

TEKNISK RAPPORT



# HIMMELBJERGSØERNE 1992

FORURENINGSTILSTAND

APRIL 1994

ÅRHUS AMT  
NATUR OG MILJØ





UDGIVER : Århus Amt, Natur- og Miljøkontoret, Lyseng Alle 1, 8270 Højbjerg

TITEL : Himmelbjergsøerne 1992 - Forureningstilstand.

FORFATTER : Torben Bramming Jørgensen

RESUME : Denne rapport giver en status over forureningstilstanden i de fire Himmelbjergsøer Birk sø, Jul sø, Borre sø og Brassø, samt beskriver udviklingen i søerne siden 1970'erne og 80'erne. Alle fire søer var i 1992 stærkt forurenede og der er ikke sket nogen væsentlige ændringer i forureningstilstanden i de sidste ti - tyve år. Gudenåen passerer søerne og med åen tilføres meget store vand- og stofmængder hvert år. I 1992 blev der tilført ialt 51 ton fosfor og næsten 1300 ton kvælstof. Det er en reduktion i forhold til den stoftransport, som var i 80'erne, men dog stadig en større stoftilførsel end der var til søerne i 70'erne. Koncentrationen af kvælstof og fosfor er ikke faldet væsentligt i Gudenåen og belastningen fra oplandet er derfor ikke blevet mindre i de sidste 10 år. Det er afstrømningen fra de dyrkede jorde, der bærer ansvaret for den største tilførsel af såvel kvælstof som fosfor. For kvælstofs vedkommende bidrager de dyrkede jorde med ca. 65 % og for fosfor med omkring 30 % af den samlede tilførsel. Som i de fleste andre danske søer er det først og fremmest udledningen af for store fosformængder, der er årsagen til en dårlig forureningstilstand. Fosforkoncentrationen var 135 µg P/l som et sommergennemsnit i Jul sø. Det er et forholdsvist højt fosforniveau og derfor er der mange alger i søerne. I 1992 var den gennemsnitlige sommersigtedybde i Jul sø 1,3 m, hvilket er 0,5 m mindre end den sigtedybde, der skal være i følge søens målsætning. Tilstanden i de fire søer varierer noget fra år til år. Det ser ikke ud til, at det udelukkende er næringsstofindholdet i vandet, der betyder noget. Sigtedybden, der er et mål for antallet af alger i søerne, er således blevet mindre i 1992 sammenlignet med 1985, selvom fosforkoncentrationen er reduceret i perioden. Forklaringen herpå er, at de biologiske forhold i søerne varierer forholdsvist meget fra år til år. Uanset variation er der dog stadig et for højt fosforindhold i søerne. Dette til trods for at der er investeret mange penge i fosforfjernelse på rensningsanlæggene langs med Gudenåen. Det er store fosformængder på bunden af dels Himmelbjergsøerne dels de søer, der ligger længere oppe ad Gudenåen, der forhindrer en forbedring i forureningstilstanden. I rapporten er det anslået, at mellem 5 og 10 ton af den fosfor, der kom til Himmelbjergsøerne i 1992, stammede fra den fosforpulje, der ligger på bunden af søerne. Indtil søerne kommer i ligevægt og frigivelsen af fosfor fra sedimentet aftager, vil søerne kun langsomt blive renere. Det kan beregnes, at Århus Amts målsætning for de fire søer vil være opfyldt, når den interne belastning ophører uden yderligere reduktioner i tilførslerne af fosfor fra oplandet. Desværre vil der gå adskillige år inden denne interne belastning er slut. En endnu bedre rensning på rensningsanlæggene, mindre fosforudledning fra dambrug, spredt bebyggelse og regnvandsoverløb vil kun give en beskeden miljømæssig gevinst. Skal der ske en væsentlig forbedring i miljøtilstanden udover målsætningen for de fire søer, vil det være nødvendigt, at fosforbidraget fra de dyrkede jorde bliver reduceret. Kun da vil der være mulighed for, at der kommer undervandsplanter tilbage i de fire søer i et større omfang og forholdene i søerne dermed forbedres betydeligt.

EMNEORD : Søer, næringsstofbelastning, eutrofiering, alger.

FORMAT : A 4

SIDETAL : 55 +bilag

OPLAG : 200

FOTO : Lars Nygård

ISBN : 87-7295-408-6

TRYK : Århus Amts Trykkeri, April 1994.

TEKNISK RAPPORT

---

# HIMMELBJERGSØERNE 1992

FORURENINGSTILSTAND

---





---

# Indholdsfortegnelse

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Sammenfatning</b> .....   | <b>Side 3</b> |
| <b>Indledning</b> .....  | <b>9</b>      |
| <b>Beskrivelse af vandsystemet</b> .....                                   | <b>11</b>     |
| - historiske data.....   | 12            |
| - målsætning.....  | 12            |
| - badevandskvalitet.....   | 12            |
| <b>Gudenåen ved Rye Mølle</b> .....  | <b>15</b>     |
| - De kemiske forhold ved Rye Mølle.....                                    | 16            |
| <b>Vand- og stofbalance</b> .....  | <b>19</b>     |
| - vandbalance.....   | 19            |
| - stofbalance.....   | 20            |
| - kilder til stoftilførslen.....   | 23            |
| <b>Vandkemi i Himmelbjergsøerne</b> .....                                  | <b>27</b>     |
| - årstidsvariationen i overfladevandet i 1992.....                         | 27            |
| - forholdene i bundvandet.....   | 37            |
| - generel beskrivelse af udvilingen i søvandet<br>i Himmelbjergsøerne..... | 38            |
| <b>Alger</b> .....   | <b>43</b>     |
| - sæsonvariation.....  | 43            |
| - generel beskrivelse af algesammensætningen<br>i Himmelbjergsøerne.....   | 46            |
| <b>Nuværende og fremtidig tilstand</b> .....                               | <b>49</b>     |
| <b>Referencer</b> .....  | <b>53</b>     |
| <b>Bilagsoversigt</b> .....  | <b>55</b>     |

---



# Sammenfatning

Denne rapport indeholder en beskrivelse af miljøtilstanden i de fire Himmelbjergsøer Birk sø, Jul sø, Borre sø og Brassø.

Gudenåen løber igennem de fire søer og miljøet i såvel Gudenåen som søerne er blevet undersøgt i forskellige forbindelser talrige gange i de sidste 50 år.

I starten af halvfjerdserne blev den første større og systematiske undersøgelse igangsat - den såkaldte Gudenåundersøgelse. Siden har Århus Amt løbende foretaget undersøgelser i Gudenåen samt i Himmelbjergsøerne i 1980, 1985 og sidste gang i 1992, som er den undersøgelse, som danner hovedbaggrunden for nærværende rapport.

## Himmelbjergsøerne

De fire Himmelbjergsøer ligger i en dalsænkning mellem Ry og Silkeborg.

Søerne udgør et areal på omkring 940 ha. Det er kun Jul sø, der har et større areal med forholdsvis stor dybde. Gennemsnitsdybden i Jul sø er således 7,8 m, medens den er 4,9 og 4,6 m i Borre sø og Brassø. I Birk sø er gennemsnitsdybden så beskeden som 1,8 m.

Da Gudenåens store vandmængder strømmer igennem søerne, er vandets opholdstid ikke særlig stor. Ialt tog det i 1992 i gennemsnit knapt 2 måneder for vandet at løbe igennem de fire søer.

Når der strømmer meget vand til søerne, tilføres de naturligvis også mange næringsstoffer.

Der blev tilført 51 ton fosfor og 1290 ton kvælstof til Himmelbjergsøerne i 1992. Transporten via Gudenåen udgjorde henholdsvis 43 ton fosfor og 985 ton kvælstof og altså langt hovedparten af den samlede stofmængde.

Sammenlignes transporten i Gudenåen i 1992 med de foregående år, kan det ses, at der ikke er sket nogen entydig ændring i hverken fosfor- eller kvælstoftransporten i de seneste 5 år.

Sammenlignes situationen i 1992 med forholdene i starten af 1980'erne er der dog tale om et lavere niveau, hvorimod der skete en større transport af såvel fosfor som kvælstof i 1992 end omkring 1970.

Transporten af såvel kvælstof som fosfor er reguleret af vandmængden de forskellige år. Da de vandføringsvægtede koncentrationer ikke udelukkende varierer med afstrømningen, er vandmængden dog ikke den eneste regulerende faktor.

## Gudenåen

Forureningstilstanden i Gudenåen afhænger ikke i så stort omfang af næringssaltniveauet som indholdet af organisk stof.

I de seneste 10 - 15 år er der sket en reduktion i mængden af organisk stof i Gudenåen. Årsagen hertil er først og fremmest, at der er sket en bedre rensning på oplandets rensningsanlæg. Denne forbedring kan registreres i den øvre del af Gudenåen ovenfor Mossø.

Når der er mange næringssalte i Gudenå-systemets søer, er der også et unaturligt stort indhold af alger i søerne. Dette medfører, at der strømmer mange alger med Gudenåen og dermed er det organiske indhold i åvandet nedenfor Silkeborg pga. søernes algeproduktion højt. Der er derfor ikke sket nogen væsentlig ændring i forureningstilstanden i den nedre del af Gudenåen.

## Vand- og næringsstofbalance

Vandets gennemsnitlige opholdstid i Himmelbjergsøerne var i 1992 57 dage. Disse 57 dage fordelte sig med ca 1 dag i Birk sø, 44 dage i Jul sø, 8 dage i Borre sø og omkring 4 dage i Brassø.

Som nævnt blev der tilført omkring 1290 ton kvælstof til Himmelbjergsøerne i 1992. Ved vandets passage af søerne blev der fjernet 29 % af den tilførte kvælstofmængde, hvilket svarer til ca. 375 ton.

I sammenligning med andre søer er kvælstoffjernelsen beskeden, hvilket skyldes, at vandet har en lille opholdstid i søerne.

Kvælstofniveauet i Gudenåen er i øvrigt ikke særligt højt. I 1992 var den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration 3,3 mg N/l i gennemsnit. Det lave kvælstofindhold skyldes ikke, at kvælstoftilførslen er lille, men derimod at der er en stor kvælstoffjernelse i Gudenåsystemet.

Den kvælstof, som tilføres Gudenåen og som dermed også strømmer til Himmelbjergsøerne, stammer i overvejende grad fra de dyrkede jorde i Gudenåens opland. Det er beregnet, at der i 1992 kom mere end 800 ton kvælstof til Himmelbjergsøerne via afstrømning fra de dyrkede jorde.

Naturbidraget, som er den kvælstoftilførsel, der ville være til søerne, hvis oplandet lå hen i en naturtilstand, beløb sig til omkring 260 ton, medens den sidste bety-

dende kilde til kvælstoftilførslen var bidraget fra rensningsanlæggene i oplandet. I 1992 kom der knapt 80 ton herfra.

Fosfortilførslen til Himmelbjergsøerne er spredt ud på flere betydende kilder.

Det største enkeltbidrag kom som dyrkningsbetingede udvaskninger og beløb sig til omkring 15 ton i 1992. Dernæst er det anslået, at der i disse år frigives 5 - 10 ton fosfor om året fra sedimentet i de søer, der ligger længe oppe ad Gudenåen. Naturbidraget udgjorde knapt 13 ton, bidraget fra den spredte bebyggelse ca. 4 ton, rensningsanlæggene også omkring 4 ton og endeligt er det beregnet, at dambrugene i 1992 udledte 2,5 ton fosfor.

De faktiske udledninger af fosfor til Gudenåsystemet fra de enkelte kilder var større end her angivet. De nævnte værdier er den del af udledningen, som det er skønnet, når frem til Himmelbjergsøerne.

Alt i alt blev der tilført næsten 51 ton fosfor i 1992. Dette svarede til en gennemsnitlig vandføringsvægtet indløbskoncentration på ca. 130 µg P/l.

Indløbskoncentrationen i Gudenåen var dog i 1992 på omkring 145 µg P/l.

Hvor indholdet af kvælstof i åvandet lå på et relativt lavt niveau, kan det samme altså ikke siges om fosforniveauet. Pga. de mange søer i systemet ligger der meget fosfor på bunden af søerne, som stammer fra tidligere tiders udledning af dårligt rensset spildevand. Dette fosfor bliver i disse år frigivet i sommer- og efterårsperioden og derfor er der et meget højt fosforniveau i Gudenåens vand på dette tidspunkt af året.

Man kan derfor endnu ikke spore nogen ændring i fosforkoncentrationen i Gudenåen og dermed i hovedparten af det vand, der strømmer ind i Himmelbjergsøerne, når man ser på et årgennemsnit.

Betragter man koncentrationen i åen i forårsperioden, hvor processerne i søerne ikke i så høj grad påvirker åen, ses dog et mindre fald i fosforkoncentrationen.

De mange penge, der i de sidste 10 - 15 år er ofret på at lave fosforfjernelse på de større rensningsanlæg i oplandet, kan således kun spores i den første halvdel af året.

Når der frigives store mængder fosfor fra søernes muddere, taler man om, at søerne ikke er i ligevægt.

Det kan beregnes, at søer på størrelse med Himmelbjergsøerne og med den opholdstid, som vandet her har, ville have en teoretisk fosfortilbageholdelse på knapt 30 % af den tilførte mængde. I 1992 var der en tilbageholdelse på omkring 7 ton eller 14 % af den tilførte fosformængde.

Himmelbjergsøerne er altså ikke i ligevægt med den eksterne tilførsel.

### Tilstand og udvikling i Himmelbjergsøerne

Der har været en noget varierende fosfortransport til Gudenå-systemet igennem de sidste tyve år.

Ser man på hele perioden, har der ikke været nogen entydig udvikling og der er derfor heller ikke sket nogen væsentlige forbedringer i miljøtilstanden i de fire søer i den forgangne periode.

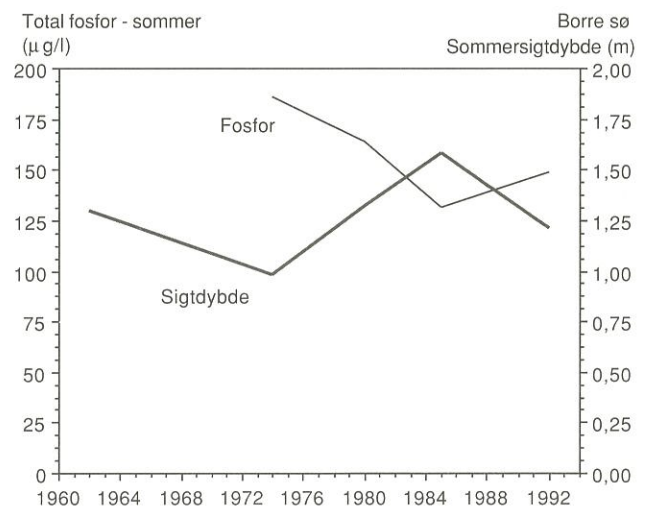
På figur 1 er udviklingen i fosforkoncentrationen og sigtddybden i Borre sø siden 1962 vist. Tilstanden i Jul sø og Brassø svarer til det billede, som beskrives for Borre sø. Årsagen til at Borre sø er valgt, er den enkle, at der her findes data også fra 1962.

Tilbage i begyndelsen af 1960'erne viste undersøgelser af sigtddybden og søernes undervandsvegetation, at søerne allerede på det tidspunkt var forurenet med næringssalte og udviklede sig i en negativ retning (Mathiesen, 1970).

I 1973-74 blev der i forbindelse med Gudenåundersøgelsen foretaget adskillige undersøgelser i Himmelbjergsøerne.

Fosforkoncentrationen i Borre sø var på det tidspunkt over 180 µg P/l og sigtddybden ca. 1 m. som en gennemsnitlig sommerværdi.

Tilstanden i Borre sø og også i de tre øvrige Himmelbjergsøer var således stærkt påvirket af de



Figur 1.

Den gennemsnitlige koncentration af fosfor og den gennemsnitlige sigtddybde i Borre sø i sommermånedene i måleårene fra 1962 til 1992.

1962 data fra Mathiesen (1970).



næringssalttilledninger, der var til Gudenåen.

I 1992 var der i sommerperioden en gennemsnitlig fosforkoncentration i Borre sø på 150 µg P/l og sigtddybden var i gennemsnit 1,2 m.

På figur 1 kan man se, at sigtddybden i 1985 var væsentligt større, end det ellers er målt i de sidste 30 år.

Når man ser bort fra den naturlige variation, der altid vil være i en sø fra år til år, kan der ikke spores nogen forbedring i tilstanden siden 1970'erne.

Der vil altid være nogen år til år variation i en sø og den større sigtddybde i '85 er ikke udtryk for, at Borre sø eller nogen af de andre Himmelbjergsøer permanent havde fået en forbedret tilstand, hvad 1992-undersøgelsen da også tydeligt viste.

I forårsperioden i 1992 var fosforkoncentrationen og algemængden på et niveau, der var lidt lavere end de målinger, som blev foretaget i 1980 og 1985. Betraget ud fra forårsperioden er der dermed sket en mindre forbedring af tilstanden.

Om sommeren og efteråret er sigtddybden derimod blevet mindre og algemængden er blevet større. Derfor er det generelle billede, hvis man kigger på året under et, stort set uændret.

Forholdene i Himmelbjergsøerne varierer som i enhver anden sø med årstiden.

Tager man Jul sø som et eksempel, var sigtddybden, som er et indirekte mål for hvor mange alger der er i søvandet, i vintermånederne mellem 2 og 3 m.

I takt med at dagene bliver længere og lysindstrålingen større, vokser mængden af alger i søen og sigtddybden falder. I marts og april var der en sigtddybde på ca. 1,5 m. Efter en kortvarig periode med bedre lysforhold i søen faldt sigtddybden yderligere i løbet af juli og i august og september blev den laveste sigtddybde i 1992 målt. På dette tidspunkt var der en sigtddybde på mindre end en meter.

Algemængden er primært styret af mængden af tilgængeligt fosfor i søvandet. Som følge af den frigivelse af fosfor, der sker fra mudderbunden, når ilten forsvinder sidst på sommeren, har fosforkoncentrationen på dette tidspunkt af året været stigende i de sidste 10 - 15 år.

Årsagen er, at frigivelsen af tidligere tiders tilførte fosfor har været stigende i perioden.

Algemængden styres altså i sommer og efterårsmånederne af fosforfrigivelsen fra sedimentet og derfor har der været en forøget algemængde i søerne i de seneste ti år på dette tidspunkt af året.

Der er ikke nogen væsentlig forskel i vandkvaliteten i de tre større søer Jul sø, Borre sø og Brassø. Derimod er der nogen forskel mellem disse tre søer og den lille og lavvandede Birk sø.

Birk sø er i praksis ikke meget mere end en udposning på Gudenåen. Derfor er vandkvaliteten stort set den samme i søen som i Gudenåen ovenfor Rye Mølle - altså i Gudensø og Rye Møllesø.

Fosforkoncentrationen er dermed noget højere end i de tre større søer.

Sigtddybden er tilsvarende en smule mindre, hvilket til dels skyldes, at der er mere fosfor i vandet, men også at søen er lavvandet og algerne dermed i kortere perioder befinder sig på vanddybder, hvor de mangler lys. Endelig er ophvirvlingen af sediment, når det blæser, større her end i en dyb sø, hvilket også påvirker sigtddybden i en negativ retning.

Jul sø er den største og den dybeste af de fire søer. Det er her de laveste fosforkoncentrationer og algemængder findes.

Vandet opholder sig længere tid i Jul sø. Derfor vil den største fosforfjernelse ske her, hvilket vil reducere koncentrationen af fosfor i søvandet.

Modsat Birk sø vil algerne i en forholdsvis stor del af tiden befinde sig på dybere vand med mindre lys, hvilket forringer deres levevilkår.

Der er dermed knapt så fordelagtige vilkår for algerne her, hvorfor der ikke er helt så mange alger i Jul sø som i Birk sø.

Borre sø og Brassø er begge middeldybe søer. I 1992 var der af flere forskellige årsager en meget lille fosfortilbageholdelse i forhold til fosfortilførslen.

Endvidere var der også flere alger i disse to søer end i Jul sø.

Generelt må det dog slås fast, at der ikke er væsentlige forskelle i miljøtilstanden i de tre større søer Jul sø, Borre sø og Brassø.

De algearter, der findes i de fire Himmelbjergsøer, er typiske for forurenede søer i Danmark.

I foråret dominerer den type alger, der kaldes kiselalger. Kiselalger er små alger, der typisk findes, når vandet er relativt koldt og i søer, hvor vandet kun opholder sig i et begrænset tidsrum.

I løbet af juni blev algemængden reduceret kraftigt. Dette ses ofte i danske søer og i f.eks. Jul sø blev der i juni registreret en sigtddybde på over 3 m.



Denne store sigtddybde blev imidlertid hurtigt reduceret. I august og september var der således en sigtddybde på under en meter.

Årsagen hertil var, at der i lighed med de tidligere år var en kraftig opvækst af blågrønalger i sensommeren.

Blågrønalger samler sig i overfladen, hvor de kan optræde i så store mængder, at vandet bliver farvet grønt eller turkis og får konsistens som maling.

Dette forringer naturligvis muligheden for at bade. Men samtidigt kan disse blågrønalger udskille giftstoffer, når de er skyllet sammen langs bredder og i vige.

Det frarådes derfor, at man bader i søvand, hvor der er mange blågrønalger.

Årsagen til, at der kommer mange blågrønalger bl.a. i Himmelbjergsøerne, er først og fremmest at fosforniveauet er for højt.

Mange blågrønalger kan optage kvælstof fra atmosfæren og foretrækker i øvrigt varmt og roligt vejr. Derfor er de i stand til at udkonkurrere andre algearter i de perioder af året, hvor fosforniveauet er højt og hvor der samtidigt er en begrænset mængde kvælstof i vandet. Hvad der netop er tilfældet i sensommeren.

Da blågrønalgerne som nævnt er afhængig af roligt vand, er det specielt i de tre store søer, man ser problemet. I Birk sø, hvor vandet strømmer hurtigt igennem, er der ikke særligt mange blågrønalger, selvom fosforniveauet er størst her.

Derimod er der mange kiselalger, som bedre kan leve, hvor vandet ikke står stille.

Der er ingen undervandsplanter i nogen af Himmelbjergsøerne. Da søerne blev undersøgt i starten af 1960'erne, var vegetationen allerede på tilbageslag og 10 år senere ved Gudenåundersøgelsen i 1973 og 74 blev der stort set ikke fundet nogen undervandsplanter i de fire Himmelbjergsøer.

Det er den store algemængde, der er skyld i planternes forsvinden. Når der er mange alger i vandet, kan lyset nemlig ikke trænge ned på bunden til vandplanterne.

### Fremtidig tilstand

Det er nævnt, at der i juli, august og september sker en frigivelse af fosfor fra bunden af de fire søer. Da et højt indhold af fosfor i søvandet bærer hovedansvaret for den dårlige miljøtilstand i søerne, giver denne fosforfrigivelse problemer for søerne.

Fosforkoncentrationen i det vand, der løber til søerne, er også stadigt større end søerne kan "tåle". Alt i alt resulterer dette i, at søerne i dag befinder sig i en tilstand hvor :

der er mange alger i vandet,  
vandet derfor er meget grumset,  
undervandsplanterne er forsvundet,  
rovfisk som jager vha. synet har fået forringet  
deres levevilkår,  
iltforholdene på det dybere vand i sommerperi-  
oden ikke er så gode  
og der derfor ikke længere er et varieret dyreliv  
i og på bunden af søerne.

Med de tiltag der er gjort i oplandet, vil fosforfrigivelsen fra sedimentet såvel i de fire Himmelbjergsøer som i søerne længere oppe ad Gudenåen langsomt aftage.

Dette vil medføre, at fosforkoncentrationen i søvandet i efterårsperioden vil blive mindre, end den er i dag. Dermed vil der ske en reduktion i mængden af alger i efterårsperioden - altså først og fremmest færre blågrønalger.

Når søerne har opnået en ligevægt med fosfortilførslen, vil Recipientkvalitetsplanens målsætning, som lyder på en gennemsnitlig sommersigtddybde på 1,8 m i Jul sø og 1,4 m i Borre sø og Brassø, være opfyldt. Dermed vil forudsætningerne for, at Himmelbjergsøerne kommer ind i en miljømæssig god cirkel være til stede.

Fosforniveauet betragtet over hele året vil dog stadig være så højt, at søerne vil være væsentligt påvirket.

Det vil derfor sandsynligvis ikke være muligt for undervandsplanter at indvandre i et større omfang.

Skal en etablering af undervandsvegetation i større områder af de fire søer være mulig og en generel ændring af søernes tilstand i øvrigt finde sted, er det nødvendigt, at der sker en yderligere reduktion i mængden af tilført fosfor.

Som det allerede er nævnt, er det afstrømningen fra de dyrkede jorde, der bidrager med den største mængde fosfor. Det er derfor først og fremmest herfra, en reduktion i tilførslen af fosfor vil være effektiv overfor miljøtilstanden i søerne.

Naturligvis vil det være til gavn for miljøet, om der også sker en så stor reduktion af fosfortilførslen fra dambrug, regnvandsoverløb og spredt bebyggelse som muligt.

Der er i rapporten opstillet forskellige eksempler på tiltag i Himmelbjergsøernes opland og disses konsekvenser for søtilstanden.

De tiltag, der allerede er gjort i oplandet, vil sandsynligvis sikre, at målsætningen for de fire søer vil blive opfyldt på det tidspunkt, hvor søerne i Gudenåsystemet er kommet i ligevægt. Hvilket desværre vil tage adskilli-



ge år.

Med en halvering af 1992-tilførslen fra dambrugene, regnvandsoverløbene og den spredte bebyggelse samt en effektivisering af rensningen på rensningsanlæggene fra 95 til 98 % fosforfjernelse vil der kun ske en beskedent forbedring af forureningstilstanden i forhold til den tilstand, der kan forventes med de nuværende eksterne fosfortilførsler.

Den store ændring i søerne sker først, når også bidraget fra de dyrkede jorde reduceres med 50 % i forhold til 1992-niveauet. I en sådan situation kan det forventes, at sigtdybden i Jul sø bliver omkring 2,4 m og i Borre sø 2 m i sommerperioden.

Tilstanden i søerne ændres i takt med at den overskudsfosfor, der ligger på bunden, udvaskes. Her er det en fordel, at søerne gennemstrømmes så ofte som tilfældet er. Dermed udvaskes fosforpuljen hurtigere og dermed belastes systemet i kortere tid.

Men det kan altså ikke forventes, at søernes tilstand ændres markant fra det ene år til det næste også selvom der sker en yderligere reduktion i fosfortilførslerne.

Det skal endvidere understreges, at uanset hvilke tiltag, der bliver gjort, vil søerne altid være påvirket af menneskelig aktivitet og miljøet vil altid være et andet, end det man kan finde i f.eks. Slåen sø eller Almind sø.

Der vil således altid være en opblomstring af blågrøn-alger i sensommeren, men de mængder, man i dag ser langs med bredden i august og september, vil ikke forekomme.

Ved opfyldelse af søernes målsætning vil forholdene blive bedre, end de er i dag.

Der kan dog ikke herske tvivl om, at søerne med en endnu mindre fosfortilførsel og dermed en endnu bedre vandkvalitet end angivet i Recipientkvalitetsplanen vil få en væsentlig større rekreativ værdi og blive et endnu større aktiv for Midtjylland, end de ellers vil få og i øvrigt har i dag.





# Indledning

Natur- og Miljøkontoret fører tilsyn med forureningstilstanden i amtets vandområder.

Som et led i dette tilsyn blev der i 1992 gennemført en undersøgelse af vandkvaliteten i Himmelbjergsøerne Birk sø, Jul sø, Borre sø og Brassø.

Ligeledes blev vand- og stoftransporten målt i Gudenåen ved Rye Mølle og i Silkeborg, hvorved tilførslen og fraførslen af vand og næringsstoffer kunne registreres.

Knud å løber til Birk sø lige nord for Ry. Herigennem løber vandet fra Ravn sø og Knud sø til Gudenåen. Vand- og stoftransporten fra Knud å er beregnet ud fra målinger i 1992 i Knud å ovenfor Knud sø sammenholdt med målinger fra Knud sø i 1990.

Der er foruden Knud å og Gudenåen en række mindre tilløb til de fire søer. Vand- og stoftransporten herfra er beregnet sammen med det øvrige opland imellem Ry og Silkeborg.

I de mindre tilløb er der målt såvel vand- som stoftransport i tidligere år og disse målinger er anvendt som en kontrol af de nævnte beregninger.

Undersøgelserne er i vidt omfang foretaget efter retningslinierne anvist i Vandmiljøplanens landsdækkende overvågningsprogram.

Der er også tidligere i forskellige forbindelser foretaget

undersøgelser i Himmelbjergsøerne.

Egentlige undersøgelser af forureningstilstanden skete første gang i starten af 1960'erne. Siden blev den såkaldte Gudenåundersøgelse, som også omfattede søundersøgelser, foretaget i begyndelsen af halvfjerdserne og slutteligt har Århus Amt foretaget undersøgelser i de fire søer i 1980 og i 1985.

Uanset der ikke tidligere er blevet taget prøver med samme hyppighed som i 1992, vil 1992-undersøgelsen så vidt muligt blive søgt sammenlignet med alle de tidligere undersøgelser.

Formålet med undersøgelserne har været at finde ud af, om forureningstilstanden i Himmelbjergsøerne har ændret sig siden midten af firserne og om de store beløb, som er investeret i søernes opland på i første række spildevandsrensning, er ved at give resultat.

Resultaterne fra de tidligere års undersøgelser kan findes i de tidligere publicerede rapporter fra søerne (jvf. referenceliste).





## Beskrivelse af vandsystemet

Himmelbjergsøerne Birk sø, Jul sø, Borre sø og Brassø ligger i det Midtjyske Søhøjland i en dalsænkning mellem Ry og Silkeborg.

Dalen har allerede eksisteret før den sidste istid (Århus Amt, 1981). Under isens afsmeltning har smeltevandet løbet igennem dalen og dels gjort den bredere dels aflejret store mængder smeltevandssand bl.a. omkring Silkeborg.

I dag ligger Himmelbjergsøerne som perler på en snor og gennemstrømmes af Gudenåen. Søerne har derfor en forholdsvis lille opholdstid og stoftransporten igennem søerne er stor.

Miljøet i søerne er således kraftigt domineret af Gudenåen.

Imellem Rye Mølle og Mossø er Gudenåen pga. opstemningen ikke meget å. Tættest på møllen ligger Rye Mølle-sø og lidt længere oppe imod Mossø ligger Gudensø.

Den store vandmængde, der strømmer igennem disse vandområder gør, at der heller ikke er meget sø her og alt i alt må Gudensø og Rye Mølle-sø betegnes som udposninger på Gudenåen, der medfører, at åen mellem Mossø og Rye Mølle nærmest har karakter af en langsomt flydende flod.

I tabel 1 er anført morfometriske og hydrauliske data for søerne.

### Birk sø

Birk sø ligger umiddelbart vest for Ry og er altså den første af de fire Himmelbjergsøer vandet fra Gudenåen strømmer igennem. Søen er en lavvandet og ikke særlig stor sø. Vandets opholdstid i søen er derfor meget kort (ca. 2 dage).

Foruden Gudenå-vand tilføres søen også vand fra Knud å,

der afvander et 75 km<sup>2</sup> stort areal øst for Ry, hvor bl.a. Ravn sø og Knud sø ligger.

### Jul sø

Fra afløbet af Birk sø er der ca. 1 km til Jul sø, som er den næste i rækken af søer.

Det er den største og dybeste af de fire søer. Som man kan se af dybdekortet (bilag 8), er der talrige grunde i søen. Den største dybde findes mellem Himmelbjerget og Møgelø og er på ca. 17 meter. Gennemsnitsdybden er 7,8 m.

Da Jul sø er orienteret øst-vest, er søen temmeligt vindeksponeret og er kun i et begrænset omfang lagdelt i de tre sommermåneder.

### Borre sø

Efter Jul sø i retning mod Silkeborg ligger Borre sø. Borre sø er noget mindre end Jul sø. Den største dybde findes udfor Borre ø (ca. 15 m), men da den dybeste del kun rækker over et beskedent areal, er gennemsnitsdybden ca. 5 m.

Søen er så at sige delt op i to dele - en relativt dyb del, som Gudenåen gennemstrømmer og en noget mere fladvandet del med en række småøer (Paradisøerne). Til denne del af søen strømmer Gravbækken, som bl.a. afvander Thorsø.

Selvom der ud fra dybdeforholdene kunne være en lagdeling i den dybeste del af søen, er dette ikke tilfældet, hvilket sandsynligvis skyldes søens beliggenhed som en øst-vest vendt sø.

Borre sø tilføres endvidere vand fra den rene Slåen sø, som ligger umiddelbart syd for Borre sø, igennem Milings bæk.

**Tabel 1.**

**Morfometriske data for de fire Himmelbjergsøer.**

|                   |                                | Birk sø | Jul sø | Borre sø | Brassø |
|-------------------|--------------------------------|---------|--------|----------|--------|
| Oplandsareal      | km <sup>2</sup>                | 892     | 899    | 932      | 964    |
| Søens areal       | ha                             | 67      | 565    | 195      | 114    |
| Gns. dybde        | m                              | 1,8     | 7,8    | 4,9      | 4,6    |
| Max. dybde        | m                              | 2,4     | 17,5   | 15,0     | 14,1   |
| Volumen           | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1,21    | 43,80  | 9,47     | 5,26   |
| Opholdstid (1992) | døgn                           | 1       | 44     | 8        | 4      |

### Brassø

Brassø er den sidste sø i rækken af Himmelbjergsøer og endnu mindre end Borre sø. Dybdeforholdene er nogenlunde de samme som i Borre sø.

Det er naturligvis den samme store vandmængde, som strømmer igennem her. Ikke desto mindre er der, ihvertfald i 1992, registreret en temmelig stabil lagdeling i den dybe del af søen. Årsagen hertil skal sandsynligvis findes i, at de større dybder i Brassø findes forholdsvis tæt på land ved den sydlige bred, hvor der er nogen læ fra den omgivende skov.

Brassø tilføres vand fra Almind sø igennem Vejlsø, som er en afsnøring af Brassø. Ligeledes har Brassø forbindelse til Aun sø.

Forholdene i såvel Vejlsø som Aun sø påvirkes i stort omfang af tilstanden i Brassø, idet vandet herfra ofte strømmer ind i de to mindre søer.

### Historiske data

Tilbage i tiden blev Gudenåen primært brugt som transportvej samt som energileverandør via de mange vandmøller, der lå langs med åen. I de sidste hundrede år har befolkningstilvækst og industrialisering medført, at Gudenåen nu primært anvendes til rekreative formål. Med indførelse af fælleskloakering i oplandet er Gudenåen tillige i stadigt højere grad blevet brugt som recipient for spildevand.

Pga. det store opland, som er til de fire søer, og de mange mennesker, som bor her, har søerne således forholdsvis tidligt fået tilført spildevand.

Konsekvensen har været, at algemængden i søerne langs med Gudenåen er blevet voldsomt forøget med dårlige forhold i såvel søerne som i Gudenåen nedenfor Silkeborg til følge.

Derfor blev der i 1973 - 75 igangsat en større Gudenåundersøgelse i et samarbejde mellem Vejle -, Viborg - og Århus Amt. I forlængelse af undersøgelserne blev der nedsat en følgegruppe - Gudenåkomiteen - som skulle rådgive og koordinere indsatsen mod forureningen i Gudenåsystemet i de tre amter. Gudenåkomiteen eksisterer endnu og det arbejde der gøres i de tre amter, sker derfor fortsat som en koordineret indsats.

Efter Gudenåundersøgelsen blev afsluttet, har Århus Amt foretaget undersøgelser i de fire Himmelbjergsøer. Således er Birk sø og Brassø blevet undersøgt i 1980 og Jul sø og Borre sø er blevet undersøgt i 1980 og 1985.

Sammen med undersøgelser, som er foretaget i forskellige sammenhænge før 1970'erne, eksisterer der derfor med 1992-undersøgelsen et godt materiale for at bedømme den

udvikling, som er sket i de fire søer.

### Målsætning

Alle fire Himmelbjergsøer er i Århus Amts Recipientkvalitetsplan målsat med en lempet målsætning men dog som søer, der skal have badevandskvalitet.

Søerne har en lempet målsætning og tillades dermed at være væsentligt påvirket af spildevandsudledninger fra kloakerede områder. Dette er sket i erkendelse af, at det ikke vil være muligt at undgå en større menneskeskabt påvirkning i betragtning af søernes store opland og de mange mennesker, som bor i oplandet.

Generelt har søer, hvor fosfortilførslen via spildevand er større end 25 % af den naturlige fosfortilførsel, en lempet målsætning (C-målsætning). For Himmelbjergsøernes vedkommende overskrides denne grænse, selvom der er etableret fosforfjernelse på alle større rensningsanlæg i søernes opland.

I Recipientkvalitetsplanens målsætning for de fire søer er der ikke opstillet en egentlig kvote for tilførslen af fosfor fra de kloakerede områder. I stedet er der henvist til Gudenåkomiteens beslutning om, at alle rensningsanlæg med en kapacitet større end 500 PE (personækvivalenter) skal fjerne minimum 90 % fosfor og at anlæg med en kapacitet på 200-500 PE skal have en fosforfjernelse på 85 %.

### Badevandskvalitet

Alle 4 søer anvendes til badning. De er derfor målsat som badevandssøer (A2). Der er ialt 7 faste stationer for badevandskontrol. I Brassø er placeret 4 stationer og i Jul sø er der 3 stationer.

Der udtages i almindelighed 6 eller 10 prøver i løbet af badesæsonen.

Kravene til bakteriologisk badevandskvalitet har været overholdt i 10 årsperioden 1983 - 1993.

Derimod er der ofte et problem i de fire søer i sensommeren og efteråret, fordi der er for mange blågrønner i vandet. Dels fordi det ikke umiddelbart indbyder til badning, når der ligger et tykt malingagtigt lag af alger i vandkanten og dels fordi disse blågrønner kan udskille giftstoffer, som hverken dyr eller mennesker bør indtage.

Algemængden og algesammensætningen i Himmelbjergsøerne forringer således badevandskvaliteten i juli, august og september.





Figur 2.  
Kort over det Midtjyske Søhøjland fra Ry til Silkeborg .





## Gudenåen ved Rye Mølle

Der er målt vandføring og udtaget vandprøver til kemisk bestemmelse ved Rye Mølle siden 1973. Der eksisterer derfor et godt materiale til at bedømme udviklingen i Gudenåen igennem de sidste tyve år på dette sted.

Det er ikke de samme ting, som er afgørende for tilstanden i søer og vandløb. I søerne spiller næringssaltniveauet en afgørende rolle.

I vandløb og således også i Gudenåen er næringssaltene ikke uden betydning, men første og fremmest er det indholdet af organisk stof, som er vigtig for forureningstilstanden.

Da Gudenåen får tilført store spildevandsmængder, er der tidligere udledt store mængder organisk stof fra byerne i oplandet. Denne udledning er nu reduceret betydeligt og derfor er indholdet af organisk stof i Gudenåen også blevet mindre.

Der vil fra naturens hånd altid være et forholdsvis stort indhold af organisk stof i form af levende og døde alger i Gudenåen, fordi åen løber igennem adskillige søer, hvor der sker en opvækst af alger.

Da søerne har et forhøjet indhold af alger pga. næringsaltforurening, er Gudenåen i de seneste årtier

ekstra påvirket af søernes algeproduktion.

Indholdet af organisk stof i Gudenåen nedenfor søerne stammer således hovedsagligt fra en unaturlig høj produktion af alger i Gudenå-systemets søer.

Det vand, som er i søerne vil være varmere end normalt åvand. Dermed er vandtemperaturen i Gudenåen nedenfor Silkeborg højere end i et vandløb, som ikke gennemløber nogen søer.

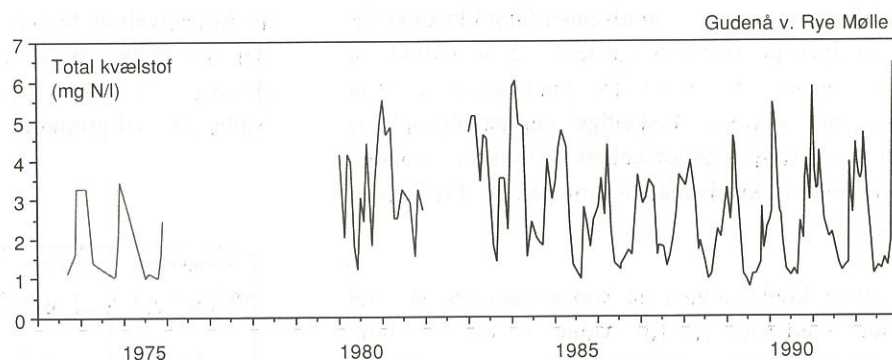
Den store mængde af organisk stof, som altså til dels er et naturligt fænomen, og den højere vandtemperatur har en stor betydning for forholdene i Gudenåen.

Derfor er forholdene for vandløbsfaunaen nogle andre her end i andre vandløb, der ikke har forbindelse til en sø.

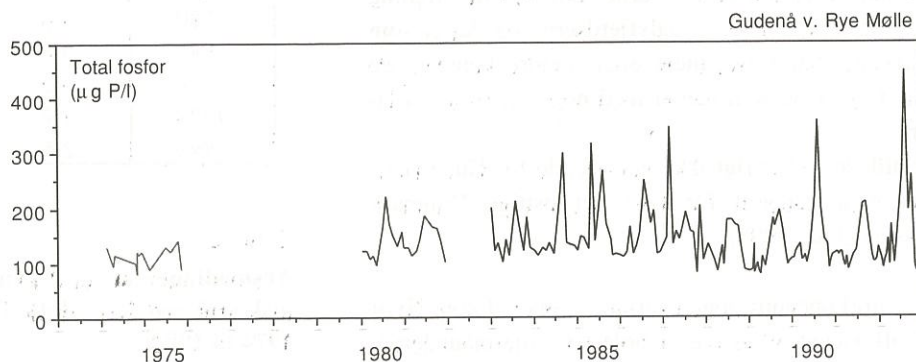
Forureningstilstanden i vandløb registreres ud fra vandløbsfaunaen vha. det såkaldte saprobieindeks.

Århus Amt har i 1991 - 93 gennemført saprobieundersøgelser af alle større og mindre vandløb i den del af den sydlige del af Gudenåens opland, der ligger i Århus Amt. Resultaterne herfra kan læses i rapporten "Forureningstilstand og smådyrsfauna i Gudenå syd, 1993".

**Figur 3.**  
Koncentrationen af total kvælstof i Gudenåen ved Rye Mølle i årene fra 1973 til 1992.

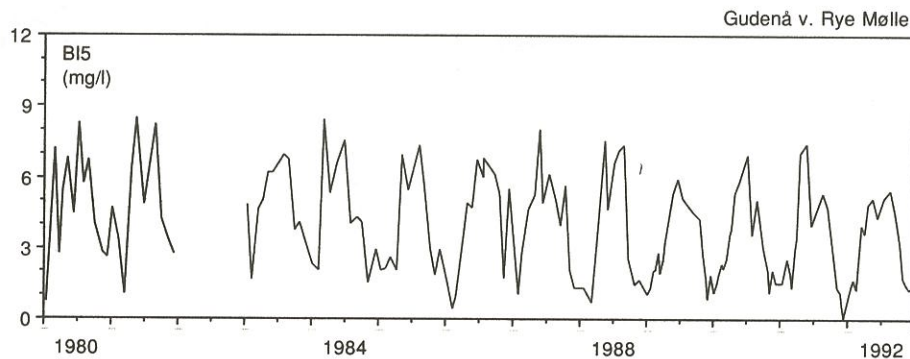


**Figur 4.**  
Koncentrationen af total fosfor i Gudenåen ved Rye Mølle i årene fra 1973 til 1992.



Figur 5.

Indholdet af organisk stof i Gudenåen ved Rye Mølle i årene fra 1973 til 1992.



### De kemiske forhold ved Rye Mølle

På figur 3 og 4 er kvælstof- og fosfor koncentrationen i Gudenåens vand ved Rye Mølle for de sidste tyve år præsenteret.

Hvad angår kvælstofindholdet, kan man se, at der for det første er en variation over året med de største koncentrationer i vinterhalvåret, hvor afstrømningen er størst. Kvælstofkoncentrationen svinger fra omkring 1 mg N/l i sommermånederne til ca. 5 mg N/l ved de kraftigste afstrømninger.

Dernæst fremgår det, at kvælstofniveauet i Gudenåen ihvertfald ikke er blevet mindre igennem de sidste tyve år.

I starten af halvfjerdserne var der et kvælstofniveau i åen på omkring 1,5 mg total kvælstof som en årsmedian (tabel 2). Denne årsmedian var steget til omkring 3,0 mg N/l i 1980.

Umiddelbart ser det ud til, at niveauet faldt i løbet af firserne for igen at stige i de sidste 4 - 5 år. I 1992 var årsmedianen på 2,6 mg N/l. Det vurderes, at år til år variationerne skyldes forskellige nedbørsforhold og vejrforhold i øvrigt i de forskellige år fremfor en egentlig ændring i kvælstofafstrømningen i Gudenåens opland.

Alt i alt er konklusionen, at koncentrationen af total kvælstof i Gudenåen ved Rye Mølle er steget i forhold til niveauet i starten af 1970'erne. Den største stigning skete imidlertid i løbet af halvfjerdserne og det er som om niveauet har været mere eller mindre konstant de seneste ti år. Dog som nævnt med nogle år til år variationer.

Dette billede er i øvrigt ikke enestående for Gudenåens opland men generelt for hele det østlige Danmark (Svendsen et al., 1993).

Også fosforkoncentrationen varierer i løbet af året. Hvor kvælstofkoncentrationerne er højest i vintermånederne,

ser man de største fosforkoncentrationer i Gudenåen i september og oktober, hvor der er målt fosforkoncentrationer på over 300 µg P/l. Årsagen hertil er den fosforfrigivelse, der sker i de mange søer langs med åen. Denne frigivelse finder sted i sensommeren og det tidlige efterår og derfor hæves fosforniveauet i Gudenåen umiddelbart herefter.

Som man kan se, har fosforniveauet i vinter og forårsperioden ikke ændret sig væsentligt siden 1973. På dette tidspunkt af året er der mindst fosfor i åvandet og koncentrationen har siden 1973 ligget omkring 100 µg P/l. Man kan med andre ord ikke se, at der er investeret store summer på rensningsanlæg i oplandet, hvad angår fosforniveauet.

Tværtimod ser det ud til, at koncentrationen af fosfor i efteråret har været stigende de senere år.

Da fosforniveauet på dette tidspunkt af året reguleres af fosforfrigivelsen fra søernes sediment, betyder det, at der øjensynligt har været en stigende fosforfrigivelse fra de søer, som ligger længere oppe ad Gudenåen end Rye Mølle. Det vil primært sige Vestbirksøerne i Vejle Amt,

| Årsmedianer ved Rye Mølle | Kvælstof (mg N/l) | Fosfor (mg P/l) | BI5 (mg/l) |
|---------------------------|-------------------|-----------------|------------|
| 1974                      | 1,3               | 111             |            |
| 1980                      | 3,0               | 135             | 5,0        |
| 1983                      | 3,6               | 136             | 4,8        |
| 1986                      | 2,0               | 138             | 4,8        |
| 1989                      | 1,9               | 105             | 3,7        |
| 1992                      | 2,6               | 127             | 3,8        |

Tabel 2.

Årsmedianer af total kvælstof, total fosfor og organisk stof ved Rye Mølle i udvalgte år i perioden fra 1974 til 1992.



Salten Langsø, Mossø, Gudensø og Rye Møllesø.

Som nævnt spiller det organiske stof en afgørende rolle for tilstanden i vandløb.

I Gudenåen er der et væsentligt større indhold af organisk stof i sommer- og efterårsmånederne end i vinterhalvåret (figur 5). Som allerede beskrevet skyldes det, at der sker en opvækst af alger i Gudenåsystemets søer i sommerperioden.

Ud fra figur 2 og tabel 2 fremgår det, at der er sket en lille reduktion i indholdet af det organiske stof i Gudenåen siden 1980. Fra 1973 til 1980 har der imodsætning til næringssaltene været tale om et stort set konstant niveau.

Ser man på årsmedianerne for BI<sub>5</sub>-indholdet, var medianen i 1980 på 5,0 mg/l, medens den i 1992 var reduceret til 3,8 mg/l (tabel 2).

Medianen angiver den værdi, hvor halvdelen af målingerne er større og halvdelen af målingerne er mindre end den pågældende værdi. Derved vil eventuelle meget høje (eller meget lave værdier) ikke få den store indflydelse på den præsenterede værdi og derfor giver medianen et mere reelt billede end et års- eller sommergennemsnit.

Der er sket en reduktion i tilførslen af organisk stof til Gudenåen i de senere år.

Ved målinger i Gudenåen opstrøms Mossø, kan denne reduktionen i tilledningen af organisk stof registreres i betydelige reduktioner i indholdet af organisk stof i åvandet.

Der er imidlertid ikke sket nogen væsentlig reduktion i indholdet af organisk stof i Gudenåen ved Rye Mølle (figur 5). Årsagen til den manglende effekt her af reduktionen i udledningen af organisk stof er en produktion af alger i søerne opstrøms møllen.

Det vil være sandsynligt, at indholdet af organisk stof i Gudenåen, når næringsstofniveau og produktion i søerne bliver mindre, med tiden da også vil blive redu-

ceret og at forureningstilstanden nedstrøms Silkeborg dermed vil blive forbedret.

Vedrørende forholdene i Gudenåen ved Rye Mølle kan det konkluderes, at :

- *hvad angår det organiske stof, kan effekten af de store investeringer i rensningsanlæg, der er gjort i Gudenåens opland kun svagt spores, fordi der sker en stor opvækst af alger i de opstrømsliggende søer*
- *der er en tendens til, at kvælstofniveauet har været stigende igennem 1970'erne, men at der i øvrigt er et beskedent indhold af kvælstof i Gudenåen pga. en stor kvælstoffjernelse i såvel åen som i de tilknyttede søer.*
- *fosforkoncentrationen er meget svingende over året. I vintermånederne har niveauet ligget nogenlunde stabilt omkring 100 µg P/l siden 1973. I efteråret er der en tendens til stigende koncentrationer (i 1992 blev der målt et total fosforkoncentration på over 400 µg P/l i september). De højere koncentrationer i efteråret tyder på, at fosforfrigivelsen fra Gudenå-systemets søer har været stigende.*

Gudenåen nedstrøms Silkeborg :

- *vandløbsfaunaen i Gudenåen nedstrøms Silkeborg er påvirket af store mængder organisk stof, der stammer fra den algeopblomstring, der sker i systemets mange søer.*
- *de mange søer også medfører, at vandtemperaturer i åen er forholdsvis høj, hvilket skaber andre forhold for vandløbsfaunaen end i et vandløb, som ikke er forbundet med nogen søer.*





## Vand- og stofbalance

Vandtransporten til og fra Himmelbjergsøerne er beregnet ud fra tidligere års målinger af vandføringen ved henholdsvis Rye Mølle og i Remstrup å (Gudenåen ved Silkeborg). Disse vandføringer er sammenholdt med en kontinuert måling af vandføringen i 1992 ved Tvilum bro, som er en station længere nede af Gudenåen. Ved Q-Q regression er fremkommet en beregnet vandføring ved Rye Mølle (indløbet til Birk sø) og i Remstrup å (afløbet fra Brassø).

Til beregning af stoftransporten i systemet er der taget vandprøver ved Rye Mølle og i Remstrup å 18 gange i løbet af 1992.

Se i øvrigt bilag for en mere udførlig beskrivelse af vand- og stoftransportberegningerne.

### Vandbalance

Gudenåen bidrager på årsbasis med omkring 75 % af den vandmængde, som strømmer igennem Himmelbjergsøerne.

Udover Gudenåen er de største enkelttilførsler Knud å, som afvander et 75 km<sup>2</sup> stort område omkring Ravn- og Knud sø, Gravbækken, som løber til Borre sø med vand fra bl.a. Thorsø og Kærsmøllebæk, der strømmer til Jul sø fra nord. Derudover er der en række mindre vandløb, der løber til Himmelbjergsøerne, bl.a. føres vandet fra de rene søer Slåen sø og Almind sø til systemet. Endelig sker der en diffus afstrømning fra oplandet.

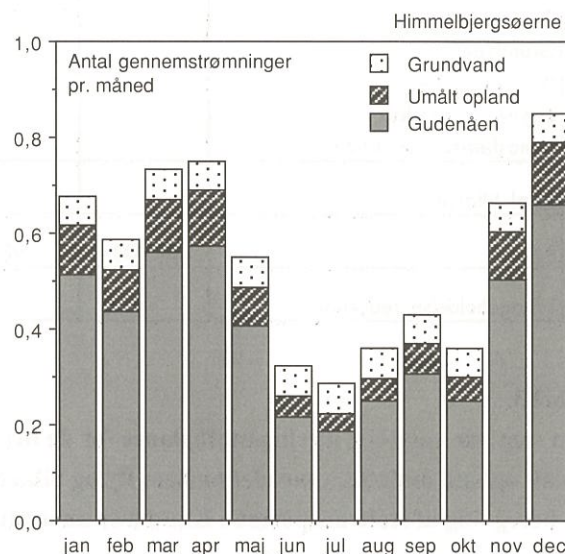
Afstrømningen fra Ravn sø og Knud sø, hvilket vil sige oplandet til Knud å, er i rapporten beregnet separat ud fra vandføringsmålinger i Knud å opstrøms Knud sø i 1990 og 1992.

Ved udregning af vandbalancen for Himmelbjergsøerne er der endvidere beregnet et grundvandsbidrag til søerne. Dette bidrag er fremkommet som differencen mellem den samlede vandtilførsel og vandføringen i afløbet - altså Remstrup å i Silkeborg.

Det beregnede grundvandsbidrag udgør 13 % af den samlede vandtilførsel til søerne i 1992.

Grundvandsbidraget skal betragtes med en vis forsigtighed, fordi det er her, usikkerhederne på beregningerne slår igennem og det er da også sandsynligt, at den beregnede grundvandsbidrag er overestimeret.

Nedbøren i det Midtjyske Søhøjland er større end gennemsnittet i Danmark. Derfor er vandtilførslen pr km<sup>2</sup>



Figur 6.

Antallet af vandudskiftninger i de fire Himmelbjergsøer pr. måned i 1992.

F.eks. blev omkring en tredjedel af det vand, der var i søerne i juni måned, udskiftet.

fra det umålte opland mellem Ry og Silkeborg antaget at være lidt større end den, som er beregnet ovenfor Ry.

I beregningerne er det endvidere antaget, at fordampningen er mindre end den nedbør, der falder på søerne.

Den værdi, der er givet i tabellen, er differencen mellem nedbør og fordampning for alle fire søer. Det er antaget, at der i 1992 var en difference mellem nedbør og fordampning på 1,2 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> pr. ha søoverflade (Fyns Amt, 1993).

På figur 6 kan det ses, at der er en stor vandtilførsel til søerne gennem hele året. Selv i den tørreste del af året var der således en total udskiftning af søernes vand i løbet af de tre sommermåneder.

Der er dog også en betydelig variation over året. Vandtilførslen i december, som var den måned, hvor vandføringen var størst, var således omkring 3 gange så stor som juli.

Det er ikke ligegyldigt, hvor lang tid vandet opholder sig i en sø.

Jo længere vandets opholdstid er, desto større mulighed vil der være for, at den fosfor, som er i søvandet, bindes

| Fra Ry til Silkeborg      | Stationsnr. | Opland (km <sup>2</sup> ) | Årsvandføring (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | Total kvælstof (t N/år) | Total fosfor (t P/år) | Orthofosfat (t P/år) |     |
|---------------------------|-------------|---------------------------|---|-------------------------|-----------------------|----------------------|-----|
| Gudenå/Rye Mølle          | 90267       | 817                       | 295   | 984                     | 43,2                  | 11,8                 |     |
| Umålt opland              |             | 88                        | 40  | 160                     | 2,6                   | 1,2                  |     |
| Opland til Knud å         |             | 75                        | 15  | 68                      | 0,9                   | 0,4                  |     |
| Grundvand                 |             |                           |   | 45                      | 45                    | 2,9                  | 1,3 |
| Rensningsanlæg            |             |                           |   |                         | 13                    | 0,4                  |     |
| Regnvandsoverløb          |             |                           |   |                         | 2                     | 0,5                  |     |
| Atmosfærisk deposition    |             |                           |   | 4                       | 19                    | 0,2                  |     |
| Total tilførsel           |             |                           | 399   | 1.291                   | 50,7                  | 14,7                 |     |
| Afløb                     | 90303       | 980                       | 399   | 915                     | 43,4                  | 15,7                 |     |
| Tilbageholdelse/reduktion |             |                           |   | 29%                     | 14%                   | -7%                  |     |

**Tabel 3.**

**Den samlede vand- og næringsstofbalance for de fire Himmelbjergsøer i 1992.**

**Umålt opland omfatter området mellem Ry og Silkeborg.**

**Til beregning af stoftransporten i Knud å er anvendt 1990-målinger.**

i søens mudder, hvorved søkoncentrationen vil falde.

En større udledning af fosforholdigt spildevand vil samtidigt få større betydning for forureningstilstanden, jo længere vandet opholder sig i søen. Fordi det med en lang opholdstid også tager længere tid for evt. overskydende fosfor at blive fjernet fra søen.

Opholdstidens længde influerer også på de biologiske forhold.

Det er f.eks. forskellige algegrupper, der favoriseres, afhængigt af, hvor lang tid vandet opholder sig i søen.

Opholdstiden i de fire Himmelbjergsøer var i 1992 i alt 57 dage, fordelt på 2 dage i Birk sø, 44 i Jul sø, 8 i Borre sø og 4 dage i Brassø.

En nærmere beskrivelse af beregningen af vandbalancen kan som nævnt findes i bilag.

## Stofbalance

Tabel 3 viser vand- og stofbalancen for Himmelbjergsøerne i 1992. Som nævnt er balancerne baseret på beregnede vandføringer og målte vandkemikoncentrationer i tilløb og afløb fra Himmelbjergsøerne.

Massebalancer for de enkelte søer er præsenteret i bilag. Disse massebalancer skal tages med et vist forbehold, fordi de er baseret på yderligere beregninger af vandføringerne ved Rye Mølle og i Remstrup å samt ud fra koncentrationerne i søvandet i den umiddelbart opstrømsliggende sø.

Uanset massebalancerne for de enkelte søer derfor er

behæftede med en del usikkerheder, kan de dog give en ide om vand- og stofbalancen i de enkelte søer.

Foruden den vand- og stofmængde, som tilføres via Gudenåen, sker der en tilførsel af vand og stof fra det "umålte" opland. Denne tilførsel omfatter både direkte afstrømning til søerne og tilførsler fra mindre vandløb.

I 1992 er der ikke taget vandprøver eller målt vandføring i nogle af de mindre tilløb.

Stofmængderne fra det umålte opland er beregnet under antagelse af, at koncentrationerne af kvælstof og fosfor i 1992 var henholdsvis 4 mg N/l og 65 µg P/l. Disse værdier er anvendt ud fra den betragtning, at de områder, som er omfattet, overvejende består af skov og andre udyrkede arealer. Derfor er der sandsynligvis ikke nogen større belastning herfra.

Det er yderligere antaget, at kvælstofkoncentrationen i det tilstrømmende grundvand er 1 mg N/l og at koncentrationen af total fosfor i grundvandet også var 65 µg P/l. Hermed er der anvendt en større fosforkoncentration end normalt for grundvand. Dette er sket ud fra den betragtning, at det beregnede grundvandsbidrag sandsynligvis er for stort og at en del af dette vand i virkeligheden stammer fra overfladeafstrømning.

Endelig er den atmosfæriske kvælstofdeposition anslået til 20 kg N/ha/år og fosfordepositionen til 0,2 kg P/ha/år.

**Fosfortilførslen** til Himmelbjergsøerne var i 1992 på



ca. 51 ton. Heraf udgjorde den tilførte fosformængde ved Rye Mølle de 43 ton.

Fosfortransporten i Gudenåen har varieret betydeligt igennem de senere år. Tilbage i starten af halvfjerdserne blev der ført omkring 30 ton fosfor forbi Rye Mølle om året. I firserne var denne mængde steget til ca. 50 ton og i de 3-4 sidste år er mængden af fosfor i Gudenåens hovedløb igen blevet reduceret. Dog endnu ikke til det niveau, som var i halvfjerdserne men til omkring 40 ton fosfor pr. år (figur 7).

Som figur 7 viser, er der en mindre år til år variation indenfor de tre niveauer. Disse forskelle skyldes primært forskellige nedbørsmængder og afstrømningsforhold de enkelte år imellem. F.eks. var 1989 et meget tørt år. Derfor var afstrømningen lille og derfor blev der ikke ført så meget fosfor med Gudenåen som normalt.

Af tabel 3 fremgår det, at der ved vandets passage af Himmelbjergsøerne skete en fosfortilbageholdelse på omkring 14 %. Ser man på de enkelte søer, viser det sig, at det primært er i Jul sø, der sker en fosfortilbageholdelse.

Det kan ikke undre, da vandet opholder sig længst i Jul sø og da fosfortilbageholdelsen generelt stiger med stigende vandopholdstid.

Pga. den store fosfortilførsel, som har været til søerne igennem en årrække, er der sedimenteret store mængder fosfor på søbunden i alle fire søer.

I Birk sø, hvor vandets opholdstid er meget kort, er der øjensynligt ikke længere nogen videre fosforbinding. Tværtimod frigives der i disse år så store mængder fosfor fra søbunden, at nettotransporten af fosfor er større ud af søen end ind.

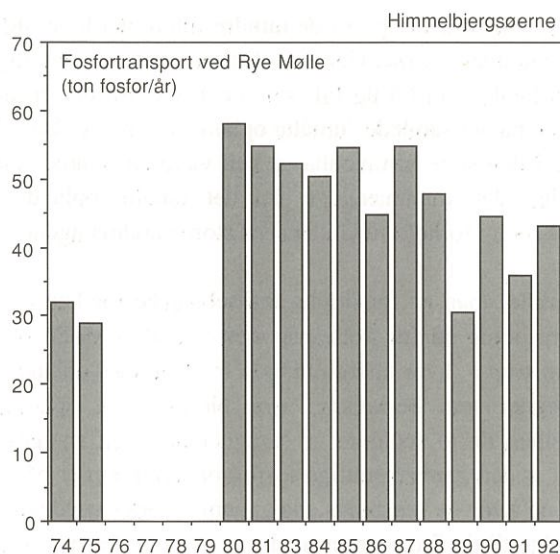
Også i Borre- og Brassø sker der en væsentlig fosforfrigivelse fra sedimentet. Her var der dog tale om en lille netto fosfortilbageholdelse i 1992.

Den fosfortilbageholdelse, som sker i Gudenåen mellem Ry og Silkeborg, finder som nævnt fortrinsvis sted i Jul sø. I 1992 blev der i Jul sø tilbageholdt omkring 6 ton eller ca. 12 % af den samlede tilførsel.

Selvom der netto bindes fosfor i Himmelbjergsøerne, sker der en væsentlig frigivelse af fosfor fra søbunden i de fire søer i sommerhalvåret.

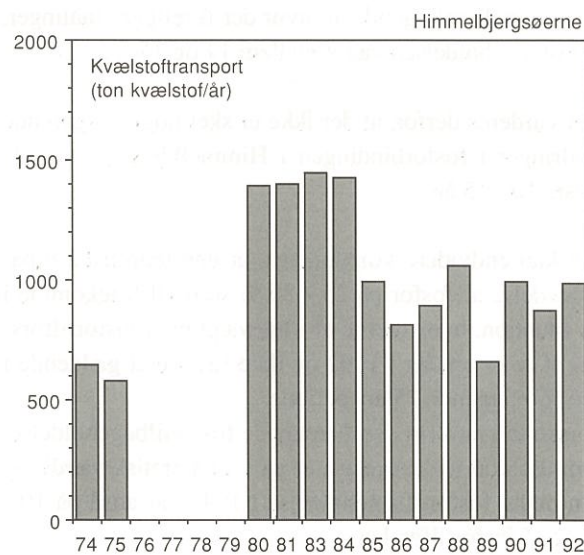
Det kan beregnes, at der i en situation, hvor søerne er i ligevægt med fosfortilførslen og der derfor på årsbasis er en netto fosforbinding i sedimentet, vil være en samlet fosfortilbageholdelse på omkring 30 % for alle fire Himmelbjergsøer.

Også i en ligevægtssituation vil det være Jul sø, som vil



Figur 7.

Fosfortransporten ved Rye Mølle angivet i ton fosfor pr. år i måleårene fra 1974 til 1992.



Figur 8.

Kvælstoftransporten ved Rye Mølle angivet i ton kvælstof pr. år i måleårene fra 1974 til 1992

have den største evne til at tilbageholde fosfor. I Jul sø alene vil fosfortilbageholdelsen i en ligevægtssituation være ca. 25 % af tilførslen (Vollenweider 1976). I de øvrige tre søer vil der i en ligevægtssituation kun være en begrænset fosfortilbageholdelse pga. den hurtige gennemstrømning.

Det er muligt, at den samlede tilførsel af fosfor til de fire søer er en smule underestimeret, fordi der ikke er



målt en fosfortransport i de mindre tilløb, der løber ud i Himmelbjergsøerne. Her er fosforkoncentrationen i nogle tilfælde over 65 µg P/l, som er den værdi der er anvendt på det samlede "umålte opland" til søerne. Det vil dog i den store sammenhæng kun være en mindre fejlkilde, idet vandmængden fra det umålte opland er beskeden i forhold til Gudenåens store vandmængder.

Opstiller man en forsimplet massebalance for Himmelbjergsøerne ud fra stoftransporten ved Rye Mølle og i Remstrup å, hvor afstrømningen fra Knud å's opland er beregnet som beskrevet, hvor bidraget fra oplandet imellem de to stationer er beregnet ud fra en antagelse om, at den gennemsnitlige fosforkoncentration er 65 µg P/l og hvor de rensningsanlæg, som udleder spildevand direkte til de fire søer, er medtaget, kan det beregnes, at fosfortilbageholdelsen i Himmelbjergsøerne ikke har forandret sig væsentligt i de sidste 25 år.

I 1974 blev det beregnet, at der blev tilbageholdt ca. 17 % af den tilførte fosformængde i søerne (Vandkvalitetssinstituttet, 1976a). I 1992 var procenten som nævnt 14 og i de mellemliggende år, hvor der foreligger målinger, har tilbageholdelsen været mellem 14 og 18 %.

Det vurderes derfor, at der ikke er sket nogen afgørende ændringer i fosforbindingen i Himmelbjergsøerne i de sidste 10 - 15 år.

Det kan endvidere konkluderes, at den teoretiske tilbageholdelse af fosfor på 25 - 30 % som vil forekomme i en situation, hvor søerne er i ligevægt med fosfortilførslen, ikke er opnået i 1992 og ikke har været gældende i den foreliggende 25 års periode.

Forskellen mellem den beregnede fosfortilbageholdelse, som det skal understreges, er en rent teoretisk værdi, og den målte fosfortilbageholdelse i 1992 var altså på 10 - 15 % af fosfortilførslen.

I en ligevægtssituation vil søerne dermed tilbageholde omkring den dobbelte mængde fosfor i forhold til 1992-niveauet. I absolutte tal vil der med en fosfortilførsel som i 1992 blive tilbageholdt ca. 13 - 15 ton fosfor om året i de fire Himmelbjergsøer.

Fosforfrigivelsen fra sedimentet og dens betydning for søerne vil endvidere blive behandlet i afsnittet om vandkemien i de fire søer.

**Kvælstoftransporten** viser et billede, der svarer til fosfortransporten (figur 8).

Transporten af kvælstof lå således på et niveau omkring 500 ton om året i 1974-75. I første halvdel af firserne var kvælstofmængden tredoblet til ca. 1500 ton pr. år. I

de senere år er transporten reduceret igen til et niveau omkring eller lidt under 1000 ton pr. år.

Den større transport af kvælstof i 1980'erne skyldtes i et vist omfang, at vandtransporten i disse år var forholdsvis stor.

Ligesom for fosfors vedkommende er der altså sket en nedgang i transporten af kvælstof igennem Gudenåen, når 1992-mængden sammenlignes med kvælstofmængden i starten af firserne. Denne reduktion er som nævnt dog kun et udtryk for, at afstrømningen i 1990'erne har været mindre, end den var i midten af 1980'erne.

Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration i det tilførte vand var i 1992 3,2 mg N/l.

En så forholdsvis lav koncentration skal ikke tages som udtryk for, at kvælstofbelastningen af Gudenåen er lille. Årsagen til den forholdsvis lave koncentration er, at kvælstoffjernelsen ved denitrifikation generelt er stor i de søer, som ligger opstrøms Himmelbjergsøerne.

Ved vandets passage af Himmelbjergsøerne blev der fjernet mellem 300 og 400 ton kvælstof eller 29 % af den tilførte mængde (tabel 3)

Den vandføringsvægtede gennemsnitskoncentration af total kvælstof i afløbet fra Himmelbjergsøerne i 1992 var derfor kun på 2,3 mg N/l.

Der har tilsyneladende været en stor forskel på den procentvise kvælstofreduktion beregnet på årsbasis i de sidste 25 år.

Med de forhåndværende data synes der ikke at være en umiddelbar sammenhæng mellem kvælstoftilbageholdelse og den tilførte vand- eller kvælstofmængde. Det er da også en kombination af nedbør, afstrømningsforhold, temperatur mv., som afgør den relative kvælstoftilbageholdelse.

Fjernelsen af kvælstof fra Himmelbjergsøerne i 1992 var procentvis større end i de tidligere registreringer siden 1978. Den primære årsag hertil skal sandsynligvis findes i at vandtilførslen i forhold til de tidligere måleår var relativt lille og opholdstiden i de fire søer derfor større.

En medvirkende årsag kan også være den varme vinter og dermed større denitrifikation tidligt på året.



## Kilder til næringsstofftilførslen

I tabel 4 kan man se hvorfra den kvælstof og fosfor, som føres til Himmelbjergsøerne, stammer.

De angivne værdier er ikke de egentlige udledninger fra rensningsanlæg, dambrug osv. men den del af udledningen fra den enkelte kilde, som når frem til Himmelbjergsøerne.

Det er altså i tabellen indregnet, at der sker en kvælstof-fjernelse og en fosfortilbageholdelse i de søer, der ligger opstrøms Himmelbjergsøerne.

En nærmere beskrivelse af beregningerne, som ligger til grund for kildeopsplitningen, kan findes i bilag.

Som man kan se i tabellen, er det bidraget fra de dyrkede jorde, der giver langt det største kvælstofbidrag til Himmelbjergsøerne. Omkring 800 ton kvælstof er det beregnet, at tilførslen var i 1992.

Da der ikke eksisterer en egnet metode til at bestemme bidraget fra de dyrkede jorde præcist, er mængden fundet ved at trække alle andre kvælstofkilder fra den totale transport af kvælstof til søerne. Værdien skal dermed ikke tages som et nøjagtigt tal, men mere som udtryk for at kvælstofbidraget fra de dyrkede jorde i 1992 lå på et niveau omkring 800 ton.

Det er imidlertid nogenlunde den mængde, man kan forvente, der kommer fra et intensivt dyrket opland med mange ejendomme udenfor kloakerede oplande som Gudenåens opland (Århus Amt, 1993).

I kildeopsplitningen er der angivet et naturbidrag. Dette bidrag er beregnet ud fra den generelle antagelse, at koncentrationen af kvælstof i et vandløb uden menneskelig påvirkning vil være omkring 1 mg N/l.

Det er således en betydeligt mængde kvælstof, der kommer til de fire søer som et natur- eller baggrundsbidrag.

Grundvandsbidraget er som nævnt fremkommet under den antagelse at koncentrationen af kvælstof i grundvandet er ca. 1 mg N/l. Medens den del, der kommer via nedbøren, er beregnet ud fra en generel erfaring der

**Tabel 5.**

**Spildevandsudledningerne fra de rensningsanlæg, der leder spildevand til de fire Himmelbjergsøer i mellem Ry og Silkeborg.**

| Rensningsanlæg ved Himmelbjergsøerne |                   | Vandtilførsel<br>(10*3 m <sup>3</sup> /år) | Kvælstof<br>(ton kvælstof/år) | Fosfor<br>(ton fosfor/år) |
|--------------------------------------|-------------------|--|-------------------------------|---------------------------|
|                                      | Firgårde          | 11   | 0,4                           | 0,12                      |
| Birk sø                              | Ry                | 375  | 11,2                          | 0,29                      |
| Jul sø                               | Alling            | 15   | 0,3                           | 0,05                      |
|                                      | Lavehø            | 67   | 1,5                           | 0,03                      |
| Borre sø                             | Svejbæk færgehavn | 5  | 0,2                           | 0,06                      |
|                                      | Them              | 564  | 10,8                          | 0,22                      |
| Ialt                                 |                   | 1037                                       | 24,4                          | 0,77                      |

| Kildeopsplitning                            | Kvælstof<br>(ton kvælstof/år) | Fosfor<br>(ton fosfor/år) |
|---|-------------------------------|---------------------------|
| Grundvand                                   | 45                            | 2,9                       |
| Nedbør - søoverflade                        | 19                            | 0,2                       |
| Regnvandsoverløb                            | 8                             | 1,8                       |
| Rensningsanlæg                              | 79                            | 4,0                       |
| Dambrug                                     | 27                            | 2,5                       |
| Intern belastning fra opstrømsliggende søer |                               | 7,5                       |
| Spildevand fra spredt bebyggelse            | 13                            | 4,0                       |
| Naturbidrag                                 | 260                           | 12,7                      |
| Dyrkningsbetingede udvaskninger             | 840                           | 15,1                      |
| Ialt  | 1291                          | 50,7                      |

**Tabel 4.**

**Opdeling af den samlede tilførsel af kvælstof og fosfor til Himmelbjergsøerne i 1992 på enkeltkilder.**

**(Den interne fosforbelastning fra opstrømsliggende søer er en anslået værdi.)**

siger, at der tilføres omkring 20 kg kvælstof til en sø pr. ha pr. år.

Det er kun beskedne bidrag af kvælstof, som kommer fra den spredte bebyggelse, som ikke er tilsluttet offentlig kloak, fra dambrugene og fra regnvandsoverløbene, som i øvrigt er beregnet ud fra arealenhedstal.

Hvad angår rensningsanlæggene, repræsenterer værdierne den samlede spildevandsudledning af kvælstof og fosfor fra rensningsanlæggene opstrøms Silkeborg, når tilbageholdelsen i de opstrømsliggende søer er indregnet. Dvs. at alle de anlæg, som ligger længere oppe i Gudenå-systemet end Silkeborg, er inkluderet.

I tabel 5 er de samlede tilførsler af vand, kvælstof og fosfor fra rensningsanlæggene mellem Ry og Silkeborg



præsenteret.

Den samlede udledning af henholdsvis kvælstof og fosfor fra rensningsanlæggene, som har udløb til Gudenåen ovenfor Himmelbjergsøerne, beløb sig i 1992 til 120 ton kvælstof og 5,7 ton fosfor.

Som man kan se, er det ikke store mængder næringsstoffer, hverken hvad angår kvælstof eller fosfor, der kommer fra rensningsanlæggene med afløb direkte til Himmelbjergsøerne i forhold til de mængder, der ialt udledes fra rensningsanlæg til Gudenåen ovenfor Silkeborg.

I øvrigt er den totale spildevandsdel heller ikke voldsomt sammenlignet med den stofmængde, der i øvrigt strømmer igennem Gudenåen og de fire Himmelbjergsøer.

Der er flere betydende kilder, hvad angår tilførslen af fosfor end kvælstof.

De præsenterede værdier i tabellen er som nævnt den del af de enkelte kilders bidrag, der når frem til Himmelbjergsøerne.

Grundvands- og nedbørsbidraget er dog direkte tilførsel til søerne og som tidligere beskrevet fremkommet ud fra en antagelse om, at koncentrationen i grundvandet eller rettere den del som i beregningerne henføres til grundvandet er 65 µg P/l.

Fosfordepositionen er antaget at være 0,2 kg P/ha/år.

Regnvandsoverløb og rensningsanlæggenes bidrag er den samlede udledning til Gudenåen ovenfor Silkeborg. Dambrugsbidraget stammer fra dambrugene længere oppe ad Gudenåen og i Salten å.

Den spredte bebyggelses fosforbidrag er fremkommet ud fra en antagelse om, at udledningen fra den spredte bebyggelse i oplande, hvor der er et begrænset antal ejendomme udenfor kloakerede områder, er 7,26 kg P/km<sup>2</sup> pr. år. Tallet er et gennemsnit (arealenhedstal) fundet på baggrund af undersøgelser i 14 mindre oplande i Århus Amt.

Det er således et bidrag, der er behæftet med en del usikkerheder og det skal tages som en vejledende værdi.

Det gælder for rensningsanlæggene som dambrugene og den spredte bebyggelse, at det er beskedne stofmængder, der kommer herfra i sammenligning med den totale transport.

Det betyder dog ikke, at det ikke vil være til gavn for miljøet, om disse bidrag blev reduceret. Hvad angår fosfortilførslen, vil enhver reduktion forøge mulighederne for, at miljøet i Himmelbjergsøerne bliver bedre.

I tabellen er medregnet en fosfortilførsel, som stammer

fra den frigørelse af fosfor, der sker i de søer, som ligger længere opstrøms i Gudenåen. Disse søer er ligesom Himmelbjergsøerne ikke i ligevægt og der er derfor heller ikke her så stor en fosforbinding i sedimentet, som der tidligere har været.

Det er her anslået, at der kom 7,5 ton fosfor fra denne pulje i 1992.

Det skal understreges, at dette er en anslået værdi, som er forbundet med nogen usikkerheder.

Naturbidraget er som nævnt den tilførsel, man kunne forvente fra oplandet, hvis der ikke havde været nogen menneskelig påvirkning i området. Under sådanne forhold ville der maksimalt være en fosforkoncentration i vandløbene på 50 µg P/l.

Med den vandmængde, der strømmede fra oplandet i 1992, svarede det til ca. 13 ton fosfor. I disse 13 ton er medregnet en fosforbinding i de opstrømsliggende søer.

Differencen mellem alle de nævnte fosforkilder og den totale tilførsel af fosfor til Himmelbjergsøerne i 1992 henføres til en afstrømning fra det åbne land som et landbrugsbidrag. I 1992 blev der dermed tilført omkring 15 ton fosfor herfra.

Det vil altså sige, at det er den største del af fosfortilførslen, som kan henføres til afstrømning fra de dyrkede jorde i oplandet og specielt den største del af den fosformængde, det er muligt at regulere.

Alt i alt var fosfortilførslen omkring 51 ton i 1992, hvoraf de ca. 43 ton kom med Gudenåen.

Som det senere skal beskrives, er det i første række fosfor, som er et problem for miljøtilstanden i Himmelbjergsøerne, ligesom fosfor er et problem for langt hovedparten af søerne i Danmark.

Det er derfor vigtigt at gribe ind overfor udledningen af fosfor til vandmiljøet.

Igennem en årrække er der ofret store summer på at rense spildevandet fra byerne. For Himmelbjergsøernes vedkommende er det da også i dag mindre end 10 % af den samlede fosfortilledning, der stammer fra spildevand fra de kloakerede områder.

I årene der kommer, vil fosforfrigivelsen fra søernes sediment blive mindre.

Skal Himmelbjergsøerne på langt sigt opnå en tilstand der er væsentlig anderledes end den nuværende og bedre end den der er foreskrevet i Recipientkvalitetsplanen er det nødvendigt at afstrømningen af fosfor fra landbrugsjordene bliver reduceret.

I den forbindelse er der en række tiltag, der kan formindske afstrømningen af bl.a. fosfor.

F.eks. :

- Braklægning af skrånende arealer ned til vandløb og søer.
- Udlægning af sø- og vandløbsnære arealer i græs eller skov.
- Undlade at udbringe gylde og anden staldgødning på arealer, der ligger i nærheden af eller skråner ned til vandløb og søer.

Det er naturligvis også vigtigt, at tilførslerne fra de øvrige kilder er så små som overhovedet muligt.

Afslutningsvis gælder det altså for Himmelbjergsøerne:

- *at Himmelbjergsøerne via Gudenåen gennemstrømmes af store vandmængder. Vandets opholdstid er derfor kort, hvilket påvirker både de kemiske og biologiske forhold i søerne.*
- *der blev tilført ca. 1200 ton kvælstof i 1992. Det svarer til en gennemsnitskoncentration på 3,2 mg N/l. Årsagen til, at koncentrationen ikke er højere, er, at der er en stor kvælstoffjernelse i de opstrømsliggende søer.*
- *der blev i 1992 fjernet omkring 29 % af den tilførte kvælstofmængde eller knapt 400 ton i absolutte tal ved sedimentation og denitrifikation.*
- *der blev tilført omkring 51 ton fosfor til de fire Himmelbjergsøer i 1992. Heraf blev omkring 14 % bundet i søernes sediment.*
- *i en ligevægtssituation vil fosfortilbageholdelsen ligge på omkring 30 %. Der vil derfor være tale om dobbelt så stor en fosfortilbageholdelse (1992-niveau), når ligevægten indtræffer.*
- *for både kvælstof og fosfor er det afstrømningen fra de dyrkede jorde, der bidrager med den største tilførsel.*
- *det er primært fosforkoncentrationen, som regulerer miljøtilstanden i Himmelbjergsøerne.*
- *det vil have en positiv effekt, at fosforbidraget generelt bliver reduceret. Skal miljøet ændres afgørende i søerne, er det nødvendigt, at der sker en reduktion af fosfortilførslen fra landbrugsjorden, da det er denne kilde, som bidrager med den overvejende tilførsel af fosfor.*
- *at forudsætningerne for, at Recipientkvalitetsplanens krav kan opfyldes, sandsynligvis er til stede.*





# Vandkemi i Himmelbjergsøerne

## Årstidsvariationen i overfladevandet i 1992

I det følgende er resultaterne af målingerne i 1992 fra Himmelbjergsøernes overfladevand præsenteret.

Der blev taget vandprøver fra de fire søer 19 gange i løbet af året - en gang om måneden i vinterhalvåret og to gange om måneden i sommerhalvåret.

I de tidligere måleår har prøvetagningshyppigheden ikke været helt så stor. I 1985 blev der således taget vandprøver en gang om måneden, altså 12 prøver ialt.

Resultaterne fra 1992 vil i første omgang blive sammenlignet med de seneste undersøgelser, som er foretaget i søerne, hvilket vil sige i 1980 og 1985. Ældre undersøgelser vil dog også blive inddraget i det omfang, det er muligt.

Vandprøverne er generelt taget på det dybeste sted i de fire søer. Prøvetagningsstationerne er angivet på søkortene i bilag.

Da Himmelbjergsøerne ligger som perler på en snor og alle gennemløbes af Gudenåen og derfor domineres af denne, er de kemiske forhold i søerne meget ens, på trods af at søerne rent fysisk er temmeligt forskellige. Specielt er de kemiske forhold i Jul sø, Borre sø og Brassø meget lig hinanden.

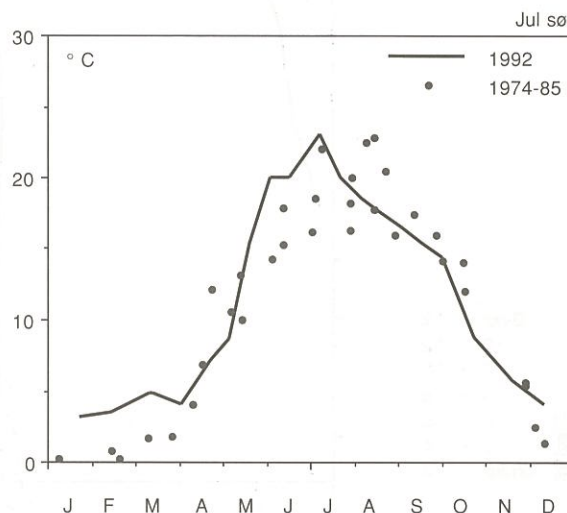
Gennemgangen af de kemiske forhold vil tage udgangspunkt i Jul sø, som er den største af søerne. Er der afvigelser fra det generelle billede i nogle af de andre søer, vil dette naturligvis blive behandlet.

Forholdene i Birk sø vil ofte afvige fra de andre tre søer. Birk sø er relativt lille og lavvand og derfor er vandudskiftningen meget hurtig. Birk sø er dermed mere domineret af Gudenåen end de øvrige tre søer.

De figurer over de kemiske parametre i de fire søer, som ikke er præsenteret i den egentlige rapport, kan findes i bilag.

Alle fire søer er fra naturens side næringsrige søer med forholdsvis mange alger og deraf følgende lille sigtddybde - specielt i sommermånederne.

Som følge af den kraftige næringssaltforurening, som har fundet sted, er forholdene i dag dog langt fra en naturlig tilstand og algemængden er væsentligt større og sigtddybden tilsvarende mindre end den naturlige til-



Figur 9.

Temperaturen i overfladevandet i Jul sø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.

Temperaturen i de øvrige tre Himmelbjergsøer var i 1992 den samme som i Jul sø.

and.

### Ilte og temperatur

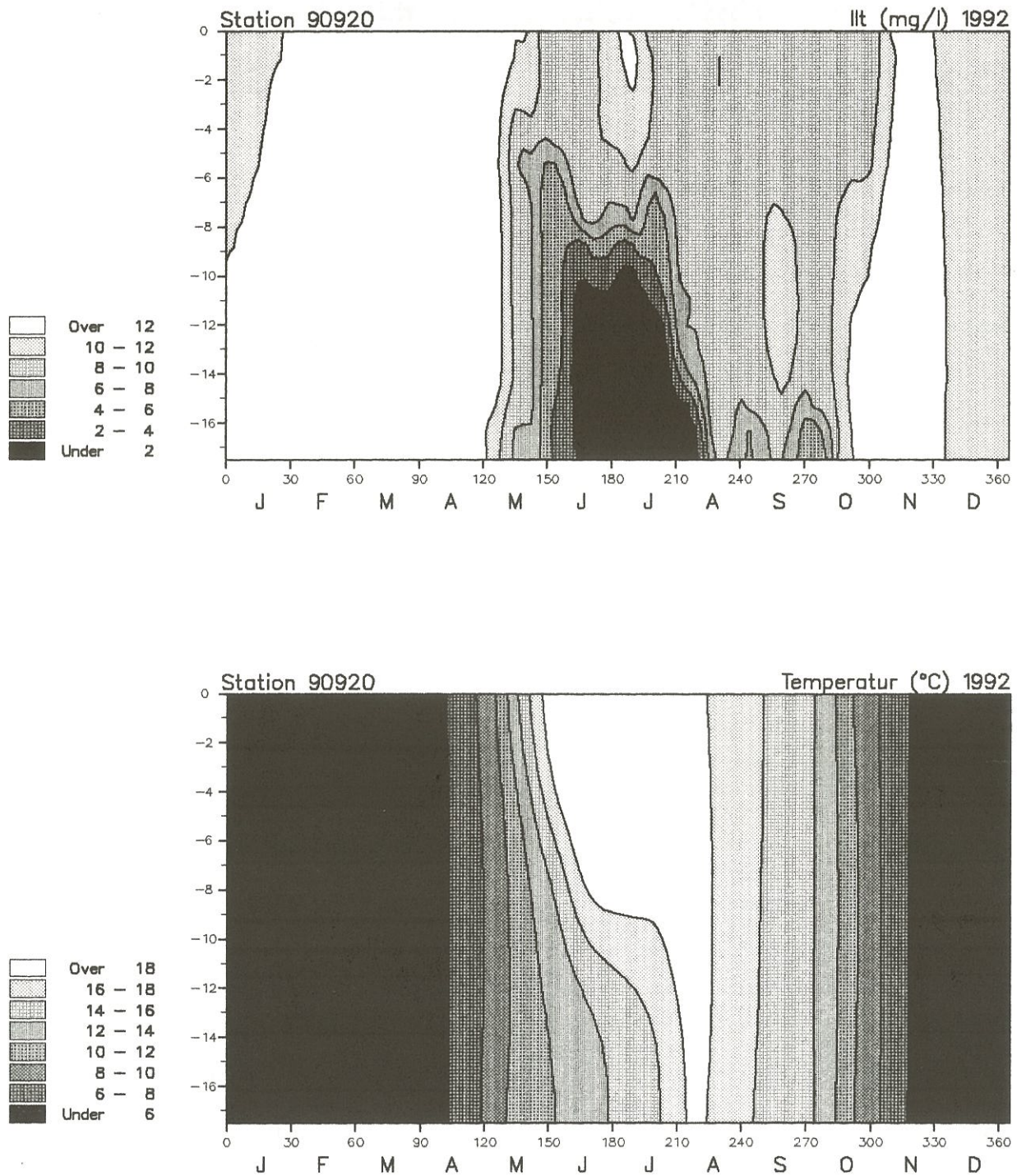
Selvom vandets opholdstid i søerne er meget forskellig, var der ikke nogen videre forskel i vandtemperaturen i de fire søer i 1992.

Betragter man søernes vandtemperatur over året i 1992 fulgte temperaturudviklingen stort set de tidligere måleår.

Dog var temperaturen i januar, februar og marts noget større end tidligere målt, hvilket afspejler den meget milde vinter i 1992.

I sidste halvdel af maj og i juni var vandtemperaturen også højere end i tidligere måleår. Årsagen hertil skal findes i den varme periode med rolige vindforhold, som var i disse to måneder (figur 9).

Selvom forholdene i overfladevandet er mere eller mindre ens i søerne, er de fysiske forhold som nævnt temmeligt forskellige. Birk sø er lavvand og har intet springlag på noget tidspunkt. Jul sø er den dybeste af søerne og har derfor umiddelbart de største forudsætninger for en temperaturlagdeling. Medens Borre sø og Brassø ikke er så dybe og hvor der derfor skulle være en mindre forskel på overflade- og bundvand end i Jul sø.



Figur 10.

Isopletter over ilt og temperatur i Jul sø i 1992.

Isopletter for Borre- og Brassø kan findes i bilag.



Det viser sig imidlertid, at der kun etableres en meget ustabil lagdeling i Jul sø (figur 10).

I 1992 var der en begyndende lagdeling i 2-3 m's dybde i midten af maj. Springlaget (den zone hvor vandtemperaturen falder) var udbygget og lå i ca. 6 m i starten af juni. Men allerede i juli måned forsvandt det egentlige springlag. Temperaturen faldt gradvist ned igennem vandsøjlen og i starten af august var temperaturen stort set konstant fra overflade til bund.

I Borre sø var der kun i juni måned noget, som kunne minde om en lagdeling. I de øvrige sommermåneder faldt temperaturen svagt ned igennem vandsøjlen og udenfor sommertiden var temperaturen konstant i hele søens volumen (se bilag).

Brassø havde derimod som den eneste sø en længerevarende lagdeling i 1992 (se bilag).

Som tidligere nævnt ligger den dybeste del af søen forholdsvist tæt på den sydlige skovklædte bred. Her er der læ for vestenvinden og dette må være årsagen til den længere periode med lagdeling i forhold til Borre - og Jul sø, som begge har større dybder, men hvor de dybeste partier ligger mere eksponerede for vestenvinden.

Uanset lagdeling er produktionen af alger i overfladen og dermed mængden af organisk stof, som sedimenterer ned på bunden stor. Iltforbruget til omdannelse af det organiske materiale er derfor så stort, at der bliver iltfrit i bundvandet i en kortere eller længere periode i alle tre søer.

I Borre sø, hvor lagdelingsperioden var mindst, var også perioden med iltfrit bundvand den korteste. Den varede i 1992 omkring halvanden måned begyndende omkring 1. juni.

I Jul sø var der iltfrit i de nederste vandlag fra midt i juni til midt i august og endeligt var der i Brassø som et resultat af den længste lagdeling også den længste periode med lave iltkoncentrationer ved bunden, nemlig fra starten af juni til først i september.

Det er imidlertid ikke sikkert, at de iltfrie processer betyder så meget i Brassø som i Jul sø.

Den del af Brassø, der har iltfrit bundvand, er nemlig ikke nogen særlig stor del af Brassø, hvorimod der er forholdsvis større områder i Jul sø, der kan have iltfrit bundvand i en del af sommerperioden.

### Klorofyl og sigtddybde

Indholdet af klorofyl var i 1992 som et sommergennemsnit ca. 55 µg/l i Jul sø, 60 µg/l i Borre- og Brassø og omkring 80 µg/l i Birk sø (figur 11).

Klorofylkoncentrationen er et indirekte mål for mæng-

den af alger i vandet og et niveau som det nævnte fortæller, at der er relativt mange alger i alle tre søer.

Til sammenligning er der i Slåen sø, som er en meget ren sø, et klorofylindhold på omkring 5 - 10 µg/l som et sommergennemsnit.

Algemængden og dermed klorofylkoncentrationen er naturligvis ikke konstant over året.

Der forekom to maxima i 1992. Et mindre omkring 1. april på omkring 60 µg/l i de tre større søer og på ca. 80 µg P/l i Birk sø. I slutningen af august faldt maksimum nr. to, som var årets største - ca. 100 µg/l i Jul sø og 150 µg P/l i Birk sø (figur 11).

Som det kan ses, er der altså et højere klorofylniveau og dermed flere alger i Birk sø.

Imellem de to perioder med høje klorofylkoncentrationer var der en kort periode omkring 1. juni med et meget lavt klorofylindhold. En sådan klarvandsperiode med få alger i søvandet i maj/juni er typisk for danske søer.

I de kolde måneder var klorofylkoncentrationen så lav som 10 - 20 µg/l.

Sigtddybden i sommermånederne var i Jul sø i gennemsnit 1,3 meter og i Borre - og Brassø 1,2 m.

Som figur 12 viser, er sigtddybden i Jul sø (og i Borre - og Brassø) et spejlbillede af klorofylkoncentrationen og det er således primært algemængden i vandet, som er afgørende for lysforholdene i de tre søer.

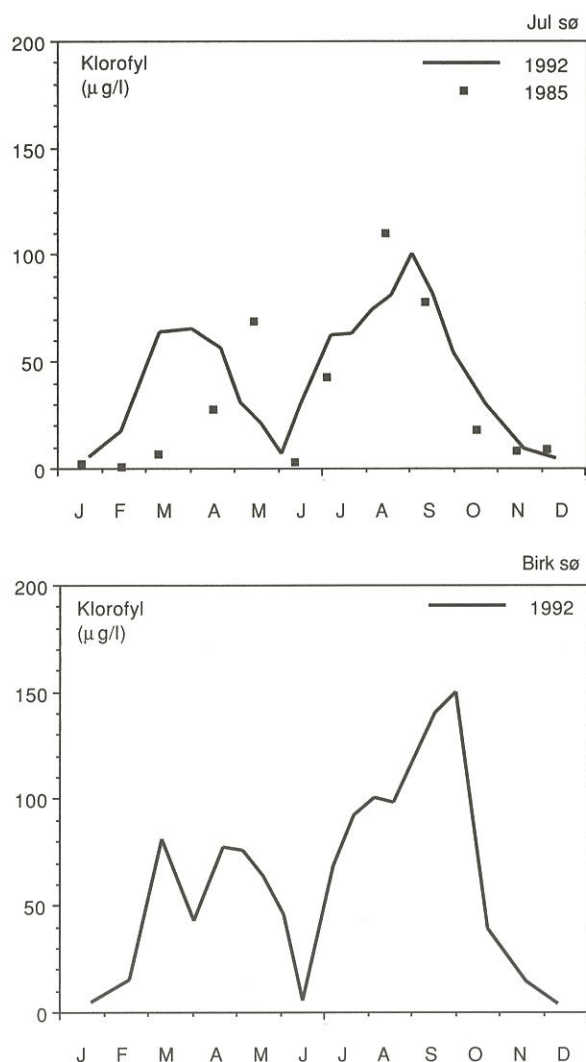
De største sigtddybder er målt i vinterperioden, hvor der er registreret sigtddybder på mellem 3,5 og 4 meter, men også under klarvandsperioden i juni var vandet klart med en sigtddybde på 3,3 meter.

I den øvrige del af året var de store søer præget af mange alger og havde en sigtddybde på under 2 meter. De dårligste lysforhold fandtes her som i de fleste andre næringssaltforurenede danske søer i sensommeren, hvor blågrønalgerne dominerer.

Figur 12 og figur 1 side 4 viser, at der kun er sket meget beskedne ændringer i lysforholdene i søerne siden 1962 (Mathiesen, 1970). Tilbage i 1962 var sigtddybden i forårsmånederne således på samme niveau som i 1992. Medens det ser ud til, at der var en lidt større sigtddybde i sensommerperioden i 1962 end i 1992.

Det skal bemærkes, at figur 1 og 12 repræsenterer data fra Borre sø, fordi der her også findes registrering af sigtddybden tilbage til 1962.

Generelt vil der altid være visse år til år variationer i en sø, men under alle omstændigheder er det påpeget i Mathiesen (1970), at søerne allerede i starten af



Figur 11.

Årstidsvariationen i klorofylindholdet i overfladevandet i Jul sø og Birk sø i 1992. For Jul sø er der også præsenteret data fra 1985.

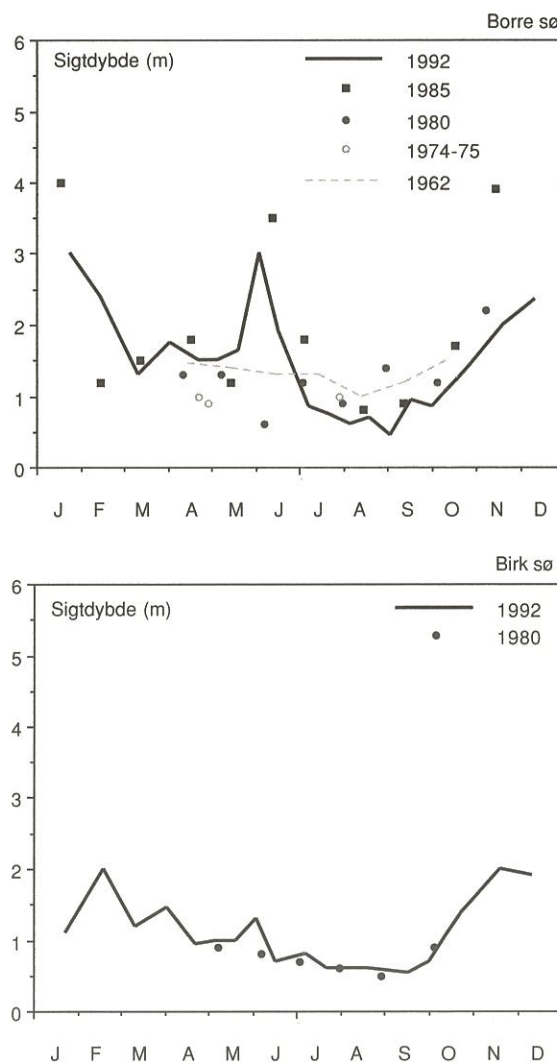
1960'erne havde forringede lysforhold.

Jul sø har en lidt mindre algemængde og sigt dybden er tilsvarende en anelse større end i Borre- og Brassø. Denne forskel skyldes, at gennemsnitsdybden i Jul sø er større end i de to andre søer. Derfor er det vandvolumen, hvori algerne opblandes, større og derfor vil algerne i længere perioder befinde sig på dybere vand, hvor lysforholdene er dårligere.

Endvidere er fosforkoncentrationen en smule højere i Borre- og Brassø end i Jul sø.

Vækstvilkårene for algerne er dermed lidt dårligere i Jul sø og derfor bliver algemængden knapt så stor her.

I Birk sø er forholdene for algerne og dermed også klorofylkoncentrationen lidt anderledes end i de tre større



Figur 12.

Årstidsvariationen i sigt dybden i Jul sø og Birk sø sammenlignet med tidligere måleår.

søer pga. det lave vand og den hurtige gennemskylning. Som man kan se på figur 11, var klorofylmængden noget større her.

Den gennemsnitlige sommerkoncentration for klorofyl var i 1992 83 µg/l imod 55 - 60 µg/l i de tre andre søer. Ligeledes var sigt dybden væsentligt mindre i Birk sø. Som et gennemsnit over året kun 0,8 meter.

Den primære årsag er, at algerne i længere perioder befinder sig i overfladen, hvor lysforholdene er gode. Der var dog også et større indhold af total fosfor i Birk sø sammenlignet med de øvrige tre søer i 1992.

Endvidere er Birk sø lavvandet og ophvirvling af bundmateriale vil derfor ske med større hyppighed her, hvilket påvirker sigt dybden negativt.

Algerne efterårsmaksimum i Birk sø faldt senere end i



de andre Himmelbjergsøer. Hvor der var flest alger (målt som klorofyl) i de store søer i slutningen af august, toppede algemængden i Birk sø først i slutningen af september. Dette hænger primært sammen med, at det er andre algetyper, der dominerer i Birk sø end i de store søer (se afsnittet om alger).

Det kan bemærkes, at algemængden målt som klorofyl i midten af juni også var meget lille i Birk sø.

Ikke desto mindre blev der ikke observeret en ligeså markant forbedring af sigtddyben i Birk sø som i de øvrige tre søer. Dette indikerer, at algemængden i Birk sø ikke i så høj grad som i de andre tre søer er bestemmende for lysforholdene, men at ophvirvling af bundmateriale i kraft af den ringe dybde i søen også har en væsentlig betydning for lysforholdene i søen.

Silkeborg Kommune har igennem en længere årrække foretaget sigtddybmålinger i Borre- og Brassø. Heller ikke ud fra disse målinger kan der konstateres nogen væsentlige ændringer i sigtddyben i den seneste tyveårige periode.

Der synes dog at være en tendens til, at sigtddyben i forårsmånederne var mindre i starten af halvfjerdserne end den var i 1990 -1992.

### Fosfor

Koncentrationen af total fosfor i de tre store søer var i 1992 som et årgennemsnit mellem 120 og 130  $\mu\text{g P/l}$ .

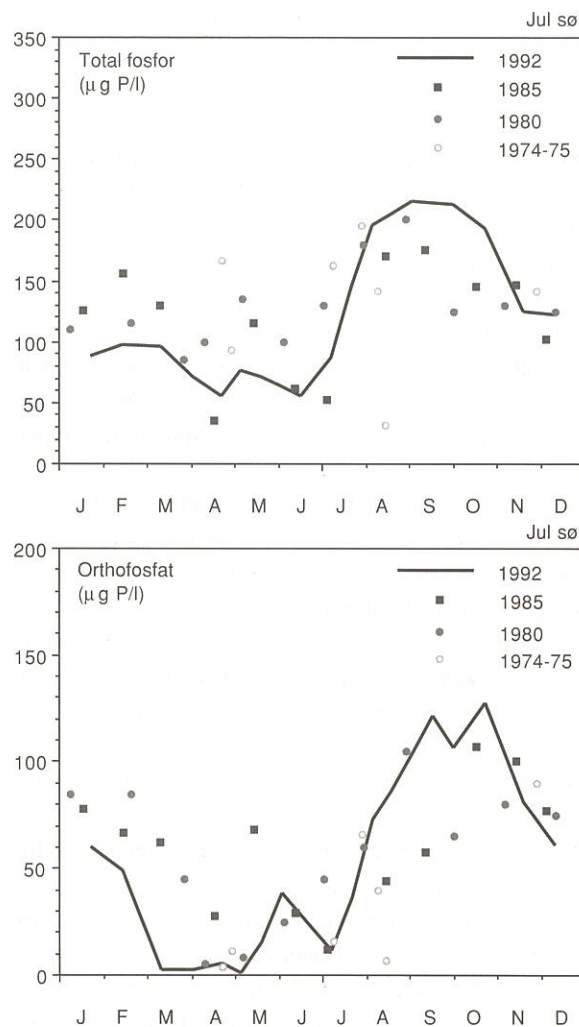
Generelt var fosforindholdet en smule mindre i Jul sø end i Borre- og Brassø. En af årsagerne er, at vandets opholdstid er længst i Jul sø og at fosfortilbageholdelsen i sedimentet derfor er størst her.

Indholdet af total fosfor varierer over året med de laveste værdier i årets første halvdel, hvor fosforkoncentrationen var mellem 50 og 100  $\mu\text{g P/l}$  i 1992 (figur 13). Pga. fosforfrigivelse fra sedimentet steg fosforkoncentrationen i sensommeren og koncentrationen i august, september og oktober var således omkring 200  $\mu\text{g P/l}$ .

Også for total fosfors vedkommende afviger Birk sø. Årgennemsnittet var i 1992 på 148  $\mu\text{g P/l}$  og dermed det højeste i de fire søer.

I første halvdel af 1992 var fosforindholdet imodsetning til de øvrige tre søer ikke under 100  $\mu\text{g P/l}$ . Der var en stigning i fosforkoncentrationen i august ligesom i de andre tre søer, men i Birk sø blev der nået en fosforkoncentration på 400  $\mu\text{g P/l}$ , hvor der i de andre tre søer kun var et efterårsmaksimum på ca. 200  $\mu\text{g P/l}$ .

Til gengæld faldt koncentrationen hurtigere til et niveau omkring 100  $\mu\text{g P/l}$  i Birk sø end i de andre søer.



Figur 13.

Årstidsvariationen for total fosfor (øverst) og orthofosfat (nederst) i overfladevandet i Jul sø i 1992 sammenlignet med tidligere målear.

Konklusionen er dels, at forholdene i Birk sø varierer med tilstanden i Gudenåen mellem Mossø og Birk sø (det er altså den del af åen, der benævnes Gudensø og Rye Møllensø) og at der dermed er en større variation i bl.a. fosforkoncentrationen her end i de øvrige tre Himmelbjergsøer, som er større og dermed mere langsomt reagerende søer, men også, at den fosforfrigivelse, der sker fra bunden af alle fire søer, har forholdsvis større betydning i Birk sø end i de tre øvrige søer.

Pga. det højere indhold af alger i Birk sø har optagelsen af orthofosfat været størst her. Den gennemsnitlige sommerkoncentration var derfor mindst i Birk sø (ca. 40  $\mu\text{g P/l}$  imod godt 50  $\mu\text{g P/l}$  i de tre store søer).

Da der i marts og første halvdel af april samt i septem-

ber er målt orthofosfatkoncentrationer på under 5  $\mu\text{g P/l}$  i søvandet i Birk sø, må det antages, at fosfor i en del af disse perioder har været begrænsende for algernes vækst (Reynolds, 1984).

I Jul -, Borre - og Brassø har der sandsynligvis også været en fosforbegrænsning i foråret. Derimod har algerne ikke kunnet opbruge hele den tilgængelige fosforpulje i august/september som i Birk sø.

Det generelle billede for de tre større søer viste et meget lille indhold af opløst fosfor i forårsmånederne. Under klarvandsperioden i maj/juni steg orthofosfatkoncentrationen, fordi der ikke var alger til at optage den tilgængelige fosfor.

I løbet af august var der en stor frigivelse af orthofosfat fra sedimentet i såvel Himmelbjergsøerne som i de opstrøms liggende søer og derfor steg koncentrationen i overfladevandet til omkring 100  $\mu\text{g P/l}$ .

I takt med at frigivelsen aftog i løbet af efteråret, faldt koncentrationen af orthofosfat for i slutningen af 1992 at nærme sig et niveau på omkring 50  $\mu\text{g P/l}$ .

Sammenlignes årstidsvariationen for total fosfor med de tidligere måleår, ses det, at koncentrationen i første halvdel af året er blevet reduceret. Dette tyder på, at fosforkoncentrationen i Gudenåen, som på dette tidspunkt af året dominerer forholdene i søerne, er faldet. Omvendt var fosforkoncentrationerne i august, september og oktober i 1992 højere, end de tidligere er målt, hvilket viser, at fosforfrigivelsen fra sedimentet har været større i 1992 end tidligere.

Den højere fosforkoncentration i eftersommeren har været hovedårsagen til, at der var flere alger og at sigtdybden dermed var mindre i 1992 sammenlignet med 1962.

### Kvælstof

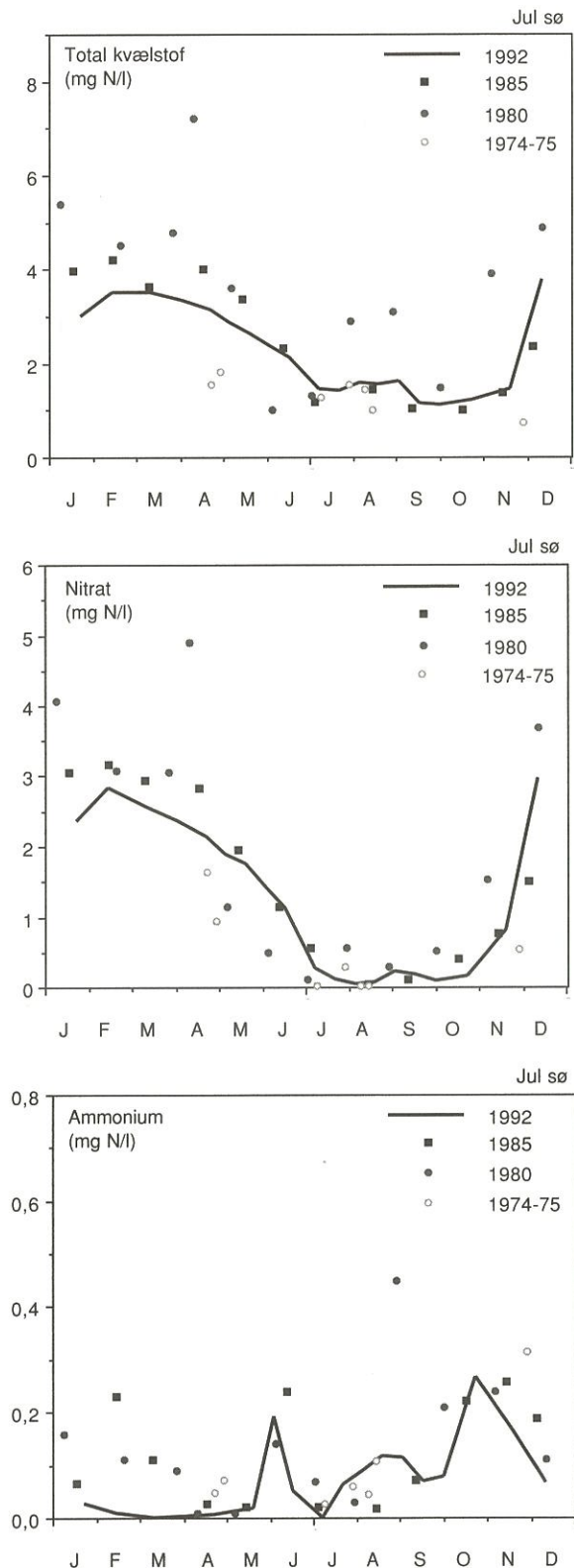
Der var ikke væsentlige forskelle i koncentrationen af total kvælstof og nitrat i de fire søer på noget tidspunkt i 1992.

I årets første halvdel var koncentrationen af total kvælstof omkring 3 mg N/l og hovedparten af denne kvælstof fandtes som nitrat (figur 14).

Fra juli til november var kvælstofniveauet reduceret til omkring 1 - 2 mg N/l.

Kvælstofmængden bliver mindre og mindre i løbet af året, fordi der sker en kvælstoffjernelse fra søvandet i form af denitrifikation samt en sedimentation af algebundet kvælstof.

Da mængden af kvælstof faldt og den største del af



**Figur 14.** Årstidsvariationen for total kvælstof (øverst), nitrat (i midten) og ammonium (nederst) i overfladevandet i Jul sø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.



kvælstofpuljen samtidigt var bundet i alger, var nitratkoncentrationen i søvandet følgelig lille.

I sensommeren/efteråret lå nitratkoncentrationen på et niveau omkring 0,05 til 0,1 mg N/l.

Nitratkoncentrationen blev i øvrigt reduceret, efterhånden som vandet løb igennem Jul sø, Borre sø og Brassø og indholdet af nitrat i Brassø var derfor generelt en smule lavere end i Birk - og Jul sø.

Generelt var indholdet af ammonium lavt i alle fire søer. Det laveste niveau blev registreret i Birk sø, hvilket sandsynligvis hænger sammen med, at der er en stor optagelse af næringssalte hos algerne i søen.

I de tre større søer var der i 1992 et lavt ammoniumniveau i forårsmånederne. I sensommeren steg koncentrationen specielt i Jul sø til et niveau omkring 0,1 mg N/l. Årsagen hertil skal findes i det stop i nitrifikationen, som sker ved sedimentoverfladen i den dybe del af Jul sø.

Ved nitrifikation, som er en bakteriel proces, omdannes ammonium til nitrat under forbrug af ilt. Når denne proces stopper, fordi der er iltmangel i bundvandet, ophobes ammonium i første omgang i bundvandet, men senere kunne et stigende indhold altså også registreres i overfladen.

Der er et forholdsvis mindre område i Borre- og Brassø, som har iltfrit bundvand med ammoniumophobning. Derfor er koncentrationen af ammonium i overfladevandet i disse to søer generelt ikke så stor som i Jul sø.

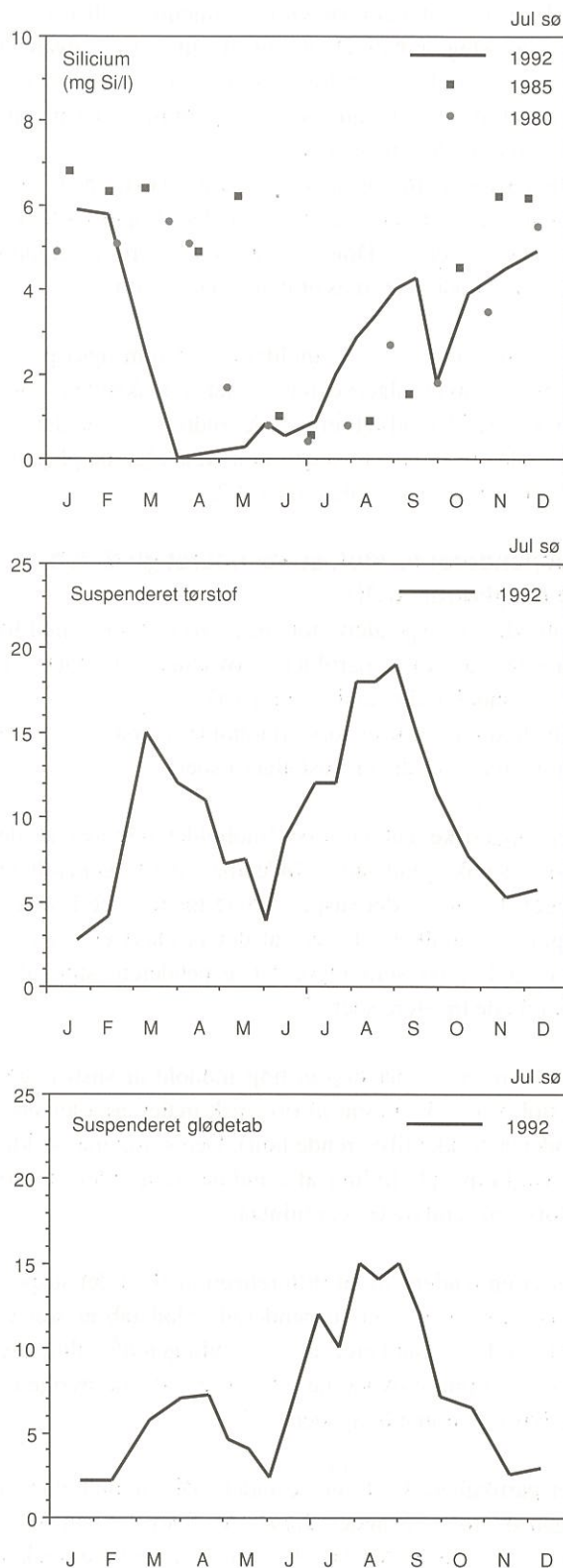
Selvom der er målt lagdeling og iltfrie forhold på det dybeste sted i Brassø i en længere periode, har de iltfrie processer altså ikke så stor betydning her som i Jul sø.

At ammonium optages af algerne i søerne og at koncentrationen dermed styres af algerne i forårsperioden, hvor iltforholdene ved bunden ikke influerer på kvælstofomsætningen, ses tydeligt af figur 14, hvor der bemærkes en markant stigning i koncentrationen af ammonium i den periode i maj/juni, hvor algebiomassen og dermed kvælstofoptagelsen er meget lille.

### Opløst silicium

Opløst silicium i søvandet bliver optaget af kiselalgerne, som indbygger stoffet i deres skaldele. Derfor bliver siliciumkoncentrationen mindre, når mængden af kiselalger stiger og derfor kan kiselalgernes vækst specielt i foråret blive begrænset af mængden af tilgængeligt silicium.

I de tre større søer var siliciumkoncentrationen i starten af april så lav, at det må antages, at kiselalgerne på dette tidspunkt har været vækstbegrænset af mangel på silicium (figur 15).



Figur 15.

Årstidsvariationen for opløst silicium (øverst), suspenderet tørstof (i midten) og suspenderet glødetab (nederst) i overfladevandet i Jul sø i 1992.

Den opløste silicium er sammenlignet med tidligere måleår.

I takt med at algebiomassen blev mindre i løbet af maj og juni, steg indholdet af opløst silicium i søvandet. Årsagen er dels et mindre forbrug og dels en frigivelse af noget af den silicium, som tidligere på året var sedimenteret bundet i døde alger.

Siliciumkoncentrationen steg således jævnt hen igennem året og der var rigelige mængder af opløst silicium i søvandet året ud. Dog blev der observeret en mindre reduktion under algernes efterårs-maksimum.

I Birk sø reduceredes indholdet af silicium også på det tidspunkt, hvor algerne havde deres maksimale forekomst, men i modsætning til de andre søer var der her ikke tale om så lave koncentrationer, at algerne på noget tidspunkt manglede silicium i 1992.

### Suspenderet tørstof, suspenderet glødetab og partikulært COD

Indholdet af suspenderet tørstof i søvandet er et mål for mængden af større partikler i søvandet - det være sig alger, sand, ler eller andet (figur 15).

Som figuren viser, er tørstofindholdet størst i de perioder af året, hvor der er flest alger i søen.

Den organiske del af tørstofindholdet udgøres af det suspenderede glødetab. Glødetabet udgør generelt en meget stor del af det suspenderede tørstof i de fire søer (figur 15), hvilket vil sige, at det primært er alger og ikke sand og ler, som udgør det suspenderede stof - ihvertfald i de tre store søer.

Først i marts er der dog et højt indhold af suspenderet tørstof, som ikke består af organisk materiale (det susp. glødetab er ikke tilsvarende højt). Denne top må skyldes en voldsom ophvirvling af bundmateriale eller en stor tilførsel af sand og ler via tilløbet.

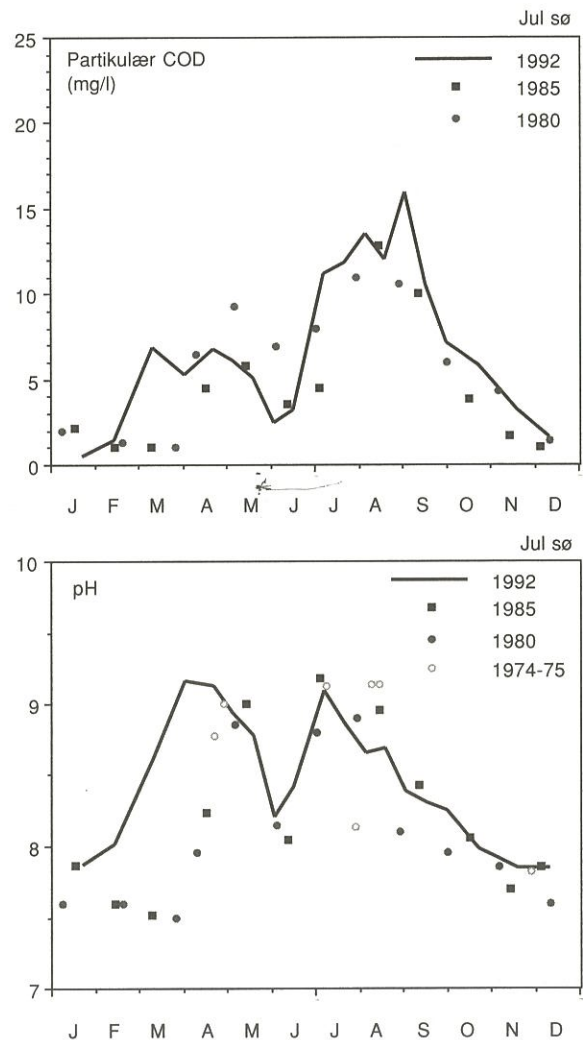
Der er en tendens til, at differencen mellem det suspenderede tørstof og det suspenderede glødetab er størst i Birk sø. Dette indikerer, at ophvirvlingen af sedimentet pga. den mindre dybde her er større end i de øvrige tre og dybere Himmelbjergsøer.

Det partikulære COD er et andet mål for indholdet af organisk stof i søvandet (figur 16). Som det kan ses af figur 15 og 16, er der da heller ingen væsentlige forskelle mellem det suspenderede glødetab og den partikulære COD.

### pH

Der er ingen større forskel i pH i de fire Himmelbjergsøer.

Ved algernes fotosyntese stiger pH og derfor observeres



**Figur 16.**  
Årstidsvariationen for det partikulære COD (øverst) og pH (nederst) i overfladevandet i Jul sø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.

de højeste pH-værdier, når der er flest alger og produktionen dermed er størst (figur 16).

pH-niveauet var i størstedelen af 1992 mellem 8,0 og 8,5. I de to perioder med de største algemængder nåede pH dog op på ca. 9.

Sammenlignes pH-forholdene i 1992 med tidligere år er der ikke nogen større forskelle. Dog ser det ud til, at pH i 1992 relativt tidligt på året steg til de for søen højeste værdier (omkring 9), hvilket passer fint sammen med, at der tidligere end i de andre prøvetagningsår var mange alger i søerne pga. den forholdsvis varme forsommer.



|                             | Birk sø |       | Jul sø  |       |       |       | Borre sø |       |       | Brassø |       |       |
|-----------------------------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                             | 1980    | 1992  | 1974-75 | 1980  | 1985  | 1992  | 1980     | 1985  | 1992  | 1974   | 1980  | 1992  |
| pH                          | 8,6     | 9     | 8,6     | 8,5   | 8,7   | 8,6   | 8,4      | 8,8   | 8,8   | 8,8    | 8,4   | 8,7   |
| Total alkalinitet (meq/l)   |         | 1,79  | 1,53    |       | 1,69  | 1,72  | 1,68     | 1,67  | 1,46  |        |       | 1,64  |
| Suspenderet tørstof (mg/l)  |         | 22,9  |         |       |       | 12,1  |          | 19,9  |       |        |       | 13,1  |
| Suspenderet glødetab (mg/l) |         | 13,3  |         |       |       | 9,4   |          | 17,2  |       |        |       | 10,4  |
| Total COD (mg/l)            | 36,3    |       | 22,7    | 22,3  | 22,3  |       | 31,3     | 22,6  |       |        | 26,6  |       |
| Partikulær COD (mg/l)       | 18,50   | 12,10 | 8,82    | 7,45  | 9,01  |       | 11,50    | 7,78  | 9,96  |        | 11,10 | 11,10 |
| Total kvælstof (mg N/l)     | 2,84    | 1,56  | 1,38    | 2,22  | 1,79  | 1,81  | 2,53     | 1,97  | 2,18  | 1,54   | 2,63  | 1,74  |
| Ammonium (mg N/l)           | 0,017   | 0,019 | 0,060   | 0,163 | 0,074 | 0,072 | 0,179    | 0,045 | 0,038 | 0,170  | 0,133 | 0,036 |
| Nitrat (mg N/l)             | 0,429   | 0,351 | 0,157   | 0,485 | 0,707 | 0,650 | 0,409    | 0,733 | 0,582 | 0,367  | 0,525 | 0,572 |
| Orthofosfat (µg P/l)        | 35      | 42    | 41      | 54    | 44    | 54    | 60       | 55    | 52    | 95     | 61    | 53    |
| Total fosfor (µg P/l)       | 204     | 218   | 156     | 148   | 118   | 135   | 189      | 131   | 149   | 218    | 169   | 158   |
| Opløst silicium (mg Si/l)   | 1,4     | 1,6   | 1,4     | 2,1   | 2,1   | 1,9   | 1,8      | 2,3   | 2,5   | 2,2    | 2,2   | 2,4   |
| Klorofyl (µg/l)             |         | 83    |         | 62    | 62    | 55    |          | 62    | 60    |        | 92    | 59    |
| Sigtedybde (m)              | 0,7     | 0,8   | 0,9     | 1,3   | 1,4   | 1,3   | 1,1      | 1,6   | 1,2   | 1,0    | 1,2   | 1,2   |

Tabel 6.

Sommergennemsnit af de kemiske målinger i Himmelbjergsøernes overfladevand i 1992.

|                             | Birk sø |       | Jul sø |       |       |       | Borre sø |       |       |       | Brassø |       |       |
|-----------------------------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                             | 1980    | 1992  | 1974   | 1980  | 1985  | 1992  | 1974     | 1980  | 1985  | 1992  | 1974   | 1980  | 1992  |
| pH                          | 8,2     | 8,6   | 8,4    | 8,0   | 8,2   | 8,4   | 8,6      | 8,1   | 8,2   | 8,5   | 8,7    | 8,1   | 8,5   |
| Total alkalinitet (meq/l)   |         | 1,84  | 1,64   |       | 1,80  | 1,78  | 1,56     |       | 1,79  | 1,77  | 1,57   |       | 1,73  |
| Suspenderet tærstof (mg/l)  |         | 14,2  |        |       |       | 9,48  |          |       |       | 12,6  |        |       | 9,8   |
| Suspenderet glødetab (mg/l) |         | 7,75  |        |       |       | 6,47  |          |       |       | 9,6   |        |       | 6,76  |
| Total COD (mg/l)            | 26,7    |       |        | 18,9  | 17,8  |       |          | 22,4  | 19,3  |       |        | 20,6  |       |
| Partikulær COD (mg/l)       | 10,40   | 7,75  |        | 5,47  | 4,44  | 5,94  |          | 6,45  | 4,59  | 6,59  |        | 6,62  | 6,98  |
| Total kvælstof (mg N/l)     | 3,75    | 2,81  | 1,37   | 3,62  | 2,47  | 2,39  | 1,53     | 3,57  | 2,36  | 2,39  | 1,97   | 3,55  | 2,13  |
| Ammonium (mg N/l)           | 0,077   | 0,031 | 0,124  | 0,144 | 0,118 | 0,070 | 0,052    | 0,150 | 0,114 | 0,048 | 0,162  | 0,127 | 0,041 |
| Nitrat (mg N/l)             | 1,770   | 1,790 | 0,868  | 1,920 | 1,520 | 1,420 | 0,458    | 1,600 | 1,370 | 1,280 | 1,040  | 1,670 | 1,220 |
| Orthofosfat (µg P/l)        | 52      | 39    | 45     | 61    | 60    | 54    | 58       | 65    | 73    | 52    | 74     | 65    | 51    |
| Total fosfor (µg P/l)       | 163     | 148   | 158    | 129   | 118   | 122   | 170      | 148   | 131   | 121   | 160    | 139   | 129   |
| Opløst silicium (mg Si/l)   | 3,0     | 2,9   |        | 3,2   | 4,3   | 2,9   |          | 3,3   | 4,5   | 3,3   | 1,9    | 3,5   | 3,3   |
| Klorofyl (µg/l)             |         | 55    |        |       | 33    | 40    |          |       | 33    | 40    | 68     |       | 42    |
| Sigtedybde (m)              | 0,8     | 1,2   | 1,0    | 1,5   | 2,2   | 1,7   | 1,0      | 1,4   | 2,2   | 1,7   | 1,3    | 1,8   | 1,5   |

Tabel 7.

Årgennemsnit af de kemiske målinger i Himmelbjergsøernes overfladevand i 1992.



## Forholdene i bundvandet

På isoplethene på figur 10 ses det, at der var iltfrit i bundvandet i Jul sø i to måneder i 1992. Fra midt i juni til midt i august var der mindre end 2 mg O<sub>2</sub>/l i bundvandet.

Umiddelbart skulle man tro, at der var lagdeling og deraf følgende iltsvind i en længere periode, fordi Jul sø trods alt er ca. 17 m dyb på det dybeste sted.

Pga. den øst-vest vendte orientering er vindpåvirkningen imidlertid så stor, at det altså kun er i den mest rolige og varme periode af året, der sker en lagdeling.

I Brassø, som ikke er så dyb, er der som allerede nævnt tale om en lidt længere lagdelingsperiode og periode med lave iltkoncentrationer på de største dybder.

Den samlede konklusion omkring iltforholdene i Himmelbjergsøerne er dermed, at det er en periode på 2 - 3 måneder om sommeren, hvor der er lave iltkoncentrationer i bundvandet.

Der blev i 1985 foretaget en undersøgelse af bundfaunaen i Jul sø (Århus Amt, 1987).

Undersøgelsen viste, at bundfaunaen i forholdsvist store områder i søen var påvirket af næringssaltforureningen og der var derfor ikke så mange forskellige arter af bunddyr i Jul sø, som der kan findes i andre tilsvarende men renere søer.

Der blev dog fundet enkelte såkaldte rentvandsarter, men disse var fåtallige og det blev skønnet i daværende rapport at bund- og bredfaunaen tidligere har været mere varieret.

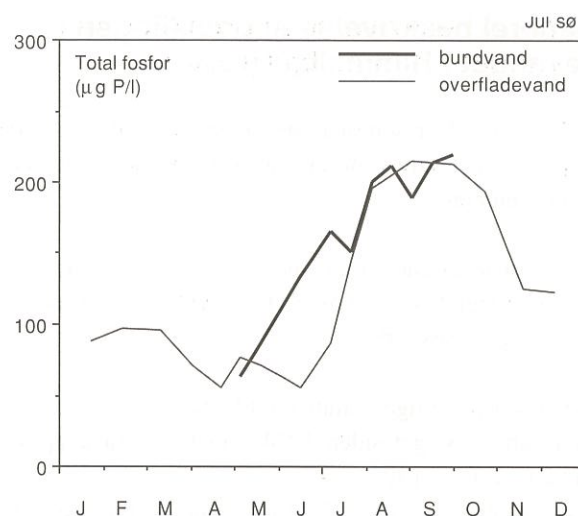
Denne del af livet i Jul sø er således også påvirket af næringssaltforureningen.

Når ilten forsvinder fra sedimentet, vil den fosfor, som ligger i bundsedimentet, blive frigivet. Dette sker, fordi det jern- og organisk bundne fosfor frigives.

Konsekvensen er, at fosfor bliver opløst i søvandet og koncentrationen af fosfor i søen dermed stiger. I første omgang forøges koncentrationen i bundvandet. Er perioden med lave iltkoncentrationer lang nok og er der bundet tilstrækkeligt meget fosfor i sedimentet, vil der efterhånden også kunne spores en koncentrationsforøgelse i overfladevandet.

På figur 17 er fosforindholdet i både bundvand og overfladevand i Jul sø i 1992 præsenteret.

Som det kan ses, var fosforkoncentrationen den samme i bund- og overfladevand i april måned. I løbet af maj og juni steg fosforkoncentrationen i bundvandet. Stigningen i fosforindholdet begyndte altså før perioden med lave iltkoncentrationer.



Figur 17.

Koncentrationen af total fosfor i bundvand og overfladevand i Jul sø i 1992.

Årsagen er sandsynligvis, at den omsætning af døde alger, der sker, og som tager fart jo varmere vandet bliver, medførte, at ilten forsvandt fra sedimentet og at fosfor dermed blev frigivet til søvandet.

Det er i første omgang opløst fosfor (orthofosfat), der frigives fra bunden. Derfor blev der også registreret en stigning i koncentrationen af opløst fosfor i bundvandet. Koncentrationen steg i maj og første halvdel af juni fra ca. 25 µg P/l til omkring 100 µg P/l.

Figuren viser koncentrationen af total fosfor og kunne derfor være et billede på flere alger i bundvandet pga. en større sedimentation. Det er det sikkert også, men frigivelse af fosfor finder sted, idet orthofosfatkoncentrationen i bundvandet og i overfladevandet som nævnt viser det samme billede.

I alt blev der frigivet ca. 6 ton fosfor fra sedimentet i de fire søer i 1992 i den periode i sensommeren/efteråret, hvor der sker fosforfrigivelse. Heraf kom de 4 ton fra Jul sø.

Den store frigivelse i Jul sø fandt sted i juli og august. I disse to måneder kunne frigivelsen spores først som øgede fosforkoncentrationer i bundvandet, men i løbet af juli også i overfladevandet. Dette resulterede i, at fosforkoncentrationen i overfladen steg med ca. 100 µg P/l fra ca. 100 til 200 µg P/l.

## Generel beskrivelse af udviklingen i søvandet i Himmelbjergsøerne

I tabel 6 og 7 er sommer- og årsgennemsnittene af de kemiske parametre, som er målt gennem de sidste tyve år, præsenteret.

En af nøgleparametrene til beskrivelse af udviklingen i søerne er sigtddybden, som er et indirekte mål for mængden af alger i søvandet.

Den gennemsnitlige sommersigtdybde i Jul sø er, som man kan se, steget siden 1974 (tabel 6). Fra knapt en meter til 1,3 m i 1992.

Som det er beskrevet i det foregående afsnit, var sigtddybden tilbage i starten af tredserne dog omkring 1,5 m som et sommergennemsnit.

Sigtddybden i Jul sø og Borre sø har således varieret forholdsvis meget i de sidste tyve år.

Det er imidlertid ikke en ensrettet udvikling, som er sket, og det kan derfor konkluderes på baggrund af sigtddybdemålingerne, at forholdene i søerne ikke har ændret sig afgørende i perioden. Den variation, der har været, skal snarere ses som en naturlig år til år variation.

Den målsætning, som er opstillet af Århus Amt for Jul sø, er først opfyldt, når den gennemsnitlige sommersigtdybde er mere end 1,8 m. Endnu har søen dermed ikke opfyldt sin målsætning.

Når målsætningen er opfyldt, er den tilstand, der vil blive opnået som nævnt væsentligt anderledes end den oprindelige. Målsætningen er derfor et udtryk for den tilstand, det vil være realistisk at opnå i søerne, når karakteren af oplandet tages i betragtning.

Bestemmende for indholdet af alger i søvandet er foruden lysmængden først og fremmest mængden af tilgængelige næringsstoffer. I de ferske vande er det oftest fosfor, som begrænser algerne vækst. Derfor er det et problem, at fosfortilførslen til vore vandløb og søer er steget så kraftigt gennem de sidste hundrede år og derfor er fosfor en meget vigtig parameter i bedømmelsen af miljøtilstanden i vore søer.

Ser man på perioden 1974 - 1992, er fosfortilførslen først steget og siden reduceret igen - dog endnu ikke til 1974-niveau.

De store fosfortilførsler i 80'erne blev ikke modsvaret af et tilsvarende fald i sigtddybde - tværtimod var den gennemsnitlige sigtddybde i 1985 større, end det ellers er målt. Eller omvendt var sigtddybden i 1974 i forhold til fosfortilførslen meget lille (figur 1 og figur 12).

Figurerne viser data fra Borre sø. Uvist af hvilken grund var sigtddybden i 1985 her større end i Jul sø og Brassø. Man kan sige at sigtddybden i Borre sø i 1985 gav et lidt forvrænget billede af forholdene i Himmelbjergsøerne generelt.

Sigtddybden i Jul sø i sommermånederne i 1985 var således i gennemsnit 1,4 m og altså kun en anelse større end 1992-niveauet.

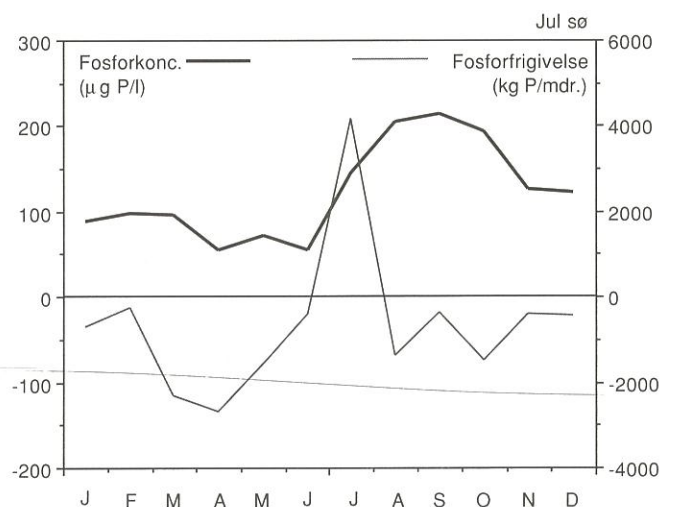
De registreringer af fosfortransporten, som foreligger fra starten af 1970'erne, viser en mindre årlig fosfortilførsel end i 1980'erne og de første år af 90'erne. Det er derfor ikke umiddelbart store fosfortilførsler, der kan forklare de dårlige forhold i 1974.

Noget kunne derfor tyde på, at forholdene i Himmelbjergsøerne i 1974 var specielt dårlige, eller omvendt at tilstanden i 1985 egentlig var bedre i søerne, end fosfortilførslen berettigede til.

Årsagen til, at der var en mindre fosfortransport i 70'erne end senere, er ikke, at fosfortilførslen var meget mindre, men derimod primært, at der på det tidspunkt stadig var en god fosforbinding i sedimentet i søerne opstrøms i Gudenåen.

Tilbage er derfor, at forholdene i Himmelbjergsøerne i de seneste tyve år har varieret meget og at denne variation er sket mere eller mindre uafhængigt af fosfortilførslerne.

Fosfortilførslen har selvfølgelig en betydning, men der er øjensynligt forholdsvis bredde rammer for miljøforholdene i de fire søer ved et givent fosformiveau.



**Figur 18.**  
Den månedlige fosforfrigivelse i Jul sø sammenlignet med koncentrationen af total fosfor i søen i 1992.



Om sigtddybden er 1,3 eller 1,8 m som et sommergennemsnit, afhænger dermed af de biologiske forhold i søerne det pågældende år. Om fiskene havde en stor yngelsesucces, om der var meget dyreplankton, om der blev spist mange alger osv.

Det er ganske vist, at den gennemsnitlige årskoncentration af total fosfor i Jul sø, Borre sø og Brassø er blevet reduceret med ca. 25 % siden 1974.

Da det i sidste ende er fosforkoncentrationen, der er afgørende for miljøtilstanden - uanset en biologisk variation - er der dermed en god sandsynlighed for, at også de miljømæssige forhold vil bevæge sig i en positiv retning de kommende år. Uanset det ikke hidtil har været muligt at registrere denne udvikling udfra sigtddybmålingerne.

Som det tidligere er beskrevet, er der to fosforkoncentrationsniveauer i Himmelbjergsøerne over året.

I det første halve år lå koncentrationen af total fosfor i søvandet mellem 50 og 100 µg P/l. Her afspejler søkoncentrationen i store træk koncentrationen i Gudenåen ved Rye Mølle. Fosforkoncentrationen i de fire søer er således hovedsagligt bestemt af de eksterne tilførsler fra 1. januar til omkring 1. juli.

I den sidste halvdel af året steg koncentrationen til omkring 150 - 200 µg P/l.

I Jul sø blev der i løbet af juli måned frigivet omkring 4 ton fosfor fra søbunden i 1992. Disse fire ton fosfor svarer til en koncentrationsstigning i hele søen på næsten 100 µg P/l. Som det kan ses på figur 18, er der netop tale om en stigning i fosforkoncentrationen i løbet af august på ca. 100 µg P/l.

Det kan derfor konkluderes, at det stigende indhold af fosfor, der ses i søvandet i Jul sø i august måned, hvor lagdelingen bliver brudt i søen og hele vandvolumenet bliver blandet, primært skyldes frigivelse fra Jul sø's eget sediment.

Bedømt ud fra fosforbalancen for søerne foregår denne fosforfrigivelse imidlertid kun i juli og august måned.

Som det kan ses af figur 18, vedbliver fosforkoncentrationen i søvandet at være relativt høj indtil starten af november måned. Årsagen hertil er den frigivelse af fosfor, som sker i søerne længere opstrøms i Gudenåsystemet. Den frigivne fosfor herfra vil påvirke de nedstrømsliggende søer i en periode, efter at frigivelsen har fundet sted.

På isopleth-figuren (figur 10) over Jul sø blev det vist, at der kun var iltfrit ved bunden i juli måned.

I følge den beregnede fosforfrigivelse i Jul sø var det

netop i juli, at langt den største frigivelse fandt sted, der er således en klar sammenhæng mellem fosforfrigivelse og iltkoncentration i bundvandet.

Målingerne i bundvandet viste dog, at der skete en mindre frigivelse allerede i juni måned.

Fosforfrigivelsen var meget markant i juli. I de fire søer blev der i denne måned tilsammen frigivet næsten 6 ton fosfor eller omkring 10 % af den samlede eksterne fosfortilførsel til søerne i 1992. Det kan således ikke undre, at fosforkoncentrationen i søvandet reagerer på fosforfrigivelsen fra sedimentet. Da opholdstiden i søerne er så forholdsvis kort også i sommerperioden, varer påvirkningen imidlertid ikke længe og som nævnt er det primært fosforfrigivelsen i de opstrømsliggende søer, som holder fosforkoncentrationen i søvandet oppe i september og oktober.

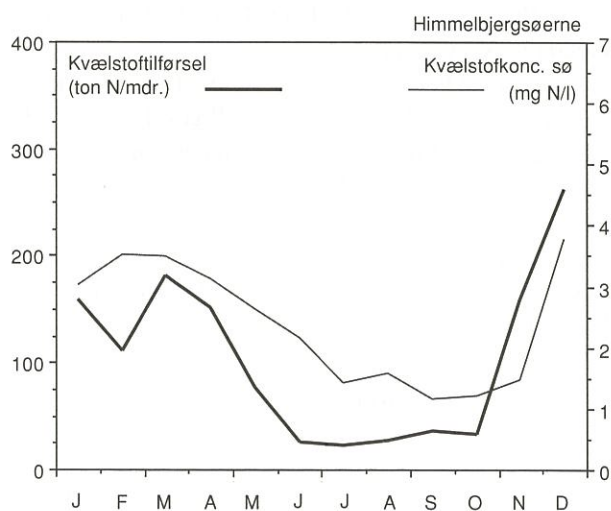
Kvælstof spiller ofte også en rolle i vore søer.

Ser man på udviklingen i kvælstofkoncentrationerne i de fire søer gennem de sidste tyve år, fremgår det, at niveauet i 1992 er højere end i 1974 men dog ikke så højt som i 1980.

Generelt kan kvælstofkoncentrationerne svinge noget fra år til år afhængigt af afstrømningen det pågældende år. Derfor er det naturligt med en vis variation i koncentrationen af kvælstof.

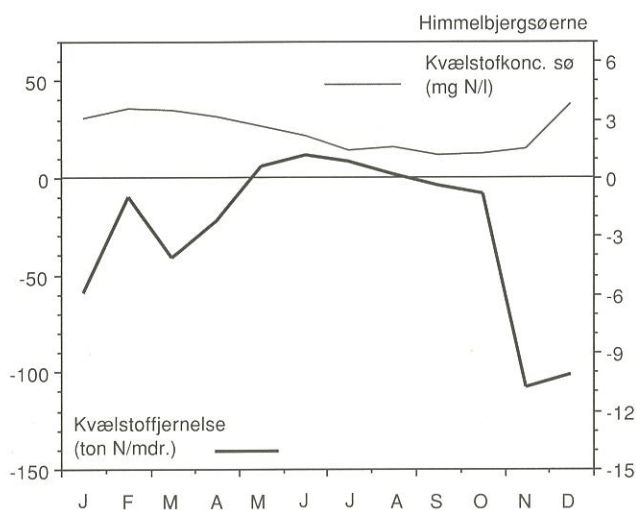
Der er imidlertid ingen tvivl om at kvælstofkoncentrationerne er blevet højere også i Himmelbjergsøerne i løbet af 1970'erne.

En analyse af kvælstofafstrømningen i Gudenåen ved Tvilum bro viser, at afstrømningen i de sidste 15 år stort



Figur 19.

Den månedlige kvælstoftilførsel til Himmelbjergsøerne sammenlignet med koncentrationen af total kvælstof i Jul sø i 1992.



Figur 20.

Den månedlige kvælstoffjernelsen i Himmelbjergsøerne i ton pr. måned sammenlignet med koncentrationen af total kvælstof i Jul sø i 1992.

set har været konstant (Århus Amt, 1993).

Den form, som kvælstoffet befinder sig på, er også blevet ændret. I halvfjerdsere var indholdet af ammonium væsentligt højere, end det er i dag og indholdet af nitrat var lavere.

Umiddelbart skulle man tro, at den ammonium, der bliver udledt fra rensningsanlæggene længere oppe ad Gudenåen, bliver nitrificeret og omdannet til nitrat, inden det når Himmelbjergsøerne. Der er imidlertid ikke noget, der tyder på, at f.eks. forskelle i lagdelingslængde mv. i 1974 og 1980 har kunnet forklare den højere ammoniumkoncentration disse år.

Årsagen til det højere indhold af ammonium i søvandet i 1974 og 1980 skal derfor måske alligevel findes i de større spildevandsudledninger samt udledninger af møddingsvand, som var på det tidspunkt.

Disse udledninger er blevet reduceret væsentligt, men til gengæld er indholdet af nitrat i søvandet steget, hvilket indikerer en større afstrømning fra de dyrkede jorde. Årsagen kunne også være en mindre denitrifikation, men da det er beregnet, at kvælstoffjernelsen har været større i 1992 end tidligere, er dette ikke sandsynligt.

Kvælstofkoncentrationen i søvandet reguleres af den eksterne tilførsel. Koncentrationen af total kvælstof faldt således i løbet af foråret fra ca. 3,5 mg N/l til godt 1 mg N/l parallelt med en nedgang i tilførslen af kvælstof via Gudenåen (figur 19 og 20).

Sammenholdes kvælstoftilførslen til søerne med kvæstoffjernelsen, ses den klare sammenhæng at jo større

tilførsel desto større kvæstoffjernelse.

Kvælstofbalancen for de fire søer viser, at der ikke skete nogen fjernelse af kvælstof fra søvandet i sommerperioden. Tværtimod var der øjensynligt en mindre optagelse af kvælstof i perioden.

Vandets opholdstid i de fire søer er kort, hvilket ikke fremmer nogen stor kvæstoffjernelse, men hovedforklaringen er sandsynligvis, at nitratkoncentrationen er lav og denitrifikationen dermed bliver hæmmet af mangel på kvælstof.

Samtidigt er der en forholdsvis stor mængde blågrøn-alger i søerne. Nogle blågrøn-alger er i stand til at optage kvælstof fra atmosfæren. Denne kvælstofoptagelse kan være årsagen til, at der beregnes en stigning i indholdet af kvælstof i søerne.

På figuren er det angivet, at der blev optaget kvælstof i maj, juni og juli måned. Det er tvivlsomt, om der var så mange blågrøn-alger i søerne på dette tidlige tidspunkt af året, at det kunne medføre en reel forøgelse af kvælstofindholdet i søvandet. Det er derfor sandsynligt, at det er usikkerheder på beregningerne, der viser en optagelse og at virkeligheden snarere var, at der blot ikke skete nogen kvæstoffjernelse i perioden.

Om sommeren vil en evt. kvæstoffjernelse normalt primært ske i form af denitrifikation. Denitrifikation er en bakteriel proces, som er temperaturafhængig og som derfor forløber hurtigst om sommeren.

Som nævnt sker der imidlertid ikke nogen særlig denitrifikation i Himmelbjergsøerne i sommerhalvåret pga. meget lave nitratkoncentrationer i bundvandet.

Den største kvæstoffjernelse sker derimod i de perioder af året, hvor tilførslen er størst - dvs. i den kolde og vandrige del af året som vist på figur 20.

På dette tidspunkt sker kvælstoftilførslen overvejende i form af nitrat. Derfor kan der ikke påregnes nogen stor sedimentation og derfor må den kvæstoffjernelse, som det kan beregnes, der sker, henføres til en denitrifikation.

Denitrifikation er som nævnt temperaturafhængig.

Forskellige undersøgelser har imidlertid vist forskellige grader af afhængighed.

Beregningerne af kvælstofbalancen i Himmelbjergsøerne viser, at temperaturen ikke er den eneste regulerende faktor og at det er tilgængeligheden af nitrat, der er den primært styrende faktor for denitrifikationen i Himmelbjergsøerne.

Da de største nitratmængder findes i søerne i vinter- og forårsmånederne, er det følgerigt på dette tidspunkt den største denitrifikation finder sted.

I den forbindelse skal det også erindres, at temperaturen i



det tidlige forår i 1992 var 2 - 3 °C højere end normalt (figur 9).

I 1992 blev der som nævnt fjernet omkring 25 - 30 % af den tilførte kvælstofmængde. Procentvis ligger kvælstoffjernelsen under gennemsnittet for danske søer (Kristensen, 1992). Da den tilførte kvælstofmængde er meget stor i forhold til søernes areal, fordi vandmængden, som strømmer til søerne, er så stor, er kvælstoffjernelsen pr. arealenhed stort set på linie med gennemsnittet for danske søer i 1992 - i Himmelbjergsøerne blev der fjernet omkring 35 g N/m<sup>2</sup> søoverflade i 1992.

Det kan konkluderes, at :

- *der er væsentligt flere alger og sigtddybden er noget mindre end det naturlige niveau.*
- *sigtddybden var i 1992 som et sommergennemsnit 1,2 - 1,3 m, hvilket er ca. 0,5 m under den målsætning, som er opstillet for søerne, men dog en stigning i forhold til niveauet i 1974.*
- *den gennemsnitlige koncentration af total fosfor over året var i 1992 120 - 130 µg P/l, hvilket er ca. 25 % mindre end i 1974.*
- *sigtddybden har varieret forholdsvist meget igennem de sidste 20 år.*

*kvælstofkoncentrationen er forholdsvis lav i Himmelbjergsøerne. I 1992 var der et vandføringsvægtet årgennemsnit på 3,15 mg N/l. Dette er ikke et udtryk for mindre kvælstoftilførsler fra Gudenåens opland end fra andre områder, men derimod, at der er en stor kvælstoffjernelse fra såvel Gudenåen som de søer, som ligger i forbindelse med den.*

*der sker en fosforfrigivelse fra sedimentet. I alt blev der frigivet ca. 6 ton fosfor fra Himmelbjergsøerne og frigivelsen fandt fortrinsvis sted i Jul sø,*

*frigivelsen af fosfor medfører, at søerne ikke er i ligevægt med fosfortilførslen. Der er dog stadig en nettofosfortilbageholdelse på årsbasis i søerne - tilbageholdelsen er blot ikke så stor som i en ligevægtssituation.*

*fosforfrigivelsen påvirker koncentrationen af total fosfor i såvel bundvand som overfladevand i juli, august og september.*

*fosforkoncentrationen forblev høj til slutningen af oktober. I de sidste halvanden måned skyldtes de høje fosforkoncentrationer en fosforfrigivelse i Mossø og de andre søer, der ligger længere oppe ad Gudenåen.*

*forholdene i Himmelbjergsøerne varierer forholdsvist meget fra år til år. Hidtil har variationen ikke kunnet forklares i ændrede fosfortilførsler.*





# Alger

Der er udtaget algeprøver i hver af de fire søer 18 gange i løbet af 1992. Prøverne er alle taget på vandkemistationen i søerne. Prøvetagnings- og bearbejdningsmetode er beskrevet i bilag.

Ved bearbejdningen er algernes biomasse ikke bestemt. I stedet er hyppigheden af de enkelte algegrupper/slægter anslået. Derfor er der ikke fundet et egentligt mål for algernes biomasse i søen ved undersøgelsen.

Følgende hyppighedsangivelse er anvendt :

Til stede, almindelig, hyppig og dominerende.

De enkelte algearters hyppighed i de fire søer kan findes i bilag.

## Sæsonvariation

Ved undersøgelsen i 1992 blev der fundet mindst 55 forskellige algearter i de fire søer. Artssammensætningen varierede kun lidt de fire søer imellem.

Himmelbjergsøerne har dermed et artsantal, som er karakteristisk for eutrofierede danske søer.

De algearter, som findes i de fire søer, er endvidere nogle, man typisk finder i eutrofierede søer i Danmark.

Ligesom artsantallet varierede heller ikke hyppigheden og fordelingen af de forskellige algegrupper meget fra sø til sø i 1992.

Som for vandkemiens vedkommende var der dog en forskel mellem Birk sø og de tre større søer.

Generelt er kiselalgerne en meget dominerende algegruppe i Himmelbjergsøerne.

I det tidlige forår udgjorde denne gruppe omkring 75 % af algerne i de fire søer.

Rekylalger har ofte en opblomstring, når kiselalgernes biomasse aftager. I Himmelbjergsøerne var der da også en opblomstring af rekylalger i april og maj i den periode, hvor kiselalgerne blev færre. Da der var flest kiselalger i Birk sø, var det også her, man så den største opblomstring af rekylalger.

Kiselalgernes hyppighed blev reduceret i løbet af foråret. I maj og juni havde grønalgerne i stedet deres største udbredelse. Grønalgerne havde nogenlunde den samme hyppighed i alle fire søer og når de var flest udgjorde gruppen ca. 25 % af den tilstedeværende algemængde.

Den dominerende algegruppe i sensommeren og efteråret var de kolonidannende blågrønner.

Der var blågrønner i de fire søer hele året rundt, men i vinter- og forårs månederne var det hovedsagligt trådformede blågrønner, som var tilstede. De trådformede blågrønner havde dog også deres største hyppigheder i sensommeren og efteråret, men blev aldrig så hyppige som de kolonidannende blågrønner.

I Jul sø, Borre sø og Brassø udgjorde de kolonidannende blågrønner omkring 50 % af algemængden fra 1. august til midt i oktober. I Birk sø var der derimod kun beskedne mængder af blågrønner. Her var det kiselalgerne, som dominerede hele året rundt.

I 1992 var der yderligere et mindre maksimum af kiselalger i Jul sø i august og september. En sådan mindre kiselalgeopblomstring blev ikke observeret i de andre Himmelbjergsøer.

I takt med at temperaturen i søerne faldt hen imod vinteren, ændredes algesammensætningen til at bestå af lige dele blågrønner og kiselalger samt en mindre mængde rekylalger og grønner.

I Jul sø var grønnerne dog ikke til stede på dette sene tidspunkt af året.

Det generelle successionsmønster i Himmelbjergsøerne i 1992 var som følger :

### januar

Algemængden i de fire Himmelbjergsøer var i januar 1992 meget beskedne. Mellem 50 og 75 % af de alger, som var i søerne, var kiselalger. Den øvrige algemængde blev udgjort af nogle få rekylalger og 15 - 25 % blågrønner. Da blågrønnernes hyppighed aftog i de følgende måneder, er det sandsynligt at de, som var til stede i de fire søer på dette tidspunkt, var "overlevende" fra en større algeopblomstring i efteråret 1991.

### februar

I februar tiltog kiselalgernes hyppighed generelt. Stadigt var det blågrønnerne (trådformede), som udgjorde en betydende del af den øvrige algemængde.

Generelt var algemængden stadigt lille men dog større end i januar.

### marts

I denne måned blev den største algemængde i forårsspe-

rioden registreret. Det såkaldte forårsalgemaksimum faldt altså i marts i 1992.

Kiselalgerne udgjorde omkring 75 % af algerne, hvilket var kiselalgernes største andel af den samlede algemængde i 1992.

På dette tidspunkt begyndte der at optræde en mindre mængde grønalger i søerne og yderligere var der et beskedent antal trådformede blågrønalger til stede.

#### april

Forårsmaksimummet varede indtil midten af april, hvorefter den samlede algebiomasse begyndte at aftage.

Som det ofte ses, blev rekylalgerne mere hyppige i takt med at kiselalgerne blev færre. Stadigt udgjorde kiselalgerne dog mere end 50 % af algemængden. Grønalgerne blev en smule mere hyppige og der var fortsat nogle få trådformede blågrønalger til stede.

#### maj

I maj måned var algebiomassen (målt som klorofyl) markant mindre end i april og omkring månedsskiftet til juni blev den laveste algemængde i sommerhalvåret i

1992 registreret (figur 21 og 23).

Kiselalgerne udgjorde nu mindre end 50 % af de tilstedeværende alger. Grønalgerne havde fortsat en hyppighed på omkring 25 % af den samlede algemængde og i forhold til april måned var der blevet en smule flere blågrønalger, som fortsat tilhørte de trådformede grupper.

#### juni

I løbet af juni steg algebiomassen målt som klorofyl i Jul sø fra omkring 7  $\mu\text{g/l}$  i starten af måneden til ca. 50  $\mu\text{g/l}$  omkring 1. juli (figur 23). I de tre øvrige søer var der en tilsvarende eller større stigning i algebiomassen. Den observerede stigning i algemængden skyldtes en opblomstring af kiselalger og blågrønalger - nu såvel trådformede som kolonidannende blågrønalger.

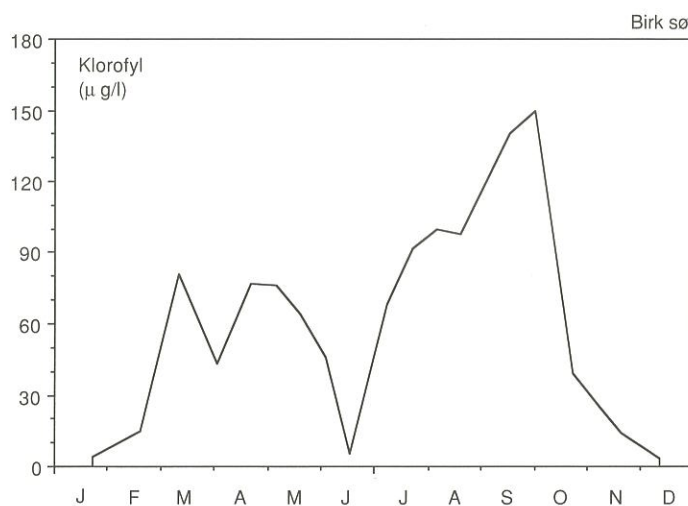
#### juli

I juli dominerede blågrønalgerne. Ialt udgjorde gruppen omkring 50 % af algerne i de tre større søer. Birk sø afveg fra dette billede og her var det kiselalgerne, som vedblev at være den dominerende gruppe året ud. Grønalgerne fandtes stadigt som en betydende gruppe i

Figur 21.

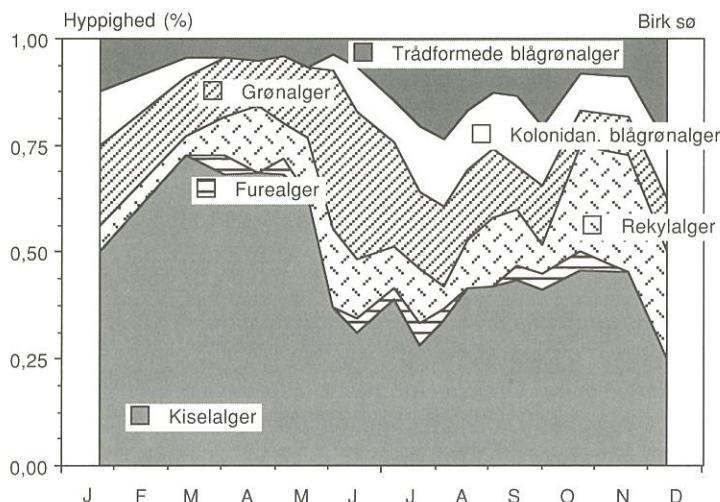
Årstidsvariationen af klorofyl i Birk sø i 1992.

Klorofylmængden er et inddirekte mål for algemængden i søen



Figur 22.

Figuren illustrerer den relative fordeling af de forskellige algegrupper i Birk sø i 1992. Det er altså ikke muligt ud fra figuren at aflæse mængden af alger. Figuren fortæller kun noget om den indbyrdes fordeling af algegrupperne.





alle fire søer. Senere på året blev grønalgerne mindre hyppige bortset fra i Brassø, hvor der tilsyneladende var en nogenlunde konstant grønalgemængde igennem hele året.

### august

I Birk sø og Jul sø fortsatte stigningen i algebiomassen i august, hvorimod årets algemaksimum blev nået i denne måned i Borre sø og Brassø.

Det var de kolonidannende blågrønner (*Microcystis*), som udgjorde den største del af algerne i de tre store søer. I Birk sø og til dels i Jul sø var der også en ikke ubetydelig mængde kiselalger i søvandet.

### september

I midten af september måltes de højeste algemængder (målt som klorofyl) i Jul sø og Birk sø. Det var stadig de kolonidannende blågrønner, som udgjorde den største del af algerne i Jul sø, Borre sø og Brassø.

### oktober

Fra slutningen af september til midten af oktober blev algebiomassen reduceret voldsomt. Det var specielt blå-

rønalgerne, som forekom med en reduceret hyppighed. Generelt udgjorde blågrønnerne dog fortsat mere end 50 % af de tilstedeværende alger.

I Birk sø var der stadig mange kiselalger, hvorimod hyppigheden af denne algegruppe i de øvrige søer på dette tidspunkt i 1992 var beskedne.

### november

I takt med at algebiomassen generelt blev mindre, udgjorde rekylalgerne en større andel af den samlede algebiomasse. I forhold til de øvrige algegrupper steg andelen af kiselalger også og det var hovedsagligt blå-grønnerne, som optrådte med en aftagende hyppighed.

### december

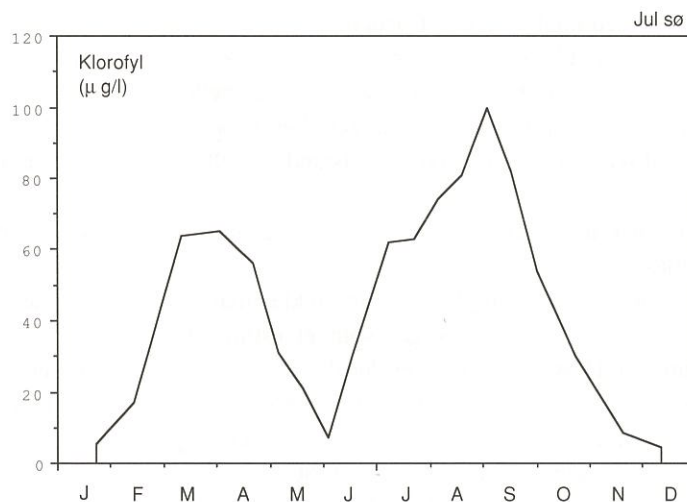
I årets sidste måned var der omkring 30 - 35 % blågrønner i de fire søer. Kiselalgerne udgjorde omkring 25 % og de resterende 35 - 45 % bestod af rekylalger, grønner og nogle få furealger.

I øvrigt var algebiomassen meget lille og på niveau med den biomasse, som blev registreret under klarvandsperioden i begyndelsen af juni.

Figur 23.

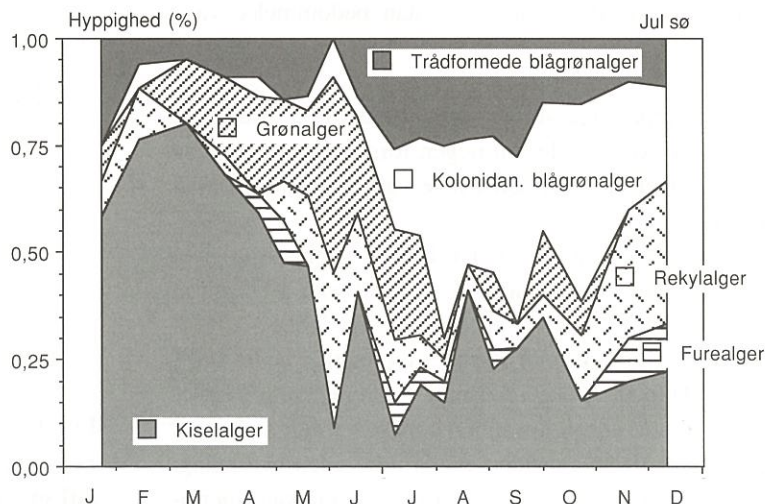
Årstidsvariationen af klorofyl i Jul sø i 1992.

Klorofylmængden er et indirekte mål for algemængden i søen



Figur 24.

Figuren illustrerer den relative fordeling af de forskellige algegrupper i Jul sø i 1992. Det er altså ikke muligt ud fra figuren at aflæse mængden af alger. Figuren fortæller kun noget om den indbyrdes fordeling af algegrupperne.



## Generel beskrivelse af algesammensætningen i Himmelbjergsøerne

Sammenlignes algesammensætningen i Jul sø i 1992 med de tidligere registreringer, som blev foretaget i 1980, passer beskrivelsen fra dengang stort set nøjagtigt med forholdene i søen i 1992.

Som i 1980 var det primært små centriske kiselalger (hovedsagligt *Stephanodiscus*), der dominerede i vinterperioden.

Under forårsmaksimummet var det fortsat *Stephanodiscus* og endvidere *Asterionella formosa*, som er en noget større pennat (aflang) kiselalge, der var de dominerende. Under klarvandsperioden var algesammensætningen stort set den samme i 1980 og i 1992 og sensommeren og efterårets blågrønalg blomstring fulgte ligeledes det samme mønster de to år. Indledningsvis en dominans af *Aphanizomenon* i juli og derefter *Microcystis*-dominans i august og september.

Endeligt forekom den mindre opblomstring af kiselalger, som blev registreret i efteråret i Jul sø også i 1980. Det kan dermed konkluderes, at bedømt ud fra algesammensætningen i Jul sø og i de øvrige Himmelbjergsøer, hvor der er tale om et tilsvarende sammenfald mellem 1980 og 1992, er forholdene, hvad angår alger i søerne i 1992, i praksis uændrede i forhold til tilstanden i 1980.

Der foreligger som nævnt ikke noget egentligt mål for algebiomassen ved undersøgelsen.

Klorofylindhold og sigtddybde er indirekte mål for mængden af alger og kan bruges som et estimat for algemængden. Desværre eksisterer der ikke sammenlignelige klorofylmålinger fra perioden før 1985 og det er derfor nødvendigt at bedømme udviklingen i algemængden ud fra ændringer i sigtddybden siden 1980.

Andre faktorer end algemængde influerer imidlertid på sigtddybden og derfor må en sådan bedømmelse være forsigtig.

Sammenlignes sigtddybden i 1980 med 1992, viser figur 25, at der ikke er tale om nogen forskel i sigtddybde og dermed sandsynligvis heller ikke i algemængde de to år imellem.

Det kan ses, at sigtddybden i 1985 i gennemsnit over sommeren var større end i såvel 1980 som 1992 og at 1974 havde en mindre gennemsnitlig sigtddybde.

Hvorvidt disse forskelle afspejler en regulær bedre søtilstand i de to år, er nok tvivlsomt. Snarere skal forskellene ses som et udtryk for den naturlige variation, der er i søen fra år til år. Desuden er det ikke uden betydning, hvor godt man det enkelte år "rammer" klarvandsperio-

den.

Bedømt ud fra sigtddybden, er der således ikke noget som tyder på, at søerne har undergået en væsentlig ændring i tilstanden siden 1980.

Fosforindholdet i Himmelbjergsøerne er heller ikke ændret væsentligt, på trods af at de eksterne kilder til eutrofieringen er blevet reduceret i perioden. Da algemængde og algesammensætning i høj grad afhænger af fosforindholdet i søerne, er det således ikke uventet, at søerne ikke har ændret sig i de sidste 15 år.

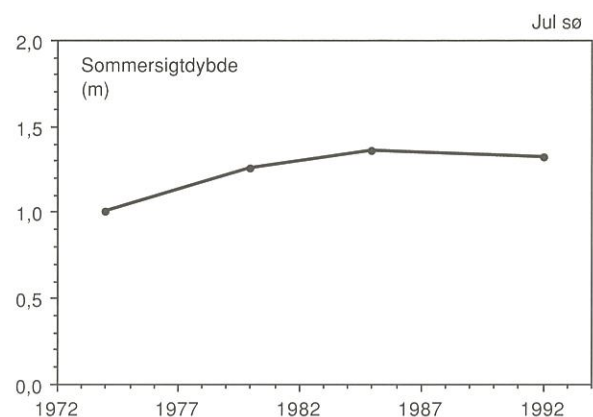
Da algerne optager og lever af de opløste næringsstoffer, som findes i søvandet, er der en vis sammenhæng mellem algebiomasse (stadigt målt som klorofyl) og koncentrationen af næringsstoffer i vandet.

I takt med at kiselalgerne blomstrede op i foråret, faldt koncentrationen af opløst silicium og opløst fosfor (orthofosfat). Kiselalger skal bruge silicium til udvikling af den skal, hvormed de omgiver sig. Derfor ser man som regel et fald i siliciumkoncentrationen, når der er mange kiselalger.

I starten af april, hvor kiselalgerne havde deres forårsmaksimum, var koncentrationen af opløst silicium da også den laveste i 1992. I Jul sø blev der målt en siliciumkoncentration på 0,01 mg Si/l og det er sandsynligt, at mangel på silicium dermed i en kortere periode har begrænset disse algers vækst.

Koncentrationen af orthofosfat var dog også lille i perioden (mindre end 5 µg PO<sub>4</sub>-P/l) og mangel på tilgængeligt fosfor kan derfor også have været medvirkende til at begrænse væksten hos kiselalgerne.

I løbet af april og maj faldt algebiomassen og klarvandsperioden indtrådte omkring 1. juni.



Figur 25.

Den gennemsnitlige sigtddybde i sommerperioden i Jul sø i måleårene fra 1974 til 1992.



Når der ikke er mange alger i søerne, er optagelsen af næringsstoffer lille. Derfor stiger koncentrationen af opløste næringsstoffer normalt under en periode med få alger i søvandet - således også i Himmelbjergsøerne.

Ser man på figurene over orthofosfat, opløst silicium og ammonium, har de alle en større eller mindre stigning i klarvandsperioden.

Senere på sommeren tiltog mængden af alger igen og denne gang var det hovedsagligt kolonidannende blågrønalger, der var i søerne. Blågrønalger optager ikke silicium, så derfor steg koncentrationen af dette stof jævnt i efteråret.

Ligeledes steg koncentrationen af orthofosfat fra juli til oktober, selvom blågrønalgerne bruger fosfor. Grunden hertil er, at der blev frigivet en større mængde fosfor fra sedimentet, end algerne kunne optage.

Visse arter af blågrønalger er i stand til at optage kvælstof fra atmosfæren. Derfor vil mange blågrønalger have en fordel fremfor andre algegrupper i en situation, hvor koncentrationen af opløst kvælstof falder.

I løbet af sommeren blev koncentrationen af nitrat i søvandet mindre og nåede et minimum i august måned. Årsagen er dels denitrifikation (bakteriel kvælstoffjernelse), dels en hæmning af den nitrifikation, som normalt finder sted på bunden af søerne. Nitrifikationen, som er en proces, hvor bakterier omdanner ammonium til nitrat under forbrug af ilt, blev hæmmet, fordi iltkoncentrationen i bundvandet nærmede sig nul her midt på sommeren.

Samtidigt var de eksterne tilførsler af nitrat små i sommerperioden.

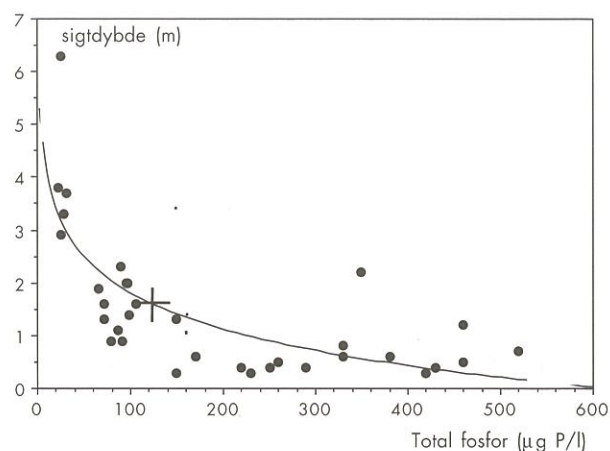
Derved faldt nitratkoncentrationen og dermed blev blågrønalgerne favoriseret fremfor bla. kiselalgerne.

Disse sammenhænge er gældende hvert år og er en medvirkende årsag til, at der kommer blågrønalger i mange danske søer i efteråret.

Andre faktorer som lysindstråling og temperatur er dog mindst lige så vigtige for blågrønalgerens udvikling.

Grunden til, at der er mange blågrønalger i Himmelbjergsøerne i august og september, er altså, at vandet er varmt og roligt, at der er meget lys på dette tidspunkt af året og at fosforindholdet er højt og kvælstofindholdet lavt. Alle disse ting fremmer blågrønalgevekst på bekostning af andre algegrupper.

Selvom nitratkoncentrationen faldt i løbet af sommeren, blev koncentrationen af opløst kvælstof ikke så lille på noget tidspunkt, at kvælstof var en begrænsende faktor



Figur 26.

Sammenhængen mellem total fosfor og sigtdybde som årsværdier fundet ud fra gennemsnitsdata hentet fra Vandmiljøplanens overvågningsprogram i 1989. (efter Kristensen et al., 1990).

De samhörørende værdier for total fosfor og sigtdybde i Jul sø i 1992 er angivet med et kryds.

for algernes vækst i 1992.

Der eksisterer en sammenhæng mellem sigtdybde og koncentration af total fosfor i søerne (figur 26).

Anvender man fortsat sigtdybden som et mål for algemængden i søerne, kan man dermed få et overblik over mængden af alger til en given koncentration af total fosfor.

På figuren kan det ses, at så længe koncentrationen af fosfor i søvandet er større end 100 - 150 µg P/l, vil en reduktion i fosforkoncentrationen ikke medføre nogen væsentlige ændringer i algemængde og sigtdybde.

I Himmelbjergsøerne er der sket et fald i den gennemsnitlige årskoncentration af total fosfor siden 1974 fra omkring 160 µg P/l til ca. 120 µg P/l. Søerne har altså i den forløbne tyve årige periode befundet sig på et fosforniveau, hvor selv relativt store ændringer i fosforkoncentrationen ikke har medført mærkbare ændringer i sigtdybden.

Den gennemsnitlige koncentration af total fosfor i 1992 i Jul sø var som nævnt på ca. 120 µg P/l.

På figur 26 kan det ses, at søerne dermed nu befinder sig på et fosforniveau, hvor yderligere reduktioner i fosforkoncentrationen vil resultere i færre alger og forbedret sigtdybde med deraf følgende forbedrede forhold i søerne.

Det er derfor vigtigt, at det fald i fosforkoncentrationen som i de sidste 15 år er sket i Himmelbjergsøerne

fortsætter.

Kommer koncentrationen af fosfor i søvandet ned under 100 µg P/l, er det sandsynligt, at algemængden vil falde og sigtddybden stige mærkbart.

Som det er beskrevet i afsnittet om vandkemien, tilføres søerne hvert efterår en større mængde fosfor fra bunden. Denne proces vil fortsætte i nogle år endnu.

Så længe der er en stor fosforfrigivelse, kan det ikke forventes, at de tiltag til reduktion i de eksterne kilder, som er foretaget for at søerne på langt sigt skal få en forbedret tilstand, vil kunne ses som ændringer i søernes tilstand.

Der er imidlertid ingen tvivl om, at søerne på det tidspunkt, hvor de er kommet i ligevægt med fosfortilførslen og der dermed ikke sker en voldsom fosforfrigivelse hvert efterår, vil få en forbedret tilstand.

På den anden side vil de fire Himmelbjergsøer aldrig blive meget klarvandede søer. Dels fordi de fra naturens hånd er næringsrige, dels fordi det ikke er realistisk, at søerne ikke i et vist omfang vil være påvirkede af de mange mennesker, der bor og den intensive opdyrkning, som er, i oplandet.

Det kan konkluderes at :

- *der er mange alger i Himmelbjergsøerne. Klorofylniveauet, som er et indirekte mål for algemængden, er typisk for næringsaltforurenede danske søer. De algearter, der findes, er ligeledes typiske for næringsrige søer.*
- *der i Birk sø er mange kiselalger hele året rundt. Også i de tre store søer er der mange kiselalger, men her er det specielt i forårmånederne gruppen dominerer.*
- *der i de tre store søer er mange blågrønalger i august og september, hvilket gør, at sigtddybden i denne periode er meget lille.*
- *der ikke er sket nogen nævneværdig ændring i hverken algemængden (målt som klorofyl) eller algesammensætningen i søerne siden 1980.*
- *forholdet mellem sigtddybde og koncentration af total fosfor svarer til det, der er fundet for en række andre danske søer.*
- *der ikke er en mindre algemængde i 1992 sammenlignet med 1980, selvom der er sket en væsentlig reduktion i fosforindholdet i søerne. I 1992 var den gennemsnitlige fosforkoncentration på 120 µg P/l.*
- *Skal søernes målsætning opfyldes hvad angår sigtddybde og dermed algemængde, skal fosforkoncentrationen i søvandet ned omkring 80 - 85 µg P/l som et årgennemsnit.*



## Nuværende og fremtidig tilstand

De fire Himmelbjergsøer Birk sø, Jul sø, Borre sø og Brassø er i dag alle meget påvirkede af de store næringsstofftilførsler, der har været og stadig er til søerne.

Som følge af et forhøjet næringsstofniveau i søvandet (det er først og fremmest fosfor, som er et problem) er der mange alger i søerne. Derved er lysforholdene meget dårlige til skade for såvel undervandsplanter som fisk.

For 50 - 70 år siden var der en udbredt undervandsvegetation på store dele af søbunden. Disse planter er nu forsvundet, fordi algerne i søvandet har skygget dem bort.

Fiskebestanden har også ændret sig i de seneste 20 - 30 år. Forureningen har været årsag til, at de traditionelle rovfisk i rene søer ikke har haft gode overlevelseschancer. Søøreden, som ellers er karakteristisk for Himmelbjergsøerne, er derfor ikke så udbredt som tidligere. Ligeledes har rovfisk som gedden og de store aborrer fået dårligere levevilkår.

I stedet er det fredfisk som skalle og brasen, der ikke er afhængige af klart vand, som er blevet favoriserede. Også sandarten har oparbejdet en betydelig bestand i Himmelbjergsøerne, en bestand der dog også i de senere år er blevet reduceret noget. Sandart er en indført fisk, der, selvom den er en rovfisk, befinder sig godt i forholdsvist uklart vand.

Alt i alt er de fire søer altså i en tilstand, der er meget langt fra en naturtilstand. Dette er i vid udstrækning en afspejling af, at Gudenåen løber igennem søerne og at søerne dermed igennem tidernes løb har fået tilført meget store mængder næringsstoffer fra spildevand og afstrømning fra de dyrkede jorde i oplandet.

En stor del af den tidligere tilførte fosfor ligger i dag på bunden af de fire søer og på bunden af de søer, som ligger længere oppe ad Gudenåen.

Meget af denne fosfor bliver frigivet til søvandet hver sommer og efterår. Derfor kan det endnu ikke spores på søernes tilstand, at der er ofret store summer på at bygge rensningsanlæg med fosforfjernelse i Gudenåens opland.

I 1992 blev der tilført omkring 51 ton fosfor til de fire søer. Det er en reduktion i forhold til tilførslerne for 10 - 15 år siden, men i forhold til fosfortilførslerne i halv-

fjerdserne og tidligere er der stadig tale om et højere niveau.

Skal vi gøre os forhåbninger om, at søerne igen skal nærme sig en tilstand, hvor der bl.a. vil være mulighed for en etablering af undervandsvegetation, er det nødvendigt, at fosforindholdet i søvandet reduceres yderligere.

Målsætningen for Jul sø er bl.a., at sigtddyben i sommermånederne skal være mindst 1,8 m som et gennemsnit.

Det kan beregnes ud fra en sammenhæng mellem sigtddybde og fosforkoncentration i søvandet, som er opstillet i Kristensen et al. (1991) :

$$\text{sigtddybde} = 0,25 [P]_{sø}^{-0,61} Z^{0,25}$$

hvor  $[P]_{sø}$  er koncentrationen af fosfor i søvandet og Z er gennemsnitsdybden i søen, at fosforindholdet i Himmelbjergsøerne ikke må være større end 80 - 85 µg P/l, hvis sigtddyben som et minimum skal være 1,8 m.

Ved at anvende en model for sammenhængen mellem søvandsfosforkoncentrationen og indløbskoncentrationen af fosfor (Vollenweider, 1976) :

$$[P]_{sø} = [P]_{ind} / (1 + Tw^{0,5})$$

hvor  $[P]_{sø}$  er fosforkoncentrationen i søen,  $[P]_{ind}$  er fosforkoncentrationen i indløbet og Tw er vandets opholdstid i søen, kan det beregnes, at koncentrationen af fosfor i indløbsvandet til Himmelbjergsøerne, hvilket i praksis vil sige fosforkoncentrationen i Gudenåen, højst må være omkring 110 - 120 µg P/l som et sommergennemsnit, hvis søkoncentrationen skal være omkring 80 - 85 µg P/l.

Det vand, som ikke strømmer via Gudenåen har en fosforkoncentration på mindre end 100 µg P/l. I Gudenåen var den vandføringsvægtede indløbskoncentration i gennemsnit på 145 µg P/l.

Derfor var den vandføringsvægtede indløbskoncentration for fosfor i 1992 til Himmelbjergsøerne omkring 130 µg P/l.

Selvom Gudenåens vand altså bliver "fortyndet" vil det være nødvendigt, at koncentrationen af fosfor i åen bliver reduceret med 25 - 35 µg P/l.

Med den vandmængde, der var i Gudenåen i 1992, svarer en koncentration på 115 µg P/l til en fosformængde på omkring 34 ton. I 1992 blev der tilført ca. 43 ton fosfor, så umiddelbart er det altså ikke voldsomme reduktioner, der skal til.

I disse år transporteres der en del af puljen af overskuds-fosfor bort fra de opstrømsliggende søer. Her er de største Mossø, Skanderborg sø og Salten Langsø.

Derfor er koncentrationen af fosfor i Gudenåvandet, når det løber ind i Himmelbjergsøerne, også påvirket af denne frigivelse.

Man kan få et billede af koncentrationen af fosfor i Gudenåen uden fosforfrigivelse i søerne ved at kigge på koncentrationerne opstrøms de nævnte søer.

I Gudenåen opstrøms Mossø var den vandføringsvægtede fosforkoncentration i 1992 på 105 µg P/l og i Salten å opstrøms Salten Langsø 145 µg P/l.

Da vandføringen i Gudenåen er væsentligt større end i Salten å og derfor vægter mest, er der altså noget, der tyder på, at den reelle fosforkoncentration (altså uden fosforfrigivelse i søerne) nærmer sig det ønskede niveau på 110 - 120 µg P/l.

Her er værdier opstrøms de nævnte søer brugt i sammenligningen. Når hele Gudenåsystemet er kommet i ligevægt, vil der være en fosfortilbageholdelse i søerne. Derved vil fosforkoncentrationen blive reduceret yderligere i forhold til de nævnte værdier.

Hvordan og hvor hurtigt udviklingen vil gå, vil de kommende års undersøgelser i Gudenåen og dens søer vise.

Tilstanden i søerne er bestemt af den fosfortilførsel, der sker til dem. Ved at anvende ligningerne på forrige side kan man få en forestilling om, hvad forskellige tiltag i oplandet vil betyde for miljøtilstanden i søerne.

Der er naturligvis en del usikkerheder ved en sådan fremstilling, og derfor skal de følgende eksempler tages med et vist forbehold.

Der er her opstillet følgende eksempler for Jul sø og Borre sø (tabel 8). (I denne sammenhæng vil forudsigelserne for Borre sø også gælde for Brassø) :

1. : Hvis der ikke var indført spildevandsrensning i oplandet.
2. : Hvis den eksterne fosfortilførsel er den samme som i 1992, men hvor søerne, såvel de opstrømsliggende som Himmelbjergsøerne, er kommet i en ligevægt. Altså de forhold, der vil være i fremtiden, om der ikke bliver foretaget yderligere i oplandet.
3. : Hvis rensningsanlæggene øger rensningen fra i dag ca. 95 % til 98 % fosforfjernelse og der sker en halvering af bidraget fra regnvandsoverløbene, dambrugene og den spredte bebyggelse, samt at der ingen intern belastning fra opstrøms liggende søer sker.
4. : Hvis rensningsanlæggene har 98 % fosforfjernelse og der sker en halvering af bidraget fra regnvandsoverløbene, dambrugene, den spredte bebyggelse og fra de

|  | Indløbskonc.<br>(mg P/l) | Jul sø              |                   | Borre sø            |                   |
|--|--------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
|  |                          | Søkonc.<br>(mg P/l) | Sigt dybde<br>(m) | Søkonc.<br>(mg P/l) | Sigt dybde<br>(m) |
| Ingen rensning   | 0,440                    | 0,326               | 0,8               | 0,383               | 0,7               |
| Ekstern fosfortilførsel som idag men ingen intern belastning.  | 0,105                    | 0,078               | 2,0               | 0,091               | 1,6               |
| 98 % rensning+halvering af bidrag fra dambrug, regnvandsoverløb og spredt bebyggelse samt ingen intern belastning.             | 0,095                    | 0,070               | 2,1               | 0,083               | 1,7               |
| 98 % rensning, halvt bidrag fra spredt bebyggelse, dambrug, regnvandsoverløb og de dyrkede jorde samt ingen intern belastning. | 0,075                    | 0,056               | 2,4               | 0,065               | 2,0               |
| Naturtilstand  | 0,035                    | 0,026               | 3,9               | 0,030               | 3,1               |

**Tabel 8.**

Eksempler på den gennemsnitlige fosforkoncentration og sigt dybde i Jul sø og i Borre sø i sommermånederne ved givne indløbskoncentrationer. Der er ved beregningen anvendt den vandmængde som kom til søerne i 1992.

Bemærk at de præsenterede fosforkoncentrationer er angivet i mg P/l:



dyrkede jorde, samt at den interne belastning fra opstrøms liggende søer er ophørt.

Det er åbenlyst, at situationen helt uden rensning ville være katastrofal for vandmiljøet.

Ser man på eksempel 2, hvor den eksterne fosfortilførsel er den samme som i 1992 og søerne i Gudenåsystemet er i ligevægt, vil amtets målsætning om en sigtgybde på mindst 1,8 i Jul sø og 1,4 m i Borre sø være opfyldt.

Man skal huske på, at der altid vil være en vis variation fra år til år i forholdene i en given sø ved et givent fosforniveau. Selvom modelberegningen siger 2 m, er det derfor ikke givet, at sigtgybden konstant vil holde sig over de 1,8 m som et sommergennemsnit.

Men det skal understreges, at på længere sigt vil Recipientkvalitetsplanens målsætning efter al sandsynlighed blive opfyldt med de tiltag, der er foretaget i Gudenåens opland.

Eksempel 3. Hvis der sker en reduktion i udledningen fra rensningsanlæggene, dambrugene, regnvandsoverløbene og den spredte bebyggelse vil (i følge de anvendte ligninger) amtets målsætninger naturligvis også opfyldes for de tre søer.

Men der sker ikke nogen stor forbedring af sigtgybden og dermed forholdene i søerne i eksempel 3 sammenlignet med eksempel 2.

Den store forbedring i miljøtilstanden kommer i det tilfælde, hvor søerne dels er i ligevægt og hvor der også er sket en reduktion på 50 % af de dyrkede jordes tilførsel af fosfor.

I den situation vil sigtgybden blive 2,4 m som en gennemsnitlig sommersigtgybde i Jul sø og 2,0 m i Borre sø.

Dermed vil søerne have helt andre og bedre forudsætninger, end de har i dag.

Det sidste eksempel er naturtilstanden, hvor det her er antaget, at koncentrationen af fosfor i Gudenåen vil være 35 µg P/l, hvis der ingen menneskelig påvirkning var.

Så rent vand i Gudenåen ville give en sigtgybde i Jul sø i sommermånederne på næsten 4 m og i Borre sø på mere end 3 m.

I den forbindelse skal det understreges, at enhver reduktion i fosfortilførslen naturligvis vil være til gavn for miljøet.

Ud fra de gennemgåede eksempler kan man se, at selv om der sker yderligere reduktioner i bidraget fra rensningsanlæggene, dambrugene og regnvandsoverløbene

vil det ikke resultere i den store effekt i tilstanden i Himmelbjergsøerne.

Da langt det største fosforbidrag kommer fra de dyrkede jorde, er det følgelig den eneste effektive løsning, at der sker en reduktion i udledningen af fosfor herfra, om forholdene i Himmelbjergsøerne skal blive endnu bedre end foreskrevet i Recipientkvalitetsplanen.

Her kan fremtidige braklægningsordninger, større udlægningsområder af miljøfølsomme områder, ændret gødningspraksis mv. formodentligt skabe forudsætningerne for at opnå det ønskede resultat.

Som tidligere nævnt vil de fire søer altid have en dårligere sigtgybde sammenlignet med f.eks. Knud sø eller Almind sø, selvom disse to søer ligger meget tæt ved Himmelbjergsøerne. Simplethen fordi Gudenåen tilfører så store vand- og stofmængder også uden en menneskelig påvirkning.

Den opstillede målsætning er da heller ikke et mål i sig selv men blot en rettesnor og et minimumskrav til søernes tilstand. Det er klart, at en tilstand, der opfylder amtets målsætning for de fire søer, er langt fra en naturtilstand.

De tidligste registreringer af sigtgybde og undervandsvegetation viser, at allerede i tredserne, hvor fosfortilførslen bedømt ud fra målingerne i 1973 og 1974 lå på et niveau omkring 30 ton om året, var søerne i en belastet tilstand og undervegetationen på tilbagetog. En tilstand med en sigtgybde på omkring 2 meter og en fosfortilførsel på over 40 ton om året vil derfor kun medføre en begrænset ændring i søernes forhold og der vil sandsynligvis ikke i fremtiden blive tale om en større udbredelse af undervandsvegetation men kun i bedste fald om undervandsplanter på de lavere områder i søerne.

Hvis Århus Amts målsætning for de fire søer opfyldes, vil søerne dog være ledt ind i en positiv cirkel.

Undervandsplanter og forholdsvist klart vand giver bedre muligheder for bl.a. rovfiskene, som kan begrænse mængden af fredfisk i søerne til gavn for lysforholdene. Gode iltforhold giver bedre muligheder for en rigere og mere varieret bundfauna og generelt et mere varieret liv i søen.

Som tidligere nævnt vil søerne desværre ikke automatisk svinge ind og blive mere klarvandede, hvis fosfortilførslen bliver reduceret med 10 ton om året. Først skal en del af den fosfor, der ligger på bunden og

som frigives til søvandet hvert efterår, føres ud af søen. Hvor lang tid det vil tage, er det svært at sige noget om.

I den forbindelse er det imidlertid en fordel, at Gudenåen med dens store vandmasser passerer søerne. Hermed er der nemlig en stor udskylning af vand og næringsstoffer og det vil derfor kun være en mindre del af den frigivne fosfor, som når at bundfælde igen, før den er ført ud af de fire Himmelbjergsøerne. Her vil det dog være sådan, at noget af den fosfor, som har ligget på bunden af eksempelvis Jul sø og belastet miljøet i denne sø, efterfølgende kan blive bundfældet i Borre sø eller i Brassø og for en tid forværre forholdene her.

Det er således adskillige år, der er tale om, før al den sedimentere overskudsfosfor er fjernet fra alle fire søer. De tiltag, der er gjort og evt. yderligere tiltag, der måtte blive foretaget, vil dermed ikke bære frugt i de nærmeste år.

Det må dog ikke være et argument for ikke at gøre noget. Det vil jo nemlig være sådan, at jo før fosfortilførslen bliver reduceret og jo kraftigere reduktionen er, jo hurtigere vil forholdene i søerne ændres.

Det skal slutteligt da også understreges, at der vil ske ændringer i søernes tilstand også før overskudspuljen af fosfor er blevet ført ud af søerne.

Sammenfattende kan det konkluderes, at :

- *Himmelbjergsøerne er temmeligt forurenede af næringssalte og at livet i søerne derfor er stærkt belastet og langt fra en naturlig tilstand.*
- *det hovedsagligt er tidligere tiders store fosfortilførsler, der har ansvaret for det forringede miljø i søerne.*
- *der ligger store mængder fosfor på bunden af søerne, som frigives i efteråret og holder søerne i en dårlig miljøtilstand. Gudenåens store vandmasser fører imidlertid hvert år meget af denne fosfor væk og forbedrer dermed år for år forudsætningerne for renere søer.*
- *det kan beregnes, at fosforkoncentrationen i søerne skal ned omkring 80 - 85 µg P/l, hvis søernes målsætning mht. sigtddybde skal opfyldes.*
- *at fosforkoncentrationen i Gudenåen skal ned på et niveau på omkring 110 - 120 µg P/l som en gennemsnitskoncentration for hele året, hvis det skal være realistisk at opnå en sådan søkoncentration.*
- *en forbedret vandkvalitet vil skabe bedre forhold for undervandsplanter og rovfisk og at søerne dermed vil komme ind i en positiv cirkel, hvor miljøet såvel under som over vandet vil blive mere rigt og varieret*
- *hvis der skal være mulighed for, at der kan vokse undervandsplanter på større arealer af søbunden i de fire søer, er det nødvendigt, at de eksterne fosfortilførsler bliver yderligere reduceret.*
- *søerne med en bedre vandkvalitet vil få en væsentlig større rekreativ værdi, end de har i dag.*



## Referencer

- Andersen J.M. (1977) : Rates of denitrifikation of undisturbed sediment from six lakes as a function of nitrate concentration, oxygen and temperature. Arch. Hydrobiol. 80, 147-59.
- DMU (1990a) : Ferske vandområder - vandløb, kilder og søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990. 130 pp. - Faglig rapport fra DMU nr. 5.
- DMU (1990b) : Eutrofieringsmodeller for søer, nr. C9 1990. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen.
- DMU (1990c) : Prøvetagning og analysemetoder i søer - teknisk anvisning. Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990. 27 pp.
- DMU (1991) : Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1991. 104 pp. Faglig rapport nr. 38.
- Edler L., 1979 : Recommendations for Marine Biological Studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and Chlorophyll. Baltic Marine Biologists. No. 5.
- Foy R.H. (1992) : A Phosphorus loading Model for Northern Irish Lakes. Wat. Res. Vol. 26, No 5, pp. 633-638.
- Fyns Amt (1993) : Arreskov sø 1992. Teknisk rapport, Afdelingen for Naturforvaltning og Vandmiljø, Fyns Amt.
- Gudenåkomiteen. Rapport nr. 25 (1981) : Gudenåsystemets søer - søkarakteristik. Botanisk Institut, Århus Universitet.
- Gudenåkomiteen. Rapport nr. 1 (1982) : Søer i Gudenåens vandsystem. Teknisk rapport, Vandvæsenet Århus Amt, Vandvæsenet Viborg Amt, Forvaltningen for teknik og miljø, Vejle Amt.
- Gudenåkomiteen, c/o Århus Amt (1987) : Stoftransport i Gudenåen 1974 - 85. Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Jensen H.S. & Andersen F.Ø. (1990) : Fosforbelastning i lavvandede, eutrofe søer. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C4. 96 pp.
- Mathiesen H. (1970) : Miljøændringer og biologisk effekt i søer. Vatten nr. 2, pp. 149-173.
- Kamp-Nielsen L. (1975) : Seasonal variation in sediment-water exchange of nutrients in lake Esrom. Verh. Internat. Verein. Limnol. 19.
- Kristensen P., Jensen J.P. og Jeppesen E. (1990) : Slutrapport for NPo-forskningsprojekt C9 : Eutrofieringsmodeller for søer. NPo-projekt 4,5. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. 120 pp.
- Nygård G. (1976) : Tavlerne fra Dansk Planteplankton. Gyldendalske Boghandel, Nordisk Forlag A/S, København.
- Olrik K. (1990) : Planteplanktonsamfund i danske søer.
- Olrik K. (1991) : Planteplanktonmetoder. Miljøprojekt nr. 187. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen.
- Reynolds C.S. (1984) : The ecology of freshwater phytoplankton.
- Riemann B. & Søndergaard M. (1986) : Carbon Dynamics in Eutrophic Temperate Lakes. Elsevier Science Publishers B.V.
- Vollenweider R.A. (1976) : Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33: 53-83.
- Århus Amt (1982) : Birk sø - Jul sø - Borre sø - Brassø 1980. Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1990) : Stoftransport og - koncentrationer i vandløb frem til 1990, Århus Amt. Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.
- Århus Amt (1993) : Vandløb og kilder, Vandmiljøovervågning 1992. Teknisk rapport, Miljøkontoret, Århus Amt.

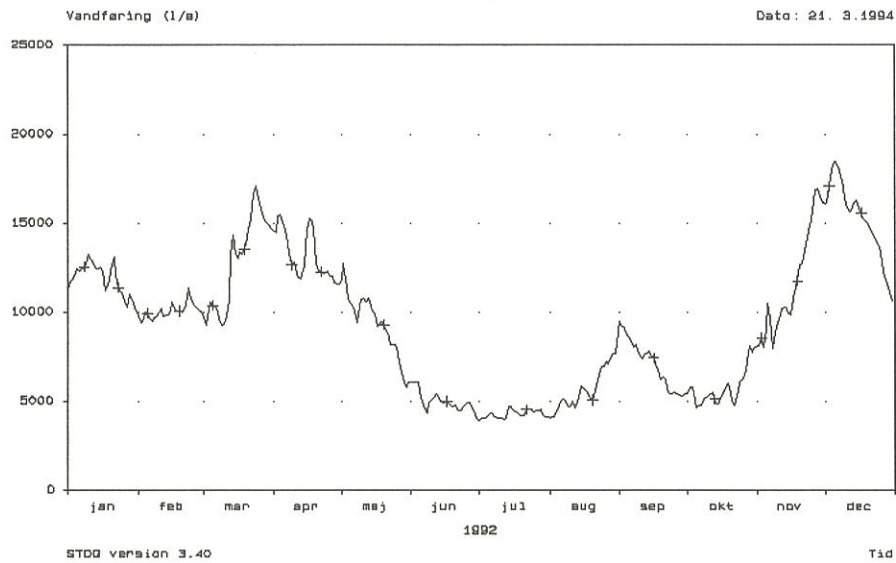




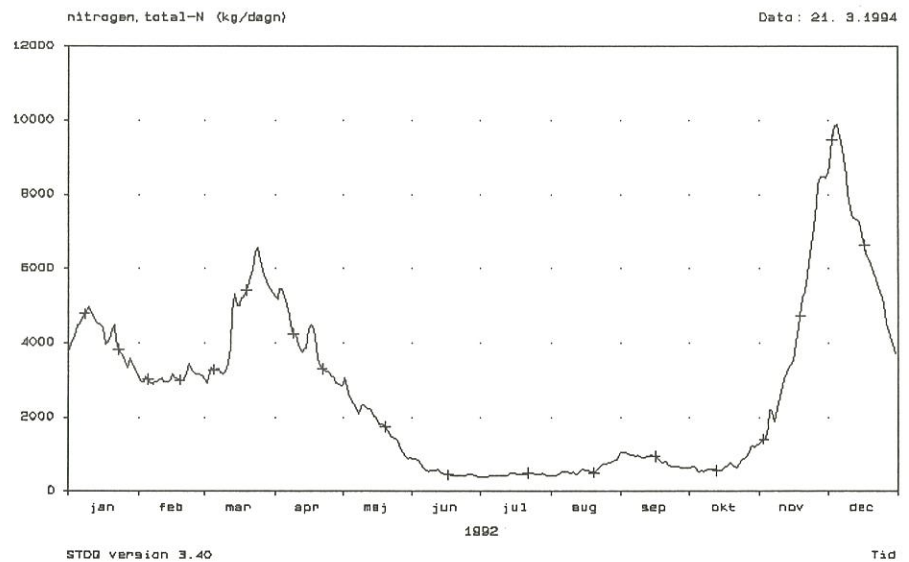
## Bilagsoversigt

|  |         |
|--|---------|
| De beregnede daglige vandføringer og stoftransporter ved Rye Mølle og i Remstrup å i 1992, samt beskrivelse af beregningerne | Bilag 1 |
| Massebalance for tre Himmelbjergsøer i 1992  | Bilag 2 |
| Metode for beregning af vand - og massebalance   | Bilag 3 |
| Figurer over de vandkemiske parametre i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992.  | Bilag 4 |
| Isopletter over ilt og temperatur i 1992 i Borre sø og Brassø  | Bilag 5 |
| Alger - metodik og rådata  | Bilag 6 |
| Kildeopsplitning - beregninger   | Bilag 7 |
| Dybdekort over de fire Himmelbjergsøer   | Bilag 8 |

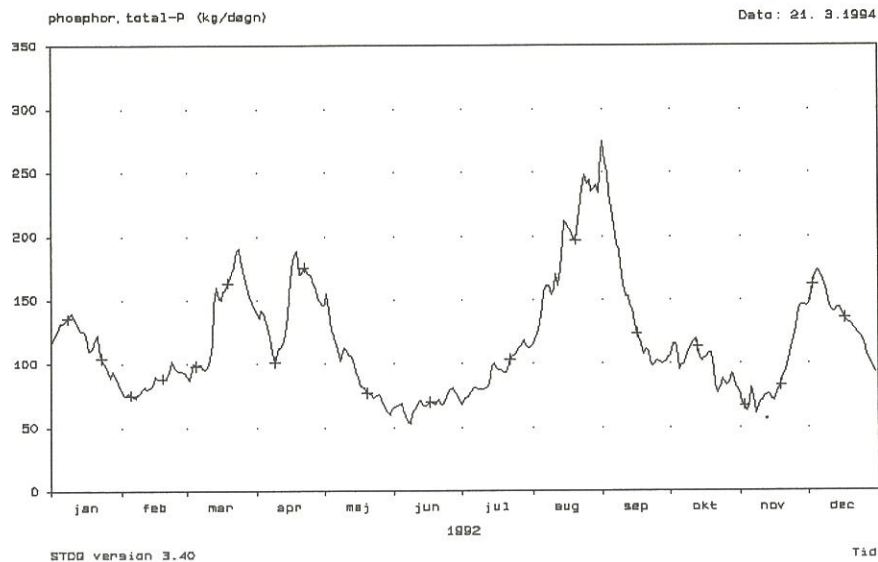
DAGLIG VANDFØRING 090267 Gudenå Mossø - Silke Gudenå ,Ry Mølle  
 Referencestationer: 21.01  
 Signaturer: PLUS - prøve, med i beregn



DAGLIG STOFTRANSPORT 090267 Gudenå Mossø - Silke Gudenå ,Ry Mølle  
 C-Interpolationmetoden  
 Referencestationer: 21.01  
 Signaturer: PLUS - prøve, med i beregn



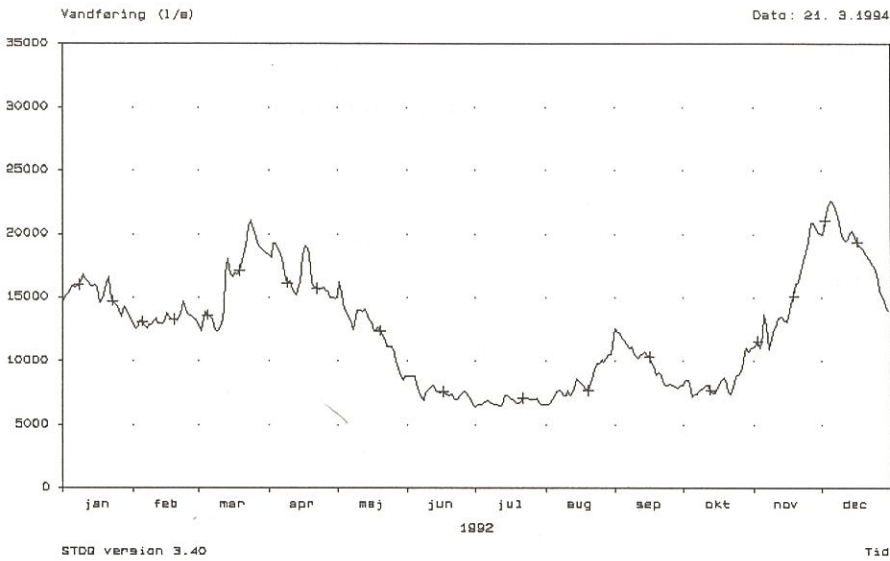
DAGLIG STOFTRANSPORT 090267 Gudenå Mossø - Silke Gudenå ,Ry Mølle  
 C-Interpolationmetoden  
 Referencestationer: 21.01  
 Signaturer: PLUS - prøve, med i beregn



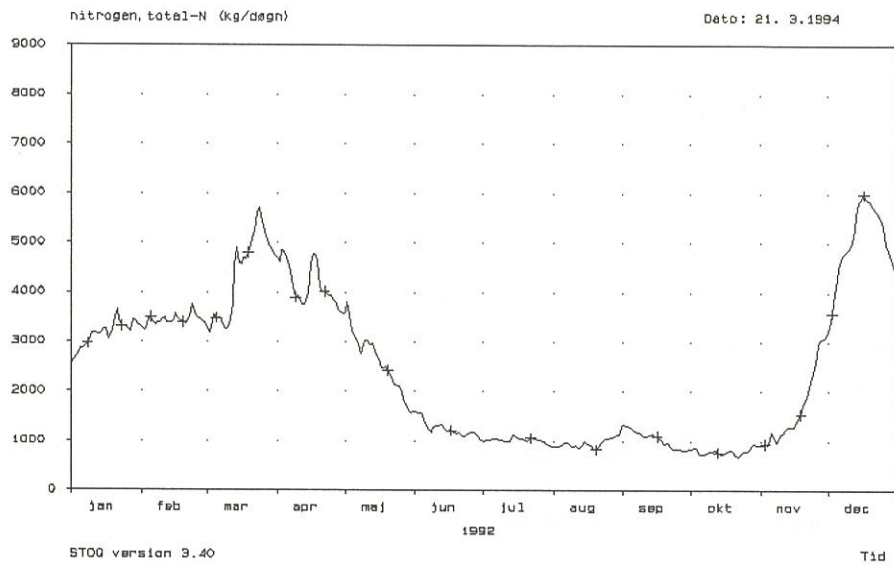


Bilag 1.1

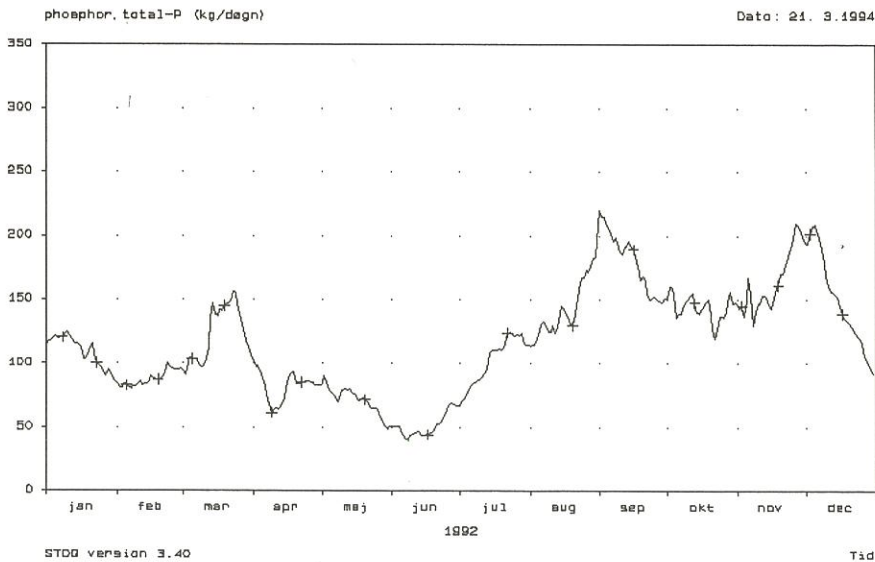
DAGLIG VANDFØRING 090303 Gudenå Mossø - Silke Remstrup å o.s. Bådehavn  
Referencestationer: 21.01  
Signaturer: PLUS - prøve, med i beregn



DAGLIG STOFTRANSPORT 090303 Gudenå Mossø - Silke Remstrup å o.s. Bådehavn  
C-interpolationsmetoden  
Referencestationer: 21.01  
Signaturer: PLUS - prøve, med i beregn



DAGLIG STOFTRANSPORT 090303 Gudenå Mossø - Silke Remstrup å o.s. Bådehavn  
C-interpolationsmetoden  
Referencestationer: 21.01  
Signaturer: PLUS - prøve, med i beregn



## Vandføringsberegninger

Vandføringerne ved Rye Mølle og i Remstrup å (Silkeborg Papirfabrik) er beregnet ud fra tidligere års målinger på de to stationer kombineret med en kontinuert måling af vandføringen i Gudenåen ved Tvilum bro i 1992.

Der er foretaget en lineær regression mellem station 21.01 (Tvilum bro) og henholdsvis station 21.50 (Rye Mølle) og 21.51 (Silkeborg Papirfabrik).

Regressionerne var som følger :

### Rye Mølle (st. 21.50)

$$Q = 0,647 \times Q_{21.01} - 652$$

$$s = 1039$$

$$r = 0,97$$

### Silkeborg Papirfabrik (st. 21.51)

$$Q = 0,717 \times Q_{21.01} + 1404$$

$$s = 1660$$

$$r = 0,94$$

Modellerne giver vandføringen som månedsmiddel og ikke døgnmiddel.

De efterfølgende stoftransportberegninger er foretaget ved at sammenholde de beregnede vandføringer med de kemiske målinger der er lavet ved Rye Mølle og i Remstrup å i 1992.

Til beregningerne er anvendt STOQ.

Til diverse beregninger er oplandsarealerne for de enkelte søer anvendt i forskellige sammenhænge.

Her er præsenteret oplandene til afløbet for de enkelte søer :

$$\text{Afløb Brassø} : 979,59 \text{ km}^2$$

$$\text{Afløb Borre sø} : 964,0 \text{ km}^2$$

$$\text{Afløb Jul sø} : 932,32 \text{ km}^2$$

$$\text{Afløb Birk sø} : 898,83 \text{ km}^2$$

$$\text{Afløb Rye Møllesø} : 816,83 \text{ km}^2$$



## Massebalancer for Birk sø, Borre sø og Brassø.

| Birk sø                   | Stationsnr. | Opland<br>(km <sup>2</sup> ) | Årsvandføring<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | Total kvælstof<br>(t N/år) | Total fosfor<br>(t P/år) | Orthofosfat<br>(t P/år) |
|---------------------------|-------------|------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Gudenå/Rye Mølle          | 90267       | 817                          | 295  | 984                        | 43,19                    | 11,81                   |
| Umålt opland              |             | 82                           | 27   | 90                         | 0,99                     | 0,49                    |
| Grundvand                 |             |                              | 3  | 4                          | 0,26                     | 0,1                     |
| Atmosfærisk deposition    |             |                              |  | 1                          | 0,01                     | 0                       |
| Total tilførsel           |             |                              | 325  | 1079                       | 44,45                    | 12,4                    |
| Afløb                     | 90303       | 899                          | 325  | 918                        | 47,12                    | 12,68                   |
| Tilbageholdelse/reduktion |             |                              |  | 15%                        | -6%                      | -2%                     |

| Borre sø                  | Stationsnr. | Opland<br>(km <sup>2</sup> ) | Årsvandføring<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | Total kvælstof<br>(t N/år) | Total fosfor<br>(t P/år) | Orthofosfat<br>(t P/år) |
|---------------------------|-------------|------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Gudenå/Jul sø             | 90920       | 932                          | 356  | 851                        | 43,43                    | 16,75                   |
| Umålt opland              |             | 32                           | 12   | 40                         | 1,75                     | 0,60                    |
| Grundvand                 |             |                              | 17   | 17                         | 1,11                     | 0,50                    |
| Atmosfærisk deposition    |             |                              |  | 4                          | 0,04                     | 0,00                    |
| Total tilførsel           |             |                              | 385  | 912                        | 46,33                    | 17,85                   |
| Afløb                     |             | 964                          | 385  | 915                        | 43,40                    | 15,75                   |
| Tilbageholdelse/reduktion |             |                              |  | 0%                         | 6%                       | 12%                     |

| Brassø                    | Stationsnr. | Opland<br>(km <sup>2</sup> ) | Årsvandføring<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | Total kvælstof<br>(t N/år) | Total fosfor<br>(t P/år) | Orthofosfat<br>(t P/år) |
|---------------------------|-------------|------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Gudenå/Borre sø           | 90911       | 964                          | 385  | 915                        | 43,40                    | 16,98                   |
| Umålt opland              |             | 16                           | 7  | 28                         | 0,46                     | 0,21                    |
| Grundvand                 |             |                              | 7  | 7                          | 0,46                     | 0,21                    |
| Atmosfærisk deposition    |             |                              |  | 2                          | 0,02                     | 0,00                    |
| Total tilførsel           |             |                              | 399  | 952                        | 44,34                    | 17,40                   |
| Afløb                     |             | 980                          | 399  | 915                        | 43,35                    | 15,75                   |
| Tilbageholdelse/reduktion |             |                              |  | 4%                         | 2%                       | 9%                      |

## Metode til beregning af vand - og stofbalance

Vandbalancen opstilles ud fra følgende størrelser :

|  | GRUNDDATA                   |
|--|-----------------------------|
| N : nedbør   | (månedsværdier, mm)         |
| E <sub>a</sub> : fordampning                                       | (månedsværdier, mm)         |
| Q <sub>p</sub> : direkte tilførsel                                 | (månedsværdier, l/s)        |
| Q <sub>t</sub> : sum af målte tilløb                               | (månedsværdier, l/s)        |
| Q <sub>a</sub> : afløb   | (månedsværdier, l/s)        |
| Q <sub>u</sub> : umålt opland (beregnes ud fra vægtning af tilløb) | (månedsværdier, l/s)        |
| Q <sub>s</sub> : vandstandsvariationer (magasinering)              | (diskrete værdier, m)       |
| Q <sub>g</sub> : udveksling med grundvand                          | (månedsværdier, mm)         |
| A : søareal  | (konstant, m <sup>2</sup> ) |

$$\text{Ligning : } Q_g = - A (N - E_a) - Q_p - Q_t + Q_a - Q_u + Q_s$$

hvor  $Q_u = \text{sum af } (Q_i(v_i - 1))$ , for  $i = 1$  til antal tilløb ( $v_i$  er vægte  $<> 1,0$ )

$Q_s = \text{produktet af lineært interpoleret ændring i vandstand mellem månedsslut/-månedstart og søareal.}$

Stofbalance opstilles ud fra :

|   |  |
|---|--|
| P <sub>a</sub> : atmosfærisk deposition                   | (konstant, kg/ha/år)                     |
| T <sub>t</sub> : sum af målte transporter i tilløb        | (månedsværdier, kg)                      |
| T <sub>a</sub> : transport i afløb                        | (månedsværdier, kg)                      |
| T <sub>p</sub> : direkte stofudledning fra punktkilder    | (månedsværdier, kg)                      |
| T <sub>ø</sub> : direkte udledning fra øvrige kilder      | (månedsværdier, kg)                      |
| T <sub>u</sub> : stoftilførsel fra umålt opland (vægtede) | (månedsværdier, kg)                      |
| T <sub>g</sub> : stofudveksling med grundvand (+/-)       | (månedsværdier, kg)                      |
| S : ændret stofindhold i søen (søkonc., volumen)          | (diskrete værdier, µg/l·m <sup>3</sup> ) |
| T <sub>i</sub> : intern belastning                        | (månedsværdier, kg)                      |
| C : søkoncentration                                       | (diskrete værdier, µg/l)                 |
| V : søvolumen   | (diskrete værdier, m <sup>3</sup> )      |
| g <sub>+</sub> : koncentration af tilført grundvand       | (konstant, µg/l)                         |
| g <sub>-</sub> : koncentration af udsivet grundvand       | (konstant, µg/l)                         |

$$\text{Ligning : } T_i = - P_a A - T_t + T_a - T_p - T_{\emptyset} - T_u - T_g + S$$

hvor  $T_u = \text{sum af } (T_i(v_i - 1))$ , for  $i = 1$  til antal tilløb (med vægte  $<> 1,0$ )

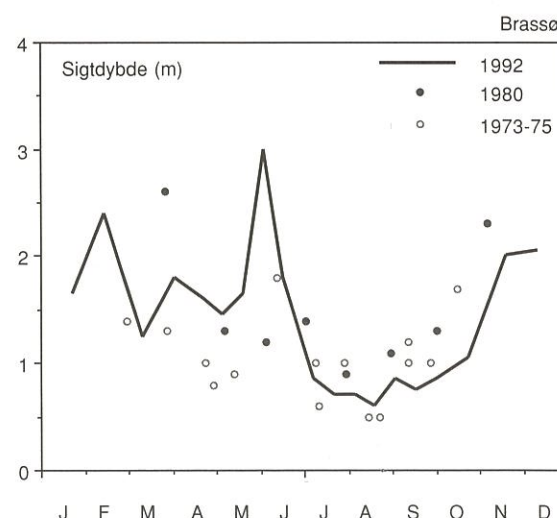
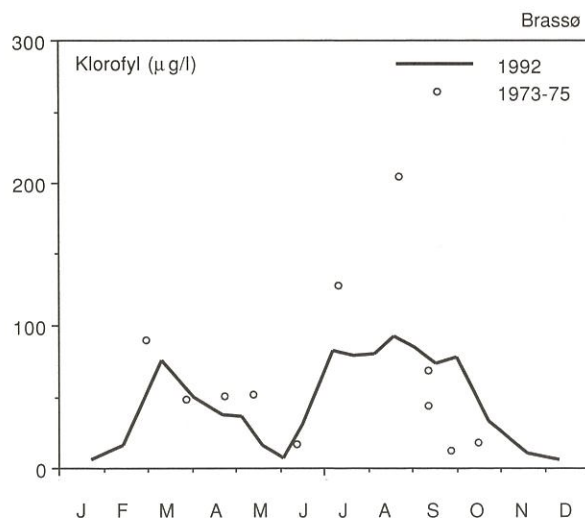
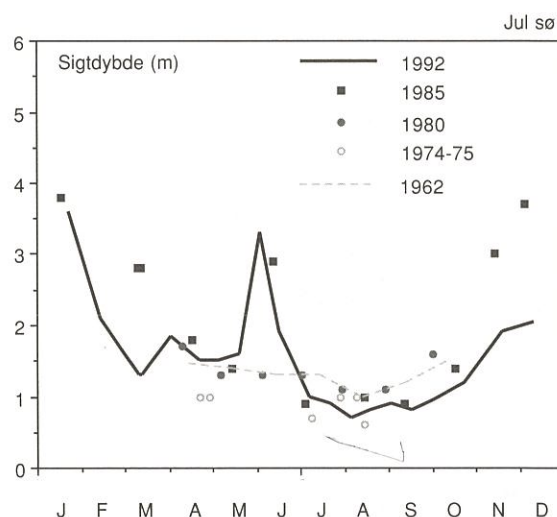
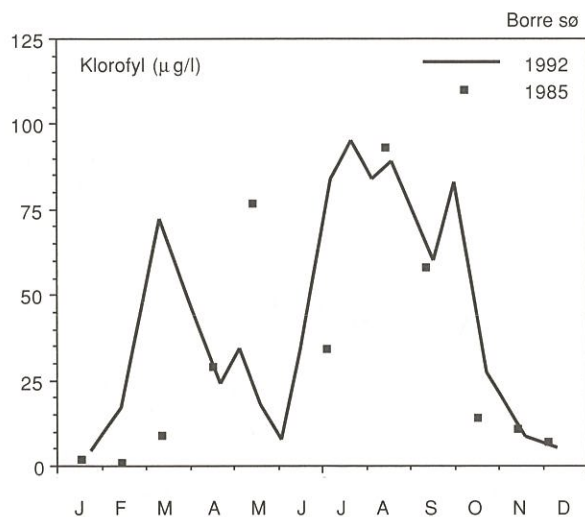
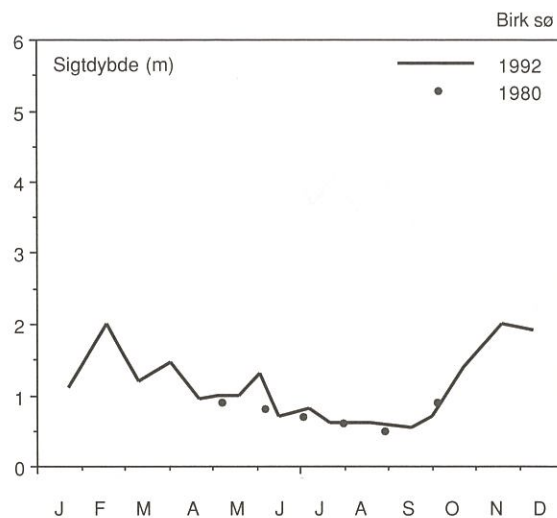
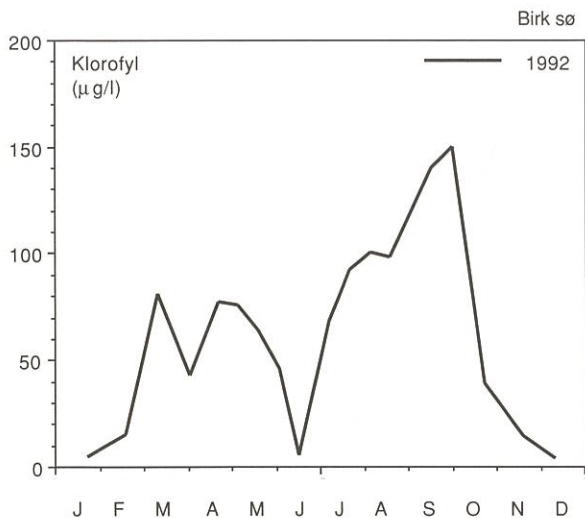
$T_g = g_+ Q_g$  for  $q_g > 0$  (måneder med tilstrømning) og  
 $T_g = g_- Q_g$  for  $Q_g < 0$  (måneder med udsivning).

$$S = C_{n+1} V_{n+1} - C_n V_n \text{ (interpolerede værdier ved månedsskifter)}$$

(søvolumener er beregnet ud fra diskrete vandstande og søareal)

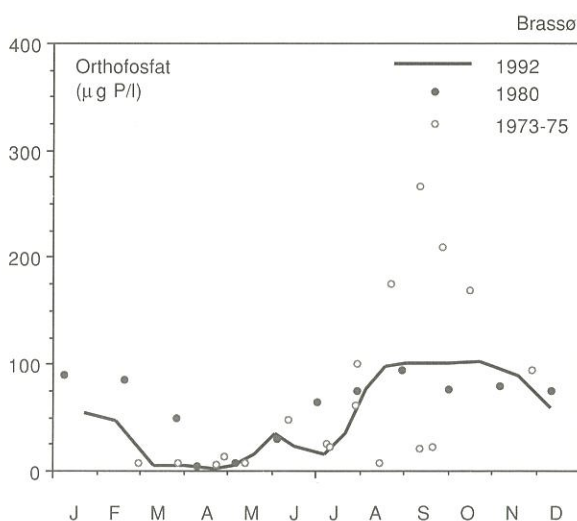
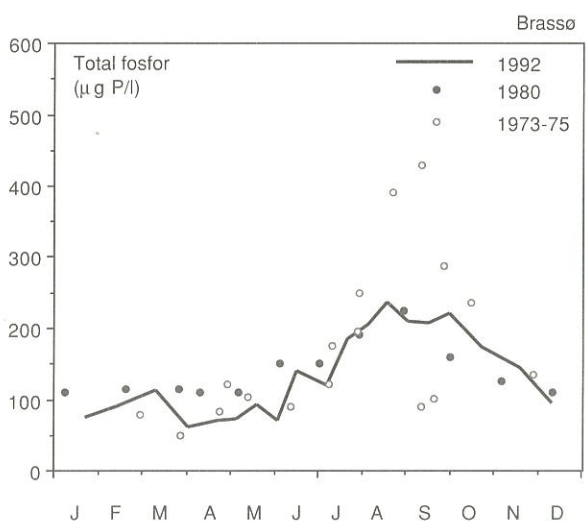
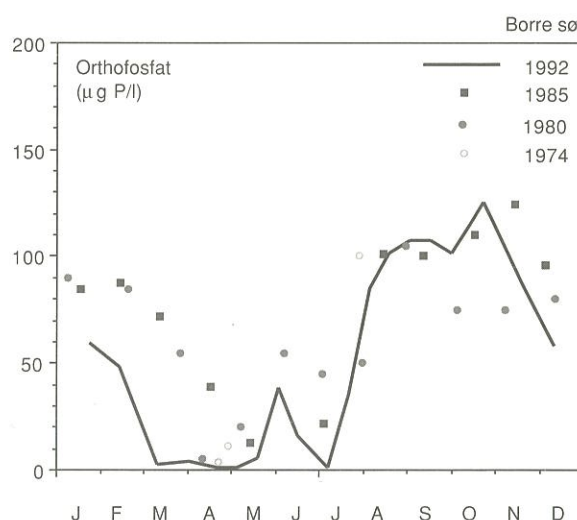
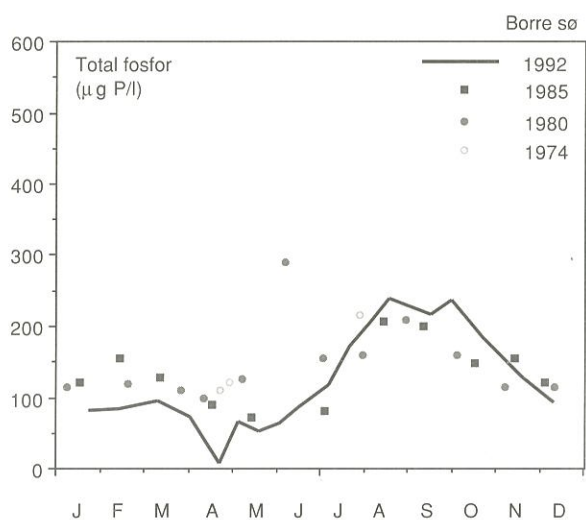
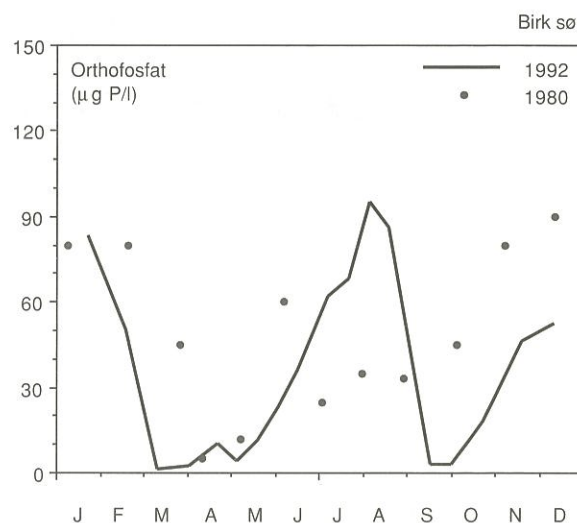
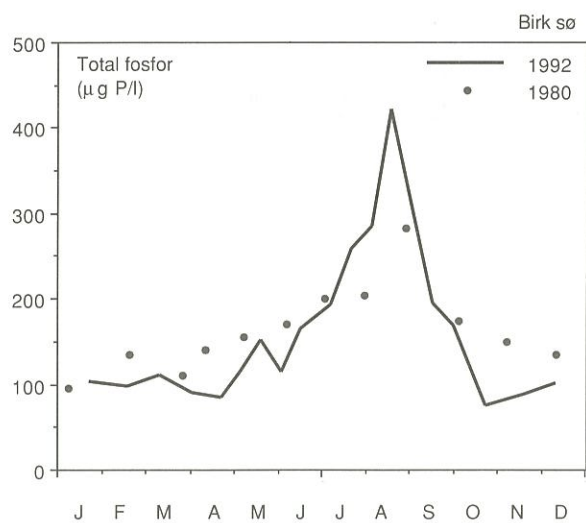


## Vandkemiske parametre i Birk sø, Borre sø og Brassø



Klorofyl i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.

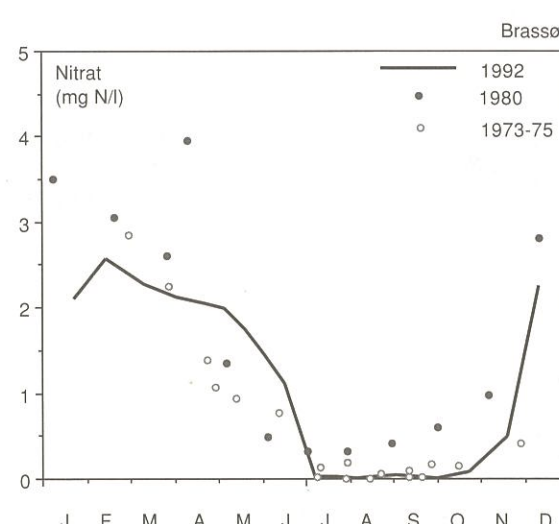
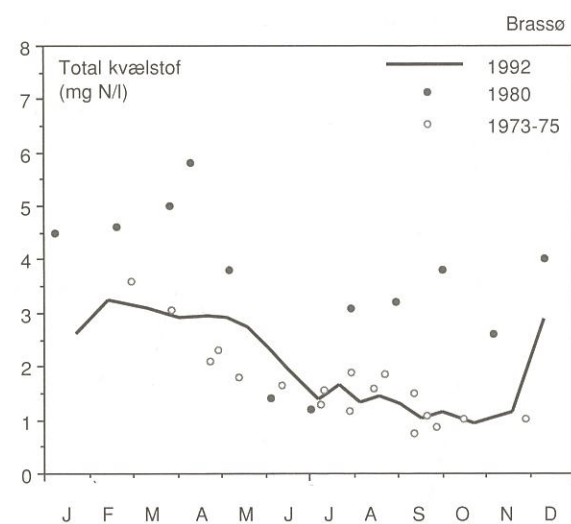
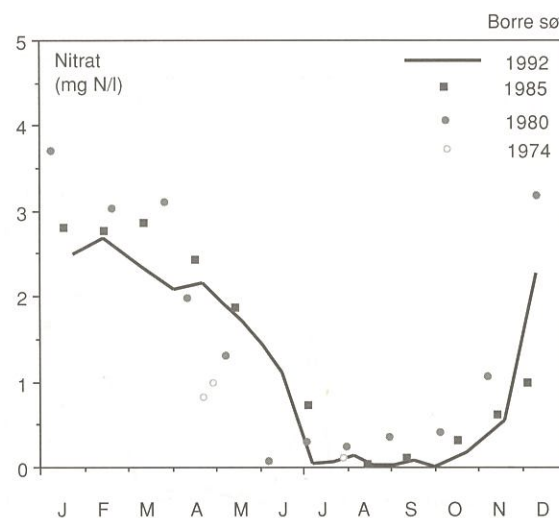
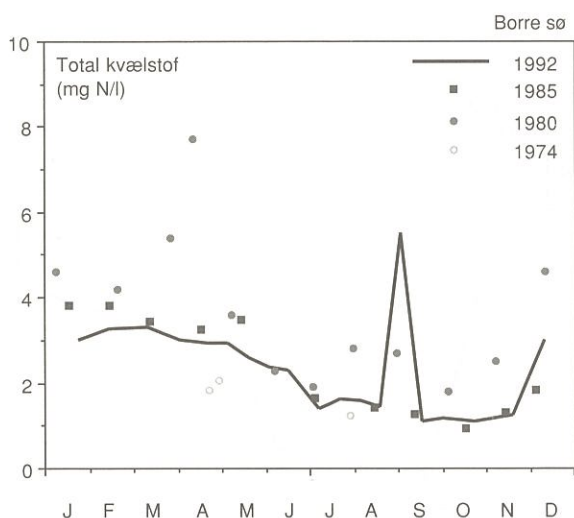
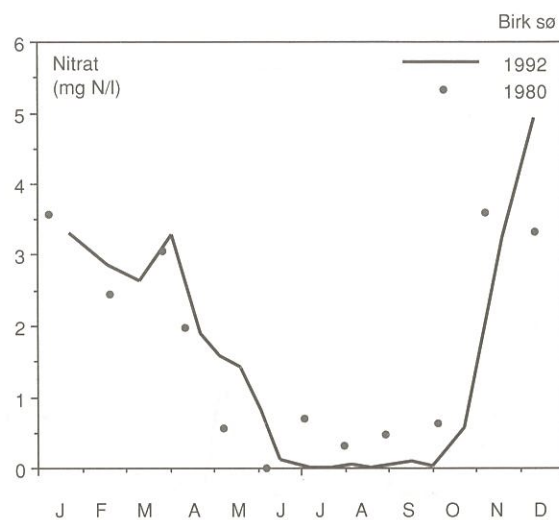
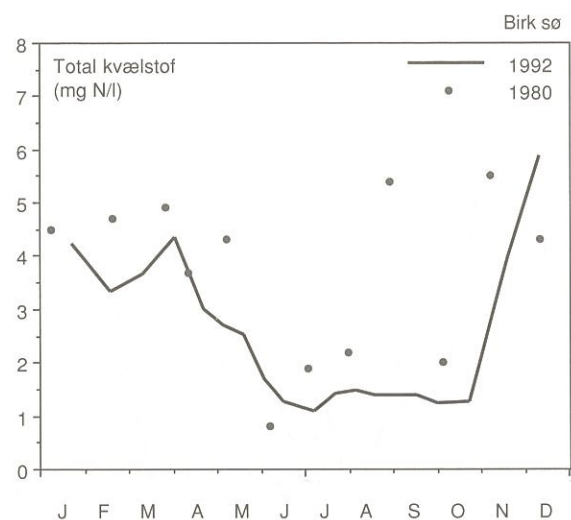
Sigt dybde i Birk sø, Jul sø (Borre sø kan findes i den egentlige rapport) og Brassø i 1992.



Total fosfor i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.

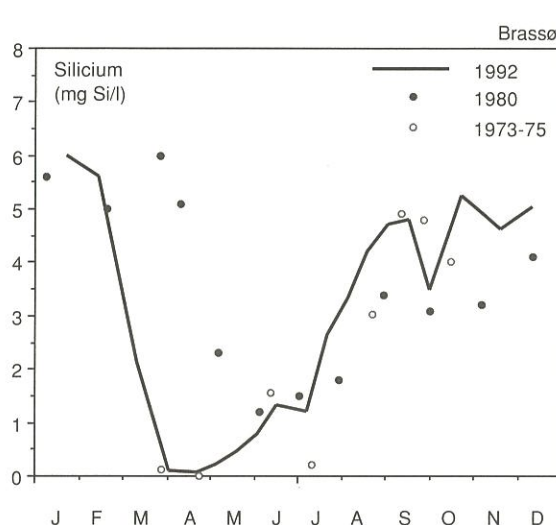
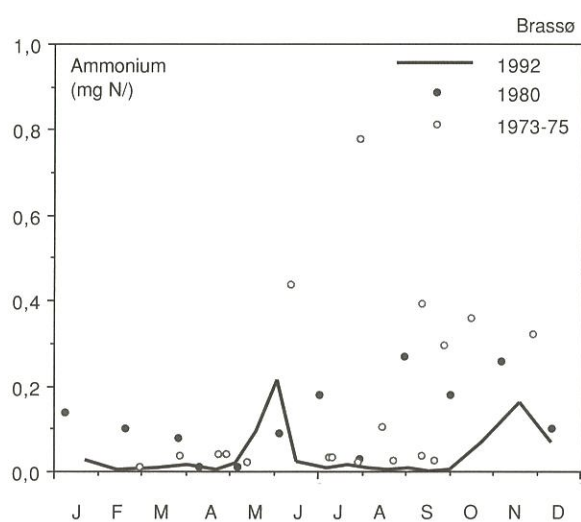
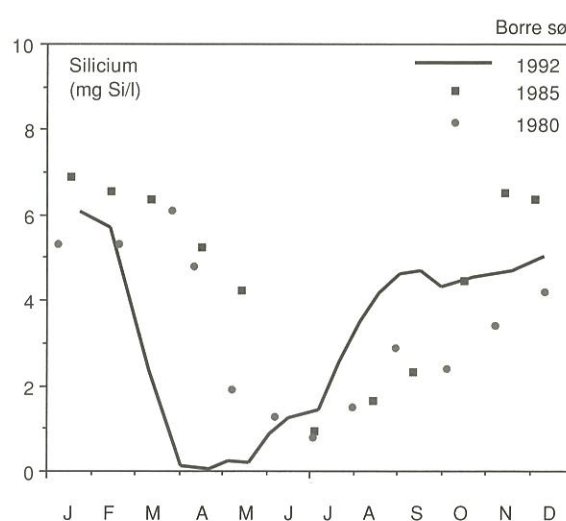
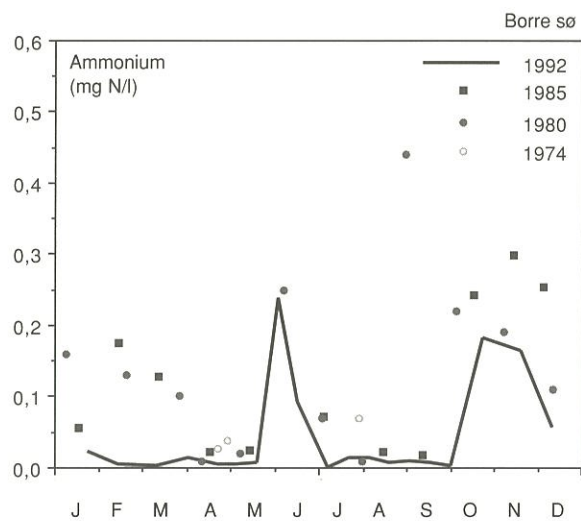
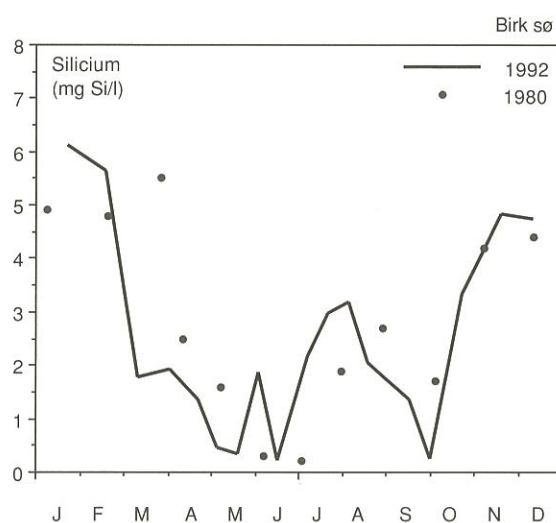
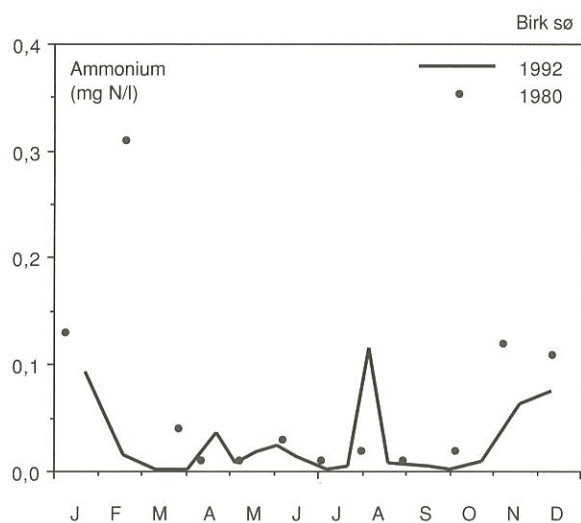
Orthofosfat i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.





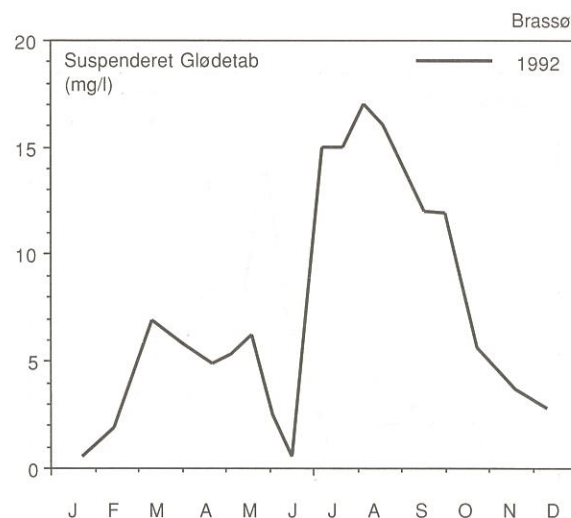
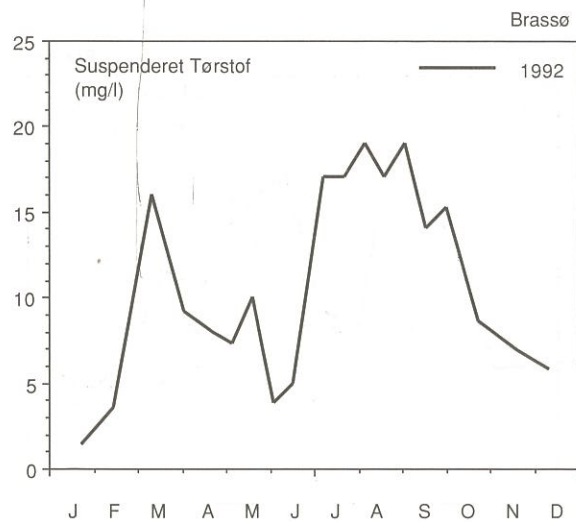
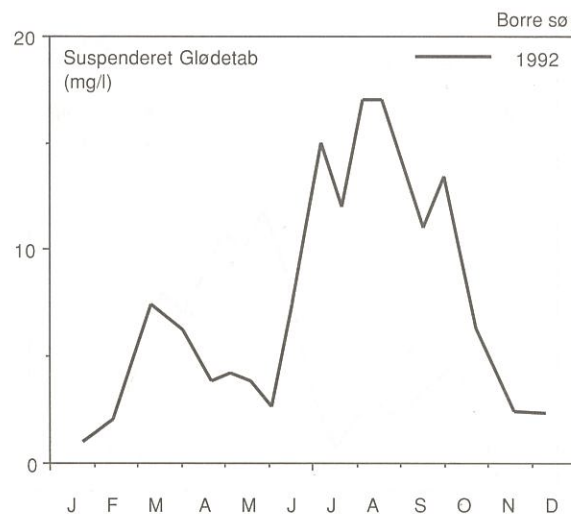
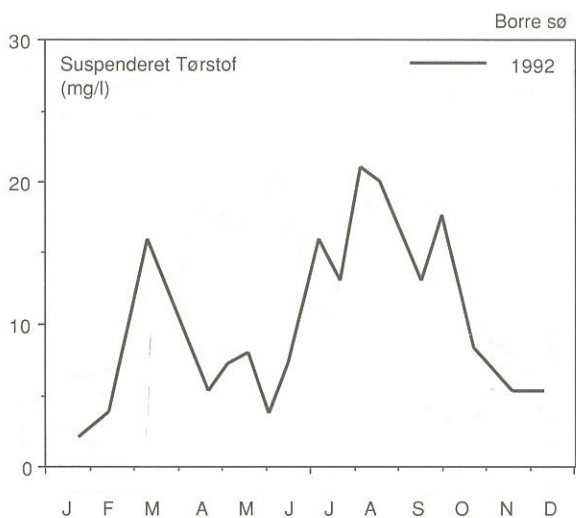
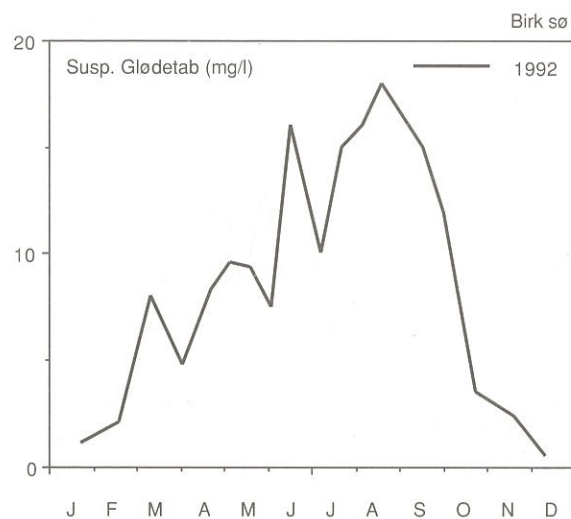
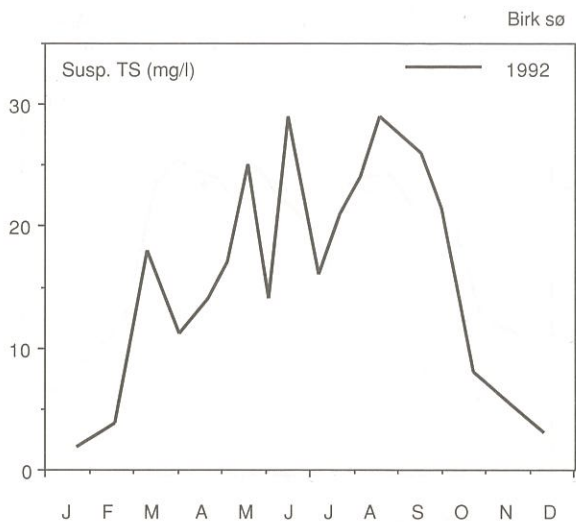
Total kvælstof i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.

Nitrat i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.



Ammonium i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.

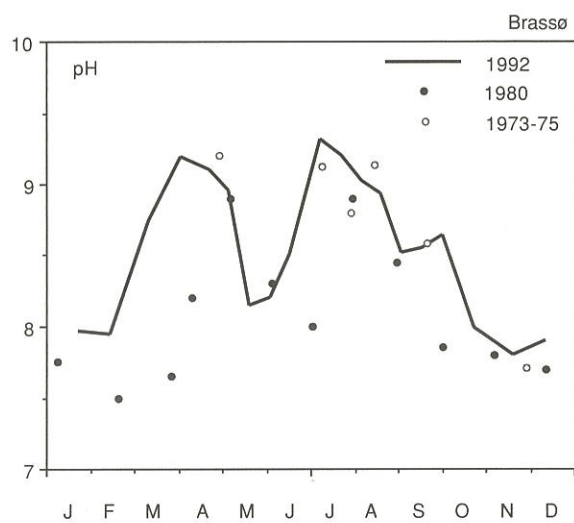
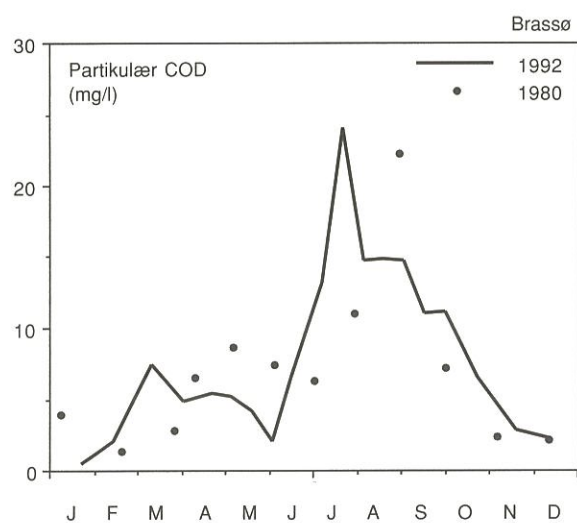
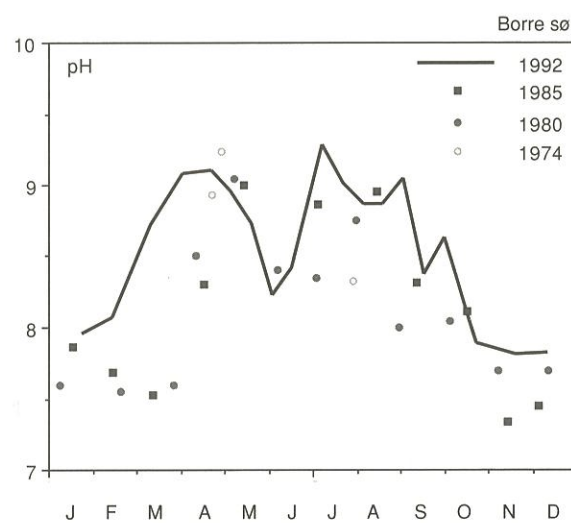
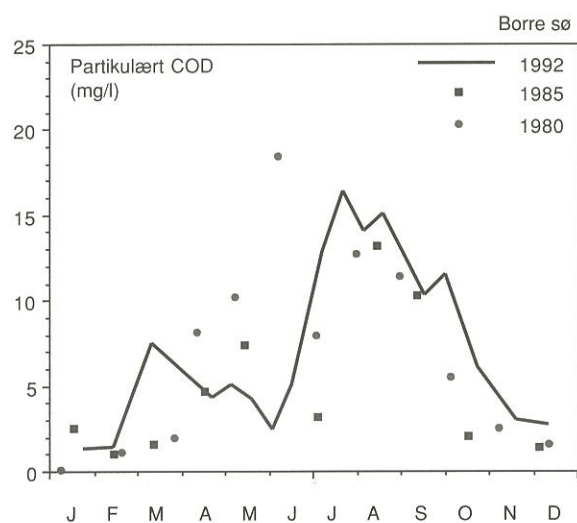
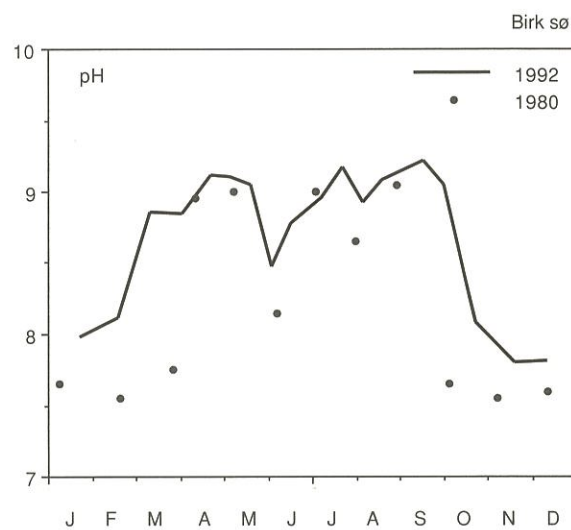
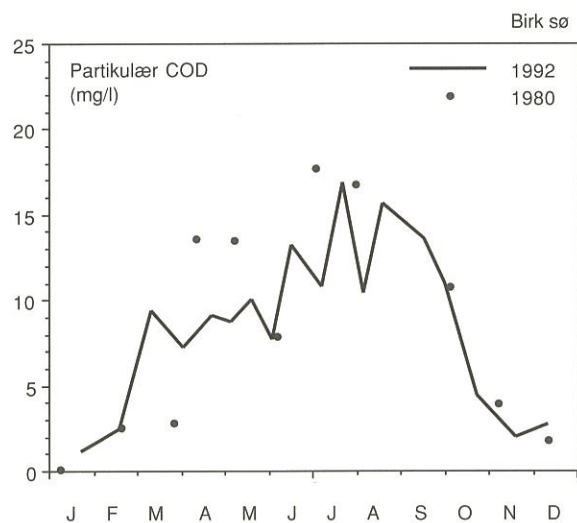
Opløst silicium i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.



Suspenderet tørstof i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992

Suspenderet glødetab i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992

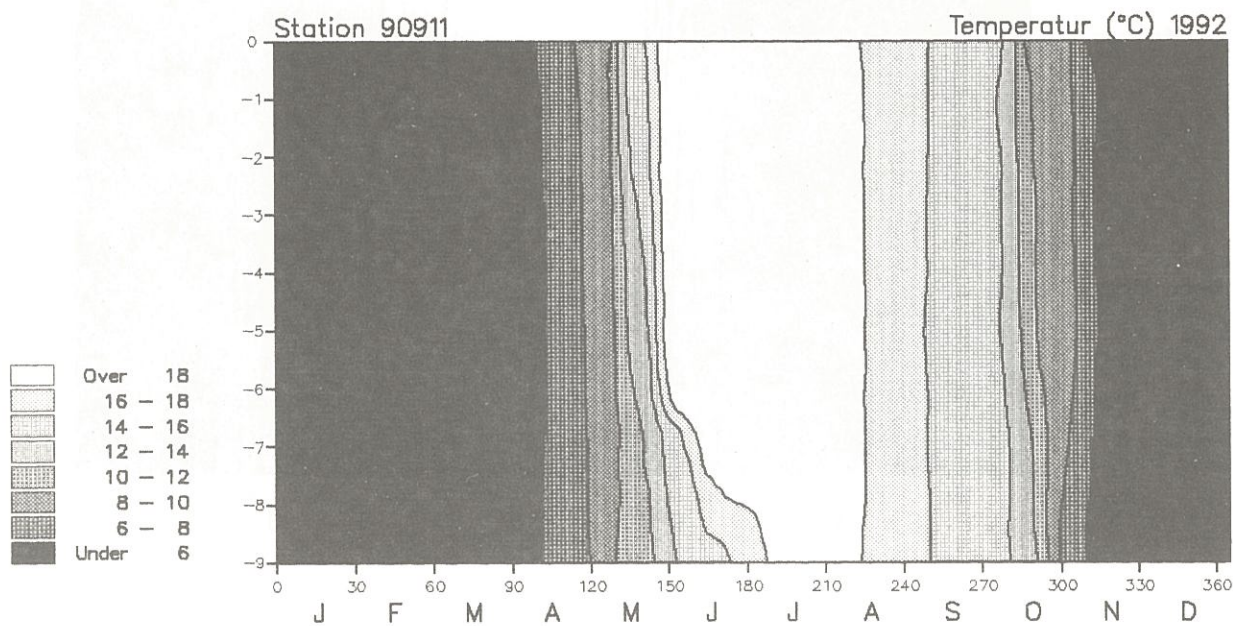
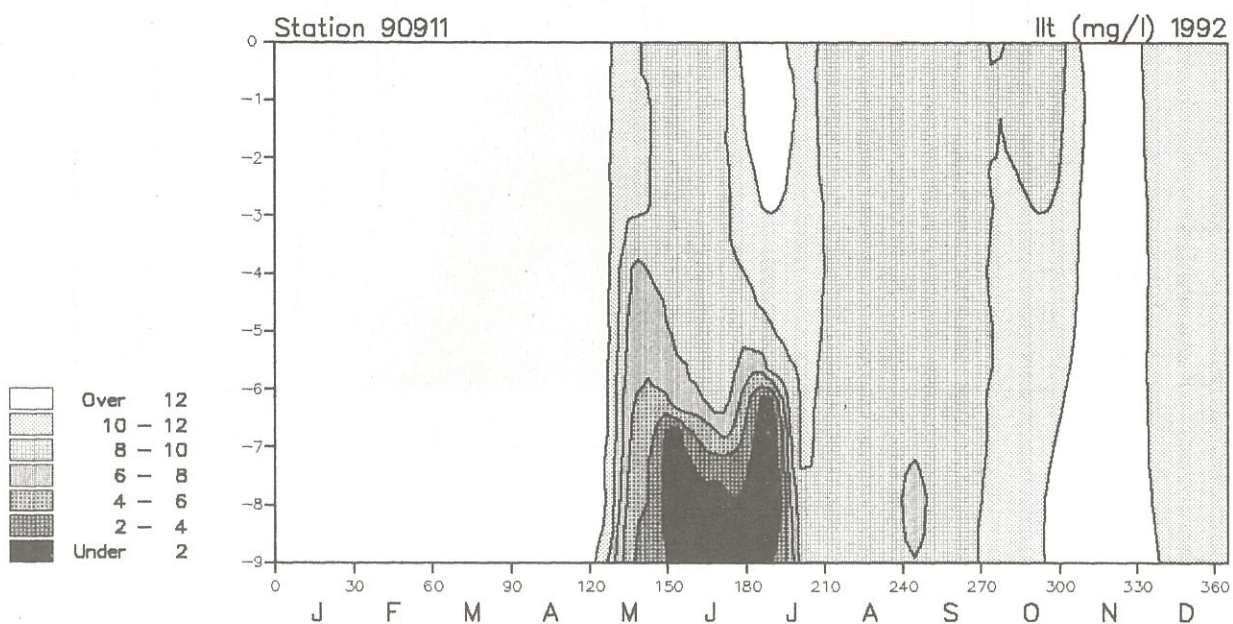




Partikulært COD i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.

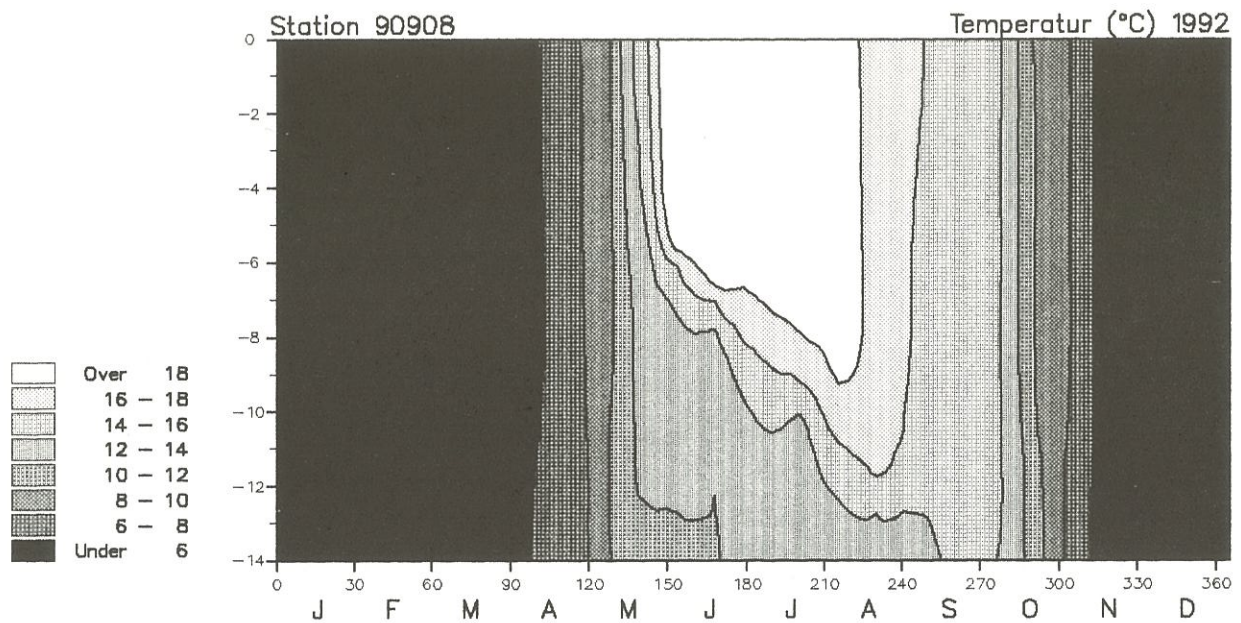
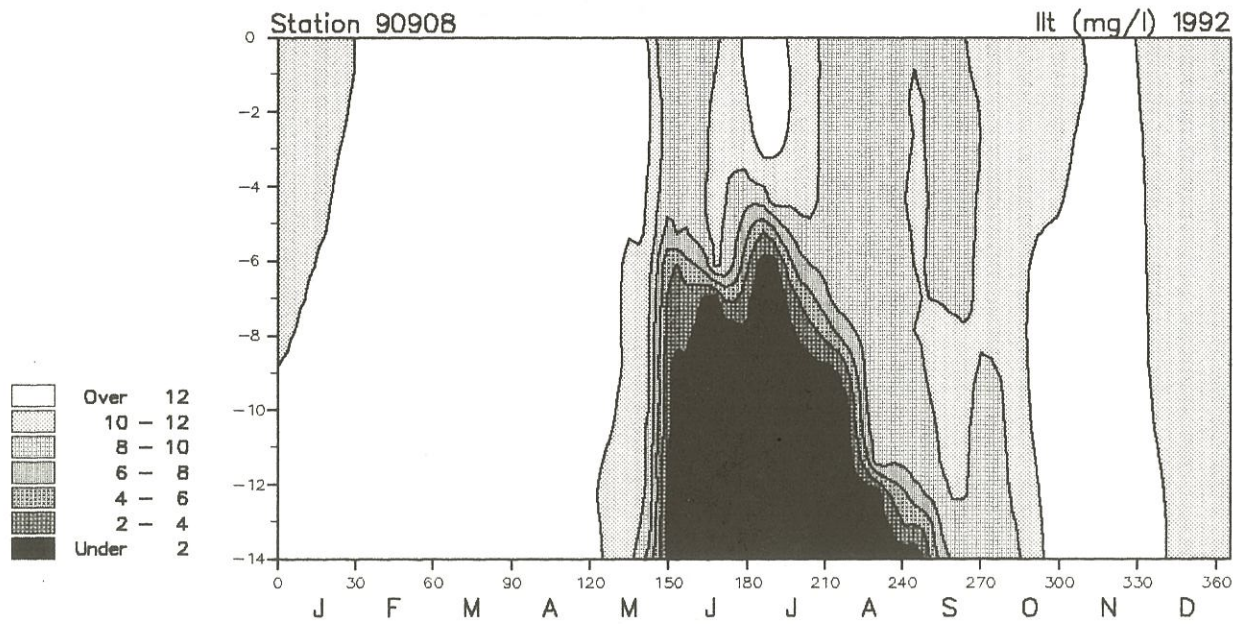
pH i Birk sø, Borre sø og Brassø i 1992 sammenlignet med tidligere måleår.

# Isopleter over ilt og temperatur i Borre sø og Brassø



Isopleter over ilt og temperatur i Borre sø i 1992.





Isopletter over ilt og temperatur i Brassø i 1992.



## Alger - metodik og rådata

Der blev udtaget 200 ml. prøve fra en blandingsprøve fra 0,2 m's dybde. Prøverne blev fikseret i sur Lugol opløsning.

Prøverne er bearbejdet semikvantitativt ved hjælp af omvendt mikroskopi ved anvendelse af Uthermöhl's sedimentationsteknik (Uthermöhl, 1958). Der er anvendt sedimentationskamre med et volumen på 10 ml.

Hyppigheden af algerne er vurderet relativt efter følgende skala :

x : til stede

xx : almindelig

xxx : hyppig

xxxx : dominerende

Foruden en vurdering af algernes hyppighed i de enkelte prøver er det desuden tilstræbt at give et indtryk af de enkelte arters/grupperes udvikling i løbet af året.

Vurderingen vil altid være subjektiv. Derfor tilstræbes det, at få personer bearbejder prøverne og at disse personer har en ensartet vurdering.

Anvendt bestemmelseslitteratur er angivet i litteraturlisten.

Birk Sø, 1992

| Fytoplankton<br>individer/ml         | DATO   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
|                                      | 920122 | 920311 | 920402 | 920421 | 920505 | 920519 | 920602 | 920616 | 920707 | 920721 | 920804 | 920818 | 920901 | 920915 | 920929 | 921021 | 921117 | 921209 |     |
| Taxonomisk gruppe                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Cyanophyta                           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Gomphosphaeria sp.                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +      |        |        |        |        |        |        |     |
| Woronichinia naegeliana              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Microcystis aeruginosa               | +      |        |        |        |        |        |        | +      | ++     | +++    | ++     | +      | +      | ++     | ++     | +      |        |        |     |
| Microcystis viridis                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Microcystis wesenbergii              | +      |        |        |        |        |        |        | +      | ++     | +++    | ++     | +++    | ++     | ++     | ++     | +      |        |        | +   |
| Anabaena sp.                         |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | ++     | +++    | ++     |        |        |        |        |        |        |     |
| Anabaena flos-aquae                  |        |        |        |        |        |        |        | +      |        | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Anabaena spiroides                   |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      | +      |        |        |        |        |        |        |     |
| Anabaena planctonica                 |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      | +      |        |        |        |        |        |        |     |
| Aphanizomenon flos-aquae             |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | ++     | +      | +      | +++    | ++     | +++    | +      |        |        | +   |
| Oscillatoria sp.                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Pseudanabaena limnetica              | +      |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +++    | ++     | ++     |        |        |        |        |        |        | +   |
| Cryptophyceae                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Cryptomonas spp. (20-30µm)           |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | ++     | +      | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | +      |        | +   |
| Cryptomonas spp. (>30µm)             |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      |        | +   |
| Cryptophyceae spp. (10-15µm)         |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      |        | +   |
| Cryptophyceae spp. (15-20µm)         |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +      | +      | +      | ++     | +      | +      | +      | +      |        | +   |
| Dinophyceae                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Ceratium hirundinella                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Gymnodinium helveticum               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Peridinium sp.                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +      |        |        |        |        |        |        |        | +   |
| Chrysophyceae                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Mallomonas sp.                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | +   |
| Diatomophyceae                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Melosira varians                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Aulacoseira sp.                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Aulacoseira italica                  | ++     |        |        |        |        |        |        | ++++   | +++    | +++    | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++ |
| Aulacoseira granulata                |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +   |
| Stephanodiscus rotula                | +      | ++++   |        |        |        |        |        | +      | +++    | +++    | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +   |
| Stephanodiscus/Cyclotella<br>(<10µm) | +      | +++    |        |        |        |        |        |        | +++    | ++     | +++    | ++     | +++    | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | +   |
| Stephanodiscus/Cyclotella<br>(<15µm) | +      | ++     |        |        |        |        |        |        | ++     |        |        | ++     | ++     | ++     | +++    | ++     | ++     | ++     | +   |
| Asterionella formosa                 | ++     | +++    |        |        |        |        |        | +      | +++    | +++    | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | +   |
| Diatoma elongatum                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Fragilaria sp.                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Fragilaria crotonensis               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Synedra acus                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Synedra ulna                         | +      |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | ++     | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +   |
| Pennate kiselalger (>20µm)           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |

+: til stede  
 ++: almindelig  
 +++: hyppig  
 ++++: dominerende

Birk Sø, 1992

| Fytoplankton<br>individer/ml                       | DATO   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | 920122 | 920311 | 920402 | 920421 | 920505 | 920519 | 920602 | 920616 | 920707 | 920721 | 920804 | 920818 | 920901 | 920915 | 920929 | 921021 | 921117 | 921209 |
| Chlorophyceae                                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Pandorina morum                                    |        |        |        |        |        |        | ++     | +      | +      | +      |        | +      |        | +      |        |        |        |        |
| Coelastrum astroideum                              |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |
| Coelastrum indicum                                 |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Dictyosphaerium sp.                                |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Oocystis sp.                                       | +      |        |        |        |        |        | +      | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Pediastrum boryanum                                |        |        |        |        |        |        | +      | ++     | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        | +      |
| Pediastrum duplex                                  |        |        |        |        |        |        | +      |        | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Pediastrum tetras                                  |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Scenedesmus sp.                                    |        |        |        |        |        |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Sphaerocystis<br>schroeteri/Eutetramorus<br>fottii |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Monoraphidium sp.                                  |        |        |        |        |        |        |        | ++     |        |        |        |        |        |        |        |        |        | +      |
| Monoraphidium contortum                            |        |        |        |        |        |        |        | ++     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Monoraphidium arcuatum                             | +      |        |        |        |        |        |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ankya judayi                                       | +      |        |        |        |        |        |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Schroederia setigera                               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Tetrastrum staurogeniaeforme                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Micractinium sp.                                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Closterium sp.                                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Staurastrum sp.                                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ubestemte eller fåtallige celler                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ubestemte flagellater (<6µm)                       |        |        |        |        |        |        |        |        | +++    | ++     |        |        |        |        |        |        |        | +      |
| Diverse  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Relagiske bakterier                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ++++   | +++    | ++     |        |        |        |        |        | ++     |

+: til stede  
 ++: almindelig  
 +++: hyppig  
 ++++: dominerende



Juul Sø, 1992

| Fytoplankton<br>individer/ml               | DATO   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|  | 920122 | 920213 | 920311 | 920402 | 920421 | 920505 | 920519 | 920602 | 920616 | 920707 | 920721 | 920804 | 920818 | 920901 | 920915 | 920929 | 921021 | 921117 | 921209 |  |
| Taxonomisk gruppe                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Cyanophyta                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Woronichinia sp.                           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Microcystis aeruginosa                     |        |        |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Microcystis viridis                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Microcystis wesenbergii                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Anabaena sp.                               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Anabaena spiroides                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Aphanizomenon flos-aquae                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Lynghya sp.                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Pseudanabaena limnetica                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Pseudanabaena mucicola                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Limnothrix planctonica                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Ubestemte blågrønalger<br>(Filamenter)     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Cryptophyceae                              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Cryptomonas spp. (20-30µm)                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Cryptomonas spp. (>30µm)                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Cryptophyceae spp. (10-15µm)               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Dinophyceae                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Ceratium hirundinella                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Gymnodinium helveticum                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Thekate furealger (>20µm)                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Diatomophyceae                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Melosira varians                           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Aulacoseira sp.                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Aulacoseira granulata var.<br>angustissima |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Aulacoseira granulata                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Stephanodiscus rotula                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Stephanodiscus binderanus                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Stephanodiscus/cyclotella<br>(<10µm)       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Stephanodiscus/cyclotella<br>(10-20µm)     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Stephanodiscus/cyclotella<br>(15-25µm)     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Asterionella formosa                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Diatoma elongatum                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Fragilaria sp.                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Fragilaria crotonensis                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Nitzschia acicularis                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |

+: til stede  
 ++: almindelig  
 +++: hyppig  
 ++++: dominerende

(fortsættes)

Juul Sø, 1992

| Fytoplankton<br>individer/ml                       | DATO   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|  | 920122 | 920213 | 920311 | 920402 | 920421 | 920505 | 920519 | 920602 | 920616 | 920707 | 920721 | 920804 | 920818 | 920901 | 920915 | 920929 | 921021 | 921117 | 921209 |  |
| Synedra acus                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Synedra ulna                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Chlorophyceae                                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Pandorina morum                                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Eudorina elegans                                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Coelastrum sp.                                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Dictyosphaerium sp.                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Oocystis sp.                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Pediastrum boryanum                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Pediastrum duplex                                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Scenedesmus sp.                                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Sphaerocystis<br>schroeteri/Eutetramorus<br>fotlii |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Monoraphidium contortum                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Monoraphidium minutum                              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Monoraphidium arcuatum                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Ankyra judayi                                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Closterium sp.                                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Closterium acutum                                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Staurastrum sp.                                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |

+: til stede  
 ++: almindelig  
 +++: hyppig  
 ++++: dominerende

Borre SØ, 1992

| Fytoplankton<br>individer/ml           | DATO   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
|  | 920122 | 920213 | 920311 | 920402 | 920421 | 920505 | 920519 | 920602 | 920616 | 920707 | 920721 | 920804 | 920818 | 920901 | 920915 | 920929 | 921021 | 921117 | 921209 |     |
| Taxonomisk gruppe                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Cyanophyta                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Woronichinia naegeliana                |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Woronichinia sp.                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Microcystis aeruginosa                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        | +      | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++  |
| Microcystis viridis                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Microcystis wesenbergii                |        | +      |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++ |
| Anabaena sp.                           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Anabaena spiroides                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Aphanizomenon flos-aquae               |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Lynghya sp.                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Limnothrix planctonica                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Cryptophyceae                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Cryptomonas spp. (20-30µm)             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Cryptomonas spp. (>30µm)               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Cryptophyceae spp. (10-15µm)           |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Dinophyceae                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Ceratium hirundinella                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Gymnodinium helveticum                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Diatomophyceae                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Melosira varians                       |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Aulacoseira sp.                        | ++     | ++     | +++    | ++     | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +   |
| Aulacoseira granulata                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Stephanodiscus rotula                  | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Stephanodiscus binderanus              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Stephanodiscus/Cyclotella<br>(<10µm)   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Stephanodiscus/Cyclotella<br>(15-25µm) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Stephanodiscus/Cyclotella<br>(>20µm)   | +      | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++ |
| Asterionella formosa                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Diatoma elongatum                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Fragilaria crotonensis                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Nitzschia acicularis                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Synedra acus                           | +      | +      | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++  |
| Synedra ulna                           | +      | +      | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++  |
| Chlorophyceae                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Pandorina morum                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Coelastrum sp.                         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Oocystis sp.                           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| Pediastrum boryanum                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |

+: til stede  
 ++: almindelig  
 +++: hyppig  
 ++++: dominerende

(fortsættes)



Borre SØ, 1992

| Fytoplankton<br>individer/ml                       | DATO   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
|  | 920122 | 920213 | 920311 | 920402 | 920421 | 920505 | 920519 | 920602 | 920616 | 920707 | 920721 | 920804 | 920818 | 920901 | 920915 | 920929 | 921021 | 921117 | 921209 |   |
| Pediastrum duplex                                  |        |        |        |        | +      |        | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Scenedesmus sp.                                    |        |        |        | +      |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Sphaerocystis<br>schroeteri/Eutetramorus<br>fottii |        |        |        |        |        |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Monoraphidium contortum                            |        |        | +      | ++     | ++     | ++     |        |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        | + |
| Monoraphidium komarkovae                           |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Monoraphidium arcuatum                             |        |        |        |        | +      | ++     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Ankyra judayi                                      |        |        | +      |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Closterium sp.                                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Closterium acutum                                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Staurastrum sp.                                    |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      | +      |        |        |        |        |        |        |        |        | + |

+: til stede  
 ++: almindelig  
 +++: hyppig  
 ++++: dominerende

Brassø, 1992

| Fytoplankton<br>individer/ml               | DATO   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
|  | 920122 | 920213 | 920311 | 920402 | 920421 | 920505 | 920519 | 920602 | 920616 | 920707 | 920721 | 920804 | 920818 | 920901 | 920915 | 920929 | 921021 | 921117 | 921209 |    |
| Taxonomisk gruppe                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Cyanophyta                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Woronichinia sp.                           |        | +      |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +      | +  |
| Microcystis aeruginosa                     | +      |        |        |        |        |        |        |        | +      | ++     | +      | +      | +      | ++     | ++     | ++     | +      | +      | +      | +  |
| Microcystis viridis                        |        |        |        |        |        |        |        | +      | +      | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | ++     | +      | +      | +  |
| Microcystis wesenbergii                    |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | ++     | +      | +      | +      | +  |
| Anabaena sp.                               |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | ++     | +      | +      | +      | +  |
| Anabaena spiroides                         |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | ++     | +      | +      | +      | +  |
| Aphanizomenon flos-aquae                   |        |        |        |        |        |        |        |        | +++    | ++++   | ++++   | ++++   | ++++   | ++++   | ++++   | +++    | ++     | +      | +      | +  |
| Lynghya sp.                                |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | ++     | +      | +      | +      | +  |
| Pseudanabaena mucicola                     |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | ++     | +      | +      | +      | +  |
| Limnithrix planctonica                     |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | +++    | ++     | +      | +      | +      | +  |
| Cryptophyceae                              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Cryptomonas spp. (20-30µm)                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++ |
| Cryptomonas spp. (>30µm)                   |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++ |
| Cryptophyceae spp. (10-15µm)               |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++ |
| Cryptophyceae spp. (15-20µm)               |        |        |        |        |        |        |        |        | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++     | ++ |
| Dinophyceae                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Ceratium hirundinella                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        | +      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Gymnodinium helveticum                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Chrysophyceae                              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Dinobryon sp.                              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Diatomophyceae                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Melosira varians                           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Aulacoseira sp.                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Aulacoseira granulata var.<br>angustissima |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Aulacoseira granulata                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Stephanodiscus rotula                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Stephanodiscus binderanus                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Stephanodiscus/Cyclotella<br>(<10µm)       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Stephanodiscus/Cyclotella<br>(10-20µm)     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Stephanodiscus/Cyclotella<br>(15-25µm)     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Asterionella formosa                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Diatoma elongatum                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Fragilaria crotonensis                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Nitzschia acicularis                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Synedra acus                               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
| Synedra ulna                               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |

+: til stede  
 ++: almindelig  
 +++: hyppig  
 ++++: dominerende

(fortsættes)

Brasø, 1992

| Fytoplankton<br>individer/ml | DATO   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|                              | 920122 | 920213 | 920311 | 920402 | 920421 | 920505 | 920519 | 920602 | 920616 | 920707 | 920721 | 920804 | 920818 | 920901 | 920915 | 920929 | 921021 | 921117 | 921209 |  |
| Chlorophyceae                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Pandorina morum              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Coelastrum sp.               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Coelastrum indicum           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Dictyosphaerium sp.          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Oocystis sp.                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Pediastrum boryanum          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Pediastrum duplex            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Scenedesmus sp.              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Monoraphidium contortum      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Monoraphidium komarkovae     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Monoraphidium arcuatum       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Ankyra judayi                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Closterium sp.               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Closterium acutum            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Staurastrum sp.              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |

+: til stede  
 ++: almindelig  
 +++: hyppig  
 ++++: dominerende



# Kildeopsplitning - beregninger

Ved beregningen af de enkelte kilders bidrag til stoftilførslen til Himmelbjergsøerne er det indregnet, at der sker en kvælstoffjernelse og en fosfortilbageholdelse i de opstrømsliggende søer.

Til eksempel er den fosformængde, der blev udledt fra dambrugene i Salten å ovenfor Salten Langsø, blevet reduceret med 50 % i tabellen over kildeopsplitningen, fordi der i Salten Langsø er en fosfortilbageholdelse på ca. 50 %.

Det er ikke den teoretiske fosforretention, som er anvendt i beregningerne, men den retention, som er fundet ved den sidst foretagne undersøgelse i søen.

For kvælstofs vedkommende er der anvendt en teoretisk kvælstoffjernelse beregnet ud fra formelen :

$$N_{sø} = 0,34 \times N_{ind} \times tw^{-0,16} \times Z^{0,17}$$

hvor  $N_{sø}$  er kvælstofkoncentrationen i søen,  
 $N_{ind}$  er kvælstofkonc. i indløbsvandet,  
 $tw$  er vandets opholdstid og  
 $Z$  er søens middeldybde.

Det viser sig nemlig, at der ikke er væsentlige forskelle i beregningerne, om denne metode anvendes, eller beregningerne foretages ud fra registrerede kvælstoffjernelsesprocenter i de forskellige søer.

Kildeopsplitningen i øvrigt :

## Naturbidrag og grundvand :

En fosforkoncentration på 65 µg P/l og en kvælstofkoncentration på 1 mg N/l.

## Regnvandsoverløb :

Vand- og stofmængderne, der kommer fra regnvandsoverløb, er opgjort ud fra arealenhedstal.

## Rensningsanlæg :

Det er de egentligt målte stofmængder, der ligger som baggrund for bidraget fra rensningsanlæggene. For rensningsanlæggene i den øvre del af Gudenåen er der indregnet den tilbageholdelse/fjernelse, der sker i søerne opstrøms Himmelbjergsøerne. Det er således til eksempel kun omkring 5 % af den fosformængde, der kommer fra Skanderborg Centralrensningsanlæg, som når til Himmelbjegsøerne.

## Dambrug :

Dambrugsbidraget er fundet ud fra hovedsagligt beregnede udledninger opgjort efter foderforbrug. I enkelte tilfælde dog ud fra enkelte egentligt målte udledninger.

## Spredt bebyggelse :

Der foreligger ikke nogen egentlig opgørelse af spildevandsforhold, afledningsforhold mv. for de enkeltliggende ejendomme i Gudenåens opland. Derfor er der i rapporten anvendt et gennemsnitstal, der er fremkommet ud fra målinger i 14 mindre oplande i Århus Amt med et begrænset antal ejendomme udenfor kloakerede områder.

Følgende gennemsnitstal er anvendt :

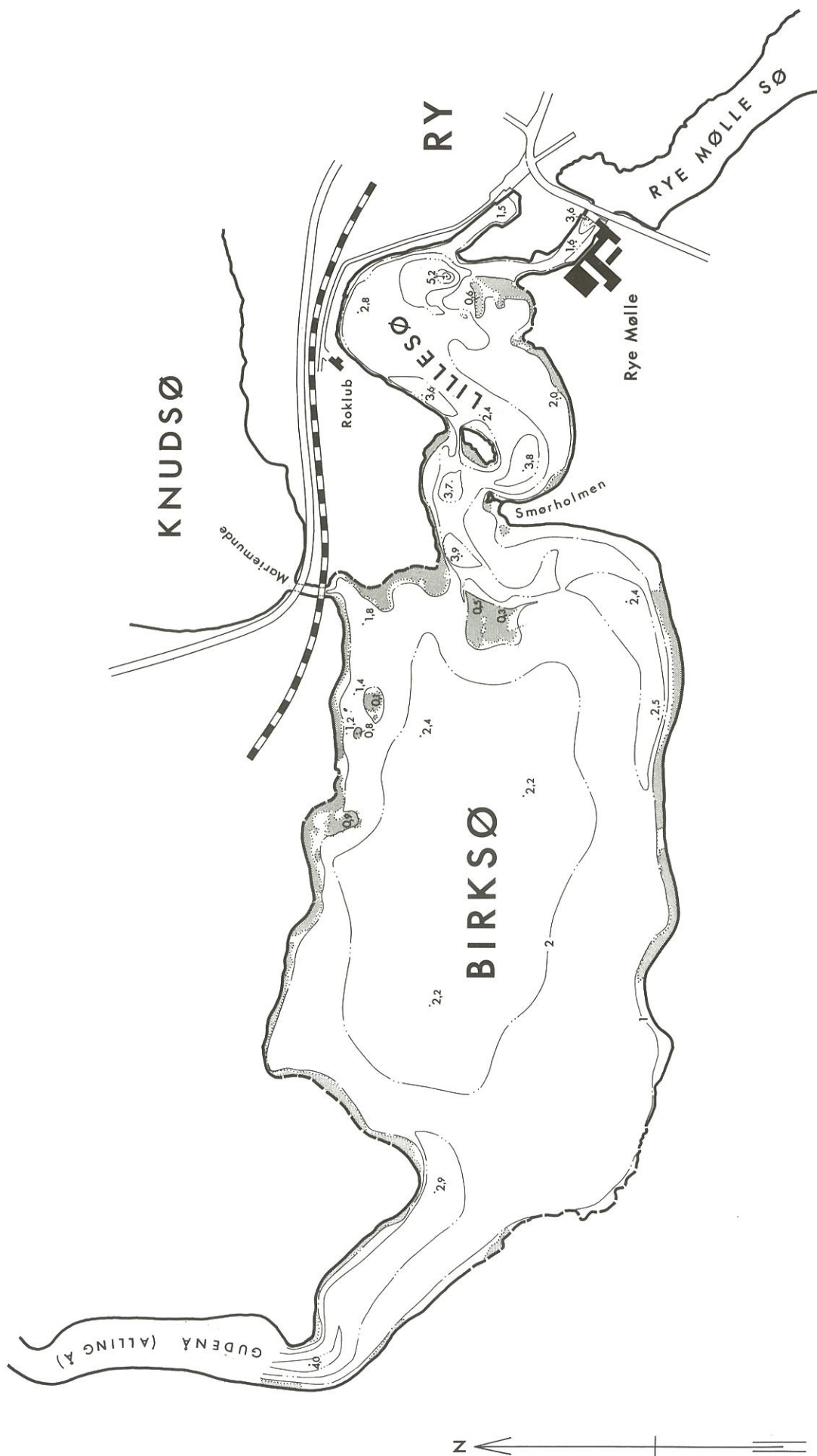
23,6 kg N/km<sup>2</sup>/år og 7,26 kg P/km<sup>2</sup>/år.

## Dyrkningsbetingede udvaskninger :

Dette bidrag er fremkommet som differencen mellem summen af de øvrige kilder og den totale tilledning af henholdsvis kvælstof og fosfor. Bidraget skal derfor tages med et vist forbehold.

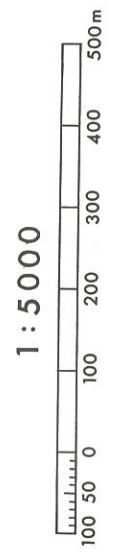
Ved en sammenligning med den afstrømning pr. ha, der er fundet for andre tilsvarende oplande i Århus Amt, viser det sig dog, at der ikke er nogen markant forskel i afstrømning pr. ha mellem Gudenåens opland og de sammenlignede.

# Dybdekort for de fire Himmelbjergsøer



# BIRKSØ - LILLESØ

RY KOMMUNE, ÅRHUS AMT



Ekkolodning foretaget maj 1975  
 Vandspejl 21,0m over DNN (GM)  
 Rørsump







