

 **VANDMILJØovervågning**

Maj 1995

Langesø 1994



Fyns Amt

SEL pers

V VANDMILJØovervågning

Maj 1995

Langesø 1994



Fyns Amt

Titel: VANDMILJØovervågning - Langesø 1994

Udgiver: Fyns Amt
Natur- og Vandmiljøafdelingen
Ørbækvej 100
5220 Odense SØ

Telefon 66 15 94 00
Telefax 66 15 45 59

Udgivelsesår: Maj 1995

Tryk: Fyns Amt

Oplag: 150

Forside: Mimi Fuglsang

Kortmateriale: Copyright Kort- og Matrikelstyrelsen 1992/KD.86.1023

ISBN 87-7343-236-9

Indholdsfortegnelse

	Side
Forord	5
Indledning	7
1. Beskrivelse af søen	9
1.1 Søens beliggenhed og morfometri	9
1.2 Målsætning for søens anvendelse	9
1.3 Beskrivelse af søens tilstand	12
2. Meteorologiske og hydrologiske forhold	15
3. Søens opland og eksterne belastning	19
3.1 Oplandet til søen	19
3.2 Total ekstern belastning med kvælstof og fosfor	20
3.3 Afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor	22
3.4 Afmøsfærisk deposition	29
3.5 Øvrige belastningskilder	29
3.6 Vurdering af belastningen fra hovedtilløbet	29
3.7 Vurdering af de enkelte tilløb	30
3.8 Udviklingstendenser i søens stoffbelastning	34
3.9 Vurdering af muligheder for begrænsning af næringsstofftilførslerne til søen	34
4. Vand- og stoffbalance	37
5. Fysisk-kemiske forhold i søen	45
5.1 Søvand	45
5.2 Sammenhæng mellem stofftilførsel og stoffkoncen- tration i søen	52
5.3 Stoffudveksling mellem atmosfære, søvand og sø- bund	54
6. Biologiske forhold i søen	59
6.1 Planteplankton	59
6.2 Dyreplankton	62
6.3 Fisk	72
7. Udvikling i søens miljøtilstand	77
7.1 Udvikling i 1989-1994	77
7.2 Fremtidig udvikling	80
8. Sammenfatning og konklusion	85
Referencer	89

Bilag 1.	Anvendt metodik	93
Bilag 2.	Arealanvendelse, jordbundsforhold m.v. i søens opland	104
Bilag 3.	Kildeopsplitning af den totale eksterne næringsstofbelastning	105
Bilag 4.	Vandbalance på måneds-, sommer- og årsbasis	106
Bilag 5.	Stofbalance på måneds-, sommer- og årsbasis	108
Bilag 6.	Udvikling i fysisk-kemiske og biologiske (klorofyl) forhold .	109
Bilag 7.	Månedlig nettotilførsel af total-kvælstof via interne processer	112
Bilag 8.	Månedlig nettofrigivelse af total-fosfor fra sediment	113
Bilag 9.	Oversigt over øvrige biologiske forhold	114
Bilag 10.	Oversigt over morfometriske grunddata	116
Bilag 11.	Oversigt over undersøgelser udført før vandmiljøplan- overvågningen	117

Forord

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

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

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

Samtidig er der med Vandmiljøplanen iværksat en øget overvågning af vandmiljøet med det formål at følge effekten af Vandmiljøplanen. Overvågningen omfatter alle de forskellige led i vandkredsløbet. Amterne er ansvarlige for gennemførelse af overvågningsaktiviteterne, der omfatter følgende områder: Grundvand, vandløb, søer, særlige landovervågningsoplande, punktkilder (kommunale og industrielle spildevandsudledninger) samt kystnære havområder.

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

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

Denne rapport er et led i Fyns Amts samlede rapportering af vandmiljøovervågningen i 1994, der i alt omfatter følgende rapporter:

- Vandløb 1994 (ISBN 87-7343-239-3)
- Arreskov Sø 1994 (ISBN 87-7343-238-5)
- Langesø 1994 (ISBN 87-7343-236-9)
- Søholm Sø 1994 (ISBN 87-7343-237-7)
- Landovervågning 1994 (ISBN 87-7343-241-5)
- Punktkilder 1994 (ISBN 87-7343-234-2)
- Kystvande 1994 (ISBN 87-7343-240-7)
- Grundvand 1994 (ISBN 87-7343-233-4)
- Atmosfærisk nedfald 1994 (ISBN 87-7343-235-0)
- Fyns vandmiljø (ISBN 87-7343-242-3)

I tilknytning til sø- og vandløbsrapporterne er der endvidere udarbejdet følgende to tekniske rapporter: Fiskebestanden i Langesø, august 1994 (ISBN 87-7343-243-1) og Trådalger i vandløb 1994 (ISBN 87-7343-245-8). Endvidere udsendes medio august 1995 notat vedrørende udviklingen i kvælstofafstrømningen i fynske vandløb frem til juni 1995.

Indledning.

Denne rapport beskriver resultater af de undersøgelser af Langesø, som Fyns Amt har foretaget i perioden 1989-1994 som et led i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram.

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

Årets tema for Vandmiljøplan-rapporteringen er grundvand. Tilførslen af grundvand til Langesø er imidlertid meget lille og dermed af yderst ringe betydning for søens vand- og stofbalance. Der er derfor i denne rapport især lagt vægt på dels at foretage en kortfattet beskrivelse af resultatet af undersøgelserne i 1994, dels at vurdere mulige udviklingstendenser i søens miljøtilstand siden overvågningen blev sat i gang. Endelig omfatter rapporten forslag til forbedring af miljøtilstanden i søen.

1. Beskrivelse af søen.

I dette afsnit foretages en kortfattet beskrivelse af Langesø og dens opland. Disse forhold er mere detaljeret beskrevet i tidligere udarbejdede rapporter om Langesø (Fyns Amt, 1990 og 1991).

1.1 Søens beliggenhed og morfometri.

Langesø ligger i den vestligste og dybeste del af en tunneldal, som udgør en del af et velafgrænset tunneldalstrøg, der strækker sig fra egnen omkring Langesø og mod sydøst til Odense. (jf. figur 1.1.1).

Tunneldalen, som blev dannet under sidste istid, gennemløbes af Stavis Å, hvortil søen har sit afløb. Ved afløbet er søen stemmet op, således at vandstanden i søen reguleres ved hjælp af skod. Der er ikke fastsat noget flodemål (dvs. en højeste tilladelig vandstand) i forbindelse med driften af stemmeværket. Ved opstemningen er søens vandspejl hævet ca. 1,5 m. Formålet med opstemningen, der sandsynligvis er fra før 1870, har efter alt at dømme været ålekistefiskeri. Dette fiskeri praktiseres stadigvæk.

Langesø er i alt 17,1 ha stor og relativt lavvandet med en maksimumdybde på 4,5 m og en middeldybde på 3,1 m (figur 1.1.2 og tabel 1.1.1). Søens vandvolumen er relativt stort i forhold til overfladearealet, idet de undersøiske skrænter nærmest bredden er relativt stejle. Kyststrækningen er endvidere relativt simpel uden større vige og indskæringer.

Søen er hovedsagelig omgivet af skovklædte skrænter. Alligevel er den via sin beliggenhed i vestlig-østlig retning påvirket af de fremherskende vestlige vinde, hvorved vandmassen relativt hyppigt omrøres. Der kan dog i forbindelse med længerevarende perioder med varmt og stille vejr forekomme en temperaturlagdeling af vandmasserne.

Oplandet til søen er 563 ha stort og består hovedsageligt af landbrugsarealer (ca. 73%). Der findes ingen renseanlæg i oplandet. Derimod udledes spildevand til søen fra spredtliggende bebyggelse, enten direkte eller via vandløb og dræn (en nærmere beskrivelse af oplandet fremgår af afsnit 3).

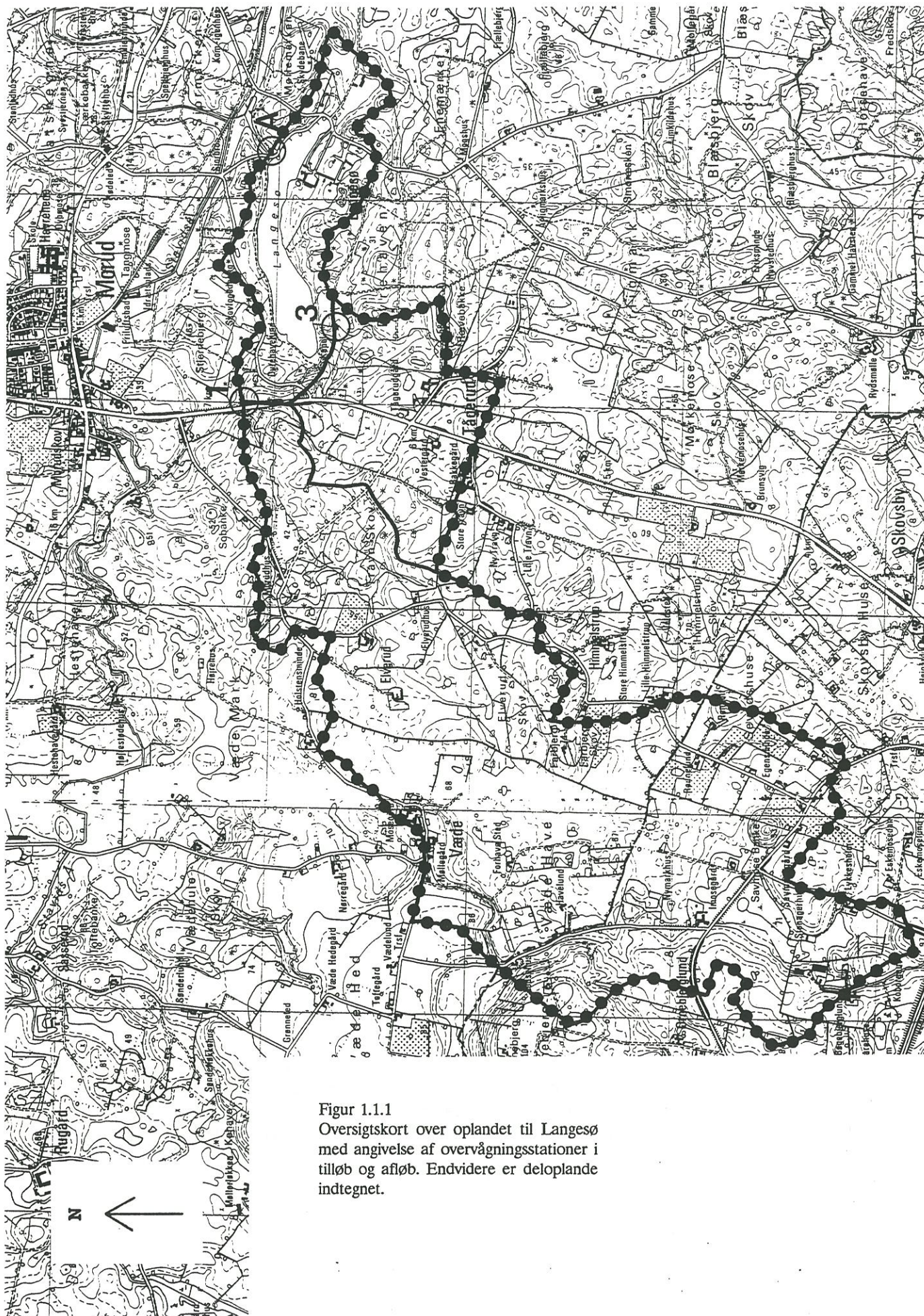
Overfladeareal, ha	17,1
Middeldybde, m	3,1
Maksimumdybde, m	4,5
Vandvolumen, m ³	531.000
Kystlinielængde, km	2,85

Tabel 1.1.1
Fysiske forhold i Langesø.

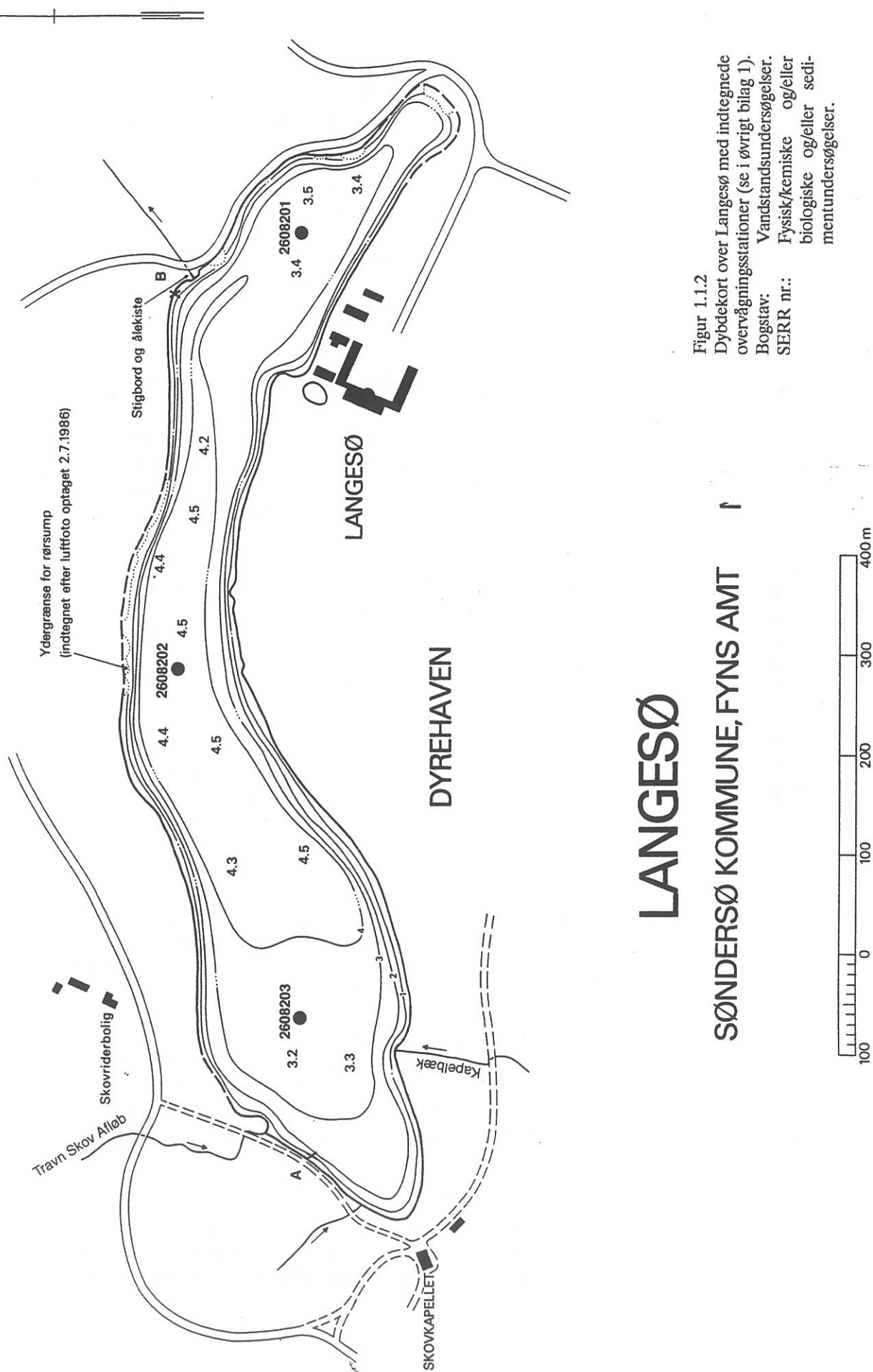
1.2 Målsætning for søens anvendelse.

Langesø er i Regionplan 1993-2005 målsat som "Fiskevand til lyst- og/eller erhvervsfiskeri". Dette indebærer, at den skal kunne huse et rigt og alsidigt plante- og dyreliv.

Regionplanen fastsætter ingen egentlige krav til søens miljøkvalitet. Det indgår imidlertid som en generel retningslinje i planen, at al spildevandsudledning, herunder udledning fra spredtliggende ejendomme, til denne og andre søer i videst muligt omfang skal undgås. Da oplandet til Langesø er udpeget som særligt prioriteret område, bør der være gennemført forbedret spildevandsrensning i den spredte bebyggelse inden udgangen af 1998.



Figur 1.1.1
Oversigtskort over oplandet til Langesø
med angivelse af overvågningsstationer i
tilløb og afløb. Endvidere er deloplande
indtegnet.



Figur 1.1.2

Dybdekort over Langesø med indtegnede overvågningsstationer (se i øvrigt bilag 1).
 Bogstav: Vandstandsundersøgelser.
 SERR nr.: Fysisk/kemiske og/eller biologiske og/eller sedimentundersøgelser.

LANGESØ

SØNDERSØ KOMMUNE, FYNs AMT

Endvidere fremgår det af regionplanen, at hvor det er nødvendigt af hensyn til opfyldelse af søens målsætning, bør der gennemføres naturgenopretningsprojekter såvel i oplandet som i selve søen.

Langesø er formodentlig fra naturens hånd en næringsrig sø. Fyns Amt har dog vurderet, at søen for at opfylde målsætningen bør have en sigtddybe på mindst 1,5-2 m, et artsrigt planteplankton med dominans af "rentvandskrævende" alger, et veludviklet bælte af rankegrøde og en artsrig smådyrfauna (Fyns Amt, 1990). Derudover bør fiskefaunaen have en naturlig alders- og artsfordeling med balance mellem fredfisk og rovfisk.

1.3 Beskrivelse af søens tilstand.

Målsætningen for søens anvendelse er på nuværende tidspunkt ikke opfyldt. Årsagen hertil er efter al sandsynlighed, at der gennem mange år er sket en væsentlig tilførsel af plantenæringsstoffer dels via spildevand fra spredt bebyggelse, dels ved afstrømning fra dyrkede marker og landbrugsejendommenes møddinger og lignende i oplandet.

Undersøgelserne i 1989-1994 har således vist, at der stadig er en meget stor tilførsel af plantenæringsstofferne kvælstof og fosfor til søen fra dens opland. Hertil skal lægges en stor såkaldt intern tilførsel af især fosfor, som bliver frigivet fra søbunden i sommerperioden. Denne betydelige interne belastning skyldes de store mængder fosfor, der gennem mange år er ophobet i søbunden.

Langesø har om sommeren uklart vand (gennemsnitlig sigtddybe 0,8-1,1 m i 1989-1994). Det uklare vand skyldes store mængder planktonalger. Perioder med klart vand forekommer dog i forbindelse med pludselig hendøen af disse alger. Særligt uklart vand optræder, når planteplanktonet (som i 1990, 1991 og 1994) er helt domineret af blågrønalger. Til andre tider dominerer små grønalger (som i 1989 og 1992).

Planktonalgerne mangler normalt hverken kvælstof eller fosfor til deres vækst. Samtidig begrænses deres mængde kun i ringe grad ved den bortgræsning, som dyreplanktonet foretager. Dette skyldes, at dyreplanktonet holdes nede af dyreplanktonædende fiskearter som Skalle, Brasen og små aborrer. Disse arter er helt dominerende blandt søens fisk.

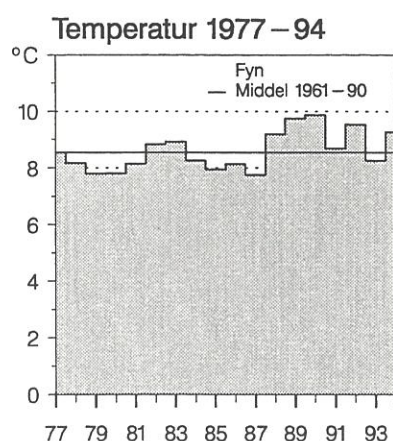
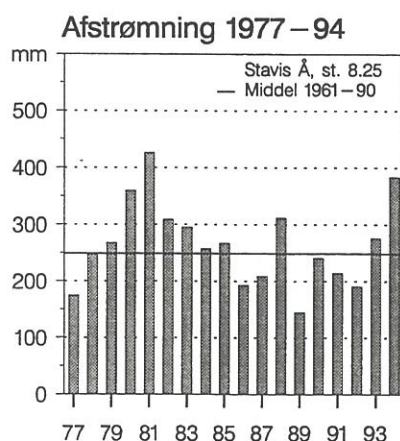
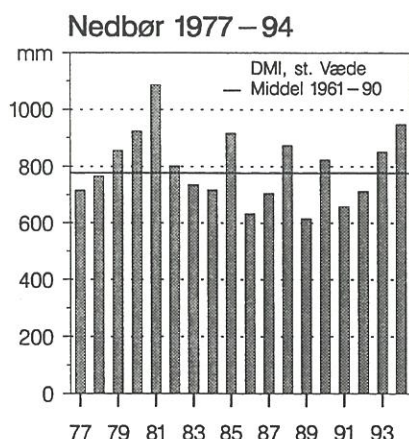
Søens fisk udsættes i perioder for ugunstige levevilkår. Således kan der om sommeren opstå iltsvind i forbindelse med stille og varmt vejr, hvor søens vandmasse lagdeles. Samtidig frigives store mængder ammoniak og muligvis svovlbrinte, der kan forgifte fiskene. Endelig kan blågrønalger i forbindelse med deres opblomstring udskille kraftigt virkende giftstoffer. Disse forhold giver fra tid til anden anledning til omfattende fiskedød, således som det har været tilfældet flere gange i sommeren 1990.

På grund af det uklare vand har søen formodentlig været uden væsentlig undervandsvegetation i mange år. Derimod findes der en smal, usammenhængende rørsump langs størstedelen af søens bred. Kun i den relativt lavtvandede, østlige ende af søen findes en større sammenhængende rørsump.

Langesø har således en generelt dårlig miljøtilstand. Det er samtidig usandsynligt, at denne tilstand uden ganske særlige initiativer vil forbedres afgørende i de kommende år.

De fortsatte intensive undersøgelser i søen vil derfor især have til formål af forbedre grundlaget for en vurdering af søens tilstand og mulighederne for at forbedre denne.

2. Meteorologiske og hydrologiske forhold



Figur 2.1
Nedbør, ferskvandsafstrømning og temperatur på årsbasis 1977-1994.

De meteorologiske og hydrologiske forhold, der havde betydning for Langesø og dens opland i 1994 beskrives kortfattet i det efterfølgende. Årstidsvariationer i nedbør, ferskvandsafstrømning, lufttemperatur, soltimer og vindhastighed for perioden 1989-1994 er illustreret i henholdsvis figur 2.1, 2.2 og 2.3.

De meteorologiske og hydrologiske forhold er sammenlignet med normalværdier, der er beregnet på baggrund af data fra perioden 1961-1990. De anvendte data er beskrevet i bilag 1.

Nedbør

I oplandet til Langesø falder der i gennemsnit 776 mm nedbør om året.

1994 var et ret vådt år, idet der i oplandet faldt 22% mere nedbør end normalt. For Fyn som helhed faldt der i 1994 25% mere nedbør end normalt.

Det var især i årets første og tredje kvartal, der faldt megen nedbør. Første kvartal var usædvanlig våd. Månederne januar, marts og september var meget våde, mens juli måned 1994 var meget tør.

Ferskvandsafstrømning

Ferskvandsafstrømningen følger i vid udstrækning nedbøren undtagen i sommermånederne, hvor størstedelen af nedbøren optages i planterne eller fordamper. Mere end 50% af ferskvandsafstrømningen sker normalt i de 4 vintermåneder december til april.

På baggrund af afstrømningsmålinger i Stavis Å vurderes, at ferskvandsafstrømningen til Langesø normalt er 9,0 l/s km², hvilket svarer til 37% af den nedbør, der falder i oplandet.

Ud fra afstrømningsmålinger i Stavis Å vurderes, at afstrømningen til Langesø i 1994 var stor; den næststørste målt i perioden 1977-1994. Ferskvandsafstrømningen i Stavis Å lå i 1994 hele 54% over normalen. For Fyn som helhed lå afstrømningen 53% over normalen.

Vurderet på kvartalsbasis var afstrømningen i årets første kvartal ekstrem stor. Set på månedsbasis var afstrømningen af ferskvand usædvanlig stor i januar, marts, april og september.

Lufttemperatur

Lufttemperaturen er af betydning for søens opvarmning og dermed for de biologiske og kemiske processer i søen.

Normaltemperaturen for Fyn er på årsbasis 8,2°C. Årsmiddeltemperaturen for Fyn som helhed lå i 1994 lidt over normalen (+1,1°C). Temperaturen i årets sidste to kvartaler var noget over det normale. Det er især månederne juli,

august, november og december som havde temperaturer over normalen.

Soltimer

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

I et normalår skinner solen i 1621 timer. Antallet af soltimer i 1994 lå 10% over normalen. Antallet af soltimer i årets to sidste kvartaler var, som lufttemperaturen, noget højere end normalt. Antallet af soltimer i august måned var rekordstor. Til gengæld skinnede solen ikke så meget i oktober.

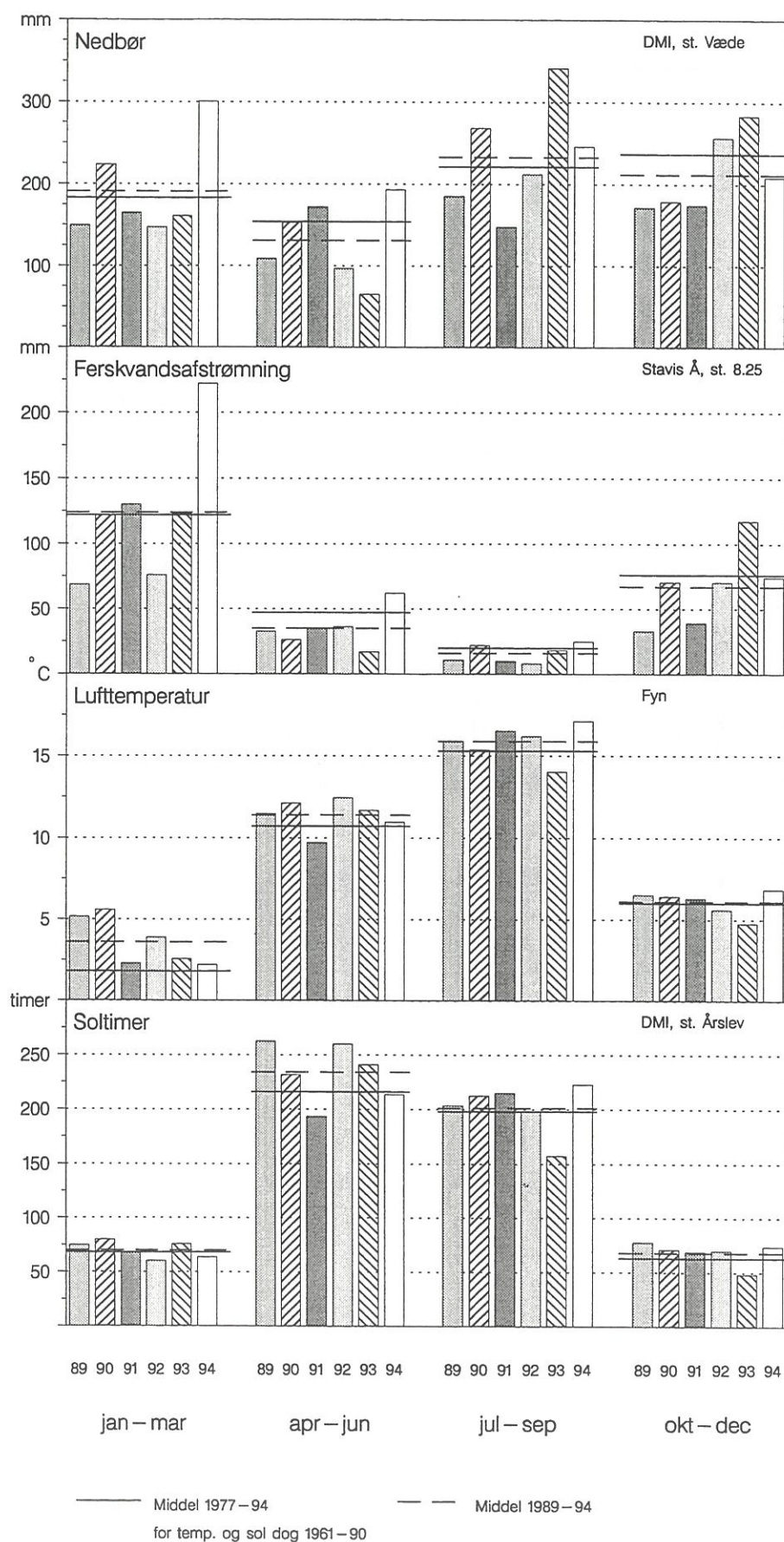
Vindhastighed

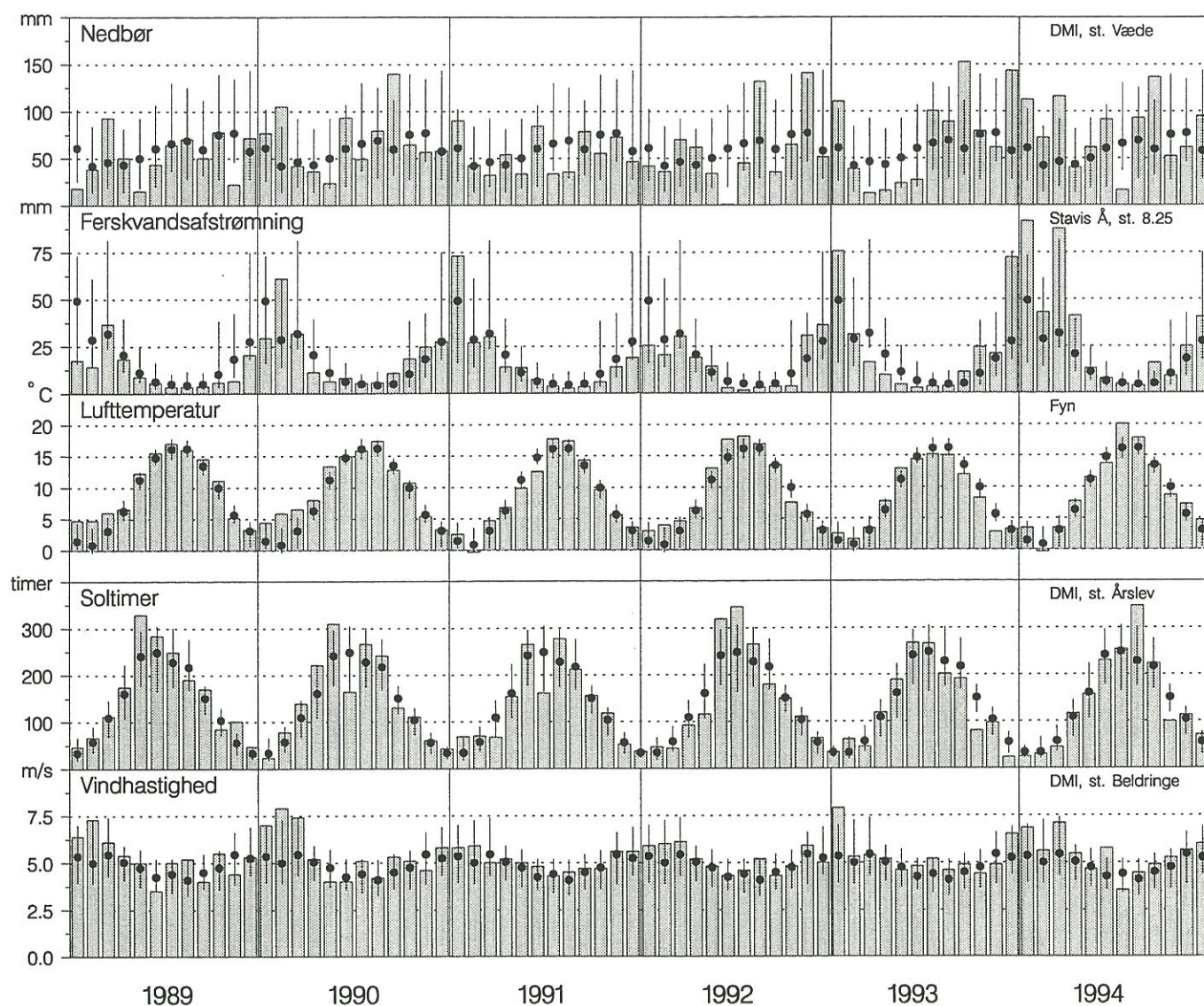
Vinden påvirker opblandingen af vandmasserne i en sø og har blandt andet betydning for, hvor dybt et eventuelt springlag dannes/nedbrydes. Dermed har vinden også betydning for udvekslingen af næringsstoffer mellem bundvand/-sediment og de mere overfladenære vandmasser. Vinden spiller også en rolle ved gasudvekslingen mellem vandet og atmosfæren. Vindforholdene er således vigtige at have for øje ved en vurdering af skift i næringsstofindhold og sammensætning af planteplankton i søen.

1994 var forholdsvis vindrig. Specielt i månederne januar, marts og juni var meget blæsende, mens juli måned var ret vindstille.

Figur 2.2

Kvartalsvis sammenstilling af nedbør, ferskvandsafstrømning, lufttemperatur og soltimer 1989-1994. For nedbør og ferskvandsafstrømning er vist kvartalsmidler, for lufttemperatur og soltimer kvartalsmånedsmidler.





Figur 2.3

Nedbør, ferskvandsafstrømning, lufttemperatur, soltimer og vindhastighed på månedsbasis 1989-1994. 10-, 50- og 90%-fraktilene fremgår ligeledes af figuren.

3. Søens opland og eksterne belastning

I dette afsnit beskrives oplandet til og den eksterne (udefra kommende) næringsstofbelastning af Langesø i perioden 1989-1994.

Den eksterne belastning omfatter afstrømning via vandløb, den atmosfæriske deposition på søen, belastningen fra evt. opfodring af andefugle m.v. samt løvfald på søen.

Endvidere vurderes kilderne til søens næringsstofbelastning samt belastningen fra de enkelte hovedtilløb til søen. Derudover foretages en vurdering af kulturbetingede udviklingstendenser i søens stofbelastning. Endelig vurderes muligheder for begrænsning af næringsstofførslerne til Langesø.

3.1 Oplandet til søen

I det efterfølgende er beskrevet søens opland som helhed. En oversigt over arealanvendelse, jordbundstyper, husdyr- og spildevandsforhold i oplandene til de enkelte tilløb, det umålte opland og søens samlede opland fremgår af bilag 2.

Afgrænsningen af søens opland og deloplande samt placering af målestationer er vist på figur 1.1.1.

Arealanvendelse og jordbundsforhold

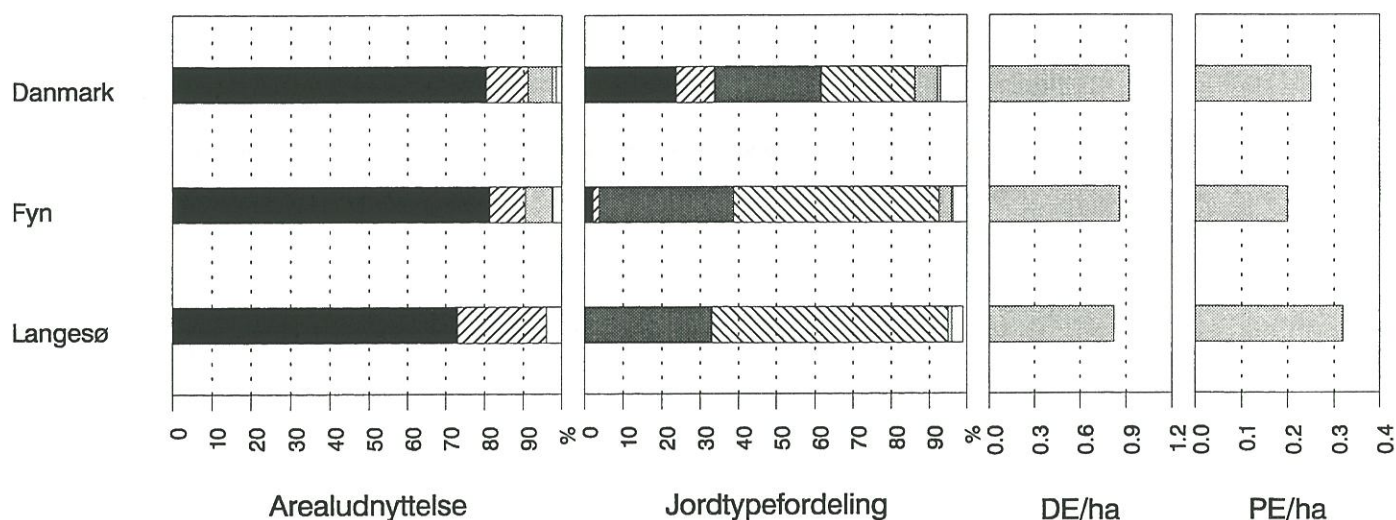
Afstrømningsoplandet til Langesø er på ialt 563 hektar.

Der er i oplandet til Langesø mere skov og mindre landbrug end tilfældet er for Fyn som helhed og Danmark. Til gengæld er der ingen byområder i søens opland (se figur 3.1.1).

Jordbunden i landbrugsområderne består hovedsageligt af sandblandet ler og lerblandet sand og svarer nogenlunde til, hvad der er typisk for Fyn, mens jorden er mere leret end gennemsnittet på landsplan (se figur 3.1.1).

Husdyrhold

Husdyrtætheden i oplandet til Langesø ligger næsten på niveau med tætheden for Fyn som helhed, men noget under husdyrtætheden på landsplan.



Figur 3.1.1
Arealanvendelse, jordtypefordeling, husdyrtæthed og befolkningstæthed i oplandet til Langesø, Fyn og i Danmark.

Arealudnyttelse

- Rest
- Ferskvand
- By
- ▨ Skov
- Landbrug

Jordtypefordeling

- Humus
- Svær lerjord
- Lerjord
- ▨ Sandblandet ler
- Lerblandet sand
- ▨ Finsandet jord
- Grovsandet jord

Spildevandsforhold

Der er ingen kommunale renseanlæg i oplandet til Langesø, men der udledes spildevand fra spredt bebyggelse i søens opland, enten direkte til søen eller via dræn og vandløb. Størrelsen af denne belastning kendes ikke, da det er uvist, hvor stor en del af den producerede spildevandsmængde, der rent faktisk når frem til søen.

Der er i 1994 registreret 65 enkeltliggende ejendomme i oplandet til Langesø. Alle disse ejendomme har udledning til recipient.

Befolkningstætheden i oplandet til Langesø er relativ høj. Tætheden i søoplandet ligger både over tætheden for Fyn som helhed og på landsplan.

Den potentielle spildevandsbelastning er beregnet under afsnit 3.3.

3.2 Total ekstern belastning med kvælstof og fosfor

Den totale eksterne belastning af Langesø i perioden 1989-1994, dels på årsbasis, dels i sommerperioden (1.5.-30.9.) fremgår af tabel 3.2.1 og 3.2.2. Belastningen er desuden illustreret på figur 3.2.1.

Det fremgår, at langt den største kilde til næringsstofbelastning af søen er afstrømning fra oplandet til søen. På årsbasis udgør belastningen herfra mere end 90% af søens samlede belastning. Bidraget fra atmosfærisk deposition, fugle og løvfald på søen er således mindre betydende.

Den atmosfæriske deposition kan dog i sommermåneder med lav afstrømning udgøre en væsentlig del af den samlede belastning.

Tabel 3.2.1

Den totale eksterne belastning af Langesø i perioden 1989-1994.

	1989 kg	1990 kg	1991 kg	1992 kg	1993 kg	1994 kg
Kvælstof:						
Afstrømning	7210	14700	13200	16300	23400	21300
Atmosfærisk deposition	259	284	189	230	239	248
Fugle	26	26	26	26	-	-
Løvfald	11	11	11	11	11	11
Ialt	7510	15000	13400	16600	23600	21600
Fosfor:						
Afstrømning	284	394	233	176	298	439
Atmosfærisk deposition	6	7	5	4	3	4
Fugle	11	11	11	11	-	-
Løvfald	4	4	4	4	4	4
Ialt	290	416	253	194	305	446

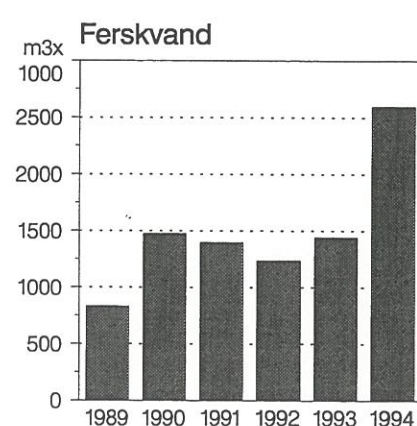
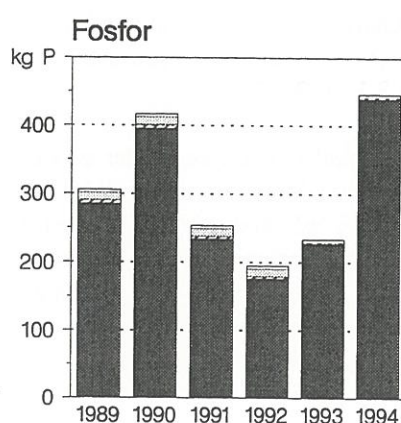
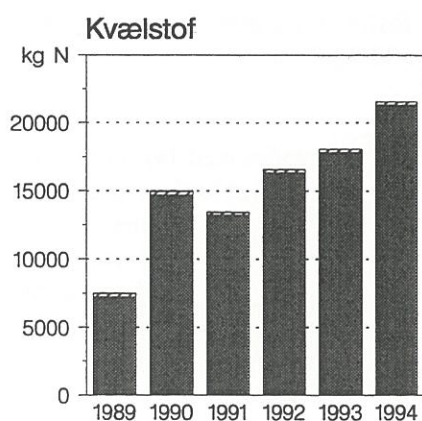
Tabel 3.2.2

Den totale eksterne belastning af Langesø i sommerperioden (1.5.-30.9.) 1989-1994.

	1989 kg	1990 kg	1991 kg	1992 kg	1993 kg	1994 kg
Kvælstof:						
Afstrømning	674	1280	719	1110	926	1220
Atmosfærisk deposition	94	133	73	76	99	106
Fugle	10	11	11	11	-	-
Løvfald	7	7	7	7	7	7
Ialt	786	1430	810	1210	1030	1330
Fosfor:						
Afstrømning	33	89	30	26	34	72
Atmosfærisk deposition	4	5	3	2	1	2
Fugle	5	5	5	5	-	-
Løvfald	3	3	3	3	3	3
Ialt	44	101	40	35	38	77

Figur 3.2.1

Total ekstern belastning af Langesø 1989-1994. På figuren er belastningen i 1993 reduceret med 24% i forhold til den beregnede vand-og stoftilførsel, som fremgår af tabel 3.2.1, idet ferskvandstilførslen i 1993 er vurderet at være overestimeret med ca. 24% (Fyns Amt, 1994a). Se endvidere afsnit 3.3.



□ Løvfald
 ▨ Fugle
 ▤ Atmosfærisk deposition
 ■ Afstrømning

3.3 Afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor

Karakteristika for næringsstofafstrømningen

Variationerne i kvælstof- og fosforafstrømningen følger i høj grad variationerne i ferskvandsafstrømningerne, som især i vinterhalvåret er betinget af variationer i nedbøren (se afsnit 2).

Store nedbørsmængder kan specielt i vinterhalvåret udløse en frigivelse af næringsstoffer fra en række depoter i tilknytning til de dyrkede arealer. Følgende begivenheder i søens opland har betydning for afstrømningen af næringsstoffer:

- Udvaskning fra dyrkede arealer til dræn og grundvand. Dette gælder især kvælstof, men også fosfor kan under store nedbørshændelser udvaskes i større mængder via landbrugsdræn (Fyns Amt, 1995b).
- Overfladisk afstrømning til vandløbene fra især pløjemarken og vintersædsarealer tæt ved vandløbene. Under kraftig nedbør kan der ske erosion fra arealer med overfladisk afstrømning til følge, hvorved især fosforholdige jordpartikler tilføres vandløbene. Den overfladiske afstrømning er afhængig af graden af plantedækkede arealer, den maskinelle bearbejdnings-/såretning på landbrugsarealer, terrænets hældningsforhold mod vandløbet samt bredden af plantedækkede bræmmer langs vandløbet (Sibbesen, 1995).
- Ophvirling af aflejret fosforholdigt materiale fra vandløbsbunden i forbindelse med store ferskvandsafstrømninger. Det ophvirvlede materiale kan typisk stamme fra dyrkede arealer eller spildevandsudledninger fra spredt bebyggelse.

Se iøvrigt Fyns Amt 1995a for en uddybende beskrivelse af karakteristika for næringsstofafstrømningen i fynske vandløb.

Afstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor til Langesø i perioden 1989-1994 på årsbasis og i sommerperioden (1.5.-30.9.) fremgår af henholdsvis tabel 3.3.1 og 3.3.2.

Det skal bemærkes, at der er stor usikkerhed forbundet med beregningen af ferskvandsafstrømningen til Langesø i 1993. Det skønnes, at ferskvandsafstrømningen på årsbasis er overestimeret med ca. 24%, hvilket medfører en overestimering af den beregnede kvælstof- og fosfortilførsel til søen i det pågældende år. Den reelle afstrømning af ferskvand til søen i 1993 burde dermed ligge på omtrent $1440 \text{ m}^3 \times 10^3$.

Tabel 3.3.1

Afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor til Langesø i perioden 1989-1994.

	Ferskvand		Kvælstof		Fosfor	
	m ³ x10 ³	l/s km ²	kg	kg/ha	kg	kg/ha
1989	831	4,68	7210	12,8	284	0,50
1990	1480	8,31	14700	26,0	394	0,70
1991	1400	7,86	13200	23,5	233	0,41
1992	1240	6,96	16300	29,0	176	0,31
1993	1890	10,7	23400	41,6	298	0,53
1994	2590	14,6	21300	37,8	439	0,78

Tabel 3.3.2

Afstrømning af ferskvand, kvælstof og fosfor til Langesø i sommerperioden (1.5.-30.9.) 1989-1994.

	Ferskvand		Kvælstof		Fosfor	
	m ³ x10 ³	l/s km ²	kg	kg/ha	kg	kg/ha
1989	71	0,96	674	1,20	33	0,06
1990	141	1,90	1280	2,27	89	0,16
1991	123	1,65	719	1,28	30	0,05
1992	124	1,67	1110	1,98	26	0,05
1993	103	1,38	926	1,65	34	0,06
1994	214	2,87	1210	2,15	72	0,13

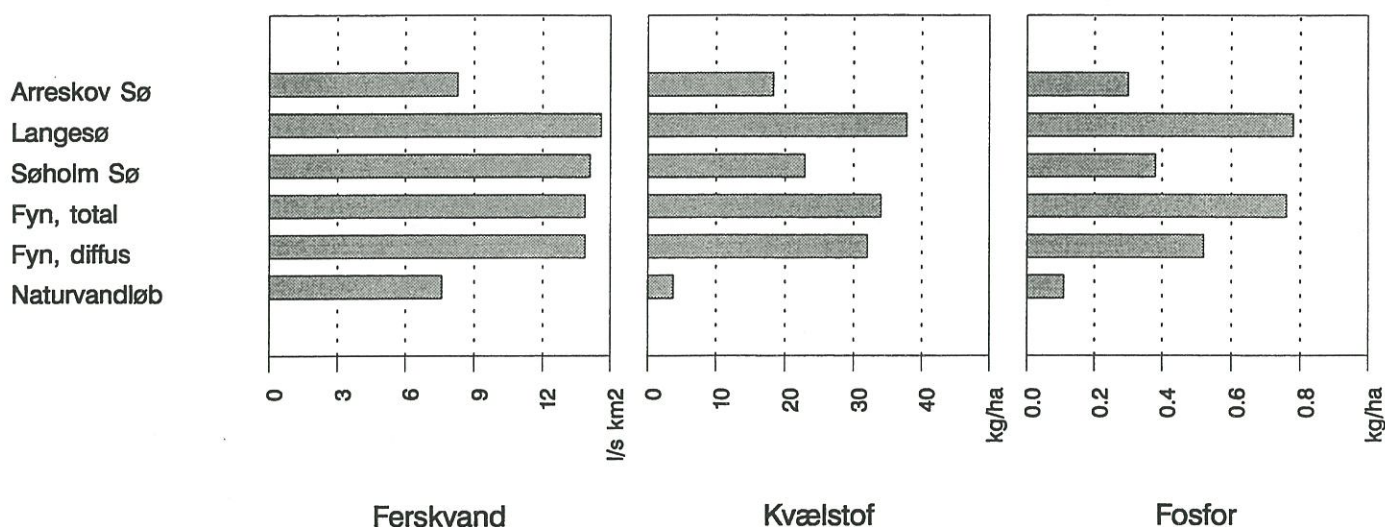
Ferskvandsafstrømningen 1989-1994

Ferskvandsafstrømningen til Langesø i 1994 var den største i den seksårsperiode, hvor overvågningen af søen har fundet sted. Ferskvandsafstrømningen til søen lå på årsbasis omtrent 89% over gennemsnittet for perioden 1989-1993, mens sommerperioden (1.5.-30.9.) lå cirka 91% over gennemsnittet for førnævnte periode.

Kvælstofafstrømningen 1989-1994

Kvælstofafstrømningen til søen var i 1994 stor. Kvælstofafstrømningen lå således cirka 42% over gennemsnittet for den forudgående femårsperiode. I sommerperioden lå afstrømningen tilsvarende cirka 28% over gennemsnittet for perioden 1989-1993.

Ved sammenligning af arealafstrømningen fra forskellige oplande på Fyn (figur 3.3.1) ses, at kvælstofafstrømningen til Langesø er højere end gennemsnittet for Fyn. Dette kan måske forklares med, at der er et forholdsvis stort dyrehold på landbrugsbedrifterne i oplandet. Udvaskningen af kvælstof fra husdyrbrug er generelt større end planteavlsbrug (Fyns Amt, 1995b) på grund af en dårlig udnyttelse af husdyrgødningen. Der arbejdes dog i landbruget på at forbedre udnyttelsen.



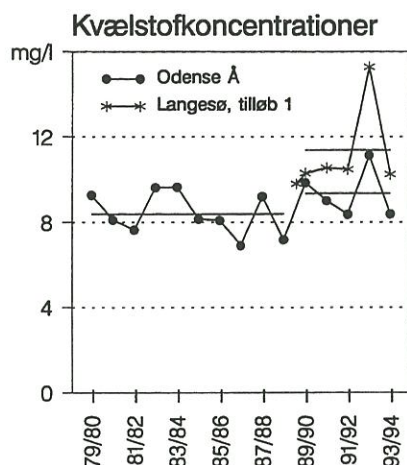
Figur 3.3.1
Sammenligning af arealafstrømningen af ferskvand, kvælstof og fosfor fra forskellige oplande 1994.

Kvælstofafstrømningen er uforandret høj

Kvælstofafstrømningen til søen har ikke været for nedadgående i perioden 1989-1994. Kvælstofafstrømningen i 1994 lå dog ikke så markant over gennemsnittet for perioden 1989-1993 som ferskvandsafstrømningen.

Den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration af kvælstof udviste en stigende tendens i perioden 1989/90-1993/94. Dette er tilsvarende, det der ses i andre fynske vandløb (figur 3.3.2). Koncentrationsniveauet i de fynske vandløb og år til år variationer i den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration er dog af samme størrelsesorden, som det der blev målt i de fynske vandløb før Vandmiljøplanens vedtagelse i 1987. Ser man på gennemsnittet for perioden 1989-1994 har dette været lidt større end gennemsnittet for perioden før Vandmiljøplanen (figur 3.3.2).

Når man tager højde for de nedbørsbetingede år til år variationer i kvælstofafstrømningen, er der ikke noget, der tyder på et fald i den nedbørsbetingede kvælstofafstrømning til Langesø.



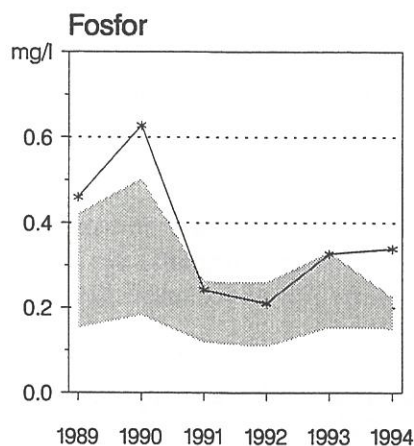
Figur 3.3.2
Vandføringsvægtede kvælstofkoncentrationer i tilløb 1 til Langesø i perioden 1989/90-1993/94 og Odense Å 1979/80-1993/94.

Fosforafstrømningen 1989-1994

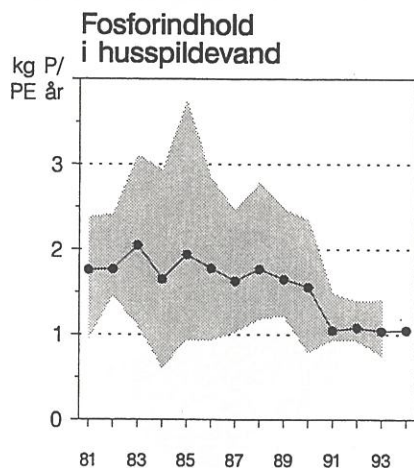
Indledningsvis skal det understreges, at der er meget stor usikkerhed på beregningen af fosforafstrømningen. Forsøg med intensive målinger af stofafstrømningen i mindre vandløb har vist, at fosforafstrømningen er meget usikkert bestemt med den nuværende overvågningsstrategi (26 stikprøver/år). Se endvidere bilag 1.

På basis af undersøgelser i 13 vandløb i 1994 kan det således konstanteres, at afstrømningen af total-fosfor generelt underestimeres (medianværdi: -26%, max.: -80%) (Danmarks Miljøundersøgelser, 1995).

Fosforafstrømningen skal derfor tages med et vist forbehold, indtil en forbedret prøvetagningstrategi er iværksat. Kvælstofafstrømningen er generelt mere sik-



Figur 3.3.3
Vandføringsvægtede fosforkoncentrationer til Langesø i sommerperioden (1.5.-30.9.) 1989-1994. 25-75%-fraktiler for fynske vandløb er vist som bånd.



Figur 3.3.4
Fosforindhold i husspildevand 1981-1994. Middel beregnet på baggrund af indløbsværdier til 7-10 renseanlæg uden industribelastning i Fyns og Århus amter. Minimums- og maximumsværdier er vist som bånd (Miljøstyrelsen, 1994a).

kert bestemt med den nuværende overvågningsstrategi.

Afstrømningen af fosfor var i 1994 ligesom ferskvandsafstrømningen den største, som er målt i perioden 1989-1994. Afstrømningen lå i 1994 på årsbasis og i sommerperioden henholdsvis cirka 58% og cirka 71% over gennemsnittet for perioden 1989-1993.

Arealafstrømningen af fosfor fra oplandet til Langesø var i 1994 højere end gennemsnittet for det åbne land på Fyn. Dette kan bl.a. skyldes, at der i søoplandet er en relativt høj befolkningstæthed og at det stærkt kuperede terræn ved Langesø kan bevirke en større overfladisk afstrømning af fosfor fra dyrkningsjorden.

Hidtil højeste fosforafstrømning målt i 1994

At fosforafstrømningen i 1994 var væsentlig større end de foregående år må tilskrives de store nedbørsmængder, der udløste en stor diffus fosforafstrømning fra dyrkningsjorden. Der henvises iøvrigt til efterfølgende afsnit om kilderne til fosforafstrømningen, samt Fyns Amt 1995a.

Kulturbetinget fosforafstrømning uændret?

Med størrelsen af ferskvandsafstrømningen taget i betragtning, synes afstrømningen af fosfor i sommerperioden 1989 til 1994 at være faldet (figur 3.3.3). Dette kan måske indikere, at fosfortilførsen fra husspildevand fra spredt bebyggelse i oplandet er faldet som følge af en faldende fosforudledning fra husholdningerne grundet et lavere fosforindhold i vaske- og rengøringsmidlerne. I perioden 1989-1993 er der sket en reduktion på 46% af fosformængden i disse midler. Reduktionen har været mest markant i perioden 1989-1991. (Miljøstyrelsen, 1994b).

Undersøgelser baseret på spildevandstilførsel til 7-10 kommunale renseanlæg i Fyns og Århus amter viser, at fosforindholdet i husspildevand er faldet, især fra 1990 til 1991. Desuden er variationen af fosforindholdet i husspildevandet blevet mindre (Miljøstyrelsen, 1994a) (se figur 3.3.4).

Datamaterialet er for spinkelt til at udtale sig om udviklingstendenser i den kulturbetingede fosforafstrømningen fra dyrkningsjorden. Undersøgelser baseret på intensiv prøvetagning i Odense Å siden 1987 synes dog at vise, at der ikke er sket et fald i fosforafstrømningen fra dyrkningsjorden (Fyns Amt, 1995a).

Kilder til næringsstofafstrømningen

Kilder til kvælstof- og fosforbelastningen kan generelt opdeles i følgende kategorier:

- Basisbidrag (naturlig afstrømning)

- Punktkilder (renseanlæg og regnvandsbetingede udløb)
- Diffus afstrømning (afstrømning fra spredt bebyggelse og åbent land)

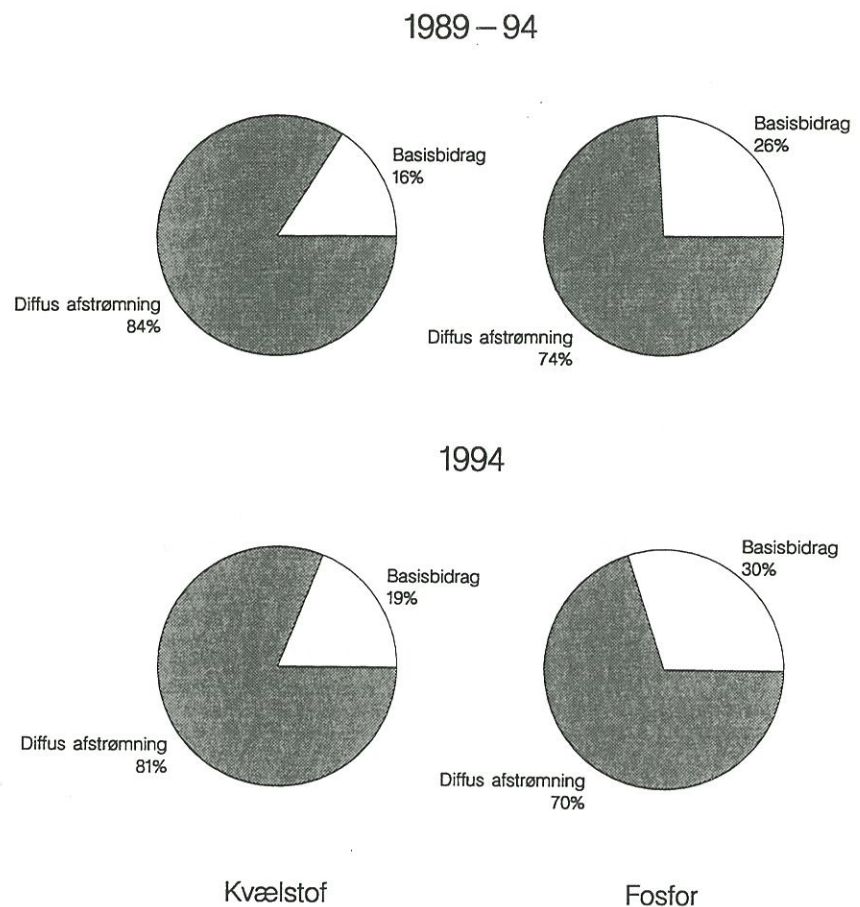
Der er hverken udledning fra renseanlæg eller regnvandsbetingede udløb i oplandet til Langesø. Figur 3.3.5 viser opdelingen af afstrømningen i henholdsvis basisbidrag og diffus afstrømning. Kildeopsplitning af søens næringsstofbelastning fremgår endvidere af bilag 3.

I 1994 udgjorde den kulturbetingede kvælstof- og fosforafstrømning henholdsvis 81% og 70% af den samlede afstrømning. Tilsvarende udgjorde den naturlige kvælstof- og fosforafstrømning i 1994 19% og 30% af den totale afstrømning til søen.

Som gennemsnit for perioden 1989-1994 udgjorde den kulturbetingede kvælstof- og fosforafstrømning henholdsvis 84% og 74%.

På grund af usikkerheder med hensyn til bestemmelsen af fosforafstrømningen i små vandløb, er det sandsynligt, at den kulturbetingede andel af fosforafstrømningen er større end de ovenstående tal viser. Den kulturbetingede fosforafstrømning skønnes at kunne have udgjort op til ca. 73% af den samlede afstrømning i 1994. Der henvises iøvrigt til det efterfølgende afsnit vedrørende usikkerheden ved vurdering af fosforkilderne.

Figur 3.3.5
Kilder til kvælstof- og fosforafstrømningen
til Langesø i perioden 1989-1994 og i 1994.



Kvælstofafstrømningen sker primært fra landbruget

Hovedparten af kvælstofafstrømningen skyldes et kulturbetinget bidrag fra det åbne land, primært afstrømning fra landbrugsarealer.

Kvælstofudledningen fra den spredte bebyggelse er ubetydelig sammenholdt med, hvad der afstrømmer fra landbrugsarealer (sammenholdt tabel 3.3.1 og tabel 3.3.3), men udledningen fra spildevandet kan alligevel have en meget negativ effekt i de små vandløb på grund af det store indhold af ammoniak og organisk stof.

Usikkert at vurdere fosforkilderne

En opgørelse af den potentielle spildevandsbelastning fra den spredte bebyggelse i oplandet til Langesø (baseret på Miljøstyrelsens normtal) fremgår af tabel 3.3.3.

Den potentielle spildevandsbelastning omfatter spildevandsproduktionen før en evt. rensning for ejendomme med afledning til sø, vandløb eller dræn. Der regnes således ikke med belastning fra ejendomme med nedsivning eller samletank.

Den potentielle spildevandsbelastning af Langesø vurderes at være usikkert bestemt, bl.a. fordi de foreliggende oplysninger om spildevandsafledningsforhold er usikre. På nuværende tidspunkt vurderes det at være usikkert at fastlægge, hvor stor en del af den diffuse fosfortilledning til søen, der stammer fra den spredte bebyggelse og hvor stor en del, der stammer fra dyrkningsjorden. Dette skyldes primært 3 forhold:

- 1) Målinger af fosforafstrømningen i mindre vandløb er usikker med den nuværende målestrategi. Man undervurderer generelt fosforafstrømningen (Fyns Amt, 1995b og Danmarks Miljøundersøgelser, 1995).
- 2) Bestemmelsen af fosformængden, der produceres i husholdningerne (jf. tabel 3.3.3) har tidligere været baseret på forældede normtal. Fosformængden er tilsyneladende faldet (jf. figur 3.3.4). De nye normtal nærmer sig formentlig de faktiske forhold.
- 3) Der foreligger endnu ikke veldokumenterede metoder til at fastlægge, hvor stor en andel af spildevandet fra den spredte bebyggelse, der når frem til recipienterne.

Se endvidere bilag 1, hvor forhold vedrørende usikkerheden af fosforbestemmelsen er beskrevet.

Der er dog ingen tvivl om, at både fosforudledningen fra den spredte bebyggelse og afstrømningen af fosfor fra dyrkningsjorden er væsentlige kilder til belastning af Langesø.

Kvælstof	721 kg N/år
Fosfor	164 kg P/år

Tabel 3.3.3

Den potentielle spildevandsbelastning fra spredt bebyggelse i oplandet til Langesø baseret på normtal fra Miljøstyrelsen.

Tabel 3.3.4

Oversigt over forudsætninger/antagelser anvendt ved kildeopsplitningen.

Der er med forskellige beregningsforudsætninger gennemført 4 scenarier for en kildeopsplitning af næringsstofafstrømningen til Langesø. Resultatet heraf, vist i tabel 3.3.5, viser den store usikkerhed, der er forbundet med at foretage kildeopsplitning af fosforafstrømningen fra det åbne land.

Ved scenarierne er der anvendt forskellige forudsætninger/antagelser for beregning af spildevandsbidraget fra den spredte bebyggelse samt forskellige antagelser om usikkerheden på beregning af fosforafstrømningen i vandløbet.

Beregningsforudsætninger	Reduktionsfaktor for tilbageholdelse af spildevand inden udløb til recipient	Fosfornormtal kg P/PE år	Fosfortransport i vandløb. Korrektionsfaktor for underestimeret transport
Scenarie 1	1,0	1,0	1,0
Scenarie 2	1,0	1,0	1,26
Scenarie 3	0,5	1,0	1,0
Scenarie 4	0,5	1,0	1,26

Tabel 3.3.5

Kildeopsplitning af kvælstof- og fosforafstrømningen til Langesø 1994 gennemført med forskellige beregningsforudsætninger.

	Kilde	Kvælstof		Fosfor	
		kg	%	kg	%
Scenarie 1	Basisbidrag	4360	20	150	34
	Dyrkningsbetinget bidrag	16200	76	125	28
	Spredt bebyggelse	721	3	164	37
	Ialt	21300	100	439	100
Scenarie 2	Basisbidrag	4360	20	150	27
	Dyrkningsbetinget bidrag	16200	76	239	43
	Spredt bebyggelse	721	3	164	30
	Ialt	21300	100	553	100
Scenarie 3	Basisbidrag	4360	20	150	34
	Dyrkningsbetinget bidrag	16600	78	207	47
	Spredt bebyggelse	361	2	82	19
	Ialt	21300	100	439	100
Scenarie 4	Basisbidrag	4360	20	150	27
	Dyrkningsbetinget bidrag	16600	78	321	58
	Spredt bebyggelse	361	2	82	15
	Ialt	21300	100	553	100

Det fremgår, at der for fosfor er stor forskel på resultatet afhængig af, hvilke beregningsforudsætninger der anvendes. Det dyrkningsbetingede bidrag til den totale fosforafstrømning varierer således mellem 28% og 58% og bidraget fra den spredte bebyggelse mellem 15% og 37%.

Hvilken af de 4 scenarier, der kommer tættest på sandheden, er svært at sige.

3.4 Atmosfærisk deposition

Den atmosfæriske deposition på Langesø er skønnet på baggrund af depositions-målinger fra målestationer i Årslev, Boelsmose og Grøftehøj. Ingen af disse stationer er placeret i oplandet til Langesø, men ligger henholdsvis på Midt- og Østfyn.

Der henvises til rapporten Fyn Amt 1995d for en nærmere beskrivelse af den atmosfæriske deposition, herunder blandt andet årsagssammenhænge i år til år variationer.

Tabel 3.4.1
Atmosfærisk deposition af kvælstof og fosfor på Langesø 1989-1994.

	Kvælstof kg/ha	Fosfor kg/ha
1989	15,1	0,36
1990	16,6	0,40
1991	11,1	0,28
1992	13,4	0,22
1993	14,7	0,29
1994	14,5	0,21

3.5 Grundvand

Grundvand direkte til en sø kan udgøre en betragtelig del af den samlede ferskvandstilførsel. Stoftilførsel via grundvand kan derfor også have en væsentlig betydning i forbindelse med opgørelser af stofbelastninger af søer.

På baggrund af vandbalancebetragtninger for Langesø vurderes det, at den direkte grundvandstilførsel er ringe. Der er derfor ikke regnet med nogen stoftilførsel via grundvand direkte til søen.

3.6 Øvrige belastningskilder

Langesø tilføres næringsstoffer i forbindelse med løvfald. Selvom søen er omkranset af skov, er belastningen fra løvfald forholdsvis beskeden.

I perioden indtil 1993 skete desuden opfodring af ca. 600 ænder i Langesø med henblik på jagt. Fodringen svarede til ændernes foderbehov, men ændernes affaldsprodukter skal medregnes i den samlede tilførsel til søen.

Beregningen af stofbelastning fra henholdsvis løvfald og andeopfodring er beskrevet i bilag 1.

3.7 Vurdering af de enkelte tilløb

Hovedtilløbene til Langesø omfatter Travnskov Afløbet (tilløb 1) og Kapelbækken (tilløb 3), som udgør henholdsvis 75% og 14% af søens samlede oplandsareal.

Travnskov Afløbet (tilløb 1)

I Travnskov Afløbet ses generelt høje kvælstofkoncentrationer, omend kvælstofkoncentrationsniveauet i 1994 var lavere end den forudgående periode, jf. figur 3.7.1. Endvidere var årstidsvariationen i tilløbet ikke så markant som tidligere år (se figur 3.7.2). Kvælstofkoncentrationsniveauet lå dog i hele perioden markant over indholdet i andre fynske vandløb.

Travnskov Afløbet er langt det betydeligste tilløb for så vidt angår kvælstofafstrømning til søen.

De fynske vandløb viste i perioden 1989-1994 generelt en tendens til faldende fosforindhold (og mindre variation). Fosforkoncentrationsniveauet i tilløb 1 til Langesø faldt markant fra 1990 til 1991, hvorefter det har ligget nogenlunde konstant.

Som for kvælstof er tilløb 1 også det betydeligste vandløb med hensyn til søens fosforbelastning.

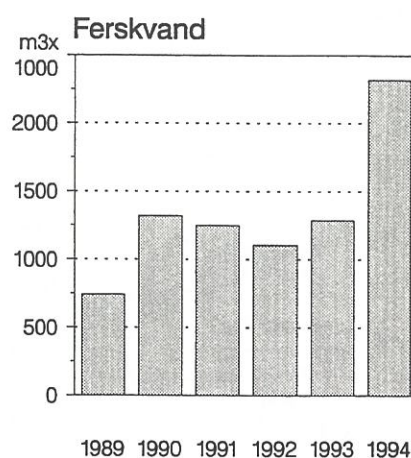
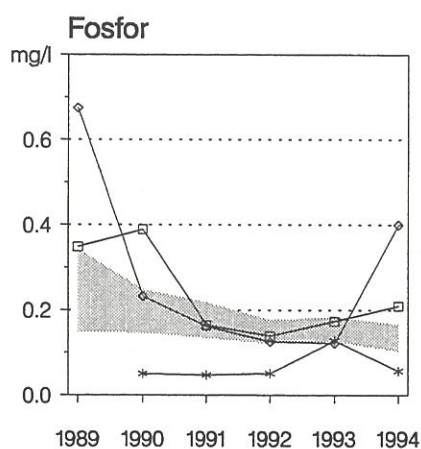
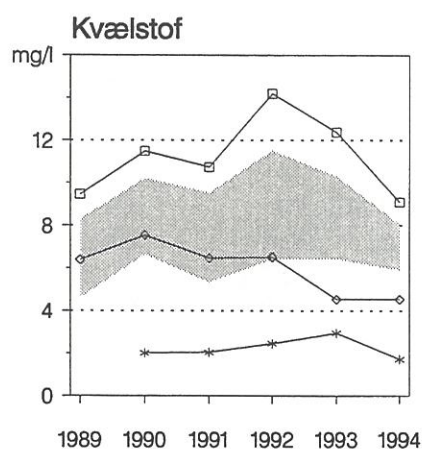
Oplandet til Travnskov Afløbet består overvejende af landbrugsarealer med en husdyrtæthed lidt over gennemsnittet for Fyn (se iøvrigt bilag 2). Desuden drives intensiv skovdrift (pyntegrønt, juletræer) i oplandet. Endvidere er tætheden af den spredte befolkning uden kloakering i oplandet relativ høj.

Terrænet i oplandet til Travnskov Afløbet er meget kuperet. En hel del af vandløbet er rørlagt, men på åbne strækninger gennemløber vandløbet landbrugsjorde og skovarealer. Det må derfor anses for sandsynligt, at overfladisk afstrømning af fosfor er en væsentlig forklaring på høje fosforkoncentrationer i vandløbet i forbindelse med større nedbørshændelser.

Vandløbet karakteriseres som meget belastet af dels jordbrug, dels spredt bebyggelse.

Kapelbæk (tilløb 3)

Kvælstofkoncentrationsniveauet i Kapelbækken ligger generelt på niveau med eller under niveauet for andre fynske vandløb. Niveauet i 1994 var det laveste i perioden 1989-1994 (figur 3.7.1). Desuden var der i 1994 heller ikke stor årstidsvariation i kvælstofkoncentrationsniveauet i dette vandløb (figur 3.7.2).



Figur 3.7.1

Vandføringsvægtede årsmiddelkoncentrationer af kvælstof og fosfor i hovedtilløbene til Langesø samt naturvandløbet Holstenshuus 1989-1994. Naturvandløbet afstrømmer ikke til søen. 25-75%-fraktile for fynske vandløb er vist som bånd. Endvidere er vist ferskvandsafstrømningen via hovedtilløbene til Langesø 1989-1994. På figuren er ferskvandsafstrømningen i 1993 reduceret med 24% i forhold til den beregnede tilførsel, idet ferskvandsafstrømningen i 1993 er overestimeret med cirka 24%, jf. afsnit 3.3.

— Naturvandløb, Holstenshuus

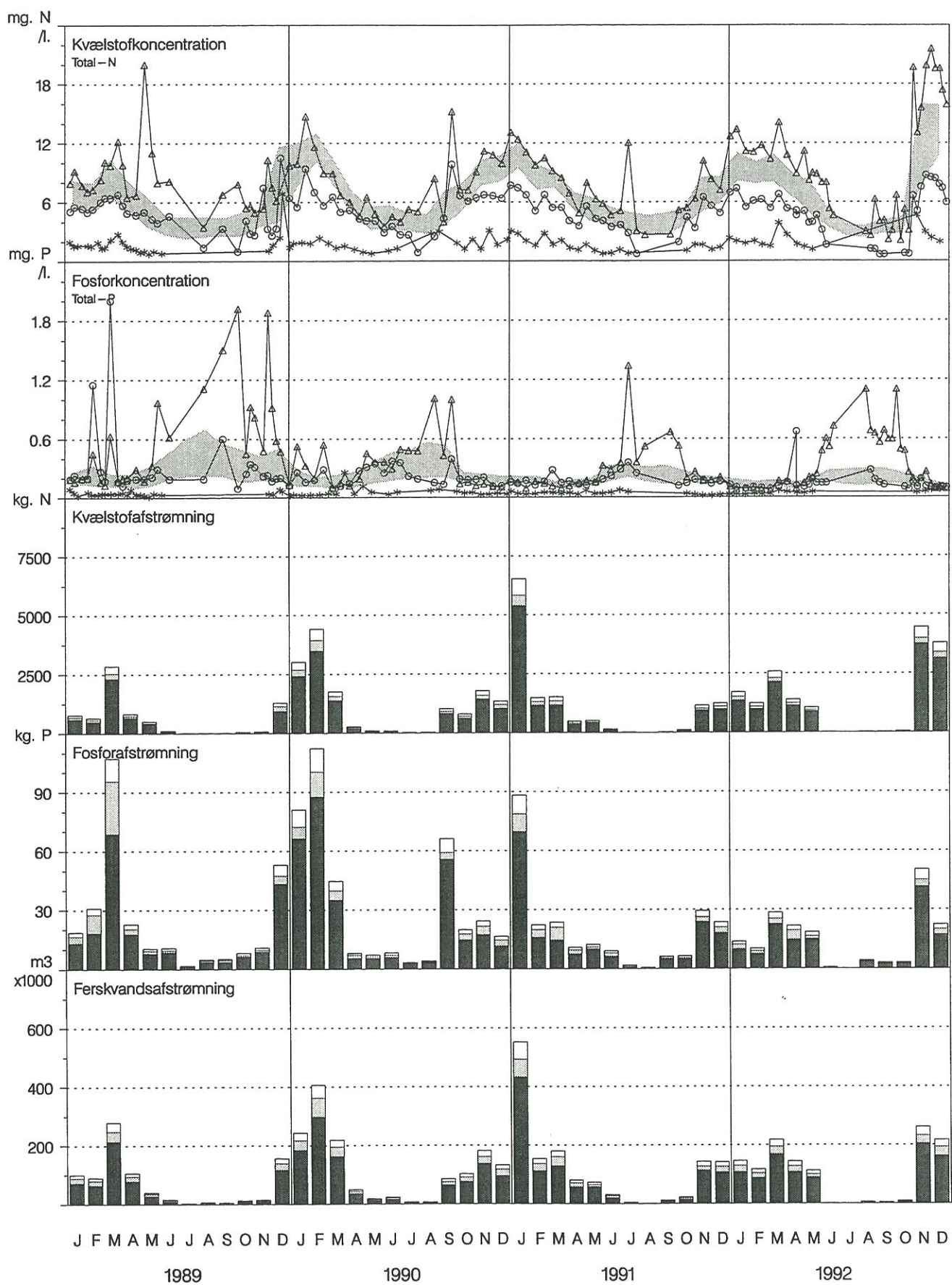
□—□ Tilløb 1

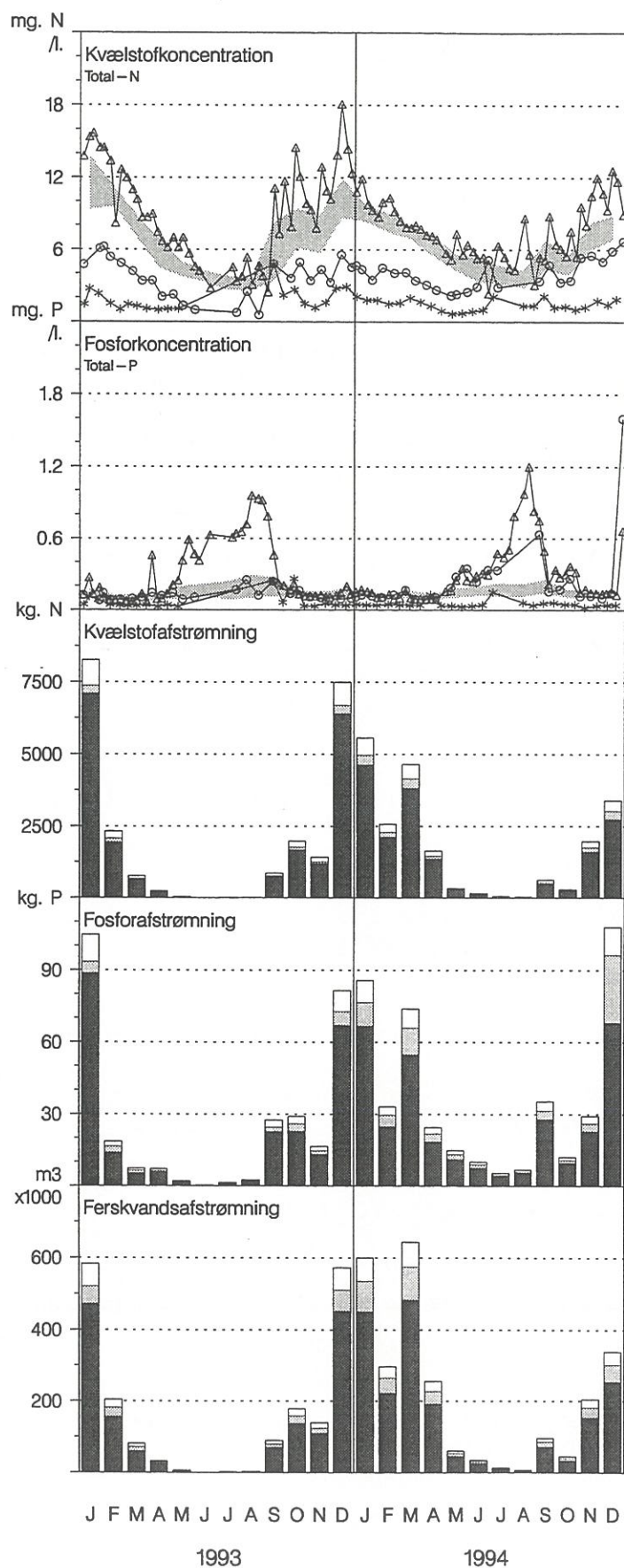
◇—◇ Tilløb 3

Der ses i dette tilløb stor variation i årsmiddelkoncentrationen af fosfor. Den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration af fosfor i 1994 lå, som i 1989, på et højere niveau i tilløb 3 end i tilløb 1.

I oplandet til Kapelbækken udgøres knap halvdelen af arealet af landbrugsjorde, resten er dækket af skov. En del af dette skovareal drives intensivt. Husdyrtætheden i oplandet er lav. Terrænet i søens opland er desuden meget kuperet, hvorved risikoen for overfladisk afstrømning stiger. Kapelbækkens åbne strækning gennemløber skovarealer og vandløbsbrinkerne på denne strækning er meget stejle, hvilket yderligere medfører risiko for brinkerosion med forøget fosforafstrømning til følge.

Kapelbækken anses derfor for at være noget belastet af landbrug, skovdrift og spredt bebyggelse.





Figur 3.7.2

Belastningen fra de enkelte deloplande til Langesø 1989-1994. Øverst er vist de målte koncentrationer af kvælstof og fosfor i hovedtilløbene til søen sammenholdt med værdier i fynske vandløb. Nederst er vist afstrømningen af kvælstof, fosfor og ferskvand på månedsbasis.

3.8 Udviklingstendenser i søens stofbelastning

På baggrund af vurderinger af søens eksterne belastningskilder kan det konkluderes, at den kulturbetingede kvælstoftilførsel er uforandret i perioden 1989-1994.

Hvad angår fosforbelastningen synes der at være indikationer på en reduktion i belastningen fra spredte bebyggelser, hvilket kan underbygges af undersøgelser, der viser et generelt fald i forbruget af fosfor i husholdningernes vaskemidler samt undersøgelser, der viser et fald i fosformængden i spildevand fra husholdninger (Miljøstyrelsen, 1994b). Hvor stor denne reduktion i spildevandsudledningen til søen er, og hvor meget den vil betyde for den samlede belastning af Langesø, er usikkert at vurdere, bl.a. på grund af måletekniske usikkerheder.

At fosforbelastningen af Langesø i 1994 var den højeste og kvælstofafstrømningen den næsthøjeste målt i perioden 1989-1994 skyldes alene de store nedbørsmængder i 1994.

På grund af store nedbørsbetingede år til år variationer i næringsstofafstrømningen er det generelt usikkert at vurdere kulturbetingede udviklingstendenser i søens stofbelastning på baggrund af kun 6 års data.

3.9 Vurdering af muligheder for begrænsning af næringsstoftilførslerne til søen

Hvis tilstanden i Langesø skal fastholdes/forbedres og recipientkvalitetsplanens målsætning for søen opfyldes, er det nødvendigt med en reduktion i næringsstoftilførslerne til søen.

Der kan peges på følgende muligheder for en reduktion af belastningen:

- Bedre rensning af spildevandet fra den spredte bebyggelse.
- Initiativer til begrænsning af næringsstoffabene som følge af jordbrugsdrift.

Forbedret spildevandsrensning ved spredte bebyggelser

Vandmiljøplanen stiller ingen udlederkrav til spildevand fra spredt bebyggelse. Imidlertid har Fyns Amt i Regionplan 1993-2005 lagt op til gennemførelse af en forbedret spildevandsrensning for den spredte bebyggelse i oplandet til søen inden udgangen af 1998.

Der henvises iøvrigt til Fyns Amt, 1995e og Fyns Amt, 1995f for en nærmere beskrivelse af tiltagsmuligheder.

Initiativer til begrænsning af næringsstoffabene fra dyrkningsjorden

De foranstaltninger, der er iværksat med henblik på opfyldelse af Vandmiljøplanens mål for reduktion af udledning af næringsstoffer, forventes ad åre at reducere kvælstofafstrømningen med 20% for amtet som helhed (Fyns Amt, 1994b), mens der ikke umiddelbart forventes en reduktion i fosforafstrømningen fra landbrugsarealer som følge af disse foranstaltninger.

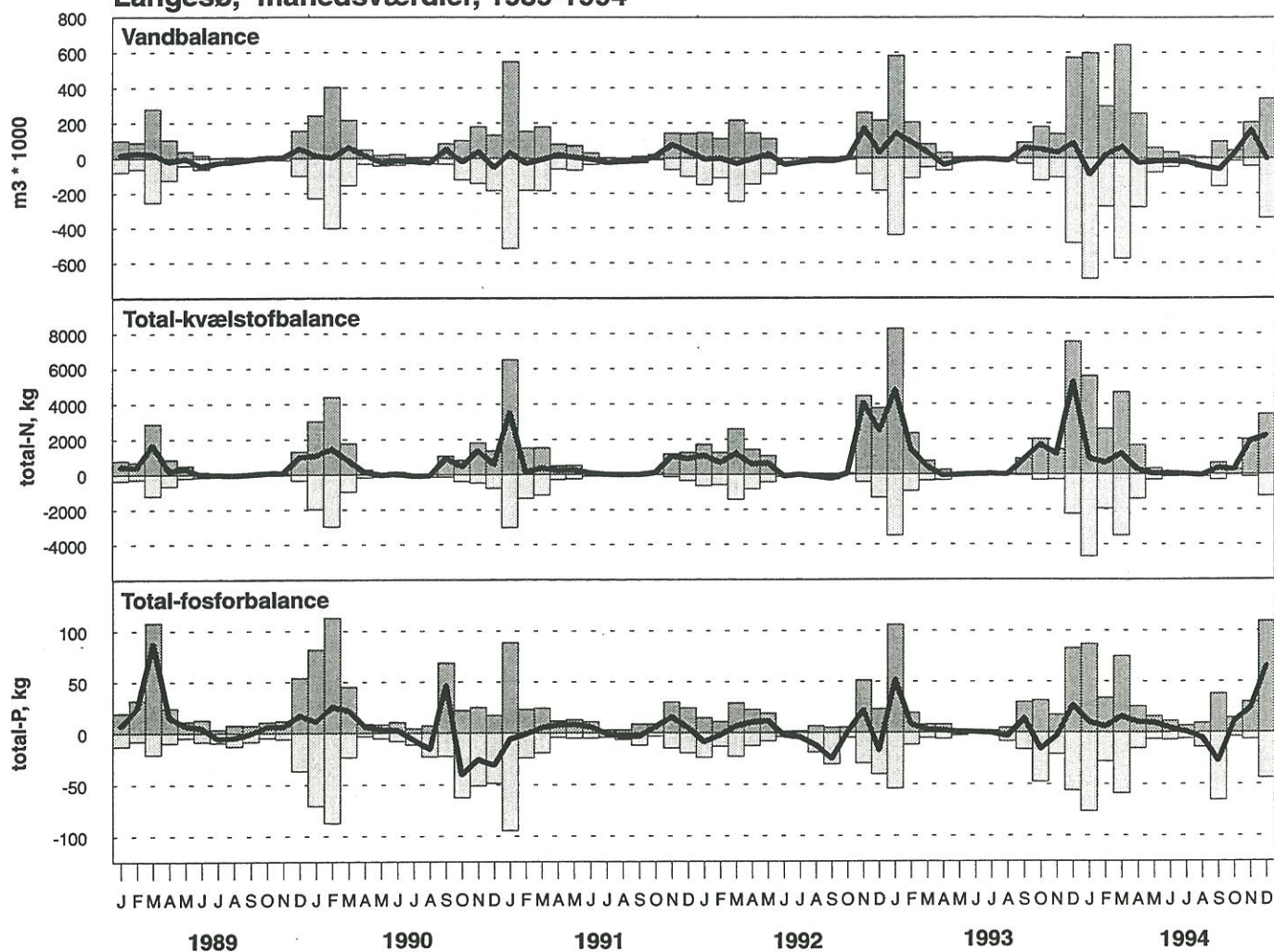
Udover generelle foranstaltninger på landbrugsjorden vedrørende gødningshåndtering m.v. til begrænsning af næringsstoffabene fra landbrugsjorden, jf. Fyns Amt, 1995b og Fyns Amt 1995c, kan der for Langesø peges på følgende tiltag:

- Permanent braklægning og ekstensiveret landbrugsdrift langs vandløb/sø i søoplandet, målrettet mod følgende miljøbeskyttelsesforanstaltninger:
 - * Genetablering af våde enge samt vådområder med henblik på omsætning/tilbageholdelse af næringsstoffer, der afstrømmer fra intensivt dyrkede landbrugsområder.
 - * Etablering af permanent plantedækkede bræmmer langs vandløb og vådområder, med henblik på tilbageholdelse af fosfor, der ved jorderosion afstrømmer overfladisk fra dyrkede arealer.
- Sikre miljøvenlig vandløbsvedligeholdelse eller evt. helt ophøre med vedligeholdelse på udvalgte strækninger, med henblik på at nedsætte erosion i vandløbene samt forøge selvrensningsevnen.

Gennemførte og planlagte miljøforanstaltninger som et led i EU's landbrugsreform vil måske ad åre bidrage til reduktion i kvælstof og fosfortabene fra landbrugsjorden. Disse foranstaltninger omfatter frivillige tilskudsordninger til miljøvenlig landbrugsdrift, hvor der pt. er afsat midler til miljøaftaler for ca. 5% af landbrugsarealet i Danmark. Der er pt. kun gennemført statslige tilskudsordninger, men en supplerende amtslig tilskudsordning omfattende bl.a. tilskud til genetablering af våde enge med henblik på næringsstoffjernelse under godkendelse i EU.

Det skal bemærkes, at der langs en del af vandløbsstrækningerne i oplandet til Langesø er udpeget sprøjtefrie randzoner, hvilket giver særlige muligheder for EU-tilskud til miljøvenlig landbrugsdrift jf. ovenstående.

Langesø, månedsværdier, 1989-1994



Figur 4.1

Tilførsel og fraførsel af vand, total-kvælstof og total-fosfor for Langesø, 1989-1994. Den angivne vandtilførsel er den overfladiske tilførsel fra oplandet. Den angivne tilførsel af total-kvælstof og total-fosfor er den totale tilførsel fra opland, atmosfære, løvfald og ænder. Endvidere er angivet forskellen mellem tilførsel og fraførsel.

4. Vand- og stofbalance

Dette afsnit beskriver kortfattet vand- og stofbalancen for Langesø i 1994. Samtidig foretages en sammenligning med balancerne i perioden 1989-1993.

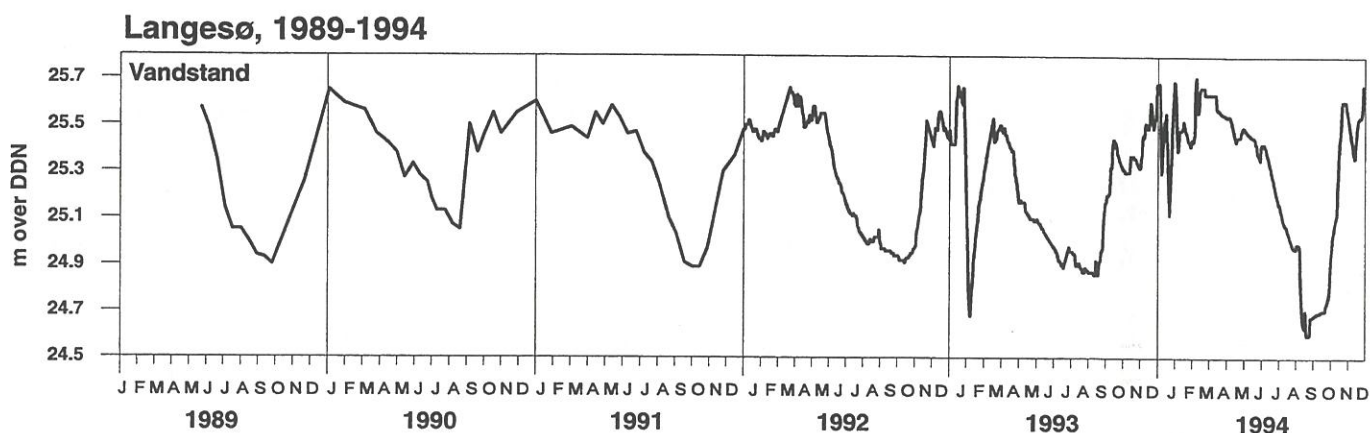
Herudover er der foretaget en vurdering af, om der i søen findes en betydende grundvandstil- og fraførsel.

Balancen mellem tilførsel og fraførsel af vand og stof for de enkelte måneder, sommerperioden og hele året fremgår af figurerne 4.2-4.5 samt bilag 4 og 5, hvor opgørelse for de enkelte måneder i 1994 ligeledes findes.

Endvidere er for 1989-1994 beregnet opholdstiden for vandet i søen for hele året og sommerperioden i tabel 4.1 samt de for de enkelt måneder i 1994 i bilag 4.

Vandstand (fig. 4.2)

I figur 4.2 er angivet de målte vandstande i søen i 1989-1994. I årene 1989-1991 blev vandstanden målt ved enkeltmålinger. I de efterfølgende år er den blevet målt kontinuerligt.



Figur 4.2.
Vandstand i Langesø 1989-1994 målt i meter over "Dansk Normal Nul".

Vandstanden i Langesø er ved årets begyndelse som regel omkring 25,50 m over DNN. I løbet af året sænkes vandstanden 60-80 cm i søen fra maj og frem til september-oktober, ikke mindst som et resultat af en regulering af stemmeværket i søens afløb. Vandstandssænkningen svarer til at søvolumenet reduceres med op til 20-25%. På årsbasis betyder dette at årsmiddelvolumenet reduceres med ca. 6% i forhold til at vandstanden bliver holdt i kote 25,50. Beregnet for sommerperioden svarer dette til ca. 10%.

Til tider sænkes vandstanden i søen særligt meget, når stigbordet har været trukket i forbindelse med store afstrømninger og det efterfølgende bliver glemt at sætte det igen (f.eks. januar 1993). I 1994 blev der foretaget en reparation af stemmeværket. Vandstanden i søen blev derfor ekstraordinært sænket, således at den var ualmindelig lav fra september til begyndelsen af november. Vandstanden blev derved sænket ekstra ca. 40 cm i forhold til de laveste vandstande i samme periode de 5 foregående år. Dette svarer til at søvolumenet blev yderligere 14% reduceret.

Den betydelige variation i søens vandstand hen over året, medfører en magasinændring, som umiddelbart må forventes at få stor betydning for søens vandbalance og vandets opholdstid i søen.

Vandbalance (fig. 4.1 og 4.3)

Beregning af vandbalancen og opholdstiden for de enkelte måneder i 1994 samt middelværdier for de enkelte år findes i bilag 4.

Vandbalanceligningen udtrykker, at der er balance mellem den vandmængde, der strømmer til søen, og den vandmængde, der strømmer fra søen:

$$Q_{\text{overflade}} + \text{nedbør} + \text{grundvand} = Q_{\text{afløb}} + \text{fordampning} + \text{magasinændring}.$$

$Q_{\text{overflade}}$ betegner den samlede overfladiske vandtilførsel til søen fra oplandet, og $Q_{\text{afløb}}$ angiver den samlede fraførsel af vand via søens afløb.

Ændringen i søens samlede vandvolumen, vandmagasinet, beregnes ud fra ændringer i vandstanden, og regnes positiv, når der ophobes vand.

Da der ikke foretoges kontinuerlige vandstandsmålinger i søen i 1989-1991, er vandmagasinet størrelse ved starten af hver måned disse år bestemt ved lineær interpolation mellem beregnede vandvolumener for de enkelte prøvetagningsdatoer.

Tilførslen af **grundvand** til søen er ikke målt, men beregnes ud fra ligningen. Beregning af de øvrige led i vandbalancen fremgår af bilag 1.

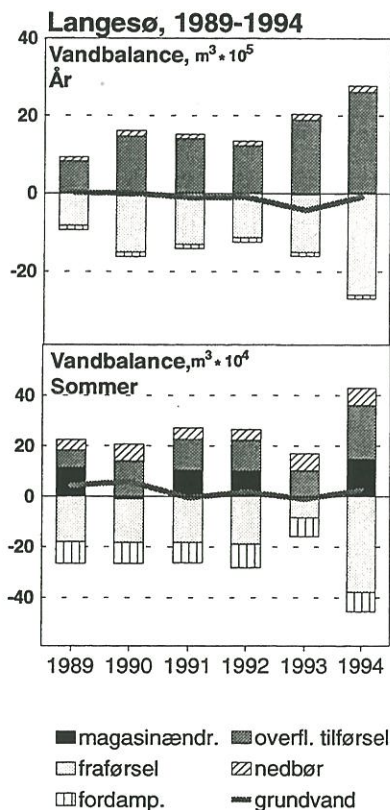
Den overfladiske afstrømningen til søen var i 1994, for både sommerperioden og året som helhed, omtrent 2 gange så stor som den gennemsnitlige afstrømning for 1989-1993.

Med undtagelse af 1993, var den årlige overfladiske afstrømning til søen for perioden 1989-1994 til søen omtrent lige så stor som afstrømningen fra søen (figur 4.3). Den større afvigelse i 1993, skyldes problemer med at beregne afstrømningens størrelse til søen (se Fyns Amt 1993).

Forskellen i den målte vandbalance for 1989-1994 opvejer i overvejende grad hinanden, når til- og fraførelser af vandmængder, som stammer fra nedbør og fordampning er medtaget, og der er korrigeret for magasinændringer i søen (fig. 4.3).

Den årlige beregnede grundvandstilførsel for hele 1994 svarede til -3% af den tilførte vandmængde. I 1989-1992 var den mellem -8 og 1% af den tilførte vandmængde. I 1993 er den beregnet til -23%. Det vurderes dog at afstrømningen dette år er overestimeret med ca. 24% (se Fyns Amt, 1993). Korrigeret for dette anslåede overestimat anslås grundvandstilførslen dette år til at være ca. 4% af den tilførte vandmængde.

For sommerperioden er der i perioden 1991-1994 ligeledes relativ god ligevægt i vandbalancen. Således er grundvandsbidraget for 1991-1994 beregnet til -10-14



Figur 4.2
Års- og sommerbalance for vand i Langesø, 1989-1994. Grundvandsbidraget er beregnet ud fra vandbalanceligningen, og magasinændringen er her angivet positiv, når vandvolumet i søen falder.

% af den tilførte vandmængde. I 1989-1990 beregnedes grundvandsbidraget til 43-60 %, men det skyldes sandsynligvis større måleusikkerhed, bl.a. blev vandstanden i søen disse år målt ved enkeltmålinger.

Den beregnede grundvandstilførsel i 1989-1994 synes ikke at udvise nogen entydige systematiske variationer på hverken års- eller månedsbasis eller i forhold til nedbørs- og afstrømningsmængder.

Endvidere ligger den beregnede grundvandstilførsel overvejende indenfor måleusikkerheden for den samlede beregning af vandtransporten. Det antages derfor, at der ikke findes nogen grundvandstilførsel af betydning til søen.

Opholdstid (tabel 4.1)

Opholdstiden for vandet i Langesø (beregnet ud fra fraførslen af vand) var knap 0,2 år i 1994. Dette svarer til ca. 2 måneder og er den hidtil kortest registrerede opholdstid i perioden 1989-1994. Dette er i god overensstemmelse med, at 1994 var et nedbørsrigt år med stor afstrømning (se afsnit 2).

I 1989-1993 var opholdstiden 0,4-0,7 år og følger med de årlige variationer i nedbør og afstrømning (se afsnit 2). I et hydrologisk set normalt år, svarende til de gennemsnitlige forhold i perioden 1976 - 1994, vil vandets opholdstid i Langesø være tæt på 0,4 år.

Tabel 4.1
Oversigt over opholdstider for vand i
Langesø, 1989-94.

Opholdstid ud fra tilførsel (år):					
	År (1.1-31.12)	Sommer (1.5-30.9)	Vinter (1.12-31.3)	Maks. måned	Min. måned
1989	0,7	3,0	0,4 *	12	0,2
1990	0,4	1,5	0,2	6,7	0,1
1991	0,4	1,8	0,2	41	0,1
1992	0,4	1,8	0,3	∞	0,2
1993	0,3	2,0	0,2	66	0,1
1994	0,2	1,0	0,1	5,7	0,1
Opholdstid ud fra fraførsel (år):					
	År (1.1-31.12)	Sommer (1.5-30.9)	Vinter (1.12-31.3)	Maks. måned	Min. måned
1989	0,7	1,2	0,5 *	3,8	0,2
1990	0,4	1,3	0,2	1,7	0,1
1991	0,4	1,2	0,2	4,5	0,1
1992	0,5	1,2	0,3	5,0	0,2
1993	0,4	2,4	0,2	6,7	0,1
1994	0,2	0,6	0,1	2,7	0,1

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

	Total-kvælstof						Total-fosfor					
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Total tilførsel, kg/år	7.490	14.900	13.400	16.500	23.672	21.587	305	415	252	194	316	457
Arealbelastning, g/m ² år	43,6	87,3	78,3	96,5	138,4	126,2	1,78	2,43	1,48	1,13	1,85	2,67
Gns., indløbskonc., mg/l	8,68	9,94	9,47	13,24	12,35	8,21	0,34	0,27	0,17	0,14	0,16	0,17
Gns., udløbskonc., mg/l	4,12	5,78	5,19	5,51	5,50	5,30	0,17	0,29	0,16	0,19	0,16	0,13
Fraførsel, kg/år	3.410	8.340	6.780	6.236	8.144	13.809	140	416	211	213	231	332
Nettotab, kg/år	4.070	6.590	6.610	10.282	15.528	7.778	164	-1	42	-19	86	125
Nettotab, % af tilførsel	54	44	49	62	66	36	54	0	16	-10	27	27
Nettotab, g/m ² år	23,8	38,5	38,6	60,1	90,8	45,5	0,96	0	0,24	-0,11	0,50	0,73

	Ortofosfat-fosfor						Total-jern					
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Total tilførsel, kg/år	126	211	132	77	154	233	1.060	1.990	787	487	999	2.501
Arealbelastning, g/m ² år	0,74	1,23	0,77	0,45	0,90	1,36	6,21	11,7	4,60	2,85	5,84	14,6
Gns., indløbskonc., mg/l	0,15	0,14	0,09	0,06	0,08	0,09	1,28	1,35	0,57	0,38	0,53	0,96
Gns., udløbskonc., mg/l	0,10	0,21	0,09	0,08	0,11	0,07	0,13	0,23	0,16	0,13	0,14	0,20
Fraførsel, kg/år	86	310	122	92	157	177	105	331	211	147	212	530
Nettotab, kg/år	40	-99	10	-14	-3	56	957	1.660	576	340	787	1971
Nettotab, % af tilførsel	32	-47	8	-18	-2	24	90	83	73	70	79	79
Nettotab, g/m ² år	0,23	-0,58	0,06	-0,08	-0,02	0,33	5,59	9,71	3,37	1,99	4,60	11,53

Tabel 4.2.
Årlig massebalance for Langesø i perioden
1989-1994.

	Total-kvælstof						Total-fosfor					
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Total tilførsel, kg	783	1430	807	1203	1044	1336	44	100	40	35	42	82
Fraførsel, kg	546	644	476	1018	204	921	43	69	32	66	30	99
Nettotab, kg	237	782	331	186	839	415	1	31	8	-31	13	-17
Nettotab, % af tilførsel	30	55	41	15	80	31	2	31	20	-90	31	-21

Tabel 4.3
Massebalance for Langesø i sommerperio-
den 1. maj - 30. september, 1989-1994.

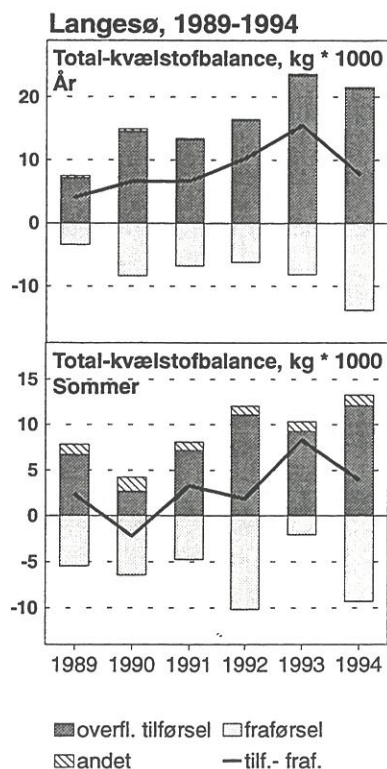
Opholdstiden (målt ud fra fraførslen af vand) for sommerperioden 1994 var omtrent det halve af opholdstiden i forhold til de 5 foregående år (se tabel 4.1). Dette skyldes, som før nævnt, de betydelige nedbørsmængder, der var i sommerperioden - især i september.

Sommeropholdstiden er i øvrigt væsentligt længere end opholdstiden om vinteren, og fordampningen overstiger til tider den samlede tilstrømning til søen. I sommermånederne vil der således sædvanligvis ikke være afløb fra søen uden den sænkning af søens vandspejl, som finder sted ved regulering af stemmeværket i søen.

Stofbalance

Stofbalancen er opgjort for næringsstofferne fosfor og kvælstof, som har betydning for planteplanktonets vækst, samt for jern, som har stor betydning for tilbageholdelsen af fosfor i søen (se Fyns Amt, 1993).

Tilførslen af stoffer fra søens afstrømningsopland er beregnet på basis af udførte målinger i tilløbene til søen. For kvælstof og fosfor er endvidere beregnet en tilførsel fra atmosfæren. Beregningerne er foretaget på basis af målinger af nedbør på faste målestationer på Fyn. Herudover er der for kvælstof og fosfor beregnet en tilførsel som følge af løvfald og fodring af udsatte ænder (se afsnit 3 og bilag 1). Værdierne for stofbalancen er for de enkelte måneder i 1994, samt sommer- og årgennemsnit for 1989-1994 samlet i bilag 5



Figur 4.4
Års- og sommerbalance for total-kvælstof i Langesø, 1989-1994.

Kvælstof (fig. 4.1 og 4.4 og tabel 4.2-4.3)

Den samlede belastningen af Langesø med total-kvælstof i 1994 var 21587 kg. Dette er omtrent det samme som i 1993, men betydeligt højere end i de 4 foregående år.

Indløbskoncentrationen var imidlertid 8,2 mg/l og er den hidtil lavest målte. Den er betydeligt lavere end i 1992 og 1993 (hhv. 13,2 og 12,4 mg/l), men af samme størrelse som i 1989-1991 (8,7-9,9 mg/l).

Den samlede kvælstofbelastningen følger i høj grad afstrømningen af vand. Således var både 1993 og 1994 år med stor vandafstrømning (fig. 4.3), sammenlignet med de 4 foregående år.

Arealbelastningen med kvælstof var i 1994 126 g/m²*år. Dette er af samme størrelse som for gennemsnittet af 21 af de nationale overvågningssøer (91-205 g/m²*år for 1989-1993)(Jensen m.fl., 1994).

Nettotabet af kvælstof i 1994 var 36% af tilførslen, hvilket er det hidtil lavest målte. Det kan sandsynligvis forklares med den meget korte opholdstid i søen, der var dette år. For de 5 foregående år var tabet 44-66%, mindst i 1990.

Kvælstoftabet pr. m² søoverflade var ligeledes betydeligt mindre i 1994 (46 g/m²*år) end de 5 foregående år (24-91 g/m²*år).

Det beregnede kvælstoftab i søen er derudover ikke nødvendigvis udtryk for et egentligt tab af kvælstof som følge af sedimentation eller denitrifikation. Ændringer i vandfasens samlede stofpulje kan ligeledes spille en stor rolle.

Imidlertid var nettotabet for kvælstof i 1994 39%, når dette bliver korrigeret for puljeændringer, og omtrent af samme størrelse som den ukorrigerede værdi. Indholdet af kvælstof i søvandet havde således tilsyneladende ikke ændret sig væsentligt hen over året.

For perioden 1989-1994 år var kvælstoftabet størst om vinteren, foråret og efteråret (fraførsel af kvælstof via afløb er mindre end den samlede tilførsel), hvorimod der i perioder om sommeren skete afgivelse af kvælstof fra søen (fraførsel af kvælstof er større end tilførsel).

Kvælstoftabet i sommerperioden 1994 var 31% og således af samme størrelse som i 1989-1992. 1993 adskiller sig dog væsentligt herfra ved at have et ualmindeligt højt tab på 80 %.

Fosfor (Fig. 4.1 og 4.5 og tabel 4.2-4.3)

Den samlede belastning af søen med fosfor var 457 kg i 1994, svarende til en arealbelastning på 2,7g P/m²*år. Dette er af samme størrelse som i 1990 (415 kg), men betydeligt mere end de øvrige år i perioden 1989-1994 (194-316kg).

Arealbelastningen i 1994 svarer i øvrigt til gennemsnittet af nationale overvågningssøer i 1989-1993 (2,4-4,0 mg P/l) (Jensen m.fl., 1994).

Indløbskoncentrationen var 0,17 mg/l, og er således stort set uforandret siden 1991. I 1989 og 1990 var den deromod større, henholdsvis 0,34 mg/l og 0,27 mg/l.

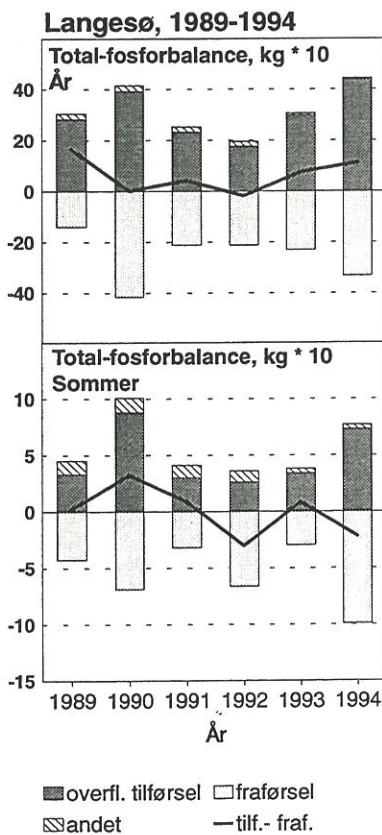
Nettotabet af fosfor i Langesø var i 1994 27% af tilførslen. Søen tilbageholdt således en del af den tilførte fosfor. Nettotabet korrigeret for puljeændring af fosfor i søvandet var 29 %. Der havde således ikke været nogen større ændring i søvandskoncentrationen af fosfor hen over året.

I 1990 og 1992 blev der fraført fosfor fra søen. I de øvrige år blev fosfor tilbageholdt. Samlet blev der i perioden 1989-1994 tilbageholdt 417 kg og kun fraført 20 kg.

For alle 6 år tilsammen var der et nettotab af fosfor på ca. 20% af den samlede tilførsel.

Nettotabet i sommerperioden var i 1994 -21%. Kun i 1992 var der ligeledes en fraførsel af fosfor i sommerperioden (-90%). I de øvrige år var der en tilbageholdelse i sommerperioden på 2-31%.

I 1994 var fraførslen større end tilførslen i månederne august og september. Dette hænger sammen med, at der i disse måneder var en betydelig frigivelse af fosfor fra søbunden og derved fosforophobning i søvandet. Da der samtidig var



Figur 4.5
Års- og sommerbalance for total-fosfor
i Langesø, 1989-1994.

en stor afstrømning i samme periode, skyldes der betydelige mængder fosfor ud af søen.

Ortofosfat (tabel 4.2-4.3)

I 1994 og 1989-1993 var omkring 50% af den samlede årlige tilførsel af fosfor til Langesø på opløst, uorganisk form (ortofosfat-fosfor). Andelen af ortofosfat-fosfor af det fraførte fosfor var derimod i alle år lidt større især i sommerperioden, hvor op til 97 % af den fraførte fosfor var som ortofosfat-fosfor. Dette skyldes, at der frigives betydelige mængder ortofosfat fra søbunden i sommerperioden (se afsnit 5).

Der var i 1994 en nettotilbageholdelse af ortofosfat-fosfor på 24%. Der blev ligeledes i 1989 og 1991 tilbageholdt ortofosfat-fosfor (32% og 8%), mens der i 1990, 1992 og 1993 var en fraførsel (18%, 47% og 2%).

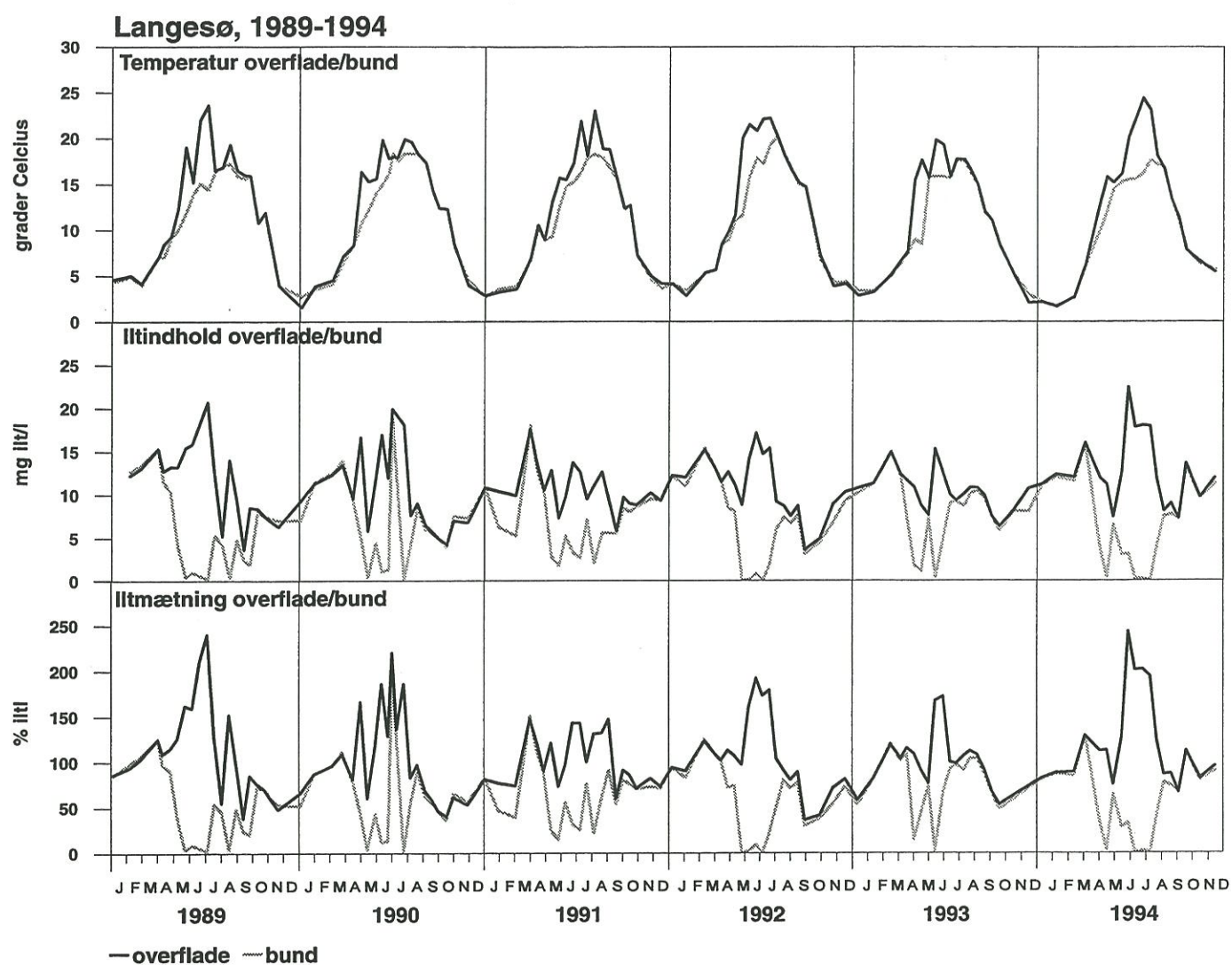
Jern (tabel 4.2)

Den samlede belastning af søen med jern var 2501 kg i 1994, svarende til en arealbelastning på ca. 15g Fe/m²*år. Det er den hidtil størst målte jernbelastning i perioden 1989-1994. Den er af samme størrelse som i 1990 (1990 kg), men betydeligt større end de øvrige år i perioden 1989-1994 (487-1060kg).

Belastningen af jern til Langesø er dog, som det er karakteristisk for de fynske søer, væsentligt mindre end gennemsnitligt fundet for de nationale overvågnings-søer i 1989-1990 (18-19 g/m²*år)(Kristensen m.fl. ,1990).

Den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration af total-jern i tilløbsvandet til Langesø var 0,38-1,35 mg/l i 1989-1994 (lavest i 1992).

Nettotabet af total-jern i Langesø har været relativt konstant (70-90 %) i perioden 1989-1994.



Figur 5.1.1
Temperatur og iltindhold/iltmætning nær vandoverfladen (0.20m dybde) og lige over bunden i Langesø, 1989-1994.

5. Fysisk-kemiske forhold i søen.

Dette afsnit beskriver variationerne i søens fysisk-kemiske forhold i 1994, også i forhold til, om der er sket ændringer af disse i perioden 1989-1994.

Der vil hovedsagelig blive lagt vægt på næringsstofferne kvælstof og fosfor, som har stor betydning for søens algeindhold.

De beregnede års-, sommer- og vintermiddelværdier mm. for udvalgte parametre findes i bilag 6.1-6.3.

5.1 Søvand

Vandtemperatur (fig. 5.1.1)

I vinteren 1994 var der isdække på søen i en periode fra ca. midt i februar til midt i marts. Dette skyldtes, at især februar måned var kølig med lufttemperaturer under 0°C (se afsnit 2). Dette var også tilfældet i 1991, hvorimod vintrene i de øvrige år var meget milde.

Vandtemperaturen steg hurtigt fra midt i marts til ca. 15°C midt i maj og var herefter stort set uændret til midt i juni. Vandtemperaturen var i denne periode lidt lavere i forhold til de foregående år. Herefter steg vandtemperaturen igen og midt i juli nåede den sit årsmaksimum (ca. 24 °C), som er den hidtil højst målte værdi i 1989-1994. Herefter faldt vandtemperaturen og først midt i august nåede den under 20 °C. I denne periode var vandtemperaturen betydelig højere end i de foregående 5 år. Herefter faldt den jævnt mod årets slutning.

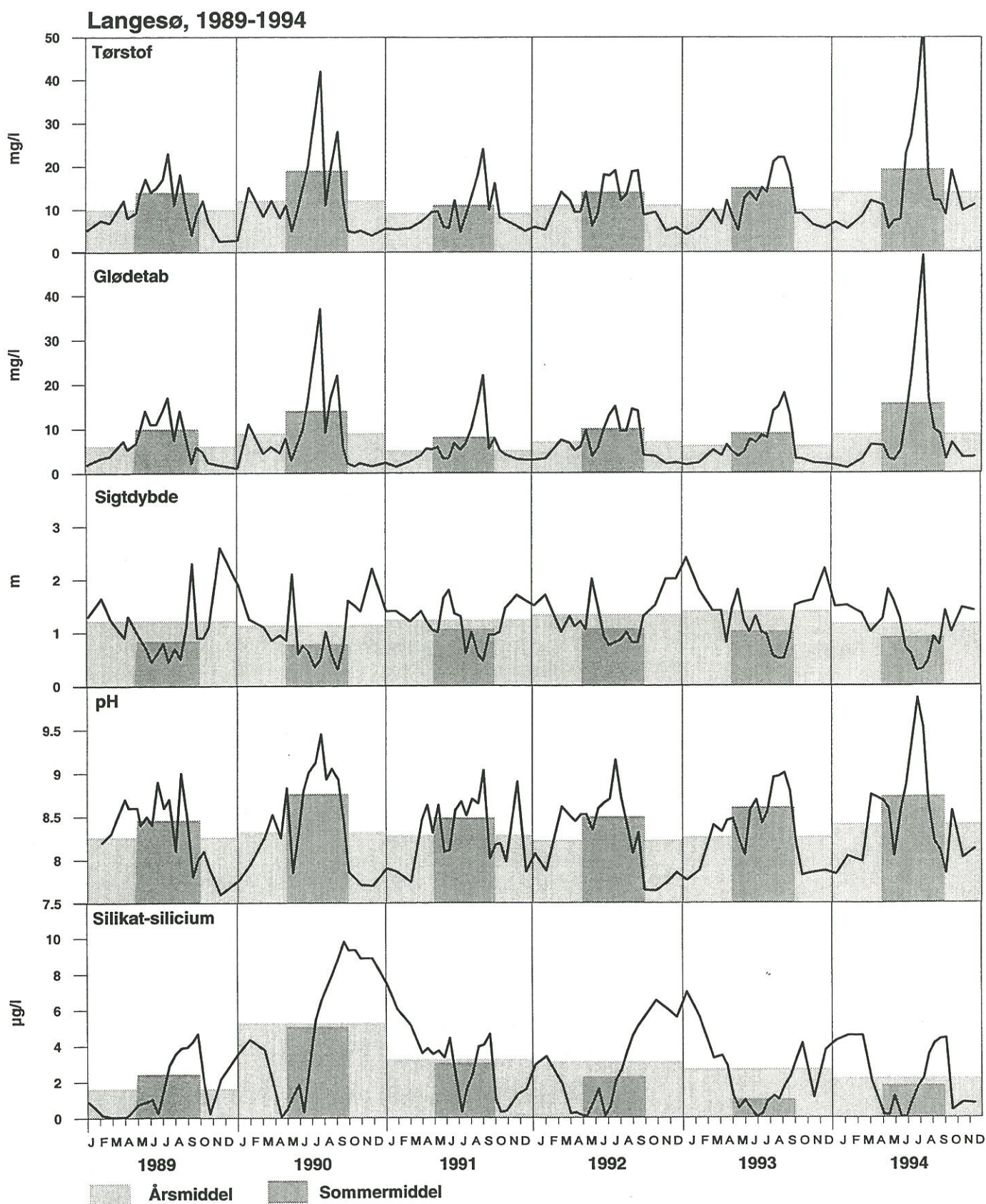
Egentlig temperaturlagdeling forekom ikke i søen, selvom det var forventet under de meget varme og stille vejrforhold, der var i juli/august måneder. Kun sidst i juni syntes der at forekomme en svag tendens til lagdeling.

Iltindhold (fig. 5.1.1)

Størstedelen af Langesøes vandmasse var i 1994, som i de foregående 5 år, i lange perioder vel iltet, i sommerperioden ofte med iltmætning over 200% som følge af stor iltproduktion i forbindelse med planktonalgernes vækst.

I maj og september-november forekom en periode med undermætning af ilt i de øvre vandmasser. Denne opstod i forbindelse med henfald af alger, hvor disse under nedbrydningen forbrugte store mængder ilt. Samtidig var mængden af planktonalger til at producere ilt lille.

Iltindholdet nær søbunden var i 1994, som i de 5 foregående år, meget lav i sommerperioden. Den særligt varme og stille periode i 1994 medførte dog, at iltindhold under 2 mg O₂/l forekom hyppigere end i de tidligere år. Således i 1994 fra midt i maj til midt i august, hvor dette tidligere kun forekom i perioden maj til juni.



Figur 5.1.2

Indhold af partikulært tørstof, partikulært organisk stof (glødetab), sigtdybde, pH og indhold af silikat-silicium i søvandet i vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Langesø, 1989-1994.

Tørstof og glødetab (fig. 5.1.2)

Vandets indhold af partikler, målt som indholdet af tørstof, var i 1994 relativt lavt indtil sidst i juni, hvorefter det steg til den hidtil størst målte værdi (53 mg/l) i perioden 1989-1994. I resten året varierede tørstofindholdet mellem 5 og 12 mg/l. Som gennemsnit for hele 1994 var tørstofindholdet 13,9 mg/l og det hidtil størst målte

Vandets indhold af partikulært organisk stof, målt som glødetab af tørstoffet, var som gennemsnit for hele 1994 8,6 mg/l og af samme størrelse som i 1990. I øvrigt fulgte glødetabet nøje tørstofindholdet og algemængden.

Den procentvise mængde af organisk materiale i partiklerne i vandet var stigende hen over året til et maksimum i september (90% af tørstofindholdet).

Glødetabets procentvise andel af tørstofindholdet afspejler temmelig nøje den tilstedeværende mængde planktonalger i vandet. Ved algernes henfald sidst på året eller ved algesammenbrud i sommerperioden falder den procentvise mængde organisk stof i vandet.

I vinterperioden kan den uorganiske andel endvidere stige i forbindelse med de store afstrømninger, som derved tilfører lerpartikler og andre uorganiske fraktioner til søvandet.

Sigtdybde (fig. 5.1.2)

Sigtdybden var som helhed meget dårlig i 1994, og der blev i dette år målt den hidtil lavest sigtdybde i forhold til de 5 foregående år.

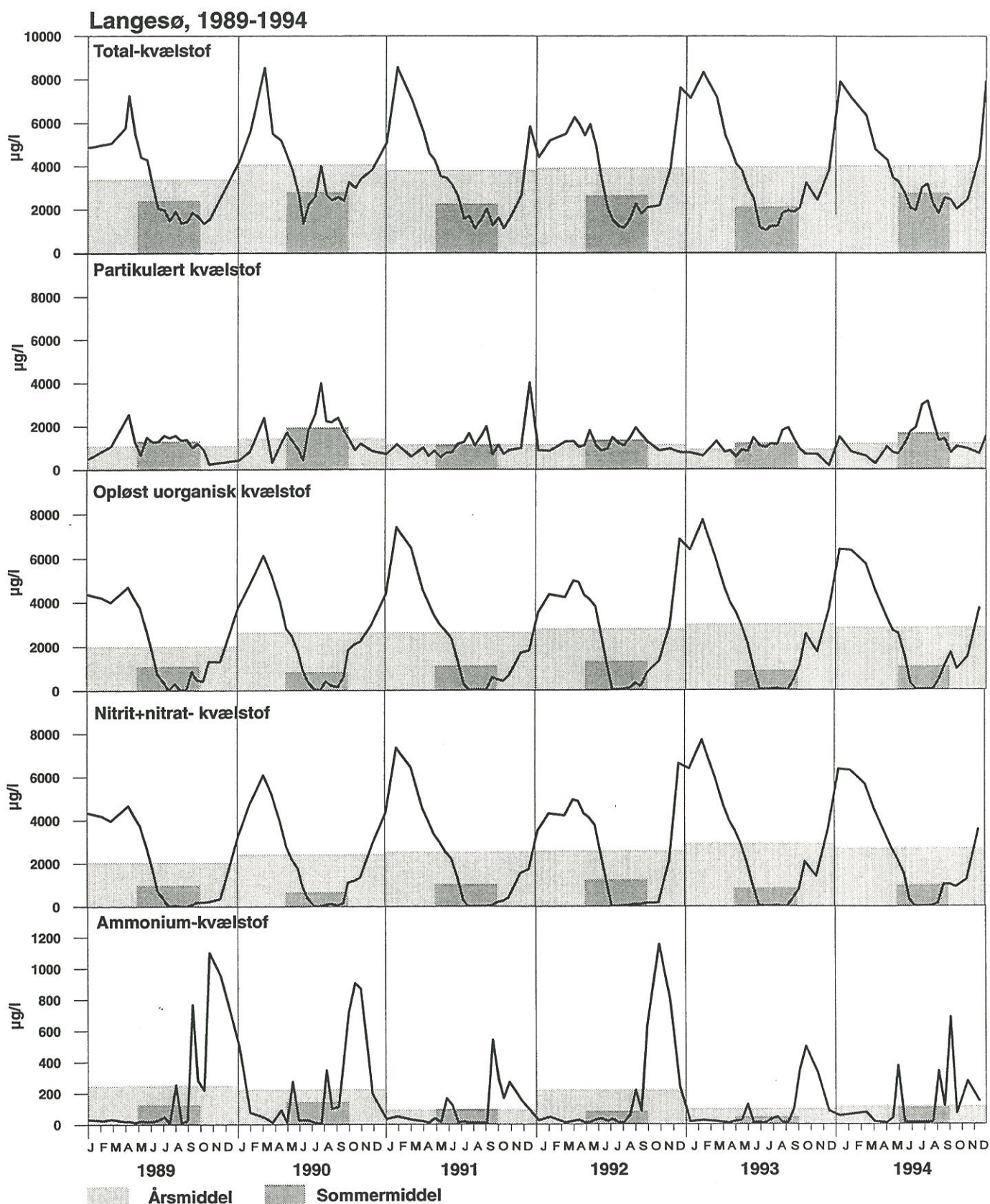
Sigtdybden var i 1994 i sommerperioden 0,28-1,80 m, lavest i den sidste halvdel perioden, hvor sigtdybden ofte var mindre end 0,45 m. Den største sigtdybde i sommerperioden blev målt umiddelbart efter et algesammenbrud midt i maj. Den gennemsnitlige sigtdybde for sommerperioden var 0,90 m. Det er noget mindre end de tre foregående år, hvor sigtdybden i sommerperioden var 1,01-1,06 m.

I foråret 1994 var sigtdybden derimod ikke ringere end i de foregående år.

Sigtdybden følger i øvrigt nøje mængden af partikler i vandet, således at sigtdybden aftager med øget partikelindhold i vandet. I sommerperioden udgøres størsteparten af partiklerne af planteplankton. Netop sommeren 1994 var præget af masseopblomstring af alger (se afsnit 6).

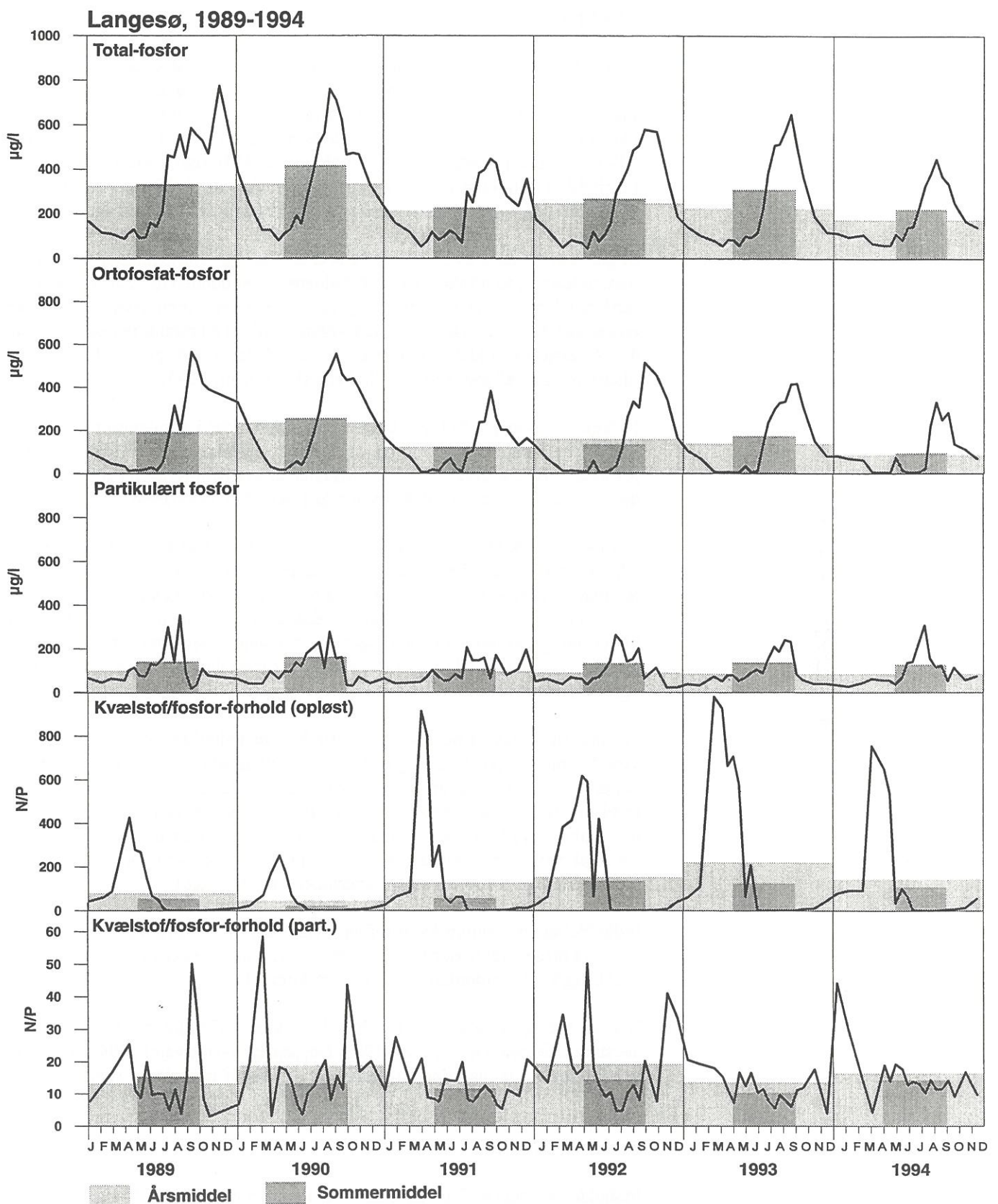
pH (fig. 5.1.2)

Søvandets surhedsgrad, pH, var i sommerperioden 1994 i gennemsnit 8,7 med den størst målte værdi på 9,9 sidst i juni. Bortset fra denne maksimumsværdi, varierede pH typisk i intervallet 7,5-8,5 for året som helhed. pH i 1994 var generelt lidt højere i forhold til de foregående år.



Figur 5.1.3

Indhold af total-kvælstof, partikulært kvælstof, opløst uorganisk kvælstof, nitrit+nitrat-kvælstof og ammonium-kvælstof i søvandet i vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Langesø, 1989-1994.



Figur 5.1.4

Indhold af total-fosfor, uorganisk fosfor, partikulært fosfor og forhold mellem kvælstof og fosfor i henholdsvis partikulær og opløst form i søvandet i vandoverfladen (blandingsprøve fra flere dybder) i Langesø, 1989-1994.

Kvælstof (fig. 5.1.3)

Indholdet af total-kvælstof var i 1994, ligesom de 5 foregående år højt i starten af året. For alle 6 år lå indholdet af total-kvælstof januar/februar måned i intervallet 5000-8000 µg/l. Og ligesom de foregående år faldt indholdet støt hen over forårsperioden til juni, og nåede et minimum i løbet af juni/juli måned. I 1994 blev det mindste kvælstofindhold målt til 1810 µg/l. Dette er noget højere i forhold til minimumsværdierne i de foregående 5 år (1030-1373 µg/l). I løbet af efteråret og vintermånederne steg indholdet af total-kvælstof igen.

Stigningen af total-kvælstof i efteråret skyldes, at omsætningen af organisk materiale øges, som følge af at iltforholdene ved søbunden forbedres væsentligt, fordi der foregår en større omrøring af vandmasserne, men navnlig at der sker en betydelig stigning i kvælstofafstrømningen til søen i samme periode (se afsnit 4). Kvælstofindholdet i Langesø styres således i høj grad i høj grad af tilstrømningen af kvælstof fra tilløbene (Fyns Amt, 1994).

I sommerperioden 1994 var total-kvælstofindholdet i gennemsnit 2738 µg/l, hvilket er forholdsvist højt og af samme størrelse som i 1990 og 1992. Karakteristisk for disse 3 år er, at tilførslen af kvælstof til søen i sommerperioden var større i forhold til de øvrige år i perioden 1989-1994.

Søvandets indhold af opløst uorganisk kvælstof, hvilket for langt størstedelen udgjordes af nitrat+nitrit kvælstof, havde fra januar til maj samme forløb som for total-kvælstof, idet hovedparten af total-kvælstoffet netop da udgjordes af opløst uorganisk kvælstof. Faldet skyldes, at det opløste uorganiske kvælstof bliver optaget af planktonalger. Samtidig forsvinder der kvælstof fra søvandet, primært ved bundfældning af døde alger og dyreplankton, men formodentlig også ved denitrifikation.

Fra maj og i næsten hele sommerperioden var indholdet af opløst uorganisk kvælstof meget lavt (15-23 µg/l). Fra sidst i august til december steg koncentrationen igen som følge af dels frigivelse af betydelige mængder ammonium-kvælstof (maksimum 686 µg/l) fra søbunden og omdannelse af dette til nitrit+nitrat kvælstof, dels en meget stor tilførsel af (især uorganisk) kvælstof via tilløbene til søen i september og især november og december måneder. Det gennemsnitlige indhold i sommerperioden var 1067 µg/l.

Indholdet af ammonium-kvælstof var gennemsnitligt 118 µg/l på årsbasis, men var i det meste året under 80 µg/l. Længerevarende perioder med stort indhold (>200 µg/l) af ammonium-kvælstof forekom ikke.

Niveauerne og variationerne for de enkelte kvælstof-fraktioner i 1994 ligner i det store hele dem i årene 1989-1993. Det særligt varme vejr i 1994 syntes ikke at have forårsaget ualmindelige udsving i kvælstof indholdet i søen.

Fosfor (fig.5.1.4)

Indholdet af total-fosfor i søvandet var i starten af 1994 ca. 114 µg/l, hvilket er lavere i forhold til de 5 foregående år (141-646µg/l, mindst i 1993). Herefter

faldt koncentrationen frem til maj til et minimum på 60 µg/l.

I samme periode faldt indholdet af opløst uorganisk fosfor (ortofosfat-fosfor) ligeledes. Dette skyldes sandsynligvis især planktonalgernes vækst, men en betydelig tilførsel af jern fra tilløbene i samme periode kan muligvis have medvirket til, at der også blev dannet tungtopløselige jern/fosfor forbindelser, som derefter udfældedes til søbunden. I april-juli blev der i flere tilfælde målt meget lavt indhold af opløst uorganisk fosfor (mindre end 10 µg/l).

Fra midt i juni og frem til slutningen af september 1994 skete en markant forøgelse af indholdet af total-fosfor. Den opløste uorganiske fosfor steg først i slutningen af august. Stigningen skyldtes primært frigivelse af opløst uorganisk fosfor fra søbunden, men denne var ikke større end algerne løbende kunne optage det i begyndelsen af perioden. Dette viser sig ved den senere stigning i den opløste uorganiske fosfor fraktion.

I denne periode steg indholdet af total-P og opløst organisk fosfor op til et maksimum på henholdsvis 445 og 330 µg/l. Frigivelsen skyldes dels dårlige iltforhold i søbunden, hvor specielt jernbundet fosfor frigives, dels mineralisering af fosfor, som er bundfældet med b.a. døde alger.

I sommerperioden 1994 var indholdet af total-fosfor og opløst uorganisk fosfor i gennemsnit henholdsvis 221 og 94 µg/l. Andelen af opløst uorganisk fosfor var dog langt mindre i visse dele af sommerperioden, hvor næsten alt fosfor fandtes indbygget i planktonalgerne.

Årsvariationerne i total-fosfor, opløst uorganisk fosfor og dermed også partikulært fosfor fulgte i 1994 stort set fulgt samme forløb som i 1989-1993. Indholdet af de forskellige fosforfraktioner var dog mindre end de i 5 foregående år. Således var indholdet af total-fosfor i 1994 i gennemsnit for sommerperioden 221 µg/l mod 266-415 µg/l i 1989-1993. Tilsvarende var indholdet af opløst uorganisk fosfor lavere i 1994 (94 µg/l) end i 1989-1993 (121-255 µg/l).

Det maksimale indhold af opløst uorganisk fosfor i 1994 (330 µg/l) nåede ligeledes ikke op på samme niveau som i 1989-1993 (382-565 µg/l).

Silicium (fig. 5.1.2)

Indholdet af opløst silicium (silikat-silicium) i søvandet var ved starten af 1994 ca. 4,5 mg/l. Herefter faldt indholdet frem til midt i juni, hvor der blev målt et minimum på 0,04 mg/l. Sidst i juli steg indholdet igen og toppede i oktober til 4,4 mg/l. Herefter faldt indholdet 0,4 mg/l og forblev på dette niveau resten af året ud.

Perioder med faldende siliciumindhold i søvandet var i alle årene sammenfaldende med tidspunkter, hvor kiselalger var i opvækst i planteplanktonet - typisk i forsommeren/sommeren og efteråret. Dette skyldes, at kiselalger i forbindelse med deres vækst udnytter silicium ved opbygning af deres skaller.

5.2. Sammenhæng mellem stoftilførsel og stofkoncentration i søen

Modelberegninger

Der er for søer udviklet en række simple modeller, som beskriver sammenhængen mellem den årlige tilførsel af henholdsvis kvælstof og fosfor til søerne og den koncentration af disse stoffer, som findes i søvandet.

Formålet med modellerne er først og fremmest, at de kan bruges som et redskab til at vurdere, hvordan en sø vil ændre sig, såfremt belastningen med kvælstof og fosfor ændres, f.eks. i forbindelse med afskæring af spildevand fra søen eller rensning af spildevandet før udledning til søen.

Kvælstof (fig.5.2.1)

Sammenhængen mellem kvælstoftilførslen til søen og søvandets kvælstofindhold blev i 1990 beskrevet ud fra 3 ligninger, som er opstillet på baggrund af undersøgelser i danske søer før 1990 (se Kristensen, Jensen & Jeppesen, 1990). Imidlertid er modellerne blevet udviklet og forbedret. Det fælles grundlag for samtlige modeller er dog, at koncentrationen af kvælstof i søvandet generelt er proportional med kvælstofkoncentrationen i tilløbsvandet, idet dog søens middeldybde og søvandets opholdstid også har en vis indflydelse. Den model, som i dag viser sig at være den bedst egnede til at beskrive kvælstofindholdet i danske søer, har følgende udseende (Jensen m.fl., 1993):

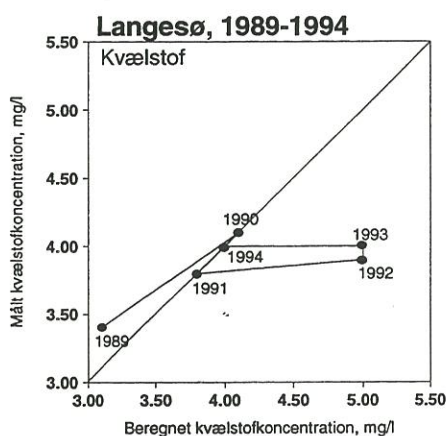
$$(N)_{so} = 0,23 * (N)_{ind} * Tw^{-0,27} * z^{0,27},$$

Hvor $(N)_{so}$ er søens årsmiddelkoncentration, $(N)_{ind}$ er den vandføringsvægtede koncentration af total kvælstof i tilløbsvandet, Tw er vandets opholdstid i søen og z er søens middeldybde.

Modellen er anvendt på resultaterne fra Langesø til beregning af den forventede middeldkoncentration af total-kvælstof i søvandet i hvert af årene 1989-1994. Som $(N)_{ind}$ er benyttet den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration af total-kvælstof i tilløbsvandet (se afsnit 4), og vandets opholdstid, Tw , i søen er beregnet på basis af afstrømningen fra søen via dens afløb (se afsnit 4).

Som vist i figur 5.2.1 er middeldkoncentrationerne af total-kvælstof i søvandet ud fra de foretagne målinger for 1990, 1991 og 1994 meget nær de beregnede værdier. I 1989 er den målte værdi noget over den beregnede, men afvigelsen er under 10 % af den målte værdi. Derimod er der betydelig større afvigelse i det beregnede kvælstofindhold i forhold til det målte (afvigelser på ca. 27 %) i 1992 og 1993.

De dårlige forudsigelse i både 1992 og 1993 hænger uden tvivl sammen med, at der i begge år var store afstrømninger af kvælstof i årets sidste måneder, som

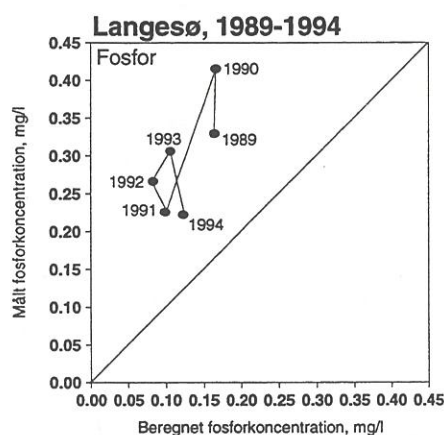


Figur 5.2.1
Sammenhæng mellem beregnet og "målt" årsmiddelkoncentration af kvælstof i Langesø, 1989-1994.

således ikke har slået rigtig igennem i søvandet. Endvidere forekom en betydelig usikkerhed omkring beregning af kvælstofafstrømningen i 1993 (se Fyns Amt, 1994). Den beregnede årsmiddelkoncentration af kvælstof i søvandet blev derfor underestimeret i forhold til den beregnede vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration i tilførslen.

Sammenlignet med de tidligere anvendte modeller for disse to år er afvigelsen dog betydelig mindre, idet disse modeller gav afvigelser på det beregnede kvælstofindhold på 47-57 % fra det målte (Fyns Amt, 1993). For de øvrige år gav de tidligere anvendte modeller afvigelser på 10-15%. Den nye model synes således bedre tilpasset Langesø.

Fosfor (Fig. 5.2.2)



Figur 5.2.2
Sammenhæng mellem beregnet og "målt" årsmiddelkoncentration af fosfor i Langesø, 1989-1994.

Sammenhængen mellem tilførslen af fosfor til søen og søvandets fosforindhold kan, ligesom for kvælstofs vedkommende, undersøges ved anvendelse af forskellige modeller. Disse modeller bygger typisk på den antagelse, at der er proportionalitet mellem fosforindholdet i søvandet og tilløbsvandets fosforindhold, idet en vis del af det tilførte fosfor tilbageholdes i søbunden. Der findes et stort antal sådanne udenlandske fosformodeller, hvoraf nedenstående model har vist sig bedst egnet til at beskrive forholdene i relativt lavvandede søer ($z < 3,5\text{m}$) med forholdsvis kort opholdstid ($T_w < 0,55$) (Kristensen, Jensen & Jeppesen, 1990):

$$(P)_{so} = (P)_{ind} * (1 - R_p),$$

$$\text{hvor } R_p = 5,3 / (5,3 + (L_p / (P)_{ind})) \quad (\text{Canfield og Bachmann, 1981})$$

hvor $(P)_{so}$ og $(P)_{ind}$ er årsmiddelkoncentrationen af total-fosfor i henholdsvis søvandet og i tilløbsvandet, R_p er fosforretentionskoefficienten (et udtryk for, hvor meget tilført fosfor, der tilbageholdes i søen). L_p er den årlige fosforbelastning pr. søareal. Den anvendte model er nærmere omtalt i Kristensen, Jensen & Jeppesen (1990).

Modellen er anvendt på resultaterne fra Langesø til beregning af den forventede middelkoncentration af total-fosfor i søvandet i hvert af årene 1989-1994. Som $(P)_{ind}$ er benyttet den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration af total-fosfor i tilløbsvandet (se afsnit 4).

Som vist i figur 5.2.2 er middelkoncentrationerne af total-fosfor i søvandet ud fra de foretagne målinger i samtlige seks år væsentlig højere end forventet (43-69 % højere end forventet) og afviger mest i 1992 og 1993.

Generelt giver modellen således en dårlig beskrivelse af sammenhængen mellem fosforkoncentrationerne i henholdsvis søvandet og indløbsvandet.

Denne dårlige sammenhæng skyldes, at der i Langesø ud over den eksterne (udefra kommende) belastning også sker en væsentlig frigivelse af fosfor fra søsedimentet til søvandet (intern belastning). For samtlige år har den interne belastning udgjort en betragtelig del af den samlede belastning til søen. Således

tilføres søen fra søbunden en mængde fosfor svarende til 34-138 % af den årlige eksterne tilførsel (se afsnit 5.3).

Modellen kan dog anvendes til at fortælle, i hvilket omfang den samlede tilførsel af fosfor er regulerende for fosforkoncentrationen i søen. Ud fra fig. 5.2.2 kan man se, at den forventede fosforkoncentration i søen i 1994, på trods af, at der dette år forekom den hidtil største samlede belastning, kun i mindre grad afviger fra 1991-1993, hvor belastningen var mindre. Indløbskoncentrationen disse år var dog af samme størrelse. Den beregnede fosforkoncentration i 1994 var til gengæld betydeligt mindre end i 1989-1990, hvor indløbskoncentration til søen disse år var betydeligt højere. Dette hænger sammen med at Langesø har en forholdsvis hurtig gennemstrømning af vand (kort opholdstid). Derfor er det især indløbskoncentrationens størrelse, som vil have betydning for søens tilstand.

5.3 Stofudveksling mellem atmosfære, søvand og sediment

Ud over den eksterne næringsstofbelastning af søen har også, som allerede omtalt, interne fysisk-kemiske og biologiske processer i søen væsentlig betydning for indholdet af kvælstof og fosfor i søvandet. Det er resultatet af disse interne processer, som beskrives i dette afsnit.

Der er for hver prøvetagningsdato foretaget beregninger af det totale indhold af henholdsvis kvælstof og fosfor i søens vandmasse (puljen af disse stoffer). Puljen af de 2 stoffer er opgjort for hele vandmassen. Ændringerne i puljestørrelsen er opgjort på månedsbasis ved lineær interpolation mellem puljeværdierne for de enkelte prøvetagningsdatoer. Der er herefter, ligeledes på månedsbasis, korigeret for henholdsvis tilførsel og fraførsel af kvælstof og fosfor.

Som resultat heraf er nettotilførslen af kvælstof og fosfor til søvandet via interne processer beregnet dels på månedsbasis, dels på årsbasis.

Kvælstof.

Søvandet tilføres kvælstof b.a. ved processer som algers optagelse af frit kvælstof (N_2) fra atmosfæren (kvælstoffiksering) og kvælstoffrigivelse fra sedimentet til søvandet (dels ved nedbrydning af bundfældet organisk stof, dels ved ophvirvling af partikler aflejret på søbunden). Der fjernes endvidere kvælstof fra søvandet i forbindelse med bundfældning af organisk stof på søbunden og produktion af frit kvælstof (denitrifikation) især i søbunden og efterfølgende afgivelse af dette kvælstof til søvandet og derefter til atmosfæren. Nettoresultatet af disse processer betegnes som nettotilførslen af total-kvælstof til søvandet via interne processer.

Nettotilførslen af total-kvælstof via interne processer for årene 1989-1994 fremgår af tabel 5.3.1 og bilag 7 (kun 1994). Det skal til månedsopgørelserne bemærkes, at specielt disse er behæftet med usikkerhed knyttet til bestemmelsen

af henholdsvis den eksterne kvælstoftilførsel, kvælstoffraførslen via søens afløb og ændringerne i søens totale kvælstofindhold (kvælstofpuljen).

Tabel 5.3.1

Nettotilførsel af total-kvælstof til Langesø vandmasse via interne processer, 1989-1994. Ved negativ nettotilførsel forstås nettofjernelse.

	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Årlige nettotilførsel pr. m ² søoverflade (g)	-27	-33	-40	-52	-92	-49
Daglig nettotilførsel pr. m ² søoverflade (mg)	-74	-92	-110	-142	-253	-135
Årlig nettotilførsel (kg)	-4659	-5775	-6845	-8847	-15848	-8412
Sommer nettotilførsel (kg)	-2455	-1499	-1966	-2354	-1946	-1848

I 1994 er der beregnet en nettofjernelse (negativ nettotilførsel) af total-kvælstof på 8412 kg, hvilket er omtrent halvt så meget som i 1993, men af samme størrelse som i 1992 (8850 kg). I 1989-1991 var nettotilførslen lidt mindre (4660-6850 kg).

I 1994 blev 39% af det tilførte kvælstof fjernet ved interne processer. Dette afviger ikke væsentligt fra de 5 foregående år (39-62%).

Den årlige nettofjernelse af total-kvælstof pr. m² søoverflade var i 1994 49 g, med et gennemsnit på 135 mg/dag. Til sammenligning var nettofjernelsen pr. m² søoverflade i 1989-1993 27-92 g pr m², svarende til et gennemsnit på 75-353 mg/dag. Nettofjernelsen i 1994 afviger således ikke væsentligt fra dem i 1989-1993.

Der skal dog tages højde for, at værdierne i 1993 muligvis er overestimeret, som følge af usikkerheder ved opgørelse af stoftilførslerne til søen (Fyns Amt, 1993).

Nettofjernelsen i sommerperioden 1994 er beregnet til 22% af den totale årlige nettofjernelse. I 1989-1993 er de tilsvarende værdier i 12 - 53%.

I vintermånederne må en del af nettofjernelsen af kvælstof sandsynligvis foregå ved bundfældning af partikelbundet kvælstof. Således findes typisk de største tab i perioder med stor tilførsel af kvælstof.

I 1994 er der beregnet nettofjernelser på op til ca. 2000 kg (marts). Dette betydelige tab skete netop i forbindelse med en meget stor tilførsel af kvælstof fra tilløbene.

Opløst uorganisk kvælstof (især nitrat-kvælstof) udgør ca. 80-90% af kvælstoffet i søen i vinterperioden. Denne store pulje af kvælstof bliver sandsynligvis optaget af planktonalger (især kiselalger) og udfældet med disse. Denne bundfældning finder i givet fald sted fra januar til hen midt på sommeren.

For samtlige måneder i 1994 er der beregnet en nettofjernelse af kvælstof fra søen, hvorimod der i de 5 foregående år i enkelte sommer- og efterårsmåneder modsat er beregnet en nettotilførsel af kvælstof til søvandet.

Dette hænger sandsynligvis sammen med, at det varme og stille vejr i juli og august har forøget denitrifikationen af kvælstof i søen.

Fosfor

Søvandets indhold af total-fosfor afhænger b.a. af interne processer som fosforfrigivelse fra sedimentet til søvandet (herunder ophvirvling af partikler aflejret på søbunden) og bundfældning af uorganisk og organisk stof, som indeholder fosfor, fra søvandet til sedimentet. Nettoresultatet af disse processer betegnes som nettofrigivelsen af total-fosfor fra sedimentet.

Nettofrigivelsen af total-fosfor fra sediment til søvand fremgår for årene 1989-1994 af tabel 5.3.2 og bilag 8 (kun 1994). Det skal til månedsopgørelserne bemærkes, at specielt disse er behæftet med usikkerhed knyttet til bestemmelsen af henholdsvis den eksterne fosfortilførsel, fosforfraførslen via søens afløb og ændringerne i søens totale fosforindhold (fosforpuljen).

Tabel 5.3.2

Nettotilførsel af total-fosfor til Langesø vandmasse via interne processer, 1989-1994. Ved negativ nettotilførsel forstås nettobundfældning.

	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Årlige nettotilførsel pr. m ² søoverflade (mg)	-258	-476	-293	-105	-627	-784
Daglig nettotilførsel pr. m ² søoverflade (mg)	-0,68	-1,50	-0,81	-0,34	-1,73	-2,15
Årlig nettotilførsel (kg)	-44	-81	-50	-18	-107	-134
Sommer nettotilførsel (kg)	188	176	125	267	215	127

Det fremgår af resultaterne, at der på årsbasis i samtlige 6 år er sket en nettobundfældning (negativ nettofrigivelse) af fosfor.

Nettobundfældningen var størst i 1994 (134 kg) og i perioden 1989-1993 mellem 18-107 kg. I forhold til den udefra kommende fosfortilførsel udgjorde den beregnede nettobundfældning af fosfor på årsbasis 29% i 1994 og 9-34 % for 1989-1993.

Mens der således på årsbasis er beregnet en nettobundfældning af fosfor, er der for sommerperioden modsat beregnet en betydelig (positiv) nettofrigivelse af fosfor fra søbunden. I 1994 er denne beregnet til 127 kg. For 1989-1993 er nettofrigivelsen om sommeren tilsvarende beregnet til 125-267 kg.

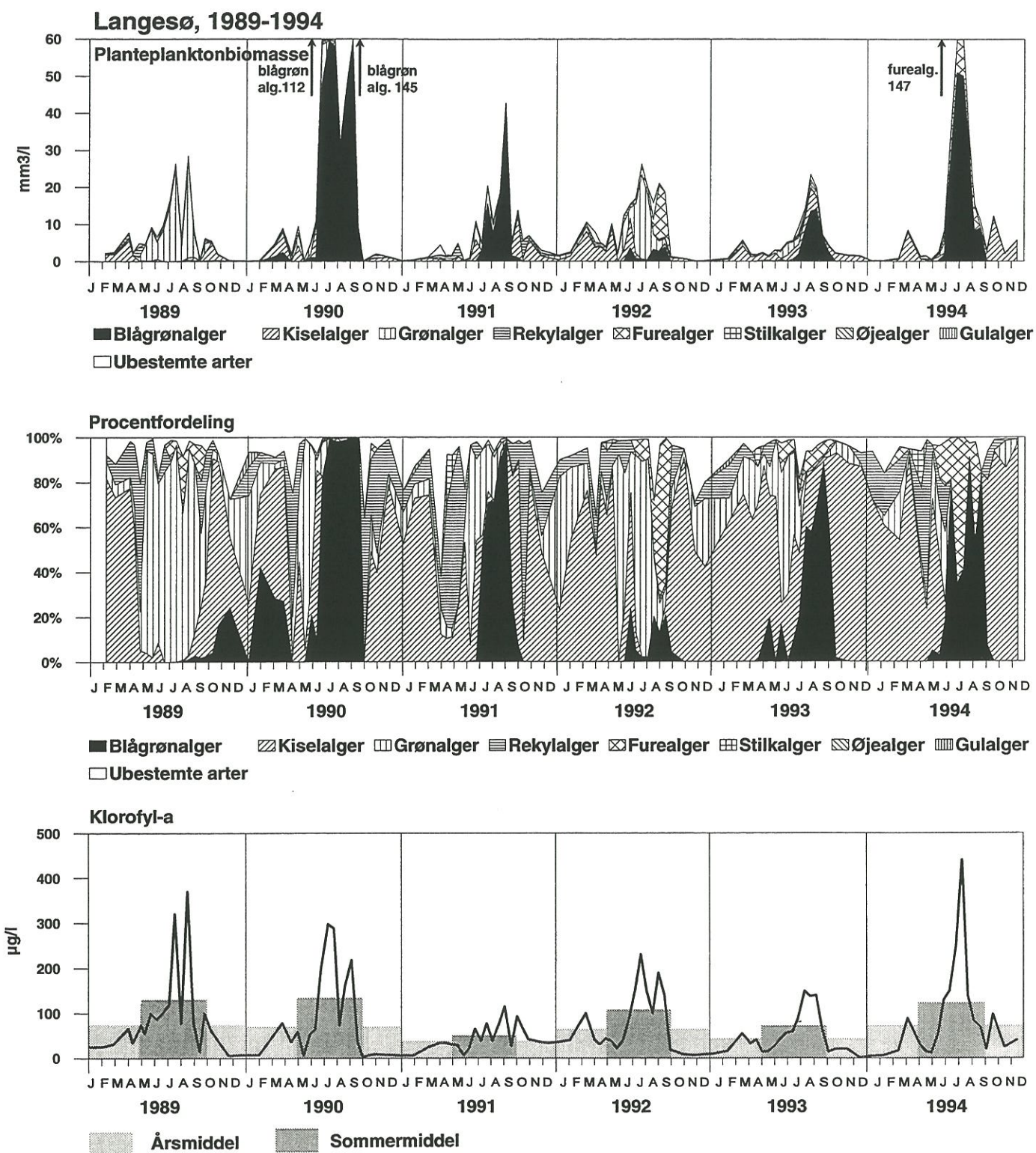
Nettobundfældningen af fosfor skete i 1994, i lighed med de 5 foregående år, især i vinterperioden. De største bundfældninger skete typisk i efterårsperioden og ofte i forbindelse med store afstrømninger af jern. Jern kan nemlig binde sig til opløst uorganisk fosfor, hvorved det udfældes til søbunden. Netop i efterårsperioden var indholdet af opløst uorganisk fosfor særligt stort i Langesø.

Fosforbundfældning via døde planktonalger synes ikke at have betydning i forbindelse med større ændringer i søens fosforindhold. Således sker de største bundfældninger af fosfor netop i de perioder af året, hvor algevæksten er lav, og hvor algerne formodes at være bundfældet. Det er dog omvendt sandsynligt, at nogle algearter (f.eks. *Aphanizomenon*) kan medvirke til en øgning af søvandets fosforindhold i forbindelse med deres opstigning fra søbunden, idet de kan indeholde store mængder fosfor (Barbiero og Welch, 1992). *Aphanizomenon* forekom netop i store mængder i sommeren 1994.

Den maksimale nettofrigivelse af total-fosfor fra søbunden er i sommerperioden beregnet til $13 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{dag}$ i 1994 og $17\text{-}27 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{dag}$ i 1989-1993. Den maksimale nettofrigivelse blev for alle 6 år fundet i juli/august måned.

1994 afviger generelt fra de 5 foregående år ved at have en betydelig større tilbageholdelse af fosfor (negativ nettotilførsel) for hele året. Ligeledes var frigivelsen i sommerperioden noget mindre end de tidligere år. Dette afspejler sig b.a. i den betydelig mindre middeldkoncentration i søvandet, der var i 1994, både for året som helhed og i sommerperioden.

Tilførslen af jern i 1994 var den hidtil største siden 1989. Dette kan således være en medvirkende forklaring på, at så store mængder fosfor blev tilbageholdt. Således var jern/fosfor forholdet i afstrømningen til søen i 1994 5,5, hvor dette var 2,1-3,5 i 1989-1993.



Figur 6.1.1
Volumenbiomasse og relativ sammensætning af planteplanktonet samt klorofyl-a i Langesø, 1989-1994.

6. Biologiske forhold i søen

Dette afsnit omhandler resultaterne af de udførte biologiske undersøgelser (plante- og dyreplankton samt fisk) i Langesø i 1989-1994. Foruden tabeller og figurer i dette afsnit, findes udvalgte årsresultater for 1989-1994 samlet i bilagene 9.1-9.2.

Til planktonfigurerne skal det i øvrigt bemærkes, at de på nogle punkter afviger fra de, som er vist i de tidligere rapporter om Langesø (Fyns Amt, 1990-1994), da der er sket en revurdering af datamaterialet.

Resultaterne af de øvrige gennemførte biologiske undersøgelser i søen er kort beskrevet i afsnit 1 i denne rapport samt i Fyns Amts tidligere rapporter om søen (se Fyns Amt, 1990-1994).

I det følgende er undersøgelsesresultaterne for de mikroskopiske organismer i søvandet, plante- og dyreplanktonet, i 1994 beskrevet, idet forskelle og ligheder med de tidligere år samtidig er kommenteret. Endvidere er kort beskrevet resultaterne af fiskeundersøgelserne foretaget i 1994 og sammenlignet med undersøgelserne i 1989.

For nærmere detaljer om planktonresultaterne og fiskeundersøgelserne henvises til notater udarbejdet til Fyns Amt af henholdsvis Miljøbiologisk laboratorium (1990-1995) og Mohr-Markmann (1992 og 1995).

6.1 Planteplankton

Artssammensætning

Der blev i alt registreret 101 arter/slægter i planteplanktonet i Langesø i 1994. I 1989-1993 blev der årligt fundet 80-99 arter/slægter. Langt de fleste arter/grupper i Langesø er karakteristiske for næringsrige danske søer. Der blev således i 1994 registreret 23 arter/slægter af blågrønalger, 4 arter af centriske kiselalger, 4 arter af øjealger og 34 arter/slægter af chlorococcale grønalger.

Endvidere blev der registreret 16 arter/slægter, som tilhører algegrupper, der har deres hovedudbredelse i "rentvandede" søer, nemlig gulalger (2 arter/slægter), furealger (7 arter/slægter), desmidiacé-grønalger (6 arter/slægter) og gulgrønalge (1 art). Antallet af "rentvandsarter" var forholdsvis konstant i 1989-1994 (14-16 arter/slægter).

I 1994 domineredes planteplanktonet i den produktive periode (1.3-31.10) især af blågrønalger af furealger. De kvantitativt mest betydende alger i planteplanktonet var således blågrønalgerne *Planktothrix agardhii* og *Aphanizomenon flexuosum/yezoense* samt furealgerne *Ceratium rhomvoides* og *C. hirundinella*. De udgjorde således i gennemsnit henholdsvis 32, 8, 37 og 8 % af den gennemsnitlige totale algebiomasse i samme periode. I forårs- og efterårs månederne var det især centriske kiselalger som dominerede. De mest betydende alger i samtlige 6 år fremgår endvidere af nedenstående tabel 6.1.1.

Tabel 6.1.1

Dominerende planktonalger i den produktive periode (1.3-31.10), 1989-1994.

År	Dominerende arter i den produktive periode. (1.3-31.10)	Procentvis andel af den gennemsnitlige biomasse.
1989	<i>Carteria</i> sp. <i>Chlorella</i> sp./ <i>Dictyosphaerium subsolitarium</i> Centriske kiselalger	59% 12% 10%
1990	<i>Aphanizomenon klebahnii</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Carteria</i> sp.	85% 4% 2%
1991	<i>Planktothrix agardhii</i> Centriske kiselalger <i>Rhodomonas lacustris</i>	50% 14% 7%
1992	<i>Carteria</i> sp. Centriske kiselalger <i>Ceratium hirundinella/furcoides</i>	30% 19% 17%
1993	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Stephanodiscus neoastrea</i> <i>Anabaena flos-aquae</i>	28% 15% 12%
1994	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Aphanizomenon flexuosum/yezoense</i> <i>Ceratium rhomvodes</i> <i>Ceratium hirundinella</i>	32% 8% 37% 8%

Foruden i 1994 dominerede *Planktothrix agardhii* også i den produktive periode i 1993 og 1991 (henholdsvis 28 og 50%). Arter af slægten *Ceratium* har tidligere kun været blandt de mest betydende arter/slægter i 1992 (17% af den samlede biomasse).

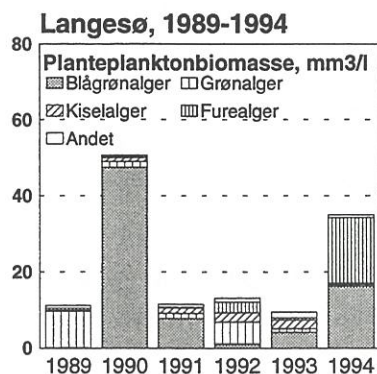
Biomasse

Planteplanktonmængden, biomassen, er for årene 1989-1994 målt både som indhold af klorofyl-a i søvandet og som biomasse (se figur 6.1.1). I figur 6.1.2 er den gennemsnitlige biomasse opgjort for udvalgte algegrupper i perioden 1989-1994.

Klorofyl-a er en vigtig bestanddel af algecellernes grønne farvestof og er derfor et rimeligt mål for algebiomassen. Farvestofindholdet kan imidlertid variere meget i cellerne på forskellige årstider og afhænger ligeledes af algetypen.

Volumenbestemmelsen af algerne formodes derfor normalt at være den metode, som giver det bedste mål for biomassen. Til gengæld er måling af søvandets indhold af klorofyl-a en let og hurtig metode til at opnå et indtryk af planteplanktonbiomassens størrelse.

Klorofylindholdet var generelt stort i 1994 og det hidtil største klorofylindhold blev målt dette år. Klorofylindholdet i søvandet varierede i 1994 fra minimum 4,8 til maksimum 440 µg/l, med et gennemsnit i sommerperioden på 124 µg/l. I de 5 foregående år var sommergennemsnittet 50-130 µg/l.



Figur 6.1.2
Gennemsnitlig biomasser af
planteplankton i Langesø
isomrene, 1989-1994.

Klorofylindholdet i 1994 er i øvrigt af samme størrelse som i 1989 og 1990. I 1990 var der masseforekomster af blågrønalger, hvorimod grønalger forekom i masseforekomster i 1989. I 1989 var biomassen dog betydeligt lavere end i 1990 og 1994, men da grønalger har et stort indhold af klorofyl (Reynolds, 1984) giver det sig netop udslag i det meget høje klorofylindhold dette år.

Planteplanktonbiomassen opgjort på volumenbasis varierede i 1994 fra et minimum på ca. 0,2 mm³/l (i januar) til et maksimum på 147 mm³/l (i slutningen af juli). I sommerperioden (1.5. - 30.9.) var planteplanktonbiomassen gennemsnitligt 35 mm³/l. De tilsvarende værdier var i 1989 og 1991-1993 9-15 mm³/l i sommerperioden. 1990 afviger væsentlig herfra, idet den gennemsnitlige biomasse i sommerperioden var betydelig højere - 51 mm³/l.

Algegruppen blågrønalger var af størst mængdemæssig betydning i sommerperioden i 1990-1991, 1993 og 1994 (se figur 6.1.1 og bilag 9.1). I disse år udgjorde de således 47-94% af den samlede biomasse. Planteplanktonet afveg i 1994 fra de øvrige år ved desuden også at have en dominerende forekomst af furealger - 49 %. I 1989 og 1992 var det især grønalger som dominerede med slægten *Carteria sp.* De udgjorde således 47-85 % af den samlede algebiomasse. Kiselalger forekom i alle 6 år i betydende mængder i en kortere eller længere periode forår og efterår.

Årstidsvariation i planteplanktonets sammensætning

Planteplanktonet havde i 1994 ét ekstremt stort sommermaksimum sidst i juli, samt to mindre henholdsvis midt i begyndelsen af april (8,4 mm³/l) og midt i oktober (12,2 mm³/l) (se figur 6.1.1).

Igennem hele perioden fra årets start til begyndelsen af maj var planktonet domineret af kiselalger. Det var især små centriske kiselalger (<10µm) og kiselalgen *Asterionella formosa*, som dominerede fra begyndelsen af året, indtil forårsmaksimumet i begyndelsen af april. Herefter dominerede store kiselalger (10-30 µm) hen til midt i juni, kun afbrudt af en kortere periode midt i maj, hvor rekylalger dominerede (72%).

Kiselalgerne dominans afløstes af blågrønalger (især *Planktothrix agardhii*) og furealger (især *Ceratium rhombooides*). De dominerede fra sidst i juli til midt i august. I samme periode forekom sommermaksimumet. Blågrønalger forekom herefter næsten enerådende hen til midt i september, dog med en endnu enkelt stor forekomst af furealger i begyndelsen af september. Blågrønalgerne smængde faldt herefter hurtigt og store centriske kiselalger (10-30 µm) dominerede planteplanktonet resten af året ud.

Variationen i artssammensætningen og algebiomassen fulgte i mange henseender næringsstofindholdet i søvandet, men de særlige klimatiske forhold i 1994 havde uden tvivl også stor indflydelse på algesammensætningen.

Således forsvandt kiselalgerne i forbindelse med, at de havde opbrugt alt silicium i søvandet i april. Endvidere fandtes på dette tidspunkt kun et lille indhold af

opløst uorganisk fosfor i søvandet, som sandsynligvis begrænsede opvækst af andre algegrupper.

I forbindelse med kiselalgernes henfald blev der efterfølgende frigivet opløst uorganisk fosfor fra søbunden, og der kom en opvækst af blågrønalger, især *Planktothrix agardhii*. Indholdet af opløst organisk kvælstof var samtidig meget lavt. Fra sidst i juli til midt i august, hvor vejret var meget stille og varmt, var der således næsten intet opløst organisk kvælstof i søens øvre vandmasser, hvorimod indholdet af opløst organisk fosfor steg. I søens bundvand var der dog et stort indhold af både fosfor og kvælstof. Der blev således målt op til 1000 µg/l ammonium-kvælstof. I næsten samme periode var der en stor opvækst af furealger, især *Ceratium rhomvoides*, samtidig med at blågrønalgernes vækst fortsatte.

C. rhomvoides er en bevægelig furealge, som aktivt kan bevæge sig ned under springlag og optage næringsstoffer i de dybere vandlag og således klare sig i næringskonkurrence mod andre algearter. *Ceratium*-arter kræver dog forholdsvis høj vandtemperatur og solindstråling for at kunne udvikles. Samtidig skal der være forholdsvis lille omrøring af vandmasserne (vindstille perioder) (Heaney m.fl., 1989; Olrik, 1993). Disse klimatiske forudsætninger var til fulde opfyldt i Langesø.

I løbet af august faldt biomassen af alger hurtigt, samtidig med at lufttemperaturen og vandtemperaturen dalede, og der forekom dage med kraftig blæst midt i måneden. Både furealger og blågrønalger var forsvundet i begyndelsen af september og kiselalger blomstrede atter op.

6.2 Dyreplankton

Artssammensætning.

I dyreplanktonet i Langesø blev der i 1994 i alt fundet 38 arter/slægter.

Der blev således fundet 17 arter af rotatorier (hjuldyr) og 13 arter af krebsdyr. Blandt krebsdyrene blev fundet 9 arter af cladocerer (dafnier) og 4 arter af copepoder (vandlopper), heraf 1 calanoid og 3 cyclopoide copepoder. Derudover blev blandt ciliaterne identificeret 7 slægter og en gruppe af tintinnider (ciliater med hus). Øvrige ciliater blev opdelt i størrelsesgrupperne; <20 µm, 20-100 µm og >100 µm, samt efter form i runde og elliptiske.

Dyreplanktonet bestod af arter, som er typiske for relativt næringsrige søer. Dog findes copepoden *Eudiaptomus graciloides* typisk i mindre næringsrige, relativt dybe søer.

De arter, som havde størst mængdemæssig betydning i søvandet i 1994, var cladocererne *Daphnia cucullata* og *Diaphanosoma brachyurum* samt copepoderne *Eudiaptomus graciloides*, *Cyclops spp.* og store copepoditer (se tabel 6.2.1).

Rotatorierne udgjorde periodevis en betydelig andel af biomassen. Arter af størst

betydning var *Asplanchna priodonta*, *Keratella quadrata* og *Conochilus unicornis*.

Ciliaterne udgjorde kun en mindre andel af den samlede dyreplanktonbiomasse i 1994. De vigtigste arter var Tintinider spp. og Vorticella spp..

Tabel 6.2.1
De mest betydende arter af dyreplankton i
Langesø, 1989-1994.

År	De mest betydende dyreplanktonarter
1989	<i>Daphnia cucullata</i> <i>Daphnia galeata</i> <i>Diaphanosoma brachyurum</i> <i>Eudiaptomus graciloides</i> <i>Cyclops strenuus</i>
1990	<i>Daphnia cucullata</i> <i>Daphnia galeata</i> <i>Diaphanosoma brachyurum</i> <i>Eudiaptomus graciloides</i>
1991	<i>Asplanchna priodonta</i> <i>Daphnia cucullata</i> <i>Bosmina longirostris</i> <i>Eudiaptomus graciloides</i> <i>Cyclops strenuus</i>
1992	<i>Asplanchna priodonta</i> <i>Diaphanosoma brachyurum</i> <i>Bosmina coregoni</i> <i>Eudiaptomus graciloides</i> <i>Mesocyclops leukarti</i>
1993	<i>Daphnia cucullata</i> <i>Diaphanosoma brachyurum</i> <i>Bosmina coregoni</i> <i>Eudiaptomus graciloides</i> <i>Cyclops spp.</i>
1994	<i>Daphnia cucullata</i> <i>Diaphanosoma brachyurum</i> <i>Eudiaptomus graciloides</i> <i>Asplanchna priodonta</i>

Store cladocerer som *Daphnia cucullata* og *D. galeata*, er siden 1989 blevet gradvist mindre talrige. *D. galeata* forsvandt næsten i 1992, idet den kun blev registreret i en enkelt prøve. I 1993 var den lidt mere talrig, men i 1994 gik den atter tilbage og blev kun registreret i enkelte prøver. Derimod fik *D. cucullata* en meget stor tilvækst i 1993, som fortsatte i 1994 (fig. 6.2.2).

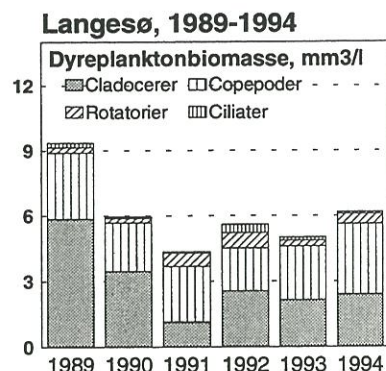
D. cucullata var den vigtigste dafnie-art i 1994 og udgjorde i perioder en betydelig andel af dyreplanktonbiomassen (op til ca. 35%).

Bosmina longirostris, som siden 1989 er blevet talrigere, forsvandt næsten i 1993 og blev kun registreret i få af årets prøver. I 1994 optrådte den derimod relativt hyppigt og dominerede blandt cladocernerne i april/maj måneder.

Dyreplanktongruppernes relativemængdemæssige betydning og artssammensæt-

ning i søvandet har således været meget forskellig de enkelte år.

Biomasse



Figur 6.2.1
Gennemsnitlig biomasser af
dyreplankton i Langesø i somrene,
1989-1994.

Dyreplanktonbiomassen i 1994 varierede fra minimum 0,5 mm³/l (februar) til maksimum 12,1 mm³/l (september) (se figur 6.2.2). Dyreplanktonbiomassen var gennemsnitlig 4,8 og 6,2 mm³/l i henholdsvis den produktive periode og i sommerperioden (fig. 6.2.1 og bilag 9.1).

Biomassen var af samme størrelse som i 1990, hvorimod biomassen i 1991-1993 var lidt mindre. Derimod var biomassen i 1989 betydeligt større. Det samme billede tegner sig for de maksimale dyreplanktonbiomasser i søvandet.

I både den produktive periode og i sommerperioden i 1994 var copepoder mængdemæssig dominerende. Således udgjorde copepoderne henholdsvis 54 og 52 % af den gennemsnitlige biomasse. I begge perioder var det den calanoide copepod *Eudiaptomus graciloides*, som udgjorde den største andel af copepodbiomassen (39 og 44 %).

Cladocererne udgjorde i samme perioder henholdsvis 34 og 39 % af den gennemsnitlige biomasse med *Daphnia cucullata*, som den biomasse-mæssigt vigtigste cladocerarter (51 % i begge perioder).

Rotatorier var af betydning i januar og april/maj. De udgjorde i disse perioder 19-44% af den samlede biomasse, men kun en forholdsvis lille del af den samlede biomasse i henholdsvis den produktive periode og sommerperioden (10 og 7 %).

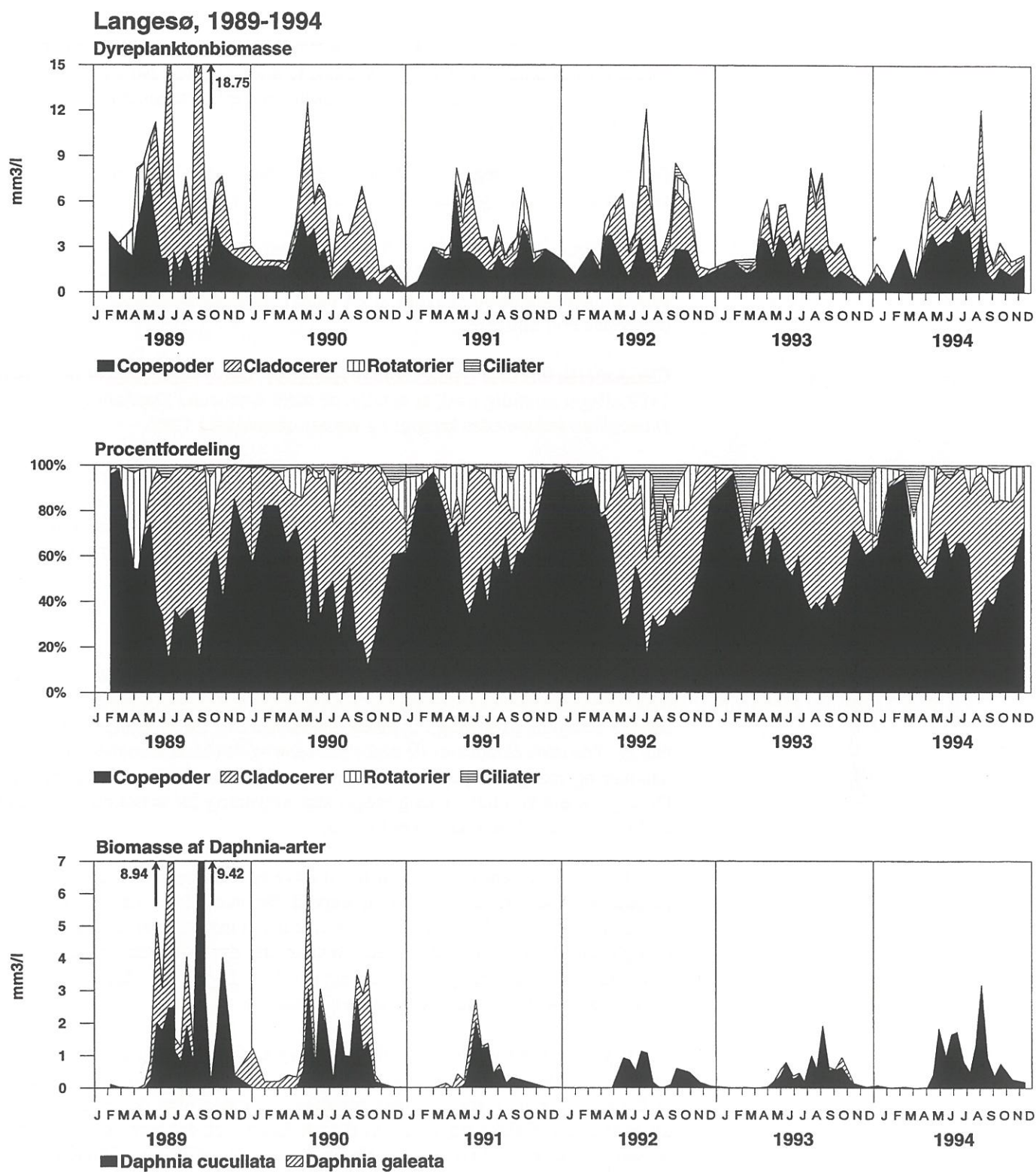
Ciliater havde en forholdsvis ringe betydning i både den produktive periode og sommerperioden, idet de som gennemsnit kun udgjorde henholdsvis 2 og 1 % af den totale biomasse. Dette er af samme størrelse som i 1989-1991 og 1993. Kun i 1992 havde de en lidt større andel af biomassen, idet de i dette år udgjorde henholdsvis 6 og 7 %.

Årstidsvariation i dyreplanktonets sammensætning

Dyreplanktonbiomassen havde i starten af 1994 to små maksima henholdsvis i januar og marts. Det var især *Eudiaptomus graciloides* og rotatorien *Keratella quadrata*, som dominerede i begyndelsen af perioden. *Cyclops spp.* dominerede sidst i perioden.

I løbet af april steg biomassen kraftigt og rotatorierne udgjorde kortvarigt en betydelig andel af biomassen, især *Asplanchna priodonta*. I maj steg cladocerernes andel, først med snabeldafnien *Bosmina longirostris* som den mest betydende cladocer og umiddelbart efter *Daphnia cucullata*. Samtidig blev rotatoriernes andel af biomassen reduceret og de udgjorde herefter kun en mindre andel af biomassen resten af året.

D. cucullata var den mest betydende cladocer i omtrent resten af året. Undtaget



Figur 6.2.2
Volumenbiomasse og relativ sammensætning af dyreplanktonet samt biomasse af *Daphnia cucullata* og *Daphnia galeata* i Langesø, 1989-1994.

var kortere perioder fra sidst i juni til begyndelsen af september, hvor der også forekom *Diaphanosoma brachyurum*. Disse to arter udgjorde den mest betydende andel af cladocerbiomassen og dominerede hele dyreplanktonbiomassen i august, da den toppede.

Efter maksimumet steg copepodernes andel af biomassen og dominerede denne sidst på året med *E. graciloides* som den mest betydende art.

Copepoderne var i alle årene 1989-1994 typisk dominerende i forårsperioden og efterårs/vinterperioden, men deres betydning hen over hele året har været stigende gennem årene, således at de også i sommerperioden er blevet mere betydende end tidligere.

Cladocererne forekom typisk i sommerperioden. Deres dominans har dog siden 1989 aftaget samtidig med, at antallet de store cladocerer *Daphnia galeata* og *D. cucullata* reduceredes kraftigt og næsten forsvandt i 1992.

Dyreplanktonets artssammensætning har stort set ikke forandret sig siden 1989. Dog har deres relative betydning ændret sig. Således har cladocerernes betydning været faldende, mens copepodernes tilsvarende har været stigende. Rotatoriernes og ciliaternes relative betydning har i alle årene været forholdsvis ringe.

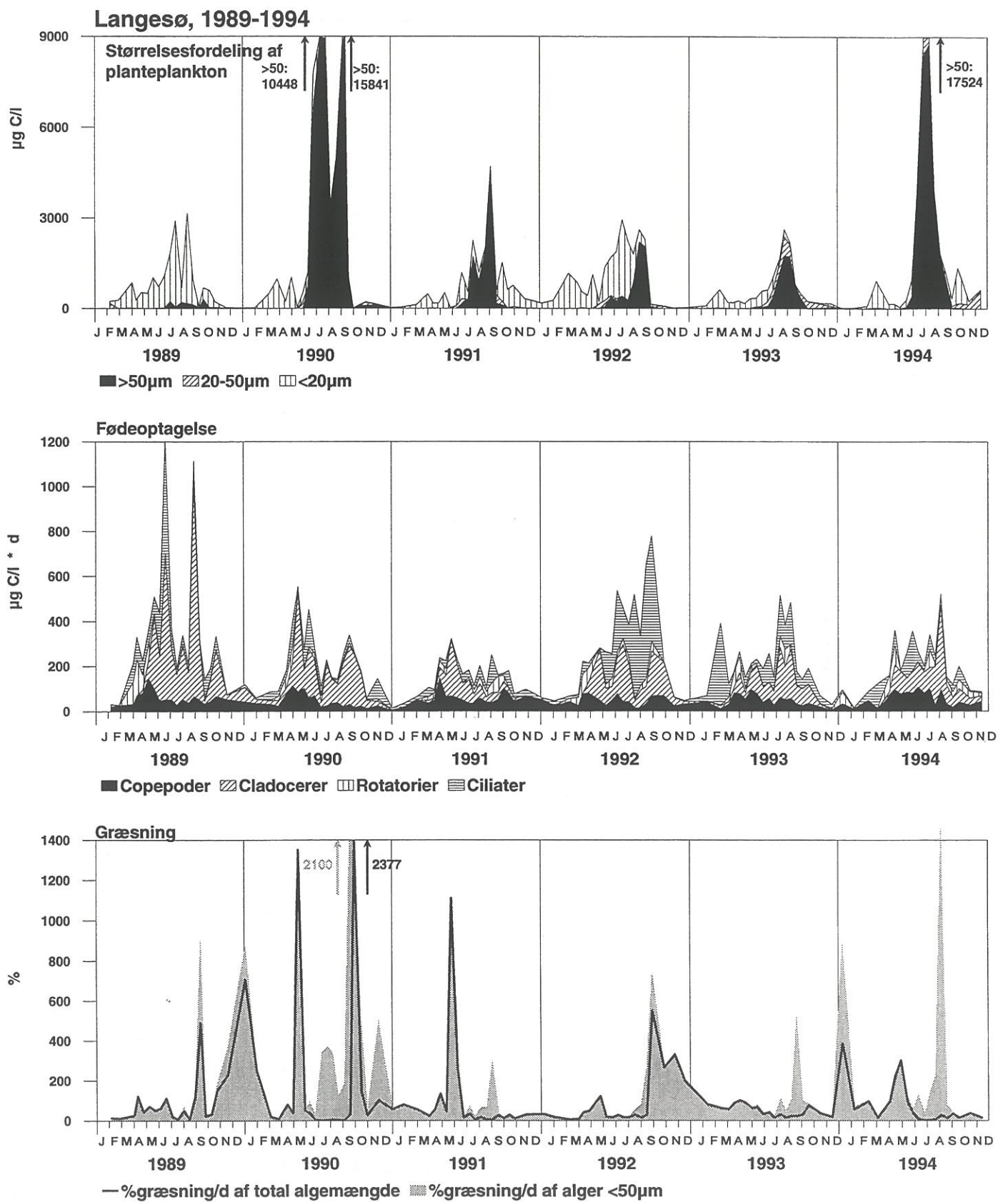
Græsning og prædation

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

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

I nærings- og fiskerige søer ses ofte, at dyreplanktonædende fisk er i stand til næsten at "udrydde" de store dyreplanktonarter, f.eks. *Leptodora kindtii* og arter af *Daphnia*. Dette vil specielt være tilfældet i perioder, hvor der er klækket en ny generation af fiskeyngel i søen. Blandt fiskene er det især skalle og små brasen, som lever af dyreplankton. Skaller lever imidlertid også af bundlevende smådyr, mens større brasen hovedsageligt foretrækker bunddyr, men kan stadigvæk æde dyreplankton.

Aborrer har ligeledes betydning for mængden af dyreplankton, idet de især som små lever af disse organismer. Større aborrer lever derimod af mindre fisk og bunddyr. Netop de tre nævnte fiskearter udgør en meget betydelig del af



Figur 6.2.3

Størrelsesfordeling af planteplanktonet og fødeoptagelse hos dyreplanktonet, samt % græsning pr. dag af totale algebiomasse og % græsning per dag af små alger $<50\mu\text{m}$. Algebiomasse er omregnet til kulstofenheder under antagelse af, at algerne har et 67 kulstofindhold på 11% (for furealger med panser dog 13%) af vådvægten.

fiskebestanden i Langesø (se afsnit 6.3 og Mohr-Markmann, 1995).

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

Græsning.

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

I 1994 varierede dyreplanktonets fødeoptagelse fra minimum 16 $\mu\text{g C/l dg}$ (februar) til maksimum 521 $\mu\text{g C/l dg}$ (september) (se figur 6.2.3). Fødeoptagelsen var i gennemsnit for sommerperioden 273 $\mu\text{g C/l dg}$, hvilket er af samme størrelse som gennemsnittet i 1990 og 1993 (henholdsvis 282 og 269 $\mu\text{g C/l dg}$). Der var en betydelig større fødeoptagelse i 1989 og 1992, hvor den som gennemsnit for sommerperioden var henholdsvis 478 og 406 $\mu\text{g C/l dg}$. Derimod var den mindre i 1991 (196 $\mu\text{g/l}$).

Udenlandske og danske undersøgelser har vist, at rotatorier og krebsdyr i dyreplanktonet er afhængige af, at fødepartiklerne i søvandet har en passende størrelse. Generelt synes partikler mindre end 50 μm således at være de bedste fødeemner for dyreplanktonet som helhed (se f.eks. Bosselmann og Riemann, 1986 og Hansen m.fl., 1992).

Store alger, som trådformede eller kolonidannende blågrønalger, må således anses for dårlige fødeemner for dyrene. Selvom små kolonier og tråde af blågrønalger, samt større kolonier og tråde af disse alger (spises af nogle dyr "i småbidder") kan fungere som føde for visse dyreplanktonarter, formodes fødekvaliteten af blågrønalger generelt at være ringe. Dette skyldes, dels at dyrenes udnyttelse af denne føde er relativt dårlig, dels at blågrønalgerne i mange tilfælde udskiller kemiske stoffer, som er giftige for dyrene (se f.eks. Fulton, 1988, Fulton og Paerl, 1987, Fulton og Paerl, 1988).

I figur 6.2.3 er angivet græsning som forholdet mellem den beregnede fødeoptagelse hos dyreplanktonet og den totale algemængde, henholdsvis alger mindre end 50 μm , som er den normalt spiselige andel, for 1989-1994.

Som "tommelfingerregel" gælder, at dyreplanktonet er i stand til at regulere algemængden, når dyrene dagligt spiser mere end halvdelen af planteplanktonbiomassen i søvandet.

Heraf ses, at dyreplanktonet i 1994 formentlig havde en væsentlig begrænsende effekt på mængden af planteplankton mindre end 50 μm , i stort set hele perioden fra årets begyndelse til august. Især var græsningstrykket stort i januar, april/maj og august/september. Frem til juli bestod planteplanktonbiomassen overvejende

af små planktonformer og dyreplanktonet havde formodentlig væsentligt indflydelse på regulering af den samlede planteplanktonbiomasse.

I juli dominerede store planktonformer som blågrønalger og furealger (>50 µm). Dyreplanktonets græsning havde i denne periode antagelig kun lidt indflydelse på algevæksten. Græsningen på alger mindre end 50 µm var meget stor og dyreplanktonet sultede formodentlig i denne periode. Der skete også et fald i dyreplanktonbiomassen. Algearter mindre end 50 µm udgjorde kun 7% af den samlede biomasse i denne periode. Dyreplanktonbiomassen steg dog igen for at toppe for året i september, samtidig med, at der var ved at ske et skift i algesammensætningen til dominans af kiselalger.

I alle 6 år har dyreplanktonet kun i spredte perioder af året formået at begrænse den samlede planktonalge mængde, da en stor del af planteplanktonet i Langesø ofte består af store former (især blågrønalger). Karakteristisk er det endvidere, at det fortrinsvis var i perioder (sommerhalvåret og den produktive periode) med i forvejen lavt indhold af opløst organisk- fosfor eller kvælstof i søvandet, at dyreplanktonet kunne holde planteplanktonmængden nede.

Prædation

Fisk, som lever af dyreplankton, spiser fortrinsvis de større former af calanoide copepoder og cladocerer i søvandet. I søer, hvor fiskenes prædation på dyreplanktonet er meget stor, vil mindre dyreplanktonformer derfor typisk blive dominerende. Effekten af fiskene ses særlig tydeligt i søer, hvor der forekommer meget betydelige ændringer i fiskebestandens sammensætning fra år til år.

Den gennemsnitlige længde og volumen af samtlige større dyreplanktonarter (cladocerer) i søvandet i Langesø i 1989-1994 fremgår af figur 6.2.4.

Endvidere er beregnet det totale antal individer af *Daphnia* mod det totale antal individer af cladocerer (**Cladocer-indeks**) for hver prøvetagning i 1989-1994 (fig. 6.2.4).

Såfremt der er en kraftig prædation på dyreplanktonet, vil det som nævnt forventes, at gennemsnitslængden af samtlige cladocerer og cladocer-indekset vil falde. Typisk vil der i juni-juli kunne være en kraftig prædation på dyreplanktonet fra yngel af fredfisk (bl.a. skalle og brasen), som netop på det tidspunkt overstår deres larvestadie og begynder at anvende dyreplankton som fødeemne.

I 1994 var et tydeligt fald i cladocerernes middellængde i marts/april. I denne periode forsvandt *D. cucullata* næsten fra søen, og der forekom kun små cladocer-arter, især snabel-dafnien *Bosmina longirostris*. Herefter steg middellængden atter i takt med, at der var ny opvækst af *D. cucullata*.

Årsagen til faldet i middellængden syntes umiddelbart ikke kunne forklares ud fra prædation fra fisk, men er snarere mangel på egnede fødeemner til de større dyreplankton-arter. Et nyt fald i middellængden skete i juni/juli måneder. Endvidere skete der et fald i middellængden af *D. cucullata*, som var ganske

talrig i hele perioden. Dette kunne være forårsaget af fiskenes prædation. Netop i denne periode sker der typisk en kraftig prædation på dyreplanktonet fra disse. I samme periode forekom der imidlertid også et skifte i algesammensætningen til store algeformer (blågrønalger og furealger), således at også fødemangel kan have påvirket størrelsesfordelingen hos dyreplanktonet. Således var græsningen på mindre algeformer (fig. 6.2.3) i denne periode meget stor (1400%). Dette kunne således tyde på, at dyreplanktonet sultede, hvormed både deres antal og længde påvirkes i negativ retning (Hansen, 1992).

For de øvrige år ses ligeledes et mere eller mindre tydeligt fald i cladocerernes middellængde i marts/april og juni-august måneder.

Cladocer-indekset i 1994 fulgte i det store hele samme mønster som ændringerne i cladocerernes middellængde (fig. 6.2.4). Ændringerne i marts/april og juni/juli er dog blot betydelig mere markante. Udover ændringerne i middellængden, sker således også et betydeligt fald i antallet af dafnier i forhold til det samlede antal cladocerer.

I 1989-1990 har der ikke været et enkelt entydigt mønster i cladocer-indekset. Derimod udviste cladocer-indekset i 1991-1994 et mere fast mønster og ligesom for biomassen af cladocernerne (figur 6.2.3) ses et dyk i juli-august måneder.

Dette sker ofte, som før omtalt, sammenfaldende med et skifte i algesammensætningen, hvor der har været opvækst (og dominans) af store planktonalgeformer (blågrønalger i 1991 og 1993 og blågrønalger+furealger i 1992 og 1994), som herved medfører et ringere fødegrundlag for dyreplanktonet.

Det er således svært at henhøre disse ændringer i dyreplanktonet alene som udslag af prædation fra fisk, selvom dyreplanktonædende yngel typisk findes, når ændringerne sker.

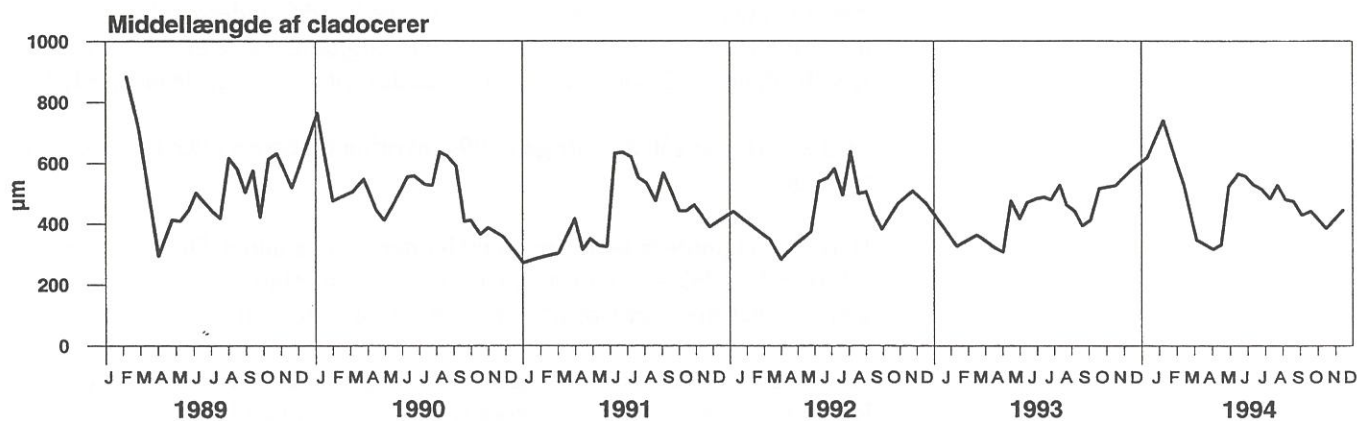
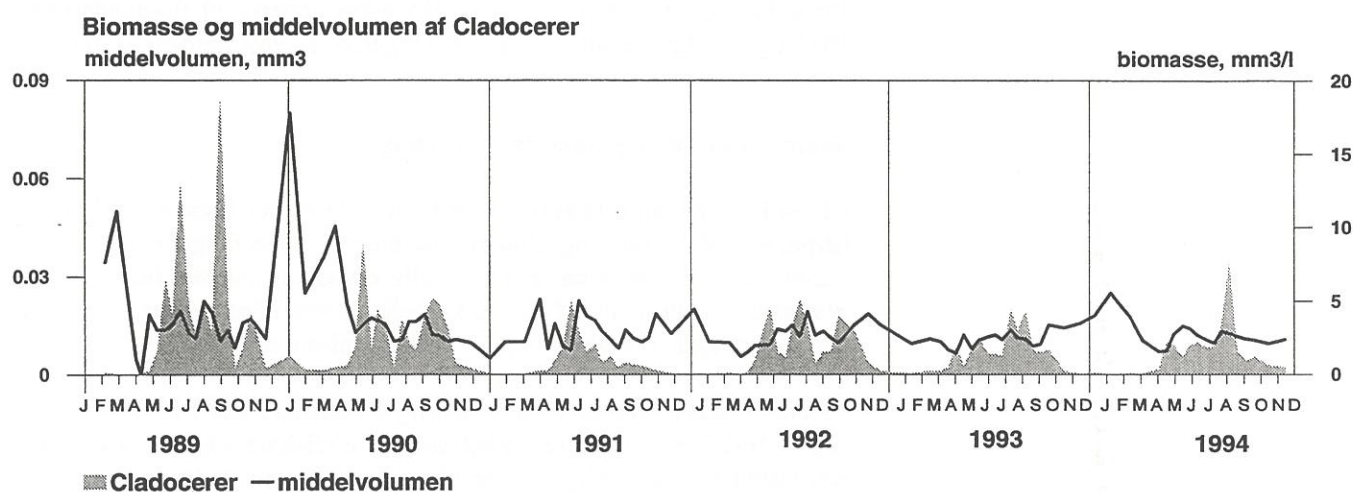
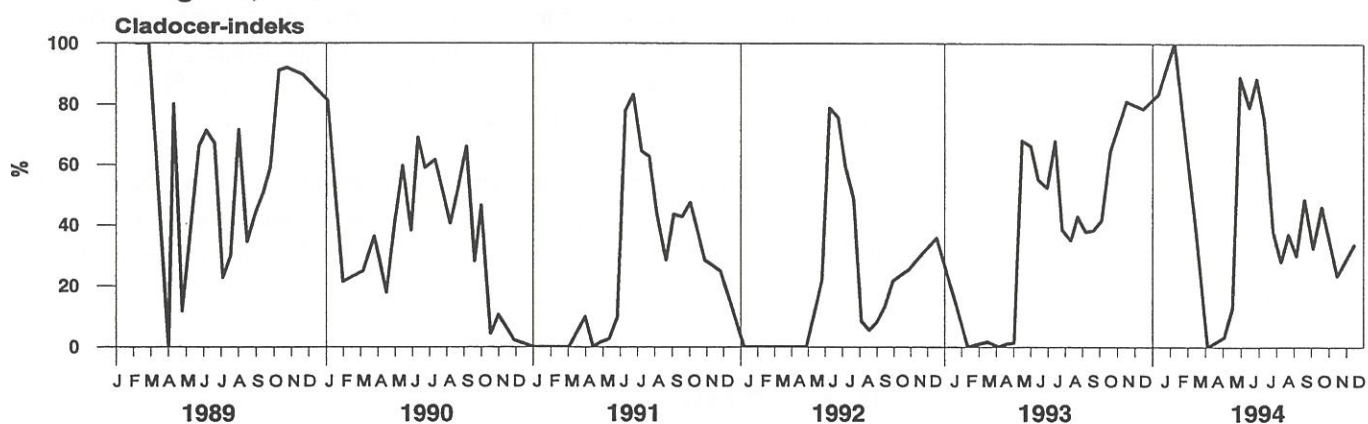
Det kan ikke udelukkes, at der er sket væsentlige ændringer i fiskebestanden i Langesø i perioden 1989-1994. Således blev der i 1990 konstateret fiskedød i starten af juni, midt i august og i starten af september. Det er dog uvist, i hvilket omfang små dyreplanktonædende fisk var berørt af fiskedøden, samt hvor mange fisk der reelt var gået til i de enkelte perioder.

Endvidere kan den ofte ret dårlige vandkvalitet i søen have indflydelse på mængden af fiskeæg, som overlever og dermed udvikler sig til fiskeyngel det pågældende år.

Såfremt der i et år har været fiskedød, og denne også har omfattet samme års fiskeyngel, eller hvis der bare har været en ringe produktion af fiskeyngel, vil der kunne forventes en formindsket prædation på dyreplanktonet om sommeren samme år. Derimod vil effekten på dyreplanktonet, hvis kun voksne fisk har været berørt af fiskedød, først kunne forventes i de efterfølgende år.

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

Langesø, 1989-1994



Figur 6.2.4
Cladocer-indeks samt middelvolumen, biomasse og gennemsnitslige individstørrelse af cladocerer i Langesø, 1989-1994.

Sammenfattende er der dog ingen tvivl om, at fiskenes prædation på dyreplanktonet har haft stor betydning for de ændringer, der har været i dyreplanktonets sammensætning siden 1989 og særligt efter 1990, hvor den store dafnie *D. galeata* næsten forsvandt.

Således medvirkende til disse ændringer kan netop være den betydelig fiskedød, der optrådte i 1990, som muligvis har reduceret rovfiskenes antal og derved deres mulighed for (i et vist omfang) at begrænse de planktonædende fredfisks antal.

6.3 Fisk

Fiskebestanden i Langesø er for årene 1989 og 1994 beskrevet i detaljer af Mohr-Markmann (1992 og 1995). Hovedresultaterne af fiskeundersøgelsen i 1994 og udvalgte resultater fra undersøgelsen i 1989 fremgår af det følgende.

Sammensætning og størrelsesfordeling

I 1994 blev der ialt fundet 9 fiskearter, nemlig gedde, brasen, rudskalle, skalle, karpe, ål, aborre, hork og sandart. Der blev desuden fanget et begrænset antal brasen-skaller, som er en ret almindelig krydsning mellem brasen og skalle i søer med tætte bestande af disse 2 karpesfiskearter. Pånær karpe, blev disse arter alle fundet også ved den tidligere undersøgelse i søen i 1989.

Sandartbestanden hidrører formodentlig fra udsætninger i 1978. Karperne kan hidrøre fra udsætninger foretaget af søens sportsfiskere i slutningen af 1980'erne, men stammer mest sandsynligt fra udsætninger foretaget i foråret 1994 af Morud sportsfiskerforening.

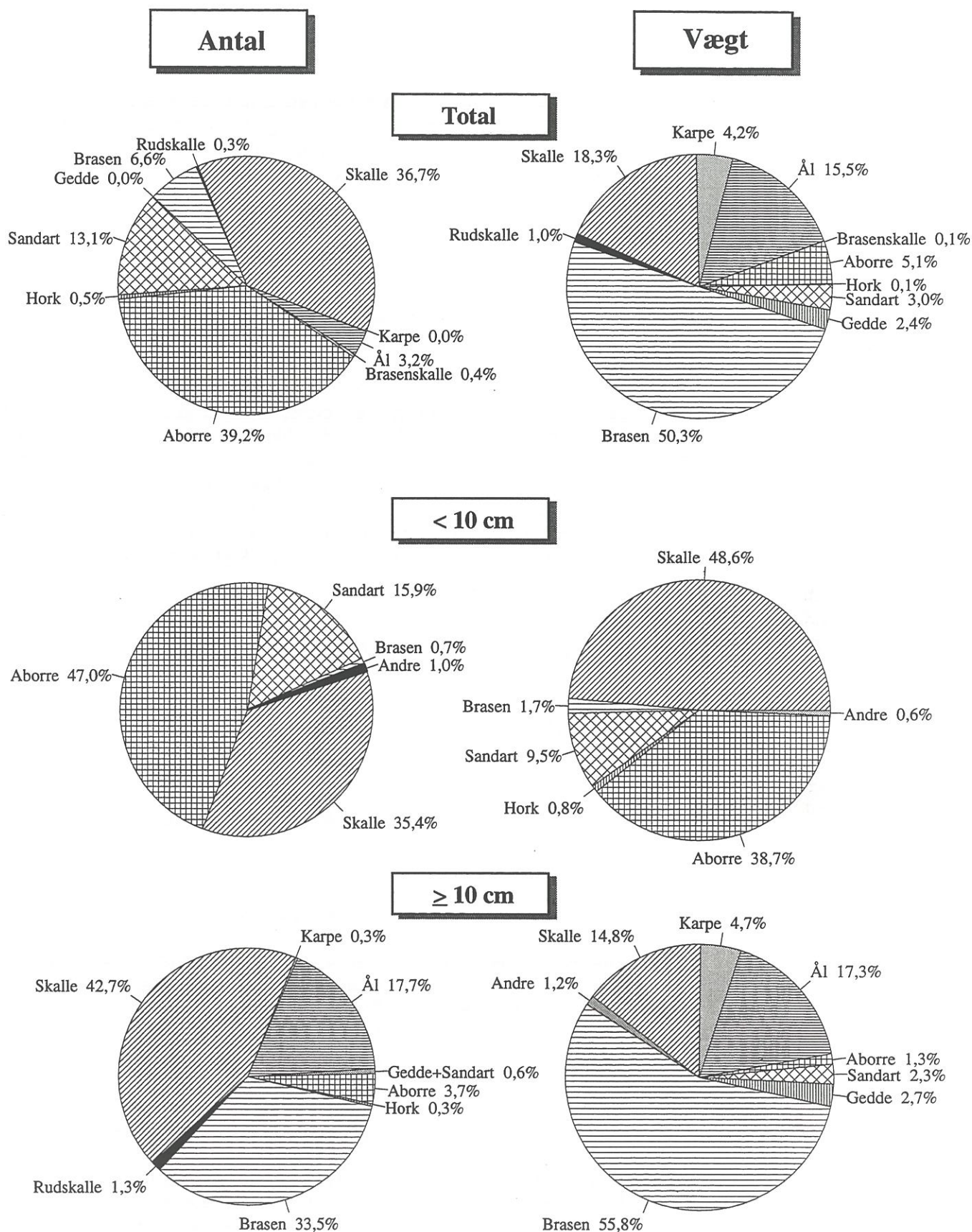
Aborre, brasen og skalle var, ligesom ved 1989-undersøgelsen, søens alt-dominerende fiskearter. Aborre og skalle udgjorde 76 % af det samlede antal fisk (henholdsvis 39 og 37%), og var således antalsmæssigt de mest betydende.

Små aborrer var således talrige i 1994, hvorimod aborrer over 10 cm var meget fåtallige.

Derimod udgjorde brasen vægtmæssigt den største andel. De udgjorde således lidt over halvdelen af fangsten, som følge af en relativ stor gennemsnitsvægt, idet de antalsmæssigt kun udgjorde ca. 7% af fangsten.

Der var en ret stor bestand af sandart, som dog var domineret af yngre årgange, især årets yngel. Således var store sandart relativt fåtallige.

Geddebestanden var, trods udsætninger af ca. 1500 stk. geddeyngel i såvel 1993 som 1994, meget fåtallig. Overlevelsen af de udsatte yngel må tilsyneladende have været lille. Årsagen hertil kan være manglende egnede standpladser i søen, og som følge heraf er de blevet ædt af større gedder og sandart. Sandart formodes ikke at udgøre nogen betydende fødekonzurrent til gedderne. Dertil var udbuddet af fødeemner, i form af småaborrer og især småskaller, for stort.



Figur 6.3.1
Oversigt over antals- og vægtfordelingen af arter i den samlede fangst ved fiskeundersøgelsen i Langesø, 1994.

Ålebestanden i Langesø Sø syntes at være god. Dette er sandsynligvis resultat af åleudsætninger i søen gennem adskillige år. Opgangsforholdene gennem Stavidsåens vandsystem skønnes at være ret vanskelige for ål. Endvidere giver afløbsbygværket ved søen og den indbyggede ålekiste næsten umulige passageforhold for ålene.

Fiskebestandens samlede størrelse

Mohr-Markmann (1995) skønnede den samlede fiskebestand i Langesø til ca. 15 tons (9 tons i 1989), hvoraf ca. 30 % (15% i 1989) bestod af små fisk under 10 cm.

Set i forhold til søoverfladen var biomassetætheden af fisk ≥ 10 cm og < 10 cm henholdsvis ca. 25 og 63 g/m². Disse biomassetætheder er de største blandt gennemsnittet for danske søer (Helmgaard og Müller, 1992). De er ca. 70 % større end dem, der blev beregnet for Langesø i 1989, og næsten lige så meget over værdierne for andre fosforrige danske søer. De beregnede biomasser bør dog tages med ganske betydelige forbehold, særligt da søens dårlige iltforhold i de mellemste og nederste vandmasser i undersøgelsesperioden havde fortrængt fiskene til de øvre vandmasser.

Ændringer af fiskebestanden fra 1989 til 1994

Det fremgår, at de små (< 10 cm) fisks andel af den samlede fangst er blevet omtrent fordoblet fra 1989 til 1994 (fra 46 til 82%).

På vægtbasis var småfiskenes andel 10% af den samlede fangst i 1994, hvilket er næsten 4 gange så meget som i forhold til 1989. Der blev således i 1994 fanget relativt flere småfisk af de tilstedeværende arter end i 1989 - især skalle, sandart og aborre.

Indeks for artsdiversitet, rovfisk og skidtfisk

Artsdiversitetsindekset, I_a , der er et mål for antallet af fiskearter, som har vægtmæssig betydning, er for Langesø beregnet til 0,32 i 1994 (se tabel 6.3.1). Indekset, som ligger mellem 0 og 1, er højt for søer, hvor den tilgængelige fiskeføde hovedsagelig udnyttes af én art, og lavt for søer, hvor mange arter er fælles om at skulle dele føde.

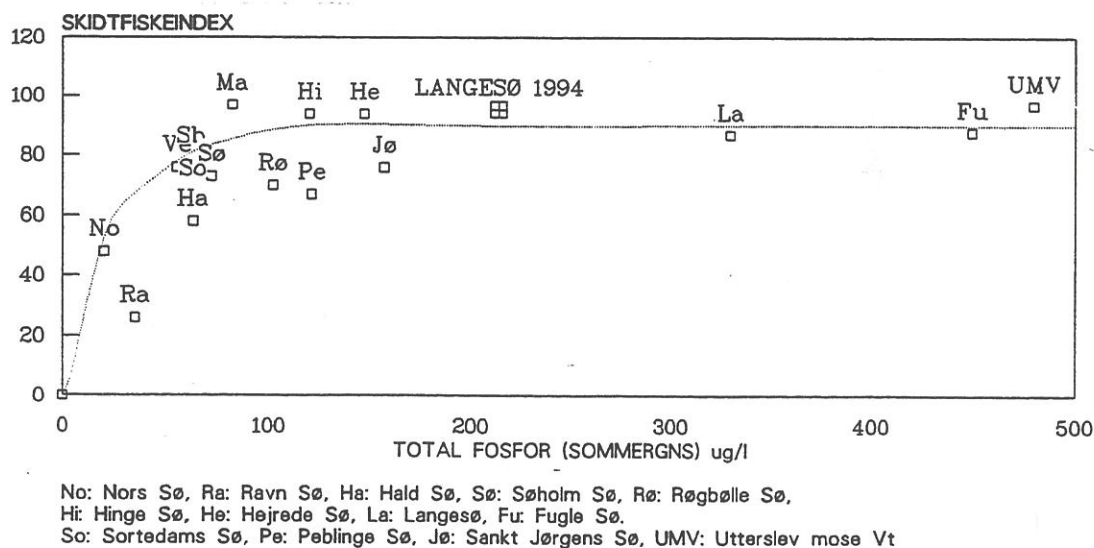
Indekset i 1994 er forholdsvist lavt og lavere end i 1989. Sammenlignet med en række andre danske søer ligger den i den nedre ende (se tabel 6.3.1).

Rovfiskeindekset, I_r , der varierer mellem 0 og 1, angiver rovfiskenes andel af den samlede biomasse af store fisk (≥ 10 cm). Høje værdier af indekset er karakteristiske for rene søer, mens lave kendetegner meget næringsstofbelastede søer. Indekset i Langesø var i 1994 meget lavt og lavere end i 1989. For de søer, hvor der er beregnet et rovfiskeindeks, er Langesø det hidtil mindste (tabel 6.3.1).

Oversigt over beregnet artsdiversitetsindeks (I_a) og rovfiskeindeks (I_r) for fiskebestanden i Langesø, samt andre danske søer (Mohr-Markmann, 1995).

Lokalitet	I _a	I _r
Søbo Sø, 1993	0,21	-
Vedsted Sø, 1994	0,21	0,41
Røgbølle Sø,	0,22	0,36
Søholm Sø, 1993	0,22	0,38
Ørn Sø, 1988	0,22	-
Hejrede Sø, 1989	0,23	0,28
Fugle Sø, 1990	0,24	0,29
Hinge Sø, 1988	0,25	0,08
Ravn Sø, 1988	0,27	-
Langesø, 1994	0,32	0,06
Sortedams Sø, 1992	0,33	0,24
Sankt Jørgens Sø, 1992	0,35	0,24
Langesø, 1989	0,38	0,09
Nørre Sø, 1988	0,43	-
Pebbling Sø, 1992	0,49	0,31

Indekset var i Langesø i 1994 0,96 mod 0,90 i 1989. Dette er forholdsvis højt, men er i god overensstemmelse med søens fosforniveau (se figur 6.3.2).



Sammenhæng mellem skidtfisk-indeks og det gennemsnitlige indhold af total-fosfor i sommerperioden i en række danske søer. Kurven gennem punkterne angiver den almindelige anerkendte empiriske sammenhæng (efter Mohr-Markmann, 1995).

Sammenfattende må fiskebestanden i Langesø i dag, ligesom ved 1989-undersøgelsen karakteriseres som en brasen-skalle-småaborre-bestand af den type, som er karakteristisk for de fleste meget fosforrige søer. Samtidig er der tale om en fiskebestand med meget begrænset forekomst af karakteristiske bredzonefisk som rudskalle, karuds og suder.

Overvejelser om bestandspleje

En opfiskning af en betydelig del af Langesøs brasen, skalle og aborrebestand vurderes kun i ringe omfang at give en bedre miljømæssig tilstand i søen. Prædationen på dyreplanktonet vil med dette indgreb uden tvivl falde, men da både den eksterne og interne belastning af søen med fosfor stadigvæk er stor, vil der stadigvæk vil forekomme hyppige opblomstringer af store algeformer (herunder blågrønalger), som dyreplanktonet ikke umiddelbart vil kunne nedgræsse.

7. Udvikling i søens miljøtilstand

Oplysninger om den tidligere udvikling i Langesø er forholdsvis fåtallige (se Fyns Amt, 1994 og oversigt i bilag 11).

De første konkrete oplysninger fra søen stammer fra 1927, hvor der blev foretaget en orienterende fiskeundersøgelse i søen. Her blev der konstateret en rig undervandsvegetation (Otterstrøm, 1927).

Det er dog klart, at der efter 1927 er sket en forringelse i søens miljøtilstand med bl.a. en kraftig tilbagegang i undervandsvegetationen, som i perioder muligvis har været helt forsvundet. På baggrund af eksisterende oplysninger om søen er det ikke muligt med sikkerhed at fastslå, hvornår søen har fået det dårligere, og om denne ændring er sket gradvist eller over kort tid.

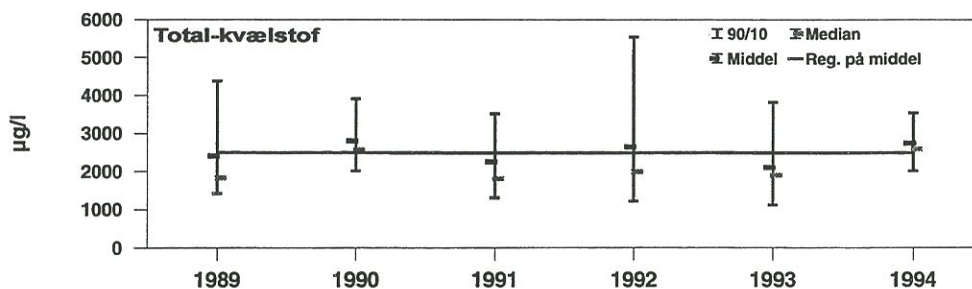
I det følgende foretages en beskrivelse af udviklingen i søens tilstand i 1989-1994, ligesom det vurderes, hvordan tilstanden vil udvikle sig fremover, hvis den eksterne næringsstofbelastning reduceres mest muligt. Det er således målet ifølge Regionplan 1993-2005, at søen atter skal opnå en tilstand, hvor vandet er så klart, at der kan forekomme en rig og veludviklet undervandsvegetation i bredzonen.

7.1 Udvikling i 1989-1994

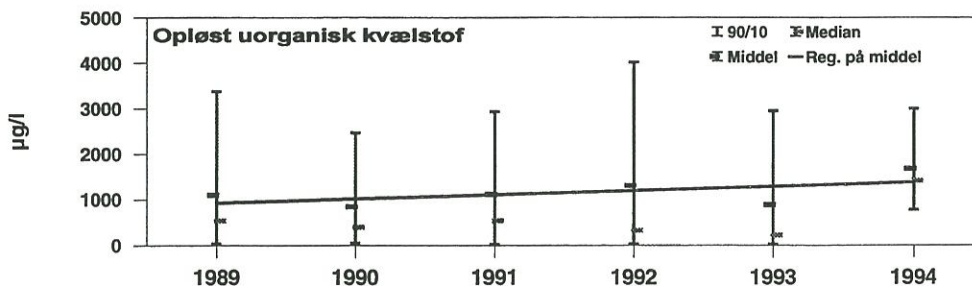
Udviklingen i sigtddybde, samt overfladevandets indhold af kvælstof, fosfor, planteplankton (herunder af blågrønalger), dyreplankton (herunder *Daphnia*) og dyreplanktonets græsningstryk på små alger ($< 50 \mu\text{m}$) er angivet i figur 7.1.1-7.1.12 for sommerperioden (1.5.-30.9.) 1989-1994. Der er angivet tidsvægtede gennemsnits- (undtaget for græsningstryk) og medianværdier af sommermålingerne, samt 10-90 % fraktiler (d.v.s., at de beregnede dagsværdier i 80 % af tiden ligger inden for det angivne interval).

Der er i det følgende foretaget en forsigtig vurdering af, om der i denne 6-årsperiode er sket signifikante ændringer i de fysisk-kemiske og biologiske forhold i søen (se tabel 7.1.1). Vurderingen er foretaget på grundlag af en lineær regression på de tidsvægtede middel- og medianværdier. Nulhypotesen er, at ændringer gennem perioden skyldes tilfældigheder. Er sandsynligheden herfor 0,10 eller derover, accepteres nulhypotesen. Er sandsynligheden under 0,10 forkastes nulhypotesen, og ændringen gennem perioden anses for statistisk sikker (signifikant). Det relativt høje signifikans-niveau er valgt, fordi tidsserien er meget kort. Der vil derfor ofte kun være tale om **udviklingstendenser**.

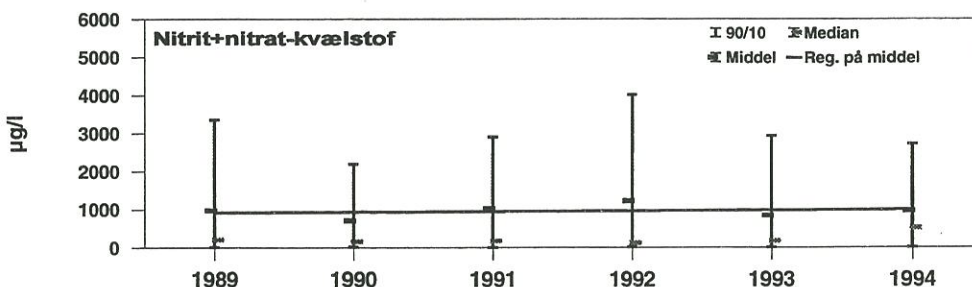
Figur 7.1.1
Total-kvælstof - middel og median
værdier, samt 10% og 90% fraktiler
i sommerperioden i Langesø
1989-94.



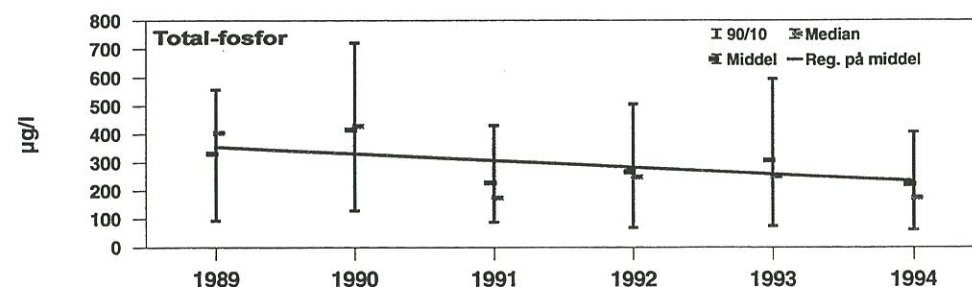
Figur 7.1.2
Opløst uorganisk kvælstof - middel
og median værdier, samt 10% og
90% fraktiler i sommerperioden i
Langesø 1989-94.



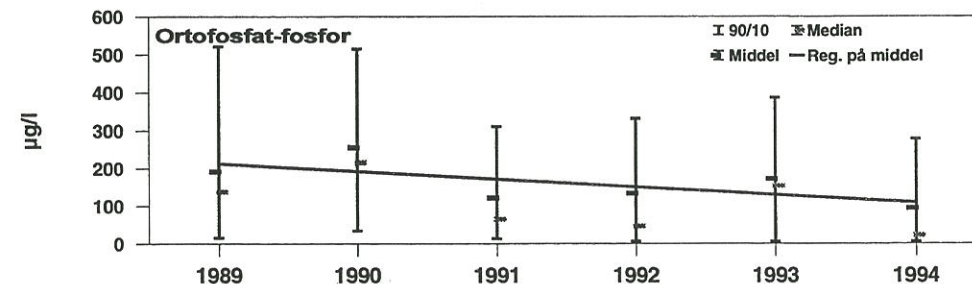
Figur 7.1.3
Nitrit+nitrat-kvælstof - middel og
median værdier, samt 10% og 90%-
fraktiler i sommerperioden i Langesø
1989-94.



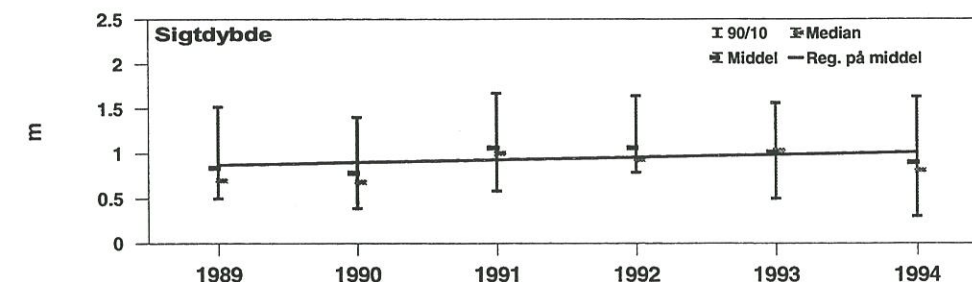
Figur 7.1.4
Total-fosfor - middel og median
værdier, samt 10% og 90% fraktiler i
sommerperioden i Langesø,
1989-1994.



Figur 7.1.5
Ortofosfat-fosfor - middel og median
værdier, samt 10% og 90% fraktiler i
sommerperioden i Langesø 1989-94.

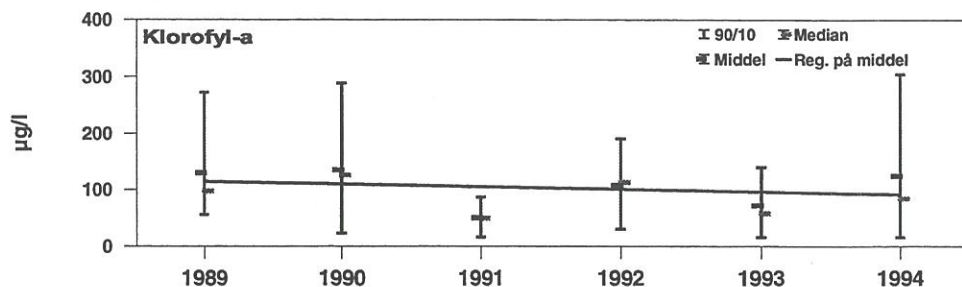


Figur 7.1.6
Sigtdybde - middel og median
værdier, samt 10% og 90% fraktiler i
sommerperioden i Langesø 1989-94.



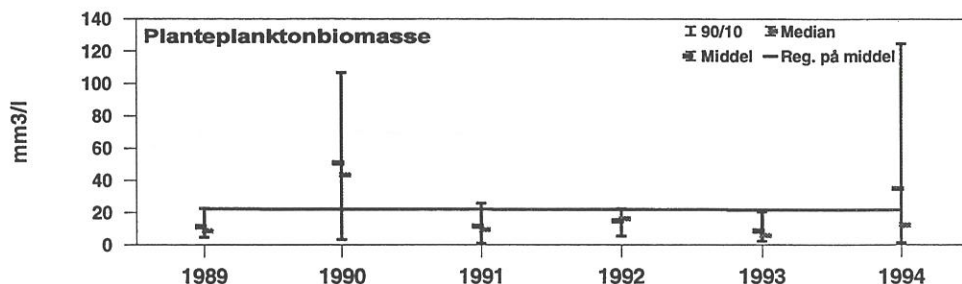
Figur 7.1.7

Klorofyl-a - middel og median værdier, samt 10% og 90% fraktiler i sommerperioden i Langesø 1989-94.



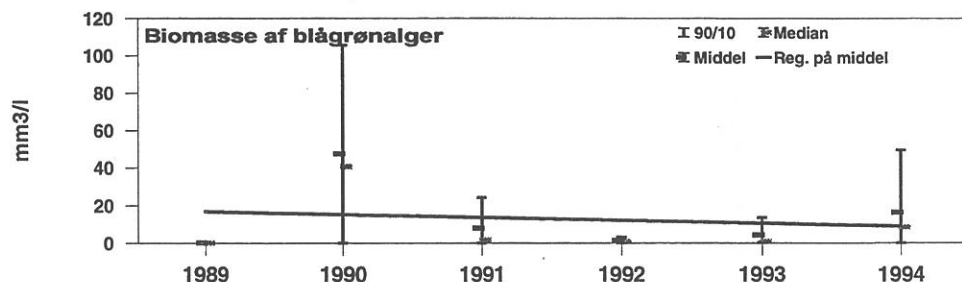
Figur 7.1.8

Planteplanktonbiomasse - middel og median værdier, samt 10% og 90% fraktiler i sommerperioden i Langesø 1989-94.



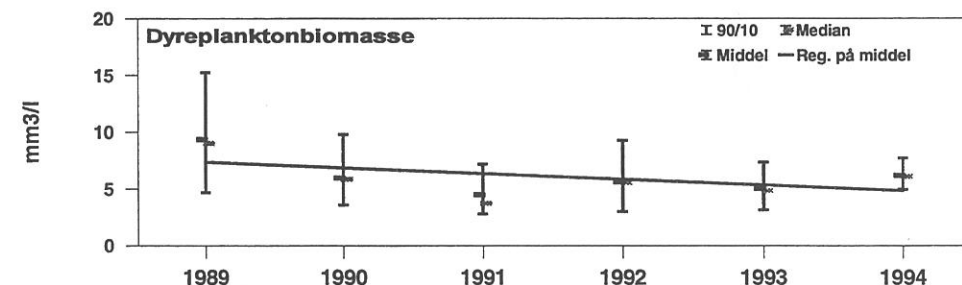
Figur 7.1.9

Biomasse af blågrønalger - middel og median værdier, samt 10% og 90% fraktiler i sommerperioden i Langesø 1989-94.



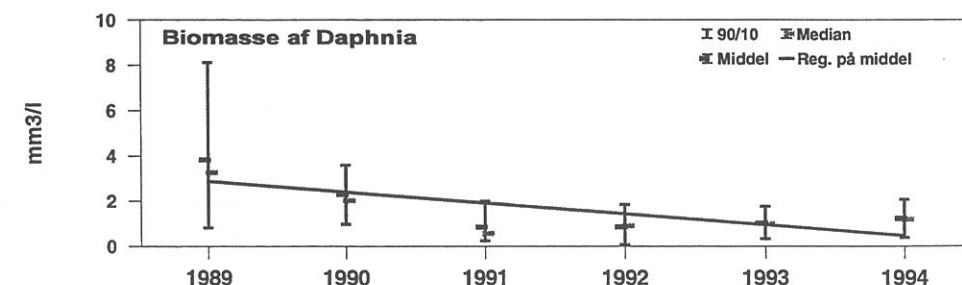
Figur 7.1.10

Dyreplanktonbiomasse - middel og median værdier, samt 10% og 90% fraktiler i sommerperioden i Langesø 1989-94.



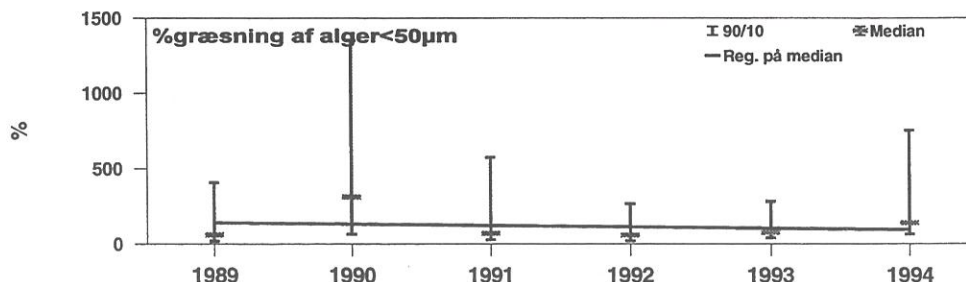
Figur 7.1.11

Biomasse af Daphnia - middel og median værdier, samt 10% og 90% fraktiler i sommerperioden i Langesø 1989-94.



Figur 7.1.12

%græsning/d af alger < 50µm - median værdier, samt 10% og 90% fraktiler i sommerperioden i Langesø 1989-94.



Tabel 7.1.1

Oversigt over fundne udviklingstendenser i Langesø i sommerperioden, 1989-1994 (testet på middel- og medianværdier). Stigningen (angivet som +) eller faldet (angivet som -) vurderes at være signifikant, når P er mindre end 0,10. Et 0 eller () angiver henholdsvis ingen eller en P-værdi kun lidt over signifikansgrænsen. En høj r^2 angiver, at der er en nær sammenhæng mellem miljøindikatoren og tiden.

Indikator for miljøtilstand	Tendens for middel/median	r^2	P
Sigtdybde	0/0	0,44/0,54	0,38/0,27
Total-kvælstof	0/0	0,00/0,29	0,98/0,58
Opløst uorg. kvælstof	0/0	0,05/0,03	0,93/0,95
(Nitrat+nitrit)-kvælstof	0/0	0,17/0,57	0,76/0,24
Total-fosfor	(-)/-	0,61/0,78	0,19/0,07
Opløst uorg. fosfor	(-)/(-)	0,67/0,57	0,14/0,24
Klorofyl-a	0/0	0,24/0,36	0,63/0,48
Planteplanktonbiomasse (vol.)	0/0	0,01/0,34	0,97/0,51
Blågrønalgbiomasse (vol.)	0/0	0,16/0,26	0,75/0,62
Dyreplanktonbiomasse (vol.)	0/0	0,55/0,48	0,25/0,33
<i>Daphnia</i> -biomasse (vol.)	-/(-)	0,76/0,71	0,08/0,11
Græsningstryk, < 50 μm (%)	/0	/0,17	/0,73

Det fremgår heraf, at der i sommerperioden 1989-1994 ikke er sket nogen væsentlige ændringer i søens tilstand. Total-fosfor synes dog at udvise en svag faldende tendens. Af figur 7.1.4 fremgår det, at der ikke er sket et jævnt fald i fosfor-indholdet, men snarere et spring ned på et lavere niveau efter 1989-1990. Tilsvarende billede ses for biomassen af *Daphnia*.

7.2 Fremtidig udvikling

Hvis målsætningen i Regionplan 1993-2005 for Langesø skal opfyldes, indebærer det frem for alt, at middelsigtdybden i sommerperioden bliver mindst 1,5-2,0 m, og at søen ligesom tidligere i dette århundrede igen får veludviklede bevoksninger af rankegrøde, samt at der ikke forekommer massive opblomstringer af enkelte algegrupper. Endelig skal fiskebestanden have en "sund" arts- og alderssammensætning, med balance mellem fredfisk (skaller, brasen m.fl.) og rovfisk (gedder og store aborrer).

Dette kræver først og fremmest, at søvandets fosforindhold reduceres væsentligt, således at fosfor i højere grad end nu bliver begrænsende for planteplanktonets vækst, og at kvælstofindholdet samtidig yderligere reduceres for at få en mere varieret algesammensætning.

Hertil skal den kulturbetingede belastning af fosfor, som i dag udgør ca. 70 % af den samlede fosforbelastning, reduceres betydeligt.

Den kulturbetingede belastning udgøres af både bidraget fra de dyrkede arealer og den spredte bebyggelse. Den relative fordeling mellem disse to belastningskilder er ikke kendt. Ved forskellige beregningsforudsætninger kan bidraget fra den spredte bebyggelse dog skønnes at være 15-40% af den samlede belastning. Dette svarer til 82-164 kg (se afsnit 3.3).

Sammenhæng mellem fosfortilførsel og sigtddybde

Til vurdering af, hvor klart søvandet vil blive ved et givet fosforindhold, er der af Kristensen, Jensen & Jeppesen (1990) og Kristensen m.fl. (1991) opstillet følgende sammenhænge mellem søvandets indhold af fosfor (total-fosfor) og sommersigtddybden:

$$\text{Model 1 Sigtdybde (m)} = 0,34 (P)_{so}^{-0,29} z^{0,55}$$

$$\text{Model 2 Sigtdybde (m)} = 0,25 (P)_{so}^{-0,61} z^{0,25},$$

hvor $(P)_{so}$ er søvandets årsmiddelkoncentration af total-fosfor (mg/l) og z søens middeldybde (m). Sigtdybdemodell 1 er opstillet på baggrund af resultater fra et stort antal danske søer, herunder flere nationale overvågningssøer, medens sigtdybdemodell 2 er opstillet for de 37 danske nationale overvågningssøer i 1989-1990. Her er grundlaget for sigtdybdemodell 2 et langt større antal målinger i den enkelte sø, end tilfældet er for sigtdybdemodell 1.

Kristensen m.fl. (1991) vurderer, at sigtdybdemodell 2 rimelig godt beskriver den målte middelsigtddybde i de nationale overvågningssøer, om end med betydelig variation. En tilsvarende variation findes også ved anvendelse af sigtdybdemodell 1.

I Langesø beskriver sigtdybdemodell 2 de faktisk målte sommermiddelsigtddybder relativt dårligt i perioden 1989-1994, idet de beregnede værdier er 8-26% mindre end de målte (tabel 7.2.1).

Derimod er der for sigtdybdemodell 1 en generel god overensstemmelse mellem beregnede og målte sommermiddelsigtddybder i Langesø i 1989-1994.

Tabel 7.2.1.

Sammenligning mellem målte og beregnede middelsigtddybder i Langesø for sommerperioden (1.5.-30.9.), 1989-1994. Se i øvrigt teksten for en nærmere forklaring.

År	$(P)_{so}$ målt mg/l	Sigtdybde- målt m	Sigtdybde beregnet			
			Model 1		Model 2	
			m	% afv.	m	% afv.
1989	0,325	0,84	0,88	4	0,66	-22
1990	0,332	0,78	0,87	12	0,65	-17
1991	0,212	1,06	0,99	-6	0,85	-19
1992	0,246	1,06	0,95	-10	0,78	-26
1993	0,222	1,01	0,98	-3	0,83	-18
1994	0,221	0,90	0,98	9	0,83	-8

Middeldybden, z : 3,1 m

Selvom sigtdybdemodell 2 således kun relativt dårligt har været i stand til at forudsige middelsigtddybden i 1989-1994, vil det formodentlig alligevel være rimeligt, at anvende modellen til en vurdering af mulighederne for at forbedre søens miljøtilstand.

Denne model har således en langt større "følsomhed" over for ændringer i søvandets fosforindhold end sigtdybdemodell 1 (sigtdybden forøges "hurtigere" med faldende fosforindhold i modell 2 end i modell 1), specielt ved relativt lave

Når fiskene bortspiser dyreplanktonet, vil de ikke i væsentlig omfang kunne holde algerne nede ved græsning. Planteplanktonet vil derfor have mulighed for en betydelig vækst. Det medfører uklart vand, som forhindrer en undervandsvegetation i at etablere sig.

En opfiskning af en betydelig del af Langesøes brasen-, skalle- og aborrebestand vurderes i dag kun i ringe omfang at give en bedre miljømæssig tilstand i søen. Prædationen på dyreplanktonet vil med dette indgreb uden tvivl falde, men den samlede belastning af søen med fosfor (intern og ekstern) er så stor, at der stadigvæk vil forekomme hyppige opblomstringer af store algeformer (herunder blågrønalger), som dyreplanktonet ikke umiddelbart vil kunne nedgræsse.

8. Sammenfatning og konklusion

Langesø, som er en af Fyns mindre søer (kun 17,1 ha), ligger omgivet af skov i en af istidens tunneldale. Da søen ligger orienteret øst-vest og samtidig er ret lavvandet (middeldybde 3,1 m), omrøres dens vandmasse ret let af vinden. Søen har fra naturens hånd været en naturligt næringsrig skovsø med klart vand og udbredt undervandsvegetation (rankegrøde). I dag er søens vand imidlertid uklart på grund af omfattende planktonalgevækst, og undervandsvegetationen har formodentlig været forsvundet i mange år.

Tilfældige fund af opskyllede dele af undervandsvegetation (Aks-Tusindblad og Kruket Vandaks) i foråret 1994 og 1995 viser dog at, der stadig er omend meget lille bestand.

Søen er i Regionplan 1993-2005 målsat som "fiskevand til lyst-og/eller erhvervsfiskeri". Dette indebærer bl.a., at søen bør have en gennemsigtighed (sigtdybde) på mindst 1,5-2,0 m, et rigt planteplankton uden masseopblomstringer af enkelte algegrupper, en udviklet undervandsvegetation (rankegrøde) og en alsidig og rig smådyrsfauna. Endelig skal fiskebestanden have en sund alders- og artsfordeling med balance mellem fredfisk (skaller, brasen m.fl.) og rovfisk (gedder og store aborrer)

Denne målsætning er ikke opfyldt i dag.

Kulturpåvirkningen af søen

I søens opland anvendes i dag 73% af arealerne til landbrugsmæssigt formål (med et husdyrhold som i Fyns Amt som helhed), mens resten består af skov. Jordbunden i landbrugsområderne er typisk for Fyns Amt, dvs. hovedsagelig bestående af sandblandet ler samt lerblandet sand, og dermed mere leret end for Danmark som helhed.

I oplandet til søen findes ingen større bysamfund, men der udledes derimod spildevand fra spredt bebyggelse. Tætheden af denne bebyggelse er noget større end for Fyns Amt som helhed. Det er imidlertid usikkert, om alle de udledte næringsstoffer herfra rent faktisk når frem til søen.

Tilførslen af kvælstof og fosfor fra søens opland er i dag relativ stor. Hovedparten af kvælstof- (79-88 %) og fosfortilførslen (56-84 %) er en kulturbetinget afstrømning fra landbrugsområderne, hvor kvælstoffet næsten udelukkende stammer fra landbrugsarealer, mens tilførslen af fosfor dels skyldes spildevand fra den spredte bebyggelse, dels afstrømning fra landbrugsarealerne.

Den relative fordeling mellem disse to belastningskilder er ikke kendt. På baggrund af forskellige forudsætninger i beregningerne, kan der **teoretisk** beregnes et bidrag fra dyrkede landbrugsarealer på 28-58 % af den samlede belastning og 15-37% fra den spredte bebyggelse.

Den samlede tilførsel af fosfor har dog ikke ændret sig væsentligt i perioden, selv om der i 1994 blev målt den hidtil største tilførsel, skyldes denne således, at 1994 var et meget nedbørsrigt år.

Ligeledes synes kvælstoftilførslen ikke at have ændret sig væsentligt gennem de sidste 6 år og er således fortsat høj.

Indløbskoncentrationen af fosfor til søen er i løbet af 1989-1991 dog blevet halveret og har siden 1991 været nogenlunde konstant. Årsagen til faldet i perioden 1989-1994 er ikke endeligt klarlagt. Sandsynligt medvirkende hertil kan være, at fosforindholdet i danske vaske- og rengøringsmidler siden 1989 er blevet reduceret med ca. 46 %.

Stofomsætning i søen

Omkring 36-67% af det tilførte kvælstof fjernes årligt i søen, bl.a. ved frigivelse til atmosfæren (denitrifikation).

Af det eksterne tilførte fosfor blev der på årsbasis i 1994 tilbageholdt 27 % i søen. For perioden 1989-1993 var tilbageholdelsen 9-34%.

Der findes i dag meget store mængder fosfor ophobet i søbunden. Dette skyldes ikke blot den nuværende tilførsel, men navnlig tidligere rigelige tilførsler af fosfor, sandsynligvis i form af tilledt ajle, møddingsvand og spildevand. Langesø Slot med tilhørende landbrug skønnes herved at have været en betydende kilde.

Kvælstof og fosfor i søvandet

Årsmiddelkoncentrationen af kvælstof i søen er meget høj og har ikke ændret sig i perioden 1989-1994. Kvælstofindholdet afspejler i høj grad tilførslerne af kvælstof, således at variationen i indholdet i søen hen over året svinger i takt med de tilførte mængder.

Årsmiddelkoncentrationen af fosfor i søvandet er ligeledes meget højt, men der er tilsyneladende sket et niveaufald i koncentrationen fra 415-332 µg/l i 1989-1990 til 221-307 µg/l i 1991-1994. Den laveste værdi blev målt i 1994.

Faldet i årsmiddelkoncentrationen af fosfor i søen hænger sammen med, at koncentrationen af fosfor i tilløbene er faldet, hvorimod den samlede årlige tilførsel ikke kan tillægges samme betydning. Dette hænger sammen med, at vandgennemstrømningen i Langesø er forholdsvis stor.

Modeller, som er udviklet med henblik at vise sammenhængen mellem den årlige tilførsel af stoffer og stofkoncentrationen i søen, støtter denne antagelse. Således viser modelberegningerne for Langesø netop en forventet lavere koncentration i søvandet som følge af nedsat indløbskoncentration.

Imidlertid er det høje fosforindhold i søvandet ikke alene en følge af den udefra kommende tilførsel af fosfor, men er i høj grad også betinget af de betydelige mængder ophobet fosfor, som fra søbunden frigives til søvandet om sommeren.

Biologisk struktur

Det høje indhold af næringsstoffer muliggør en voldsom opvækst af planktonalger, som bevirker, at søvandet er relativt uklart om sommeren. Ofte har der i søen således været masseopblomstringer af enkelte algegrupper. Således forekom blågrønalger i store mængder sammen med furealger i 1994, blågrønalger i 1993 og 1990-1991, hvorimod grønalger dominerede i 1989 og 1992.

Algesammensætningen og -mængden i søen er først og fremmest bestemt af søvandets høje indhold af næringsstoffer, men mangel på enten kvælstof eller fosfor kan forekomme i korte perioder, og herved give anledning til pludselige kortvarige sammenbrud af algebestanden. Disse sammenbrud, hvor søvandet pludselig bliver helt klart, er altså ikke et sundhedstegn, men derimod et udtryk for den økologiske ubalance, som følger med søens høje næringsstofindhold.

Søens dyreplankton er kun i ringe grad i stand til at nedgræsse planktonalgerne midt på sommeren, mens de bedre kan holde algerne nede i vinter-, forårs- og efterårsmånederne.

Når dyreplanktonet ikke spiller en større rolle som regulator af algemængden, er årsagen at visse alger er ret "uspiselige". Dels kan algerne være for store til at spise, dels er visse alger giftige over for dyreplanktonet (især blågrønalger). I 1994 forekom store mængder blågrønalger og furealger, hvor netop furealgerne hører til blandt store alger, som dyreplanktonet ikke kan spise.

Endelig holdes dyreplanktonet midt på sommeren nede af ynglen af søens dominerende fisk, brasen, skaller og små aborrer. Fiskenes kraftige bortspisning af dyreplanktonet har bl.a. resulteret i, at store dyreplanktonarter, som er særlig gode til at nedgræsse planktonalger, stort set ikke forekommer.

I 1994 var søen meget uklar i forhold til 1991-1993, som umiddelbart viste en bedring i forhold til 1989-1990. Således var der i 1994 en middelsigt dybde om sommeren på 0,90 m, men i perioder var sigt dybden nede på 0,28 m.

Forringelse af sigt dybden hænger overvejende sammen med det meget varme og stille vejr, der var i juli-august. Disse vejrforhold gav særlige gunstige vækstvilkår for opblomstring af blågrønalger og furealger. Furealger er ikke tidligere set i så store mængder i Langesø.

Søens biologiske struktur er således præget af "økologisk ubalance" med stærkt svingende algemængde og i visse år endda fiskedød, fremkaldt af iltmangel, svovlbrinte, ammoniak eller gifte produceret af blågrønalger (f.eks. i 1990). Denne ubalance har været tilstede inden for i det mindste de seneste 10 år, hvor Fyns Amt har overvåget søen.

Muligheder for forbedring af søtilstanden

En bedring af tilstanden i Langesø vil først og fremmest kræve, at belastningen af fosfor og kvælstof til søen bliver bragt ned. For fosfors vedkommende skal den nedbringes til et niveau således, at den nuværende koncentration i tilløbene

til søen bliver ca. 40% mindre end i dag.

Det er i Vandmiljøplanen forudsat, at udledningerne af kvælstof og fosfor til vandmiljøet skal reduceres med henholdsvis 50 og 80 %. Dette gælder såvel for udledninger fra større renseanlæg og virksomheder med særskilt udledning til vandområder som for tilførsler i forbindelse med landbrugsdrift. Planen stiller derimod ingen krav til udledninger fra spredt bebyggelse. Vandmiljøplanens gennemførelse sikrer således ikke den afgørende bedring i Langesøsmiljøtilstand, som er nødvendig for opfyldelse af søens målsætning.

Ifølge den nyeste regionplan skal spildevandstilførslen fra den spredte bebyggelse dog søges begrænset **inden udgangen af 1998**.

Midlerne til at opnå en tilstrækkelig god miljøtilstand i Langesø ved formindskelse af kvælstof- og fosfortilførslerne er således bl.a.:

- * Forbedret rensning af spildevandet fra den spredte bebyggelse.
- * Initiativer til begrænsning af næringsstoffabene som følge af jordbrugsdrift.

Imidlertid vil søens tilstand ikke afgørende forbedres uden at den interne fosforbelastning af søen samtidig bringes til ophør. Nedsættes den udefra kommende fosforbelastning, vil der således gå adskillige år, før den interne belastning bliver bragt ned på et acceptabelt niveau. Det er muligt at fremskynde tidspunktet herfor gennem restaurering, hvorved søens fosforrige sediment fjernes. Søens biologiske struktur skal måske endvidere genoprettes ved hjælp af biomanipulation (f.eks. opfiskning af skidtfisk og udsætning af rovfisk).

Referencer:

- Barbiero, R.P. og E.B. Welch, 1992:** Contribution af benthic blue-green algal recruitment to lake populations and phosphorus translocation. - *Fresw. Biol.* 27, 249-260
- Bosselmann, S. og B. Riemann, 1986:** Zooplankton. - I Riemann, B. og M. Søndergaard (eds.): Carbon dynamics in eutrophic, temperate lakes. - Elsevier Sci. Publ. B. V., s. 198-236.
- Canfield, D.E. & R.W. Bachmann, 1981:** Prediction of total phosphorous concentrations, chlorophyll a and Secchi depth in natural and artificial lakes. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 414-423.
- Danmarks Miljøundersøgelser, 1995:** Notat af 21. marts 1995 vedrørende intensive stationer 1994, 2 s.
- Fulton, R. S., 1988:** Grazing on filamentous algae by herbivorous zooplankton. - *Freshwater Biology* 20, s. 263-271.
- Fulton, R. S. og H. Paerl, 1987:** Effects of colonial morphology on zooplankton utilization of algal resources during blue-green algal (*Microcystis aeruginosa*) blooms. - *Limnol. Oceanogr.* 32, s. 634-644.
- Fulton, R. S. og H. Paerl, 1988:** Zooplankton feeding selectivity for unicellular and colonial *Microcystis aeruginosa*. *Bulletin Marine Science* 43, s. 500-508.
- Fyns Amt, 1990:** Vandmiljøovervågning: Langesø, 1989. - Rapport, 51 s.
- Fyns Amt, 1991:** Vandmiljøovervågning: Langesø, 1990. - Rapport, 85 s.
- Fyns Amt, 1992:** Vandmiljøovervågning: Langesø, 1991 - Rapport, 111 s.
- Fyns Amt, 1993:** Vandmiljøovervågning: Langesø, 1992 - Rapport, 127 s.
- Fyns Amt, 1994:** Vandmiljøovervågning: Langesø, 1993. - Rapport, 109 s.
- Fyns Amt, 1994b:** Vandmiljøovervågning: Vandløb, 1993. - Rapport, 62 s.
- Fyns Amt, 1995a:** Vandmiljøovervågning: Vandløb, 1994. - Rapport, ? s.
- Fyns Amt, 1995b:** Vandmiljøovervågning: Landovervågning, 1994. - Rapport, ? s.
- Fyns Amt, 1995c:** Forslag til supplerende tiltag som kan sikre, at landbruget lever op til Vandmiljøplanens mål om reduktion af næringstofindhold fra erhvervet. Dokumentation af faglig baggrund for forslagene. Notat, 1995 - 10s.
- Fyns Amt, 1995d:** Vandmiljøovervågning: Atmosfærisk nedfald, 1994. - Rapport, ? s.
- Fyns Amt, 1995e:** Vandmiljøovervågning: Punktkilder, 1993. - Rapport, ? s.
- Fyns Amt, 1995:** Afprøvning af biologiske minirenselanlæg. Rapport udgivet af Fyns Amt og Kommunalteknisk Chefforening, Fyn - 109 s.

- Hansen, A.-M., E. Jeppesen, S. Bosselmann & P. Andersen, 1992:** Zooplanktonundersøgelser i søer. Metoder og artsliste. - Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen, miljøprojekt nr. 205, 114 s.
- Heaney, S. I., J.W.G. Lund, H. Canter & K. Gray, 1988:** Population dynamics of *Ceratium spp.* in three English lakes, 1945-1985. - *Hydrobiologia* 161, s.133-148.
- Håkanson, L., 1981:** A manual of lake morphometry. - Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 78 s.
- Jensen, H. S. & F. Ø. Andersen, 1990:** Fosforbelastning i lavvandede eutrofe søer. - NPO-forskning fra Miljøstyrelsen Nr. C4, Miljøstyrelsen, 94 s.
- Jensen, J.P., E. Jeppesen, J. Bøgestrand, A.R. Petersen, M. Søndergaard & L. Sortkjær, 1994:** Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1993. Ferske vandområder - søer. - Danmarks Miljøundersøgelser, faglig rapport nr. 121, 93 s.
- Jeppesen, E., M. Søndergaard, H. Hjerl Jensen og J. P. Müller, 1989:** Restaurering af søer ved indgreb i fiskebestanden. Status over igangværende undersøgelser. - Del 1: Hovedrapport, Danmarks Miljøundersøgelser, 73 s.
- Kristensen, P., J.P. Jensen & E. Jeppesen, 1990:** Eutrofieringsmodeller for søer. - NPO-forskning fra Miljøstyrelsen nr. C9., Miljøstyrelsen, 120 s.
- Kristensen, P., J.P. Jensen, E. Jeppesen & M. Erlandsen, 1991:** Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1990. Ferske vandområder - søer. - Danmarks Miljøundersøgelser, faglig rapport nr. 38, 104 s.
- Kristensen, P., M. Søndergaard, E. Jeppesen, E. Mortensen & Aa. Rebsdorf, 1990:** Overvågningsprogram. Prøvetagning og analysemetoder i søer. - Danmarks Miljøundersøgelser, 32 s.
- Kristensen, P., J. Windolf, E. Jeppesen, M. Søndergaard & L. Sortkjær, 1992:** Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1991. Ferske vandområder - søer. - Danmarks Miljøundersøgelser, faglig rapport nr. 63, 110 s.
- Kronvang, B. & A. J. Bruhn (1990):** Metoder til bestemmelse af stoftransport i vandløb. - Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for ferskvandsøkologi, 22 s.
- Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium, 1977:** Limnologisk metodik. - Akademisk Forlag, 172 s.
- Miljøbiologisk Laboratorium, 1990:** Langesø 1989, Phyto- og zooplankton. - Notat til Fyns Amt, 11 s. + bilag.
- Miljøbiologisk Laboratorium, 1991:** Langesø 1990, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt, 12 s. + bilag.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1992: Langesø 1991, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt, 13 s. + bilag.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1993: Langesø 1992, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt, 13 s. + bilag.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1994: Langesø 1993, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt, 13 s. + bilag.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1995: Langesø 1994, Plante- og dyreplankton. - Notat til Fyns Amt, 15 s. + bilag.

Miljøstyrelsen, 1994a: Vandmiljø-94. Udvikling i belastningen fra punktkilder samt status for vandmiljøets tilstand. Redegørelse fra Miljøstyrelsen, nr. 8 1994 - 150s.

Miljøstyrelsen, 1994b: Vandmiljø-94. Redegørelse fra Miljøstyrelsen, nr. 2 1994 - 150s.

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

Mohr-Markmann, Fiskebiologisk Rådgivning, 1992: Vandmiljøovervågning: Fiskebestanden i Langesø, 1989. - Rapport til Fyns Amt, 93 s.

Mohr-Markmann, Fiskebiologisk Rådgivning, 1995: Vandmiljøovervågning: Fiskebestanden i Langesø, 1994. - Rapport til Fyns Amt, 93 s.

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

Olesen, J.E., H.E. Mikkelsen & E. Friis, 1991: Emnedag om: Meteorologiske målemetoder i jordbrugs- og miljøforskningen. - Tidsskrift for Planteavl specialserie, beretning nr. 2112, 94 s.

Olrik, K., 1991: Planteplankton - metoder. Miljøprojekt nr. 187. Miljøstyrelsen, 108 s.

Olrik, K., 1993: Planteplankton - økologi. Miljøprojekt nr. 243. Miljøstyrelsen, 165 s.

Otterstrøm, C.V., 1927: Notat om Langesø, 12.-15. oktober 1927. - Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, 14 s.

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

Sibbesen E., 1995: Tab af jord og fosfor fra landbrugsjorden til vandmiljøet ved overfladeafstrømning og erosion. - Vækst 1, s. 14-15.

Sjczepanski, A., 1965: Deciduous leaves as a source of organic matter in lakes. - Bulletin de L'académie Polonaise des Sciences (Série des Sciences Biologiques) 13, s. 215-217.

Wiggers, L & E. Moldt, 1994: En fosfor-PE er ikke, hvad den har været. - Vand & Jord (i tryk).

Windolf J., E. Jeppesen, M. Søndergaard, P.P. Jensen & L. Sortkjær, 1993: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1992. Ferske vandområder - sær. - Danmarks Miljøundersøgelser, faglig rapport nr. 129, 110 s.

Bilag 1.

Metodik anvendt ved undersøgelser af Langesø og dens opland.

Morfometri.

Søens dybdeforhold er i 1986 kortlagt af landinspektør Thorkild Høy ved hjælp af ekkolodning. Beregning af søens kystlinielængde, areal og volumen er foretaget af Fyns Amt ved anvendelse af planimeter (se Håkanson, 1981).

Oplandsbeskrivelse

Søens afstrømningsland og deloplandene til søens 2 hovedtilløb er afgrænset af Hedeselskabet i 1990 på baggrund af Geodætisk Instituts højdekurvekort i målestoksforholdet 1:25.000 samt oplysninger om dræninger i området.

Arealanvendelsen i oplandet til Langesø er opgjort på basis af oplysninger fra Landbrugsministeriet, Afdeling for Arealdata og Kortlægning, Vejle (ADK). Disse oplysninger stammer fra perioden 1974-1981.

Jordtypefordelingen i landbrugsområderne er ligeledes opgjort på baggrund af data fra ADK. Disse oplysninger stammer fra 1977-78, og angiver kun de dominerende jordtyper i dybden 0-20 cm.

Tætheden af den spredte bebyggelse i oplandet til Langesø er baseret på oplysninger om den faktiske forekomst af spredtliggende ejendomme indhentet fra kommunerne i søens opland (Søndersø og Vissenbjerg kommuner) i starten af 1995. Det er herefter antaget, at der fra hver ejendom i gennemsnit udledes spildevand fra 2,8 personækvivalenter.

Den potentielle spildevandsbelastning er beregnet ved hjælp af Miljøstyrelsens normtal for indhold af kvælstof og fosfor i husspildevand: 1 personækvivalent (PE) = 4,4 kg N/år og 1,0 kg P/år.

Opgørelserne af den potentielle spildevandsbelastning er dog forbundet med nogen usikkerhed. Se det senere afsnit om usikkerhed vedrørende bestemmelse af fosforkilderne.

For Fyns Amt er antallet af personer bosat udenfor kloakopland i starten af 1995 opgjort på baggrund af indberetninger fra kommunerne til 64.000. Fyns areal (minus byer og vådområder) er ifølge ADK på 323.506 hektar, hvilket giver en befolkningstæthed i det åbne land på 0,20 PE/ha.

For Danmark som helhed har Miljøstyrelsen i starten af 1994 opgjort antallet af spredtliggende ejendomme til 357.800 (inkl. ukloakerede landsbyer). Danmarks areal (minus byer og vådområder) er ifølge ADK på 4.000.628 hektar, hvilket giver en befolkningstæthed i det åbne land på 0,25 PE/ha.

Oplysninger om husdyrhold i oplandet er indhentet hos Søndersø og Vissenbjerg kommuner, som har udført landbrugstilsyn i oplandet til søen. Oplysningerne er indhentet fra kommunerne i starten af 1995. Det vides dog ikke, hvornår der sidst er foretaget tilsyn med landbrugsejendommene i søoplandet. Ved

opgørelsen af husdyrtætheden i oplandet til Langesø er antallet af dyreenheder opgjort pr. ha. **dyrket** areal. Det dyrkede areal er opgjort til 80% af det af ADK angivne landbrugsareal, idet dette også indbefatter veje, jernbaner m.m.

Husdyrtætheden for Fyn og Danmark er opgjort på følgende måde: Både antal dyreenheder og størrelsen af det dyrkede areal stammer fra Danmarks Statistiks Landbrugstælling 1994, dog er antal dyreenheder korrigeret med Danmarks Miljøundersøgelser's standardtal.

Fyn havde i 1994 194256 dyreenheder og et dyrket areal på 225788 hektar, hvilket giver en husdyrtæthed på 0,82 DE/ha.

Danmark havde 2467727 dyreenheder og et dyrket areal på 2691174 hektar, hvilket giver en husdyrtæthed på 0,92 DE/ha.

Meteorologiske og afstrømningsmæssige forhold

Nedbør

Til beskrivelse af nedbørsforholdene ved Langesø er benyttet en af Danmarks Meteorologiske Instituts (DMI) nedbørsmålere beliggende i Væde (DMI-stationsnummer 28160), der indgår i et net af nedbørsmålestationer fordelt over hele landet.

Nedbørstallene anvendt i rapporten er korrigerede data. Korrektionen, som er udført efter retningslinjer fra DMI (Olesen m.fl. 1991), kompenserer for, at den nedbør som aflæses i en nedbørsmåler aldrig helt svarer til den nedbør, der falder på jorden.

Nedbørsmålerne er af DMI opstillet på standardiseret vis i en højde af 1,5 m over jorden. En nedbørsmåler, der er opstillet i denne højde, vil imidlertid påvirke den omgivende luftstrøm, hvorved nedbørspartiklerne afbøjes. Dermed "fanger" måleren kun en del af nedbøren. Denne fejl benævnes den aerodynamiske fejl eller vindeffekten.

Derudover vil en mindre del af den nedbør, som rent faktisk rammer nedbørsmålerens opsamlingsstragt og målekande, ikke blive målt. Dette skyldes dels overfladeadhæsion, dels fordampning. Dette tab kaldes wetting-tabet.

Standardkorrektion for vindeffekt og wetting-tab for stationer med moderate læforhold (dvs. 80-90 % af samtlige stationer) er på årsbasis 16 %.

Normalværdier er beregnet på baggrund af data for perioden 1961-1990.

Fordampning

Til brug for vandbalancen er benyttet den potentielle fordampning fra Årslev (DMI-stationsnummer 28280) beregnet af Statens Planteavlsvforsøg ved hjælp af Makkink's ligning. For at danne den aktuelle fordampning fra den fri

overflade, er de modtagne data multipliceret med faktoren 1,10, efter anbefaling fra Harald Mikkelsen, Statens Planteavlsforsøg.

Ferskvandsafstrømning

Normalafstrømningen (1961-1990) til Langesø er beregnet ved at sammenholde afstrømningstidsserien til søen (1989-1993) med nærmeste målestation, hvor der foreligger en lang afstrømningstidsserie, i dette tilfælde Stavis Å ved Stavis Bro, hvor der er foretaget målinger siden 1977. (Afstrømningerne fra Stavis Å er desuden sammenholdt med afstrømningsmålinger i Odense Å ved Nr. Broby for at generere en tidsserie for perioden 1961-1990).

På baggrund af målinger i perioden 1989-1993 er det beregnet, at forholdet mellem afstrømningen i Stavis Å og afstrømningen til Langesø er 1:1,14.

Normalafstrømningen i Stavis Å er beregnet til $7,88 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. På baggrund heraf er normalafstrømningen til Langesø beregnet til $9,0 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$.

På baggrund af Fyns Amts enkeltmålinger af vandføring i søtilløb og -afløb og en samtidig kontinuerlig registrering af vandstanden, har Hedeselskabet beregnet døgnmiddelvandføringen på de faste stationer i oplandet til Langesø.

Normalværdier er beregnet på baggrund af data for perioden 1961-1990.

Lufttemperatur

Lufttemperaturen er beregnet som en middel af målinger ved henholdsvis Rudkøbing (DMI-st.nr. 28590), Beldringe Lufthavn (DMI st.nr.06120) og Skjoldnæs Fyr (DMI st.nr. 28490).

Normalværdier er beregnet på baggrund af data for perioden 1961-1990.

Soltimer

Oplysninger om antallet af soltimer er indhentet fra Årslev (DMI st.nr. 28280).

Normalværdier er beregnet på baggrund af data for perioden 1961-1990.

Vindforhold

Oplysninger om vindforhold er indhentet fra klimastationen i Beldringe Lufthavn (DMI st.nr. 06120). Her måles vindhastigheden i 10 m's højde ialt 8 gange daglig.

Normalværdier er beregnet på baggrund af data for perioden 1961-1990.

Søens eksterne belastningsforhold

Stofafstrømning

Fyns Amt har siden 1989 foretaget fysisk-kemiske målinger i tilløbene til og afløbet fra Langesø. Stationering, analyseomfang og undersøgelseshyppighed fremgår af figur 1.1.1 og tabel B1.1-B1.2. For fysisk-kemiske undersøgelser 1989-1993 henvises til tidligere års rapporter.

Sted	Vandløbs- navn	Stationsnummer SERR-nr.	Undersøgelsesaktivitet		Undersøgelseshyppig- hed		Analysepro- gram
			Q/H-st.	Vandkemist.	Vand- førings- måling	Vand- kemi- prøve	
Tilløb 1	Travnskov Afløbet	2607211	+	+	26/år	52/år	VTYPI+total-Fe/VSØII 1)
Tilløb 3	Kapelbæk	2607230	-	+	26/år	26/år	VSØ I
Afløb	Langesø Afløb	2607240	+	+	26/år	26/år	VSØ I

- 1) Fra medio maj 1992 er prøvetagningsfrekvensen øget fra 1 prøve/14.dag til 1 prøve/uge. De supplerende prøver er analyseret efter programtype VSØ II (total-N og total-P).

Tabel B1.1

Oversigt over fysisk-kemiske undersøgelser i tilløb til og afløb fra Langesø 1994.

Tabel B1.2

Oversigt over vandkemiske undersøgelser i tilløb til og afløb fra Langesø 1994. Analyserne er udført af Miljø- og Levnedsmiddelkontrollen, Odense.

Analysevariabel	Analyseforskrift	Programtype	
		VTYP I	VSØ I
pH (20°C)	DS 287	+	+
Suspenderet stof	DS 207	+	
BI ₅ (foreliggende)	DS/R 254	+	
Total N	DS 221	+	+
(NH ₃ -NH ₄)-N (F)	DS 224	+	
(NO ₂ -NO ₃)-N (F)	DS 223	+	
Total-P	DS 292	+	+
PO ₄ -P (=orto-P) (F)	DS 291	+	+
Total-Fe	MFL ¹⁾	+	+

Bemærkninger:

- 1) Efter Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium, teknisk rapport nr. 21 (1988).
(F) Analyse på filtreret prøve (GF/C).

Næringsstofafstrømningen til målestationerne er beregnet ved linærinterpolationsmetoden. Denne metode er detaljeret beskrevet af Kronvang og Bruhn (1990).

Målingerne af næringsstofafstrømningen til søen dækker ialt ca. 73% af søens samlede oplandsareal.

Ferskvands- og næringsstofafstrømningen fra den resterende del af oplandet, det såkaldte umålte opland, er derpå beregnet under antagelse af, at arealafstrømningen er ens i det målte og det umålte opland.

Det skal bemærkes, at der i 1993 har været problemer med at afstemme vandbalancen for søen, idet den beregnede tilførsel til søen har været 28% større end fraførslen. På baggrund af målte ferskvandsafstrømninger i Lunde Å, Stavis Å Ryds Å og Odense Å ved Kratholm er det vurderet, at ferskvandsafstrømningen til Langesø i 1993 er overestimeret med 24% (72% i januar).

Beregning af basisbidrag

Ved basisbidrag forstås den næringsstofftilførsel fra oplandet til søen, som ville forekomme, hvis oplandet var praktisk taget uden menneskelig aktivitet ("naturområder").

Beregningen af basisbidraget for henholdsvis kvælstof og fosfor er foretaget ved anvendelse af en vandføringsvægtet årsmiddelkoncentration (d.v.s. den årlige stofafstrømning divideret med den årlige ferskvandsafstrømning) for et antal

danske vandløb, der afvander fortrinsvis ugødskede skov/naturområder (betegnes naturvandløb).

For perioden 1989-1994 er anvendt data fra 5 danske referenceoplande.

Basisbidraget er herefter beregnet ved at gange årsmediankoncentrationen af kvælstof og fosfor med ferskvandsafstrømningen til Langesø.

Atmosfærisk deposition

Fyns Amt har fire stationer til måling af atmosfærisk deposition, Årslev, Boelsmose, Grøftehøj og Højestene Løb. De tre førstnævnte er landstationer, mens den sidste er en kyststation. Til beregning af den atmosfæriske deposition på Langesø er anvendt data fra landstationerne.

Den atmosfæriske deposition opsamles ved hjælp af en bulksamler. Den tragtformede opsamler er placeret i 1,5 m's højde, og er forbundet til en nedgravet opsamlingsflaske.

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

Til beregning af våddepositionerne anvendes desuden nedbørsdata fra DMI's målestationer i Årslev og Boelsmose. De anvendte nedbørsdata er ikke korrigeret for vindpåvirkning, hvorfor de faktiske nedbørsmængder er noget højere (se afsnittet vedrørende nedbør).

Øvrige belastningskilder

Der blev indtil 1993 opfodret ca. 600 ænder årligt i Langesø. Opfodringen fandt sted med henblik på jagt. Fodringen var af en sådan størrelse, at den stort set dækkede ændernes foderbehov. Den del af ændernes affaldsprodukter, som tilførtes søen, skal derfor medregnes til den samlede stoftilførsel til søen.

Belastningen af Langesø via andefodring kan på baggrund af oplysninger fra Jesper Madsen, Miljøministeriets Vildtforvaltning, beregnes til henholdsvis 26 kg total-kvælstof/år og 11 kg total-fosfor/år. Med udgangspunkt i fosfor svarer denne belastning til 8 PE (personækvivalenter).

Endelig tilføres Langesø kvælstof og fosfor i forbindelse med løvfald. Dette bidrag kan ud fra Szczepanski (1965) opgøres til 11 kg total-kvælstof og 1,5 kg total-fosfor pr. år.

Usikkerhed vedrørende bestemmelse af fosfor

Som nævnt i afsnit 3 er der stor usikkerhed på fosforbestemmelsen. Usikkerheden knytter sig dels til bestemmelsen af den afstrømmede fosformængde, dels til selve kildeopsplitningen af fosforafstrømningen.

Bestemmelse af fosforafstrømningen:

Fosforafstrømningen underestimeres generelt med den nuværende prøvetagningsstrategi på faste stoftransportmålestationer, hvor der typisk udtages 26 stikprøver pr. år. Intensive målinger af fosforindhold i 1994 i 13 mindre vandløb fordelt over hele landet viste, at afstrømningen af (total-)fosfor som median blev underestimeret med 26% ved stikprøveudtagning i forhold til tidsproportional prøvetagning (max.: -80%) (Danmarks Miljøundersøgelser, 1995). Endvidere skal nævnes, at den tidsproportionale prøvetagning ikke nødvendigvis er den sande fosfortransport. Forsøg, der i øjeblikket pågår i Fyns Amt i samarbejde med Hedeselskabet med stikprøve-/tidsproportional og flowproportional prøveudtagning, tyder på, at selv med tidsproportional prøvetagning underestimeres fosforafstrømningen.

Kildeopsplitning:

Der er endvidere stor usikkerhed forbundet med kildeopsplitningen af fosforafstrømningen. Der anvendes i vid udstrækning standardtal til opgørelse af belastningen fra de forskellige kilder. Anvendelsen af standardtal er naturligvis behæftet med usikkerhed. Af usikkerheder skal nævnes:

- Beregning af spildevandspotentiale: De anvendte normtal til beregning af spildevandspotentialet er behæftet med usikkerhed. Som det fremgår af figur 3.3.2 er spildevandsbidraget fra husholdninger ikke en så statisk størrelse som hidtil antaget.
- Skøn over den faktiske spildevandsbidrag til recipienten: Hvor stor en andel af den beregnede producerede spildevandsmængde, der rent faktisk når frem til recipienten er ligeledes ubekendt.
- Opgørelse af bidraget fra henholdsvis spredt bebyggelse og det åbne land: Der findes endnu ikke nogen pålidelig metode til opgørelse af, hvor stor en del af fosforafstrømningen, der stammer fra henholdsvis udledning af spildevand fra spredt bebyggelse og aktiviteter i det åbne land.

Fysisk-kemiske forhold i søvandet.

Fyns Amt har i 1989-1994 gennemført fysisk-kemiske undersøgelser, samt undersøgelser af klorofylindhold og primærproduktion i søvandet (sidstnævnte kun i 1989-1991). Stationering og analyseomfang fremgår af figur 1.1.2 og tabel B.1.3-B.1.4. Undersøgelserne er foretaget med en hyppighed på 20 gange/år.

Tabel B1.3

Oversigt over fysisk-kemiske undersøgelser, samt undersøgelser af klorofylindhold i vandfase i Langesø Sø i Fyn Amt, 1989-1994.

Feltmålinger:

Vandstand
Sigtdybde
Total vanddybde

Lufttemperatur
Vandtemperatur (profil)

Lys (profil)
O₂ (profil)

Målinger i Natur- og vandmiljøafdelingens laboratorium			
Analysevariabel	Analyseforskrift	Programtype	
		SØ 1	SØ 2
Ledningsevne	DS 288	+	+
pH (20°C)	DS 287	+	+
Total alkalinitet	LM ¹⁾	+	+
Total-CO ₂	LM ¹⁾	+	+
O ₂ (Winkler)	LM ¹⁾	+	+
Tørstof (part.)	DS 207	+	
Glødetab (part.)	DS 207	+	
Klorofyl-a (planteplankton)	DS 2201	+	
Primærproduktion (planteplankton) ⁴⁾	DS 293	+	

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

Bemærkninger:

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

Tabel B1.4

Oversigt over prøvetagningsstationer i Langesø i Fyns Amt, 1989-1994.

SERR-nr.	Undersøgellesprogram
2608202	Feltnålinger, vandkemi, klorofyl, primærproduktion og planteplankton
2608201	Dyreplankton, sedimentkemi
2608203	Dyreplankton, sedimentkemi

Der er indtil 1.marts ved hjælp af en hjerteklapvandhenter udtaget delprøver i overfladelaget, d.v.s. i 0,2 m, sigtdybde og 2*sigtdybde, prøverne blev herefter udtaget med en såkaldt Limnos - vandhenter, idet hjerteklapvandhenteren ikke viste sig pålidelig nok. Delprøverne er herefter blandet til én prøve (betegnes blandingsprøve). Der er derudover bl.a. i perioder med springlagsdannelse udtaget 1 prøve under springlaget (nær bunden). Prøvetagning er iøvrigt foretaget som foreskrevet af Kristensen m.fl. (1990).

Plankton

Fyns Amt har i 1989-1994 yderligere foretaget undersøgelser af søens plante- og dyreplankton. Undersøgelserne er foretaget med en hyppighed på 19-20 gange/år.

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

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

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

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

Bearbejdningen af de indsamlede planktonprøver er foretaget af Miljøbiologisk Laboratorium, Humlebæk, der har udarbejdet kortfattede notater herom til Fyns Amt (Miljøbiologisk Laboratorium, 1990-1994). Bearbejdningen af prøverne er iøvrigt foretaget som foreskrevet i Olrik (1991) og Hansen m.fl. (1992).

Sediment

Fyns Amt har én gang i november 1990 udtaget prøver af søens bund, søsedimentet, på samme stationer som anvendt ved indsamling af dyreplanktonprøverne (jf. figur 1.1.2 og tabel B4). Der er på hver station ved hjælp af kajakrør (areal 21,4 cm²) udtaget mindst 3 sedimentsøjler af en længde på om muligt 70 cm. Sedimentsøjlerne er opskåret i følgende delprøver (dybdeintervaller): 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm. Sediment fra de samme dybdeintervaller fra de 3 søjler er blandet sammen til én prøve.

Analyseomfanget fremgår af tabel B.1.5. Resultaterne er beskrevet i Fyns Amt (1991).

Tabel B1.5

Oversigt over fysis-kemiske undersøgelser i sediment i Langesø i Fyns Amt, 1990.

Målinger ved MLK Fyn I/S		
Analysevariabel	Analyseforskrift	Programtype Sø 3
Tørstof	DS 204	+
Glødetab	DS 204	+
Total-Fe	DS 263	+
Total-Ca	DS 259	+
Total-N	DS 242	+
Total-P	DS 291 ¹⁾	+
Ads.-P	MFL ²⁾	+
Fe-P	MFL ²⁾	+
Ca-P	MFL ²⁾	+

Bundvegetation

Fyns Amt har i september 1988 gennemført en orienterende vegetationsundersøgelse i søen. Langs hele søbredden er der fra søsiden foretaget en registrering af sammensætning af og dybdegrænser for evt. tilstedeværende rørsump, flydebladszone og rankegrøde (undervandsvegetation). Undervandsvegetationen er forsøgt lokaliseret ved hjælp af vandkikkert, planterive og ved undersøgelse af opskyllet plantemateriale.

Der blev ikke fundet undervandsvegetation i 1988.

I 1994 blev der foretaget en undersøgelse efter undervandsvegetation, som følge af tilfældige fund af opskyllede plantedele fra undervandsvegetation. Der blev ikke fundet noget.

Smådyrfauna

Smådyrfaunaen på søens barbund og i bredzonen er undersøgt hvert år i perioden 1989-1994. Bundfaunaen er indsamlet ved hjælp af kajakbundhenter i april - maj, medens bredfaunaen er indsamlet på stenbund i april - maj og i oktober. Resultaterne af smådyrundersøgelserne vil fremgå af en særskilt udarbejdet rapport herom (følger senere).

Fiskefauna

Fiskebestanden i Langesø er undersøgt i august 1989 og 1994. Undersøgelserne er foretaget efter det såkaldte "normalprogram" som foreskrevet i Mortensen et al. (1990). Udover oversigtsgarn med standardiserede maskevidder er anvendt ruser og elfiskeri. Undersøgelsen er foretaget af Mohr-Markmann, Fiskebiologisk Rådgivning, der har udarbejdet en rapport til Fyns Amt over undersøgelsesresultaterne (se Mohr-Markmann, 1992 og 1995).

Bilag 2

Søens opland

I det efterfølgende er angivet areal, arealanvendelse, jordbundsforhold, husdyrhold og spredt bebyggelse i de enkelte deloplande til søen. Med hensyn til opgørelsesmetoden henvises til metodikafsnittet.

Tabel B2.1

Areal til deloplande til Langesø, spredt bebyggelse og husdyrhold i de enkelte deloplande til Langesø samt søens samlede opland.

Opland	Areal		Spredt bebyggelse		Dyrehold	
	Ha	%	PE	PE/ha	PE	PE/ha
Tilløb 1	425	75	143	0,34	248	0,89
Tilløb 3	78	14	17	0,22	20	0,65
Umålt opland	60	11	22	0,37	1	0,06
Ialt	563	100	182	0,32	269	0,82

Tabel B2.2

Arealanvendelse i de enkelte oplande til Langesø samt søens samlede opland.

Opland	Arealanvendelse					Ialt
	Landbr.	By	Skov	Ferskv.	Restar.	
Tilløb 1	82%	-	14%	-	4%	100%
Tilløb 3	50%	-	46%	-	4%	100%
Umålt opland	37%	-	63%	-	-	100%
Ialt	73%	-	23%	-	4%	100%

	FK1	FK2	FK3	FK4	FK5	FK6	FK7	FK8	Ialt
Tilløb 1	-	-	33%	62%	<1%	1%	3%	-	100%
Tilløb 3	-	-	-	100%	-	-	-	-	100%
Umålt opland	-	-	100%	-	-	-	-	-	100%
Opland ialt	-	-	33%	63%	<1%	1%	3%	-	100%

FK1: Grovsandet jord

FK2: Finsandet jord

FK3: Lerblandet sand

FK4: Sandblandet ler

FK5: Lerjord

FK6: Svær lerjord

FK7: Humus

FK8: Speciel jordtype

Tabel B2.3

Jordtyper i landbrugsområderne i de enkelte oplande til Langesø samt søens samlede opland.

Bilag 3

Tabel over kildeopsplitning på årsbasis

Af det efterfølgende fremgår kildeopsplitningen af den totale eksterne belastning af Langesø i perioden 1989-1994. Med hensyn til beregningsmetoder henvises til bilag 1.

Kvælstof:	1989		1990		1991		1992		1993		1994	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
Afstrømning												
- Basisbidrag	1330	18	2360	16	2090	16	2350	14	3030	13	4150	19
- Diffus afstrømning	5880	78	12300	82	11100	83	14000	84	20400	86	17200	80
Atmosfærisk deposition	259	3	284	2	189	1	230	1	239	1	248	1
Fugle	26	0,4	26	0,2	26	0,2	26	0,2	-	-	-	-
Løvfald	11	0,2	11	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,1
Kvælstof ialt	7510	100	15000	100	13400	100	16600	100	23600	100	21600	100
Fosfor:	1989		1990		1991		1992		1993		1994	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
Afstrømning												
- Basisbidrag	37	13	72	17	73	29	67	35	83	27	132	30
- Diffus afstrømning	232	80	322	77	160	63	108	56	215	70	306	69
Atmosfærisk deposition	6	2	7	2	5	2	4	2	3	1	4	1
Fugle	11	4	11	3	11	4	11	6	-	-	-	-
Løvfald	4	1	4	1	4	2	4	2	4	1	4	1
Fosfor ialt	290	100	416	100	253	100	194	100	305	100	446	100

Tabel B3.1

Kildeopsplitning af den totale eksterne belastning af Langesø 1989-1994.

Bilag 4.1

Vandbalance for Langesø opgjort på månedsbasis for 1994 samt sommer- (1.5-30.9) og årsbasis for 1989-1994.

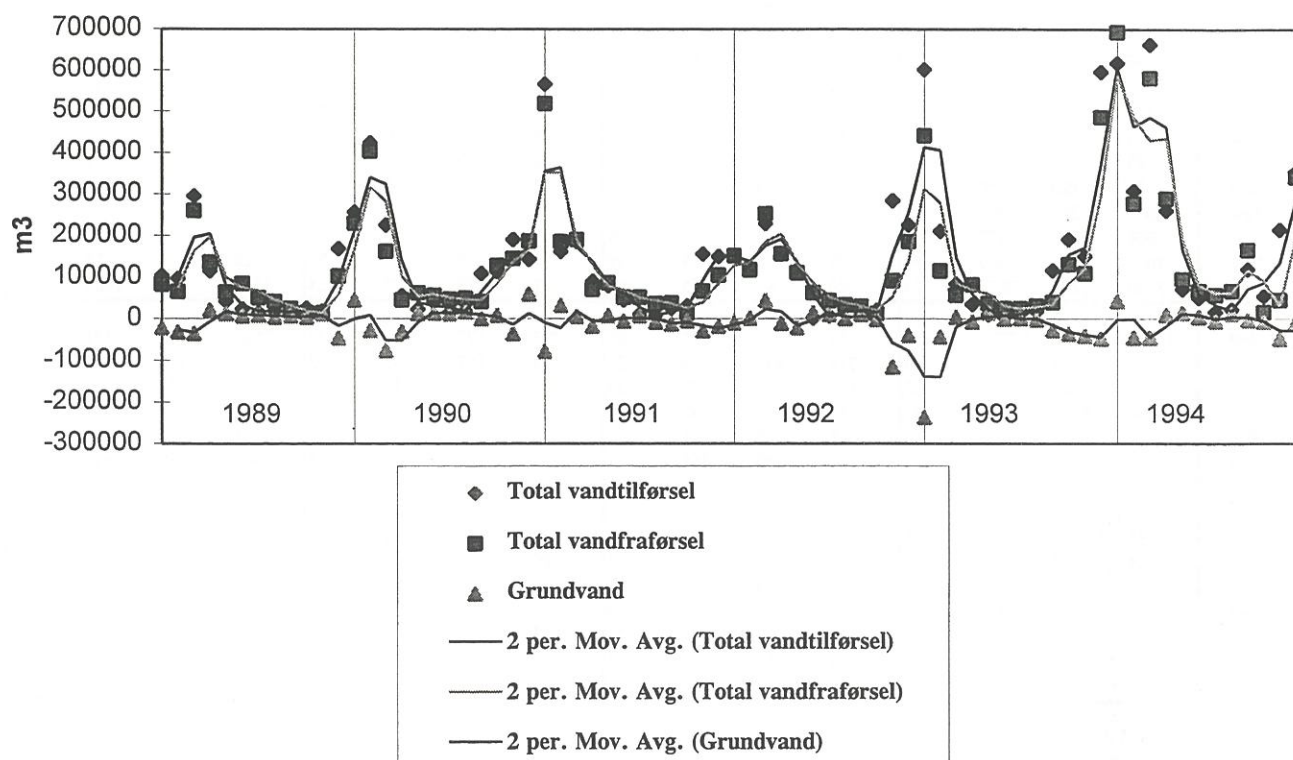
LANGESØ : VANDBALANCE 1994

År	Måned	VAND TILFØRT/FRAFØRT				MAGASIN		GRUNDTVAND		VANDSTAND
		Q tilført	Q fraført	Nedbør	Fordampning	pr. d. 1.	ændring/md	beregnet	% af tilført	pr. d. 1.
		m3	m3	m3	m3	m3	m3	m3	%	m o. DNN
1993	Dec	572060	485903	24357	598	534218	63237	-46679	-8	25,32
1994	Jan	598968	692179	19110	692	597455	-32012	42782	7	25,68
1994	Feb	296150	276470	12195	1627	565443	-13974	-44222	-15	25,50
1994	Mar	643418	577139	19744	4395	551469	37014	-44615	-7	25,42
1994	Apr	254517	280027	6800	9687	588483	-17759	10638	4	25,63
1994	May	61175	79649	10479	15671	570724	-8789	14877	24	25,53
1994	Jun	34820	50256	15523	17316	561935	-12202	5027	14	25,48
1994	Jul	13717	34981	2723	22552	549733	-46055	-4962	-36	25,41
1994	Aug	7265	53286	15832	14567	503678	-31654	13102	180	25,14
1994	Sep	96601	160127	23225	5741	472024	-48777	-2734	-3	24,95
1994	Oct	45237	13688	8895	3011	423247	30721	-6713	-15	24,65
1994	Nov	204384	44437	10471	655	453968	122058	-47706	-23	24,84
1994	Dec	338137	341254	16103	262	576026	3547	-9178	-3	25,56
1995	Jan					579573				25,58
		Q tilført	Q fraført	Nedbør	Fordampning		ændring	beregnet	% af tilført	
		m3	m3	m3	m3		m3	m3	%	
Årsbalance										
1994		2594390	2603494	161101	96174		-17882	-73704	-3	
1993		1894186	1479933	144633	102476		22850	-433560	-23	
1992		1226917	1130346	121738	118164		1775	-98370	-8	
1991		1390272	1306765	112532	107857		-19455	-107637	-8	
1990		1469875	1442448	140816	114591		64286	10633	1	
1989		827466	827194	102048	114271		-	-	-	
1.maj - 30.sept										
1994		213578	378300	67782	75847		-147477	25310	12	
1993		102760	83132	66497	75660		0	-10465	-10	
1992		123883	188724	42176	93467		-98587	17544	14	
1991		122088	182555	45340	81297		-103235	-6811	-6	
1990		140573	172299	65801	83516		10487	59928	43	
1989		71091	179626	41610	86432		-110719	42638	60	
31.dec - 31.marts										
1994		2110597	2031691	75406	7312		54265	-92735	-4	
1993		1084737	790075	36107	9930		5995	-314843	-29	
1992		615900	614322	33099	9612		47130	22065	4	
1991		1013717	1071792	38092	9856		-5269	24570	2	
1990		1020346	886620	50486	11888		72084	-100240	-10	
1989		467774	397786	22468	9744		0	-82713	-18	

OPHOLDSTID beregnet på basis af hhv. fraførsel og tilførsel

1994		OPHOLDSTID			
		Fraførsel		Tilførsel	
måned	antal dage	dage	år	dage	år
Jan	31	25	0,1	29	0,1
Feb	28 ~	56	0,2	53	0,1
Mar	31	31	0,1	28	0,1
Apr	30	62	0,2	68	0,2
May	31	219	0,6	285	0,8
Jun	30	330	0,9	476	1,3
Jul	31	471	1,3	1202	3,3
Aug	31	282	0,8	2071	5,7
Sep	30	81	0,2	135	0,4
Oct	31	969	2,7	293	0,8
Nov	30	357	1,0	78	0,2
Dec	31	51	0,1	52	0,1
Max måned		969	2,7	2071	5,7
Min måned		25	0,1	28	0,1
År	365	74	0,20	75	0,20
Sommer	153	208	0,57	368	1,01
vinter	121	34	0,09	32	0,09

Langesø, 1989-1994, vandtilførsel og -fraførsel, samt beregnet grundvandsindsivning/-udsivning



Bilag 5

Massebalance for Langesø for totalkvælstof, total-fosfor, opløst-uorganisk forafør (ortofosfat-fosfor), og total-jern (i kg) på månedsbasis for 1994 samt sommer- (1.5-30.9) og årsbasis 1994. Endvidere er angivet på månedsbasis tilførsel af nitrit-nitrat kvælstof (NO_x), ammonium-kvælstof (NH_x), samt til-førsel af henholdsvis kvælstof og fosfor fordelt på overflade, atmosfære, grundvand og andet (fugle, løvfald o.a).

LANGESØ STOFBALANCE : 1994

Måned	Total kvælstof				Total fosfor				Ortofosfat-fosfor				Total jern			
	tilført kg	fraført kg	til-fra kg	til-fra % af til	tilført kg	fraført kg	til-fra kg	til-fra % af til	tilført kg	fraført kg	til-fra kg	til-fra % af til	tilført kg	fraført kg	til-fra kg	til-fra % af til
Jan	5593	4691	902	16	87	77	10	12	55	53	2	3	340	236	104	31
Feb	2595	1948	647	25	34	28	6	18	22	19	3	11	109	76	33	30
Mar	4676	3489	1187	25	75	59	16	21	40	18	21	54	244	91	153	63
Apr	1655	1382	273	17	26	15	10	40	11	1	10	93	73	32	41	56
May	346	304	42	12	16	6	10	61	7	1	6	80	23	8	15	67
Jun	178	123	55	31	11	7	5	40	8	1	6	81	14	7	7	49
Jul	85	85	0	0	7	6	1	14	5	0	5	94	3	2	1	27
Aug	71	120	-49	-70	9	14	-5	-53	6	6	0	-4	2	2	0	-10
Sep	657	290	366	56	38	66	-27	-72	24	46	-22	-92	43	12	31	72
Oct	300	27	273	91	15	4	11	76	9	3	6	72	15	2	13	86
Nov	2001	125	1875	94	30	6	24	79	16	4	12	75	88	4	85	96
Dec	3430	1225	2206	64	109	44	65	60	31	23	7	24	1545	57	1488	96
År																
1994	21587	13809	7778	36	457	332	125	27	233	177	56	24	2502	530	1971	79
1993	23672	8144	15528	66	316	231	86	27	154	157	-3	-2	999	212	787	79
1992	16508	6226	10282	62	194	213	-19	-10	77	92	-14	-18	487	147	340	70
1991	13388	6780	6608	49	252	211	42	16	132	122	10	8	787	211	576	73
1990	14929	8342	6587	44	415	416	-1	0	211	310	-99	-47	1991	331	1660	83
1989	7482	3410	4072	54	305	140	164	54	126	86	40	32	1062	105	957	90
Sommer					1220											
1994	1336	921	415	31	82	99	-17	-21	50	55	-5	-11	86	32	54	63
1993	1044	204	839	80	42	30	13	30	16	19	-2	-15	125	13	112	90
1992	1203	1018	186	15	35	66	-31	-90	12	16	-4	-33	49	37	12	24
1991	807	476	331	41	40	32	8	20	19	17	2	8	37	36	1	3
1990	1426	644	782	55	100	69	31	31	37	36	2	4	500	46	455	91
1989	783	546	237	30	44	43	1	2	28	22	6	22	19	29	-10	-55

LANGESØ STOFILFØRSEL : 1994

Måned	Total kvælstof				Total fosfor			
	over- flade kg	atmos- fære kg	grund- vand kg	andet kg	over- flade kg	atmos- fære kg	grund- vand kg	andet kg
Jan	5568	23	0	2,3	86	0,2	0,0	0,9
Feb	2575	18	0	2,3	33	0,1	0,0	0,9
Mar	4652	22	0	2,3	74	0,3	0,0	0,9
Apr	1636	17	0	2,3	24	0,2	0,0	0,9
May	329	14	0	2,3	15	0,3	0,0	0,9
Jun	157	19	0	2,3	10	0,3	0,0	0,9
Jul	62	21	0	2,3	5	0,3	0,0	0,9
Aug	40	25	0	5,5	7	0,3	0,0	2,3
Sep	624	27	0	5,5	35	0,6	0,0	2,3
Oct	283	11	0	5,5	12	0,2	0,0	2,3
Nov	1975	23	0	2,3	29	0,3	0,0	0,9
Dec	3401	27	0	2,3	108	0,4	0,0	0,9
Året	21302	248	0	37	439	4	0	15
Sommer	1212	106	0	18	72	2	0	7

Bilag 6,1

Oversigt over fysisk-kemiske forhold i Langesø, St. 2608101-2608102, i perioden 1981-1994.

SOMMERPERIODEN (1.5-30.9)		1981 ¹⁾	1987 ¹⁾	1988 ¹⁾	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Sigtdybde, gns.	(m)	0,77	0,67	0,72	0,84	0,78	1,06	1,06	1,01	0,90
Sigtdybde, 50% frakt.	(m)	0,81	0,65	0,74	0,69	0,67	0,98	0,93	1,03	0,81
Sigtdybde, maks.	(m)	1,00	1,03	1,07	2,30	2,10	1,80	2,00	1,80	1,80
Sigtdybde, min.	(m)	0,40	0,45	0,39	0,45	0,30	0,45	0,75	0,50	0,28
Total-kvælstof, gns.	(µg N/l)	2831	-	2758	2402	2797	2249	2637	2100	2738
Total-kvælstof, 50% frakt.	(µg N/l)	2637	-	2436	1823	2556	1802	1989	1897	2585
Total-kvælstof, maks.	(µg N/l)	5267	-	5037	5101	4547	4175	5932	4206	4342
Total-kvælstof, min.	(µg N/l)	1950	-	1645	1375	1350	1115	1126	1030	1810
Opl. uorg. kvælstof, gns.	(µg N/l)	1246	-	1371	1099	844	1114	1300	883	1067
Opl. uorg. kvælstof, 50% frakt.	(µg N/l)	817	-	978	528	390	534	323	220	669
Opl. uorg. kvælstof, 25% frakt.	(µg N/l)	474	-	570	183	200	15	84	35	36
Opl. uorg. kvælstof, maks.	(µg N/l)	3723	-	4098	4035	2882	3352	4272	3595	3382
Opl. uorg. kvælstof, min.	(µg N/l)	19	-	61	22	13	15	15	15	15
Total-fosfor, gns.	(µg P/l)	215	-	346	331	415	227	266	307	221
Total-fosfor, 50% frakt.	(µg P/l)	216	-	435	394	423	165	247	251	174
Total-fosfor, maks.	(µg P/l)	424	-	611	585	760	446	578	646	445
Total-fosfor, min.	(µg P/l)	66	-	75	91	111	68	43	58	60
Orto-fosfat, gns.	(µg P/l)	52	-	184	192	255	121	133	172	94
Orto-fosfat, 50% frakt.	(µg P/l)	38	-	176	133	211	65	46	153	22
Orto-fosfat, 25% frakt.	(µg P/l)	31	-	20	22	49	25	13	11	6
Orto-fosfat, maks.	(µg P/l)	110	-	371	565	556	382	514	416	330
Orto-fosfat, min.	(µg P/l)	11	-	10	14	16	5	5	5	5
Part. fosfor, gns.	(µg P/l)	163	-	162	140	161	107	133	135	128
Part. fosfor, 50% frakt.	(µg P/l)	143	-	113	129	157	90	140	104	119
Part. fosfor, 25% frakt.	(µg P/l)	81	-	92	76	123	69	68	78	56
Part. fosfor, maks.	(µg P/l)	386	-	418	354	277	206	262	239	306
Part. fosfor, min.	(µg P/l)	56	-	61	20	54	53	36	53	37
Part. N/Part. P, gns.		12	-	11	15	13	12	14	10	14
Part. N/Part. P, 50% frakt.		11	-	10	10	13	11	11	10	14
Part. N/Part. P, maks.		31	-	28	50	38	20	50	17	19
Part. N/Part. P, min.		5,8	-	3,3	3,8	3,6	7,4	4,6	5,5	10
Klorofyl-a, gns.	(µg/l)	155	89	105	130	135	50	108	72	124
Klorofyl-a, 50% frakt.	(µg/l)	120	83	87	97	125	49	113	58	84
Klorofyl-a, 75% frakt.	(µg/l)	207	87	141	165	206	65	158	119	163
Klorofyl-a, max.	(µg/l)	422	135	260	370	298	115	231	150	440
Klorofyl-a, min.	(µg/l)	42	70	13	14	5,0	6,0	19	14	12
(Nitrit+nitrat)-kvælstof, gns.	(µg N/l)	1187	-	1157	973	700	1018	1218	838	960
Ammonium-kvælstof, gns.	(µg N/l)	59	-	214	125	145	96	83	45	107
pH, gns.		8,69	-	8,61	8,46	8,76	8,48	8,49	8,6	8,73
Ledningsevne, gns.	(µg)	-	-	-	503	363	446	395	442	355
Total-alkalinitet, gns.	(meq/l)	-	-	-	2,6	3,0	3,3	2,6	3,2	2,3
Total-kuldioxid, gns.	(mmol/l)	2,61	-	2,47	2,6	2,9	3,3	2,6	3,1	2,2
Silikat-Si, gns.	(mg Si/l)	2,2	-	2,4	2,4	5,1	3,1	2,3	1,0	1,8
Tørstof (part.), gns.	(mg/l)	15,7	-	18,4	13,8	18,8	11,3	14,2	14,8	19,3
Glødetab (part.), gns.	(mg/l)	12,6	-	13,9	10,4	14,8	8,1	9,9	9,4	15,6
Primærprod., gns.	(mg C/m ² d)	3454	-	1885	2780	2692	1902	-	-	-
Primærprod., 50% frakt.	(mg C/m ² d)	3625	-	1807	2342	2449	1841	-	-	-
Primærprod., 75% frakt.	(mg C/m ² d)	4225	-	2697	3940	4101	2320	-	-	-
Primærprod., max.	(mg C/m ² d)	5008	-	3601	5500	6207	4090	-	-	-
Primærprod., min.	(mg C/m ² d)	855	-	76	488	151	282	-	-	-

Bemærkninger:

1) Station 2608201

De angivne gennemsnits- og fraktilværdier er tidsvægtede. Maksimum- og minimumsværdier er ikke nødvendigvis målt, men vil i visse tilfælde være beregnet ved lineær interpolation mellem værdi inden for den angivne periode og en evt. lavere/højere målt værdi lige uden for perioden

Bilag 6,2

Oversigt over fysisk-kemiske forhold i Langesø, St. 2608101-2608102, i perioden 1981-1994.										
HELE ÅRET		1981 ¹⁾	1987 ¹⁾	1988 ¹⁾	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Sigtdybde, gns.	(m)	0,92	-	1,11	1,22	1,14	1,23	1,33	1,40	1,15
Sigtdybde, 50% frakt.	(m)	0,91	-	1,15	1,08	1,10	1,30	1,28	1,45	1,27
Sigtdybde, maks.	(m)	1,5	-	1,70	2,60	2,20	1,80	2,22	2,40	1,80
Sigtdybde, min.	(m)	0,4	-	0,39	0,45	0,30	0,45	0,75	0,50	0,28
Total-kvælstof, gns.	(µg N/l)	4357	-	4292	3394	4072	3797	3930	3961	4006
Total-kvælstof, 50% frakt.	(µg N/l)	3805	-	3667	3140	3706	3346	4474	3144	3304
Total-kvælstof, maks.	(µg N/l)	7580	-	7580	7240	8520	8549	7624	8333	7900
Total-kvælstof, min.	(µg N/l)	1950	-	1645	1330	1350	1110	1126	1030	1810
Opl. uorg. kvælstof, gns.	(µg N/l)	3098	-	3243	2286	2634	2645	2782	3016	2824
Opl. uorg. kvælstof, 50% frakt.	(µg N/l)	2782	-	2702	2041	2516	1883	3359	2463	2564
Opl. uorg. kvælstof, 25% frakt.	(µg N/l)	981	-	1312	557	579	507	746	553	1009
Opl. uorg. kvælstof, maks.	(µg N/l)	6341	-	6779	4691	6124	7392	6850	7717	6395
Opl. uorg. kvælstof, min.	(µg N/l)	19	-	61	22	13	15	15	15	15
Total-fosfor, gns.	(µg P/l)	177	-	242	325	332	212	246	222	172
Total-fosfor, 50% frakt.	(µg P/l)	155	-	180	193	301	192	168	128	127
Total-fosfor, maks.	(µg P/l)	424	-	611	775	760	446	578	646	445
Total-fosfor, min.	(µg P/l)	56	-	52	88	80	53	43	56	60
Orto-fosfat, gns.	(µg P/l)	75	-	150	193	233	119	157	140	86
Orto-fosfat, 50% frakt.	(µg P/l)	70	-	137	95	219	108	80	86	66
Orto-fosfat, 25% frakt.	(µg P/l)	45	-	31	34	55	38	13	14	13
Orto-fosfat, maks.	(µg P/l)	172	-	371	565	556	382	514	417	330
Orto-fosfat, min.	(µg P/l)	10	-	6	11	16	5	5	<5	5
Part. fosfor, gns.	(µg P/l)	102	-	93	100	99	94	88	86	86
Part. fosfor, 50% frakt.	(µg P/l)	73	-	63	75	74	82	64	64	62
Part. fosfor, 25% frakt.	(µg P/l)	56	-	33	61	49	54	50	39	48
Part. fosfor, maks.	(µg P/l)	386	-	418	354	277	206	262	239	306
Part. fosfor, min.	(µg P/l)	27	-	15	20	31	42	23	31	27
Part. N/Part. P, gns.		17	-	18	13	19	14	19	13	16
Part. N/Part. P, 50% frakt.		13	-	17	10	16	13	17	13	14
Part. N/Part. P, maks.		48	-	42	50	58	28	50	29	44
Part. N/Part. P, min.		5,8	-	3,3	3,0	3,1	5,3	4,6	3,9	4,3
Klorofyl-a, gns.	(µg/l)	90	89	57	74	70	39	65	43	73
Klorofyl-a, 50% frakt.	(µg/l)	67	83	39	54	39	35	40	29	41
Klorofyl-a, 75% frakt.	(µg/l)	76	87	74	92	87	53	96	54	82
Klorofyl-a, max.	(µg/l)	422	135	260	370	298	115	231	150	440
Klorofyl-a, min.	(µg/l)	6,8	3,1	3,1	5,5	2,4	5,0	6,1	1,2	4,8
(Nitrit+nitrat)-kvælstof, gns.	(µg N/l)	3017	-	3091	2034	2411	2550	2560	2918	2707
Ammonium-kvælstof, gns.	(µg N/l)	81	-	152	251	223	95	222	99	118
pH, gns.		8,41	-	8,31	8,26	8,32	8,28	8,22	8,26	8,41
Ledningsevne, gns.	(µg)	416	-	405	395	403	454	431	471	399
Total-alkalinitet, gns.	(meq/l)	-	-	-	3,0	3,2	3,3	2,9	3,3	2,7
Total-kuldioxid, gns.	(mmol/l)	2,93	-	2,85	3,1	3,1	3,4	2,9	3,2	2,7
Silikat-Si, gns.	(mg Si/l)	3,7	-	2,3	1,6	5,3	3,2	3,1	2,7	2,2
Tørstof (part.), gns.	(mg/l)	11,7	-	11,2	9,7	12,4	8,6	10,7	10,4	13,9
Glødetab (part.), gns.	(mg/l)	8,1	-	7,5	6,4	8,7	5,5	6,5	5,7	8,6
Årsprimærprod., gns.	(mg C/m ² år)	615	-	381	512	504	387	-	-	-
Bemærkninger:										
1) Station 2608201										
De angivne gennemsnits- og fraktilværdier er tidsvægtede. Maksimum- og minimumsværdier er ikke nødvendigvis målt, men vil i visse tilfælde være beregnet ved lineær interpolation mellem værdi inden for den angivne periode og en evt. lavere/højere målt værdi lige uden.										

Bilag 6,3

Oversigt over fysisk-kemiske forhold i Langesø, St. 2608101-2608102, i perioden 1981-1994.										
VINTERPERIODEN (31.12-31.3)		1981 ¹⁾	1987 ¹⁾	1988 ^{1,2)}	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Total-fosfor, gns.	µg/l	-	-	137	121	307	177	159	132	108
Orto-fosfat, gns.	µg/l	-	-	104	63	208	128	80	92	71
Total-kvælstof, gns.	(µg N/l)	-	-	7388	3394	5703	6373	5167	7327	6200
(Nitrit+nitrat)-kvælstof, gns.	(µg N/l)	-	-	6490	4203	4180	5478	3593	6378	5371
Ammonium-kvælstof, gns.	(µg N/l)	-	-	55	27	281	56	44	99	74
pH, gns.		-	-	8,08	8,31	7,98	7,88	8,18	7,79	7,98
Total-alkalinitet, gns.	(meq/l)	-	-	-	3,7	2,9	3,7	3,4	3,0	3,1
Total-kuldioxid, gns.	(mmol/l)	-	-	3,17	3,7	2,9	3,6	3,4	2,8	3,2
Silikat, gns.	(mg Si/l)	-	-	4,7	0,26	3,5	6,3	2,3	5,4	4,1
Tørstof (part.), gns.	(mg/l)	-	-	5,5	7,5	8,3	5,3	8,0	6,3	6,9
Glødetab (part.), gns.	(mg/l)	-	-	2,2	3,8	5,1	2,2	4,4	2,8	2,2
Bemærkninger:										
1) Station 2608201										
2) Kun 1.1-31.3										
De angivne gennemsnits- og fraktilværdier er tidsvægtede. Maksimum- og minimumsværdier er ikke nødvendigvis målt, men vil i visse tilfælde være beregnet ved lineær interpolation mellem værdi inden for den angivne periode og en evt. lavere/højere målt værdi lige uden for perioden										
for perioden										

Bilag 7

Beregning af kvælstofudveksling via interne processer i Langesø, 1994. Beregnet tilførsel, fraførsel magasinændring og nettostofudveksling med sediment/atmosfære for total kvælstof (kg) på månedsbasis. Års- og sommermiddelværdier er ligeledes angivet.

LANGESØ, 1994: BEREGNING AF KVÆLSTOFFRIGIVELSE/TAB.

Måned	antal dage	Søvolumen pr.d.1. m ³	Tot-N konc. pr.d.1. µg/l	N-pulje pr.d.1. kg	Stign/md kg	Tot-N til kg	Tot-N fra kg	N-tilbageholdt kg
1	31	597455	6488	3876	262	5593	4691	902
2	28	565443	7319	4138	-470	2595	1948	647
3	31	551469	6651	3668	-682	4676	3489	1187
4	30	588483	5074	2986	-508	1655	1382	273
5	31	570724	4342	2478	-668	346	304	42
6	30	561935	3221	1810	-686	178	123	55
7	31	549733	2045	1124	424	85	85	0
8	31	503678	3073	1548	-630	71	120	-49
9	30	472024	1944	918	127	657	290	366
10	31	423247	2468	1045	-36	300	27	273
11	30	453968	2222	1009	1026	2001	125	1875
12	31	576026	3531	2034	1207	3430	1225	2206
1		579573	5593	3241				
max			7319	4138	1207	5593	4691	2206
sommermiddel		513557	2925	1487	-287	267	184	83
sum, sommer					-1433	1336	921	415
årsmiddel		537981	4152	2298	-53	1799	1151	648
sum, år					-635	21587	13809	7778

KVÆLSTOF FRIGØRELSE (+) BINDING (-) FOR HELE SØEN
KORRIGERET FOR TIL- OG FRAFØRT KVÆLSTOF

Måned	Areal af sø, m ² 171000			
	Fri/bundet N hele søen kg N/måned	Fri/bundet N pr.søoverfl. mgN/m ² /måned	Fri/bundet N hele søen kg N/dag	Fri/bundet N pr.søoverfl. mg N/m ² /dag
1	-640	-3743	-20,64	-120,73
2	-1118	-6535	-39,91	-233,41
3	-1869	-10928	-60,28	-352,52
4	-781	-4568	-26,04	-152,25
5	-710	-4151	-22,90	-133,91
6	-741	-4336	-24,71	-144,53
7	424	2479	13,67	79,96
8	-581	-3397	-18,74	-109,59
9	-240	-1402	-7,99	-46,72
10	-309	-1805	-9,96	-58,22
11	-850	-4970	-28,33	-165,68
12	-998	-5839	-32,21	-188,34
max	424	2479	13,67	79,96
sommermiddel	-370	-2161	-12,13	-70,96
Fri/bund. sommer, kg	-1848			
årsmiddel	-701	-4100	-23,17	-135,50
Ialt fri/bundet år, kg	-8412			

Bilag 8

Beregning af fosforudveksling via interne processer i Langesø, 1994. Beregnet tilførsel, fraførsel magasinændring og nettostofudveksling med sediment for total fosfor (kg) på månedsbasis. Års- og sommermiddelværdier er ligeledes angivet.

LANGESØ, 1994: BEREGNING AF FOSFORUDVEKSLING MED SEDIMENTET

Måned	antal dage	Søvolumen pr.d.1. m3	Tot-P konc. pr.d.1. µg/l	P-pulje pr.d.1. kg	Stign./md kg	Tot-P til kg	Tot-P fra kg	P-tilbageholdt kg
1	31	597455	115	69	-12	87	77	10
2	28	565443	100	56	0	34	28	6
3	31	551469	102	56	-12	75	59	16
4	30	588483	75	44	-9	26	15	10
5	31	570724	61	35	26	16	6	10
6	30	561935	108	60	17	11	7	5
7	31	549733	141	77	60	7	6	1
8	31	503678	274	138	63	9	14	-5
9	30	472024	426	201	-56	38	66	-27
10	31	423247	342	145	-50	15	4	11
11	30	453968	208	95	-14	30	6	24
12	31	576026	140	81	-20	109	44	65
1		579573	104	60				
max					63	109	77	65
sommermiddel		513557	202	109	22	16	20	-3
sum, sommer			426		110	82	99	-17
årsmiddel		537981	169	86	-1	38	28	10
sum, år					-9	457	332	125

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

Areal af sø, m² 171000

Måned	Fri/bundet P hele søen kg P/måned	Fri/bundet P pr.søoverfl. mgP/m ² /måned	Fri/bundet P hele søen kg P/dag	Fri/bundet P pr.søoverfl. mg P/m ² /dag
1	-23	-133	-0,73	-4,29
2	-6	-35	-0,22	-1,27
3	-28	-165	-0,91	-5,31
4	-20	-115	-0,66	-3,83
5	16	93	0,51	3,01
6	12	73	0,42	2,43
7	59	348	1,92	11,22
8	68	398	2,20	12,85
9	-29	-169	-0,96	-5,64
10	-61	-357	-1,97	-11,51
11	-38	-222	-1,26	-7,39
12	-86	-500	-2,76	-16,14
max	68	398	2	13
sommermiddel	25	149	0,82	4,77
Fri/bund. sommer, kg	127			
årsmiddel	-11	-65	-0,37	-2,16
Ialt fri/bundet år, kg	-134			

Bilag 9.1

Oversigt over biologiske parametre i Langesø, 1989-1994

LANGESØ 1989-94, plante- og dyreplankton Sommergennemsnit (1.5 - 30.9)												
Planteplanktonbiomasse	1989		1990		1991		1992		1993		1994	
	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%
Blågrønalger	0,07	1	47,43	94	7,88	68	1,38	9	4,18	49	16,28	47
Rekylalger	0,34	3	0,13	0	0,54	5	0,47	3	0,03	0	0,31	1
Furealger	0,49	4	0,35	1	0,11	1	3,32	22	0,64	7	17,25	49
Gulalger		0		0		0		0		0		0
Stilkalger		0		0	0,01	0	0,02	0	0,00	0	0,02	0
Kiselalger	0,39	3	0,97	2	1,47	13	2,12	14	2,21	26	0,34	1
Øjealger		0		0		0		0	0,05	1		0
Grønalger	9,59	85	1,56	3	1,31	11	6,87	47	0,99	12	0,45	1
Ubestemte arter	0,37	3	0,24	0	0,22	2	0,59	4	0,47	6	0,33	1
Total biomasse	11,25	100	50,69	100	11,55	100	14,77	100	8,58	100	34,96	100
Min. biomasse	0,56		0,37		0,26		1,28		1,52		0,54	
Max. biomasse	28,5		145,2		42,7		26,3		23,5		147,4	
Dyreplanktonbiomasse	1989		1990		1991		1992		1993		1994	
	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%
Copepoder	3,03	32	2,23	37	2,25	50	1,96	35	2,45	49	3,22	52
Cladocerer	5,86	63	3,46	58	1,66	37	2,56	46	2,16	43	2,40	39
Rotatorier	0,26	3	0,20	3	0,52	12	0,71	13	0,27	5	0,46	7
Ciliater	0,19	2	0,08	1	0,06	1	0,38	7	0,15	3	0,09	1
Total biomasse	9,34	100	5,96	100	4,49	100	5,61	100	5,02	100	6,17	100
Min. biomasse	2,79		1,54		2,42		2,23		2,54		3,27	
Max. biomasse	22,7		12,5		7,9		12,1		8,2		12,1	
Gennemsnit for den produktive periode (1. marts-31.okt.)												
Planteplanktonbiomasse	1989		1990		1991		1992		1993		1994	
	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%
Blågrønalger	0,09	1	29,84	90	4,94	56	0,77	7	2,74	42	10,17	43
Rekylalger	0,50	5	0,29	1	0,82	9	0,49	5	0,06	1	0,29	1
Furealger	0,35	4	0,22	1	0,07	1	1,85	18	0,41	6	10,75	45
Gulalger		0		0	0,00	0		0	0,00	0		0
Stilkalger		0		0	0,03	0	0,02	0	0,01	0	0,02	0
Kiselalger	0,99	11	1,39	4	1,68	19	2,75	26	2,19	33	1,99	8
Øjealger		0		0		0		0	0,03	1		0
Grønalger	7,00	75	1,14	3	0,89	10	4,08	39	0,77	12	0,33	1
Ubestemte arter	0,34	4	0,27	1	0,41	5	0,58	6	0,33	5	0,28	1
Total biomasse	9,27	100	33,15	100	8,85	100	10,54	100	6,54	100	23,83	100
Min. biomasse	0,56		0,11		0,26		0,76		1,52		0,54	
Max. biomasse	28,5		145,2		42,7		26,3		23,5		147,4	
Dyreplanktonbiomasse	1989		1990		1991		1992		1993		1994	
	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%	mm3/l	%
Copepoder	3,32	38	2,08	41	2,55	58	2,23	42	2,20	52	2,62	54
Cladocerer	4,57	53	2,71	53	1,15	26	2,08	39	1,63	38	1,65	34
Rotatorier	0,64	7	0,21	4	0,60	14	0,70	13	0,26	6	0,47	10
Ciliater	0,17	2	0,07	1	0,06	1	0,30	6	0,17	4	0,09	2
Total biomasse	8,70	100	5,07	100	4,36	100	5,30	100	4,27	100	4,83	100
Min. biomasse	2,79		1,54		2,42		1,78		2,17		0,87	
Max. biomasse	22,67		12,53		8,19		12,10		8,23		12,08	

Bilag 9.2

Oversigt over biologiske parametre i Langesø, 1989-1994.

Langesø 1989-94

Cladocerindeks	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Bemærkninger/referencer
Sommermiddel	0,50	0,52	0,44	0,32	0,47	0,49	Tidsvægtet
Årsmiddel	0,68	0,38	0,27	0,20	0,42	0,46	Tidsvægtet
Middellængde af cladocerer	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Bemærkninger/referencer
Sommermiddel, mm3/l	490	528	518	500	450	483	Antalsvægtet, ikke tidsvægtet
Årsmiddel, mm3/l	525	504	443	453	439	487	Antalsvægtet, ikke tidsvægtet
Græsning i sommerperioden	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Bemærkninger/referencer
Total algebiomasse, µgC/l	1247	5583	1272	1689	957	4191	Tidsvægtet
Alger < 50µ, µgC/l	1156	307	378	1092	413	242	Tidsvægtet
Pot. græsning, µgC/l*dag	478	282	196	406	269	273	Tidsvægtet
Græsningstryk, total, %	38	5	15	24	28	7	Middel efter /2/
Græsningstryk, <50µ, %	41	92	52	37	65	113	Middel efter /2/
Græsningstryk, total, %	57	6	22	24	33	23	Tidsvægtet median
Græsningstryk, <50µ, %	59	311	69	56	75	138	Tidsvægtet median
Fisk	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Bemærkninger/referencer
Garnfangster							
CPUE, antal, < 10cm	68,5	-	-	-	-	237,3	
CPUE, antal, > 10cm	71,3	-	-	-	-	38,8	
Småfisk i %	49	-	-	-	-	86	
CPUE, vægt, < 10cm (g)	289,1	-	-	-	-	831,7	
CPUE, vægt, > 10cm (g)	9057,7	-	-	-	-	4153,8	
Småfisk i %	3	-	-	-	-	17	
Fiskeindex	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Bemærkninger/referencer
Antal skidtfisk (> 10cm)/ Antal skidtfisk + aborre	0,90	-	-	-	-	0,96	Efter /1/
Fredfisk/ Fredfisk+rovfisk (antal)	0,86	-	-	-	-	0,75	Efter /2/
Fredfisk/ Fredfisk+rovfisk (vægt)	0,94	-	-	-	-	0,91	Efter /2/

Referencer:

/1/ Jeppesen, E., M.Søndergaard og H.Rossen: Restaurering af søer ved indgreb i fiskebestanden. -Danmarks Miljøundersøgelser 1989.

/2/ Kristensen, P., J.P.Jensen, E.Jeppesen og M.Erlandsen: Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1990 - Ferske vandområder - Søer. - Danmarks Miljøundersøgelser 1991.

Bilag 10

Lange Sø, morfometri (1986)

Kystlinielængde: 2.85 km.

m o.DNN m	Dybde - m	Kumuleret dybde %	Areal - m ²	Kumuleret areal m ²	Kumuleret areal %	Volumen - m ³	Kumuleret volumen m ³	Kumuleret volumen %
25,3	0,0	0,0	16279,21	170828,13	100,0	162688,53	530797,55	100,0
24,3	1,0	22,2	12222,74	154548,92	90,5	148437,55	368109,02	69,4
23,3	2,0	44,4	29520,23	142326,18	83,3	127566,07	219671,47	41,4
22,3	3,0	66,7	65202,73	112805,95	66,0	80204,59	92105,40	17,4
21,3	4,0	88,9	47603,22	47603,22	27,9	11900,81	11900,81	2,24
20,8	4,5	100,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0

Bilag 11

Oversigt over undersøgelser udført i Langesø Sø før 1989.

Udover de nedenfor omtalte undersøgelser, fremgår resultater af Fyns Amts overvågning i 1980-1988 af bilag 6. Resultaterne af samtlige tidligere undersøgelser er nærmere beskrevet i Fyns Amt (1994).

Referencer

Fyns Amtskommune og Vandkvalitetsinstituttet, 1974: Miljøbeskyttelse. Forundersøgelser af søer, moser og nor i Fyns Amt. - Beretning om 63 vandområder i amtet, 154 s.

Otterstrøm, C. V., 1927: Notat om Langesø, 12.-15. oktober 1927. - Danmarks Fiskeri- og havundersøgelser, 14 s.

