



Sønderjyllands Amt

---

# Nordborg Sø 2002

Teknisk rapport • November 2003

Teknisk Forvaltning • Miljøområdet

## **Datablad**

Titel	Nordborg Sø 2002
Udgiver	Sønderjyllands Amt, Miljøområdet, Jomfrustien 2, 6270 Tønder
Udgivelsesår	November 2003

## Indhold

<b>1. Sammenfatning</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Oplandsbeskrivelse</b> .....	<b>7</b>
2.1. Arealudnyttelse .....	9
2.2. Jordbundsforhold .....	10
2.3. Geologiske forhold.....	11
<b>3. Kilder til næringsstofbelastningen</b> .....	<b>12</b>
3.1. Fosforbelastningen .....	13
3.2. Kvælstofbelastningen.....	13
3.3. Næringsstofbelastningens udvikling .....	14
<b>4. Vand- og næringsstofbalancer</b> .....	<b>17</b>
4.1. Vandbalance.....	17
4.2. Fosforbalance .....	19
4.3. Kvælstofbalance.....	22
<b>5. Vandkemiske og vandfysiske forhold</b> .....	<b>24</b>
5.1. Temperatur og ilt.....	24
5.2. Sigtdybde .....	25
5.3. Fosfor .....	27
5.4. Kvælstof.....	28
5.5. N/P forhold.....	30
5.6. pH og alkalinitet.....	31
<b>6. Sediment</b> .....	<b>33</b>
6.1. Vurdering af den interne fosforbelastning i 2002.....	34
<b>7. Plankton</b> .....	<b>35</b>
7.1. Fytoplankton .....	35
7.2. Zooplankton .....	37
7.3. Græsning.....	39
7.4. Sammenhæng mellem sigtdybde og Chlorophyl A .....	41
<b>8. Fisk</b> .....	<b>43</b>
8.1. Fiskene i Nordborg Sø .....	43
8.2. Fiskebestanden 2002.....	44
8.3. Udviklingen i fiskebestanden.....	46
<b>9. Undervandsvegetation</b> .....	<b>48</b>
9.1. Undervandsplanter .....	48
9.2. Flydebladsplanter .....	48
9.3. Udvikling .....	49
9.4. Vurdering .....	49
<b>10. Diskussion</b> .....	<b>50</b>
10.1. Hvad er årsagerne til Nordborg Sø's tilstand.....	50
10.2. Hvad kan der gøres for at forbedre tilstanden i Nordborg Sø?.....	52
<b>11. Referencer</b> .....	<b>55</b>
<b>12. Bilag</b> .....	<b>57</b>

# 1. Sammenfatning

Nærværende rapport bygger først og fremmest på resultater indsamlet i løbet af 2002. Her blev der ført tilsyn med Nordborg Sø og dens til- og afløb. Vandets indhold blev undersøgt for en række parametre bl.a. fosfor og kvælstof. Derudover blev prøverne fra søen brugt til at undersøge fyto- og zooplanktonet. I 2002 blev der endvidere foretaget undersøgelser af fiskebestanden, undervandsvegetationen samt af søens sediment.

Samtlige undersøgte parametre har i de foregående år været undersøgt ved mindst en lejlighed. Derved er det muligt både at vurdere tilstanden samt udviklingen i Nordborg Sø.

*Nordborg Sø og opland.*

Nordborg Sø har et areal på 54,6 ha, en gennemsnitsdybde på 5 meter og en maksimal dybde på 8,5 meter. Oplandet er præget af landbrug og bebyggelse, som hhv. udgør 63% og 25% af det samlede 1183 ha store opland.

*Kilder til næringsstofbelastningen.*

Landbruget var i 2002 den største eksterne kilde til belastning med både kvælstof og fosfor. Mht. fosfor stod landbruget for 53% af den udefrakommende belastning. De såkaldte regnvandsbetingede udløb stod også for en væsentlig andel af belastningen med fosfor. Således kunne 28% af søens fosforbelastning henføres til denne kilde.

Ved at sammenligne med tidligere undersøgelser er det tydeligt, at der er sket et fald i den eksterne næringsstofbelastning. Tilsyneladende er der ikke sket et fald i belastningen fra de regnvandsbetingede udløb. Derfor må det observerede fald hovedsageligt stamme fra en reduktion fra landbrug og spredt bebyggelse.

*Vand- og næringsstofbalancer.*

I 2002 blev der tilført 3.78 mio. m<sup>3</sup> vand. Mest kom der fra de målte tilløb, som stod for knap 40%. Grundvandsbidraget var imidlertid også af stor betydning, idet en tredjedel af den samlede vandtilførsel stammede herfra. Grundvandsbidraget er dog beregnet som et restled ud fra vandbalancen og er som følge deraf noget usikkert bestemt.

*Tilførte næringsstoffer.*

Ifølge den målte\beregnete totale fosforbalance udgjorde den samlede eksterne fosfortilførsel til Nordborg Sø i 2002 528 kg. Hovedparten af den tilførte fosfor stammede fra de målte tilløb, som tilsammen udgjorde 63% af den samlede fosfortilførsel. I løbet af året blev der både optaget og frigivet fosfor fra søbunden, men på sommerbasis blev der netto frigivet 1293 kg fosfor.

Ifølge den målte\beregnete totale kvælstofbalance udgjorde den samlede kvælstoftilførsel til Nordborg Sø i 2002 16150 kg. Hovedparten af den tilførte kvælstof stammede ligeledes fra de målte tilløb som tilsammen stod for 64% af den tilførte kvælstof. På årsbasis var den sam-

lede kvælstoffrigivelse på over 9000 kg, hvilket primært er et udtryk for den mængde kvælstof, som via denitrifikation bliver fjernet fra søen.

*Vandkemiske og vandfysiske forhold.*

Den gennemsnitlige sigtddybde lå i sommerperioden 2002 på omkring 1,5 meter, hvilket den stort set har gjort siden 1989. Det synes at være karakteristisk for Nordborg Sø, at sigtddybden i løbet af foråret er rigtig god på trods af det høje næringsindhold. Imidlertid bliver vandet rigtig grønt om sommeren, hvilket betyder, at sigtddybden falder drastisk.

Fra 1977 til 2002 er søens indhold af fosfor og kvælstof blevet undersøgt i 5 måleperioder. Mht. fosfor blev der i 1977 målt en markant højere fosforkoncentration sammenlignet med de øvrige år. Derudover er der ingen tendenser at spore. Der blev ligeledes målt den højeste kvælstofkoncentration i 1977, og i modsætning til fosfor er der en tydelig tendens til, at søvandets indhold af kvælstof er faldet frem til 2003.

*Søbunden frigiver fosfor.*

Således har der siden 1988 været registreret de samme store koncentrationsstigninger af totalfosfor i søvandet i sommerhalvåret. Dette skyldes frigivelse af fosfor fra søbunden, den såkaldte interne belastning. I 2002 blev det estimeret, at sedimentet om sommeren frigav 1293 kg fosfor. Dvs., at søbunden frigav næsten 3 gange så meget fosfor, som søen modtog fra omgivelserne på årsbasis.

*Plankton.*

Planktonet er blevet undersøgt i årene 1988, 1994 og 2002 /17/. Blågrønalgerne dominerede i 1988 og 2002, mens fytoplanktonet i 1994 bestod af en omtrent lige mængde af kiselalger, grønalger og blågrønalger. Der var stor forskel på hvordan mængden af fytoplankton udviklede sig i de tre undersøgelsesår. Med enkelte undtagelser var arterne dog de samme.

Zooplanktonet var i de tre undersøgelsesår domineret af dafnier. Mængden af zooplankton var omtrent ens i 1994 og 2002, mens der i 1988 var seks gange mere zooplankton. Både i 1994 og 2002 kunne det se ud til, at fiskene gjorde et pænt indhug i de store dafniernes biomasse.

*Fisk.*

Fiskebestanden er undersøgt i 1989 /11/ og 2002 /16/. Ved undersøgelsen i 2002 blev det beregnet, at søen rummede 617 kg fisk pr. ha. Heraf blev størstedelen udgjort af skaller. I 1989 var det brasenerne som dominerede. Mht. rovfisk var der alt i alt kommet flere til. Dette skyldes en god fremgang for aborrerne og gedderne, mens det var gået tilbage for sandarterne. Fremgangen for aborren skyldes dog først og fremmest en fremgang for ynglen.

*Vandplanter.*

Der blev foretaget en planteundersøgelse i 2002 /15/. Her blev kun fundet ganske få vandplanter, som alle var i dårlig stand. Ved en undersøgelse fra 1995 var konklusionen den samme.

*Nordborg Sø er ude af balance.* Nordborg Sø er en meget næringsrig sø, med dertilhørende uklart vand, for mange alger, manglende undervandsvegetation og en skæv fiskebestand.

Der bliver hvert år tilført omkring 30% for meget fosfor fra omgivelserne (bilag 1). Ved at reducere fosfortilførslen med omkring 30% vil der være en chance for, at søvandets fosforindhold kommer ned under 0,1 mg/l fosfor. Dette vil være nødvendigt før søen kan komme i balance. Det er imidlertid ikke nok at koncentrere sig om hvad der bliver tilført søen "udefra". Det har nemlig vist sig, at den største kilde til forurening ligger i søbunden. I 2002 blev den mobile fosforpulje i sedimentets øverste 10 cm beregnet til 3,4 tons.

En eventuel sørestaurering kan således kun blive en succes hvis der både tages hånd om den udefra tilførte næring (eksterne tilførsel) og om fosforen, som frigives fra bunden (interne tilførsel).

## 2. Oplandsbeskrivelse

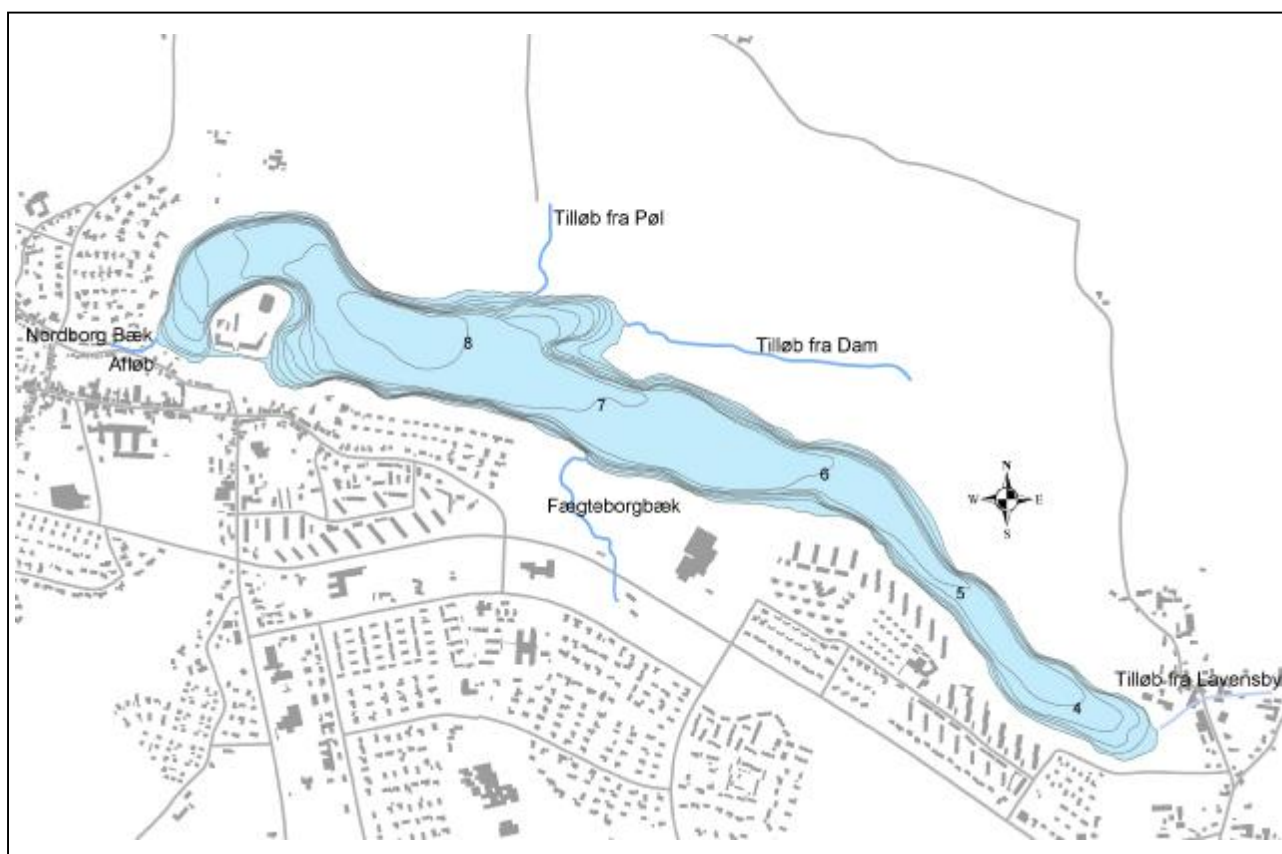
Landskabet omkring Nordborg Sø er dannet under den sidste istid. Da de vældige ismasser trak sig tilbage for omkring 10. 000 år siden, efterlod isen det landskab, vi kender i dag.

På Nordals blev der bl.a. dannet en tunneldal. Her gravede smeltevandet under isen sig ned i underlaget og skabte derved den langstrakte tunneldal, hvor vi i dag finder Nordborg Sø.

Nordborg Sø har et areal på 54,6 ha. Søen er især på nordsiden omkranset af stejle skrænter, som fortsætter ned under vandoverfladen. Maksimaldybden er på 8,5 meter. Vandet har en opholdstid på 0,82 år (bilag 1).

*Tabel 2.1. Morfometriske data for Nordborg Sø*

Morfometriske data for Nordborg Sø	
Areal	54,6 ha
Max. Dybde	8,5 m
Gennemsnitsdybde	5 m
Volumen	2,78 mill. m <sup>3</sup>
Topografisk opland	1183,1 ha

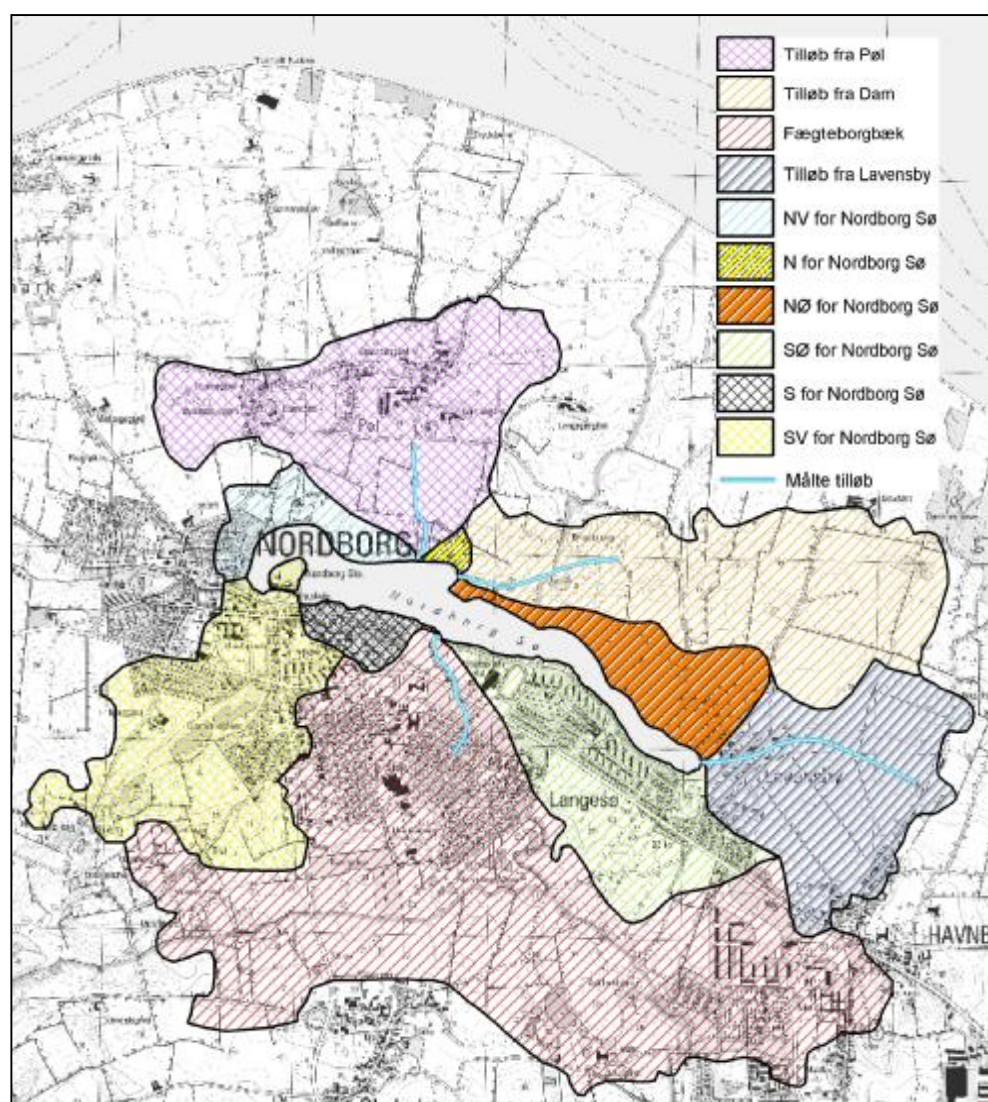


Figur 2.1. Nordborg Sø dybdekort. Derudover viser figuren til- og afløb til søen.

Oplandet til Nordborg Sø er af hensyn til beregning af den samlede transport af vand og næringsstoffer opdelt i følgende deloplande (tabel 2.2 og figur 2.2)

Tabel 2.2. Størrelserne af Nordborg Sø's deloplande.

Opland	Areal (ha)	% af totale opland	
Tilløb fra Pøl	150,0	12,7	Målt opland
Tilløb fra Dam	166,2	14,0	Målt opland
Fægteborg Bæk	425,6	36,0	Målt opland
Tilløb fra Lavensby	118,8	10,0	Målt opland
NV for Nordborg Sø	27,2	2,3	Umålt opland
N for Nordborg Sø	3,3	0,3	Umålt opland
NØ for Nordborg Sø	47,2	4,0	Umålt opland
SØ for Nordborg Sø	97,0	8,2	Umålt opland
S for Nordborg Sø	14,2	1,2	Umålt opland
SV for Nordborg Sø	133,5	11,3	Umålt opland
I alt	1183,1	100	



Figur 2.2. Geografisk opland og deloplande til Nordborg Sø.



Tilløb.

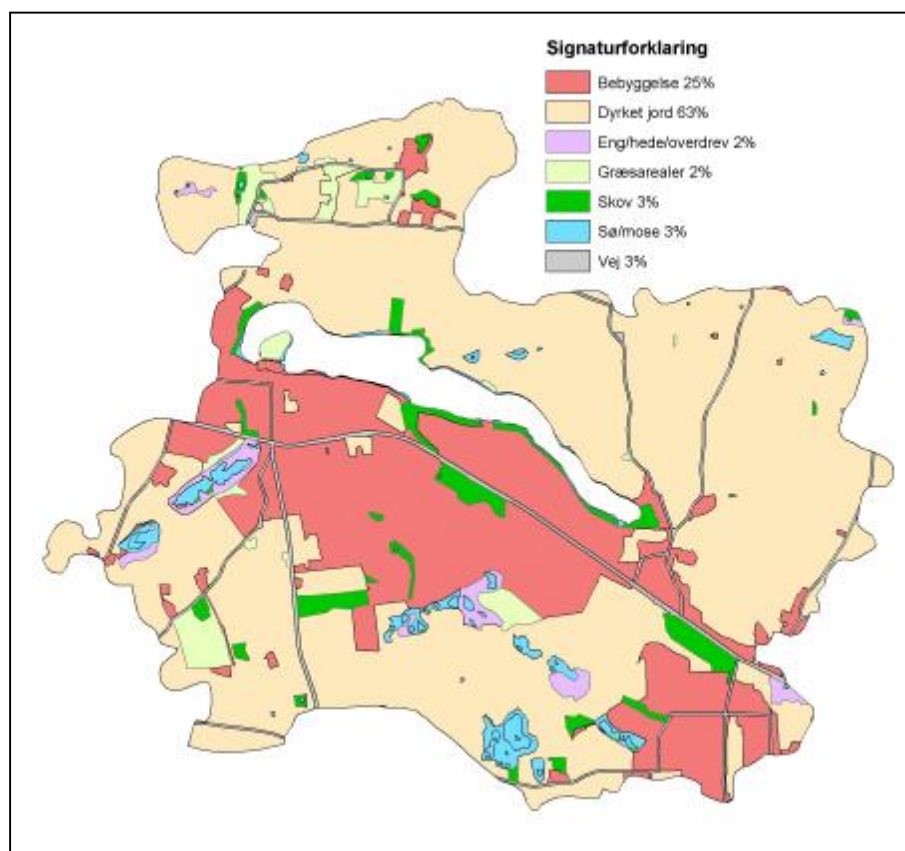
Der er fire tilløb til Nordborg Sø i hvilke der er foretaget målinger i løbet af 2002. Tilløb fra Pøl, tilløb fra Dam, tilløb fra Lavensby og Fægteborgbæk, hvor det sidstnævnte tilløb er det største.

## 2.1. Arealudnyttelse

Nordborg Sø ligger i et område, som er domineret af landbrug og bebyggelse. Det er måske værd at bemærke, at vejene udgør et større areal end naturtyper som eng, mose og overdrev lagt sammen. (se tabel 2.3 og figur 2.3)

Tabel 2.3. Arealudnyttelse i oplandet til Nordborg Sø

Oplandstype	Areal (ha)	% af total
Bebyggelse	291,9	25
Vej	33,1	3
Dyrket jord	741,8	63
Græsarealer	29,2	2
Skov	36,4	3
Eng/hede/overdrev	17,8	2
Sø/mose	32,9	3
i alt	1183,0	100



Figur 2.3. Arealanvendelse i oplandet til Nordborg Sø.

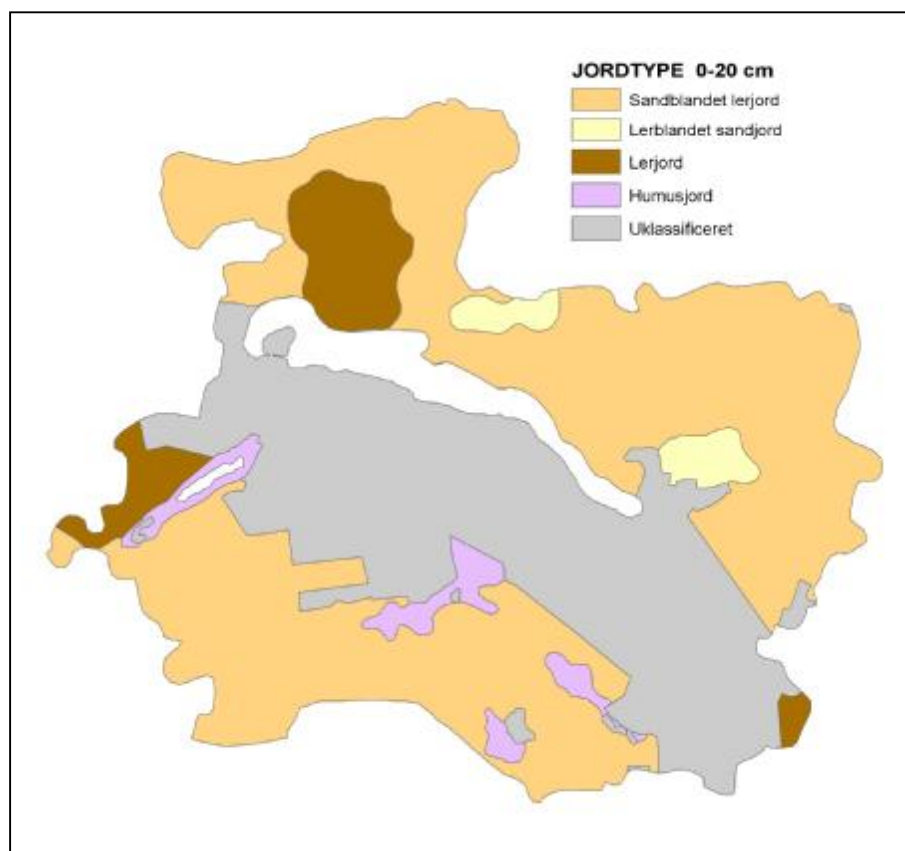
## 2.2. Jordbundsforhold

*Lerjorden dominerer.*

En oversigt over jordbundsforholdene (overjorden: 0-20 cm) er vist i tabel 2.4 og figur 2.4. Størstedelen af det øverste jordlag består af sandblandet lerjord som udgør over 80% af oplandet. Den rene lerjord udgør knap 10% mens jordtyperne lerblandet sandjord og humusjord begge udgør under 5%. Det skal dog bemærkes, at en forholdsvis stor del af oplandet ikke er blevet klassificeret mht. jordtype.

Tabel 2.4. Jordbundsforholdene (overjorden: 0-20 cm) i oplandet til Nordborg Sø.

Jordtype	Areal (ha)	% af klassificeret opland
Sandblandet lerjord	642,7	82,1
Lerblandet sandjord	26,8	3,4
Lerjord	77,6	9,9
Humusjord	36,0	4,6
i alt	783,1	100



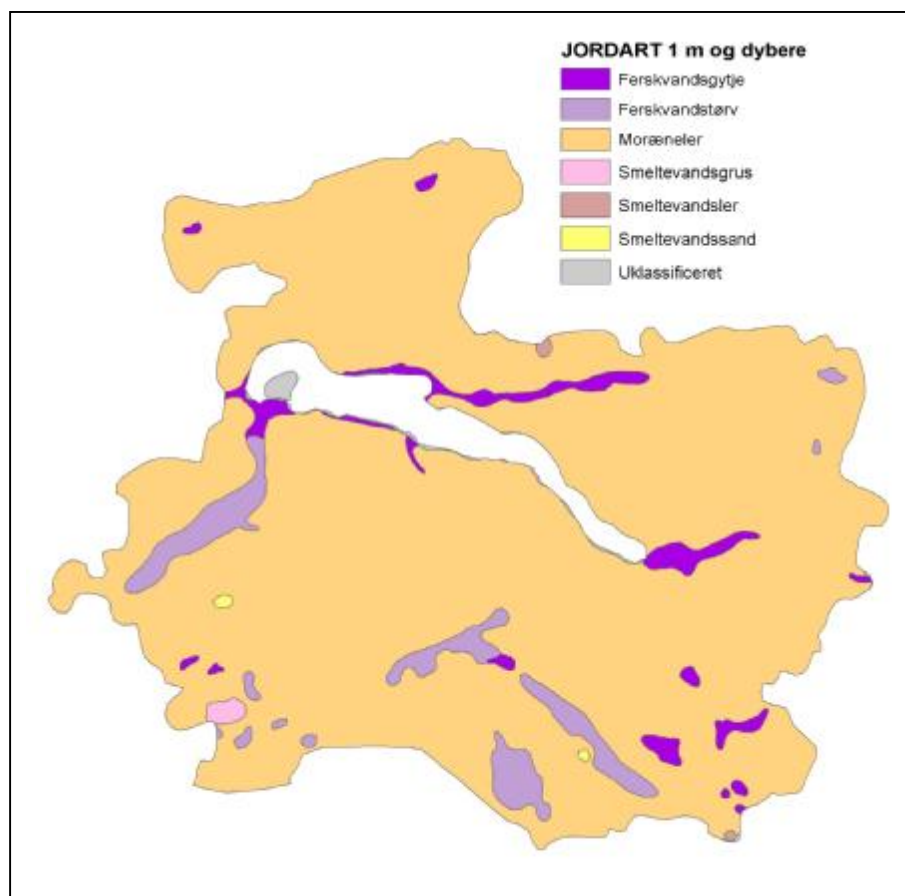
Figur 2.4. Jordbundsforholdene (overjorden: 0-20 cm) i oplandet til Nordborg Sø. Det uklassificerede område er stort set identisk med det bebyggede område.

## 2.3. Geologiske forhold

En oversigt over de geologiske forhold (underjorden: 1 m og dybere) i oplandet til Nordborg Sø findes i tabel 2.5 og figur 2.5. Som det fremgår består langt størstedelen af oplandet til Nordborg Sø af moræneler. Således bliver ikke mindre end 92,5% af oplandets underjord udgjort af moræneler hvilket understreger, at søen ligger i et typisk morænelandskab. Ferskvandstørven udgør godt 4% af oplandets underjord og ferskvandsgytjen knap 3%. Derudover består underjorden af smeltevandsgrus, smeltevandsler og smeltevandssand, disse materialer optræder dog i meget beskedne mængder.

Tabel 2.5. Geologiske forhold (underjorden: 1m og dybere) i oplandet til Nordborg Sø.

Geologi/underjord	Areal (ha)	% af klassificeret opland
Ferskvandsgytje	33,1	2,8
Ferskvandstørv	50,9	4,3
Moræneler	1089,4	92,5
Smeltevandsgrus	2,8	< 1
Smeltevandsler	1,0	< 0,1
Smeltevandssand	1,0	< 0,1
I alt	1178	



Figur 2.5. Geologiske forhold (underjorden: 1m og dybere) i oplandet til Nordborg Sø.

### 3. Kilder til næringsstofbelastningen

*P og N belastningen i 2002.*

Kildefordelingen for belastningen af fosfor og kvælstof til Nordborg Sø for året 2002 fremgår af tabel 3.2 og 3.3.

*Beregning af kildefordeling.*

Som værdi for den atmosfæriske deposition af N og P er benyttet hhv. 15 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> og 0,10 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> /1/. Som værdi for den "naturlige tilførsel" (baggrundsbidrag) er der anvendt en baggrundskoncentration på hhv. 1,38 mg N l<sup>-1</sup> og 0,041 mg P l<sup>-1</sup>/1/. Belastningsbidraget fra det dyrkede land (landbrugsbidraget) er beregnet som differencen mellem den totale stoftilførsel til søen og tilførslen fra de øvrige storkilder (dvs. regnvandsbetingede udløb, spredt bebyggelse, naturbidrag samt atmosfærisk deposition). En fare ved denne beregning af landbrugsbidraget som en differens mellem de målte og estimerede størrelser er, at usikkerhederne akkumuleres i dette led. Bl.a. bliver en eventuel stofretention i oplandet indregnet i dette bidrag. En af årsagerne til de store usikkerheder i beregningen er, at vi reelt ikke kender de "virkelige" værdier for hverken deposition eller naturbidrag.

*Spredt bebyggelse.*

Der er regnet med et forureningsbidrag på 1,0 kg P/år og 4,4 kg N/år. pr. personækvivalent (pe) og 2,5 pe pr. ejendom. I delopland SV for Nordborg Sø ligger der en ejendom med septiktank og i oplandet "Fægteborgbæk" ligger der også en enkelt ejendom med septiktank (for deloplandenes placering se figur 2.2) /7/.

*Regnvandsbetingede udløb.*

Der er to typer af regnvandsbetingede udløb, nemlig overløb fra fælleskloakerede oplande og regnvandsudledning fra separatkloakerede oplande. Ved overløb fra de fælleskloakerede oplande består overløbet af en blanding af spildevand og regnvand. Regnvandet der kommer fra de separatkloakerede oplande har ikke været i direkte forbindelse med spildevandet. Regnvandet vil dog ofte indeholde store mængder stoffer, som er tilført vandet på dets vej ned gennem atmosfæren, ved afstrømning fra veje og P-pladser, ved afstrømning gennem ledningsnettet, ved fejlkoblinger mm /5/. Miljøstyrelsen har fastlagt, at regnvand fra separatkloakerede oplande indeholder 0,5 mg fosfor pr. liter og 2,0 mg kvælstof pr. liter /3/.

*0,5 mg P/l i regnvand fra separatkloakerede oplande.*

Fordeling og antal af regnvandsudløb fremgår af tabel 3.1, i hvilken det også er beskrevet, i hvilket opland de enkelte overløb befinder sig og hvor meget fosfor og kvælstof de belaster søen med.

Tabel 3.1. Overløb fra fælleskloakerede og regnvandsudledninger fra separatkloakerede oplande til Nordborg Sø. Kilde Nordborg Kommune 2003. /6/.

Delopland	Overløb fra fælleskloakerede oplande			Delopland	Regnvand fra separatkloakerede oplande		
	Antal udløb	Tot-N (kg)/år	Tot-P (kg)/år		Antal udløb	Tot-N (kg)/år	Tot-P (kg)/år
NV for Nordborg Sø	1	3	0	S058T03 Fægteborg Bæk	1	175	44
SØ for Nordborg Sø	2	74	15	S058T04 Lavensby	2	89	22
				NV for Nordborg Sø	1	113	28
				SV for Nordborg Sø	1	44	11
				SØ for Nordborg Sø	1	39	10
I alt:		77	15			460	115

### 3.1. Fosforbelastningen

Tabel 3.2. Kildfordelingen af fosforbelastningen til Nordborg Sø i 2002. Alle værdier er angivet i kg Total-P.

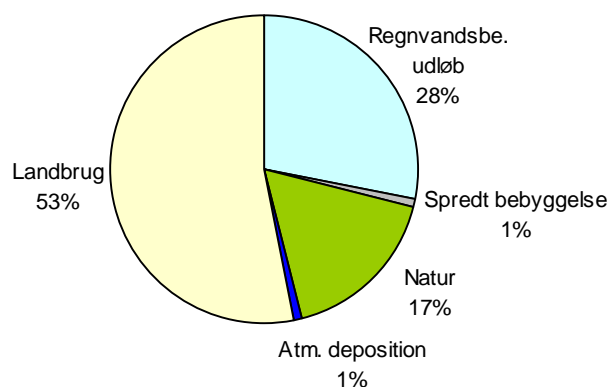
Kildfordelingen af fosforbelastningen til Nordborg Sø 2002.														
Kilde	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Sommer	Året
Regnvandsbetingede udløb	12	13	9	9	9	11	16	10	8	12	12	9	54	130
Spredt bebyggelse	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	2	5
Atm. deposition	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	2	5
Natur	13	23	16	3	2	0	1	1	0	3	10	5	3	77
Landbrug	21	103	57	13	0	-2	15	4	-1	5	29	4	16	248
<b>Samlet tilførsel</b>	<b>47</b>	<b>140</b>	<b>83</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>33</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>21</b>	<b>52</b>	<b>19</b>	<b>77</b>	<b>465</b>

Landbruget den største fosforkilde.

Kildfordelingen af fosforbelastningen til Nordborg Sø viser, at landbruget var den største kilde til belastning med fosfor i 2002 (se tabel 3.2 og figur 3.1). Nærmere bestemt kom der 248 kilo fosfor om året til søen, svarende til 53%, som kan henføres til landbrugsdriften i oplandet til søen.

Regnvandsbetingede udløb var en væsentlig fosforkilde i 2002.

Den næstmest betydende fosforkilde var bidragene fra de regnvandsbetingede udløb. Denne fosforkilde var betydelig med knap 130 kilo fosfor om året svarende til 28%. Derefter fulgte naturbidraget som var på knap 80 kg om året svarende til 17%. Og sidst og mindst bidragene fra den spredte bebyggelse og den atmosfæriske deposition, begge udgjorde de små 1% af den samlede fosforbelastning.



Figur 3.1. Kildfordelingen i % af den totale fosforstofbelastning til Nordborg Sø i 2002.

### 3.2. Kvælstofbelastningen

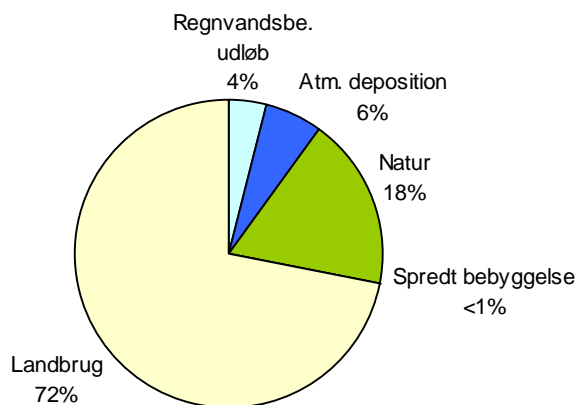
Tabel 3.3. Kildfordelingen af kvælstofbelastningen til Nordborg Sø i 2002. Alle værdier er angivet i kg total-N.

Kildfordelingen af kvælstofbelastningen til Nordborg Sø 2002.														
Kilde	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Sommer	Året
Regnvandsbetingede udløb	49	55	39	36	37	45	64	42	32	50	49	36	222	537
Spredt bebyggelse	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	9	22
Atm. deposition	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	341	819
Natur	433	763	528	116	50	7	26	19	2	108	323	175	105	2551
Landbrug	2085	2814	1203	290	108	30	35	59	28	638	1875	766	259	9928
<b>Samlet tilførsel</b>	<b>2637</b>	<b>3702</b>	<b>1841</b>	<b>512</b>	<b>266</b>	<b>152</b>	<b>195</b>	<b>190</b>	<b>133</b>	<b>866</b>	<b>2316</b>	<b>1046</b>	<b>936</b>	<b>13857</b>

Kildefordelingen af kvælstofbelastningen til Nordborg Sø i 2002 (tabel 3.3 og figur 3.2) viser, at landbruget var den største kilde til kvælstofbelastning i 2002. 9928 kg total-N eller godt 70% af kvælstoffet til Nordborg Sø kom således fra landbruget.

*Landbruget største kvælstofkilde.*

Derefter fulgte naturbidraget med 18%. På tredjepladsen kom den atmosfæriske deposition med 6% skarpt efterfulgt af bidraget fra de regnvandsbetingede udløb som udgjorde 4%. Den spredte bebyggelse bidrog med under 1% og er i denne sammenhæng af meget lille betydning.



Figur 3.2. Kildefordelingen i % af den totale kvælstofbelastning til Nordborg Sø i 2002.

### 3.3. Næringsstofbelastningens udvikling

I tabel 3.4 er den målte/beregneede belastning med totalkvælstof og totalfosfor i hhv. 1988, 1992, 1994 /14/ og 2002 angivet. Det skal bemærkes, at stoffbelastningen varierer fra år til år afhængig af nedbørens størrelse. Derudover er stoffbelastningen afhængig af oplandets størrelse. I nærværende rapport er oplandet til søen blevet revideret og efterfølgende blevet opgjort til 1183 ha, hvor det før var opgjort til 1081 ha. Imidlertid er det kun det målte opland som er blevet større. Belastningen fra det målte opland beregnes ud fra målinger i tilløbene, derfor har ændringer i arealet ingen indflydelse på beregningsresultatet..

Tabel 3.4. Målt stoffbelastning med kvælstof og fosfor til Nordborg Sø. I 2002 er tallene hentet fra stoffbalceberegningerne (se tabel 4.2 og 4.3), dvs. inklusive grundvandsbidrag.

	Total belastning til Nordborg Sø	
	Tot-N kg/år	Tot-P kg/år
1988	42.170	1.665
1992	25.856	498
1994	34.157	1.202
2002	16.150	528

Året 1992 var et varmt og tørt år. I tabel 3.4, er stofbelastningerne fra dette år da også relativt små. Årene 1994 og 2002 derimod er sammenlignelige, da der begge år faldt omtrent den samme mængde nedbør. Begge år mere end normalt. En sammenligning af belastningsværdierne fra disse to år giver derfor et brugbart billede af udviklingen. Således er kvælstofbelastningen fra 1994 til 2002 faldet med over 50% mens fosforbelastningen samme periode er faldet med 56%.

*Stort fald i den eksterne næringsstofbelastning.*

Der er store usikkerheder forbundet med udregningerne, men selv med diverse usikkerheder i mente er der stærke indikationer, som peger i retning af, at der er sket en reduktion i belastningen med næringsstoffer til Nordborg Sø inden for de senere år.

Naturbidraget har næppe ændret sig, derfor må det beregnede fald i den eksterne næringsstofbelastning komme fra en reduktion fra landbrug og spredt bebyggelse.

*Teoretisk belastningsmodel viser alt for små tal.*

I en tidligere rapport om Nordborg Sø /12/ blev der i 1988 lavet en teoretisk belastningsopgørelse for Nordborg Sø. Opgørelsen blev lavet på baggrund af kendskabet til arealtyper og oplandsstørrelse. I opgørelsen blev der ikke indregnet standardbidrag fra separat og fælleskloakerede systemer. Den teoretiske belastningsopgørelse gav følgende resultat: Tot-N = 16.084 kg/år og Tot-P = 546 kg/år. I samme rapport blev stofbelastningen også opgjort på baggrund af faktiske målinger. Disse tal var væsentlig højere: Tot-N = 42.170 kg/år og Tot-P = 1.665 kg/år. Denne store forskel blev først og fremmest forklaret ved, at der kan være tale om fejltilslutninger i kloaksystemer og udsivning fra ikke kloakerede områder.

*Fejltilslutninger til kloaksystemet?*

Som en direkte konsekvens af resultaterne fra /12/ besluttede Sønderjyllands Amt og Nordborg Kommune efterfølgende at foretage en kortlægning af forureningskilder i oplandet til søen, således at der efterfølgende kunne gribes ind med konkrete tiltag /13/.

I den mellemliggende periode frem til i dag har Nordborg Kommune rettet en række fejlkoblinger, ligesom flere kildeopsporinger bl.a. har ført til standsning af ulovlige gylleudslip. Det kan også nævnes, at der i oplandet til Fægteborg Bæk tidligere lå en losseplads (affaldsdepot nr. 523-5703). Ifølge Sønderjyllands Amts grundvandsafdeling blev rørlægningen under pladsen foret i 1993, så den i dag skulle være helt tæt.

*Indsats har tilsyneladende givet resultat.*

Hvis resultaterne fra den teoretiske belastningsopgørelse fra 1988 /12/, sammenlignes med de faktiske målte værdier i 2002 ligger de målte værdier et stykke under de teoretiske værdier. De teoretiske værdier er desuden beregnet eksklusive standardbidrag fra separat og fælleskloakerede systemer samt med baggrund i et lidt mindre opland. Udover at der er sket en generel reduktion af tilførte næringsstoffer (tabel 3.4),

*Ingen fald i den regnvands-  
betingede udledning af N og P.*

kunne tallene pege i retning af, at problemet med fejltilslutninger i kloaksystemer og udsivning fra ikke-kloakerede områder er reduceret. Mht. de regnvandsbetingede udløb ser det derimod ikke ud til, at belastningen med hverken kvælstof eller fosfor er blevet mindre, når der foretages en sammenligning med den sidste opgørelse i 1991-95 /14/. Her blev total kvælstof og total fosfor belastningen opgjort til hhv. 438 og 74 kg/året. Til sammenligning blev værdierne i 2002 opgjort til 537 og 130 kg/året.

*Der kommer meget fosfor fra de  
separatkloakerede oplande*

Imidlertid er der meget som tyder på, at langt størstedelen af fosforbelastningen fra de regnbetingede udløb stammer fra de separatkloakerede oplande, jævnfør tabel 3.1. Således kommer 88% af fosforen fra de separatkloakerede oplande, mod kun 12% fra de fælleskloakerede oplande. Hvis antagelserne for beregningerne er korrekte /3/ betyder det at, 25% af den fosfor som Nordborg Sø modtager udefra, kommer med regnvandet fra de separatkloakerede oplande.



## 4. Vand- og næringsstofbalancer

Søvandets næringsstofkoncentrationer og dermed søens miljøtilstand er i høj grad styret af næringsstofkoncentrationerne i tilløbene og af vandtilstrømningen. For at kunne vurdere tilstanden og udviklingen i søen er det derfor nødvendigt med et grundigt kendskab til den eksterne tilførsel af næringsstoffer og vand. I dette kapitel er vand- og næringsstofbalancen for fosfor og kvælstof behandlet for år 2002

### 4.1. Vandbalance

Beregning af vandbalancen.

Vandbalancen for Nordborg Sø kan opgøres månedsvis på følgende måde:

Målt/beregnet tilløb + nedbør + tilført grundvand = målt fraløb + fordampning + fraført grundvand + magasinændring.

$$Q_{\text{målt}} + Q_{\text{umålt}} + Q_{\text{nedbør}} + Q_{\text{indsivning}} = Q_{\text{afløb}} + Q_{\text{fordampning}} + Q_{\text{udsivning}} + \Delta_{\text{volumen}}$$

$Q_{\text{målt}}$  er summen af målte tilløb (målt opland),  $Q_{\text{umålt}}$  er ikke målt, beregnet tilløb (umålt opland),  $Q_{\text{nedbør}}$  er den korrigerede nedbør (målt nedbør x 1,16),  $Q_{\text{fordampning}}$  er fordampningen (den potentielle fordampning x 1,2) og  $Q_{\text{afløb}}$  er det målte afløb.  $\Delta_{\text{volumen}}$  er søens volumenændring, som varierer med ændringer i vandstanden. Grundvandsudvekslingen,  $Q_{\text{indsivning}}$  eller  $Q_{\text{udsivning}}$  beregnes derefter ved afstemning af ovenstående ligning. Årsbalancen beregnes herefter ved summering af de enkelte måneders resultater. Beregningen af det umålte oplands bidrag, beregnes ved sammenligning med den målte afstrømning i et nærliggende, lignende opland.

Table 4.1. Vandbalance for Nordborg Sø 2002. Alle værdier er angivet i 1000 m<sup>3</sup>.

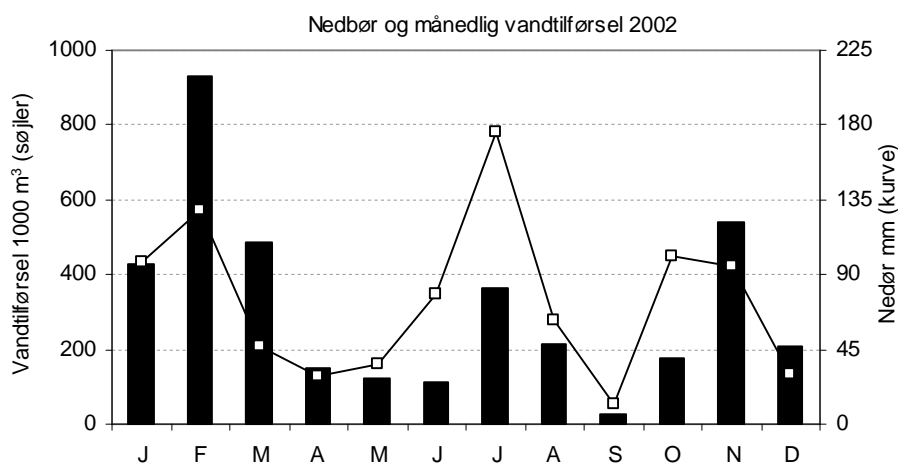
Vandbalance for Nordborg Sø 2002														
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Sommer	År
<b>Tilførsel</b>														
Tilløb fra Pøl	32,5	45,7	37,1	6,8	3,6	2,1	4,2	1,5	1,4	7,6	19,3	11,7	12,8	173,4
Tilløb fra Dam	72	108,1	48,7	14,1	4,6	1,7	4,5	4,5	1,6	16,5	45,1	24,4	16,9	345,9
Fægteborg Bæk	72,8	139,4	121,9	33,1	19	6,9	15,1	16,8	2,2	42,5	60,2	31,5	59,9	561,3
Tilløb fra Lavensby	68,8	113,6	42,7	5	5,1	1,3	6,5	0,1	0,4	19,5	54,5	24,6	13,5	342,3
Umålt opland	63,7	111,4	97,7	32,7	20,4	13	14,3	15,7	12,4	24,9	52,2	35,5	75,8	493,9
Nedbør	63,9	85,4	31	18,8	22,9	49,9	112,2	40,5	7,3	64,7	61,9	19,5	232,8	578,1
Grundvand	54,5	325	105,1	37	47,6	39,9	208,4	136,6	0	0	247,1	63,1	432,5	1264,5
<b>Ialt</b>	<b>428,2</b>	<b>928,7</b>	<b>484,3</b>	<b>147,5</b>	<b>123,1</b>	<b>114,9</b>	<b>365,3</b>	<b>215,7</b>	<b>25,4</b>	<b>175,7</b>	<b>540,4</b>	<b>210,3</b>	<b>844,3</b>	<b>3759,3</b>
<b>Fraførsel</b>														
Afløb	389,8	821,5	652,4	170	88,4	32,3	246,2	206,2	18,5	42,5	490,3	243,9	591,6	3402,1
Fordampning	4,2	11,3	24,6	37,5	62,5	73	64,2	64,9	43,4	15	4,8	2,7	308	408,1
Grundvand	0	0	0	0	0	0	0	0	18,7	3,3	0	0	18,7	22
<b>Ialt</b>	<b>393,9</b>	<b>832,8</b>	<b>677</b>	<b>207,6</b>	<b>151</b>	<b>105,3</b>	<b>310,4</b>	<b>271,1</b>	<b>80,6</b>	<b>60,9</b>	<b>495,1</b>	<b>246,7</b>	<b>918,3</b>	<b>3832,3</b>
<b>Magasinering</b>	34,2	95,9	-192,7	-60,1	-27,9	9,7	54,9	-55,4	-55,2	114,8	45,3	-36,4	-74	-72,9

Den samlede vandtilførsel til Nordborg Sø udgjorde i 2002 i alt 3,78 mio. m<sup>3</sup> på årsbasis og 0,84 mio. m<sup>3</sup> i sommerperioden (tabel 4.1).

#### Årstidsvariation.

Den sæsonmæssige variation i vandtilførslen er vist i figur 4.1. Der er som forventet en overordnet sammenhæng mellem nedbørsmængde og vandtilførsel (figur 4.1).

I februar regnede det meget og da fordampningen om vinteren er meget lille medførte dette en forholdsmæssig stor vandtilførsel i denne måned. Selv om nedbøren var forholdsvis beskeden i den efterfølgende måned bar vandtilførslen stadig præg af den megen regn i februar. Det regnede imidlertid langt mere i juli. Dette blev også afspejlet i vandtilførslen som imidlertid var langt fra februars niveau. September var en meget tør måned, det regnede stort set ikke og vandtilførslen var da også meget lille.



Figur 4.1. Den samlede månedlige nedbør og vandtilførsel til Nordborg Sø i 2002.

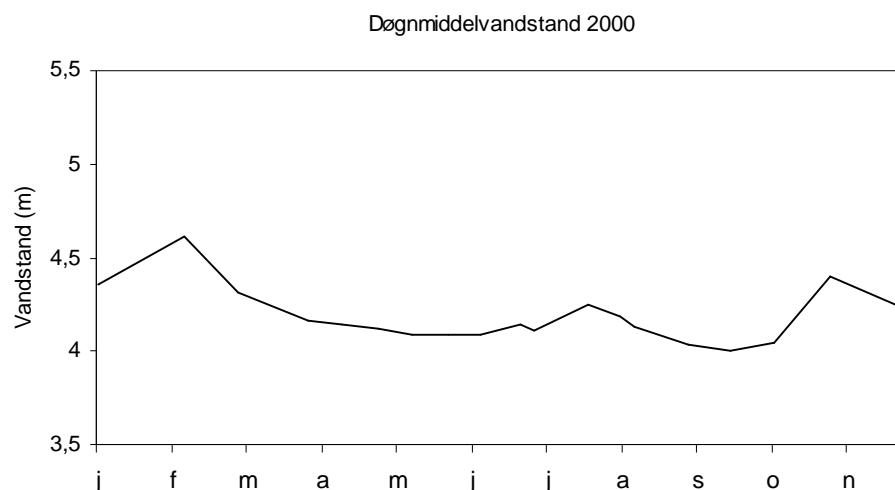
#### Nedbør og fordampning.

Betydningen af nedbøren direkte på søoverfladen var på årsbasis ikke uden betydning. Den udgjorde således 15,3% af den totale vandtilførsel. I sommermånederne var betydningen endnu større idet den på sommerbasis (maj-september) udgjorde hele 27,6 % af den tilførte vand. Specielt i månederne juli og august var nedbørens andel af den totale vandtilførsel med hhv. 57% og 63% af stor betydning. Fordampningen fra søoverfladen udgjorde på årsbasis 10,6% af den tilførte vandmængde. Betydningen af fordampningen var naturligvis størst om sommeren, fordampningen udgjorde her 33,5% af den vandmængde der forlod søen.

#### Magasinering.

Magasineringen i søen er et udtryk for ændringer i søens vandvolumen og beregnes ud fra ændringer i søens vandstand. På årsbasis var der i 2002 en forskel 73.000 m<sup>3</sup> (tabel 4.1), hvilket svarede til en netto vandstandssænkning på ca. 0,1 meter fra årets begyndelse til årets slutning (figur 4.2). I januar, februar, juni, juli, oktober og november

var magasineringen positiv (vandvolumen stiger), mens den i de resterende måneder i året var negativ (vandvolumen falder).



Figur 4.2. Vandstanden (døgnmiddelvandstand) i Nordborg Sø 2002 angivet i forhold til DNN.

Grundvandsudvekslingen var tilsyneladende af stor betydning.

Grundvandsbidraget til søen er beregnet som et restled ud fra vandbalancen og er som følge deraf meget usikkert bestemt, idet usikkerheder i de andre led akkumuleres her. I 2002 var den samlede beregnede grundvandstilførsel af stor betydning, idet den udgjorde en tredjedel af den samlede vandtilførsel til søen.

## 4.2. Fosforbalance

Beregning af fosforbalancen.

I fosforbalancen indgår den totale eksterne fosfortilførsel, magasinering, retention og fosforfraførsel. Fosforbalancen kan ud fra vandbalancen og målte fosforkoncentrationer i søen og dens tilløb og afløb opstilles som:

Målt/beregnet tilløb + bidrag fra atmosfæren + tilført grundvand – søretention = målt fraløb + fraført grundvand + magasinændring.

$Til\_P - P_{søretention} = Afl\_P + \Delta_{magasin\_P}$ , hvor

$Til\_P = Til\_P_{målt} + Til\_P_{umålt} + Atm\_P + Indsiv\_P$  og

$Afl\_P = Afl\_P_{målt} + Udsiv\_P$

$Til\_P$  er den samlede fosfortilførsel fra det målte opland ( $Til\_P_{målt}$ ), umålt opland ( $Til\_P_{umålt}$ ), atmosfærisk deposition ( $Atm\_P$ ) og den beregnede indsivning ( $Indsiv\_P$ ). Den samlede fosforfraførsel ( $Afl\_P$ ) er summen af målt fraførsel i afløbet ( $Afl\_P_{målt}$ ) og den beregnede udsivning ( $Udsiv\_P$ ).  $\Delta_{magasin\_P}$  er ændringen i søens fosforindhold over

måneden, og retentionen af fosfor i søen ( $P_{\text{søretention}}$ ), som dermed er eneste ubekendte led, beregnes til sidst ud fra de øvrige faktorer.

Fosforbalancen for Nordborg Sø i 2002 fremgår af tabel 4.2 og den månedsvise fosfortilførsel, er vist på figur 4.3.

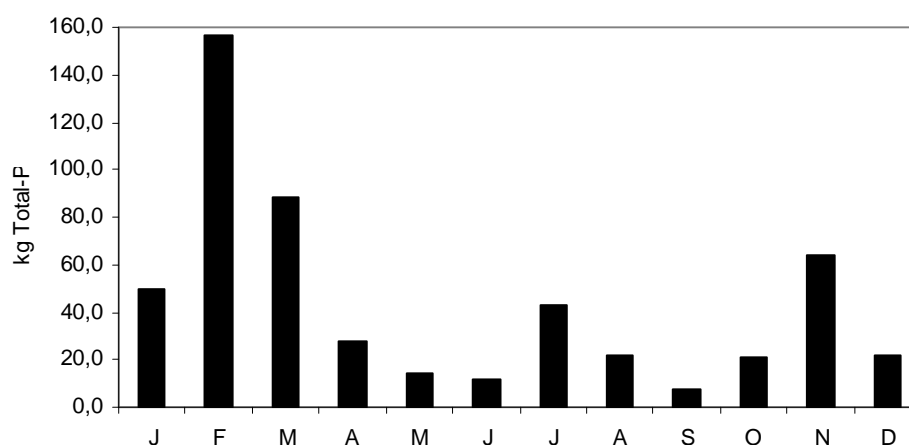
Tabel 4.2. Fosforbalance for Nordborg Sø 2002. Alle værdier i kg Total-P.

Fosforbalance for Nordborg Sø 2002														
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Sommer	År
<b>Tilførsel</b>														
Til. S058T01	8,7	20,6	24,9	4,2	0,6	1	4,3	0,6	0,5	2,2	5	2,6	7	75,3
Til. S058T02	5,8	32,6	7,8	1,2	0,5	0,3	0,9	1	0,3	2,8	5,9	1,6	3	60,8
Til. S058T03	9,7	20	13,9	7	2,8	2	13,8	5,9	0,5	5,8	8,2	3,4	25,1	93,1
Til. S058T04	10,7	39,8	16,6	3,1	1,1	0,5	3,9	0,1	0,1	2,7	22,1	3,4	5,7	104,1
Umålt opland	11,6	26,7	19,3	9,7	6,2	5,6	9,5	7,4	5,5	7	10	7,4	34,2	125,9
Grundvand	2,7	16,3	5,3	1,9	2,4	2	10,4	6,8	0	0	12,4	3,2	21,6	63,2
Atm. deposit	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,3	5,6
<b>Ialt</b>	<b>49,6</b>	<b>156,4</b>	<b>88,3</b>	<b>27,5</b>	<b>14</b>	<b>11,9</b>	<b>43,3</b>	<b>22,3</b>	<b>7,5</b>	<b>21</b>	<b>64,1</b>	<b>22,2</b>	<b>99</b>	<b>528</b>
<b>Fraførsel</b>														
Afløb	91,6	180,9	109,4	18,4	11,1	10,9	83,9	81,7	7,8	13	113,9	42,1	195,3	764,7
Grundvand	0	0	0	0	0	0	0	0	10,6	1,3	0	0	10,6	12
<b>Ialt</b>	<b>91,6</b>	<b>180,9</b>	<b>109,4</b>	<b>18,4</b>	<b>11,1</b>	<b>10,9</b>	<b>83,9</b>	<b>81,7</b>	<b>18,4</b>	<b>14,3</b>	<b>113,9</b>	<b>42,1</b>	<b>206</b>	<b>776,6</b>
<b>Magasinering og retention</b>														
Magasinering	-19,9	-76,5	-178,5	-196,7	462,8	328,7	68,7	290,7	34,6	-576,6	-258,2	-93	1185,5	-213,9
Retention	-22,1	52,1	157,4	205,8	-459,8	-327,8	-109,2	-350,1	-45,6	583,2	208,4	73,1	-1292,6	-34,7
<b>Ialt</b>	<b>-42</b>	<b>-24,4</b>	<b>-21,1</b>	<b>9,1</b>	<b>2,9</b>	<b>0,9</b>	<b>-40,5</b>	<b>-59,4</b>	<b>-11</b>	<b>6,7</b>	<b>-49,8</b>	<b>-19,9</b>	<b>-107</b>	<b>-248,6</b>

Samlet fosfortilførsel.

Den samlede fosfortilførsel til Nordborg Sø udgjorde i 2002 528 kg. Hovedparten af den tilførte fosfor stammer fra de fire tilløb, som tilsammen udgjorde 63% af den samlede tilførsel. Herefter fulgte det umålte opland med 24% samt grundvand og atmosfærisk deposition med hhv. 12% og 1%.

Månedlig fosfortilførsel 2002



Figur 4.3. Den månedsvise tilførsel af fosfor til Nordborg sø i 2002.

Fosfortilførslen størst i vintermånederne.

Den største månedsvise tilførsel fandt sted i månederne, Januar, februar, marts, juli og november sammenfaldende med de maksimale vandføringer, medens de mindste belastninger fandt sted i maj, juni og sep-

tember. Den megen nedbør i juli måned har uden tvivl givet anledning til øget udvaskning af fosfor i denne måned, hvilket da også fremgår af figur 4.3. De år hvor nedbøren er mere normal vil den store afstrømning om vinteren give anledning til en stor udvaskning af fosfor, mens vegetationen og fordampningen om sommeren vil betyde, at tilførslen af fosfor er mere begrænset i denne periode.

#### Fosforbidrag fra grundvandet.

Grundvandsbidraget, som er beregnet ud fra grundvandstilførslen ved anvendelse af en fosforkoncentration i grundvandet på  $0,05 \text{ mg P l}^{-1}$ , udgjorde på årsbasis 12% af den samlede fosfortilførsel. På sommerbasis var grundvandsbidraget af noget større betydning da knap 22% af den samlede fosfortilførsel blev beregnet til at komme fra denne kilde.

#### Fosfortilførslen bliver muligvis overestimeret.

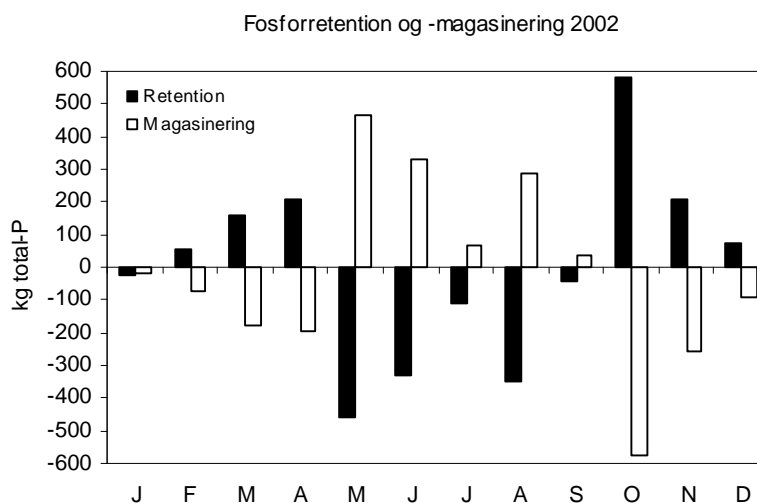
Grundvandstilførslen udgør ca. 1/3 (tabel 4.1) af den samlede vandtilførsel. En del af denne vandtilførsel skal sikkert henføres til drænvand fra marker. Derfor er det sandsynligt, at en fosforkoncentration på  $0,05 \text{ mg P l}^{-1}$  er for lavt sat. Dvs., at der er en reel risiko for, at fosfortilførslen bliver underestimeret. Er det tilfældet bliver fosforfrigivelsen til gengæld overestimeret.

#### Atmosfæriske bidrag uden betydning for fosforbalancen.

Ved det atmosfæriske nedfald er der anvendt en værdi på  $0,10 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  /1/. Betydningen af den atmosfæriske deposition var reelt uden betydning. På årsbasis udgjorde dette 1% af den samlede fosfortilførsel og om sommeren 2%.

#### Fosformagasinerings og fosforretention.

Magasineringsen udtrykker den fosformængde, der ophobes i søvandet som følge af ændringer i vandstand og fosforkoncentrationer. Fosforretentionen er et udtryk for den fosformængde, der netto tilbageholdes eller frigives til søvandet. En positiv fosforretention betyder, at der i søbunden bliver optaget fosfor og en negativ fosforretention er et udtryk for, at der fra søbunden bliver frigivet fosfor.



Figur 4.4. Fosforretention og -magasinerings i Nordborg Sø i 2002. En negativ fosforretention svarer til en netto frigivelse af fosfor til søvandet. Magasineringsen udtrykker ændringer i søvandets indhold af fosfor som følge af ændringer i henholdsvis hhv. vandstand og forforkoncentration.

I månederne maj, juni og august var indholdet af fosfor i søvandet størst (figur 4.4). I juni måned var det en positiv vandmagasinering og en stor frigivelse af fosfor, som førte til en stor fosformagasineren. I maj og august var det den negative fosforretention, som forklarer den store fosformagasineren i disse måneder.

Oktober var den måned hvor fosformagasineren var mindst. Det vil sige, at fosforindholdet i vandet var faldende i denne måned. Det var da også den måned, hvor sedimentet optog den største fosformængde. Derimod har den store positive vandmagasinering i denne måned tilsyneladende ikke spillet den store rolle.

På årsbasis udgjorde fosforretentionen i 2002 i alt  $-34,7$  kg P, dvs., at der netto blev frigivet fosfor fra søbunden svarende til  $0,17$  mg P  $m^{-2} d^{-1}$ . Om sommeren blev der frigivet ikke mindre end 1293 kg fosfor (tabel 4.2).

*Fosforfrigivelsen størst i sommerperioden.*

I perioder med høje vandtemperaturer og lagdeling af søens vandmasser vil der ofte opstå lave iltkoncentrationer i de bundnære vandmasser. Dette betyder lave iltkoncentrationer i sedimentet, som resulterer i, at fosfor frigives til vandet. Da Nordborg Sø har et stabilt springlag dele af sommeren (se figur 5.1) må det forventes, at der finder en øget fosforfrigivelse sted i denne periode. Derudover er der en øget biologisk aktivitet med stigende temperatur. Dette er ligeledes medvirkende til en øget fosforfrigivelse om sommeren.

### 4.3. Kvælstofbalance.

Kvælstofbalancen for Nordborg Sø i 2002 er vist i Tabel 4.3 og den månedsvise kvælstoftilførsel er vist i figur 4.5. Kvælstofbalancen kan opstilles på samme måde som fosforbalancen.

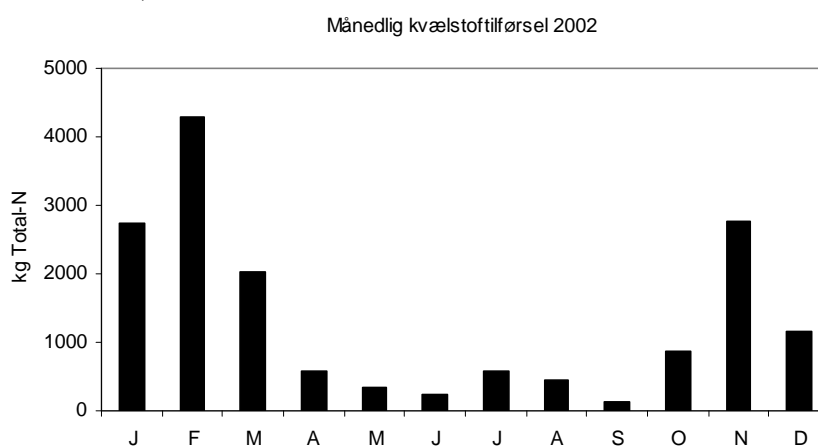
Tabel 4.3. Kvælstofbalancen for Nordborg Sø 2002. Alle værdier i kg Total-N

<b>Kvælstofbalance for Nordborg Sø 2002</b>														
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Sommer	År
<b>Tilførsel</b>														
Til. S058T01	338,9	371,7	260,7	73,7	39,2	23,1	25,5	11	15,7	117,5	265,4	126	114,6	1668,6
Til. S058T02	650,2	865,2	333,2	100,9	31	10,2	22,1	20,9	11,4	159	502,8	232,7	95,6	2939,6
Til. S058T03	386,6	658,8	415,1	100,5	26,9	10,7	23,8	41,3	3,9	134,6	371,7	148,2	106,8	2322,4
Til. S058T04	706	1030,4	359,6	47,6	49,5	9,7	21,3	0,9	3,6	228,7	685,8	274,9	85	3418
Umålt opland	487,4	708,1	403,7	120,9	51	30,3	34,2	47,6	30,1	157,7	422,4	196,2	193,3	2689,7
Grundvand	98,2	585	189,3	66,6	85,6	71,9	375,1	245,9	0	0	444,9	113,6	778,6	2276,1
Atm. deposit	70,5	71,5	70,5	69,4	69,1	68,9	69	69,6	68,6	68,6	70,6	69,7	345,2	836
<b>Ialt</b>	<b>2737,8</b>	<b>4290,7</b>	<b>2032,1</b>	<b>579,7</b>	<b>352,4</b>	<b>224,9</b>	<b>571,1</b>	<b>437,3</b>	<b>133,3</b>	<b>866,2</b>	<b>2763,6</b>	<b>1161,5</b>	<b>1718,9</b>	<b>16150</b>
<b>Fraførsel</b>														
Afløb	708	1830,5	1573,7	336,1	116,1	35,5	307,5	308,9	19,3	50,8	755,8	448,8	787,2	6490,9
Grundvand	0	0	0	0	0	0	0	0	22,4	4,5	0	0	22,4	27
<b>Ialt</b>	<b>708</b>	<b>1830,5</b>	<b>1573,7</b>	<b>336,1</b>	<b>116,1</b>	<b>35,5</b>	<b>307,5</b>	<b>308,9</b>	<b>41,7</b>	<b>55,4</b>	<b>755,8</b>	<b>448,8</b>	<b>809,6</b>	<b>6517,8</b>
<b>Magasinering og retention</b>														
Magasinering	766	2417,8	-875,2	-2179,4	-1507,6	-161,7	-185,3	97,5	1162,1	-232,7	881,9	258,8	-594,9	442,3
Retention	1263,8	42,4	1333,5	2423	1743,9	351,1	448,9	30,9	-1070,5	1043,5	1125,9	453,9	1504,2	9190,2
<b>Ialt</b>	<b>2029,7</b>	<b>2460,2</b>	<b>458,3</b>	<b>243,6</b>	<b>236,3</b>	<b>189,4</b>	<b>263,6</b>	<b>128,4</b>	<b>91,6</b>	<b>810,8</b>	<b>2007,8</b>	<b>712,7</b>	<b>909,3</b>	<b>9632,6</b>

Den samlede kvælstoftilførsel til Nordborg Sø udgjorde i 2002 i alt 16150 kg N (tabel 4.3). På årsbasis kom hovedparten af den tilførte kvælstof fra de fire målte oplande, der tilsammen stod for 64% af den samlede tilførsel.

*Grundvandsbidraget var af betydning om sommeren.*

Om sommeren derimod kom de største bidrag fra grundvandet og fra den atmosfæriske deposition. Således stod de for hhv. 45% og 20% af den samlede tilførsel. Grundvandsbidraget er beregnet ud fra grundvandsstilførslen ved anvendelse af en kvælstofkoncentration i grundvandet på  $1,8 \text{ mg N l}^{-1}$ . Som ved fosfor er det her muligt, at kvælstoftilførslen er blevet underestimeret.



Figur 4.5. Den månedsvise tilførsel af kvælstof til Nordborg Sø i 2002.

*Kvælstoftilførslen størst i vintermånederne.*

Den største månedsvise tilførsel fandt sted i vintermånederne januar, februar, marts og november sammenfaldende med de maksimale vandføringer. De mindste tilførsler forekom i månederne maj, juni og den meget tørre september (figur 4.5).

*Kvælstofmagasinerings og kvælstofretention.*

Magasineringsen er et udtryk for den kvælstofmængde, der ophobes i søvandet som følge af ændringer i vandstand og kvælstofkoncentrationer. Kvælstofretentionen er et udtryk for den kvælstofmængde, der netto tilbageholdes og som primært fjernes fra søen ved denitrifikation, hvor nitrat omdannes til frit kvælstof.

Kvælstofmagasineringsen var positiv og udgjorde i 2002 442 kg N på årsbasis. De største kvælstofmagasinerings fandt sted i månederne februar, september og november (tabel 4.3). Februar og november var samtidig de to måneder med den største vandtilførsel (figur 4.1), hvilket forklarer den store kvælstofmagasinerings. I november var kvælstofretentionen ganske vist stor, men den store vandtilførsel har alligevel givet anledning til en stor kvælstofmagasinerings. I september var vandtilførslen lille. På trods af dette havde denne måned en stor kvælstofmagasinerings. Dette må betyde, at der i denne måned ikke er blevet fjernet kvælstof fra søvandet. På årsbasis udgjorde retentionen i 2002 omkring 9190 kg N, hvilket svarer til 56% af den tilførte kvælstofmængde.

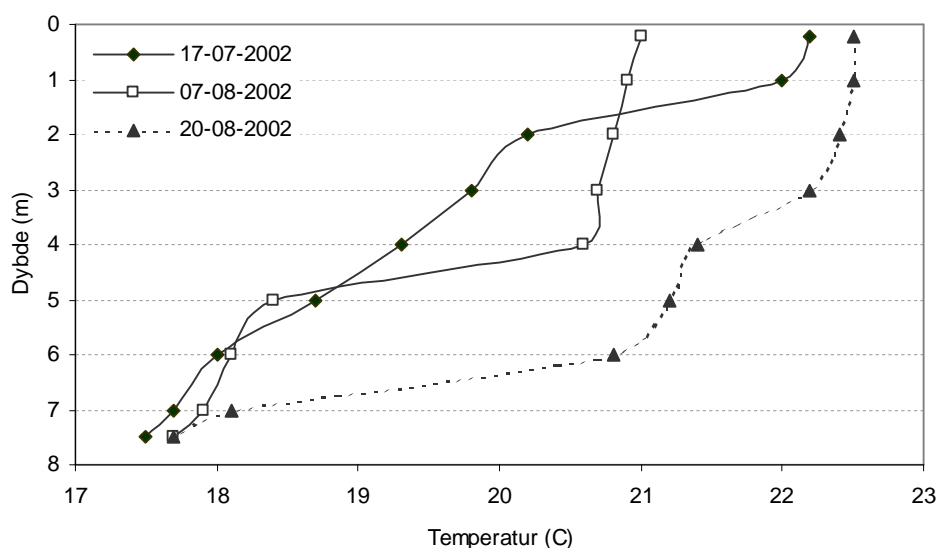
## 5. Vandkemiske og vandfysiske forhold

I dette afsnit beskrives resultaterne af de fysik-kemiske målinger i søvandet i Nordborg Sø. Der er lagt hovedvægt på året 2002, fordi året repræsenterer det nyeste og mest omfattende datamateriale om søen. Der er derudover i flere tilfælde inddraget måleresultater tilbage fra 1977 og frem til 2002 for at illustrere den tidsmæssige udvikling.

### 5.1. Temperatur og ilt

*Nordborg Sø har et springlag.*

Hvert år kan der om sommeren konstateres en temperaturafhængig lagdeling af vandmasserne i Nordborg Sø. Det såkaldte springlag, som defineres som en temperaturforskel  $> 1$  °C pr. meter. I 2002 var temperaturspringlaget størst fra midt i juli til sidst i august (figur 5.1).

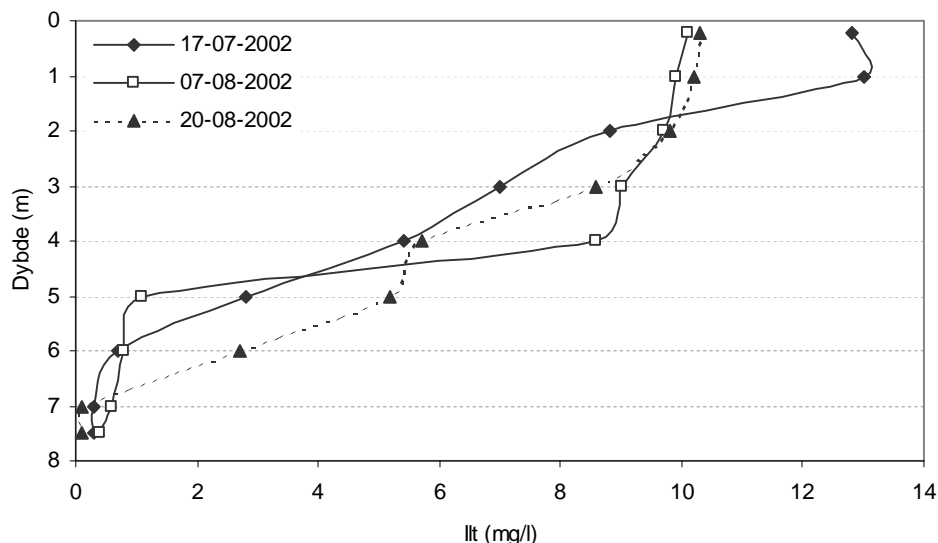


Figur 5.1. Temperaturprofilmålinger fra 2002. De viste profiler illustrerer de mest markante temperaturspringlag fra det pågældende år.

*Ingen ilt ved bunden.*

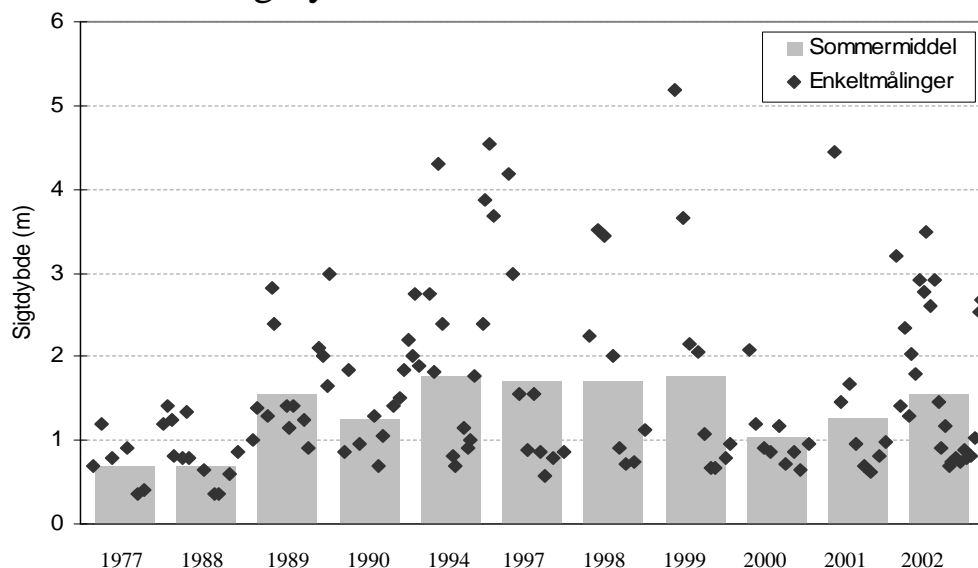
Vandets iltindhold er et resultat af en balance mellem iltproducerende og iltforbrugende processer samt iltudvekslingen med atmosfæren. Nordborg Sø kan med en dybde på 8,5 meter, selv efter danske forhold, ikke betegnes som en dyb sø. I langt hovedparten af danske dybe søer, vil iltindholdet under et stabilt springlag hurtigt nærme sig 0, hvorefter der vil være iltfrit ved bunden hele sommeren. Dette skyldes, at der her forbruges ilt under nedbrydning af organisk materiale. Samtidigt er springlaget en effektiv barriere mellem ilten fra luften og vandmasserne under springlaget. Derved forsvinder ilten under springlaget. I Nordborg Sø viser figur 5.2, at iltindholdet faldt ned gennem vandsøjlen og tæt ved bunden var iltindholdet meget tæt på 0.





Figur 5.2. Ilt profilmålinger fra 2002. De viste profiler illustrerer de mest markante ilt springlag fra det pågældende år.

## 5.2. Sigtdybde



Figur 5.3. Sigtdybde i Nordborg Sø. Målingerne er taget indenfor perioden 1977-2002. Sommermiddel er det tidsvægtede gennemsnit af prøver taget i perioden maj-sep.

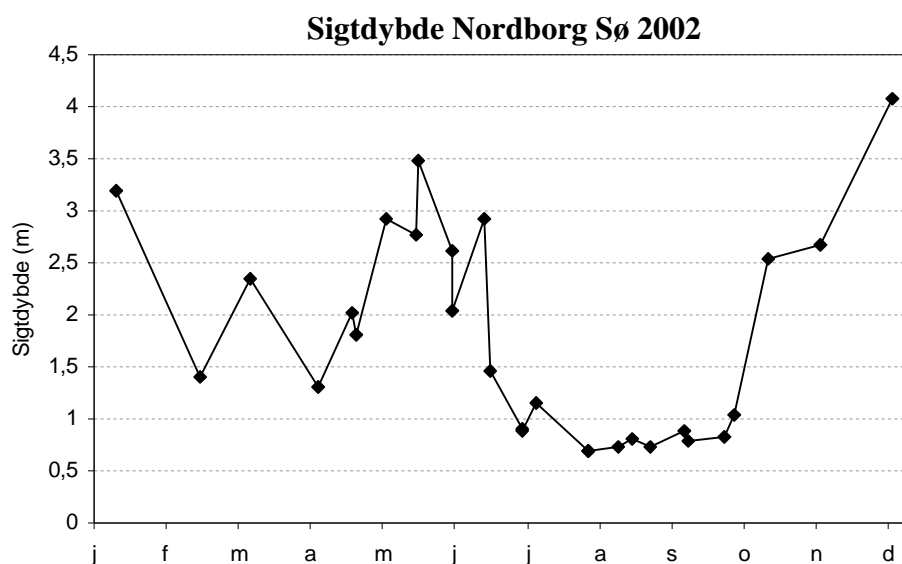
Sigtdybden ikke forbedret.

Set over perioden 1989 og frem til 2002 er sigtdybden ikke blevet bedre. Der er imidlertid fremgang at spore fra 1988 og frem. Det skal dog tilføjes, at der i 2000 var en tilbagegang i sigtdybden. De sidste to år, 2001 og 2002 har sigtdybden imidlertid været stigende og synes i 2002, at være tilbage på højde med den bedste målte periode.

Nordborg Sø adskiller sig ikke fra de fleste andre sønderjyske søer ved det faktum, at den har et højt næringsindhold. Men den adskiller sig fra de fleste andre næringsrige søer, ved i løbet af året at kunne "fremvise" sigtdybder, som er ganske imponerende. Således er der ved flere lejligheder målt sigtdybder på et godt stykke over 4 meter.

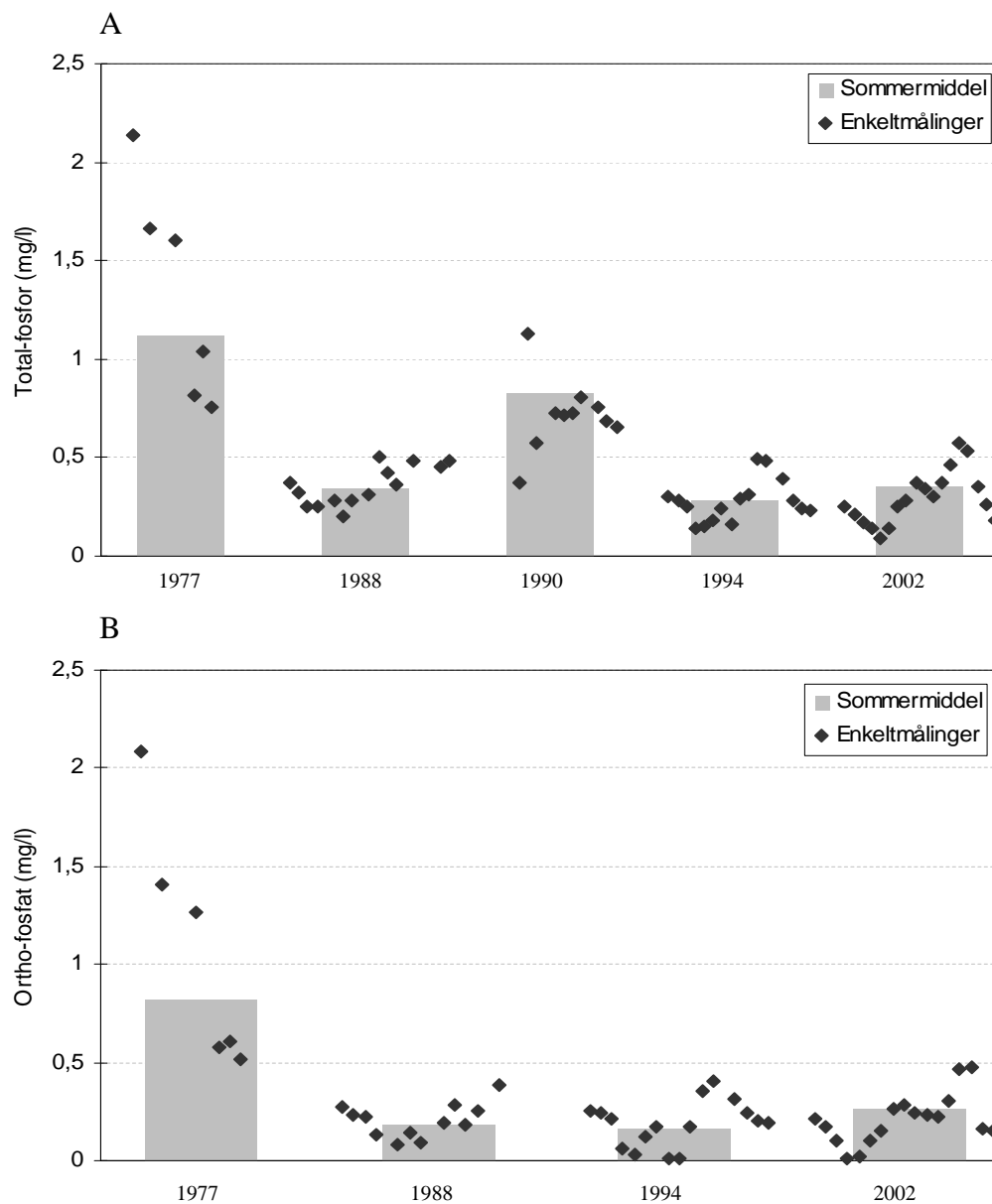
*Sigt dybden god om foråret*

I 2002 var den gennemsnitlige sigt dybde i sommerperioden (1. maj til 1. oktober) på 1,6 meter. I en stor del af perioden var sigt dybden dog under 1 meter. Når gennemsnittet alligevel var over 1 meter skyldes det, at der i foråret blev målt gode sigt dybder på omkring 3 meter, hvorefter sigt dybden imidlertid faldt brat, se figur 5.4. Dette mønster med en klarvandsperiode om foråret (sigt dybder omkring 3-4 meter) efterfulgt af lave sigt dybder omkring 1 meter i størstedelen af sommerperioden er observeret i søen de seneste 6 år, og synes at være typisk for Nordborg Sø.



Figur 5.4. Sigt dybden i Nordborg Sø i 2002. Bemærk det bratte fald i sigt dybden, som finder sted først på sommeren.

## 5.3. Fosfor



Figur 5.5. Indhold af total-fosfor (A) og orto-fosfat (B) i søvandet i Nordborg Sø (blandingsprøve fra flere dybder, i tilfælde af springlag er fosforindholdet fra en prøve over springlaget). Målingerne er taget indenfor perioden 1977-2002.

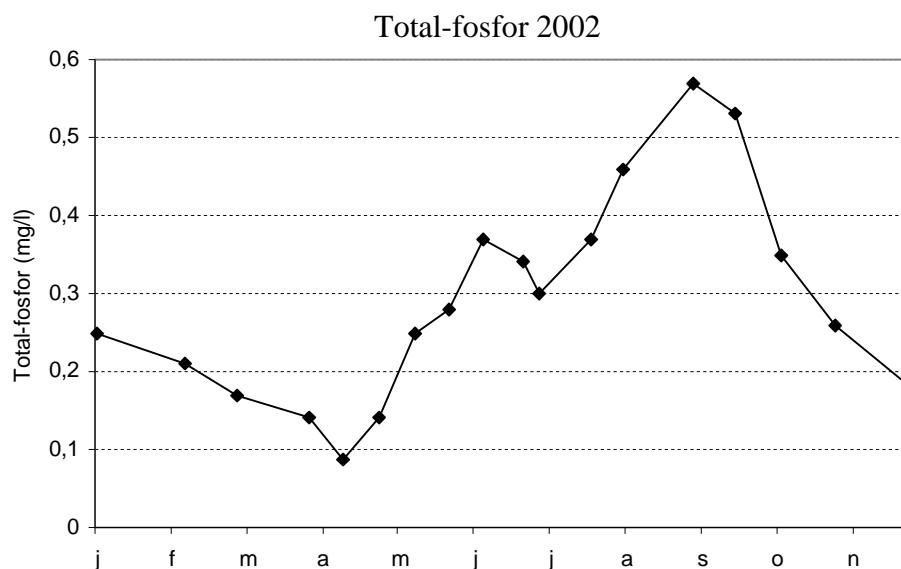
Højt fosforindhold som udviser store år til år udsving

I 1977 lå sommergennemsnittet af totalfosfor på over 1 mg pr. liter, se figur 5.5. Ved den næste måleperiode, godt 10 år efter, i 1988 var vandets gennemsnitlige fosforindhold faldet til under 0,5 mg pr. liter, men to år efter i 1990 var sommergennemsnittet af totalfosfor steget til omkring 0,75 mg pr. liter. I 1994 og senest i 2002 var fosforindholdet igen faldet til omtrent samme niveau som blev registreret i 1988. Nærmere bestemt blev sommergennemsnittet af totalfosfor i 2002 målt til 0,36 mg pr. liter.

Sommergennemsnittet af orto-fosfat i 1977 adskiller sig markant ved at være væsentlig højere end i de øvrige år. Det skal dog bemærkes, at der ikke blev målt orto-fosfat i 1990, hvor der blev observeret et højt total-fosforindhold. Fra 1988 og til 2002 er der målt orto-fosfat i fire perioder. Resultatet af disse målinger peger ikke på, at fosforindholdet i søvandet er faldet, tværtimod var orto-fosfatindholdet størst ved den seneste måling i 2002.

*Stor variation på vandets fosforindhold året igennem.*

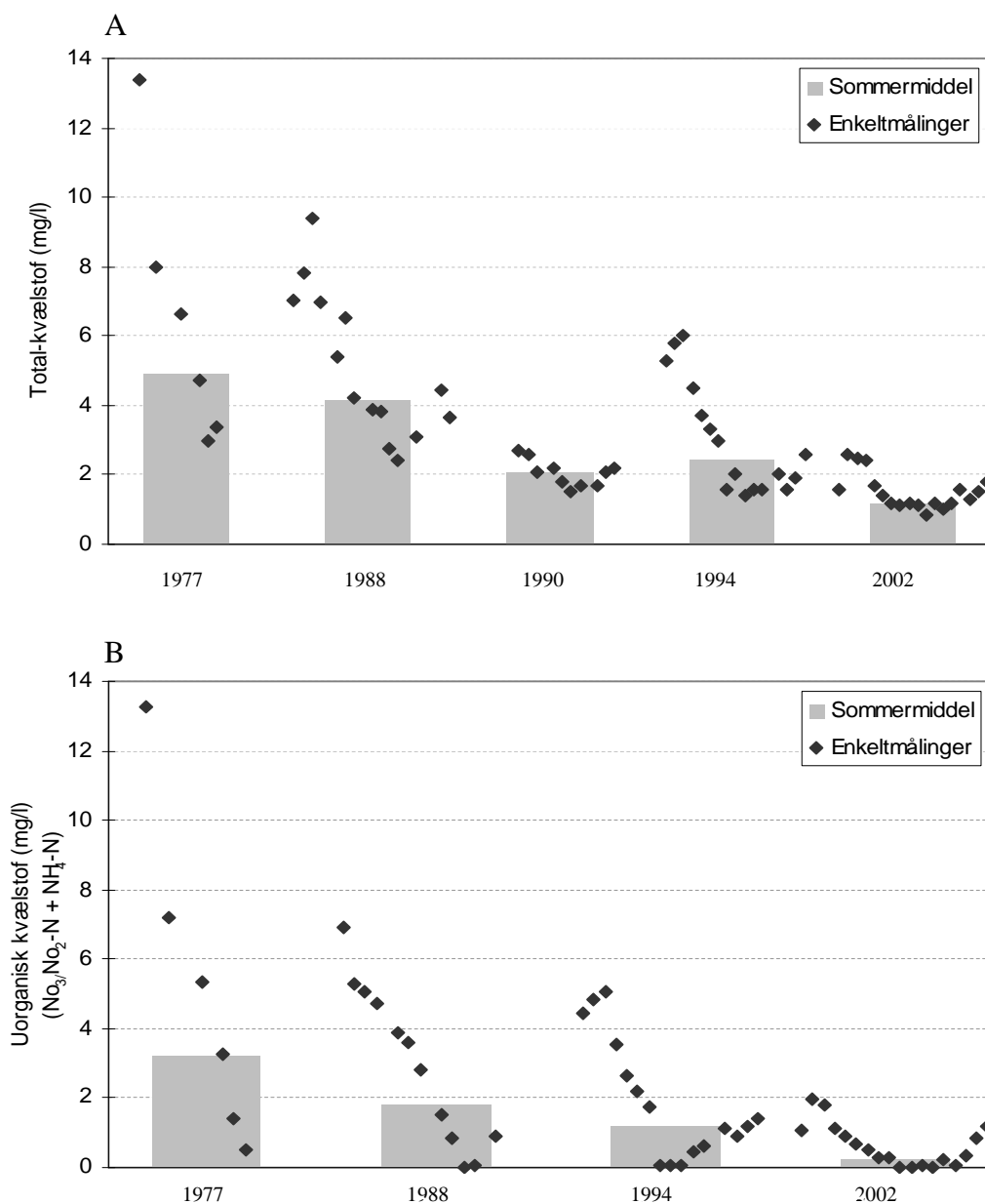
Der er en stor variation i vandets indhold af fosfor året i gennem, se figur 5.6. Fra maj til september sker der en betydelig stigning. Således steg total-fosforindholdet fra lige under 0,1 til 0,55 inden for denne periode. Dette skyldes først og fremmest, at fosfor bliver frigivet fra bunden når temperaturen stiger. En stigende temperatur medfører en acceleration af de biologiske processer, som fører til fosforfrigivelse fra sediment til søvand. Dette sker blandt andet fordi nedbrydningsprocesserne bruger ilt. Og er der ikke ilt tilstede i sedimentet vil en stor del den mobile fosforpulje populært sagt, blive frigivet til søvandet.



Figur 5.6. Total-fosfor i Nordborg Sø i 2002.

## 5.4. Kvælstof

I 2002 var vandets gennemsnitlige indhold af total-kvælstof på knap 1,2 mg/l (maj-sep) hvilket er det laveste niveau der er målt i Nordborg Sø. Til sammenligning kan det nævnes, at Hostrup Sø ved Klipleve ligger på samme kvælstofniveau /19/.



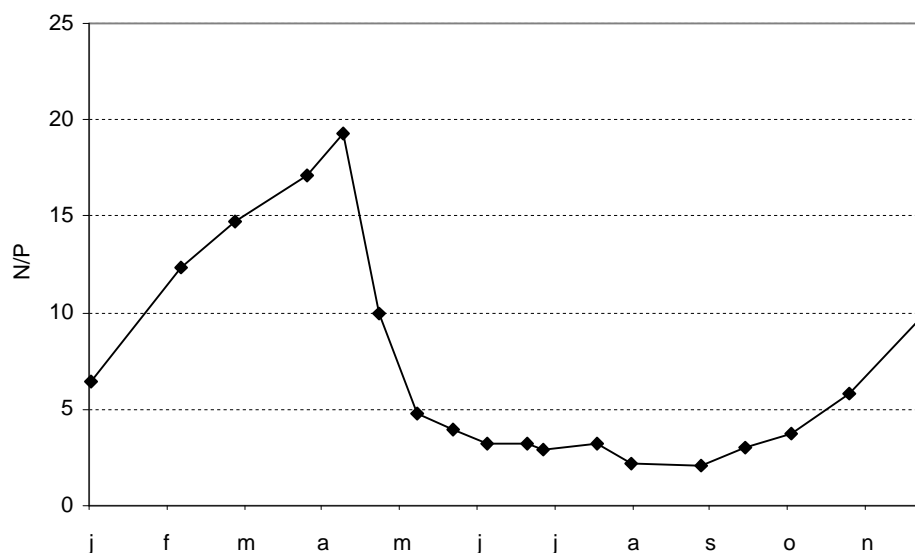
Figur 5.7 Indhold af total-kvælstof (A) og uorganisk kvælstof (B) i søvandet i Nordborg Sø (blandingsprøve fra flere dybder, i tilfælde af springlag er kvælstofindholdet fra en prøve over springlaget). Målingerne er taget indenfor perioden 1977-2002.

Fald i vandets indhold af kvælstof.

Fra 1977 til 2002 er søens indhold af kvælstof blevet undersøgt i 5 måleperioder. Inden for denne periode er det tydeligt, at der er sket et fald i vandets indhold af kvælstof. Det gælder både for total kvælstof og for uorganisk kvælstof (figur 5.7).

På figur 5.7B ses i løbet af året et fald i vandets indhold af uorganisk kvælstof. Dette skyldes dels algerne optagelse af de opløste uorganiske kvælstofforbindelser og dels, at der via denitrifikationen bliver fjernet kvælstof fra systemet.

## 5.5. N/P forhold



Figur 5.8. Forholdet mellem kvælstof (N) og fosfor (P) i Nordborg Sø i 2002.

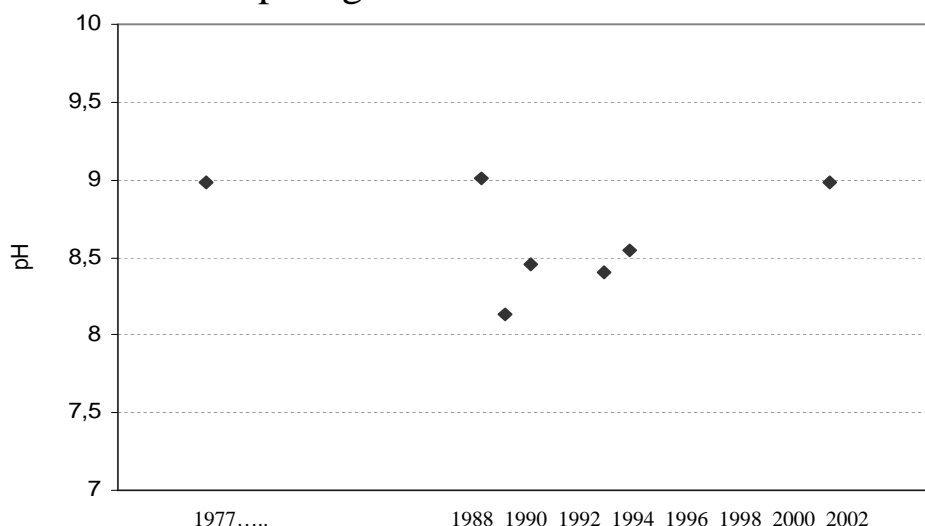
Det er svært at afgøre hvorvidt det er fosfor eller kvælstof som optræder som det begrænsende næringsstof på grund af den stadige omsætning, som finder sted i en sø. Desuden vil både N og P gå midlertidigt tabt når de bygges ind i organisk stof. Fosfor bliver desuden bundet til jern- og kalkminerale i søens bund, og kvælstof forlader systemet via denitrifikation.

Generelt begrænser fosfor algevæksten når  $\text{tot-N}/\text{tot-P} > 12-25$  og indholdet af orthofosfat er nær detektionsgrænsen. Kvælstof begrænser algevæksten når  $\text{tot-N}/\text{tot-P} < 9-10$  og  $\text{tot-P} > 0,1 \text{ mg/l}$  /14/.

*Kvælstof det begrænsende næringsstof i Nordborg Sø.*

Det kunne ifølge figur 5.6 og figur 5.8 derfor tyde på, at algevæksten i Nordborg Sø i en stor del af 2002 kan have været begrænset af kvælstof, hvilket er lidt usædvanligt. I de danske søer er det generelt fosfor, som er det begrænsende næringsstof.

## 5.6. pH og alkalinitet

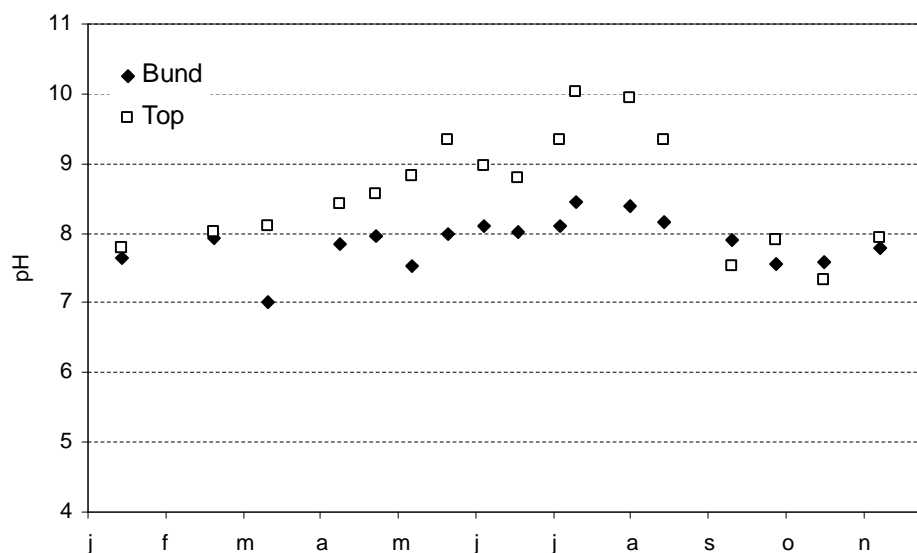


Figur 5.9. pH i Nordborg Sø. Målingerne (sommerrmiddel) er taget indenfor perioden 1977-2002.

Normal pH i Nordborg Sø .

Fra 1977 til 2002 har pH ligget på omkring 8-9 (figur 5.9). I løbet af sommeren 2002 har pH været oppe på 10 (figur 5.10). Dette skyldes, at fytoplanktonets fotosyntese forbruger kuldioxid, som skaber et fald i vandets kulsyreindhold og en dermed følgende pH-stigning. Zooplankton og fisk bryder sig ikke om så høje pH-værdier, især æg og yngel kan tage skade /8/.

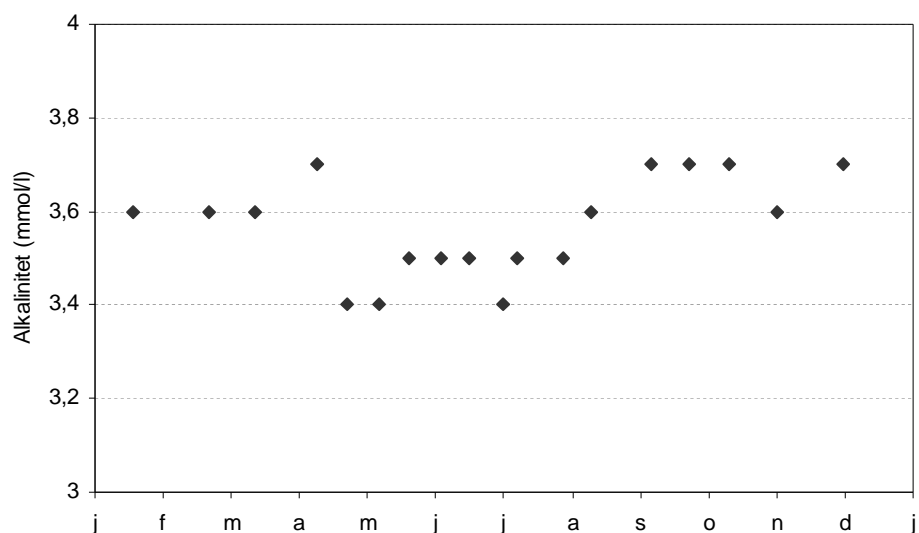
Generelt har søerne i Østdanmark en pH-værdi på 7,5 og opefter på grund af et højt kalkindhold i jorderne. I Vestdanmark er en del jorde kalkfattige, og derfor har en del søer her pH-værdier fra 5,5 til 7,5 /8/.



Figur 5.10. pH i Nordborg Sø 2002. Bund og top refererer hhv. til prøver taget ved bunden og omkring 20-30 cm under overfladen af søen.

Nordborg Sø har en høj alkalinitet.

Jo større alkalinitet jo større er vandets bufferkapacitet. Det er især vandets indhold af bicarbonat,  $\text{HCO}_3^-$ , som er afgørende for vandets bufferegenskaber. En buffer, som eksempelvis bikarbonat fungerer ved, at den både kan neutralisere syre ( $\text{H}^+$ ) og base ( $\text{OH}^-$ ). Alkaliniteten er, bortset fra en enkelt måling i 1993, kun blevet målt i Nordborg Sø i 2002. Alkaliniteten lå som det fremgår af figur 5.11 i løbet af året på mellem 3,4-3,7 mmol/l. I løbet af sommeren stiger alkaliniteten. Nordborg Sø kan betegnes som en sø med en høj alkalinitet. Til sammenligning har Store Søgård Sø og Hostrup Sø en alkalinitet på hhv. omkring 2,5 mmol/l og 0,75 mmol/l. /19/.



Figur 5.11. Alkalinitet i Nordborg Sø 2002.



## 6. Sediment

*Fast bundet og mobilt fosfor.*

Fosfor i søbunden (sedimentet) kan karakteriseres som fast bundet eller mobilt fosfor. Det er især den mobile fosformængde, som har interesse, idet denne kan frigives til vandfasen. Jernbundet fosfor bidrager primært til den interne fosforbelastning /9/. Det mobile fosfor vil typisk være bundet til jern under iltrige forhold. Om sommeren når temperaturen stiger, øges omsætningen og dermed iltforbruget i sedimentet. Herved mister jernforbindelserne deres evne til at binde fosfor ( $\text{Fe}^{+++}$  reduceres til  $\text{Fe}^{++}$ ). Det fører til, at fosforen nu kan frigives til vandfasen, hvor en stor del vil være frit tilgængelig for fytoplanktonet.

*I 2002 blev der foretaget en analyse af Nordborg Sø's sediment.*

I november 2002 blev der indsamlet sedimentprøver fra Nordborg Sø på 3 repræsentative stationer. På disse blev der foretaget analyser af sedimentets fosfor (P)- og jern (Fe)puljer samt udført fluxforsøg (måling af fosforfrigivelsen fra uforstyrret sediment) ved 3 forskellige temperaturer /9/.

*Ikke fald i søvandets fosforkoncentration.*

Til trods for den betydelige reduktion i ekstern fosforbelastning har søvandets årgennemsnitlige totalfosfor-koncentration ikke ændret sig i perioden 1988-94. Den synes stadig at være af samme størrelse i 2002. Dette skyldes den interne fosforbelastning. I 2002 blev nettofrigivelsen fra sedimentet beregnet til at være 1292 kg for sommerhalvåret.

Sæsonvariationen i vandtransporten (med lave sommerværdier) er skyld i, at søen ikke afgiver fosfor til trods for den reducerede eksterne tilførsel og til trods for de høje koncentrationer af fosfor i søvandet om sommeren. Denne iagttagelse er i overensstemmelse med modelbaserede forudsigelser fra 1988 /12/.

Sedimentundersøgelser på 3 stationer i 1988 og i 1994 vurderede (med forskellige metoder) størrelsen af den potentielt mobile fosforpulje i de øverste 10 cm af sedimentet til at være hhv. 8,16 tons fosfor i 1988 /12/ og mellem 4,5 og 6,2 tons fosfor i 1994 /14/. Den lavere værdi i 1994 er ikke udtryk for en faldende pulje; men blot for en anden beregningsmetode. I 2002 blev der benyttet en metode, som er mere specifik for den del af fosforen, som er bundet til jern /9/. Jernbundet fosfor er den fraktion, som primært bidrager til intern fosforbelastning. Herudover inkluderes også potentielt mobilt organisk fosfor, der også kan bidrage til den interne P-belastning på sigt /9/. I 2002 blev den mobile fosforpulje i de øverste 10 cm af sedimentet beregnet/målt til 3,4 tons, se tabel 6.1.

## 6.1. Vurdering af den interne fosforbelastning i 2002.

*Ifølge fluxforsøg blev der frigivet 1342 kg fosfor fra sedimentet i løbet af sommeren 2002*

I 2002 blev fosforfrigivelsen i Nordborg Sø beregnet til 1342 kg fosfor ved hjælp af flux-forsøg /9/. Rent praktisk blev der udtaget en række sedimentprøver i plexiglasrør fra Nordborg Sø. Rørene blev herefter fragtet til et laboratorium, hvor fosforfrigivelsen blev målt under forskellige forhold, som bedst muligt simulere forholdene på bunden af søen.

Bemærk at dette stemmer godt overens med den målte\beregnete fosforbalance (tabel 4.2). Her blev det vurderet, at der om sommeren blev frigivet 1292 kg fosfor.

*Sedimentet er en meget væsentlig fosforkilde*

Ud fra disse tal kan det fastslås, at den interne belastning udgør en meget vigtig kilde til fosfor om sommeren. Denne frigivelse stemmer også fint overens med de relativt lave jern/fosfor-forhold, der findes i overfladesedimentet af Nordborg Sø /9/. Dette skal også ses i lyset af, at den potentielt mobile fosforpulje stadig udgør omkring 3,4 tons i de øverste 10 cm af sedimentet. Yderligere er der også usikkerhed om hvorvidt, der bliver frigivet fosfor fra dybere liggende sediment end 10 cm. Således kan den mobile fosforpulje i Nordborg Sø være undervurderet og skønsmæssigt være 50% større, hvis dette er tilfældet her.

*Tabel 6.1. tabellen viser den beregnede/målte mængden af fosfor i Nordborg Sø sediment i 2002. Begrebet mobilt fosfor dækker over den andel af fosfor som potentielt kan frigives til vandfasen.*

<b>Sedimentdata for Nordborg Sø 2002</b>	
Totalfosfor i 0-10 cm	<b>10,88 tons</b>
Totalfosfor i 0-20 cm	<b>25,39 tons</b>
Mobilt fosfor i 0-10 cm i hele søen	<b>3,4 tons</b>
Procent mobilt fosfor af totalfosfor i 0-10 cm	<b>31%</b>

På grund af den store pulje af mobilt fosfor i sedimentet og pga. den ringe udvaskning af fosfor kan den nuværende tilstand med høje fosforkoncentrationer i søvandet om sommeren fortsætte i årtier. Dette blev ligeledes forudsagt i den modelbaserede prognose i /12/. En stabil klarvandet tilstand kan kun opnås ved både at reducere den eksterne fosfortilførsel og samtidig at foretage et indgreb mod den interne fosforbelastning. Dette vil blive nærmere belyst under kap. 10 (diskussion).

## 7. Plankton

Planktonet i Nordborg Sø er blevet undersøgt i 1988, 1994 og 2002. I det efterfølgende afsnit vil fyto- og zooplanktonets tæthed, sammensætning og samspil i 2002 blive beskrevet og der vil i flere tilfælde blive sammenlignet med resultaterne fra planktonundersøgelserne i 1988 og 1994.

### 7.1. Fytoplankton

De gennemsnitlige og maksimale biomasser af de enkelte fytoplanktonhovedgrupper på årsbasis og i sommerperioden for året 2002 fremgår af tabel 7.1.

Årstidsvariationer i fytoplanktonets procentvise volumenbiomasse og forløbet af den totale biomasse i løbet af året er vist i figur 7.1. Her er vist resultater fra 1988, 1994 og 2002.

Tabel 7.1. De gennemsnitlige og maksimale biomasser ( $\text{mm}^3 \text{l}^{-1} = \text{mg vådvægt l}^{-1}$ ) af de enkelte fytoplankton-hovedgrupper samt de enkelte gruppers procentvise andel af biomassen i Nordborg Sø 2002. Tallene i parentes angiver antallet af arter/identifikationstyper i hele perioden.

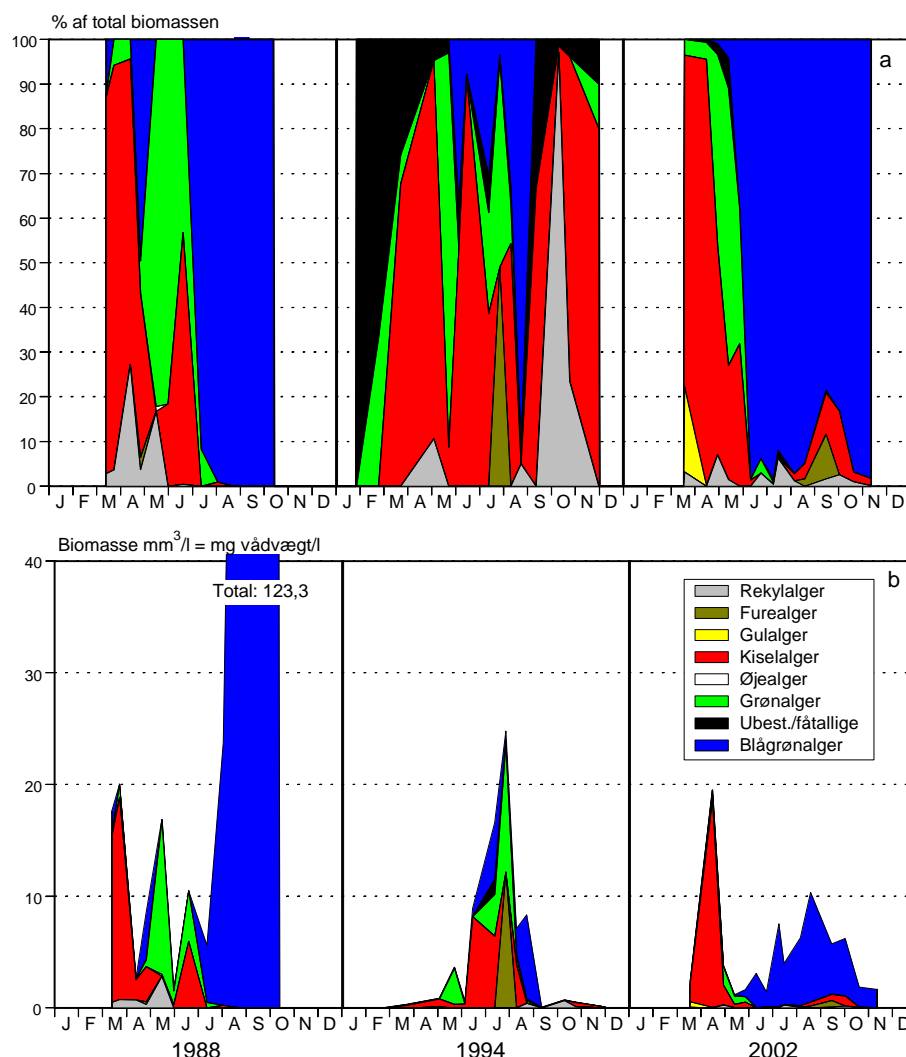
	Biomasse $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$			Procentvis andel	
	År	Sommer	Maksimum	År	Sommer
Blågrønalger (21)	3,132	4,125	9,795 (aug)	55,6	84,8
Rekylalger (5)	0,068	0,072	0,269 (maj)	1,2	1,5
Furealger (9)	0,067	0,104	0,573 (sep)	1,2	2,1
Gulalger (3)	0,006	-	0,072 (apr)	0,1	-
Skælbærende gulalger (3)	0,028	-	0,463 (mar)	0,5	-
Kiselalger (25)	2,06	0,335	18,562 (apr)	36,5	6,9
Gulgrønalger (2)	-	-	-	-	-
Stilkalger (1)	-	-	-	-	-
Grønalger (42)	0,248	0,205	1,625 (maj)	4,4	4,2
Heterotrofe flagelater (2)	0,027	0,022	0,119 (apr)	0,5	0,5
Fytoplankton total (113)	5,637	4,864	19,507 (apr)	100	100

*Forholdsvis mange arter...*

Artsrigdommen var i Nordborg Sø i 2002 på et middel til forholdsvis højt niveau. Den artsrigeste fytoplanktonklasse var grønalgerne efterfulgt af kiselalgerne og blågrønalgerne.

*..og forholdsvis høj biomasse.*

Fytoplanktonbiomassen varierede mellem  $1,197 \text{ mm}^3/\text{l}$  i maj og  $19,507 \text{ mm}^3/\text{l}$  i april. I sommerperioden varierede fytoplanktonbiomassen mellem  $1,197 \text{ mm}^3/\text{l}$  og  $9,795 \text{ mm}^3/\text{l}$  med de største biomasser i juli og august. Den gennemsnitlige biomasse for hele prøvetagningsperioden var  $5,637 \text{ mm}^3/\text{l}$ , mens gennemsnittet for sommerperioden var  $4,864 \text{ mm}^3/\text{l}$ . Biomasseniveauerne var forholdsvis høje i store dele af perioden.



**Figur 7.1. a:** Den procentvise fordeling af fytoplanktonets volumenbiomasse **b:** Den totale fytoplanktonbiomasses ( $\text{mm}^3/\text{l} = \text{mg vådvægt/l}$ ) forløb fordelt på hovedgrupper. Nordborg Sø i 1988, 1994 og 2002. Signaturerne er de samme for a og b.

Blågrønalgerne var den vigtigste fytoplanktongruppe.

Blågrønalgerne dominerede i 1988 og i 2002 med over 80% i sommerperioden begge år, mens de udgjorde 55% på årsbasis i 2002 og 84% på årsbasis i 1988. I 1994 udgjorde blågrønalgerne ca. 24% både på årsbasis og i sommerperioden, mens kiselalgerne var de vigtigste med ca. 31% efterfulgt af grønalgerne med ca. 25%. I 2002 var kiselalgerne betydningsfulde i foråret, hvor periodens største maksimum forekom i april, hvilket gjorde, at kiselalgerne udgjorde ca. 37% af den totale gennemsnitlige biomasse set over hele perioden.

Forskel på fytoplanktonet i de tre år.

Der var stor forskel på hvordan fytoplanktonet udviklede sig i de tre undersøgelsesår. Arterne var dog i det væsentligste de samme.

I 1988 havde fytoplanktonbiomassen fire biomassetoppe med maksimum i september med dominans af blågrønalger. Toppene i henholdsvis marts, maj og juni var domineret af henholdsvis kiselalger, grønalger og et blandingssamfund af kiselalger og grønalger. Derudover havde kiselalgerne og blågrønalgerne også et maksimum i april.

I 1994 havde fytoplanktonbiomassen tre toppe med maksimum i juli med dominans af grønalger og furealger. Toppene i henholdsvis maj og august var domineret af henholdsvis grønalger og blågrønalger. Derudover havde kiselalgerne et maksimum i juni og blågrønalgerne havde et maksimum i juli.

I 2002 havde fytoplanktonbiomassen 5 toppe med maksimum af kiselalger i april og maksimum af blågrønalger i august. De øvrige toppe i henholdsvis juni, juli og oktober var domineret af blågrønalger.

*De observerede forskelle kan skyldes forbedringer i søens tilstand*

Sammenfattende kan forskellene i fytoplanktonsamfundene skyldes naturlige år-til-år variationer afhængigt af vejrforholdene; men der er tegn på forbedringer i søens tilstand i fytoplanktonsammensætningen: dominans af pennate kiselalger, fremfor centriske, store populationer af *Woronichinia naegeliana* samt tilstedeværelsen af større populationer af gulalger, specielt *Dinobryon divergens* i 2002.

## 7.2. Zooplankton

De gennemsnitlige og maksimale biomasser af de enkelte hovedgrupper samt de enkelte grupperes procentvise andel af biomassen i Nordborg Sø 2002 fremgår af tabel 7.2.

Tabel 7.2. Gennemsnitlige og maksimale biomasser ( $\text{mm}^3 \text{l}^{-1} = \text{mg vådvægt l}^{-1}$ ) af de enkelte zooplanktonhovedgrupper samt de enkelte grupperes procentvise andel af biomassen i Nordborg Sø 2000. Tallene i parentes angiver antallet af arter/identifikationstyper i hele perioden.

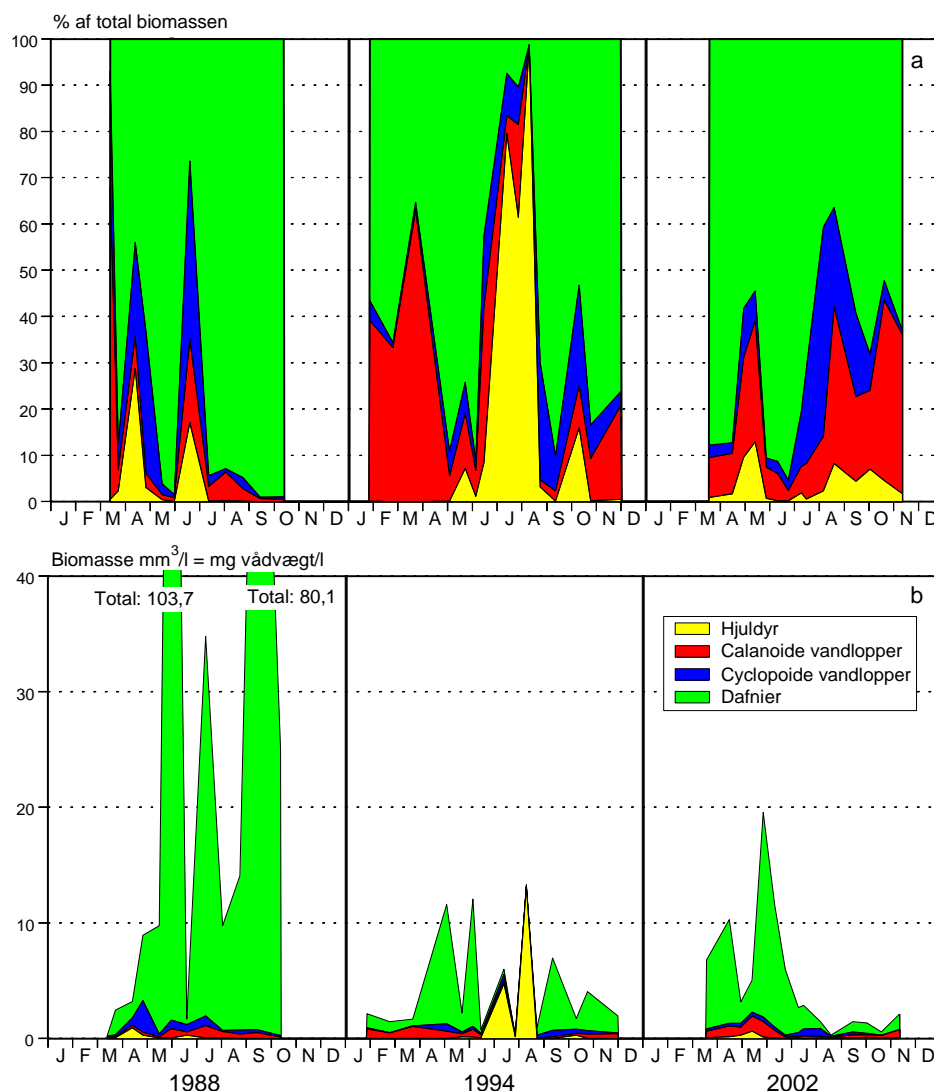
	Biomasse $\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$			Procentvis andel	
	År	Sommer	Maksimum	År	Sommer
Hjuldyr (25)	0,108	0,113	0,646 (maj)	2,3	2,3
Dafnier (8)	3,908	3,999	17,715 (maj)	82,1	81,9
Calanoide vandlopper (2)	0,49	0,455	1,317 (maj)	10,3	9,3
Cyclopoide vandlopper (3)	0,252	0,316	0,648 (aug)	5,3	6,5
Zooplankton total (38)	4,759	4,883	19,551 (maj)	100	100

*Artsrigdommen på et middelniveau.*

Artsrigdommen i Nordborg Sø var i 2002 ifølge /17/ på et middelniveau. Den artsrigeste gruppe var hjuldirene efterfulgt af dafnierne.

*Biomassen af zooplankton lav.*

Zooplanktonbiomassen varierede i 2002 mellem  $0,281 \text{ mm}^3/\text{l}$  i slutningen af august og  $19,551 \text{ mm}^3/\text{l}$  i slutningen af maj. Periodens gennemsnitlige biomasse var på  $4,759 \text{ mm}^3/\text{l}$ , og sommergennemsnittet var på  $4,883 \text{ mm}^3/\text{l}$ . Begge gennemsnit er lave. Til sammenligning husede St. Søgård Sø i 2002 hhv. på årsbasis og om sommeren i gennemsnit en biomasse på  $6,376$  og  $8,889 \text{ mm}^3 \text{l}^{-1}$  zooplankton /18/.



Figur 7.2. a: Den procentvise fordeling af zooplanktonets volumenbiomasse, b: Zooplanktonbiomassens ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) forløb fordelt på hovedgrupper i Nordborg Sø i 1988, 1994 og 2002.

Dafnierne dominerede.

Dafnierne dominerede zooplanktonbiomassen med 82% både i hele perioden og i sommerperioden. De calanoide vandlopper var de næstvigtigste og udgjorde 10% i hele perioden og 9% i sommerperioden, mens de cyclopoide vandlopper udgjorde henholdsvis 5% i hele perioden og 7% i sommerperioden. Hjuldyrene udgjorde 2% i begge perioder. Figur 7.2b viser den procentvise fordeling af zooplanktonet fordelt på hovedgrupper gennem perioden.

Årene 1994 og 2002 mindede om hinanden, mens der i 1988 blev konstateret langt højere zooplanktonbiomasser.

De gennemsnitlige zooplanktonbiomasser var i 2002 på niveau med biomasserne i 1994. Årgennemsnit og sommergennemsnit var i 2002 næsten lige store, lidt under  $5 \text{ mm}^3/\text{l}$ , mens sommergennemsnittet i 1994 var højere ( $5,3 \text{ mm}^3/\text{l}$ ) end årgennemsnittet ( $4,0 \text{ mm}^3/\text{l}$ ). I 1988 var de gennemsnitlige zooplanktonbiomasser meget højere end i de følgende to år (en faktor 6 større), hvilket er en meget stor variation. Hvorvidt de fundne koncentrationer i 1988 har været repræsentative for søen som helhed, kan ikke afgøres ud fra de foreliggende data,

men da undersøgelsesmetoderne var anderledes end de, der praktiseres i dag, kan det være vanskeligt at sammenligne data direkte.

*Det ser ud til at fiskene spiller en rolle for zooplanktonet i Nordborg Sø.*

Både i 1994 og i 2002 var der i sommerperioden en tydelig nedgang i de store dafniers biomasse efterfulgt af små populationer af primært små arter gennem resten af sommerperioden. Dette tyder på et vist prædationstryk fra fiskene. I 1988 forsvandt de store dafnier kortvarigt i slutningen af juni.

### 7.3. Græsning.

*Zooplanktonets græsning.*

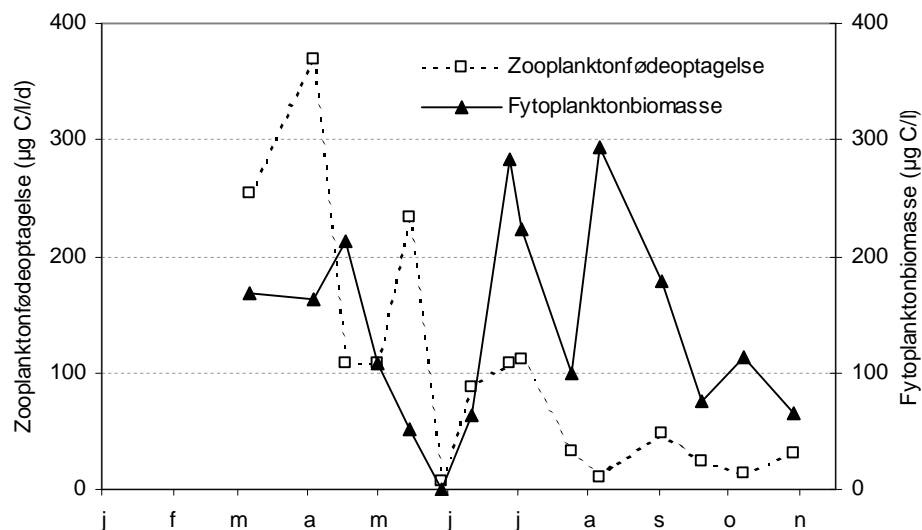
Zooplanktonets græsning kan have stor betydning for fytoplanktonets sammensætning og biomasse. Ved beregning af zooplanktonets græsningstryk på fytoplanktonet tages udgangspunkt i mængden af fytoplankton mindre end 50  $\mu\text{m}$ , som antages at være tilgængelig for græsning. Idet man antager, at det for hovedparten af zooplanktonarterne er en fysisk umulighed at spise de store fødeemner større end 50  $\mu\text{m}$ . Græsningstiden defineres som  $B/I$ , hvor  $B$  = fytoplanktonets tilgængelige (fytoplankton  $<50 \mu\text{m}$ ) biomasse ( $\mu\text{g C l}^{-1}$ ) og  $I$  er fytoplanktonets beregnede fødeoptagelse ( $\mu\text{g C l}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), og græsningstrykket defineres som  $I/B * 100$ .

*Vanskeligt tilgængelige arter dominerede.*

Sammenfattende var størstedelen af fytoplanktonbiomassen på de fleste prøvetagningdage, i hvert af de tre undersøgelsesår, domineret af vanskeligt tilgængelige arter ( $>50 \mu\text{m}$ ).

I 1988 var fytoplanktonbiomassen domineret af tilgængelige arter ( $<50 \mu\text{m}$ ) i størstedelen af perioden fra marts til juni, mens vanskeligt tilgængelige arter  $>50 \mu\text{m}$  dominerede i april og resten af året, hvor kolonidannende blågrønalger dominerede. I 1994 var der skiftende dominans af tilgængelige arter og vanskeligt tilgængelige arter. Arter  $<50 \mu\text{m}$  dominerede fra januar til marts, i juli og i begyndelsen af oktober, mens vanskeligt tilgængelige arter dominerede i resten af perioden. I 2002 dominerede vanskeligt tilgængelige arter  $>50 \mu\text{m}$  i størstedelen af perioden, i april, fra slutningen af maj til midt i juli og fra august til begyndelsen af oktober og i november. Arter  $<50 \mu\text{m}$  dominerede i marts, i første halvdel af maj, i slutningen af juli og i slutningen af oktober.

Zooplanktonets beregnede fødeoptagelse og fytoplanktonbiomassen  $<50 \mu\text{m}$  fra 2002 er vist på figur 7.3. Ud fra de observerede kulstofbiomasse-niveauer ( $0,5\text{-}293,0 \mu\text{g C l}^{-1}$ ) af fytoplanktonformer  $<50 \mu\text{m}$  var det herbivore zooplankton fødebegrænset periodevis: i slutningen af maj, i juni, i begyndelsen af august, i begyndelsen af oktober og i november 2002. Tærskelværdierne varierer fra art til art, fra stadium til stadium og gennem sæsonen. Værdier  $<100 \mu\text{g C l}^{-1}$  anses for begrænsende for calanoid vandlopper, mens værdier  $<200 \mu\text{g C l}^{-1}$  er begrænsende for dafnier.



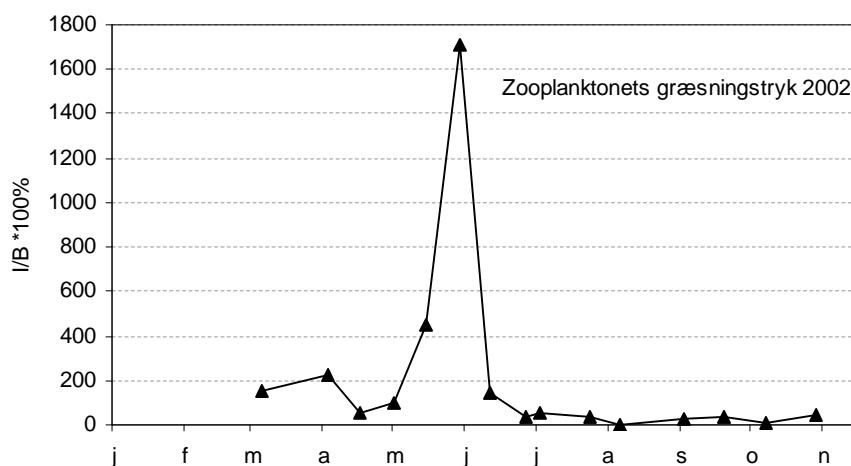
Figur 7.3. Zooplanktonfødeoptagelse ( $\mu\text{g C l}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) og fytoplanktonbiomasse  $<50 \mu\text{m}$  ( $\mu\text{g C l}^{-1}$ ) i Nordborg Sø i 2002.

I det tidlige forår var græsningstrykket stort.

I 2002 udøvede zooplanktonet et græsningstryk på den tilgængelige fytoplanktonbiomasse på mellem 3% og 1711%, figur 7.4, med lave værdier i begyndelsen af maj og fra juli til november. Fra midt i maj, til slutningen af juni var de beregnede græsningstryk  $>100\%$ , hvor den tilgængelige fytoplanktonbiomasse var lille og zooplanktonbiomassen var stor.

Periodevis har zooplanktonets græsning haft betydning for sigtddybden.

De meget store græsningstryk  $\gg 100\%$  i sommerperioden indikerer, at zooplanktonet sekundært græssede arter  $>50 \mu\text{m}$ . Sammenfattende kunne zooplanktonet i perioder udøve et anseeligt græsningstryk på den tilgængelige fytoplanktonbiomasse. Medregnes hele fytoplanktonbiomassen vil græsningens betydning være mindst i eftersommer- og efterårsperioden, hvor de store fytoplanktonarter dominerede, hovedsageligt blågrønalgerne. Derimod har zooplanktonet haft betydning for sigtddybden i de perioder, hvor fytoplanktonet ikke var domineret af vanskeligt tilgængelige arter.



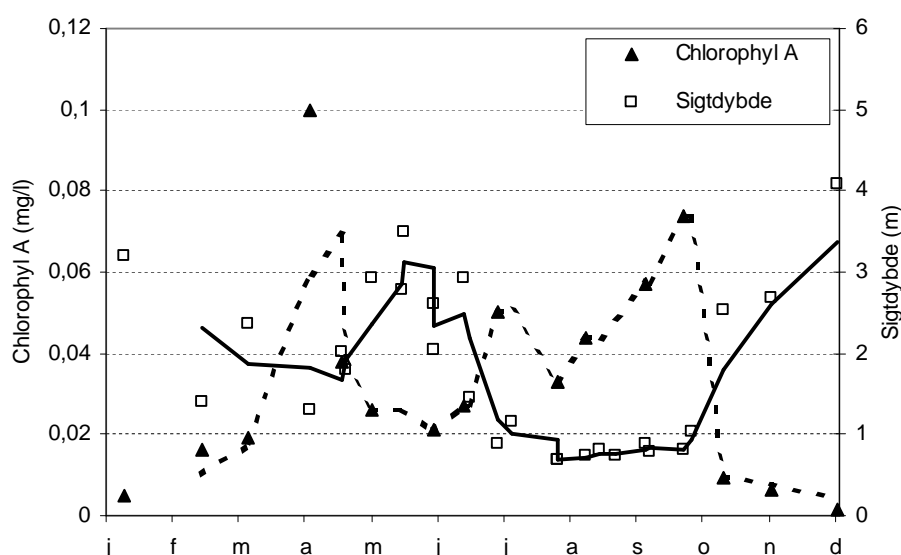
Figur 7.4. Græsningstryk af dyreplanktonet i Nordborg Sø i 2002. Græsningstrykket, I/B, er udtrykt i procent af den græsningsfølsomme del af fytoplanktonbiomassen, hvor B = tilgængelige fytoplanktonbiomasse ( $\mu\text{g C l}^{-1}$ ) og I = zooplanktonets beregnede fødeoptagelse ( $\mu\text{g C l}^{-1} \text{d}^{-1}$ ).



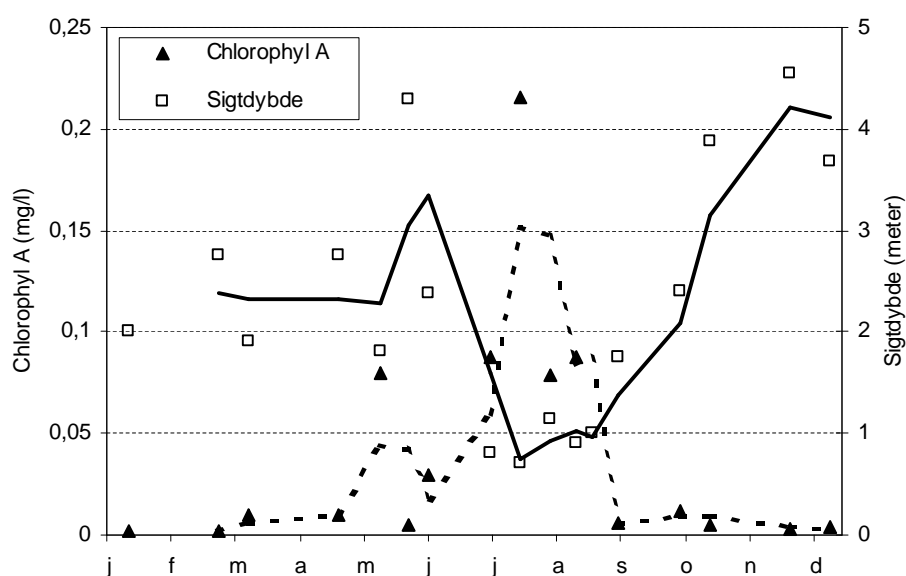
## 7.4. Sammenhæng mellem sigtddybde og Chlorophyl A

Der var en tydelig sammenhæng mellem fytoplanktonbiomassen, udtrykt som chlorophyl A og sigtddybden Dette gjaldt både for 2002, 1994 og 1988 hvilket fremgår af figur 7.5, 7.6 og 7.7.

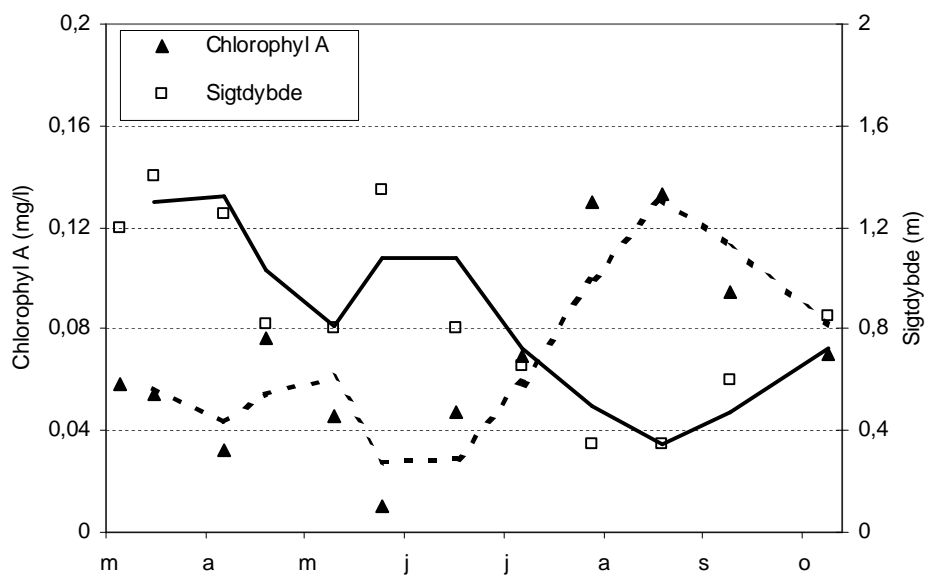
Vandets indhold af chlorophyl A havde i de tre år omtrent det samme forløb året igennem. Nærmere bestemt var der to stigninger i chlorophyl A, en mindre stigning om foråret og en stor stigning i løbet af sommeren. På figur 7.5, 7.6 og 7.7 fremgår det også at de omtalte stigninger i vandets indhold af chlorophyl A var ledsaget af tilsvarende fald i vandets sigtddybde.



Figur 7.5. Chlorophyl A (mg/l) og sigtddybde i Nordborg Sø i 2002. Kurverne er tegnet som et bevægeligt gennemsnit, der udjævner udsvingene i data og viser mønsteret eller tendensen mere klart.



Figur 7.6. Chlorophyl A (mg/l) og sigtddybde i Nordborg Sø i 1994. Kurverne er tegnet som et bevægeligt gennemsnit, der udjævner udsvingene i data og viser mønsteret eller tendensen mere klart.



Figur 7.7. Chlorophyll A (mg/l) og sigtdybde i Nordborg Sø i 1988. Kurverne er tegnet som et bevægeligt gennemsnit, der udjævner udsvingene i data og viser mønsteret eller tendensen mere klart.

## 8. Fisk

### 8.1. Fiskene i Nordborg Sø

I dagene fra den 2. september til den 5. september 2002 blev der foretaget en fiskeundersøgelse i Nordborg Sø. Undersøgelsen havde det til formål at bestemme fiskebestandens sammensætning, størrelse og tilstand samt at vurdere udviklingen. I 1989, blev der foretaget en lignende undersøgelse af fiskebestanden, dog med en betydelig metodeforskel. Fiskeundersøgelsen i 2002, blev udført som beskrevet i vejledningen for fiskeundersøgelser fra Danmarks Miljøundersøgelser /4/. Søen blev inddelt i 6 sektioner, der hver især blev befisket med 5 biologiske oversigtsgarn. Garnene blev placeret, så samtlige biotoper i søen var repræsenteret. Ved en fiskeundersøgelse bliver omkring 0,5% af søens fisk fanget, dvs. at undersøgelsen ikke efterfølgende har nogen indflydelse på sammensætningen af søens fiskearter.

*Der blev fundet 9 fiskearter.*

Der blev i alt registreret 9 arter i fangsten: skalle, aborre, brasen, rudskele, gedde, sandart, hork, grundling og karusse. Derudover findes der karper og ål i søen. Antallet af arter var således på niveau med antallet af fiskearter i hovedparten af de undersøgte danske søer /16/.

*Samlet biomasse 617 kg/ha.*

Den samlede fangst i antal og vægt fremgår af tabel 8.1. Fiskebestandens samlede biomasse blev beregnet til omkring 617 kg/ha, hvoraf lidt over 505 kg/ha var karpesfisk. Det svarer til, at søen i alt rummede ca. 34 tons fisk.

En fiskeundersøgelse er forbundet med store usikkerheder, derfor er det værd at bemærke, at de nævnte fordelinger skal opfattes som cirkatal. Bl.a. har aborren en tendens til at blive overrepræsenteret og gedden underrepræsenteret i forhold til deres faktiske forekomster.

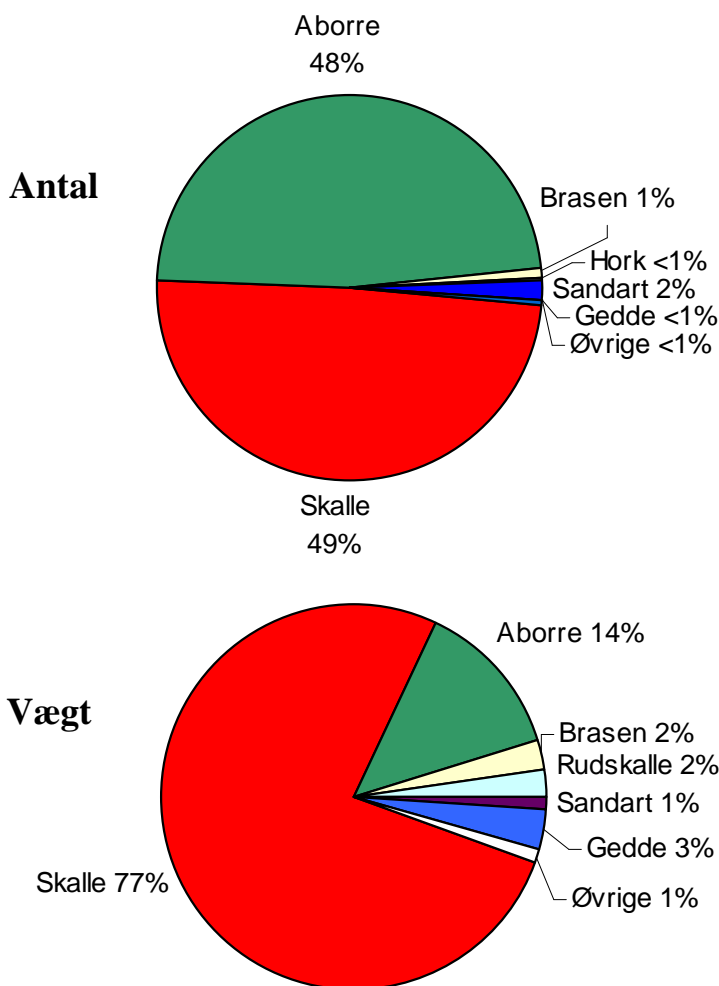


*Skalle.*

## 8.2. Fiskebestanden 2002.

Tabel 8.1. Den samlede fangst i antal og vægt ved garn- og elektrofiskeri i Nordborg Sø 2002.

	Garn		El-fiskeri	
	Antal	Vægt (g)	Antal	Vægt (g)
Skalle	3296	186392	68	480
Aborre	3188	33110	90	456
Brasen	66	5807	0	0
Hork	18	396	0	0
Karusse	1	2032	0	0
Rudskalle	10	5666	1	772
Grundling	1	13	0	0
Sandart	107	2502	0	0
Gedde	10	8448	2	189
<b>Sum</b>	<b>6697</b>	<b>244.365</b>	<b>161</b>	<b>1897</b>



Figur 8.1.. Den procentuelle fordeling af de enkelte arter i henholdsvis antal og vægt i garnfangsten i Nordborg Sø i 2002.

Skallen den dominerende fisk i 2002.

Som det fremgår af tabel 8.1 og figur 8.1 var skallen den dominerende fisk i 2002. Fangsten bestod af mange småskaller, overvejende yngel, men relativt få store skaller, der til gengæld havde en meget stor mid-

delvægt. Skallebestanden havde en god størrelsesspredning med gode vækstforhold. I overensstemmelse hermed var skallernes kondition i alle størrelser væsentlig bedre end normalt /16/.

*Mange småaborrer.*

Der blev fanget lige så mange aborrer som skaller, dog var bestanden præget af småaborrer. Derfor var der rent vægtmæssigt langt flere skaller end aborrer i søen. Således var biomassen af aborrer større end 10 cm relativ beskeden og det må antages, at aborren næppe spiller nogen større rolle som rovfisk i søen.

*Få brasener.*

Fangsten af brasener var meget begrænset. Udover enkelte lidt større brasener forekom der således kun småbrasener ved nærværende undersøgelse, formentlig overvejende bestående af årsyngel og etårige brasener.

*Betydelig forekomst af gedder.*

Fangsten af gedder var betydelig. Der blev i alt registreret 12 gedder, som var jævnt fordelt i størrelser mellem 20 cm og 66 cm, hvoraf de fleste havde en kondition over middel.

I søer hvor gedden eller sandarten er den dominerende rovfisk, er brasenen normalt den dominerende fredfisk. Dette skyldes, at skallerne vokser langsommere end brasenen. Brasenens høje kropsform giver dem også en god beskyttelse mod at blive ædt. I søer hvor aborren er den dominerende rovfisk derimod, vil fredfiskebestanden oftest være domineret af større skaller.

*Dominans af store skaller passer ikke til næringsstofniveauet i Nordborg Sø.*

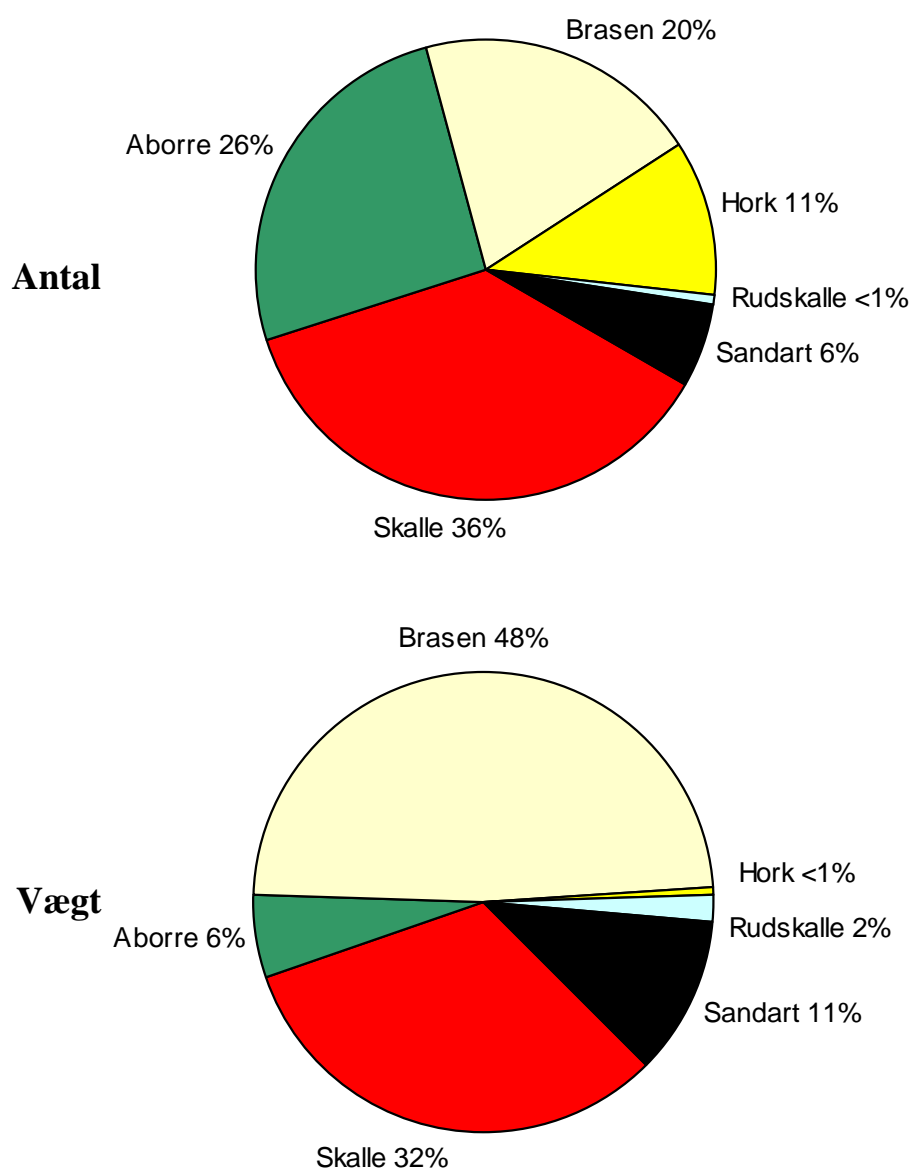
I Nordborg Sø blev der i 2002 således fundet en fiskesammensætning, som var domineret af skaller og skallerne havde endog en usædvanlig høj middelvægt. Ifølge /16/ findes en sådan skallebestand normalt i søer med en klar dominans af aborrer blandt rovfiskene, typisk i søer som er klarvandede og mindre næringsrige end Nordborg Sø. En af forklaringerne kan være, at der inden for den seneste årrække har været fiskedød i søen.

*God sigtdybde i forhold til antallet af fredfisk.*

I sammenligning med andre søer med et lignende næringsstofindhold har Nordborg Sø siden midten af halvfemserne oplevet en relativ god sigtdybde om foråret. En tværgående analyse fra de nuværende erfaringsgrundlag med biomanipulation peger på, at man skal ned under 100 kg karpefisk/ha for at opnå et stabilt system /10/. I Nordborg Sø var der i 2002 over 500 kg karpefisk/ha altså væsentlig flere. De observerede sigtdybder om foråret i Nordborg Sø er usædvanligt gode, når mængden af fredfisk tages i betragtning og når der sammenlignes med flertallet af andre søer med samme næringsindhold.

### 8.3. Udviklingen i fiskebestanden

I 1989 blev der også foretaget en systematisk undersøgelse af fiskebestanden i Nordborg Sø /11/. I 1989 blev der fisket med det samme antal oversigtgarn med den samme maskestørrelse. Med derudover blev der i modsætning til 2002 også anvendt ruser. De nedenstående figurer viser derfor kun hvad der blev fanget i garnene i 1989. Den samlede garnfangst i vægt var i 1989 lidt større end i 2002. Dette skyldes hovedsageligt, at der i 1989 blev fanget langt flere større brasener. Fangsten af småfisk, <10cm, var derimod markant større i 2002 end i 1989.



Figur 8.2.. Den procentuelle fordeling af de enkelte arter i henholdsvis antal og vægt i garnfangsten i Nordborg Sø i 1989

- Stor tilbagegang for brasenen.* I forhold til 2002 er det især værdt at bemærke, at i 1989 var det brasenen, som udgjorde hovedparten af fangsten. Således udgjorde brasenen kun 2% af garnfangsten i 2002 mod hele 48% i 1989. Med baggrund i denne store forskel er det nærliggende at antage, at den voldsomme tilbagegang i brasenbestanden skyldes fiskedød. Op til fiskeundersøgelsen i 1989 blev der således også konstateret fiskedød, en fiskedød som meget vel kan have strakt sig over en længere periode og især været hård ved brasenerne /16/.
- Fiskedød?*
- Brasenerne gyder noget senere end skallerne. Det kan derfor tænkes, at den kraftige pH-stigning som sker i løbet af sommeren i Nordborg Sø (figur 5.10) er hårdere ved brasenernes æg og yngel.
- Flere skaller i 2002.* Garnfangsten af skaller var i 1989 derimod kun det halve af garnfangsten i 2002. Størrelsesfordelingen var dog omtrent den samme ved de to undersøgelser.
- Flere aborrer i 2002.* I 1989 blev der også fanget færre aborrer end i 2002. Fremgangen skyldes hovedsageligt, at der i 2002 blev fanget mere yngel. Størrelsesfordelingen var omtrent den samme ved de to undersøgelser, men i 2002 havde aborrerne en væsentlig bedre kondition end i 1989.
- Fremgang for gedden.* I 1989 blev der kun fanget en enkelt gedde i søen. Den blev fanget vha. elektrofiskeri og optræder derfor ikke i figur 8.2. Således er der meget som tyder på, at gedden fra at være meget fåtallig er ved at blive en rovfisk, der skal regnes med i Nordborg Sø.
- Tilbagegang for sandarten.* Sandarten var antalsmæssigt lige så almindelig i 2002 som i 1989. Imidlertid bestod fangsten i 2002 kun af meget små fisk og derfor var sandarten rent vægtmæssigt langt mere betydningsfuld i 1989. Fra at have været søens mest betydningsfulde rovfisk ser det nu ud til, at bestanden af sandart kun havde en marginal betydning i 2002.
- Regulering af fiskebestanden.* En omfattende opfiskning af skaller ville sandsynligvis føre til, at sigtddybden blev forbedret over sommeren. Imidlertid er søen for næringsrig til, at indgrebet vil få en varig effekt. Hvis næringsstofindholdet reduceres, kan en regulering af fiskebestanden være en forudsætning for at opnå en forbedring. Dette skyldes, at den nuværende fiskebestand kan være med til at fastholde søen i en dårlig miljøtilstand.

## 9. Undervandsvegetation

Der blev foretaget en planteundersøgelse den 26. august 2002. Undersøgelsen foregik fra båd ved sejlads i bredzonen ud til ca. 2 m vanddybde. Vandkikkert kunne ikke bruges på grund af, at sigtdybden var under en meter på undersøgelsestidspunktet. Vandet var uklart på grund af store mængder af blågrønner. Der blev derfor taget stikprøver med almindelig rive. På de helt lave vanddybder kunne bunden imidlertid ses direkte fra båden /15/.

### 9.1. Undervandsplanter

*Kun få planter som var i dårlig stand.*

Der blev kun fundet ganske få vandplanter (tabel 9.1), som var meget spinkle og i dårlig stand. Ved den nordlige bred vest for Kildespringskov voksede både vandkrans og børstebladet vandaks meget spredt ud til ca. 50 cm vanddybde. Ved den østlige udmunding af "voldgraven" ved Nordborg Slot forekom der vandpest og vandkrans ligeledes meget spredt ud til ca. 50 cm vanddybde. Derudover fandtes få planter af børstebladet vandaks ved den sydlige søbred vest for Fægteborgbæk i en dybde på ca. 50 cm. Ved fiskeundersøgelsen den 3. september 2002 blev der yderligere fundet en enkel tornfrøet hornblad i søens sydøstlige ende.

*Tabel 9.1. Viser undervandsplanternes totale dækning og dybdegrænse i 2002. Derudover er der ved de fundne arter angivet hvor stor en andel den enkelte art udgjorde af den totale undervandsvegetation.*

undervandsplanternes totale dækning af søarealet	< 1 %
undervandsplanternes dybdegrænse	0,5 m
Børstebladet vandaks	50%
Vandkrans sp.	25%
Vandpest	25%
Tornfrøet hornblad	1%

### 9.2. Flydebladsplanter

Der blev fundet 3 arter af flydebladsplanter: vandpileurt og gul og hvid åkande. Vandpileurt forekom i spredte bevoksninger i den østlige halvdel af søen, ofte i forbindelse med "rørsumpsmosaiken". Kun ved den sydlige bred fandtes et egentligt bælte af vandpileurt. Gul åkande var den dominerende af de to åkandearter. Åkanderne forekom ved søens sydlige og vestlige bred på vanddybder ud til 2 m. Større bestande fandtes kun ved den vestlige bred, i vigen øst for slottet og tæt på østlige ende af søen. (se tabel 9.2)



Tabel 9.2. Viser flydebladsplanternes totale dækning og dybdegrænse i 2002. Derudover er ved de fundne arter angivet hvor stor en andel den enkelte art udgjorde af den totale mængde flydebladsplanter. Planterne voksede inde mellem hinanden, hvilket har betydet, at summen arternes udbredelse ikke er lig med 100%.

flydebladsplanternes totale dækning af søarealet	< 1 %
flydebladsplanternes dybdegrænse	2 m
Vandpileurt	25%
Gul åkande	80%
Hvid åkande	2%

### 9.3. Udvikling

Ved en tidligere planteundersøgelse i 1995 /15/ blev der fundet vandkrans og børstebladet vandaks. Planterne forekom på omtrent de samme dybder som i 2002. Dækningsgraden af vandkrans på det helt lave vand er angivet som 1-5%, dog 5-25% ved Kildespringskov, hvilket er betydeligt højere end i 2002. I de større dybder var forekomsten også i 1995 kun "fåtalligt" (< 1% dækning). Det fremgår ikke klart af 1995-undersøgelsen, på hvilke steder planterne blev fundet. Det er derfor vanskeligt at vurdere, hvor meget planterne er gået tilbage.

### 9.4. Vurdering

Planterne indtager kun en brøkdel af deres potentielle voksesteder og er desuden i en meget dårlig fysisk stand. Begrundelsen herfor skal søges i den til tider ekstrem ringe sigtdybde. Planternes udbredelse kan yderligere været begrænset af fødesøgende fugle.

## 10. Diskussion

### 10.1. Hvad er årsagerne til Nordborg Søes tilstand.

*Nordborg Sø er en naturlig næringsrig sø.*

Nordborg Sø ligger i et typisk morænelandskab, hvor jordbundforholdene bevirker, at søen fra naturens hånd fremstår som en naturlig næringsrig sø. Før Nordborg Sø for alvor blev påvirket af os mennesker, har søen sandsynligvis rummet en alsidig undervandsvegetation, som har dækket en stor del af de stejle skrænter, muligvis har hele bunden været dækket. Vandet har været klart og mængden af alger har været beskedne i forhold til det, søen oplever nu om stunder. Fiskebestanden har været i balance og antageligvis været domineret af aborrer, som har været i stand til at kontrollere en varieret men relativt beskedent bestand af fredfisk. Således er der ikke stor sammenhæng mellem en upåvirket naturlig næringsrig sø og Nordborg Sø som den fremstår i dag.

Vandets klarhed eller sigtdybden er en af nøgleparametrene for de fleste søers tilstand. I en sø med klart vand vil der som regel være vandplanter. Vandplanterne er med til at gøre vandet klart ved at hæmme algernes vækst, bl.a. fordi de optager næring, som derved ikke længere er tilgængeligt for algerne. Derudover stabiliserer planterne bunden, forsyner zooplanktonet og andre smådyr med skjulesteder og giver aborrerne en fordel overfor fredfiskene. Dette skyldes, at de små aborrer er bedre til at finde føde imellem planterne sammenlignet med skaller og brasener. I Nordborg Sø er sigtdybden overraskende høj, når søens næringsniveau tages i betragtning. Den gode sigtdybde er imidlertid begrænset til foråret. Når sommeren nærmer sig, går det galt og sigtdybden falder fra omkring 2-3 meter til under 1 meter på relativt kort tid.

*Fosfor eller kvælstof som begrænsende næringsstof?*

I sommeren 2002 lå vandets gennemsnitlige indhold af fosfor på 0,36 mg/l, hvilket er for meget til, at man kan forvente, at søen kan komme i balance. Indholdet af kvælstof lå i samme periode på 1,2 mg/l hvilket ikke er tilsvarende højt. Teoretisk set peger indholdet af fosfor og kvælstof da også imod, at søen er begrænset af kvælstof og ikke fosfor som ellers er normalt for danske søer. Men i praksis kan det være meget vanskeligt at afgøre hvilket af de to næringsstoffer, som rent faktisk er begrænsende for væksten af alger. Dette skyldes den stadige omsætning, som finder sted i en sø. Derudover dominerede blågrønalgerne om sommeren både i 1988 og i 2002. Blågrønalgerne kan udnytte luftformigt kvælstof i stedet for opløst uorganisk kvælstof. Bl.a. derfor vil søens fosforindhold altid være af vital betydning.

I 2002 blev det målt/beregnet, at Nordborg Sø modtog 528 kg fosfor. Heraf kom over halvdelen fra landbruget. Knap 30% af fosforen kom ifølge kildefordelingen af fosforbelastningen fra regnvandsbetingede

udløb. Her er det igen værd at bemærke, at langt hovedparten af fosfor fra de regnbetingede udløb stammede fra de separatkloakerede oplande. Ifølge /3/ indeholder regnvandet fra de separatkloakerede oplande i gennemsnit ikke mindre end 0,5 mg fosfor pr. liter og pga. den store andel af befæstede arealer i oplandet, får udledningen fra de separatkloakerede oplande en væsentlig rolle i den eksterne tilførsel af fosfor.

Beregningerne er forbundet med en del antagelser. Grundvandets fosforindhold er ikke blevet målt, i stedet benyttes en standardværdi på 0,05 mg fosfor pr. liter. På nordsiden af søen er der blevet registreret flere drænrør, som munder ud i søen. I vandbalancen er det beregnet, at grundvandsbidraget udgør omkring en tredjedel af den tilførte vandmængde. Hvis dette bidrag bl.a. repræsenterer en del drænvand fra dyrkede arealer, er fosforindholdet antageligt større. Det vil betyde, at den totale fosfortilførsel på 528 kg fosfor til søen er en underestimering.

*Fosfortilførslen er faldet. Dette gælder dog ikke for søvandets fosforindhold.*

Der er imidlertid sket en positiv udvikling i fosfortilførslen. Fosfortilførselen er i 2002 nedbragt til en tredjedel af den målte tilførsel i 1988. Et tilsvarende fald i søvandets indhold af fosfor har dog ikke været tilfældet. Dette skyldes, at søbunden indeholder en stor fosforpulje, som er ophobet i sedimentet pga. tidligere tiders forurening.

*hvilket skyldes fosforpuljen i søbunden.*

En del af den fosforpulje, som befinder sig i Nordborg Sø's sediment, frigives om sommeren til vandet og giver ekstra grobund for algevækst. I sommerhalvåret 2002 var den interne fosfortilførsel fra søbunden mere end dobbelt så stor som den eksterne tilførsel fra omgivelserne på årsbasis. I alt ligger der ca. 25 tons fosfor i de øverste 20 cm af bunden, og der vil gå årtier, før denne fosforpulje er udtømt. Selvom man reducerer den eksterne tilførsel, vil der stadig være grobund for stor algevækst om sommeren

*Blågrønalgerne var dominerende.*

I både 1988, 1994, og 2002 var der en stor fytoplanktonmængde om sommeren. I 1988 og 2002 var blågrønalgerne meget dominerende. Det var generelt for de tre år, at fytoplanktonet var domineret af arter, som var over  $>50 \mu\text{m}$ , hvilket betyder, at de var svære at konsumere for zooplanktonet. De store zooplanktonarter, for eksempel store dafnier, er de mest effektive græssere, netop fordi deres størrelse giver dem mulighed for at udnytte et bredere spektrum af fytoplankton.

*Zooplanktonet var domineret af små arter. Tyder på en en skæv fiskebestand.*

Både i 1994 og 2002 var der i sommerperioden en tydelig nedgang i andelen af store dafnier. Derefter, i den resterende del af sommerperioden, var zooplanktonet domineret af små arter, som i den beskrevne situation ikke var i stand til at regulere fytoplanktonet. Ud over at være de meste effektive græssere er de store zooplanktonarter også de mest udsatte overfor at blive spist af fisk. Og med den store fredfiske-

bestand in mente er der ingen tvivl om, hvorfor bestanden af store zooplanktonarter forsvinder i Nordborg Sø om sommeren.

Fiskebestanden i Nordborg Sø var i 2002 domineret af skaller, som udgjorde omkring 70% af den samlede fiskemængde. I 1989 var det brasenerne som dominerede søen. Det forholdsvis bratte skift i fiskebestanden er umiddelbart svært at forklare, men kan hænge sammen med fiskedød. Dette i kombination med, at brasenerne har en noget svigende gydesucces i sammenligning med skallen, kan forklare skiftet.

Både brasener og skaller er imidlertid effektive, når det drejer sig om at fjerne søens store zooplanktonarter. Den samlede mængde af fredfisk skal helst ned under 100 kg/ha, før zooplanktonet har en real mulighed for at regulere fytoplanktonbiomassen året igennem /10/. I Nordborg Sø lå biomassen af fredfisk i 2002 på 505 kg/ha.

## 10.2. Hvad kan der gøres for at forbedre tilstanden i Nordborg Sø?

*Den udefrakommende fosfortilførsel er 30% for stor.*

Den udefra tilførte fosformængde til Nordborg Sø er som nævnt, faldet betragteligt inden for de senere år. Dog bliver det skønnet /9/, at fosfortilførslen stadig er 30% for stor (se bilag 1).

*Ekstensivering af landbrugsdriften.*

De dyrkede marker står for 58% af den tilførte fosfor. Ved at etablere bredere dyrkningsfri bræmmer omkring vandløb og sø kunne der opnås en væsentlig nedsættelse af fosfortilførslen. Ligeledes ville en mindre intensiv landbrugsdrift, f.eks. gennem støtteordninger til miljøvenlig landbrug (MVJ) føre til en nedsættelse af fosfortilførslen.

*Skovrejsning.*

Kun 3% af oplandet består af skov. Skovrejsning vil udover at være til glæde for de fleste også føre til en nedsættelse af fosforudvaskningen.

*Regnvandsbetingede udløb.*

Derudover viser den beregnede/målte kildefordeling af fosfor, at regnvandsbetingede udløb stod for 28% af den tilførte fosfor. Heraf var andelen fra de fælles- og separatkloakerede udløb på hhv. 12% og 88%. Det vil sige, at dette er et område hvor det kan betale sig at sætte ind. Indledningsvist ville det være relevant at få belyst hvor meget fosfor regnvandet fra de separatkloakerede oplande til Nordborg Sø rent faktisk indeholder. Viser det sig at indeholde 0,5 mg fosfor/l eller mere, vil der kunne opnås en væsentlig reduktion i fosfortilførslen ved at gå ind og eliminere denne kilde. Dette kunne eventuelt gøres ved at opsamle og rense regnvandet.

Som en ledetråd bør fosforkoncentrationen i søvandet ligge på under 0,100 mg l<sup>-1</sup>. Hvis dette er tilfældet vil der være en reel mulighed for, at vandet forbliver klart året igennem. En reduktion i den udefra kommen-

de fosformængde på de nævnte 30% vil i teorien medføre, at fosforkoncentrationen i søvandet vil komme ned på de ønskede 0,100 mg l<sup>-1</sup>. Problemet er imidlertid ikke løst, idet Nordborg Sø i søbunden indeholder sin helt egen fosforkilde.

Som før beskrevet modtog Nordborg Sø i sommerhalvåret 2002 mere end dobbelt så meget fosfor fra søbunden sammenholdt med, hvad der kom fra oplandet. Forestillede man sig, at den udefra kommende fosfortilførsel blev reduceret til passende niveau, vil det stadig tage flere årtier, før søen kommer i balance /12/. Hvis man ikke vil vente er der imidlertid andre muligheder.

Groft sagt findes der følgende muligheder til nedbringelse af søbundens fosforfrigivelse:

- Bortgravning af sediment.
- Iltning af bundvandet om sommeren.
- Tilførsel af jern.
- Tilførsel af aluminium.

#### *Bortgravning af sediment.*

En måde at fjerne fosfor fra søen er ved at bortgrave den øverste fosforrige del af søbunden. Det er imidlertid en meget dyr løsning. Metoden har bl.a. været anvendt i Brabrand Sø ved Århus. Dette projekt har kostet 23 millioner kr. Brabrand Sø har fået det bedre, men fosforniveauet er stadig for højt til, at det kan begrænse algevæksten. Opgravning af sediment har også været inde i overvejelserne i forbindelse med restaureringsprojektet i Haderslev-Vojens Tunneldal. Et af delprojekterne var her bortgravning af sediment i Stevning Dam. Projektet blev aldrig gennemført. Erfaringerne herfra var, udover at bortgravning af sediment er en dyr og teknisk kompliceret løsning, at det kan være svært at komme af med sedimentet, da det ofte vil have et højt indhold af tungmetaller.

#### *Iltning af søbunden.*

Iltning af søbunden har været anvendt i bl.a. Hald Sø i Viborg Amt og Vedsted Sø i Sønderjyllands Amt. I Hald Sø er iltningen en succes. Imidlertid kan det være nødvendigt, at iltningen opretholdes i en lang årrække. I Hald Sø blev iltningen påbegyndt i 1985. Viborg Amt havde håbet, at 10 år var nok, men det har vist sig, at søen stadig har brug for ilt om sensommeren. I Vedsted Sø blev iltningen påbegyndt i 1994, men en tydelig positiv effekt har iltningen endnu ikke haft.

For at opnå et godt resultat med iltningen er det vigtigt, at der er en stor reaktiv jernpulje i søbunden. Derudover er det også en forudsætning, at der er iltfrit ved bunden i sommerperioden. Ingen af forudsætningerne er opfyldt i Nordborg Sø. Der kan dog forekomme perioder om sommeren, hvor der ikke er meget ilt ved bunden.

- Kemisk sørestaurering.* Derudover kan man foretage en såkaldt kemisk sørestaurering. Enten ved at tilsætte jern eller aluminium til søen. Herved bindes fosfor kemisk til metallerne, så det ikke er tilgængeligt for algerne. Erfaringerne med jerntilsætning er få og generelt dårlige /9/.
- Tilsætning af aluminium.* En ny metode til sørestaurering er tilsætning af aluminium. Aluminium er et almindeligt grundstof i naturen og udgør ca. 8% af jordskorpen. Aluminiums binding til fosfor, er i modsætning til jerns binding, uafhængig af iltforholdene.
- Metoden har længe været anvendt i udlandet især i USA, hvor metoden har været anvendt siden slutningen af 1970'erne. I Danmark er aluminiumstilsætning stadig på forsøgsstadiet. Dog har Syddansk Universitet med Fyns Amt som "hovedentreprenør" i sommeren 2001 påbegyndt en aluminiumbehandling af Sønderby Sø på Fyn. Resultaterne var nærmest øjeblikkelige, og den efterfølgende sommer var søen både klarvandet og fyldt med undervandsplanter (pers. kom. Keld Sandby Hansen, Fyns Amt). Aluminium kan under visse betingelser være giftig og evt. negative effekter skal derfor grundigt undersøges.
- Aluminium kan være giftig.* Det største umiddelbare problem ved aluminiumbehandlingen er imidlertid, at i sure miljøer (  $\text{pH} < 5,5$ ) optræder aluminiumet som  $\text{Al}^{3+}$ -ion og på denne form er aluminium toksisk for dyr og planter. Nordborg Sø har en pH på omkring 8-9 og har samtidig en høj alkalinitet. Derved er forholdene ved Nordborg Sø velegnede til denne type restaurering.
- Det er imidlertid vigtigt at understrege, at fosfortilførsel fra omgivelserne skal reduceres med de omtalte 30% ellers vil en eventuel tilsætning af aluminium være spildt.
- Biomanipulation.* Nordborg Sø har en skæv fiskefordeling med for mange fredfisk og for få rovfisk. For at opnå en varig forbedring efter en regulering i fiskebestanden er det nødvendigt, at søvandets fosforindhold om sommeren nedbringes til omkring  $0,100 \text{ mg l}^{-1}$ . Er dette ikke tilfældet, vil en eventuel biomanipulation kun have en midlertidig effekt.
- Hvis det antages, at der i Nordborg Sø blev gennemført tiltag, som bragte søvandets fosforkoncentration ned på et acceptabelt niveau, vil det formodentligt være nødvendigt samtidigt at regulere fiskebestanden. Dette skyldes, at en skæv friskebestand med for mange fredfisk kan være med til at opretholde en dårlig miljøtilstand, efter at vandets fosforniveau er faldet til niveau, hvor klart vand kunne forventes.

## 11. Referencer

- /1/ Danmarks Miljøundersøgelser 2001. Notat om naturlande 2000. Fremsendt til amterne 12. marts 2001 af DMU, Afdeling for Vandløbsøkologi.
- /2/ Kristensen, P. *et al.* 1990. Eutrofieringsmodeller for søer. *Npo-forskning fra Miljøstyrelsen. Nr. C9.*
- /3/ Miljøstyrelsen nr. 4 1990. Bestemmelse af belastning fra regnbetingede udløb.
- /4/ Mortensen, E. *et al.* 1990. Fiskeundersøgelser i søer. Undersøgel sesprogram, fiskeredskaber og metoder. *Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning fra DMU, nr. 3.*
- /5/ Nordborg Kommune 2001. Spildevandsplan 2000-2011. Forslag.
- /6/ Nordborg Kommune 2001. Udledningstilladelse 2001. *Nordborg Kommune, Teknik og Miljø.*
- /7/ Nordborg Kommune 2003. Supplerende materiale som viser placeringen af de ejendomme som har udløb til Nordborg Sø og Gammel dam. *Nordborg Kommune, anlægsingeniør Hans Erik Jensen.*
- /8/ Sand-Jensen, K. 2001. Søer- en beskyttet naturtype. Miljø- og Energiministeriet, Skov- og Naturstyrelsen 2001.
- /9/ Syddansk Universitet (SDU) i samarbejde med Sønderjyllands Amt. 2003. Sedimentets fosforpuljer og fosforfrigivelse i Nordborg Sø 2002.
- /10/ Søndergaard, M. *et al.* 1998. Sørestauration i Danmark. Metoder, erfaringer og anbefalinger. *Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen. Miljønyt nr. 28.*
- /11/ Sønderjyllands Amt 1990. Fiskebestanden i Nordborg Sø 1989. *Bio/consult.*
- /12/ Sønderjyllands Amt 1990. Nordborg Sø 1988-1989. Nuværende og fremtidig tilstand. *Carl Bro as.*
- /13/ Sønderjyllands Amt. 1995. Notat vedr. opsporing af forureningskilder i oplandet til Nordborg Sø
- /14/ Sønderjyllands Amt 1998. Nordborg Sø 1988-1994. *Carl Bro Energi & Miljø as.*

/15/ Sønderjyllands Amt 2002. Nordborg Sø, vegetation 2002. Internt notat.

/16/ Sønderjyllands Amt 2003. Fiskebestanden i Nordborg Sø september 2002. *Fiskeøkologisk Laboratorium*.

/17/ Sønderjyllands Amt 2003. Planktonundersøgelser i Nordborg Sø 2002. *Bio/consult*.

/18/ Sønderjyllands Amt 2003. Planktonundersøgelser i Store Søgård Sø 2002. *Bio/consult*.

/19/ Sønderjyllands Amt 2003. Hostrup Sø 2000.

/20/ Vollenweider, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33: 53-83.



## 12. Bilag

### Bilag 1.

Søens fosforkoncentration i en fremtidig ligevægtssituation (dvs. uden intern fosforbelastning) ved den nuværende belastning kan vurderes ud fra en simpel modelberegning /20/:

$P_{s\emptyset} = P_i / (1 + \sqrt{t_w})$ , hvor

$P_{s\emptyset}$  = den beregnede fosforkoncentration i søen ved den nuværende belastning (mg P/l),

$P_i$  = den årgennemsnitlige fosforkoncentration i tilløb (0,234 mg P/l),

$T_w$  = vandets opholdstid i søen (år) = 0,82 år

Den årgennemsnitlige fosforkoncentration i tilløb er beregnet som den vandføringsvægtede koncentration i de målte tilløb (0,234 mg P/l), og vandets opholdstid (0,82 år) er beregnet på baggrund af vandføringsmålinger i søens afløb i 2002. Med disse beregningsforudsætninger vil den resulterende fosforkoncentration i søen i en ligevægtssituation blive 0,123 mg P/l.

Ovenstående ligning kan tilsvarende anvendes til vurdering af hvilket fosforniveau der er nødvendigt i tilløbene såfremt en given fosforkoncentration i søen skal opnås. Normalt anbefales et niveau i søen mellem 0,05 og 0,1 mg P/l for at sikre en god tilstand. For dybe, lagdelte søer skal niveauet være lavere. Da Nordborg Sø i perioder er lagdelt, bør fosforindholdet formentlig ligge mellem 0,05 og 0,08 mg P/l. Nedenstående tabel viser eksempler på den nødvendige koncentration i tilløbene ved en given koncentration i søen. Desuden er vist hvor meget indløbskoncentrationen skal reduceres i forhold til den nuværende tilstand (2002).

Fremtidig ligevægtskoncentration i søen (mg P/l)	0,1	0,08	0,05
Nødvendig koncentration i tilløb (mg P/l)	0,190	0,152	0,095
Nødvendig reduktion i forhold til belastning i 2002 (%)	19	35	59

Som det fremgår skal fosforkoncentrationen i tilløbene reduceres til 0,152 mg P/l for at opnå en fremtidig ligevægtskoncentration i søen på 0,08 mg P/l, svarende til en reduktion på 35% i forhold til den nuværende belastning.