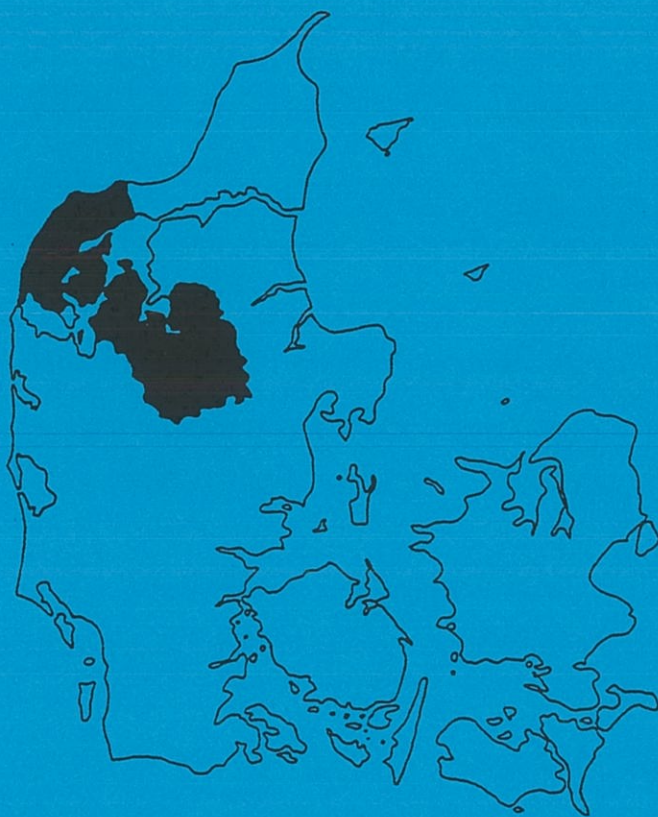




VIBORG AMT



V VANDMILJØ
overvågning

Miljø og teknik
Maj 1995

Vandmiljøplanens
overvågningsprogram
Hinge sø 1994

Løbenr.: 16 - 1995

Eksemplar nr.: 5/5

the model, the model is estimated using the method of maximum likelihood. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (1)$$

where n is the number of observations. The maximum likelihood estimates of the parameters are unbiased and consistent. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (2)$$

where n is the number of observations. The maximum likelihood estimates of the parameters are unbiased and consistent. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (3)$$

where n is the number of observations. The maximum likelihood estimates of the parameters are unbiased and consistent. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (4)$$

where n is the number of observations. The maximum likelihood estimates of the parameters are unbiased and consistent. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (5)$$

where n is the number of observations. The maximum likelihood estimates of the parameters are unbiased and consistent. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (6)$$

where n is the number of observations. The maximum likelihood estimates of the parameters are unbiased and consistent. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (7)$$

where n is the number of observations. The maximum likelihood estimates of the parameters are unbiased and consistent. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (8)$$

where n is the number of observations. The maximum likelihood estimates of the parameters are unbiased and consistent. The maximum likelihood estimates of the parameters are given by

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{1 + y_i} \quad \text{and} \quad \hat{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1 + y_i} \quad (9)$$

Miljøtilstanden
i
Hinge Sø
Status 1994
og
udvikling 1988-1994

Vib. AR.
Modt. 19 APR. 1995

Udarbejdet for:

Viborg Amt, Skottenborg 26, 8800 Viborg

Udført af:

Bio/consult, Johs. Ewalds Vej 42-44, 8230 Åbyhøj

Tekst:

Bjarne Moeslund

Rentegning:

Kirsten Nygaard

Redigering:

Berit Brolund

24.03.1995

Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	I-VI
Forord	1
1. Baggrundsmateriale	2
2. Beskrivelse af Hinge Sø og det topografiske opland	3
2.1. Beskrivelse af søen	3
2.2. Oplandsbeskrivelse	6
2.3. Målsætning	6
3. Vand- og stofbalance	7
3.1. Nedbør og fordampning 1994	7
3.2. Vandbalance 1994	7
3.2.1. Vandbalance 1988-1994	9
3.3. Hydraulisk middellopholdstid 1994	10
3.3.1. Hydraulisk middellopholdstid 1988-1994	10
3.4. Afstrømningshøjde og volumenændringer	11
3.5. Stofbelastning 1994	12
3.5.1. Kvælstof og fosfor	12
3.5.2. Jern	16
3.6. Stofbelastning 1988-1994	17
3.7. Næringsstofbelastning og oplandsudnyttelse	19
4. Kilder til stoftilførslen	21
4.1. Punktkilder	21
4.2. Vurdering af fosforbelastningen fra oplandsarealerne	22
4.3. Samlet oversigt over kilderne til næringsstofbelastningen 1994	23
5. De frie vandmasser - fysiske og kemiske forhold	24
5.1. Status 1994	24
5.1.1. Sigtdybde	24
5.1.2. Klorofyl-a	25
5.1.3. Suspenderet stof	26
5.1.4. Kvælstof	27
5.1.5. Fosfor	30
5.1.6. pH og alkalinitet	32
5.1.7. Silicium	33
5.2. Udvikling 1989-1993	33
6. Sediment	35

7. Plankton	36
7.1. Planteplankton 1994	36
7.1.1. Artssammensætning	36
7.1.2. Biomasse	36
7.1.3. Størrelsesforhold	41
7.2. Planteplankton 1989-1994	42
7.2.1. Biomasse	42
7.2.2. Artssammensætning og struktur	44
7.3. Dyreplankton 1994	45
7.3.1. Artssammensætning	45
7.3.2. Biomasse	45
7.4. Relationer mellem plante- og dyreplankton 1994	49
7.5. Dyreplankton 1990-1994	51
7.5.1. Biomasse	51
7.5.2. Artssammensætning, struktur og græsningstryk	52
8. Bundvegetation	53
8.1. Artssammensætning	53
8.2. Hyppighed og dybdeudbredelse	54
8.3. Dækningsgrader og plantefyldt volumen	54
8.4. Bundvegetationen 1993-1994	56
9. Bundfauna	58
10. Fisk	59
11. Samlet vurdering	60
11.1. Oplandsudnyttelse, næringsstofbelastning og målsætning	60
11.2. Søens frie vandmasser	60
11.3. Biologiske forhold	61
11.4. Miljøforbedrende foranstaltninger	61
11.5. Forbedringer af datagrundlaget	62
12. Referencer	63

Sammenfatning

Der er i 1994 for sjette år i træk gennemført detaljerede undersøgelser i Hinge Sø i henhold til Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Undersøgelserne har som i de tidligere år været centreret omkring næringsstofftilførslen fra omgivelserne og de vandkemiske forhold i søen, men derudover har der været sat fokus på bundvegetationen, der i 1993 blev inddraget som en fast del af overvågningsprogrammet, foreløbig for en periode på tre år. Denne rapport indeholder en præsentation af undersøgelsernes primærdata samt en kommentering og vurdering heraf, dels for året som sådan og dels i relation til de forudgående års undersøgelsesresultater.

Vandbalancen har i 1994 været markant påvirket af store vandtilstrømninger især i årets første måneder, og den samlede vandtilstrømning på ca. 30 mill. kubikmeter er den største i perioden 1988-1994. Til trods for de store mængder nedbør, der faldt i slutningen af august og i september, var tilstrømningen af vand i modsætning til mange andre områder i landet ikke særlig stor i den periode. De store vandtilførsler i årets første måneder resulterede i ganske korte opholdstider på 6-7 døgn, hvilke er de korteste i perioden 1988-1994. Til gengæld var opholdstiden med 24 døgn som gennemsnit i sommerperioden på samme niveau som i de forudgående år. Der er således ikke ændret ved opfattelsen af, at Hinge Sø i hydrologisk henseende er en stabil sø.

Den store vandtilstrømning har ikke overraskende været ledsaget af store tilførsler af næringsstoffer, og der er, set i forhold til de forudgående år, en høj grad af proportionalitet mellem vandtilstrømningen og næringsstofftilførslerne. Den samlede tilførsel af kvælstof har i 1994 været på ca. 164 tons, mens den samlede fraførsel har været på ca. 162 tons. På årsbasis er der således stort set ikke tilbageholdt eller fjernet kvælstof i søen. Årsværdierne dækker imidlertid over en markant kvælstoffjernelse i hovedparten af året, men denne fjernelse overskygges helt af en talmæssigt stor nettoeksport ud af søen i årets første måneder. For fosfors vedkommende har nettoeksporten været endnu mere markant, idet ca. 4,3 tons er blevet skyllet ud af søen, mens der kun er tilført i alt ca. 3,1 tons. Selvom fosfortilførslen antagelig er underestimeret, er der dog et forhold, der på afgørende vis kan skabe usikkerhed om de reelle transporter ud af søen, og det er brugen af søvandskoncentrationer fra søens centrale del til beregning af transporten ud af søen. Det er overvejende sandsynligt, at der i søens østlige del, det vil sige nedstrøms vandkemistationen i søen, sker både fjernelse af kvælstof og sedimentation af fosfor, og brugen af søvandskoncentrationerne indebærer derfor en alvorlig risiko for fejlestimering af transporten ud af søen. Men det bør dog også nævnes, at der med et umålt opland svarende til ca. 25% af det samlede opland er mulighed for introduktion af betydelige fejl i beregningen af den samlede tilførsel.

Set i forhold til de forudgående år har næringsstofftilførslen i 1994 ligget på et stort set uændret niveau, når der tages højde for forskellene i vandtilstrømningen. Denne kendsgerning svarer godt til den erkendelse, der i løbet af de senere år er opstået, nemlig at ikke blot hovedparten af kvælstofftilførslerne, men også hovedparten af fosfortilførslerne skyldes den landbrugsmæssige udnyttelse af oplandsarealerne. Kontrollable punktkilder er i dag ansvarlige for mindre end 10% af den samlede fosfortilførsel, og baggrundsbe-

lastningen udgør mindre end 15% af den samlede tilførsel. De resterende ca. 75% af den samlede tilførsel må for hovedpartens vedkommende tilskrives diffus udsivning fra landbrugsarealerne, mens en mindre del må tilskrives udledninger fra spredt bebyggelse i oplandet. En detaljeret gennemgang af oplandet kan muligvis ændre en smule på de enkelte kilders andel af den samlede belastning, men der kan næppe ændres ved den kendsgerning, at den landbrugsmæssige udnyttelse af oplandsarealerne er årsag til hovedparten af både kvælstof- og fosforbelastningen.

De store næringsstofftilførsler afspejles tydeligt i søvandets indhold af næringsstoffer. I vinter- og forårsmånederne er søvandskoncentrationen af total-kvælstof på niveau med den gennemsnitlige koncentration i det indstrømmende vand, mens den i sommermånederne er væsentligt lavere på grund af denitrifikation. For fosfors vedkommende forholder det sig omvendt. Den gennemsnitlige koncentration af total-fosfor i det indstrømmende vand ligger forholdsvis stabilt omkring årsmiddelværdien på 109 $\mu\text{g/l}$, hvorimod søvandskoncentrationen allerede tidligt om foråret stiger til værdier, der er langt højere end indløbsværdierne. Denne situation opretholdes til hen på efteråret, da indløbskoncentrationerne igen overstiger søvandskoncentrationerne. Årsagen til de forhøjede koncentrationer i søvandet i sommerhalvåret er primært planteplanktonet, idet algerne optager og fastholder store mængder fosfor i vandfasen, dels fra det indstrømmende vand og dels fra søbunden. Frigivelsen af fosfor fra bunden er ikke kvantificeret, men er efter alt at dømme ganske betydelig.

De høje næringsstoffkoncentrationer er årsag til årlige opblomstringer af planteplankton. Størrelsen af biomasserne og den tidsmæssige variation heraf er sandsynligvis især styret af de vejr- og afstrømningsmæssige forhold, men siden undersøgelsernes begyndelse i 1988 har Hinge Sø hvert år været præget af store, i enkelte år endog meget store planteplanktonbiomasser, og det er blandt andet dem, der er årsag til, at vandet i Hinge Sø er næsten vedvarende uklart. I 1994 har års- og sommermiddelsigt dybden været 0,6 meter henholdsvis 0,4 meter. Sidstnævnte værdi er den laveste i perioden 1988-1994 og er sammenfaldende med de hidtil højeste sommermiddelkoncentrationer af total-fosfor og klorofyl-a. Det bør dog nævnes, at også resuspension af sediment har stor indflydelse på sigt dybden. Til sammen karakteriserer både de lave sigt dybdeværdier og de høje koncentrationer af fosfor og klorofyl-a Hinge Sø som en næringsrig sø med generelt uklart vand, og trods visse år-til-år-variationer har denne karakteristik været gældende for hele perioden 1988-1994 uden tegn på positive forandringer.

Hinge Sø har i 1994 været præget af et meget artsrigt og veludviklet planteplankton med ikke mindre end 186 arter/identifikationstyper. Grønalgerne har været den artsrigeste gruppe, men de har til gengæld kun haft ringe mængdemæssig betydning. Kiselalgerne har været den mængdemæssigt helt dominerende gruppe, efterfulgt af blågrønalgerne, der har været den næstartsrigeste gruppe. Kiselalgerne har i 1994 haft årsmaksimum i maj. Som resultat af det meget varme og solrige vejr i juli og begyndelsen af august skete der opblomstring af blågrønalger i sommerperioden, men på grund af det pludselige skift til mere køligt og regnfuldt vejr midt i august blev blågrønalgemaksimumet ikke så stort, som det kunne være blevet, dersom det varme vejr var fortsat. Trods sommerens opblomstring af blågrønalger har planteplanktonet i 1994 været helt domineret af små arter/grupper, fortrinsvis små, hurtigtvoksende kiselalger. Planteplanktonets

års- og sommermiddelbiomase er opgjort til ca. 13 mg/l henholdsvis ca. 27 mg/l, og årets højeste biomasseværdi er opgjort til ca. 69 mg/l. Disse værdier er langt mindre end de tidligere maksimumværdier i perioden 1988-1994, hvilket er bemærkelsesværdigt set i forhold til, at der i 1994 har været den hidtil højeste sommermiddelkoncentration af klorofyl-a og den hidtil laveste sommermiddelsigt dybde.

Dyreplanktonet har i 1994 været artsrigt med i alt 62 arter/identifikationsgrupper. Hjuldyr er den artsmæssigt dominerende gruppe, mens vandlopperne er den mængdemæssigt dominerende gruppe. I overensstemmelse med søens næringsrige status er det næsten udelukkende cyclopoide vandlopper, der forekommer. De udgør ca. 85% af den samlede års- og sommermiddelbiomasse på henholdsvis ca. 5 mg/l henholdsvis ca. 7 mg/l.

Sammensætningen og mængden er årsag til, at dyreplanktonet i Hinge Sø kun har ringe indflydelse på mængden af planteplankton, til trods for, at sidstnævnte i 1994 har været helt domineret af små, let tilgængelige arter. Dette forhold har, omend med nogen variation, været kendetegnende for hele perioden 1988-1994 og er karakteristisk for søer med stor næringsstofbelastning, hvor fiskefaunaen og manglen på undervandsvegetation har stor betydning for dyreplanktonets udvikling og sammensætning.

Undervandsvegetationen i Hinge Sø har i 1994 været relativt veludviklet, til trods for de hidtil laveste sommersigt dybder, men med hensyn til undervandsvegetation hører Hinge Sø dog ikke desto mindre til i gruppen af næsten vegetationsløse søer, idet den gennemsnitlige dækningsgrad har været så lav som 0,88%, og det relative plantefyldte volumen har været 0,29%. Vegetationen er begrænset til dele af det brednære bælte i den nordlige og den vestlige del af søen, hvor dybdegrænsen i 1994 har været 0,65 meter henholdsvis 1,14 meter. Set i forhold til den første undersøgelse af bundvegetationen i 1993 er 1994-resultaterne udtryk for en dramatisk positiv udvikling, og den kan kun forklares af det rolige og varme, solrige vejr i juli og begyndelsen af august. I søens vestende har en langsom opblanding af det indstrømmende, klare vand fra Mausing Møllebæk antagelig skabt grobund for undervandsvegetation på større dybde end normalt, og i vegetationsområdet i søens nordlige del har en mindsket vindeksponering antagelig givet grundlag for en langt bedre udvikling af de eksisterende bevoksninger, der dog ikke har formået at øge deres dybdeudbredelse.

Til trods for den positive vegetationsudvikling befinder Hinge Sø sig dog stadig i en tilstand langt fra den, der er foreskrevet i målsætningen for søen. Mange års omfattende næringsstofftilførsel har konsolideret søens tilstand på et niveau, der kendetegner mange andre tilsvarende danske søer. Erfaringen er, at udviklingen i sådanne søer på kortere sigt kun kan ændres gennem indgreb i søens skidtfiskebestand og udplantning af undervandsvegetation, men Hinge Sø befinder sig desværre endnu langt fra det næringsstofmæssige niveau, hvor der kan forventes varige, ja endog kortvarige effekter af sådanne indgreb.

Med den seneste erkendelse af, at også hovedparten af fosforbelastningen skyldes ukontrollable udvaskninger fra landbrugsarealerne i søens opland, og i erkendelse af, at søens sediment i dag udgør en ikke ubetydelig kilde til intern fosforbelastning, må det konstateres, at det ikke på kort sigt vil være muligt at bringe Hinge Sø til at opfylde målsætningens krav.

Forord

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

Det intensive tilsyn med Hinge Sø og Nors Sø har fundet sted siden 1989. I 1993 blev det eksisterende program udvidet med vegetationsundersøgelser.

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

Denne rapport indeholder en præsentation og vurdering af undersøgelsesresultater og data indsamlet i 1994. Disse data er endvidere indføjet i de eksisterende tidsserier, og der er foretaget en vurdering af udviklingen i søen frem til og med 1994. Med baggrund i Miljøstyrelsens "Paradigma for rapportering af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994" er der i 1994 foretaget en beskrivelse og vurdering af kilderne til stofbelastningen af søen. Denne kildebeskrivelse er i 1995 fulgt op af en mere indgående beskrivelse af næringsstofbidraget fra grundvandet og landbrugsarealerne i søens opland, jf. DMU's paradigma for afrapportering 1994-data.

1. Baggrundsmateriale

Indholdet af denne rapport er baseret på følgende data og undersøgelsesresultater fra 1994:

Fysiske og kemiske forhold i de frie vandmasser (Viborg Amt og Hedeselskabet)

Nedbør og fordampning (Afdeling for jordbrugsmeteorologi, Forskningscenter Foulum)

Plante- og dyreplankton (Bio/consult)

Vand- og stoftransport i tilløb og afløb (Viborg Amt og Hedeselskabet)

Bundvegetation (Bio/consult)

Kilder til stofbelastning (Viborg Amt)

Oplysninger om udsivning af perkolat fra Tandskov Losseplads (Århus Amt)

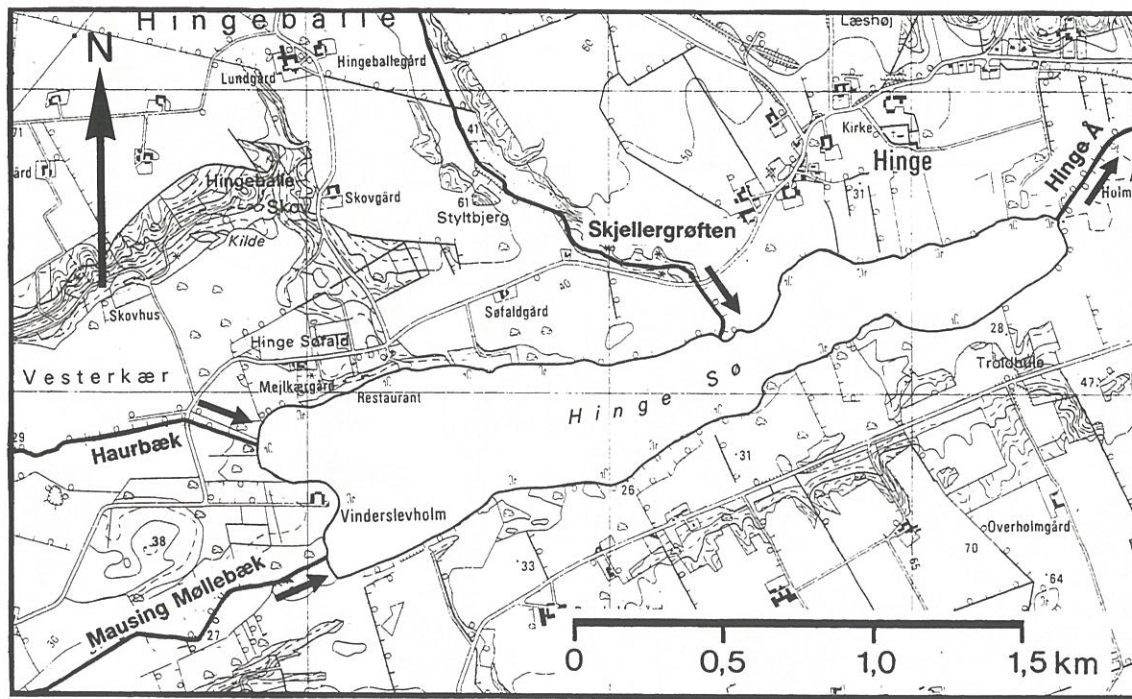
Oplysninger om gylleudledning i Hinge Sø (Silkeborg Kommune)

Hertil kommer tidligere indsamlede data og undersøgelsesresultater, der er afrapporteret i årsrapporterne for de enkelte år (Viborg Amt, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994a).

2. Beskrivelse af Hinge Sø og det topografiske opland

2.1. Beskrivelse af søen

Hinge Sø indgår i Gudenåens vandsystem og ligger mellem Kjellerup og Silkeborg, se figur 1.



Figur 1. Oversigt over beliggenheden af Hinge Sø.

Søens vigtigste tilløb er Mausing Møllebæk, Haurbæk og Skjellegrøften. Derudover findes der flere mindre tilløb. Afløbet fra søen findes i den østlige ende, hvor Hinge Å begynder. Hinge Å er reelt den nedre del af Mausing Møllebæk, og Hinge Sø er derfor en gennemstrømnings sø med generelt kort opholdstid.

Søen har en længde på ca. 2,5 km og en største bredde på godt 0,5 km i den vestlige ende. I marts 1992 er der foretaget fornyet opmåling af søen. Denne opmåling er foretaget ved kote 25,37 m o. DNN og har resulteret i et mere detaljeret dybdekort end tidligere, se side 4, samt i mindre justeringer af de morfometriske data i forhold til tidligere, se tabel 1.



HINGE SØ

KJELLERUP/SILKEBOG KOMMUNE,
 VIBORG/ÅRHUS AMT

0 100 200 300 400 500 m

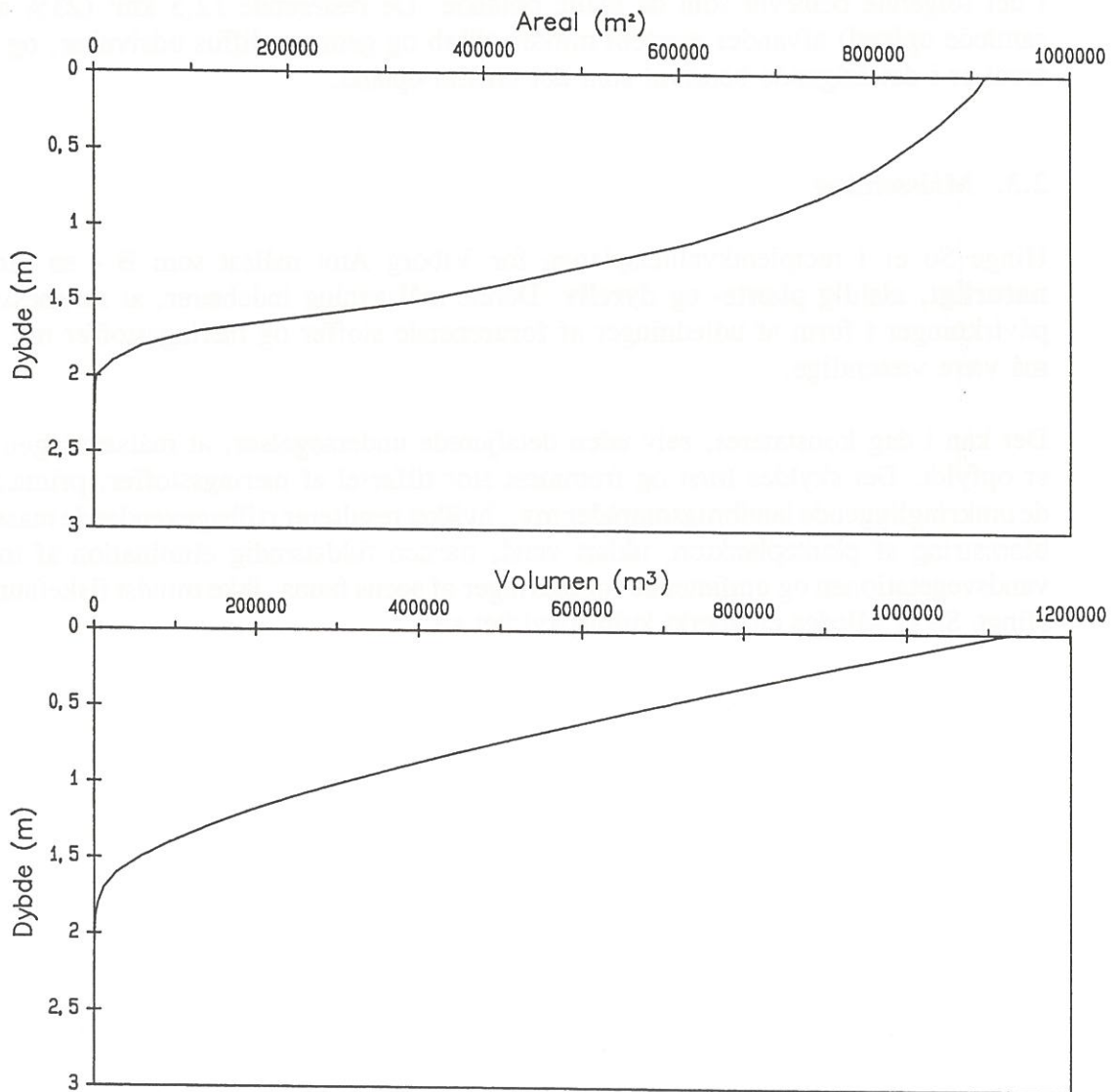
Dybde: m
 Rørsump:
 Vandspejl: 25.37 m over DNN

Opmåling: Bio/consult as, marts 1992
 Flyfoto: Geoplan A/S, 19. maj 1992
 Kartografi: Eva a/s
 © Viborg Amt og Bio/consult as

Areal	m ²	914.038
Volumen	m ³	1.125.033
Største dybde	m	2,6
Middeldybde	m	1,23
Omkreds	m	6.000
Arealindeks	ha	131,2
Dybdeindeks	m	1,88

Tabel 1. Morfometriske data for Hinge Sø, baseret på opmålingen i 1992 og gældende ved vandspejlskote 25,37 m o. DNN.

Hypsografen og volumenkurven er vist i figur 2.



Figur 2. Hypsograf og volumenkurve for Hinge Sø, udarbejdet på grundlag af opmålingen i 1992.

2.2. Oplandsbeskrivelse

Hinge Sø har et topografisk opland på 53,8 km², hvis udstrækning i forhold til søen er vist i bilag 1. Det bemærkes, at der i denne rapport er regnet med et oplandsareal på 53,8 km² mod tidligere 54,9 km², jf. bilag 1, hvilket har medført mindre ændringer (ca. 2%) af samtlige arealrelaterede værdier.

Hovedparten af oplandet består af dyrkede arealer, og der findes kun lidt skov. Bilag 1 indeholder en oversigt over arealfordelingen og arealudnyttelsen i oplandet. Oplandet er et moræneområde, fortrinsvis med næringsrig, sandet-leret jordbund. I bilag 1 findes en oversigt over fordelingen af de enkelte jordbundstyper i oplandet.

41,3 km² (77%) af det samlede opland på 53,8 km² afvandes af de tre største tilløb, Mausing Møllebæk, Haurbæk og Skjellegrøften, og oplandene til disse tre vandløb er i det følgende benævnt som de målte oplande. De resterende 12,5 km² (23% af det samlede opland) afvandes gennem mindre tilløb og gennem diffus udsivning, og dette areal er i det følgende benævnt som det umålte opland.

2.3. Målsætning

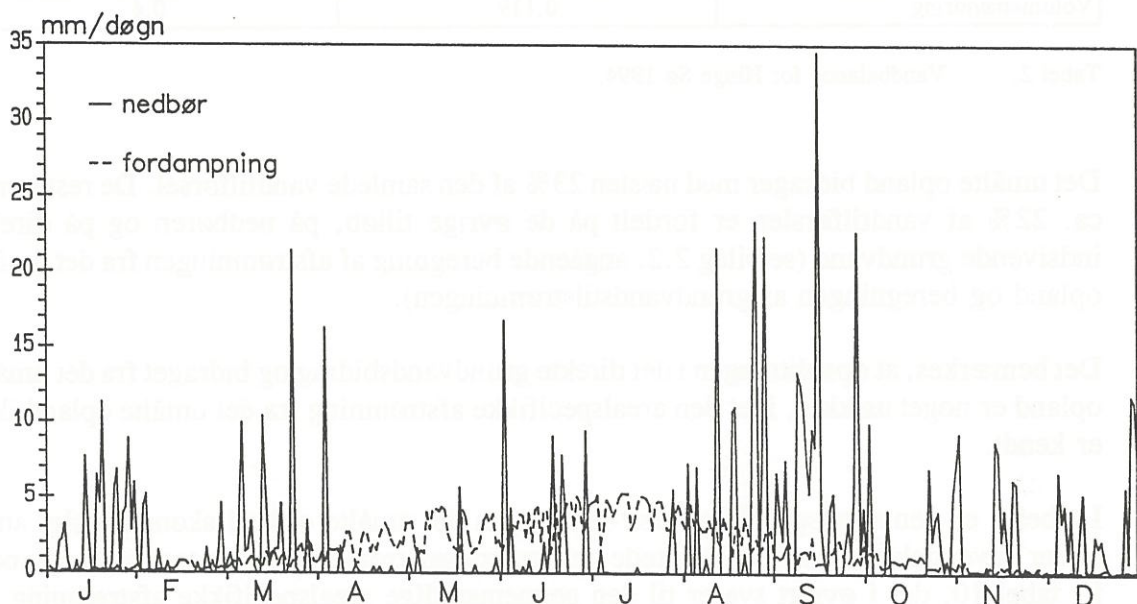
Hinge Sø er i recipientkvalitetsplanen for Viborg Amt målsat som **B - sø med et naturligt, alsidigt plante- og dyreliv**. Denne målsætning indebærer, at menneskelige påvirkninger i form af udledninger af forurenende stoffer og næringsstoffer mv. ikke må være væsentlige.

Det kan i dag konstateres, selv uden detaljerede undersøgelser, at målsætningen ikke er opfyldt. Det skyldes først og fremmest stor tilførsel af næringsstoffer, primært fra de omkringliggende landbrugsområder mv., hvilket resulterer i tilbagevendende masseopblomstring af planteplankton, uklart vand, næsten fuldstændig elimination af undervandsvegetationen og omfattende forandringer af søens fauna, ikke mindst fiskefaunaen. Hinge Sø er således en stærkt kulturpåvirket sø.

3. Vand- og stofbalance

3.1. Nedbør og fordampning 1994

Der foreligger daglige nedbørs- og fordampningsdata fra 1994, korrigeret til at gælde for Hinge Sø. Figur 3 indeholder en oversigt over nedbørens og fordampningens variation i 1994, og bilag 2 indeholder en oversigt over de daglige nedbørs- og fordampningsværdier.



Figur 3. Oversigt over nedbørens og fordampningens variation ved Hinge Sø i 1994.

1994 huskes nedbørsmæssigt især på grund af et voldsomt snefald med efterfølgende afsmeltning i marts måned, en længerevarende tørvejrperiode i april-maj, en meget varm og tør periode i juli og begyndelsen af august og endelig meget store mængder regn i slutningen af august og i september.

3.2. Vandbalance 1994

Ud fra vandføringsdata i tilløb og afløb, se bilag 2.3., samt ud fra nedbørs- og fordampningsdata, bilag 2.1., er der opstillet en specificeret vandbalance for Hinge Sø 1994, se tabel 2.

Mausing Møllebæk, der løber til i søens vestende, bidrager med næsten 55% af den samlede vandtilførsel, og på den baggrund kan søen karakteriseres som en gennemstrømningssø.

Kilde	10 ⁶ m ³ /år	Procent af samlet tilførsel
Mausing Møllebæk	16,238	54,9
Haurbæk	2,934	9,9
Skjellegrøften	2,940	9,9
Umålt opland	6,692	22,7
Nedbør	0,689	2,3
Fordampning	-0,525	-1,8
Grundvand	0,606	2,1
Samlet tilførsel	29,575	100
Samlet afstrømning	29,456	99,6
Volumenændring	0,119	0,4

Tabel 2. Vandbalance for Hinge Sø 1994.

Det umålte opland bidrager med næsten 23 % af den samlede vandtilførsel. De resterende ca. 22 % af vandtilførslen er fordelt på de øvrige tilløb, på nedbøren og på direkte indsivende grundvand (se bilag 2.2. angående beregning af afstrømningen fra det umålte opland og beregningen af grundvandstilstrømningen).

Det bemærkes, at opsplitningen i det direkte grundvandsbidrag og bidraget fra det umålte opland er noget usikker, idet den arealspecifikke afstrømning fra det umålte opland ikke er kendt.

I tabel 2 er den arealspecifikke afstrømning fra det umålte opland skønsmæssigt ansat under anvendelse af den arealvægtede gennemsnitsafstrømning fra de tre målte oplande, jf. tabel 10, der i øvrigt svarer til den gennemsnitlige arealspecifikke afstrømning fra hele oplandet, målt i afløbet fra søen. Hvis kun afstrømningen fra ét af de tre målte oplande lægges til grund for opgørelsen, bliver resultatet næsten uændret ved anvendelse af Mausing Møllebæk som beregningsgrundlag, mens det fordobles henholdsvis halveres ved anvendelse af Haurbæk henholdsvis Skjellegrøften. Anvendelse af Haurbæk skønnes ikke at være realistisk, idet søen i så fald vil have en permanent negativ grundvandstilførsel, det vil sige, at der til stadighed strømmer vand ud gennem søens bund til grundvandsmagasinet. Anvendelse af Skjellegrøften som beregningsgrundlag er antagelig heller ikke realistisk, idet dette vandløb dels adskiller sig meget fra gennemsnittet og dels indebærer, at grundvandsindsivningen skal være meget stor.

Konsekvensen af at opgøre vandtilstrømningen fra det umålte opland som beskrevet ovenstående er, at grundvandstilstrømningen til søen på årsbasis kun udgør en ringe del af den samlede vandtilstrømning. Det understøttes af, at der findes mindre tilløb til søen på både nord- og sydsiden, og flere af disse har en ikke ubetydelig vandføring selv i sommerhalvåret.

3.2.1. Vandbalance 1988-1994

Sammenstilling af vandbalancen for perioden 1988-1994 viser, at år-til-år-variationen i årene 1989-1993 har været forholdsvis ringe. Det betyder, at søens hydrologiske forhold i perioder er forholdsvis stabile, og at forandringer i søens frie vandmasser kun i mindre grad kan tilskrives variationer i vandbalancen.

Den samlede vandtilstrømning i 1994 har været den største i hele måleperioden, hvilket først og fremmest skyldes store tilstrømninger i årets første tre måneder, se bilag 2.3. Til gengæld har tilstrømningen ikke, som det kunne forventes ud fra de store mængder nedbør, været bemærkelsesværdigt stor i perioden medio august til primo oktober, jf. figur 3 og bilag 2.3.

	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Samlet målt/beregnet tilførsel	28,5	21,9	25,4	21,6	22,9	21,8
Grundvandsbidrag	0,3	0,6	0,1	0,9	0	1,8*
Samlet tilførsel	28,8	22,5	25,5	22,5	22,9	23,6
Samlet fraførsel	28,8	22,5	25,5	22,5	22,9	23,4
Volumenændring**						0,2
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Samlet målt/beregnet tilførsel	29,0					
Grundvandsbidrag	0,6					
Samlet tilførsel	29,6					
Samlet fraførsel	29,5					
Volumenændring**	0,1					

Tabel 3. Oversigt over vandbalancen for Hinge Sø i årene 1988-1994; alle værdier er i mill. kubikmeter. *: det bemærkes, at grundvandsbidraget i 1993 er større end i de forudgående år, fordi der ved beregningen af bidraget fra det umålte opland er anvendt et samlet oplandsareal på 53,8 km² mod 54,9 km² i de forudgående år. **: ved beregningen af vandbalancen for 1993 og 1994 er der taget højde for, at søens volumen ved årets slutning var større end ved årets begyndelse.

Fælles for alle årene er, at grundvandsbidraget er af ringe størrelse og derfor har begrænset indflydelse på både vandbalance og næringsstofftilførsel, jf. senere.

3.3. Hydraulisk middelopholdstid 1994

Vandets hydrauliske middelopholdstid i Hinge Sø kan som gennemsnit for hele 1994 beregnes til ca. 14 døgn, mens sommergennemsnittet kan beregnes til ca. 24 døgn og vintergennemsnittet til ca. 8 døgn. Tabel 4 indeholder en oversigt over den beregnede opholdstid i de enkelte måneder i 1994.

Måned	Afstrømning (m ³ /md x 10 ⁶)	Opholdstid (døgn)
Januar	5,343	6,5
Februar	2,926	10,8
Marts	5,249	6,6
April	2,464	13,7
Maj	1,437	24,3
Juni	1,367	24,7
Juli	1,282	27,2
August	1,385	25,2
September	1,763	19,1
Oktober	1,618	21,6
November	2,087	16,2
December	2,536	13,8
Årsgennemsnit	2,455 ± 1,428	14,0
Sommergennemsnit	1,447 ± 0,185	23,7
Vintergennemsnit	4,506 ± 1,369	8,0

Tabel 4. Oversigt over variationen af vandets opholdstid i Hinge Sø i de enkelte måneder i 1994, beregnet på grundlag af den månedlige afstrømning. Til sammenligning er vist den samlede afstrømning fra søen i de enkelte måneder, se også bilag 2.2.

I 1994 har afstrømningen fra søen været størst i januar og marts, med en månedsmiddelopholdstid på ca. 6,5 døgn, mens afstrømningen har været mindst i juli med en månedsmiddelopholdstid på ca. 27 døgn.

3.3.1. Hydraulisk middelopholdstid 1988-1994

I tabel 5 er vist variationen af den hydrauliske middelopholdstid i perioden 1988-1994.

	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Årsgennemsnit	12	18	16	18	18	17
Sommergennemsnit (maj-sept.)	21	24	24	24	26	26
Vintergennemsnit (dec.-marts)	-	14	11	15	14	12
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Årsgennemsnit	14					
Sommergennemsnit (maj-sept.)	24					
Vintergennemsnit (dec.-marts)	8					

Tabel 5. Oversigt over den hydrauliske opholdstid (døgn) i Hinge Sø i årene 1988-1994 angivet som årsgennemsnit, som sommergennemsnit og som vintergennemsnit.

På grund af de høje afstrømninger er både vinter- og årgennemsnittet for 1994 en smule lavere end i de forudgående år, mens sommergennemsnittet ligger på et næsten uændret niveau.

3.4. Afstrømningshøjde og volumenændringer

Afstrømningshøjden er for 1994 beregnet til 32,2 meter.

Daglige værdier for vandspejlskoten i søen er vist i bilag 2. Årets højeste vandspejlskote var 25,90 m o. DNN (9. marts), mens den laveste vandspejlskote var 25,25 m o. DNN (27. juli); denne forskel svarer til en volumenforskel på minimum 594.000 m³. Middelvandspejlskoten har i 1994 været 25,40 m o. DNN, hvilket er 3 cm højere end søens standardvandspejlskote (25,37 m o. DNN), ved hvilken værdierne i tabel 1 er gældende.

Tabel 6 indeholder en oversigt over vandspejlskoter ved hver måneds begyndelse og slutning samt månedlige volumenændringer i søen. Samtlige værdier er minimumsværdier, idet der ved volumenberegningerne ikke er taget højde for arealændringer som følge af vandspejlsændringerne. Værdierne er tilmed månedsnettoværdier, der ikke tager højde for højere og lavere værdier i løbet af de enkelte måneder.

Måned	Vandspejlskote (m o. DNN)		Δ volumen (m ³)
	Primo	Ultimo	
Januar	25,54	25,74	+182.808
Februar	25,74	25,34	-365.615
Marts	25,34	25,55	+191.948
April	25,55	25,31	-219.369
Maj	25,31	25,26	-45.702
Juni	25,26	25,31	+45.702
Juli	25,31	25,27	-36.562
August	25,27	25,29	+18.281
September	25,29	25,31	+18.281
Oktober	25,31	25,33	+18.281
November	25,34	25,37	+27.421
December	25,37	25,67	+274.211
Året	25,54	25,67	+118.825

Tabel 6. Oversigt over vandspejlskoter ved måneds begyndelse og slutning i Hinge Sø 1994 samt de deraf følgende ændringer af vandvolumenet i søen.

Vandspejlskoten i søen var højere ved årets slutning end ved årets begyndelse, og det svarer til en volumenforskel på +0,119 mill. m³, svarende til 13% af søens volumen. Til sammenligning kan det nævnes, at den maksimale månedlige volumenøgning har været på 0,274 mill. m³ (i november), svarende til ca. 24% af søens volumen.

I forbindelse med omsætningen af vandspejlsændringer til volumenændringer bør det nævnes, at volumenet ændres med godt 9.000 m³ pr. cm's ændring af vandspejlskoten, og da sidstnævnte kan variere adskillige cm alene som følge af vinden, skal volumenændringerne tages med et vist forbehold.

3.5. Stofbelastning 1994

I forhold til de tidligere år er der i 1993 og 1994 foretaget visse ændringer af måleprogrammet i afløbet, og det indebærer bl.a., at der ikke måles stofkoncentrationer i afløbsvandet. I stedet anvendes stofkoncentrationerne fra den faste vandkemistation i søen, se bilag 1.4., som udgangspunkt for stoftransportberegningerne. Betydningen heraf er vurderet i "Miljøtilstanden i Hinge Sø. Status 1993 og udvikling 1988-1993" (Viborg Amt, 1994a). Endvidere er der i 1993 og 1994 etableret en intensiv målestation i Skjellegrøften til vurdering af, hvorledes prøvetagningsfrekvensen påvirker de beregnede transporter af fosfor (Viborg Amt, 1994d; 1995).

3.5.1. Kvælstof og fosfor

Tabel 7 indeholder omtrentlige massebalancer for kvælstof og fosfor i 1994, opstillet på grundlag af de månedlige massebalancer, se bilag 2.4.

Kilde	Kvælstof (t/år)	Fosfor (t/år)
Mausing Møllebæk	84,505	1,699
Haurbæk	11,545	0,350
Skjellegrøften	27,485	0,324
Umålt opland	37,390	0,718
Grundvand	0,815	0,050
Atmostæren	1,824	0,018
Samlet tilførsel	163,564	3,159
Samlet fraførsel (Hinge Å)	161,774	4,258
Tilbageholdelse		-1,099 (= -34,8%)
Tilbageholdelse + denitrifikation	1,790 (= 1,1%)	

Tabel 7. Omtrentlig massebalance for kvælstof og fosfor i Hinge Sø 1994.

Det er umiddelbart bemærkelsesværdigt, at den samlede beregnede transport af kvælstof ud af søen er af næsten samme størrelse som transporten til søen. Selv med de forholdsvis korte opholdstider, som gælder for søen, vil der erfaringsmæssigt kunne forventes et betydeligt tab af kvælstof i søen. Det fremgår da også af de månedlige massebalancer, at der hovedparten af året tilbageholdes relativt store mængder kvælstof, men de absolutte mængder er små og opvejes af høje negative værdier i årets første måneder.

Det kan ikke udelukkes, at tallene i tabel 7 afspejler de faktiske forhold, men de kan også være fejlhæftede af følgende årsager:

- 1 fejlestimering af transporten i de målte vandløb som følge af almindelig usikkerhed og som følge af fejl, der kan henføres til prøvetagningsfrekvensen
- 2 fejl i estimeringen af transporten fra det umålte opland og ukorrekte antagelser om transporten fra det umålte opland
- 3 fejlestimering af transporten i afløbet, som følge af dels almindelig usikkerhed og den usikkerhed, der kan henføres til prøvetagningsfrekvensen og dels usikkerhed, der skyldes brugen af søkoncentrationer i stedet for koncentrationer i afløbsvandet
- 4 manglende registrering af punktkilder med direkte udløb i søen.

Ad 1. Fejlestimering af især fosfortransporten som følge af prøvetagningsfrekvensen er et alvorligt problem, og det har derfor i 1993 og 1994 været underkastet en særlig vurdering på grundlag af intensive målinger i Skjellegrøften. Disse målinger viste, at transporten af total-fosfor i 1993 blev underestimeret med ikke mindre end 23% ved brug af det normale måleprogram, mens det tilsvarende tal for ortho-fosfat var 17% (Viborg Amt, 1994d); i 1994 var de tilsvarende værdier 16% (total-fosfor) og 26% (ortho-fosfat) (Viborg Amt, 1995).

Antages dette forhold at gælde i almindelighed, og måske i særdeleshed i forbindelse med store, pulsagtige afstrømninger, vil alene en korrektion for dette forhold kunne bringe den samlede tilførsel op i nærheden af niveauet for transporten ud af søen. Det bør dog nævnes, at den registrerede underestimering i Skjellegrøften ligger væsentligt lavere end gennemsnittet og medianen for de vandløb, hvor der er foretaget intensive målinger (Græsbøll et al., 1994), og det kan derfor ikke udelukkes, at Mausing Møllebæk og Haurbæk adskiller sig væsentligt fra Skjellegrøften.

Ad 2. Fejl i estimeringen af transporten fra det umålte opland kan dels opstå som følge af den fejl, der skyldes prøvetagningsfrekvensen og dels den fejl, der kan introduceres ved at antage, at den arealspecifikke transport fra det umålte opland svarer til transporten fra det målte opland. Tabel 8 viser, hvorledes transporten fra det umålte opland afhænger af beregningsgrundlaget (uden korrektion for underestimering af fosfortransporten). Tabel 8 viser endvidere, at der er stor variation i næringsstofbidraget fra det umålte opland, afhængig af beregningsgrundlaget. Der er således mere end 100% forskel mellem laveste og højeste værdi for kvælstofs vedkommende, mens der for fosfors vedkommende er næsten 400% forskel mellem laveste og højeste værdi.

Der foreligger desværre ingen oplysninger, der kan indikere, hvilket beregningsgrundlag, der er bedst, og det er derfor valgt at opgøre kvælstof- og fosforbidraget fra det umålte opland som et arealvægtet gennemsnit af de tre oplande. Hvis man i stedet vælger et afstrømningsvægtet gennemsnit, sker der et mindre fald i kvælstofbidraget, mens fosforbidraget forbliver uændret.

	Arealvægtet	Afstrømningsvægtet
Beregningsgrundlag Mausing Møllebæk (27,6 km ² /16,238 mill. m ³)		
Kvælstof (kg/år)	38.272	34.820
Fosfor (kg/år)	770	700
Beregningsgrundlag Haurbæk (3,1 km ² /2,934 mill. m ³)		
Kvælstof (kg/år)	46.552	26.332
Fosfor (kg/år)	1.411	798
Beregningsgrundlag Skjellegrøften (10,6 km ² /2,940 mill. m ³)		
Kvælstof (kg/år)	32.412	62.561
Fosfor (kg/år)	363	735
Beregningsgrundlag hele det målte opland (41,3 km ² /22,112 m ³)		
Kvælstof (kg/år)	37.390	29.072
Fosfor (kg/år)	719	716

Tabel 8. Transportværdier for kvælstof og fosfor fra det umålte opland, beregnet under anvendelse af de arealspecifikke og afstrømningspecifikke værdier fra de tre målte oplande samt fra det samlede målte opland.

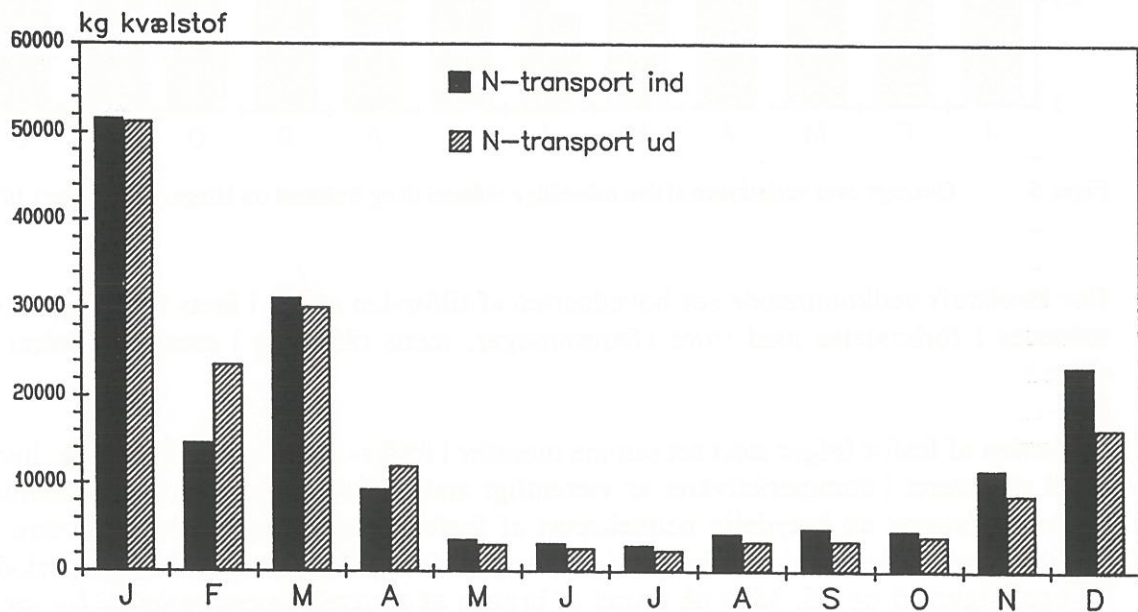
Ad 3. Anvendelse af søkoncentrationen som udgangspunkt for beregninger af næringsstoftransporten har tidligere vist sig at kunne give anledning til væsentlige fejlestimer (Viborg Amt, 1994), men det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at afgøre, om, og i givet fald i hvilken grad, det er tilfældet i 1994. Men det kan i hvert fald konstateres, at der ved brug af kvælstofkoncentrationerne fra søstationen ikke er taget højde for den kvælstofomsætning og -aflejring, der finder sted i den østlige del af søen. På tilsvarende vis afspejler søkoncentrationen af fosfor ikke de processer, der finder sted i søens østlige del; sidstnævnte er især et problem, hvis der frigives fosfor fra bunden i søens vestlige, dybeste del, hvor søvandskoncentrationen måles, idet resedimentationen i søens østlige del i så fald ikke registreres. Det betyder samlet, at der er en betydelig risiko for overestimering af både kvælstof- og fosfortransporten ud af søen.

Ad 4. Der foreligger en enkelt velbeskrevet udledning af næringsstoffer direkte til søen (Silkeborg kommune, 1994). Det drejer sig om udledning af ca. 140 tons gylle direkte til søen fra et tilgrænsende landbrugsareal. Ved måling af næringsstofindholdet i afløbet kunne denne udledning muligvis være blevet registreret, men med målinger kun i søens midte, er udledningen antagelig ikke blevet registreret. Omvendt, hvis udledningen har påvirket søkoncentrationen, vil transporten af både kvælstof og fosfor blive overestimeret. De udledte mængder næringsstoffer i forbindelse med gylleudledningen er med nogen usikkerhed opgjort til ca. 820 kg kvælstof og ca. 210 kg fosfor, og af disse to værdier er det kun fosforværdien, der har betydning, idet den udgør ca. 7% af den samlede beregnede tilførsel.

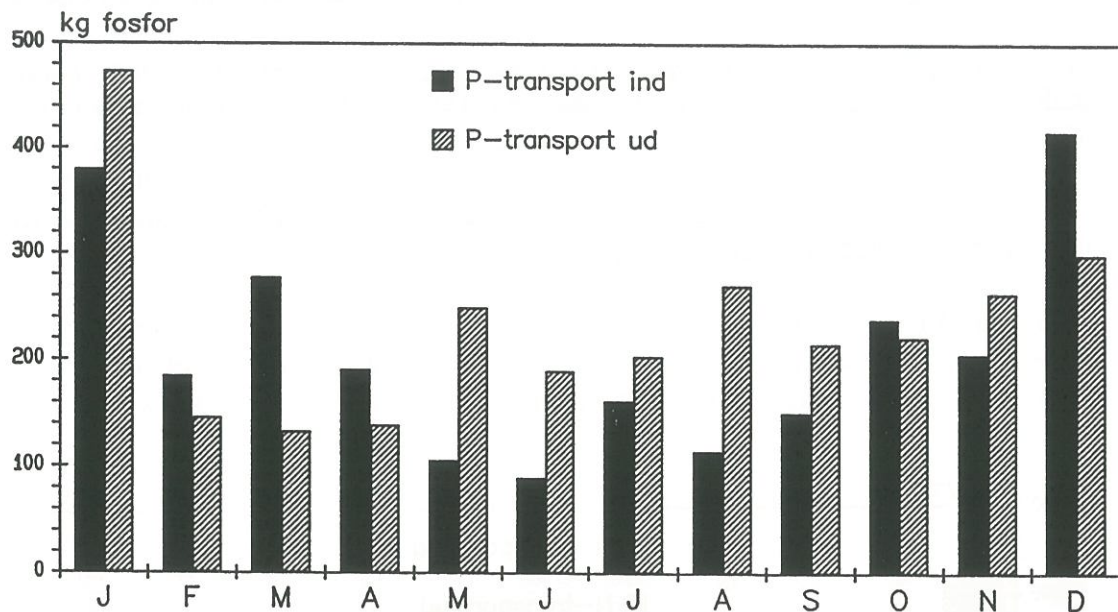
Konklusionen på ovenstående er, at tilførslen af kvælstof kan være underestimeret samtidig med, at fraførslen af kvælstof antagelig er overestimeret, og at tilførslen af fosfor med stor sandsynlighed er underestimeret samtidig med, at der er betydelig risiko for, at fraførslen af fosfor er overestimeret.

Anvender man de højeste kvælstof- og fosformængder i tabel 8 som bidraget fra det umålte opland, kan den samlede kvælstoftilførsel bringes op på ca. 189.000 kg kvælstof, hvorved tilbageholdelsen (denitrifikation + sedimentation) i søen antager nogenlunde samme værdi som i de foregående år. Den samlede fosfortilførsel kan på tilsvarende vis bringes op på ca. 3.850 kg, og hvis der samtidig tages højde for den konstaterede underestimering på ca. 16%, jf. (Viborg Amt, 1994d; 1995), kan den samlede tilførsel af fosfor bringes op på ca. 4.300 kg, hvilket er af samme størrelsesorden som transporten ud af søen. Men som allerede nævnt kan det ikke alene ud fra målingerne i tilløb og afløb afgøres, om de beregnede værdier er udtryk for de faktiske forhold, eller om de er behæftet med en eller flere fejl.

Den månedlige transport af total-kvælstof, total-fosfor og ortho-fosfat samt jern i tilløbene og i afløbet er vist i bilag 2.4. I figur 4 og 5 er vist variationen af den samlede tilførsel henholdsvis fraførsel af total-kvælstof og -fosfor i Hinge Sø 1994.



Figur 4. Oversigt over variationen af den månedlige tilførsel til og fraførsel fra Hinge Sø af kvælstof i 1994.



Figur 5. Oversigt over variationen af den månedlige tilførsel til og fraførsel fra Hinge Sø af fosfor i 1994.

For kvælstofs vedkommende ses hovedparten af tilførslen at ske i årets første og sidste måneder i forbindelse med store afstrømninger, mens tilførslen i sommerhalvåret er ringe.

Tilførslen af fosfor følger stort set samme mønster i forårs- og efterårsmånederne, hvorimod mønsteret i sommerhalvåret er væsentligt anderledes. I perioden maj-september er der registreret en betydelig nettoeksport af fosfor ud af søen, og det kan være en indikation af, at der er frigivet betydelige mængder fosfor fra søbunden i denne periode, jf. også figur 15 og 16. Men på grund af brugen af søvandskoncentrationer fra søens centrale del ved beregningerne, kan det ikke udelukkes, at betydelige mængder fosfor er resedimenteret i søens østlige del, uden at det afspejles i transportværdierne.

3.5.2. Jern

Den samlede tilførsel af total-jern er for 1994 opgjort til 57,4 tons, og den samlede fraførsel er opgjort til 46,5 tons, svarende til en tilbageholdelse på ca. 19%. Denne værdi er væsentligt lavere end i de forudgående år, og det giver sammen med de atypiske tilbageholdelsesværdier for kvælstof og fosfor anledning til at antage, at 1994 har været et atypisk år.

3.6. Stofbelastning 1988-1994

Tabel 9 indeholder en oversigt over variationen af den samlede tilførsel og fraførsel af kvælstof, fosfor og jern i perioden 1988-1994, mens bilag 2.7. indeholder mere detaljerede oversigter over massebalancerne i årene 1988-1994.

Tilførslen af både kvælstof og fosfor synes i nogen grad at være proportional med vandtilstrømningen, således at stor tilstrømning er ledsaget af stor stoftransport. Forholdet er dog ikke helt entydigt, hvilket antagelig skyldes, at næringsstoftransporten ikke blot er afhængig af tilstrømningens størrelse, men også af afstrømningsmønstret og afstrømningens fordeling over året. Den forholdsvis lave kvælstoftilførsel i 1993 skyldes således især, at den samlede tilførsel var ringe i den nedbørsfattige forårsperiode, mens det omvendte var tilfældet i 1994.

Tilbageholdelsen af kvælstof i søen, incl. denitrifikation, er generelt ringe, bedømt ud fra stofbalancen, men beregningerne er noget usikre, bl.a. på grund af manglende kendskab til mængden af kvælstof, der fra atmosfæren fikseres af blågrønalger og senest tillige på grund af anvendelsen af søvandskoncentrationen til beregning af transporten ud af søen.

Der er dog ingen tvivl om, at der også i Hinge Sø, trods kort opholdstid, sker en betydelig denitrifikation, jf. bilag 2.4., men dette forhold er slet ikke afspejlet i årsresultatet for 1994.

	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Total-kvælstof						
Tilførsel (tons pr. år)	162	122	165	121	168	142
Fraførsel (tons pr. år)	145	82	135	104	136	115
Tilbageholdelse* (tons pr. år)	17 (10,5%)	40 (32,8%)	30 (18,2%)	17 (14,0%)	32 (19,0%)	27(18,7%)
Total-fosfor						
Tilførsel (tons pr. år)	4,5	2,5	3,7	2,8	2,6	2,5
Fraførsel (tons pr. år)	3,9	2,6	3,0	2,5	2,8	2,8
Tilbageholdelse (tons pr. år)	0,6 (13,3%)	-0,1 (4,0%)	0,7 (18,9%)	0,3 (10,7%)	-0,2 (7,7%)	-0,3 (10,5%)
Total-jern						
Tilførsel (tons pr. år)	53,0	54,1	53,0	40,0	52,5	51,6
Fraførsel (tons pr. år)	28,0	24,9	32,9	26,8	26,7	27**
Tilbageholdelse (tons pr. år)	25,0 (47%)	29,2 (54%)	20,1 (38%)		25,8 (49%)	24,6**
Vand						
Samlet tilførsel (mill. m ³ pr. år)	28,5	21,9	25,4	21,6	22,9	23,5
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Total-kvælstof						
Tilførsel (tons pr. år)	163,6					
Fraførsel (tons pr. år)	161,8					
Tilbageholdelse* (tons pr. år)	1,8 (1,1%)					
Total-fosfor						
Tilførsel (tons pr. år)	3,2					
Fraførsel (tons pr. år)	4,3					
Tilbageholdelse (tons pr. år)	-1,1 (-34,8%)					
Total-jern						
Tilførsel (tons pr. år)	57,4					
Fraførsel (tons pr. år)	46,5					
Tilbageholdelse (tons pr. år)	10,9 (19,0%)					
Vand						
Samlet tilførsel (mill. m ³ pr. år)	29,6					

Tabel 9. Oversigt over den samlede tilførsel, fraførsel og tilbageholdelse af kvælstof, fosfor og jern til Hinge Sø i perioden 1988-1994. Til sammenligning er vist den samlede vandtilførsel.

*: tilbageholdelse = tilbageholdelse + denitrifikation. **: skønnet værdi.

Tilbageholdelsen af fosfor er generelt ringe, og i to år, 1989 og 1992, er der registreret en mindre nettoeksport af fosfor ud af søen, mens der i 1994 har været en meget betydelig nettoeksport ud af søen. Der kan næppe være nogen tvivl om, at søen kun har ringe kapacitet til at tilbageholde fosfor, trods stor jerntilførsel, men det er som allerede nævnt uvist, om den meget store beregnede nettoeksport i 1994 er reel. Når der ses bort fra 1994, har tilbageholdelsen været størst i de år, hvor vandtilstrømningen har været størst, og det antyder, at mobiliseringen af fosfor fra sedimentet er mindst i forbindelse med stor afstrømning. Det skyldes blandt andet, at stor afstrømning almindeligvis er ledsaget af mindre lysindstråling og dermed lavere vækst af planteplanktonet og lavere temperaturer, hvilket igen resulterer i mindre mobilisering af fosfor fra sedimentet.

Lave temperaturer og stor vandgennemstrømning mindsker tillige mulighederne for iltvindsbetinget fosforfrigivelse fra sedimentet. Stor fosfortilbageholdelse er registreret i forbindelse med lave sommermiddelbiomasser af planteplankton i 1988 og 1990, og nettoeksport af fosfor er registreret i år med den højeste planteplanktonbiomasse (1989 og 1992), da store mængder fosfor formodentlig er skyllet ud af søen, bundet i levende og dødt plankton, særlig blågrønalger med lav sedimentationshastighed.

Tilførslen af jern er med undtagelse af 1991 forholdsvis konstant gennem perioden og udviser ingen tydelig afhængighed af afstrømningen.

3.7. Næringsstofbelastning og oplandsudnyttelse

Ud fra den samlede tilførsel af kvælstof og fosfor fra de målte oplande, jf. tabel 7, kan den gennemsnitlige arealspecifikke belastning fra oplandet beregnes til 29,9 kg total-kvælstof/ha/år og 0,575 kg total-fosfor/ha/år. Begge disse værdier er væsentligt højere end i typiske dyrkede oplande med lille punktudledning af kvælstof og fosfor: gennemsnit for perioden 1989-1993 = 19,4 kg total-kvælstof/ha/år og 0,326 kg total-fosfor/ha/år (Græsbøll et al., 1994).

Tabel 10 viser den arealspecifikke næringsstof- og vandafstrømning fra de tre målte oplande - Mausing Møllebæk, Haurbæk og Skjellegården - til Hinge Sø i 1994.

Opland	Areal (ha)	Total-kvælstof		Total-fosfor		Vand l/s/ha
		kg/ha/år	mg/l	kg/ha/år	mg/l	
Mausing Møllebæk	2.760	30,6	5,204	0,616	0,105	0,187
Haurbæk	310	37,2	3,935	1,129	0,119	0,300
Skjellegården	1.060	25,9	9,349	0,306	0,111	0,088
Arealvægtet gennemsnit		29,9	6,173	0,575	0,108	0,170

Tabel 10. Oversigt over den arealspecifikke afstrømning af næringsstoffer samt den gennemsnitlige næringsstofkoncentration i vandet fra oplandene til de tre største tilløb til Hinge Sø, beregnet på grundlag af stoftransporten i 1994.

De arealspecifikke næringsstofværdier er så forskellige, at der kan være grund til at antage, at de topografiske oplande ikke svarer til afstrømningsoplandene. Det er især Skjellegrøften og Haurbæk, der ligger langt fra gennemsnittet. Denne antagelse understøttes af, at den arealspecifikke afstrømning af vand også er meget forskellig i de tre oplande og af, at gennemsnittet er væsentligt højere end gennemsnittet for dyrkede oplande, jf. senere.

De vandføringsvægtede koncentrationer er beregnet til 6,2 mg total-kvælstof/l og 0,108 mg total-fosfor/l, hvilket er væsentligt lavere end landsgennemsnittet for dyrkede oplande i perioden 1989-1994: 8,6 mg total-kvælstof/l og 0,140 mg total-fosfor/l (Græsbøll et al., 1994). Forklaringen herpå er bl.a., at den gennemsnitlige afstrømning fra oplandet til Hinge Sø med ca. 17,0 l/s/km² er væsentligt højere end gennemsnittet for dyrkede oplande i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram.

Samlet tyder værdierne i tabel 10 på, at afstrømningsoplandene er større end de topografiske oplande. Desuden tyder værdierne på, at vandet i de tre tilløb består af dels nedsivende vand fra landbrugsarealerne og dels vand, formodentlig grundvand, med et lavere indhold af kvælstof og fosfor. Hvor dette vand stammer fra, og hvad årsagen til lavere næringsstofkoncentrationer er, kan ikke afgøres på det foreliggende grundlag.

Forklaringen på, at værdierne afviger fra gennemsnittet, kan selvfølgelig også være, at oplandet til Hinge Sø adskiller sig meget fra gennemsnittet af dyrkede oplande i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, og endelig kan de atypiske værdier være et resultat af betydelige næringsstofudledninger fra ukendte punktkilder; dette forhold er vurderet i afsnit 4.

4. Kilder til stoftilførslen

Der blev i 1994 foretaget en beskrivelse af de kendte punktkilder i oplandet til Hinge Sø, og det kunne i den forbindelse konstateres, at ca. 85% af den samlede kvælstofbelastning og ca. 78% af den samlede fosforbelastning kunne tilskrives den landbrugsmæssige udnyttelse af oplandsarealerne (heri indregnet 12% hidrørende fra udledningerne fra den spredte bebyggelse) (Viborg Amt, 1994a).

Trods forskellene med hensyn til den samlede kvælstof- og fosforbelastning, er der ingen grund til at antage, at dette forhold har ændret sig siden 1993, og udgangspunktet for vurderingerne i dette afsnit er derfor, at det er den landbrugsmæssige udnyttelse af oplandsarealerne, der er årsag til den aktuelt store næringsstofbelastning af Hinge Sø.

4.1. Punktkilder

Siden opgørelsen af punktkilderne i 1994 er man blevet opmærksom på endnu en punktkilde, Tandskov Losseplads, hvorfra der er konstateret en betydelig perkolatudsivning til Mausing Møllebæk via tilløbet Resdal Bæk. Problemerne omkring udsivninger fra Tandskov Losseplads er beskrevet i et særskilt notat (Rambøll Hanneman & Højlund, 1993).

Undersøgelserne på lossepladsen har vist, at perkolatet har et meget højt indhold af både fosfor (op til 6 mg/l) og kvælstof (op til 1.300 mg/l). Mængden af perkolat, der siver ud i vandløbet, varierer som følge af variationer i nedbøren, og det betyder, at også næringsstofudsivningen fra lossepladsen varierer meget. Der foreligger ingen målinger, der kan danne udgangspunkt for estimering af den samlede udsivning i 1994. Den seneste opgørelse er baseret på målinger i juli 1993, og det er på grundlag heraf beregnet, at den årlige udsivning er i alt 2.900 kg total-kvælstof og 107 kg total-fosfor. Hvis denne værdi er repræsentativ, kan det konstateres, at lossepladsen ikke spiller nogen stor rolle for den samlede belastning. Til gengæld kan det konstateres, at lossepladsen med i alt 17.000 kg jern pr. år er ansvarlig for ca. 50% af den samlede jerntransport i Mausing Møllebæk, og dertil kommer, at lossepladsen med en årlig udsivning på 27.000 kg COD er årsag til en omfattende belastning med organisk stof. Den umiddelbare effekt af denne udsivning er en voldsom forekomst af lammehaler i Resdal Bæk, men derudover har udsivningen sandsynligvis også en vis betydning for søen, idet det må antages, at en betydelig del af det organiske stof når frem til søen og her bidrager til slamdannelsen på søbunden.

Set under et kan det konstateres, at lossepladsen, trods høje næringsstofkoncentrationer i det udsivende perkolat, ikke er årsag til mere end en lille brøkdel af den samlede kvælstof- og fosfortransport i Mausing Møllebæk. Det betyder, at der ikke med inddragelsen af Tandskov Losseplads i gruppen af punktkilder er ændret nævneværdigt ved den tidligere antagelse om, at hovedparten af kvælstof- og fosforbelastningen af Hinge Sø skyldes andre kilder end punktkilderne, jf. (Viborg Amt, 1994a).

Selvom lossepladsen således ikke med den nuværende viden kan tillægges større betydning for den samlede næringsstofbelastning, er der dog grund til bekymring, idet der forventes at ske udsivning af perkolat i adskillige år fremover (Rammbøll Hanne-mann & Højlund, 1993). Og da perkolatet ikke blot indeholder næringsstoffer, men også tungmetaller mv., kan lossepladsen give anledning til andre problemer end de rent eutrofieringsmæssige.

4.2. Vurdering af fosforbelastningen fra oplandsarealerne

Rundt omkring i Hinge Sø's opland indvindes der grundvand til de lokale drikkevandsforsyninger, og fra disse indvindingssteder foreligger der enkelte vandkemiske analyser, der bl.a. omfatter kvælstof og fosfor.

I samtlige analyser er kvælstofindholdet, udtrykt som nitrit og nitrat, meget ringe, typisk 0,1 mg nitrat eller mindre. Det betyder antagelig, at grundvandets indhold af total-kvælstof er forsvindende lille og derfor ikke kan forklare den store kvælstofbelastning. Den må i stedet tilskrives udsivning af vand fra mere overfladenære grundvandsmagasiner og er dermed en indikation af, at hovedparten af vandtilstrømningen til søen sker fra overfladenære grundvandsmagasiner.

Hvis antagelsen om, at afstrømningen fra oplandsarealerne primært sker fra højtliggende grundvandsmagasiner, kan drikkevandsboringernes indhold af fosfor næppe lægges til grund for vurderingerne af den samlede fosforbelastning. Men det bør dog nævnes, at koncentrationer af total-fosfor i intervallet 0,10-0,17 mg/l ligger nær gennemsnitskoncentrationen i vand fra dyrkede oplande (Græsbøll et al., 1994) og kan forklare næsten hele den samlede målte/beregnete fosforbelastning.

En mere velbegrunderet opgørelse af fosforbelastningen kan bygges på resultaterne af land-overvågningen i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (Andersen et al., 1994). Anvendes disse resultater, kan den samlede fosforbelastning fra oplandsarealerne opgøres til ca. 2.000 kg pr. år, og det er væsentligt mindre end faktisk målt/beregnet i 1994, men i god overensstemmelse med angivelserne i "Bedre kildeopsplitning af diffus fosfor" (Wiggers, 1995).

Forskellen mellem den målte/beregnete fosforbelastning og det erfaringsmæssige bidrag fra landbrugsarealerne må tilskrives udledninger af næringsstoffer fra spredt bebyggelse, kendte punktkilder og overfladeafstrømning, men der foreligger ingen undersøgelser af, hvorledes bidragene fra spredt bebyggelse henholdsvis overfladeafstrømning fordeler sig.

Selvom der ikke i 1994 er gennemført undersøgelser, der på afgørende vis dokumenterer forholdet, kan det i lighed med undersøgelserne i 1993 konstateres, at landbrugsarealerne, incl. den spredte bebyggelse, er ansvarlige for ca. 85% af den samlede kvælstofbelastning og ca. 75% af den samlede fosforbelastning.

4.3. Samlet oversigt over kilderne til næringsstofbelastningen 1994

På baggrund af kildeopsplitningen i 1993 (Viborg Amt, 1994a) og de seneste undersøgelser/opgørelser af næringsstofudvaskningen fra landbrugsarealer mv. (Andersen et al., 1994; Wiggers, 1995) er der foretaget en specifikation af den samlede belastning af Hinge Sø, se tabel 11.

I forhold til kildeopsplitningen for 1993 er der på baggrund af erfaringerne fra (Andersen et al., 1994) og (Wiggers, 1995) sket en flytning af en meget betydelig del af fosforbelastningen fra "uspecificeret bidrag fra det åbne land" til "dyrkningsbidrag", og dermed er det sandsynliggjort, at hovedparten af næringsstofbelastningen skyldes landbrugsdriften i oplandet. Dermed er det også sandsynliggjort, at søens tilstand kun kan forbedres radikalt gennem indgreb over for næringsstofudvaskningen fra landbrugsarealerne.

Kilde	Kvælstof		Fosfor	
	kg/år	%	kg/år	%
Baggrundsbidrag	14.575	8,9	408	12,9
Dyrkningsbidrag	138.215	84,5	1997	63,2*
Spredt bebyggelse	900	0,6	301	9,5*
Uspecificeret bidrag fra det åbne land	4.469	2,7	181	5,7
Atmosfærisk bidrag	1.824	1,1	18	0,6
Renseanlæg	270	0,2	87	2,8
Losseplads	3.000	1,8	107	3,4
Overfladevand	138	0,1	35	1,1
Regnvandsbetingede udløb	82	0,1	17	0,5
Dambrug	91	0,1	8	0,3
Samlet belastning	163.564	100	3.159	100

Tabel 11. Oversigt over næringsstofbidraget fra de enkelte kilder i oplandet til Hinge Sø. *: procenten er valgt ud fra (Wiggers, 1995), og mængderne er opgjort på grundlag heraf.

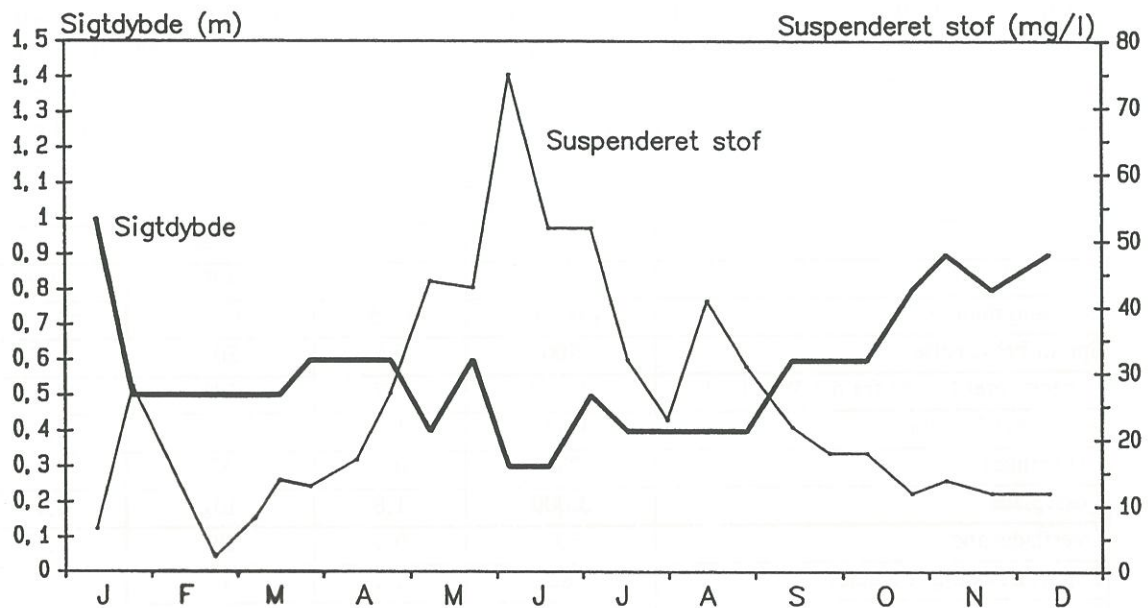
De samlede næringsstofmængder i tabel 11 skal ses i forhold til værdier på ca. 16.500 kg kvælstof og ca. 425 kg fosfor, som er den erfaringsmæssige baggrundsbelastning (belastningen, hvis oplandet henlå i udyrket tilstand) af Hinge Sø, og som udgør kun 10-15% af den aktuelle belastning.

5. De frie vandmasser - fysiske og kemiske forhold

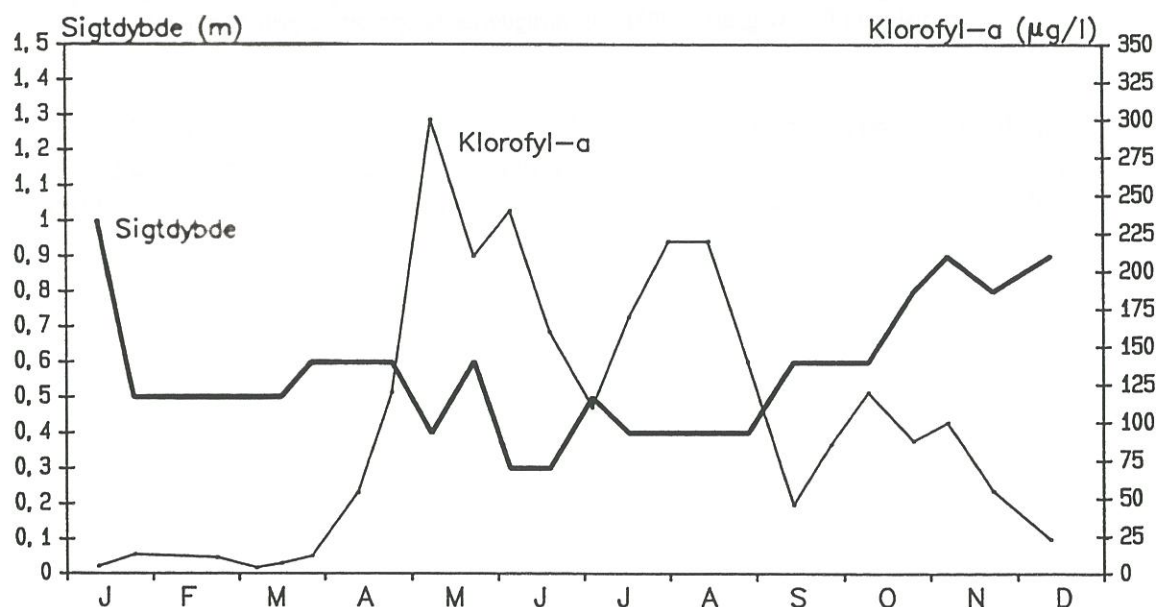
5.1. Status 1994

5.1.1. Sigtdybde

Variationen af sigtdybden i 1994 er vist i figur 6.

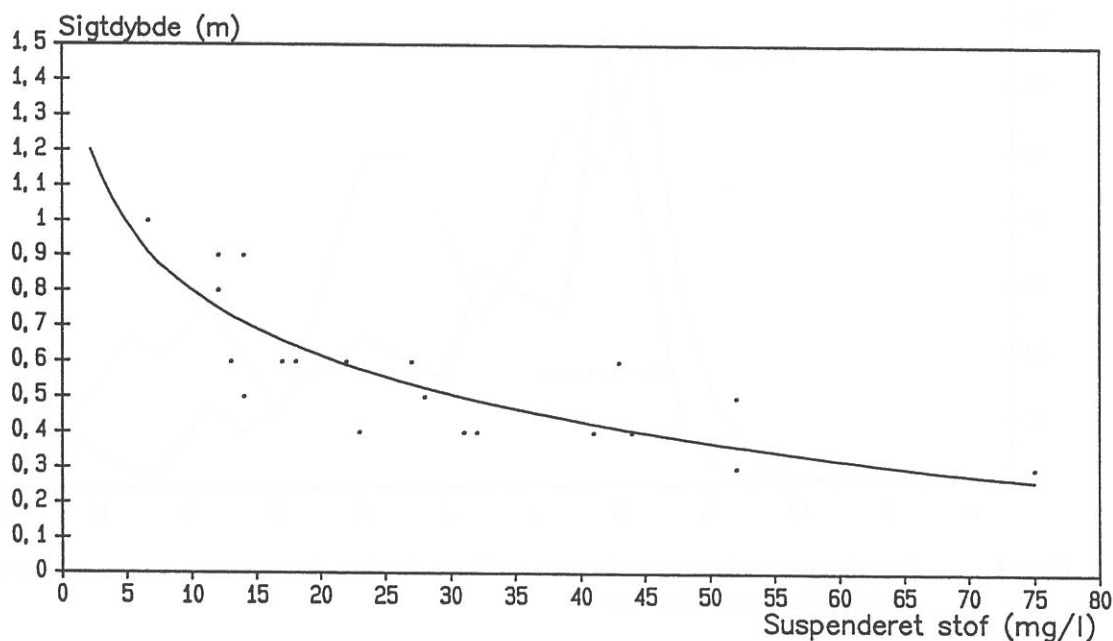


Figur 6a. Oversigt over variationen af sigtdybden i Hinge Sø 1994. Til sammenligning er vist variationen af vandets indhold af suspenderet stof.



Figur 6b. Oversigt over variationen af sigtdybden i Hinge Sø 1994. Til sammenligning er vist variationen af vandets indhold af klorofyl-a.

Sigtddybden er stort set helt styret af mængden af suspenderet stof i vandet, figur 6a, herunder også planteplankton, jf. figur 6b, og det betyder, at der er en god statistisk sammenhæng mellem sigtddybden og koncentrationen af suspenderet stof, figur 7.



Figur 7. Oversigt over sammenhængen mellem sigtddybden og mængden af suspenderet stof i vandet i Hinge Sø 1994.

I vinterhalvåret består det suspenderede stof primært af ophvirvlet sediment, mens det i sommerhalvåret i vid udstrækning består af levende og dødt planteplankton, og sidstnævnte er årsag til, at der ikke sker markante forbedringer af sigtddybden mellem sommerens planktonmaksima.

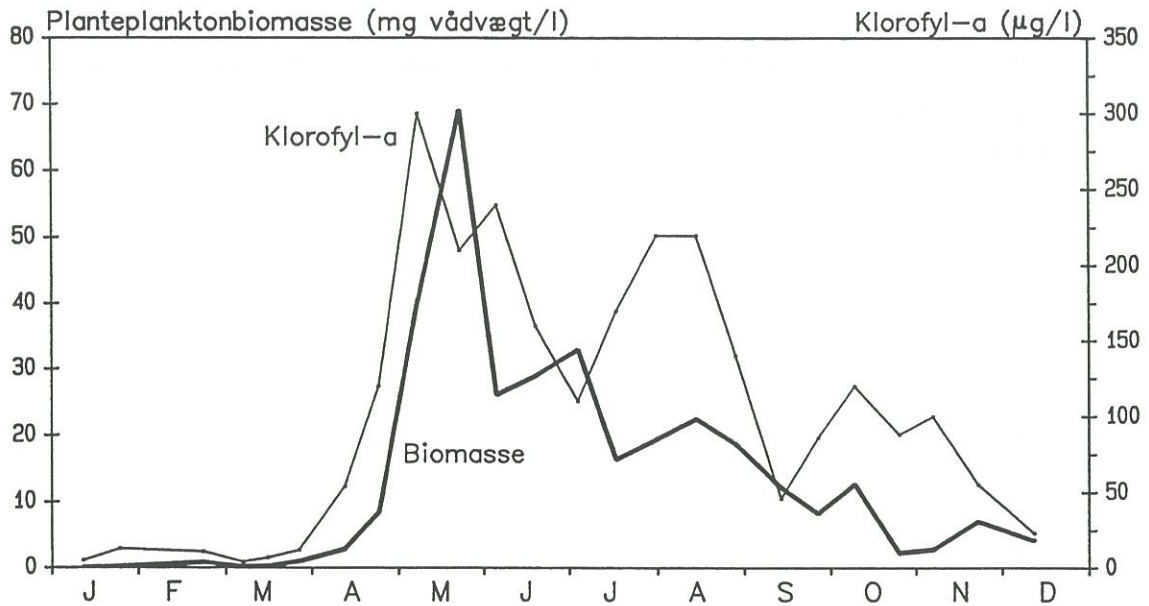
Sommermiddelsigtddybden er beregnet til 0,4 meter, og årsmiddelsigtddybden er beregnet til 0,6 meter. Begge værdier er meget lave og placerer Hinge Sø blandt de mest sommerkurede søer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, jf. (Jensen et al., 1994).

5.1.2. Klorofyl-a

Variationen af klorofyl-a i Hinge Sø i 1994 er vist i figur 8.

Der er kun delvis sammenhæng mellem planteplanktonbiomassen og mængden af klorofyl-a, og det betyder, at der også kun er delvis sammenhæng mellem koncentrationen af klorofyl-a og sigtddybden.

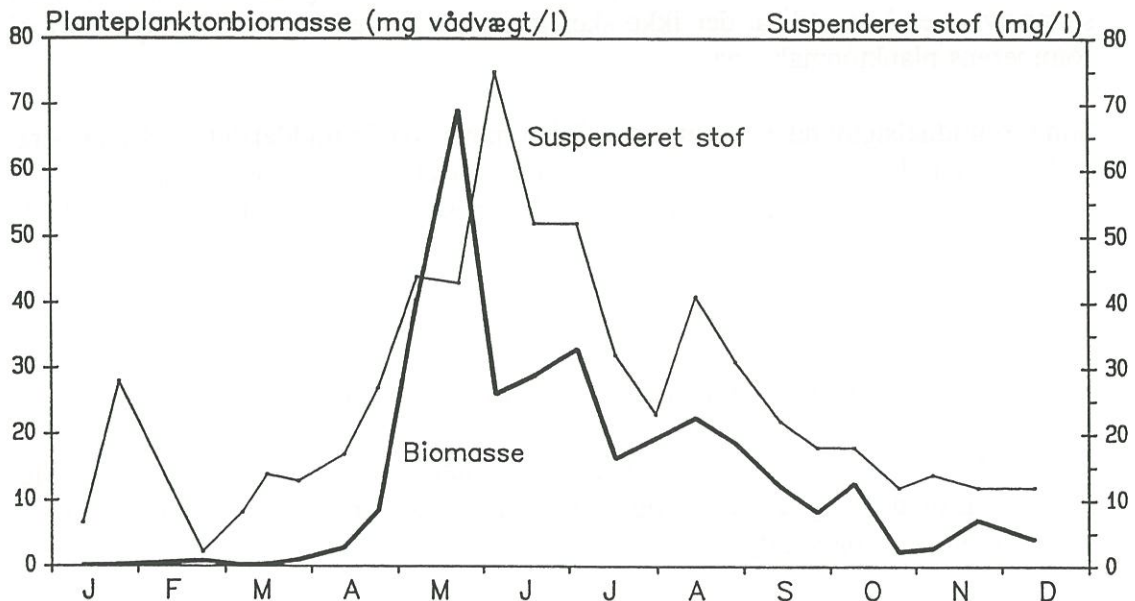
Sommermiddelkoncentrationen af klorofyl-a er beregnet til 173 $\mu\text{g/l}$, hvilket sammen med et årsgennemsnit på 99 $\mu\text{g/l}$ placerer søen blandt de mest klorofylrige og dermed planktonrige i søer i Vandmiljøplanens overvågningsprogram, jf. (Jensen et al., 1994).



Figur 8. Oversigt over variationen af klorofyl-a i Hinge Sø 1994. Til sammenligning er vist variationen af planteplanktonets biomasse.

5.1.3. Suspenderet stof

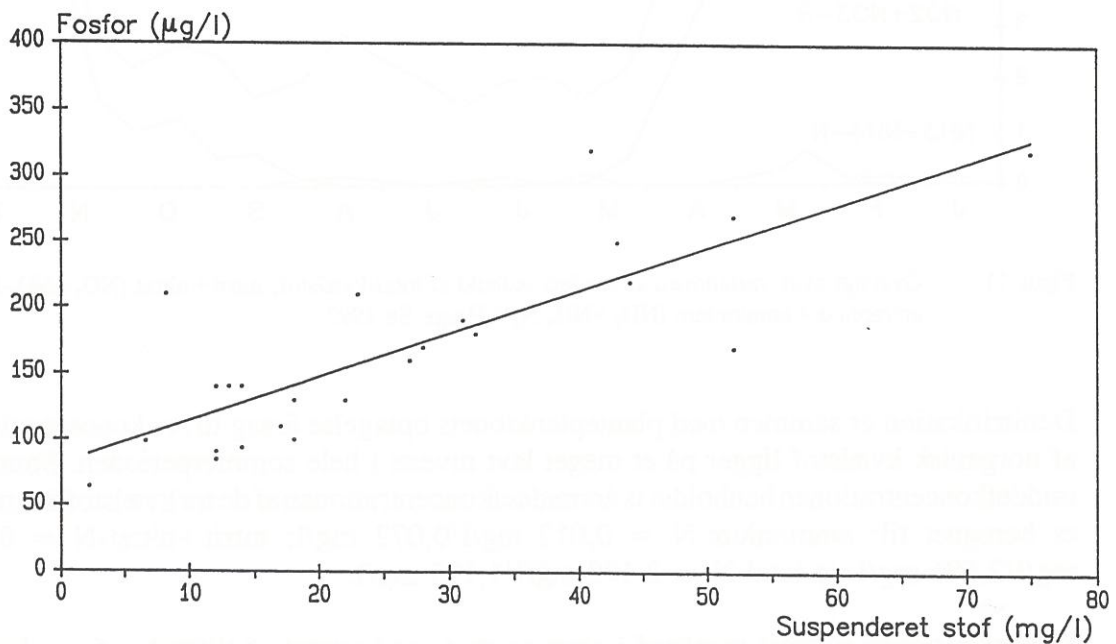
Variationen af suspenderet stof i Hinge Sø i 1994 er vist i figur 9.



Figur 9. Oversigt over variationen af suspenderet stof i Hinge Sø 1994. Til sammenligning er vist variationen af planteplanktonbiomassen.

Koncentrationen af suspenderet stof ligger generelt ret højt, og der er ved flere lejligheder registreret betydelige stigninger, hvilket må tilskrives omfattende resuspension af sediment samt muligvis også tilførsel af betydelige mængder slam mv. via især Mausing Møllebæk. Sommermiddelkoncentrationen er beregnet til 40,0 mg/l og årsmiddelkoncentrationen til 25,0 mg/l.

Mængden af suspenderet stof, incl. planteplankton, er som allerede beskrevet den væsentligste styrende faktor for sigtddybden i Hinge Sø i 1994, og der er tillige registreret en god sammenhæng mellem mængden af suspenderet stof og mængden af total-fosfor i vandfasen, jf. figur 10.

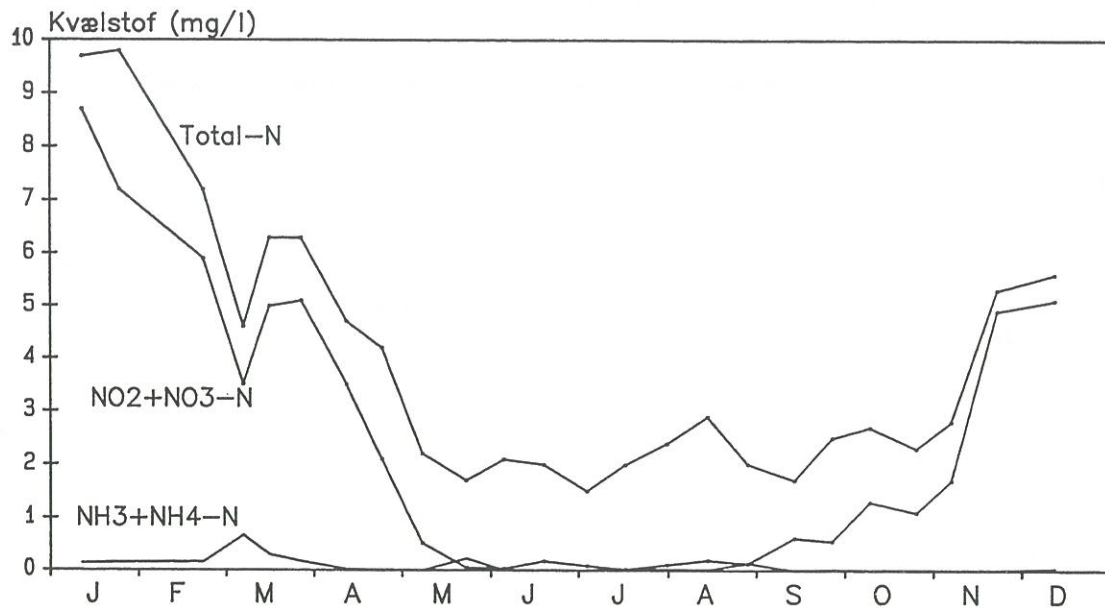


Figur 10. Oversigt over sammenhængen mellem koncentrationen af suspenderet stof og koncentrationen af fosfor i Hinge Sø 1994.

Det betyder, at der i forbindelse med resuspension af sediment tilføres proportionale mængder af fosfor, primært jernbundet og bundet i dødt planteplankton og andre former for partikler. Der foreligger ingen undersøgelser af, hvorledes resuspensionshændelserne påvirker mængden af planktontilgængeligt fosfor i vandet, men det er nærliggende at antage, at resuspensionshændelserne på en eller anden måde har betydning.

5.1.4. Kvælstof

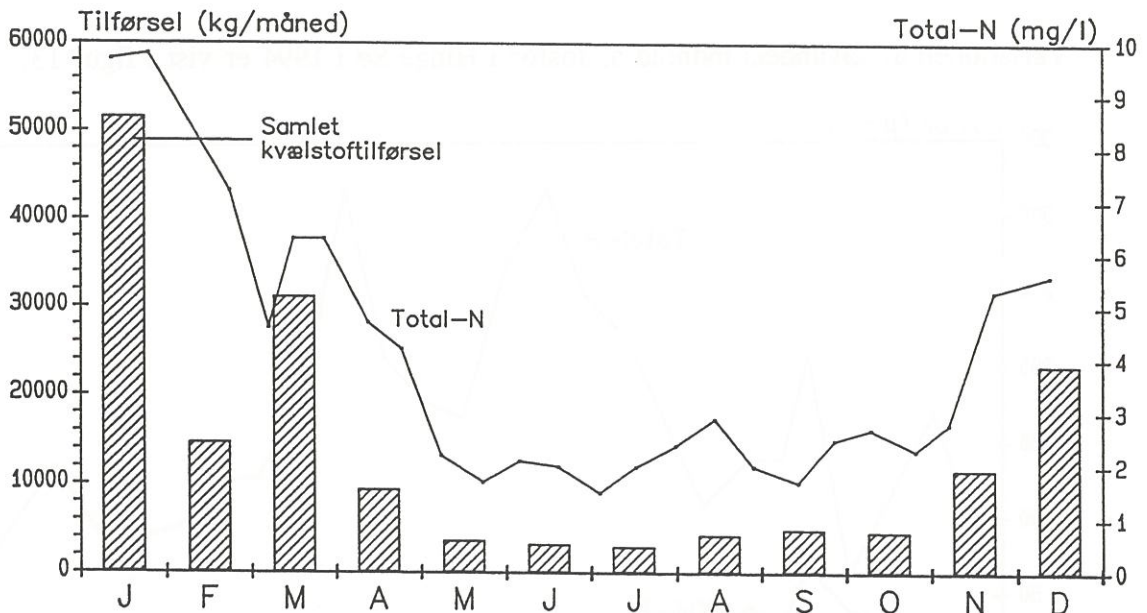
Variationen af vandets indhold af kvælstof i Hinge Sø i 1994 er vist i figur 11. Koncentrationen af kvælstof ligger meget højt i årets første og til dels også sidste måneder, da tilstrømningen fra oplandet er størst på grund af stor udvaskning fra landbrugsarealerne og lavt i sommermånedene, da tilstrømningen er mindst, samtidig med at betydelige mængder kvælstof denitrificeres.



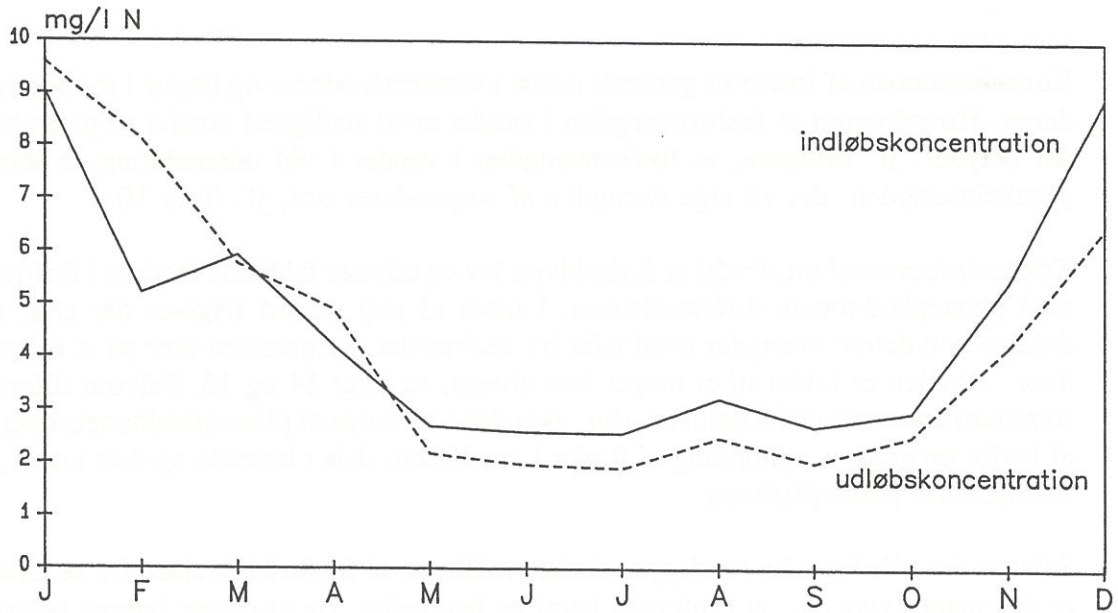
Figur 11. Oversigt over variationen af vandets indhold af total-kvælstof, nitrit+nitrat (NO₂+NO₃-N) og ammoniak+ammonium (NH₂+NH₄-N) i Hinge Sø 1993.

Denitrifikation er sammen med planteplanktonets optagelse årsag til, at koncentrationen af uorganisk kvælstof ligger på et meget lavt niveau i hele sommerperioden. Sommermiddelkoncentrationen henholdsvis årsmiddelkoncentrationen af de tre kvælstoffraktioner er beregnet til: ammonium-N = 0,012 mg/l/0,072 mg/l; nitrit+nitrat-N = 0,249 mg/l/2,696 mg/l og total-N = 2,108 mg/l/4,195 mg/l.

Koncentrationen af total-kvælstof i søen er stort set bestemt af tilførslen fra oplandet, figur 12.



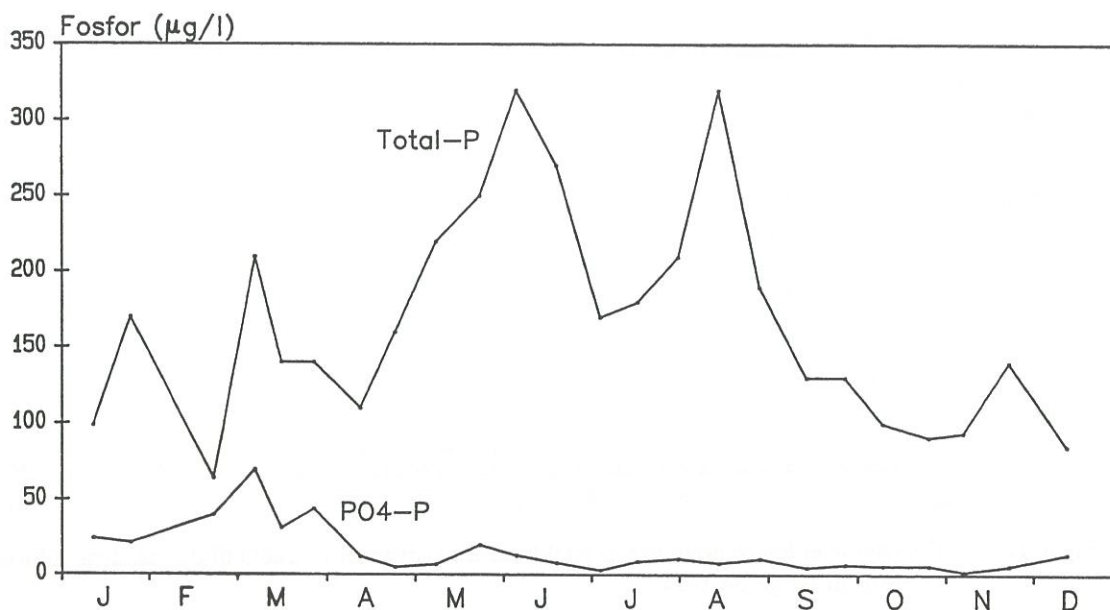
Figur 12a. Oversigt over koncentrationen af total-kvælstof i søvandet i forhold til den samlede tilførsel af kvælstof til Hinge Sø 1994.



Figur 12b. Oversigt over variationen af den gennemsnitlige indløbskoncentration og udløbskoncentration af total-kvælstof i Hinge Sø 1994.

5.1.5. Fosfor

Variationen af søvandets indhold af fosfor i Hinge Sø i 1994 er vist i figur 13.

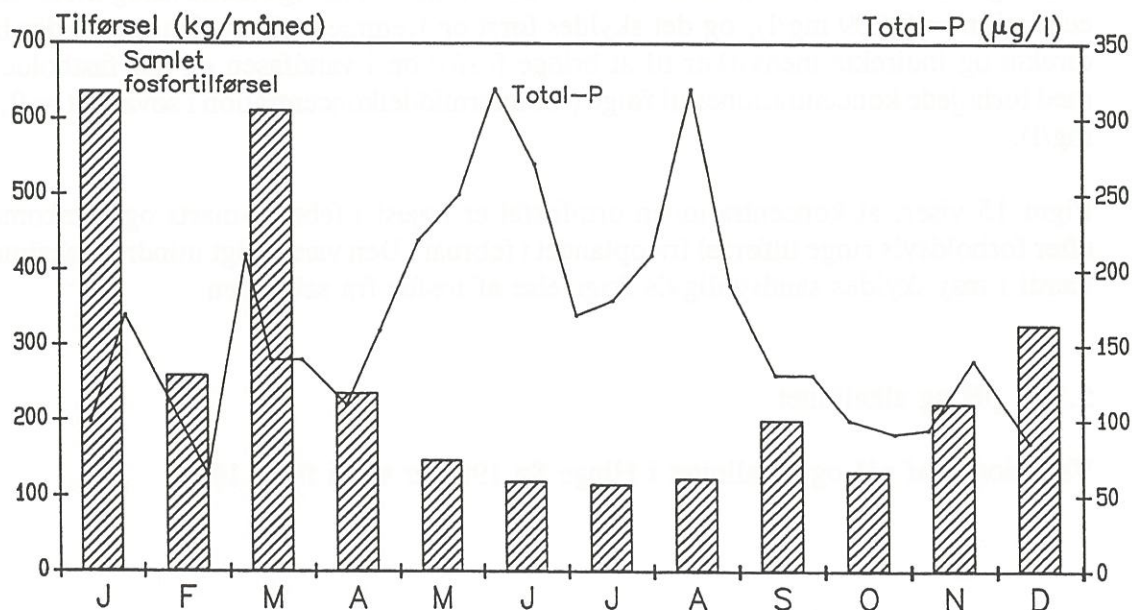


Figur 13. Oversigt over variationen af søvandets indhold af fosfor i Hinge Sø 1994.

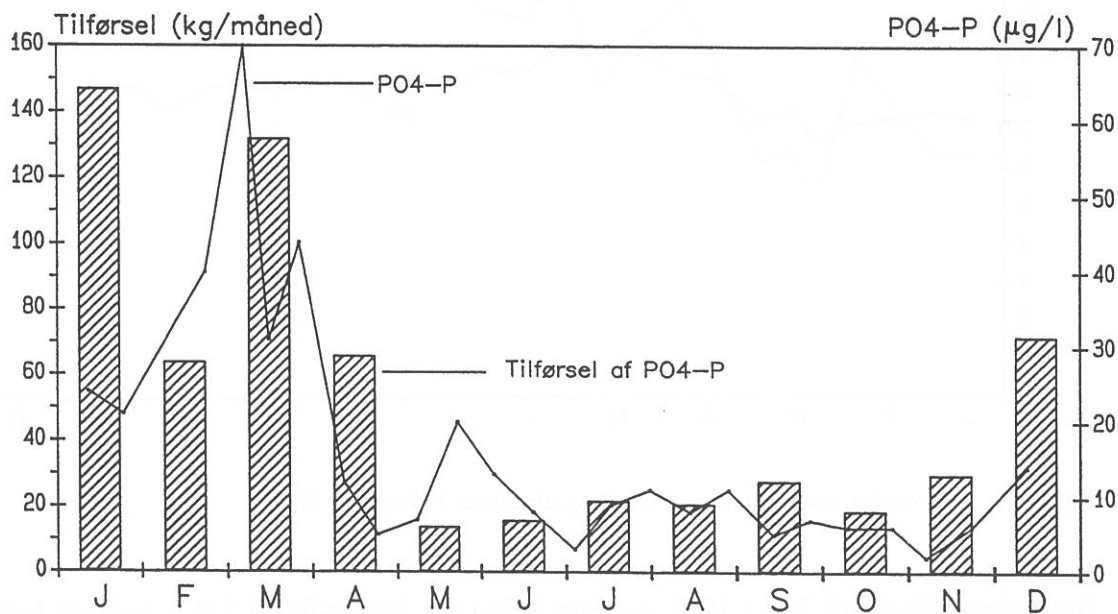
Koncentrationen af fosfor er generelt lavest i vintermånederne og højest i sommermånederne. Hovedparten af fosformængden i vandet er til stadighed bundet til partikler, og det betyder, jf. tidligere, at fosformængden i vandet i vid udstrækning er styret af partikelmængden, det vil sige mængden af suspenderet stof, jf. figur 10.

Koncentrationen af ortofosfat er forholdsvis lav og udviser faldende tendens i forbindelse med planteplanktonets forårsmaksima. I løbet af maj måned frigives der efter alt at dømme betydelige mængder ortofosfat fra sedimentet. Frigivelsen sker på et tidspunkt, hvor tilførslen er faldet til et meget lavt niveau, se figur 14 og 15. Selvom tilførslen i sommermånederne er forholdsvis stor, sker der som følge af planteplanktonets optagelse af fosfor en gradvis ophobning af fosfor i vandfasen, dels i levende og dels i dødt, ikke sedimenteret planteplankton.

Selvom der således ikke foreligger direkte målinger af fosforfrigivelsen fra sedimentet, er der ingen tvivl om, at omfanget heraf er betydeligt, og at denne interne belastning har stor betydning for planktonmængden i søen. Sommermiddelkoncentrationen og årsmiddelkoncentrationen af de to fosforkomponenter er beregnet til: ortho-P = 0,009 mg/l/0,016 mg/l og total-P = 0,218 mg/l/0,161 mg/l. Sidstnævnte værdier er høje og placerer Hinge Sø i gruppen af søer, hvor fosforbelastningen erfaringsmæssigt har ødelagt den oprindelige biologiske struktur. Værdierne er tilmed så høje, at der erfaringsmæssigt ikke er grundlag for at opnå en varig positiv effekt af eksempelvis opfiskning af skidtfisk.



Figur 14. Oversigt over koncentrationen af total-fosfor i søvandet i forhold til den samlede tilførsel af total-fosfor til Hinge Sø 1994.



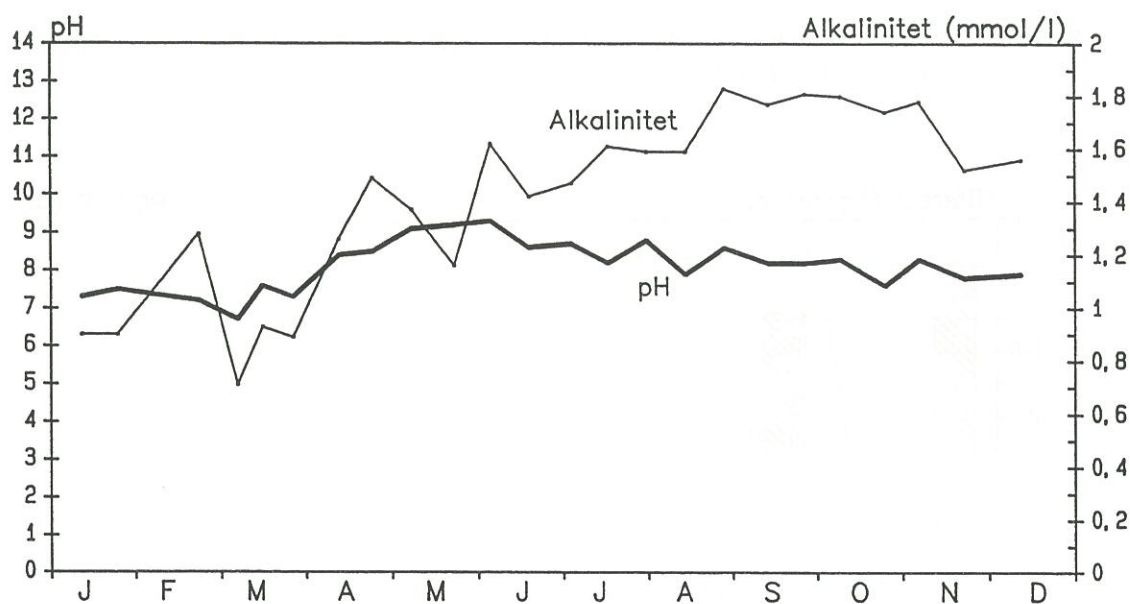
Figur 15. Oversigt over koncentrationen af ortofosfat i søvandet i forhold til den samlede tilførsel af ortofosfat til Hinge Sø 1994.

Figur 14 viser tydeligt, hvorledes vandets indhold af fosfor i sommerperioden langt overstiger det niveau, der kunne forventes ud fra tilførslerne (gennemsnitlig indløbskoncentration = 0,109 mg/l), og det skyldes først og fremmest planteplanktonet, der både direkte og indirekte medvirker til at bringe fosfor op i vandfasen og der fastholde det med forhøjede koncentrationer til følge (sommermiddelkoncentration i søvandet = 0,218 mg/l).

Figur 15 viser, at koncentrationen ortofosfat er højest i februar-marts og forekommer efter forholdsvis ringe tilførsel fra oplandet i februar. Den væsentligt mindre maksimumværdi i maj skyldes sandsynligvis frigivelse af fosfor fra søbunden.

5.1.6. pH og alkalinitet

Variationen af pH og alkalinitet i Hinge Sø 1994 er vist i figur 16.



Figur 16. Oversigt over variationen af pH og alkalinitet i Hinge Sø 1994.

Søvandets pH-værdi har i 1994 varieret inden for intervallet 6,7-9,3 med de højeste værdier i forbindelse med planteplanktonets forårsmaksimum. I løbet af sommeren når pH ikke over 8,8, antagelig som følge af mindre planktonproduktivitet i forbindelse med det kølige og mere nedbørsrige vejr fra medio august, da planteplanktonet var domineret af blågrønalger, jf. senere.

Alkaliniteten har i 1994 varieret inden for intervallet 0,71-1,83 mmol/l med de højeste værdier i sommer- og efterårsperioden.

Både pH og alkalinitet karakteriserer Hinge Sø som en neutral til svagt basisk sø.

5.1.7. Silicium

Vandets indhold af silicium, der har stor betydning for kiselalgerne i søen, er nærmere omtalt i afsnit 7.1.2.

5.2. Udvikling 1989-1994

I bilag 3 findes ajourførte tabeller og grafer, der viser det tidsmæssige forløb af de målte vandkemiske og fysiske variabler siden 1988. I det følgende er der foretaget en sæsonmæssig sammenligning mellem de enkelte år for de vigtigste vandkemiske og -fysiske variabler: sigtddybe, kvælstof, fosfor og klorofyl-a. Tabel 12 indeholder en oversigt over sommergennemsnittene, og i bilag 3 findes en mere detaljeret oversigt over variationen af de enkelte variabler.

	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Sigtddybe (m)	0,52	0,56	0,53	0,56	0,41	0,50
Total-kvælstof (mg/l)	1,65	2,09	2,04	2,16	2,62	1,78
Total-fosfor (mg/l)	0,19	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17
Klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)	96	119	114	114	159	107
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Sigtddybe (m)	0,40					
Total-kvælstof (mg/l)	2,11					
Total-fosfor (mg/l)	0,22					
Klorofyl-a ($\mu\text{g/l}$)	173					

Tabel 12. Sommergennemsnit (1. maj - 30. september) af 4 vigtige tilstandsvariabler i Hinge Sø i årene 1988-1994, se også bilag 3.

Sommermiddelsigtddybden har i hele perioden ligget på et meget lavt niveau med et foreløbigt minimum på kun 0,40 m i 1994 og et foreløbigt maksimum på 0,56 m i 1989.

Den dårlige sigtddybe kan i vid udstrækning relateres til mængden af planteplankton, udtrykt ved koncentrationen af klorofyl-a. Den hidtil laveste sigtddybe i 1994 er i overensstemmelse hermed sammenfaldende med den hidtil højeste sommermiddelkoncentration af klorofyl-a på 173 $\mu\text{g/l}$.

Koncentrationen af planteplankton, og dermed af klorofyl-a, er i meget vid udstrækning bestemt af næringsstofkoncentrationerne, først og fremmest fosforkoncentrationen, og det er derfor ikke overraskende, at den høje sommermiddelkoncentration af klorofyl-a er sammenfaldende med den hidtil højeste sommermiddelkoncentration af fosfor på 0,22 mg/l. Til gengæld har sommermiddelkoncentrationen af kvælstof i 1994 ligget på stort

set samme niveau som i de foregående år i perioden, og der ses ingen tydelig sammenhæng mellem koncentrationerne af kvælstof og klorofyl-a.

Set under ét karakteriserer de foreliggende 7 års målinger Hinge Sø som meget næringsrig. Sommermiddelkoncentrationen af både fosfor og kvælstof placerer søen nær gennemsnittet for samtlige søer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, jf. (Jensen et al., 1994).

De forholdsvis ensartede sommermiddelkoncentrationer af næringsstoffer betyder, at planteplanktonet har haft et forholdsvis stabilt næringsstofgrundlag i perioden, og den store år-til-år-variation, som er registreret med hensyn til planteplanktonets biomasse, må primært ses som et resultat af vejrforholdene. Disse har dels en direkte betydning i form af lysindstråling og temperatur, men derudover er der en indirekte betydning i form af indflydelsen på fiskenes ynglesucces, idet stor produktion af fiskeyngel skaber et stort predationstryk på dyreplanktonet og dermed et mindsket græsningstryk på planteplanktonet.

Som følge af de årligt tilbagevendende planktonopblomstringer med sommermiddel-sigtedybder på omkring 0,5 meter hører Hinge Sø til blandt de mest uklare søer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, jf. (Jensen et al., 1994).

7. Plankton

Plante- og dyreplanktonet i Hinge Sø er i 1994 beskrevet på grundlag af 24 prøvetagninger. Bilag 5 indeholder de væsentligste resultater af planktonanalyserne.

7.1. Planteplankton 1994

7.1.1. Artssammensætning

Der er i 1994 registreret i alt 186 arter/identifikationstyper inden for 11 taksonomiske hovedgrupper, tabel 13.

Hovedgruppe	Antal arter/identifikationstyper
Blågrønalger (Nostocophyceae)	36
Rekylalger (Cryptophyceae)	6
Furealger (Dinophyceae)	8
Gulalger (Chrysophyceae)	12
Koblingsalger (Conjugatophyceae)	5
Kiselalger (Diatomophyceae)	25
Gulgrønalger (Tribophyceae)	2
Stilkalger (Prymnesiophyceae)	1
Øjealger (Euglenophyceae)	7
Grønalger (Chlorophyceae)	77
Øvrige	7

Tabel 13. Oversigt over taksonomiske hovedgrupper og antal arter/identifikationsgrupper i de enkelte hovedgrupper af planteplankton i Hinge Sø 1994.

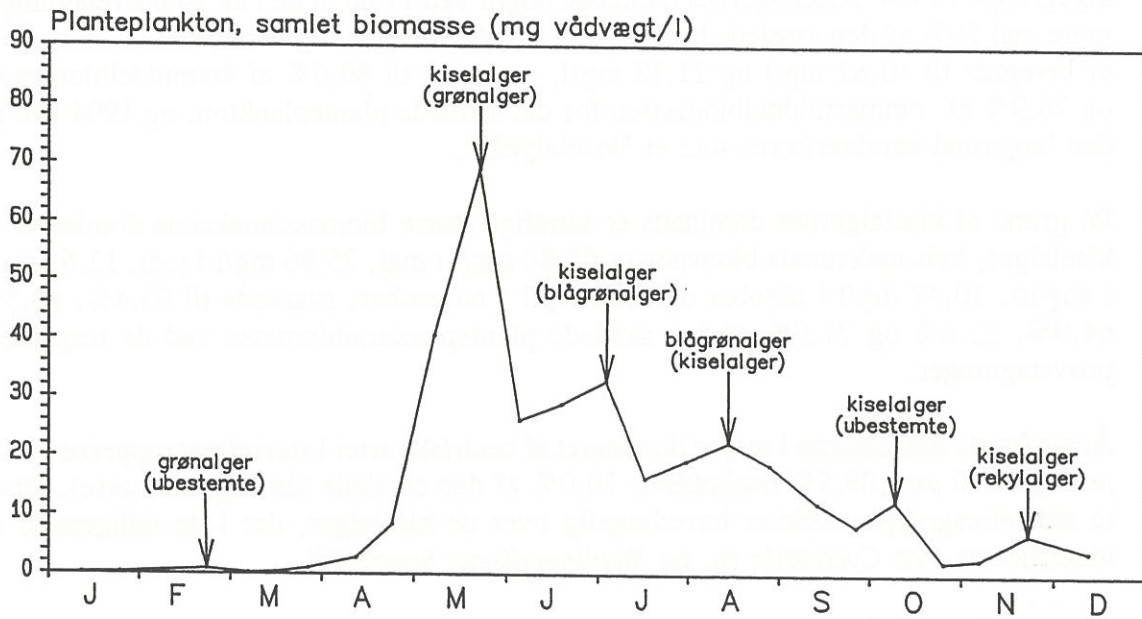
Grønalger er dominerende med hensyn til antal arter/identifikationsgrupper, efterfulgt af kiselalger og blågrønalger. Disse tre grupper rummer tilsammen ca. 74% af det samlede antal arter/identifikationsgrupper. De øvrige hovedgrupper af planteplankton er nogenlunde ligeligt fordelt med hensyn til antal arter/identifikationsgrupper.

7.1.2. Biomasse

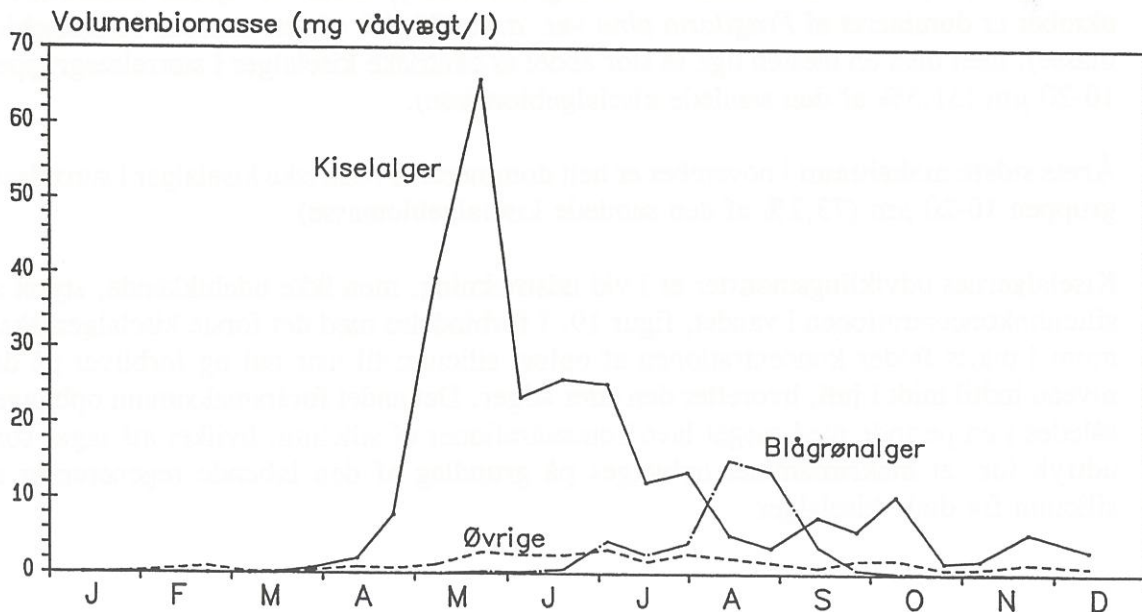
Variationen af den samlede planteplanktonbiomasse i 1994 er vist i figur 17, mens figur 18 viser biomassens fordeling på de vigtigste planteplanktongrupper.

Der er i 1994 registreret 1 stort biomassemaksimum og 5 mindre maksima. Det første maksimum i slutningen af marts er meget lille og når kun op på 0,91 mg/l. Det andet maksimum forekommer midt i maj og når op på 69,07 mg/l. Dette maksimum er både årsmaksimum og kiselalgernes maksimum. Det tredje maksimum forekommer i begyndelsen af juli og når op på 32,94 mg/l.

I august forekommer der et mindre maksimum på 22,54 mg/l, fortrinsvis dannet af blågrønalger. I begyndelsen af oktober forekommer der et lille maksimum på 10,47 mg/l. Årets sidste maksimum forekommer i slutningen af november og når op på kun 7,09 mg/l.



Figur 17. Oversigt over variationen af den samlede planteplanktonbiomasse i Hinge Sø 1994. Pilene viser de enkelte maksima med angivelse af den dominerende gruppe; i parentes er angivet den subdominerende gruppe.



Figur 18. Oversigt over variationen af biomassen af de vigtigste grupper af planteplankton i Hinge Sø 1994.

Planteplanktonets årsmiddelbiomasse er for 1994 beregnet til 13,28 mg/l, mens sommermiddelbiomassen er beregnet til 27,46 mg/l.

Kiselalger

Kiselalgerne har som allerede nævnt været den mængdemæssigt helt dominerende algegruppe i 1994. Kiselalgernes biomasse udgør ved 17 ud af de i alt 24 prøvetagninger mere end 50% af den samlede biomasse. Kiselalgernes års- og sommermiddelbiomasse er beregnet til 10,62 mg/l og 21,12 mg/l, svarende til 80,0% af årsmiddelbiomassen og 76,9% af sommermiddelbiomassen for det samlede planteplankton, og 1994 kan på den baggrund karakteriseres som et "kiselalgeår".

På grund af kiselalgernes dominans er samtlige større biomassemaxima domineret af kiselalger, hvis maksimale biomasse er 65,86 mg/l i maj, 25,86 mg/l i juni, 12,61 mg/l i august, 10,47 mg/l i oktober og 5,52 mg/l i november, svarende til 95,4%, 89,3%, 64,9%, 82,6% og 77,9% af den samlede planteplanktonbiomasse ved de respektive prøvetagninger.

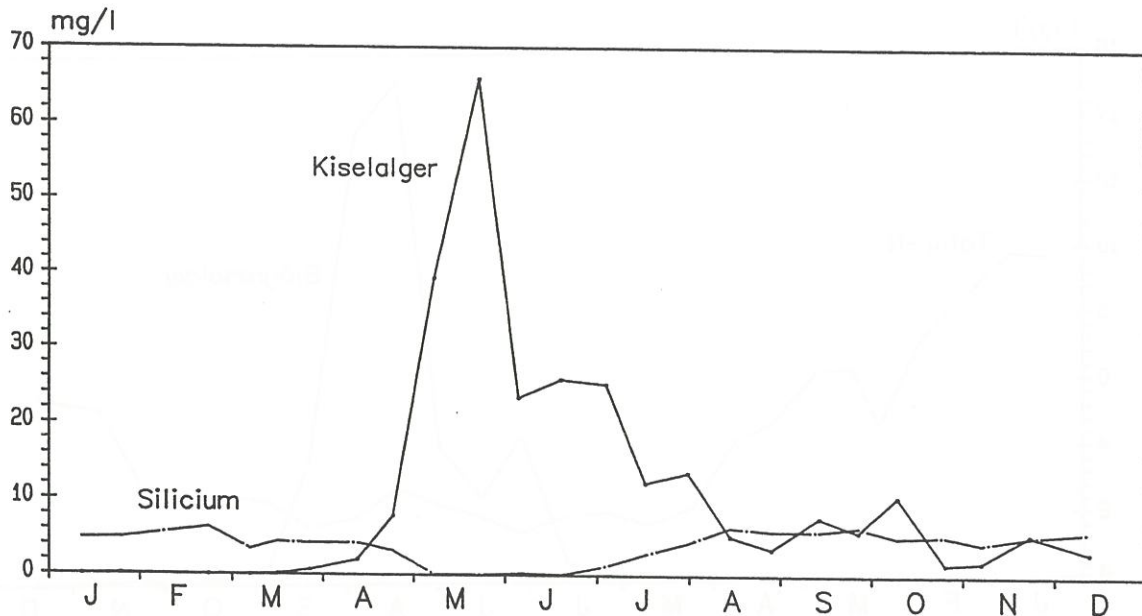
Årets første maksimum i maj er domineret af centriske arter i størrelsesgrupperne 10-20 μm og $< 10 \mu\text{m}$ (89,5% henholdsvis 10,0% af den samlede kiselalgebiomasse). Disse to størrelsesgrupper dækker hovedsagelig over de kiselalger, der i de tidligere år er identificeret som *Cyclotella* sp. og *Stephanodiscus hantzschii*.

Årets andet maksimum i juni er dannet af næsten lige store mængder (49% henholdsvis 50%) af de to størrelsesgrupper (10-20 μm og $< 10 \mu\text{m}$).

Årets tredje maksimum i juli-august er næsten udelukkende dannet af størrelsesgruppen $< 10 \mu\text{m}$ (75,3% af den samlede kiselalgebiomasse), mens det fjerde maksimum i oktober er domineret af *Fragilaria ulna* var. *acus* (38,7% af den samlede kiselalgebiomasse), men med en næsten lige så stor andel af centriske kiselalger i størrelsesgruppen 10-20 μm (31,5% af den samlede kiselalgebiomasse).

Årets sidste maksimum i november er helt domineret af centriske kiselalger i størrelsesgruppen 10-20 μm (73,2% af den samlede kiselalgebiomasse).

Kiselalgernes udviklingsmønster er i vid udstrækning, men ikke udelukkende, styret af siliciumkoncentrationen i vandet, figur 19. I forbindelse med det første kiselalgemaksimum i marts falder koncentrationen af opløst silicium til nær nul og forbliver på det niveau indtil midt i juli, hvorefter den atter stiger. Det andet forårsmaksimum opbygges således i en periode med meget lave koncentrationer af silicium, hvilket må tages som udtryk for, at maksimummet opbygges på grundlag af den løbende regenerering af silicium fra døde kiselalger.



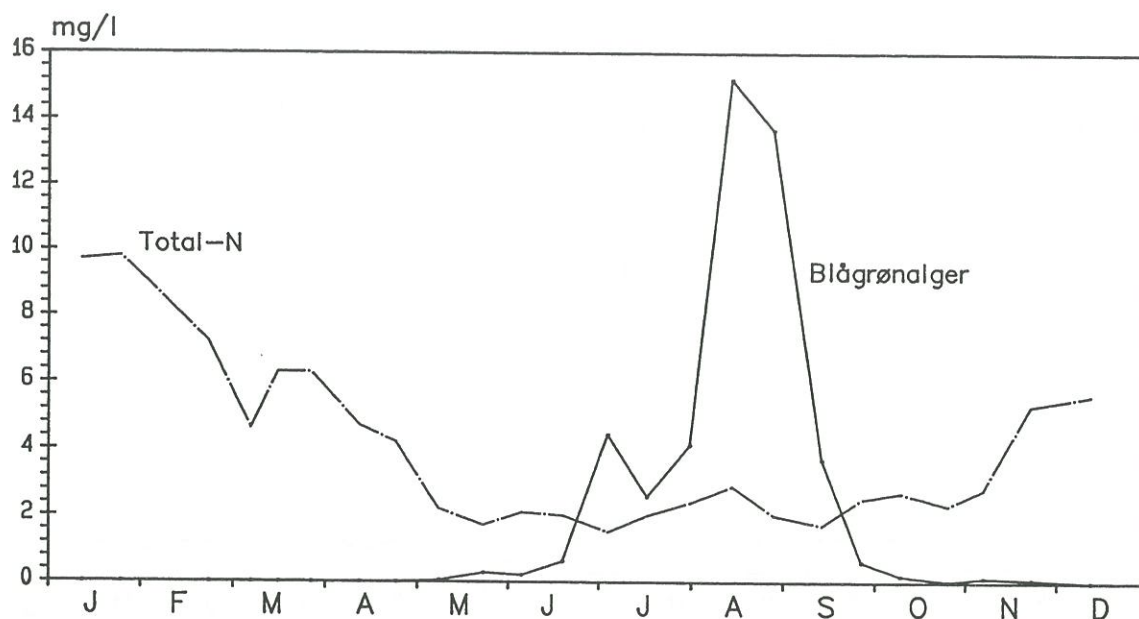
Figur 19. Oversigt over variationen af kiselalgebiomassen (mg/l vådvægt) og koncentrationen af opløst silicium (mg/l) i Hinge Sø 1994.

Blågrønalger

Blågrønalgenes mængdemæssige forekomst har i 1994 været betydelig i sommerperioden, se figur 20. Den maksimale biomasse er på 15,21 mg/l i midten af august, svarende til 67,5% af den samlede planteplanktonbiomasse. Den gennemsnitlige sommerbiomasse er beregnet til 4,23 mg/l, og den gennemsnitlige biomasse i den periode, hvor blågrønalger forekommer, er beregnet til 3,02 mg/l.

Blågrønalgenes årsmaksimum medio august er domineret af *Microcystis aeruginosa*, men med samtidig hyppig forekomst af *Woronochinia cf. compacta* og *Coelomoron pusillum*, og sidstnævnte er dominerende i slutningen af august. Ingen af de tre nævnte arter er kvælstoffikserende, og der ses derfor ingen stigning i vandets kvælstofindhold i forbindelse med blågrønalgemaksimaet.

Blågrønalgenes forholdsvis ringe udvikling hænger utvivlsomt sammen med, at vejret efter midten af august var køligt og regnfuldt, hvilket har været til ugunst for de forholdsvis langsomt voksende blågrønalger, der begunstiges af varmt og solrigt vejr. Hvis det varme, solrige vejr var fortsat i 2-3 uger, ville blågrønalgemaksimaet antagelig være blevet større.



Figur 20. Oversigt over variationen af blågrønalgebiomassen (mg/l vådvægt) i Hinge Sø 1994. Til sammenligning er vist vandets indhold af total-kvælstof (mg/l).

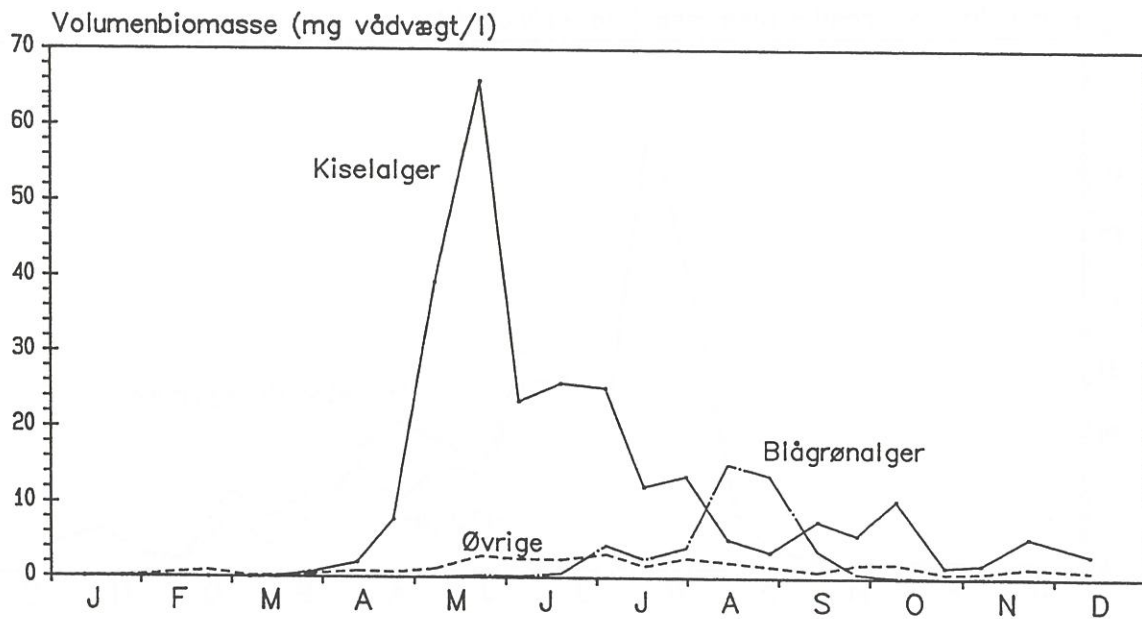
Øvrige

På grund af en generelt lille biomasse er de resterende 8 hovedgrupper slået sammen i gruppen "øvrige", og i denne gruppe er det kun grønalger, rekylalger og "ubestemte former", der har mængdemæssig betydning, figur 21.

Grønalgernes biomasse når maksimalt op på ca. 31% af den samlede biomasse i februar, men grønalgernes maksimumbiomasse på 2,244 mg/l i maj udgør kun ca. 3% af den samlede biomasse. Ud af de i alt 56 arter/grupper er der kun 2, *Scenedesmus* spp. og *Pediastrum* spp., der opnår biomasser af en vis betydning.

I gruppen af "ubestemte former" findes især en række meget små alger samt ubestemte flagellater. Gruppen har årsmaksimum (1,698 mg/l) i begyndelsen af juli, da biomassen udgjorde ca. 5% af den samlede biomasse. I oktober havde gruppen af "ubestemte former" et mindre maksimum.

Rekylalgerne havde i 1994 årsmaksimum (1,324 mg/l) i november, da deres biomasse udgjorde ca. 19% af den samlede biomasse. Rekylalgernes første maksimum (1,312 mg/l) i begyndelsen af august udgjorde kun 7% af den samlede biomasse.

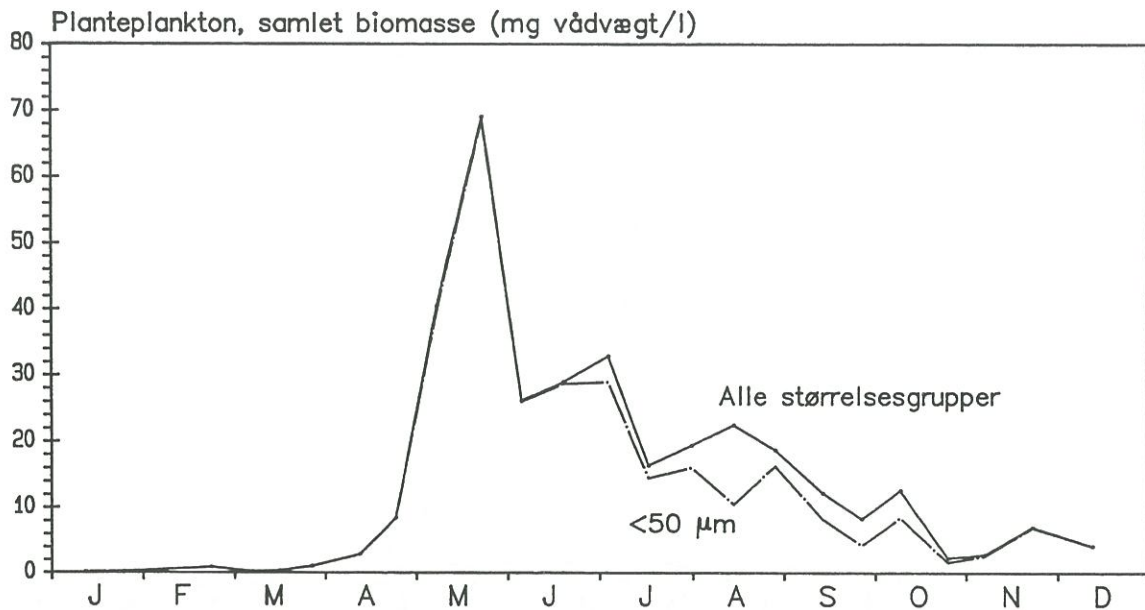


Figur 21. Oversigt over variationen af biomassen af de vigtigste planteplanktongrupper i gruppen "øvrige" i Hinge Sø 1994.

7.1.3. Størrelsesforhold

På grund af kiselalgernes dominans er planteplanktonbiomassen gennem hovedparten af året domineret af små arter/former ($< 50 \mu\text{m}$), figur 22.

Denne dominans af små planktonorganismer er ensbetydende med, at hovedparten af planteplanktonet til stadighed er tilgængeligt som føde for dyreplanktonet, jf. senere.



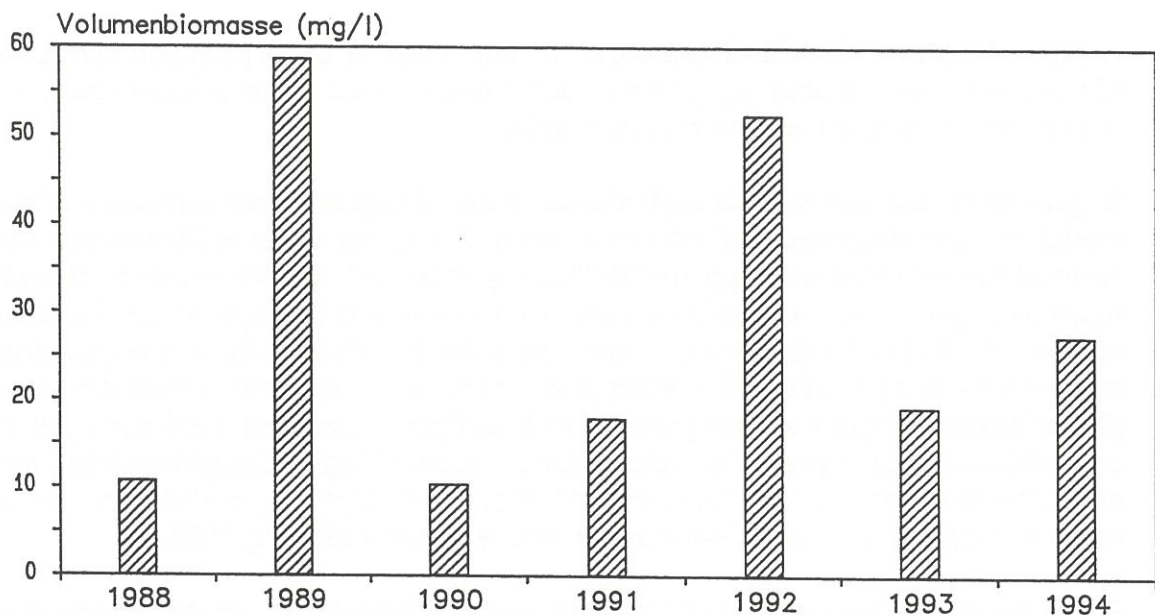
Figur 22. Oversigt over variationen af biomassen af planteplankton <50 µm i forhold til den samlede planteplanktonbiomasse.

7.2. Planteplankton 1989-1994

I bilag 5 findes en oversigt over planteplanktonets strukturemæssige variation i perioden 1988-1994.

7.2.1. Biomasse

I perioden 1988-1994 er der registreret meget stor variation af planteplanktonets gennemsnitlige sommerbiomasse, se figur 23 og bilag 5.0.



Figur 23. Oversigt over variationen af planteplanktonets sommermiddelbiomasse i Hinge Sø i årene 1988-1994.

Det er karakteristisk, at år med høje sommermiddelbiomasser også er år med masseopblomstring af blågrønalger i sommerperioden, mens år med lave sommermiddelbiomasser er år med dominans af kiselalger i både forårsperioden og i sommerperioden. På baggrund af disse mængdemæssige forskelle kan årene 1989 og 1992 karakteriseres som "blågrønalg-år", mens årene 1988, 1990, 1991 og 1993 kan karakteriseres som "kiselalge-år". 1994 er også et "kiselalge-år", men med en ikke ubetydelig forekomst af blågrønalger.

Hinge Sø er på grund af ringe vanddybde og forholdsvis kort opholdstid ingen typisk blågrønalgese, men derimod snarere en kiselalgese. I meget varme og nedbørsfattige somre, da vandets opholdstid bliver længere end i normale somre, er der imidlertid mulighed for masseopblomstring af blågrønalger. Masseopblomstringen sker ikke primært på grundlag af næringsstofmængden i søens vandmasser, der i forbindelse med opblomstringen er fattige på uorganisk kvælstof og fosfor.

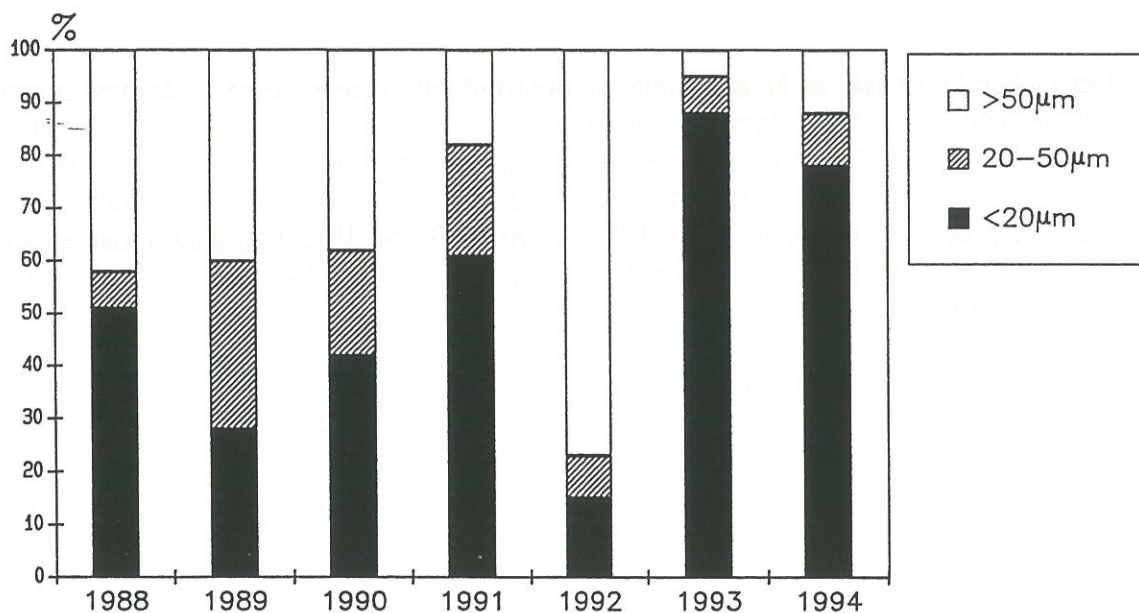
I 1992 har blågrønalgemaksimaet været dannet af den kvælstoffikserende art *Anabaena circinalis*, der har kunnet kompensere for den manglende kvælstof i vandet gennem fiksering af luftformig kvælstof fra atmosfæren. De nødvendige (store) mængder fosfor stammer utvivlsomt fra søbunden, hvorfra der sker frigivelse i forbindelse med lavt iltindhold i sedimentet og det helt bundnære vandlag.

7.2.2. Artssammensætning og struktur

Antallet af arter og identifikationsgrupper har i de senere år ligget på et højt niveau, og når der ses bort fra arter og grupper, der optræder med ringe individtæthed, har artssammensætningen i søen været meget stabil.

Et gennemgående træk ved planteplanktonet er den tilbagevendende forekomst af små kiselalger, især slægterne *Cyclotella* og *Stephanodiscus*, der senest er identificeret som "centriske arter i størrelsesgrupperne 10-20 μm og < 10 μm ". Kiselalgerne er hurtigtvoksende og er godt tilpasset forholdene i søer med forholdsvis kort opholdstid. De dominerer altid i forårsperioden, men i sommerperioden kan de i særlig varme og solrige somre som i 1989 og 1992 blive afløst af blågrønalger; i "normale" somre domineres planteplanktonet også i sommerperioden af kiselalger. Sommeren 1994 var i juli og begyndelsen af august præget af forhold, der kan udløse blågrønalgelopblomstring, men det pludselige vejrskifte i midten af august betød, at det blågrønalgemaksimum, der var under opbygning, ikke nåede samme høje niveauer som i 1989 og 1992.

Planteplanktonets størrelsesforhold varierer meget, afhængig af, om der er dominans af kiselalger eller blågrønalger. Figur 24 viser, hvorledes de tre størrelsesfraktioner, < 20 μm , 20-50 μm og > 50 μm , har varieret i perioden 1988-1994.



Figur 24. Oversigt over fordelingen af de tre størrelsesgrupper af planteplankton i Hinge Sø i perioden 1988-1994.

Det fremgår af figuren, at de små fraktioner af planteplanktonet (< 50 μm) de fleste år udgør hovedparten af biomassen, men at i år med masseopblomstring af blågrønalger bliver deres andel mindre, samtidig med at de totale biomasser er væsentligt forhøjede. De store fraktioner (> 50 μm) udgør dog i de fleste år en væsentlig del af den samlede biomasse, og det betyder, at væsentlige dele af biomassen i almindelighed ikke kan

reguleres af dyreplanktonet. Planteplanktonet i 1993 og 1994 udmærker sig ved at have været helt domineret af størrelsesfraktionen $< 20 \mu\text{m}$, der samtidig har antaget de højeste værdier i hele perioden 1988-1994.

7.3. Dyreplankton 1994

Dyreplanktonet i Hinge Sø er i 1994 beskrevet på grundlag af 24 prøvetagninger. Bilag 5 indeholder de væsentligste data fra dyreplanktonanalyserne.

7.3.1. Artssammensætning

Der er i 1994 registreret i alt 62 arter/identifikationsgrupper inden for 3 taksonomiske hovedgrupper, tabel 14.

Hovedgruppe	Antal arter/identifikationstyper
Vandlopper (Copepoda)	14
Dafnier (Cladocera)	18
Hjuldyr (Rotifera)	30

Tabel 14. Oversigt over taksonomiske hovedgrupper og antal arter/identifikationstyper i de enkelte hovedgrupper af dyreplankton i Hinge Sø 1994.

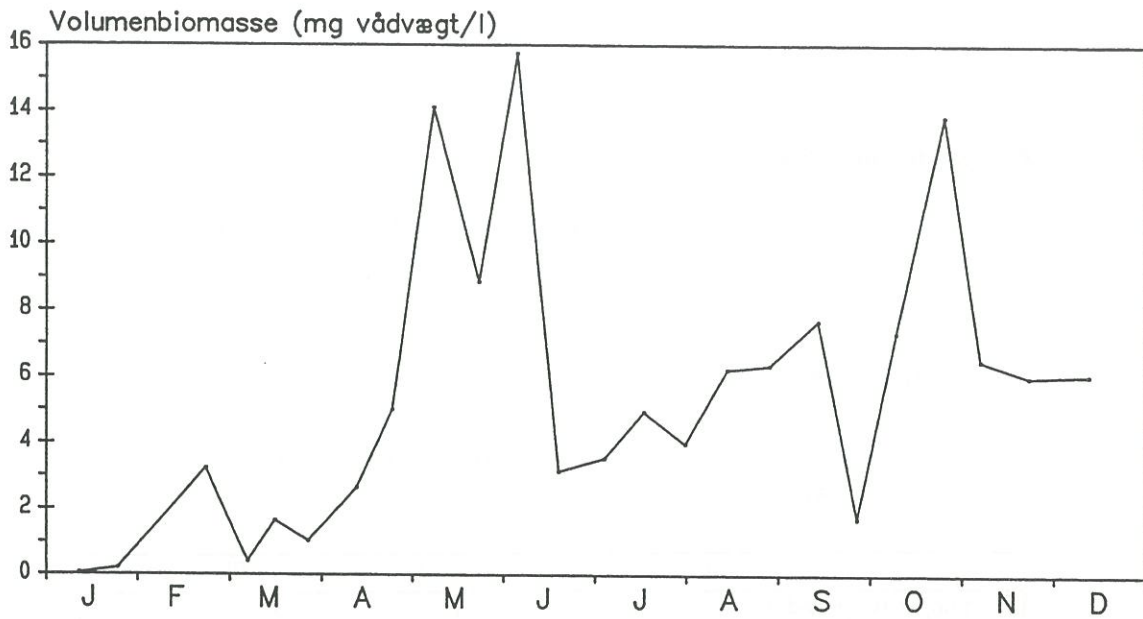
Foruden de i tabel 14 nævnte 3 hovedgrupper er der ved enkelte prøvetagninger registreret vandmider (*Hydracarinae* indet.).

Hjuldyrene er den artsrigeste af de tre grupper efterfulgt af dafnierne, mens vandlopperne er den mest artsfattige gruppe. En samlet oversigt over samtlige arter og identifikationsgrupper er vist i bilag 5.

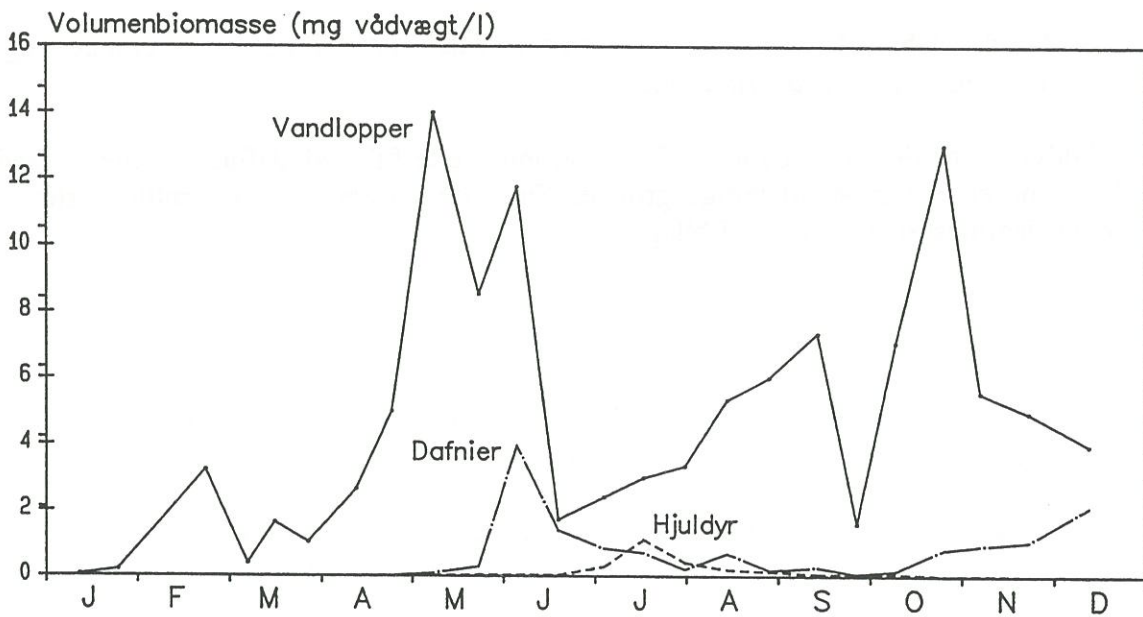
7.3.2. Biomasse

Variationen af dyreplanktonets samlede biomasse er vist i figur 25, og variationen af de tre gruppers biomasse er vist i figur 26.

Dyreplanktonets årsmiddelbiomasse er beregnet til 5,34 mg/l vådvægt, og sommermiddelbiomassen er beregnet til 7,17 mg/l vådvægt. Begge disse værdier er forholdsvis lave.



Figur 25. Oversigt over variationen af dyreplanktonets samlede biomasse i Hinge Sø 1994.



Figur 26. Oversigt over fordelingen af den samlede dyreplanktonbiomasse på de tre grupper - hjuldyr, dafnier og vandlopper - i Hinge Sø 1994.

Dyreplanktonets årsmaksimum (15,76 mg/l) forekommer samtidig med kiselalgerens forårsmaksimum i maj og er helt overvejende dannet af cyclopoide vandlopper (75% af den samlede biomasse), se figur 27; i sidste del af det forholdsvis langvarige maksimum opnår dafnierne dog også en betydelig biomasse (3,97 mg/l), svarende til 25% af den samlede biomasse.

Efter forårsmaksimaets sammenbrud ligger biomassen på et lavt, men svagt stigende niveau frem til oktober, hvor der opbygges et nyt maksimum af næsten samme størrelse som forårsmaksimet (13,84 mg/l). Dette maksimum er helt domineret af cyclopoide vandlopper (94% af den samlede biomasse). I forbindelse med planteplanktonets sommermaksima opbygges der ingen dyreplanktonmaksima.

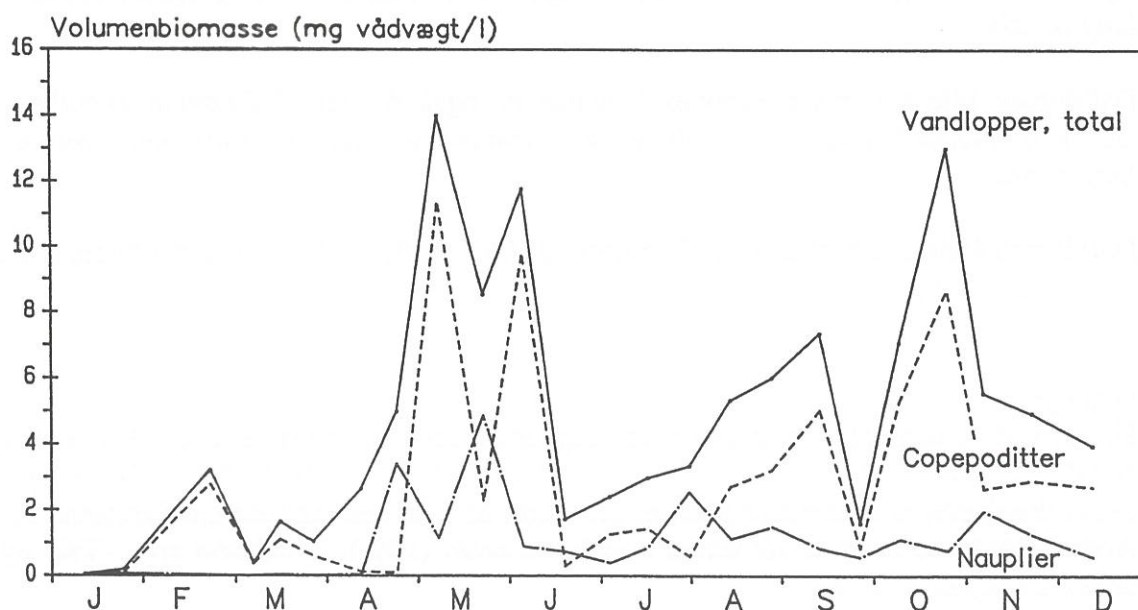
Vandlopper

Vandloppebiomassen er året igennem domineret af voksne individer, mens copepoditter udgør en langt mindre del, og nauplier er uden betydning, se figur 27.

Af de i alt 18 arter/grupper har især én art, den cyclopoide *Cyclops vicinius*, betydning. Den forekommer ved næsten alle prøvetagninger, primært i form af voksne individer, og danner hovedparten af biomassen. Samtlige øvrige cyclopoide arter har en langt mere sporadisk forekomst og spiller kun en underordnet rolle.

Calanoide vandlopper forekommer generelt meget sporadisk og udgør kun en ubetydelig del af den samlede vandloppebiomasse.

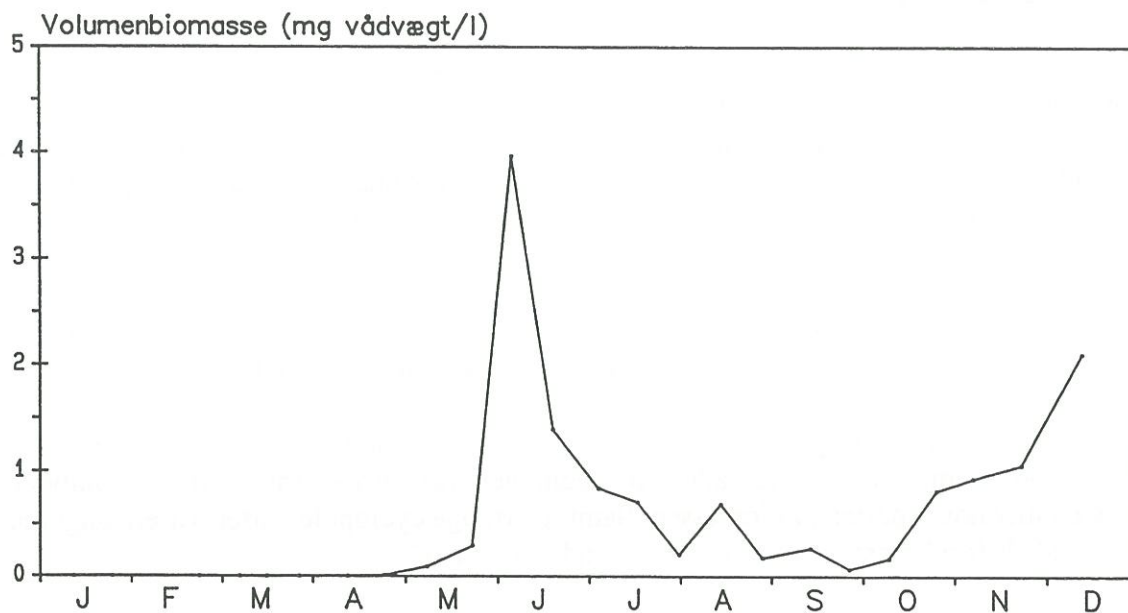
Vandloppernes årsmiddelbiomasse er beregnet til 4,64 mg/l og sommermiddelbiomassen er beregnet til 6,14 mg/l.



Figur 27. Oversigt over variationen den samlede biomasse af vandlopper samt biomassen af nauplier i Hinge Sø 1994.

Dafnier

Af de i alt 14 registrerede dafniearter er én art, *Leptodora kindtii*, rovlevende, men den forekommer meget sporadisk og er uden betydning for den samlede dafniebiomasse. Variationen af den samlede dafniebiomasse er vist i figur 28.



Figur 28. Oversigt over variationen af den samlede biomasse af dafnier i Hinge Sø 1994.

Dafnier er biomassemæssigt stort set ikke til stede i søen førend i slutningen af april. I løbet af maj opbygges der et maksimum, primært bestående af *Daphnia cucullata*, men også med betydelig forekomst af arter som *Daphnia hyalina*, *Bosmina coregoni*, *Bosmina longirostris*.

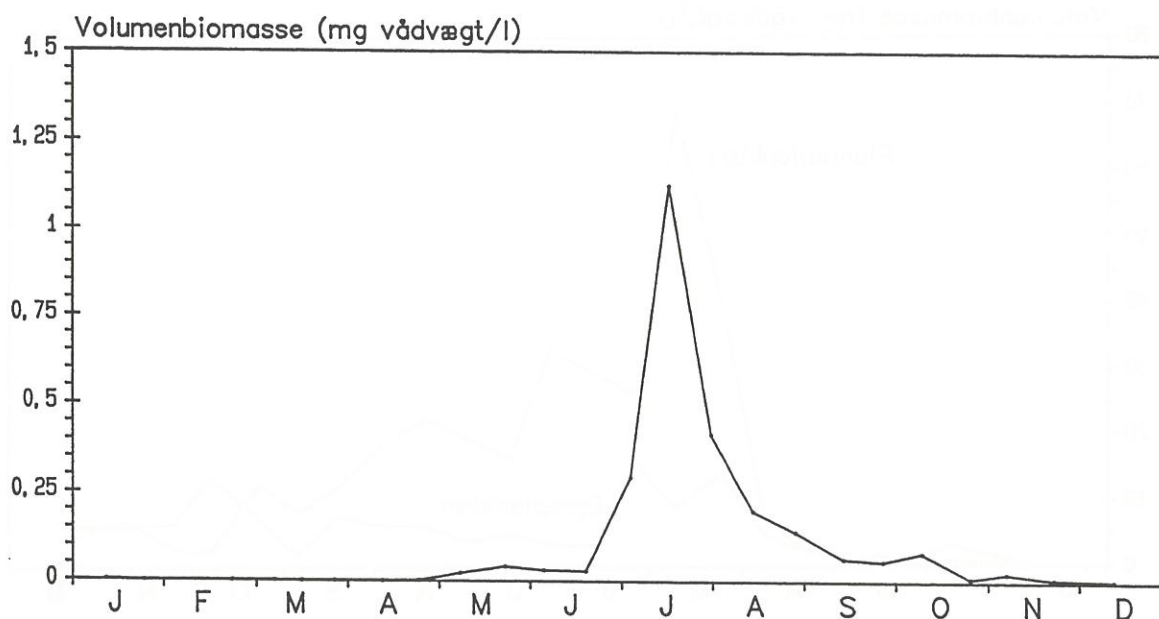
Dafniernes lille sommermaksimum i august er også dannet af *Daphnia cucullata*. Derimod skyldes den stigende dafniebiomasse i årets sidste måneder fortrinsvis *Bosmina longirostris*.

Dafniernes årsmiddelbiomasse er beregnet til 0,62 mg/l, og sommermiddelbiomassen er beregnet til 0,80 mg/l.

Hjuldyr

Hjuldirene er den artsrigeste dyreplanktongruppe, men har stort set ingen kvantitativ betydning i forhold til de to øvrige grupper. Årsmaksimum i juli (1,124 mg/l), se figur 29, er domineret af *Trichocera pusilla*, der udgør 55% af den samlede hjuldyrbiomasse. Andre betydende arter er *Keratella cochlearis tecta* (10%), *Synchaeta* spp. (9%) og ubestemte hjuldyr (22%).

Hjuldirenes årsmiddelbiomasse er beregnet til 0,099 mg/l, og sommermiddelbiomassen er beregnet til 0,221 mg/l.



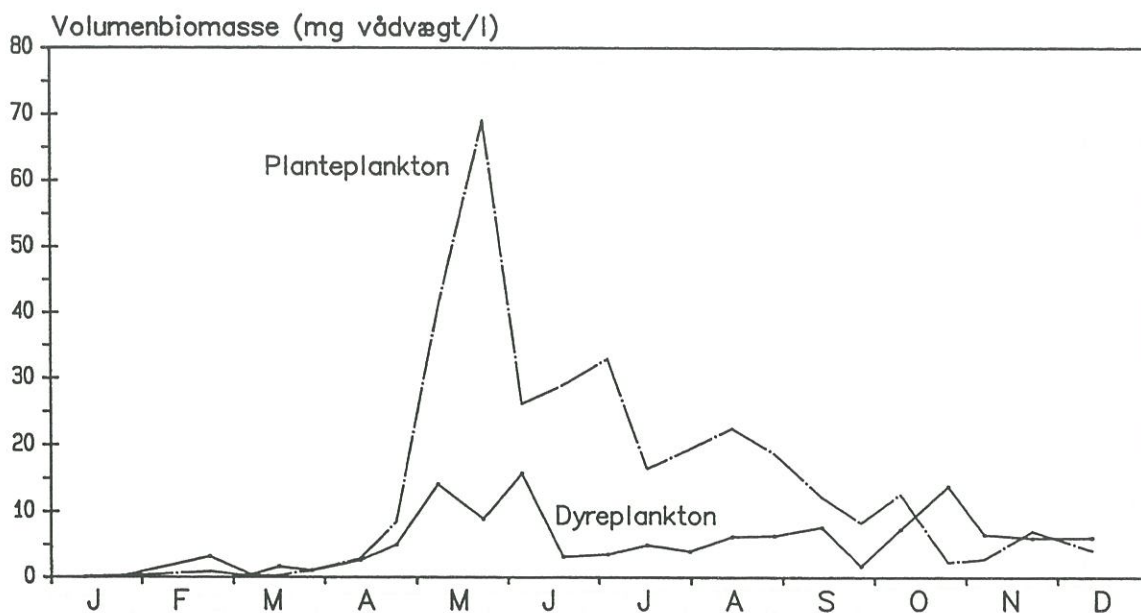
Figur 29. Oversigt over variationen af biomassen af hjuldyr i Hinge Sø 1994.

7.4. Relationer mellem plante- og dyreplankton 1994

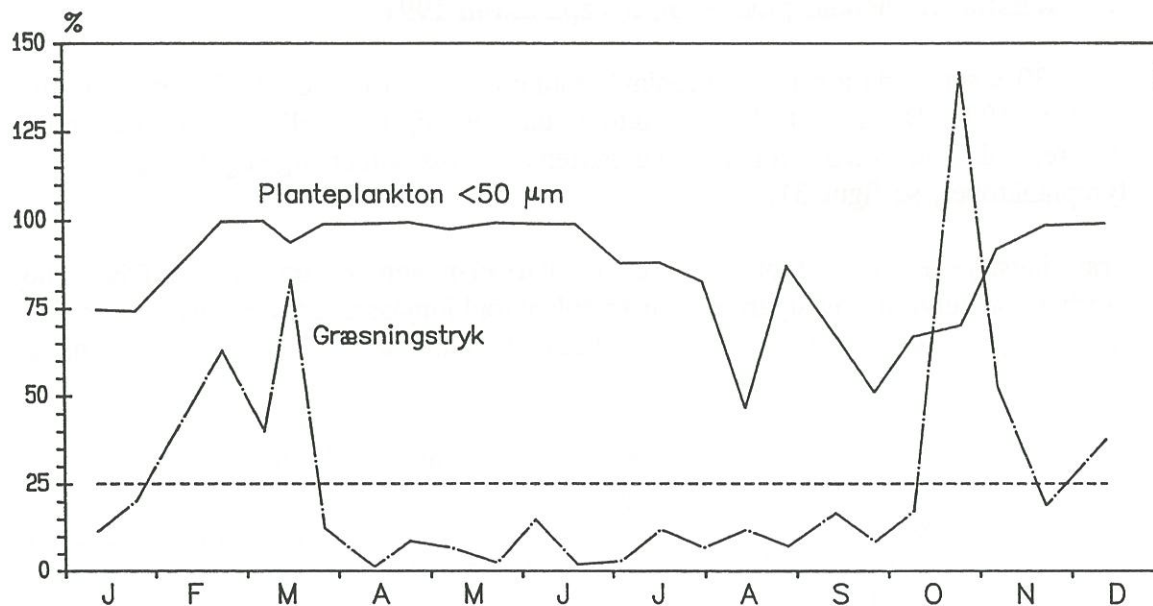
Figur 30 viser variationen af dyreplanktonbiomassen i forhold til planteplanktonbiomassen i 1994. Det ses, at planteplanktonet udvikler sig mere eller mindre uafhængigt af dyreplanktonet til trods for, at hovedparten af biomassen er tilgængelig som føde for dyreplanktonet, se figur 31.

Græsningstrykket når i februar-marts og oktober-november op på forholdsvis høje værdier, og selvom hovedparten af planteplanktonbiomassen er tilgængelig som føde, har det ingen reel betydning, idet planteplanktonbiomassen i de to perioder er ganske ringe.

Omvendt forholder det sig i sommerhalvåret, da planteplanktonbiomassen er høj og tilmed er domineret af små arter/grupper, idet græsningstrykket aldrig når over 20%. Samlet kan det konstateres, at dyreplanktonet i Hinge Sø generelt kun har meget ringe indflydelse på mængden af planteplankton, til trods for at sidstnævnte næsten vedvarende består af små, let tilgængelige arter.



Figur 30. Oversigt over variationen af dyre- og planteplanktonbiomassen i Hinge Sø 1994.



Figur 31. Oversigt over dyreplanktonets potentielle græsningstryk på planteplankton $< 50 \mu\text{m}$ (excl. blågrønalger) i Hinge Sø 1994. Til sammenligning er vist $< 50 \mu\text{m}$ -fraktionens procentuelle andel af den samlede planteplanktonbiomasse. Den vandrette linie angiver det gennemsnitlige græsningstryk.

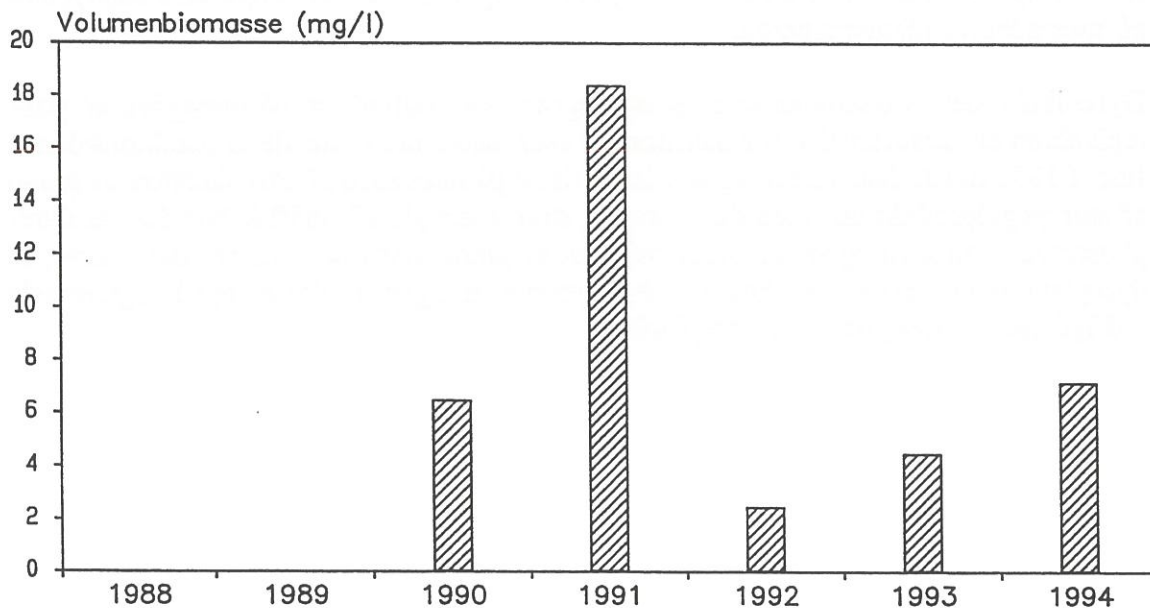
7.5. Dyreplankton 1990-1994

Der foreligger ingen detaljerede dyreplanktondata fra 1988 og 1989, og dette afsnit omhandler derfor kun udviklingen fra og med 1990. I bilag 5 findes en oversigt over en række vigtige værdier.

7.5.1. Biomasse

Figur 32 viser variationen af dyreplanktonets sommermiddelbiomasse i årene 1990-1994. Værdien for 1994 er den hidtil højeste siden 1992, da søen var genstand for en voldsom stigning i antallet af små, dyreplanktonædende fisk som følge af stor ynglesucces hos især aborre. Det er nærliggende at antage, at den jævnt stigende sommermiddelbiomasse er et resultat af et faldende predationstryk fra fiskenes side i takt med at de er blevet større og er gået over til andre fødeemner. Men det er kun en antagelse, og den kan ikke bekræftes, idet der ikke er gennemført fiskeundersøgelser siden 1992.

For perioden som helhed gælder, at dyreplanktonets biomasse er lav, trods betydelig variation.



Figur 32. Oversigt over variationen af dyreplanktonets sommermiddelbiomasse i Hinge Sø i årene 1990-1994. Data fra 1988 og 1989 mangler.

7.5.2. Artssammensætning, struktur og græsningstryk

Dyreplanktonet i Hinge Sø har i perioden 1990-1993 været karakteriseret af ringe artsdiversitet med hjuldyr som den artsrigeste gruppe, efterfulgt af dafnier og vandlopper. I 1994 er der registreret et langt højere antal arter/grupper, hvilket dog ikke er udtryk for reelle ændringer, men snarere må ses som udtryk for et mere detaljeret oparbejdningsniveau.

Hjuldyrene er, til trods for artsantallet, den gruppe, der har mindst indflydelse på mængden af planteplankton i søen. Dafniernes betydning er noget større, men små dafnier udgør i almindelighed en stor del af den samlede dafniebiomasse, og det betyder et mindre græsningstryk på de større planteplanktonarter og -grupper.

Vandlopperne er den mest artsfattige af samtlige dyreplanktongrupper, men er til gengæld i almindelighed den mængdemæssigt vigtigste gruppe. Der findes i søen stort set kun cyclopoide vandlopper. Trods vandloppernes dominans er deres totale biomasse lav, og deres indflydelse på mængden af planteplankton er i hovedparten af tiden begrænset eller ubetydelig.

Det gælder i det hele taget, at dyreplanktonets regulerende indflydelse på planteplanktonet er ringe, og kun i et enkelt år, 1991, har dyreplanktonet haft afgørende indflydelse på mængden af planteplankton.

Dyreplanktonets artssammensætning og begrænsede indflydelse på mængden af planteplankton er karakteristisk for næringsrige søer med store bestande af planktonædende fisk. I 1992 havde fiskene særlig stor indflydelse på mængden af dyreplankton på grund af stor yngelproduktion, men den generelt store mængde af småfisk betyder, at dyreplanktonet i almindelighed er udsat for et stort predationstryk. Det betyder videre, at dyreplanktonet i Hinge Sø kun har begrænsede muligheder for at opnå regulerende indflydelse på mængden af planteplankton.

8. Bundvegetation

Der blev i 1992 foretaget en oversigtlig undersøgelse af vegetationen i Hinge Sø (Viborg Amt, 1993), men i 1993 blev det i forbindelse med en revision af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for søer besluttet at indføre systematiske undersøgelser af vegetationen i de af søerne, hvor en sådan findes. Trods ringe forekomst af undervandsvegetation i 1992 blev det besluttet at medtage Hinge Sø i gruppen af søer, hvor der skal foretages vegetationsundersøgelser.

Der er derfor i 1993 gennemført en undersøgelse og beskrivelse af vegetationen efter de fastlagte retningslinier i "Teknisk anvisning fra DMU nr. 6" (Moeslund et al., 1993). I 1994 er undersøgelserne gennemført med de metodeændringer, der fremgår af tillægget til vejledningen (DMU, 1994). Det væsentligste indhold af tillægget er, at dækningsgradsskalaen er gjort mere detaljeret, og at den oprindelige betegnelse "orienterende undersøgelse" er ændret til "områdeundersøgelse". Undersøgelserne har i 1993 omfattet en orienterende undersøgelse (= områdeundersøgelse) og en undersøgelse af rørsumpen. Resultaterne af disse undersøgelser er beskrevet i (Viborg Amt, 1994a; 1994b).

I 1994 er der udelukkende gennemført en områdeundersøgelse, hvis resultater er beskrevet i et særskilt notat (Viborg Amt, 1995). I det følgende er de vigtigste resultater præsenteret og vurderet.

8.1. Artssammensætning

Undervandsvegetationen er meget artsfattig og dårligt udviklet, tabel 15.

Rubinkode	Artsnavn (latin)	Artsnavn (dansk)	Status
MYRI SPIB4	Myriophyllum spicatum	Aks-tusindblad	Spredt
POTA PERB4	Potamogeton perfoliatus	Hjertebladet vandaks	Spredt
POTA PECB4	Potamogeton pectinatus	Børstebladet vandaks	T. almindelig
BATR CIRB4	Batrachium circinatum	Kredsbladet vandranunkel	Meget spredt

Tabel 15. Oversigt over registrerede arter af undervandsplanter i Hinge Sø 1994.

Foruden undervandsvegetationen findes der spredt i søen en forholdsvis artsfattig flydebladsvegetation, tabel 16.

Rubinkode	Artsnavn (latin)	Artsnavn (dansk)	Status
NUPH LUTB4	Nuphar lutea	Gul åkande	Spredt
NYMP ALBB4	Nymphaea alba	Hvid åkande	Meget spredt
LEMN MINB4	Lemna minor	Liden andemad	Meget fåtallig
LEMN POLB4	Lemna polyrrhiza	Stor andemad	Meget fåtallig

Tabel 16. Oversigt over registrerede arter af flydebladsplanter i Hinge Sø 1994.

Rørsumpen er ikke undersøgt i 1994, men på baggrund af undersøgelserne i 1993 kan det konstateres, at der i hovedparten af søens bredzone findes en veludviklet og stedvis artsrig og meget varieret rørsump (Viborg Amt, 1994a).

8.2. Hyppighed og dybdeudbredelse

Inddelingen af Hinge Sø i delområder fremgår af bilag 6, der også indeholder de samlede resultater af undersøgelsen i 1994.

Fælles for alle undervandsplanter er, at de kun forekommer i delområderne 1,2,3,6 og 9. Dertil kommer, at dybdeudbredelsen er ringe. I delområderne 1-3 og 9 findes dybdegrænsen ved 0,50-0,65 meters dybde. I delområde 6 er den maksimale dybdegrænse ca. 1,1 m (ved vandspejlskote 25,37). Fælles for alle de delområder, hvor undervandsvegetation findes, er, at hovedparten af vegetationen findes på lavere vand, og at bevoksningerne i 1994 har bestået af planter med lange skud, hvis øverste del har ligget helt oppe i overfladen.

Undervandsvegetationen er primært knyttet til fast sandbund, men i søens sydvestlige del, der ligger i læ for vestenvinden, findes der også vegetation på blød bund. Det er netop her, at vegetationens dybdegrænse er størst, og det kan kun forklares af, at der her har strømmet klart vand ind i søen fra Mausing Møllebæk, hvilket sammen med stille og solrigt vejr i juli og begyndelsen af august har givet planterne unormalt gode vækstbetingelser. Det varme, solrige vejr har formodentlig også været årsag til, at vegetationen generelt har været tættere og mere veludviklet end i 1993 (og 1992).

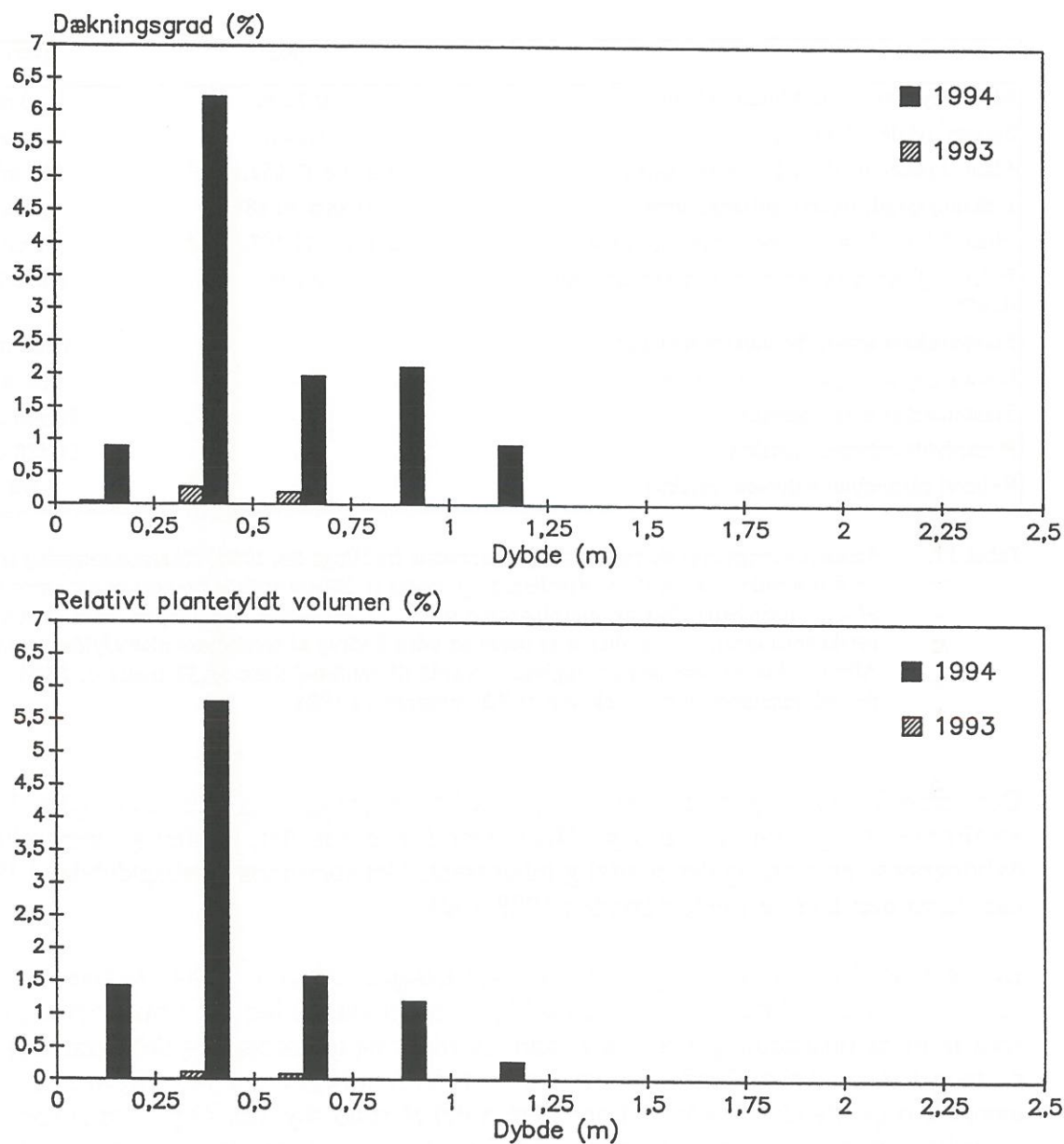
Det er imidlertid bemærkelsesværdigt, at der i Hinge Sø findes bundflader, hvor både sediment og lysforhold er af samme karakter, som i de eksisterende bevoksninger, men hvor vegetation helt mangler. En mulig forklaring herpå kan være, at disse bundflader er mere vindeksponerede, hvilket gør det vanskeligt for planterne at etablere sig.

8.3. Dækningsgrader og plantefyldt volumen

Dækningsgrader og vegetationens højde i de enkelte dybdeintervaller i hvert af delområderne er vist i bilag 6, der også indeholder en oversigt over den gennemsnitlige dækningsgrad og det gennemsnitlige relative plantefyldte volumen for søen som helhed.

Figur 33 viser vegetationens dækningsgrad og det relative plantefyldte volumen i de enkelte dybdeintervaller for søen som helhed.

Det samlede plantedækkede areal er for 1994 opgjort til 8.074 m², svarende til en gennemsnitlig dækningsgrad på 0,88%, og det samlede plantevolumen er opgjort til 3.171 m³, svarende til et gennemsnitligt relativt plantefyldt volumen på 0,29%.



Figur 33. Oversigt over variationen af dækningsgraden og det relative plantefyldte volumen i de enkelte dybdeintervaller i Hinge Sø som helhed i 1994. Til sammenligning er vist de tilsvarende værdier i 1993.

På grund af ændringen af dækningsgradsskalaen er der foretaget en analyse af, hvorledes det har påvirket resultaterne (Viborg Amt, 1995). Denne analyse viser, at skalaændringen kun har haft ubetydelig indflydelse på resultaterne, og den registrerede stigning i vegetationsmængden i søen er derfor ikke et resultat af skalaændringen, jf. tabel 17.

8.4. Bundvegetationen 1993-1994

Tabel 17 indeholder en sammenstilling af de vigtigste undersøgelsesresultater i årene 1993 og 1994.

	1994	1993
Middeldybdegrænse, blomsterplanter	0,72 m	0,60 m
Største dybde, blomsterplanter	1,14 m	0,70 m
Plantedækket areal, undervandsvegetation	8.073,6 (8.052,6) m ²	299 m ²
Dækningsgrad, undervandsvegetation*	0,88% (0,88%)	0,03%
Plantefyldt volumen, undervandsvegetation	3.171,1 (3.167,8) m ³	57 m ³
Relativt plantefyldt volumen, undervandsvegetation**	0,29%	0,005%
Plantedækket areal, flydebladsvegetation	-	1.100 m ²
Dækningsgrad, flydebladsvegetation	-	0,12%
Plantedækket areal, rørskov	-	38.000 m ²
Plantefyldt volumen, rørskov	-	11.500 m ³
Relativt plantefyldt volumen, rørskov	-	1,0%

Tabel 17. Samlet oversigt over de vigtigste vegetationsdata fra Hinge Sø, 1994. Til sammenligning er vist de tilsvarende data fra 1993. Værdierne i parentes er 1994-værdier beregnet under anvendelse af den oprindelige 5-delte dækningsgradsskala. *) værdierne er beregnet uden fradrag af rørskovens areal. **) værdierne er beregnet uden fradrag af rørskovens plantefyldte volumen. Alle værdier er beregnet og angivet i forhold til vandspejlskote 25,37 meter o. DNN. Flydebladsvegetationen og rørskoven er ikke undersøgt i 1994.

Der bemærkes først og fremmest en meget markant stigning i vegetationsmængden, både arealmæssigt og volumenmæssigt. Derudover bemærkes det, at den gennemsnitlige dybdegrænse er øget, og det er særlig interessant, idet sommermiddelsigtdybden i 1994 har været den laveste i hele perioden 1988-1994.

Den sandsynlige forklaring på, at undervandsvegetationen i søens vestlige del har formået at vokse på større dybde end tidligere er, at vandet her har været klarere, dels som følge af tilstrømningen af klart vand fra Mausing Møllebæk og dels som følge af de meget rolige vejrforhold, der har bevirket ringe opblanding af vandmasserne. Den uændret ringe dybdeudbredelse i den øvrige del af søen skyldes, at planterne her med de rolige vejrforhold har haft mulighed for at danne lange, kronedannende skud i overfladen. Selvom plantens skud kunne have rakt op i overfladen fra selv større dybde, er dybdegrænsen ikke øget, hvilket antagelig skyldes, at det uklare vand har forhindret nye planter i at kolonisere de dybereliggende bundflader.

De to første års undersøgelser viser samlet, at undervandsvegetationen i Hinge Sø undergår store år-til-år-variationer, primært med hensyn til dækningsgraden. Variationen med hensyn til dybdeudbredelsen er mindre udtalt, hvilket må ses som et resultat af, at gunstige vækstbetingelser i øvrigt, selv i gode år er helt overskygget af ugunstige lysforhold som følge af vedvarende uklart vand i hovedparten af søen.

Det er bemærkelsesværdigt, at blot små udsving i vandets klarhed og vind- og vejrforholdene kan have så afgørende indflydelse på planternes vækst, som registreret ved de første to års undersøgelser. Det giver anledning til at antage, at selv beskedne forbedringer af vandets klarhed i Hinge Sø kan resultere i øget udbredelse og tæthed af undervandsvegetationen. Det er også bemærkelsesværdigt, at søens flydebladsvegetation har været mere veludviklet i 1994 end i 1993, og særlig interessant er det, at *hvid åkande* i 1994 har udgjort et tydeligt islæt i bevoksningerne af *gul åkande*. Der er ingen tvivl om, at *hvid åkande* også har forekommet i 1993, og at den er blevet overset, men der er heller ingen tvivl om, at dens bladsætning og blomstring i 1993 har været langt ringere end i 1994.

For en sammenligning af den nuværende bundvegetation med bundvegetationen i ældre tid henvises der til rapporten fra 1994 (Viborg Amt, 1994c), idet det her blot skal konstateres, at søen vegetationsmæssigt stadig befinder sig langt fra den oprindelige tilstand, trods den markante positive udvikling fra 1993 til 1994.

9. Bundfauna

Der foreligger ingen undersøgelser af søens bundfauna, men i forbindelse med vegetationsundersøgelserne kunne det konstateres, at der i søen findes et meget stort antal muslinger, heriblandt mange meget store individer. Tætheden af muslinger synes at være størst i den østlige del af søen, hvor de især findes på blød bund.

10. Fisk

Der er ikke i 1994 foretaget undersøgelse af søens fiskefauna, og der henvises derfor til 1992-undersøgelsen (Viborg Amt, 1993).

11. Samlet vurdering

11.1. Oplandsudnyttelse, næringsstofbelastning og målsætning

Med 93% dyrkede arealer må oplandet til Hinge Sø karakteriseres som et typisk landbrugsområde. Denne intensive landbrugsmæssige udnyttelse afspejles meget tydeligt i næringsstofbelastningen af søen, som hvert år tilføres store mængder næringsstoffer.

Som det alene kunne forventes ud fra erfaringen om kvælstofudvaskning fra landbrugsarealer er den samlede kvælstofbelastning meget stor, og ca. 85% af den aktuelle kvælstofbelastning kan tilskrives den landbrugsmæssige udnyttelse af oplandet.

Mens spildevand stadig blev ledt urensset eller dårligt rensset ud i tilløbene til søen, udgjorde fosforbidraget fra renseanlæg og spredte spildevandsudledninger en væsentlig del af den samlede fosforbelastning. Men i dag er spildevandsrensningen forbedret ganske markant, og kendte punktkilder er kun ansvarlige for mindre end 10% af den samlede fosforbelastning. Dertil kommer et bidrag fra spredt bebyggelse på ca. 10% af den samlede belastning. Baggrundsbelastningen udgør til sammenligning ca. 13% af den aktuelle belastning.

De resterende ca. 70% af fosforbelastningen må med den eksisterende kildeopsplitning tilskrives den landbrugsmæssige udnyttelse af oplandet. Indtil for nylig harmonerede det ikke særlig godt med erfaringerne fra Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, men inden for de seneste år er det sandsynliggjort, at landbrugsarealerne også afgiver store mængder fosfor, dels gennem udvaskning og dels gennem overfladeafstrømning. De seneste erfaringer om fosforbidraget fra landbrugsarealer i andre oplande er således i god overensstemmelse med erfaringerne fra Hinge Sø.

Set i forhold til målsætningen for Hinge Sø, i henhold til hvilken søen kun må være svagt påvirket af menneskelige aktiviteter, betyder ovenstående dels, at søen i dag er stærkt påvirket af menneskelige aktiviteter (landbrug) og dels, at mulighederne for at ændre dette forhold selv på længere sigt er dårlige. Og dertil kommer, at mange års tilførsel har bevirket aflejring af store mængder fosfor på søens bund, hvorfra der hvert år frigives betydelige mængder, hvilket sammen med den eksterne tilførsel er årsag til de vedvarende dårlige miljøforhold.

11.2. Søens frie vandmasser

Som allerede antydnet er Hinge Sø stærkt påvirket af den store næringsstofftilførsel, hvilket først og fremmest kommer til udtryk gennem vandets generelt ringe klarhed, udtrykt ved sigtddybden. Denne har gennem mange år været meget ringe, i sommerperioden ca. ½ meter, hvilket dels skyldes den næringsstoffbetingede opblomstring af plankton, og dels vindbetiget ophvirvling af slam fra bunden, hvor der efter mange års omfattende næringsstofbelastning er dannet et tykt lag kulturslam.

Den gennemsnitlige koncentration af fosfor i det tilstrømmende vand er ca. 110 $\mu\text{g/l}$, hvilket i sig selv er højt, men ved vandets passage gennem søen sker der en fordobling af koncentrationen. Det skyldes dels indbygning i planteplanktonet og dels frigivelse af fosfor fra sedimentet. Hvor stort omfanget af frigivelsen fra sedimentet er vides ikke, men der synes ikke at herske tvivl om, at den er ganske betydelig.

11.3. Biologiske forhold

Det umiddelbare resultat af den store næringsstofftilførsel fra oplandet er, at Hinge Sø i dag i biologisk henseende er helt domineret af et artsrigt og veludviklet planteplankton. På grund af vandets forholdsvis korte opholdstid, selv om sommeren, er planteplanktonet domineret af små, hurtigtvoksende arter, fortrinsvis centriske kiselalger, men i særlig varme og tørre somre kan der ske masseopblomstring af blågrønalger. Siden 1988 har der været to sådanne blågrønalgeår, 1989 og 1992, og i 1994 var der tilløb til endnu et blågrønalgeår, men blågrønalgerens udvikling gik i stå i forbindelse med den pludselige overgang fra varmt og solrigt vejr til køligt og regnfuldt vejr midt i august.

Selvom planteplanktonet er domineret af små arter og former, som er potentielt tilgængelige som føde for dyreplanktonet, har det stort set ingen indflydelse på mængden af planteplankton. Det skyldes dels dyreplanktonets sammensætning, der mængdemæssigt er domineret af cyclopoide vandlopper og dels fiskenes predation.

Fiskefaunaen i Hinge Sø er som i mange andre næringsrige og kulturpåvirkede søer domineret af skalle, brasen og aborre. Særlig de unge individer udsætter dyreplanktonet for et stort predationstryk, hvilket har indflydelse på dels dyreplanktonets sammensætning og dels dyreplanktonets evne til at græsse planteplanktonet ned.

Som direkte konsekvens af det uklare vand i søen er undervandsvegetationen meget dårligt udviklet. Men trods den laveste sommermiddelsigt dybde i perioden 1988-1994 var undervandsvegetationen i 1994 væsentligt bedre udviklet end i 1993. Årsagen hertil er ikke umiddelbart indlysende; men det rolige, varme og solrige vejr har antagelig spillet en væsentlig rolle.

Søens dominerende biologiske komponenter, planteplanktonet, dyreplanktonet og fiskefaunaen, har i dag en sammensætning, som er karakteristisk for næringsrige søer i kulturlandskabet, og søen er fastlåst i en tilstand, der kun vanskeligt kan ændres. Selv ved en meget markant reduktion af næringsstoffbelastningen vil søens sediment i en årrække antagelig kunne afgive nok fosfor til, at en dårlig tilstand kan opretholdes. Og omvendt vil opfiskning af søens skidtfisk næppe have nogen varig virkning, dersom næringsstoffbelastningen forbliver på det nuværende niveau.

11.4. Miljøforbedrende foranstaltninger

Med den nuværende landbrugsmæssige udnyttelse af oplandsarealerne som den væsentligste årsag til den aktuelt store næringsstoffbelastning er det umiddelbart vanskeligt at

pege på foranstaltninger og indgreb, der kan forbedre søens miljø på kort sigt. Dertil kommer, at der stadig er knyttet stor usikkerhed til opgørelsen af den samlede næringsstofbelastning og til kildeopsplitningen.

En væsentlig forudsætning for at kunne vurdere, hvilke miljøforbedrende foranstaltninger, der med fordel kan bringes i anvendelse i Hinge Sø, at kendskabet til kilderne til den nuværende næringsstofbelastning, først og fremmest fosforbelastningen, forbedres.

Søen befinder sig i dag i en tilstand, hvor næringsstofkoncentrationerne umiddelbart vurderes at være for høje til, at indgreb i fiskebestanden vil få virkning, og opmærksomheden må derfor i første omfang rettes mod kilderne til næringsstofbelastningen.

11.5. Forbedringer af datagrundlaget

Usikkerheden på opgørelsen af den samlede næringsstofbelastning er allerede søgt belyst gennem den intensive målestation i Skjellegården, men det er uvist, om denne station er repræsentativ for alle tre tilløb. Umiddelbart kan der være grund til at antage, at den ikke er repræsentativ.

Selvom transporten af næringsstoffer ud af søen ikke har helt samme interesse og betydning, som transporten ind i søen, bør det også tilstræbes at mindske usikkerheden på bestemmelsen af sidstnævnte. Det kan først og fremmest ske ved at genindføre vandkemiske analyser i afløbsvandet i stedet for som nu at anvende søvandskoncentrationer fra søens vestlige del.

En anden væsentlig mulighed for at reducere usikkerheden på næringsstoftransporterne knytter sig til det umålte opland. Det umålte opland afvandes for en dels vedkommende af nogle mindre vandløb, og det vil være oplagt at gennemføre et ekstensivt måleprogram i disse tilløb med måling af vandføring, total-kvælstof og total-fosfor. Prøvetagning kan eksempelvis foretages hver anden eller hver tredje måned.

12. Referencer

- Andersen, H. E., P. Berg, G. Blicher-Mathiesen, P. G. Jensen, B. Kronvang, R. C. Schwærter 1994. Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. 122 sider. Faglig rapport fra DMU nr. 120.
- Græsbøll, P., J. Erfurt, H. O. Hansen, B. Kronvang, S. E. Larsen, Aa. Rebsdorf & L. M. Svendsen 1994. Ferske vandområder - Vandløb og Kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. 186 sider. Faglig rapport fra DMU nr. 119.
- Jensen, J. P., E. Jeppesen, J. Bøgestrand, A. Roer Pedersen, M. Søndergaard, J. Windolf & L. Sortkjær 1994. Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. 94 sider. Faglig rapport fra DMU nr. 121.
- Moeslund, B., P. H. Møller, J. Windolf & P. Schriver 1993. Vegetationsundersøgelser i søer. Metoder til anvendelse i søer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser. 45 s. Teknisk anvisning fra DMU nr. 6.
- Rambøll Hannemann & Højlund 1993. Tandskov Losseplads, affaldsdepot 743-2, Silkeborg kommune. Perkolatbelastning af Resdal Bæk. Notat til Århus Amt (Upubliceret).
- Silkeborg Kommune. Oplysninger vedr. udledning af gylle ved Hinge Sø.
- Viborg Amtskommune 1990. Miljøtilstanden i Hinge Sø 1989 og udviklingstendenser 1974-1989. Udarbejdet af Hedeselskabet.
- Viborg Amtskommune 1991. Miljøtilstanden i Hinge Sø 1990. Udarbejdet af Bio/consult as.
- Viborg Amtskommune 1992. Miljøtilstanden i Hinge Sø 1991. Udarbejdet af Bio/consult as.
- Viborg Amt 1993. Miljøtilstanden i Hinge Sø. Status 1992 og udvikling 1988-1992. Udarbejdet af Bio/consult.
- Viborg Amt 1994a. Miljøtilstanden i Hinge Sø. Status 1993 og udvikling 1988-1993. Udarbejdet af Bio/consult.
- Viborg Amt 1994b. Oplysninger om næringsstofbelastningen fra spredt bebyggelse i oplandet til Hinge Sø. Upubliceret.
- Viborg Amt 1994c. Vegetationsundersøgelser i Hinge Sø 1993. (Upubliceret).
- Viborg Amt 1994d. Vurdering af prøvetagningsfrekvensens betydning for beregninger af fosfortransporten i Skjellegrøften (upubliceret).
- Viborg Amt 1995. Vegetationsundersøgelser i Hinge Sø 1994. (Upubliceret).

Wiggers, L. 1995. Bedre kildeopsplitning af diffus fosfor. Vand & Jord 1. pp 28-32.