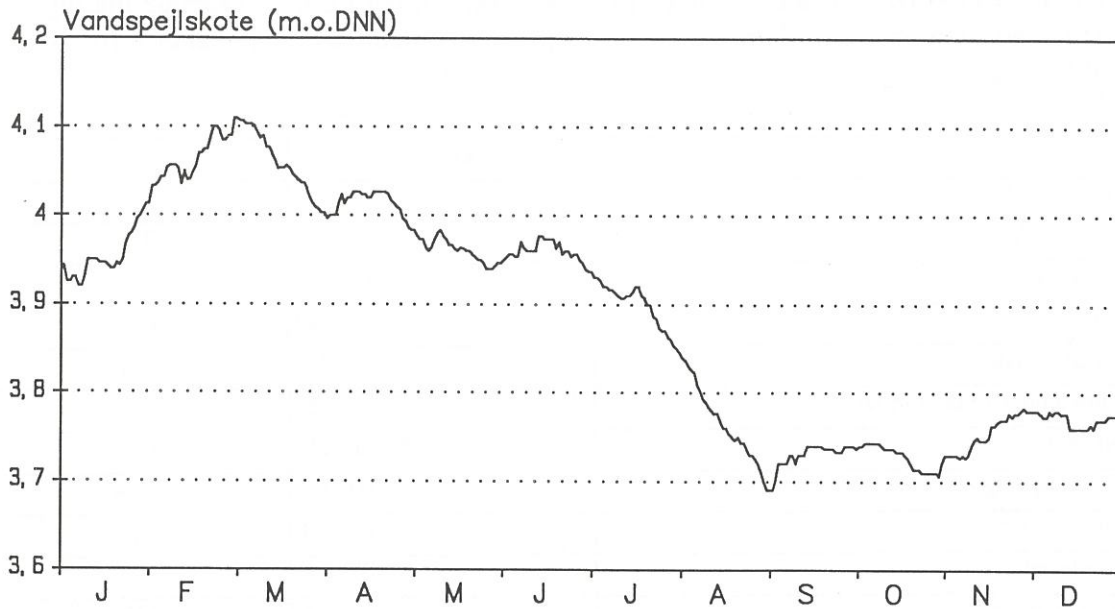
Figur 3. Oversigt over variationen af den månedlige nedbør og fordampning ved Arresø i 1995.

### 3.1.2. Vandstand og volumenændringer

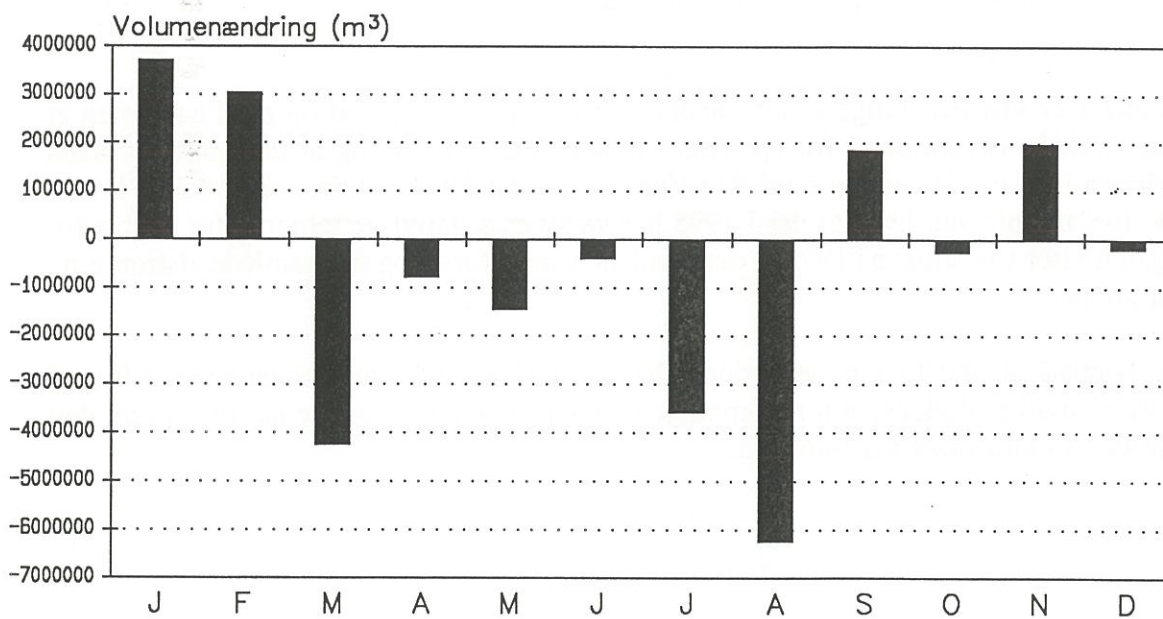
Vandspejlskoten i Arresø har varieret betydeligt i 1995. Den daglige middelvandspejlskote har således varieret fra maksimum 4,11 m o. DNN først på året, til minimum 3,69 m o. DNN sidst på sommeren, se figur 4.

Vandspejlskoten, der i en vis udstrækning er bestemt af vandindtaget på Stålvalseværket i Frederiksværk, har således været et stykke højere end den fastsatte kote 3,97 m o. DNN først på året og ganske betydeligt lavere sidst på sommeren. Middelvandspejlskoten er beregnet til 3,89 m o. DNN, hvilket er 8 cm lavere end den fastsatte vandspejlskote.

Vandspejlsvariationerne er årsag til store variationer i søens volumen, se figur 5. Det bemærkes i den forbindelse, at en vandspejlsændring på 1 cm svarer til en volumenændring på ca. 400.000 m<sup>3</sup>. Det betyder, at der i en sø som Arresø, hvor vandspejlskoten kan variere meget fra sted til sted som følge af vinden, er betydelig usikkerhed på bestemmelsen af middelvandspejlskoten og dermed på søens volumen. Volumenændringen fra højeste til laveste vandspejlskote kan beregnes til 16.745.400 m<sup>3</sup>, og ved den lave sommervandstand har søens volumen været 11.163.600 m<sup>3</sup> lavere end ved den fastsatte kote 3,97 m o. DNN, svarende til en volumenreduktion på ca. 9%.



Figur 4. Oversigt over variationen af den daglige middelvandspejlskote (m o. DNN) i Arresø 1995.



Figur 5. Oversigt over variationen af den månedlige volumenændring i Arresø 1995.

### 3.1.3. Vandbalance

På baggrund af de løbende målinger i tilløbene og afløbet samt de løbende målinger af vandstand, nedbør og fordampning er der opstillet en detaljeret vandbalance for Arresø 1995, se tabel 1.

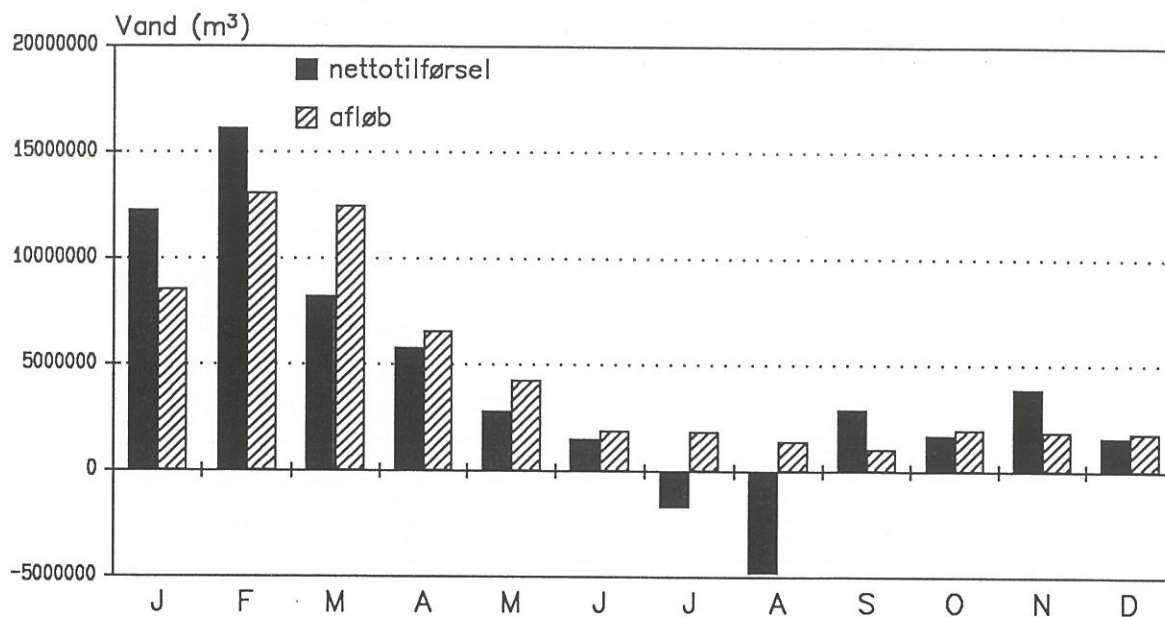
	Vandmængde (m <sup>3</sup> /år)	%
Æbelholt Å	2.586.314	5,1
Lyngby Å	3.527.612	7,0
Ramløse Å	3.502.551	6,9
Pøle Å	23.282.843	46,1
Umålt opland	16.789.991	33,3
Punktkilder i umålt opland	2.780.789	5,5
Nedbør	23.563.170	46,7
Fordampning	-24.918.750	-49,4
Øvrige *)	-644.270	-1,3
Samlet tilførsel	50.470.250	100
Samlet fraførsel	57.048.800	113
Δ-volumen	-6.578.550	13

Tabel 1. Vandbalance for Arresø 1995. \*) Øvrige dækker primært over den usikkerhed, der er på vandspejlskoten, idet tidligere undersøgelser har sandsynliggjort, at Arresø ikke har nogen vandudveksling med grundvandsmagasinerne.

I bilag 1 er vist månedlige vandbalancer. Vandbalancen viser, at op mod halvdelen af den samlede vandtilførsel fra oplandet kommer via Pøle Å, og at det umålte opland bidrager med ca. 1/3 af den samlede tilførsel fra oplandet. Nedbøren er en smule lavere end fordampningen, hvorfor der i 1995 har været et negativt nettobidrag fra nedbøren. Figur 6 viser variationen i 1995 af den samlede vandtilførsel og den samlede afstrømning via afløbet.

Det bemærkes, at der i sommerperioden har været to måneder med negativ nettotilførsel af vand, hvilket skyldes, at fordampningen i den pågældende periode har oversteget den samlede vandtilførsel via tilløbene.





Figur 6. Oversigt over variationen af nettovandtransporten til og vandtransporten fra Arresø 1995.

#### 3.1.4. Areal-specifik afstrømning

Den areal-specifikke afstrømning kan for hele oplandet til Arresø beregnes til 7,07 l/s/km<sup>2</sup>, hvilket er en smule lavere end i 1994. Forklaringen på den lave værdi er for en stor dels vedkommende den meget lange periode fra sidst på foråret og frem til årets slutning med ringe nedbør.

#### 3.1.5. Afstrømningshøjde og vandets opholdstid 1995

Afstrømningshøjden, der er et udtryk for den vandstandshævning, som den samlede afstrømning fra søen ville kunne forårsage, kan for 1995 beregnes til 0,46 m. Denne værdi er meget lav, hvilket understreger, at Arresø har en i forhold til størrelsen meget ringe hydraulisk belastning

På grundlag af den samlede afstrømning fra søen kan vandets teoretiske opholdstid som gennemsnit for året beregnes til 785 døgn. Tabel 2 indeholder en oversigt over den teoretiske opholdstid i de enkelte måneder, beregnet på grundlag af den månedlige vandtransport ud af søen.

Det ses, at den teoretiske middellopholdstid generelt har været meget lang med maksimum på næsten 10 år i september og minimum på ca. 3/4 år i årets mest nedbørsrige måned, februar.

Måned	Opholdstid (døgn)
Januar	444
Februar	262
Marts	305
April	559
Maj	885
Juni	1.904
Juli	2.012
August	2.653
September	3.487
Oktober	1.935
November	1.944
December	2.089
Årsgennemsnit	785
Sommergennemsnit	1.769

Tabel 2. Oversigt over den teoretiske middelopholdstid i Arresø 1995.

### 3.1.6. Vandets opholdstid 1989-1995

Tabel 3 indeholder en oversigt over variationen af års- og sommermiddelopholdstiden i perioden 1989-1995.

År	Årsgennemsnit	Sommergennemsnit	Max.	Min.
1989	4,9	6,1	7,2 (jul)	2,6 (jan)
1990	3,8	4,7	5,3 (sep)	1,7 (feb)
1991	2,4	2,4	4,5 (sep)	1,4 (jan)
1992	2,9	5,2	7,9 (okt)	1,2 (feb)
1993	3,5	8,4	9,8 (maj)	1,5 (jan)
1994	1,9	5,4	7,6 (aug)	0,8 (mar)
1995	2,2	4,8	9,6 (sep)	0,7 (feb)

Tabel 3. Oversigt over variationen af vandets teoretiske års- og sommermiddelopholdstid (år) i Arresø 1989-1995, beregnet på grundlag af vandtransporten ud af søen.

Det ses af tabellens værdier, at Arresø er meget følsom over for variationer i nedbøren og dermed afstrømningen fra oplandet, og det er årsagen til, at der er en faktor 2-3 til forskel mellem den længste og korteste opholdstid både på årsbasis og på sommerbasis.

Det er karakteristisk, at de korteste opholdstider i perioden 1989-1995 alle er registreret i årets første to(tre) måneder, mens der er stor spredning på tidspunktet for den længste opholdstid, som dog fortrinsvis er registreret sidst på sommeren.

### 3.2. Næringsstofbalancer 1995

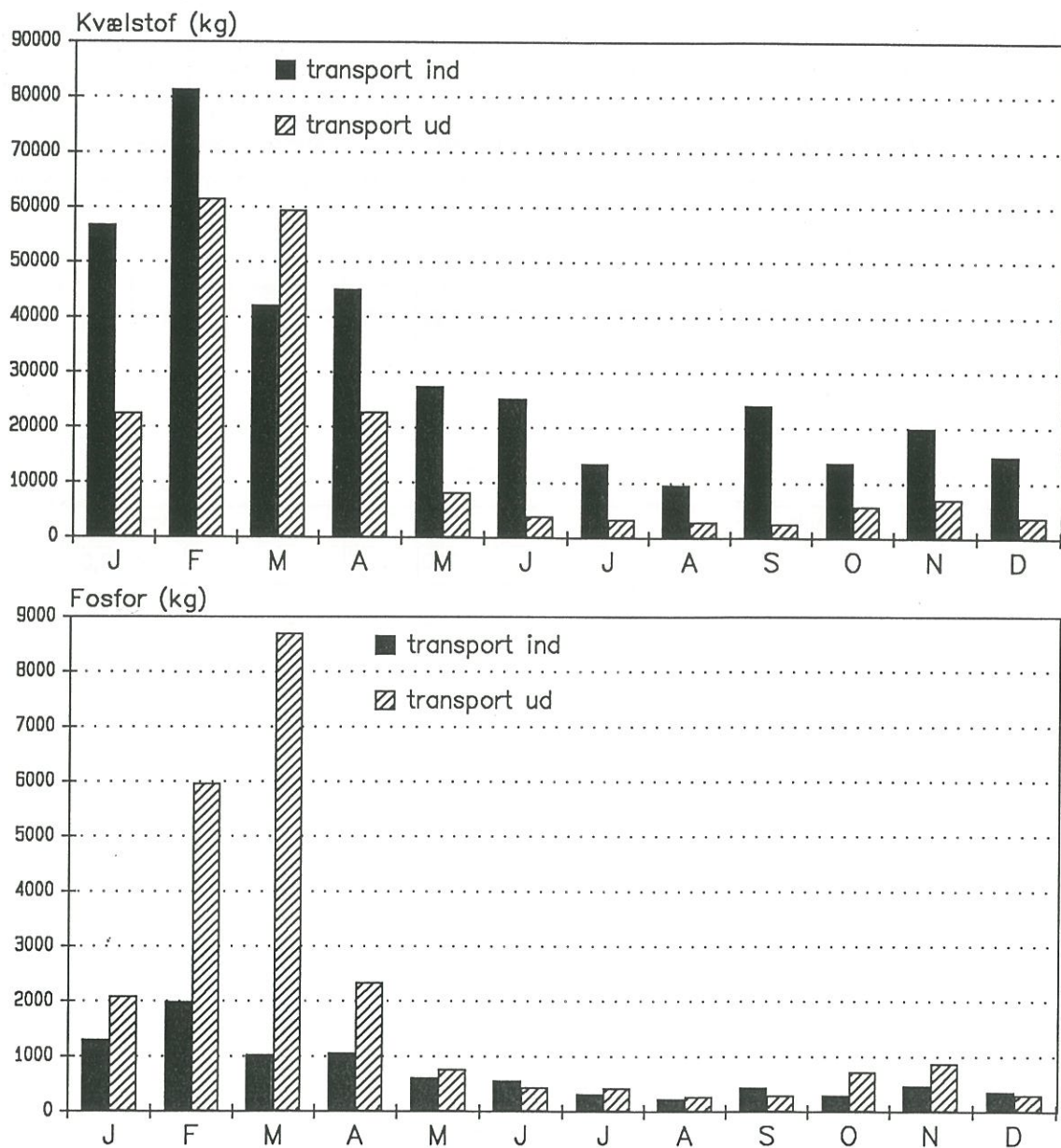
Der er på baggrund af målinger i tilløbene samt beregnede værdier for det umålte opland og punktkilder i oplandet (Frederiksborg Amt, 1996) samt atmosfærisk deposition (20 kg N/ha/år og 0,15 kg P/ha/år (Frederiksborg Amt, 1996)) opstillet omtrentlige massebalancer for kvælstof og fosfor, se tabel 4. Bilag 1 indeholder de månedlige massebalancer for kvælstof og fosfor, og figur 7 viser variationen af de månedlige tilførsler og fraførsler af kvælstof og fosfor.

	Kvælstof (kg/år)	%	Fosfor (kg/år)	%
Æbelholt Å	16.456	4,4	321	3,8
Lyngby Å	32.490	8,7	349	4,1
Ramløse Å	16.841	4,5	634	7,4
Pøle Å	91.118	24,3	4.342	50,8
Umålt opland	128.683	34,4	1.658	19,4
Punktkilder i umålt opland	9.189	2,5	646	7,6
Atmosfæren	79.740	21,3	598	7,0
Samlet tilførsel	374.517	100	8.548	100
Samlet fraførsel	204.998	54,7	23.274	272
Tilbageholdelse + denitrifikation	169.519	45,3		
Tilbageholdelse			-14.728	-172

Tabel 4. Omtrentlige massebalancer for kvælstof og fosfor i Arresø 1995.

Tabel 4 viser to meget væsentlige forhold, nemlig 1) at en meget stor mængde kvælstof tilbageholdes i søen, dels som følge af en stor denitrifikation og dels som følge af en betydelig sedimentation, og 2) at søen via afløbet afgiver en meget stor mængde fosfor fra sedimentet. Sidstnævnte viser, at Arresø med den aktuelle eksterne fosforbelastning er inde i en markant aflastningsproces, hvor betydelige mængder ophobet fosfor frigives fra sedimentet og forlader søen med det udstrømmende vand.

Figur 7 viser, at hovedparten af fosfortabet fra søen finder sted i årets første måneder, samtidig med at tilførslen er størst. Årsagen hertil er antagelig, at opholdstiden i denne periode er kort samtidig med, at det veludviklede planteplankton har bundet store mængder næringsstoffer i vandfasen. Næringsstofferne er herved effektivt blevet skyllet ud af søen med det udstrømmende vand. For kvælstofs vedkommende gælder, at der i næsten alle måneder sker et markant tab/tilbageholdelse i søen. Den store udskylning af kvælstof i februar skyldes antagelig binding af store mængder kvælstof i planteplanktonet.



Figur 7. Oversigt over variationen af den månedlige transport af kvælstof og fosfor til og fra Arresø 1995.

### 3.2.1. Areal-specifik næringsstofbelastning mv.

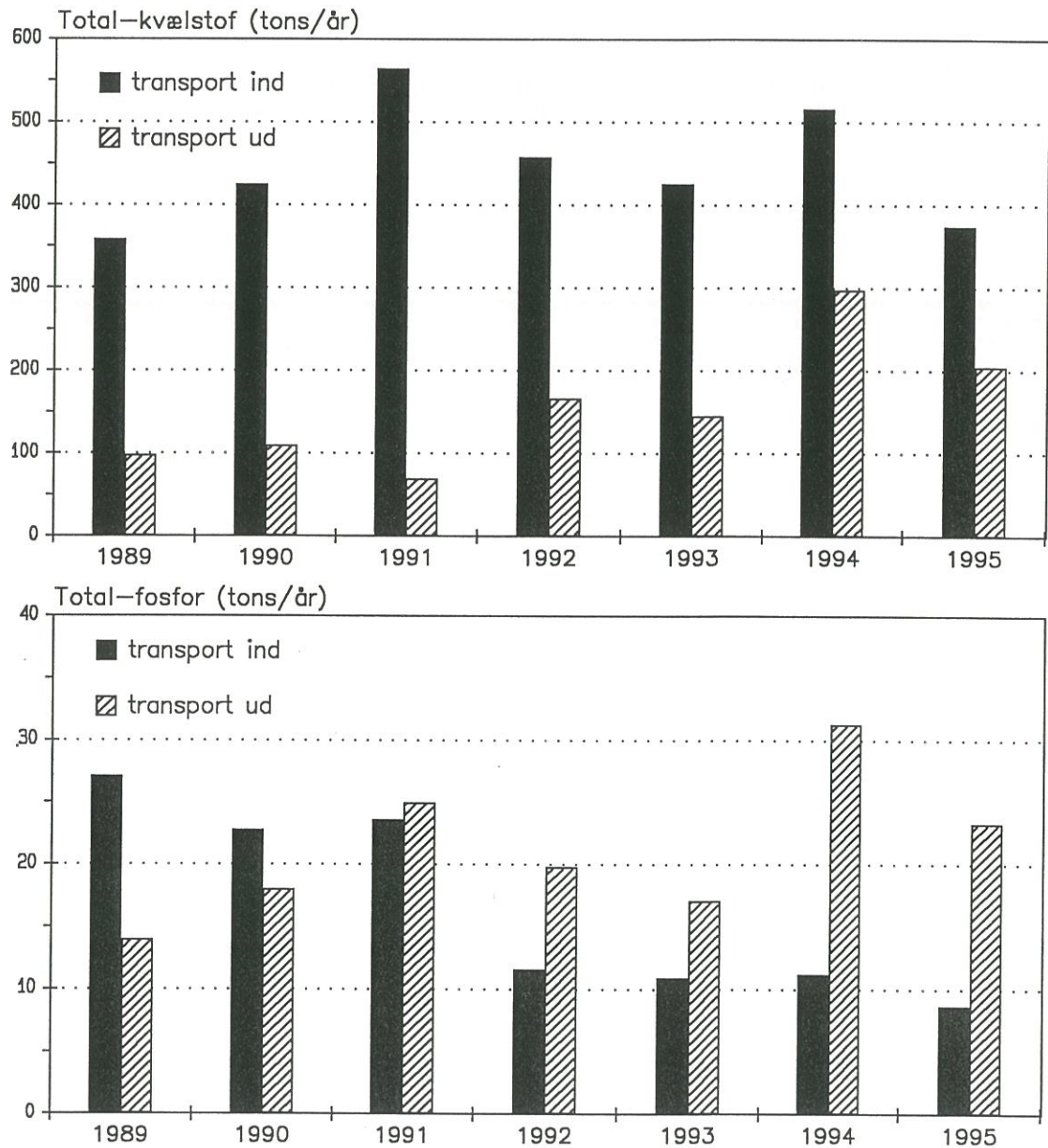
Den areal-specifikke næringsstofbelastning af Arresø er for 1995 beregnet til 9,4 g total-kvælstof pr. m<sup>2</sup> (25,8 mg/m<sup>2</sup>/dag) og 0,215 g total-fosfor pr. m<sup>2</sup> (0,59 mg/m<sup>2</sup>/dag). Sammenlignet med søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er disse værdier lave (Jensen et al., 1995).

De gennemsnitlige indløbskoncentrationer på 7,4 mg/l total-kvælstof og 0,17 mg/l total-fosfor ligger højt i forhold til gennemsnittet for søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (Jensen et al., 1995), og det er således kun den forholdsvis lille vandtilførsel der er årsag til, at belastningen af søen ikke har været højere i 1995. De gennemsnitlige udløbskoncentrationer kan tilsvarende beregnes til 3,59 mg/l total-kvælstof og 0,41 mg/l total-fosfor. Sammenlignet med søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er kvælstofværdien meget lav, mens fosforværdien er meget høj (Jensen et al., 1995).

Den lave udløbskoncentration af kvælstof fremkommer som følge af en meget markant tilbageholdelse+denitrifikation på ca. 45% af den samlede kvælstoftilførsel. Den arealspecifikke tilbageholdelse er forholdsvis lav, kun 11 mg/m<sup>2</sup>/dag, set i forhold til gennemsnittet for søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (Jensen et al., 1995). Omvendt er den meget voldsomme fosforfrigivelse fra sedimentet årsag til en negativ fosfortilbageholdelse (= frigivelse) på 1 mg/m<sup>2</sup>/dag, hvilket placerer Arresø i en gruppe for sig selv blandt søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (Jensen et al., 1995).

### 3.3. Næringsstofbalancer 1989-1995

Figur 8 viser variationen af transporten af kvælstof og fosfor til og fra Arresø i perioden 1989-1995.



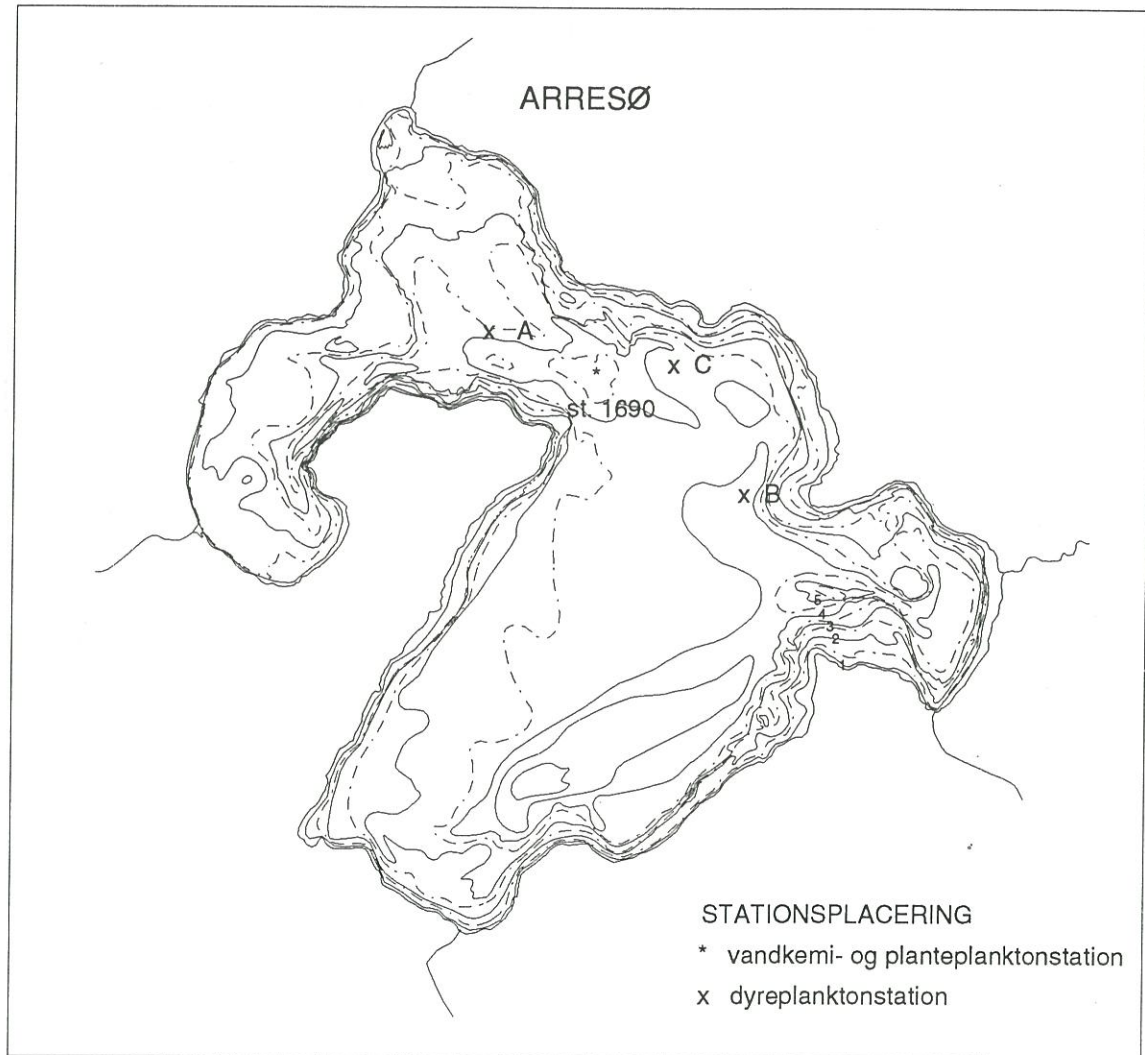
Figur 8. Oversigt over variationen af den samlede årlige transport af kvælstof og fosfor til og fra Arresø 1989-1995.

For kvælstofs vedkommende har den samlede tilførsel ligget forholdsvis stabilt på et højt niveau gennem hele perioden. Derimod har transporten af kvælstof ud af søen været stigende gennem de seneste år.

Fosfortilførslen har været faldende siden 1989 og har i 1995 været den hidtil laveste i perioden. Samtidig har det relative tab af fosfor fra søen været stigende som følge af en markant frigivelse af fosfor fra sedimentet.

## 4. De frie vandmasser - fysiske og kemiske forhold

De fysiske og kemiske forhold i de frie vandmasser er beskrevet på grundlag af 19 prøvetagningstogter. Figur 9 viser beliggenheden af prøvetagningsstationerne.



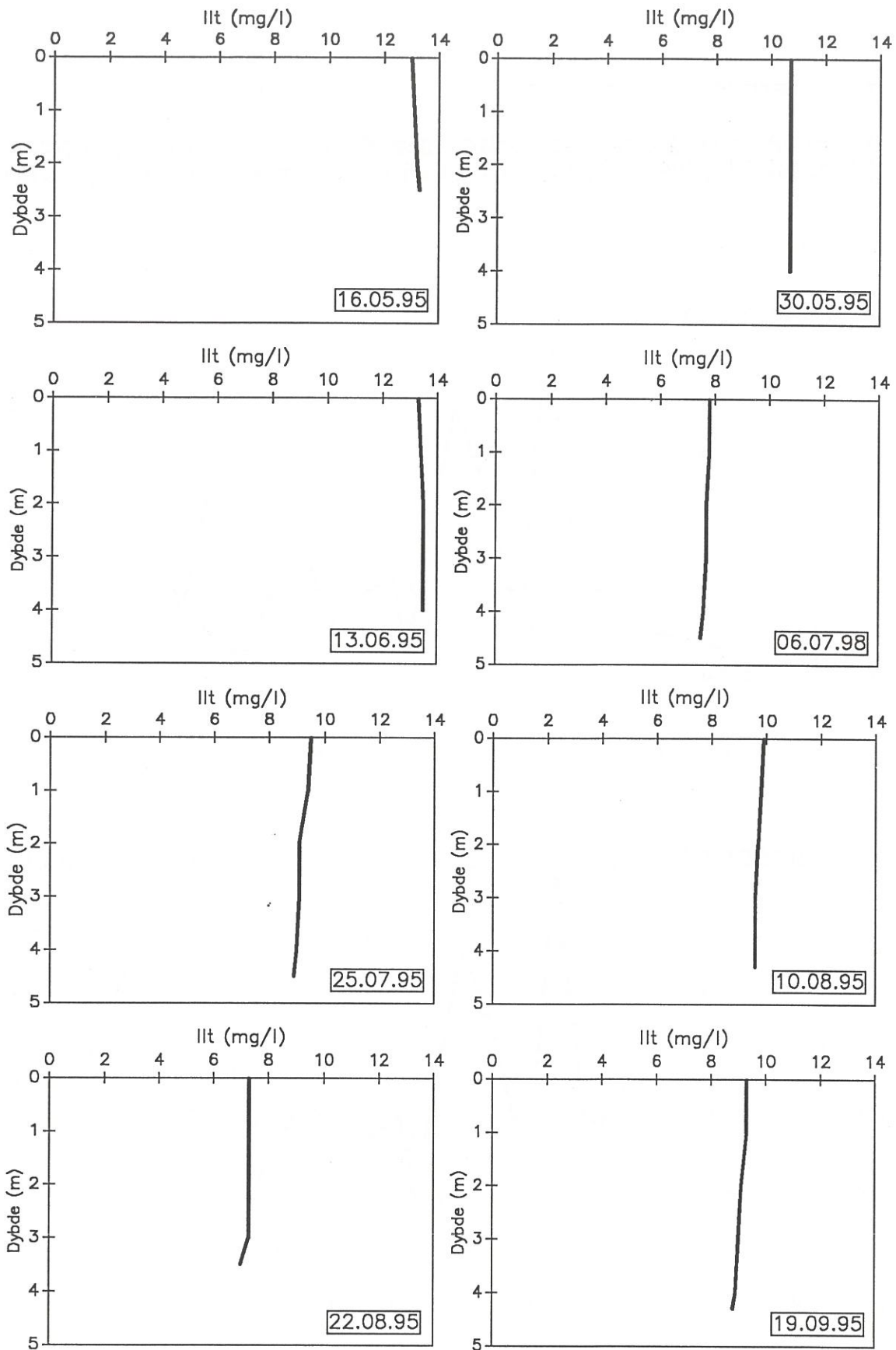
Figur 9. Oversigt over beliggenheden af prøvetagningsstationer i Arresø.

### 4.1. Status 1995

#### 4.1.1. Ilt og temperatur

På grund af søens størrelse og høje grad af vindeksponering er vandmasserne i Arresø til stadighed fuldt opblandede, og selvom vandmasserne varmes op til forholdsvis høje temperaturer om sommeren, er der aldrig tilløb til lagdeling. Det betyder, at der, trods periodisk forskel mellem overflade og bund, aldrig sker markant iltsvind i de bundnære vandmasser. Arresø må derfor anses for en fuldt opblandet, lavvandet sø, se figur 10.

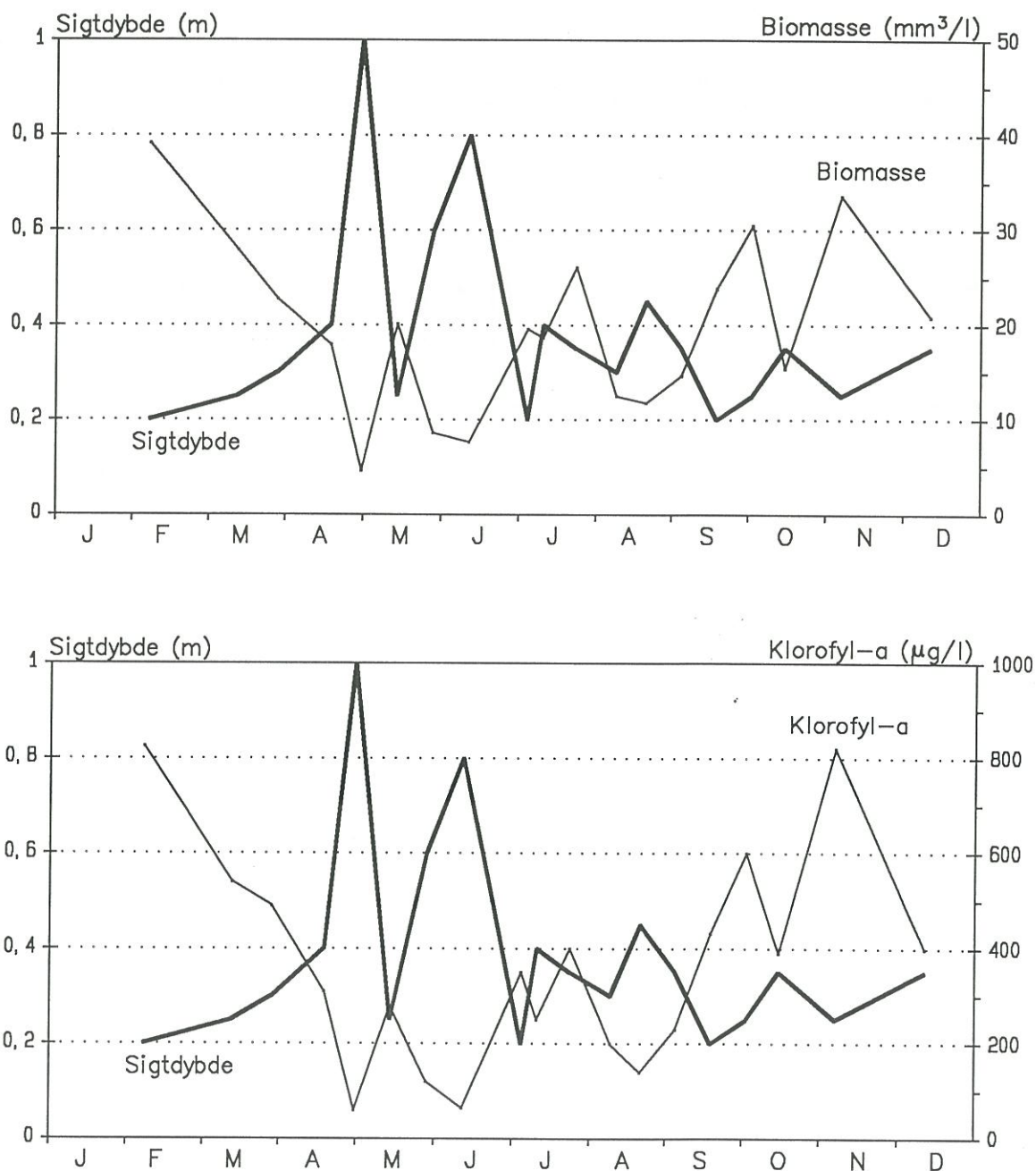




Figur 10. Oversigt over variationen af iltkoncentrationen ned gennem vandsøjlen på 8 prøvetagningsdage i Arresø sommeren 1995

## 4.1.2. Sigtdybde

Vandet i Arresø er generelt meget uklart, og når der ses bort fra enkelte korte perioder i første halvdel af 1995, har sigtdybden vedvarende været mindre end 0,4 meter, se figur 11.



Figur 11. Oversigt over variationen af sigtdybden i Arresø Sø 1995. Til sammenligning er vist variationen af planteplanktonbiomassen (øverst) og variationen af klorofyl-a-koncentrationen (nederst).

I årets første måneder, da planteplanktonbiomassen er meget høj samtidig med, at der er hyppig forekomst af urolige vejrforhold, har sigtddybden været så lav som 0,2 meter. Frem gennem året ses der en markant sammenhæng mellem mængden af planteplankton (udtrykt ved både biomasse og koncentrationen af klorofyl-a) og sigtddybden, og årets største sigtdybdeværdier (0,8-1,0 m) er registreret i forbindelse med lave planteplanktonbiomasser i maj og juni.

Årsmiddelsigtddybden er for 1995 beregnet til 0,35 m, mens sommermiddelsigtddybden er beregnet til 0,43 m. Årsagen til, at årsmiddelsigtddybden er lavere end sommermiddelsigtddybden, er sandsynligvis, at resuspensionen er størst i årets første og sidste måneder, da vejret almindeligvis er præget af mere vind.

Både års- og sommermiddelsigtddybden placerer Arresø blandt de aller mest uklare søer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, idet begge værdier ligger langt under den gennemsnitlige 25%-fraktil for årene 1989-1994, som kan beregnes til 0,73 m (Jensen et al., 1995).

Umiddelbart synes den ringe sigtddybde i Arresø at være et resultat af de store mængder planteplankton, men forholdet er ikke så enkelt. Det kan ganske vist konstateres, at de højeste sigtddybder er registreret i de korte perioder, hvor planteplanktonbiomassen har været lavest, og fordi vandets indhold af klorofyl-a følger planteplanktonbiomassen meget nøje, er de højeste sigtddybder også sammenfaldende med de laveste koncentrationer af klorofyl-a.

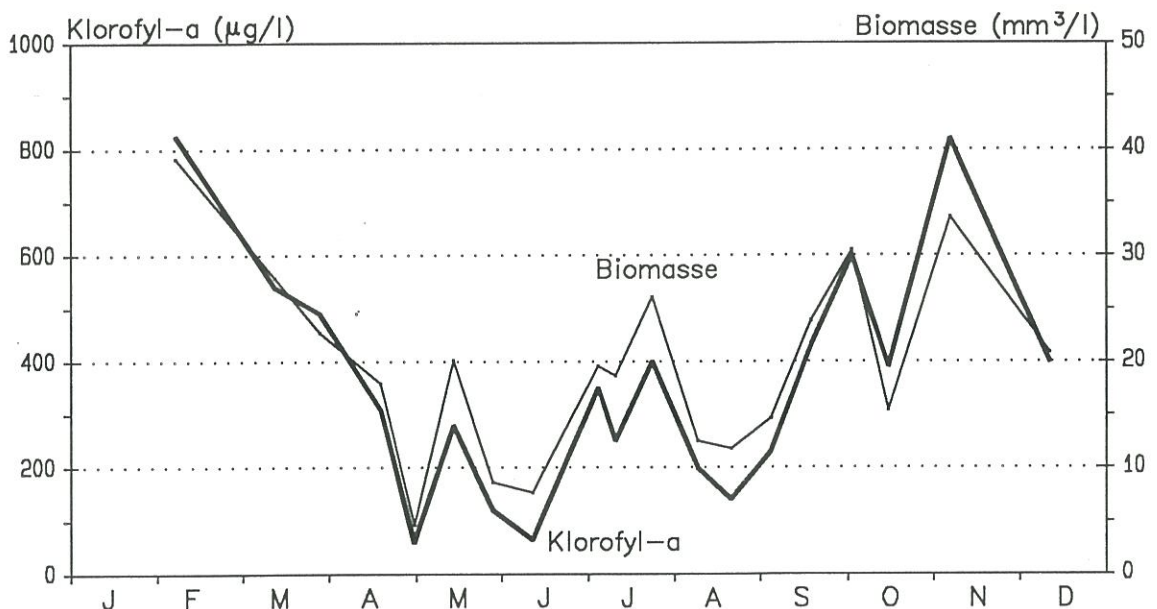
Men sammenholder man planteplanktonbiomassen med koncentrationen af suspenderet stof, ses det at planteplanktonbiomassen er 10-20 gange lavere end den samlede mængde suspenderet stof i vandet, idet tørvægten er  $\approx 30\%$  af vådvægten (Reynolds, 1984). Selvom planteplanktonbiomassen er meget høj, er det således især andre partikler end levende planteplankton, der gør vandet uklart i Arresø, og det stemmer godt overens med det generelle indtryk, man får, når man færdes på Arresø, idet uroligt vejr i løbet af kort tid kan bringe store mængder sediment i suspension og gøre vandet uklart ud over det niveau, som er bestemt af planteplanktonet.

Den kendsgerning, at resuspension af sediment har afgørende indflydelse på vandets indhold af suspenderet stof, og dermed på vandets klarhed, gør det umiddelbart vanskeligt at forklare kovariationen af suspenderet stof og klorofyl-a. Den mest nærliggende forklaring er dog, at planteplanktonet sedimenterer på bunden, hvorfra det i forbindelse med uroligt vejr hvirvles op sammen med sedimentet. Dertil kommer, at også fæopigment i sedimentet kan spille ind, idet klorofyl-a værdierne ikke er korrigeret for fæopigment. Dersom man anvender de erfaringsmæssige forholdstal mellem biomasse og klorofyl-a i grønalger (Olrik, 1993), kan det dog konstateres, at hovedparten af de målte klorofyl-a-mængder må være indeholdt i det levende planteplankton. Det er derfor sandsynligt, at interferensen fra fæopigment ikke har haft afgørende indflydelse på måleresultaterne. Til gengæld betyder algernes periodiske sedimentation på bunden, at planteplanktonbiomassen i vandfasen i meget vid udstrækning er bestemt af vejr og vind.

#### 4.1.3. Klorofyl-a

Som allerede omtalt har vandets indhold af klorofyl-a i 1995 generelt været meget højt, se figur 12, og de maksimale koncentrationer på mere end 800  $\mu\text{g/l}$  placerer Arresø blandt de mest klorofylrige søer. Års- og sommermiddelkoncentrationerne er beregnet til 438  $\mu\text{g/l}$  henholdsvis 244  $\mu\text{g/l}$ , og de placerer Arresø i en gruppe for sig selv blandt søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, hvor den gennemsnitlige 75%-fraktil for års- og sommergennemsnittet i perioden 1989-1994 kan beregnes til 84  $\mu\text{g/l}$  henholdsvis 129  $\mu\text{g/l}$  (Jensen et al., 1995).

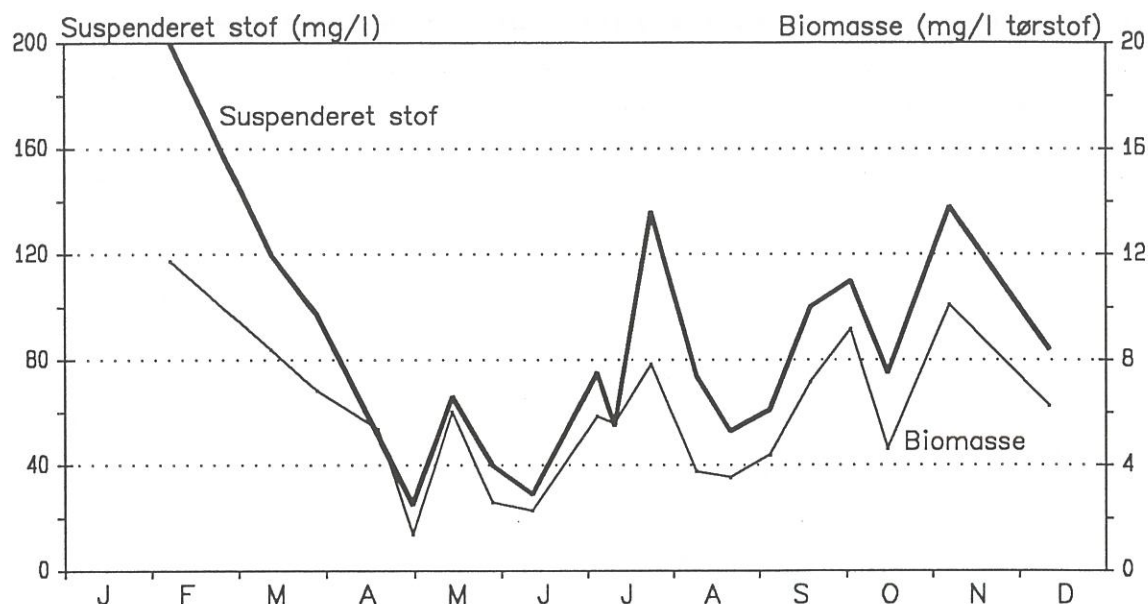
Figur 12 viser, at der er en meget høj grad af kovariation mellem planteplanktonbiomassen og koncentrationen af klorofyl-a. Der er en tendens til et lidt højere klorofyl-a indhold i algerne (beregnet som  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) i begyndelsen og slutningen af året, hvilket kan forklares ved en tilpasning til de dårligere lysforhold, eller evt. ved et højere indhold af fæopigment i disse perioder.



Figur 12. Oversigt over variationen af klorofyl-a koncentrationen i Arresø 1995. Til sammenligning er vist variationen af planteplanktonbiomassen.

#### 4.1.4. Suspenderet stof

Som allerede nævnt er Arresø karakteriseret af meget høje koncentrationer af suspenderet stof, se figur 13.



Figur 13. Oversigt over variationen af suspenderet stof i Arresø 1995. Til sammenligning er vist variationen af planteplanktonbiomassen. Bemærk: biomassen er for sammenlignelighedens skyld angivet i tørvægt.

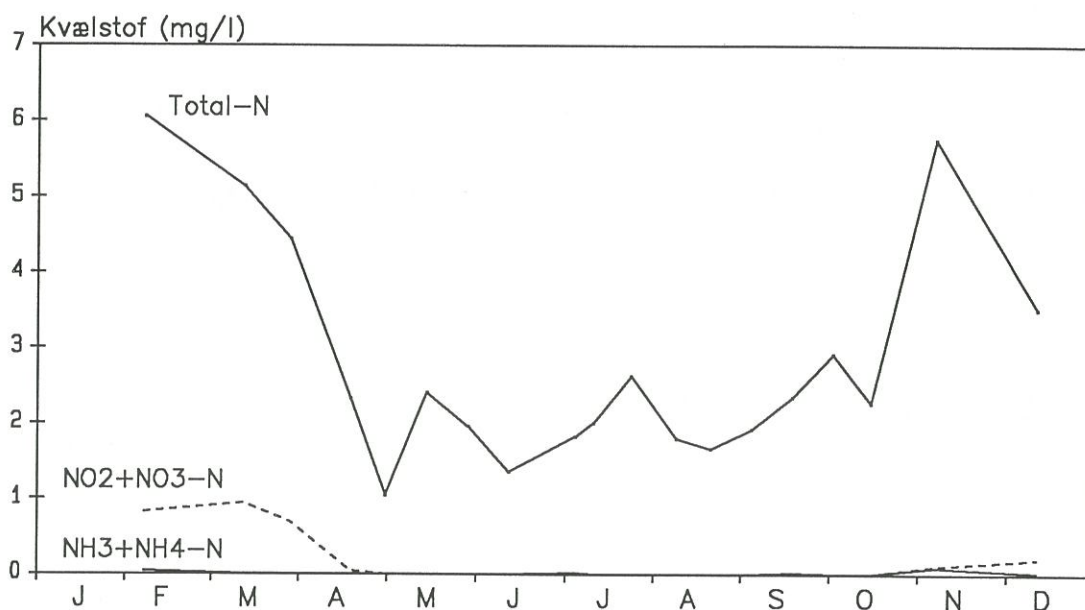
Med baggrund i ovenstående diskussion kan der ikke herske nogen tvivl om, at resuspension af sediment i forbindelse med uroligt vejr er årsag til de periodisk meget høje værdier af suspenderet stof i vandfasen. Og eftersom der er en meget tydelig kovariation mellem koncentrationen af suspenderet stof og det kemiske iltforbrug på det suspenderede stof (COD-suspenderet stof), er der grund til at antage, at det suspenderede stof hovedsagelig består af organisk stof.

På den baggrund er det sandsynligt, at kovariationen mellem suspenderet stof og planteplanktonbiomassen skyldes, at dele af planteplanktonet aflejres på eller nær bunden i forbindelse med rolige vejrforhold, og at det herfra resuspenderes sammen med detritus i forbindelse med urolige vejrforhold. Både klorofyl-a og planteplanktonbiomassen kommer herved til at kovariere med koncentrationen af suspenderet stof, og det kan dermed konstateres, at sigtddybden i søen er bestemt af partikelmængden i vandet, og at hovedparten af partiklerne er andet end levende planteplankton.

Års- og sommermiddelkoncentrationen af suspenderet stof er beregnet til 99,0 mg/l henholdsvis 67,5 mg/l. Begge disse værdier er meget høje og er med til at understrege Arresøes særstatus som en stor, lavvandet sø med omfattende resuspension af sediment.

## 4.1.5. Kvælstof

Variationen af vandets indhold af kvælstof i Arresø er vist i figur 14.



Figur 14. Oversigt over variationen af kvælstof i Arresø 1995.

Kurven for total-kvælstof har i 1995 haft et karakteristisk forløb med høje værdier ved årets begyndelse som følge af stor tilførsel og aftagende værdier i det tidlige forår som følge af aftagende tilførsel fra oplandet og denitrifikation i søen. Begge disse forhold afspejles også i kurven for nitrit + nitrat-kvælstof, og allerede i april er koncentrationen af uorganisk kvælstof reduceret til et meget lavt niveau, hvor den forbliver resten af året, ganske vist med en svagt stigende tendens ved årets slutning. På grund af ringe mængder nedbør i sensommeren og deraf følgende ringe, men dog svagt stigende tilførsel fra oplandet, har kvælstofkurven ikke i 1995 udvist samme stigende tendens i efteråret som normalt.

Års- og sommermiddelkoncentrationerne af de tre kvælstoffraktioner er beregnet til:

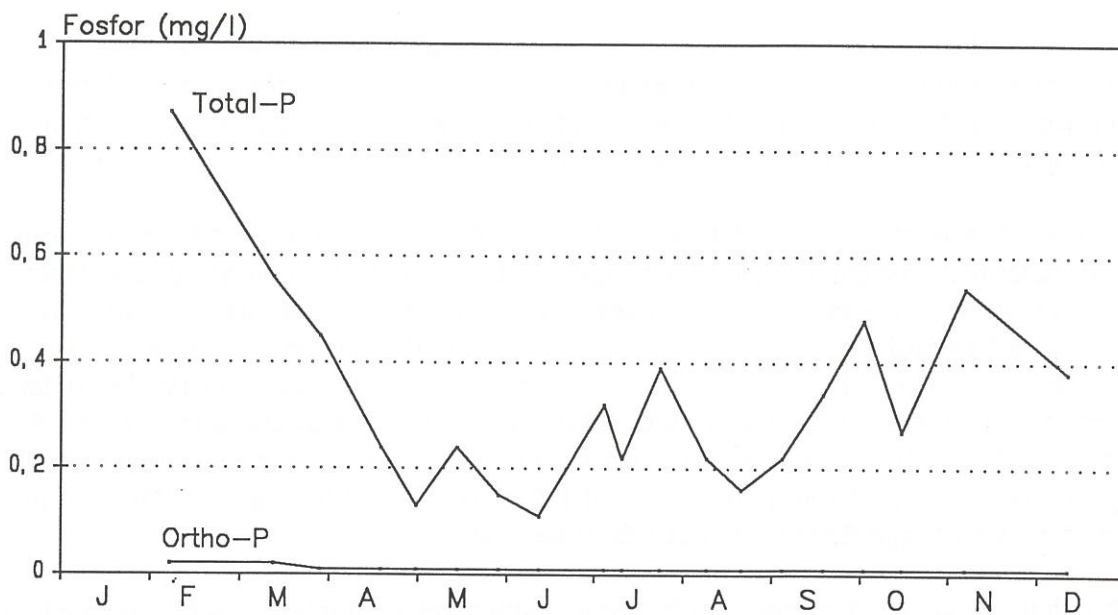
Total-kvælstof	3,38 mg/l / 1,96 mg/l
Nitrit + nitrat-kvælstof	0,24 mg/l / 0,01 mg/l
Ammonium + ammoniak-kvælstof	0,02 mg/l / 0,01 mg/l

Set i forhold til søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram ligger årsmiddelkoncentrationen af total-kvælstof over den gennemsnitlige median, mens sommermiddelkoncentrationen af total-kvælstof ligger lidt under den gennemsnitlige median for perioden 1989-1994 (Jensen et al., 1995). På tilsvarende vis ligger årsmiddelkoncentrationen af

uorganisk kvælstof nær den gennemsnitlige 25 %-fraktil, mens sommermiddelkoncentrationen ligger væsentligt under den gennemsnitlige 25 %-fraktil (Jensen et al., 1995). Arresø udmærker sig altså med total-kvælstofkoncentrationer nær gennemsnittet for et stort antal søer, mens koncentrationerne af uorganisk kvælstof ligger meget lavt i forhold til gennemsnittet for et stort antal søer. Betydningen heraf er diskuteret nøjere i afsnit 4.1.7.

#### 4.1.6. Fosfor

Variationen af vandets indhold af fosfor i Arresø er vist i figur 15.



Figur 15. Oversigt over variationen af vandets indhold af fosfor i Arresø 1995.

Ligesom total-kvælstofkurven viser også kurven for total-fosfor høje værdier ved årets begyndelse, da tilførslen er højest og faldende værdier i det tidlige forår i takt med faldende tilførsel fra oplandet. Fra midt i april, da de laveste koncentrationer er målt, og frem til årets slutning stiger koncentrationen gradvis, selvom der ikke sker stigninger i tilførslen.

Koncentrationen af ortofosfat ligger vedvarende på et meget lavt niveau med de højeste værdier i det tidlige forår.

Års- og sommermiddelkoncentrationerne af de to fosforfraktioner er beregnet til:

Total-fosfor	0,40 mg/l / 0,24 mg/l
Ortofosfat	0,01 mg/l / 0,01 mg/l

Set i forhold til søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram ligger årsmiddelkoncentrationen af total-fosfor i Arresø langt højere end den gennemsnitlige 75%-fraktil for perioden 1989-1994 (0,236 mg/l), mens sommermiddelkoncentrationen af total-fosfor ligger noget under den gennemsnitlige 75%-fraktil (0,316 mg/l) for overvågningssøerne (Jensen et al., 1995). Omvendt ligger både års- og sommermiddelkoncentrationen af ortofosfat under den gennemsnitlige 25%-fraktil for perioden 1989-1994 (0,009 mg/l). Arresø udmærker sig derved med meget høje koncentrationer af total-fosfor og meget lave værdier af uorganisk fosfor; betydningen heraf er diskuteret nøjere i afsnit 4.1.7.

#### 4.1.7. Kvælstof-fosfor-forholdet

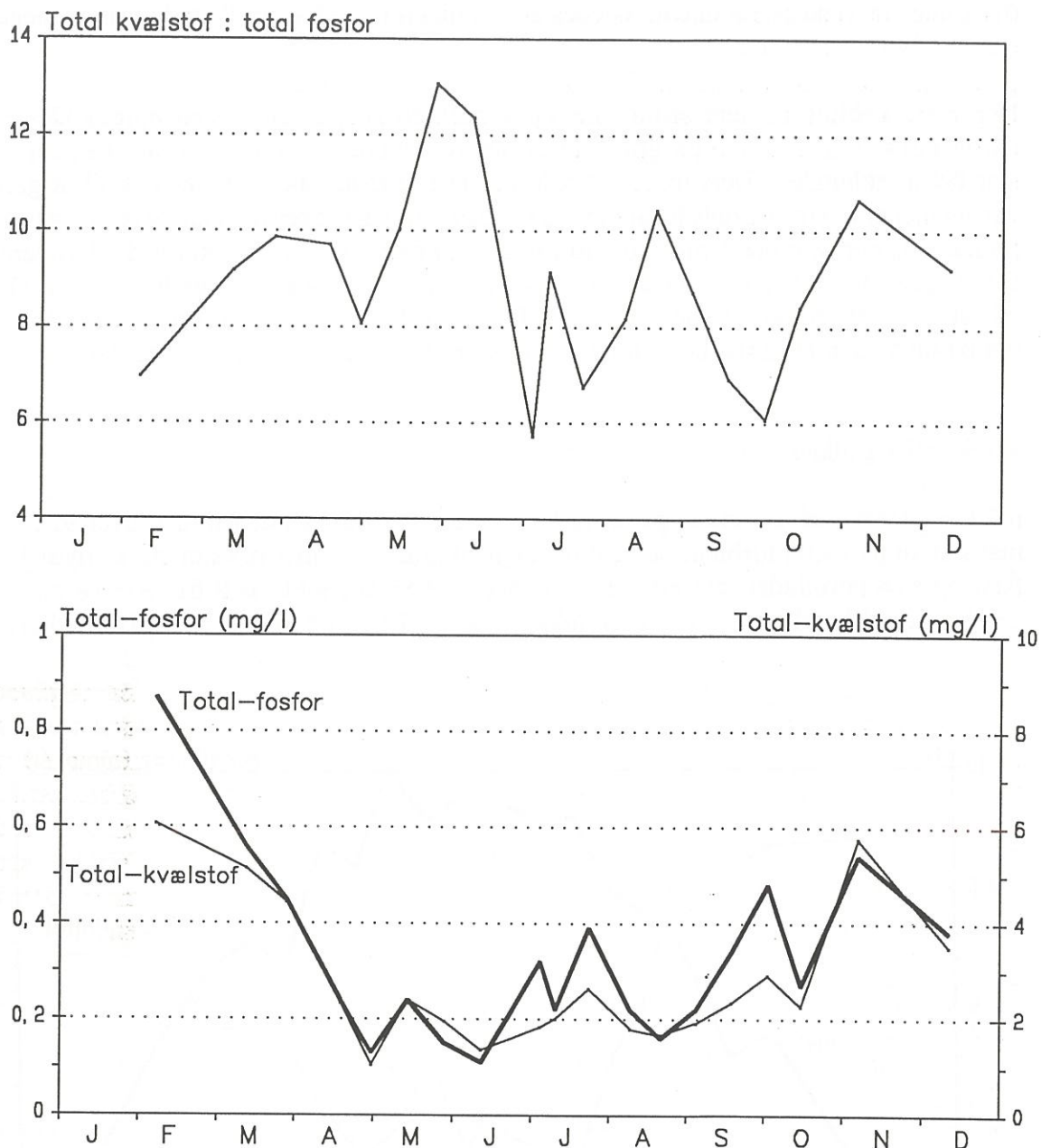
Variationen af kvælstof-fosfor-forholdet (på vægtbasis) er vist i figur 16.

Det kan indledningsvis konstateres, at der er en bemærkelsesværdig grad af kovariation mellem koncentrationerne af total-kvælstof og total-fosfor, se figur 16 (nederst), og dernæst kan det konstateres, at koncentrationerne af uorganisk kvælstof og fosfor i hovedparten af planteplanktonets vækstperiode ligger særdeles lavt.

Den udtalte kovariation mellem total-kvælstof og total-fosfor skyldes efter alt at dømme, at stort set hele mængden af de to næringsstoffer er indbygget i levende planteplankton og i resuspenderet organisk stof undtagen i årets første måneder, da der stadig findes uorganisk kvælstof i vandet. Den høje grad af kovariation mellem de to næringsstoffer er tydeligt afspejlet i kvælstof-fosfor-forholdet, som varierer inden for det forholdsvis snævre interval 6-13 med en årsmiddelværdi på 8,5 og en sommermiddelværdi på 8,2. Begge disse værdier ligger nær kvælstof-fosfor-forholdet i levende planteplankton (7), og det indikerer, at det suspenderede stof i Arresø i vid udstrækning består af "ungt" detritus, det vil sige døde alger i et tidligt henfaldsstadium.

Grunden til, at der kan opretholdes høje planteplanktonbiomasser samtidig med, at koncentrationerne af uorganisk kvælstof og fosfor til stadighed ligger lavt er, at der i forbindelse med resuspensionen er en stor fluks af næringsstoffer fra dødt partikulært stof til planteplanktonet. Optagelsen af de remineraliserede næringsstoffer er så hurtig, at remineraliseringen aldrig resulterer i forhøjede værdier af uorganisk kvælstof og fosfor i vandfasen. Det må være forklaringen på, at der kan opretholdes meget høje planteplanktonbiomasser i et miljø med vedvarende lave koncentrationer af plantetilgængelige næringsstoffer.





Figur 16. Oversigt over variationen af kvælstof-fosfor-forholdet (på vægtbasis) i Arresø 1995. Til sammenligning er vist variationen af total-kvælstof og total-fosfor (nederst).

#### 4.1.8. Relationer mellem sedimentet og vandet

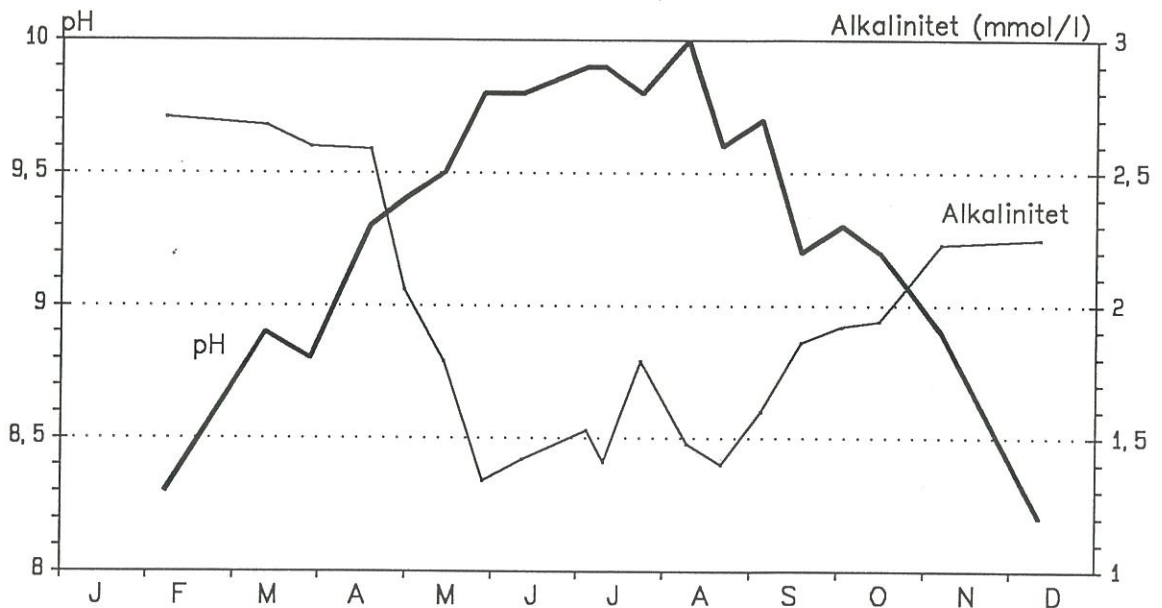
Som det fremgår af det ovenstående, er der for en lang række tilstandsvariabler konstateret en meget høj grad af kovariation, og det indikerer sammen med den generelt meget udtalte resuspension, at søens tilstand i meget vid udstrækning er bestemt af det nære samspil mellem sedimentet og vandfasen. Koblingen mellem sediment og vandfase er tilsyneladende så tæt, at der, modsat situationen i mange andre søer, er en gradvis

overgang fra vand til sediment, således at tilstanden i vandfasen til stadighed er meget stærkt påvirket af sedimentet.

Den nære kobling mellem sedimentet og vandfasen gør, at der forsat opretholdes en dårlig miljøtilstand i søen på grundlag af det veludviklede kulturslam, der dækker en stor del af søbunden. Dels fordi det resuspenderede materiale alene er nok til at gøre vandet meget uklart, og dels fordi der via resuspensionen skabes det næringsstofmæssige grundlag for en stor planteplanktonbiomasse, som forringer vandets klarhed yderligere. Det betyder dog ikke, at en reduktion af den udefra kommende næringsstofftilførsel ikke vil have nogen effekt på søens tilstand. Blot kan det forventes, at tiden, der går fra reduktion af den eksterne belastning til effekten viser sig, kan blive meget lang.

#### 4.1.9. pH og alkalinitet

pH har i 1995 vedvarende ligget over 8,0, og en stor del af tiden tilmed over 9, med maksimum på 10,0 i forbindelse med planteplanktonets sommermaksimum, se figur 17. Års- og sommermiddelværdierne er beregnet til 9,11 henholdsvis 9,61. Arresø må på den baggrund karakteriseres som en alkalisk sø med kulturbetinget høje pH-værdier.



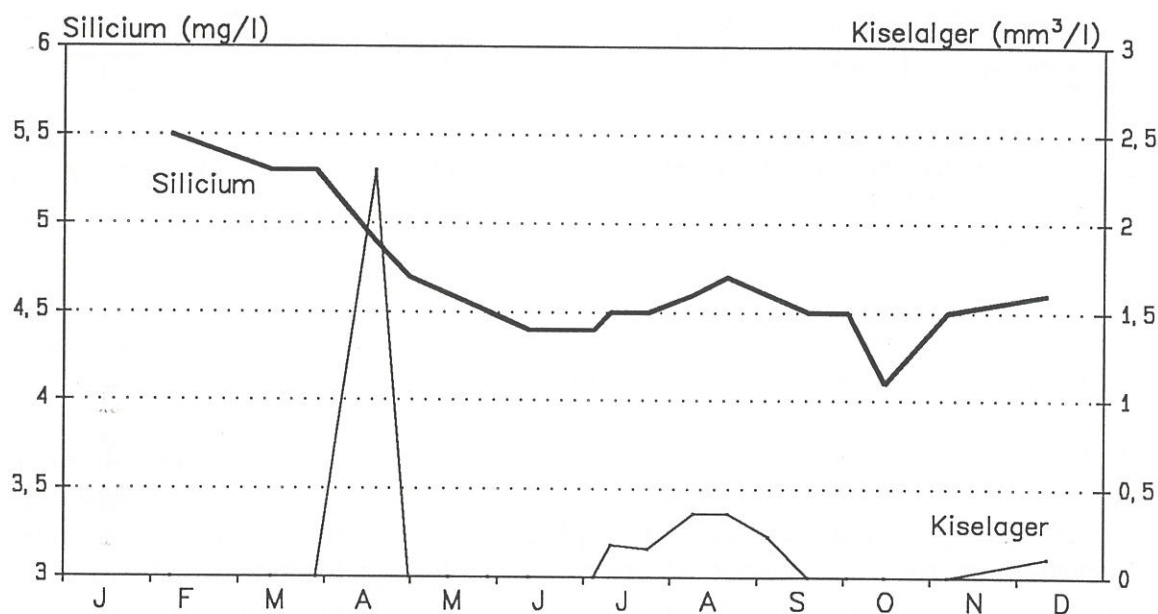
Figur 17. Oversigt over variationen af pH og alkalinitet i Arresø 1995.

Alkaliniteten ligger højt i årets første måneder, men falder derefter brat i forbindelse med planteplanktonets vækst, der fjerner store mængder fri kuldioxid og bikarbonat fra vandet, hvilket fører til stor stigning i pH. Års- og sommermiddelværdierne er beregnet til 2,08 mmol/l henholdsvis 1,60 mmol/l.

#### 4.1.10. Silicium

Variationen af vandets indhold af silicium er vist i figur 18. Koncentrationen udviser kun ringe variation i løbet af året, hvilket i vid udstrækning kan tilskrives den meget ringe forekomst af kiselkrævende planteplankton, først og fremmest kiselalger. Kiselalgerne har haft et mindre maksimum i sommerperioden, men det har ikke haft indflydelse på mængden af silicium i vandfasen.

Års- og sommermiddelkoncentrationen af silicium er beregnet til 4,78 mg/l henholdsvis 4,53 mg/l



Figur 18. Oversigt over variationen af vandets indhold af silicium i Arresø 1995. Til sammenligning er vist variationen i kiselalgebiomassen.

#### 4.2. Udvikling 1989-1995

I bilag 2 findes tabeller, der viser den tidsmæssige variation af års- og sommermiddelværdier for en række vigtige tilstandsvariabler. Tabel 5 og figur 19 viser variationen af sommermiddelværdien for de vigtigste variabler i årene 1985-1995.

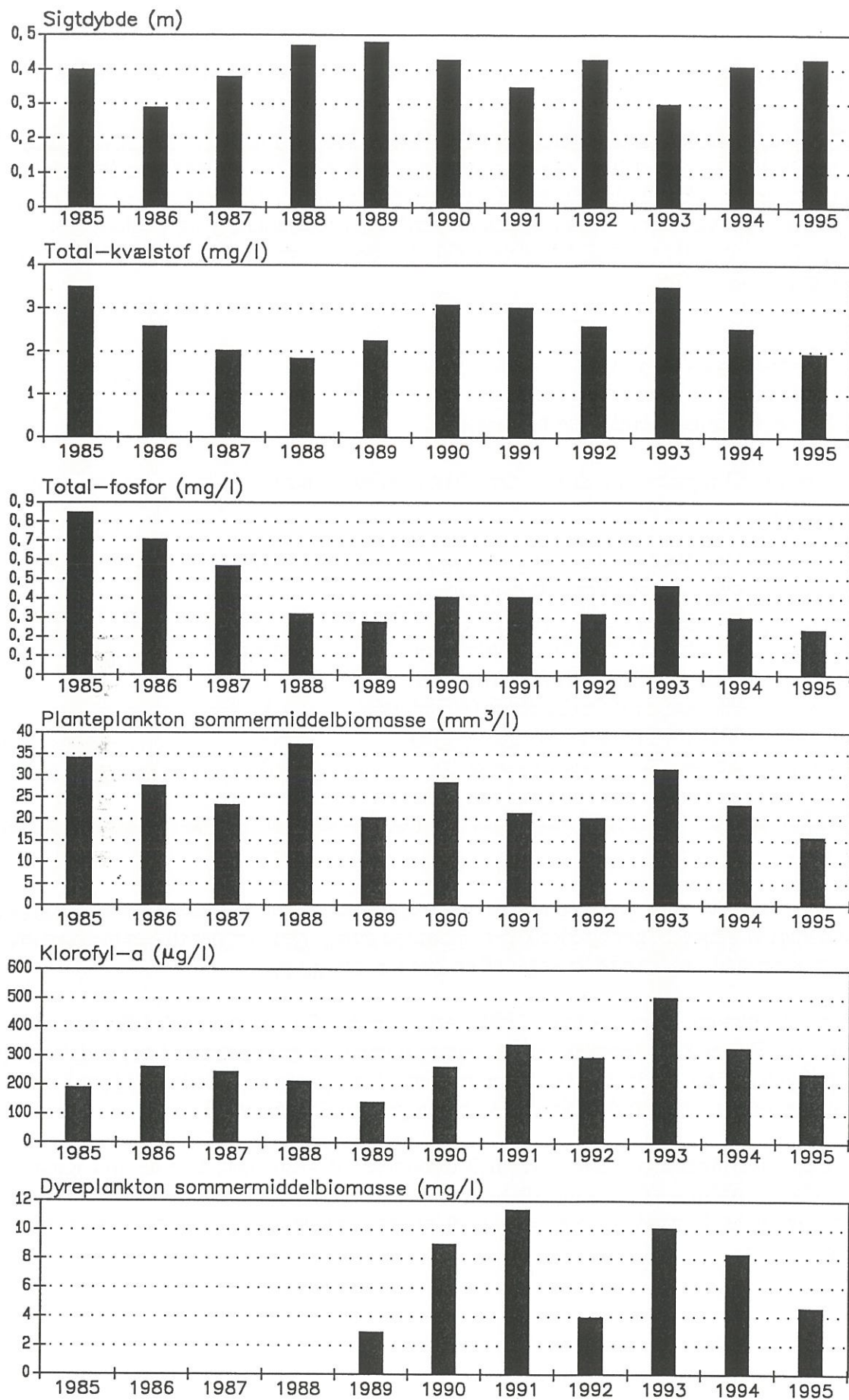
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Sigtdybde (m)	0,40	0,29	0,38	0,47	0,48	0,43	0,35	0,43
Total-P (mg/l)	0,85	0,71	0,57	0,32	0,28	0,41	0,41	0,32
Total-N (mg/l)	3,50	2,58	2,03	1,85	2,27	3,09	3,02	2,60
Plantepl.-biomasse (mm <sup>3</sup> /l)	34,24	27,82	23,35	37,45	20,45	28,52	21,55	20,26
Dyrepl.-biomasse (mg/l)	-	-	-	-	2,97	9,05	11,42	3,99
Klorofyl ( $\mu$ g/l)	192	263	246	215	142	265	343	298
	1993	1994	1995					
Sigtdybde (m)	0,30	0,41	0,43					
Total-P (mg/l)	0,47	0,30	0,24					
Total-N (mg/l)	3,51	2,54	1,96					
Plantepl.-biomasse (mm <sup>3</sup> /l)	31,59	23,33	15,86					
Dyrepl.-biomasse (mg/l)	10,19	8,37	4,60					
Klorofyl ( $\mu$ g/l)	507	331	244					

Tabel 5. Oversigt over variationen af sommermiddelværdierne (1. maj-30. september) for sigtdybde, totalfosfor, total-kvælstof, planteplanktonbiomasse, dyreplanktonbiomasse og klorofyl-a i Arresø i årene 1985-1995.

Det kan konstateres, at vandets klarhed, trods en vis år-til-år-variation, ikke er blevet bedre i løbet af perioden 1985-1995, selvom sommermiddelkoncentrationen af totalfosfor blev markant reduceret i første del af perioden.

Forklaringen herpå skal, som allerede antydet i det forudgående, søges i den voldsomme resuspension, der foregår i søen. Sommermiddelkoncentrationen af total-kvælstof har trods betydelig år-til-år-variation ligget på et stort set uændret niveau i perioden, antagelig som følge af uændret udvaskning fra oplandets landbrugsarealer. Det har sammen med det interne tilskud af fosfor fra sedimentet medvirket til at opretholde en meget høj planteplanktonbiomasse, udtrykt ved koncentrationen af klorofyl-a. Planteplanktonbiomassen udviser en svagt faldende tendens, trods betydelige år-til-år-variationer. Det er ikke muligt at vurdere, om den svagt faldende tendens er reel, men det er overvejende sandsynligt, at den registrerede år-til-år-variation kan tilskrives variationer i de vejr- og afstrømningsmæssige forhold.

For dyreplanktonets vedkommende skal det nævnes, at 1992, da biomassen var lav, var et år med stor produktion af dyreplanktonædende småfisk.



Figur 19. Oversigt over variationen af sommermiddelværdierne for sigtdybde, total-fosfor, total-kvælstof, planteplanktonbiomasse, dyreplanktonbiomasse og klorofyl-a i Arresø i årene 1985-1995.

## 5. Plankton

Plante- og dyreplanktonet i Arresø er i 1995 beskrevet på grundlag af 19 prøvetagninger. Prøvetagninger og oparbejdninger er gennemført i henhold til forskrifterne for planktonundersøgelser i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Undersøgelsens primærdata og beregnede værdier er sammen med en kortfattet kommentering og vurdering præsenteret i en særskilt rapport "Arresø 1995. Plante- og dyreplankton" (Miljøbiologisk laboratorium, 1996).

### 5.1. Planteplankton 1995

#### 5.1.1. Artssammensætning og biomasse

Der er i 1995 registreret i alt 85 arter/identifikationstyper inden for følgende klasser og grupper:

-	NOSTOCOPHYCEAE (blågrønalger)	20
-	CRYPTOPHYCEAE (rekylalger)	4
-	DINOPHYCEAE (furealger)	3
-	DIATOMOPHYCEAE (kiselalger)	10
-	TRIBOPHYCEAE (gulgrønalger)	1
-	PRYMNESIOPHYCEAE (stilkalger)	1
-	CHLOROPHYCEAE (grønalger)	44
-	Ubestemte og fåtallige arter	2

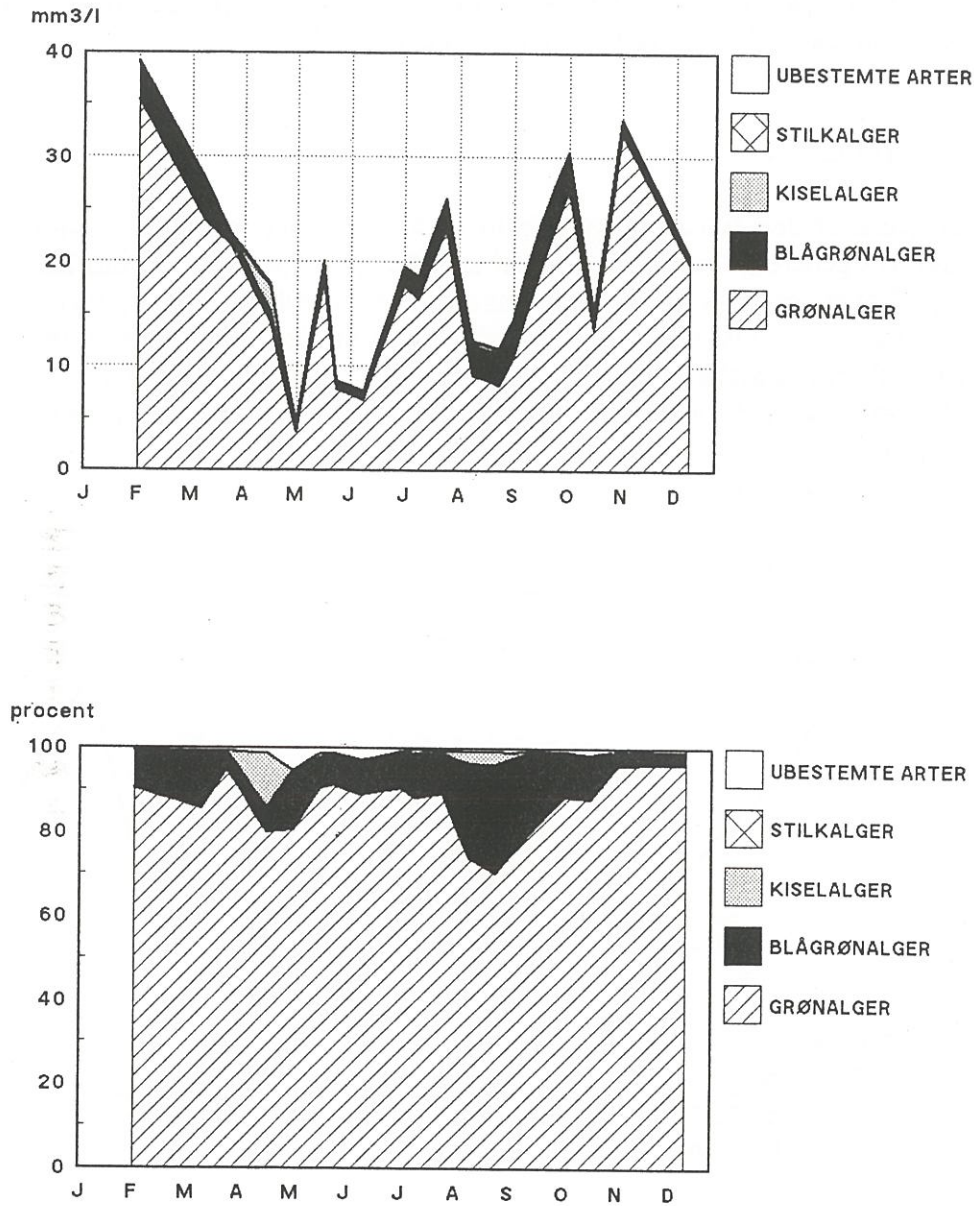
Med kun 85 arter/identifikationsgrupper må planteplanktonet i Arresø karakteriseres som artsfattigt.

Grønalgerne har med 44 arter/identifikationsgrupper været den mest artsrige gruppe, efterfulgt af blågrønalger og kiselalger. Samtlige øvrige grupper har til sammen rummet færre arter end den mindst artsrige af de her nævnte grupper.

Planteplanktonets biomasse har i 1995 varieret inden for intervallet 4,6-39,1 mm<sup>3</sup>, se figur 20. Det er karakteristisk, at de højeste biomasser er registreret i begyndelsen og slutningen af året, mens de laveste biomasser er registreret i perioden maj-juni. Planteplanktonets sommermiddelbiomasse er beregnet til 15,86 mm<sup>3</sup>/l.

Planteplanktonbiomassen har været helt domineret af grønalg, idet de året igennem har udgjort 70-96% af den samlede biomasse. Grønalgernes sommermiddelbiomasse er beregnet til 13,45 mm<sup>3</sup>/l, svarende til 85% af det samlede planteplanktons sommermiddelbiomasse.

Grønalgbiomassen har året igennem været domineret af *Chlorella* spp., og i sommerperioden har denne slægt alene udgjort 85% af den samlede grønalgbiomasse. Blandt de øvrige grønalger har kun *Scenedesmus* spp. haft betydning og udgjorde i sommerperioden ca. 10% af den samlede grønalgbiomasse.

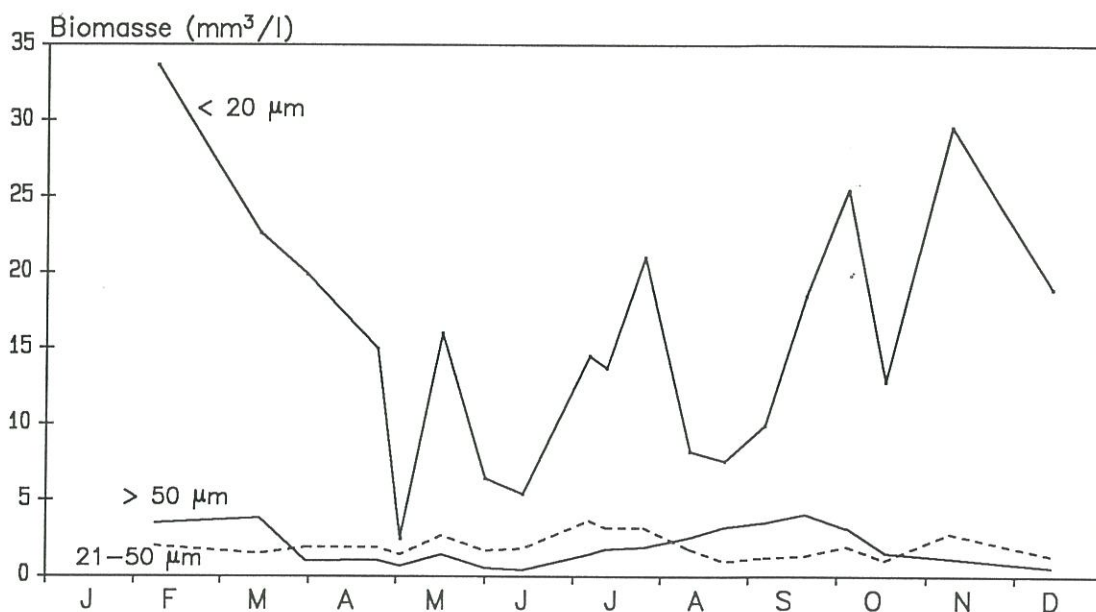


Figur 20. Oversigt over variationen af planteplanktonbiomassen i Arresø 1995.

Blandt de øvrige klasser og grupper har kun blågrønalgerne udgjort en større del af biomassen. Blågrønalgerne sommermiddelbiomasse er beregnet til  $2,13 \text{ mm}^3/\text{l}$ , svarende til 13% af det samlede planteplanktons sommermiddelbiomasse. Blågrønalgerne har i 1995 haft den bedste udvikling i august-september, da deres andel af den samlede biomasse nåede op på 18-26%. De vigtigste blågrønalger har været de kolonidannende arter *Microcystis viridis* og *Microcystis wesenbergii* samt de trådformede arter *Limnothrix* spp. og *Aphanizomenon issatschenkoi*. *Microcystis viridis* har alene udgjort ca. 46% af den samlede sommermiddelbiomasse for blågrønalger.

### 5.1.2. Størrelsesforhold

Som konsekvens af den fuldstændige dominans af de meget små *Chlorella*-arter har planteplanktonet generelt været domineret af små former. Former  $< 20 \mu\text{m}$  har således udgjort 74,5% af det samlede planteplanktons sommermiddelbiomasse, og former  $21-50 \mu\text{m}$  har udgjort 13,1%. Det betyder, at 87,6% af den samlede planteplanktonbiomasse i sommerperioden har bestået af former, som har været potentielt tilgængelige som føde for dyreplankton. Figur 21 viser sæsonvariationen af de tre størrelsesgrupper af planteplankton i 1995.

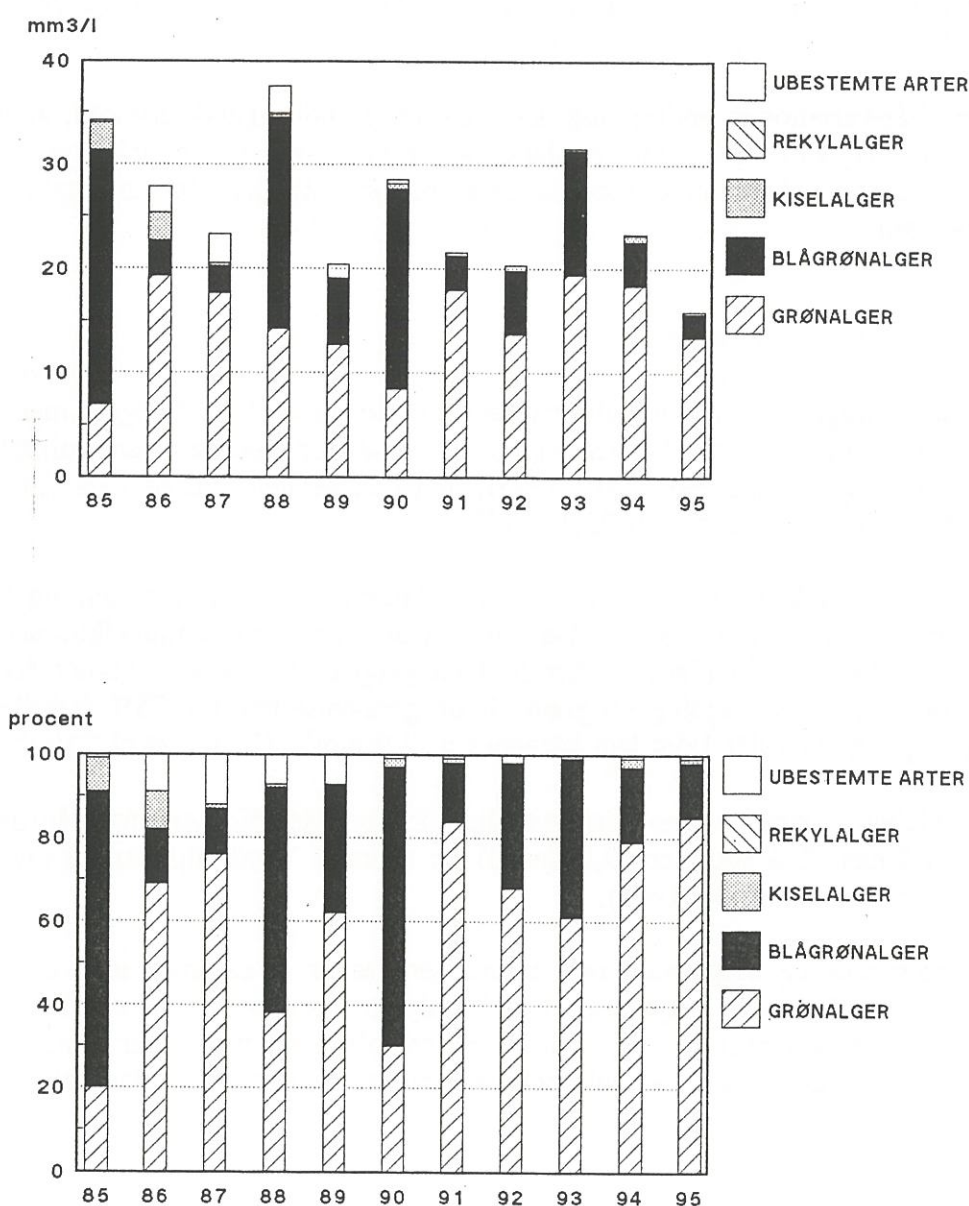


Figur 21. Oversigt over variationen af de tre størrelsesgrupper af planteplankton -  $< 20 \mu\text{m}$ ,  $21-50 \mu\text{m}$  og  $> 50 \mu\text{m}$  - i Arresø 1995.



## 5.2. Planteplankton 1985-1995

Det er karakteristisk, at planteplanktonet i hele perioden 1985-1995 har været domineret af grønalger og blågrønalger, se figur 22. Men derudover kan det konstateres, at der har været betydelige år-til-år-variation med hensyn til det samlede planteplanktons sommermiddelbiomasse, og det bemærkes, at selvom grønalgerne de fleste år har været den dominerende gruppe, så har der også været år, hvor blågrønalgerne har været den dominerende gruppe.



Figur 22. Oversigt over variationen af planteplanktonets sommermiddelbiomasse samt biomassens fordeling på hovedgrupper i perioden 1985-1995.

Planteplanktonets sommermiddelbiomasse i 1995 er den hidtil laveste. Den udgør kun 78% af den hidtil laveste biomasse i 1992 og udgør kun 42% af den hidtil højeste sommermiddelbiomasse i 1988. Den gennemsnitlige sommermiddelbiomasse for perioden 1985-1995 er beregnet til 25,85 mm<sup>3</sup>/l. Sommermiddelbiomassen for 1995 udgør kun 61% af periodens gennemsnit, hvilket understreger det lavere biomasseniveau i 1995.

Den tilbagevendende dominans af næringskrævende grønalger og blågrønalger er sammen med det lave artsantal en tydelig indikation af, at Arresø er en meget næringsrig sø. Det er ikke dokumenteret, hvilke faktorer der afgør, om grønalger eller blågrønalger opnår dominans, men der er ingen tvivl om, at år-til-år-forskelle med hensyn til vejrforhold og næringsstofbelastning samt det tidsmæssige forløb for en række fysiske og kemiske tilstandsvariabler har stor betydning.

Disse år-til-år-variationer ændrer dog ikke ved det grundlæggende forhold, at Arresø med ringe vanddybder, vedvarende opblanding af vandmasserne og hyppig resuspension af sediment er en sø, der rummer forudsætningerne for forekomst af et næringskrævende planteplankton.

#### 5.2.1. Sammenligning med andre søer

Den gennemsnitlige sommermiddelbiomasse for perioden 1985-1995 ligger med 25,85 mm<sup>3</sup>/l meget højt og placerer Arresø i den øverste kvartil af søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (Jensen et al., 1995), idet den gennemsnitlige 75% fraktil for årene 1989-1994 kan beregnes til 23,1 mm<sup>3</sup>/l.

Derudover kan det konstateres, at Arresø med hensyn til artssammensætning har en enestående dominans af grønalger. Den gennemsnitlige sommermiddelbiomasse for grønalger på 14,7 mm<sup>3</sup>/l placerer Arresø i en gruppe for sig selv blandt søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, hvor gennemsnittet for 75%-fraktilen for grønalger i perioden 1989-1994 kan beregnes til 2,9 mm<sup>3</sup>/l (Jensen et al., 1995).

Til gengæld ligger Arresø med en gennemsnitlig sommermiddelbiomasse for blågrønalger på 9,4 mm<sup>3</sup>/l nær 75% fraktilen (9,6 mm<sup>3</sup>/l) for søerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (Jensen et al., 1995).

Både grønalgernes og blågrønalgernes biomasseniveauer er sammen med den ringe artsdiversitet og den ringe betydning af andre algegrupper med til at understrege, at Arresø er en meget næringsrig sø, hvor biomassen almindeligvis ligger højt, og hvor kun år-til-år-variationer i vækstbetingelserne giver variationer i planteplanktonets kvantitative og kvalitative udvikling.

### 5.3. Dyreplankton 1995

#### 5.3.1. Artssammensætning og biomasse

Der er i 1995 registreret i alt 43 arter/identifikationstyper inden for følgende klasser og grupper:

-	CILIATA (ciliater)	9
-	ROTATORIA (hjuldyr)	14
-	CLADOCERA (dafnier)	10
-	COPEPODA (vandlopper)	10

Rent kvalitativt har der således været en meget ligelig fordeling af dyreplanktonet på de 4 hovedgrupper. Derimod har der været en biomasse-mæssig dominans af kun to af grupperne, dafnierne og vandlopperne, se figur 23.

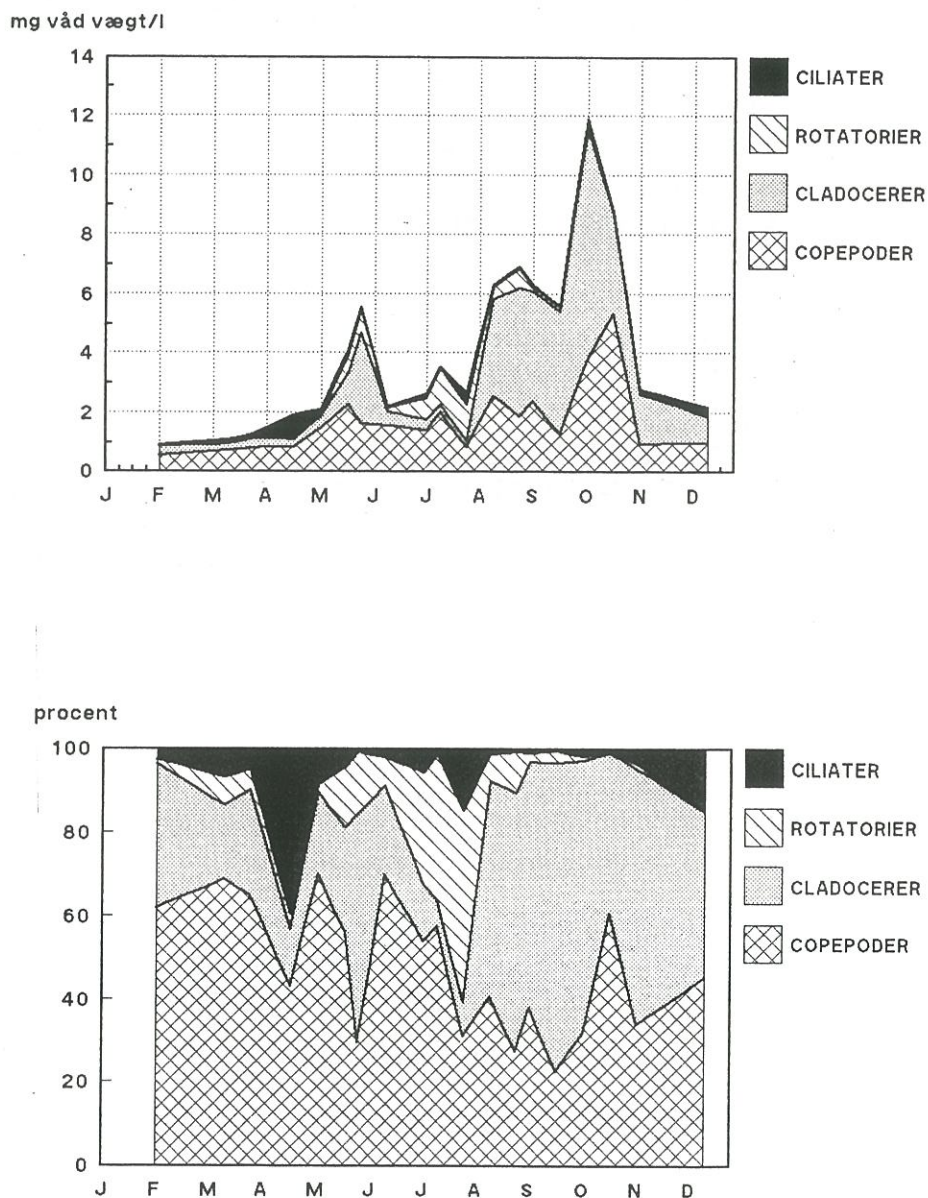
Ciliaterne har i 1995 haft maksimum i april, da deres biomasse nåede op på 0,76 mg/l, og de udgjorde 40% af den samlede dyreplanktonbiomasse. Det skal dog nævnes, at sidstnævnte var meget lav på det tidspunkt. I den resterende del af året har ciliaterne med kun 1-8% af den samlede biomasse haft ringe mængdemæssig betydning. Ciliaternes sommermiddelbiomasse er beregnet til 0,12 mg/l, svarende til 2,5% af det samlede dyreplanktons sommermiddelbiomasse.

Hjuldyrene har til trods for de højeste artsantal været den mængdemæssigt mindst betydende gruppe. De havde årsmaksimum i juli, da biomassen nåede op på 1,2 mg/l, svarende til maksimum 46% af den samlede dyreplanktonbiomasse, der på daværende tidspunkt var lav. Hjuldyrenes sommermiddelbiomasse er beregnet til 0,53 mg/l, svarende til 11,6% af det samlede dyreplanktons sommermiddelbiomasse.

Dafnierne har på årsbasis været den vigtigste gruppe af dyreplankton. De har haft deres mængdemæssigt bedste udvikling i perioden august-december, omend de også i maj-juni udgjorde en væsentlig del af den samlede biomasse. Dafnierne har i 1995 haft biomassemaksimum i oktober, da biomassen nåede op på 7,8 mg/l. Dette maksimum var domineret af *Chydorus sphaericus* og *Daphnia galeata*. Ved det forudgående maksimum i maj nåede biomassen op på 3,1 mg/l; dette maksimum var domineret af *Bosmina longirostris*. Dafniernes mængdemæssige dominans har dog været størst i september, da de udgjorde 74% af den samlede biomasse. Dafniernes sommermiddelbiomasse er beregnet til 1,81 mg/l, svarende til 46,4% af det samlede dyreplanktons sommermiddelbiomasse.

Vandlopperne har på årsbasis været den næstvigtigste gruppe af dyreplankton. De har været til stede året igennem, men har haft den bedste udvikling samtidig med dafnierne i oktober, da biomassen nåede op på 5,35 mg/l, svarende til 61% af den samlede dyreplanktonbiomasse. Men også i maj og august har vandlopperne haft et maksimum, da biomassen nåede op på 2,30 mg/l henholdsvis 2,57 mg/l, svarende til 56% henholdsvis 41% af den samlede dyreplanktonbiomasse. Den dominerende art har været den calanoide *Eudiaptomus graciloides*, og derudover har kun de cyclopoide arter *Cyclops*

*vicinus* og *Mesocyclops leuckarti* haft væsentlig mængdemæssig betydning. Vandlopper-nes sommermiddelbiomasse er beregnet til 1,81 mg/l, svarende til 39,5% af det samlede dyreplanktons sommermiddelbiomasse.

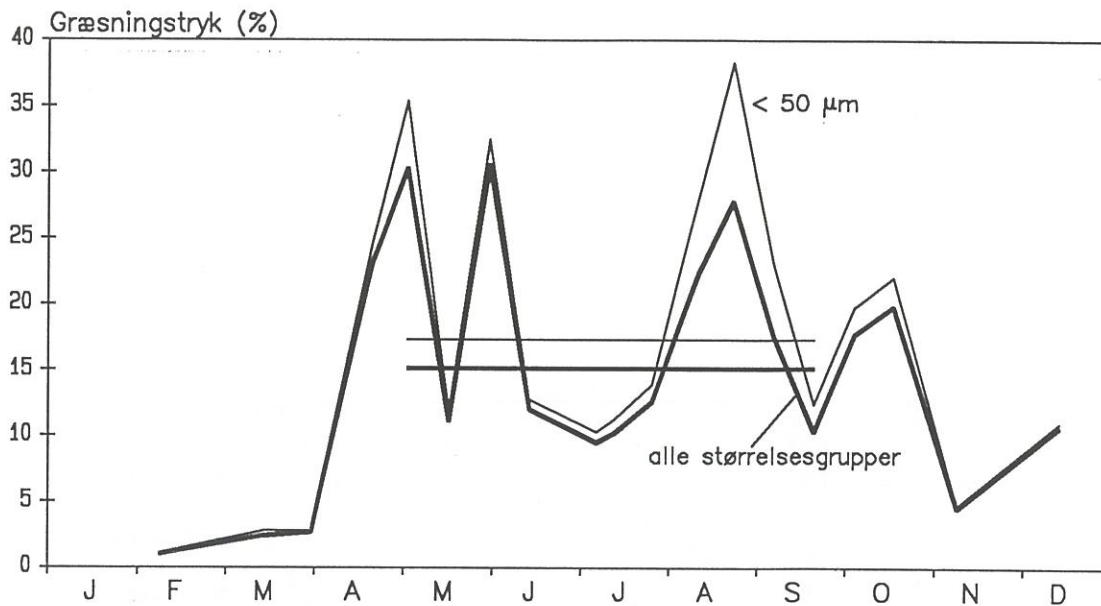


Figur 23. Oversigt over variationen af dyreplanktonbiomassen i Arresø 1995.

Det samlede dyreplanktons største biomasse på 11,88 mg/l er registreret i oktober, da hyppigheden af både dafnier og vandlopper var størst.

### 5.3.2. Relationer mellem dyreplankton og planteplankton 1995

Dyreplanktonets potentielle græsningstryk er for sommerperioden beregnet til 17,3% for planteplankton  $< 50 \mu\text{m}$  og 15,1% for alle størrelsesgrupper. Variationen af græsningstrykket i forhold til planteplanktonbiomassen er vist i figur 24.



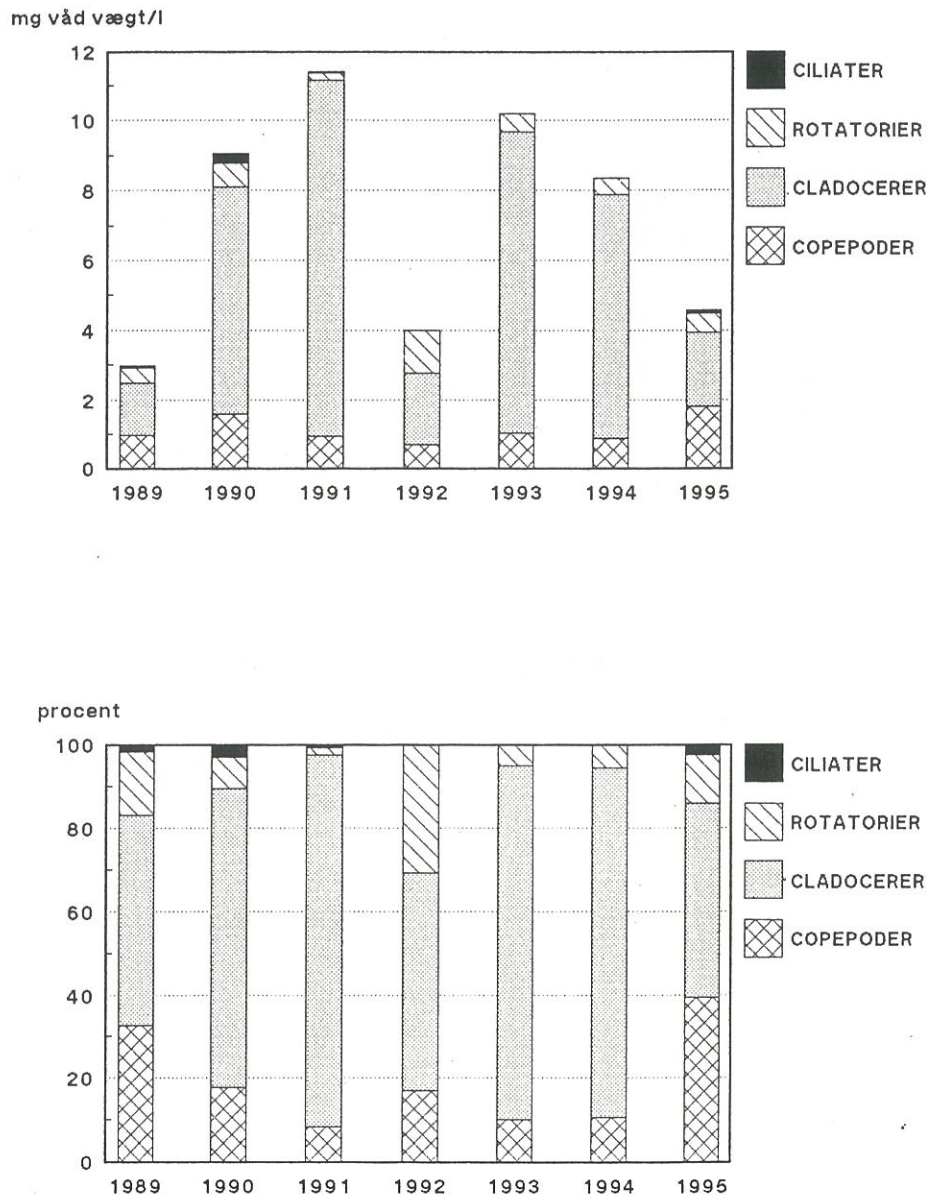
Figur 24. Oversigt over variationen af dyreplanktonets potentielle græsningstryk i procent af planteplankton  $< 50 \mu\text{m}$  og i procent af alle størrelsesgrupper. De vandrette linier viser sommermiddelgræsningstrykket på de to grupper af planteplankton.

Alene dyreplanktonets lave biomasser og planteplanktonets høje biomasser giver anledning til at antage, at dyreplanktonet kun har ringe indflydelse på mængden af planteplankton i Arresø. Beregninger af den potentielle fødeoptagelse viser da også, at dyreplanktonet aldrig opnår kontrol over mængden af planteplankton, til trods for at hovedparten af planteplanktonet til stadighed består af former  $< 50 \mu\text{m}$ , som er tilgængelige som føde for dyreplanktonet.

Det betyder dog ikke, at dyreplanktonet er uden indflydelse på mængden af planteplankton, og de laveste planteplanktonbiomasser er da også sammenfaldende med de højeste dyreplanktonbiomasser og de højeste græsningstryk.

### 5.4. Dyreplankton 1989-1995

Dyreplanktonets samlede biomasse har i perioden 1989-1995 udvist stor år-til-år-variation, se figur 25.



Figur 25. Oversigt over variationen af det samlede dyreplanktons sommermiddelbiomasse og den procentvise fordeling på hovedgrupper i perioden 1989-1995. Det bemærkes, at ciliater ikke er oparbejdet i 1992-1994.

Det bemærkes, at hjuldyr og vandlopper har en meget konstant forekomst fra år til år, og at dafnierne dels er den mængdemæssigt vigtigste gruppe og dels er den gruppe, hvis biomasse udviser størst år-til-år-variation. Ciliater har kun ringe kvantitativ betydning i de år, hvor deres biomasse er opgjort.

Den store år-til-år-variation af den samlede biomasse fremkommer således især som stor variation i mængden af dafnier. År med lave dyreplanktonbiomasser er således typisk år med lave dafniebiomasser, og år med høje dyreplanktonbiomasser er tilsvarende år med høje dafniebiomasser.

En mulig årsag til, at netop dafnierne undergår stor år-til-år-variation, kan være, at dafnierne er særlig følsomme overfor prædation fra søens småfisk, og det kan derfor vel tænkes, at variationer i fiskenes ynglesucces i særlig høj grad afføder variationer i dafniebiomassen. Særlig 1992 må fremhæves som et år med stort prædationstryk, idet flere fiskearter det år havde stor ynglesucces.

Det bemærkes dog også, at dyreplanktonbiomassen i nogen grad følger planteplanktonbiomassen, således at høje planteplanktonbiomasser er sammenfaldende med høje dyreplanktonbiomasser, figur 19 og figur 25. Dette forhold er dog ikke umiddelbart forklarligt, eftersom dyreplanktonet ikke ser ud til at være fødebegrænset i Arresø.

## 6. Sediment, bundvegetation, bundfauna og fisk

### 6.1. Sediment

Der er ikke i 1995 gennemført undersøgelse af søens sediment. Tidligere undersøgelser har vist, at sedimentet spiller en stor rolle for søens tilstand, dels på grund af den ophobede næringsstofpulje, som kan udveksles med vandet i søen og dels på grund af den forringelse af vandets klarhed, som resuspension af sediment kan forårsage. Der henvises til en tidligere rapport (Frederiksborg Amt, 1992) for en nærmere redegørelse for sedimentet.

### 6.2. Bundvegetation

Arresø er ikke indeholdt i den gruppe af overvågningssøer, hvori der gennemføres årlige undersøgelser af undervandsvegetationen. Det skyldes først og fremmest, at søen alene ud fra den ringe sigtddybde må formodes at være særdeles fattig på vegetation, og at undersøgelser i 1991 har vist, at søen faktisk var fattig på vegetation (Frederiksborg Amt, 1992). Trods den ringe udvikling rummede vegetationen dog tre arter, hvoraf en art voksede til maksimum 1 meters dybde. Vegetationen var koncentreret langs de østlige kyster, hvor bunden mange steder er fast. Det synes hævet over enhver tvivl, at undervandsvegetationen er for dårligt udviklet til at kunne have nogen nævneværdig indflydelse på søens tilstand.

### 6.3. Bundfauna

Der er ikke i 1995 gennemført undersøgelser af søens bundfauna, der ikke indgår i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for søer. Undersøgelser i 1991 viste, at bundfaunaen var både arts- og individfattig, mens bredfaunaen var mere artsrig. Både bund- og bredfaunaen var domineret af arter med tilknytning til meget næringsrige søer (Frederiksborg Amt, 1992). Selvom bundfaunaen er forholdsvis individfattig, kan der næppe være nogen tvivl om, at bunden huser en betydelig smådyrsbiomasse, som først og fremmest udnyttes af søens fiskefauna, ikke mindst *brasen*.

### 6.4. Fisk

Der er ikke foretaget undersøgelser af søens fiskefauna i 1995, men en fiskeundersøgelse i 1991 viste, at søen huser en artsrig fiskefauna med dominans af arter, der er karakteristiske for næringsrige søer, især *brasen* og *skalle* (Frederiksborg Amt, 1992). Begge disse arter er kendt for at leve af dyreplankton i de første leveår og for *skallens* vedkommende også senere i livet. Der kan således ikke være nogen tvivl om, at Arresø befinder sig i en tilstand, der i høj grad er påvirket af fiskefaunaens prædation på dyreplanktonet.



## 7. Samlet vurdering

Undersøgelserne i 1995 har i meget vid udstrækning bekræftet det billede af søens tilstand, som de forudgående års undersøgelser har tilvejebragt.

Arresø er en lavvandet sø, som i kraft af et meget stort vandspejlsareal og udtalt vindeksponering er præget af voldsom resuspension. Resuspensionen forårsager meget høje koncentrationer i vandfasen af suspenderet stof, der er årsag til søens ringe sigtdybde. Eftersom store dele af søens bund som følge af mange års kraftig næringsstofbelastning er dækket af et tykt lag næringsrigt kulturslam, forklarer den kraftige resuspension, hvorfor sigtdybden i søen har været uforandret ringe i hele perioden fra 1985 og frem til i dag.

Resuspensionen har ikke blot direkte indflydelse på vandets klarhed. Der er også en indirekte indflydelse, som er af stor betydning. Det er sandsynliggjort, at resuspensionen spiller en væsentlig rolle for den løbende recykling af næringsstofferne i søen, og det forklarer, at der året igennem kan opretholdes meget høje planteplanktonbiomasser, selvom koncentrationerne af uorganisk kvælstof og fosfor ligger på et lavt niveau i hovedparten af den produktive periode.

Mekanismerne i recyklingen af næringsstofferne er ikke kendt og kan ikke beskrives på grundlag af de gennemførte undersøgelser. Men det er overvejende sandsynligt, at der i forbindelse med resuspensionen af sedimentet sker en frigivelse af plantetilgængelige næringsstoffer, som kan kompensere for de manglende mængder i vandet. Planteplanktonets optagelse af næringsstofferne er så hurtig, at frigivelsen fra det suspendede stof ikke resulterer i forhøjede koncentrationer i vandfasen, og det betyder, at der er en meget stor fluks af næringsstoffer mellem sedimentet og planteplanktonet.

Denne specielle proces bevirker, at en given mængde næringsstoffer kan recycles et stort antal gange i løbet af året og dermed danne grundlaget for store planteplanktonbiomasser. I overensstemmelse med de hyppige resuspensionshændelser er planteplanktonet i Arresø fuldstændig domineret af små, hurtigtvoksende grønalger. Deres hurtige vækst sikrer en effektiv udnyttelse af de remineraliserede næringsstoffer, og desuden er disse små grønalger letomsættelige og remineraliseres hurtigt efter henfald. Planteplanktonet i Arresø er således godt tilpasset det særlige miljø, som skabes af de hyppige resuspensionshændelser.

Den betydelige år-til-år-variation af planteplanktonbiomassen må primært ses som resultat af variationer i vækstbetingelserne, det vil sige resuspensionens omfang samt lys og varme. Men derudover er der antagelig også en sammenhæng mellem den eksterne næringsstofftilførsel og biomassen, idet tilførslerne i årets første måneder har betydning for, hvor stor en planteplanktonbiomasse der gennem den resuspensionsbetingede recykling kan opbygges og opretholdes i resten af året.

Som en direkte følge af den tætte kobling mellem vandfasen og sedimentet sker der en betydelig mobilisering af især fosfor, men også kvælstof fra sedimentet. Som resultat af både resuspensionen og indbygningen af næringsstoffer i det levende planteplankton sker der en betydelig udvaskning af næringsstoffer fra søen, som derved er inde i en markant aflastningsproces.

Et væsentligt led i denne aflastningsproces er opbygningen af meget betydelige planteplanktonbiomasser på grundlag af sedimentets indhold af næringsstoffer, og det er i vid udstrækning dem, der bidrager til at opretholde en meget dårlig miljøtilstand i Arresø, selv om den eksterne fosfortilførsel er blevet markant reduceret siden 1989 og i 1995 har været den hidtil laveste.

Miljøtilstanden i søen er således stadig langt fra de mål, der er fastlagt i målsætningen for søen, men udviklingen går i den rigtige retning. Transporten af fosfor ud af søen har i de seneste 5 år oversteget den samlede tilførsel med op til næsten 200%, og det betyder, at søen gradvis går mod en mindre fosforbelastet tilstand. Processen er imidlertid langvarig, idet der er ophobet meget store mængder fosfor i sedimentet. Desuden sker der stadig tilførsel af store mængder kvælstof, og grundlaget for kraftig planktonvækst er derfor ikke reduceret nævneværdigt. Det betyder, at målsætningen for søen ikke er opfyldt.

## 8. Referencer

- Frederiksborg Amt 1992. Arresø - tilstand og udvikling 1991. Vandmiljøovervågning nr. 3. 92 sider.
- Frederiksborg Amt 1996. Arresø, vand- og stofbalance 1995. Beregningsforudsætninger. (upubliceret notat).
- Frederiksborg Amt 1995. Arresø - tilstand og udvikling 1994. Vandmiljøovervågning nr. 21. 35 sider + bilag.
- Høy, T. 1995. Notat om areal- og volumenforhold for Arresø (upubliceret).
- Jensen, J.P., E. Jeppesen, M. Søndergaard, J. Windolf, T.L. Lauridsen, & L. Sortkjær 1995. Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. 116 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 139.
- Miljøbiologisk Laboratorium 1996. Arresø 1995 - Plante- og dyreplankton.
- Olrik, K. 1993. Planktonøkologi. Miljøprojekt nr. 243. Miljøstyrelsen.
- Reynolds, R. C. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. Cambridge.



## Bilag

Bilag 1. Månedlige vand- og næringsstofbalancer for Arresø 1995

Bilag 2. Vand- og næringsstofbalancer for Arresø 1989-1995

Bilag 3. Oversigt over målte tilstandsvariabler i Arresø 1995

Bilag 3.1. Oversigt over målte tilstandsvariabler i de frie vandmasser i Arresø 1995

Bilag 3.2. Profilmålinger i Arresø 1995

Bilag 4. Års- og sommermiddelværdier af målte tilstandsvariabler i Arresø 1985-1995

Bilag 5. Liste over tidligere undersøgelser og rapporter



## Bilag 1. Månedlige vand- og næringsstofbalancer for Arresø 1995

### **Vandbalance**

Alle værdier er i kubikmeter.

Bidraget fra det umålte opland er beregnet ud fra den arealvægtede afstrømning fra det 4 målte oplande.

Bidraget fra punktkilder i det umålte opland er oplyst af Frederiksborg Amt.

"Øvrige" dækker over den usikkerhed, der med rimelighed kan tilskrives usikkerheden på middelvandspejlet og dermed på volumenbestemmelsen.

Volumenændringen er bestemt ud fra vandspejlskoterne ved måneds begyndelse og slutning.

### **Hydraulisk opholdstid**

Alle værdier er i døgn.

### **Kvælstof- og fosforbalance**

Alle værdier er i kg.

Bidraget fra det umålte opland er beregnet ud fra den arealvægtede afstrømning og de afstrømningsvægtede middelkoncentrationer i vandet fra de 4 målte oplande.

Bidraget fra punktkilder i det umålte opland er oplyst af Frederiksborg Amt og er delt i 12 lige store dele.

Bidraget fra atmosfæren (20 kg N/ha/år og 0,15 kg P/ha/år) er fordelt på de enkelte måneder ved hjælp af nedbørsmængden i de enkelte måneder i forhold til årsnedbøren.





Vandbalance 1995	J	F	M	A	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	Året
Æbelholt Å	405119,45	660718,96	331177,72	329659,55	172548,78	154720,15	81586,79	55911,01	91745,71	71028,62	133367,20	98730,27	2586314,20			
Lynby Å	552564,08	901189,94	451711,00	449640,29	233348,50	211031,09	111280,59	76260,01	125136,88	96879,73	181906,66	134663,50	3527612,28			
Ramløse Å	548638,50	894787,62	448501,91	446445,91	233676,52	209531,86	110490,02	75718,24	124247,87	96191,47	180614,34	133706,81	3502551,09			
Pøle Å	3647017,14	5948007,23	2981369,62	2967702,57	1553340,25	1392841,15	734470,89	503329,10	825924,76	639422,76	1200614,96	888802,07	23282842,51			
Utmålt opland, åbent land	2629978,91	4289295,32	2149959,52	2140103,78	1120162,57	1004421,61	529650,09	362966,46	595600,35	461107,89	865801,26	640943,16	16789990,92			
Utmålt opland, punktkilder	435581,92	710400,93	356080,23	354447,90	185523,37	166354,14	87721,62	60115,17	98644,42	76369,53	143395,59	106154,18	2780788,99			
Nedbør	3349080,00	2272590,00	1435320,00	2352330,00	2272590,00	232720,00	1116360,00	797400,00	3907260,00	1515060,00	1355580,00	956880,00	23563170,00			
Fordampning	-279090,00	-494388,00	-1184139,00	-2348343,00	-3664053,00	-3983013,00	-4963815,00	-4604985,00	-1722384,00	-1108386,00	-366804,00	-199350,00	-24918750,00			
Øvrige	1000110,00	970098,00	1270919,00	-898687,00	730963,00	146693,00	495155,00	-2138915,00	-1129376,00	-147074,00	193724,00	-1137880,00	-644270,00			
Samlet tilførsel	12289000,00	16152700,00	8240900,00	5793300,00	2840100,00	1553300,00	-1697100,00	-4812200,00	2916800,00	1700600,00	3888200,00	1622650,00	50470250,00			
Samlet fraførsel	8567800,00	13096000,00	12493700,00	6590700,00	4302000,00	1934000,00	1891200,00	1434100,00	1056200,00	1966400,00	1894700,00	1822000,00	57048800,00			
Volumenændring	3721200,00	3056700,00	-4252800,00	-797400,00	-1461900,00	-398700,00	-3588300,00	-6246300,00	1860600,00	-265800,00	1993500,00	-199350,00	-6578550,00			

Hydraulisk middellopholdstid	444,13	262,45	304,57	558,74	884,53	1904,08	2012,08	2653,41	3486,56	1935,14	1943,58	2088,50	785,36
------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	--------

Kvælstofbalance 1995	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
Æbelholt Å	2577,66	4203,97	2107,19	2097,53	1097,88	984,44	519,11	355,75	583,75	451,94	848,58	628,19	16456,00
Lynby Å	5089,22	8300,14	4160,35	4141,28	2167,61	1943,64	1024,92	702,37	1152,54	892,28	1675,40	1240,28	32490,00
Ramløse Å	2637,97	4302,33	2156,49	2146,61	1123,57	1007,47	531,26	364,07	597,41	462,51	868,43	642,89	16841,00
Pøle Å	14272,69	23277,68	11667,67	11614,18	6079,04	5450,92	2874,37	1969,79	3232,28	2502,40	4698,64	3478,35	91118,00
Utmålt opland, åbent land	20156,86	32874,31	16477,87	16402,33	8585,23	7698,16	4059,38	2781,87	4564,84	3534,05	6635,73	4912,36	128683,00
Utmålt opland, punktkilder	765,75	765,75	765,75	765,75	765,75	765,75	765,75	765,75	765,75	765,75	765,75	765,75	9189,00
Atmosfæren	11333,60	7690,66	4857,26	7960,51	7690,66	7555,74	3777,87	2698,48	13222,54	5127,11	4587,41	3238,17	79740,00
Samlet tilførsel	56833,77	81414,83	42192,57	45128,18	27509,73	25406,11	13552,66	9638,08	24119,10	13736,03	20079,94	14905,99	374517,00
Samlet fraførsel	22649,00	61525,00	59530,00	22858,00	8329,00	3975,00	3514,00	3056,00	2661,00	5880,00	7151,00	3870,00	204998,00
Tilbagehold, +denitrifik.	34184,77	19889,83	-17337,43	22270,18	19180,73	21431,11	10038,66	6582,08	21458,10	7856,03	12928,94	11035,99	169519,00

Fosforbalance	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
Æbelholt Å	50,28	82,01	41,10	40,92	21,42	19,20	10,13	6,94	11,39	8,82	16,55	12,25	321,00
Lynby Å	54,67	89,16	44,69	44,48	23,28	20,88	11,01	7,54	12,38	9,58	18,00	13,32	349,00
Ramløse Å	99,31	161,97	81,18	80,81	42,30	37,93	20,00	13,71	22,49	17,41	32,69	24,20	634,00
Pøle Å	680,13	1109,24	555,99	553,44	289,68	259,75	136,97	93,87	154,03	119,25	223,90	165,75	4342,00
Utmålt opland, åbent land	259,71	423,56	212,31	211,33	110,62	99,19	52,30	35,84	58,82	45,53	85,50	63,29	1658,00
Utmålt opland, punktkilder	53,83	53,83	53,83	53,83	53,83	53,83	53,83	53,83	53,83	53,83	53,83	53,83	646,00
Nedbør	85,00	57,68	36,43	59,70	57,68	56,67	28,33	20,24	99,17	38,45	34,41	24,29	598,05
Samlet tilførsel	1282,93	1977,45	1025,54	1044,53	598,81	547,45	312,58	231,97	412,10	292,88	464,88	356,94	8548,05
Samlet fraførsel	2091,30	5973,60	8699,50	2350,00	770,40	444,40	437,90	282,10	301,60	725,90	883,70	314,20	23274,60
Tilbageholdelse	-808,37	-3996,15	-7673,96	-1305,47	-171,59	103,05	-125,32	-50,13	110,50	-433,02	-418,82	42,74	-14726,55



## Bilag 2. Vand- og næringsstofbalancer for Arresø 1989-1995

Vandbalance	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Vandtilførsel 1)	33,10	39,10	57,70	41,30	43,00	66,50	52,5
Nedbør	27,70	32,40	35,60	30,40	27,60	0	23,6
Samlet tilførsel	60,80	71,50	93,30	71,10	70,60	66,50	76,1
Vandfraførsel 2)	39,90	50,70	74,40	48,30	-	64,50	57,0
Fordampning	20,90	20,80	18,90	22,80	-	0	24,9
Samlet fraførsel	60,80	71,50	93,30	71,10	70,60	64,50	81,9
Fosforbalance	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Udledt spildevand i alt 3)	30,02	25,66	16,74	12,77	11,55	12,66	8,302
som fordeler sig på							
a) byspildevand	26,54	22,18	13,26	8,94	7,88	9,47	5,105
b) regnvansbetingede udløb	2,03	2,03	2,03	2,38	2,22	2,22	2,232
c) industri	0	0	0	0	0	0	0
d) dambrug	0	0	0	0	0	0	0
e) spredt bebyggelse	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	0,97	0,97
Diffus tilførsel 4)	-3,70	-3,48	6,23	-1,79	-1,22	-2,11	-0,35
Atmosfærisk deposition	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Øvrige	0	0	0	0	0	0	0
Samlet tilførsel	27,10	22,78	23,57	11,58	10,93	11,15	8,55
Samlet fraførsel	14,00	18,00	25,00	19,80	17,11	31,25	23,27
Kvælstofbalance	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Udledt spildevand i alt 3)	179,0	193,0	160,0	144,0	112,0	95,3	76,482
som fordeler sig på							
a) byspildevand	168,0	182,0	149,0	131,0	99,0	82,5	63,336
b) regnvansbetingede udløb	7,0	7,0	7,0	9,0	9,0	8,6	8,902
c) industri	0	0	0	0	0	0	0
d) dambrug	0	0	0	0	0	0	0
e) spredt bebyggelse	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Diffus tilførsel 4)	101,0	153,0	325,0	235,0	235,0	341,7	218,295
Atmosfærisk deposition	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,7
Øvrige	0	0	0	0	0	0	0
Samlet tilførsel	359,0	425,0	564,0	458,0	426,0	516,0	374,477
Samlet fraførsel	98,0	110,0	70,0	167,0	146,0	298,2	205,0

Vandbalance: alle værdier er i mill. kubikmeter.

Fosfor- og kvælstofbalance: alle værdier er i tons.

- 1) Alle kilder excl. nedbør
- 2) Alle tab excl. fordampning
- 3) Opgjort efter retningslinierne for punktkilder
- 4) Beregnet som forskel mellem samlet tilførsel og punktkilder



### Bilag 3. Oversigt over målte tilstandsvariabler i Arresø 1995

Bilag 3.1. Oversigt over målte tilstandsvariabler i de frie vandmasser i Arresø 1995

Bilag 3.2. Profilmålinger i Arresø 1995



Dato	Ledningsevne mS/m	pH	Total-alkalinitet mmol/l	Suspenderet stof mg/l	COD-susp. stof mg/l	NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> -N mg/l	NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N mg/l	Total-N mg/l	PO <sub>4</sub> -P mg/l	Total-P mg/l	Jern mg/l	Silicium mg/l	Klorofyl-a µg/l	Sigdybde m
950207	51,2	8,3	2,71	200	240	0,04	0,82	6,06	0,02	0,87	0,91	5,5	825	0,20
950314	51,4	8,9	2,68	120	150	0,01	0,94	5,14	0,02	0,56	0,47	5,3	540	0,25
950330	53	8,8	2,6	97	120	0,01	0,7	4,44	0,01	0,45	0,34	5,3	490	0,30
950420	51,4	9,3	2,59		60	0,01	0,05	2,33	0,01	0,24	0,23	4,9	310	0,40
950502	47,6	9,4	2,06	25	27	0,01	0,01	1,05	0,01	0,13	0,1	4,7	59	1,00
950516	43,7	9,5	1,79	66	80	0,01	0,01	2,41	0,01	0,24	0,23	4,6	279	0,25
950530	41,4	9,8	1,34	40	46	0,01	0,01	1,96	0,01	0,15	0,15	4,5	120	0,60
950613	41,9	9,8	1,42	29	29	0,01	0,01	1,36	0,01	0,11	0,09	4,4	64	0,80
950706	42,6	9,9	1,53	75	100	0,02	0,01	1,83	0,01	0,32	0,37	4,4	350	0,20
950712	42,2	9,9	1,41	55		0,01	0,01	2,01	0,01	0,22	0,3	4,5	250	0,40
950725	42,7	9,8	1,79	136	140	0,01	0,01	2,63	0,01	0,39	0,48	4,5	400	0,35
950810	43,4	10	1,48	74	70	0,01	0,01	1,8	0,01	0,22	0,42	4,6	200	0,30
950822	42,5	9,6	1,4	53	46	0,01	0,01	1,67	0,01	0,16	0,15	4,7	140	0,45
950905	44,1	9,7	1,6	61	73	0,01	0,01	1,92	0,01	0,22	0,19	4,6	230	0,35
950919	45,5	9,2	1,86	100	110	0,02	0,01	2,35	0,01	0,34	0,32	4,5	431	0,20
951003	47,6	9,3	1,92	110	160	0,01	0,01	2,92	0,01	0,48	0,36	4,5	600	0,25
951016	48,2	9,2	1,94	75	90	0,01	0,01	2,27	0,01	0,27	0,24	4,1	390	0,35
951107	48,8	8,9	2,23	138	180	0,09	0,11	5,76	0,01	0,54	0,5	4,5	820	0,25
951212	47,2	8,2	2,25	84	100	0,02	0,2	3,51	0,01	0,38	0,31	4,6	399	0,35





Dato	Dybde	Temperatur (° C)	Ilt (mg/l)	Iltmætning (%)
02/07/95	0,0	2,1	12,8	94
02/07/95	1,0	2,1	12,8	94
02/07/95	2,0	2,0	12,8	93
02/07/95	2,5	2,0	12,8	93
03/14/95	0,0	3,0	16,2	122
03/14/95	1,0	3,0	16,2	121
03/14/95	2,0	3,0	16,0	119
03/14/95	3,0	3,0	15,5	116
03/14/95	4,0	3,0	15,5	116
03/14/95	4,5	3,0	15,4	116
03/30/95	0,0	3,2	13,6	105
03/30/95	1,0	3,2	13,6	105
03/30/95	2,0	3,2	13,6	105
03/30/95	3,0	3,2	13,6	105
03/30/95	4,0	3,2	13,7	105
04/20/95	0,0	6,8	14,9	128
04/20/95	1,0	6,8	15,1	130
04/20/95	2,0	6,7	15,2	131
04/20/95	3,0	6,7	15,3	131
04/20/95	4,0	6,7	15,1	129
04/20/95	4,5	6,7	14,7	126
05/02/95	0,0	11,4	14,9	144
05/02/95	1,0	11,3	15,1	144
05/02/95	2,0	11,1	15,0	142
05/02/95	3,0	10,9	14,7	140
05/02/95	4,0	10,8	14,6	137
05/02/95	4,5	10,6	14,2	134
05/16/95	0,0	9,9	13,0	117
05/16/95	1,0	9,9	13,1	118
05/16/95	2,0	9,9	13,2	118
05/16/95	2,5	9,9	13,3	119
05/30/95	0,0	16,3	10,7	112
05/30/95	1,0	16,3	10,7	112
05/30/95	2,0	16,3	10,7	112
05/30/95	3,0	16,3	10,7	111
05/30/95	4,0	16,3	10,7	111
06/13/95	0,0	16,1	13,3	137
06/13/95	1,0	16,1	13,4	138
06/13/95	2,0	16,0	13,5	139
06/13/95	3,0	16,0	13,5	139
06/13/95	4,0	16,0	13,5	138
07/06/95	0,0	16,4	7,8	81
07/06/95	1,0	16,4	7,8	81
07/06/95	2,0	16,4	7,7	80
07/06/95	3,0	16,4	7,7	80
07/06/95	4,0	16,3	7,6	79
07/06/95	4,5	16,3	7,5	77



Dato	Dybde	Temperatur (° C)	It (mg/l)	Iltmætning (%)
07/12/95	0,0	19,0	12,2	134
07/12/95	1,0	19,0	12,2	134
07/12/95	2,0	19,0	12,3	134
07/12/95	3,0	18,9	12,1	132
07/12/95	4,0	18,8	10,8	118
07/12/95	4,4	18,8	10,5	115
07/25/95	0,0	19,2	9,5	105
07/25/95	1,0	19,2	9,4	103
07/25/95	2,0	19,2	9,1	101
07/25/95	3,0	19,2	9,1	99
07/25/95	4,0	19,2	9,0	99
07/25/95	4,5	19,2	8,9	98
08/10/95	0,0	21,1	9,9	114
08/10/95	1,0	21,1	9,8	113
08/10/95	2,0	21,1	9,7	112
08/10/95	3,0	21,1	9,6	111
08/10/95	4,0	21,1	9,6	111
08/10/95	4,3	21,1	9,6	111
08/22/95	0,0	22,3	7,3	90
08/22/95	1,0	22,3	7,3	90
08/22/95	2,0	22,3	7,3	92
08/22/95	3,0	22,2	7,3	89
08/22/95	3,5	22,2	7,0	85
09/05/95	0,0	15,8	11,3	117
09/05/95	1,0	15,8	11,3	117
09/05/95	2,0	15,8	11,2	115
09/05/95	3,0	15,7	10,8	112
09/05/95	4,0	15,7	10,4	107
09/05/95	4,3	15,7	10,3	106
09/19/95	0,0	14,3	9,3	94
09/19/95	1,0	14,3	9,3	93
09/19/95	2,0	14,2	9,1	91
09/19/95	3,0	14,1	9,0	89
09/19/95	4,0	14,0	8,9	88
09/19/95	4,3	14,0	8,8	87
10/03/95	0,0	10,2	12,7	116
10/03/95	1,0	10,2	12,7	115
10/03/95	2,0	10,1	12,5	114
10/03/95	3,0	10,0	12,2	106
10/03/95	4,0	9,9	11,5	105
10/16/95	0,0	13,1	13,0	127
10/16/95	1,0	13,1	12,8	124
10/16/95	2,0	13,1	12,0	115
10/16/95	3,0	13,0	11,6	113
10/16/95	4,0	12,9	11,5	111
10/16/95	4,4	12,9	11,2	109



Dato	Dybde	Temperatur (° C)	lt (mg/l)	Iltmætning (%)
11/07/95	0,0	4,6	12,4	99
11/07/95	1,0	4,6	12,3	97
11/07/95	2,0	4,6	12,1	96
11/07/95	3,0	4,6	11,7	93
11/07/95	4,0	4,7	11,5	92
11/07/95	4,5	4,7	11,4	90
12/12/95	0,0	0,6	17,6	124
12/12/95	1,0	0,5	16,5	118
12/12/95	2,0	0,5	16,3	116
12/12/95	3,0	0,5	16,1	115
12/12/95	4,0	0,5	15,9	113
12/12/95	4,4	0,8	11,5	108



## Bilag 4. Års- og sommermiddelværdier af målte tilstandsvariable i Arresø 1985-1995

Årstal		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Sigtdybde	Gennemsnit	0,35	0,36	0,35	0,39	0,43	0,35	0,37	0,41	0,28	0,35	0,35
	Median	0,30	0,30	0,36	0,36	0,40	0,33	0,37	0,40	0,25	0,31	0,31
Sigtdybde (1/5-30/9)	Gennemsnit	0,40	0,29	0,38	0,47	0,48	0,43	0,35	0,43	0,30	0,41	0,43
	Median	0,42	0,29	0,40	0,47	0,50	0,40	0,34	0,40	0,28	0,43	0,37
Klorofyl	Gennemsnit	216	240	207	274	256	345	336	393	552	413	438
	Median	241	246	207	254	255	340	327	380	566	372	402
Klorofyl (1/5-30/9)	Gennemsnit	192	263	246	215	142	265	343	298	507	331	244
	Median	198	249	221	127	139	270	319	324	469	292	225
Silikat	Gennemsnit	1,25	0,78	2,29	4,13	5,42	6,18	5,25	5,82	6,51	5,70	4,78
	Median	1,30	0,76	2,33	4,44	5,33	6,24	5,39	5,77	6,55	5,61	4,60
Silikat (1/5-30/9)	Gennemsnit	1,16	0,77	2,57	3,61	5,43	6,39	4,83	5,91	6,66	5,59	4,53
	Median	1,23	0,69	2,72	3,86	5,58	6,33	4,85	5,91	6,70	5,56	4,52
NH <sub>4</sub> -H	Gennemsnit	0,24	0,04	0,10	0,15	0,07	0,03	0,11	0,05	0,06	0,03	0,02
	Median	0,15	0,02	0,01	0,10	0,06	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01
NH <sub>4</sub> -H (1/5-30/9)	Gennemsnit	0,31	0,01	0,01	0,08	0,05	0,01	0,04	0,02	0,08	0,05	0,01
	Median	0,30	0,01	0,01	0,06	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
NO <sub>2</sub> -N	Gennemsnit	0,88	0,60	0,07	0,52	0,20	0,21	0,23	0,30	0,49	0,42	0,24
	Median	0,81	0,09	0,01	0,18	0,01	0,01	0,03	0,07	0,34	0,26	0,04
NO <sub>2</sub> -N (1/5-30/9)	Gennemsnit	0,34	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
	Median	0,16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
TOT-N	Gennemsnit	4,28	3,24	2,25	3,04	3,00	3,50	2,99	3,72	4,63	3,61	3,38
	Median	4,46	3,21	2,14	3,13	3,01	3,58	2,91	3,24	4,80	3,22	2,76
TOT-N (1/5-30/9)	Gennemsnit	3,50	2,58	2,03	1,85	2,27	3,09	3,02	2,60	3,51	2,54	1,96
	Median	3,28	2,15	2,00	1,66	2,21	2,98	3,01	2,90	3,76	2,54	1,91
pH	Gennemsnit	8,68	-	-	9,26	9,35	9,45	9,30	9,30	9,29	9,10	9,11
	Median	8,38	-	-	9,34	9,49	9,72	9,43	9,50	9,31	8,83	9,20
pH (1/5-30/9)	Gennemsnit	9,17	-	-	9,89	9,93	9,96	9,78	10,04	10,02	9,83	9,69
	Median	9,10	-	-	9,94	9,97	9,98	9,81	10,05	10,16	9,95	9,80
PO <sub>4</sub> -P	Gennemsnit	0,65	0,45	0,32	0,23	0,13	0,14	0,11	0,04	0,05	0,02	0,01
	Median	0,71	0,47	0,33	0,27	0,10	0,15	0,12	0,04	0,05	0,01	0,01
PO <sub>4</sub> -4 (1/5-30/9)	Gennemsnit	0,53	0,24	0,20	0,07	0,03	0,09	0,07	0,02	0,05	0,01	0,01
	Median	0,59	0,23	0,19	0,04	0,03	0,09	0,08	0,01	0,05	0,01	0,01
TOT-P	Gennemsnit	1,00	0,91	0,65	0,55	0,46	0,51	0,41	0,43	0,55	0,41	0,40
	Median	1,00	0,93	0,61	0,61	0,51	0,57	0,43	0,41	0,58	0,36	0,35
TOT-P (1/5-30/9)	Gennemsnit	0,85	0,71	0,57	0,32	0,28	0,41	0,41	0,32	0,47	0,30	0,24
	Median	0,90	0,63	0,57	0,29	0,24	0,42	0,41	0,34	0,49	0,25	0,22
COD partik.	Gennemsnit	-	-	-	61	65	87	88	99	149	115	119
	Median	-	-	-	59	65	85	85	94	156	95	110
COD partik. (1/5-30/9)	Gennemsnit	-	-	-	46	54	70	74	82	144	94	79
	Median	-	-	-	30	52	72	69	82	145	80	71





## Bilag 5. Liste over tidligere undersøgelser og rapporter

Recipientundersøgelser af Arresø 1976-1981, Hovedstadsrådet, Arbejdsdokument, Vandkvalitetsinstituttet og COWIconsult, 1982

Forslag til Recipientkvalitetsplan for Roskilde Fjord og opland, Planlægningsdokument 421, Hovedstadsrådet 1984

Phytoplankton i Arresø 1985. Hovedstadsrådet, recipientovervågning nr. 25, Miljøbiologisk Laboratorium, 1986

Arresøs vandbalance 1980, 1981 og 1982. Hovedstadsrådet, Recipientovervågning nr. 27, Hedeselskabet, 1987.

Fiskene i Arresø, Hovedstadsrådet, recipientovervågning nr. 26, 1987.

Phytoplankton i Arresø 1986. Hovedstadsrådet, recipientovervågning nr. 34, Marinbiologisk Laboratorium, 1988.

Arresø 1985-88, Tilsynsdata. Hovedstadsrådet, recipientovervågning nr. 45, COWIconsult, 1989

Restaurering og fremtidig tilstand af Arresø. Arresøarbejdsgruppen 1989.

Tilførsel af næringsstoffer fra enkeltudledere og gårde i oplandet til Arresø. Frederiksborg Amt, Teknisk Forvaltning, 1989.

Arresø, Tilstand og udvikling 1990, Frederiksborg Amt, recipientovervågning nr. 10, 1991

Oplandsanalyse. Reduktion af Arresøens belastning. Skov- og Naturstyrelsen & Frederiksborg Amt, Teknisk Forvaltning, 1991.

Arresø, Tilstand og udvikling 1991, Frederiksborg Amt, Vandmiljøovervågning nr. 3. Frederiksborg Amt og Waterconsult, 1992.

Vandområdeplan for Arresø og opland, Planlægningsdokument nr. 2, Frederiksborg Amt, 1993.

Arresø 1993. Plante- og dyreplankton. Notat udarbejdet for Frederiksborg Amt af Miljøbiologisk Laboratorium ApS. Frederiksborg Amt 1994

Resultater af fosforfraktionering på sedimenter fra Arresø 1993. Notat udarbejdet for Frederiksborg Amt af Vandkvalitetsinstituttet. Frederiksborg Amt 1994

Afstrømningsmålinger 1993. Rapport udarbejdet for Frederiksborg Amt af Det Danske Hedeselskab. Frederiksborg Amt 1994



Redegørelse for de tekniske, lovmæssige, administrative og økonomiske forhold ved frilæggelse af rørlagte vandløbsstrækninger i oplandet til Arresø. Rapport udarbejdet for Frederiksborg Amt af N&R Consult a/s. Frederiksborg Amt, Teknik & Miljø, 1994.

Forundersøgelser af mulige søprojekter i Arresøplanen. Frederiksborg Amt, Teknik & Miljø, 1994.

Søprojekter i Arresøens opland. Frederiksborg Amt, Teknik & Miljø, 1994.

Solbjerg Eng sø, en del af Arresøplanen. Etablering og udvikling 1993/94. Frederiksborg Amt, Teknik & Miljø, 1995

Arresø 1994. Plante- og dyreplankton. Notat udarbejdet for Frederiksborg Amt af Miljøbiologisk Laboratorium ApS. Frederiksborg Amt 1995

Afstrømningsmålinger 1994. Rapport udarbejdet for Frederiksborg Amt af Det Danske Hedeselskab. Frederiksborg Amt 1995.

Arresø - tilstand og udvikling 1994. Rapport udarbejdet af Frederiksborg Amt 1995. Vandmiljøovervågning nr. 21.

