

En historisk dokumentasjon av de ferskvannsbiologiske forholdene i Nordre Boksjø, Enningdalsvassdraget

Bjørn Walseng
Trygve Hesthagen



LAGSPILL



ENTUSIASME



INTEGRITET



KVALITET

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger

NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Norsk institutt for naturforskning

En historisk dokumentasjon av
de ferskvannsbioologiske forholdene
i Nordre Boksjø,
Enningdalsvassdraget

Bjørn Walseng
Trygve Hesthagen

NINA Rapport 617. 45 s.

Oslo/Trondheim Desember 2010

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2195-5

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Bjørn Walseng og Trygve Hesthagen

KVALITETSSIKRET AV

Odd Terje Sandlund

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef: Erik Fremstad og Kjetil Hindar

OPPDRAGSGIVER(E)

Interreg og Direktoratet for naturforvaltning

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Roy Langåker og Roar Lund (DN) og Janne Eidissen (Interreg)

FORSIDEBILDE

Nordre Boksjø. Foto: Trygve Hesthagen

NØKKEWORD

Nordre Boksjø - Enningdalsvassdraget - forsuring - kalking - krepsdyr - fisk

KEY WORDS

Lake Nordre Boksjø - Enningdal watershed - acidification – liming - crustaceans - fish

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Gaustadalléen 21

0349 Oslo

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 22 60 04 24

NINA Tromsø

Polarmiljøsenteret

9296 Tromsø

Telefon: 77 75 04 00

Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkeltgården

2624 Lillehammer

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 61 22 22 15

www.nina.no

Sammendrag

Walseng, B. & Hesthagen, T. 2010. En historisk dokumentasjon av de ferskvannsbiologiske forholdene i Nordre Boksjø, Enningdalsvassdraget. NINA Rapport 617. 45 s.

Nordre Boksjø (1,97 km²) danner utspringet til Enningdalsvassdraget, og ligger i Aremark og Halden kommuner i Østfold. Innsjøen er lokalisert 173 moh, dvs over marin grense, og berggrunnen består av mye grunnfjell. Nordre Boksjø er i betydelig grad myrpåvirket, med en brunlig vannfarge og siktedyp på bare 2,5 m. Innsjøen var sterkt forsuret allerede tidlig på 1900-tallet. I 1950 ble pH målt til 4,7-4,8, og fra perioden 1979-83 ble det registrert pH på 4,5-4,8. I 1985 ble Nordre Boksjø kalket, og siden har pH med få unntak holdt seg rundt 6,0-6,8. Det har imidlertid vært flere perioder med reforsuring og pH < 5,2, både på slutten av 1980-tallet og etter den nedbørsrike høsten 2000. I august 2010 ble pH i utløpsbekken målt til 6,66, mens den i fire av de fem største tilløpsbekkene varierte mellom 4,48 og 4,70. I en femte tilløpsbekk, som drenerer et kalket vann, var pH 5,18. Uten kalking ville derfor Nordre Boksjø i dag vært sterkt forsuret, med pH < 5,0. En undersøkelse i 1973 viste at krepsdyrfaunaen var tydelig preget av forsurening, med kun forsureningstolerante arter. Etter kalking framstår vannet som relativt artsrikt, og med mange forsuringsfølsomme arter. *Daphnia cristata*, *Limnospira frontosa* og *Eucyclops macrurus* er gode eksempler på dette. Krepsdyrsamfunnet er følsomt for reforsuring, men endringer i predasjonstrykk fra fiskesamfunnet er også viktig. Damsnegl (*Lymnaea peregra*), som får problemer ved pH < 6,0, blomstret opp i store tettheter etter kalking. Den ble ikke funnet etter den nedbørsrike høsten 2000, da pH falt til 5,2. Gråsugge (*Asellus aquaticus*), som tilhører krepsdyrordenen Isopoda, har økt i antall etter kalking. Arten er et viktig næringsdyr for fisk. De pH-følsomme døgnflueartene *Caenis luctuosa* og *Cloeon dipterum* er funnet i strandsonen etter kalking, mens *Baetis rhodani* er kommet inn i utløpselva. Også endringer i fiskesamfunnet viser at Nordre Boksjø var sterkt forsuret allerede tidlig på 1900-tallet. Opprinnelig hadde Nordre Boksjø sju fiskearter; aure (*Salmo trutta*), røye (*Salvelinus alpinus*), abbor (*Perca fluviatilis*), mort (*Rutilus rutilus*), ørekyt (*Phoxinus phoxinus*), vederbuk (*Leuciscus idus*) og ål (*Anguilla anguilla*). Et prøvefiske i 1973 påviste en bra bestand av abbor, men bare én aure ble fanget. Prøvefiske i 2010 viste at Nordre Boksjø fortsatt har en tett bestand av abbor, i tillegg til tynne bestander av aure og ørekyt. Dette viser at røye, mort og vederbuk har blitt utryddet pga forsurening. Dette er i samsvar med historiske opplysninger om fiskestatus. Det antas at Nordre Boksjø fortsatt har ål. Ved prøvefiske høsten 2010 ble de fleste aurene og all ørekyt tatt i det sørligste bassenget (Skogsfjorden). Både aure og ørekyt kan ha dødd ut under den verste forsuringsperioden, og kan ha blitt gjeninnført av mennesker etter kalking. På basis av en forsuringsindeks for et fiskesamfunn, som går fra 1,0 for ingen skader til 0 for alle bestander tapt, har Nordre Boksjø verdien 0,35. Dette innebærer at ut fra endringer i fiskesamfunnet, blir innsjøen klassifisert til å ha dårlig økologisk tilstand.

Bjørn Walseng, Gaustadbekkalleen 21, 0349 Oslo. Email: bjorn.walseng@nina.no
Trygve Hesthagen, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim. Email: trygve.hesthagen@nina.no

Abstract

Walseng, B. & Hesthagen, T. 2010. The biological history of Lake Nordre Boksjø, River Enningdal watershed. NINA Report 617 45 pp.

Lake Nordre Boksjø (1,97 km²) is the source of the River Enningdal watershed in Østfold County, southeastern Norway. The lake is situated 173 m above sea level, which is above the marine limit. Its catchment is dominated by bogs, and the water has a brown color with a secchi depth of only 2.5 m. The composition of fish species in Lake Nordre Boksjø indicates that the lake has suffered from acidification since the early 1900. However, pre-acidification pH is not known. In 1950, pH was 4.7-4.8, and during the period 1979-83, pH varied between 4.5 and 4.8. Lake Nordre Boksjø was limed in 1985, and since then pH has generally ranged between 6.0 and 6.8. However, several periods of reacidification has occurred, such as after a heavy rainfall in late autumn 2000 when pH dropped < 5.2. In August 2010, Lake Nordre Boksjø was sampled with regard to water chemistry, crustaceans and fish. pH in the outlet was measured at 6.66, as opposed to pH of 4.48-4.70 in four un-limed tributaries. In a fifth tributary, draining a limed lake, pH was 5.18. These measurements show that without liming, Lake Nordre Boksjø would still have been heavily acidified with pH < 5.0. In 1973, the crustaceans suffered from acidification, as the zooplankton community included acid tolerant species only. After liming, the lake can be characterized as having a species-rich zooplankton community including a number of acid-sensitive species like *Daphnia cristata*, *Limnospila frontosa* and *Eucyclops macrurus*. Since 1993, the crustacean community has responded only to some acid episodes, in addition to predation pressure from fish. The occurrence of wandering snail (*Lymnaea peregra*), which is an acid-sensitive species suffering at pHs < 6.0, was found in high densities in the 1990s. Also this species responded to the re-acidification episode in late autumn 2000, as it was not found in 2003. The water louse (*Asellus aquaticus*), an isopod, has increased in number due to improved water quality. The acid sensitive mayflies *Caenis luctuosa* and *Cloeon dipterum* are found in the littoral zone of Lake Nordre Boksjø after liming, while *Baetis rhodani* occurs in the outlet river. Originally, brown trout (*Salmo trutta*), Arctic charr (*Salvelinus alpinus*), perch (*Perca fluviatilis*), roach (*Rutilus rutilus*), European minnow (*Phoxinus phoxinus*), ide (*Leuciscus idus*) and European eel (*Anguilla anguilla*) have been recorded in Lake Nordre Boksjø. Test-fishing in 1973 showed that perch was the only species having a viable stock. In addition, one specimen of brown trout was caught. Test-fishing in 2010 showed that perch still was the dominating species, with a dense population. The recruitment rate seems to be satisfactory, and 11 year classes were present. In addition, the lake contains a small population of brown trout, which was mainly caught near the outlet of the lake. Furthermore, a sparse population of European minnow also exists. This means that Arctic charr, roach and ide have been lost from the fish community of Lake Nordre Boksjø. It is unknown whether brown trout and European minnow survived during the most critical acidification period during the 1970/80s, or if their present occurrence is due to human re-introduction. We assume that eel, which is not caught in gillnets, still occurs in the lake. Based on an index for assessing changes in fish status in freshwater fish, ranging from 1.0 (no damage) to zero (all stocks lost), the community in Lake Nordre Boksjø obtained a value of 0.35. This implies a poor ecological status, and re-introduction of lost species is needed to improve the lakes status.

Bjørn Walseng, Gaustadbekkalleen 21, NO-0349 Oslo
Trygve Hesthagen, Box 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning.....	7
2 Områdebeskrivelse	9
2.1 Nordre Boksjø.....	9
2.2 Kalking	11
3 Materiale og metoder	12
3.1 Vannkjemi	12
3.2 Krepsdyr.....	12
3.3 Bunndyr.....	12
3.4 Fisk	12
4 Resultater	14
4.1 Vannkjemi	14
4.2 Krepsdyr.....	16
4.3 Bunndyr.....	25
4.4 Fisk	27
4.4.1 Historisk bestandsstatus.....	27
4.4.2 Fangstutbytte ved prøvefiske	33
4.4.3 Bestandsstruktur, alder og vekst.....	34
5 Oppsummering og konklusjon	38
6 Referanser.....	40

Forord

Denne rapporten omhandler effekter av forsurening og kalking på bunndyr, krepsdyr og fisk i Nordre Boksjø i Enningdalsvassdraget. På midten av 1990-tallet ble det foretatt ferskvannsbiologiske undersøkelser finansiert av Fylkesmannen i Østfold. I 2001 startet et prosjekt finansiert av Direktoratet for naturforvaltning (DN) med fokus på Enningdalsvassdraget der også Nordre Boksjø var med. Undersøkelsen i 2010, samt midler til slutføring av denne rapporten, er finansiert av DN og Interreg i forbindelse med Interregprosjektet "prosjekt Enningdalselven" (2009-2011). Rapporten sammenstiller også tidligere informasjon fra Nordre Boksjø sammen med data fra undersøkelsen i august 2010. Vi takker DN og Interreg for økonomisk støtte til prosjektet. Leidulf Fløystad hos NINA har aldersbestemt fisken.

Desember 2010

Bjørn Walseng
Trygve Hesthagen

1 Innledning

Fritidsfiske i ferskvann er blant de mest populære friluftaktivitetene her i landet. Imidlertid er det et betydelig potensial for økt bruk av disse ressursene. Dette går både på tiltak for å øke den biologiske produksjonen, samt informasjon og tilrettelegging av fisket. I Enningdalsvassdraget i Østfold representerer fisken en betydelig ressurs, men er i dag relativt lite utnyttet. Vassdraget er et grensevassdrag mellom Norge og Sverige, der $\frac{1}{3}$ av nedbørfeltet ligger på norsk side og omfatter rundt 60 innsjøer over 1,2 hektar.

Regionen som omfattes av Enningdalsvassdraget tilhører våre mest artsrike med hensyn til fisk, og er derfor spesielt viktig med tanke på biologisk mangfold. Allerede tidlig på 1950-tallet hadde forsuren forårsaket betydelige fiskeskader i flere innsjøer i dette området (Vasshaug 1990). På 1970-tallet hadde 30 % av landarealet i Østfold skadde eller tapte fiskebestander pga forsuring (Sevaldrud & Muniz 1980). En ny undersøkelse i 1992 viste at landarealet med forsuringsskadde fiskebestander hadde økt til rundt 41 % (Hesthagen mfl. 1994). Det er fortsatt betydelige forsuringsskader i sørøstlige deler av Østfold (Hesthagen & Østborg 2008). Det foregår en omfattende kalkingsaktivitet i området, spesielt i Enningdalsvassdraget (Walseng mfl. 2009). I de siste årene har vannkvaliteten i de kalkede innsjøene i vassdraget i hovedsak vært tilfredsstillende (Hesthagen mfl. 2007a).

I Enningdalsvassdraget knytter det seg spesielle forhold til Boksjøene og Kornsjøene. Dette fordi de er grenseinnsjøer, hadde opprinnelig relativt mange fiskearter og er blant de største innsjøene i vassdraget. Det foregår et betydelig fritidsfiske i disse lokalitetene, men produksjonskapasiteten tilsier at fisket kan økes ytterligere. Dette skyldes blant annet at fiskebestandene ikke er fullt gjenhentet etter forsuringen, eller at tapte arter ennå ikke er gjeninnført. Nordre Boksjø, som danner utspringet til Enningdalsvassdraget, var allerede i 1950 sterkt forsuret, med pH 4,7-4,8 (Vasshaug 1990). Målinger fra perioden 1979-83 påviste enda surere vann, med pH-verdiene 4,5-4,8 (Raddum mfl. 1984, Kleiven & Håvardstun 1997). I 1985 ble Nordre Boksjø kalket, og dette ga en betydelig bedre vannkvalitet.

Opprinnelig hadde Nordre Boksjø sju fiskearter; aure (*Salmo trutta*), røye (*Salvelinus alpinus*), abbor (*Perca fluviatilis*), mort (*Rutilus rutilus*), ørekyt (*Phoxinus phoxinus*), vederbuk (*Leuciscus idus*) og ål (*Anguilla anguilla*) (Huitfeldt-Kaas 1918, Vasshaug 1990). Abboren har til tross for perioder med svært lave pH-verdier, ikke vært truet av utryddelse. En undersøkelse i 1973 viste at det var en god abborbestand, mens det i tillegg ble tatt én aure (Borgstrøm mfl. 1974). Ved prøvefiske i 1991 og 1994 ble også bare fanget abbor og aure (Øxnevad 1995, Kleiven & Håvardstun 1997). Det hadde nå etablert seg en tynn aurebestand. Ved en undersøkelse i regi av Enningdalsprosjektet i 2003, ble det i tillegg til abbor og aure, også fanget ørekyt (upubl. data). Det innebærer at bestandene av røye, mort og vederbuk i Nordre Boksjø har blitt utryddet. Det antas at det fortsatt forekommer ål. Det er ukjent om aure og ørekyt døde ut før kalkingen kom i gang, og om de to artene så fall har blitt gjeninnført.

I 2001 ble det satt i gang et større ferskvannsbiologisk prosjekt i Enningdalsvassdraget (Hesthagen mfl. 2002). Dette omfattet undersøkelser av planktoniske og litorale krepsdyr i 17 innsjøer, og registrering av fiskestatus i alle de 60 innsjøene > 1,2 hektar. I perioden 2002-09 er det prøvefisket og samlet inn småkreps fra alle disse innsjøene, fordelt både på kalkede og ikke-kalkede lokaliteter (Hesthagen mfl. 2003, 2004, 2005, 2006, 2007a,b, Walseng mfl. 2008, 2009). I tillegg er ca 55 innsjøer på svensk side prøvefisket, og det er tatt krepsdyrprøver fra 17 vann. En av målsetningene ved prosjektet i Enningdalsvassdraget var å sammenlikne krepsdyr- og fiskesamfunnene langs en vannkjemisk gradient, samt å fokusere på hvorvidt ulike arter i de to organismegruppene reetablerte seg etter kalking (Hesthagen mfl. 2007a). Kartleggingen av fiskestatus viste at det har vært minst 120 innsjølevende fiskebestander i Enningdalsvassdraget, med abbor, mort, gjedde og aure som de vanligste artene. Av disse har 44 bestander gått tapt (37 %). Dette omfatter alle kjente forekomster av vederbuk, ørekyt, røye (bortsett fra én bestand) og krøkle, totalt 13 bestander, samt 31 bestander av mort, aure, gjedde, abbor og brasme. Etter kalking er bare fem av de tapte bestandene blitt reetablert (11 %). Fysiske barri-

erer er trolig den viktigste årsaken til manglende naturlig rekolonisering hos fisk i innsjøer i Enningdalsvassdraget (Hesthagen mfl. 2007a).

Analyser av krepsdyrfaunaen i Enningdalsvassdraget viser at de sureste lokalitetene bare har rundt halvparten av de artene som fins i kalkede lokaliteter (Walseng mfl. 2008, 2009). Re-etableringen av krepsdyr i kalkede lokaliteter har gått raskere enn i sørlige og vestlige deler av Sør-Norge (Walseng mfl. 2001). Kort avstand til områder med god vannkvalitet og et høyt biologisk mangfold innen regionen er vurdert som viktige årsaker til denne raske bedringen (Hesthagen mfl. 2007a).

I 2008 ble det gitt klarsignal til Interreg-prosjektet "Enningdalselven", med varighet fram til 2011. En av hensiktene med prosjektet er å utvikle et faglig grunnlag for økt fiskeproduksjon og bedre utnyttelse av fiskeressursene i vassdraget. Dette vil bli gjort på basis av eksisterende data, biotopforbedrede tiltak, utsetting av fisk for å styrke eksisterende bestander og etablering av nye fiskebestander i lokaliteter der de opprinnelige bestandene har gått tapt. Med sitt store mangfold av ferskvannsfisk ligger alt til rette for et variert og unikt fisketilbud for ulike brukergrupper. Dette vil omfatte både innlandsfisk og anadrom fisk. Sentralt i arbeidet står utarbeidelsen av forvaltningsplaner for fisk og vannressurser. Interreg-prosjektet omfatter også vannkjemiske og biologiske undersøkelser i noen av de største innsjøene i vassdraget. Således ble Nordre Kornsjø og Mellan Kornsjön undersøkt i 2008, og Søndre Boksjø og Söndra Kornsjön i 2009 (Johansson 2009a, b). I 2010 ble det gjennomført vannkjemisk prøvetaking, prøvefiske og analyser av krepsdyrsamfunnet i Nordre Boksjø. Denne rapporten gir en sammenstilling av resultatene fra denne undersøkelsen. I tillegg presenterer vi også resultatene fra noen tidligere undersøkelser for både bunndyr (1973, 1994, 1995, 1996 og 2001), krepsdyr (1973, 1994, 1995, 1996, 2001 og 2003) og fisk (2003).

2 Områdebeskrivelse

2.1 Nordre Boksjø

Nordre Boksjø (**figur 1**) danner utspringet til Enningdalsvassdraget, og ligger i Aremark og Halden kommuner i Østfold, sørøst for Halden (**figur 2**). Innsjøen er lokalisert 173 m o.h., dvs over marin grense, og har et areal på 1,97 km². (NVE nr 344). Vannet har et nedbørsfelt på ca 15 km², som består av mye myr og bart grunnfjell. Furuskog dominerer, med innslag av noe gran og løvskog. Vannet kan grovt deles i tre bassenger, der det midtre er definert som hovedbassenget. Bassenget lengst nord er relativt grunt, der den sørligste delen kalles Tronsholtfjorden. Den har et maksimum dyp på rundt 10 m, mens lengst nord er dette bassenget noe grunnere. Hovedbassenget (Hauglundfjorden) har dyp på 16-21 m, mens Krukebukta i nordøst er relativt grunn. Skogsfjorden i den sørligste delen av Nordre Boksjø er delvis avsnørt fra hovedbassenget ved Langeneset. Her er dominerende dyp i midtre deler 8-11 m. Største målte dyp er 24 m, mens dyp > 20 m dekker et svært lite område. Utløpsbekken fra Nordre Boksjø og ned til Søndre Boksjø har en lengde på ca 400 m. Høydeforskjellen mellom de to innsjøene er rundt 7 m. Nordre Boksjø drenerer fem litt større tilløpsbekker (s. 10). I øst renner bekken fra Gravedalstjennet og Kruketjenn ut innerst i Krukebukta. Bekken som slutter seg til Nordre Boksjø helt i nord, drenerer et mindre myrområde med flere småtjern. Fra vest får innsjøen tilførsel fra tre bekker, med omtrent like store nedbørsfelt.

I nordvest renner bekken fra Askalstjenn og Sveltetjenna ut i en ca 200 meter lang trang bukt. Rundt 400 m lengre sør slutter bekken fra Haugåstjenn seg til innsjøen. Sør i hovedbassenget



Figur 1. Nordre Boksjø mot utløpet av bekken fra Kruketjenn. Foto: Trygve Hesthagen.

Figure 1. Lake Nordre Boksjø. The picture is taken towards the outlet of the creek from Lake Kruketjenn.

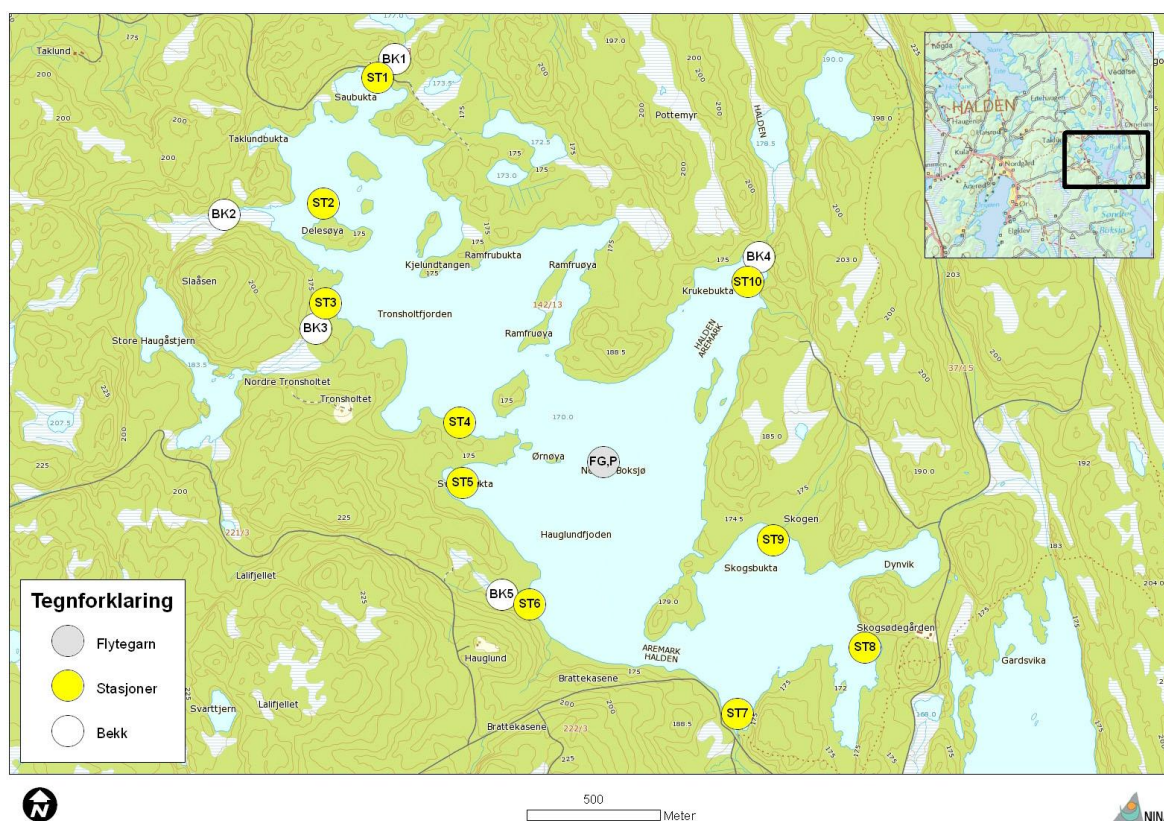
kommer bekken fra Kroktjenn med tilliggende myrområder. Ødegården helt i sørøst er eneste bebyggelse i nærheten av Nordre Boksjø. Her var det gårdsdrift fram til utpå 1960-tallet. Det går skogsvei inn til Nordre Boksjø både i nord og i sør. Det er noe skogsdrift i deler av nedbørsfeltet. Det er etablert et naturreservat som går på østsiden av Nordre Boksjø, der grensa går ved innløpet til Søndre Boksjø.

Høsten 2010 ble det foretatt en enkel bonitering av fem aktuelle gytebekker i samband med feltarbeidet. Stor vannføring gjorde imidlertid arbeidet svært vanskelig, og dermed unøyaktig. Det ble tatt vannprøver fra alle disse bekkene, samt fra utløpet (**figur 2**).

Bekk 1: "Øretjennbekken". Denne bekken vurderes ikke som egnet til gyting. Den renner delvis over berg og er sterkt mosegrodd. Bekken går i ei renne under veien, og på oversiden er det et fall som hindrer oppgang av fisk.

Bekk 2: "Sveltetjennabekken" (**figur 3**). Dette er en bekk med mulig gytestrekning helt nederst. Men den er relativt storsteinet med betydelig mose. Bekken renner over svaberg lengre opp. Enda lengre opp renner den gjennom myr og er relativt dyp. Her er det trolig ikke gytesubstrat. Det er tidligere foretatt en omfattende biotopkartlegging av denne bekken (Kaikkonen & Rehndell 2010).

Bekk 3: "Haugåstjennbekken". Dette er en lite egnet gytebekk, med svaberg etter 20 m som er vandringsbarriere for fisk. Det er litt gytesubstrat i nedkant av svaberget. Nærmest utløpet til Nordre Boksjø er bekken ca en halv meter dyp, og har fint substrat.



Figur 2. Kart over Nordre Boksjø som viser stasjoner for bunngarn og litorale krepsdyr (St 1-10), flytegarn (FG), pelagisk planktontrekk (P), og de fem bekkene hvor det ble tatt vannprøver (BK 1-5).

Figure 2. Map showing sites for test fishing with gillnets and samples of littoral crustaceans (St 1-10), floating gillnets (FG), pelagic samples of crustaceans (P), and five tributaries sampled for water chemistry (BK 1-5) in Lake Nordre Boksjø.

Bekk 4: "Kruketjennbekken". Det var ikke mulig å gi en vurdering av substratet pga av stor vannføring. Det er en vandringshinder etter ca 20 m. Det kommer også ned en mindre bekk litt lengre nord.

Bekk 5: "Kroktjennbekken". Ut fra bunnssubstratet synes dette å være en bra gytebekk. Det er ingen barrierer nær utløpet til Nordre Boksjø.

Utløpsbekken (**figur 3**). Bekkestrekningen mellom Nordre og Søndre Boksjø er ca. 400 m lang (Karlsen 1997). Det er tidligere foretatt en omfattende biotopkartlegging av utløpsbekken fra Nordre Boksjø (Kaikkonen & Rehndell 2010). Det er strykpartier på de øverste ca. 75 m og på de nederste ca. 50 m. I mellomliggende områder renner bekken stort sett stilleflytende og er omgitt av myr. Det er tett kantvegetasjon langs strykstrekningene, med unntak av ei strekning på ca. 10 m nederst. Midtpartiet har mer glissen vegetasjonen. Ved en befaring i juni 1997 ble det observert at beveren hadde felt mye bjørk på denne strekningen (Karlsen 1997). Det var en gammel beverhytte omtrent midtveis mellom innsjøene. Ved starten på det nederste strykpartiet hadde beveren tidligere hatt en demning som nå var fjernet. Det ble også påvist spor av menneskelige inngrep ved at det var gravd en ny kanal fra bekken og opp i skogen. Bunnen av denne kanalen var dekket av fin sand som må ha blitt plassert der av mennesker. Denne sanden var uegnet som gytesubstrat for aure. Det var ikke vann i kanalen under befaringen i 1997.



Figur 3. Bekk fra Sveltetjenna (venstre) og utløpsbekken fra Nordre Boksjø (høyre).

Foto: Trygve Hesthagen.

Figure 3. Creek from Lake Sveltetjenna (left) and the outlet stream from Lake Nordre Boksjø (right).

2.2 Kalking

Nordre Boksjø ble kalket første gang i 1985, med ca 60 tonn kalksteinsmel (Leif Roger Karlsen, pers. medd.). Tre år seinere ble det kalket med hele 275 tonn. På 1990-tallet begrenset kalkingen seg til bare én gang, nemlig i 1994 med 67 tonn. Fra 2000 til 2010 har det vært kalket hvert år med fra 60 til 83 tonn, i gjennomsnitt 71,3 tonn.



Kalkbåt som ble benyttet i Nordre Boksjø i august 2010. Foto: Trygve Hesthagen.

Boat used for liming of Lake Nordre Boksjø in August 2010.

3 Materiale og metoder

3.1 Vannkjemi

Høsten 2010 ble det tatt vannprøver fra utløpet og fem tilløpsbekker til Nordre Boksjø (**figur 2**). Prøvene ble analysert mht full ionebalance. Ulike aluminiumfraksjoner ble også analysert, inkludert den uorganiske og giftige fraksjonen (labilt eller uorganisk aluminium). Prøvene ble analysert på Trondheim kommune sitt akkrediterte vannkjemiske laboratorium (Analysesenteret).

3.2 Krepssdyr

Planktonprøvene ble tatt i det midtre bassenget av Nordre Boksjø, fra 20 meters dyp (**figur 2**). Tidligere år er disse prøvene tatt i det sørligste bassenget, fra 10-15 m dyp. Fra 2010 foreligger fire håvtrekk fra 5, 10, 15 og 20 m dyp, med maskevidde 90 µm, diameter 30 cm og dybde 57 cm. I tillegg er det tatt 10 kvalitative litoralprøver med planktonhåv med samme maskevidde fra varierende substrat (starr, nøkkerose, myrhatt, stein og grus). Prøvene ble tatt ved de samme stasjonene som ble prøvefisket (**pkt 3.4**).

Vannloppene (cladocerene) er bestemt ved hjelp av Smirnov (1971), Flössner (2000) og Herbst (1976), mens hoppekrepsene (copepodene) er bestemt ved hjelp av Sars (1903, 1918), Rylov (1948) og Kiefer (1973, 1978). Nauplier og små copepoditter er ikke artsbestemt.

Krepssdyrmaterialet er analysert med Detrended Correspondence Analysis (DCA) (Hill 1979, Hill & Gauch 1980), med programmet CANOCO (ter Braak & Smilauer 1998). Ordinasjonen er gjort på forekomst/fravær data for arter registrert i 60 vann på norsk side av Enningdalsvassdraget. DCA arrangerer artslistene slik at de med lik artssammensetning blir liggende nær hverandre når resultatet plottes i et aksekors, mens artslistene med ulik artssammensetning blir liggende lengre fra hverandre i plottet. Da forskjeller i artssammensetning mellom stasjonene gjenspeiler forskjeller i miljøet, vil aksene i plottet representere underliggende miljøvariabler. Artslistene fra Nordre Boksjø i 1973 (Borgstrøm mfl. 1974), 1994 (Walseng & Hansen 1994), 1996 (Walseng & Karlsen 1997), 2001 (Hesthagen mfl. 2002), og 2010 er behandlet passivt i ordinasjonen, dvs at de bare er plassert i plottet der de hører hjemme uten at de bidrar til ordinasjonsresultatet. Data fra 2003 inngår aktivt i ordinasjonen da data de var en del av 60-sjøers prosjektet.

3.3 Bunndyr

I forbindelse med inventeringsundersøkelsen i 1973, foreligger det også noe informasjon vedrørende bunndyrfaunaen i Nordre Boksjø (Borgstrøm mfl. 1974). Seinere ble det i perioden 1994-96 tatt bunndyrprøver, både i innsjøen og i utløpsbekken (Walseng & Hansen 1994, Walseng & Karlsen 1997), samt i innsjøen i 2001 (upubl. data).

3.4 Fisk

Prøvefiske ble foretatt i perioden 23.8. - 27.8. 2010. Temperaturen i vannet ble målt til ca 19 °C. Det ble fisket med bunngarn av typen Nordisk oversiktsgarn (Appelberg mfl. 1995). Disse garnene er 30 m lange og 1,5 m dype, og dekker et areal på 45 m². Følgende 12 maskevidder er representert: 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 15.5, 19.5, 24, 29, 35, 43 og 55 mm. Det ble foretatt et stratifisert prøvefiske, idet garn ble satt i disse fire dybdeintervallene: 0-3 m, 3-6 m, 6-12 m og 12-20 m. Det ble satt garn på 10 stasjoner fordelt på hele innsjøen, og den totale innsatsen var på 34 garn (**figur 2, tabell 1**). I 2003 ble det satt garn på tre stasjoner; ved Kjelundtangen (UTM: 523507), ved venstre tange inn til Krukebukta (UTM: 530503) og i vika ved Hauglund (UTM: 526495). Fangstinnnsatsen følger i utgangspunktet en standard, avhengig av innsjøenes stør-

relse og maks dyp. Plasseringen av garna i forhold til strandlinja avhenger av dybdeforholdene, men vanligvis settes de rett ut fra land. I innsjøer med bratt strandsone kan det være nødvendig å sette garna nesten parallelt med land for at de skal blir satt på 0-3 m dyp. Det ble benyttet ekkolodd ved setting av garna i de angitte dypene.

Det ble også satt ei lenke med flytegarn i hovedbassenget (**figur 2**). Dette området hadde et dyp på 18-21 m. Denne flytegarlenka var 6 m dyp og 54 m lang, og bestod av åtte maskevidder fra 10-43 mm. Det innebærer at hver maskevidde er representert med ei lengde og areal på henholdsvis 6,75 m og 40,5 m². Følgelig dekker hele flytegarlenka et areal på 324 m². Maskeviddene som inngår i flytegarnerien er de samme som ble benyttet i SNSF-serien (Rosseland mfl. 1979). Flytegarneret ble satt fra overflaten og ned til 6 m dyp.

Fangstutbyttet blir uttrykt som antall individ fanget pr. 100 m² garnareal pr. natt, eller rundt 12 timers fiske, og benevnes Cpue. En sammenligning av fangstutbyttet på bunngarn mellom de enkelte stasjonene, er gjort på basis av gjennomsnittet for dybdeintervallene 0-3, 3-6 og 6-12 m. Dette fordi det ble satt garn på alle tre dypene på samtlige 10 stasjoner, bortsett fra på stasjon 1 hvor det bare ble fisket på 0-3 og 3-6 m dyp. Det ble også skilt mellom fangstene i fire soner: Sone 1 (St. 1 & 2), Sone 2 (St. 3 & 4), Sone 3 (St. 5, 6 & 10) og Sone 4 (St. 7, 8 & 9). Garnfangstene i 2003 og 2010 er vist i **tabell 2**.

Tabell 1. Garninnsats ved de enkelte stasjonene ved prøvefiske i Nordre Boksjø høsten 2010, fordelt på fire ulike dyp. Lokaliseringen av de enkelte stasjonene er vist i **figur 2**.

Table 1. The gill net effort on the different stations during the test-fishing in Lake Nordre Boksjø in 2010. The location of the different stations are shown in **figure 2**.

Stasjon	0-3 m	3-6 m	6-12 m	12-20 m
1	1	1		
2	1	1	1	
3	1	1	1	
4	1	1	1	
5	1	1	1	1
6	1	1	1	1
7	1	1	1	1
8	1	1	1	1
9	1	1	1	
10	1	1	1	1
Totalt	10	10	9	5

Tabell 2. Fangstutbyttet av ulike fiskearter på bunngarn og flytegarn i Nordre Boksjø i 2003 og 2010.

Table 2. Number of fish caught on bottom and pelagic gill nets in Lake Nordre Boksjø in 2003 and 2010.

År	Bunngarn	Flytegarn	Bunngarn	Flytegarn	Bunngarn	Flytegarn
	Abbor		Aure		Ørekyt	
2003	472	86	6	3	0	0
2010	703	7	18	0	7	0
Totalt	1175	93	24	3	7	0

4 Resultater

4.1 Vannkjemi

Nordre Boksjø er i betydelig grad myrpåvirket, med en brun vannfarge og et siktedyp på 2,5 m, målt i august 2010. Fire av de fem største tilløpsbekkene til Nordre Boksjø hadde pH på 4,48-4,70 (**tabell 3**). Lavest pH hadde bekk 2 i nordvest, som kommer fra Sveltetjenna. Otertjenn, der pH i 2008 ble målt til 4,76, tilhører også denne sidegreinen. Kruketjennbekken (bekk 5) som drenerer Gravedalstjenn og Kruketjenn, hadde pH 5,50. I Gravedalstjenn og Kruketjenn var pH i 2007 og 2008 henholdsvis 4,63 og 4,67. Kroktjenn, som drenerer til Nordre Boksjø via Kroktjennbekken (bekk 4), hadde i 2003 pH 4,80. Denne lokaliteten hadde også lav pH for rundt 60 år siden, idet den i 1951 ble målt til 4,5 (Vasshaug 1990). I 1973 var pH 4,3 i overflaten og 4,45 på henholdsvis 5 og 7 meters dyp (Borgstrøm mfl. 1974). I september 1994 var pH noe høyere, med 4,6. Dette samsvarer med den verdien som ble målt i forbindelse med denne undersøkelsen. I bekken som kommer fra Haugåstjenn, ble pH målt til 5,18. Dette tjernet har vært kalket med 5 tonn årlig siden 2005. I 2002, dvs før vannet ble kalket, ble pH målt til 5,09. Kalkingen synes derfor å ha hatt liten effekt med hensyn til å øke pH.

De lave pH-verdiene i tilførselsbekkene står i sterk kontrast til pH i utløpsbekken, som høsten 2010 ble målt til 6,66. Uten innsjøkalkingen ville pH i Nordre Boksjø derfor vært under 5,0. I 1950 målte Vasshaug (1990) først pH til 4,8 og beskrev at vannet hadde et brunlig skjær. Han syntes at dette var en bemerkelsesverdig lav pH og tok derfor en ny vannprøve. Den neste målingen viste enda lavere pH, med 4,7. I 1973 ble vannfargen til Nordre Boksjø beskrevet som gullig brun, mens pH ble målt til 5,0 (Borgstrøm mfl. 1974). Målinger fra perioden 1980-84 påviste enda surere vann, med pH-verdier på 4,5-4,8 (Raddum mfl. 1984, Kleiven & Håvardstun

Tabell 3. Vannkjemiske målinger fra fem tilførselsbækker og utløpet av Nordre Boksjø i august 2010 (**figur 2**).

Table 3. Water chemistry from five tributaries and the outlet of Lake Nordre Boksjø in August 2010.

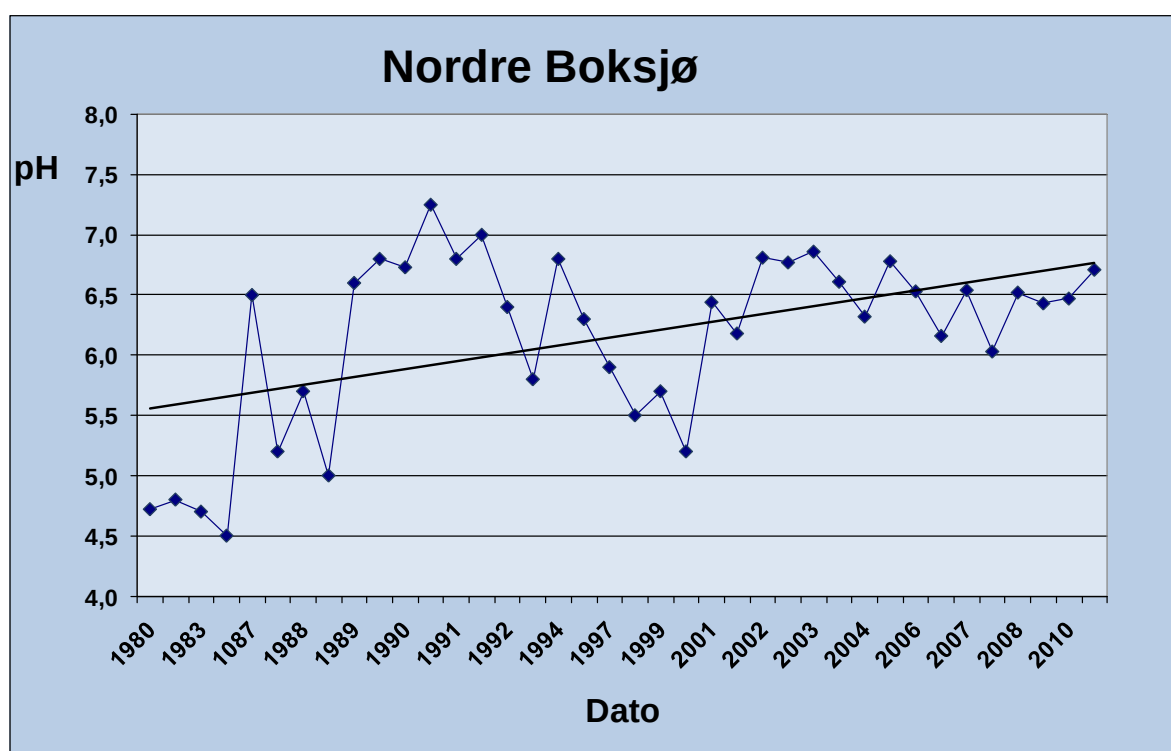
Lokalitet	Bekk 1	Bekk 2	Bekk 3	Bekk 4	Bekk 5	Utløp
pH	4,70	4,48	5,18	4,63	4,50	6,66
Alkalitet (µekv/l)	0	0	13	0	0	85
Al :Tot-Al (µg)	197	420	335	283	298	132
Al: TM-Al (µg /l)	134	216	178	191	167	30
Al: OM-Al (µg/l)	98	171	134	134	128	25
Al: UM-Al (µg/l)	36	45	44	57	39	5
Kalsium (mg/l)	0,35	0,6	1,19	0,47	0,78	2,62
Magnesium (mg/l)	0,26	0,36	0,34	0,33	0,42	0,42
Natrium (mg/l)	2,4	2,99	3,08	2,97	3,39	3,1
Kalium (mg/l)	0,17	0,07	0,17	0,16	0,17	0,21
Klor (Cl) (mg /l)	3,56	3,9	3,81	4,1	5,62	4,88
Sulfat (SO ₄) (mg/l)	0,25	0,56	0,75	0,56	0,77	0,76
Nitrat (NO ₃) (µgN/l)	<15	<15	17	<15	<15	<15
TOC (mg C/l)	12,9	21,1	14,2	14,9	16,9	8,9
Farge (mg Pt/l)	129	261	146	134	182	68
Ledningsevne (mS/m)	2,6	3,2	2,8	3,1	3,8	3,4
Tot-N (µg N/l)	280	420	390	360	380	260
Fosfor (µg/l)	1,8	2,5	1,7	2,9	4,6	2,4
Silisium (mg/l)	0,48	0,78	0,94	0,76	1,55	0,58
Turbiditet (FTU)	0,76	1,1	0,66	2	1,1	0,83

1997), **figur 4, vedlegg 1**. Den første pH-målingen etter kalking er fra 18. februar 1987, og viste 6,5. Seinere skjedde det en kraftig reforsuring, til pH 5,0 den 12. juni 1989. Deretter holdt vannkvaliteten seg relativt god helt fram til høsten 1993 da pH falt til 5,8. Men etter kalkingen i 1994, var vannkvaliteten god helt fram til det kraftige regnfallet høsten 2000, med et pH fall helt ned til 5,2. Da hadde altså ikke Nordre Boksjø vært kalket siden 1994. Etter 2000 har det vært kalket hvert år og pH har holdt seg stabil mellom 6,0 og 6,8. De laveste verdiene ble målt i mai både i 2007 og 2008, med henholdsvis 6,2 og 6,0.

Nordre Boksjø var opprinnelig kalkfattig, indikert med kalsiumverdier på 0,35-0,78 mg/l i de fire ikke-kalkede bekkene (**tabell 3**). Haugåstjennbekken, som får tilførsel av kalket vann, hadde 1,19 mg/l kalsium, mens innholdet i utløpsbekken fra Nordre Boksjø var 2,62 mg/l. Det høye kalsiuminnholdet i utløpsbekken skyldtes at innsjøen ble kalket kun få dager før prøvetakingen. Det var liten variasjon i ledningsevnen mellom de undersøkte lokalitetene, med 2,6 - 3,8 $\mu\text{S/m}$. Gjennomsnittet for de 60 undersøkte vannene i Enningdalsvassdraget er tilsammenligning 4,0 $\mu\text{S/m}$. Følgelig har lokaliteter lengre nede i vassdraget generelt noe høyere ledningsevne.

Innholdet av uorganisk og labilt giftig aluminium (UM-Al) var ikke spesielt høyt i noen av de ikke-kalkede bekkene, med verdier på 36-57 $\mu\text{g/l}$ (**tabell 3**). Haugåstjennbekken, som altså får tilført kalket vann, hadde 44 $\mu\text{g/l}$ i UM-Al, mens det på utløpet bare var 5 $\mu\text{g/l}$. Følgelig har kalking resultert i en markert avgiftning av vannet.

Vannet i alle tilførselsbekkene var sterkt myrpåvirket, med fargetall på 134-261 mgPt/l. Det var bekken fra Sveltetjenna som hadde høyest verdi. Til sammenlikning var fargetallet i utløpsbekken 68 mgPt/l. TOC-verdiene i forsøkslokalitetene var også relativt høye, med 12,9-21,1 mg/l i bekkene og 8,9 mg/l i utløpet. Turbiditeten var på omtrent samme nivå i alle lokaliteter (0,66-1,10 FTU), bortsett fra bekken fra Kruketjenn med 2,0 FTU. Innholdet av fosfat varierte mellom 1,8-4,6 $\mu\text{g/l}$, med høyest verdi i bekken fra Krokstjenn.



Figur 4. pH i Nordre Boksjø i perioden 1980-2010. (Data fra Fylkesmannen i Østfold).

Figure 4. pH in Lake Nordre Boksjø during the period 1980-2010. (Data From the Department of Environmental Protection in Østfold County).

4.2 Krepssdyr

I Nordre Boksjø er det i perioden 1973-2010 registrert 40 arter av krepssdyr; 30 vannlopper og 10 hoppekreps (**tabell 4**). Til sammen er det i de syv årene innsjøen er blitt prøvetatt, funnet 50 arter (37 vannlopper og 13 hoppekreps). Til sammenligning er det registrert 51 arter (36 vannlopper og 15 hoppekreps) i Søndre Boksjø. I perioden 1994-2002 ble det registrert 28-32 arter. Flere arter i 2010 kan delvis tilskrives at det ble tatt prøver ved 10 forskjellige stasjoner i innsjøen. Tidligere er det med ett unntak (2001) blitt tatt to prøver fra to besøk ved stasjonen nærmest utløpet. Høy vannstand i 2010 resulterte at prøvene delvis ble tatt i oversvømmet vegetasjon. Til sammen er det registrert 82 arter i de 77 undersøkte innsjøene i Enningdalsvassdraget (55 vannlopper og 27 hoppekreps) hvorav 79 arter på norsk side (55 vannlopper og 24 hoppekreps) fordelt på 60 vann.

I en undersøkelse som omfattet 15 lokaliteter fra de østlige deler av Østfold i 1998 og 1999, ble det til sammenligning funnet 69 arter, fordelt på 45 vannlopper og 24 hoppekreps (Walseng & Karlsen 2001). Denne undersøkelsen omfattet innsjøer med et stort spenn med hensyn til pH og som ble prøvetatt over to år. Til sammen er det i dag funnet 112 krepssdyrarter i Østfold. De mange krepssdyrundersøkelsene i de siste 10 årene, heriblant fra 60 vann i Enningdalsvassdraget, har resultert i at det er kommet til 17 nye arter for fylket siden status for krepssdyrene ble publisert i *Limnofauna norvegica* i 1996 (Walseng & Halvorsen 1996a, 1996b). I følge *Limnofauna Norvegia* (Aagaard & Dolmen 1996) er det registrert 133 arter krepssdyr, fordelt på 84 arter vannlopper (Walseng & Halvorsen 1996a) og 49 arter hoppekreps (Walseng & Halvorsen 1996b). Siden dette arbeidet utkom har det skjedd justeringer der noen arter er fjernet, samt at noen nye er kommet til. I dag er tallene 80 arter vannlopper og 50 arter hoppekreps, dvs totalt 130 arter. Det fins krepssdyrdata fra mer enn 3 100 ferskvannslokaliteter i Norge.

Vannloppene *Latona setifera* (**figur 5**) og *Chydorus piger* (**figur 5**), samt hoppekrepsen *Paracyclops affinis* var nye arter for innsjøen i 2010, mens de øvrige artene er registrert tidligere (Borgstrøm mfl. 1974, Walseng & Hansen 1994, Walseng & Karlsen 1997, Hesthagen mfl. 2002, Walseng upubl.). Ingen av artene kan karakteriseres som sjeldne, samtidig som de ikke hører med til våre vanligste arter. Både *C. piger* og *P. affinis* er registrert i Søndre Boksjø.

L. setifera, som har en spredt utbredelse i Norge, er funnet i 2,5 % av alle undersøkte ferskvannslokaliteter. Arten er aldri funnet over 1000 moh og er typisk for strandsonen i innsjøer, dvs at den ikke er funnet i dammer. Den forekommer med høyest frekvens ved pH 5,0-5,4 og er sjelden i næringsrike innsjøer. I Østfold er arten funnet i 17 av 251 undersøkte lokaliteter. I Enningdalsvassdraget er den representert i 11 av 60 vann.

C. piger er noe vanligere enn foregående art og er funnet i 4 % av undersøkte lokaliteter i Norge. Også denne arten forekommer spredt over hele landet og er vanligst i lavlandet. Den holder til i strandsonen og pH 5,0 ser ut til å være en nedre grense med hensyn til surhet. Arten er derfor brukt som en indikator i sammenheng med gjenhenting etter forsuring. Så langt er den registrert 28 av 251 undersøkte lokaliteter i Østfold, mens den i Enningdalsvassdraget er funnet i 10 av til sammen 60 undersøkte vann.

P. affinis er en relativt vanlig art som lever i strandsonen, og i Norge er den funnet i 8 % av alle undersøkte ferskvannslokaliteter. Den er mest vanlig i sørøst, men forekommer også spredt over resten av landet. Den kan karakteriseres som en lavlandsart og er aldri funnet over 1000 moh. Arten er relativt tolerant mot forsuring, og synes å trives best i næringsrike vann. Den er også vanlig i dammer. I Østfold er arten funnet i 80 av 251 lokaliteter, og i Enningdalsvassdraget er den representert i mer enn halvparten av vannene (32 av 60 vann).

Tabell 4. Forekomst av krepsdyr i Nordre Boksjø i syv forskjellige år i perioden 1973-2010.
Table 4. Crustacean species found in Lake Nordre Boksjø in the period 1973-2010.

prøve	1973 jun.	1994 sept.okt.	1995 jun.sep.	1996 jun.sep.	2001 aug.	2003 jun.aug.	2010 aug.
Vannlopper							
Diaphanosoma brachyurum (Liév.)T		x		x	x	x	x
Latona setifera (O.F.M.)							x
Limnosida fontosa Sars			x	x	x		
Sida crystallina (O.F.M.)		x	x	x	x	x	x
Holopedium gibberum Zaddach			x	x	x	x	x
Ceriodaphnia quadrangula (O.F.M.)				x	x	x	x
Daphnia cristata Sars						x	x
Scapholeberis mucronata (O.F.M.)			x	x	x	x	x
Sinocephalus vetula (O.F.M.)		x					
Bosmina longirostris (O.F.M.)				x		x	x
Bosmina longispina Leydig	x	x	x	x	x	x	x
Acantholeberis curvirostris (O.F.M.)		x			x	x	x
Ophryoxus gracilis Sars		x	x	x	x	x	x
Streblocerus serricaudatus (Fisch.)			x			x	x
Acroperus harpae (Baird)		x	x	x	x	x	x
Alona affinis (Leydig)		x	x	x	x	x	x
Alona guttata Sars			x		x		x
Alona intermedia Sars		x		x			x
Alona rustica Scott			x		x	x	x
Alonella excisa (Fischer)		x	x	x	x		x
Alonella nana (Baird)		x	x	x	x	x	x
Alonopsis elongata Sars		x	x	x	x	x	x
Camptocercus rectirostris Schoedler		x			x		
Chydorus latus Sars		x					x
Chydorus piger Sars							x
Chydorus sphaericus (O.F.M.)		x	x	x	x	x	x
Disparalona rostrata (Koch)			x	x			x
Eurycercus lamellatus (A.F.M.)		x	x	x	x	x	x
Graptoleberis testudinaria (Sars)					x	x	x
Monospilus dispar				x			
Pleuroxus truncatus (O.F.M.)		x	x	x		x	x
Pseudochydorus globosus (Baird)		x			x		
Rhynchotalona falcata Sars			x	x	x	x	x
Polyphemus pediculus (Leuck.)	x	x	x	x	x	x	x
Bythotrephes longimanus Leydig	x		x	x			
Leptodora kindti (Focke)				x			
Hoppekreps							
Eudiaptomus gracilis Sars	x	x	x	x	x	x	x
Macrocylops albidus (Jur.)		x	x	x	x	x	x
Macrocylops fuscus (Jur.)		x	x		x		x
Eucyclops macrurus (Sars)		x	x				x
Eucyclops serrulatus (Fisch.)		x		x	x	x	x
Eucyclops speratus (Lillj.)		x		x	x		x
Paracyclops affinis Sars							x
Paracyclopsfimbriatus (Fish.)				x			
Cyclops scutifer Sars	x	x	x	x	x	x	x
Megacyclops gigas (Claus)		x					
Megacyclops viridis (Jur.)				x		x	x
Acanthocyclops robustus Sars		x	x	x	x	x	x
Diacyclops nanus (Sars)						x	
Antall vannloppearter	3	19	21	24	23	22	29
Antall hoppekrepsarter	2	9	7	8	7	7	10
Totalt antall krepsdyrarter	5	28	28	32	30	29	39



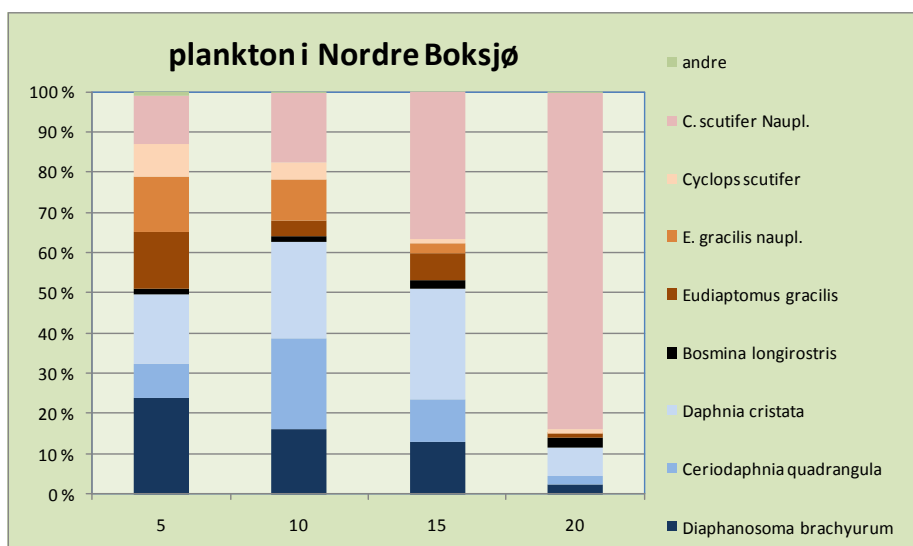
Figur 5. To vannloppearter som ble funnet for første gang i Nordre Boksjø i 2010, *Latona setifera* (venstre) og *Chydorus piger*. Tegninger av G.O. Sars (1992).

Figure 5. The cladocerans *Latona setifera* (left) and *Chydorus piger* were found in Lake Nordre Boksjø for the first time in 2010. Drawing by G.O. Sars (1992).

Planktonsamfunnet.

Planktonsamfunnet var sammensatt av åtte arter, seks arter vannlopper og to arter hoppekreps (figur 6). Vi ser da bort fra noen få individer av vannloppen *Polyphemus pediculus*. Dette er en litoral art som kan dukke opp i planktonet når den blomstrer opp i store tettheter inne i strandsonen.

Daphnia cristata (figur 7) var den vanligste vannloppen og utgjorde hele 19 % av samfunnet, basert på snittet av de fire planktontrekket tatt fra fire dyp (5, 10, 15 og 20 m). Arten ble registrert første gang i forbindelse med prøvetakingen i 2001 og da kun i beskjedne forekomster (tabell 5). *Daphnia* sp. er en slekt som i kalkingssammenheng er en indikator på at vannkvali-



Figur 6. Planktonets sammensetning i håvtrekk fra fire forskjellige dyp i Nordre Boksjø i august 2010: 5, 10, 15 og 20 m.

Figure 6. Composition of zooplankton from four depth of Lake Nordre Boksjø in August 2010: 5, 10, 15 and 20 m.

Tabell 5. Frekvens av planktoniske krepser fra perioden 1973-2010.**Table 5. Frequency of the zooplankton sampled in the period 1973-2010.**

	1973 jun.	1994 sep	1995 sep	1996 jun	1996 sep	2001 aug.	2003 jun	2002 aug	2010 aug
Vannlopper									
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liév.)		+			0,7	+	1,0	2,3	13,8
<i>Limnospila frontosa</i> Sars			+		0,5	+			
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach			2,5	3,7	23,6	1,8	1,0	4,1	0,2
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F.M.)				1,1		0,9	52,4	1,8	11,0
<i>Daphnia cristata</i> Sars							0,5	+	18,8
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F.M.)								58,0	2,0
<i>Bosmina longispina</i> Leydig	51,5	81,4	1,7	2,3		47,8	2,4	7,8	0,2
<i>Polyphemus pediculus</i> (Leuck.)			+						+
<i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig	+		+	0,4	0,2				
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)					+				
Hoppekreps									
<i>Eudiaptomus gracilis</i> Sars	36,0	18,6	1,4	25,0	20,4	0,4	2,4	7,4	6,4
cal naup				2,2	25,0	4,8	14,8	6,0	6,6
<i>Cyclops scutifer</i> Sars	11,5	+	0,5	59,7	4,3	2,2	8,1	4,6	3,5
naup			93,9	5,6	25,2	42,1	17,6	7,8	37,4

teten har bedret seg (Walseng mfl. 1995). I Østfold, og da også i Enningdalsvassdraget, er *Daphnia cristata* den vanligste *Daphnia*-arten. I Østfold foreligger det 75 funn som tilsvarer funn i 32 % av alle undersøkte innsjøer. I Enningdalsvassdraget er den funnet i 19 av 60 vann, dvs samme andel. Mange av forekomstene skyldes sannsynligvis at den har rekolonisert som følge av bedret vannkvalitet etter kalking. Interessant er det at i Søndre Boksjø forekommer kun slektningen *D. galeata* og ikke *D. cristata*. Denne arten er kun registrert i 10 vann i Østfold, der de fleste funnene er gjort i større innsjøer i Haldenvassdraget. Den er ikke registrert verken på norsk eller svensk side av Enningdalsvassdraget. På svensk side er 17 vann prøvetatt.

Fra flere undersøkelser er det dokumentert at *Daphnia*-arter er kommet inn etter kalking. I Sverige er *D. cristata*, *D. cucullata*, *D. galeata*, *D. hyalina* og *D. longispina* alle blitt registrert som nye arter etter kalking (Hultberg & Andersson 1982, Hasselrot mfl. 1984, Alenäs 1986, Hörnström & Ekström 1986, Appelberg mfl. 1990, Appelberg 1995a).

Diaphanosoma brachyurum ble registrert i større tetthet enn hva som har vært tilfelle i tidligere år. I 2010 utgjorde den hele 14 % av planktonet. Arten ble ikke påvist i 1973, noe som kan skyldes at det kun foreligger prøve fra juni dette året. I 1994 ble den påvist, men ikke i september 1995 og juni 1996. Siden september 1996 er den funnet ved hvert besøk men aldri i tilsvarende tettheter som i 2010. Artens betydning som indikator med hensyn til forurensing er noe usikker. I mange vann er den funnet i større tettheter etter kalking (Eriksson mfl. 1982, Eriksson mfl. 1983). I Gårdsjön var dette den av artene som økte raskest i antall etter kalking. Forklaringen til at denne økte i antall til tross for at det samme også var tilfelle for predatorer som svevemygg og vannteger, er sannsynligvis dens evne til å unnsnippe disse (Drenner & Mc Comas 1980). Hörnström mfl. (1992) fant imidlertid at arten hadde økt og gått tilbake i like mange vann. Den er også registrert som ny etter kalking (Hörnström & Ekström 1986).

Ceriodaphnia quadrangula er en art som i de første undersøkelsene ble funnet sporadisk i Nordre Boksjø. Den ble første gang registrert i juni 1996. I juni 2003 var den imidlertid totalt dominerende (52 %), mens den i august samme år bare utgjorde 1,8 %. I 2010 utgjorde den 11 % av planktonet. Det er ikke uvanlig at arten kan blomstre opp i store tettheter i løpet av kort tid. *C. quadrangula* er både registrert som ny art etter kalking (Hörnström mfl. 1992), og som en art som har økt i antall (Alenäs 1986, Hultberg & Andersson 1982). Tilbakegang er imidlertid også registrert (Hörnström mfl. 1992, Hillbricht-Ilkowska mfl. 1977).

Gelekrepsen (*Holopedium gibberum*), som er en av de vanligste artene i norske klarvannssjøer, ble kun funnet fåtallig. Dette er noe overraskende og kan skyldes at prøvene ble tatt relativt seint på året. I tillegg til at arten er en sommerform og kalkskyende, er den i følge Hutchinson (1967) ikke funnet når kalsiuminnholdet overstiger 22 mg/l. Dette gjelder også for norske innsjøer som sjelden har tilsvarende høyt innhold av kalsium. Det er imidlertid mye som tyder på at arten øker i antall etter kalking (Hultberg & Andersson 1982, Hornström mfl. 1992, Nilsson & Johansson 1985). Det er også her snakk om langt lavere kalsiumverdier enn det som synes kritisk for arten. I Nisser i Telemark ble det imidlertid funnet en nedgang i tettheten etter kalking (Walseng 2003). Dette skyldtes høyst sannsynlig økt predasjon fra fisk og ikke forhøyete kalsiumverdier.

Den desidert vanligste arten i norske innsjøer er *Bosmina longispina*, som ofte kan dominere planktonet. Dette har også vært tilfelle i Nordre Boksjø. I juni 1973 utgjorde den 52 % av planktonet, og ved neste besøk i september 1994, hele 82 %. Også seinere er arten registrert som totalt dominerende.

Overraskende var skiftet som ble registrert i 2001 ved at slektningen *Bosmina longirostris* (**figur 7**) plutselig dukket opp for første gang og var totalt dominerende (58 %). Dominans av arten er blant annet registrert i ukalkede lokaliteter under marin grense i Enningdalsvassdraget (jfr. Hauganetjern og Løksvatn). Interessant er det at arten ikke er påvist i Søndre Boksjø. Forekomst av *B. longirostris* kan indikere økt beitetrykk fra planktonspisende fisk da den ofte erstatter slektningen *B. longispina* i vann der dette er tilfelle. En mulig forklaring på at dette har skjedd i Nordre Boksjø kan være at abborer til en viss grad ernærer seg pelagisk. Det ble riktignok ikke tatt mange individer på flytegarn høsten 2010. Det er imidlertid ikke uvanlig at abborer i Nordre Boksjø har en pelagisk adferd (Einar Eilertsen, pers. medd.). Ved prøvefiske i 2003 ble det også tatt mye abbor på flytegarn (**pkt 4.4.2**). Mens *B. longispina* er registrert i mer enn 95 av alle norske ferskvannslokaliteter, og er svært tolerant i forhold til pH, er *B. longirostris* bare funnet i 10 % av lokalitetene og kun unntaksvis ved pH < 6,0.



Figur 7. To sentrale planktoniske arter i Nordre Boksjø, *Daphnia cristata* (venstre) og *Bosmina longirostris* (Høyre). Tegninger av G.O. Sars (upubl.).

Figure 7. Common species in the zooplankton of Lake Nordre Boksjø, *Daphnia cristata* (left) and *Bosmina longirostris*. Drawings by G.O. Sars (upubl.).

Vannloppen *Limnosida frontosa*, som tilhører familien Sididae, ble funnet i Nordre Boksjø i 1995, 1996 og 2001, men ikke seinere. Arten er tidligere bare funnet i næringsrike lokaliteter på det sørlige Østlandet (Jensen mfl. 2001). Den ble registrert i Ørsjøen i 1973, der pH ble målt til 5,4 (Borgstrøm mfl. 1974). Arten er ellers funnet ved pH > 6,0, og er registrert i 12 av 78 undersøkte innsjøer i norsk og svensk del av Enningdalsvassdraget. Også i Søndre Boksjø manglet arten i 2009, etter at den hadde forekommet tallrik ved flere tidligere besøk. Arten er stor og nedgangen skyldes trolig økt predasjonstrykk fra fisk.

De to store rovformene blant vannloppene, *Bythotrephes longimanus* og *Leptodora kindti*, er begge påvist i Nordre Boksjø, men aldri siden 1996. Liksom *L. frontosa* er artene utsatt for høyt predasjonstrykk fra fisk, i tillegg til at de også er underrepresentert ved prøvetaking grunnet sine raske bevegelser. Dette gjør at de unnslipper håven. *B. longimanus* er mer tolerant i forhold til pH enn *L. kindti*, og ble da også registrert i 1973 da pH var på det laveste. *L. kindti* som ble påvist i september 1996, er høyst sannsynlig kommet inn etter kalking. Arten er karakterisert som forsuringsfølsom og er sjelden funnet i lokaliteter med pH < 5,5 og aldri ved pH < 4,5. Arten forekommer med høyest frekvens (20 %) i vann med pH 7,0-7,5. Den er hyalin (gjennomsiktig) og er favorisert i vann med stor fiskepredasjon. I ti undersøkte innsjøer i midt-Sverige ble den etter kalking registrert som ny art i to vann, mens den hadde økt i antall i fire andre lokaliteter (Hörnström mfl. 1992). I Nesvatn i Telemark ble arten registrert som ny art etter kalking (Walseng 2003).

Blant hoppekrepsene har det skjedd små endringer siden 1973. Det er fortsatt calanoiden *Eudiaptomus gracilis* og cyclopoiden *Cyclops scutifer* som dominerer. Basert på prøver tatt siden 1973, er det indikasjoner på at *C. scutifer* har blitt mer vanlig på bekostning av *E. gracilis*. Dette er i så fall ikke noen overraskelse da dette er en generell utvikling i planktonsamfunn når vannkvaliteten bedrer seg.

Den store calanoiden, *Heterocope appendiculata*, er vanlig i mange ikke-forsurede innsjøer i Enningdalsvassdraget, men mangler fortsatt både i Nordre og Søndre Boksjø.

Litoralsonen

Til forskjell fra tidligere år da det kun ble tatt prøver fra stasjon 7, det vil si ved utløpet av vannet, ble det i 2010 tatt prøver fra 10 stasjoner spredt rundt hele innsjøen (**figur 2**). Det ble kun tatt en prøve ved hver stasjon, men den totale innsatsen skulle likevel tilsi at vi ville finne flere arter enn tidligere. Dette var da også tilfelle, med funn av 40 arter; 30 arter vannlopper og 10 arter hoppekreps. Antall arter varierte fra 18 til 25 mellom de 10 stasjonene, med et snitt på 21 arter. At prøvene ble tatt i oversvømmet vegetasjon resulterte sannsynligvis i færre arter enn forventet. Syv arter vannlopper (*Sida crystallina*, *Bosmina longirostris*, *B. longispina*, *Ophryoxus gracilis*, *Alonopsis elongata*, *Chydorus sphaericus* og *Pleuroxus truncata*) og to hoppekreps (*Eucyclops macrurus* og *Acanthocyclops robustus*) ble påvist på alle stasjoner. To av disse artene, *O. gracilis* og *E. macrurus*, er eksempler på arter som indikerer at vi ikke har med en sterkt forsuret lokalitet å gjøre. Også *B. longirostris* gir signaler om at pH er akseptabel, selv om arten er mer assosiert med næringsrike lokaliteter der predasjonstrykket fra fisk er stort.

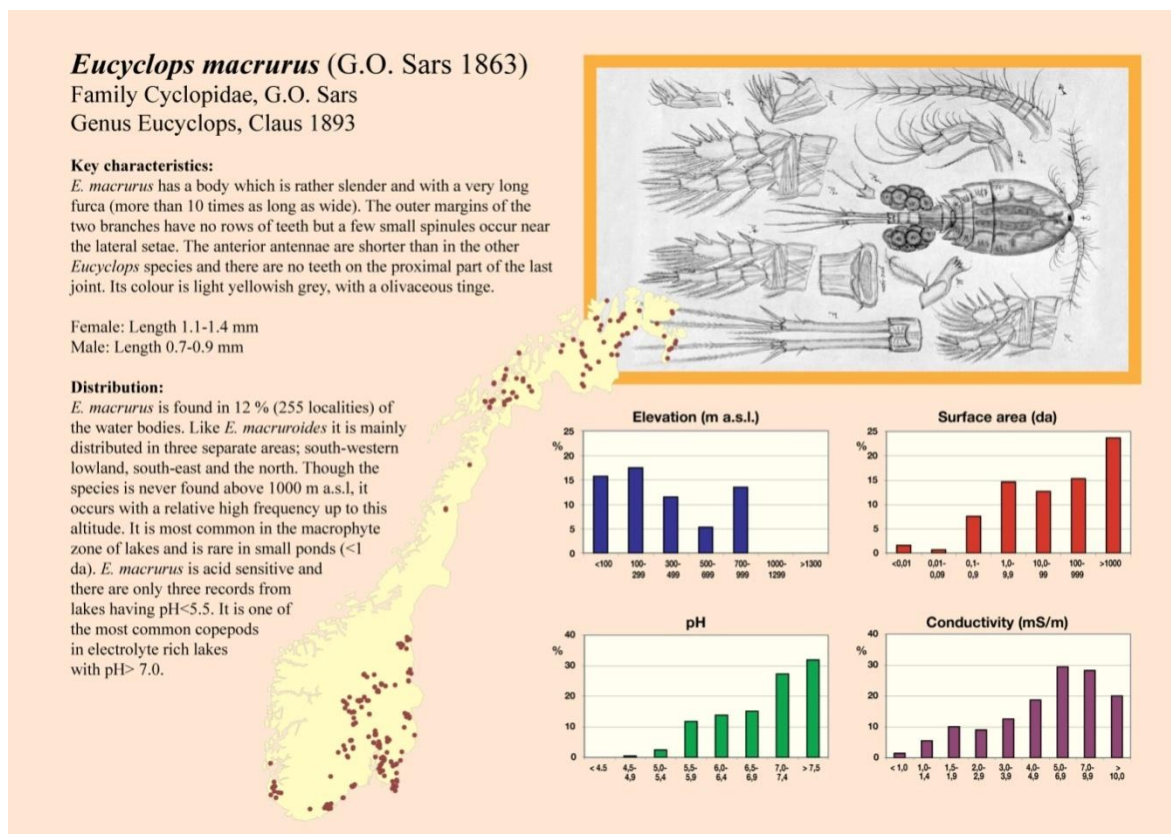
O. gracilis er funnet ved alle besøk etter 1994. Den er funnet i 20 % av norske vannforekomster og fins i alle landsdeler. Den forekommer med høyest frekvens ved pH 5,5-6,4, og er vanlig i litoralsonen i større innsjøer.

E. macrurus er også assosiert med en høy pH, og er bare unntaksvis funnet ved pH < 5,5 (**figur 8**). Ved pH > 7,0 fins den i ca 30 % av norske ferskvannslokaliteter. Etter at arten ble registrert i 1994/95, ble den ikke funnet verken i 2001 eller 2003. Dette har høyst sannsynlig sammenheng med en refsuring etter den nedbørsrike høsten 2000. Interessant er det derfor å notere seg at arten synes å være vel etablert ved samtlige av de 10 stasjonene som ble prøvetatt i 2010.

Tabell 6. Forekomst av krepsdyr i 10 littorale prøver fra Nordre Boksjø i august 2010. + forekomst

Table 6. Occurrence of littoral crustaceans from 10 stations in Lake Nordre Boksjø in August 2010.

Prøve	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10
Vannlopper										
Diaphanosoma brachyurum (Liév.)T	0,1	+	0,4				+			
Latona setifera (O.F.M.)							+		+	
Sida crystallina (O.F.M.)	+	+	1,2	+	1,8	5,2	+	+	0,9	+
Holopedium gibberum Zaddach							+			
Ceriodaphnia quadrangula (O.F.M.)	+	+	0,4	+			0,2	0,8		
Daphnia cristata Sars			0,4	+		+				+
Scapholeberis mucronata (O.F.M.)				+		1,7	+	1,3		+
Bosmina longirostris (O.F.M.)	0,1	1,6	2,4	25,4	4,3	+	0,9	+	0,4	+
Bosmina longispina Leydig	98,6	86,3	29,8	69,4	42,5	28,2	71,6	95,8	1,3	98,3
Acantholeberis curvirostris (O.F.M.)	0,1	+			+				0,9	
Ophryoxus gracilis Sars	0,2	+	0,0	+	0,6	0,9	0,5	+	0,9	+
Streblocerus serricaudatus (Fisch.)	+	+							0,4	
Acroperus harpae (Baird)	+		0,8	+		+	0,2	+	0,9	
Alona affinis (Leydig)	+	+	+					+		
Alona guttata Sars			+	+	+	+		+	+	
Alona intermedia Sars		0,4							+	
Alona rustica Scott	+	0,4				0,4	+		0,9	
Alonella excisa (Fischer)	+	0,4	0,8	+	0,3	0,9	0,7	+	1,7	
Alonella nana (Baird)	+	0,4	0,4	+	0,9	+	0,5		2,1	+
Alonopsis elongata Sars	0,1	0,4	1,6	0,3	14,2	17,4	0,2	0,4	7,2	0,3
Chydorus latus Sars	+									
Chydorus piger Sars						+	+	+		
Chydorus sphaericus (O.F.M.)	0,1	+	0,8	0,0	0,3	0,9	0,2	+	1,7	+
Disparalona rostrata (Koch)			+				+			
Eurycerus lamellatus (A.F.M.)		+			0,3		0,2			
Graptoleberis testudinaria (Sars)					0,0			+		
Pleuroxus truncatus (O.F.M.)	0,1	+	0,4	0,3	0,3	+	+	+	+	+
Rhynchotalona falcata Sars	+	+	0,4	+		+				
Polyphemus pediculus (Leuck.)	0,3	0,8	1,6	+	+	0,4	+	+		0,6
Hoppekreps										
Eudiaptomus gracilis Sars										0,3
Macrocyclus albidus (Jur.)	+	0,8	0,4	+	0,6		+	+	0,9	0,3
Macrocyclus fuscus (Jur.)	+									
Eucyclops macrurus (Sars)	+	0,4	0,8	+	3,1	1,3	1,4	+	0,4	0,3
Eucyclops serrulatus (Fisch.)			+	+	0,6	0,9	0,2	+	0,4	+
Eucyclops speratus (Lillj.)							0,2			+
Paracyclops affinis Sars				+						
Cyclops scutifer Sars	+	+								
Megacyclops viridis (Jur.)										+
Acanthocyclops robustus Sars	0,1	0,8	4,9	0,0	0,3	4,3	0,5	+	+	+
Naup		1,2	1,6	0,3	0,6	5,2	0,5	0,8	3,4	
cyklopoditt indet	0,3	6,0	50,6	4,3	29,0	32,1	21,9	0,4	75,7	
Antall vannloppearter	19	19	18	16	14	17	20	16	16	11
Antall hoppekrepsarter	5	4	4	5	4	3	5	4	4	7
Totalt antall krepsdyrarter	24	23	22	21	18	20	25	20	20	18
Antall individer i prøven	330214	12512	9805	327017	3244	4608	8771	239015	4705	360012
Trekklengde	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
antall individer pr m3	556080	21070	16512	550697	5463	7760	14770	402501	7923	606260



Figur 8. *Eucyclops macrurus*. Tegninger av G.O. Sars (1918).

Figure 8. *Eucyclops macrurus*. Drawings by G.O. Sars (1918).

<http://www.nina.no/Temasider/Krepsdyriferskvann.aspx>

Camptocercus rectirostris, *Monospilus dispar* og *Pseudochydorus globosus* er også indikatorer på en bedret vannkvalitet. Disse er tidligere påtruffet i Nordre Boksjø, men ble ikke registrert i 2010. *Alona intermedia* og *Eucyclops speratus* er eksempler på arter som er blitt påvist både i 2010 og enkelte tidligere år.

Survannstolerante arter som *Acantholeberis curvirostris* og *Alona rustica* er vanlig i de sureste lokalitetene i Enningdalsvassdraget, og de er fortsatt vanlige i Nordre Boksjø. De ble funnet ved respektive fem og fire av de 10 undersøkte stasjonene. Det fins kun få unntak der disse artene er blitt funnet i lokaliteter med pH > 6,0. Det er trolig ikke bedre vannkvalitet som har gjort at disse artene forsvinner, men mest sannsynlig konkurranse fra forsuringsfølsomme arter som har kommet inn.

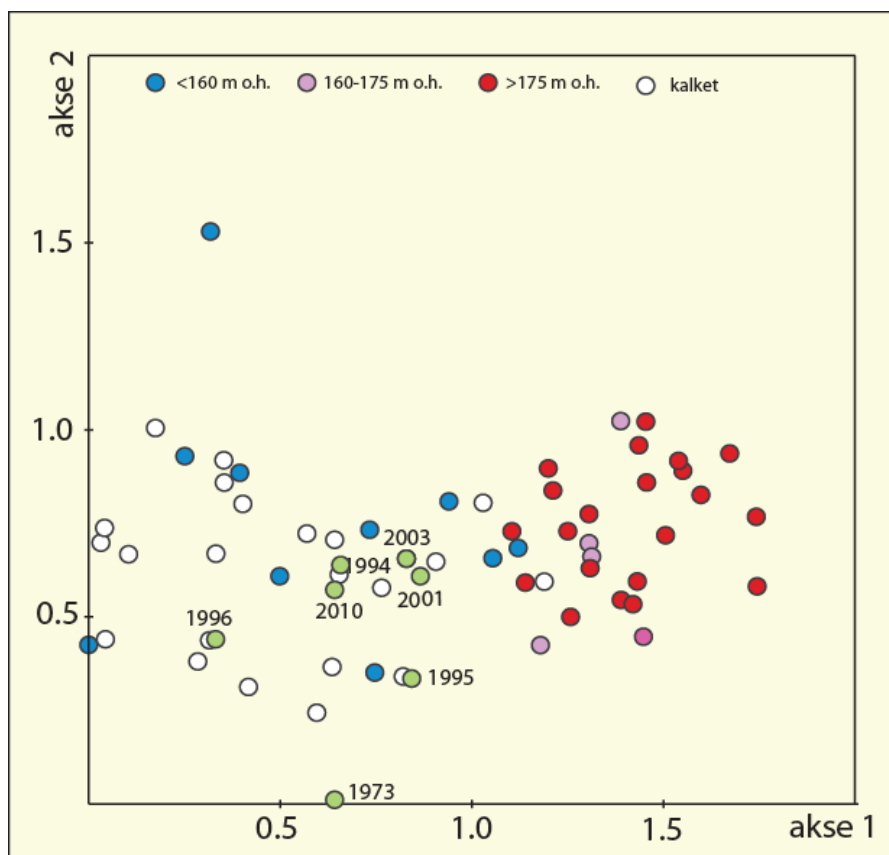
Artslistene fra de 60 undersøkte innsjøene i Enningdalsvassdraget, inklusive Nordre Boksjø fra 2003, er blitt analysert ved hjelp av DCA-ordinasjon (**figur 9**). Artslistene for Søndre Boksjø for årene 1973, 1994, 1995, 1996, 2001 og 2009 er blitt behandlet passivt i ordinasjonen (jfr metodetokapittelet). Ordinasjonen viste at 29,0 % av variasjonen i artssammensetningen kunne forklares av de to første aksene. 1-aksen alene forklarte 23,1 % av variasjonen. Lengden til 1-aksen var 1,75.

Plottene for Nordre Boksjø ligger blant de øvrige kalkede vannene klart adskilt fra lokalitetene over marin grense (>175 moh), men også nærmere den nøytrale enden av figuren i forhold til ukalkede vann som ligger > 160 m o.h. Dette innebærer en høyde der innslaget av marine avsetninger er usikker. Plottet som representerer 1973 er å betrakte som en "outlayer" i og med at det dette året kun ble funnet fem vanlige arter som verken kan regnes som ett besøk fra juni.

forsuringsfølsomme eller forsuretolerante. Artslisten fra 1973 (Borgstrøm mfl. 1974) baserer seg kun på Tatt i betraktning vannkvaliteten den gang, er det naturlig å anta at en mer fullstendig artsliste ville resultert i ennå større likhet med de sure vannene i vassdraget.

Interessant er det at artlistene fra 2001 og 2003 legger seg nærmest de sure lokalitetene, og kan tolkes å gjenspeile en refsuring etter den nedbørsrike høsten i 2000. Kombinasjonen av flere forsuringfølsomme arter, samtidig med at typiske forsuretolerante arter ikke ble fanget, plasserer 1996 langt ut mot den nøytrale enden av plottet. Artene som ble funnet i 1994 og 2010 er sannsynligvis det en kunne forventet seg dersom innsjøen ikke hadde vært forsuret.

Basert på analyser fra de 60 vannene i Enningdalsvassdraget, vet vi at korrelasjonen mellom pH og 1-aksen var høyst signifikant ($r^2=0,75$, $p < 0,001$). En slik god korrelasjonen samsvarer med erfaringer fra andre undersøkelser der lokalitetene representerer et spenn med hensyn til pH (Hann & Turner 2000, Schartau mfl. 2001). I tillegg til at 1-aksen er høyst signifikant korrelert til pH og artsantall, er den også korrelert til andre parametre som i sin tur er korrelert med pH. Alkalitet ($r^2=0,64$, $p < 0,001$), Ca ($r^2=0,73$, $p < 0,001$), Mg ($r^2=0,65$, $p < 0,001$), K ($r^2=0,63$, $p < 0,001$), SO_4 ($r^2=0,62$, $p < 0,001$), Cl ($r^2=0,35$, $p < 0,01$), NO_3 ($r^2=0,44$, $p < 0,01$), Si ($r^2=0,38$, $p < 0,001$), Tm-Al ($r^2=-0,61$, $p < 0,001$), Om-Al ($r^2=0,41$, $p < 0,01$) og UmAl (uorganisk eller labilt Al ($r^2=-0,80$, $p < 0,001$)) er slike eksempler. 1-aksen var også korrelert med ledningsevne ($r^2=0,50$, $p < 0,001$). 2-aksen var korrelert til farge ($r^2=0,35$, $p < 0,001$), som i vår undersøkelse i første rekke gjenspeiler humusinnholdet.



Figur 9. DCA- ordinasjon av de 60 undersøkte vannene i Enningdalsvassdraget. I tillegg til at Nordre Boksjø inngår i undersøkelsen fra 2003 er artslistene fra innsjøen i 1973, 1994, 1995, 1996, 2001 og 2010 behandlet passivt i ordinasjonen og vist med fylte grønne ringer i figuren.

Figure 9. DCA- ordination of the crustacean fauna in 60 lakes in the catchment of River Enningdalsvassdraget. The species list from Lake Nordre Boksjø 2003 is included in the ordination while data from 1973, 1994, 1995, 1996, 2001 and 2010 (green circles) are treated passively; it means that they do not influence the result of the ordination.

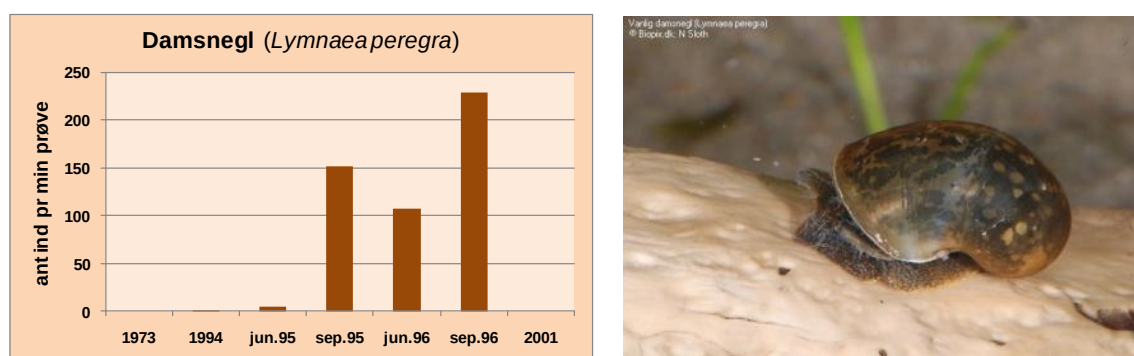
4.3 Bunndyr

I Norge har det vært tradisjon å bruke bunndyr i rennende vann for å beskrive økologisk status med hensyn til forsurening (Kroglund mfl. 1994). Også i stillestående vann lever det mange arter som er følsomme overfor forsurening, og som forsvinner når pH blir lav. Fravær/forekomst av damsnegl (*Lymnaea peregra*) (**figur 10**), gråsugge (*Asellus aquaticus*) (**figur 11**) og muslinger (Bivalvia) er eksempler på arter/taxa som er brukt for å indikere den økologiske tilstanden i forbindelse med forsurening. Også innenfor gruppene døgnfluer (Ephemeroptera), steinfluer (Plecoptera) og vårflyer (Trichoptera) fins det gode indikatorarter. I fortsettelsen blir det knyttet noen kommentarer til funn i bunndyrprøver tatt ved flere anledninger i perioden 1973-2001 (Borgstrøm mfl. 1974, Walseng & Hansen 1994, Walseng & Karlsen 1997, Walseng upubl. data).

Snegl er en pH-følsom gruppe der de fleste artene får problemer ved pH < 6,0 (Økland 1980). Snegl ble naturlig nok ikke påvist før kalking i Nordre Boksjø da pH var langt lavere enn hva denne gruppen tolererer. I september 1994, da pH ble målt til 5,8, ble det funnet tre individer av damsnegl i en tre minutters sparkeprøve. I de to påfølgende årene økte tettheten, og en topp ble registrert i september 1996 med 229 individer pr. minutt sparkeprøve. I en sparkeprøve som ble tatt i månedsskiftet august/september i 2001, ble det ikke registrert damsnegl. Fra Norge er det sparsomt med opplysninger om snegl som er kommet inn i innsjøer etter kalking, men fra Sverige er dette blitt dokumentert. Eriksson mfl. (1983) fant damsnegl tre år etter kalking i én av lokalitetene som ble undersøkt. Flat fjærgjellesnegl (*Valvata cristata*) er rapportert å ha kommet tilbake etter kalking av Ölen (Bergquist 1980). Fra overvåking i elver er det imidlertid flere eksempler på at snegl er kommet tilbake etter kalking, som i Audna i Vest-Agder (Walseng mfl. 1995).

Gråsugge er en pH-følsom art med hovedutbredelse på det sørlige Østlandet. Arten har også et par forekomster ellers i landet, blant annet i Troms og Finnmark (Økland 1980). Den er bare unntaksvis funnet i lokaliteter med lavere pH enn 5,5. Den forekommer hyppigst i pH-intervallet 6,4-6,7, der den er funnet i mer enn halvparten av de undersøkte innsjøene. I følge Vasshaug (1990) ble den påvist i mageprøver fra Nordre Boksjø i 1950. Det samme var tilfelle 1973 da den ikke ble påvist i sparkeprøvene (Borgstrøm mfl. 1974).

Før kalking i 1994, da vannkvaliteten var langt bedre enn før første kalking i 1985, ble det registrert syv individer i sparkeprøven (**tabell 7**). I påfølgende år ble det også registrert gråsugge, og den kunne forekomme i høye tettheter. Høsten 1995 ble det funnet hele 160 individer i en sparkeprøve på tre minutter. Fra litteraturen er det også flere eksempler på at det har skjedd



Figur 10. Forekomsten til damsnegl (*Lymnaea peregra*) i Nordre Boksjø i perioden 1973-2001. (Borgstrøm mfl. 1974, Walseng & Hansen 1994, Walseng & Karlsen 1997, Walseng upubl. data).

Figure 10. Occurrence of the wandering snail (*Lymnaea peregra*) in Lake Nordre Boksjø during the period 1973-2001 (Borgstrøm mfl. 1974, Walseng & Hansen 1994, Walseng & Karlsen 1997, Walseng upubl. data).

Tabell 7. Bunndyr (antall i prøven) i Nordre Boksjø fra perioden 1973-1996 (Walseng & Karlsen 1997).

Table 7. Benthic fauna (number per sample) in Lake Nordre Boksjø during the period between 1973 and 1996 (Walseng & Karlsen 1997).

År	1973	1994	1995	1995	1996	1996
Måned	jun	Sep	jun	sep	jun	sep
Rundormer (Nematoda)		9	4	20	10	15
Fåbørster (Oligochaeta)	89	289	49	44	310	230
Snegl (Gastropoda)		3	16	602	323	687
Muslinger (Bivalvia)		5	30	17	36	12
Gråsugge (Asellus)		7	8	160	31	72
Øyenstikkere (Odonata)	4	5	44	32	23	7
Døgnfluer (Ephemeroptera)	13	432	10	108	44	421
Steinfluer (Plecoptera)		24				
Mudderfluer (Megaloptera)	10					
Biller (Coleoptera)	3			2	1	1
Fjærmygg (Chironomidae)	447	302	254	288	710	279
Stankelbein (Tipulidae)		8	9	50		
Sviknott (Ceratopogonidae)	60	5	24	170	50	29
Tovinger ind. (dipt. indet.)	4	2	25	10	180	20
Vårfluer (Trichoptera)	20	22	22	58	30	59
Midd (Hydracarina)		1	31	20	460	29
Antall dyr i prøven	650	1114	526	1581	2208	1862
Sparketid (antall minutter)	2	3	3	4	3	3
Antall individ pr. minutt sparkeprøve	325	371	175	395	736	621

en økning i tetthet av gråsugge etter kalking (Alenäs 1986, Appelberg 1995b Eriksson mfl. 1983, Henrikson 1988, Hultberg & Andersson 1982, Nilsson & Johansson 1985).

Muslinger (Bivalvia) har også økt i antall siden 1994, riktignok mindre markant enn hva som var tilfelle for de to foregående gruppene. Også muslingene er brukt som indikator i forsuringssammenheng, og da først og fremst slekten ertemuslinger (*Pisidium*). Et problem er at denne slekten består av mange arter, hvorav noen er relativt tolerante mot forsuring, og er registrert ved pH < 5,0 (Halvorsen 1978).

Døgnflueartene som er blitt registrert i Nordre Boksjø har bestått av både forsuringstolerante og forsuringsfølsomme arter. En pH følsom art, *Caenis luctuosa*, dominerte sammen med den forsuringstolerante arten *Leptophlebia vestpertina*. I tillegg kom den pH-følsomme arten *Cloeon dipterum* inn som ny art i 1995. I utløpsbekken fra Nordre Boksjø ble i tillegg *Baetis rhodani* påvist i både 1995 og 1996. Denne arten er den vanligste og mest brukte indikatoren på at tilstanden har endret seg i positiv retning med økende pH. Ingen av de påviste steinflueartene er karakterisert som forsuringsfølsomme. Blant vårfluene er *Athripsodes cinereus* vurdert som moderat følsom mht forsuring.



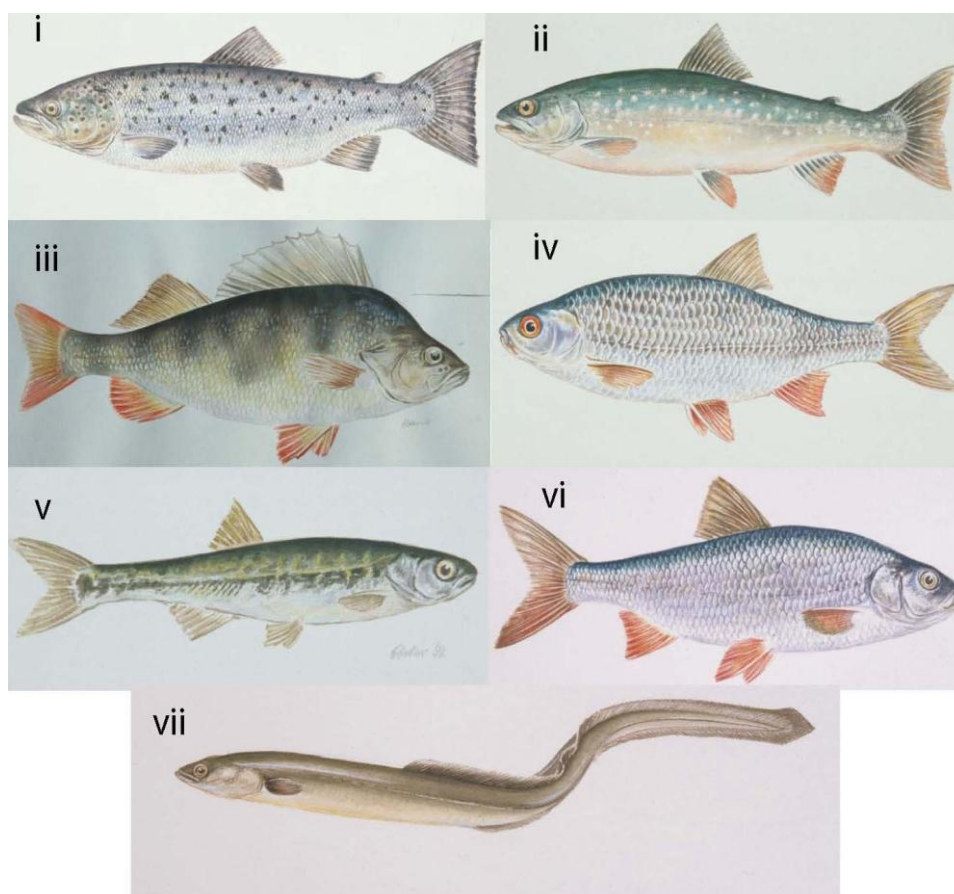
Figur 11. Gråsugge (*Asellus asellus*) til venstre og døgnfluen *Baetis rhodani* til høyre.

Figure 11. The water louse (*Asellus asellus*) to the left and the mayfly *Baetis rhodani* to the right.

4.4 Fisk

4.4.1 Historisk bestandsstatus

Tidlig på 1900-tallet foretok Huitfeldt-Kaas (1918) en landsomfattende kartlegging av forekomsten av fiskearter i ferskvann. Her foreligger det også noen opplysninger fra Boksjøen (Bogsjøen). Dette må vi anta gjelder Nordre Boksjø, som i sin helhet ligger på norsk side av Enningdalsvassdraget. Huitfeldt-Kaas opplyste om forekomst av abbor, ørekyt, mort, sørv og ål. I denne rapporten referer vi også til forekomsten av ulike fiskearter i Søndre Boksjø, fordi det er relevant for å belyse bestandsforholdene i Nordre Boksjø. Vi antar at Huitfeldt-Kaas sin registrering av sørv i Nordre Boksjø var feil. Dette er en art som ikke er kjent fra andre innsjøer i øvre deler av Enningdalsvassdraget. På svensk side fins det kun sørv i de mer næringsrike innsjøene (Daniel Johansson pers. medd.). Det er ellers fanget sørv i indre Iddefjorden og i utløpet av Berbyelva (Borgstrøm mfl. 1974). At det ble angitt sørv i Nordre Boksjø tidlig på 1900-tallet, kan skyldes en forveksling med en annen art, trolig vederbuk. I 1950-52 ble det gjort en kartlegging av vannkvalitet og fisk i en del innsjøer i Østfold (Vasshaug 1990). Dette omfattet også Boksjøene, der informantene var Harald Ødegarden, som bodde på garden Ødegaarden ved utløpet av Nordre Boksjø, og Hans Stangebraaten. Det ble opplyst at i Nordre Boksjø var det fortsatt eller hadde vært abbor, aure, røye, og ørekyt. Mort og ål ble følgelig ikke nevnt. I Søndre Boksjø ble det opplyst å ha vært vederbuk. Da det ikke er noen fysiske barrierer mellom Nordre og Søndre Boksjø, antar vi at det også har vært vederbuk i Nordre Boksjø. Det har altså opprinnelig vært minst sju fiskearter i Nordre Boksjø; aure, røye, abbor, mort, ørekyt, vederbuk og ål (**figur 12**).



Figur 12. De sju fiskeartene med antatt naturlig forekomst i Nordre Boksjø: aure (i), røye (ii), abbor (iii), mort (iv), ørekyt (v), vederbuk (vi) og ål (vii). Tegninger av Eldar Olderøien.

Figure 12. Seven fish species naturally occurring in Lake Nordre Boksjø: trout (i), arctic charr (ii), perch (iii), roach (iv), minnow (v), ide (vi) and eel (vii). Drawings by Eldar Olderøien.

Røyebestanden i Nordre Boksjø begynte å bli påvirket av forsurening relativt tidlig. I 1950 fikk Vasshaug opplyst at den var nesten forsvunnet: "Det påstås at der er røye her og, men det er det smått med nå" (Vasshaug 1990). Følgelig var røyebestanden sterkt redusert på den tiden. For Søndre Boksjø ble det derimot opplyst at det fremdeles var noe røye, i tillegg til aure, abbor, ørekyt og ål. Bestandsstatus for røye i Nordre Boksjø er i samsvar med opplysninger fra Arne og Aslaug Fredriksen. Aslaug er datter til Harald Ødegarden, og vokste opp på Ødegaard. Ifølge deres kjennskap var det røye i Nordre Boksjø til utpå 1950-tallet, og de siste individene ble trolig tatt rundt 1954/55. Harald Ødegarden fisket en del etter røye på faste garnplasser om høsten. Dette var trolig på gyteplassene til røya. Arne Fredriksen var flere ganger med svigerfaren på røyefiske, og han var svært nøye med at garna ble plassert på rett sted. De så også hvite flekker på bunnen der de satte garn, og dette var trolig der røya hadde virvlet vekk bunnsedimentet under gytingen. Vasshaug fikk i 1950 opplyst at røyebestanden i Søndre Boksjø var for nedadgående, og at det trolig skyldtes rovfiske med garn i gytetiden (Vasshaug 1990). Det synes derfor som om denne røyebestanden holdt seg noe lenger enn den i Nordre Boksjø. På midten av 1850-tallet var røya allment forekommende i Søndre Boksjø, og det ble tatt betydelige mengder i gytetiden (Almer 1972). Det var et bra røyefiske i gytetiden fram til rundt 1960, men den forsvant i løpet av dette ti-året. I årene 1959-63 ble det årlig tatt ca. 500 stamfisk av røye i forbindelse med avlsarbeid. Seinere gikk tallet drastisk ned, til seks individ i 1968. Året etter ga fisket etter røye i Søndre Boksjø negativt resultat. Dette er i samsvar med et prøvefiske i 1971, da det heller ikke ble fanget røye (Johansson 2009). Det samme var tilfelle i 1976 og 1981. Det ble satt i gang utsetting av røye på svensk side av Søndre Boksjø 1980, og videreført i 1981 og 1984. Ved prøvefiske i 1986, 1989 og 2009 ble det fanget henholdsvis 10, 7 og 4 individ (Johansson 2009). Fangsten av røye i 2009 viser at en ny røyebestand nå har etablert seg i Søndre Boksjø, idet de hadde en alder på 3-7 år. Arne Fredriksen opplyser at de fanget røye på norsk side av innsjøen i 1985. Her har det også vært drevet noe isfiske etter røye i seinere år (Leif Karlsen pers. medd.). I Nordre Boksjø er det ennå ikke gjort noe forsøk på å gjeninnføre røye.

Aurebestanden i Nordre Boksjø ble også tidlig påvirket av forsurening, for i 1950 var den ikke lenger særlig tallrik (Vasshaug 1990). Dette satte Vasshaug i sammenheng med surt vann og dårlige oppvekstforhold. På slutten av juli det året ble pH altså målt til 4,7-4,8. Målinger i Søndre Boksjø noe seinere på sommeren viste pH 4,8-4,9. Aurebestanden i denne innsjøen ble for øvrig vurdert som den fineste i Idd kommune. Vasshaug mente at den tynne aurebestanden i Nordre Boksjø også kunne komme av mangelen på gode rekrutteringsområder. Han karakteriserte bekken mellom Nordre og Søndre Boksjø som et bra gyteområde. Bortsett fra to demninger, mente han det var lett for auren å vandre mellom de to innsjøene. I 1950 ble det klaget over at auren i Nordre Boksjø vandret ut. På den tiden var innsjøen regulert med ca 0,75 m ved hjelp av ei 3,0 m bred demning. Tidligere ble det fløtet en del tømmer inn til utløpet, der det ble trukket på land og transportert videre med bil. Demningen måtte etter det Vasshaug fikk opplyst stå der for at man forholdsvis lett kunne trekke opp tømmeret. Denne demningen begrenset trolig utløpsbekken som gyteområde for auren i Nordre Boksjø, da den hindret opp- og nedvandring av både gytefisk og yngre individ. Arne og Aslaug Fredriksen opplyser at aurebestanden i Nordre Boksjø gikk sterkt tilbake på 1950-tallet. En gang i 1961/62 fikk de 4-5 fine aurer, men fra 1963 vurderer de bestanden som tapt. I Søndre Boksjø regnet man med at auren forsvant på midten av 1960-tallet (Almer 1972). Ved prøvefiske i 1971, 1976 og 1981 ble det ikke fanget aure (Johansson 2009).

Fangsten av aure ved prøvefiske i Nordre Boksjø i juni 1973 bestod kun av ett individ (Borgstrøm mfl. 1974). Dette kunne være en utsatt fisk, slik at den stedegne bestanden på det tidspunktet hadde gått tapt. Etter kalkingen i 1985 tok aurebestanden i Nordre Boksjø tok seg kraftig opp. Det første prøvefiske etter kalkingen ble foretatt høsten 1991 (Kleiven & Håvardstun 1997). På to Jensen-serier (sju garn) og ett 16 mm garn var utbyttet 31 aure, dvs. 5,2 individ pr. 100 m² garnareal. Denne fangsten innebærer at Nordre Boksjø nå hadde en tynn aurebestand. Individene fordelte seg relativt jevnt i lengdeintervallet 17-45 cm, med det største individet på 940 gram. Aldersfordelingen viste en dominans av yngre fisk, med flest individ i alders-

gruppene 1+ (45,5 %), 2+ (25,8 %) og 4+ (22,6 %), samt to individ på henholdsvis 5+ og 11+. Veksten i første leveår var uvanlig god, idet bare tre individ hadde vokst mindre enn 7,5 cm. Ellers hadde hele 14 individ (45 %) en vekst på over 10 cm. Også i 2. og 3. leveår var tilveksten uvanlig god, med ca 10 cm i gjennomsnitt pr. år. Et nytt prøvefiske med to Jensen serier og ett 16 mm garn ble foretatt i oktober 1994 (Øxnevad 1995). Dette gav en fangst på 51 aurer, eller 8,0 individ pr. 100 m² garnareal. Det hadde tilsynelatende vært en betydelig økning av aurebestanden siden 1991. Tatt i betraktning at Nordre Boksjø nå hadde en tett abborbestand, må denne fangsten vurderes som god. Det relativt høye utbyttet av aure skyldtes nok til en viss grad at prøvefisket ble foretatt i gytetiden. Totalt var 57 % av fiskene gytemodne, 10 % var utgytt, mens altså 33 % var umodne. Garn med maskeviddene 29 og 35 mm ga størst utbytte, med henholdsvis 31,0 og 23,5 % av fangsten. Det ble tatt aure i lengdegruppen 17-52 cm, med en dominans av fisk på 31-34 cm. Gjennomsnittlig vekt var 300 gram, mens det største individet veide 1,2 kg. Også i 1994 syntes aurebestanden i Nordre Boksjø å ha en normal aldersfordeling, vurdert ut fra den benyttede garnserien. Fisken var noe mager, idet 80 % hadde en kondisjonsfaktor under 0,90. Vekstforholdene var likevel gode, med lengder etter 1. 2. og 3. leveår på henholdsvis 6,9, 18,1 og 28,3 cm.

I oktober 1994 ble det også fisket med elektrisk fiskeapparat i utløpsbekken fra Nordre Boksjø (Øxnevad 1995). Her ble det registrert tett i tett med gytefisk, spesielt på den øverste strekningen. Det var mye stor fisk, og mange ble vurdert til å veie over 1 kg. I tillegg ble det fisket i Krokstjennbekken, som ikke er kalket (bekk 5, jfr. **figur 2**). Her ble det bare tatt tre større aurer, og noe småfisk som trolig tilhørte aldersgruppene 1+ og 2+. Ut fra fangsten av aure i Nordre Boksjø høsten 1994, og observasjonen av mye gytefisk i utløpsbekken, ble det konkludert med at det ikke lenger var behov for utsettinger (Øxnevad 1995). I juni 1997 ble det gjort et nytt elfiske i utløpsbekken (Karlsen 1997). Også disse resultatene var positive, med et utbytte på nærmere 20 aureyngel. Disse individene ble fanget på ei ca 25 m lang strekning nær innløpet til Søndre Boksjø. På andre bekkestrekninger ble det ikke fanget aureyngel. Bekken er trolig helt avgjørende som rekrutteringsområde for aurebestandene både i Nordre og Søndre Boksjø. Gyteområdene synes å være begrenset til ei strekning på til sammen rundt 100-150 m i øvre og nedre deler av bekken. Dette området skulle likevel være så stort at det gir en bra rekruttering. Det er viktig å unngå overbeskatning av gytefisken i utløpsbekken, ved at det drives et hardt garnfiske nær utløpet på høsten.

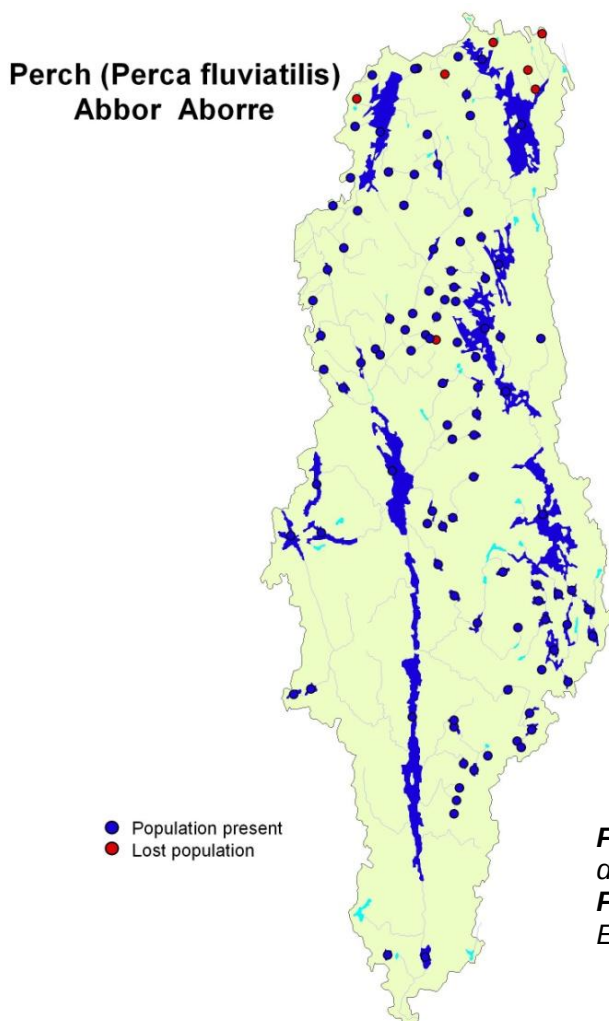
I Nordre Boksjø ble det foretatt utsettinger av aure på slutten av 1960-tallet (Øxnevad 1995). Det har også vært satt ut noe aure i seinere år, men det foreligger ingen oversikt over dette. Arbeidernes jeger- og fiskerforening (AJFF) har i flere år tatt stamfisk i utløpsbekken fra Nordre Boksjø, og lagt befruktet rogn i klekkeriet i Tistedalen. Det pleier å være bra med gytefisk i bekken, som de fanger med elektrisk fiskeapparat (Rolf Ganerød pers. medd.). De søker om å fange 40 gytefisk hvert år, men tar sjelden så mange. Fisken varierer i størrelse mellom 200 og 1500 gram. De har også i enkelte år satt ut litt settefisk i Nordre Boksjø som kompensasjon for uttaket av stamfisk. Dette har vanligvis bare vært mellom 50 og 200 individ, som stort sett har vært satt ut nord i sjøen. Det synes derfor som om aureutsettingene i Nordre Boksjø har hatt et lite omfang, og liten betydning for bestandsutviklingen etter kalking. Det kan likevel være at den stedegne aurebestanden i Nordre Boksjø døde ut, og at settefisk derfor dannet grunnlaget for en ny stamme.

Abboren i Nordre Boksjø klarte seg godt gjennom den verste forsuringsperioden på 1970/80-tallet. Ved prøvefisket i Nordre og Søndre Boksjø i juni 1973 ble det på to Jensen-serier tatt henholdsvis 129 og 15 abbor (Borgstrøm mfl. 1974). Dette tilsvarer et utbytte pr. 100 m² garnareal (Cpue) på henholdsvis 24,6 og 2,9 individ. Ut fra de benyttede maskeviddene syntes det som om abboren i Nordre Boksjø var representert med alle lengdegrupper. I Søndre Boksjø var altså abborbestanden sterkt redusert. I Nordre Boksjø ble det i tillegg tatt fire abbor på flytegarn (Borgstrøm mfl. 1974). Det første prøvefisket etter kalking ble foretatt høsten 1991 (Kleiven & Håvardstun 1997). På ett 16 mm garn og to Jensen-serier ble det tatt 59 abbor, eller 9,8 individ pr. 100 m² garnareal (Cpue). Fangsten på ett 10 mm garn, med 22 individ, er da holdt utenom. Følgelig var utbyttet av abbor betydelig lavere enn det som ble tatt før innsjøen

ble kalket. Bortsett fra at forekomsten av yngel syntes å være god, ble det fanget relativt få ett-åringer og ingen i aldersgruppene 2+ og 3+. Det var altså sviktende rekruttering både i 1988 og 1989, noe som trolig skyldtes surt vann. Eksempelvis ble pH i juni 1989 målt til 5,0 (**figur 4**, Kleiven & Håvardstun 1997). Tidlig på 1990-tallet skjedde det imidlertid en kraftig bestandsøkning hos abborren i Nordre Boksjø (Øxnevad 1995). Høsten 1994 ble det nemlig på tilsvarende garninnsats som i 1991 tatt hele 230 abbor (Cpue=38,3 individ). Det var heller ingen episoder med dårlig vannkvalitet fra høsten 1989 og fram til 1994.

Ved prøvefiske i 2003 og 2010 ble det altså benyttet en annen garnserie. Det er derfor vanskelig å vurdere bestandsutviklingen i løpet av de siste 10-15 årene. Men en vurdering kan likevel gjøres ut fra visse antakelser. I 1994 ble det benyttet maskevidder mellom 16-45 mm (utvidet Jensen-serie). Det svarer grovt sett til maskeviddene 15,5-43 mm i Nordiske oversiktsgarn, totalt seks segmenter med et areal på 22,5 m². Disse segmentene fanger fisk fra rundt ≥ 16 cm, som er det samme som i en utvidet Jensen-serie med ett 16 mm garn. På de Nordiske garna inkluderer vi bare fangstene på 0-12 m dyp, som trolig er nær det dybdeintervallet som enkeltgarna i 1994 ble satt. Ut fra disse beregningene blir justert utbytte (Cpue) av abbor i 2010 på 42 individ. Dette er altså ikke vesenlig forskjellig fra det som ble registrert i 1994, og antyder små endringen i abborbestanden i Nordre Boksjø i løpet av de siste 15 årene. Hos abborren må en ofte forvente store år til år variasjoner både i rekruttering og bestandssammensetning (Hesthagen mfl. 1992). Således var både mengde og bestandsstruktur forskjell i abborfangstene fra 2003 og 2010.

Abbor er dominerende fiskeart i Enningdalsvassraget, med forekomst i 104 av 118 vann (**figur 13**). I de resterende 14 vannene, er trolig abborren tapt i syv. Alle lokaliteter uten abbor har heller ikke andre fiskearter, og de ligger alle over marin grense i nordre delen av nedbørfeltet. Ingen av disse vannene er kalket.



Figur 13. Utbredelsen av abbor i Enningdalsvassdraget.

Figure 13. Distribution of perch in The River Enningdal watershed.

Morten var trolig en av de første fiskeartene som ble rammet av forsuren i Boksjøene. Forekomsten av mort i de to vannene ble ikke omtalt i 1950, verken av Harald Ødegarden eller Hans Stangebraaten (Vasshaug 1990). Årsaken er nok at den forsvant mye tidligere fra disse innsjøene. For Søndre Boksjø vet vi at dette skjedde rundt 1930 (Almer 1972, Almer & Hanson 1980). Det er derfor grunn til å anta at morten i Nordre Boksjø også forsvant i samme periode, kanskje ennå tidligere. Dette skyldes at morten er svært forsuringsfølsom, og den ble utryddet på 1920/30-tallet i flere forsuringsrammede innsjøer på vestkysten av Sverige (Almer mfl. 1974). I disse lokalitetene forsvant etter hvert hele 40 % av alle mortbestandene (Almer & Hanson 1980). I noen lokaliteter hvor morten ikke forsvant helt, ble det påvist rekrutteringssvikt og dominans av eldre og større individ. Også i Enningdalsvassdraget har de fleste bestandene av mort blitt utryddet (Hesthagen mfl. 2007a). Søndre Boksjø hadde tallrik bestand av mort så seint som i begynnelsen av 1900-tallet (Almer 1972). Rundt 1900 ble det fisket mort med not, og fangstene kunne være så store at de måtte ha hest og vogn til transporten.

Også ørekyten kan ha gått tapt i Nordre Boksjø. Innsjøen hadde tilsynelatende en god bestand av denne karpefisker helt fram til 1950. Da skrev Vasshaug (1990) følgende: "Ørekyte er det sjølsagt godt med". Dette er noe overraskende fordi arten er ømfintlig for surt vann (jfr. Hesthagen & Sandlund 1997). Ørekyten har også blitt utryddet i mange forsuringsrammede innsjøer i nærheten av Enningdalsvassdraget, nemlig på vestkysten av Sverige (Almer mfl. 1974). Her blir ørekyten karakterisert som like forsuringsfølsom som morten. Arne Fredriksen mener at ørekyta i Nordre Boksjø var borte i en periode. De så i alle fall ikke noe til den under den verste forsuringsperioden på 1970/80-tallet. Ved elfiske i bekken mellom Nordre og Søndre Boksjø høsten 1994, ble det ikke rapportert om ørekyt (jfr. Øxnevad 1995). I juni 1997 ble det imidlertid fanget ørekyt på de fleste strekningene i denne bekken (Karlsen 1997). Tetthetene av ørekyt var størst nær utløpet fra Nordre Boksjø, men det var også gode forekomster i nedre delen av bekken. Siden slutten 1990-tallet er det observert store stimer med ørekyt ved utløpet av Nordre Boksjø (Hesthagen mfl. 2002, Einar Eilertsen, pers. medd.). Ved prøvefiske i Nordre Boksjø i 2003 ble det ikke fanget ørekyt. Dette skyldtes nok at alle prøvefiskestasjonene ble lagt til hovedbassenget (Hauglundfjorden). I 2010 ble det tatt sju ørekyt, alle i bassenget lengst sør (Skogsfjorden). Fra lokalt hold mener man at reetableringen av ørekyt i Nordre Boksjø skyldes bruken av levende agn (Hesthagen mfl. 2002). Dette skjedde i så fall først på 1990-tallet. Kent Hansen har blitt fortalt at ørekyten gikk tapt, og at den ble gjeninnført av noen fiskere som brukte den som agn. En kan likevel ikke se helt bort fra at ørekyten i Nordre Boksjø overlevde i små lommer eller bekker med bedre vannkvalitet. Ørekyten kan også ha vandret inn fra Søndre Boksjø etter kalking. På 1990-tallet opplyste Leif Lättesjö, fiskerikonsulent i Elvsborg län, at det alltid har vært ørekyt i Søndre Boksjø og i Hallerødbekken (Karlsen 1997).

Ifølge Huitfeldt-Kaas (1918) var det ål i Nordre Boksjø tidlig på 1900-tallet. Seinere er det få opplysninger om forekomsten av ål både her og i Søndre Boksjø. På 1970-tallet ble det rapportert om at det ikke lenger var ål i Søndre Boksjø, og i en annen innsjø på den svenske vestkysten (Almer 1972). Dette ble satt i sammenheng med at dambygging i disse vassdragene hadde hindret oppgang av ål. Dette har derfor også hatt en negativ effekt på ålebestanden i Nordre Boksjø. Det er for øvrig flere fysiske hindringer langs Enningdalsvassdraget (Kaikkonen & Rehndell 2010). Før i tiden var det en dam i Hallerudselven ved utløpet av Søndre Boksjø, og fram til slutten av 1960-tallet har innsjøen vært regulert til tømmerfløting (Daniel Johansson pers. medd.). I Grubberödsälven, vassdraget som binder sammen Mellan Kornsjön og Södra Kornsjön, er det en relativt stor kraftverkdamm ved Loviseholm. Denne blir vurdert som et betydelig vandringshinder for ål. Tidligere har nok ålen i Enningdalsvassdraget vært en viktig resurs, for det fins mange ålkister langs hele vassdraget (Daniel Johansson pers. medd., Thorstad mfl. 2010). Under prøvefiske høsten 2009 ble det fanget minst én abbor som hadde tegn til å være spist på av ål. Vi antar derfor at Nordre Boksjø fortsatt har ål.

I 1950 fikk Vasshaug opplyst at det tidligere hadde vært vederbuk i Søndre Boksjø, men at den nå var utdødd (Vasshaug 1990). Harald Ødegarden fikk sin siste vederbuk her i 1934, på garn. Vederbuken ble derfor påvirket av forsuren alt på 1920-tallet, kanskje ennå tidligere. Mangelen på fysiske barrierer mellom Boksjøene tilsier at det også har vært vederbuk i Nordre Boksjø.

Tabell 8. Dominanskategorier og bestandsstatus for fiskesamfunnet i Nordre Boksjø.

Table 8. Different fish species in Lake Nordre Boksjø grouped into three community categories (dominant, subdominant and rare), and present status (unchanged, marked change and lost).

Art	Dominanskategori	Bestandsstatus (Dagens tilstand)		
		Uendret	Skadet	Tapt
Aure	Subdominant		X	
Røye	Subdominant			X
Abbor	Dominant	X		
Mort	Subdominant			X
Ørekyt	Sjelden		X	
Vederbuk	Sjelden			X
Ål	Subdominant		X	

Det har altså vært omfattende endringer i fiskesamfunnet i Nordre Boksjø i løpet av 1900-tallet, med tap av røye, mort og vederbuk og en betydelig bestandsnedgang hos aure, ørekyt og ål. Skadeomfanget vil i det følgende bli kvantifisert vha en fiskeindeks som er utviklet for å måle effekten av miljøpåvirkninger (Anon. 2009). Dette er en veileder som er utgitt i forbindelse klassifisering av miljøtilstanden i vann i henhold til vannforskriften (EUs Vanndirektiv). I indeksen inngår (i) en vurdering av dominansforholdene i det opprinnelige fiskesamfunnet (dominant, subdominant og sjelden), og (ii) fiskestatus (uendret, redusert og tapt) (**tabell 8**). Ut fra disse opplysningene blir skadegraden beregnet og sammenlignet med naturtilstanden. Angivelsen av dominansforhold og status er basert på beste faglig vurdering (ekspertvurdering), og indeksen varierer fra 1,0 (ingen skader) til 0 (alle bestander tapt). På basis av disse vurderingene får fiskesamfunnet i Nordre Boksjø en fiskeindeks på 0,35. Ut fra de vedtatte klassegrensene, har Nordre Boksjø dårlig økologisk tilstand, basert på fisk. Dersom tilstanden i vesentlig grad skal kunne økes, må først og fremst de tapte fiskeartene innføres.

Tidligere ble vannene i Halden kommune vurdert som fiskerike, men på slutten av 1800-tallet "avgives nu intet større udbytte" (Kiær 1885). Det spørres hvor godt orientert denne forfatteren var om fiskeforholdene i kommunen. På den tiden var fisk nemlig en viktig ressurs for folk som bodde ved Boksjøene, eller de med råderett over utmarksressursene. Ragna Braadland fortalte at rundt 1900 ble det hver høst saltet ned to tønner aure og røye, som var samlet fangst for flere småbruk ved disse to innsjøene (Birger Braadland pers. medd.). Én tønne ble regnet som 100 liter, og tilsvarer rundt 90 kg fersk fisk. Deler av auren ble tatt med sløe (lokalt kalt slå) i bekken mellom Nordre og Søndre Boksjø. Sløer er innretninger av slinder som fanger opp el-



En garnfangst av abbor fra Nordre Boksjø høsten 2010.
Foto: Trygve Hesthagen.
A sample of perch caught by gillnetting in Lake Nordre Boksjø in 2010.



Representativ størrelse av abbor fra garnfisket i Nordre Boksjø høsten 2010.

Foto: Trygve Hesthagen.

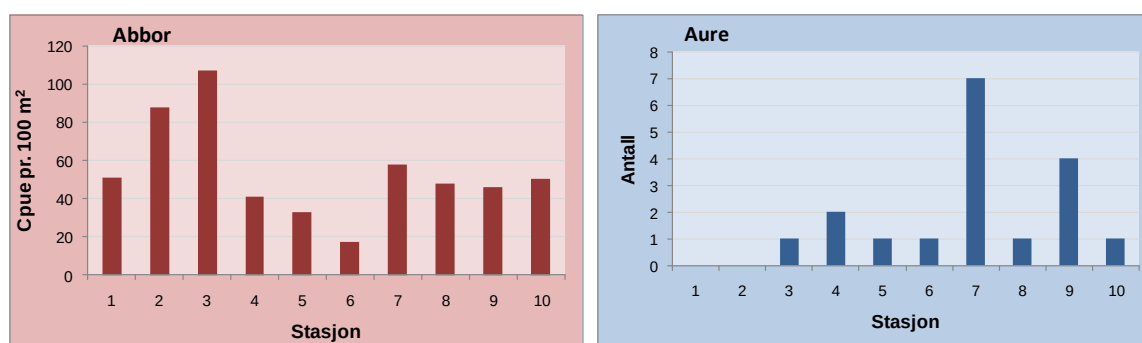
Perch of a representative size caught during test fishing in Lake Nordre Boksjø in 2010.

ler nedvandrede fisk i elver og bekker, spesielt i forbindelse med gytevandringen. På midten av 1850-tallet var røya alminnelig forekommende i Søndre Boksjø, og ble i stor grad beskattet i gytetiden (Almer mfl. 1972). Det samme har trolig vært tilfelle i Nordre Boksjø. Abborren har også hatt betydning som matressurs for folket ved Boksjøene. Harald Ødegarden fanget abbor med mæl (ruse), forteller dattera Aslaug Fredriksen.

4.4.2 Fangstutbytte ved prøvefiske

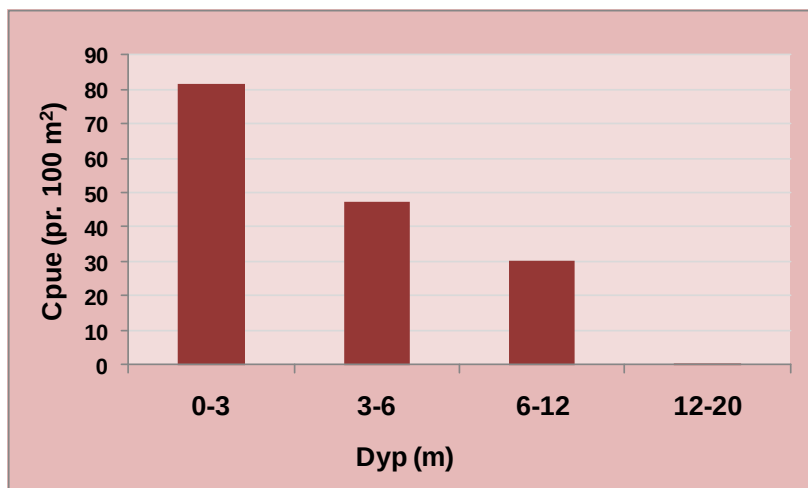
Nordre Boksjø har i dag er relativt tett bestand av abbor, med et gjennomsnittlig utbytte i form av $C_{pue} \pm Sd$ på 54 ± 26 individ. Det var imidlertid stor variasjon i fangstene innen ulike deler av innsjøen, med C_{pue} fra 17 til 107 individ (**figur 14**). I sone 1 helt i nord var i utbyttet på stasjon 1 og 2 henholdsvis 51 og 87 individ. Høyest utbytte ble registrert på stasjon 3 i sone 2, med $C_{pue} = 107$ individ. Vestre og midtre deler av innsjøen hadde desidert lavest forekomst av abbor, med 17-41 individ. Dette omfattet st. 4 i sone 2, samt st. 5 og 6 i sone 3. I sør var det liten variasjon i fangstutbytte mellom de tre stasjonene, med en intermediær mengde sammenliknet med de andre stasjonene (46-58 individ). På stasjon 10 i sone 3 var utbyttet av abbor på samme nivå, med $C_{pue} = 50$ individ. I 2003 var fangstutbyttet av abbor for de tre undersøkte stasjonene i gjennomsnitt 101 ± 34 individ.

Den vertikale fordelingen av abborfangstene viste en klar reduksjon med økende dyp (**figur 15**). På 0-3 m dyp var gjennomsnittlig fangstutbytte 82 individ (C_{pue}). Tilsvarende tall på 3-6 og 6-12 m dyp var henholdsvis 47 og 30 individ. På 12-20 m dyp var fangsten av abbor på de fem aktuelle stasjonene ubetydelig, med $C_{pue} = 0,4$ individ.



Figur 14. Fangstutbyttet av abbor og aure på 10 stasjoner i Nordre Boksjø høsten 2010. For abbor er fangstutbyttet uttrykt som antall individ pr. 100 m² pr. natt på 0-12 m dyp (C_{pue}), men det for aure viser antall individ fanget.

Figure 14. Catches of perch and brown trout on 10 different stations in Lake Nordre Boksjø in 2010. For perch, the catches are expressed in terms of numbers per 100 m² gillnet area per night on 0-12 m depth (C_{pue}), while that for brown trout are shown in actual numbers.



Figur 15. Fangstutbyttet av abbor på fire dyp i Nordre Boksjø høsten 2010. På 12-20 m dyp var utbyttet 0,4 individ.

Figure 15. The catches of perch in different depth zones of Lake Nordre Boksjø in 2010.

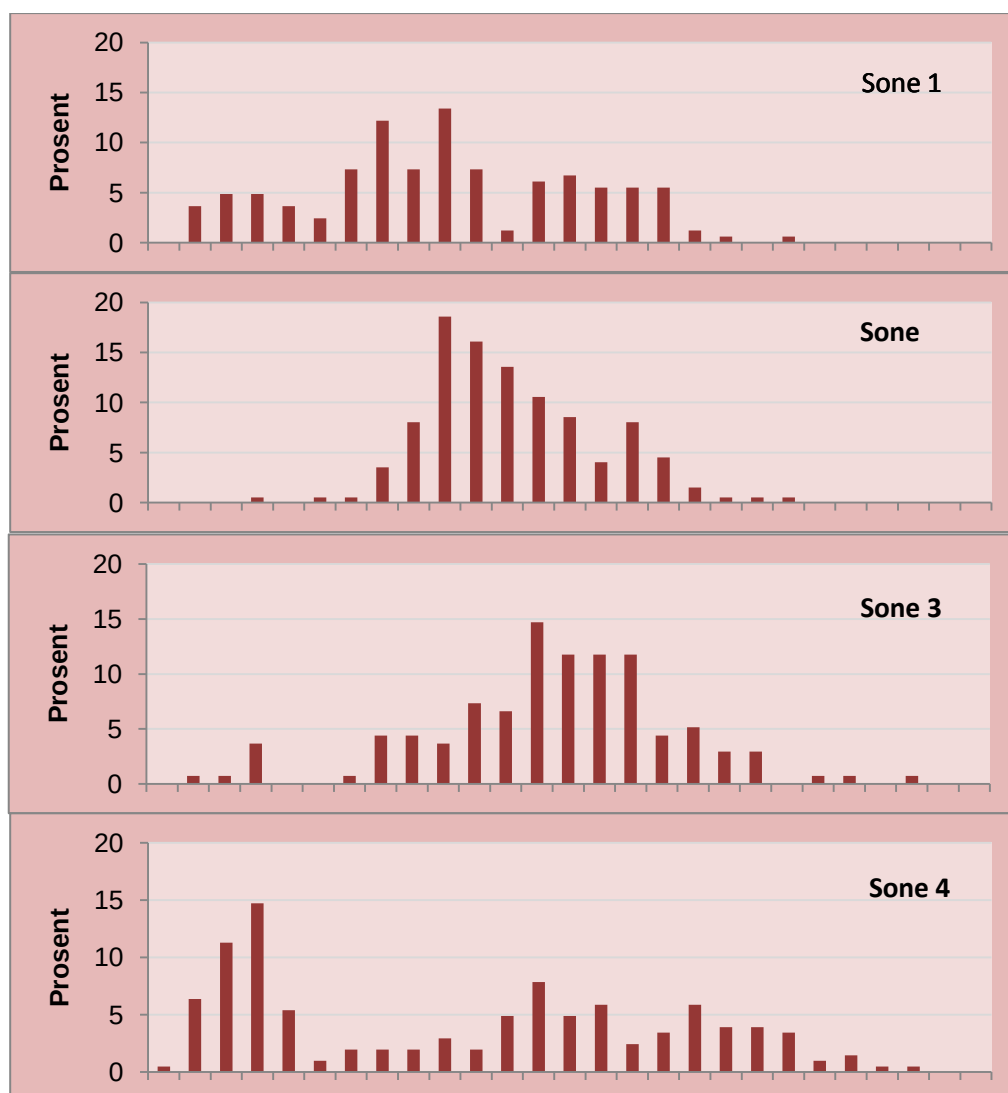
På flytegarn (0-6 m dyp) var fangstutbyttet av abbor i 2010 begrenset til bare sju individ. Det gir et utbytte (Cpue) på 2 individ. I 2003 ble det derimot fanget hele 86 abbor på flytegarn, eller Cpue=27 individ. Gjennomsnittlig lengde hos abbor på flytegarn i de to årene var henholdsvis 193 ± 26 (n=7) og 145 ± 21 mm (n=86).

Nordre Boksjø har en tynn bestand av aure, med en totalfangst på 18 individ i 2010. Det tilsvarer Cpue=1,2 individ. Det var stor romlig variasjon i utbyttet, idet de fleste individene ble tatt i sørlige delen av innsjøen (**figur 14**). Størst forekomst av aure synes å forekomme nær utløpet (st. 7), med 7 individ (39 %). I sone 4 for øvrig ble det tatt ytterligere 5 individ, slik at fangsten her utgjorde $\frac{2}{3}$ av totalen. På de to stasjonene helt i nord ble det overhode ikke fanget aure, mens det til sammen ble tatt fem individ på stasjonene 3 til 6. Det ble også fanget én aure på stasjon 10 i Krukebukta i østlige og midtre deler av sjøen. Alle aure ble tatt på 0-3 m dyp, bortsett fra ett individ (3-6 m). I 2003 ble det fanget seks aure på bunngarn og tre individ på flytegarn.

Nordre Boksjø har en tynn bestand av ørekyt, med et utbytte på til sammen sju individ. Disse fiskene ble alle tatt helt sør (sone 4), på stasjonene 9 (n=4), 7 (n=2) og 8 (n=1). Ørekyten var kun knyttet til litoralsonen, dvs 0-3 m dyp.

4.4.3 Bestandsstruktur, alder og vekst

Abborer prøvefiskefangsten hadde en gjennomsnittlig lengde på 144 ± 49 mm (n=703). Det var stor variasjon i størrelsen mellom ulike deler av innsjøen. Dette gjaldt spesielt forekomsten av yngre individ, som i gjennomsnitt utgjorde 18,1 %. Ut fra aldersanalysen, grupperes individ på 41-99 mm som årsyngel, med en gjennomsnittlig lengde på 71 ± 11 mm (jfr. **tabell 9**). Det viser at sone 1 har god rekruttering, idet yngelen utgjorde 27,1 % av fangsten (**figur 16**). I sone 2 og 3 ble det nesten ikke fanget yngel, med andeler på henholdsvis 1,5 (n=3) og 5,4 % (n=7). Områdene lengst sør (sone 4) hadde derimot god rekruttering, idet individ < 10 cm utgjorde hele 67,2 % av fangsten. Det var liten variasjon mellom de ulike sonene mht forekomsten av større abbor, med få individ > 230 mm. I 2003 hadde abborbestanden i Nordre Boksjø dårligere rekruttering, idet andel individ < 100 mm bare var på 1,7 % (**figur 17**).



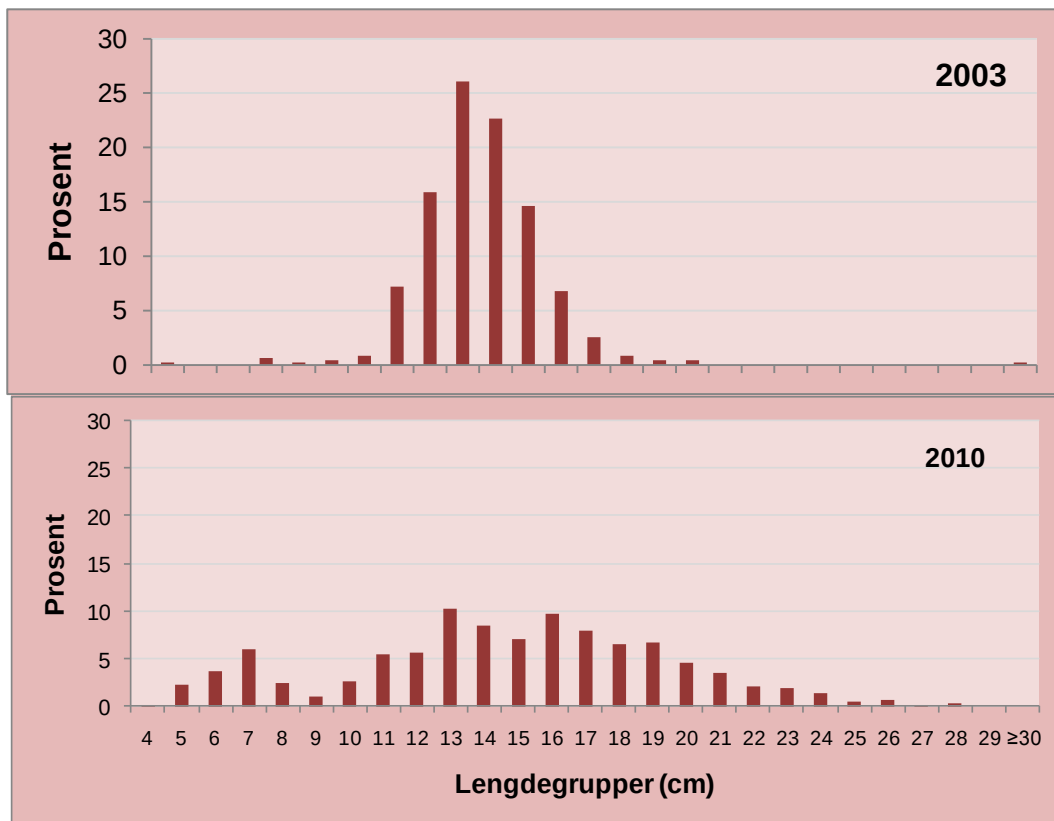
Figur 16. Lengdefordeling hos abbor fanget på bunngarn i Nordre Boksjø høsten 2010, fordelt på sone 1-4.

Figure 16. Length distribution of perch caught on bottom gillnets in Lake Nordre Boksjø in 2010, separated into zones 1-4.



Abbor og aure med en lengde på rundt 38 cm tatt i Nordre Boksjø høsten 2010. Foto: Trygve Hesthagen

Perch and brown trout with lengths of about 38 cm caught in Lake Nordre Boksjø in 2010.



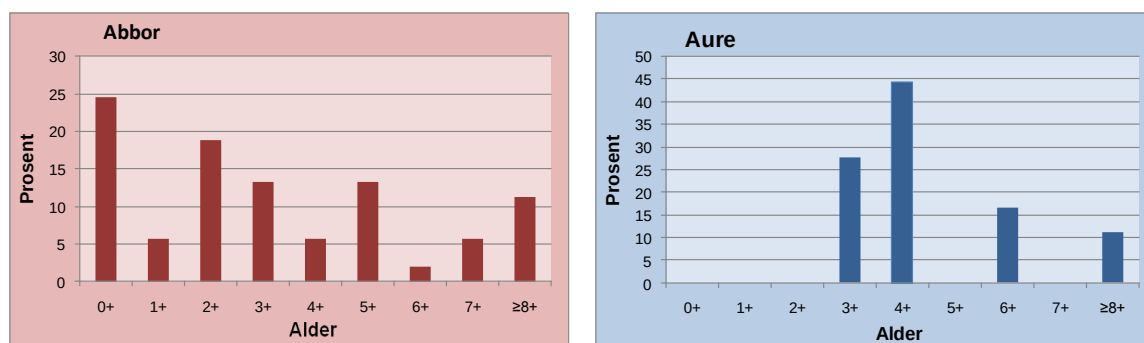
Figur 17. Lengdefordeling hos abbor fanget bunngarnfangstene i Nordre Boksjø høsten 2003 (n=472) og 2010 (n=703).

Figure 17. Length distribution of perch caught in bottom gillnets in Lake Nordre Boksjø in 2003 (n=472) and 2010 (n=703).

Tabell 9. Gjennomsnittlig lengde (mm) og vekt (gram) $\pm$ standard avvik hos abbor og aure fanget ved prøvefiske i Nordre Boksjø høsten 2010. n = antall fisk.

Table 9. Mean length (mm) and weight (g) $\pm$ standard deviation for perch and brown trout caught in Lake Nordre Boksjø in 2010. n = number of fish.

Alder	Abbor			Aure		
	Lengde	Vekt	n	Lengde	Vekt	n
0+	71 $\pm$ 11		13			
1+	105 $\pm$ 11	13 $\pm$ 4	3			
2+	153 $\pm$ 13	42 $\pm$ 11	10			
3+	167 $\pm$ 21	55 $\pm$ 22	7	222 $\pm$ 25	107 $\pm$ 31	5
4+	212 $\pm$ 24	109 $\pm$ 28	3	290 $\pm$ 13	259 $\pm$ 32	8
5+	203 $\pm$ 25	104 $\pm$ 47	7			
6+	225 $\pm$ 0	125 $\pm$ 0	1	397 $\pm$ 41	734 $\pm$ 209	3
7+	236 $\pm$ 4	153 $\pm$ 11	3			
8+	205 $\pm$ 59	153 $\pm$ 40	3	410 $\pm$ 1	674 $\pm$ 43	2
9+						
10+	241 $\pm$ 0	156 $\pm$ 0	1			
11+	230 $\pm$ 7	131 $\pm$ 57	2			

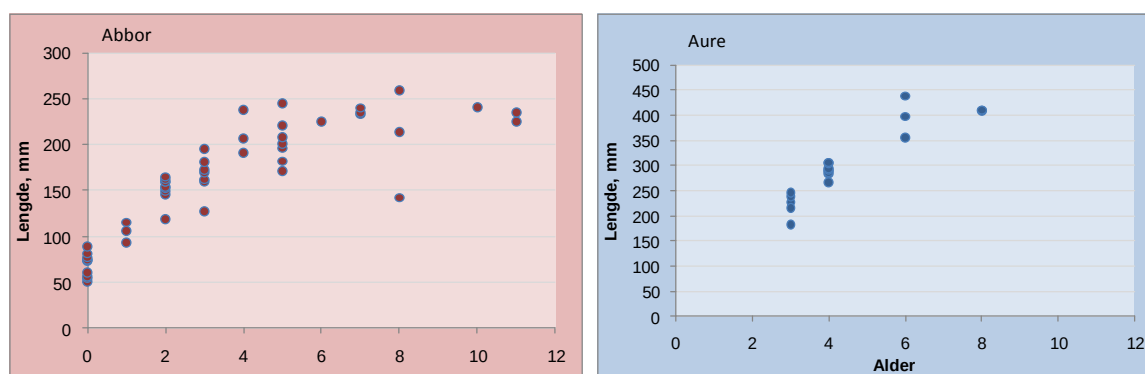


Figur 18. Aldersfordeling hos abbor og aure fanget under prøvefiske i Nordre Boksjø høsten 2010.

Figure 18. Age distribution for perch and brown trout caught during testfishing with gillnets in Lake Nordre Boksjø in 2010.

I fangstene av abbor høsten 2010 var alle årsklasser mellom 0+ og 11+ representert (**figur 18**). Dette er basert på et materiale fra på stasjon 7 (dyp 1), og forekomsten av yngel (0+) er trolig betydelig overrepresentert. Det ble ellers fanget få ettåringer, noe som enten skyldes tilfeldigheter eller at 2009-årsklassen var spesielt svak. Abboren i Nordre Boksjø har relativt bra vekst i de fire første leveårene, for deretter å stagnere helt ved en lengde på ca 25 cm (**figur 19, tabell 9**).

Auren i prøvefiskefangsten varierte i lengde mellom 182-438 mm, med et gjennomsnitt på 302 ± 73 mm ($n=18$). Disse individene tilhørte bare fire aldersgrupper; 3+, 4+, 6+ og 8+ (**figur 18**). Veksten var god, med gjennomsnittlig lengde for fire – og seksåringer på henholdsvis 290 og 397 mm (**figur 19, tabell 9**). Gjennomsnittlig lengde hos kjønnsmodne hanner og hunner var henholdsvis 371 ± 92 mm ($n=3$) 403 ± 8 mm ($n=2$).



Figur 19. Observert lengde hos ulike aldersgrupper av abbor og aure i Nordre Boksjø høsten 2010.

Figure 19. Observed length in different age groups for perch and brown trout in Lake Nordre Boksjø in 2010.

5 Oppsummering og konklusjon

Sammenlignet med forholdene i Nordre Boksjø slik den ble beskrevet på 1950- og 70-tallet, er det uomtvistelig at innsjøen har beveget seg fra å være en sterk forsuringsskadet lokalitet til en innsjø med betydelig bedring i økologisk tilstand. Innsjøen har av naturlige grunner alltid hatt en relativt lav pH. Nedbørsfeltet består av mye bart og tungt forvitret grunnfjell, noe som gjør at mye av nedbøren går rett ut i innsjøen. Innslaget av myr resulterer dessuten i brunt vann med lite siktedyp. Nordre Boksjø er ikke omgitt av marine sedimenter, og har derfor en markert lavere pH enn mer lavereliggende innsjøer.

Slik Nordre Boksjø framstår i dag, er den helt avhengig av kalking for å opprettholde en god vannkvalitet. pH i tilførselsbekkene indikerer at uten kalking ville innsjøen hatt pH < 5,0. I de fire største og ikke-kalkede tilløpsbekkene var pH 4,48-4,70. I bekken som kommer fra Store Haugåstjern, og som er kalket, var pH 5,18. Kalkingen av Nordre Boksjø har resultert i en pH i utløpet på 6,66, målt like etter kalking i slutten av august 2010. Dette er utvilsomt en høyere pH enn det som kan forventes ut fra de naturgitte forutsetningene for vannet. Det er rimelig å anta at naturlig pH i Nordre Boksjø ligger mellom 5,0 og 6,0.

Bunndyrfaunaen viser at Nordre Boksjø i lenger tid har hatt akseptabel vannkvalitet. Noen relativt robuste arter som er kommet inn etter den første kalkingen i 1985, har tålt svingninger i pH. Derimot har tettheten av andre og mer forsuringfølsomme arter svingt i takt med pH. Ett godt eksempel på dette er damsneglen (*Lymnaea peregra*) med tette bestander midt på 1990-tallet. Etter den nedbørsrike høsten 2000, da pH falt til 5,2, er den ikke påvist. Gråsugge (*Asellus aquaticus*) er et eksempel på en annen art som har variert i mengde med pH. Dette er et viktig næringsdyr for fisken.

Krepsdyrfaunaen gir også mange indikasjoner på en bedret vannkvalitet. *Limnosida frontosa* og *Daphnia longispina* er gode indikasjoner på at det har skjedd enn økning i pH. Men noen av endringene i krepsdyrsamfunnet skyldes trolig også endret fiskepredasjon, slik som fraværet av *L. frontosa* i 2010. Dette må først og fremst skyldes at abborbestanden har økt. Det samme er sannsynligvis også forklaringen på hvorfor *Bosmina longirostris* har erstattet *B. longispina*.

Nordre Boksjø hadde trolig sju naturlig forekommende fiskearter: aure, røye, abbor, ørekyt, mort, vederbuk og ål. Tidlig på 1900-tallet ble det også rapportert om sørv, men dette var trolig feil. I dag har Nordre Boksjø bestander av abbor, aure, ørekyt, og trolig ål. Det innebærer at mort, vederbuk og røye har gått tapt som følge av forsuringen. Alle disse artene krever aktiv introduksjon for å bli reetablert. Dette gjelder trolig også røye selv om arten forekommer i Søndre Boksjø. Ørekyt synes å ha en bra forekomst i området nær utløpet, selv om fangstutbyttet høsten 2010 var relativt lavt. Men så lenge Nordre Boksjø har en tett abborbestand, vil ørekytbestanden aldri bli særlig tallrik. Det er usikkert om ørekyten i Nordre Boksjø gikk tapt før kalkingsstarten i 1985, eller om den har blitt innført av mennesker seinere. Fra naturens side har nok Nordre Boksjø alltid vært et typisk abborvann. Selv i forbindelse med de sureste periodene klarte den seg bra, og er i dag klart dominerende art. Nordre Boksjø har nå en relativt bra aurebestand, tatt i betraktning at innsjøen har en relativt stor abborbestand. Det er usikkert hvordan aurebestanden har utviklet seg siden begynnelsen på 1990-tallet, men den har trolig vært økende. Det er mulig å øke rekrutteringen til aurebestanden ved å kalke noen av tilløpsbekkene, kombinert med tilførsel av gytegrus og skjellsand. De aktuelle gytebekkene er svært sure, og mangler godt gytesubstrat. Bekk 5 er påvirket av kalkingen i Store Haugåstjern, men har likevel marginal vannkvalitet. For å oppnå en god vannkvalitet i aktuelle gytebekker, er det derfor trolig nødvendig å benytte flere kalkingsmetoder. Det kan omfatte kalking av tjern i nedbørsfeltet, kombinert med kalkbrønner og terrengkalking.

Med tanke på å gjenskape god økologisk tilstand i Nordre Boksjø, er det ønskelig å holde pH i innsjøen på 6,0-6,5. Med en lavere pH blir innsjøen sårbar for store nedbørsmengder med påfølgende høy forurensningsbelastning. Dette var tilfelle høsten 2000, da en tydelig gjenforsuring fant sted med. Ved å holde en relativt høy pH, vil en redusere sjansene for at slike sure episoder skal inntreffe. En viss grad av overkalking må derfor kunne aksepteres.



De strandnære områdene til Nordre Boksjø har mye bart fjell, med lyngmark og furu som dominerende vegetasjon. Foto: Trygve Hesthagen.

The shoreline of Lake Nordre Boksjø is dominated by rock, heath and pine.

6 Referanser

- Alenäs, I. 1986. Kalkningsprosjektet Härskogen 1976-86. Swedish Environm. Res. Inst., B 846.
- Almer, B. 1972. Försurningens inverkan på fiskebestand i västkustsjöar. Inform. Sötvattenlab. Drottningholm No. 12-192. 47 s.
- Almer, B., Dickson, W., Ekström, C., Hörnström, E., & Miller, U. 1974. Effects of acidification on Swedish lakes. *Ambio* 3 (no 1): 30-36.
- Almer, B. & Hanson, M. 1980. Försurningseffekter i västkustsjöar. Inform. Sötvattenlab. Drottningholm No. 5-1980. 44 s.
- Appelberg, M. 1995a. Liming strategies and effects: the Lake Gyslättsjön case study. I: Henrikson, L. & Brodin, Y.W. (red). Liming of acidified surface waters. A Swedish synthesis. Springer Verlag, Berlin. s. 353-362.
- Appelberg, M. 1995b. Liming strategies and effects: the Lake Stora Härsjön case study. I: Henrikson, L. & Brodin, Y.W., red. Liming of acidified surface waters. A Swedish synthesis., Springer Verlag, Berlin, s. 337-351.
- Appelberg, M., Ekström, C. & Hörnström, E. 1990. Stora Härsjön - ett exempel på integrerad uppföljning av kalkingens effekter. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 1990-1: 1-20.
- Appelberg, M., Berger, H.M., Hesthagen, T., Kleiven, E., Kurkilahti, M., Raitaniemi, J. & Rask, M. 1995. Development and intercalibration of methods in Nordic freshwater fish monitoring. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 401-406.
- Anon. 2009. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Direktoriesgruppa for gjennomføring av vanndirektivet. www.vannportalen.no
- Bergquist, B. 1980. Undersökning av bottenfaunaförekomst samt kvicksilverhalt i bottenfauna och sediment i sjön Ölen, Örebro län, 1976-1980. Före och etter kalkning. - Inst. Limnol., Uppsala Univ. 14 s.
- Borgstrøm, R., Eie, J.A., Hardeng, G., Nordbakke, R., Raastad, J.E. & Solem, J.O. 1974. Inventeringer av verneverdige områder i Østfold. Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo, 17. 71 s.
- Drenner, R. W. & McComas, S.R. 1980. The role of zooplankton escape ability and fish size selectivity in the selective feeding and impact of planktivorous fish. Evolution and ecology of zooplankton communities. W. C. Kerfoot. New Hampshire, Hanover, N.H., Univ. Press: 587-593.
- Eriksson, F., Hornström, E., Mossberg, P. & Nyberg, P. 1982. Ekologiska effekter av kalkning i försurade sjöar og vattendrag. Inform. Sötvattenslab, Drottningholm 6-1982. 96 s.
- Eriksson, F., Hornström, E., Mossberg, P. & Nyberg, P. 1983. Ecological effects of lime treatment of acidified lakes and rivers in Sweden. *Hydrobiologia* 101: 145-164.
- Flössner, D. 2000. Die Haplopoda und Cladocera Mitteleuropas. Leiden, Backhuys Publishers.

Hasselrot, B., Andersson, B.I. & Hultberg, H. 1984. Ecosystem shifts and reintroduction of arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) after liming of a strongly acidified lake in Southwestern Sweden. - Rep. Inst. Freshwat. Res., Drottningholm 61: 78-92.

Henrikson, L. 1988. Effects on water quality and benthos of acid water inflow into the limed Lake Gårdsjön. I: Dickson, W. (red). Liming of Lake Gårdsjön - an acidified lake in SW Sweden. National Swedish Environmental Protection Board Report 3426. s. 309-327.

Herbst, H.V. 1976. Blattfusskrebse (Phyllopoden: Echte Blattfüsser und Wasserflöhe). - Kosmos-Verlag Franckh, Stuttgart, 130 s.

Hesthagen, T., Berger, H.M., Larsen, B.M., Nøst, T. & Sevaldrud, I.H. 1992. Abundance and population structure of perch (*Perca fluviatilis* L.) in some acidic Norwegian lakes. Environ. Pollution 78: 97-101.

Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Berger, H.M. 1994. Utvikling i forsureningsskader på fiskebestander i Sør-Norge etter 1950. NINA Forskningsrapport 50. 16 s.

Hesthagen, T. & Sandlund, O.T. 1997. Endringer i utbredelse av ørekyte i Norge: årsaker og effekter. NINA Fagrapport 13. 16 s.

Hesthagen, T. Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2002. Effekter av forsuring og kalking på fisk og krepsdyr i innsjøer i Enningdalsvassdraget, Østfold. NINA Oppdragsmelding 761. 42 s.

Hesthagen, T. Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2003. Effekter av forsuring og kalking på fisk og krepsdyr i innsjøer i Enningdalsvassdraget, Østfold. Framdriftrapport etter undersøkelsene i 2002. NINA Stensilert rapport. Trondheim.

Hesthagen, T. Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2004. Effekter av forsuring og kalking på fisk og krepsdyr i innsjøer i Enningdalsvassdraget, Østfold. Framdriftrapport etter undersøkelsene i 2003. NINA Stensilert rapport. Trondheim.

Hesthagen, T., Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2005. Effekter av forsuring og kalking på fisk og krepsdyr i innsjøer i Enningdalsvassdraget, Østfold. Framdriftrapport etter undersøkelsene i 2004. NINA Stensilert rapport. Trondheim.

Hesthagen, T. Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2006. Effekter av forsuring og kalking på fisk og krepsdyr i innsjøer i Enningdalsvassdraget, Østfold. Framdriftrapport etter undersøkelsene i 2005. NINA Stensilert rapport. Trondheim.

Hesthagen, T., Walseng, B., Karlsen, L.R. & Langåker, R.M. 2007a. Effects of liming on the aquatic fauna in a Norwegian watershed: why do crustaceans and fish respond differently. Water, Air, Soil Pollution: Focus 7: 339-345.

Hesthagen, T., Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2007b. Effekter av forsuring og kalking på fisk og krepsdyr i innsjøer i Enningdalsvassdraget, Østfold. Framdriftrapport for 2006. NINA Minirapport 201. 26 s.

Hesthagen, T. & Østborg, G. 2008. Endringer i areal med forsureningsskadde fiskebestander i norske innsjøer fra rundt 1990 til 2006. NINA Rapport 169. 114 s.

Hill, M.O. 1979. DECORANA - A Fortran program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Cornell University, Ithaca, New York.

Hill, M.O. & Gauch, H.G. 1980. Detrended correspondence analysis; an improved ordination technique. Vegetatio 42: 47-58.

- Hillbricht-Ilkowska, A., Rybak, J.I., Dusoge, K., Ejsmont-Karabin, J., Spodniewska, I., Weglenska, T. & Godlewska-Lipowa, W.A. 1977. Effect of liming on a humic lake. *Ekol. pol.* 25(3): 379-420.
- Huitfeldt-Kaas, H.H. 1918. Ferskvandsfiskenes indvandring og udbredelse i Norge, med et til-læg om krebsen. - Centraltrykkeriet, Kristiania.
- Hultberg, H. & Andersson, I.B. 1982. Liming of acidified lakes: induced long-term changes. - *Water, Air, and Soil Pollution* 18: 311-331.
- Hutchinson, G. E. 1967. A treatise on limnology. II. Introduction to lake biology and the limnop-lankton. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Hörnström, E. & Ekström, C. 1986. Acidification and liming effects on phytoplankton in some Swedish West Coast Lakes. Statens Naturvårddsverk, Rapport nr. 1864.
- Hörnström, E., Ekström, C. & Andersson, P. 1992. 10 Mellansvenska sjöar, kalkningseffekter på plankton och vattenkemi. Statens Naturvårddsverk, Rapport nr. 4048.
- Jensen, T.C., Hessen, D.O. & Faafeng, B.A. 2001. Biotic and abiotic preferences of the clado-ceran invader *Limnospira frontosa*. *Hydrobiologia* 422: 89-99.
- Johansson, D. 2009a. Nätprovfiske i Norra Kornsjön och Mellan Kornsjön 2008. Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Vattenvårdsenheten. Rapport nr 2009:62. 31 s.
- Johansson, D. 2009b. Nätprovfiske i Södra Boksjön & Södra Kornsjön 2009. Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Vattenvårdsenheten. Rapport nr 2009:75. 33 s.
- Kaikkonen, V. & Rehndell, S. 2010. Biotopkartering av vattendrag i Enningdalsälvens avrinningsområde. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Vattenvårdsenheten, Rapport nr 2010:54. 113 s.
- Karlsen, L.R. 1997. El-fiske og befarig av bekken mellom Nordre og Søndre Boksjø, 13.06.97. Notat fra Fylkesmannen i Østfold.
- Kiefer, F. 1973. Ruderfusskrebse (Copepoden). Kosmos-Verlag, Franckh, Stuttgart, 99 s.
- Kiefer, F. 1978. Freilebende Copepoda. Elster, H. J. & Ohle, W., red. *Das Zooplankton der Binnengewässer* 26: 1-343.
- Kiær, A.N. 1885. Norges land og folk. Statistisk og topografisk beskrevet. I. Smaalenenes amt. Aschehoug & Co. Kristiania.
- Kleiven, E. & Håvardstun, J. 1997. Fiskebiologiske effekter av kalking i 50 innsjøer. – NIVA, Rapport nr 3765-97. 174 s.
- Kroglund, F., Hesthagen, T., Hindar, A., Raddum, G.G., Staurnes, M., Gausen, D. & Sandøy, S. 1994. Sur nedbør i Norge. Status, utviklingstendenser og tiltak DN - Utredning 1994-10: 98s.
- Nilsson, A.N. & Johansson, A. 1985. En jämförelse av bottenfaunaen i några kalkade och okalkade vattendrag; med tonvikt på kalkningsmetodik. Inform. Sötvattenslab., Drottningholm 1985-11. 56 s.
- Raddum, G.G., Hagenlund, G. & Halvorsen, G.A. 1984. Effects of lime treatment on the ben-thos of Lake Søndre Boksjø. Rep. Inst. Freshwat. Rep., Drottningholm 61: 167-176.

Rosseland, B.O., Balstad, P., Mohn, E., Muniz, I.P. & Sevaldrud, I. 1979. Bestandsundersøkelser. DATAFISK-SNSF-77. SNSF prosjektet. Tekniks Notat 45/79. 1432-Ås, Oslo.

Rylov, W.M. 1948. Freshwater Cyclopoida. Fauna USSR, Crustacea 3 (3). – Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 1963, 314 s.

Sars, G.O. 1903. An account of the Crustacea of Norway. IV Copepoda, Calanoida. – Bergen, 171 s.

Sars, G.O. 1918. An account of the Crustacea of Norway. VI Copepoda, Cyclopoida. – Bergen, 225 s.

Sars, G.O. 1992. On the freshwater crustaceans occurring in the vicinity of Christiania. Bergen, John Grieg Produksjon A/S.

Sevaldrud, I.H. & Muniz, I.P. 1980. Sure vatn og innlandsfiske i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelsene 1974-1980. SNSF prosjektet, IR 77/80. 95 s.

Smirnov, N.N. 1971. Chydoridae. Fauna USSR, Crustacea 1 (2). – Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 1974, 644 s.

ter Braak, C.J.F. & Smilauer, P. 1998. CANOCO reference manual and User's guide to Canoco for Windows. Software for Canonical Community Ordination, (version 4). Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.

Thorstad, E.B., Larsen, B.M., Hesthagen, T., Næsje, T.F., Poole, R., Aarestrup, K., Pedersen, M.I., Hanssen, F., Østborg, G., Økland, F., Aasestad, I. & Sandlund, O.T. 2010. Ål og konsekvenser av vannkraftutbygging – en kunnskapsoppsummering. NVE, Miljøbasert vannføring, rapport nr 1 2010. 135 s.

Vasshaug, J. 1990. Undersøkelser av fiskevann i Østfold i årene 1950-52. - Fylkesmannen i Østfold, Miljøvern avdelingen, Rapport 14-1990. 84 s.

Walseng, B. 2003. Arendalsvassdraget. Zooplankton og bunndyr. Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 2003. DN-Notat 2004-2, s. 17-20.

Walseng, B. 1998. Occurrence of *Eucyclops* species in acid and limed water. Verh. Internat. Verein. Limnol. 26: 2007-2012.

Walseng, B., Raddum, G.G. & Kroglund, F. 1995. Kalking i Norge. Invertebrater. DN-utredning 1995-6. 63 s.

Walseng, B. & Halvorsen, G. 1996a. Vannlopper. I Aagaard, K. & Dolmen, D., red. Limnofauna norvegica, katalog over norsk ferskvannsfauna., Tapir, Trondheim. s. 95-99.

Walseng, B. & Halvorsen, G. 1996b. Hoppekreps. I Aagaard, K. & Dolmen, D., red. Limnofauna norvegica, katalog over norsk ferskvannsfauna., Tapir, Trondheim. s. 103-107.

Walseng, B. & Hansen, H. 1994. Krepsdyr og bunndyr i sure vann i Østfold. NINA Oppdragsmelding 335. 29 s.

Walseng, B. & Karlsen, L.R. 1997. Reetablering av forsuringsfølsomme invertebrater etter kalking av ferskvann i Østfold. NINA Oppdragsmelding 490: 1-32

Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2001. Planktonic and littoral microcrustaceans as indices of recovery in limed lakes in S.E. Norway. *Water, Air, Soil Pollution* 130: 1313-1318.

Walseng, B., Langåker, R., Brandrud, T.E., Brettum, P., Fjellheim, A., Hesthagen, T., Kaste, Ø., Larsen, B.M. & Lindstrøm, E.-A. 2001. The river Bjerkreim in SW Norway - Successful chemical and biological recovery after liming. *Water, Air, Soil Pollution* 130:1325-1330.

Walseng, B., Hesthagen, T. & Karlsen, L.R. 2008. Effekter av forsuring og kalking på fisk og krepsdyr i innsjøer i Enningdalsvassdraget i Østfold. Framdriftrapport for 2007. NINA Minirapport 230. 25 s.

Walseng, B., Hesthagen, T. & Karlsen, L.R. 2009. Effekter av forsuring og kalking på fisk og krepsdyr i innsjøer i Enningdalsvassdraget i Østfold. Framdriftrapport for 2008. NINA Minirapport 261. 30 s.

Økland, K.A. 1980. Ecology and distribution of *Asellus aquaticus* (L.) in Norway, including relation to acidification in lakes. SNFS-prosjektet, IR 52/80, Oslo-Ås.

Øxnevad, S.A. 1995. Prøvefiske i Nordre Boksjø. Fylkesmannen i Østfold, Miljøvernavdelingen, Rapport 3-1995. 9 s.

Aagaard, K. & D. Dolmen 1996. Limnofauna norvegica, Katalog over norsk ferskvannsfauna.

Vedlegg

Vedlegg 1. pH i Nordre Boksjø i perioden 1980-2010.

Skyggelagte verdier er ikke med i NIVA-serien presentert i figur 4.

Appendix 1. pH in Lake Nordre Boksjø in the period 1980-2010.

Values with grey background is not presented in figure 4.

dato	pH	dato	pH
27.7.1950	4,80	02.11.1997	5,90
29.7.1950	4,70	29.10.1998	5,50
Juni 1973	5,00	21.11.1999	5,70
20.05.1980	4,72	18.09.2000	5,20
01.05.1981	4,80	18.06.2001	6,44
17.05.1983	4,70	august 2001	6,23
01.03.1984	4,50	12.05.2002	6,18
18.02.1987	6,50	19.10.2002	6,81
14.12.1987	5,20	11.05.2003	6,77
10.10.1988	5,70	02.07.2003	6,22
12.06.1989	5,00	01.09.2003	6,61
19.10.1989	6,60	25.10.2003	6,86
01.02.1990	6,80	02.05.2004	6,61
05.04.1990	6,73	24.05.2004	6,32
22.10.1990	7,25	13.11.2005	6,78
17.07.1991	6,80	01.11.2006	6,53
04.11.1991	7,00	31.05.2007	6,16
29.10.1992	6,40	28.09.2007	6,54
02.11.1993	5,80	13.05.2008	6,03
sept. 1994	6,00	01.11.2008	6,52
14.10.1994	6,80	24.05.2009	6,43
juni 1995	6,22	09.05.2010	6,47
september 1995	6,21	28.08.2010	6,66
juni 1996	5,95	08.11.2010	6,71
september 1996	6,13		
08.10.1996	6,30		

NINA Rapport 617

ISSN:1504-3312

ISBN: 978-82-426-2195-5



Norsk institutt for naturforskning

NINA hovedkontor

Postadresse: 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, 7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

Organisasjonsnummer: NO 950 037 687 MVA

www.nina.no