



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Faglig rapport fra DMU nr. 607, 2006

Miljøtilstand og udvikling i Viborgsøerne 1985-2005



[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Faglig rapport fra DMU nr. 607, 2006

Miljøtilstand og udvikling i Viborgsøerne 1985-2005

Liselotte Sander Johansson ¹

Martin Søndergaard¹

Lone Liboriussen ¹

Tue S. Jacobsen ²

¹ Danmarks Miljøundersøgelser

² Viborg Amt

Datablad

Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 607
Titel:	Miljøtilstand og udvikling i Viborgsøerne 1985-2005
Forfattere:	L.S. Johansson ¹ , M. Søndergaard ¹ , L. Liboriussen ¹ & T.S. Jacobsen ²
Afdelinger:	Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Ferskvandsøkologi og Viborg Amt
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsesår:	December 2006
Faglig kommentering:	Kurt Nielsen
Finansiell støtte:	Viborg Amt
Bedes citeret:	Johansson, L.S., Søndergaard, M., Liboriussen, L. & Jacobsen, T. 2006: Miljøtilstand og udvikling i Viborgsøerne 1985-2005. .55 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 607. http://www.dmu.dk/pub/fr607.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I Viborg Nørresø og Viborg Søndersø og deres opland er der i de seneste ca. 20 år foretaget en lang række miljøforbedrende indgreb. Næringsstofbelastningen til søerne er reduceret betydeligt, og den økologiske tilstand især i Viborg Nørresø er forbedret. I Viborg Søndersø ses også tegn på forbedringer, men vandkvaliteten her er meget påvirket af den interne fosforbelastning. Det vurderes, at de belastningsreducerende indgreb i oplandet har haft den største effekt på vandkvaliteten i søerne, mens effekterne af de interne indgreb er mindre markante. For på sigt at leve op til søernes målsætning er det nødvendigt at nedbringe den nuværende fosforbelastning med ca. 1/3.
Emneord:	Viborgsøerne, sørestaurering, iltning, opfiskning, fremtidsperspektiv
Layout:	Anne Mette Poulsen
Illustrationer:	Grafisk værksted, DMU Silkeborg
ISBN:	978-87-7772-969-0
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	56
Internet-version:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/pub/fr607.pdf
Supplerende oplysninger:	Udsnit af Kort & Matrikelstyrelsens kortmateriale er gengivet i henhold til tilladelse G18/1997 Forsidefoto er taget af Per Nissen Grøn
Kan købes hos:	Miljøministeriet Frontlinien Rentemestervej 8 2400 København NV Tlf.: 70 12 02 11 frontlinien@frontlinien.dk

Indhold

Sammenfatning 5

1 Indledning og baggrund 7

2 Beskrivelse af søerne og deres målsætning 8

- 2.1 Beskrivelse af søerne 8
- 2.2 Målsætning 9
- 2.3 Belastningshistorie 10

3 Miljøforbedrende indgreb 11

- 3.1 Eksterne indgreb 11
 - 3.1.1 Kloakering og rensedamme 11
 - 3.1.2 Andre indgreb i oplandet 12
- 3.2 Restaureringsindgreb i søerne 13

4 Udviklingen i vandkemiske forhold 16

- 4.1 Ilt og temperatur 16
- 4.2 Vand- og stofbalancer 18
 - 4.2.1 Beregninger 19
 - 4.2.2 Resultater 20
- 4.3 Vandkemi 26

5 Udviklingen i biologiske forhold 32

- 5.1 Fisk 32
 - 5.1.1 Artsforekomst 32
 - 5.1.2 Fiskemængde 33
- 5.2 Vegetation 37
 - 5.2.1 Nørresø 37
 - 5.2.2 Søndersø 38
- 5.3 Plankton 39
 - 5.3.1 Planteplankton 39
 - 5.3.2 Dyreplankton 40
- 5.4 Bunddyr 41

6 Effekter af restaureringsindgreb 42

- 6.1 Ekstern belastning 42
 - 6.1.1 Etablering af rensedamme og forbedring af kloaksystemet 42
 - 6.1.2 Etablering af Rødding rensningsanlæg 42
 - 6.1.3 Opfiskning af skaller og brasen i Loldrup Sø 43
 - 6.1.4 Rødding Sø 43
- 6.2 Opfiskning af skaller og brasen i Viborg Søndersø 43
 - 6.2.1 Effekter på fiskebestanden 43
 - 6.2.2 Effekter på næringsstofindhold 44
 - 6.2.3 Effekter på øvrige biologiske forhold 44
- 6.3 Udsætning af gedder i Nørresø 44
- 6.4 Udplantning af undervandsplanter i Søndersø 45
- 6.5 Iltning af bundvand i Nørresø 45
 - 6.5.1 Næringsstofindhold i bundvandet før og under iltningen 45
 - 6.5.2 Næringsstofindhold i overfladevandet før og under iltningen 46

7 Fremtidig miljøtilstand 48

- 7.1 Den fremtidige eksterne belastning 48
- 7.2 Den fremtidige interne fosforbelastning 49

8 Konklusioner og anbefalinger 51

9 Referencer 54

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

Sammenfatning

Viborgsøerne har igennem mange hundrede år været belastet af næringsstofudledning primært fra Viborg By og de omkringliggende landbrugsarealer. Forureningen af søerne tog til, især efter kloakering af Viborg By i begyndelsen af 1900-tallet. I løbet af de seneste 70 år er kloaknettet løbende blevet udbygget og spildevandsrensningen forbedret, hvilket dog ikke har været tilstrækkeligt til at sikre en tilfredsstillende vandkvalitet i søerne.

Siden 1985 er der blevet foretaget en lang række eksterne tiltag til forbedring af den økologiske tilstand i søerne, så som opførelse af rensningsanlæg ved Rødding, etablering af rensedamme og genetablering af Rødding Sø. Derudover er der foretaget restaureringsindgreb i selve søerne, herunder opfiskning i Viborg Søndersø og iltning i Viborg Nørresø.

Vandkemiske målinger i tilløbene fra 1985 til 2005 viser, at den eksterne fosfortilførsel til søerne er reduceret med 1300 kg og at kvælstoftilførslen er faldet med 21 t. Det vurderes, at opførelsen af Rødding Rensningsanlæg har den største indflydelse på denne reduktion.

Målinger af vandkemiske parametre i søvandet viser, at Nørresø har gennemgået den største forbedring af vandkvaliteten. Der er sket et signifikant fald i både fosfor- og kvælstofkoncentrationen samt mængden af suspenderet stof i perioden 1985-2005. Sigtdybden har udvist en signifikant stigning. I Søndersø er sigtdybden steget signifikant, men der er ikke sket væsentlige ændringer i hverken næringsstofkoncentrationen eller mængden af suspenderet stof. Begge søer er stadigvæk næringsrige med en sigtdybde omkring 2 m i Nørresø og 1 m i Søndersø.

Der er foretaget fiskeundersøgelser i Søndersø 7 gange og i Nørresø 4 gange i løbet af de seneste 80 år. I Nørresø ser der ud til at være sket et skift i sammensætningen. I 1960 dominerede skalle og brasen både antals- og artsmæssigt. I 1986 dominerede skalle og brasen også antalsmæssigt, mens brasen og sandart dominerede vægtmæssigt. I 2006 udgjorde brasen kun en mindre andel af fiskebestanden, mens dominansen overgik til aborre. I Søndersø er der også, relativt set, blevet færre brasen fra 1960 til 2006. Det største fald ses efter 1986. Skalle og brasen dominerede dog mht. vægt i alle undersøgelsesårene.

Der er foretaget vegetationsundersøgelser i Viborgsøerne i 1986 og 2006. I Nørresø er der kommet flere arter og den maksimale dybdegrænse er steget betydeligt. I Søndersø er der også tegn på forbedringer, men plantedækket er stadig meget lavt.

Der er kun foretaget én planteplanktonundersøgelse i 1982, og én bunddyrsundersøgelse i 1986, hvilket ikke gør det muligt at vurdere udviklingen i søens tilstand på grundlag af disse resultater. Der er udført dyreplanktonundersøgelser 8 gange i perioden 1982-1995. Der ses ikke nogen tydelig udvikling i resultaterne af disse undersøgelser.

Samlet vurderes det, at de miljøforbedrende tiltag har forbedret vandkvaliteten ikke mindst i Nørresø. De største effekter er formentlig opnået i forbindelse med etablering af Rødding rensningsanlæg i slutningen af 80'erne. Restaureringsmetoderne anvendt i begge søer synes generelt kun at have haft en begrænset effekt på søernes vandkvalitet. For at nå søernes målsætning, er det dog nødvendigt at reducere fosfortilførslen med yderligere ca. 1/3 for at nå kravene til den nuværende indløbskoncentration.

Metoder til yderligere at reducere næringsstofftilførslen omfatter bl.a. udførelse af flere rensedamme, afskæring af spildevand fra fælleskloakken og etablering af vådområde nord for Nørresø. Det er også vigtigt at sikre en god vandkvalitet i søerne opstrøms Viborgsøerne, således at størst mulig mængde næringsstoffer tilbageholdes i disse. Også kvælstofbelastningen er relevant, da det har vist sig, at søen i perioder kan være kvælstofbegrænset, så muligheden for at nedbringe kvælstofbelastningen bør overvejes. Endelig er der også en betydelig intern fosforbelastning i søerne, som det kan være nødvendigt nedbringe, hvis der på kortere sigt skal opnås forbedringer.

1 Indledning og baggrund

Som i de fleste danske søer er der på grund af forøget næringsstofbelastning gennem mange år sket en eutrofiering af Viborgsøerne, Viborg Nørresø og Viborg Søndersø (*Hedeselskabet, 2003*). For at forbedre vandkvaliteten og mindske udledningen af næringsstoffer til søerne via spildevand er spildevandsrensningen i løbet af de seneste 70 år løbende blevet forbedret og kloaknettet udbygget (*Hedeselskabet, 2003*).

Disse forbedringer har imidlertid ikke været tilstrækkelige til at sikre en tilfredsstillende vandkvalitet i søerne. For at forbedre den økologiske tilstand har Viborg Amt i samarbejde med Viborg Kommune og Tjele Kommune gennem de seneste ca. 20 år derfor intensiveret indsatsen og iværksat en lang række tiltag, der skal mindske tilledningen af næringsstoffer til søerne. Derudover er der udført en række forskellige restaureringsindgreb i selve søerne, som omfatter bl.a. opfiskning af fredfisk i Søndersø og iltning i Nørresø.

For at vurdere effekten af de investeringer, der allerede er foretaget, samt for at vurdere behovet for yderligere forbedringer af tilstanden, har Viborg Amt ønsket en beskrivelse af udviklingen og tilstanden i søerne. Denne rapport beskriver således udviklingen i Viborgsøerne gennem de seneste 20 år og i de tilfælde, hvor der er data og informationer også længere tilbage. Rapporten giver også en vurdering af de enkelte gennemførte og planlagte tiltag i oplandet samt restaureringsindgrebene foretaget i søerne. Endvidere gives der forslag til, hvad der i fremtiden yderligere kan gøres, så Viborg Amts målsætning af søerne kan opfyldes.

Rapporten er baseret på data leveret af Viborg Amt.

2 Beskrivelse af søerne og deres målsætning

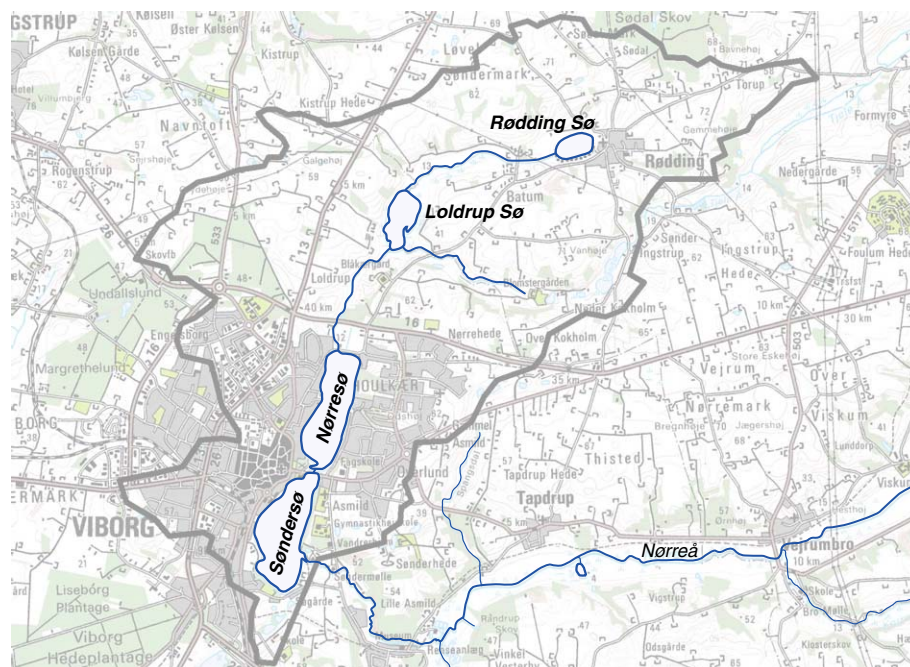
2.1 Beskrivelse af søerne

Viborgsøerne er en del af Gudenåsystemet. Hovedindløbet til Nørresø sker via Nørremølle Å, hvorefter vandet via Søndersø løber ud i Søndermølle Å (figur 2.1). Herfra løber vandet videre til Nørreåen og ud i Gudenåen (www.vibamt.dk).

Nørresøs areal udgør ca. 123 ha, mens arealet af Søndersø er opgjort til ca. 146 ha. Nørresø er den dybeste af søerne med en middeldybde på 7 m og en maksimal dybde på ca. 12 m. De tilsvarende værdier for Søndersø er henholdsvis 3,4 m og 6,5 m (tabel 2.1). I Nørresø ses der hvert år kortere eller længere perioder med lagdeling i vandsøjlen, mens dette kun meget kortvarigt finder sted i Søndersø (se kap 4). Vandets opholdstid i Nørresø er ca. 250 dage, hvilket er dobbelt så lang tid som i Søndersø.

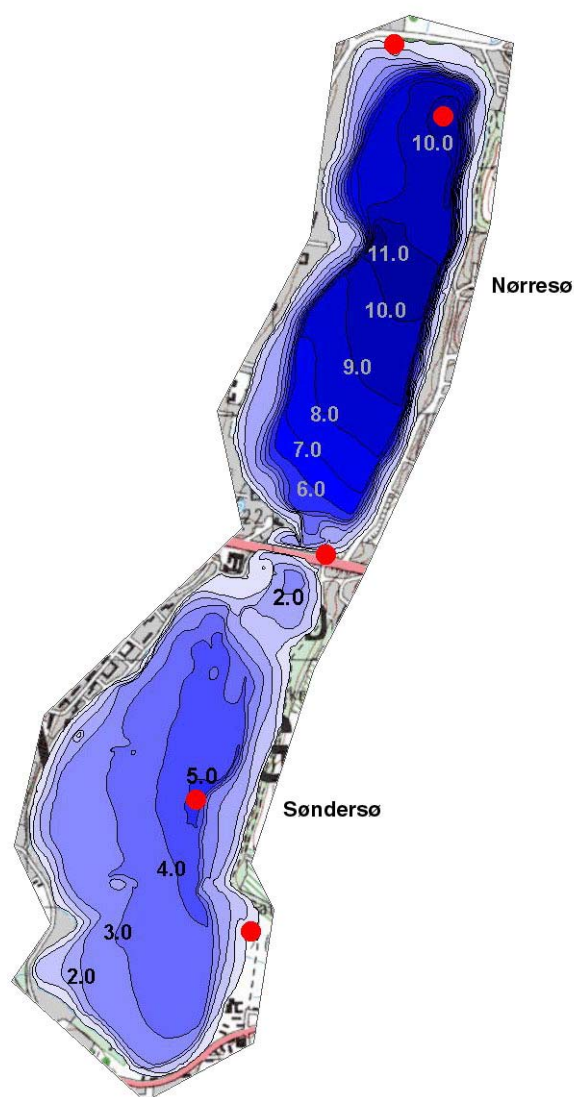
Oplandet er opgjort til 35,4 km² for Viborg Nørresø og 41,8 km² for Viborg Søndersø. Oplandet består primært af landbrugsarealer, mens ca. 20 % og 27 % af oplandet til henholdsvis Nørresø og Søndersø består af bymæssig bebyggelse. Omkring søerne er der sønær bebyggelse langs det meste af søbredden (figur 2.1).

Figur 2.1 Kort over Viborgsøerne og deres opland. Rødding Sø er markeret vest for Rødding by.



Figur 2.2 Kort over Viborgsøerne med angivelse af dybdegrænser og prøvetagningsstationer.

● markerer prøvetagningsstationer.



Tabel 2.1 Morfometriske data for Viborgsøerne (Viborg Amt 2002).

	Nørresø	Søndersø
Areal, ha	123	146
Volumen, mio. m ³	8,6	5,0
Middeldybde, m	7,0	3,4
Max dybde, m	12,2	6,5
Opholdstid, dage	217-316	99-129
Opland, km ²	35,4	41,8

2.2 Målsætning

Viborg Amt har i deres regionplan 2005 fastsat at Nørresø og Søndersø har målsætning A2/B, hvilket vil sige, at søerne skal overholde krav til badevand og være egnet som levested for planter og dyr. I søerne skal der findes "et plante- og dyreliv, der kun er svagt påvirket af kulturbetingede faktorer" (www.vibamt.dk).

Specifikt er der i 2002 udarbejdet en rapport med status over Viborgsøernes daværende tilstand, og her stilles der krav om en fosforkoncen-

tration i indløbsvandet til søerne på højest 70-90 µg/l (*Viborg Amt, 2002*). Rapporten viser, at søen ikke dengang opfyldte målsætningen.

2.3 Belastningshistorie

Der har været bebyggelse omkring søerne i mindst 1200 år, hvilket specielt har påvirket Søndersø. Søerne var indtil 1300-tallet delt af et vade-sted, men i 1313 blev der bygget en borg på Borgvold, der ligger i den sydligste del af Nørresø. I den forbindelse blev vandet opstemmet, så vandstanden blev hævet med ca. 2 m. Derved kom de to søer til at hæn-ge sammen. Efter at det i mange år var nødvendigt at sejle over søen, blev der i 1800-tallet bygget en træbro, og i 1855 blev den dæmning an-lagt, der i dag adskiller de to søer (*www.vibamt.dk* og *www.ViborgHistorie.dk*).

Viborgsøerne har modtaget spildevand fra Viborg by i flere hundrede år. Tilledningen af spildevand steg især i forbindelse med kloakering i be-gyndelsen af 1900-tallet. I 1920'erne blev den tiltagende forurening tyde-lig og medførte, at Viborg byråd tog initiativ til, at den første fiskeunder-søgelse i Viborgsøerne blev udført. Det var dog først i 1937, at det første mekaniske, rensningsanlæg med udløb til Søndersø blev opført (*Viborg Amts Vandvæsen m.fl., 1973*). På denne tid var der omkring 18.000 ind-byggere i Viborg Kommune. I 1971 blev der etableret et biologisk ren-sningsanlæg i Bruunshåb, hvorved en stor del af spildevandet blev ledt uden om søerne og direkte til rensningsanlægget. Samtidigt blev det omkring 1970 besluttet, at udledninger fra overfaldsbygværker i kloak-systemet i Viborg by skulle ske til Søndersø. (*Hedeselskabet, 2003*).

Kloaknettet er løbende blevet udbygget og forbedret, men der findes stadig separatkloakerede udløb, som ved nedbør fører regnvand til sø-erne. Disse regnvandsbetingede udløb er et alvorligt problem for søerne, og i de sidste par vurderes flere voldsomme tordenbyger at have forår-saget en kraftig belastning af især Søndersø (*Viborg Amt, upubliceret*). Omfanget af belastningen via disse udløb er dog ikke kvantificeret.

3 Miljøforbedrende indgreb

For at forbedre Viborgsøernes miljøtilstand er der i perioden 1985-2005 gennemført en række eksterne indgreb, der skal formindske tilførslen af næringsstoffer til søen fra oplandet. Derudover er der foretaget flere for-mer for interne tiltag eller restaureringsindgreb. De fleste af disse er foretaget med henblik på at reducere den interne fosforbelastning eller med henblik på at reducere mængden af fredfisk i forhold til mængden af rovfisk, og derved skabe øget mulighed for at dyreplanktonet kan begrænse mængden af planteplankton. Disse indgreb er beskrevet nedenfor og opsummeret i tabel 3.1.

Tabel 3.1 Oversigt over eksterne og interne miljøforbedrende indgreb i Viborgsøerne i årene 1985-2005.

År	Eksterne indgreb	Interne indgreb
1985	Etablering af rensedam ved regnvandsudløb til Nørremølle Å.	
1985	Opførelse af rensedam ved regnvandsudløb til Nørresø.	
1987	Anlæg af bassin på fælleskloakken før udløb i Søndersø.	
1987-1989		Udsætning af ca. 600 suder samt øjeæg og sættefisk af gedde til begge søer (<i>Viborg Amt, 1992</i>).
1987-2005		Opfiskning af fredfisk i Søndersø.
1988	Opførelse af kemisk-biologisk rensningsanlæg i Rødding	
1988	Etablering af styringssystem der regulerer spjæld i fælleskloakken, således at bassinerne til opsamling af spildevand udnyttes bedst muligt.	
1996 -2006		Iltning i Nørresø.
1996-1999	Intensiv opfiskning af fredfisk i Loldrup sø reducerede næringsstofkoncentrationen i søen og reducerede næringsstofbelastning til Viborgsøerne.	
1998-2005		Udsætning af geddeyngel i Nørresø
Sidst i 1990'erne	Etablering af tre rensedamme. Heraf to med udløb til mosehuller og videre til Søndersø og én med udløb til Nørremølle Å.	
1999	20-årig braklægning af et 50 ha stort landbrugsområde i oplandet til Nørremølle Å.	
Ca. 2002	Ombygning af eksisterende rensedam med udløb til Nørresø.	
2003-2004		Udplantning af undervandsplanter i Søndersø.
2003-2006		Destruktion af fiskeæg fra fredfisk.
2004	Genetablering af Rødding Sø	

3.1 Eksterne indgreb

3.1.1 Kloakering og rensedamme

Viborgsøerne og vandløbene op- og nedstrøms søerne tjener som recipienter for en del af spildevandet fra Viborg By. I perioden 1985-2005 er der taget en række initiativer, der forbedrer kloaksystemet og reducerer belastningen af søerne (*Hedeselskabet, 2003* og *Morten Glarbo, Viborg Kommune, pers. komm.*):

1985: Etablering af rensedamme ved regnvandsudløb til henholdsvis Nørremølle Å og Nørresø. En rensedam tilbageholder vand fra separat regnvandsudledning og reducerer derved belastningen af fosfor (ca. 60 %) og kvælstof (ca. 20 %) fra det pågældende udløb til søen. Disse rensedamme vil dermed tilbageholde henholdsvis 46 og 3 kg P pr. år samt 124 og 8 kg N pr. år.

1987: Anlæggelse af større opsamlingsbassin på fælleskloakken før udløb i Søndersø. Hermed reduceredes mængden af spildevand, der i tilfælde af kraftigt nedbør via overfaldsbygværker tilføres Søndersø. Effekten skønnes at have reduceret fosfortilførslen med 360 kg pr. år.

1988: Etablering af et styringssystem, der regulerer spjæld i kloaksystemet, således at bassinerne heri udnyttes bedst muligt. Dermed reduceres næringsstofftilførslen fra regnvand til søerne. Effekten er ikke målt.

Slutningen af 1990'erne: Etablering af tre rensedamme. Heraf to med udløb til mosehuller og videre til Søndersø og én med udløb til Nørremølle Å. Den beregnede tilbageholdelse ved disse tre rensedamme udgør i alt ca. 17 kg P og 46 kg N pr. år.

Ca. 2002: I forbindelse med byggemodning af et boligområde blev der foretaget ombygning af en eksisterende rensedam med udløb til Nørresø. Tilbageholdelse herefter: ca. 11 kg P og 31 kg N pr. år.

3.1.2 Andre indgreb i oplandet

1988: Opførelse af kemisk-biologisk rensningsanlæg i Rødding. Fosfortilførslen til Loldrup Sø, der ligger umiddelbart opstrøms Nørresø, blev herefter reduceret fra 750 kg til ca. 50 kg om året. Herved blev fosfor- og kvælstoftilførslen til Viborgsøerne også mindsket.

1996-1999: Intensiv opfiskning af skaller og brasen i Loldrup Sø bevirkede, at dyreplankton bedre kunne kontrollere planteplankton samt at der skete mindre ophvirvling af sediment fra bunden. Dette var sammen med opførelsen af Rødding rensningsanlæg, medvirkende til en væsentlig forbedring af vandkvaliteten i søen (se figur 3.1). Dette har også haft en positiv effekt på miljøforholdene i Viborgsøerne, fordi fosforbelastningen blev mindsket.

1999: Braklægning et 50 ha stort landbrugsområde i oplandet til Nørremølle Å. Braklægningen skal vare i minimum 20 år.

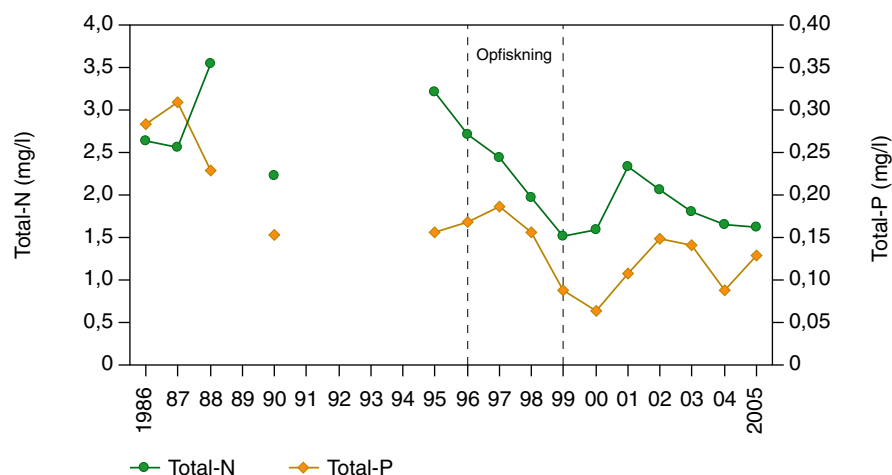
2004: Genetablering af Rødding Sø, beliggende opstrøms Loldrup Sø, ca. 8 km Nordøst for Viborg. Der blev i 1878 påbegyndt en afvanding af søen, hvorefter området fungerede først som græsningsarealer og senere som dyrket jord. For at genskabe søen, og dermed nedbringe tilførslen af især kvælstof til Loldrup Sø og Viborgsøerne, blev pumpestation, drænsystemer og landkanal nedlagt i 2004 (*Viborg Amt 1999*). Søen omfatter et areal på ca. 20 ha. Omkring søen vil der blive dannet et engareal på ca. 12 ha.

Beregninger af stofbalancer, der dog er foretaget på et meget spinkelt grundlag viser, at Rødding Sø i 2005 har tilbageholdt ca. 7 t N, hvilket er lidt mindre end de 7,6 t der blev beregnet i forprojektet til restaurering-

gen. Samtidigt blev der afgivet ca. 100 kg P, mod en beregnet tilbageholdelse på 72 kg. Det vurderes dog stadig, at søen, når den kommer i ligevægt med den eksterne tilførsel, vil komme til at tilbageholde fosfor, da dens nærmeste omgivelser består af udyrket jord. Målinger i søen viser, at der er sket en forbedring i vandkvaliteten fra 2005 til 2006 (tabel 3.2).

I forbindelse med genetablering af søen blev Rødding rensningsanlæg nedlagt og spildevandet ført til rensningsanlægget v/Bruunshåb.

Figur 3.1 Udviklingen i koncentrationen af totalfosfor og totalkvælstof i Loldrup sø i årene 1986-2005. Tidsvægtede sommergennemsnit.



Tabel 3.2 Fysiske og kemiske parametre målt i Rødding Sø 2005 og 2006. Tidsvægtede sommergennemsnit

	Total-P (mg/l)	Total-N (mg/l)	Klorofyl <i>a</i> (µg/l)	Suspenderet stof (mg/l)	Sigtdybde (m)
2005	0,164	2,36	8,2	5,4	1,9
2006	0,08	1,43	7,5	3,9	2,3

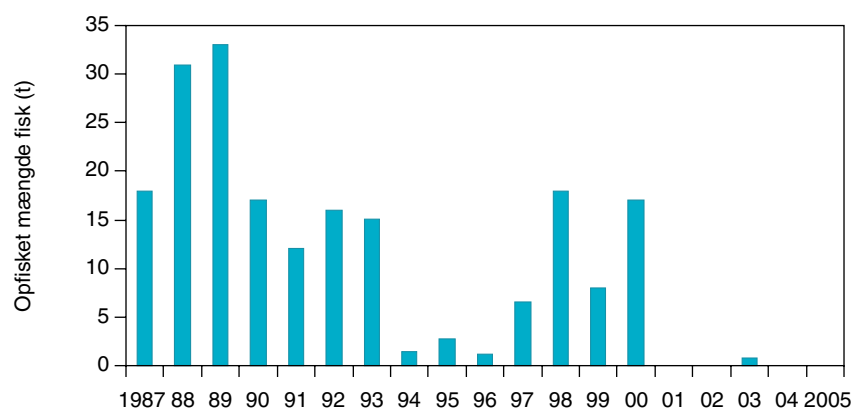
3.2 Restaureringsindgreb i søerne

1987-2005: Viborg Amt har siden 1987 foretaget opfiskning af fredfisk i Søndersø. Indsatsen af opfiskningerne er varieret fra år til år, og der er anvendt pæleruser, bundgarn, nedgarn og vod. Indtil 1995 blev der anvendt landbaseret vodtrækningsudstyr, hvorefter man gik over til at have vodtrækningsudstyret på flåder, så man kunne fiske nye steder i søen. Mængden af opfiskede fisk er angivet i figur 3.2.

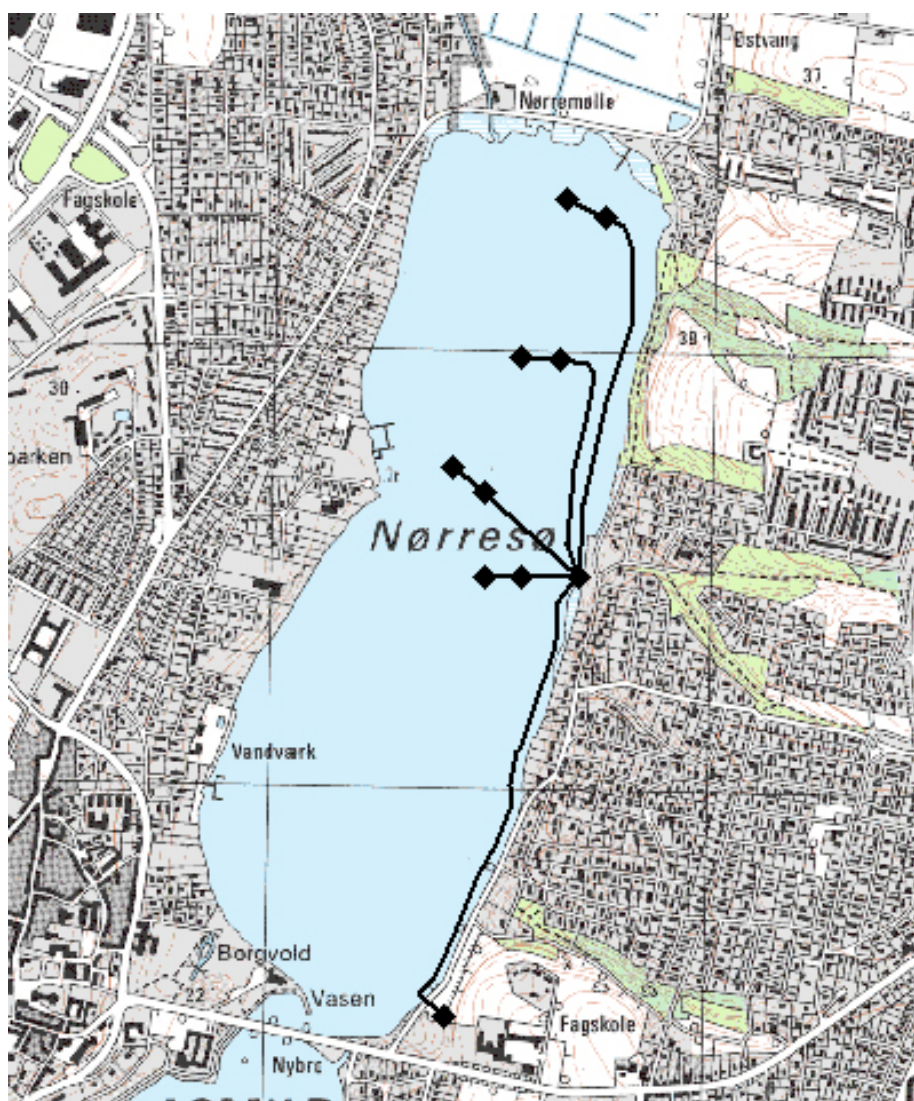
1987-1989: Udsætning af sudere (ca. 600 stk.) samt øjeæg og sættefisk af gedde (Viborg Amt 1992). Der findes ingen tal for antallet af udsatte fisk.

1996: Iltning påbegyndt i Nørresø. Viborg Kommune etablerede i sommeren 1996 et iltningsanlæg på østbredden i den sydligste del af Nørresø. Fra iltningsanlægget udgår der langs søbunden fire forsyningsledninger til den nordlige del af søen (figur 3.3). Ilttilførslen de enkelte år er vist på figur 3.4.

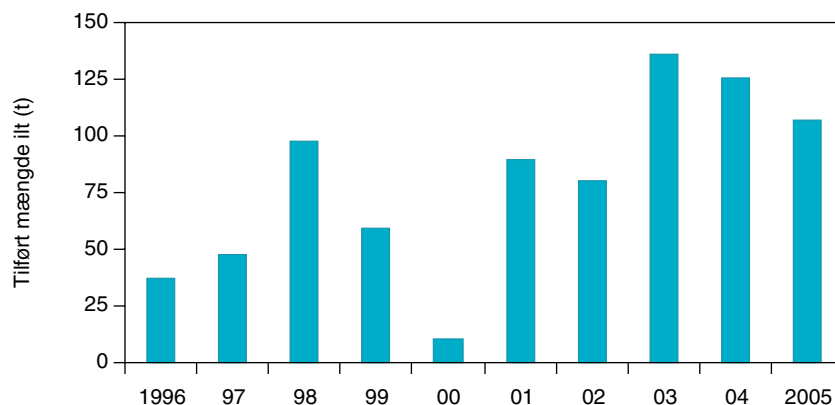
Figur 3.2 Mængden af opfiskede fisk i Søndersø i årene 1987-2005. I årene 2001-02 og 2004-05 er mængden <0,2 t.



Figur 3.3 Iltslangernes placering i Nørresø (fra Viborg Amt, 2002).



Figur 3.4 Mængden af tilført ilt til Nørresø i årene 1996-2005. Lave værdier i 1999 og 2000 skyldes, at motorsejlere og lystfiskere ved flere lejligheder rev iltledningerne over.



1998-2005: Udsætning af geddeyngel i Nørresø. I årene 1998-2005 blev der hvert år udsat 60.000 stk. geddeyngel, bortset fra 1999 og 2001, hvor der blev udsat hhv. 50.000 og 75.000 stk.

2003-2004: Udplantning af undervandsvegetation i Søndersø. Der blev udplantet vandpest og kruset vandaks i bure i det nordvestligste hjørne, på vestbredden nord for Sønæs og på østbredden ved Søgårde. Planterne fik imidlertid aldrig fodfæste. Vandet var for uklart og i løbet af den første vinter blev burene ødelagt af is. Planterne var dermed ubeskyttede overfor fødesøgende fugle.

2003-2006: Afbrænding af fiskeæg fra fredfisk. Hvert år blev der i foråret udlagt i alt ca. 500 stk. kunstige gydereder bestående af lærkegrene, lyng og gyvel. Efterfølgende, i maj og juni blev rederne fisket op og æggene, der fandtes på dem, brændt af. Der findes ingen opgørelse over antallet af destruerede æg.



Figur 3.5 Kunstige gydereder med fiskeæg (foto: Kim Møller Hansen).

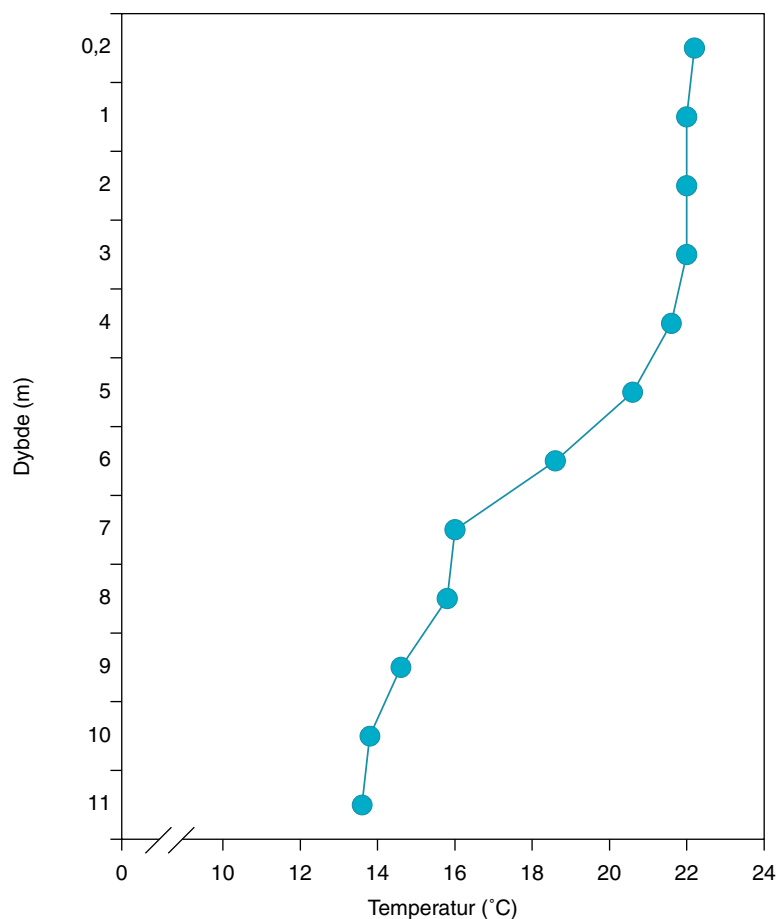
4 Udviklingen i vandkemiske forhold

4.1 Ilt og temperatur

I dybe søer vil der om sommeren ske en temperaturlagdeling af vandet i et varmt overfladelag og et koldere bundlag. Dette sker også i Nørresø, hvorimod der kun sjældent og kortvarigt sker nogen lagdeling i den mere lavvandede Søndersø. En typisk temperaturlagdeling fra Nørresø er vist i figur 4.1

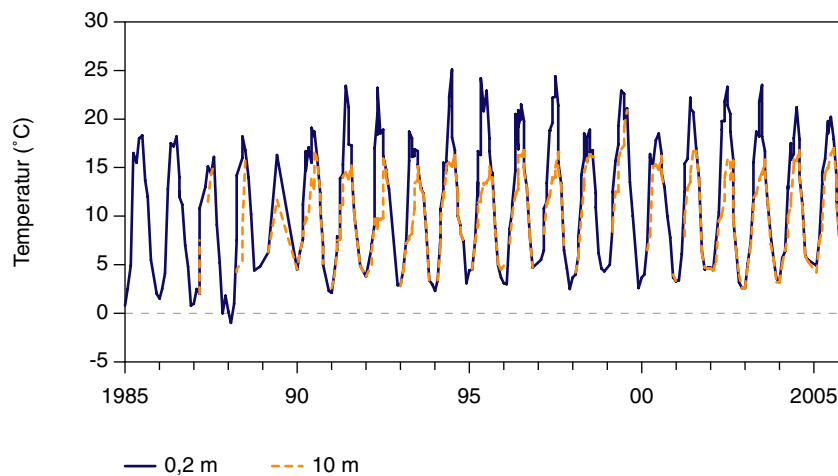
Temperaturlagdelingen i Nørresø er mindre markant sammenlignet mange andre dybe søer, som f.eks. Hald Sø, hvor der ses noget lavere temperaturer i bundvandet. Det hænger sammen med den væsentlig lavere vanddybde i Nørresø, men tyder også på, at lagdelingen i Nørresø ikke er særlig stærkt og afhængig af vejrforhold til tider brydes op mere eller mindre i løbet af sommeren. Tilsvarende ses flere år kun en meget ringe forskel mellem temperaturen i overfladevand og bundvand (figur 4.2).

Figur 4.1 En typisk temperaturprofil fra Nørresø i juli måned.

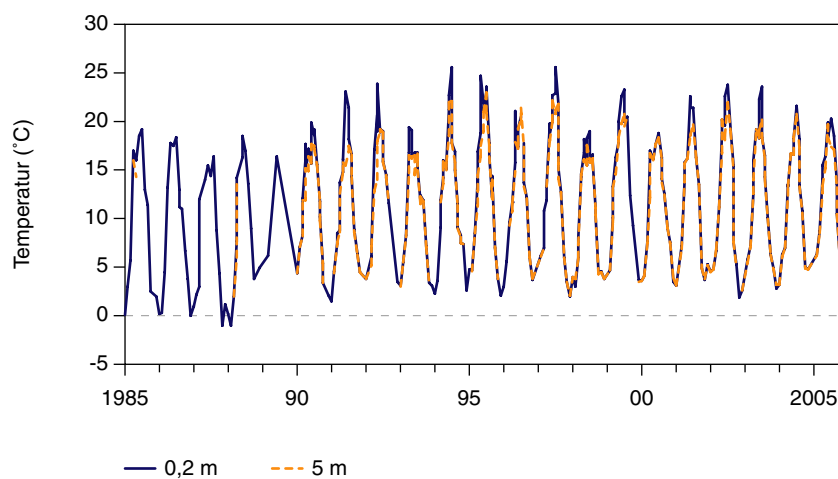


Fra 1985 til 2005 er der foretaget hyppige målinger af iltindhold og temperatur i overfladevandet i de to søer. Fra 1990 er værdierne målt for hver meter ned i vandsøjlen på hver prøvetagningsdag. Resultaterne fra overfladevand og vand nær bunden ses af figur 4.2-4.5.

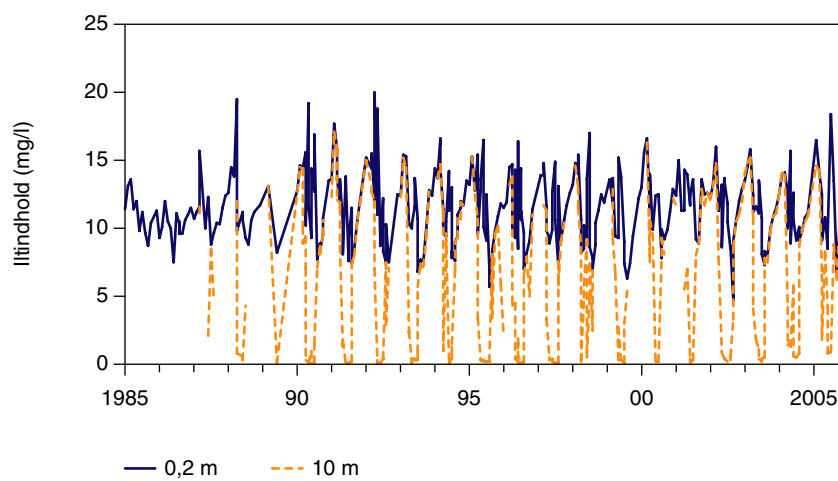
Figur 4.2 Temperaturen målt i 0,2 og 10 m i Nørresø 1985-2005.



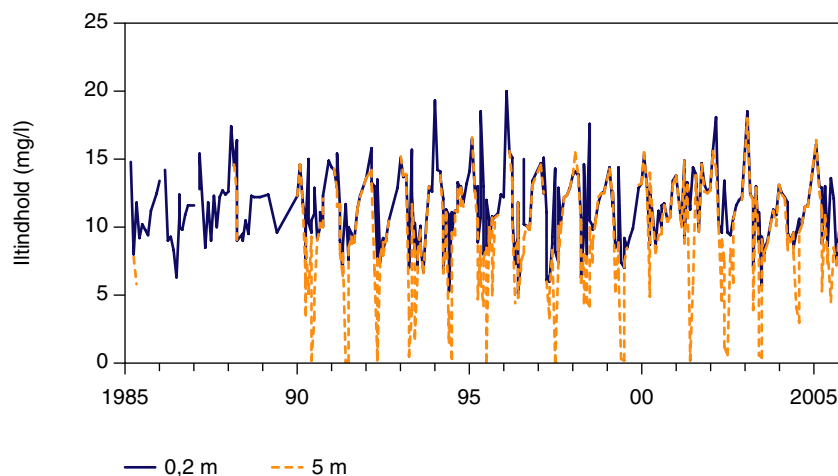
Figur 4.3 Temperaturen målt i 0,2 og 5 m i Søndersø 1985-2005.



Figur 4.4 Iltindhold i 0,2 og 10 m i Nørresø 1985-2005.



Figur 4.5 Iltindhold i 0,2 og 5 m i Sønder sø 1985-2005.



Temperaturforskelle mellem overflade- og bundvand viser, at der i alle år fra 1990 til 2005 findes kortere eller længere perioder med lagdeling i Nørresø. I de fleste år finder lagdelingen sted fra maj og til og med august. Lagdelingen brydes typisk i slutningen af august eller i løbet af september. Den største temperaturforskel mellem overflade- og bundvand varierer mellem 4,3 grader i 1998 og 13,4 grader i 1992. I Sønder sø er der kun få graders forskel på enkelte prøvetagningsdatoer hvert år.

Iltmålinger i Nørresø viser, at der om sommeren i perioden 1990-2005 var iltfrie ($<0,2$ mg O_2/l) forhold i bundvandet i perioder strækkende sig fra få dage op til ca. 2 måneder. I Sønder sø har der også været iltfrie forhold på bunden i mange af undersøgelsesårene, dog af betydelig kortere varighed (højst en måned i fire af undersøgelsesårene) end i Nørresø. Begge søer indeholder meget organisk stof i sedimentet, der ved omsætning kræver meget ilt. På grund af den større lagdeling og dermed mindre omrøring i vandsøjlen i Nørresø er iltmanglen ved bunden mere udtalt her end i Sønder sø.

4.2 Vand- og stofbalancer

Viborg Nørresø og Viborg Sønder sø er som nævnt tæt forbundet og i de fleste år er der ikke målt separat tilløb og afløb af vand og stoffer til de to søer. Derfor bliver søernes vand- og stofbalance i dette afsnit behandlet, som var der tale om én sø. Tilledning af stof og vand til søerne er siden 1985 blevet målt ved hovedtilløbet fra Nørremølle Å til Nørresø og fraførslen ved udløbet af Sønder sø til Søndermølle Å (se figur 2.2). Udover tilførslen ved hovedtilløbet bliver der også tilledt vand og stof via indsivning, nedbør og punktkilder til selve søerne.

Fra og med 2004 er der, udover målestationerne ved indløbet i Nørresø og udløbet i Sønder sø, målt vandgennemstrømning ved en station placeret ved udløbet fra Nørresø til Sønder sø. Vand- og stofbalancer for de to søer kan derfor beregnes særskilt for de to søer efter 2003. For sammenlignelighedens skyld er massebalancerne udregnet samlet for de to søer også i 2004 og 2005.

Kvælstof og fosfor tilføres søerne primært fra spildevand eller fra det åbne land. Spildevandet udledes via punktkilder til vandløb i søens opland eller direkte til søen, mens bidraget fra det åbne land omfatter til-

ledning fra dyrkede arealer samt naturbidrag. Naturbidraget er den mængde stof, der ville tilføres søen, hvis oplandet kun omfattede upåvirkede naturområder. Derudover bliver der tilført en vis mængde fra atmosfæren og via grundvandet.

4.2.1 Beregninger

Opgørelsen af den samlede stof- og vandtilledning omfatter målte værdier fra punktkilder samt estimerede værdier. For det umålte opland indgår følgende elementer i beregningen:

Vandtilledning fra det målte opland, $Q_{\text{målt}}$: måles ved indløbet til Nørresø.

Vandtilledning fra det umålte opland, $Q_{\text{umålt}} = (Q_{\text{målt}}/\text{areal målt opland}) * \text{areal umålt opland}$.

Stoftilledning ved indløb til Nørresø, $S_{\text{målt}}$: måles ved indløbet til Nørresø.

Stoftilledning via målte punktkilder, S_{punkt} : måles ved punktkilder i oplandet.

Koncentrationsvægtet afstrømning = $(S_{\text{målt}} - S_{\text{punkt}})/(Q_{\text{målt}} + Q_{\text{umålt}})$

Stoftilledning fra det umålte opland, $S_{\text{umålt}} = Q_{\text{umålt}} * \text{koncentrationsvægtet afstrømning}$.

Samlet stoftilførsel = $S_{\text{målt}} + S_{\text{umålt}} + \text{bidrag fra punktkilder direkte til søen (målt)} + \text{bidrag fra atmosfæren} + \text{bidrag fra grundvandet}$.

Bidrag fra atmosfæren er beregnet ved at gange søens areal med den mængde stof, der fra atmosfæren aflejres på søoverfladen.

Grundvandsbidraget er beregnet ud fra en estimeret grundvandsindsivning i søen samt den koncentration, der findes i grundvandet.

Andelen af de enkelte kilders bidrag til søerne er opgjort således:

Punktkildebidrag: måles ved vandløb i oplandet eller direkte til søen.

Naturbidrag: vandføringsvægtet stofkoncentration i naturoplande * samlet vandtilledning

Atmosfære- og grundvandsbidrag: se ovenfor

Dyrkningsbidrag: samlet tilførsel – (punktkildebidrag + naturbidrag + atmosfærebidrag + grundvandsbidrag)

Der er ikke målt punktkildebidrag og ikke beregnet naturbidrag for kvælstof i årene 1985-1989. I samme årrække er der ved beregning af naturbidraget fra fosfor benyttet en gennemsnitsværdi af koncentrationen i ni vandløb i naturoplande i Danmark.

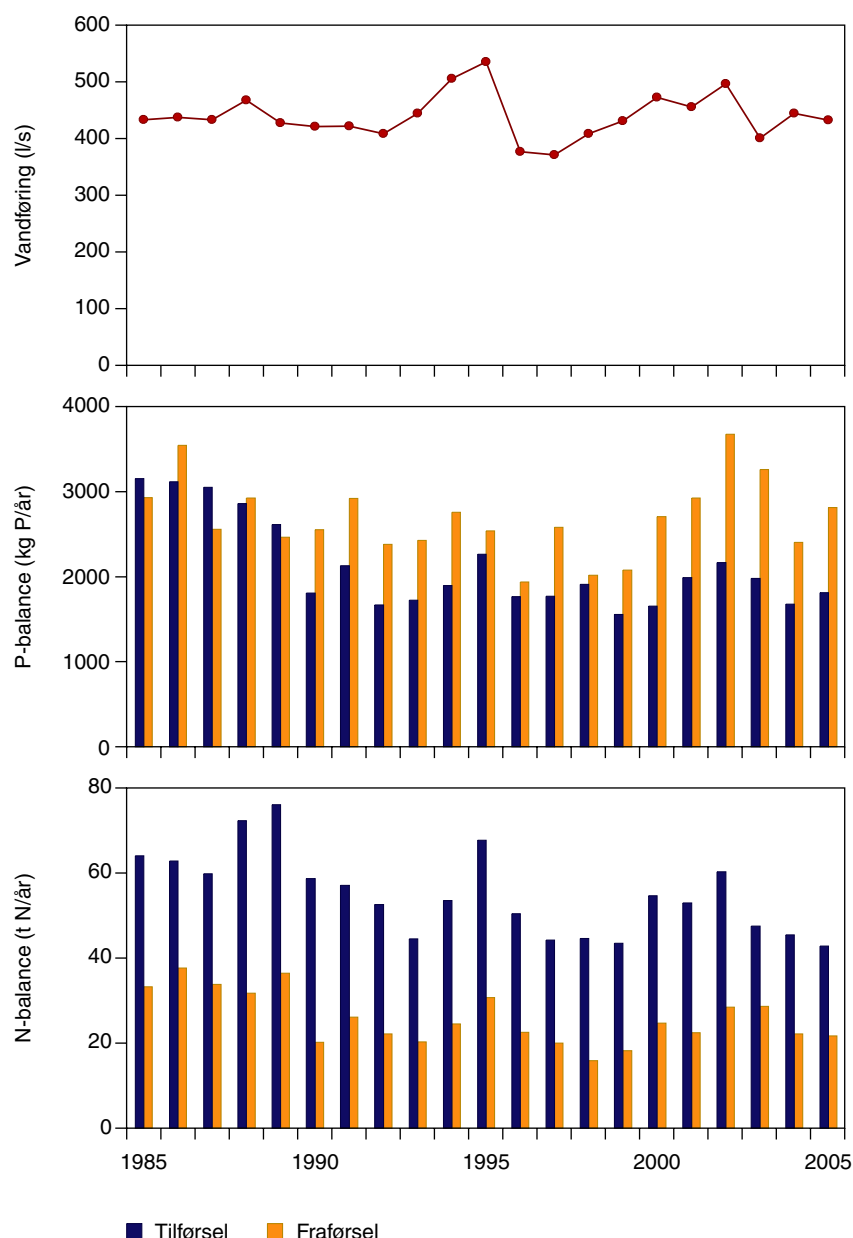
Se http://www2.dmu.dk/1_om_DMU/2_Tvaerfunk/3_fdc_fv/naturoplande2002.doc .

Opgørelsen af de enkelte kilders bidrag er således for en stor del udført på grundlag af estimeringer, og er behæftet med usikkerheder. For nærmere detaljer vedrørende beregningen af den samlede tilledning og de enkelte kilders bidrag, se Lauridsen *m.fl.* (2005).

4.2.2 Resultater

Overordnet set skete der en betydelig reduktion i fosfor og kvælstoftilledningen til Viborgsøerne i årene 1985-2005 (figur 4.6). Fosfortilførslen er faldet med omkring 1300 kg og kvælstoftilførslen med 21 t. Ved simpel lineær regression gennem hele perioden er faldet for begge stoffer statistisk signifikant ($p < 0,001$).

Figur 4.6 Udvikling i den tilførte mængde vand samt til- og fraført mængde fosfor og kvælstof i Viborgsøerne 1985-2005.

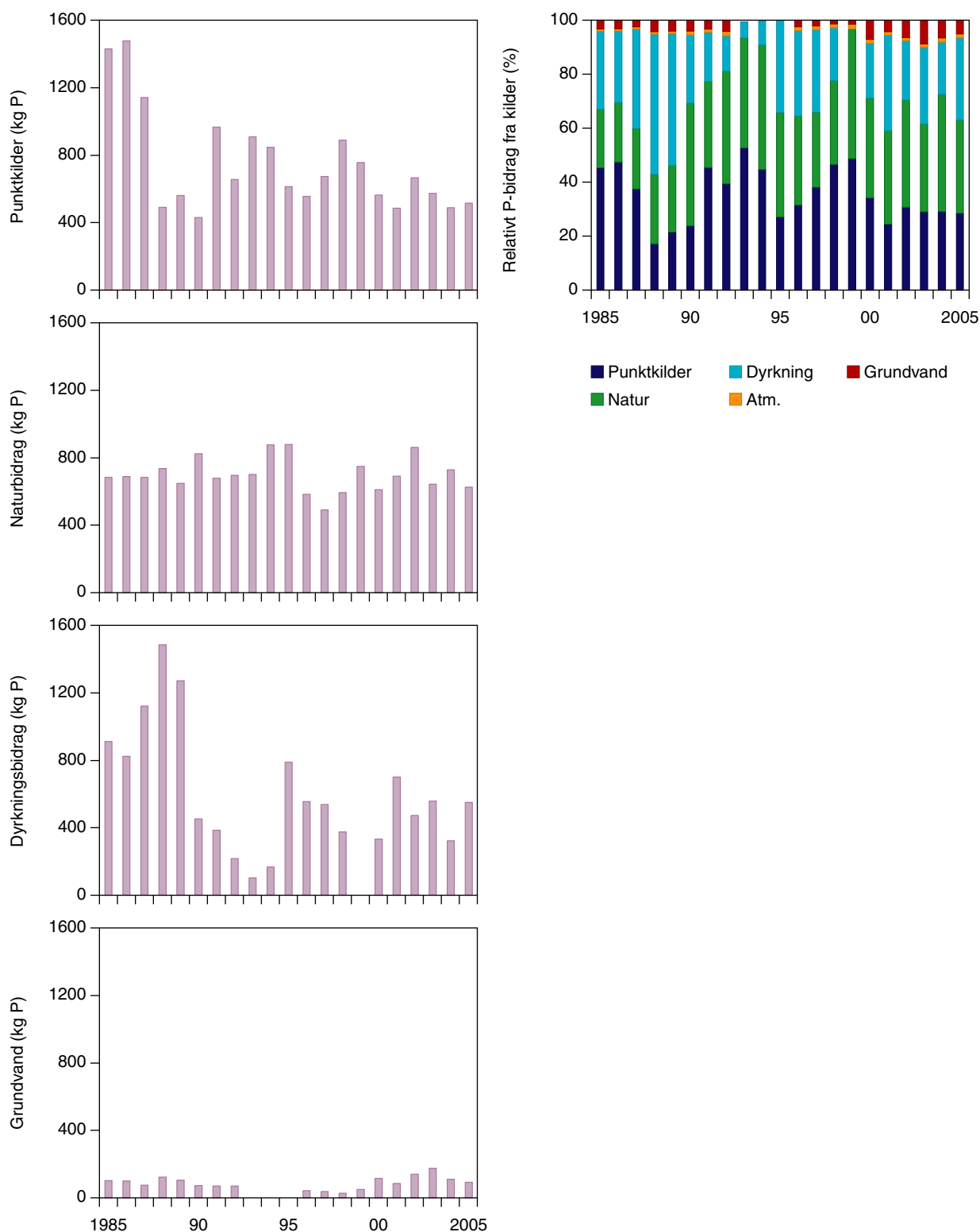


Fosfor

Tilførslen af fosfor var jævnt faldende fra 1985 (ca. 3100 kg) til 1990 (ca. 1800 kg). I samme periode var vandtilførslen næsten konstant, så faldet i fosfortilførslen må skyldes ændringer i oplandet.

Fra 1991 til 1995 varierede tilledningen af fosfor mellem ca. 1700 og ca. 2300 kg. Stigningen fra 1992 til 1995 faldt sammen med en stigning i vandtilførslen, og kan til dels forklares herved. Frem til 1997 faldt både vandtilførslen og stoftilledningen. I slutningen af 1990'erne var tilførslen relativt lav (1600-1900 kg), trods en stigning i vandtilførslen. I denne periode skete der intensiv opfiskning i Loldrup Sø, og den deraf følgende lavere fosforkoncentration og -fraførsel fra søen kan have haft betydning for tilførslen til Nørresø. Fra 2000 til 2003 ses en forøgelse i tilledningen af fosfor, sammenfaldende med høje vandtilførsler, hvorefter både tilledningen af stof og vand totalt set faldt frem til 2005, hvor fosfortilledningen var 1800 kg.

Ser man på de enkelte kilders bidrag (figur 4.7) er der totalt set, en faldende tendens i spildevandsbidraget. Dyrkningsbidraget viser også en faldende tendens, men er meget svingende og i et enkelt tilfælde negativt (1999). Her må man tage hensyn til beregningernes usikkerhed, hvor dyrkningsbidraget indgår som et restled og derved "arver" en stor usikkerhed. I årene 1988-1990 er punktkildebidraget underestimeret pga. et mangelfuldt datamateriale. Dette har også en effekt på dyrkningsbidraget, der dermed i realiteten er lavere end afbildet på figur 4.7.



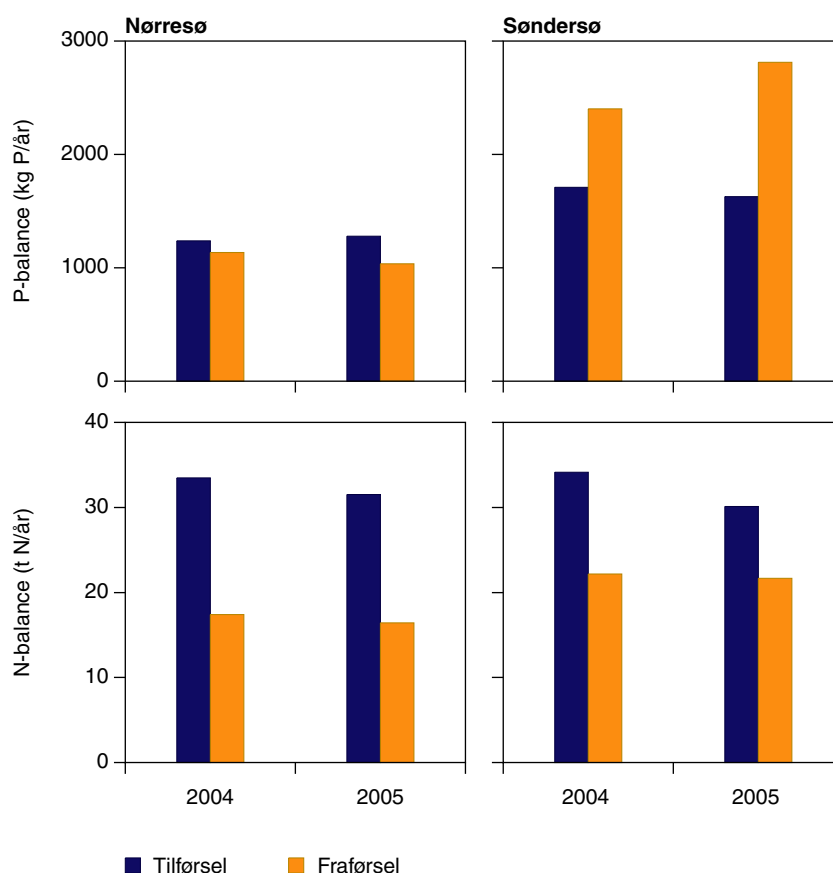
Figur 4.7 Tilledningen af fosfor opdelt på kilder. Bidraget fra atmosfæren er ikke medtaget i diagrammerne til venstre. Det anslås at udgøre 27 kg (1-2 % af den samlede tilførsel) pr. år. I årene 1988-90 er punktkildebidraget underestimeret og dyrkningsbidraget overestimeret – se tekst.

Fraførslen af fosfor varierede en del i undersøgelsesperioden. De fleste af årene ledtes der dog mere fosfor ud af Sønder sø end der blev tilført Nørresø (figur 4.6). Søerne belaster altså de nedstrøms beliggende vandsystemer med fosfor, p.g.a. intern frigivelse fra sedimentet. Samlet set steg den procentvise frigivelse (angivet som negativ tilbageholdelse i figur 4.10) i søerne i perioden 1985-2005, hvilket hænger sammen med at fraførslen var

uændret i årene, hvor tilførslen faldt (1987-1993). Herefter skete der en reduktion i 1994 til 1998 (bortset fra 1997), hvorefter frigivelsen atter steg og holdt sig på samme niveau i resten af undersøgelsesperioden.

På grund af søernes forskellighed og fordi der er foretaget forskellige indgreb i de to søer, er det svært at forklare variationerne i fosforfrigivelsen med hændelser eller indgreb i den enkelte sø. Reduktionen i frigivelsen fra 1994 til 1996 falder dog sammen med en reduktion i fosforkoncentrationen i Sønder sø. Fosfortilførslen til Viborgsøerne ligger på samme niveau i 1994 og 1996, men udviser højere niveau i 1995 (figur 4.12 og 4.13). Dette tyder på, at frigivelsen er faldet i Sønder sø i disse år muligvis p.g.a. en bedre vandkvalitet forårsaget af den intensive opfiskning i Sønder sø i årene 1987-1993.

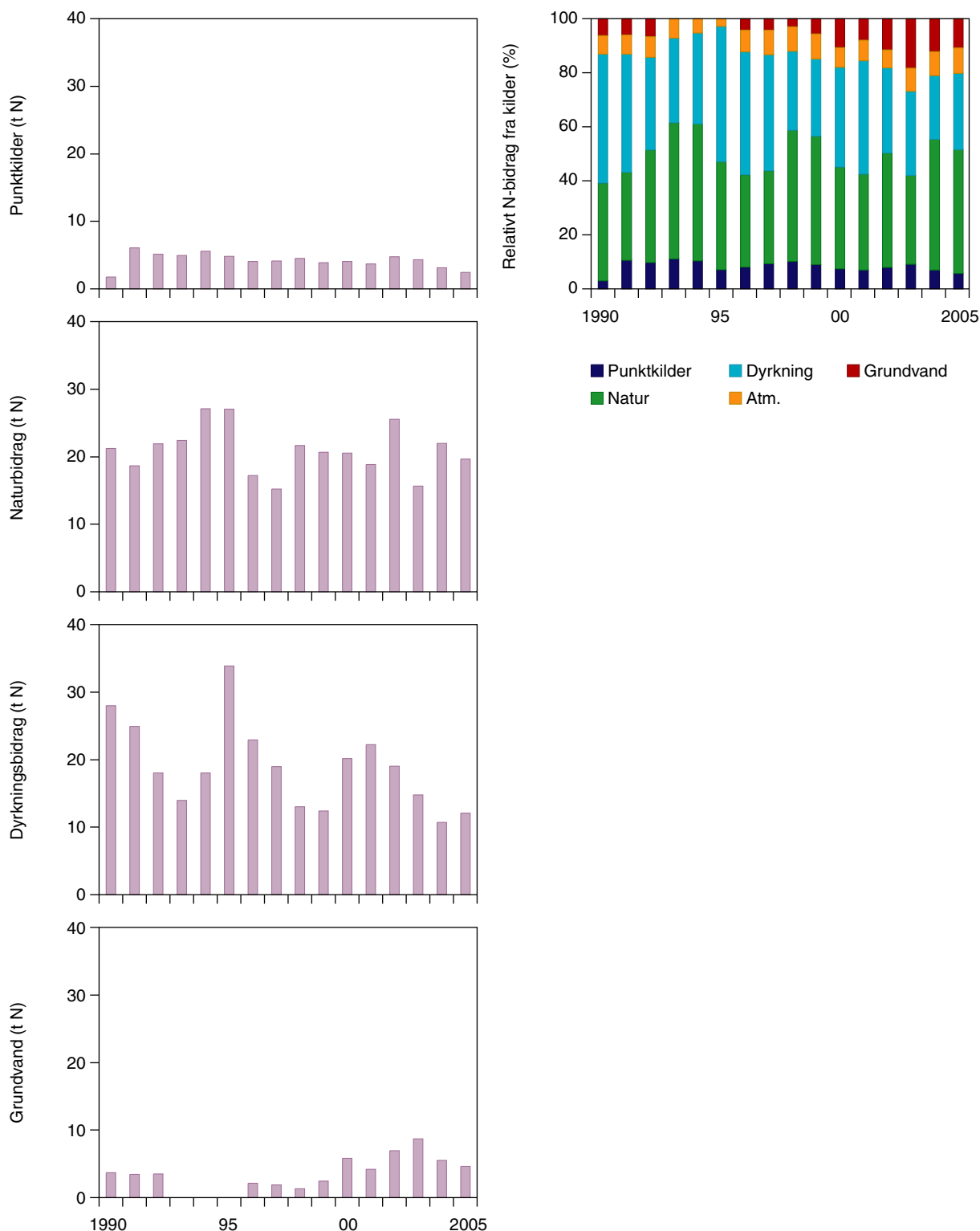
Figur 4.8 Stofbalancer for Nørresø og Sønder sø i årene 2004 og 2005.



Fra de to år, 2004 og 2005, hvor der er foretaget separate målinger så de to søer kan adskilles, ses det, at fosforfrigivelsen fra sedimentet finder sted i Sønder sø (figur 4.8). Det er tidligere vurderet (*Viborg Amt 2002*), at Nørresø afgav fosfor til Sønder sø før iltningen i Nørresø blev påbegyndt i 1996 (stigende tendens i fosforkoncentrationen i Sønder sø i årene 1985-1990 sammenholdt med et fald i tilførslen antyder det samme - se figur 4.12 og 4.13), mens der har været en nettotilbageholdelse af fosfor i Nørresø i perioden 1996-2001. Dette er ikke entydigt for hele perioden, da fosfortilførslen i årene 1996-1999 er ret lave samtidig med, at der ses relativt høje fosforkoncentrationer i overfladevandet i Nørresø (figur 4.12 og 4.13).

I 2002 og 2003 sås de største fosforfrigivelser i søerne i hele undersøgelsesperioden (figur 4.10). Dette var sammenfaldende med ret høje fosforkoncentrationer i sommerperioden ved bunden af Nørresø (figur 4.14),

formentlig forårsaget af høje temperaturer og relativt lange perioder af lagdeling i søen. Det kan derfor ikke udelukkes, at der har fundet fosforfrigivelse sted i Nørresø i 2002 og 2003.



Figur 4.9 Tilledningen af kvælstof opdelt på kilder. Bidraget fra atmosfæren er ikke afbildet, men det anslås at udgøre 4035 kg (7-12 % af den samlede tilførsel) pr. år. Resultaterne for årene 1985-1989 er ikke medtaget, da punktkildebidraget i disse år ikke er målt (se tekst).

Kvælstof

Variationer i tilførslen af kvælstof ses af figur 4.6. Det skal bemærkes, at der ikke er målt tilførsel fra punktkilder direkte til søen i årene 1985-1990. Dermed er der heller ikke ved udregning af bidrag fra det umålte opland korrigeret for punktkilder i oplandet. Dette betyder dels, at det samlede bidrag er en smule højere (direkte punktkilder udgør i de øvrige år under 10 % af den samlede tilførsel) dels at den estimerede tilledning fra det umålte opland i disse år er lidt lavere end afbildet. Det har dog ikke den store betydning for det overordnede billede af udviklingen.

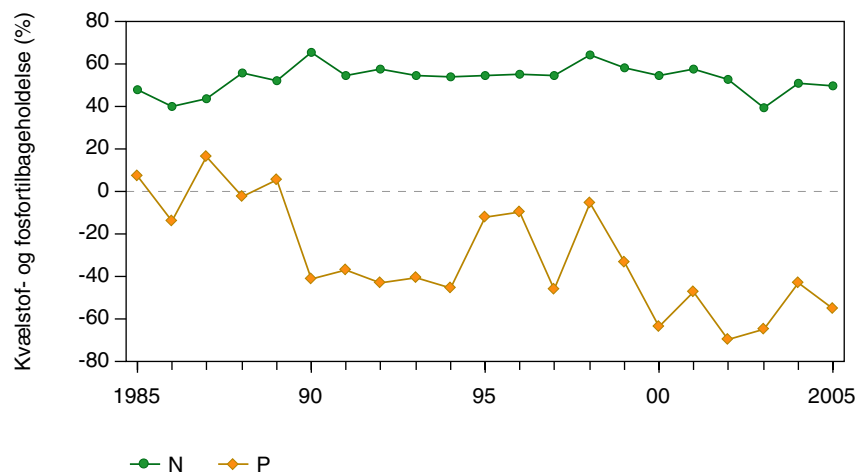
Faldet i kvælstoftilførslen fra 1985 til 1993 må, som ved fosfor, hovedsageligt tilskrives etablering af rensningsanlægget ved Rødding og de forbedringer der er udført på kloaksystemet. Idet der ikke er målt punktkilder før 1990, er det dog ikke muligt at se effekt på spildevandsbidraget. Stigningen i 1994 og 1995 kan, som ved fosfor, sandsynligvis delvis forklares ved de stigende vandtilførsler i disse år. Trods stigende vandtilførsel var kvælstoftilførslerne i slutningen af 1990'erne relativt lave (faldende fra 50 t i 1996 til 43 t i 1999) og stabile. Disse forbedringer må tilskrives den faldende kvælstofkoncentration i Loldrup Sø. Fra 2000 til 2005 skete der en jævn reduktion (bortset fra 2002), så tilledningen i 2005 var den laveste i undersøgelsesperioden (42,8 t).

Generelt ser det ud til, at det er dyrkningsbidraget der står for den største reduktion i kvælstoftilledningen. På trods af store variationer, som til dels skyldes de nævnte beregningsusikkerheder, udviser bidraget en faldende tendens igennem hele undersøgelsesperioden.

Der ses også en faldende tendens i punktkildebidraget, mens der, i hvert fald efter 1992, ikke er noget tydeligt mønster i udviklingen i naturbidraget. Grundvandsbidraget stiger en smule efter 2000.

I alle årene har kvælstoftilførslen været større end fraførslen. Det vil sige, at Viborgsøerne tilbageholder eller fjerner kvælstof. Således har kvælstoftilbageholdelsen varieret mellem 40 og 66 % (figur 4.10). Figur 4.8 viser, at i 2004 og 2005 var tilbageholdelsen størst i Nørresø. Denne forskel kan forklares ved, at vandets opholdstid er betydeligt længere i Nørresø end i Søndersø.

Figur 4.10 Kvælstof- og fosfortilbageholdelse i Viborgsøerne 1985-2005.



4.3 Vandkemi

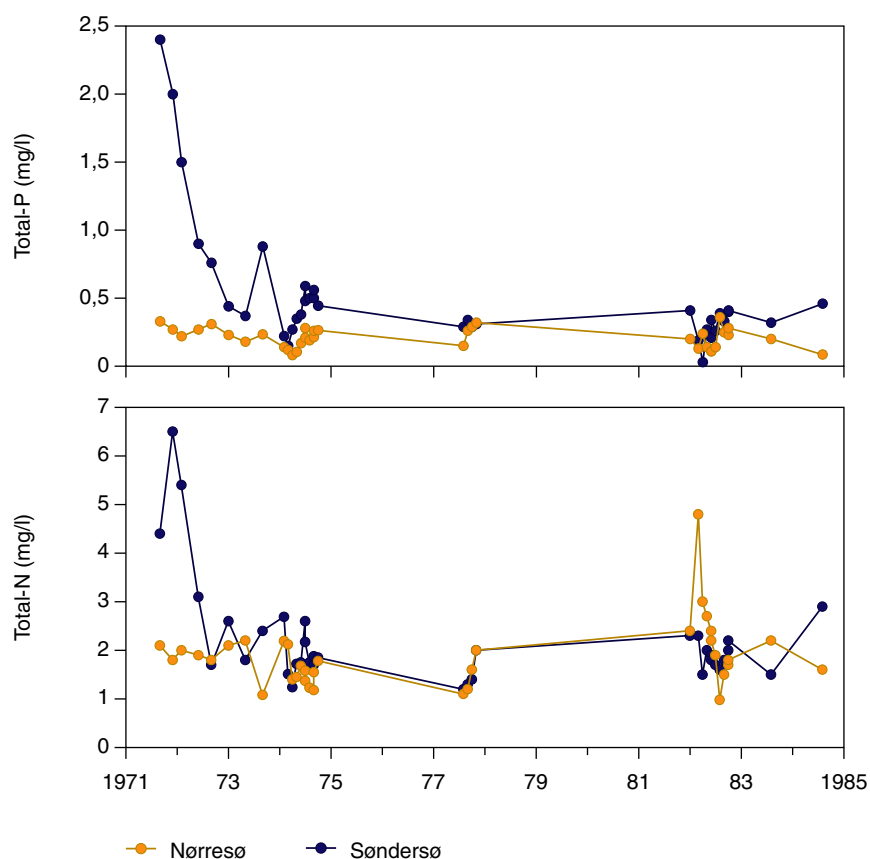
Målinger før 1985

Der er lavet vandkemiske målinger i både Viborg Nørresø og Viborg Søndersø i mere end 40 år, og der findes data for totalfosfor - og totalkvælstofkoncentrationen helt tilbage fra 1971. Frekvensen og antallet af målinger per år fra perioden før 1985 er dog meget spredt og tilfældig, og fra 1974 til 1982 findes der f.eks. kun 4 målinger fra august-oktober 1977 (figur 4.11).

Næringsstofkoncentrationen er faldet markant i Søndersø siden de første målinger i 1971-72, hvor der blev registreret værdier på over 2 mg P/l og over 5 mg N/l (figur 4.11). Efter 1973 er der dog ikke fundet koncentrationer over 0,6 mg P/l og 2,7 mg N/l i søen. Reduktionen skyldes givetvis en bedre spildevandsrensning efter etableringen af rensningsanlægget, der dengang ledte spildevand fra Viborg by ud i Søndersø.

Også i Nørresø skete der en svag reduktion af fosforniveauet inden for de første år, mens kvælstofkoncentrationen var stabil omkring 2 mg N/l.

Figur 4.11 Enkeltmålinger af totalfosfor- og totalkvælstofkoncentrationen i Nørresø og Søndersø i perioden 1971-1984. Data inkluderer både sommer- og vintermålinger.



I 1974 og 1982 er der lavet månedlige analyser igennem hele sommerperioden (maj-sep.), og der kan derfor udregnes tidsvægtede sommermiddelkoncentrationer, som er direkte sammenlignelige dels med hinanden og dels med gennemsnit fra perioden efter 1985.

	Total-P (mg/l)		Total-N (mg/l)	
	Nørresø	Søndersø	Nørresø	Søndersø
1974	0,20	0,46	1,5	1,9
1982	0,20	0,31	1,8	1,8

Fra 1974 til 1982 er kvælstofniveauet øget ca. 25 % i Nørresø, og svagt reduceret i Søndersø. Efter 1982 skete der en yderligere stigning i kvælstofindholdet i Nørresø så det i 1985-88 nåede op mellem 2-2,5 mg/l. I samme periode er kvælstofniveauet overordnet set uændret i Søndersø.

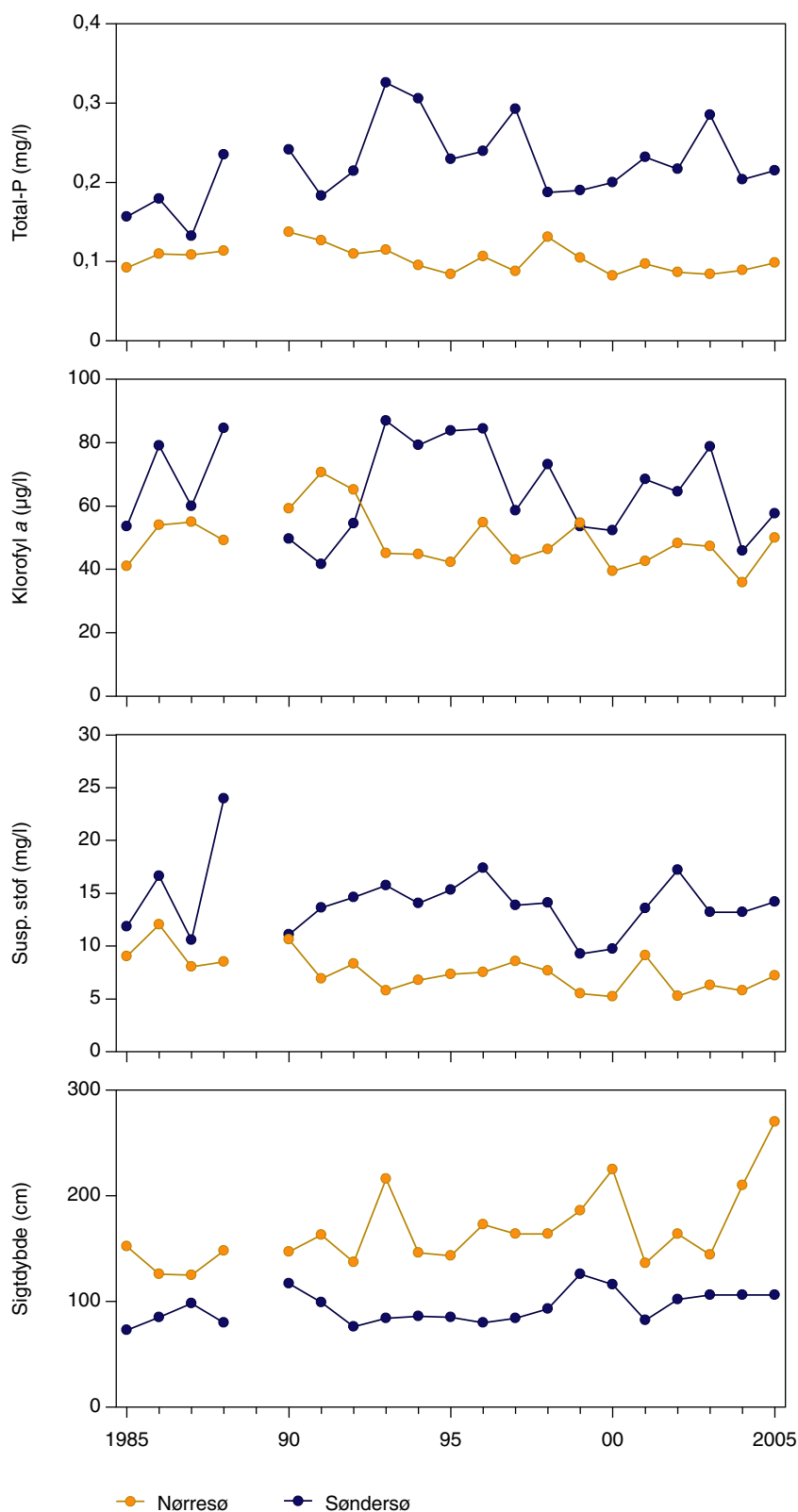
Efter 1985 er der hvert år foretaget regelmæssige målinger af de to søers næringsstofniveau samt lavet opgørelser for næringsstofftilførslen til de enkelte søer. Dog findes der fra 1989 kun en enkelt vandkemimåling fra sommerperioden, og året er derfor udeladt af den efterfølgende diskussion.

Year	Nørresø (kg)	Viborgsøerne (kg)
1985	2450	3150
1986	2450	3100
1987	2350	3050
1988	2350	2850
1989	2150	2600
1990	1450	1800
1991	1400	2100
1992	1200	1650
1993	1100	1700
1994	1400	1900
1995	1850	2250
1996	1400	1750
1997	1300	1750
1998	1400	1900
1999	1100	1550
2000	1200	1650
2001	1450	1950
2002	1550	2150
2003	1350	1950
2004	1250	1650
2005	1300	1800

27

Den reducerede fosfortilførsel afspejles ikke entydigt i søernes totalfosforniveau pga. frigivelse af fosfor fra sedimentet (intern belastning). Fosforkoncentrationen og dets år til år variation var i hele perioden fra 1985 til 2005 generelt højere i Sønder sø end i Nørresø (figur 4.13).

Figur 4.13 Koncentrationen af totalfosfor, klorofyl *a*, suspenderet stof samt sigtdybde i overfladevandet i Viborg Nørresø og Viborg Sønder sø 1985-2005. Tidsvægtede sommergennemsnit (maj-sep.), målt 0,2 m under overfladen (n=5-11).



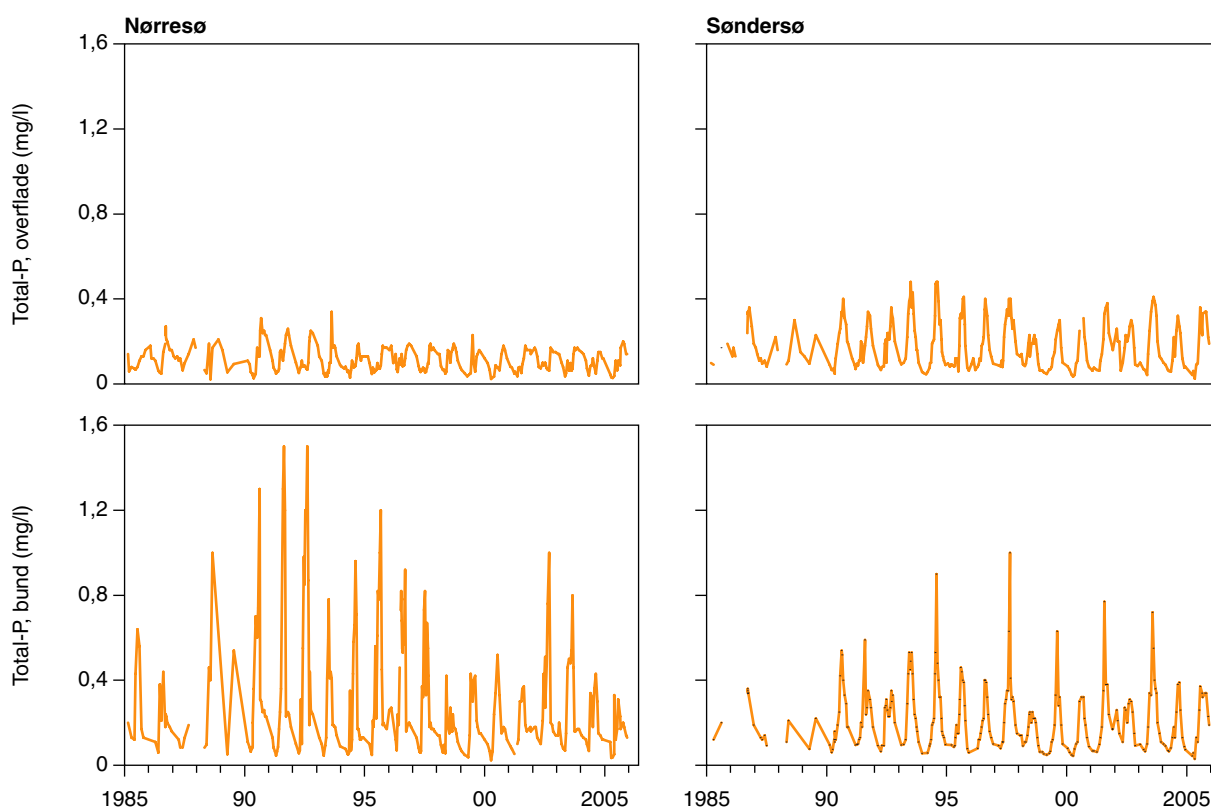
I Nørresø har der været et signifikant fald i koncentration af fosfor fra et niveau mellem 0,09 og 0,14 mg/l i 1985-1990 til 0,08-0,1 mg/l i 2000-2005. I samme periode skete der i Søndersø en svag stigning i totalfosforniveauet fra mellem 0,13 og 0,24 mg/l til 0,2-0,28 mg/l. Der blev i Søndersø dog også målt sommermiddelmålt koncentrationer helt op til hhv. 0,325 og 0,306 mg/l i 1993-94 og 0,292 mg/l i 1997. Den svage stigning af totalfosforniveauet i Søndersø trods en generel reduktion i fosfortilførslen til søen skyldes sandsynligvis intern frigivelse af fosfor fra sedimentet.

Tabel 4.2 Lineær regression af koncentrationer af fosfor, klorofyl *a*, suspenderet stof og sigtddybde i Viborg Nørresø og Viborg Søndersø over årene 1985-2005. De fremhævede p-værdier angiver signifikante ændringer ($p < 0,05$).

	Hældning	R ²	p-værdi
Nørresø			
Totalfosfor mg/l	-0,0012	0,21	0,039
Totalkvælstof mg/l	-0,035	0,46	0,0008
Klorofyl <i>a</i> µg/l	-0,54	0,15	0,095
Suspenderet stof mg/l	-0,18	0,38	0,0035
Sigtddybde m	0,034	0,32	0,0090
Søndersø			
Totalfosfor mg/l	0,0021	0,071	0,26
Totalkvælstof mg/l	-0,026	0,30	0,010
Klorofyl <i>a</i> µg/l	-0,23	0,0094	0,68
Suspenderet stof mg/l	-0,09	0,028	0,48
Sigtddybde m	0,01	0,21	0,043

Som for fosfor er der i Nørresø et generelt fald i koncentrationen af suspenderet stof og i klorofyl *a* i perioden fra 1985 til 2005, mens sigtddybden er øget (figur 4.13, tabel 4.2). Koncentrationen af suspenderet stof er faldet fra et niveau mellem 8,0 og 12,0 mg/l i 1985-1990 til mellem 5,2 og 9,1 mg/l i 2000-2005, mens klorofyl *a* kun er reduceret fra mellem 41 og 59 µg/l til 39-50 µg/l i samme periode. I Nørresø blev der i 2005 målt en gennemsnitlig sommersigtddybde på 270 cm, hvilket er en markant forbedring fra slutningen af 1980'erne, hvor den på intet tidspunkt var over 150 cm. I Søndersø er der også registreret en svag forbedring af sigtddybden fra 1985 til 2005, mens der ikke er sket nogen signifikant ændring i indholdet af suspenderet stof og klorofyl *a*.

Modsat tendensen for fosfor, medførte den reducerede kvælstoftilførsel en reduktion af kvælstofkoncentrationen i begge søer i perioden fra 1985 til 2005 (tabel 4.2, figur 4.16). Udviklingen i de to søer følger stort set samme mønster, og år til år variationen observeret for søernes totalkvælstofkoncentration er mere eller mindre parallel med udviklingen i den samlede næringsstoftilførsel. I 1995 ses f.eks. en pludselig stigning i søernes kvælstofkoncentration, som skyldes en markant øgning af den samlede næringsstoftilførsel, mens de lave koncentrationer i 1997-1999 falder sammen med en lav tilførsel. Kvælstofkoncentrationen er generelt 0,1-0,8 mg/l højere i Nørresø end i Søndersø. Den lavere koncentration i Søndersø, nedstrøms Nørresø, indikerer, at Nørresø tilbageholder eller fjerner en del af den tilførte kvælstof inden vandet løber ud i Søndersø.



Figur 4.14 Årstidsvariationer i fosforkoncentrationerne i overflade- og bundvand i Nørresø og Søndersø (overflade: 0,2 m, bund: Nørresø <10 m, Søndersø < 5 m).

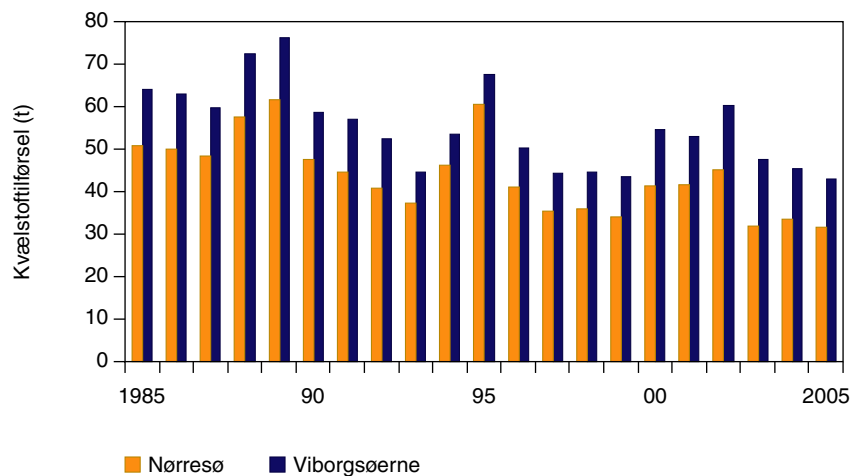
Vandets fosforkoncentrationen udviser en betydelig sæsonvariation og der kan være stor forskel mellem koncentrationer i overfladevandet og i bundvandet (figur 4.14).

I begge søer er den gennemgående tendens for alle årene, at der i løbet af sommeren ved iltfattige forhold sker en forøgelse af fosforkoncentrationen ved bunden. Derved opnås der koncentrationer, der er langt højere end ved overfladen. Sidst på sommeren, når temperaturen igen falder, sker der en opblanding af vandet og koncentrationen bliver ensartet i hele vandsøjlen.

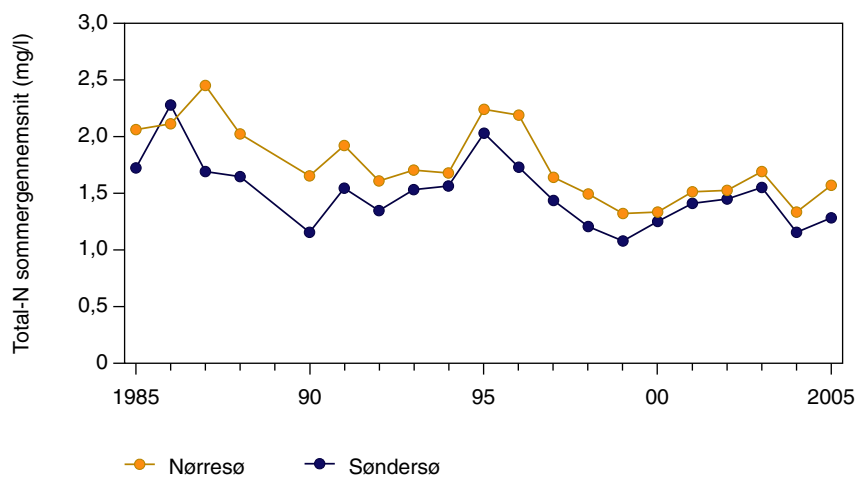
I Nørresø har iltningen af bundvandet haft en tydelig effekt på fosforkoncentrationen, idet der efter 1996, hvor iltningen blev påbegyndt, er sket en reduktion af de højeste fosforkoncentrationer ved bunden. Reduktionen varer ved i resten af undersøgelsesperioden, med undtagelse af årene 2002 og 2003. En relativt høj temperatur og forholdsvis lang periode med lav iltindhold ved bunden kan forklare disse afvigelser.

I Søndersø er forskellen i fosforkoncentrationerne mellem overflade- og bundvandet generelt væsentlig mindre end i Nørresø. Dette skyldes, som før nævnt, at Søndersø er mere lavvandet, og at der dermed ikke forekommer lagdeling i samme grad, som det ses i Nørresø.

Figur 4.15 Udvikling i kvælstof-tilførslen i Viborgsøerne i årene 1985-2005.



Figur 4.16 Kvælstofkoncentrationen i Viborg Nørresø og Viborg Søndersø, målt i overfladevandet. Tidsvægtet sommergennemsnit.



5 Udviklingen i biologiske forhold

Der er foretaget en række undersøgelser af de biologiske forhold i Viborgsøerne. Dette afsnit vil omhandle syv fiskeundersøgelser, foretaget inden for de seneste 80 år og to vegetationsundersøgelser foretaget i hhv. 1986 og 2006. Desuden vil resultaterne af semikvantitative dyreplanktonundersøgelser, foretaget mellem 1982 og 1995, en planteplanktonundersøgelse foretaget i 1982 samt en undersøgelse af bunddyr fra 1986 blive omtalt (*Viborg Amtskommune 1983; Vandkvalitetsinstituttet, 1987; Viborg amt, 2002*).

5.1 Fisk

Der er i løbet af de seneste ca. 80 år foretaget fire fiskeundersøgelser i Nørresø og syv undersøgelser i Søndersø. Den første undersøgelse er fra 1925 og omfatter begge søer.

Som det fremgår af tabel 5.1, varierede indsatsen og metoderne mellem undersøgelserne, og sammenligning fra år til år gennem hele perioden er derfor vanskelig. Dog er der siden 1991 anvendt biologiske oversigtsgarn, om end i varierende antal.

Tabel 5.1 Oversigt over fiskeundersøgelser i Viborgsøerne fra 1925-2006.

Årstal	Hvilken sø	Ansvarlig	Metode
1925	Begge søer	C.V. Otterstrøm på foranledning af Viborg byråd	Stort håndvod
1960	Begge søer	Danmarks Fiskeri- og havundersøgelser	Stort håndvod
1986	Begge søer	Viborg Amt og Viborg Kommune	Stort håndvod
1991	Søndersø	Viborg Amt	6 garn en gang om måneden fra marts til september. Desuden elektrofiskeri
1998	Søndersø	Viborg Amt	27 biologiske oversigtsgarn efter Mortensen <i>m.fl.</i> (1990. Suppleret med elektrofiskeri
2003	Søndersø	Viborg Amt	6 oversigtsgarn
2006	Begge søer	Viborg Amt	Efter NOVANAs intensive program (<i>Lauridsen m.fl., 2005</i>) 24 oversigtsgarn i hver sø

5.1.1 Artsforekomst

Forudsættes det, at de forskellige fiskemetoder giver et nogenlunde dækkende billede af det total antal arter, er det muligt at vurdere udviklingen i artssammensætningen siden 1925 (tabel 5.2). Denne viser at der blev fundet mellem 8 og 14 arter i undersøgelserne. Sandart, aborre, hork, skalle og brasen blev fundet i alle undersøgelser, mens gedde, rudskalle og ål blev fundet i alle undersøgelser undtagen én.

I Nørresø varierede artsantallet mellem 8 og 10, og synes dermed stort set konstant gennem perioden. I Søndersø blev der kun registreret 5 arter ved undersøgelsen i 1960, men mellem 9 og 10 ved undersøgelserne fra 1998 til 2006. Artsantallet ser derfor ud til at være øget i Søndersø, selvom ændringer til en vis grad formentlig kan være betinget af udsætninger eller migration mellem søerne.

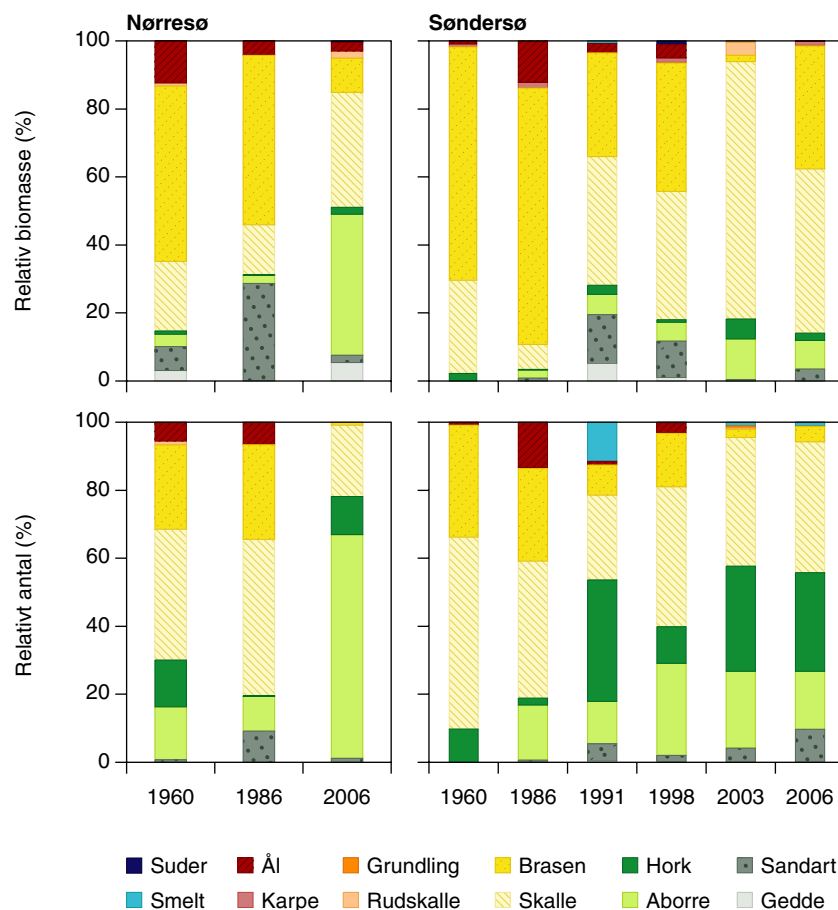
Tabel 5.2 Arter fundet i fiskeundersøgelser i Viborgsøerne 1925-2006. (X) angiver arter der ikke er fanget, men observeret i søen.

	1925	1960		1986		1991	1998	2003	2006	
	Begge søer	Nørresø	Søndersø	Nørresø	Søndersø	Søndersø	Søndersø	Søndersø	Nørresø	Søndersø
Gedde		x		x		x	x		x	
Sandart	x	x		x	x	x	x	x	x	x
Aborre	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Hork	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Skalle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Brasen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rudskalle	x	x		x	x		x	x	x	x
Grundling	x	x					(x)	x	x	x
Trepigget										
hundestejle	x									
Ørred	x						(x)			
Regnbueørred	x						(x)			
Helt	(x)									
Karpe	x				x		x			
Suder	x						x		x	x
Ål	x	x	x	x	x	x	x			x
Smelt	x						(x)	x	x	x
Karuds	(x)									
Arter i alt	14 (16)	9	5	8	8	7	10 (14)	8	10	10

5.1.2 Fiskemængde

Med forsigtighed kan fiskebestanden også vurderes på grundlag af den relative forekomst, som angivet for undersøgelsesårene i figur 5.1. Den relative forekomst er udregnet som den samlede fangst (vægt og antal) af de enkelte arter set i forhold til den totale fangst. Resultater fra 1925 er dog udeladt, da vi kun har oplysninger i form af en artsliste, d.v.s. kun perioden fra 1960 og fremefter kan vurderes.

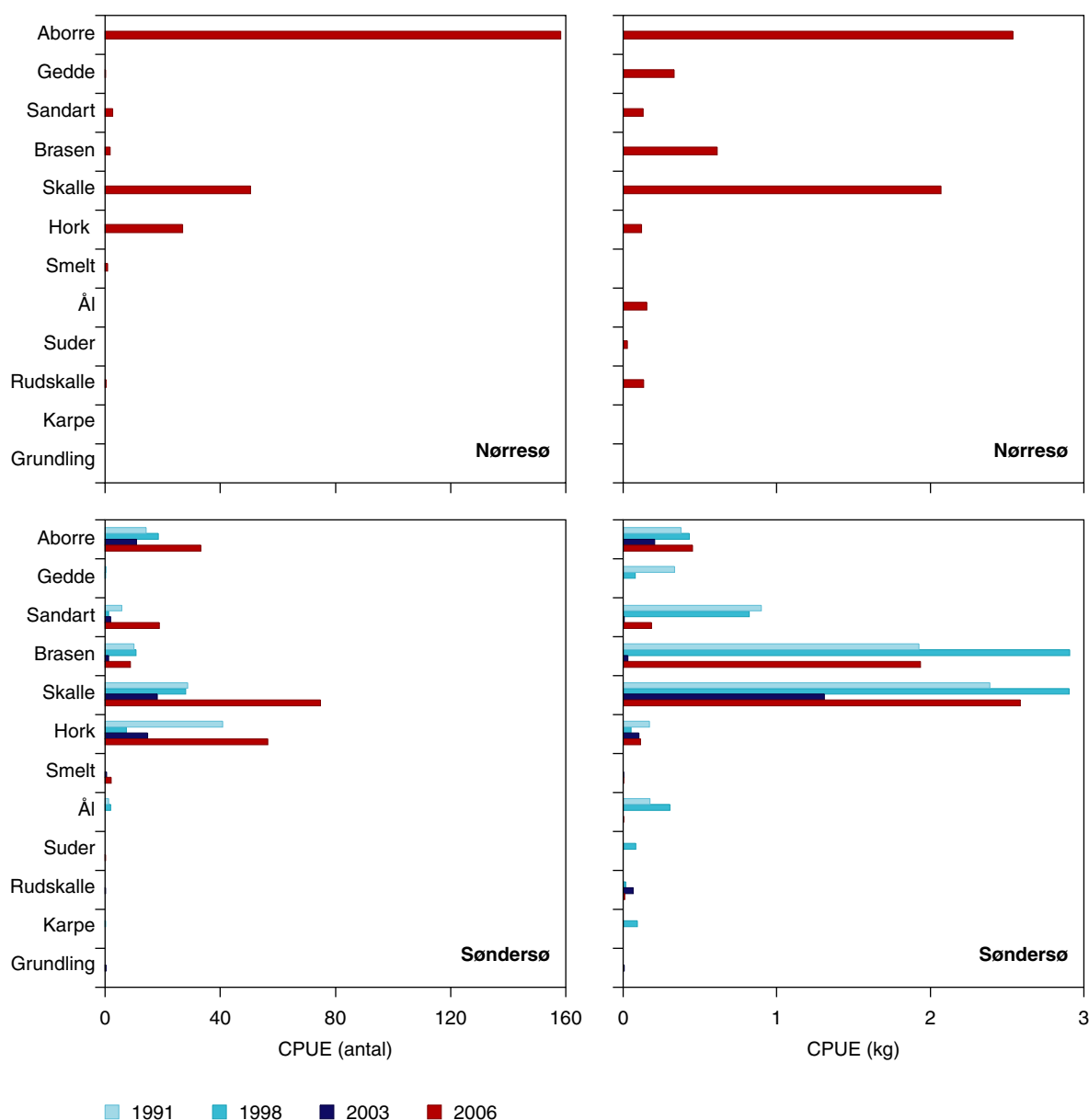
Figur 5.1 Relativ forekomst af arter i fiskeundersøgelser foretaget i perioden 1960-2006 i Viborgsøerne.



Den relative fangst i Nørresø var i 1960 både antals- og vægtmæssigt domineret af skalle og brasen. I 1986 dominerede skalle og brasen også antalsmæssigt, men vægtmæssigt dominerede sandart og brasen. Aborre, hork og ål havde også en vis betydning i 1960. Det samme gjorde sig gældende for ål, sandart og aborre i 1986. Sandartens andel steg en del fra 1960 til 1986. Ved undersøgelsen i 2006 var der sket væsentlige ændringer i fiskebestanden i forhold til undersøgelserne i 1960 og 1986. Antalsmæssigt udgjorde brasen i 2006 under 1 % af bestanden, mens dominansen overgik til aborre, hvis andel var 66 %. Skalle havde stadig betydning (21 %), mens hork udgjorde 11 % af den samlede fiskebestand. Vægtmæssigt dominerede aborre med 41 %, brasen udgjorde 10 %, skalle 34 % og gedde 5 %. Sandartens vægtmæssige andel var faldet til ca. 2 %.

I Søndersø er der blevet relativt færre brasen, idet andelen er faldet fra 36 % i 1960 til 4 % i 2006. Det største fald ses efter 1986. Skalle, hork og aborre er de næsthøypigste arter. Det relative antal af skaller faldt efter 1960, hvor de udgjorde 57 % til 25-41 % i resten af undersøgelsesårene. Horks andel af det samlede antal fisk var størst i 1991-2006. Aborre var antalsmæssigt uden betydning i 1960, men udgjorde mellem 12 % og 27 % de øvrige år.

Med hensyn til vægten dominerede brasen i 1960 (69 %) og 1986 (75 %) med henholdsvis skalle (28 %) og ål (12 %) som de næsthøypigste arter i de to år. I 1991, 1998 og 2006 lå skalle og brasens andele nær hinanden – ca. 30-40 %. Året 2003 skilte sig ud ved at fangsten af brasen var meget lille (2 %). Aborre havde størst betydning efter 1986, hvor dens andel udgjorde 6-12 %. Sandart havde betydning for fiskebestanden i 1991 (14 %), 1998 (10 %) og, i mindre grad i 2006 (3 %).



Figur 5.2 Fangst pr. net i Nørresø i 2006 og i Søndersø i årene 1991, 1998, 2003 og 2006.

Det skal understreges, at de ændringer der ses efter 1986 delvist kan skyldes, at der i undersøgelserne skiftes fra at anvende håndvod til oversigtsgarn. Det kan f.eks. ikke udelukkes, at stigningen i fangsten af hork og faldet i fangsten af brasen efter 1986, delvist kan forklares ved at der bl.a. anvendes oversigtsgarn med maskestørrelse ned til 0,6 cm.

For at undersøge variationer i den absolutte mængde fisk, er der udregnet fangst pr. net (CPUE) i år, hvor der er foretaget undersøgelser ved hjælp af garn (figur 5.2). I 1991 er der foretaget 7 undersøgelser fra marts til september (i alt 42 garn), hvilket betyder, at sæsonvariationen i fiskebestanden vil gøre sig gældende. I 2003 er der kun udsat 6 garn, og det må antages, at fangsten dermed er mindre repræsentativ for hele søen.

Der foreligger størrelsesbestemmelser af fiskene fra 1991, 2003 og 2006. Opgørelse af antallet og biomasse af fisk større og mindre end 10 cm for de vigtigste arter er angivet i tabel 5.3.

I Nørresø er der kun foretaget undersøgelser ved hjælp af garn i 2006. De største forskelle i fiskebestanden i 2006 mellem de to søer findes hos aborre, skalle og brasen. Det er tydeligt, at bestanden af aborre, både vægtmæssigt og antalsmæssigt, er højere i Nørresø end i Søndersø. Dette gælder både den samlede mængde aborrer, men forskellen er især tydelig for de store aborrer over 10 cm (tabel 5.3). Skalle ligger vægtmæssigt og antalsmæssigt højere i Søndersø end i Nørresø. Antallet af brasen er lidt højere i Søndersø end i Nørresø; vægtmæssigt har arten langt større betydning for den samlede fiskebestand i Søndersø. Det ses af tabel 5.3, at de store individer i begge søer har størst betydning for den samlede mængde brasen.

I Nørresø ligger antallet af både sandart, skalle og brasen over og under 10 cm på samme niveau. Vægtmæssigt udgør de store individer inden for hver af disse arter langt den største andel. Dette billede ses også i figur 5.1.

Ud over de nævnte arter blev der i Nørresø 2006 fundet smelt, hork og grundling i mængder, der svarer nogenlunde til dem, der blev fundet i Søndersø. Ål, rudskalle og suder blev fundet i større mængder end i Søndersø. Gedde blev fundet i Nørresø, men ikke i Søndersø.

Tabel 5.3 Antal og vægt pr. garn af gedde, sandart, aborre, skalle og brasen henholdsvis over og under 10 cm i Viborgsøerne i 1991, 2003, 2006 samt angivelse af fiskeindeks. Fiskeindekset er udregnet som fangstvægten af skalle og brasen > 10 cm delt med den samlede vægt af gedde, aborre og sandart > 10 cm + skalle og brasen > 10 cm. Indekset er et udtryk for dominansen af fredfisk og vil være 100 ved total dominans af fredfisk.

Antal	Gedde		Sandart		Aborre		Skalle		Brasen		Fiskeindeks
	< 10 cm	> 10 cm	< 10 cm	> 10 cm	< 10 cm	> 10 cm	< 10 cm	> 10 cm	< 10 cm	> 10 cm	
Nørresø 2006	0,0	0,2	1,3	1,4	141,0	17,1	30,4	20,0	0,5	1,3	53
Søndersø 1991	0,0	0,4	2,8	3,0	8,9	5,3	10,3	18,3	2,3	7,7	75
Søndersø 2003	0,0	0,0	2,0	0,0	7,8	3,0	5,7	12,5	0,5	0,7	81
Søndersø 2006	0,0	0,0	18,1	0,7	27,4	5,9	40,0	34,8	0,8	8,0	87

Vægt	Gedde		Sandart		Aborre		Skalle		Brasen	
	< 10 cm	> 10 cm	< 10 cm	> 10 cm	< 10 cm	> 10 cm	< 10 cm	> 10 cm	< 10 cm	> 10 cm
Nørresø 2006	0,0	208	6,3	125	995	1543	71	1999	4,6	606
Søndersø 1991	0,0	332	7,0	894	32	343	40	2349	7,0	1918
Søndersø 2003	0,0	0,0	7,5	0	42	164	30	1282	1,3	31
Søndersø 2006			87	98	235	218	124	2463	7,5	1930

Udviklingen i fiskebestanden i Søndersø fra 1991 til 2006 viser, at der overordnet set ikke er sket nogen væsentlig ændring i den totale vægt af skalle og brasen fanget i garnene.

Antallet af brasen ligger også på samme niveau de to år, mens antallet af skalle er steget. Det betyder, som også ses af tabel 5.3, at antallet af små individer inden for denne art er steget. Dermed er der, på grundlag af CPUE-tallene ikke umiddelbar nogen effekt af den opfiskning, der fandt sted i 1990'erne. Også forekomsten af små sandarter er steget, mens store individer af denne art er gået tilbage, med et fald i den samlede vægt til følge. Stigningen i det totale antal aborrer kan tilskrives en stigning i små individer. Forekomsten af smelt og ål er gået tilbage. Gedde fandtes i 1991 og 1998, men ikke i 2003 og 2006. Forekomsten af

hork lå på samme niveau i 1991 og 2006. De resterende arter fandtes kun i meget små mængder.

Forholdet mellem vægten af skalle + brasen og rovfisk + skalle + brasen (alle over 10 cm) i procent kaldes Fiskeindekset og er et udtryk for dominansen af fredfisk (tabel 5.3). Hvis Indekset er 100, svarer det til en total dominans af fredfiskene (her skalle og brasen). Indekset i Nørresø var 53 i 2006, hvilket er forholdsvis lavt i forhold til tilsvarende næringsrige danske søer, og dette kan tolkes som et udtryk for en forholdsvis god bestand af rovfisk. Indekset lå noget højere i Sønder sø, og her er der også sket en stigning fra 1991 til 2006. I 2006 var indekset på 87 og svarer til det, man ser i næringsrige søer (*Mortensen m.fl., 1990*).

Det samlede billede af fiskesammensætningen i de to søer viser, som resultaterne vedr. vandkemi, at Nørresø er i en bedre miljømæssig tilstand end Sønder sø. Antallet pr. net af skalle og brasen er lavere, og mængden af rovfisk (primært store aborrer) er højere, hvilket giver en bedre balance mellem rov- og fredfisk.

5.2 Vegetation

Dette afsnit er et resumé af resultater af vegetationsundersøgelser foretaget af Orbicon i sommeren 2006, samt med henvisninger til tidligere undersøgelser (*Orbicon 2006a,b*).

5.2.1 Nørresø

Ved undersøgelsen i 1986 blev der fundet tre arter undervandsplanter (tabel 5.4) og én art af flydebladsplanter. Trådalger blev ikke registreret i 1986. Den største dybdegrænse for undervandsvegetation var dengang 1,4 m.

Undervandsvegetationen i august 2006 udviste en artsrigdom på 10 arter af blomsterplanter og tre arter/slægter af trådalger (tabel 5.4). Alle arter er udbredte og almindelige og typiske for næringsrige søer. Undervandsplanterne var udbredt langs hele søbredden, og den gennemsnitlige dybdegrænse var 1,8 m ved referencevandstanden, maksimal dybdegrænse var 2,3 m. Flydebladsvegetationen i 2006 omfattede kun to arter (tabel 5.4) med relativt ringe udbredelse. Der var tagrørsbevoksninger i rørsumpen langs størstedelen af søbredden. Rørsumpsvegetationen var tæt og uden plads til undervandsplanter.

På grund af de stejle skrænter tæt på bredden er bredzonen uden for rørskov i denne sø meget smal, hvilket giver begrænset vokseplads til undervandsplanterne. Dette er medvirkende årsag til, at mængden af undervandsplanter ikke er særlig stor. Dækningsgraden var 2,5 % af søens areal, og det relative plantefyldte volumen var kun 0,1 %.

Der er altså sket betydelig forøgelse i både artsrigdom og udbredelsen siden 1986. Selv om udbredelsen er større, er den dog stadig forholdsvis lav p.g.a. bundforholdene i søen. Fremgangen i udbredelsen hænger sammen med at vandet er blevet klarere, og det vurderes at denne positive udvikling vil fortsætte (*Orbicon, 2006a*).

5.2.2 Søndersø

I 1986 blev der ikke fundet nogen undervandsplanter i Søndersø. Trådalger blev dengang ikke registreret.

Ved undersøgelsen i 2006 blev der fundet planter, men vegetationen var artsfattig og omfattede kun fire arter af blomsterplanter, tre arter af flydebladsplanter og to arter/slægter af trådalger. Alle arter er udbredte og almindelige i danske søer og findes typisk i næringsrige søer. Blomsterplanterne havde en meget lav dybdeudbredelse, største dybdegrænse var 0,4 m og trådalgerne 1,2 m.

Rørsumpvegetationen, som var meget tæt og fandtes langs størstedelen af bredden, havde de fleste steder så stor en dybdeudbredelse, at bredzonen ikke var særlig bred uden for rørskovene. Blomsterplanterne udviste derfor en spredt og fåtallig forekomst på lavt vand i bredzonen. Dækningsgraden af undervandsplanter var kun 0,004 % af søens areal, det plantefyldte volumen var 0,0001 %.

Der er altså sket en svag positiv udvikling i søen i løbet af de seneste 20 år. De dårlige forhold for undervandsplanter i Søndersø skyldes lav sigtdybde, angiveligt p.g.a. de store mængder slam på bunden, som giver dårlige muligheder for, at planterne får fodfæste, forårsager ophvirvling af organisk og uorganisk materiale og afgiver fosfor til vandfasen.

Orbicon vurderer i deres rapport (*Orbicon, 2006a*), at med den nuværende sigtdybde i søen (1 m i 2006) kan det forventes, at undervandsvegetationen kun langsomt vil etablere sig på lysåbne og lavvandede arealer i bredzonen uden rørsump. Der kan således kun forventes en svag fremgang i undervandsvegetationen de kommende år, hvis der ikke sker en væsentlig forbedring af søens tilstand.

Tabel 5.4 Forekomst af plantearter fundet i Viborgsøerne i 1986 og 2006. Der blev også foretaget undersøgelse i Søndersø i 1986, men der fandtes ingen planter.

	Nørresø		Søndersø
	1986	2006	2006
Blomsterplanter			
Kredsbladet vandraunkel	Spredt, fåtallig	Almindelig	Fåtallig
Almindelig vandpest	Spredt, fåtallig	Almindelig	Fåtallig
Børstebadet vandaks		Spredt	
Liden vandaks		Fåtallig	
Kruset vandaks		Fåtallig	
Hjertebladet vandaks	Spredt, fåtallig	Spredt	
Spinkel vandaks		Fåtallig	Meget fåtallig
Krybende vandkrans		Fåtallig	Meget fåtallig
Brudelys (submers)		Meget fåtallig	
Sø-kogleaks (submers)		Meget fåtallig	
Antal arter blomsterplanter	3	10	4
Trådalger			
Dusk-vandhår		Spredt	Spredt
Slimtråd		Fåtallig	
Rørhinde		Fåtallig	Fåtallig
Antal arter trådalger	0	3	2
Flydebladsvegetation			
Vandpileurt	Spredt	Spredt	
Liden andemad		Fåtallig	Fåtallig
Gul åkande			Ret almindelig
Hvid åkande			Spredt
Antal arter flydebladsplanter	1	2	3

5.3 Plankton

5.3.1 Planteplankton

Der er kun foretaget én semikvantitativ planteplanktonundersøgelse i Viborgsøerne tilbage i 1982, så det er umuligt at vurdere tilstanden og dens udvikling (tabel 5.5).

Alle arter er typiske for næringsrige søer. Der blev ikke fundet rentvandsarter i søerne. Sammensætningen (individantal, varighed af forårskiselal-gemaksimum, blågrøinalgemaksimum og maksimum af kvælstoffixerende blågrønalger er tegn på, at Søndersø var mere belastet end Nørresø (*Viborg Amtskommune, 1983*).

Tabel 5.5 Dominerende planteplanktonarter i Viborgsøerne i 1982.

	Nørresø	Søndersø
Blågrønalger		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	x	x
<i>M. incerta</i>	x	
<i>Oscillatoria</i> spp.	x	
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>		x
Kiselalger		
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	x	x
<i>S. astraea</i>	x	x
<i>Nitzschia acicularis</i>	x	x
<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>		x
<i>Cyclotella comta</i>		x
Chlorococcale grønalger		
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	x	x
<i>S. acuminatus</i>	x	x

5.3.2 Dyreplankton

Der foreligger resultater af dyreplanktonundersøgelser i Viborgsøerne i 1982, 1985-1988, 1990, 1992 og 1995. I 1982 blev dyreplanktonet undersøgt semikvantitativt, mens det i perioden 1985-1990 og i 1995 blev undersøgt mere detaljeret.

I tabel 5.6 er der givet en oversigt over sammensætningen af de vigtigste arter i Viborgsøerne i undersøgelsesårene:

Tabel 5.6 Oversigt over sammensætningen af de vigtigste dyreplanktonarter i Viborgsøerne i 8 undersøgelser foretaget i perioden 1982-1995.

	1982	1985-1990	1995
Cladoceer			
<i>Daphnia longispina</i>	x		
<i>Daphnia cucullata</i>	x	x	x
<i>Daphnia galeata</i>		x	x
<i>Daphnia hyalina</i>		x	
<i>Bosmina coregoni</i>	x	x	x
<i>Bosmina longirostris</i>	x	x	x
<i>Chydorus sphaericus</i>	x	x	x
<i>Diaphanozoma brachyurum</i>		x	x
Copepoder			
<i>Mesocyclops leuckartii</i>	x	x	x
<i>Cyclops vicinus</i>	x	x	x
<i>Eudiaptomus</i> sp.	x		
<i>Eudiaptomus graciloides</i>	x	x	x
<i>Eudiaptomus gracilis</i>		x	x

Den væsentligste udvikling, der fandt sted i årene 1985-1990 (tabel 5.7) var, at de calanoide copepoder, fra at have domineret dyreplanktonet i 1985, blev reduceret i forekomst, hvorefter de cyclopoide copepoder andel steg og dominerede dyreplanktonet i 1990. Cyclopoide copepoder har, frem for calanoide copepoder, et bredere fødevalg og er bedre til at flygte fra prædatorer. Dermed er de ofte dominerende i næringsrige søer. Fremgangen af cyclopoide copepoder tyder altså ikke på en forbedring af forholdene i søen. Ifølge Viborg Amt (1992) skyldes nedgangen i

de calanoide copepoder fødeknaphed, interspecifik konkurrence samt parasitangreb. Det er dog også muligt, at nedgangen skyldes øget prædation fra fisk.

Tabel 5.7 Procentvis fordeling af cyclopoide og calanoide vandlopper samt *Daphnia* spp. og *Bosmina* spp. Fordelingen er udregnet på grundlag af det gennemsnitlige antal fra 1. maj til 1. oktober.

	År	Cyclopoide copepoder	Calanoide copepoder	<i>Daphnia</i> spp.	<i>Bosmina</i> spp.
Nørresø	1985	7,1	67,0	12,1	13,8
	1986	22,2	45,0	28,2	4,6
	1987	24,5	26,3	25,3	23,9
	1988	32,3	16,0	14,4	37,3
	1990	45,3	9,8	17,8	27,0
Søndersø	1985	21,1	29,9	6,2	42,7
	1986	30,7	37,6	21,2	10,5
	1987	44,8	31,2	21,5	2,5
	1988	36,9	24,6	21,1	17,5
	1990	56,2	13,8	23,3	6,6

Den overordnede konklusion (Brun, 1995) var, at der ikke var sket nogen væsentlig ændring i sammensætningen af dyreplankton fra 1982 til 1995. Der sås i 1995 små ændringer, der tyder på forbedringer i vandkvaliteten, f.eks. er antallet og biomassen af *Daphnia galeata* steget, og mængden af *Daphnia cucullata* var faldet, hvilket *kan* tyde på lavere prædation, men det kan også skyldes bedre fødeforhold.

Artssammensætningen er i alle årene kendetegnende for en eutrof sø, og dyreplanktonet var ikke, bortset fra kortere perioder i enkelte år, i stand til at kontrollere planteplanktonet (Brun, 1995). Udviklingen i løbet af de seneste 10 år kendes ikke.

5.4 Bunddyr

Bunddyrsfaunaen i Viborgsøerne er undersøgt i efteråret 1986 (Vandkvalitetsinstituttet, 1987). Søerne indeholdt en meget rig bunddyrsfauna, der blev i alt fundet 121 arter/grupper, hvoraf de fleste blev fundet i Nørresø. De mest betydende grupper var myg og fluer, vårfluer, krebsdyr og snegle. Der sås en større effekt af forurening af søerne på bunddyrsfaunaen i Søndersø end i Nørresø.

I Søndersø var faunaen domineret af dansemyg af slægten *Cricotopus* og af vårfluelarven *Tinodes waeneri*. Mange af de dominerende dyr i Søndersø er forureningstolerante, og der fandtes kun få rentvandsarter. I Nørresø var *Tinodes waeneri* også dominerende, men flere af de dominerende arter i brændingszonen tilhører rentvandsarter. Disse var udbredt over hele søen. Også bunddyrsfaunaen gav altså i 1986 et billede af bedre miljøforhold i Nørresø end i Søndersø.

6 Effekter af restaureringsindgreb

I dette kapitel gives der en kortfattet opsummering af de forskellige restaureringsindgreb, der er gjort for at forbedre den økologiske tilstand i Viborgsøerne. Deres effekter på vandkvaliteten, herunder også reduktion af den eksterne næringsstofbelastning fra oplandet, vurderes også.

6.1 Ekstern belastning

I undersøgelsesperioden har der været et betydeligt fald i den eksterne tilførsel af næringsstoffer til Viborgsøerne. Tilførslen af fosfor faldt fra 3155 til 1812 kg P pr. år (44 %) og kvælstof fra 64 til 43 t N pr. år (33 %).

6.1.1 Etablering af rensedamme og forbedring af kloaksystemet

Der er etableret rensedamme ved 6 af de i alt 36 regnvandsbetingede udløb til Viborgsøerne med det formål at begrænse næringsstofftilførslen. Målinger har vist, at rensedamme i gennemsnit tilbageholder ca. 60 % fosfor og 20 % kvælstof (*Hedeselskabet, 2004*). Der er ikke direkte mål for effektiviteten af dammene, der er nævnt her, men ved anvendelse af de anslåede værdier betyder det, at de tilbageholder i alt 77 kg P og 209 kg N pr. år. Til sammenligning var den totale tilførsel til Viborgsøerne i 2006: 1812 kg P (heraf 515 kg fra punktkilder) og 43 t N (heraf 2,5 t fra punktkilder).

I massebalanceberegningerne er fosforbidraget til søerne fra regnvandsudløb inkluderet i punktkildebidraget. I perioden, hvor rensedammene blev etableret (1985-2002) faldt dette bidrag fra 1429 kg P pr. år i 1985 til 666 kg pr. år i 2002. Sammenlignet med de ovenstående effekter af rensedammene, er det altså kun en mindre effekt, der kan tilskrives disse. Resten skyldes forbedret spildevandsrensning. Punktkildebidraget for kvælstof steg fra 1990 til 1991, men faldt herefter fra ca 6 t til 4,7 t. Rensedammenes effekt udgør også her kun en mindre del af den samlede reduktion.

Samles vurderes det, at rensedammene bidrager til at reducere næringsstofbelastningen til Viborgsøerne, men deres effekt kan ikke kvantificeres, fordi den ikke kan adskilles fra de øvrige tiltag, der er foretaget.

Effekten af opsamlingsbassinet, der blev anlagt i 1987 skønnes at have reduceret bidraget fra 710 kg P i 1987 til 350 kg P i 1988 (*Viborg Amt upubliceret*).

Der er ikke anslået eller målt effekter af de øvrige forbedringer af kloaknettet.

6.1.2 Etablering af Rødding rensningsanlæg

Effekten af Rødding rensningsanlæg ses i reduktionen af fosforpunktkildebidraget i slutningen af 1980'erne, Det kraftige fald på ca. 600 kg fra 1987 til 1988 er dog, som nævnt, overestimeret. Der er ikke målt punktkildebidrag for kvælstof før 1990, så den umiddelbare effekt af rensningsanlægget kan ikke ses på kvælstofbidraget.

6.1.3 Opfiskning af skaller og brasen i Loldrup Sø

Der blev i Loldrup Sø i perioden 1996-1999 foretaget intensiv opfiskning af fredfisk, hvor der blev fjernet i alt 14,4 tons skalle og brasen, hvilket svarer til 369 kg/ha. Dette medførte en kraftig stigning i sigtddybde og plantedække (*Viborg Amt 2002*). Denne forbedring af vandkvaliteten i Loldrup Sø, har haft indflydelse på vandkvaliteten i Viborgsøerne, p.g.a. det reducerede indhold af næringsstoffer. Effekten af Rødding rensningsanlæg ses dog også via tilstanden i Loldrup Sø. Faldet i N- og P-koncentrationen i søen er væsentlig og har dermed også ført til en mindsket belastning af Viborgsøerne.

6.1.4 Rødding Sø

Søen blev etableret i 2004 og er endnu ikke i ligevægt. Den afgiver stadigvæk fosfor, men tilbageholder kvælstof. Søen er vurderet til at tilbageholde 72 kg P og 7,6 t N, når den kommer i ligevægt. Både fosfor-, kvælstof- og klorofyl-koncentrationen i søen er faldet betydeligt samtidig med at der ses en kraftig stigning i sigtddybden fra 2005 til 2006. Derudover sås der et meget stort plantedække af vandpest i 2006. I 2005 blev der også udsat af geddeyngel i Rødding Sø.

6.2 Opfiskning af skaller og brasen i Viborg Søndersø

Der er opfisket mest intensivt fra 1987 til 1993 og igen fra 1997 til 2000.

Det skal i øvrigt bemærkes at opfiskning af fredfisk langt fra er noget nyt fænomen i Viborgsøerne, idet der gennem det meste af 1900-tallet jævnligt er opfisket skalle og brasen, og endda i betydelige mængder. I 1918-19 blev der således årligt fjernet 34-42 t, i årene 1933-37 17-39 t pr. år og i 1954-1972 mellem og 12 og 81 t årligt (*Viborg Amt, 2002*).

6.2.1 Effekter på fiskebestanden

Fiskebestanden i Søndersø er undersøgt 7 gange i perioden 1925-2006. Den procentvise andel af antallet af brasen i forhold til det totale antal fisk er faldet fra 27 % i 1986, året før opfiskningen blev påbegyndt, til 5 % i 2006. Den vægtmæssige andel faldt fra 75 % til 36 %. Skallens andel ligger på samme niveau i 1986 og 2002 m.h.t. antal (40-38 %). Vægtmæssigt er der sket en stigning fra 7 % til 48 %. Det er hovedsageligt de små skaller, der står for stigningen.

Dette kunne tyde på, at opfiskningen har slået igennem på mængden af brasen, mens der ikke ses den store effekt på skaller. Sammenligningen af mellem disse to perioder er dog problematisk p.g.a. de forskellige fiskemetoder.

Opgørelsen af fangst pr. net (CPUE) af individer over og under 10 cm viser, at der samlet set ikke er sket nogen væsentlig ændring fra 1991 til 2006, og at bestanden ser ud til at være domineret af store individer.

Effekten af fiskeægsdestruktion er umulig at vurdere, da der ikke er nogen opgørelse over hvor mange æg, der er fjernet, og hvor stor en andel af fiskeynglen det faktisk har påvirket.

En af årsagerne til at opfiskningen har haft en begrænset effekt kan være, at der fra Nørresø og fra vandløb med udløb i Søndersø løbende kan ske en indvandring af fisk.

6.2.2 Effekter på næringsstofindhold

I perioden 1987-1993 steg fosforkoncentrationen i Søndersø på trods af, at tilførslen til søerne faldt, og dermed er der ikke noget, der tyder på, at opfiskningen her har haft nogen positiv effekt på tilbageholdelsen af næringsstoffer. I andre danske søer, hvor det er lykkedes at skabe klarvandede forhold, ses ofte en meget markant effekt også på næringsstofindholdet.

Fra 1993 til 1998 faldt fosforkoncentrationen i Søndersø (ikke i Nørresø) på trods af stabil tilførsel. Dette er også et udtryk for reduktion i intern frigivelse og kan måske skyldes bedre vandkvalitet som følge af opfiskningen. I perioden 1997-2001 blev der fjernet flest fisk (246 kg per ha) per år i Søndersø. Fra 1998 til 2005 var fosforkoncentrationen i Søndersø stigende og frigivelsen af fosfor stigende, så i denne periode har opfiskningen ikke haft den samme effekt. Dog er der en tydelig reduktion i mængden af suspenderet stof fra 1996 til 2000, hvilket kan tolkes som en mindsket aktivitet fra fisk (især brasen), der hvirvler sediment op under deres fødesøgning.

Det er tidligere vurderet, at den opfiskede fiskemængde, der er fjernet, måske har været for begrænset til at opnå effekter (*Viborg Amt, 2002*). I en analyse af europæiske søer, hvor der er gennemført indgreb i fiskebestanden, konkluderedes det, at der skal fjernes mindst 200 kg fisk per ha for at opnå effekter (*Jeppesen & Sammalkorpi, 2002*). Mængden af fisk, det er nødvendigt at fjerne, øges med øget næringsstofindhold.

Kvælstofkoncentrationen i begge søer ligger tæt på hinanden, så det er ikke sandsynligt, at opfiskning (eller andre interne indgreb i Søndersø) har haft nogen effekt på kvælstofkoncentrationen.

6.2.3 Effekter på øvrige biologiske forhold

Effekten på de øvrige biologiske forhold er vanskelig at vurdere, fordi datamængden er begrænset. Dyreplanktonets sammensætning og længde er kun ændret marginalt, og der er ikke noget, der tyder på, at det er lykkedes at øge græsningskontrollen af planteplanktonet. Heller ikke for de øvrige biologiske variable ses markante effekter, der kan kobles til opfiskningen.

6.3 Udsætning af gedder i Nørresø

Der er ikke registreret nogen væsentlig stigning i antallet af gedde som følge af udsætning af geddeyngel. Formålet med udsætning af geddeyngel er dog heller ikke at påvirke bestanden som sådan, men at øge prædationstrykket den sommer, hvor udsætningen finder sted. Det er ikke muligt at registrere effekter af geddeudsætningen på den overordnede vandkvalitet. Nyere undersøgelser viser lignende erfaringer med de fleste udsætninger i andre danske søer (*Skov m.fl., 2006*).

6.4 Udplantning af undervandsplanter i Sønderø

Forsøgene med udsætning af vandplanter er ikke slået an, idet de udplantede planter blev ødelagt den første vinter. Der har således ikke været nogen effekt af udplantningen på vandkvaliteten.

6.5 Iltning af bundvand i Nørresø

Iltningen af bundvandet i Nørresø startede i 1996 og har siden været foretaget hver sommer. Som omtalt i kapitel 3 er iltningen dog gennemført med forskellig intensitet, blandt andet med lav tilførsel i 1999 og 2000, hvor motorsejlere og lystfiskere ved flere lejligheder rev iltledningerne over (*Viborg Amt, 2002*). Ilt doseringen har varieret mellem ca. 10 og 140 t ilt årligt.

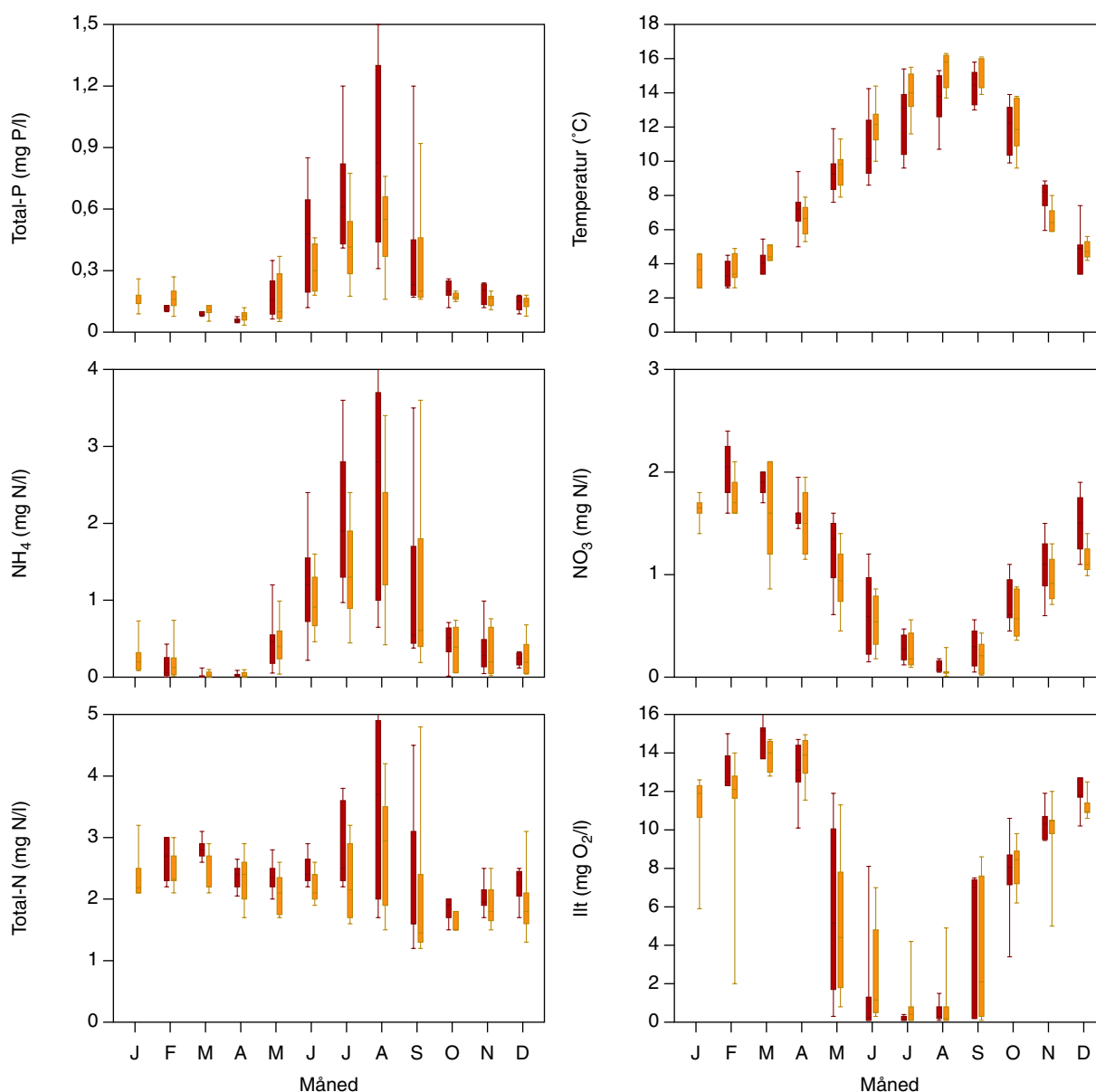
I dette afsnit gennemgås effekten af iltningen ved at sammenligne de sæsonmæssige næringsstofkoncentrationer i bundvandet og overfladevandet, før iltningen startede, med koncentrationer under iltningen. Tidligere er effekten af de første års iltning vurderet i *Viborg Amt (2002)*. Her blev det blandt andet konkluderet, at iltningen havde ført til lavere fosfor- og ammoniumkoncentrationer i bundvandet og en kortere periode med lave iltkoncentrationer.

6.5.1 Næringsstofindhold i bundvandet før og under iltningen

I lighed med de tidligere konklusioner synes iltningen at have en klart reducerende effekt på indholdet af fosfor i bundvandet gennem sommeren (figur 6.1). Fosforindholdet øges stadigvæk i løbet af sommeren, men hvor der typisk blev opnået koncentrationer på 0,5-1 mg P/l uden iltning, blev der under iltningen oftest registreret koncentrationer mellem 0,2 og 0,5 mg P/l, dvs. ca. en halvering. Dermed synes iltningen af føre til mere oxiderede forhold i overfladesedimentet, så frigivelse fra sedimentet mindskes.

Også indholdet af ammonium falder markant i forbindelse med iltningen, og reduceres fra 1-3,5 mg/l som maksimum til 1-2 mg/l. Der er dog store variationer i koncentrationen fra år til år. Effekten på ammonium skyldes sandsynligvis, at en større del af ammonium frigivet fra sedimentet bliver oxideret. Den nitrat, som derved dannes, kan bruges i omsætningen af organisk stof ved denitrifikation og ender evt. som frit kvælstof. Der ses ikke tydelige effekter på hverken totalkvælstof eller nitratkoncentrationen.

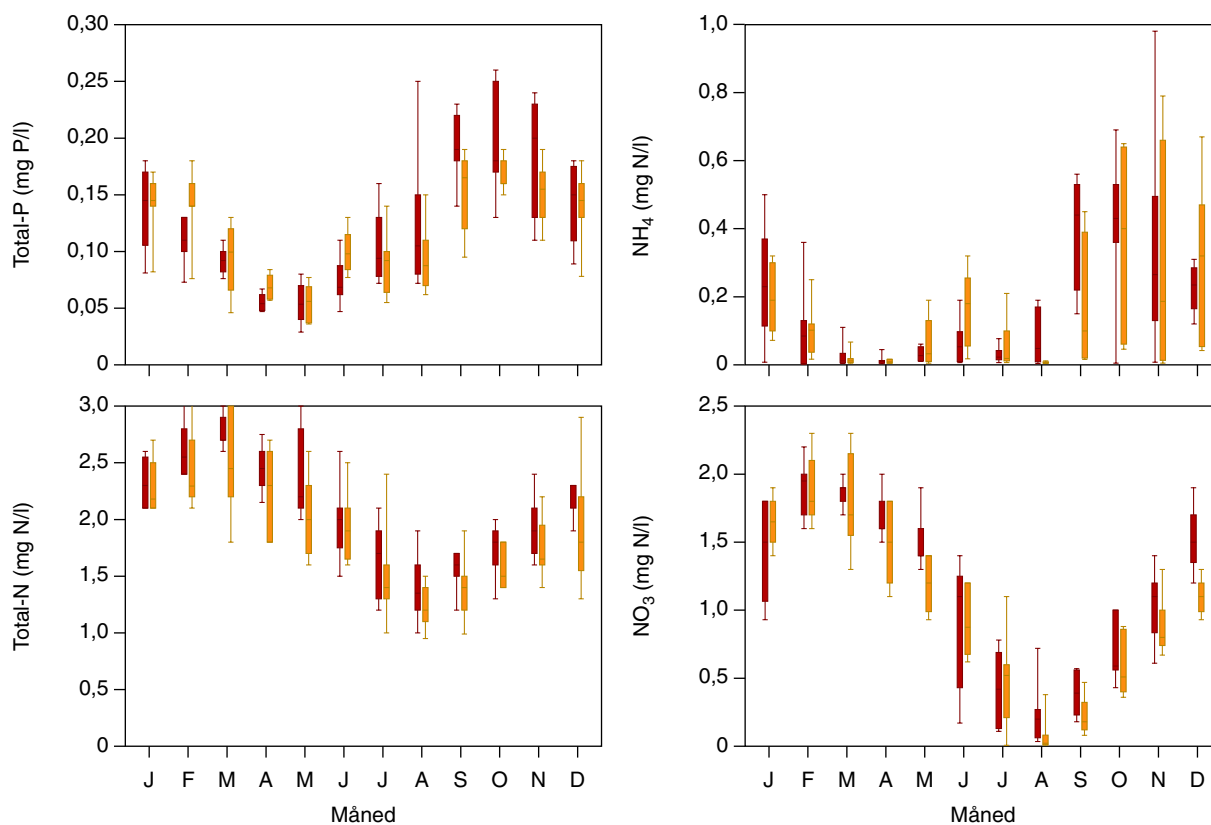
Som en sideeffekt ser iltningen også ud til at forhøje vandtemperaturen med 1-2 °C. Dette er også set i andre iltningsprojekter og skyldes formentlig, at der, pga. opstigende luftbobler, skabes en øget opblanding af det varme overfladevand og det koldere bundlag.



Figur 6.1 Sæsonmæssige koncentrationer og temperatur målt i bundvandet i Nørresø uden og med iltning. Alle dybder under 10 m er taget med. "Før" situationen (sorte bokse) repræsenterer årene 1990-1995 (begge inkl.) og "under" situationen (grå bokse) 1996-1998 og 2001-2005 (alle inkl.). Årene 1999 og 2000 er ikke taget med, fordi slangerne var utætte i denne periode. De yderste linjer i boksene viser 10 og 90 % fraktioner og de indre kasser 25 og 75 % fraktiler.

6.5.2 Næringsstofindhold i overfladevandet før og under iltningen

Fosforindholdet i overfladevandet viser ikke de store effekter som følge af iltningen (figur 6.2). Måske er der en tendens til et lidt lavere efterårsniveau (september – oktober), hvilket kan tolkes som en effekt, idet de lavere koncentrationer i bundvandet kan smitte af på overfladevandet i forbindelse med efterårscirkulationen. På de øvrige variable er der ikke meget at se. Indholdet af nitrat synes lavere i forbindelse med iltningen, men det er formentlig en effekt af, at indholdet af nitrat i søvandet generelt er faldet i denne periode som følge af den lavere eksterne belastning.



Figur 6.2 Sæsonmæssige koncentrationer og temperatur målt i overfladevandet i Nørresø uden og med iltning. Alle dybder over 3 m er taget med. "Før" situationen (sorte bokse) repræsenterer årene 1990-1995 (begge inkl.) og "under" situationen (grå bokse) 1996-1998 og 2001-2005 (alle inkl.). Årene 1999 og 2000 er ikke taget med, fordi slangerne var utætte i denne periode. De yderste linier i boksene viser 10 og 90 % fraktioner og de indre kasser 25 og 75 % fraktiler.

7 Fremtidig miljøtilstand

Der er gennem de sidste årtier gjort en stor indsats for at forbedre vandkvaliteten i de to Viborgsøer. Dette har forbedret miljøtilstanden, ikke mindst i Nørresø, som vist i denne rapport, men der er stadigvæk tale om to næringsrige søer med forholdsvis uklart vand og en biologisk tilstand, der er påvirket i negativ retning af de høje næringsstofkoncentrationer.

Spørgsmålet er så, hvordan den fremtidige miljøtilstand vil være i søerne, og i hvor høj grad man vil være i stand til at forbedre den nuværende tilstand? For at kunne vurdere dette spørgsmål er især to forhold vigtige.

For det første er den eksterne tilførsel af næringsstoffer, herunder især fosfor, afgørende for, hvordan søerne på lang sigt vil udvikle sig. I forhold til at forbedre vandkvaliteten i søerne er det derfor stadigvæk afgørende, at indsatsen for at mindske den eksterne næringsstofftilførslen fastholdes.

For det andet er den interne belastning med fosfor tydeligvis meget afgørende for sommerkoncentrationen af fosfor både i Nørresø og Sønder sø, men dog især i Sønder sø, hvor der om sommeren typisk opnås 2-6 gange højere koncentrationer end om vinteren. Den interne fosforbelastning vil efterhånden aftage i takt med, at den mobile fosforpulje i sedimentet udtømmes, men det kan tage mange år, som også fremhævet i tidligere rapporter.

Ud over den interne fosforbelastning, der forsinker effekten af den reducerede næringsstofftilførsel, kan der også opstå forsinkede effekter via en fiskebestand domineret af fredfisk, og ved at undervandsplanter har vanskeligt ved at komme tilbage i større mængder og derved stabilisere den klarvandede tilstand.

Endelig må nævnes tilførslen af kvælstof, der også kan spille en rolle - specielt i søer med en forholdsvis lang opholdstid, hvor planteplanktonet i kortere eller længere perioder kan være kvælstofbegrænset. Målinger fra både Nørresø og Sønder sø viser, at indholdet af nitrat og nitrit reduceres til meget lave værdier ($<0,1$ mg/l) indtil flere måneder hver sommer, hvilket indikerer, at kvælstof i perioder kan være begrænsende for primærproduktionen i søerne. Lave kvælstofkoncentrationer er mest almindeligt forekommet i Sønder sø.

7.1 Den fremtidige eksterne belastning

I øjeblikket (2005) ligger indløbskoncentrationen af fosfor i tilløbet til Nørresø på $0,11$ mg P/l og til Sønder sø på $0,13$ mg P/l. Beregnet ud fra vandets opholdstid (Nørresø: $0,73$ år og Sønder sø: $0,31$ år) svarer dette under ligevægtsbetingelser til en søkoncentration (årsmiddel) på henholdsvis $0,06$ mg P/l i Nørresø og $0,08$ mg P/l i Sønder sø, beregnet som

$$P_{sø} = \frac{P_{ind}}{1 + \sqrt{tw}}$$
, hvor $P_{sø}$ er årsmiddel af totalfosfor i søen, P_{ind} er gennemsnitlig årlig indløbskoncentration og tw vandets opholdstid i år. Generelle modeller af denne type beregner dog søkoncentrationen med en betydelig usikkerhed i forhold den enkelte sø.

De beregnede ligevægtsværdier ligger væsentlig under de nuværende sommermiddelkoncentrationer på omkring 0,1 mg P/l i Nørresø og 0,2 mg P/l i Søndersø og er et udtryk for påvirkningen fra den interne belastning. Det er tidligere vurderet, at indløbskoncentrationen af fosfor til Nørresø skal ned på mindst 0,09 mg P/l og optimalt 0,07 mg P/l (*Viborg Amt, 2002*). For at nå disse mål skal den nuværende fosforbelastning dermed reduceres med ca. 1/3.

Der er i de sidste årtier gennemført en række indgreb for at reducere næringsstofbelastningen, og der ligger også en del planer om nye tiltag. Disse omfatter blandt andet etableringen af flere rensedamme eller afskæring af spildevand fra separatkloakken (*Hedeselskabet, 2005*). En sådan afskæring (via en ledning på og i søbunden fra Røddingvej til Amtmandsbroen vurderes af Hedeselskabet (2005) at kunne bidrage til en reduktion i fosforudledningen på 370 kg pr. år, og dette ville dermed betyde en meget væsentlig reduktion (20%) af den nuværende tilførsel.

Regnvandsbetingede udløb er formentlig en betydelig faktor bl.a. i forbindelse med kraftige byger, men der findes ingen data, der kan kvantificere betydningen. Det er derfor heller ikke muligt at vurdere hvilke effekter, der kan opnås ved yderligere at udbygge med rensedamme. Hedeselskabet (2005) anbefaler at opføre rensedamme ved 5 af de i alt 30 udløb, der endnu ikke har rensedam. Dette vil skønsmæssigt medføre fjernelse af ca. 90 kg P.

Et andet projekt, som kan have en gavnlig effekt på miljøtilstanden i Viborgsøerne er anlæggelse af vådområdet, Nørremølle Enge umiddelbart nord for Nørresø. Området vil udgøre 25 ha og det anslås at kunne tilbageholde 4-4,7 tons N pr år og 92-100 kg P pr. år. Projektet er beskrevet i PV\Natur og Miljø Rådgivning (2005).

I forhold til den fremtidige vandkvalitet, er der dog en del usikkerheder i forhold til, i hvilket omfang de foreslåede tiltag i oplandet til søerne faktisk gennemføres.

Generelt må det af hensyn til vandkvaliteten i Viborgsøerne også anses for vigtigt at sikre en god miljøtilstand i Loldrup Sø og den nyetablerede Rødding Sø. Herved sikres det, at tilbageholdelsen af næringsstoffer optimeres i disse søer, og derved at næringsbelastningen af Viborgsøerne minimeres.

7.2 Den fremtidige interne fosforbelastning

En meget væsentlig næringsstofkilde til søerne er i dag den interne fosforbelastning fra sedimentet. Her er der gennem mange år ophobet en stor fosforpulje, der især i løbet af sommeren bidrager betydeligt til søvandets indhold af fosfor.

I Viborg amt (2002, i *Hedeselskabet*, 2005) er det vurderet, at der gennemsnitligt i årene 1990-2000 årligt blev frigivet knap 800 kg P, og Syddansk Universitet (2002, i *Hedeselskabet*, 2005) har vurderet, at der kan udveksles mindst 9.500 kg P fra sedimentet. Dette svarer til mere end 10 års intern belastning som i 1990'erne. Baseret på massebalanceberegninger løb der i 2004 ca. 700 kg P og i 2005 ca. 1200 kg P mere ud af Sønder sø end ind i søen. Der er dermed ikke meget, der tyder på, at den interne belastning af Sønder sø er aftagende.

Selv om problemet med den interne belastning "løser sig med tiden", så er det stadigvæk sikkert, at det vil tage mange år. De seneste målinger fra søerne tyder på, at det stadigvæk har lange udsigter før søerne er i ligevægt med den nuværende næringsstofbelastning.

8 Konklusioner og anbefalinger

Vandkvaliteten i Viborgsøerne har gennem mange år været påvirket af den bynære beliggenhed. Dette har bl.a. ført til, at søerne i dag er næringsrige og med en forholdsvis ringe vandkvalitet.

Der er dog i Nørresø i perioden 1985-2005 konstateret væsentlige forbedringer i vandkvaliteten. Både tilledningen og koncentrationen af fosfor og kvælstof har udvist et signifikant fald. Andre parametre, som beskriver miljøtilstanden i søen, f.eks. sigtdybde, indikerer også, at tilstanden i søen er forbedret i løbet af de seneste 20 år (tabel 8.1).

Tabel 8.1 Opsummering af de vigtigste vandkemiske og biologiske forhold i Viborgsøerne fra 1985 og 2005. De to yderste kolonner viser, om der er sket en signifikant udvikling ($p < 0,05$) for perioden som helhed. Stigning er angivet med +, reduktion med - og uændret med 0.

	1985		2005		1985	2005
	Nørresø	Søndersø	Nørresø	Søndersø	Nørresø	Søndersø
Klorofyl <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$)	41	54	50	58	0	0
Suspenderet stof (mg/l)	9,0	11,8	7,2	14,2	-	0
Fosfor-konc. (mg/l)	0,092	0,156	0,098	0,215	-	0
Kvælstof-konc. (mg/l)	2,06	1,76	1,57	1,29	-	-
Sigtdybde (cm)	152	73	270	106	+	+
Plantedække* (%)	-	-	2,5	0,004		
Max. dybdegrænse* (m)	1,4	0	2,3	0,4		
Antal arter undervandsplanter*	3	0	10	4		
Fosfor-tilførsel** (kg)	3155		1812		-	
Kvælstof-tilførsel** (ton)	64,0		42,8		-	

* vegetation undersøgt i 1986 og 2006

**opgjort samlet for søerne

Andelen af fredfisk (skaller og brasen) er lavere i Nørresø, end man ville forvente i en sø med tilsvarende fosforindhold, og viser, at rovfiskebestanden er rimelig god. Undervandsvegetationen har gennemgået en positiv udvikling siden 1986. Der er kommet flere arter til, og den maksimale dybdegrænse er blevet væsentligt højere. På grund af få undersøgelser af plankton- og bunddyrsbestanden er det ikke muligt at afgøre, om udviklingen her indikerer forbedringer i søens tilstand. Der er dog ikke sket signifikante ændringer i indholdet af klorofyl.

I Søndersø er der, på trods af et fald i tilførslen af næringsstoffer til søerne, kun svage tegn på forbedringer. Sigtdybden er dog steget signifikant, men der er kun en lille fremgang i undervandsvegetationen. Fosforindholdet ændredes ikke, og fiskebestanden er domineret af de dyreplanktonædende fisk skalle, brasen og hork.

De forskellige indgreb, der har været for at forbedre tilstanden, synes dermed at have forbedret vandkvaliteten. Ikke mindst i Nørresø er der sket en væsentlig forbedring gennem de seneste år. Yderligere reduktioner i næringsstofftilførslen må således forventes at føre til yderligere forbedringer.

Selv om det er svært at adskille de forskellige indgreb og deres effekter, er de største effekter formentlig opnået i forbindelse med den reducerede fosfortilførsel, og her især i forbindelse med etableringen af Rødding rensningsanlæg i slutningen af 1980'erne.

For yderligere at forbedre vandkvaliteten i søerne er det oplagt at søge at reducere den eksterne fosforbelastning så meget som muligt, og det anbefales at vurdere alle muligheder her. Også kvælstofbelastningen er relevant i denne forbindelse, fordi søerne i perioder kan være kvælstofbegrænsede. Kvælstof spiller også en vigtig rolle for undervandsplanterne, idet høje kvælstofkoncentrationer gør det vanskeligere for undervandsplanterne at etablere sig (*Jeppesen m.fl., 2004*).

Derudover kan der også foretages forskellige interne tiltag for at mindske den interne fosforbelastning og for at forbedre de biologiske forhold.

Tilførsel af aluminium er en af de metoder, der har været nævnt. Det er dog stadigvæk en ret ny metode i Danmark, så erfaringsgrundlaget er begrænset. De første års erfaringer er positive, men der mangler en vurdering af metodens mere langsigtede perspektiv. Hvis den eksterne fosforbelastning ikke er bragt tilstrækkeligt langt ned, vil effekten af aluminiumstilsætning under alle omstændigheder kun have en midlertidig effekt på vandkvaliteten, idet fosforbindingskapaciteten i det tilførte aluminium opbruges.

Opfiskning af fredfisk er også en af de metoder, der har været anvendt i mange danske søer og altså også i Sønder sø. Erfaringerne fra Sønder sø er dog ikke alt for lovende, og effekten på den biologiske tilstand har været begrænset. Dette kan hænge sammen med, at mængden af fisk, der er fjernet, har været for lille, men kan også skyldes den meget markante indflydelse fra den interne fosforbelastning.

Opfiskninger, hvor der skabes mere klarvandede forhold, fører til øget tilbageholdelse af både fosfor og kvælstof og dermed til lavere søkoncentrationer. Dog viser de seneste analyser af danske søer, hvor der er fjernet fisk, at der er stor risiko for tilbagefald, formentlig især i søer, hvor der er en stor mobil fosforpulje i sedimentet. Så hvis opfiskningen skulle lykkes i Sønder sø, ville risikoen for tilbagefald formentlig være betydelig, med mindre der gennem en periode løbende fjernes betydelige mængder. Opfiskninger, der skaber klarvandede forhold, indebærer endvidere den risiko, at tilbageholdelsen af fosfor og kvælstof igen mindskes, hvis den klarvandede tilstand ikke kan fastholdes.

Iltningen af bundvandet i Nørresø ser ud til at have en vis betydning, uden at der dog er opnået markante effekter, som kan tilskrives iltningen. Som erfaret fra Hald Sø er iltning desuden ofte et meget langsigtet projekt, hvis ikke søen skal falde tilbage igen, når iltningen ophører. Iltning indebærer endvidere en risiko for, at springlaget og opblandingen øges – ikke mindst i forholdsvis lavvandede søer, hvilket kan føre til en forøget fosfortilførsel til overfladelaget. Iltning kan også øge omsætningen af organisk materiale og dermed i princippet også øge puljen af mobil fosfor, men det er endnu usikkert, i hvor høj grad det er et problem i danske søer.

Effekten af miljøtilstanden i opstrøms beliggende søer (Loldrup Sø og Rødding Sø) på Viborgsøerne viser, at det er vigtigt at sikre en tilfredsstillende tilstand i disse. Det planlagte vådområdeprojekt Nørremølle Enge kan også bidrage til en betydelig reduktion af fosfor- og kvælstoftilførslen og måske også fosfor.

Samlet set vurderes det, at mulighederne for at opnå en bedre vandkvalitet i Viborgsøerne på længere sigt, primært består i at nedbringe den eksterne næringsstofbelastning så meget som muligt. Interne tiltag i søerne kan evt. skabe midlertidige effekter og hjælpe til, at søerne hurtigere når en klarvandet tilstand. De mest oplagte muligheder er her massive opfiskninger af fredfisk samt aluminiumstilsætning.

9 Referencer

- Bio/consult* 1987. Miljøtilstand i Viborgsøerne. Bundfauna. Rapport til Viborg Amtskommune. Vand- og miljøvæsenets rapport nr. 75. 44 s. + bilagsdel.
- Brun, I.* 1995. Zooplankton i Loldrup Sø, Viborg Søerne og Klejtrup Sø. Notat. 20 s. + figurer.
- Hedeselskabet.* 2003. Viborg Kommune. Reduktion af kloakkens forurening af Viborg Sø. Notat til Viborg Kommune. 44 s.
- Hedeselskabet* 2004. Viborg Kommune. Hvor kan der etableres rensedamme ved Viborg søerne? Rapport til Viborg Kommune. 21 s.
- Hedeselskabet* 2005. Viborg Kommune. Forslag til opnåelse af rene Viborg søer. Rapport til Viborg kommune. 31 s.
- Jeppesen, E. & Sammalkorpi, I.* 2002. Chapter 14 "Lakes". In: M. Perrow & T. Davy (eds.): Handbook of Restoration Ecology, Vol. 2. Cambridge University Press: 297-324.
- Jeppesen, E., J.P. Jensen, M. Søndergaard, M.A. González Sagrario & J. Gomà* 2004. Spiller kvælstof en større rolle i lavvandede søer end hidtil antaget? - Vand & Jord 11: 98-101.
- Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Jensen, J.P. and Jeppesen, E. (red.)* 2005. Undersøgelser i søer. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. - Teknisk anvisning fra DMU 22. 233 s. (elektronisk version).
- Mortensen, E., Jerl Jensen, H., Müller, J.P. & Timmermann, M.* 1990. Fiskeundersøgelser i søer. Undersøgelsesprogram, fiskeredskaber og metoder. Overvågningsprogram.. Teknisk anvisning fra DMU 3. 57 s.
- Orbicon* 2006a. Vegetationen i Viborg Søndersø 2006. Udkast til Viborg Amt. 46 s.
- Orbicon* 2006b. Vegetationen i Viborg Nørresø 2006. Udkast til Viborg Amt. 66 s.
- Skov, C., Jacobsen, L., Berg, S., Olsen, J. & Bekkevold, D.* 2006. Udsætning af geddeyngel i danske søer: effektivitet og perspektivering. Danmarks Fiskeriundersøgelser. Rapport nr. 161-06. 99 s.
- Viborg Amts Vandvæsen & Hedeselskabets Laboratorium* 1973. Viborgsøerne og Nørreå. Rapport Nr. 4. 67 s. + bilag.
- Viborg Amtskommune* 1983. Miljøtilstand i Viborg Nørresø og Søndersø. Vand- og miljøvæsenets rapport nr. 33. 30 s.

Vandkvalitetsinstituttet 1987. Viborg søerne 1990-2030. Rapport til Viborg Amtskommune 1987. Vand- og miljøvæsenets rapport nr. 72. 104 s. + bilagsdag.

PV\Natur og Miljø Rådgivning, 2005 Vådområdeprojekt Nørremølle Enge Forundersøgelse. Rapport til Viborg Kommune og Viborg Amt. 36 s.

Viborg Amt 1992. Vurdering af miljøudviklingen i Viborgsøerne. Rapport nr. 113 i miljøserien. 77 s.

Viborg Amt 1999. Retablering af Rødding Sø. VMPII-projekt – forundersøgelser. 48 s.

Viborg Amt 2002. Viborg søerne og Loldrup Sø, tilstand og udvikling 1985-2001. 46 s.

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en forskningsinstitution i Miljøministeriet.	På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.
DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.	Her kan du også finde en database over alle DMU's udgivelser fx videnskabelige artikler, rapporter, konferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser Frederiksborgvej 399 Postboks 358 4000 Roskilde Tlf.: 4630 1200 Fax: 4630 1114	Direktion Personale- og Økonomisekretariat Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat Afdeling for Systemanalyse Afdeling for Atmosfærisk Miljø Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi Afdeling for Arktisk Miljø
Danmarks Miljøundersøgelser Vejlsovej 25 Postboks 314 8600 Silkeborg Tlf.: 8920 1400 Fax: 8920 1414	Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Terrestrisk Økologi Afdeling for Ferskvandsøkologi
Danmarks Miljøundersøgelser Grenåvej 14, Kalø 8410 Rønde Tlf.: 8920 1700 Fax: 8920 1514	Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No. 2006

- 600 Assessing Potential Causes for the Population Decline of European Brown Hare in the Agricultural Landscape of Europe – a review of the current knowledge.
By Olesen, C.R. & Asferg, T. 30 pp.
- 599 Beregning af naturtilstand ved brug af simple indikatorer. Af Fredshavn, J.R. & Ejrnæs, R. 93 s.
- 598 Klimabetingede effekter på marine økosystemer. Af Hansen, J.L.S. & Bendtsen, J. 50 s.
- 597 Vandmiljø og Natur 2005. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Af Boutrup, S. et al. 50 s.
- 596 Terrestriske Naturtyper 2005. NOVANA. Af Bruus, M. et al. 99 s.
- 595 Atmosfærisk deposition 2005. NOVANA. Af Ellermann, T. et al. 64 s.
- 594 Landovervågningsoplande 2005. NOVANA. Af Grant, R. et al. 114 s.
- 593 Smådyrfaunaens passage ved dambrugsspærringer. Af Skriver, J. & Friberg, N. 33 s.
- 592 Modelling Cost-Efficient Reduction of Nutrient Loads to the Baltic Sea. Model Specification Data, and Cost-Functions. By Schou, J.S. et al. 67 pp.
- 591 Økonomiske konsekvenser for landbruget ved ændring af miljøgodkendelsen af husdyrbrug. Rapport fra økonomiudredningsgruppen. Af Schou, J.S. & Martinsen, L. 55 s.
- 590 Fysisk kvalitet i vandløb. Test af to danske indices og udvikling af et nationalt indeks til brug ved overvågning i vandløb. Af Pedersen, M.L. et al. 44 s.
- 589 Denmark's National Inventory Report – Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, 1990-2004. Emission Inventories. By Illerup, J.B. et al. 554 pp.
- 588 Agerhøns i jagtsæsonen 2003/04 – en spørgebrevundersøgelse vedrørende forekomst, udsætning, afskydning og biotoppleje. Af Asferg, T., Odderskær, P. & Berthelsen, J.P. 47 s.
- 587 Målinger af fordampning af pesticider fra jord og planter efter sprøjtning.
Af Andersen, H.V. et al. 96 s.
- 586 Vurdering af de samfundsøkonomiske konsekvenser af Kommissionens temastrategi for luftforurening. Af Bach, H. et al. 88 s.
- 585 Miljøfremmede stoffer og tungmetaller i vandmiljøet. Tilstand og udvikling, 1998-2003.
Af Boutrup, S. et al. 140 s.
- 584 The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2005.
By Kemp, K. et al. 40 pp.
- 583 Naturgenopretning af søerne i Vejlerne – en vurdering af effekterne på yngle- og trækfugle.
Af Clausen, P., Holm, T.E. & Kjeldsen, J.P. 122 s.
- 582 Arter 2004-2005. NOVANA. Af Søgaard, B., Pihl, S. & Wind, P. 145 s.
- 581 Physical and biological oceanography in West Greenland waters with emphasis on shrimp and fish larvae distribution. By Søderkvist, J., Nielsen, T.G. & Jespersen, M. 54 pp.
- 580 Habitatmodellering i Ledreborg Å. Effekt af reduceret vandføring på ørred.
Af Clausen, B. et al. 58 s.
- 579 Aquatic and Terrestrial Environment 2004. State and trends – technical summary.
By Andersen, J.M. et al. 136 pp.
- 578 Limfjorden i 100 år. Klima, hydrografi, næringsstofftilførsel, bundfauna og fisk i Limfjorden fra 1897 til 2003. Af Christiansen, T. et al. 85 s.
- 577 Limfjordens miljøtilstand 1985 til 2003. Empiriske modeller for sammenhæng til næringsstofftilførsler, klima og hydrografi. Af Markager, S., Storm, L.M. & Stedmon, C.A. 219 s.
- 576 Overvågning af Vandmiljøplan II – Vådområder 2005. Af Hoffmann, C.C. et al. 127 s.
- 575 Miljøkonsekvenser ved afbrænding af husdyrgødning med sigte på energiuudnyttelse. Scenarieanalyse for et udvalgt opland. Af Schou, J.S. et al. 42 s.
- 574 Økologisk Risikovurdering af Genmodificerede Planter i 2005. Rapport over behandlede forsøgsudsætninger og markedsføringssager.
Af Kjellsson, G., Damgaard, C. & Strandberg, M. 22 s.
- 573 Monitoring and Assessment in the Wadden Sea. Proceedings from the 11. Scientific Wadden Sea Symposium, Esbjerg, Denmark, 4.-8. April 2005. By Laursen, K. (ed.) 141 pp.
- 572 Søerne i De Vestlige Vejler. Af Søndergaard, M. et al. 55 s.

I Viborg Nørresø og Viborg Søndersø og deres opland er der i de seneste ca. 20 år foretaget en lang række miljøforbedrende indgreb. Næringsstofbelastningen til søerne er reduceret betydeligt, og den økologiske tilstand især i Viborg Nørresø er forbedret. I Viborg Søndersø ses også tegn på forbedringer, men vandkvaliteten her er meget påvirket af den interne fosforbelastning. Det vurderes, at de belastningsreducerende indgreb i oplandet har haft den største effekt på vandkvaliteten i søerne, mens effekterne af de interne indgreb er mindre markante. For på sigt at leve op til søernes målsætning er det nødvendigt at nedbringe den nuværende fosforbelastning med ca. 1/3.