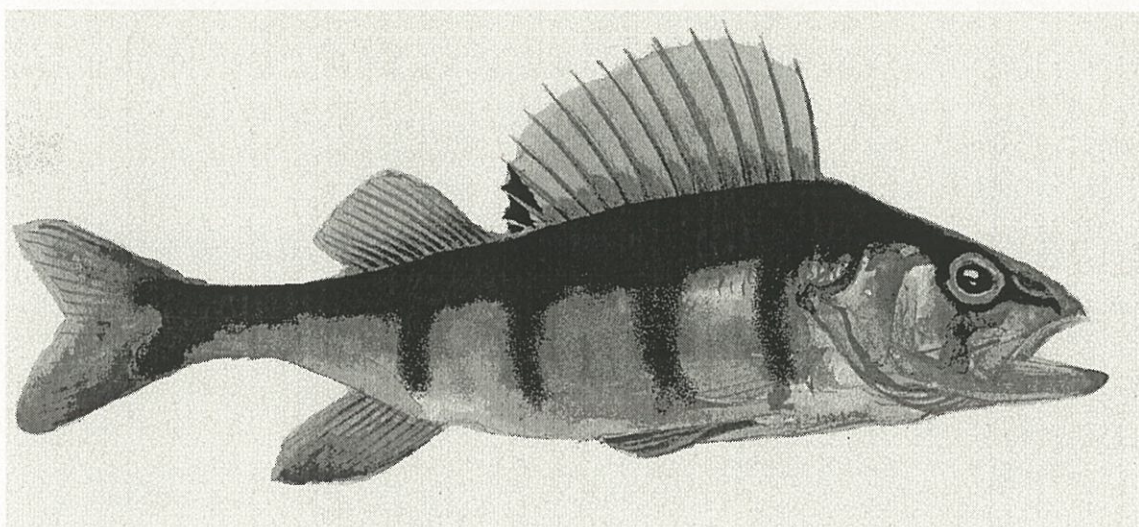




VANDMILJØ
Overvågning

TISSØ 2002



VANDMILJØ
Overvågning

TISSØ 2002

Udarbejdet af Natur & Miljø
Afdelingen for sø og hav
Maj 2003

Vestsjællands Amt, Natur og Miljø
Alleen 15, 4180 Sorø • Tlf. 5787 2900 • Fax. 5787 2800 • e-mail: n&m@vestamt.dk

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	5
1.1	Baggrund.....	5
1.2	Generel karakteristik.....	7
2	Klimatiske forhold	10
2.1	Temperatur.....	10
2.2	Nedbør og fordampning.....	11
3.	Oplandsbeskrivelse	14
3.1	Oplandskarakteristik og -beskrivelse.....	14
3.3	Kilder til næringsstofbelastningen	16
4	Vand- og stofbalancer	21
4.1	Vandbalance.....	21
4.2	Fosforbalance	24
4.3	Kvælstofbalance.....	26
4.4	Jernbalance.....	27
5	Udvikling i miljøtilstanden	29
5.1	Fosfor	29
5.2	Kvælstof.....	31
5.3	Øvrige vandkemiske og -fysiske parametre.....	33
5.4	Sigtdybde og klorofyl	35
5.5	Planteplankton.....	38
5.6	Dyreplankton.....	42
5.7	Samlet diskussion af plante- og dyreplankton	47
5.8	Undervandsplanter	57
5.9	Fiskeyngel	68
6	Søtilstand og målsætning	70
6.1	Søtilstand.....	70
6.2	Målsætning.....	70
6.3	Udvikling	71
7	Sammenfatning	73
8	Bilag.....	74

1 Indledning

1.1 Baggrund

I foråret 1987 vedtog Folketinget "Vandmiljøplanen", en handlingsplan hvis mål er at nedbringe næringssaltbelastningen af det danske vandmiljø.

Samtidigt iværksattes et landsdækkende overvågningsprogram omfattende alle dele af vandmiljøet, med det formål at dokumentere effekten af Vandmiljøplanen. Overvågningen af søer omfatter ud over registrering af ændringer i næringssaltbelastningen også generelle tilstandsundersøgelser i form af vandkemiske og biologiske analyser. Overvågningsprogrammet påbegyndtes i 1989 og er med mindre justeringer fortsat indtil 1997, hvor der blev foretaget en gennemgribende revision af hele overvågningsprogrammet. Det reviderede program trådte i kraft i 1998. For søernes vedkommende var den væsentligste ændring, at det biologiske undersøgelsesprogram blev udvidet med årlige fiskeyngelundersøgelser.

På landsplan indgår 37 søer i overvågningsprogrammet. Søerne er udvalgt, så de er repræsentative for danske søer og spænder fra de helt rene, klarvandede til søer, der er stærkt forurenet af spildevandsudledning. Samtidigt repræsenterer de såvel store og små som dybe og lavvandede søer. Overvågningen skulle således kunne give et nogenlunde dækkende billede af den generelle tilstand i de danske søer.

Tre af overvågningssøerne er beliggende i Vestsjællands Amt: Tissø, Tystrup Sø og Maglesø ved Brorfelde. Deres geografiske placering fremgår af figur 1.1.1.

Tystrup Sø indgår i programmet som eksempel på en stor sø, der især er påvirket af spildevandsudledning. Tre af regionens større byer er beliggende inden for dens opland. Tissø er ligeledes udvalgt som eksempel på en stor sø, men påvirket overvejende af landbrugsdrift i oplandet. Overvågningen har imidlertid vist, at begge søer primært påvirkes af spildevand fra renseanlæg og sekundært af spildevand fra spredt bebyggelse, mens påvirkning fra landbruget ikke har kunnet eftervises.

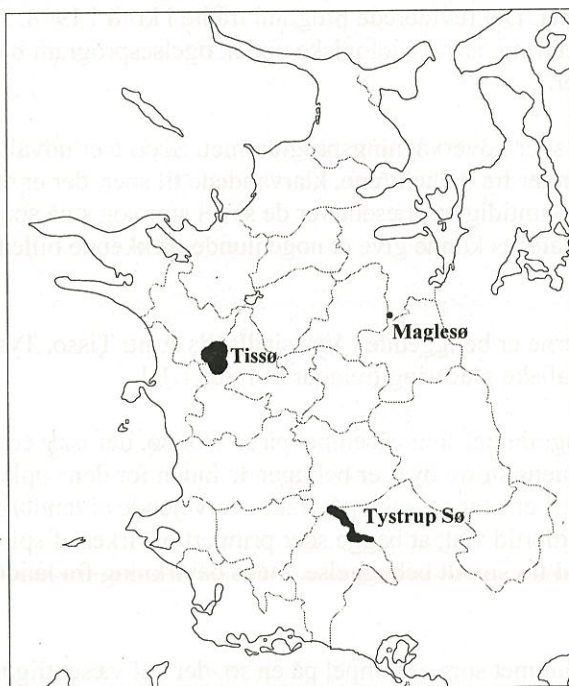
Maglesø indgår i programmet som eksempel på en sø, der i al væsentlighed er upåvirket af kulturbetingede aktiviteter. For Maglesøs vedkommende er det således ikke formålet med overvågningen at eftervise en evt. effekt af Vandmiljøplanen, men derimod at dokumentere forholdene i en upåvirket sø og give et billede af den naturbetingede variation fra år til år. Maglesø repræsenterer den normale søtype på Sjælland i forholdsvis uspoleret form og tjener således et vigtigt formål som *referencesø*, ved fastsættelse af målsætninger og vurdering af tilstande i de øvrige søer i amtet.

Overvågningen foretages efter de vejledninger og tekniske anvisninger for overvågningsprogrammet, som er udgivet af Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser - med enkelte mindre justeringer foretaget undervejs i forbindelse af med revidering af overvågningsprogrammet eller efter aftale på fagmøder.

Alle data fra overvågningen indberettes til fagdatacentret DMU i Silkeborg og afrapporteres årligt i henhold til paradigmaer, der aftales mellem amterne og Miljøstyrelsen.

Denne rapport, der vedrører overvågningen af Tissø, giver en kortfattet præsentation af årets undersøgelsesresultater og en sammenligning med de foregående undersøgelsesår, med vægten på eventuelle udviklingstendenser eller på anden måde bemærkelsesværdige målinger eller iagttagelser. Rapporten giver således ikke en generel beskrivelse af søens tilstand på baggrund af de samlede resultater fra hele overvågningsperioden.

Rapporten er udarbejdet af afdelingen for sø og hav, Natur & Miljø, Vestsjællands Amt. Planktonbearbejdningen er foretaget af Miljøbiologisk Laboratorium. Vegetationsundersøgelserne er udført og rapporteret af Carl Bro Miljø.



Figur 1.1.1 Beliggenheden af de tre overvågningsøer i Vestsjællands Amt

1.2 Generel karakteristik

Tissø, som er den største ferskvandssø i Vestsjællands Amt, er beliggende 6-7 km fra Storebæltskysten på grænsen mellem kommunerne Hvidebæk og Høng.

Øst for søen er terrænet bakket, men vest for, ud mod Storebæltskysten og den fremherskende vindretning, er landskabet fladt og skovløst. Vinden har derfor stor effekt på den i forhold til overfladearealet meget lavvandede sø, der også kun undtagelsesvis har lagdelt vandmasse.

De vigtigste morfometriske data for Tissø fremgår af tabel 1.2.1.

Tabel 1.2.1 Morfometriske data for Tissø

Oplandsareal	402.99 km ²
Søareal	1233 ha
Middeldybde	8.2 m
Max. dybde	13.5 m
Søvolumen	100.64 mio. m ³
Kystlængde	14.6 km
Hydraulisk. opholdstid	1.5 år

Søen, der er dannet som et dødishul, har en meget regelmæssig form, nærmest som en tallerken med en lavvandet randzone på 100 - 300 m's bredde og en relativt stejl skrænt ned til den jævne søbund i 9-12 m's dybde. Dybdeintervallet fra 2-9 m udgør kun ca. 18 % af søens areal, mens intervallet fra 9-12 m omfatter 42 % af søarealet, jvf. fig. 5.7.2. (side 54-56). Bunden skråner svagt ud mod de to dybeste huller på henholdsvis 13.5 og 12.5 m. I østsiden af søen ligger en lille kegleformet grund, Aborreholm, som fra 7 m's dybde næsten når vandoverfladen. Fra øst- til vestbredden måler Tissø lidt over 3.5 km, mens afstanden fra nord til syd er knap 5 km. Søen er i omrids oval med en kystlinje, der er næsten uden bugtninger og derfor kort i forhold til søens areal.

Vandspejlet ligger i kote 1.0 (middelvandstand) og reguleres ved et stemmевærk i Nedre Halleby Å ca. 300 meter fra søen. Vandspejlet lå tidligere 1-2 m højere end i dag. I slutningen af 1800-tallet faldt vandstanden kraftigt, som følge af en omfattende regulering af Halleby Å både op- og nedstrøms Tissø. Stemmевærket blev kort efter bygget for at reducere vandstandsfaldet.

Vandstanden er siden blevet reguleret efter varierende regulativer, der generelt har ført til lavere og lavere vandstand indtil vedtagelsen af de nugældende regler, der sigter mod at vandstanden kun undtagelsesvis falder til under kote 1.0 m. Princippet i styringen af stemmевærket var oprindeligt, at sænke vandstanden hurtigst muligt om foråret af hensyn til de lavtliggende landbrugsarealer omkring søen og langs øvre Halleby Å. Nu tilstræbes det, inden for det samme vandstandsregi, at tilbageholde en del af forårsafstrømningen for i sommerperioden både at kunne overholde kravene til mindstevandstand og mindsteafstrømning, samtidigt med at der til vandforsyning kan indvindes 300 l/sek.

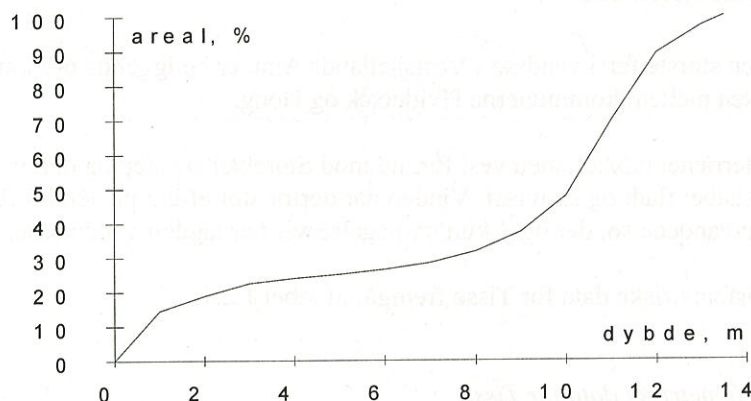


Fig. 1.2.2 Tissø. Hypsograf der angiver den relative størrelse af de enkelte dybdeintervaller.

De gentagne vandstandssænkninger har i kraft af terrænformen ført til tørlægning af en bred randzone, hvilket i betydelig grad har reduceret arealet, hvor der er mulighed for undervandsvegetation. Det ødelagde desuden geddernes gydepladser, hvilket er grunden til, at der allerede inden århundredeskiftet oprettedes en geddeklækningsanstalt i søen. Anstalten blev flyttet i 1991.

Tissø gennemløbes af Åmose Å, som er hovedvandløbet i Sjællands næststørste vandløbssystem med et opland på i alt 515 km².

Åmose Å, der er 62 km lang, har sit udspring i skovene ved Skjoldnæsholm nord for Ringsted. Som et stærkt reguleret vandløb løber den gennem den afvandede Åmose. Ved Bromølle løber åen fra den flade mose brat over i et dybt tunnellob, fortsætter mod nord mod Skarresø hvorefter den drejer mod syd og benævnt Øvre Halleby Å løber gennem lille Åmose og ud i Tissø. På strækningen fra Bromølle til området syd for Skarresø er Åmose Å et stort og helt ureguleret vandløb med godt fald og god vandføring, og strækningen er amtets bedste ørredvand. I resten af forløbet er den kanallignende og uden væsentlig naturinteresse.

Afløbet fra Tissø, Nedre Halleby Å, løber direkte mod vest, indtil det en god km fra Storebæltskysten drejer mod syd og derefter løber parallelt med kysten nogle km. inden det via den laguneagtige brakvandssø, Flasken, løber ud i Jammerland Bugt. Kort efter stedet, hvor åen drejer mod syd findes en gravet kanal direkte ud til havet. Tidligere udledte sukkerfabrikken i Gørlev meget store mængder spildevand til åen under roekampagnen. I denne periode ledtes Nedre Halleby Å gennem nævnte kanal for at beskytte Flasken, der er et vigtigt opvækstområde for fladfisk. Resten af året var kanalen lukket. Sukkerfabrikken er nu lukket og kanalen benyttes ikke længere.

Der er kun få søer i vandløbssystemet. Skarresø ved Jyderup er med et areal på 194 ha. den største. Den var tidligere stærkt belastet af spildevand fra Jyderup. Efter afskæring af spildevandet er tilstanden så småt ved at blive bedre. Søen er dog stadig præget af blågrønalger og bundvegetationen er meget svagt udviklet. Som led i et restaureringsprojekt blev der i foråret 2002 udsat 50.000 stk. geddeyngel i Skarresø. Den 30 ha store Madesø i lille Åmose var, indtil afskæring af spildevandet fra Jordløse for få år siden, en af amtets mest forurenede søer; og tilstanden er stadig ret dårlig. Ud over disse to findes der i oplandet til Tissø kun nogle ret uinteressante småsøer og mosehuller. Tissø må derfor med hensyn til flora- og faunaspredning betegnes som meget isoleret.

Tissø er en naturligt eutrof sø, der gennem tiden er blevet yderligere næringsberiget p.g.a. udledning af spildevand og udvaskning fra landbrugsarealer.

Søen er genstand for en betydelig vandindvinding primært til industri i Kalundborg. Den udnyttes desuden til erhvervsfiskeri efter især ål og aborre.



2 Klimatiske forhold

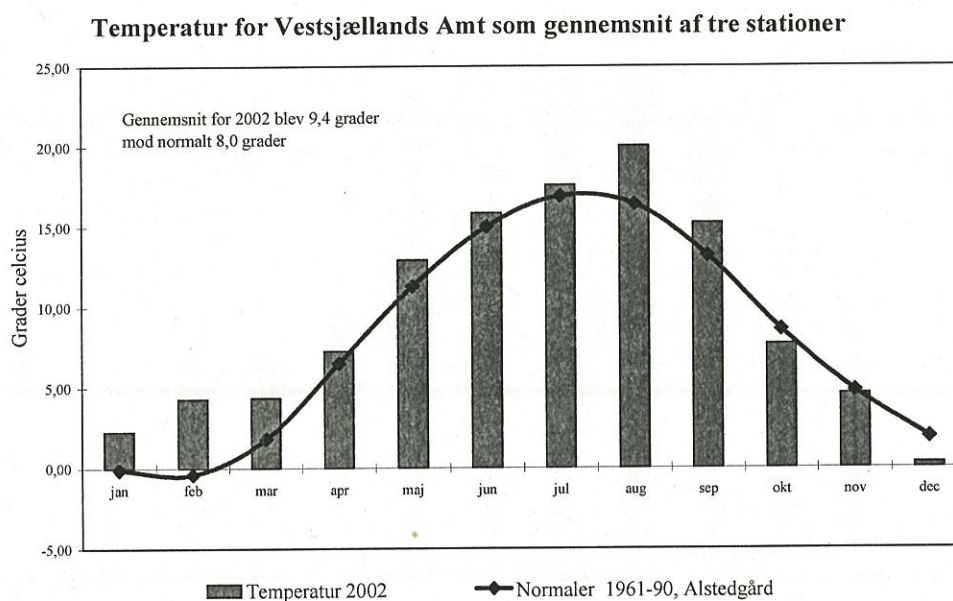
Under beskrivelse af klimaet er Tuse Å og oplandet til stationen ved Nybro udvalgt som repræsentativt for Vestsjællands Amt. Nedbøren til Tuse Å ved Nybro er beregnet ud fra følgende klimastationer:

$$0.34 \cdot 29199 (\text{Undløse}) + 0.43 \cdot 29062 (\text{Stigsbjergby}) + 0.23 \cdot 29040 (\text{Holbæk})$$

Nedbørsmængderne er korrigeret for målefejl som beskrevet af Allerup, P., Madsen, H., Vejen, F. (1998). Temperaturen er et gennemsnit af følgende tre stationer: Alstedgård, Flakkenbjerg og Røsnæs.

2.1 Temperatur

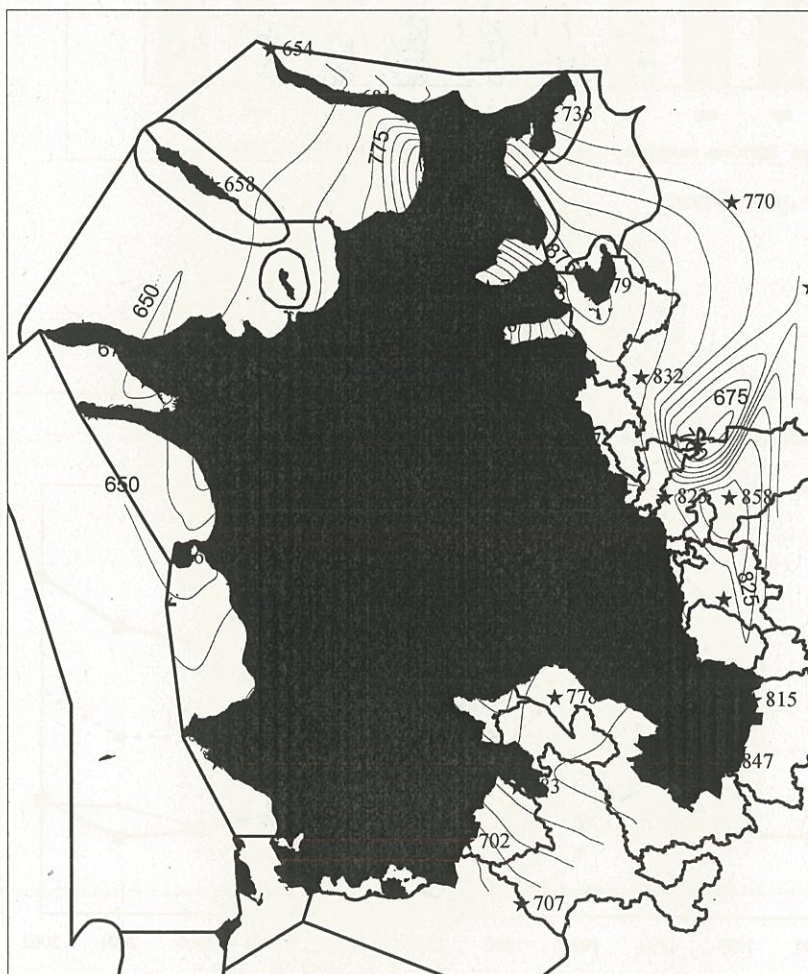
For året som helhed blev temperaturen ca. 1,4 grader end normalt. Kun i perioden oktober-december lå temperaturen lidt lavere end normalt mens især februar og august blev varmere.



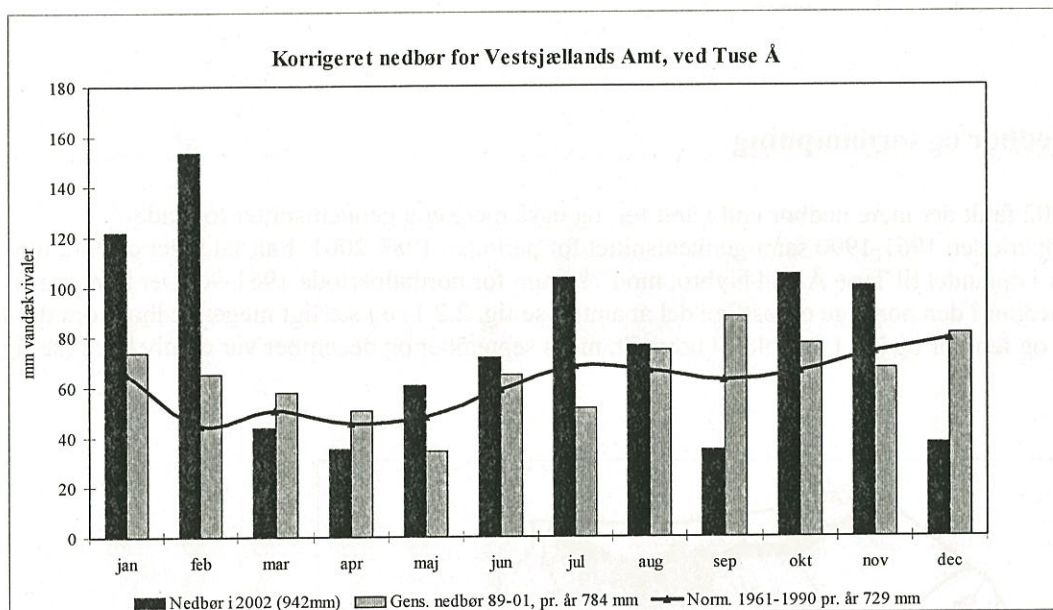
Figur 2.1.1 Temperatur forløbet som måneds gennemsnit

2.2 Nedbør og fordampning

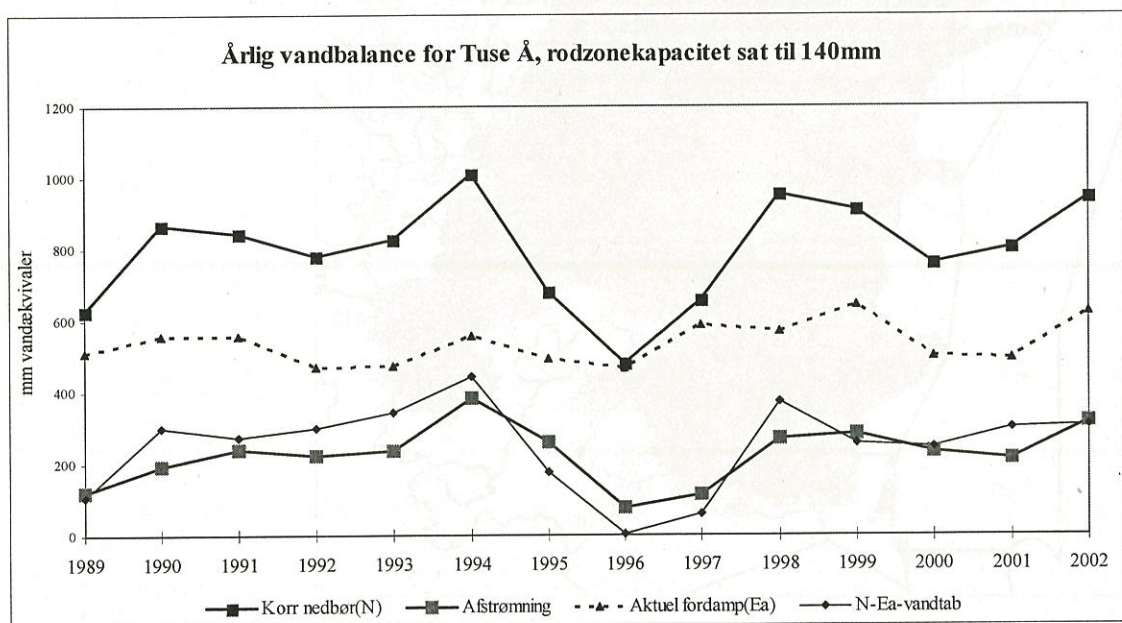
I år 2002 faldt der mere nedbør end i året før, og også mere end gennemsnittet for både normalperioden 1961-1990 samt gennemsnittet for perioden 1989-2001. I alt faldt der ca. 942 mm nedbør i oplandet til Tuse Å ved Nybro, mod 729 mm for normalperiode 1961-90. Der kom generelt mest nedbør i den nordlige og østlige del af amtet (se fig. 2.2.1) og særligt meget nedbør kom der i januar og februar og juli i forhold til normalt, mens september og december var relativt tørre (se figur 2.2.2).



Figur 2.2.1 Nedbør i Vestsjællands Amt i 2002 (ukorrigerede)



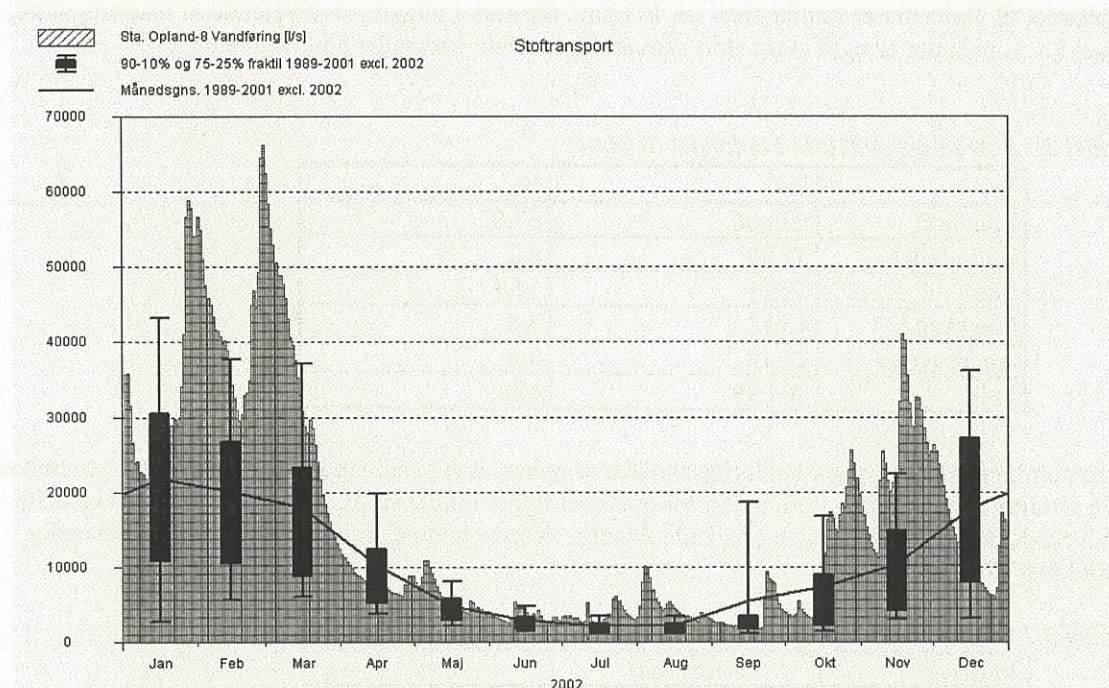
Figur 2.2.2 Månedssummer af nedbøren



Figur 2.2.3 Vandbalancen opgjort som : årssummer af nedbør, fordampning, afstrømning og nettonedbør i perioden 1989-2002

Den aktuelle fordampning ved Tuse Å blev for 2002 ca. 624 mm (beregnet ud fra en gennemsnitlig rodzonekapacitet på 140 mm og fordampningen ved Maglesø). Nettonedbøren blev ca. 318 mm og heraf strømmede det meste overfladisk af, da afstrømningen i Tuse Å blev 317 mm for 2002.

Afstrømningen i 2002 varierede fra 373 mm ved Hulebækken til kun 220 mm ved Fladmose Å. I langt de fleste vandløb blev afstrømning over 300 mm, kun i de sydligste vandløb var afstrømningen under 300 mm. I gennemsnit blev afstrømningen ca. 45 % større i 2002 i forhold til året før.



Figur 2.2.4 Den summeret vandføring i 2002 sammenholdt med fraktiler for perioden 1989-2001, fra 10 stationer med et samlet opland på ca. 1500 km².

Som det kan ses i figur 2.2.4, var afstrømningen særlig stor i februar samt fra midt i oktober i forhold til perioden 1989-2001, mens afstrømningen i april og september var mindre end gennemsnittet for 1989-2001.

3. Oplandsbeskrivelse

3.1 Oplandskarakteristik og -beskrivelse

Oplandet til Tissø har et samlet areal på 403 km². Oplandet udgøres overvejende af landbrugsjord, se tabel 3.1.1, men der er også et ret stort skovareal, specielt i området omkring Skarresø.

Tabel 3.1.1 Arealanvendelsen i oplandet til Tissø

	Ha	%
Landbrug	273,06	67,8
Byområder	32,99	8,2
Skov	59,31	14,7
Ferskvand	15,51	3,8
Andre typer	22,12	5,5
I alt	402,99	100

Den dominerende jordtype i landbrugsandelen af oplandet er sandblandet ler, hvorfor der generelt er tale om frugtbar landbrugsjord. Inden for oplandet ligger imidlertid også nogle af sjællands største opdyrkede moseområder, Store - og Lille Åmose, hvorfor humusjorde tegner sig for en væsentlig andel med 14,1 %.

Tabel 3.1.2 Jordtypefordeling i det dyrkede areal af oplandet til Tissø

Jordtype	Areal (ha)	%
Type 1	55	0.2
Type 2	27	0.1
Type 3	7345	26.9
Type 4	14336	52.5
Type 5	1666	6.1
Type 6	55	0.2
Type 7	3850	14.1
I alt	27333	100

Der er ingen større byer, som udleder spildevand til vandsystemet, men, som det fremgår af fig.1.2, er der mange små. Den største by inden for oplandet, Jyderup ved Skarresø, udledte tidligere spildevand til Skarresø, men er nu afskåret til et andet vandløbssystem.

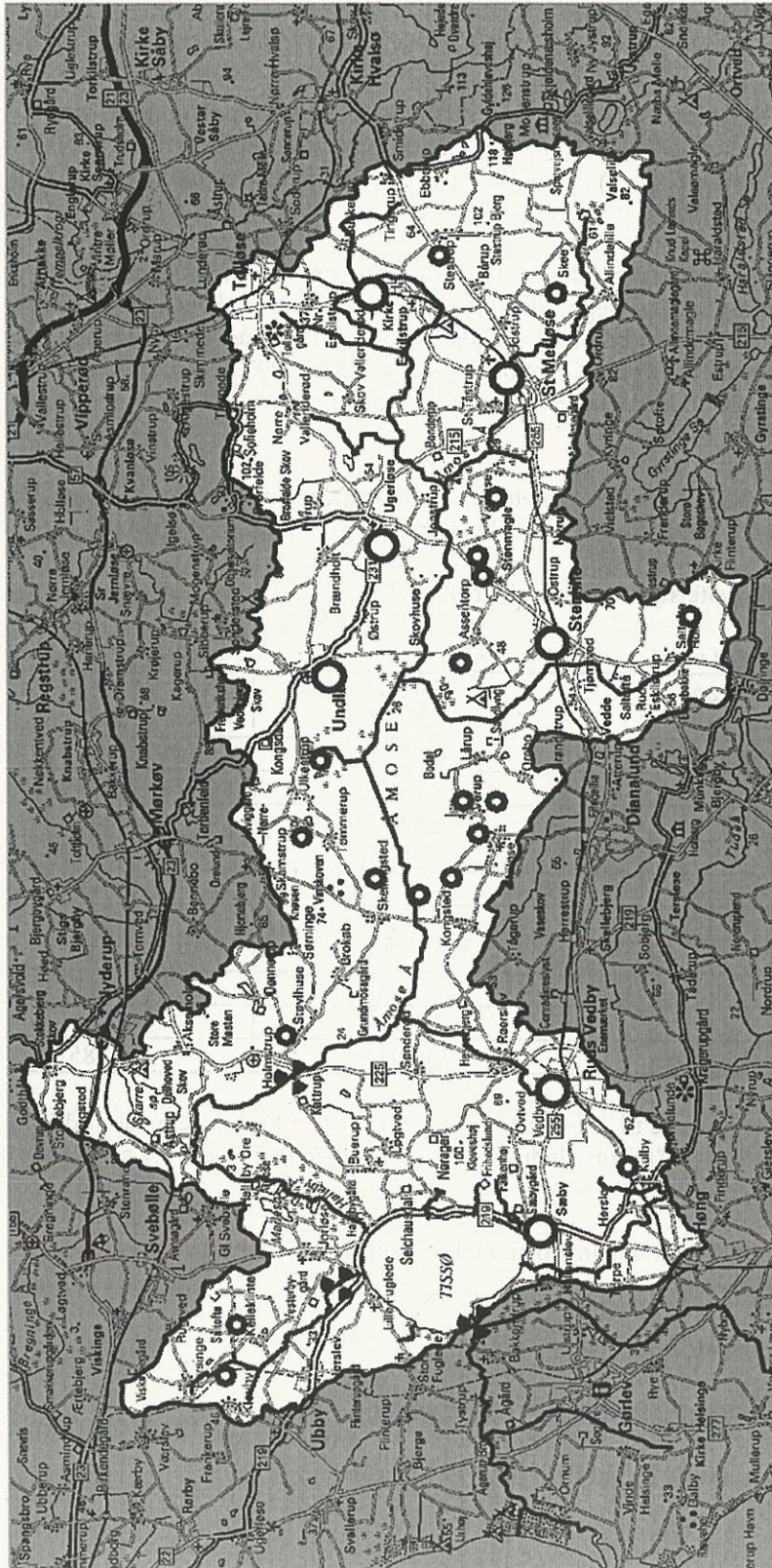


Fig. 3.1.1 Kort over Tissøs opland og A-mose A systemet med angivelse af målestationer i Tissø til og afløb (propeller) og med angivelse af rensesanlæg, der belaster Tissø. Store cirkler angiver rensesanlæg større end 1000 PE, små cirkler anlæg fra 30 til 1000 PE.

3.3 Kilder til næringsstofbelastningen

Stoftilførslen til Tissø måles ved stationen Åmose å, ved Bromølle. Åmose Å afvander et større mose- og landbrugsområde med et oplandsareal på 291 km². I oplandets øvre dele tilføres spildevand fra en række mellemstore bysamfund, Ugerløse, Tølløse og Stenlille. Stationen har fungeret som stoftransportstation i årene 1974 - 76 og 1985 - 2002.

I forbindelse med vandmiljøplanens ikrafttræden i 1989 oprettedes stationer i to af de mindre tilløb til Tissø: Tranemose Å og Duemoserenden. Begge stationer ligger i landbrugsoplande, hvor spildevand fra små bysamfund og spredt bebyggelse tilføres. Tranemose Å ved Tissøgård har et oplandsareal på 19,6 km². Vandløbet er sommerudtørrende. Stationen blev nedlagt i 1997. Duemoserenden ved Venteskov har et oplandsareal på 16 km². Driften af denne station ophørte i 1992 efter revisionen af overvågningsprogrammet.

Ligeledes i forbindelse med vandmiljøplanen, oprettedes vandløbsstationen Halleby Å, Afløb Tissø til måling af udløbsmængder fra Tissø. Søafløbets oplandsareal er 403 km².

Belastningen til Tissø 2002 fordelte sig som anført i tabel 3.3.1.

Tabel 3.3.1. Tilførslen til Tissø af vand, kvælstof og fosfor i 2002.

	Vand mio. m ³	Total N ton	Total-P ton
Total belastning	130.046	880.239	13.617
Spildevand		36.491	1.811
Industri		0.190	0.06
Regnoverløb		3.939	1.030
Spredt bebyggelse.		13.447	3.064
Atm.depos.		23.265	0.155
Naturbidrag		186.495	6.109
Landbrug		642.009	1.743
Retention i søer		-25.596	-0.487
Målt afløbsmængde	140.206	330.915	17.785

Stofbelastningen fra de umålte oplande til Tissø, som samlet udgør 94.5 km², beregnedes tidligere ved anvendelse af arealkoefficienter ("Diffuse bidrag") fra målte oplande til søen, d.v.s. oplande til Tranemose Å og Åmose Å

Fra 1998 beregnes belastningen fra det umålte opland ud fra koncentrationer og vandføringer på relevante referencestationer.

For Tranemose å er fundet følgende relationer:

$$N\text{-Tranemose } \bar{A} = 1.35 \times N\text{-}\bar{A}\text{mose } \bar{A}, \text{ Bromølle} + 1.5 \quad (R^2=0.86)$$

$$P\text{-Tranemose } \bar{A} = 1.27 \times P\text{-}\bar{A}\text{mose } \bar{A}, \text{ Bromølle} + 0.02 \quad (R^2=0.62)$$

For nemheds skyld er for både N og P regnet med 1.3 X koncentrationerne ved Bromølle. For vandføringen er fundet følgende korrelation med Bjerger Å ved Fårdrup.

$$Q\text{-Tranemose } \text{\AA} = 0.844 \times \text{Bjerger } \text{\AA} - 0.08 \quad (R^2 = 0.93)$$

For Duemoserenden er fundet bedst korrelation med hensyn til kvælstof med Seerdrup Å:

$$N\text{-Duemoserenden} = 1.25 \times N\text{-Seerdrup}\text{\AA} \text{ v. Johannesdal} - 0.56 \quad (R^2 = 0.92)$$

Der er ikke fundet signifikant sammenhæng for fosfor med andre målestationer, der er derfor for begge parametre regnet med 1.25 x koncentrationen i Seerdrup Å. Vandføringen bestemmes ud fra QQ-relation med Tude Å ved Ørslev.

Ved bestemmelsen af transporten fra det umålte opland benyttes ovenstående relationer i forhold til oplandenes relative størrelse af det umålte opland.

Bidrag fra atmosfærisk nedfald og naturbidrag beregnes ud fra erfaringstal. Naturbidrag beregnes på baggrund af tilført vandmængde, der ganges med erfaringstal for stofkoncentration.

Bidrag fra landbrug beregnes som stoftilførsel (inklusiv retention i søer), minus spildevands- og naturlige bidrag.

Fosfor

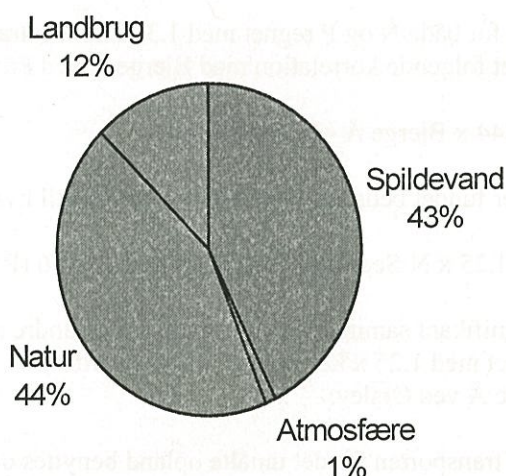
Kilderne til næringsstofbelastningen af Tissø er spildevandsudledninger, udvaskning fra oplandsarealet og atmosfærisk deposition. Spildevands- og udvaskningsbidrag opgøres på delkilder hvis størrelser fremgår af tabel 3.3.1.

Som det fremgår af figur 3.3.1 er spildevand den væsentligste kilde til fosforbelastningen af Tissø. 60 % af spildevandstilførslen stammer fra den spredte bebyggelse.

Det atmosfæriske bidrag på selve søarealet er ikke vist på figuren. I kraft af søens beskedne areal i forhold til oplandsarealet udgør det kun ca. 1 % af belastningen.

Udvaskningsbidraget (eller arealbidraget), som tegner sig for 56 % af den samlede fosforbelastning, er på lagkagediagrammet delt i et naturbidrag og et landbrugsbidrag. Naturbidraget er ikke bidraget fra naturområder inden for oplandet, men den del af udvaskningen fra hele arealet, der antages at være naturlig. Landbrugsbidraget betegner den yderligere udvaskning, der hidrører fra den opdyrkede del af arealet. Da knap 70% af oplandet er opdyrket betyder det at ca. 46 % af den samlede tilførsel skyldes udvaskning fra landbrugsarealet.

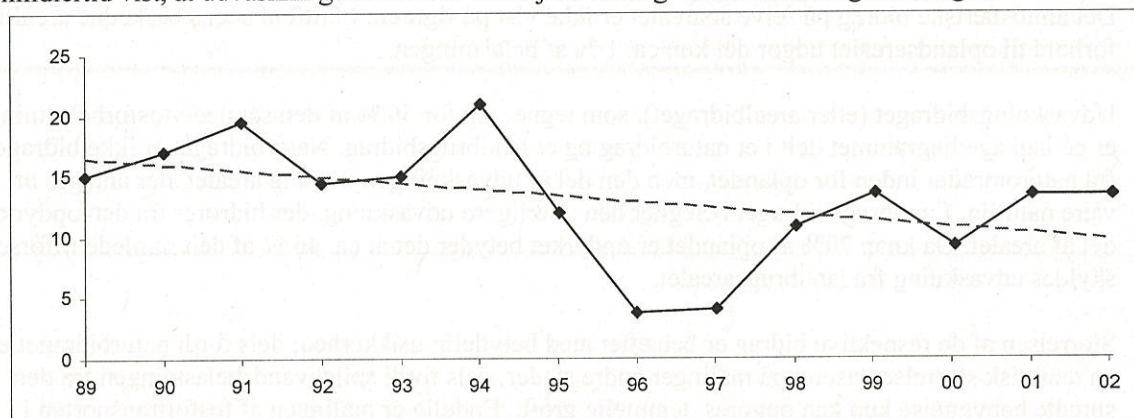
Størrelsen af de respektive bidrag er behæftet med betydelig usikkerhed; dels fordi naturbidraget er en teoretisk størrelse baseret på målinger andre steder, dels fordi spildevandsbelastningen fra den spredte bebyggelse kun kan opgøres temmelig groft. Endelig er målingen af fosfortransporten i vandløb, hvor på totalbelastningen er baseret, behæftet med en væsentlig fejlkilde.



Figur 3.3.1 Fordelingen af fosfortilførslen til Tissø på kilder.

Kontinuere målinger af transporten har afsløret at en betydelig del af fosfortransporten sker under kraftige regnvejrshændelser, hvor partikulært materiale i dræn og vandløb rives med af strømmen, således at der i korte perioder er en stor vandføring med en ekstremt høj fosforkoncentration. Målt på sædvanlig vis med stikprøver vil man i reglen ikke få disse "flom"-transporter med. Undersøgelser på Fyn har vist, at fosfortransporten i mindre vandløb målt på den sædvanlige metode gennemsnitligt undervurderes med 67 %. Da landbrugsbidraget beregnes som resten, når alle de andre kilder er trukket fra den totale transport, vil en underestimering af transporten medføre en tilsvarende underestimering af landbrugsbidraget. Dette er formentlig forklaringen på at beregningerne visse år har givet et negativt landbrugsbidrag.

Lerjord, som dominerer Tissøs opland, antages at binde fosfor stærkt, med mindre indholdet af fosfor er meget højt; udvaskningen af fosfor skulle derfor være beskeden. Nyere undersøgelser har imidlertid vist, at udvaskningen af fosfor fra lerjord er langt større end tidligere antaget.



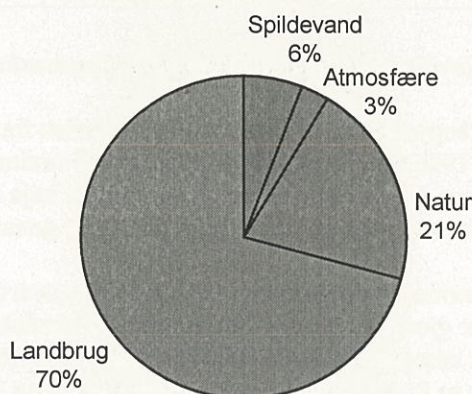
Figur 3.3.2 Udvikling i fosforbelastningen af Tissø, t/år. Tendenslinje beregnet ved lineær regression.

Udviklingen i stofbelastning over overvågningsperioden stemmer godt overens med variationen i vandafstrømning. Den afspejler således i højere grad klimatisk variation end egentlige udviklingstendenser i belastningen. Fosforbelastningen afbildet i figur. 3.3.2 viser den store år til år variation fra over 21 t til under 4 t afhængigt af afstrømningen (sammenlign med figur 2.3.3).

Fosforbelastningen viser tilsyneladende en faldende tendens, der imidlertid ikke er statistisk signifikant.

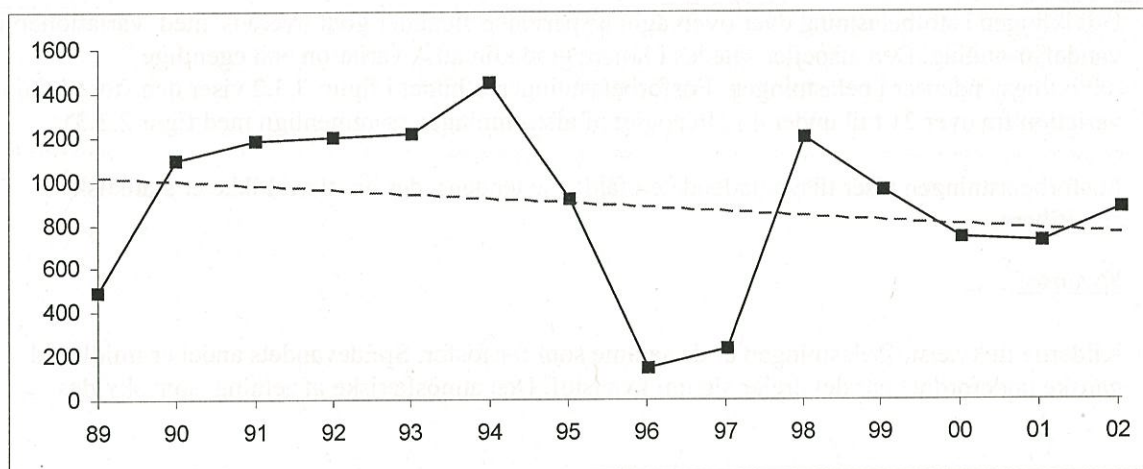
Kvælstof

Kilderne til kvælstofbelastningen er de samme som for fosfor. Spildevandets andel er imidlertid ganske underordnet når det drejer sig om kvælstof. Den atmosfæriske afsætning, som skyldes



Figur 3.3.3 Fordelingen af kvælstoftilførslen til Tissø på kilder.

ammoniakfordampning og kvælstofilter fra biler og forbrændingsanlæg bidrager med en noget større andel end for fosfor vedkommende, men er dog stadig helt underordnet i forhold til udvaskningsbidraget der tegner sig for i alt 91 % af belastningen. 21 af de 91 % antages at udgøre den naturlige udvaskning af kvælstof, mens resten skyldes landbrugsdriften i oplandet.



Figur 3.3.4 Udvikling i kvælstofbelastningen af Tisø, t/år. Tendenslinje beregnet ved lineær regression.

Kvælstoftilførslen udviste i begyndelsen af overvågningsperioden fra 1989 til 1995 en stigende tendens. Herefter var den i 1996 og 97 rekord lav på grund af minimal nedbør, men steg så i 1998 og 99, hvor nedbørsforholdene var mere normale, til det samme høje niveau, som den lå på ved overvågningens start. De seneste par år har den ligget lidt under gennemsnittet for perioden.

Kvælstofbelastningen må nærmest betragtes som uændret siden overvågningens start; hvilket er udtryk for, at de tiltag, der er gjort i landbruget for at mindske kvælstofudvaskningen, ikke har haft den tilsigtede virkning. Den beregnede tendens viser et faldende forløb, der dog ikke er signifikant. Hædningen skyldes især de to år med meget lav belastning 1996 og 1997. Tendensen er dog også svagt faldende hvis disse to år udelades.

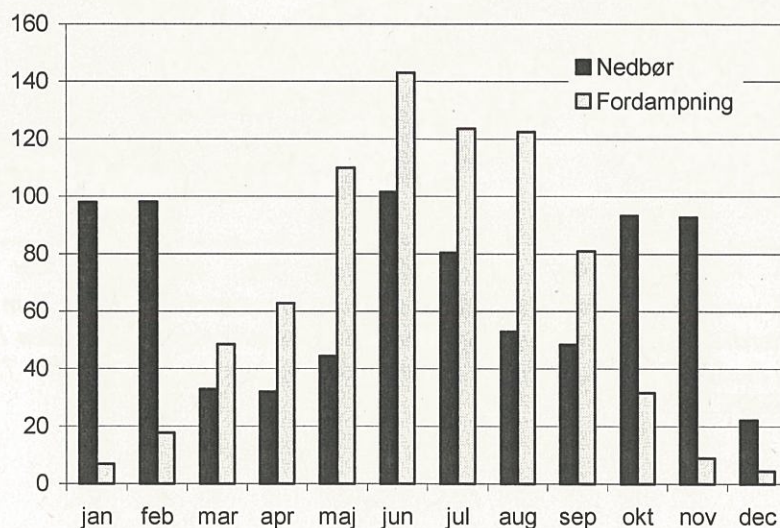
4 Vand- og stofbalancer

4.1 Vandbalance

Nedbør og fordampning

Nedbøren lå det meste af året tæt ved gennemsnittet for overvågningsperioden, men på grund af stor nedbør i jan og feb lå årssummen noget over gennemsnittet. Også juni havde en relativt stor nedbør. Til gengæld var nedbøren lav i december og især september, hvilket medførte at vandstanden i søen fortsat var faldende og først begyndte at stige i oktober.

Fordampningen fulgte stort set det sædvanlige sinusformede forløb med under 10 mm i januar og december og et maksimum på over 140 i juli. Der var nedbørsunderskud i hele perioden fra marts til september. Selv ikke den forholdsvis store nedbør i juni kunne holde trit med fordampningen.



Figur 4.1.1 Nedbør og fordampning Tisø 2002, månedsværdier i mm.

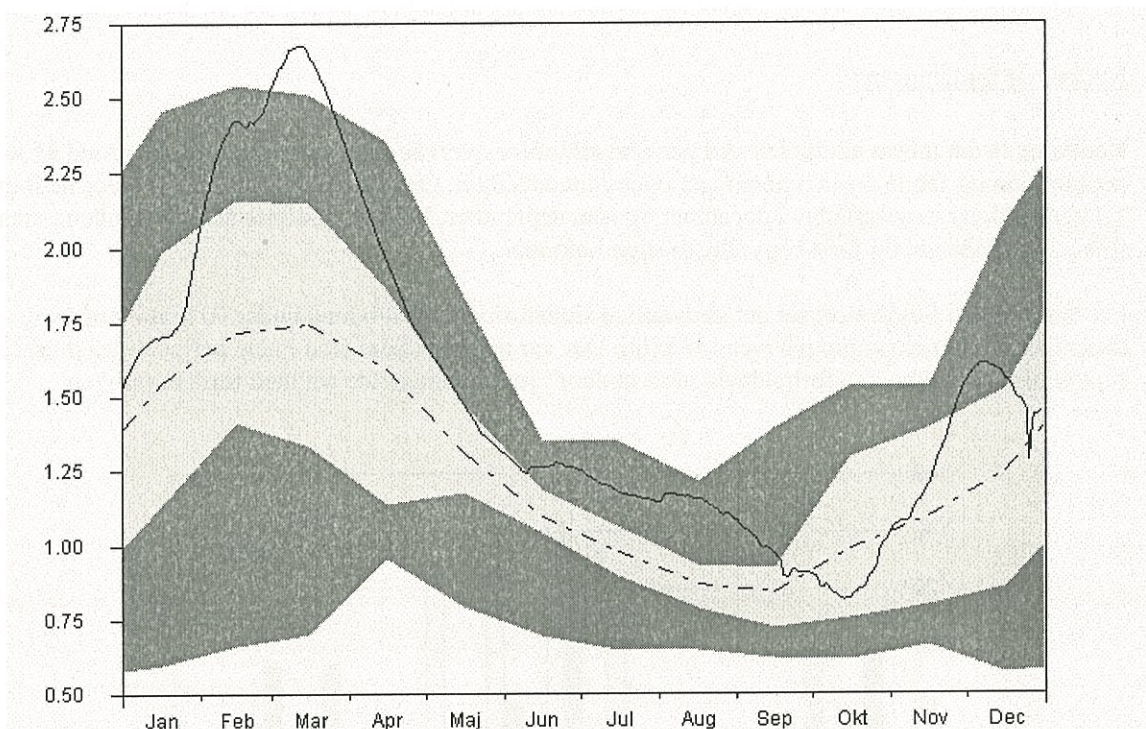
Vandstand

Vandstanden i Tisø reguleres med et stemmeværk. Om vinteren holdes stemmeværket helt åbent idet det af hensyn til omkringliggende landbrugsarealer tilstræbes at bringe vandstanden under kote 1.5 i april. Herefter reguleres afløbet således at vandstanden i søen ikke gerne kommer under kote 0.75 samtidigt med at der løber vand i afløbet så stor en del af tiden som muligt.

Det store nedbør i januar og februar medførte en meget høj vandstand i Tisø, der var tilstrækkeligt til at kompensere for nedbørsunderskuddet marts til september således at vandstanden næsten hele

året lå et godt stykke over normalen, se figur 4.1.2. Den manglende nedbør i september medførte imidlertid at vandstande, som normalt begynder at stige i september, fortsatte med at falde til midt i oktober. Herefter steg den brat således at den i slutningen af november igen var et godt stykke over normalen. I hele oktober måned var vandstanden under normalen.

Vandstanden i marts var den højeste, som er målt i overvågningsperioden.

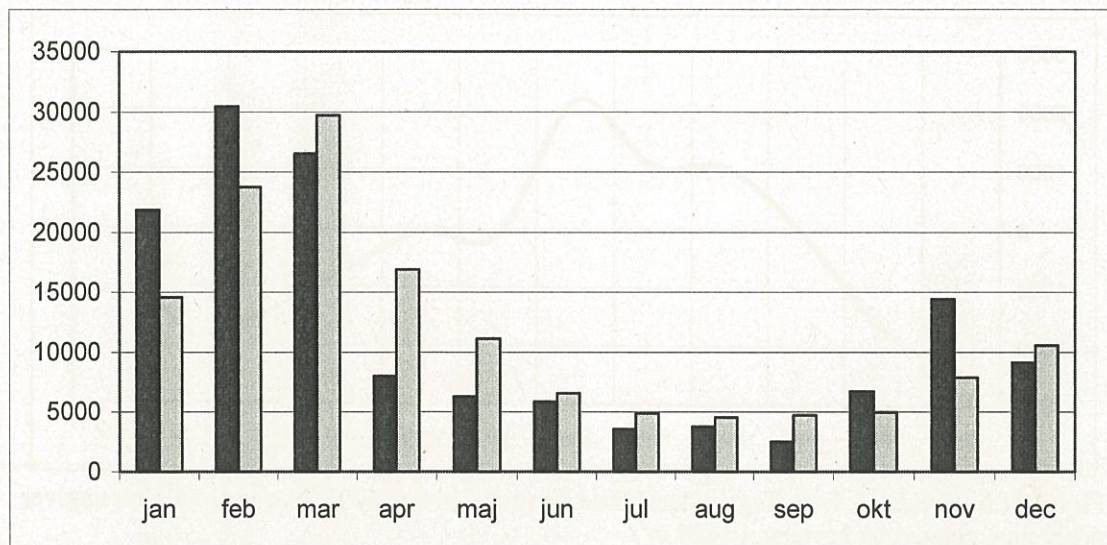


Figur 4.1.2 Dgl. vandstand i Tissø 2002 målt opstrøms stemmeværket i afløbet. Som månedsmiddelværdier er desuden angivet gennemsnittet for overvågningsperioden 1989-2001 (stiplet linje) og med den grå markering periodens maks. og min. og med gult 25 - 75 % fraktiler. Vandstand i m DNN.

Vandbalance

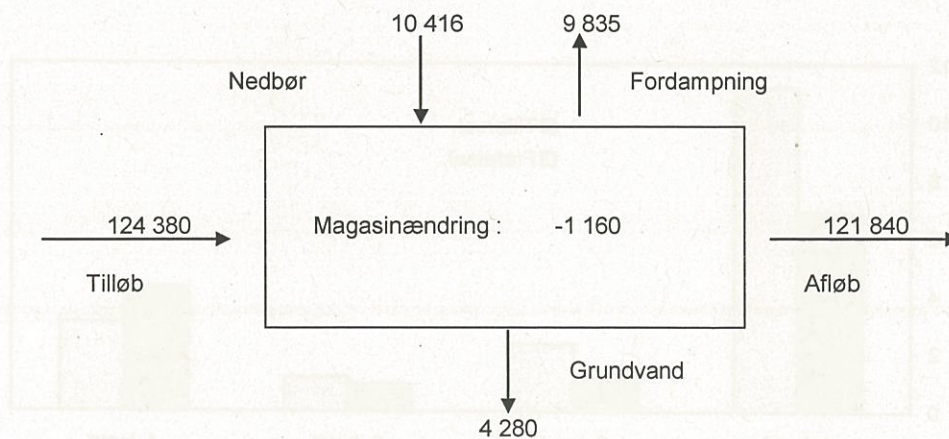
Vandbalancen opgjort på månedsbasis fremgår af figur 4.1.3. Over 90 % af tilførslen sker ved tilstrømning fra Halleby Å, hvorfor den nøje følger årsvariationen i nedbørsoverskud. Tilførslen er generelt høj i vinterhalvåret og lav om sommeren. Den store tilførsel i januar, december og november var ansvarlig for den generelt høje vandstand i søen i 2002. Fraførsel sker helt overvejende som afløb til Nedre Halleby Å og er styret af vandstanden i søen og reguleringen af stemmeværket.

Den hydrauliske opholdstid beregnet ud fra afløbsmængden er 3.2 år for sommerperioden og 0.8 år for året som helhed.

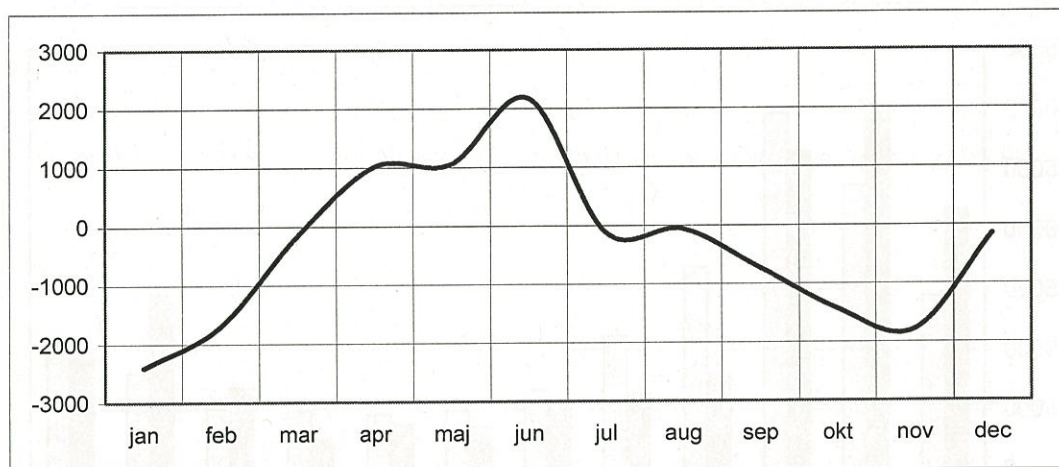


Figur 4.1.3. Vandbalance for Tissø, 2002. Mørke søjler: vandtilførsel, lyse søjler fraførsel, 1000 m³.

Den samlede vandbalance på årsbasis er illustreret i figur 4.1.4. Der er et forholdsvis beskedent nedbørsoverskud på selve søarealet. Magasinændringen er på - 1.16 mio. m³, hvilket svarer til under 10 cm's vandstandsændring. Der er beregnet en betydelig udsivning til grundvandet på 4.3 mio. m³. Denne størrelse skal tages med forbehold, da den beregnes som differencen mellem summen af tilførsler og summen af fraførsler og således opsummerer usikkerheden på de øvrige led. Men som det fremgår af figur 4.1.5, der viser udvekslingen med grundvandet på månedsbasis, er årsvariationen i grove træk som forventet. I perioder med stigende vandstand er der udsivning fra søen til grundvandet og i perioder med faldende vandstand sker der indsivning. Dette indikerer at grundvandsstanden omkring søen følger vandstanden i søen med en vis forsinkelse.



Figur 4.1.4. Vandbalance for Tissø 2002, årstotaler i 1000 m³

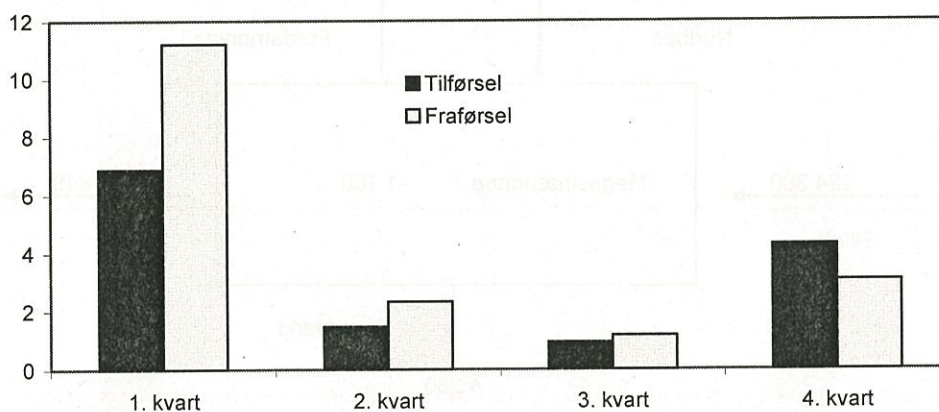


Figur 4.1.5 Beregnet udveksling mellem Tissø og grundvandet, 2002. Negative værdier angiver udsivning, positive indsivning, i 1000 m³.

4.2 Fosforbalance

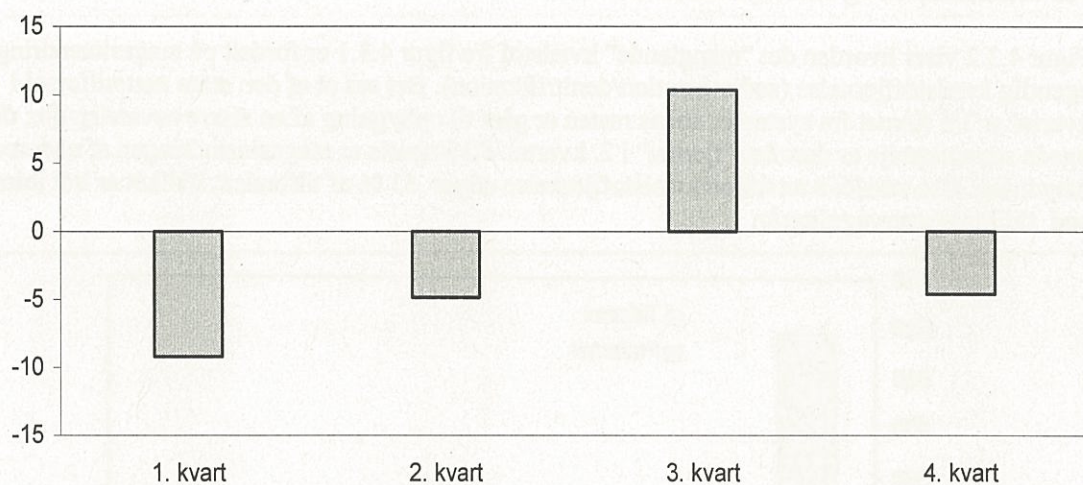
Fosforbalancen beregnet på månedsbasis fremgår af bilag 2. I figur 4.2.1 er til- og fraførsler summeret kvartalsvis. Tilførslerne har ligget på samme niveau som i de nærmest foregående år. Fraførslen oversteg ligesom i 2001 tilførslen, således at Tissø har afkastet store mængder fosfor. Fraførslen oversteg i alt tilførslen med 5.6 t (incl. udsivning til grundvandet), noget over halvdelen af afkastet i 2001, svarende til ca. 25 % af den fraførte mængde.

Figur 4.2.2 viser fosforudvekslingen med sedimentet. Som normalt tilførtes sedimentet fosfor i 1., 2. og 4. kvartal mens der i 3. kvartal var tale om en betydelig frigivelse. I modsætning til 2001 var nettosedimentationen imidlertid større end frigivelsen, således at sedimentpuljen på årsbasis voksede med 8.36 t. At søen alligevel afkastede fosfor hænger sammen med en markant magasinændring på 12.5 t.



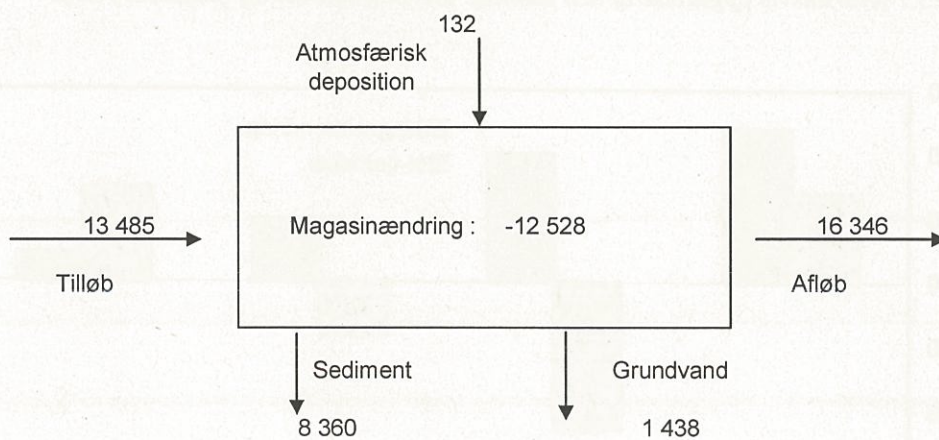
Figur 4.2.1 Kvartalsvis opgørelse af tilførsel og fraførsel af fosfor i Tissø 2002. Total-P i tons.

Det mindre afkast i 2002 end i 2001 skyldes primært at fosforfrigivelsen fra sedimentet i 3. kvartal var betydelig mindre i 2002 med ca. 10 t end i 2001 hvor den lå på omkring 30 t.



Figur 4.2.2 Fosforudveksling med sedimentet i Tissø 2002, t. Bindinger vist som negative værdier frigivelse som positiv.

Den samlede fosforbalance på årsbasis er illustreret på figur 4.2.3.

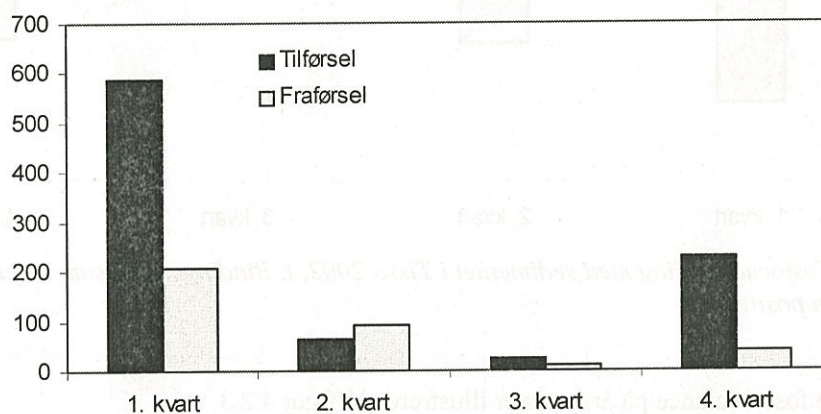


Figur 4.2.3 Fosforbalance for Tissø 2002, kg.

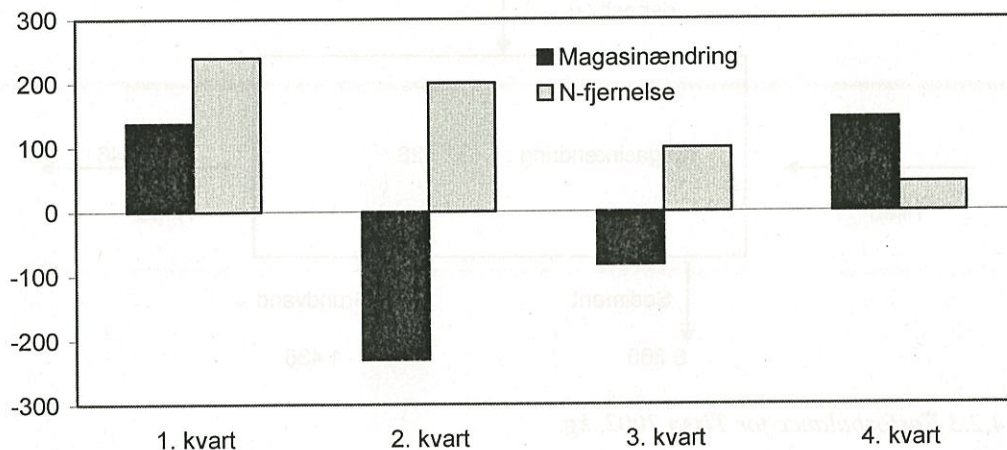
4.3 Kvælstofbalance

Kvælstofbalancen beregnet på månedsbasis fremgår af bilag 2. I figur 4.3.1 er til- og fraførsler summeret kvartalsvis. Bortset fra 2. kvartal, hvor der næsten er balance, overstiger tilførslen i alle kvartaler fraførslen via afløbet. Tissø "fjerne" altså en betydelig kvælstofmængde fra vandsystemet ved denitrifikation og binding i sedimentet.

Figur 4.3.2 viser hvordan det "manglende" kvælstof fra figur 4.3.1 er fordelt på magasinændring og egentlig kvælstoffjernelse (sedimentation/denitrifikation). Det ses at af den store nettotilførsel i 1. kvartal er 3/5 fjernet fra systemet mens resten er gået til opbygning af en større søvandspulje; denne øgede søvandspulje er derefter "fjernet" i 2. kvartal. På årsbasis er magasinændringen af underordnet betydning. Den samlede retention/kvælstoffjernelse udgør 51 % af tilførslen, hvilket er lidt mindre end tidligere overvågningsår.

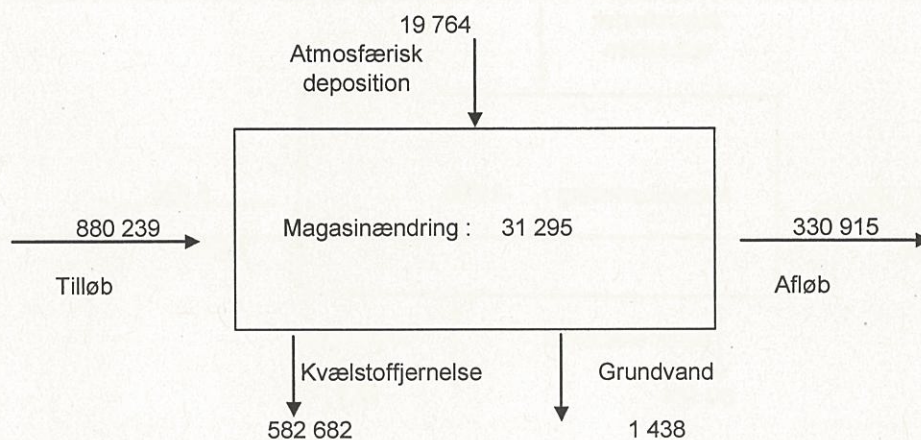


Figur 4.3.1 Kvartalsvis opgørelse af den samlede kvælstoftilførsel og -fraførsel i tons.



Figur 4.3.2 Kvartalsvis opgørelse af magasinændring og kvælstoffjernelse (sedimentation og denitrifikation) i Tissø 2002, i tons.

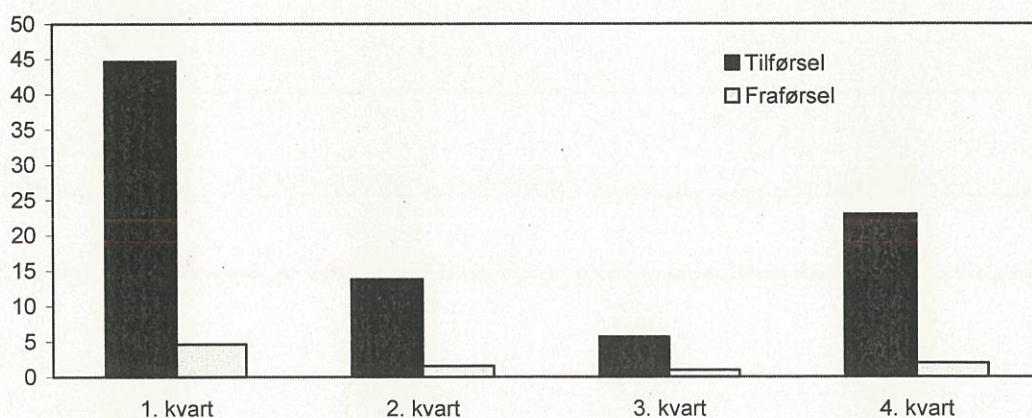
Den samlede kvælstofbalance på årsbasis er illustreret på figur 4.3.3. Udvekslingen med atmosfærens frie kvælstof gennem bakteriel denitrifikation og blågrønalgenes kvælstoffiksering er af ukendt størrelse; men det må antages at denitrifikationen er meget større end fikseringen, og at netto kvælstoftabet til atmosfæren udgør hovedparten af den beregnede kvælstoffjerne. Kvælstoffiksering er således ikke indeholdt i det atmosfæriske bidrag, der udelukkende udgøres af ammoniak og kvælstofilter der tilføres opløst i nedbøren.



Figur 4.3.3 Kvælstofbalance for Tisø 2002, kg.

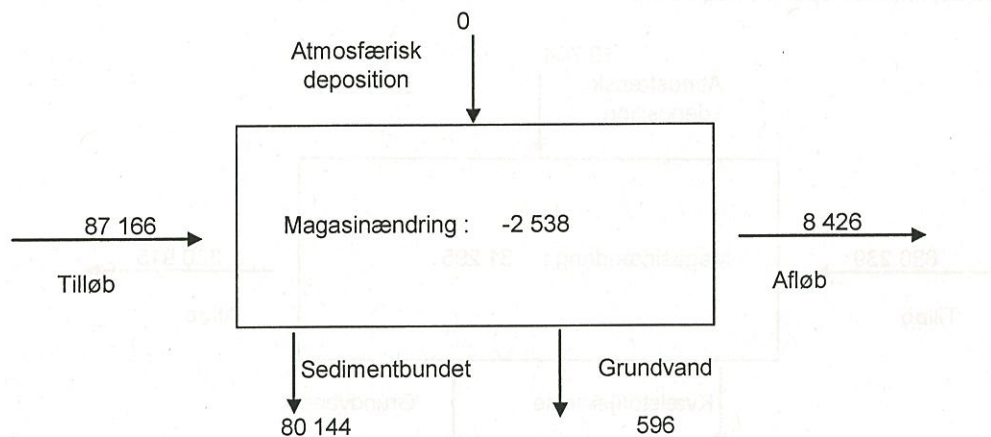
4.4 Jernbalance

Jerntilførslen der følger afstrømningen var stor i 1. og 4. kvartal mens den i de mellemliggende kvartaler lå på 25-30 % af dette niveau. Jernfraførslen var i alle kvartaler beskednen og netto fjerner søen året igennem en betydelig andel af det tilførte jern; på årsbasis 90 %. Se figur 4.4.1.



Figur 4.4.1 Kvartalsvis opgørelse af tilførsel og fraførsel af jern i Tisø 2002. Total-jern i tons.

Den samlede årsbalance fremgår af figur. 4.4.2. Af de 87 t jern der tilføres med Halleby Å forsvinder 80 t ved passagen gennem Tissø. Den altovervejende del heraf er blevet bundet i sedimentet. Søvandsmagasinet er aftaget med 2.5 t og knap 0.6 t er sivet ud i grundvandet.



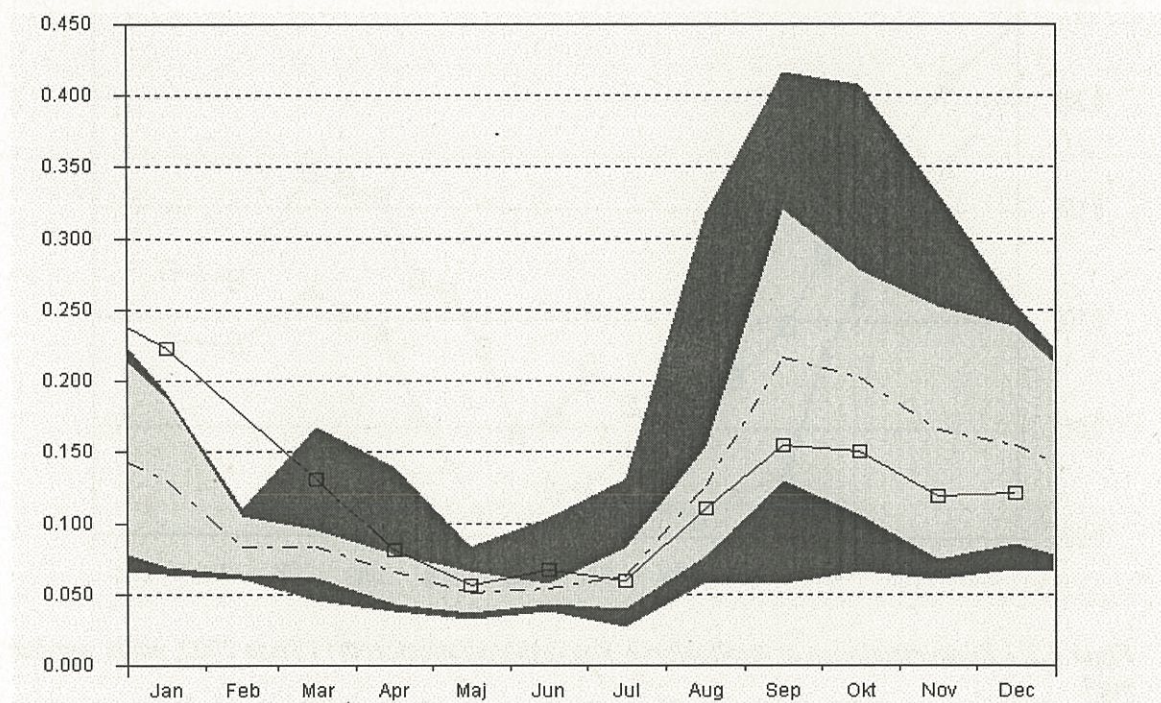
Figur 4.4.2 Jernbalance for Tissø 2002, kg.



5 Udvikling i miljøtilstanden

Tidsvægtede års- og sommermiddelværdier af de vandkemiske parametre og sigtddybden fremgår af tabel 5.1, som angiver værdier for 2002 samt statistik for de foregående overvågningsår.

5.1 Fosfor



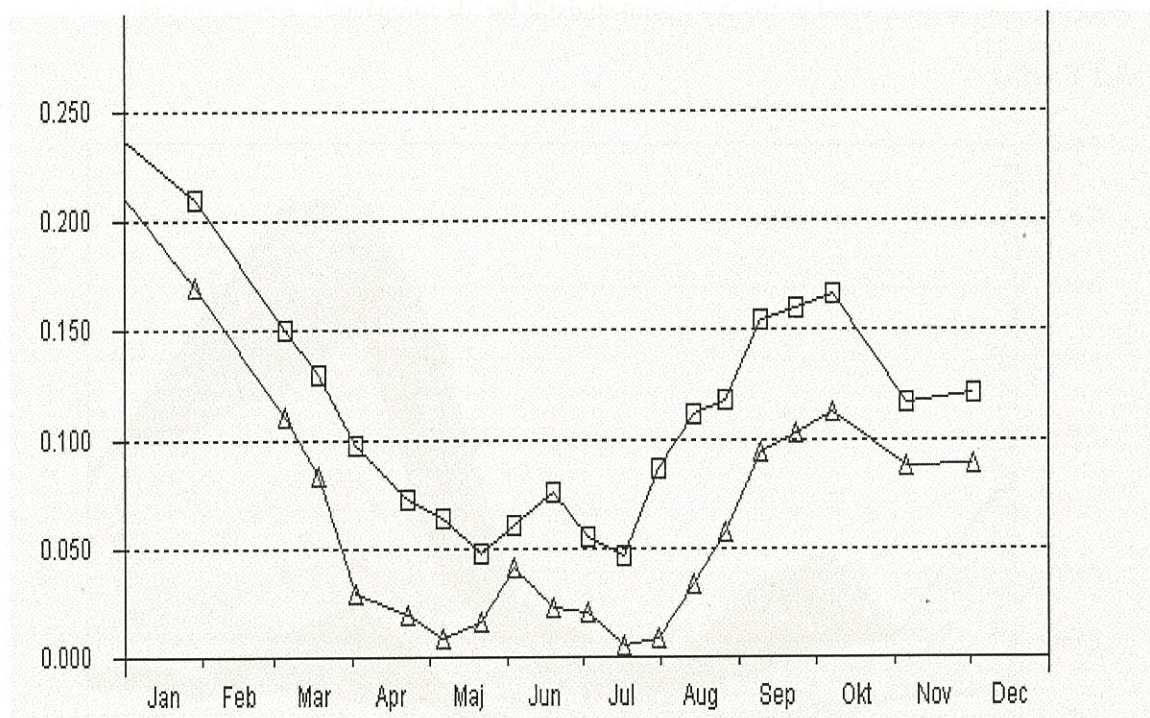
Figur 5.3.1 Månedsgennemsnit for søvandskoncentrationen af total-fosfor i Tissø 2002 sammenlignet med gennemsnittet for de øvrige overvågningsår (stiplet linje) samt min/max og 25 - 75 % fraktiler, mg/l.

I sidste kvartal af 2000 steg fosforkoncentrationen i Tissø til ca. det dobbelte af det normale. Dette forhøjede niveau bibeholdtes gennem hele 2001, idet koncentrationen året igennem lå over eller i nærheden af maksimumsværdierne for de foregående overvågningsår. I april 2002 var koncentrationen faldet til normalen, som den lå lidt under gennem resten af 2002, se figur 5.3.1. I 2001 gav det høje fosorniveau anledning til en ekstrem blågrønalgeproduktion; i 2002 var den tilbage omkring det normale.

Figur 5.3.2 viser totalfosforkoncentrationen sammenlignet med orthofosfatkoncentrationen i Tissø 2002. Orthofosfatkoncentrationen viser helt samme forløb som totalfosforkoncentrationen. Forskellen mellem de to koncentrationer, der repræsenterer den del af fosfaten der er bundet i det organiske stof i søvandet, ligger generelt på omkring 50 µg/l størst i perioderne med størst

fytoplanktonindhold ved forårsmaksimum i april-maj og sommermaksimum i august-september/oktober.

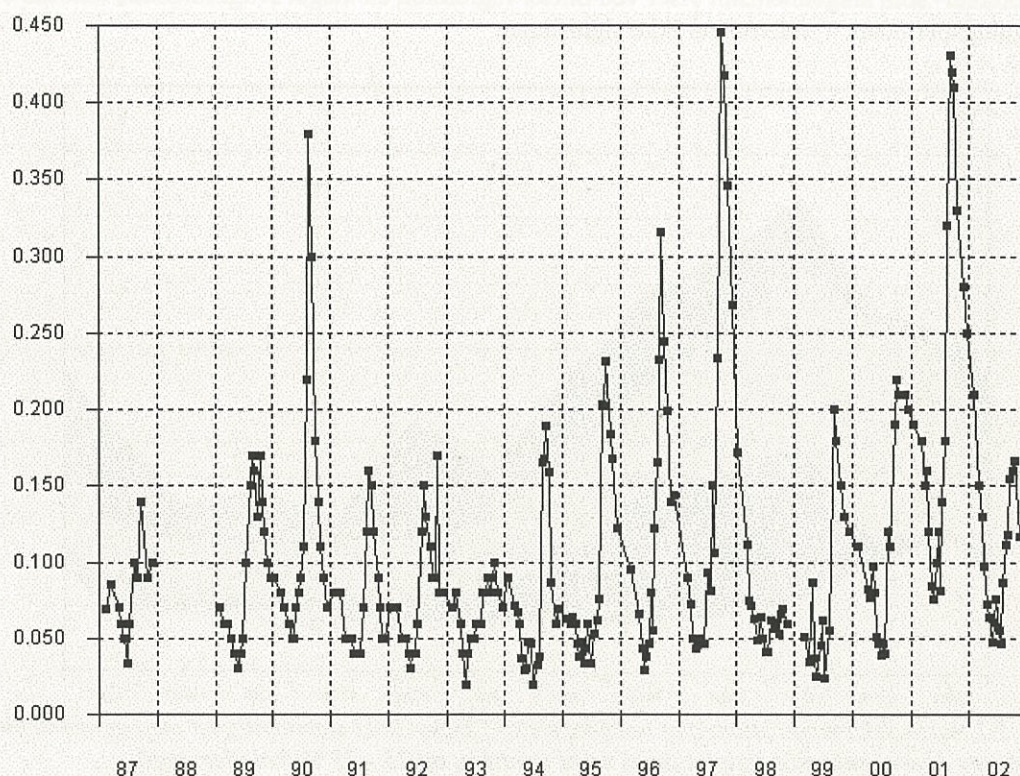
Figuren viser at den interne belastning i sensommeren har en altafgørende indflydelse på søens fosfordynamik. Den høje fosforkoncentration i årets sidste 4 måneder er årsag til det store fosfor afkast der registreredes igen i 2002.



Figur 5.3.2 Koncentrationen af totalfosfor(▲) og orthofosfatfosfor(■) i Tisø 2002, målte værdier i mg/l.

Totalfosforkoncentrationens variation over tid er illustreret på figur 5.3.3. Variationen mellem årene er betydelig. Især årenes sidste halvdel udviser stor variation. I første halvår ligger niveauet mellem 50 og 100 $\mu\text{g/l}$ mens det i sidste halvår svinger fra samme lave niveau i 93, 98 og 99 til det rekordhøje niveau omkring 300 $\mu\text{g/l}$ i år som 90, 97 og 2001. 2002 ligger nærmest gennemsnitligt.

Fosforkoncentrationsniveauet de enkelte år er ikke korreleret med belastningen. De nævnte år med en lav søvandskoncentration lå belastningen omkring middel, mens den i 97 var under og i 2001 over normalen. Det er således i al væsentlighed den interne belastning der afstedkommer forskellen mellem overvågningsårene, og altså primært en klimatisk betinget variation. Der kan dog ikke fastlægges nogen umiddelbar sammenhæng mellem klimaobservationer og fosforfrigivelsen i sensommeren, hvilket nok skyldes at den samlede effekt af vind, temperatur og nedbørsforhold på fosforfrigivelsen er yderst kompleks. Målingerne af iltforholdene i bundvandet, som er afgørende for sedimentets fosforbindingsevne, forklarer ikke den observerede variation; men da lagdeling i Tisø normalt er af meget kort varighed, kan det ikke udelukkes, at der nogle år optræder gentagne situationer med iltmangel som ikke registreres med 14-dages måleintervaller.



Figur 5.3.3 Variationen i koncentrationen af totalfosfor i Tisø 1987- 2002, månedsværdier i mg/l.

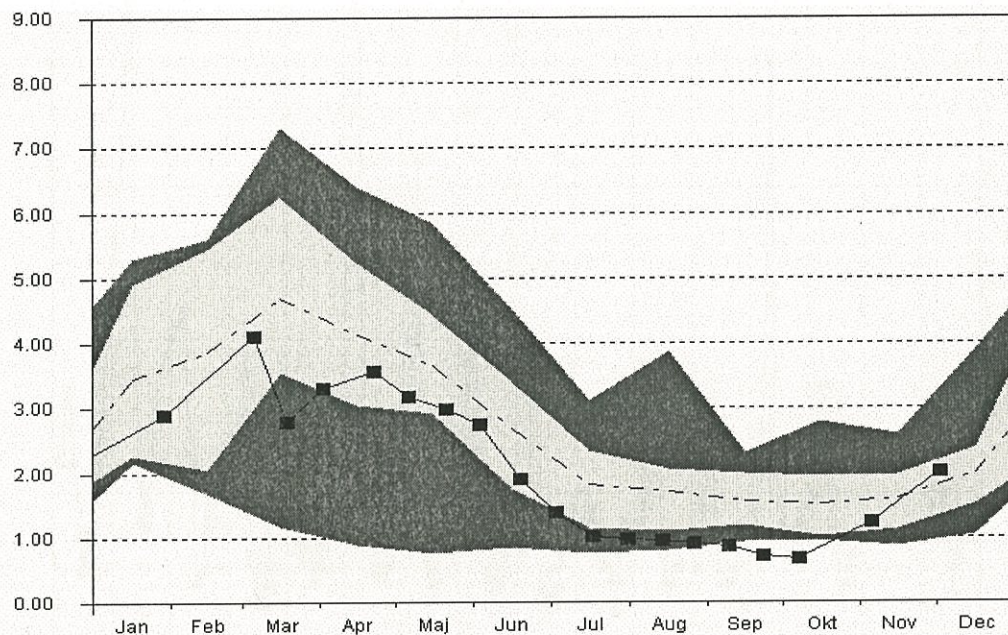
Tendensen beregnet ved lineær regression på henholdsvis sommer- og årsmiddelværdier af totalfosforkoncentrationen er stigende, stigningen er imidlertid ikke signifikant og skyldes i væsentlig grad det høje niveau i 2001. Tendensen beregnet uden inddragelse af 2001-data viser da også kun en svag stigning på årsværdier, mens sommermiddelværdierne udviser en svagt faldende tendens.

5.2 Kvælstof

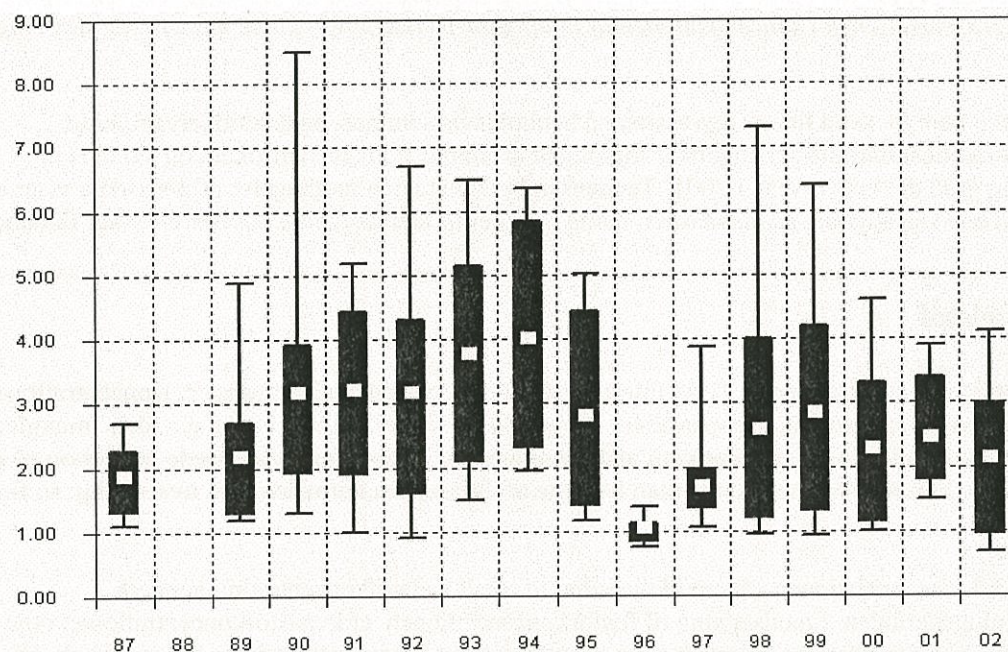
Totalkvælstofkoncentrationen i Tisø fulgte også i 2002 det sædvanlige mønster. Koncentrationen lå under normalen for overvågningsperioden. I sept- okt lå den rekord lavt især p.g.a. den "manglende" afstrømning i september. I oktober kom afstrømningen og kvælstofniveauet nåede hurtigt op på det sædvanlige. For året som helhed må man betegne afvigelsen fra normalen som uvæsentlig, se figur 5.3.1.

Figur 5.3.2 viser variationen i årsmiddelværdier af totalkvælstofkoncentration gennem overvågningsperioden. I modsætning til fosforkoncentrationen er kvælstofkoncentrationen nøje korreleret med den eksterne belastning det pågældende år. Sommermiddelværdier viser helt det samme mønster.

Såvel sommer- som årsgennemsnit viser ved lineær regression en meget svagt faldende tendens over overvågningsperioden. Tendensen er ikke signifikant.



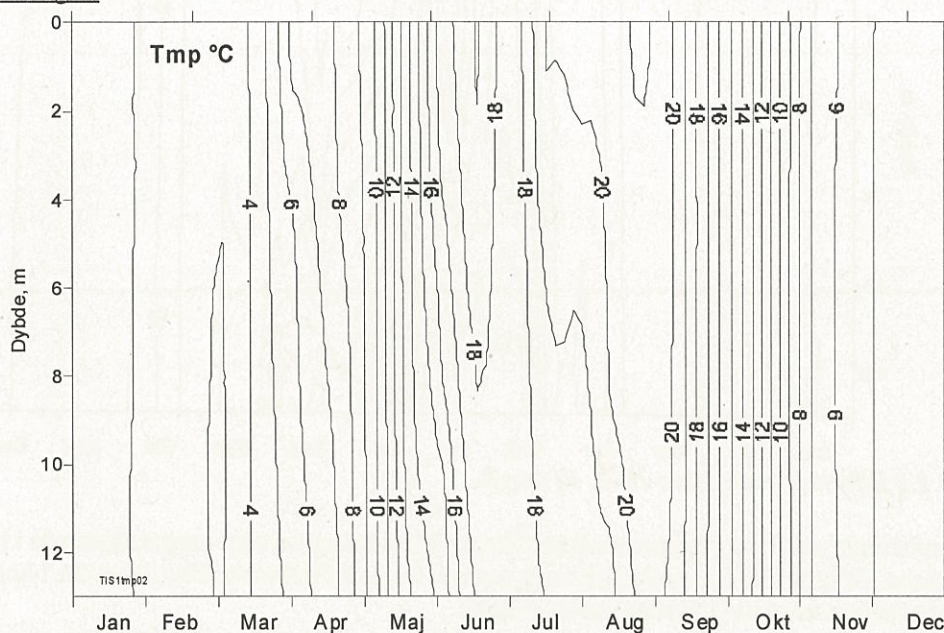
Figur 5.3.1 Søvandskoncentrationen af total-kvælstof i Tissø 2002 sammenlignet med gennemsnittet for de øvrige overvågningsår (stiplet linje) samt min/max og 25 - 75 % fraktiler, mg/l.



Figur 5.3.2 Årsmiddelkoncentrationer af total-kvælstof i Tissø 1987 - 2002 samt max/min og 25 - 75 % fraktiler, mg/l.

5.3 Øvrige vandkemiske og -fysiske parametre

Temperatur og ilt

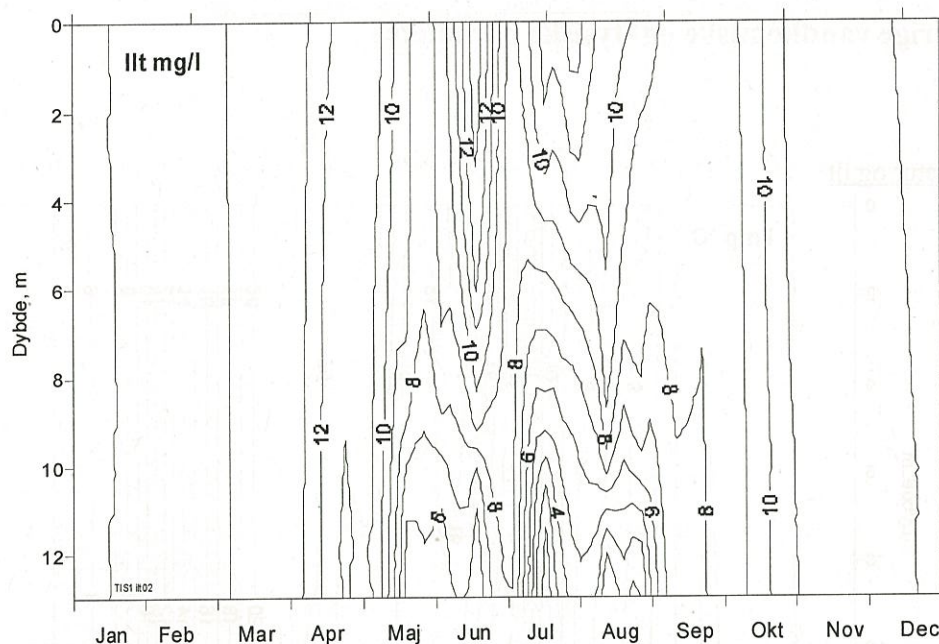


Figur 5.3.1 Temperaturforholdene i Tissø 2002. Temperatur i °C.

Temperatur og iltforholdene i Tissø, målt på hovedstationen, er afbildet på figur 5.3.1 - 5.3.2. Tissøs i forhold til arealet meget beskedne dybde og den vindeksponerede beliggenhed medfører, at vandmassen normalt er fuldt opblandet. Evt. lagdeling af vandmassen er som regel af kort varighed og giver sjældent anledning til egentlig iltmangel, selv om iltindholdet i bundvandet undertiden er lidt lavere end i overfladen.

I 2002 var vejrforholdene sådan, at der skete en fuldstændig jævn opvarmning og derefter afkøling af hele søens vandmasse og der var på intet tidspunkt antydning af temperaturspringlag, figur 5.3.1. Iltforholdene var derfor også gode det meste af året, dog var der midt på sommeren en periode med forhøjet iltindhold i overfladen og faldende mod bunden. Iltkoncentrationer under 4 mg/l optrådte imidlertid kun i de dybeste partier og i en ganske kort periode. I september blev vandmassen fuldstændigt opblandet så der atter var fuld iltmætning i hele vandsøjlen.

På trods af de relativt gode iltforhold var fosforfrigivelsen af sædvanlig størrelse sammenlignet med de øvrige overvågningsår.



Figur 5.3.2 Iltforholdene i Tissø 2002. Ilt i mg/l.

Sammenfattende må ilt- og temperaturforholdene i Tissø betegnes som meget ensartede i hele vandmassen. Iltforholdene er gode året rundt, bortset fra de dybeste områder, hvor der i korte perioder hver sommer kan være noget reduceret iltindhold.

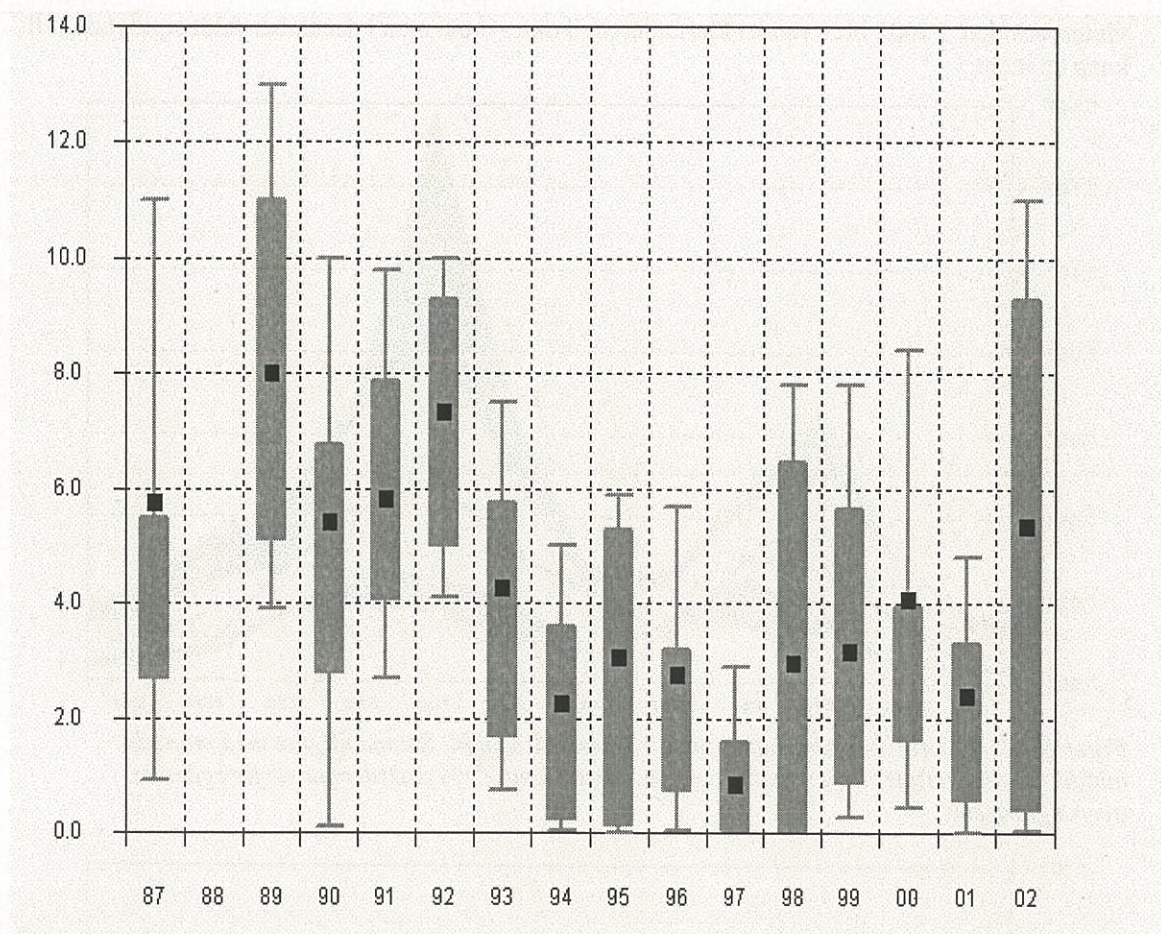
Silicium

Siliciumkoncentrationen i Tissø har ændret sig radikalt gennem overvågningsperioden. I de første 5 år svingede koncentrationen omkring 6.5 mg/l, mens den fra 94 til 2001 har ligget på et niveau omkring 3 mg/l. Se figur 5.5.3. De tilsvarende sommermiddelværdier er henholdsvis 4 og 2 mg/l. I 2002 steg den imidlertid til det oprindelige niveau.

Alligevel er den faldende tendens signifikant både på årsmiddelværdier og sommermiddelværdier. Det er uvist hvad grunden er til dette fald.

I løbet af året svinger siliciumkoncentrationen i et topuklet forløb med maks. koncentrationer i feb og november og minimum i maj - juni. I 2002 lå koncentrationen lavt i første halvdel af året, under 1 mg/l fra april til juni, men fra september og året ud var koncentrationen steget til 10-11 mg/l hvilket forklarer det høje årsgennemsnit.

Silicium er afgørende for kiselalgekoncentrationens årstidsvariation; idet vandets indhold af silicium som regel bruges op under kiselalgernes forårsmaksimum og derefter er begrænsende for kiselalgeproduktionen hen over sommeren, indtil der igen ved totalopblandingen i sensommeren tilføres silicium. Der kan derimod ikke konstateres nogen sammenhæng mellem det faldende siliciumindhold gennem overvågningsperioden og mængden af kiselalger, der veksler meget fra år til år.



Figur 5.5.3. Årsmiddelkoncentrationen af silicium i Tissø 1987-2002. mg/l.

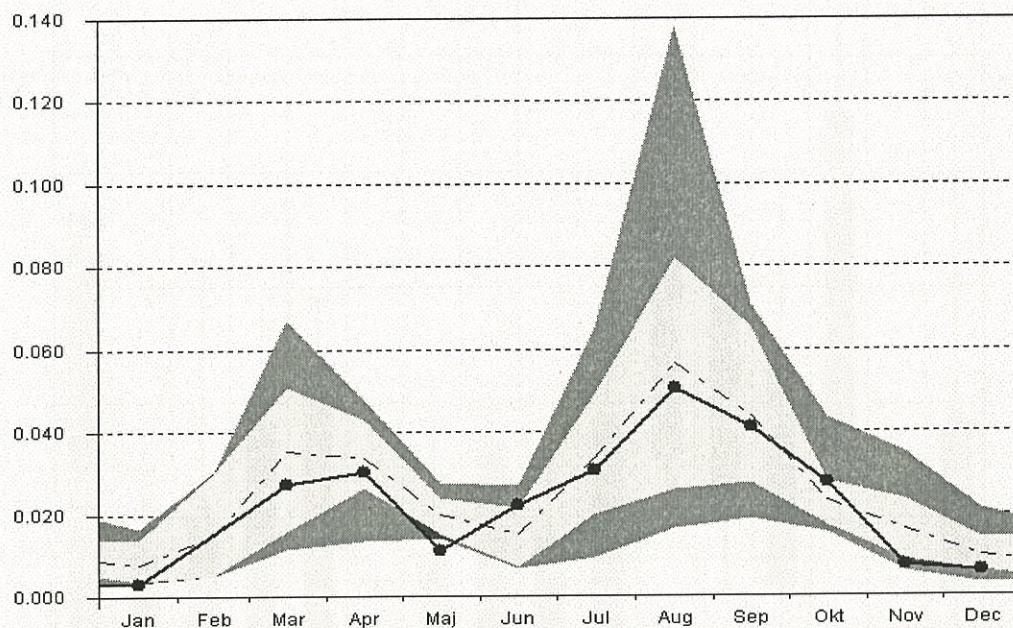
5.4 Sigtdybde og klorofyl

Klorofylindholdet i Tissø, der i 2001 var ekstremt højt, især under opblomstring af blågrønalger i august, lå gennem hele 2002 tæt på normalen for hele overvågningsperioden. Middelkoncentrationen for sommerperioden lå lidt under medianen for hele overvågningsperioden. Det samme var tilfældet for årsmiddelkoncentrationen se tabel 5.1 og figur 5.4.1

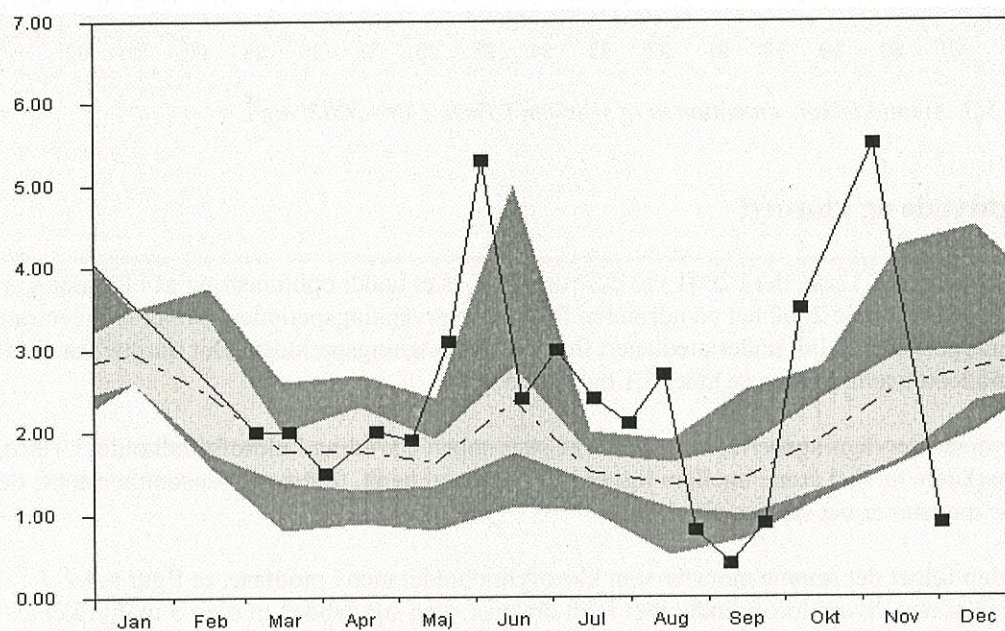
Set over hele overvågningsperioden er der ikke sket nogen udvikling i klorofylindholdet i Tissø. Den meste markante forskel årene imellem ligger i størrelsen af henh. forårs- og sensommermaks; det generelle mønster er det samme alle årene.

Sigtdybden følger det samme mønster som klorofylindholdet men i modfase, se figur 5.4.2. I slutningen af maj, hvor klorofylindholdet faldt drastisk, steg sigtdybden til over 5 m, hvilket er rekord for Tissø. En tilsvarende klarvandsperiode optrådte i 2001, hvor den dog faldt ca. 14 dage senere, midt i juni; sigtdybden var ved den lejlighed en anelse mindre end i 2002. Ellers svingede den i hele perioden fra isens afsmeltning til midt i september omkring 2 m. Sigtdybden er normalt bedst i

vinterperioden. I 2002 blev vandet klart allerede i okt. – nov. men i december faldt sigtddybden til knap en meter.

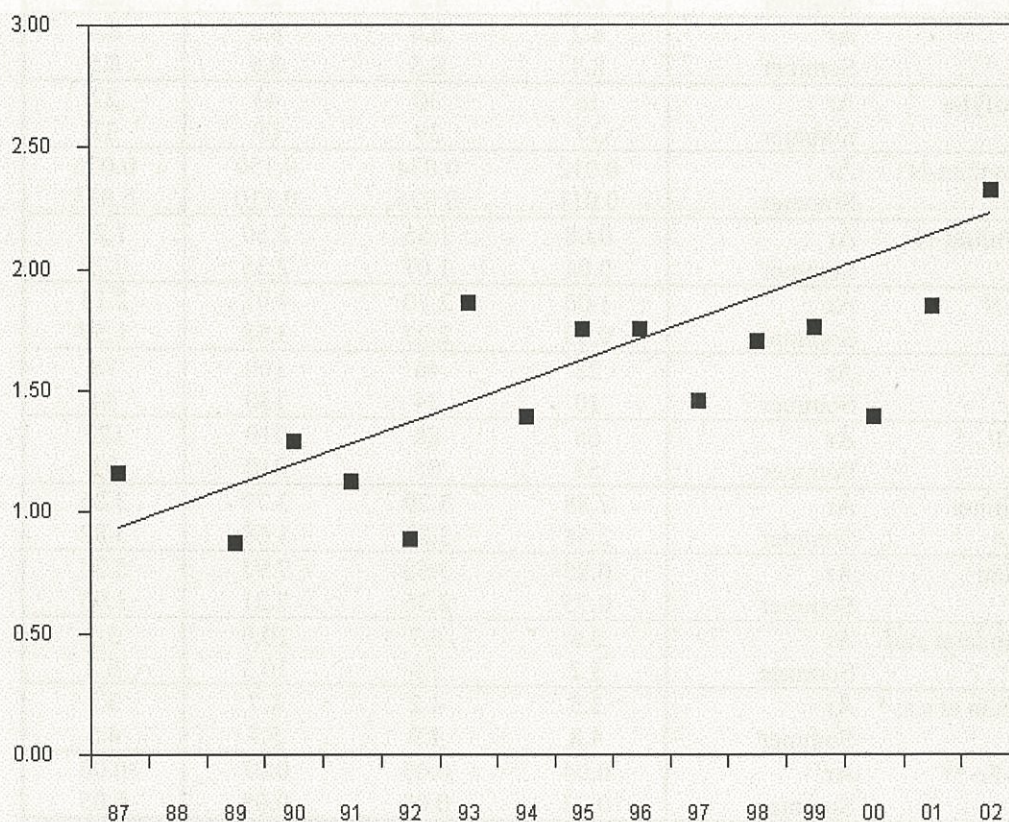


Figur 5.4.1. Chlorofyl-a-koncentrationen i Tisø 2002. mg/l. Sammenlignet med månedsmiddelværdier (stiplet linje), maks. og min. samt 25 og 75 % fraktiler for de foregående overvågningsår



Figur 5.4.2 Sigtddybden i Tisø 2002, m, sammenlignet med månedsmiddelværdier (stiplet linje), maks. og min. samt 25 og 75 % fraktiler for de foregående overvågningsår.

Set over hele overvågningsperioden er der sket en markant forbedring af sigtddyden, både på årsmiddelværdier og sommermiddelværdier, figur 5.4.3. Stigningen modsvares ikke af et faldende klorofylindhold. De generelle sigtddybdeforhold er heller ikke mærkbart forbedret. De stigende middelværdier skyldes således primært, at der optræder flere og længere klarvandsperioder; mens sigtddyden det meste af tiden ligger omkring middel for overvågningsperioden.



Figur 5.4.3 Middelsommersigtddyden i Tisø 1987 - 2002, m. Tendens beregnet ved lineær regression, stigningen er signifikant.

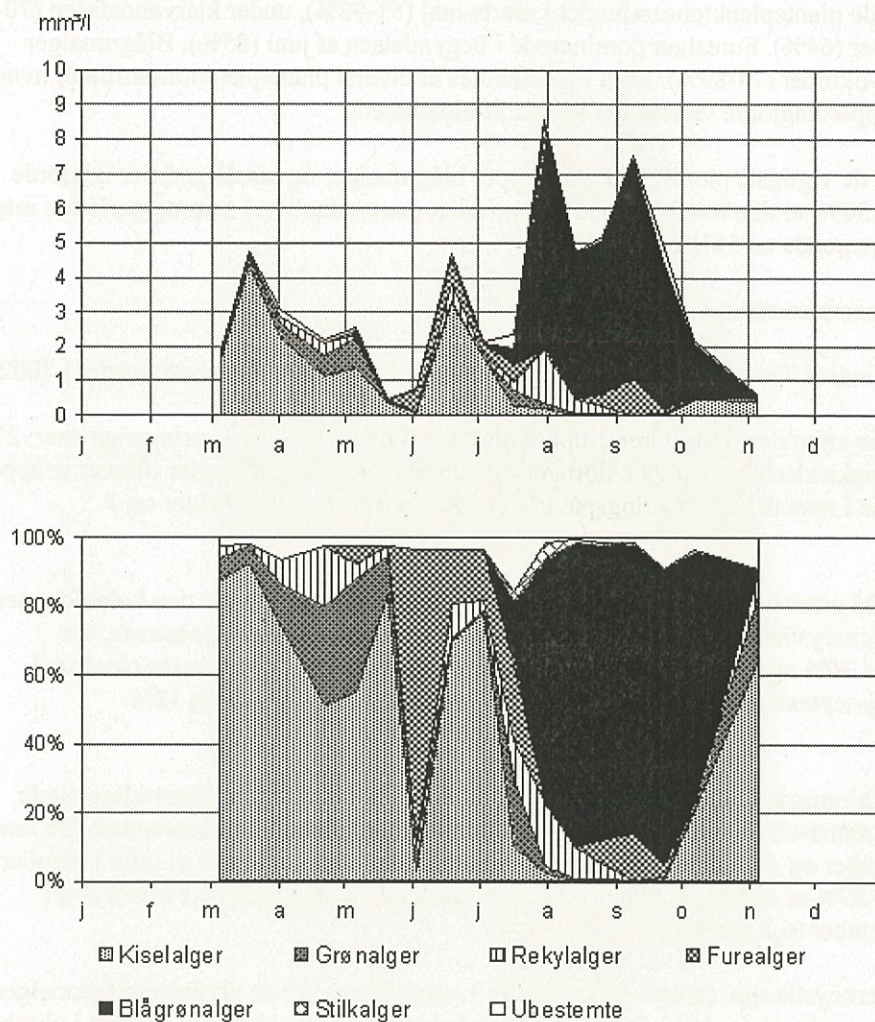
Tabel 5.1 Tidsvægtede års- og sommermiddelværdier af vandkemiske parametre og sigtddybde i Tissø 2002, sammenlignet med værdierne for 1987 og 1989 - 2001. (* Glødetab af suspenderet stof er kun målt i 1998 - 2002. **Jern er målt siden 1993)

Parameter	Tds.vægt. middelværdi	1987 og 1989-2001			2002
		Min.	Median	Max.	
Sigtddybde meter	År	1.3	1.9	2.3	2.3
	Sommer	0.9	1.5	1.9	2.3
pH	År	8.2	8.4	8.5	8.4
	Sommer	8.4	8.5	8.6	8.5
Chlorofyl-a µg/l	År	16	30	43	22
	Sommer	17	39	69	31
Ammonium-N mg/l	År	0.012	0.034	0.150	0.036
	Sommer	0.011	0.026	0.110	0.035
Nitrit/nitrat-N mg/l	År	0.08	1.55	2.80	1.27
	Sommer	0.01	1.07	2.35	0.70
Total-N mg/l	År	1.06	2.70	4.02	2.13
	Sommer	0.99	2.27	3.68	1.59
Orto-P µg/l	År	28	46	160	78
	Sommer	10	34	130	44
Total-P µg/l	År	68	88	219	123
	Sommer	53	85	210	93
Alkalinitet mmol/l	År	2.88	3.29	3.79	3.86
	Sommer	2.58	3.22	3.68	3.82
Silicium mg/l	År	0.85	3.58	7.97	5.34
	Sommer	0.75	2.35	7.21	3.93
Suspenderet stof mg/l	År	5.6	6.7	10.0	5.1
	Sommer	5.2	7.9	10.3	6.2
Glødetab af s.s. * mg/l	År	3.5	4.2	4.7	3.3
	Sommer	4.8	4.9	5.7	4.5
Total-Fe ** mg/l	År	0.04	0.05	0.07	0.06
	Sommer	0.03	0.03	0.08	0.05

5.5 Planteplankton

Planteplanktonbiomasse og årstidsvariation

Biomassen af de enkelte algegrupper og deres procentvise andele af den totale biomasse ses af figur 5.5.1 og bilag 2. De enkelte arters biomasse fremgår af bilag 3. Dominerende og subdominerende arter på de enkelte prøvetagningsdatoer fremgår af tabel 5.5.1.



Figur 5.5.1. Tisø 2002. Planteplanktonbiomasse og procentvis fordeling på hovedgrupper

Den totale planteplanktonbiomasse i Tisø 2002 varierede mellem 0,45 mm³/l sidst i maj og 8,6 mm³/l sidst i juli. Gennemsnit fra perioden marts-oktober var 3,5 mm³/l og fra sommerperioden maj-september 3,9 mm³/l. Begge gennemsnit var væsentlig lavere end i 2001.

I løbet af året fandtes fire markante maksima, et forårsmaksimum midt i marts (4,7 mm³/l), der næsten udelukkende bestod af kiselalgen *Stephanodiscus neoastraea*, et forsommermaksimum midt i juni (4,7 mm³/l), der bestod af *Stephanodiscus neoastraea* og furealgen *Ceratium hirundinella*, og et totoppet sensommermaksimum (8,6 mm³/l sidst i juli og 7,5 mm³/l først i september), der var domineret af kolonidannende blågrønalger, især *Microcystis* spp. Der fandtes en klarvandsfase med lav biomasse sidst i maj til begyndelsen af juni (0,45-0,76 mm³/l) og en tilsvarende lav biomasse i november.

Kiselalger dominerede planteplanktonsamfundet i marts-maj (51-92%), under klarvandsfasen (70-78%) samt i november (64%). Furealger dominerede i begyndelsen af juni (85%). Blågrønalger dominerede i august-oktober (74-89%). Midt i juli fandtes et diversst planteplanktonsamfund, hvor 5-6 planteplanktongrupper udgjorde væsentlige andele af biomassen.

Som gennemsnit var de vigtigste planteplanktongrupper blågrønalger og kiselalger, der udgjorde henholdsvis 46% og 30% af den totale biomasse i perioden marts-oktober. I sommerperioden maj-september var de tilsvarende tal 58% og 17%.

Planteplanktons artssammensætning

Planteplanktonsamfundet i Tissø var relativt artsrigt. Der blev i alt fundet 104 arter/slægter i 2002.

De fleste af de fundne arter/slægter tilhører grupper, der er karakteristiske for næringsrige søer: 27 blågrønalger, 6 centriske kiselalger og 29 chlorococcale grønalger. 14 arter/slægter tilhører grupper med hovedudbredelse i rene til svagt næringspåvirkede søer: 6 furealger, 1 gulalger og 7 koblingsalger.

Der blev i alt optalt 25 arter/slægter/grupper, hvoraf de kvantitativt vigtigste var den kolonidannende blågrønalgeslægt *Microcystis* spp. og den centriske kiselalge *Stephanodiscus neoastraea*, der udgjorde henholdsvis 36% og 22% af den gennemsnitlige biomasse i perioden marts-oktober. I sommerperioden maj-september udgjorde de samme to arter henholdsvis 44% og 12%.

Blågrønalger

Den gennemsnitlige biomasse af blågrønalger var $1,6 \text{ mm}^3/\text{l} = 46\%$ af den gennemsnitlige totale biomasse i perioden marts-oktober og $2,3 \text{ mm}^3/\text{l} = 58\%$ i sommerperioden maj-september. De fandtes i perioden juli-november og dominerede planteplanktonsamfundet fra sidst i juli til midt i oktober, hvor de udgjorde 71-89% af den totale biomasse. Maksima fandtes sidst i juli ($6,1 \text{ mm}^3/\text{l}$) og i begyndelsen af september ($6,3 \text{ mm}^3/\text{l}$).

Kolonidannende *Microcystis* spp. (botrys + flos-aquae + aeruginosa) var de vigtigste blågrønalger sommer og efterår, hvor de udgjorde 51-75% af den totale biomasse fra sidst i juli til midt i oktober. En nøgledannende *Anabaena* spp. udgjorde 24-26% af den totale biomasse i august og den trådformede *Planktothrix agardhii* 6-13% i august-september. Alle tre slægter er potentielt toksinproducerende.

Rekylalger

Den gennemsnitlige biomasse af rekylalger var $0,23 \text{ mm}^3/\text{l} = 7\%$ af den gennemsnitlige totale biomasse i perioden marts-oktober og $0,29 \text{ mm}^3/\text{l} = 7\%$ i sommerperioden maj-september. De havde maksimum sidst i juli ($1,6 \text{ mm}^3/\text{l} = 18\%$) og var desuden vigtige midt i april (18%). Resten af året udgjorde rekylalger 0-12% af den totale biomasse.

Tabel 5.5.1. Tissø 2002. Planteplanktonbiomasse, dominerende og subdominerende arter i procent af den totale biomasse.

TISSØ 2002 Planteplanktonbiomasse, dominerende og subdominerende arter					
DATO:	Total biomasse mm ³ /l	Dominerende art	Andel af biomasse %	Subdominerende arter	Andel af biomasse %
05-mar	1,9	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	66	Centriske kiselalger <10 µm	21
18-mar	4,7	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	80	Centriske kiselalger <10 µm	12
02-apr	3,1	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	68	<i>Chlorella</i> sp./ <i>Dict. subsolitarium</i>	8
22-apr	2,2	<i>Chlorella</i> sp./ <i>Dict. subsolitarium</i>	21	Centriske kiselalger (10-30 µm)	18
				Centriske kiselalger <10 µm	16
06-maj	2,5	Centriske kiselalger <10 µm	28	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	15
		<i>Chlorella</i> sp./ <i>Dict. subsolitarium</i>	28	Centriske kiselalger (10-30 µm)	10
21-maj	0,5	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	72	Centriske kiselalger <10 µm	11
				<i>Chlorella</i> sp./ <i>Dict. subsolitarium</i>	10
03-jun	0,8	<i>Ceratium hirundinella</i>	85	<i>Ankyra judayi</i>	6
19-jun	4,7	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	67	<i>Ceratium hirundinella</i>	15
03-jul	2,2	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	56	Centriske kiselalger <10 µm	22
				<i>Ceratium hirundinella</i>	14
17-jul	2,3	<i>Ceratium hirundinella</i>	22	<i>Microcystis</i> spp.	18
				<i>Chlamydomonas</i> spp.	17
				<i>Cryptomonas</i> spp.	12
31-jul	8,6	<i>Microcystis</i> spp.	54	<i>Anabaena</i> spp.	17
				<i>Rhodomonas</i> spp.	10
14-aug	4,7	<i>Microcystis</i> spp.	52	<i>Anabaena</i> spp.	24
				<i>Planktothrix agardhii</i>	13
26-aug	5,2	<i>Microcystis</i> spp.	51	<i>Anabaena</i> spp.	26
09-sep	7,5	<i>Microcystis</i> spp.	76	<i>Ceratium hirundinella</i>	14
23-sep	4,8	<i>Microcystis</i> spp.	75	<i>Planktothrix agardhii</i>	10
07-okt	2,2	<i>Microcystis</i> spp.	73	<i>Aulacoseira</i> spp.	16
05-nov	0,6	<i>Aulacoseira</i> spp.	56	<i>Chlorella</i> sp./ <i>Dict. subsolitarium</i>	12
				<i>Closterium aciculare</i>	13
Gsn.	3,5	<i>Microcystis</i> spp.	36	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	22
05-mar -				<i>Anabaena</i> spp.	6
31-okt				<i>Ceratium hirundinella</i>	6
				Centriske kiselalger <10 µm	6

Gsn.	3,9	<i>Microcystis</i> spp.	44	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	12
01-maj -				<i>Anabaena</i> spp.	9
30-sep				<i>Ceratium hirundinella</i>	9

Rhodomonas lacustris var den vigtigste rekylalge i forår og efterår og *Cryptomonas* spp. i sommermånederne.

Furealger

Den gennemsnitlige biomasse af furealger var $0,23 \text{ mm}^3/\text{l} = 7\%$ af den gennemsnitlige totale biomasse i perioden marts-oktober og $0,36 \text{ mm}^3/\text{l} = 9\%$ i sommerperioden maj-september. Furealger fandtes på en enkelt dato i begyndelsen af maj og fra begyndelsen af juni til sidst i september, bortset fra en periode sidst i juli til midt i august. De havde maksima midt i juni ($0,72 \text{ mm}^3/\text{l} = 15\%$) og i begyndelsen af september ($1,0 \text{ mm}^3/\text{l} = 14\%$), men havde størst relativ betydning under klarvandsfasen i begyndelsen af juni, hvor de udgjorde 85% af den totale biomasse.

Furealgebiomassen bestod i maj af *Gymnodinium helveticum*, der er heterotrof og bl.a. lever af kiselalgen *Stephanodiscus neoastraea*. I juni-september bestod furealgebiomassen af *Ceratium hirundinella*.

Kiselalger

Den gennemsnitlige biomasse af kiselalger var $1,0 \text{ mm}^3/\text{l} = 30\%$ af den gennemsnitlige totale biomasse i perioden marts-oktober og $0,67 \text{ mm}^3/\text{l} = 17\%$ i sommerperioden maj-september. Kiselalger havde to markante maksima, et forårsmaksimum midt i marts ($4,3 \text{ mm}^3/\text{l}$) og ét midt i juni ($3,3 \text{ mm}^3/\text{l}$). De dominerede planteplanktonsamfundet i marts-maj (51-92%), fra midt i juni til begyndelsen af juli (70-78%) samt i november (64%). I august-september fandtes kiselalger kun sporadisk.

Stephanodiscus neoastraea samt små centriske kiselalger ($<10 \mu\text{m}$ og $10\text{-}30 \mu\text{m}$) var de vigtigste kiselalger forår og sommer og *Aulacoseira* spp. sent efterår.

Stilkalger

Stilkalgen *Chrysochromulina parva* fandtes i målelige mængder fra midt i juli til sidst i august, hvor den udgjorde 1-5% af den totale biomasse. Den havde maksimum sidst i juli ($0,40 \text{ mm}^3/\text{l}$).

Grønalger

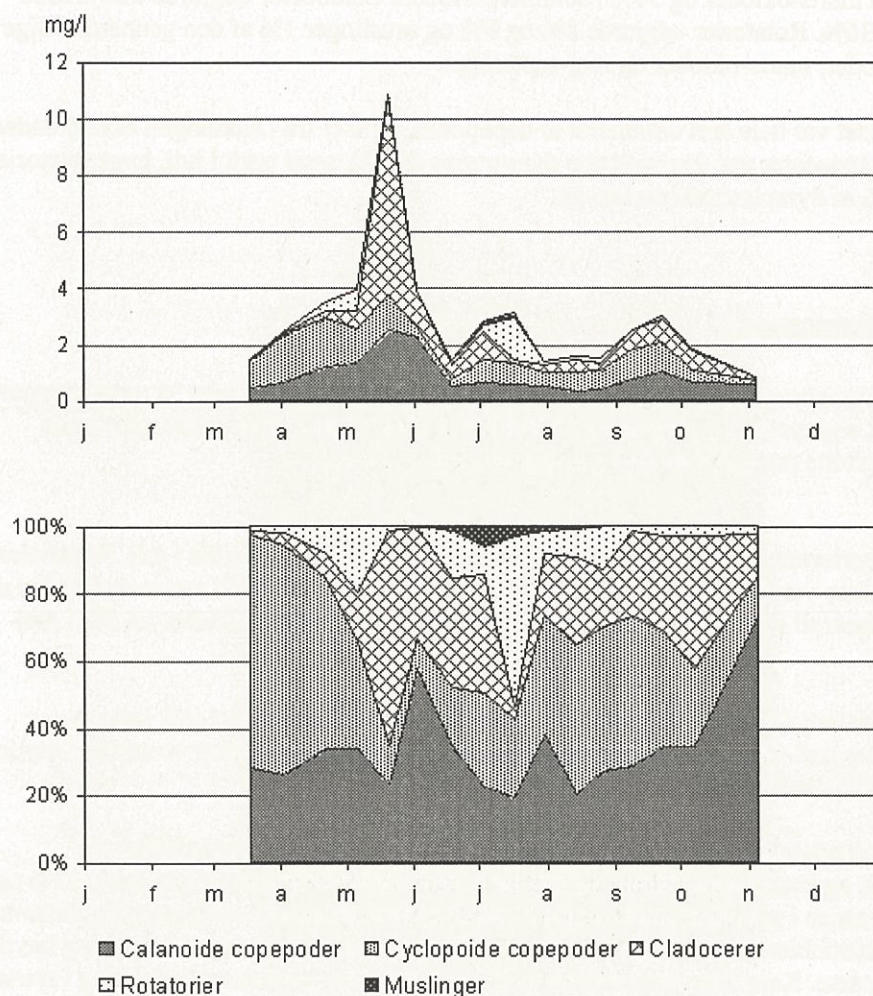
Grønalger var den artsrigeste planteplanktongruppe. De fandtes hele året, men havde kun en gennemsnitlig biomasse på $0,20 \text{ mm}^3/\text{l} = 6\%$ af den gennemsnitlige totale biomasse i perioden marts-oktober og $0,15 = 4\%$ i sommerperioden maj-september. De opnåede højest biomasse sidst i april og begyndelsen af maj ($0,62\text{-}0,83 \text{ mm}^3/\text{l}$), hvor de udgjorde 28-33% af den totale biomasse. Resten af året udgjorde de 0-19%.

De vigtigste grønne alger var de små chlorococcale arter *Chlorella* sp./*Dictyosphaerium subsolitarium* (forår og efterår), *Monoraphidium contortum* (forår). Under klarvandsfasen i juni dominerede *Ankya judayi* og midt på sommeren den volvocale grønne alge *Chlamydomonas* spp.

5.6 Dyreplankton

Dyreplanktonbiomasse og årstidsvariation

Biomassen af de enkelte dyreplanktongrupper og dyreplanktons procentvise sammensætning i løbet af 2002 fremgår af figur 5.6.1 samt af bilag 7. De enkelte arters biomasse fremgår af bilag 9.



Figur 5.6.1. Tisø 2002. Dyreplanktonbiomasse (mg våd vægt/l) og procentvis fordeling på hovedgrupper

Dyreplanktonbiomassen varierede mellem 0,8 mg/l i begyndelsen af november og 11 mg/l i slutningen af maj. Den gennemsnitlige biomasse var 2,9 mg/l i perioden marts-oktober og 3,3 mg/l i sommerperioden maj-september.

Dyreplankton havde et årsmaksimum i slutningen af maj (11 mg/l), der var domineret af cladocererne *Daphnia hyalina* og *Daphnia galeata* (64%). Copepoder udgjorde på denne dato samlet 35%. I resten af prøvetagningsperioden varierede dyreplanktonbiomassen mellem 0,8 mg/l og 3,9 mg/l. I begyndelsen af maj og begyndelsen af juni var biomassen 3,9 mg/l. Den laveste biomasse fandtes i begyndelsen af november.

Copepoder var i 2002 gennemsnitligt den vigtigste dyregruppe. De udgjorde samlet 61% af biomassen i perioden marts-oktober og 54% i sommerperioden. Cladocerer udgjorde tilsvarende henholdsvis 30% og 36%. Rotatorier udgjorde 8% og 9% og muslinger 1% af den gennemsnitlige biomasse i de to perioder, marts-oktober og maj-september.

Dyreplanktonsamfundet var hele året domineret af copepoder, bortset fra i slutningen af maj under årsmaksimum, hvor cladocerer var den vigtigste dyregruppe (64%), samt midt i juli, hvor rotatorier dominerede med 51% af dyreplanktonbiomassen.

Dyreplanktons artssammensætning

Dyreplanktons artssammensætning fremgår af bilag 9 og 10. Der blev i alt fundet 32 arter/slægter af rotatorier, cladocerer, copepoder og muslinger i Tissø 2002. Dominerende og subdominerende arter/grupper på de enkelte prøvedatoer fremgår af tabel 5.6.1.

Rotatorier

Rotatoriebiomassen varierede fra 0,02 mg/l i marts og november til 1,6 mg/l midt i juli. Rotatoriernes gennemsnitlige biomasse var 0,25 mg/l i perioden marts-oktober og 0,31 mg/l i sommerperioden maj-september, hvilket svarer til 8% af den totale dyreplanktonbiomasse i marts-oktober og 9% i maj-september.

Rotatorier havde størst betydning for den samlede dyreplanktonbiomasse midt i juli, hvor de dominerede biomassen med 51%. Resten af året udgjorde de 0-20%, og var uden væsentlig betydning for den totale dyreplanktonbiomasse.

Rotatorier var den artsrigeste dyreplanktongruppe med 19 fundne arter. Gennemsnitligt var *Asplanchna priodonta* og *Keratella quadrata* de vigtigste arter, da de udgjorde henholdsvis 35% og 26% af rotatoriebiomassen i perioden marts-oktober. Midt i juli dominerede *Asplanchna priodonta* den samlede dyreplanktonbiomasse med 39%, hvorimod arten resten af året ingen betydning havde for den samlede biomasse. *Keratella quadrata* fandtes i hele perioden, med størst betydning i starten af maj, hvor den subdominerede dyreplanktonbiomassen med 9%. *Keratella cochlearis* forekom ligeledes det meste af året, dog i væsentlig mindre antal og uden betydning for den samlede biomasse. De andre forekommende rotatorier fandtes mere sporadisk i løbet af prøvetagningsperioden.

Cladocerer

Cladocerbiomassen varierede mellem 0,02 mg/l i marts og 6,9 mg/l midt i maj. Den gennemsnitlige biomasse var 0,89 mg/l i perioden marts-oktober og 1,2 mg/l i sommerperioden maj-september. Dette svarede til henholdsvis 30% og 36% af den samlede dyreplanktonbiomasse i de to perioder.

Cladocerer havde størst betydning omkring årsmaksimum midt i maj, hvor de dominerede dyreplanktonbiomassen med 64%. I perioden juni til først i juli samt i oktober var cladocerers andel 33-39% af dyreplanktonbiomassen. Resten af perioden udgjorde de 1-28% af den totale dyreplanktonbiomasse.

Tabel 5.6.1. Tissø 2002. Dyreplanktonbiomasse, dominerende og subdominerende arter i procent af den totale biomasse.

DATO:	Total bio- masse mg/l	Dominerende art	Andel af biomasse %	Subdominerende arter/grupper	Andel af biomasse %
18-mar	1,4	<i>Cyclops strenuus</i> hun	26	<i>Cyclops</i> spp. <i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	25 24
02-apr	2,4	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	18	<i>Cyclops strenuus</i> hun Cyclopoide nauplier <i>Cyclops</i> spp. han Cyclopoide copepoditer	17 16 15 13
22-apr	3,5	Cyclopoide nauplier	22	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne Cyclopoide copepoditer Calanoide nauplier	19 16 10
06-maj	3,9	Calanoide copepoditer	21	Cyclopoide copepoditer <i>Keratella quadrata</i> <i>Daphnia hyalina</i>	20 9 8
21-maj	10,8	<i>Daphnia hyalina</i>	26	<i>Daphnia galeata</i> Calanoide copepoditer <i>Daphnia cucullata</i>	23 18 9
03-jun	3,9	Calanoide copepoditer	36	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne <i>Daphnia hyalina</i> <i>Daphnia galeata</i>	22 15 11
19-jun	1,4	<i>Daphnia galeata</i>	30	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne Cyclopoide copepoditer Calanoide copepoditer	21 16 10
03-jul	2,8	<i>Daphnia galeata</i>	29	Calanoide copepoditer Cyclopoide copepoditer Cyclopoide nauplier	18 12 9
17-jul	3,1	<i>Asplanchna priodonta</i>	39	Cyclopoide copepoditer Calanoide copepoditer	14 11
31-jul	1,4	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	19	Cyclopoide nauplier Calanoide copepoditer <i>Daphnia cucullata</i>	15 15 13
14-aug	1,6	<i>Mesocyclops leuckarti</i> voksne	19	<i>Daphnia cucullata</i> <i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne <i>Meso/Thermocyclops</i> copepoditer Cyclopoide nauplier	14 12 10 9
26-aug	1,5	Calanoide copepoditer	16	Cyclopoide copepoditer <i>Daphnia cucullata</i> <i>Meso/Thermocyclops</i> copepoditer	15 14 14
09-sep	2,5	<i>Meso/Thermocyclops</i> copepoditer	18	Calanoide copepoditer <i>Daphnia cucullata</i>	14 14
23-sep	3,0	Calanoide copepoditer	21	<i>Meso/Thermocyclops</i> copepoditer	15

				<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	12
				Cyclopoide copepoditer	10
07-okt	1,8	<i>Chydorus sphaericus</i>	21	Calanoide copepoditer	17
				<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	17
				<i>Meso/Thermocyclops</i> copepoditer	11
05-nov	0,8	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	65	<i>Meso/Thermocyclops</i> copepoditer	8
Gsn.	2,9	Calanoide copepoditer	34	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	12
18-mar -				Cyclopoide copepoditer	10
31-okt				<i>Daphnia galeata</i>	10
Gsn.	3,3	Calanoide copepoditer	18	<i>Daphnia galeata</i>	12
01-maj -				<i>Daphnia hyalina</i>	10
30-sep				<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	10

Der blev fundet 8 arter af cladocerer. Som gennemsnit var de vigtigste cladocerer *Daphnia galeata* og *D. hyalina*, der udgjorde henholdsvis 10% og 8% af den samlede gennemsnitlige biomasse i perioden marts-oktober. Begge arter fandtes primært forår og sommer, med størst forekomst omkring maj og juni, sammenfaldende med dyreplanktons årsmaksimum. *Daphnia cucullata* fandtes til forskel stort set hele året, med størst betydning i august og september, hvor arten var blandt de subdominerende i dyreplanktonbiomassen. *Bosmina coregoni* forekom endvidere det meste af året, men aldrig i betydningsfuldt antal for den samlede biomasse. *Chydorus sphaericus* fandtes i starten af juli og i perioden august-november. I oktober dominerede arten den meget blandede totale dyreplanktonbiomasse med 21%.

Copepoder

Copepodbiomassen varierede mellem 0,69 mg/l i november og 3,8 mg/l midt i maj. Gennemsnitligt var copepoders samlede biomasse 1,8 mg/l i marts-oktober og 1,7 mg/l i sommerperioden maj-september. Dette svarede til henholdsvis 61% og 54% i de to perioder.

Samlet dominerede copepoder dyreplanktonsamfundet i stort set hele året (51-97%) undtagen under cladocermaksimum midt i maj, hvor copepoder udgjorde 35%. Tilsvarende midt i juli, hvor rotatorier dominerede biomassen, mens copepoder udgjorde 43%. Calanoide copepoder udgjorde gennemsnitligt 31% i marts-oktober og 30% i sommerperioden. For cyclopoide copepoder var dette henholdsvis 30% og 24% i de to perioder. Cyclopoide copepoder dominerede i foråret, i starten af juli samt i perioden midt i august-september. I sommerperioden samt efterår var calanoide copepoder i stedet de dominerende.

Der blev fundet 4 arter af copepoder, den calanoide art *Eudiaptomus graciloides* og de cyclopoide arter *Cyclops strenuus*, *C. vicinus* og *Mesocyclops leuckarti*. Voksne individer af *Eudiaptomus graciloides* fandtes hele året, hvorimod *Cyclops strenuus* og *C. vicinus* kun forekom i forårsperioden. *Mesocyclops leuckarti* fandtes fra april til og med september.

Calanoide copepoditer, voksne *Eudiaptomus graciloides* og cyclopoide copepoditer var gennemsnitligt de hyppigst forekommende og med størst betydning for dyreplanktonbiomassen. Gennemsnitligt dominerede calanoide copepoditer den samlede dyreplanktonbiomasse i marts-oktober med 34%.

Muslinger

Der blev fundet planktiske larver af vandremuslingen *Dreissena polymorpha* i perioden midt i juni til midt i august. Andelen af den samlede dyreplanktonbiomasse var i denne periode 1-6% og gennemsnitligt 1% i marts-oktober og i maj-september.

5.7 Samlet diskussion af plante- og dyreplankton

Planteplankton

Planteplanktonsamfundet i Tissø 2002 var typisk for en relativt dyb, klarvandet, eutrof sø med en årscyklus, der var styret af både næringsstofferne koncentration og vertikale fordeling i vandsøjlen, græsning og meteorologiske forhold (Gsn. dybde 8,2 m, årsgsn. i 2001: sigtdybde 2,2 m, pH 8,3, TN 2,5 mg/l, TP 0,22 mg/l uorg. P 0,16 mg/l).

I marts-april var planteplanktonsamfundet domineret af græsningsfølsomme kiselalger og små chlorococcale grønalger. Små centriske kiselalger og *Chlorella* sp./*Dictyosphaerium subsolitarium* er næringskrævende og hurtigtvoksende selv ved lave temperaturer, og de kræver cirkulation af vandmassen, da de er ubevægelige. Den lidt større centriske kiselalge *Stephanodiscus neoastraea*, der især dominerede i marts, findes især i dybe søer, da den kan tåle de vekslende lysforhold ved dybdeopblanding. I april var siliciumkoncentrationen så lav, at den sandsynligvis til tider var begrænsende for kiselalgerne vækst. Den heterotrofe furealge, *Gymnodinium helveticum*, kan have medvirket til at nedgræsse *Stephanodiscus neoastraea*. Alt i alt medførte forholdene et fald i kiselalgebiomassen og en øget biomasse af *Chlorella* sp./*Dictyosphaerium subsolitarium*.

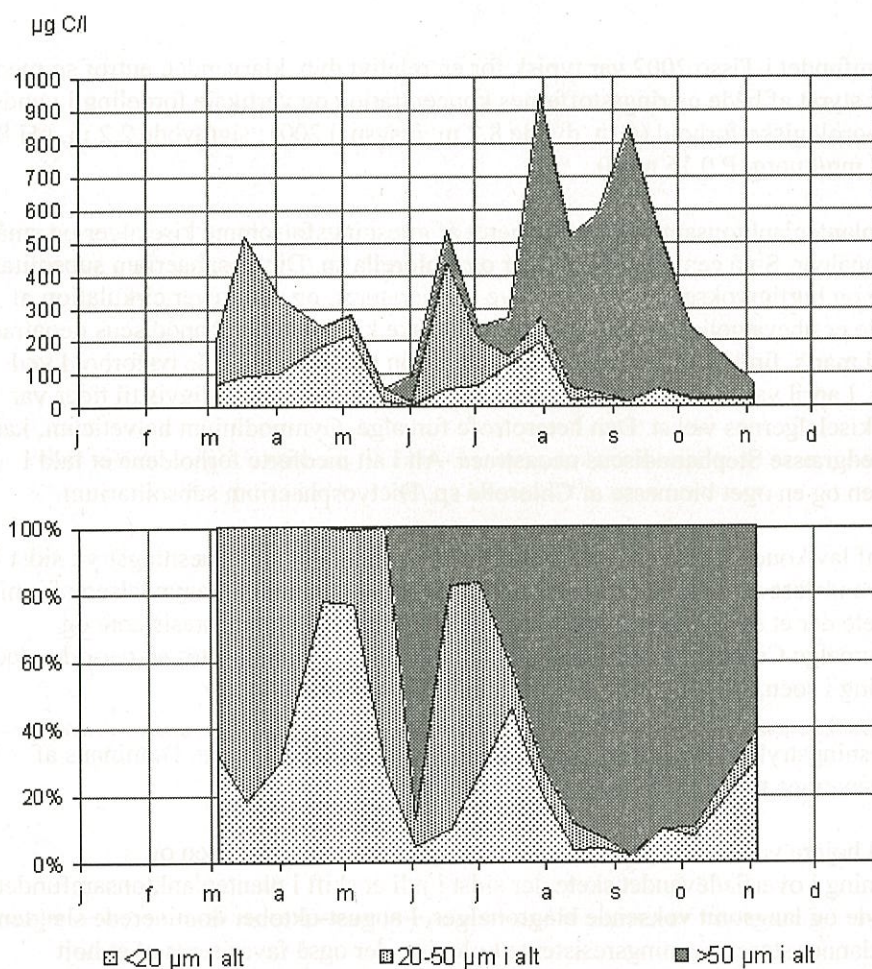
En kombination af lav koncentration af uorganisk fosfor og et meget højt græsningstryk sidst i maj medførte en klarvandsfase med lav planteplanktonbiomasse sidst i maj og begyndelsen af juni. I denne periode skete der et skift i planteplanktonsamfundet til den græsningsresistente og selvbevægelige furealge *Ceratium hirundinella*, hvilket tyder på, at der fandtes en periode med temperaturlagdeling i søen.

Under et lavt græsningstryk midt i juni steg planteplanktonbiomassen hurtigt. Dominans af *Stephanodiscus neoastraea* tyder på, at søen igen var dybdeopblandet.

I forbindelse med højere vandtemperatur, tiltagende stagnation af vandmassen og kvælstofbegrænsning i overfladevandet skete der sidst i juli et skift i planteplanktonsamfundet til mere specialiserede og langsomt voksende blågrønalger. I august-oktober dominerede slægten *Microcystis*, der danner store græsningsresistente kolonier, der også favoriseres af et højt græsningstryk. *Microcystis* er fosforkrævende, men kan luksusoptage fosfor og derved opretholde en produktion ved efterfølgende lav fosforkoncentration. Ved hjælp af luftvesikler i cellerne er den i stand til at holde sig svævende i de øvre vandlag under temperaturlagdeling og i nogen udstrækning foretage døgnvandring. Strøm og vind kan have stor betydning for *Microcystis*' rumlige fordeling i søen. *Microcystis*' svingende biomasse kombineret med mindre maksima af forskellige andre planteplanktongrupper i løbet af sensommeren og efteråret tyder på, at søen ikke har haft en stabil temperaturlagdeling, men derimod flere skift mellem dybdeopblanding og stagnation af vandmassen.

Efter blågrønalgernes sammenbrud sidst i oktober vendte kiselalgerne tilbage. På dette tidspunkt dominerede en trådformet centrisk art, *Aulacoseira* spp., der har en høj tolerance for dybdeopblanding.

Planteplanktons egnethed som føde for dyreplankton



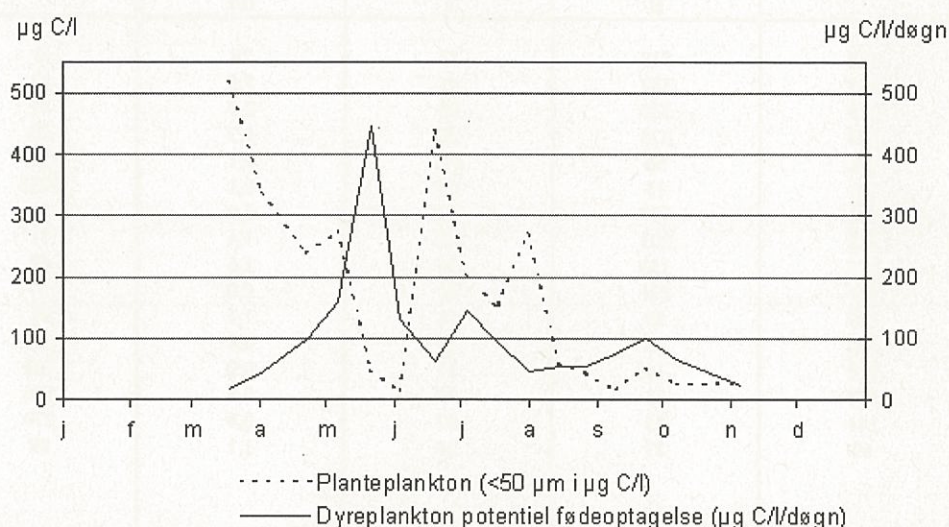
Figur 5.7.1. Tisø 2002. Planteplanktons biomasse ($\mu\text{g C/l}$) opdelt i størrelsesgrupper efter græsningsfølsomhed. <20 μm stærkt græsningsfølsom, 20-50 μm middel græsningsfølsom, >50 μm græsningsresistent.

Størrelsesvariationen af planteplankton i 2002 ses af figur 5.7.1. Normalt regnes planteplankton <50 μm tilgængeligt for dyreplankton.

I marts-maj var 99-100% af den stående planteplanktonbiomasse størrelsesmæssigt tilgængelig for dyreplankton. Denne fraktion ($<50 \mu\text{m}$) bestod især af små og mellemstore kiselalger, som har en høj fødeværdi for dyreplankton. I begyndelsen af juni var fødegrundlaget for dyreplankton meget dårligt, kun $13 \mu\text{g C/l}$ (15% af den totale planteplanktonbiomasse) var umiddelbart tilgængeligt for dyreplankton. Fra midt i juni til midt i juli fandtes igen en høj biomasse af let tilgængelige kiselalger med en høj fødeværdi.

Fra sidst i juli til november var under 40% af planteplanktonbiomassen umiddelbart tilgængelig for dyreplankton. I august-oktober var fødegrundlaget for dyreplankton meget dårligt, under $60 \mu\text{g C/l}$ (2-11% af den totale planteplanktonbiomasse) var umiddelbart tilgængelig for dyreplankton. I denne periode var planteplanktonbiomassen domineret af kolonidannende blågrønalger.

Dyreplanktons græsning



Figur 5.7.2. Tissø 2002. Dyreplanktons græsning som potentiel fødeoptagelse ($\mu\text{g C/l/d}$) i relation til græsningsfølsom planteplanktonbiomasse ($<50 \mu\text{m}$, $\mu\text{g C/l}$).

Dyreplanktons potentielle fødeoptagelse og græsningstryk, beregnet ud fra deres daglige fødebehov fremgår af bilag 8. Tabel 5.7.1 illustrerer dette, og figur 5.7.2 viser ligeledes relationen mellem dyreplanktons fødeoptagelse ($\mu\text{g C/l/d}$) og det græsningsfølsomme planteplankton ($<50 \mu\text{m}$ i $\mu\text{g C/l}$).

Dyreplanktons potentielle fødeoptagelse varierede mellem $18 \mu\text{g C/l/d}$ i marts og $447 \mu\text{g C/l/d}$ i slutningen af maj. Den gennemsnitlige fødeoptagelse var $103 \mu\text{g C/l/d}$ i perioden marts-oktober og $124 \mu\text{g C/l/d}$ i sommerperioden (maj-september). Disse gennemsnit svarede til et gennemsnitligt græsningstryk på henholdsvis 59% og 86%.

Der ses en tidsforskydning mellem det græsningsfølsomme planteplankton <50 µm og græsningstrykket. Det laveste græsningstryk forekom midt i marts, hvor fødeoptagelsen var årets laveste, da dyreplankton domineredes af voksne carnivore Cyclops spp. samt voksne Eudiaptomus graciloides, og derfor kun få effektive græssere. Da planteplanktonbiomassen samtidig var domineret af en forårstop af kiselalger (*Stephanodiscus neoastraea*), der sammen med furealgen *Gymnodinium helveticum* er tilgængelige fødeemner for dyreplankton, medvirkede denne fødetilgængelighed til en stigning i dyreplanktons fødeoptagelse indtil årets maksimum i slutningen af maj (447 µg C/l/d). Dyreplankton var nu domineret af mere græsningseffektive arter, såsom de store filtrerende *Daphnia hyalina* og *Daphnia galeata*. Græsningstrykket sidst i maj var derfor højt, omkring 900%. Toppen af græsningsfølsomme kiselalger blev nedbragt, og planteplanktonbiomassen var nu i stedet domineret af græsningsresistente furealger (*Ceratium hirundinella*) i juni, hvilket sandsynligvis bevirkede et fald i dyreplanktons fødeoptagelse til 63 µg C/l/d senere i juni, svarende til et græsningstryk på 14%.

	Total planteplankton (µg C/l)	Planteplankton (< 50µm i µg C/l)	Dyreplankton potentielt fødeoptagelse (µg C/l/døgn)	Potentielt græsningsrate i dage	Dyreplanktons græsningstryk (%)
		B	I	B/I	
18-mar	518	518	18	28	4
02-apr	337	337	45	7,5	13
22-apr	239	239	99	2,4	41
06-maj	278	275	159	1,7	58
21-maj	50	50	447	0,1	902
03-jun	96	13	130	0,1	1033
19-jun	531	437	63	6,9	14
03-jul	243	203	145	1,4	71
17-jul	266	153	95	1,6	62
31-jul	944	271	46	5,9	17
14-aug	519	59	54	1,1	91
26-aug	578	43	53	0,8	123
09-sep	847	16	74	0,2	463
23-sep	534	53	99	0,5	185
07-okt	241	25	67	0,4	270
05-nov	69	27	24	1,1	89
Vægtet gns. 18-mar 31-okt	385	174	103	1,7	59
Vægtet gns. 01-maj 30-sep	440	144	124	1,2	86

Tabel 5.7.1. Tisø 2002. Relation mellem planteplankton og dyreplanktons fødeoptagelse i løbet af året, set som græsningstryk og potentielt græsningsrate i dage.

I juli måned var dyreplankton ikke fødebegrænset af det græsningsfølsomme planteplankton, da det domineredes af små kiselalger og rekylalger (*Cryptomonas* spp.). Dette bevirkede en stor spredning og variation i fødeoptagelsen, med vekslende dominans af forskellige dyreplanktongrupper.

Muslinger havde blandt andet i denne periode stor betydning for den samlede potentielle fødeoptagelse.

I august-oktober domineredes planteplanktonbiomassen af blågrønalger (*Microcystis* spp.). Samtidig reduceredes tilgængeligheden af græsningsfølsomt planteplankton ($<50\text{ }\mu\text{m}$). Trods dette, steg græsningsstrykket igennem efteråret, og holdt sig på et forholdsvis højt niveau (89-463%). Dyreplanktons fødeoptagelse domineredes samtidig i højere grad af de herbivore calanoide copepoder samt de små filtrerende *Chydorus sphaericus* og *Daphnia cucullata*, der ofte følges med opblomstringer af *Microcystis*.

Dyreplankton har hele efteråret været klart fødebegrænset pga. lav mængde af græsningsfølsomt planteplankton $<50\text{ }\mu\text{m}$, så derfor må alternative fødeemner såsom ciliater, bakterier og detritus have været inde i billedet. Samtidig vedbliver dyreplankton i efteråret også med at være ligeså artsrigt som tidligere i prøvetagningsperioden, så derfor havde den indbyrdes konkurrence mellem grupperne tilsyneladende ikke nogen fatal betydning. *Chydorus sphaericus* er primært en art fra bredzonen. Den sætter sig på *Microcystis*-kolonierne og følger med disse ud i det åbne vand, hvor den græsser epiplanktiske småalger og bakterier.

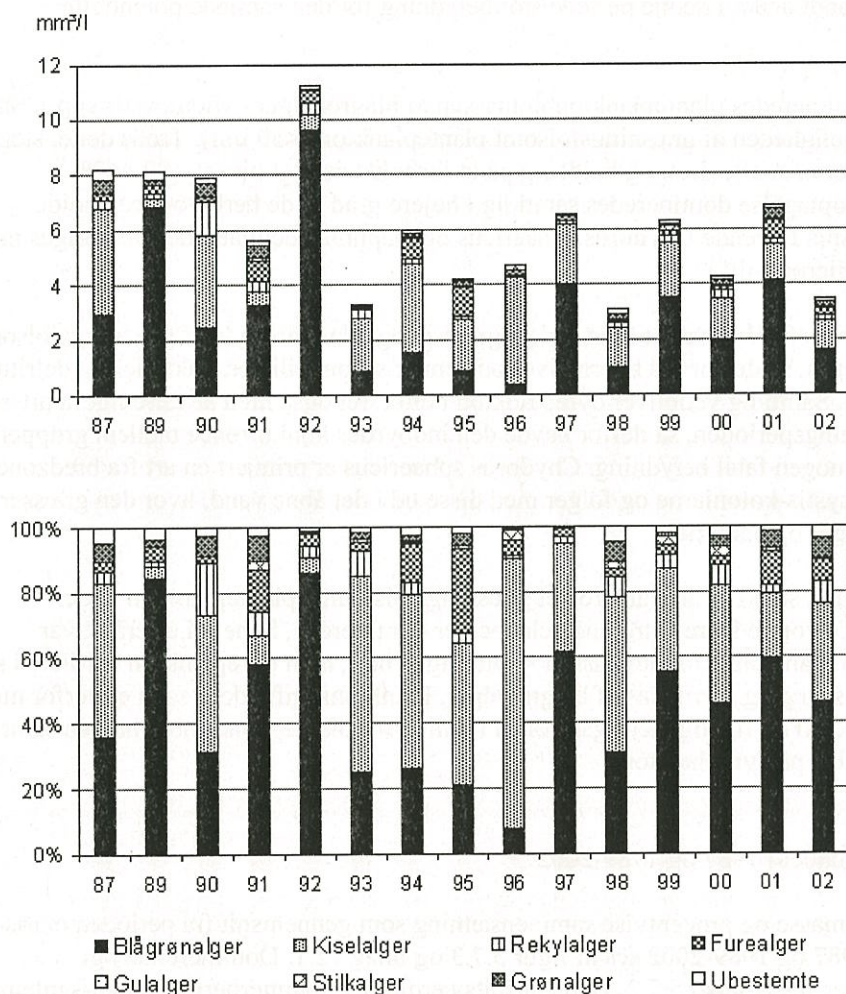
Dyreplankton var kun i stand til at regulere det græsningsfølsomme planteplankton under årsmaksimum i maj, hvor de store filtrerende cladocerer dominerede. Senere i efteråret var græsningsstrykket på planteplanktonbiomassen $<50\text{ }\mu\text{m}$ igen højt, men dyreplankton var ikke i stand til at forhindre opblomstring og dominans af blågrønalger. Planktonsamfundet i søen er derfor muligvis i højere grad influeret af en rigelig næringstilførsel til gavn for planteplanktonbiomassen samt et højt prædationstryk fra fisk på dyreplankton.

Planteplanktonsamfundet i 1987 og 1989-2002

Planteplanktons biomasse og procentvise sammensætning som gennemsnit fra perioden marts-oktober fra årene 1987 og 1989-2002 ses af figur 5.7.3 og bilag 12.1. Dominerende og subdominerende arter ses af tabel 5.7.2. Gennemsnitsværdier fra sommerperioden maj-september findes i bilag 12.2.

Den gennemsnitlige totale biomasse var lavest i 1993, 1995-96, 1998, 2000 samt i 2002 ($3,1\text{--}4,7\text{ mm}^3/\text{l}$) og højest i 1992 ($11\text{ mm}^3/\text{l}$). De øvrige år var den $6\text{--}8\text{ mm}^3/\text{l}$. Den maksimale biomasse var højest i 1997 ($34\text{ mm}^3/\text{l}$), lavest i 1998 og 2002 ($8\text{--}9\text{ mm}^3/\text{l}$) og $12\text{--}29\text{ mm}^3/\text{l}$ de øvrige år.

De vigtigste planteplanktongrupper var alle år blågrønalger og/eller kiselalger. Kiselalger var vigtigst i 1987, 1990, 1993-96 samt 1998. De fleste år dominerede *Stephanodiscus neoastraea*, der udgjorde 30-52% af den totale gennemsnitlige biomasse fra perioden marts-oktober. I 1993 dominerede centriske kiselalger $10\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$ (52%) og i 1998 udgjorde *Stephanodiscus neoastraea* og centriske kiselalger ($<10\text{ }\mu\text{m}$ samt $10\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$) tilsammen 38%.



Figur 5.7.3. Tisø 2002. Planteplanktonbiomasse og procentvis fordeling på hovedgrupper 1987 og 1989-2002. Gennemsnit fra perioden marts-oktober.

I 1989, 1991-92, 1997 og 1999-2002 dominerede blågrønalger, de fleste år trådformede arter, *Limnithrix* spp i 1989, 1992 og 1999, *Pseudanabaena limnetica* i 1991, *Anabaena* spp. i 1997, *Planktothrix agardhii* i 2000 og *Aphanizomenon gracile* i 2001, men i 2002 dominerede den kolonidannende blågrønalgeslægt *Microcystis*. Slægterne *Anabaena*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon* og *Microcystis* er potentielt toksiske. Slægterne *Anabaena* og *Aphanizomenon* har heterocytter og er effektive N₂-samlere.

Hver sommer optrådte en større eller mindre opblomstring af furealger. Størst betydning havde de i 1995, hvor de udgjorde 26% af den gennemsnitlige biomasse mod 2-13% de øvrige år. Alle år var *Ceratium hirundinella* den vigtigste furealge.

Tabel 5.7.2. Tissø 2002. Gennemsnitlig planteplanktonbiomasse, dominerende og subdominerende arter i procent af den totale gennemsnitlige biomasse fra perioden marts-oktober fra årene 1987 og 1989-2002.

År	Gsn. total biomasse mm ³ /l	Dominerende art	Andel af gsn biomasse %	Subdominerende arter	Andel af gsn biomasse %
1987	8,2	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	41	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Woronichinia compacta</i>	15 9
1989	8,1	<i>Limnothrix</i> spp.	72	<i>Planktothrix agardhii</i>	11
1990	7,9	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	38	<i>Microcystis</i> spp. <i>Limnothrix</i> spp.	13 12
1991	5,6	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	27	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Limnothrix</i> spp. <i>Ceratium hirundinella</i>	17 11 10
1992	11,2	<i>Limnothrix</i> spp.	56	<i>Planktothrix agardhii</i>	23
1993	3,3	Centriske kiselalger (10-30 µm)	52	<i>Microcystis</i> spp. <i>Planktothrix agardhii</i>	7 6
1994	6,0	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	30	<i>Limnothrix</i> spp. Centriske kiselalger (10-30 µm) <i>Ceratium hirundinella</i>	14 12 11
1995	4,2	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	33	<i>Ceratium hirundinella</i> <i>Microcystis</i> spp.	24 13
1996	4,7	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	52	Centriske kiselalger (<10 µm) <i>Aulacoseira granulata</i>	13 12
1997	6,6	<i>Anabaena</i> spp.	29	<i>Planktothrix agardhii</i> Centriske kiselalger (<10 µm) <i>Aphanizomenon</i> spp.	20 13 12
1998	3,1	<i>Stephanodiscus neoastraea</i> <i>Anabaena</i> spp.	18 18	Centriske kiselalger (<10 µm) <i>Microcystis</i> spp.	14 8
1999	6,3	<i>Limnothrix</i> spp.	39	<i>Stephanodiscus neoastraea</i> <i>Planktothrix agardhii</i>	29 12
2000	4,2	<i>Planktothrix agardhii</i>	35	<i>Stephanodiscus neoastraea</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Limnothrix</i> spp.	15 13 10
2001	6,8	<i>Aphanizomenon gracile</i>	46	<i>Stephanodiscus neoastraea</i> <i>Ceratium hirundinella</i>	14 10
2002	3,5	<i>Microcystis</i> spp.	36	<i>Stephanodiscus neoastraea</i> <i>Anabaena</i> spp. <i>Ceratium hirundinella</i> Centriske kiselalger (<10 µm)	22 6 6 6

Planteplanktonsamfundet var alle 15 undersøgelsesår domineret af næringskrævende arter, der er typiske for klarvandede dybe søer. Forår og sent efterår dominerede kiselalger, der kræver omrøring og kan tåle dybdeopblanding. I sommerperioden har planteplanktonsamfundet skiftet mellem dominans af blågrønalger, centriske kiselalger og furealger. De tre grupper har forskellige krav til stagnationsforhold og koncentration af uorganiske næringsstoffer. Centriske kiselalger kræver et relativt højt næringsstofniveau af fosfor, kvælstof og silicium samt omrøring af vandmasserne for at undgå udsynkning. Blågrønalger kræver højt fosforniveau, men kan klare sig ved lave kvælstofkoncentrationer (især arter med heterocyter). Trådformede blågrønalger tåler normalt dybdeopblanding, hvorimod de kolonidannende arter normalt er varmekrævende og favoriseres af stagnerende forhold. Furealgen *Ceratium hirundinella* er relativt næringskrævende og favoriseres af temperaturlagdeling og vertikal fordeling af næringsstoffer i vandsøjlen.

Dyreplanktonsamfundet i 1987 og 1989-2002

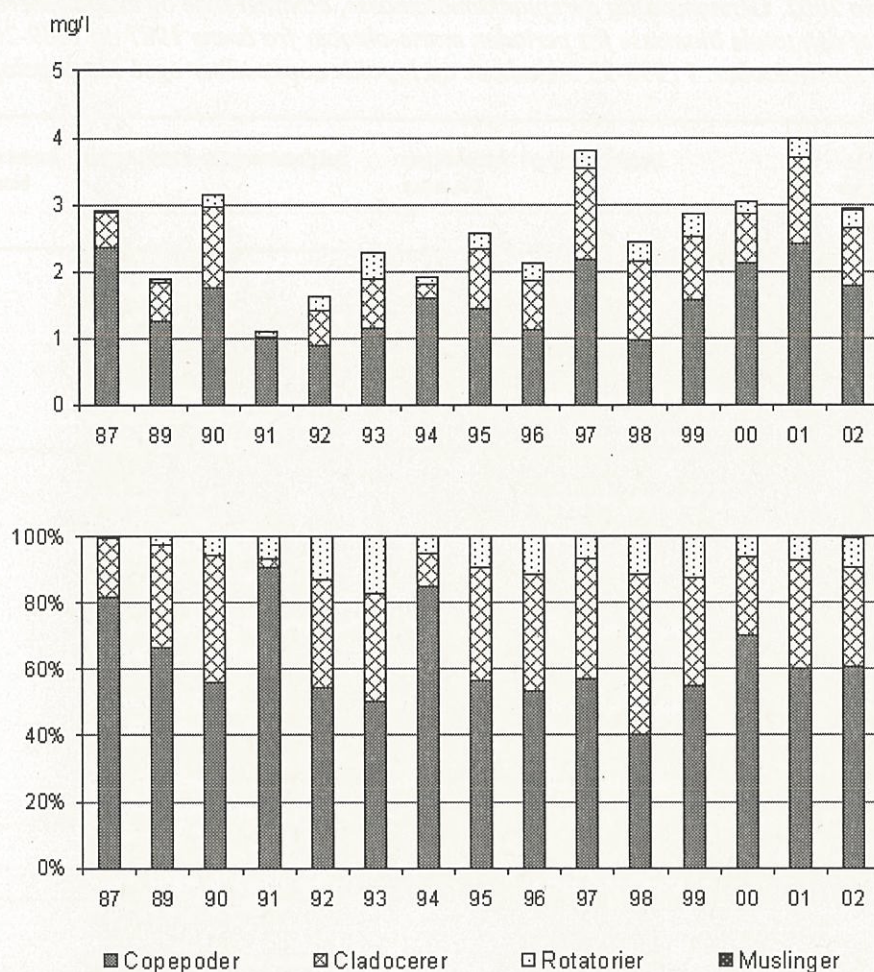
Dyreplanktons biomasse og gruppernes procentvise fordeling som gennemsnit fra den produktive periode for årene 1987 og 1989-2002 ses af figur 5.7.4 og bilag 12.3. Dominerende og subdominerende arter ses af tabel 5.7.3. Gennemsnitsværdier fra sommerperioden (maj-september) findes i bilag 12.4.

I 2002 var den gennemsnitlige biomasse fra perioden marts-oktober 2,9 mg/l, hvilket er et fald i forhold til 2001, hvor biomassen var 4,0 mg/l. Den laveste gennemsnitlige biomasse fandtes i 1991 (1,1 mg/l) og den hidtil højeste i 2001 (4,0 mg/l). De øvrige år svingede den mellem 1,6 og 3,3 mg/l. I sommerperioden forekom samme mønster, men den gennemsnitlige biomasse var generelt lidt højere i sommerperioden end i perioden marts-oktober.

I alle år, undtagen 1998, udgjorde copepoder den største andel af den gennemsnitlige biomasse fra den produktive periode (48-90%), og cladocerer var den næst vigtigste gruppe (3-44%). I 1998 var cladocerer den vigtigste dyregruppe (48%) og copepoder næst vigtigst (40%). Dette skyldtes dels et højt sommermaksimum af cladocerer og dels en lav gennemsnitlig copepodbiomasse i 1998. Copepodbiomassen har været relativt konstant og høj i hele undersøgelsesperioden (0,9-2,4 mg/l). Langt større udsving sås i den gennemsnitlige cladocerbiomasse, der var meget lav i 1991 og 1994 (henholdsvis 0,03 og 0,19 mg/l) og svingede mellem 0,5 og 1,4 mg/l de øvrige år.

Copepodbiomassen bestod alle år af *Eudiaptomus graciloides*, *Cyclops strenuus*, *C. vicinus* og *Mesocyclops leuckarti* samt nogle år tillige af *Cyclops abyssorum* (1995-98) og *Eudiaptomus gracilis* (1997). De fleste år var *Eudiaptomus graciloides* den vigtigste copepod, men i 1989 var det *Mesocyclops leuckarti* og i 1990 samt 1992-93 *Cyclops strenuus* + *C. vicinus*.

De vigtigste cladocerer var alle år *Daphnia*-arterne *D. cucullata*, *D. galeata* og/eller *D. hyalina*. I 1990 samt 1996 udgjorde *Bosmina longirostris* og i 1997-98 *Bosmina coregoni* tillige en væsentlig andel af cladocerbiomassen.



Figur 5.7.4. TISSØ 2002. Dyreplanktonbiomasse og procentvis fordeling på hovedgrupper 1987 og 1989-2002. Gennemsnit fra perioden marts-oktober. 2001: perioden april-oktober (se bilag 12.3)

Rotatorier havde størst betydning i 1993 og 1999, hvor de, i kraft af en stor forekomst af *Asplanchna priodonta* i juli, udgjorde 15-17% af den gennemsnitlige biomasse. De øvrige år udgjorde rotatorier 1-13%. Generelt har de vigtigste arter været *Polyarthra* spp., *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* og i nogle år *Asplanchna priodonta* (1993, 1995-2000).

Muslinger havde for første gang i undersøgelsesperioden, en lille betydning for dyreplanktonbiomassen, ved at de i 2002 udgjorde 1% af den samlede dyreplanktonbiomasse, med en væsentligt større andel af fødeoptagelse i juli.

Tabel 5.7.3 Tissø 2002. Gennemsnitlig dyreplanktonbiomasse, dominerende og subdominerende arter i procent af den totale biomasse fra perioden marts-oktober fra årene 1987 og 1989-2002. 2001: perioden april-oktober. I 1992-93 inkluderer cyclopoide copepoditer også *Mesocyclops copepoditer*.

ÅR	Total bio- biomasse mg/l	Dominerende art	Andel af gsn biomasse %	Subdominerende arter/grupper	Andel af gsn biomasse %
1987	2,9	<i>Mesocyclops leuckarti</i> copepoditer	25	Calanoide copepoditer <i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne <i>Daphnia cucullata</i>	22 20 18
1989	2,0	<i>Mesocyclops leuckarti</i> copepoditer	23	<i>Daphnia galeata</i> <i>Mesocyclops leuckarti</i> voksne Cyclopoide copepoditer	13 13 12
1990	3,3	Cyclopoide copepoditer	17	<i>Daphnia galeata</i> <i>Bosmina longirostris</i> <i>Daphnia cucullata</i> <i>Mesocyclops leuckarti</i> voksne	14 13 9 9
1991	1,1	Calanoide copepoditer	30	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne Cyclopoide copepoditer	24 23
1992	1,6	Cyclopoide copepoditer	25	<i>Daphnia cucullata</i> <i>Daphnia galeata</i>	17 15
1993	2,3	Cyclopoide copepoditer	22	<i>Daphnia hyalina</i> <i>Asplanchna priodonta</i> <i>Daphnia galeata</i>	12 12 10
1994	1,9	Calanoide copepoditer	28	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne Cyclopoide copepoditer	22 17
1995	2,6	<i>Daphnia galeata</i>	19	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne Calanoide copepoditer Cyclopoide copepoditer <i>Daphnia cucullata</i>	15 13 11 9
1996	2,1	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	15	Calanoide copepoditer Cyclopoide copepoditer <i>Daphnia cucullata</i> <i>Bosmina longirostris</i>	14 14 13 10
1997	3,8	Cyclopoide copepoditer	18	Calanoide copepoditer <i>Daphnia cucullata</i> <i>Daphnia galeata</i>	15 12 12
1998	2,4	<i>Bosmina coregoni</i>	16	<i>Daphnia cucullata</i> <i>Daphnia hyalina</i> <i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne Calanoide copepoditer <i>Mesocyclops leuckarti</i> copepoditer	14 12 8 7 7
1999	2,9	<i>Daphnia galeata</i>	20	Cyclopoide copepoditer Calanoide copepoditer <i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	13 11 10

2000	3,0	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	25	Calanoide copepoditer	20
				<i>Daphnia cucullata</i>	11
				Cyclopoide copepoditer	9
2001	4,0	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	14	Cyclopoide copepoditer	11
				Calanoide copepoditer	10
				<i>Daphnia galeata</i>	10
				<i>Daphnia hyalina</i>	10
2002	2,9	Calanoide copepoditer	34	<i>Eudiaptomus graciloides</i> voksne	12
				Cyclopoide copepoditer	10
				<i>Daphnia galeata</i>	10

5.8 Undervandsplanter

I perioden 6.-7. august 2002 blev der lavet feltundersøgelser af undervandsvegetationens sammensætning og udbredelse i Tissø. I lighed med tidligere år blev undersøgelsen gennemført som en områdeundersøgelse efter retningslinierne i metode-beskrivelsen "Vegetationsundersøgelser i søer" fra DMU.

Tissø er inddelt i 15 delområder, jf. figur 5.7.1. I 2001 gennemførtes der undersøgelser i delområderne 1, 3, 5, 7, 9, 10, 12 og 14. I hvert af disse delområder blev sammensætningen og udbredelsen af undervandsvegetationen undersøgt i dybdeintervaller på 0,5 m. Vegetationsforholdene i søens øvrige 7 delområder blev registreret ved ikke-systematiske observationer.

På baggrund af resultaterne af tidligere års undersøgelser samt delområdernes substrat, dybde og eksponeringsforhold antages det, at forholdene i ikke-systematisk undersøgte delområder svarer til forholdene i de undersøgte delområder, hvad angår vegetationens udbredelse og tæthed, på følgende vis: 1=2, 3=4, 5=6, 7=8, 9, 10=11, 12=13 og 14=15 fed angiver undersøgte delområder.

Vegetationens sammensætning blev undersøgt ved hjælp af en almindelig rive med forlænget skaft ud til omkring 3 m's dybde samt med vandkikkert i det omfang, det var muligt. I de delområder, hvor vegetationen strakte sig ud over 3 m's dybde, blev der foretaget supplerende prøvetagninger med en "Sigurd Olsen"-rive i dybder fra omkring 3 m op til ca. 5-6 m for at sikre, at planternes dybdegrænse blev korrekt beskrevet.

Artsbestemmelsen blev så vidt muligt foretaget på stedet, i tvivlstilfælde blev planter hjembragt til nærmere identifikation. Alle blomsterplanter og kransnålalger blev bestemt til art, mens store/dominerende trådalger blev bestemt til slægt.

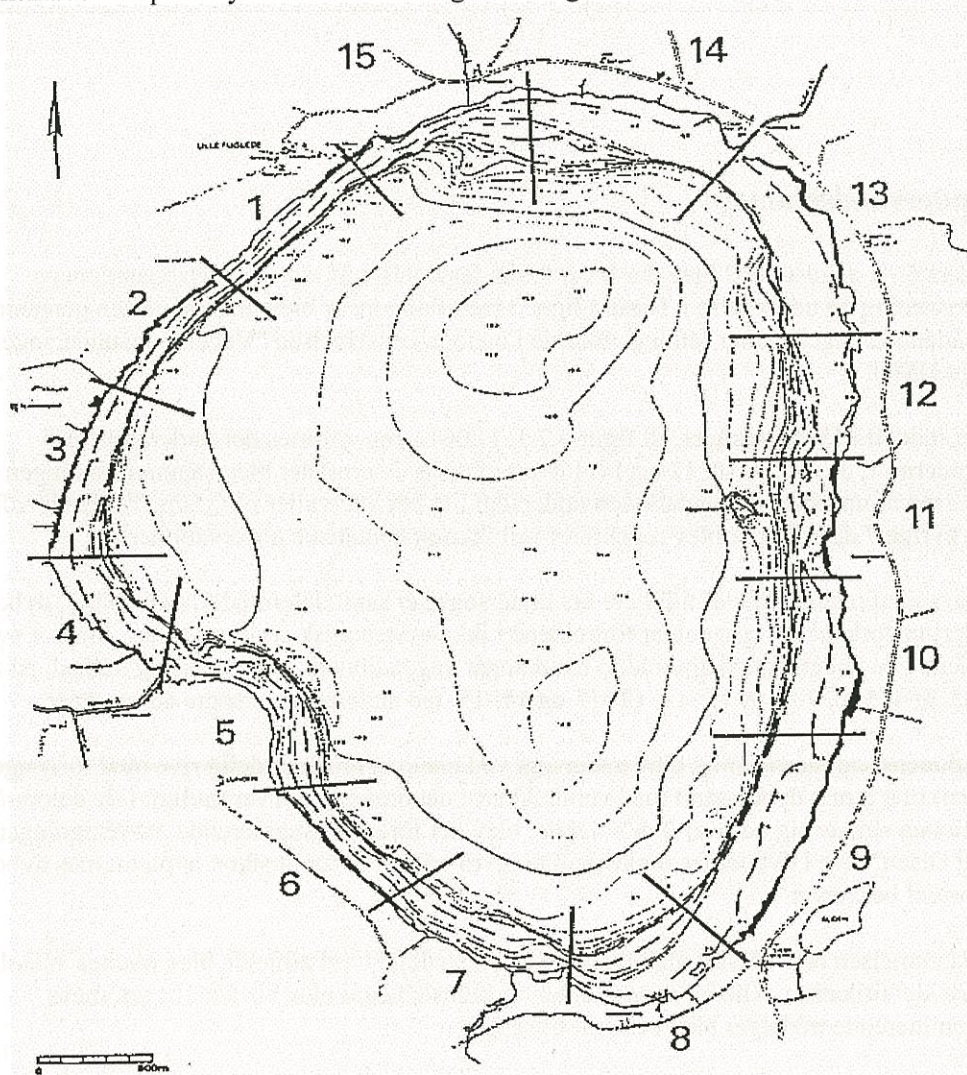
Blomsterplanter blev bestemt ved hjælp af "Danske vandplanter", mens kransnålalger fortrinsvist blev bestemt ved hjælp af "Bestämningsnyckel för svenska kransalger". Feltarbejde og plantebestemmelser blev udført af Elisabeth Krog og Bjarke Laubek.

Der er ikke gennemført egentlige undersøgelser af rørskoven i 2002.

Den aktuelle vandstand på undersøgelsestidspunktet var 1,17 DNN. Sommermiddelvand-standen for søen er 1,00 DNN.

Vegetationens sammensætning og udbredelse

Af bilag 1 fremgår resultaterne af områdeundersøgelsen 2001 i Tissø. Samleskemaer for dækningsgraden af undervandsvegetationen og trådalger findes i henholdsvis bilag 2 og 2A, mens samleskema for det plantefyldte volumen fremgår af bilag 3.



Figur 5.8.1. Kort over Tissø med angivelse af de 15 delområder.

En egentlig undersøgelse af rørskovens samlede udbredelse, areal og dybdegrænse er ikke udført i 2002, men i forbindelse med områdeundersøgelsen af undervandsvegetationen blev det, på et overordnet plan, konstateret, at rørskovens udbredelse ikke har ændret sig betydeligt siden undersøgelsen i 1994.

Tagrør er den dominerende rørskovsplante i de delområder, hvor der er rørskov i Tissø. Generelt er bevoksningerne tætte og høje, hvilket ofte er karakteristisk i næringsrige vande. I år blev det observeret, at Tagrør ikke havde blade med klorofyl de første ca. 30 cm over vandoverfladen. Kun visne og brune blade blev observeret her. Tilsyneladende har vandstanden i søen været højere end sædvanligt gennem en længere periode.

Smalbladet Dunhammer blev registreret flere steder langs den østlige bred af søen fortrinsvist i form af småbestande iblandet rørskoven af Tagrør. Enkelte steder dominerede den dog rørskoven. Langs den vestlige bred blev S. Dunhammer også observeret, dog kun i et enkelt delområde (nr. 4). Også denne art er angivet som karakteristisk i næringsrige vande.

Blågrøn Kogleaks og Strand-kogleaks blev fundet spredt rundt i søen i små tætte bevoksninger. Af øvrige rørskovsarter registreredes tre små bestande af Brudelys i Fiskerihavnen, mens Almindelig sumpstrå ikke blev genfundet ved den vestlige bred syd for Fiskerihavnen, hvor den ellers tidligere år er blevet registreret.

Alle 2002 observationer af rørskoven er i overvejende grad i overensstemmelse med tidligere års observationer. Umiddelbart virker Tissø som en sø med en meget stabil rørskov både hvad angår dens arter og deres udbredelse.

Flydebladsvegetationen har aldrig været hverken artsrig eller haft en særlig stor udbredelse i Tissø i overvågningsperioden. Tissøs størrelse, eksponering og dybdeforhold bevirker, at de fysiske betingelser for en veludviklet flydebladsvegetation ikke er til stede i søen. I overvågningsårene er der fundet 2-4 flydebladsarter; alle med en meget beskeden udbredelse. I 2002 blev der fundet 3 flydebladsarter; alle med en udbredelse i fuld overensstemmelse med tidligere års udbredelse.

Vandpileurt forekom sporadisk på helt lavt vand langs bredden i delområder uden rørskov mod nord og vest i søen. Arten forekom typisk som enkelte individer eller som små spredte bestande. Dens forekomst i 2002 var normal og adskilte sig ikke fra tidligere års observationer.

Gul åkande blev som sædvanligt fundet i tilløbet fra Halleby Å i delområde 14, samme sted som de foregående år. Bestanden var afblomstret på undersøgelsestidspunktet og blev kun registreret i form af undervandsblade.

Liden andemad blev også fundet i tilløbet fra Halleby Å, hvor den også tidligere år er fundet. Hverken Liden eller Kors-andemad blev dog fundet på de øvrige kendte lokaliteter, dvs. delområde 7 ved tilløbet Duemose Rende (begge arter) og i vigen ved vandværket i delområde 1 (Liden andemad).

Undervandsvegetationens sammensætning og de enkelte arters status i år fremgår af tabellen nedenfor sammen med arternes maksimale dybdegrænse i årene 1994-2002.

Tabel 5.8.1 Oversigt med undervandsvegetationens sammensætning og de enkelte arters status i Tissø i 2002 samt arternes dybdegrænse i årene 1994-2002.

Art	Status	Dybdeudbredelse (m)								
	2002	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994
Blomsterplanter										
Børstebladet vandaks	Dominerende	2,9	4,0	5,0	3,3	6,4	3,1	2,4	6,0	2,0
Hjerterbladet vandaks	Spredt	2,6	2,5	2,4	2,7	2,5	2,6	1,6	2,7	1,65
Kruset vandaks	Spredt/enkelte	2,9	2,1	2,6	3,9	2,9	3,3	2,2	2,7	1,8
Liden vandaks	Almindelig/spredt	3,2	2,4	3,3	4,1	5,9				
Krybende vandkrans	Almindelig	3,0	2,5	5,6	3,5	5,8	3,5	2,5	5,0	2,4
Aks-tusindblad	3-4 små bestande fundet	1,5	1,5		1,8				1,95	1,95
Vandranunkel	Blev ikke fundet i 2002							<0,5		
Vandpest	Flydende topskud obs.	-	1,0	1,0	1,0	0,5				
Vandstjerne sp.	Blev ikke fundet i 2002					Opsky 1				
Kransnålalger										
Chara spp.		3,0	2,7	3,3	3,9	3,6	2,9	2,6	4,5	1,5
Chara contraria	Almindelig	x	x	x	x	x	x			
Chara aspera	Enkelte	x	x			x		x	x	x
Chara vulgaris	Blev ikke fundet i 2002				x	x		x	x	x
Andre alger										
Cladophora sp. (Vandhår)	Almindelig/dominerende	4,1	4,5	3,8	3,5	5,5	3,5	2,9	5,5	2,25
Enteromorpha sp. (Rørhinde)	Almindelig	2,7	3,5	4,3	2,5	2,9	2,9	0,5	3,0	2,1

Der blev fundet i alt 10(11) forskellige undervandsplanter i 2002, heraf 6(7) arter af højere vandplanter, 2 kransnålalgearter og 2 trådalgeslægter, hvilket alt sammen er meget normalt for Tissø og på niveau med alle tidligere undersøgelser. Tallet i parentes angiver, at Vandpest højest sandsynligt også findes i søen, men i år blev dog kun et flydende top-skud af arten observeret. De fundne arter er alle almindeligt forekommende i danske søer og karakteristiske for alkaliske til moderat næringsrige søer.

Nedenfor er de enkelte arters forekomst og udbredelse i 2002 samt sammenligning med tidligere års observationer beskrevet. Først beskrives blomsterplanterne, dernæst kransnålalger og til sidst trådalgerne. Af figur 2 fremgår vegetationens samlede dækningsgrad i de enkelte dybdeintervaller i de 8 undersøgte delområder, som den blev registreret i 2002.

Der blev i 2002 fundet i alt 4 Vandaks-arter i Tissø. Den hyppigst forekommende var Børstebladet Vandaks, der forekom i alle søens delområder og var dominerende i langt de fleste. Den blev fundet på helt lavt vand og ud til en maksimal dybde på 2,9 m, hvilket er lavt for Børstebladet Vandaks, jf. tabel 1. Den havde sin hovedudbredelse i dybdeinter-vallet 0,5-2,5 m i lighed med mange af de

foregående år. Børstebladet vandaks er generelt en meget almindelig og udbredt undervandsplante i hele Danmark. Endvidere er den kendt for at vokse i især mere næringsrige vandområder, /11/.

Den næst hyppigst forekommende Vandaks-art i 2002 var Liden Vandaks, der igen i år kun blev fundet i søens syd- og vestlige delområder (2-8). Sidste år blev den også kun fundet i denne del af søen (1-7), hvor den ellers tidligere var mere jævnt fordelt i alle søens delområder. I år fandtes de største bestande i delområderne 3, 5 og 7, i øvrigt i lighed med sidste år. Liden vandaks blev fundet på 3,2 m (max. dybde), men havde sin hovedudbredelse på vanddybder mellem 1,0-2,5 m. Arten vurderes, at være gået tilbage gennem de senere år.

Hjertebladet Vandaks var den tredje hyppigst forekommende Vandaks-art i Tissø i 2002. Sidste år var den ikke begrænset til bestemte områder af søen, men det var den i år, hvor den kun blev registreret som jævnt forekommende i delområder mod nord (1, 14 og 15) og mod vest (4 og 5). Derudover blev den fundet i delområde 11, men kun på Aborreholmen (lavt vand). Dens hovedudbredelse var på vanddybder mellem 1,5-2,5 m og dens maksimale dybdegrænse var 2,6 m. Grødeøer blev observeret flere steder. Arten vurderes, at være gået tilbage gennem de senere år.

Den sidste af de i alt 4 Vandaks-arter fundet i Tissø er Kruket Vandaks. Den har også en begrænset udbredelse i søen og har haft det igennem hele overvågningsperioden. Siden 1994 er den næsten udelukkende blevet registreret i søens sydvestlige delområder (5-9). Dens hovedudbredelse blev igen i år registreret i dybdeintervallet 2-3 m. Kruket Vandaks anses for at være en af de mere robuste og forureningstolerante danske undervandsplanter, /11/. Arten vurderes, at være i fremgang i Tissø.

Krybende Vandkrans forekom i alle søens delområder og var almindelig i langt de fleste. Det har den i øvrigt været i stort set hele overvågningsperioden. Den blev fundet på helt lavt vand og ud til en maksimal dybde på 3,0 m, hvilket er lavt for Krybende Vandkrans, jf. tabel 1. Den var jævnt fordelt i hele søen og havde sin hovedudbredelse i dybde-intervallet 0,5-2,5 m.

Aks-tusindblad blev kun fundet på Aborreholmen i delområde 11, hvor 3-4 små grødeøer blev registreret på vanddybden 1-2 m. Den har således øget sig udbredelse sammenlignet med tidligere år, hvor kun 1, max. 2 grødeøer blev lokaliseret. Arten blev ikke fundet i delområde 13, hvor den ellers tidligere er fundet, hvilket sandsynligvis skyldes, at delområdet ikke indgår i søens intensivt undersøgte områder.

Vandpest blev ikke genfundet i 2002 i Fiskerihavnen og heller ikke i delområde 7 ved tilløbet af Duemose Rende. Et flydende topskud blev dog observeret, så arten findes højst sandsynligt fortsat i søen.

Igennem undersøgelsesperiodens 9 år er der stort set blevet registreret de samme arter af blomsterplanter i Tissø. Undtaget herfra er Liden Vandaks, som generelt er blevet registreret i større mængder gennem de seneste år, men som ikke blev fundet i perioden 1994-1997. Dette skyldes sandsynligvis forveksling med Børstebladet Vandaks.

Der blev fundet i alt to arter af kransnålalger i 2002; begge arter tilhører slægten Chara. Med baggrund i tidligere års vanskeligheder med at skelne de fundne Chara-arter fra hinanden i felten blev flere eksemplarer indsamlet i felten og hjemtaget til kontrol i laboratoriet. Herved blev det bekræftet, at Chara contraria og Chara aspera var til stede i søen i år.

Kransnålalger blev fundet i alle søens delområder, undtagen i delområde 10. Deres hovedudbredelsen lå i den syd- og vestlige del af søen (delområderne 1-8), mens der kun blev registreret enkelte og spredte små bestande mod øst og tildels nord. De største tætheder blev fundet på dybden 1,0-3,0 m og deres maksimale dybdegrænse var 3,0 m i år.

Gennem årene har kransnålalgerne gennemgået en udvikling i Tissø gående fra spredt forekomst i 94-96 til almindelig/dominerende i 97-2000 og til almindelig/spredt i 2001-02. I perioden 1997-2000 forekom udstrakte og sammenhængende bæltter af kransnålalger i den vestlige og tildels østlige (delområde 9 og 10) del af søen. Kransnålalgerens udbredelse i Tissø er gået markant tilbage gennem de seneste 2 år.

Af de 2 fundne kransnålalger var *Chara contraria* den hyppigst forekommende i 2002. Den blev fundet i alle søens delområder, undtagen i delområde 10. I delområde 4 dominerende *C. contraria* på vanddybder mellem 1,0-2,0 m, mens den i de øvrige delområder mod vest var lokalt almindelig. I den øvrige del af søen forekom den kun med enkelte individer og spredte bestande hist og her. I lighed med tidligere år registreredes det igen i år, at *Chara contraria* har 2 fænotyper i søen, som muligvis er knyttet til udviklingstrin, fertilitet eller dybde.

Den anden kransnålalger der blev fundet i Tissø i 2002 var *Chara aspera*, der blev fundet i delområde 3-8, typisk på dybder større end 1 m. Den havde en minimal udbredelse og forekom generelt kun med enkelte individer hist og her. *C. aspera* blev ikke lokaliseret i delområderne mod nord og øst. Sammenlignet med sidste år vurderes den, at være gået tilbage i udbredelse. *C. aspera* er ret almindelig i rene til svagt forurenede søer samt i brakvand, /12/.

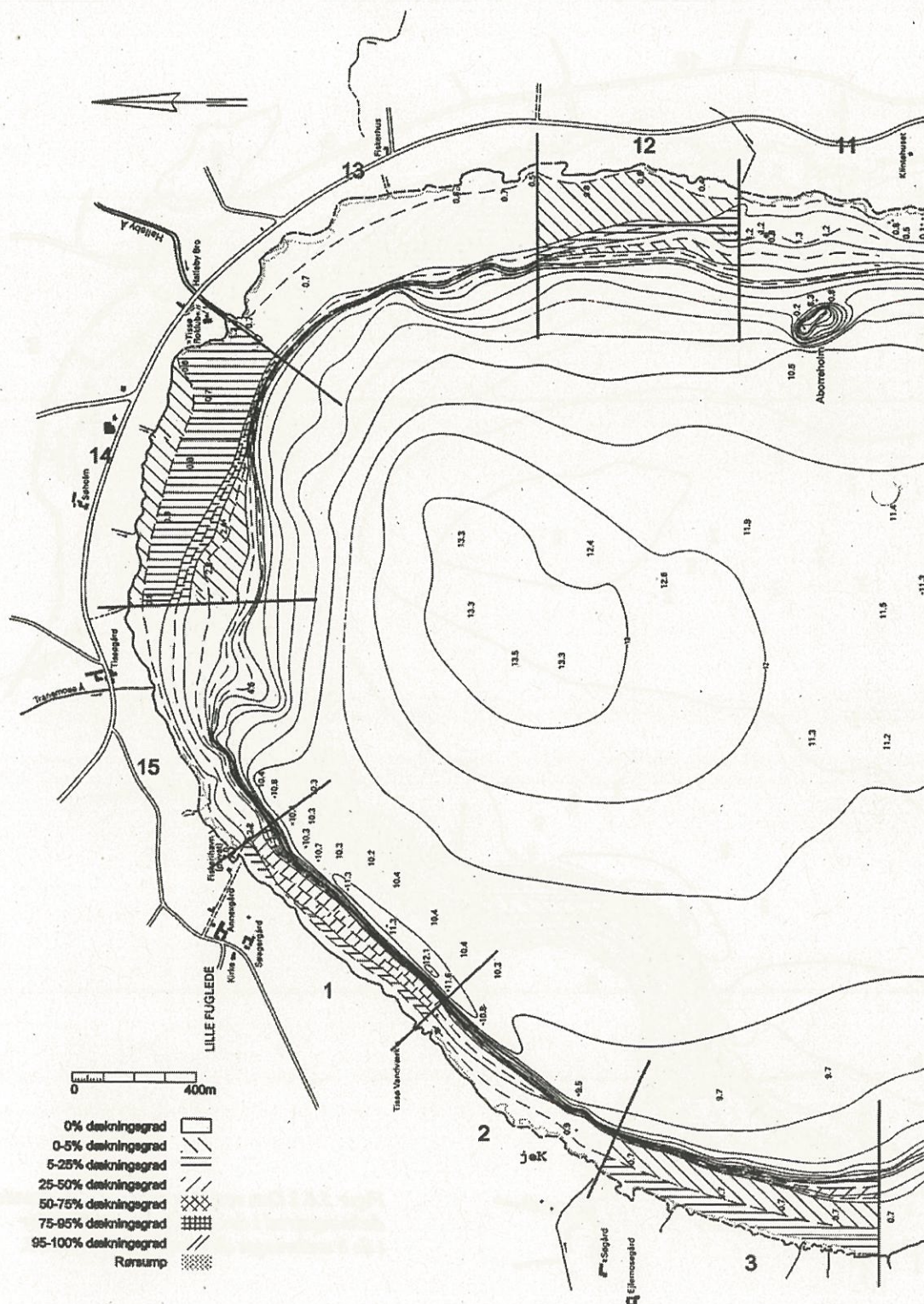
Chara vulgaris blev ikke fundet i 2002, men den kan være blevet overset, da den i de år den blev fundet i søen, jf. tabel 1, kun er fundet i enkelte og spredte eksemplarer.

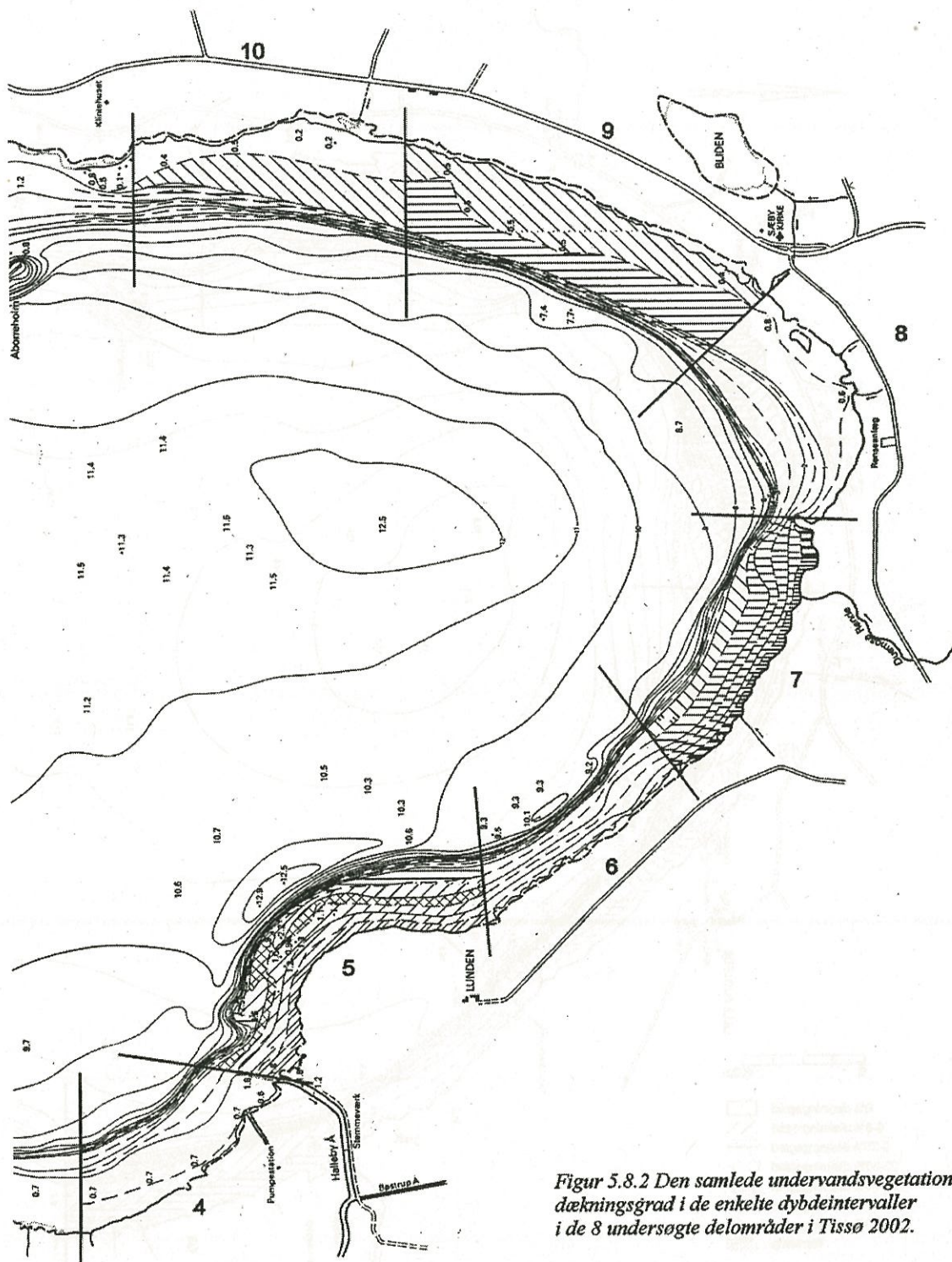
Trådalger i form af makro-grønalgeslægterne *Cladophora* spp. og *Enteromorpha* spp. er efterhånden begge meget almindelige i Tissø. Samlet set vurderes trådalger, at have øget sin udbredelse gennem de sidste par år.

Cladophora spp. var i år meget almindelig i hele søen. Den var endda dominerende flere steder, specielt på lidt dybere vand (2-2,5 m) i søens vestlige delområder. Dens hoved-udbredelse var på vanddybder mellem 0-2,5 m og dens maksimale dybdegrænse var 4,1 m. I forhold til kortlægningen i 2001 er der tilsyneladende sket en vis fremgang i Tissø i dækningsgraden af *Cladophora* spp.

Enteromorpha spp. var også meget almindelig i søen, dog ikke i samme omfang som *Cladophora*. I delområder mod øst og delvist mod nord forekommer *Enteromorpha* typisk mere spredt, mens den i den vestlige del af søen er til tider rigeligt forekommende, specielt i forbindelse med kransnålalger. I opskyl langs kysten er den tillige meget almindelig. Den forekom jævnt i dybdeintervallet 0,5-2,5 m og dens maksimal dybdeudbredelse blev registreret på 2,7 m. *Enteromorpha* spp. vurderes, at have øget sin udbredelse gennem de sidste 3-4 år.

Udover trådalger fandtes der belægninger af epifytiske alger og kalkaflejringer på næsten alle makrofytter, inklusive kransnålalgerne.





Figur 5.8.2 Den samlede undervandsvegetations dækningsgrad i de enkelte dybdeintervaller i de 8 undersøgte delområder i Tisø 2002.

Dækningsgrad og plantefyldt volumen

Af bilag 2 fremgår en oversigt over blomsterplanternes samlede dækningsgrad i Tissø i 2002. Kun 2,25% af søbunden var dækket af blomsterplanter i år, hvilket er lavt, når bundvegetation i teorien kan etableres på ca. 25% af den samlede søbund (estimeret på baggrund af søens morfometriske udformning).

Af bilag 2 fremgår også beregnede gennemsnitlige dækningsgrader af blomsterplanter i de undersøgte dybdeintervaller. I 2002 var dækningsgraden størst (30%) i dybdeintervallet 1,5-2,0 m. Det er betydeligt større end sidste år, hvor dækningsgraden kun var 12% i denne dybde. Den næststørste dækningsgrad (19%) blev registreret i dybden 1,0-1,5 m, hvilket er fuldstændig det samme som sidste år på tilsvarende dybde. I dybden 2,0-2,5 m dækkede blomsterplanter 15% af bunden i modsætning til kun 8% sidste år. I de øvrige dybdeintervaller (0-0,5; 0,5-1,0 og 2,5-3,0 m) varierede dækningsgraden mellem 4-7%, hvilket er lavt sammenlignet med tidligere år. På lavt vand er der tidligere fundet dækningsgrader på mellem 20-40%. På dybder større end 3,0 m blev der i år registreret planter, men deres dækningsgrad var meget lav og ganske ubetydelig (< 1%).

Det beregnede gennemsnitlige plantefyldte (blomsterplanter) volumen for Tissø var 0,14% i 2002 (jf. bilag 3). Voluminet er generelt lavt, endda meget lavt i Tissø, hvilket skyldtes søens store dybder, og dermed et stort vandvolumen, i forhold til udstrækningen af egnede voksesteder for bundvegetation.

Af bilag 2A fremgår trådalernes samlede dækningsgrad i Tissø i 2002. I år var 3,9% af søbunden dækket af trådalger, hvilket er betydeligt mere end sidste års 0,5%. Udviklingen i trådalernes gennemsnitlige dækningsgrad har ellers været jævnt faldende gennem overvågningsperioden. I 1995 var dækningsgraden 7%, hvorefter den stød og roligt gennem årene faldt til 0,5% i 2001. Denne udvikling er med årets resultat nu brudt.

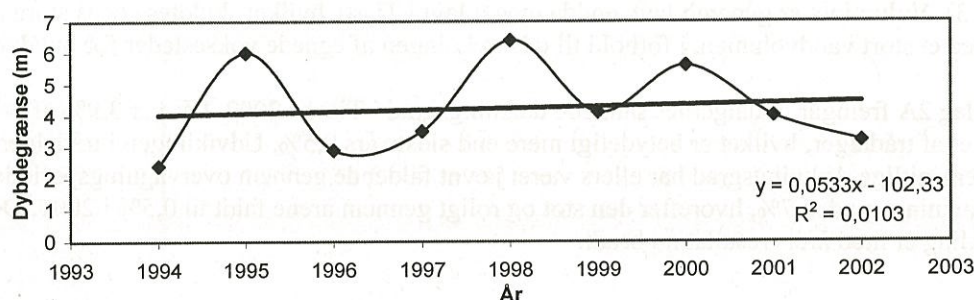
Sammenligning med tidligere år

Siden 1994 er vegetationsundersøgelserne i Tissø blevet udført i perioden primo/medio august, bl.a. af hensyn til sammenligning af resultaterne. Prøvetagningsmetodikken har tillige været den samme gennem hele undersøgelsesperioden. I 1996 blev antallet af undersøgelsesområder reduceret, således at kun ca. halvdelen af søen er blevet undersøgt i årene 1996 til 2002.

Vegetationens (blomsterplanternes) dybdeudbredelse har varieret en del gennem årene, jf. tabel 5.8.2 og figur 5.8.3. Nogen klar udviklingstendens for overvågningsperioden som hele kan ikke spores. Data viser en svagt stigende tendens, som dog ikke er statistisk signifikant. De seneste 4 år har blomsterplanternes dybdegrænse ligget tættere på middelværdien for hele overvågningsperioden sammenlignet med de øvrige år. Ved undersøgelsen i år var det Liden Vandaks, der blev fundet på størst vanddybde i Tissø.

Tabel 5.8.2 Oversigt over bundvegetationens dybdegrænse, dækningsgrad for blomsterplanter og plantefyldt volumen i Tissø i årene 1994-2002.

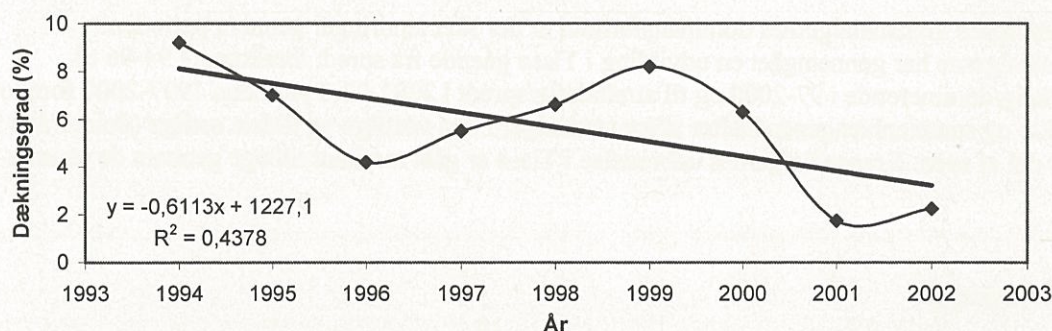
År	Vegetationens dybdegrænse (m)	Dækningsgrad (%)	Plantefyldte volumen (%)
1994	2,4	9,2	0,20
1995	6,0	7,0	0,22
1996	2,9	4,2	0,13
1997	3,5	5,5	0,17
1998	6,4	6,6	0,25
1999	4,1	8,2	0,38
2000	5,6	6,3	0,22
2001	4,0	1,7	0,05
2002	3,2	2,3	0,14



Figur 5.8.3 Blomsterplanternes dybdeudbredelse i Tissø gennem overvågningsperioden 1994-2002, med tendenslinie beregnet ved lineær regression.

Vegetationens (blomsterplanternes) dækningsgrad har også varieret en del gennem årene, jf. tabel 5.8.2 og figur 5.8.4. Hidtil har en entydig udviklingstendens ikke kunnet registreres, men i år viser data en signifikant faldende tendens på 10% niveau. Blomsterplanternes dækning af søbunden er således faldet betydeligt gennem overvågningsperioden.

Det gennemsnitlige plantefyldte volumen på 0,14% i 2002 adskiller sig ikke væsentligt fra overvågningsperioden som hele i modsætning til sidste års beregnede volumen på 0,05%, jf. tabel 2. Som parameter til vurdering af år til år-svingninger i undervandsvegetationen er det plantefyldte volumen noget mere usikker end dækningsgraden som følge af, at estimering af vegetationshøjden introduceres i beregningerne af volumen. Set over hele perioden kan der ikke spores nogen udviklingstendens i det plantefyldte søvolumen ($R^2 = 0,032$). Plantevolumniet i Tissø er generelt forsvindende lille som følge af søens størrelse og morfologiske udformning.



Figur 5.8.4 Blomsterplanternes dækningsgrad i Tissø gennem overvågningsperioden 1994-2002, med tendenslinie beregnet ved lineær regression.

Kortlægningen i 2002 antyder en markant nedgang i bundvegetationens dækningsgrad og tildels også i det plantefyldte søvolumen siden overvågningen startede i 1994. Den registrerede nedgang i blomsterplanternes gennemsnitlige dækningsgrad er meget markant på lavt vand (<1 m): fra 20-40% tidligere år til <8% de sidste to år. Det er specielt udtalt i delområder mod øst og nord, der tidligere har huset nogle af søens største tætheder. F.eks. blev der i 2000 registreret dækningsgrader på 0,5-1,0 m vand på 32-83% mod 2-35% i 2002 og <16% i 2001.

Sammenlignes blomsterplanternes artssammensætning i undersøgelsesperiodens 9 år er der ikke sket de store ændringer. Det er stort set de samme arter af blomsterplanter der er blevet registreret i hele perioden. Undtaget herfor er Liden Vandaks, som generelt er blevet registreret i større mængder gennem de seneste år, men som ikke blev fundet i perioden 1994-1997. Dette skyldes sandsynligvis forveksling med Børstebladet Vandaks.

Sammenlignes blomsterplanternes indbyrdes dominansforhold derimod, så er der sket visse ændringer gennem perioden. Børstebladet Vandaks har dog alle år haft en rimelig stabil udbredelse i søen, har været ret almindelig og ofte den dominerende blomsterplante i Tissø. Liden Vandaks var i perioden 1998-2000 jævnt fordelt i alle søens delområder, men de sidste par år er den kun fundet i delområder langs den vestlige bred. Hjertebladet Vandaks blev registreret i stadig stigende grad fra 1995-1999, men de seneste 3 år er dens udbredelse reduceret år for år. Kruket Vandaks har hele overvågningsperioden haft en begrænset udbredelse i søen. Siden 1994 er den således næsten udelukkende blevet registreret i søens sydvestlige delområder. Arten menes, at være i fremgang. Krybende Vandkrans har ligesom Børstebladet Vandaks haft en rimelig stabil udbredelse i søen og har været ret almindelig og ofte den dominerende blomsterplante i Tissø. Der er ingen tvivl om, at det er disse 2 arter der har været fremherskende i Tissø gennem tiderne, skiftevist dominerende, men også nogle gange sameksisterende og nogle gange ikke, hvor de så har været udbredt på forskellige vanddybder i stedet. År til år ændringerne kan ofte tilskrives effekten af klimatiske forskelle årene imellem eller blot naturlig succession.

Nogle få arter har udgjort hele kransnålalgebiomassen gennem hele undersøgelsesperioden. Chara vulgaris var fremtrædende i starten af perioden, mens C. contraria har været det siden 1996 på bekostning af C. vulgaris. C. aspera er blevet registreret i 6 af de 9 undersøgelsesår.

Sammenlignes kransnålgernes dominansforhold er der sket ændringer gennem perioden. Kransnålgterne har gennemgået en udvikling i Tissø gående fra spredt forekomst i 94-96 til almindelig/dominerende i 97-2000 og til almindelig/spredt i 2001-02. I perioden 1997-2000 forekom udstrakte og sammenhængende bæltter af kransnålgter i den vestlige og tildels østlige (delområde 9 og 10) del af søen. Kransnålgternes udbredelse i Tissø er gået markant tilbage gennem de seneste 2 år.

5.9 Fiskeyngel

Siden 1998 er der lavet årlige undersøgelser af fiskeyngelbestanden. Undersøgelserne udføres efter DMU's anvisning. Undersøgelsen blev i 2002 udført natten mellem den 7. og 8. juli. Der blev foretaget træk efter yngel i 6 transekter i littoralzonen og med 2 gange 6 transekter i pelagiet, hver af 1-2 minutters varighed.

Der blev konstateret yngel fra 4 arter; skalle, aborre, hork og trepigget hundestejle i fangsten, hvortil kommer en enkelt ål på 11.5 cm fanget i pelagiet, hvilket var mere end i de foregående år i littoralen, men mindre i pelagiet, og samlet var middeltætheden middel i forhold til tidligere. Vægtmæssigt var tætheden 2.11 g vådvægt pr. m³ i littoralen og 0.06 g pr. m³ i pelagiet. Skalleynghen var dominerende over hele søen.

Sammenlignet med 13 andre danske søer, hvor der er foretaget yngelundersøgelser de fem seneste år, var tætheden af karpefiskeyngel høj i littoralen, men mindre i pelagiet, og middeltætheden i søen var tæt på medianen. Aborrefiskeynglens tæthed var i 2002 under middel sammenlignet med referencesøerne.

Skalleynghens størrelse var normal for tidspunktet, mens aborreynghen var forholdsvis stor og væsentlig større end ved de tidligere undersøgelser i Tissø.

Der er generelt store variationer i årgangsstyrken hos de respektive arter, hvoraf især de sent gydende arter som bl.a. brasener er følsomme for klimatiske udsving forår og sommer. I dybe søer har karpefiskeynglens middelrekruttering været ringest i 1999 og 2001, og hos aborrefiskene har rekrutteringen kun været god i 1999. I Tissø optrådte skalleynghen med største middeltæthed i 1998 og i 2002, mens 2001 var et ringe rekrutteringsår. Aborrernes tæthed var klart størst i 1999, men også 2001 var over middel, hvorimod 2000 og 2002 har været meget ringe rekrutteringsår. Dermed følger Tissø ret nøje det generelle mønster fra dybe søer.

Ynglens fordeling i de undersøgte søer viste en forkærlighed hos karpefiskeynglen for de lavvandede områder, og kun i de uklare og lavvandede søer fandtes karpefiskeyngel i pelagiet. Aborrefiskeynglen var generelt mere pelagisk, dog med generelt aftagende mængder med øget dybde og sigtdybde. Fiskeynglens sammensætning i Tissø i juli 2002 var i overensstemmelse med søens status som dyb og moderat klarvandet med klart størst koncentration af yngel i littoralen..

Fiskeynglens beregnede konsumptionsrate omkring 1.juli var med 8 mg tv/m³/d middel i forhold til de forudgående år, og fiskeynglen har næppe alene kunne begrænse søens dyreplankton. Fiskenes samlede prædationstryk på dyreplanktonet kan dog have været betydelig. Som i andre klarvandede

søer kan tilgængeligheden af dyreplankton over sommeren være en medvirkende begrænsende faktor for fiskeynglens mængde i Tissø.

En nærmere dokumentation af yngelundersøgelsen findes som bilag.

6 Søtilstand og målsætning

6.1 Søtilstand

Tissø må sammenfattende karakteriseres som en typisk moderat eutrofieret sø.

Planktonalgeproduktionen er relativt høj, og det dyriske plankton er ikke i tilstrækkelig grad i stand til at kontrollere algebiomassen. Planteplanktonets biomasse og sammensætning varierer stærkt fra år til år, men der er ofte masseforekomst af blågrønalger og andre for næringsrigt vand karakteristiske typer. Rentvandsformer findes i Tissø, men udgør kun en lille del af algebiomassen.

Fiskebestanden er usædvanligt artsrig. Den er domineret af aborrer i alle størrelsesklasser og mængden af typiske skidtfisk, som skaller og små brasener, er moderat.

Bundvegetationen er relativt veludviklet på lavt vand. Vegetationens dybdegrænse varierer en del fra år til år. På grund af søens form er kun begrænset del af søbundens areal bevokset.

Den gennemsnitlige fosforkoncentration i Tissø på knap 100 µg/l placerer søen i midtergruppen af danske søer med hensyn til næringssaltniveau.

6.2 Målsætning

Tissø er i regionplanen målsat som naturvidenskabeligt interesseområde, som råvand til vandforsyning og som påvirket af vandindvinding.

Målsætningen som naturvidenskabeligt interesseområde er primært begrundet i at søen indgår i et naturområde af stor betydning såvel internationalt som nationalt og regionalt. Området er udpeget som EU-fuglebeskyttelsesområde og er desuden omfattet af en række naturbeskyttelsesdirektiver og konventioner. Tissø og omgivende moser er desuden udpeget til nationalt biologisk interesseområde og er medtaget i fredningsplanen som særligt beskyttelsesområde. Ud over de biologiske værdier er der også knyttet store landskabelige og kulturhistoriske interesser til Tissø.

Af forhold, der mere direkte er relateret til vandkvaliteten, kan nævnes den artsrige fiskefauna.

Målsætningen anses på baggrund af tilstanden i 2002 for ikke opfyldt, selv om tilstanden dette år var noget bedre end gennemsnittet for overvågningsperioden. Bl.a. var sommersigtdybden usædvanligt god. Året før var tilstanden betydeligt dårligere bl.a. karakteriseret ved en særdeles kraftig opblomstring af blågrønalger i august og et højt fosforniveau. Derfor vurderes tilstanden at ligge på et niveau, hvor der er mulighed for et skift til en klarvandet fase. Tilstanden nærmer sig således målsætningens opfyldelse. Denne vurdering underbygges af den positive sammensætning af fiskebestanden.

6.3 Udvikling

Tilstanden har varieret noget i Tissø siden overvågningens start. Betragtes perioden 1989- 95 synes der at være flere positive udviklingstendenser. Klorofylniveauet er faldet fra 70 µg/l til 20 µg/l. Sigtdybden er forbedret med 0.5 m. Planktonalgesammensætningen er ændret fra dominans af blågrønalger til dominans af diatomeer. Samtidigt har fiskebestanden ændret sammensætning i retning af en bedre aborrebestand og bundvegetationen har bredt sig. Inddrages imidlertid undersøgelsen fra 1987, d.v.s. før VMP-overvågningens start, og fra 1996-97, hvor tilstanden har bevæget sig i den modsatte retning, bliver det vanskeligere at udlede signifikante udviklingstendenser. I 1999 og 2000 har tilstanden målt ved fosforkoncentration og sigtdybde ligget omkring gennemsnittet for hele overvågningsperioden. I 2001 lå fosforkoncentrationen usædvanligt højt, mens sigtdybden lå på det sædvanlige niveau. På grund af en markant klarvandsperiode først på sommeren og en god sigtbarhed i november-december, lå de beregnede sommer- og års gennemsnitssigtdybder et godt stykke over det normale. I 2002 lå fosforkoncentrationen omkring det normale, men sigtdybden var den bedste der hidtil er registreret. Der har ikke været nogen statistisk signifikant udvikling i fosforkoncentrationen gennem perioden, men sigtdybden er signifikant forbedret med omkring en halv meter.

Fosforindholdet, der på årsbasis har varieret omkring 100 µg/l (70-120), steg i 1997 til det højeste niveau hidtil med en årsmiddelværdi på 170 µg/l på trods af en ekstremt lav fosfortilførsel det år. I 1998 faldt koncentrationen igen til et af de laveste niveauer der er målt 76 µg/l. Der er ingen god korrelation mellem fosforbelastningen og middelsøvandskoncentrationen fra år til år. Den største indflydelse på middelkoncentrationen har fosforfrigivelse i sensommeren, som primært afhænger af sommerens meteorologiske forhold, idet varme somre giver dårlige iltforhold ved bunden og stor fosforfrigivelse mens kølige somre, som f.eks. 1998, giver bedre iltforhold ved bunden og beskeden fosforfrigivelse. Redoxpotentialet i sedimentoverfladen afhænger også af nitratindhold i bundvandet således at nitratbelastningen kan have en vis indflydelse.

Kvælstofkoncentrationen i søvandet har vist en stigende tendens gennem det meste af overvågningsperioden. Kvælstofbelastningen i 1996-97 var i endnu højere grad end fosforbelastningen rekord lav, hvilket især i 1996 gav anledning til meget lave søvandskoncentrationer. I 1998 - 2002 er middelkoncentrationen steget til et niveau meget tæt på gennemsnittet for hele overvågningsperioden. Den varierende kvælstoftilførsel afspejler nedbørsforholdene og der spores ingen udviklingstendens, hvilket tyder på at vandmiljøplanen ikke har haft den tilsigtede effekt på udvaskningen af kvælstof fra landbruget.

Planktonalgebiomassen har varieret mellem 3 mm³/l (1998) og 11 mm³/l (1992); i 2001 lå den på 6.8 mm³/l hvilket svarer til gennemsnittet for de øvrige 13 overvågningsår, mens den i 2002 faldt til 3.5 mm³/l hvilket er nær det laveste der er målt. Sammensætningen har svinget stærkt fra år til år, således at enten blågrønalger eller kiselalger har domineret. 1989, 91, 92, 97 og 99 og frem for alt 2001 var således blågrønalge-år, mens 87, 90 og 93-96 og til dels 98 var kiselalge-år. I 2002 var der nogenlunde lige mange af hver gruppe. Der er en tendens til, at år med dominans af blågrønalger også er år med relativt høj samlet algebiomasse, men det er ikke konsekvent. Det er uklart hvilke faktorer der styrer, hvilken gruppe der dominerer. Graden af springlagsdannelse spiller muligvis ind; men furealger, som i andre søer har masseopblomstring ved markant springlagsdannelse, forekommer kun undtagelsesvis i Tissø i betragtelige mængder (bl.a. i 1995).

Undervandsvegetationens udbredelse har varieret betydeligt i løbet af overvågningsperioden. I 1989 var dybdegrænsen ca. 1.5 m. I 1995 var den steget til 6 meter, men vegetationen var dog kun nogenlunde tæt ud til ca. 3 m. Efter at være faldet noget i 1996 og 97, steg den i 1998 igen til det hidtil højeste niveau med 6.4 m. Også i 2000 lå den relativt højt med 5.6 m, mens den i 2001 lå på 4 m, hvilket er tæt på gennemsnittet for hele perioden. Dybdegrænsen ligger noget over det dobbelte af gennemsnits-sommersigtdybde (som normalt svarer nogenlunde til vegetationens dybdegrænse). På grund af søbundens profil med et gennemgående meget stærkt faldt fra 2.5 til 10 m's dybde, betyder ændring af dybdegrænsen mellem 3 og 6 m ikke så meget arealmæssigt. Det må konkluderes, at vegetationens siden 1989 har haft en positiv udvikling med hensyn til dybdeudbredelse, men dækningsgraden er samtidigt aftaget.

Fiskebestanden er blevet undersøgt 3 gange: i 1990, 1995 og i 2001. I løbet af denne periode er der sket store forskydning i de enkelte arters andele af den samlede bestand. I 1990 domineredes billedet af skidtfisk (skaller og små brasener og små aborrer). I 1995 var aborrebestanden kraftigt udviklet og der var mange større aborrer. Billedet var det samme i 2001, selv om der sporedes en tendens til fald i antallet af de største aborrer. Små aborrer lever af plankton og trækker derfor i samme retning som de "rigtige" skidtfisk og er med til at forringe søens miljøtilstand. Større aborrer er derimod rovfisk, som spiller en helt afgørende rolle med hensyn til at holde skidtfiskene nede på et passende niveau. Forskydningen i Tissøs fiskebestand til fordel for flere større aborrer er derfor en klar forbedring.

De tilstandsforbedringer der trods alt ses i Tissø kan ikke tilskrives nedsat belastning, men må formentlig ses som resultat af en ændret biologisk sammenhæng forårsaget af ændringen i fiskebestandens sammensætning. Ændringen har medført større bestand af rovfisk - reduceret bestand af fredfisk, som igen har ført til mindsket tryk på zooplankton og større nedgræsning af planteplankton. Dette har resulteret i øget sigtdybde i sensommeren og bedre vækstforhold for undervandsvegetationen.

Men et fosforniveau som det aktuelle i Tissø er det forventeligt at tilstanden kan svinge mellem en klarvandet og en uklar tilstand afhængigt af de biologiske forhold. For at fastholde søen i en klarvandet tilstand skal fosforniveauet nedsættes til omkring 50 µg pr. liter og for at opnå dette, skal fosforudledningen til søen mindskes, så indløbskoncentrationen sænkes til omkring 110 µg/l.. Der er derfor i regionplanen stillet krav om vidtgående rensning for fosfor på alle spildevandsanlæg i oplandet. Desuden skal der sættes ind over for spildevandsudledningen fra den spredte bebyggelse.

Efter nedbringelse af de udefra kommende belastningen vil der på grund af fosforpuljen i bundsedimentet (intern belastning) gå en årrække før søvandets fosforkoncentration kommer i balance med den reducerede tilførsel. Det vil ligeledes tage tid før søens biologiske systemer er fuldt tilpasset en lavere søvandskoncentration. Udviklingen kan eventuelt fremskyndes ved biomanipulation.

7 Sammenfatning

Tissø er en stor men relativt lavvandet sø. Den har et opland på godt 400 km², der primært afvandes af Åmose Å.

Fosforbelastningen lå i 2002 på 13,6 t med naturbidrag og spildevand som største kilder. Belastningen var omkring middel for overvågningsperioden; betydeligt højere end i 1996-97, men på niveau med 1998-2001. Kvælstofbelastningen lå på 780 t; ca. tre fjerdedele kom fra landbruget. Niveaueet var omkring middel for overvågningsperioden.

Der var i 2002 næsten ingen springlagdannelse og forholdsvis gode iltforhold ved bunden, alligevel var fosforfrigivelse fra sedimentet i sensommeren betydeligt større end normalt.

De vandkemiske forhold har været meget stabile i overvågningsperioden. Bortset fra fosfor, der året igennem lå højere end normalt, lå langt de fleste vandkemiske parametre i 2002 på et niveau tæt ved gennemsnittet for overvågningsperioden, dog lå chlorofyl-a koncentrationen lavt. Sigtdybden er forbedret markant gennem overvågningsperioden.

Planteplanktonet i Tissø er domineret af næringskrævende arter med høj tolerance for dybdeopblanding (centriske kiselalger og trådformede blågrønalger). Planktonalgesamfundet veksler fra år til år mellem dominans af blågrønalger og dominans af kiselalger. I 2002 var der ligelig dominans af de to grupper. Den gennemsnitlige, samlede biomasse var en af de laveste registreret i overvågningsperioden.

Dyreplanktonmængden lå som i 2001 på et højt niveau med 4.1 mg/l. Artssammensætningen var den for Tissø sædvanlige.

Undervandsvegetationens dybdegrænsen var i 2002 4.1 m, den har varieret mellem 2.4 m og 6.4 m i de 8 år, den er blevet undersøgt, med 4.2 m som gennemsnit.

Fiskeyngelundersøgelsen bekræftede den tidligere konstaterede dominans af skalle og aborre.

Sammenfattende må tilstanden betegnes som typisk for en moderat eutrof sø. Tissø er målsat som naturvidenskabeligt interesseområde, som råvand til vandforsyning og som påvirket af vand-indvinding. Tilstanden, som er typisk for en moderat eutrof sø, nærmere sig målsætningen, som dog endnu ikke anses for opfyldt og der er krav om yderligere nedbringelse af fosforbelastningen fra spildevand.

8 Bilag

- A Rapportoversigt
- B Vand- og stofbalancer
- C Profilmålinger
- D Vandkemi
- E Bilag vedrørende planktonundersøgelser
- F Bilag vedrørende vegetationsundersøgelser
- G Notat og bilag vedrørende fiskeyngel

Bilagene findes i særskilt rapport.