

858

NINA Rapport

## Utviklingen i krepsdyrsamfunnet og abborbestanden i Brønntjern, Enningdalsvassdraget, etter avsluttet kalking

Trygve Hesthagen  
Bjørn Walseng  
Leif Roger Karlsen



## **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.

# Utviklingen i krepsdyrsamfunnet og abborbestanden i Brønntjern, Enning- dalsvassdraget, etter avsluttet kalking

Trygve Hesthagen  
Bjørn Walseng  
Leif Roger Karlsen

Hesthagen, T., Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2014. Utviklingen i krepsdyrsamfunnet og abborbestanden i Brønntjern, Enningdalsvassdraget, etter avsluttet kalking. NINA Rapport 858. 39 s.

Trondheim november 2014

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2453-6

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Trygve Hesthagen & Bjørn Walseng

KVALITETSSIKRET AV

Odd Terje Sandlund

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef: Kjetil Hindar

OPPDRAAGSGIVER

Fylkesmannen i Østfold, Miljøvernavdelingen

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Håvard Hornnæs

FORSIDEBILDE.

Brønntjern. Foto. Leif Roger Karlsen

NØKKEWORD

Enningdalsvassdraget - forsuring - vannkvalitet, avsluttet kalking, fisk (abbor), krepsdyr

KEY WORDS

Enningdal watershed - acidification – water quality – cease of liming – fish (perch) - crustaceans

#### KONTAKTOPPLYSNINGER

##### **NINA hovedkontor**

Postboks 5685 Sluppen  
7485 Trondheim  
Telefon: 73 80 14 00

##### **NINA Oslo**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon: 73 80 14 00

##### **NINA Tromsø**

Framsenteret  
9296 Tromsø  
Telefon: 77 75 04 00

##### **NINA Lillehammer**

Fakkeltgården  
2624 Lillehammer  
Telefon: 73 80 14 00

[www.nina.no](http://www.nina.no)

## Sammendrag

Hesthagen, T., Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2014. Utviklingen i krepsdyrsamfunnet og abborbestanden i Brønntjern, Enningdalsvassdraget, etter avsluttet kalking. NINA Rapport 858. 39 s.

Denne rapporten omhandler vannkvalitet, krepsdyr og fisk i Brønntjern, Enningdalsvassdraget, før og etter avsluttet kalking. Innsamlingen av krepsdyr ble foretatt med håvtrekk i 2004 og 2011-2014, både i litoralsonen og i de frie vannmassene. Prøvefiske ble gjennomført med bunngarn av typen Nordisk oversiktsgarn i 2004, 2007 og 2009-2012. Det ble fisket på 0-3 og 3-6 m dyp på to stasjoner. I Enningdalsvassdraget har mange av innsjøene vært sterkt forsuret gjennom lenger tid, spesielt de som er lokalisert over marin grense i nordlige deler av vassdraget. Det gjaldt også Brønntjern som ligger 20 m under marin grense (174 m o.h.). Den første vannkjemiske målingen fra Brønntjern er fra 1950, og viste pH 6,2. I løpet av de neste tiårene skjedde det en klar forsurening, med pH 5,4 i 1986 og 4,7 i 1990. Alkalitetsnivået i de to årene var lavt, med 1-4  $\mu\text{ekv/L}$ . Innholdet av kalsium var i 1990 på 1,67 mg/L. Kalkingen av Brønntjern ble satt i gang høsten 1990, med rekalking i 1993, 1997 og hvert år i perioden 1999-2005. Det ble fra og med 1997 benyttet 1,5-1,6 tonn fint kalksteinsmel ved hver dosering. Brønntjern har bestander av abbor, gjedde og ål. Før kalking ble det registrert en bestandsreduksjon hos gjedde, men ikke hos abbor. Mulige endringer i status hos ål før kalkstart er ikke kjent.

Kalkingen av Brønntjern resulterte i hovedsak i en god vannkvalitet, med pH rundt 6,0-6,5. Det ble imidlertid registrert noen episoder med reforsuring, som 1992 og 1999 med pH 5,4-5,5. Etter kalkslutt var det også en episode med pH-fall, til 5,29 sommeren 2007. Etter 2009 har imidlertid pH holdt seg relativt stabil, med verdier på 5,72-5,98. Reduksjonen i sulfat i nedbøren har følgelig gradvis gitt Brønntjern en bedre vannkvalitet. I årene 2004-2012 ble det foretatt mer omfattende kjemiske analyser, inkludert giftig labilt aluminium (Al) og syrenøytraliserende kapasitet (ANCoaa). Al ble ikke påvist i Brønntjern i de to siste årene den ble kalket. ANCoaa var også høy med 83-86  $\mu\text{ekv/L}$ . Men etter kalkslutt har noe aluminium løst seg ut. Under reforsuringsepisoden våren 2007 ble det målt 46  $\mu\text{g/L}$  labilt Al, mens andre målinger i seinere år viste 8-17  $\mu\text{g/L}$ . Alkalitetsnivået har holdt seg relativt stabilt og høyt etter kalkslutt, med 34-56  $\mu\text{ekv/L}$ . Det samme gjaldt ANCoaa med 28-42  $\mu\text{ekv/L}$ , bortsett fra 11  $\mu\text{ekv/L}$  under reforsuringsepisoden våren 2007.

Det ble i perioden 2004-2014 registrert til sammen 43 arter krepsdyr; 32 vannlopper og 11 hoppekreps. Til sammenligning er det funnet 82 arter i totalt 78 undersøkte innsjøer i Enningdalsvassdraget. Brønntjern vurderes til å være representativ for et ukalket vann under marin grense med hensyn til diversitet av krepsdyr. Fra de tre årene som Brønntjern ble prøvetatt etter samme design med to besøk i året, ble det funnet respektive 31 arter (2004), 32 arter (2011) og 37 arter (2014). Til tross for at vannkvaliteten etter kalking skulle tilsi at flere forsureningsfølsomme arter kunne ha etablert seg, har dette ikke skjedd. Dette settes i sammenheng med et sterkt predasjonstrykk fra svevemygg og abbor. At *Bosmina longispina* er erstattet av den mindre slektningen *B. longirostris*, bekrefter dette. Både forsureningstolerante og forsureningsfølsomme arter ble funnet i Brønntjern, og gjenspeiles ved at vannet plasserer seg i sentrum av et DCA-plott der alle vannene i Enningdalsvassdraget er med. DCA-plottet indikerer en svak reforsuring etter kalkslutt. Informasjon om krepsdyrsamfunnet fra før kalking mangler, men det er grunn til å tro at forekomst av arter som *Pseudochydorus globosus* og *Pleuroxus laevis* er et resultat av kalking. Vannloppen *Ceriodaphnia quadrangula* var dominerende ved alle besøk mens calanoiden *Eudiaptomus gracilis* og cyclopoiden *Thermocyclops oithonoides* var dominerende hoppekrepsarter. Også i litoralsonen var det vanlige arter for området som var dominante.

Brønntjern har en tett bestand av småfallen abbor med langsom vekst. I første leveår er oppnådd lengde rundt 60-70 mm. I de neste to leveårene er den årlige tilveksten ca. 25-30 mm, mot 8-18 mm for aldersgruppene fra 3+ til 7+. Blant eldre individ skjer det en klar stagnasjon i lengdevæksten, med en *asymptotisk lengde* ( $L_{max}$ ) som varierte mellom 146-177 mm (2007-2011). Få individ blir eldre enn 10 år. Fangstutbyttet har variert betydelig i løpet av forsøkspe-

rioden. Antall individ pr. 100 m<sup>2</sup> garnareal (Cpue) på 0-3 og 3-6 m dyp var i 2004 henholdsvis 101 og 72 individ. I 2007 var fangsten på 0-3 m dyp noe lavere (Cpue=62), men relativt høyt på 3-6 m dyp (Cpue=91). I 2009 var utbyttet betydelig lavere, spesielt på 3-6 m dyp. I 2010 var fangsten på nivå med den i 2004; Cpue=80 på 0-3 m dyp og 106 på 3-6 m dyp. I 2011 var fangsten rekordhøy, med Cpue på 197 (0-3 m dyp) og 59 individ (3-6 m dyp). I 2012 var utbyttet igjen mye lavere, med bare ca. 1/3 av det på 0-3 m dyp i 2011. Abboren i Brønntjern har også vist store variasjoner i alder- og størrelsessammensetning i løpet av undersøkelsesperioden. Dette skyldes i hovedsak varierende rekruttering, med påfølgende sterke og svake årsklasser. Både i 2007 og 2009 var rekrutteringen fraværende eller svært svak. I 2010 hadde derimot gytingen vært vellykket, idet årsyngelen utgjorde hele 47 % av fangsten. Rekrutteringen var også relativt god i 2011, og den sterke 2010-årsklassen viste seg ved et stort innslag ett-åring. I 2011 var antall individ i aldersgruppene 2-4 år svært lavt, noe som gjenspeiler svak rekruttering i de aktuelle årsklassene (2007-2009). Det ble ikke foretatt aldersanalyse av materialet fra 2004 og 2012, men lengdefordelingen viste nærmest fravær av rekrutter i begge år. Prøvefiske gav totalt bare åtte gjedder, med en variasjon i lengde på 34,5-68,5 cm. Utbyttet reflekterer lav fangbarhet på den aktuelle garnserien/typen, og ikke bestandsstørrelsen. Status for ål i Brønntjern er ikke kjent.

Vannkvaliteten i Brønntjern har vært på et tilfredsstillende nivå etter avsluttet kalking, og er trolig nå nær et før-forsuringsnivå. Det er fremdeles litt innhold av labilt Al, men dette vil trolig bli redusert etter hvert som mengden sulfat i nedbøren avtar ytterligere. Kalkingen synes i liten grad å ha endret sammensetningen av krepsdyrsamfunnet, om vi ser bort fra enkelte forsuringfølsomme litorale arter som kan være nye. Ut fra vannkvaliteten før kalking, kan det ha vært en viss bestandsreduksjon hos abbor. Variasjon i rekrutteringen som ble påvist i forsøksperioden skyldes trolig temperatur-regime under klekking, samt konkurranse og predasjons-trykk fra en vekslende bestand av eldre individ. Før kalkstart ble det rapportert om at gjeddebestanden var noe redusert, men den vurderes nå som livskraftig. Utviklingen i mengden ål i seinere år er ikke kjent.

Trygve Hesthagen, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim. Email: [trygve.hesthagen@nina.no](mailto:trygve.hesthagen@nina.no)

Bjørn Walseng, NINA, Gaustadbekkalleen 21, 0349 Oslo. Email: [bjorn.walseng@nina.no](mailto:bjorn.walseng@nina.no).

Leif Roger Karlsen, Fylkesmannen i Østfold, Miljøvern avdelingen, Postboks 325, 1502 Moss. Email: [fmoslrk@fylkesmannen.no](mailto:fmoslrk@fylkesmannen.no)

## Abstract

Hesthagen, T., Walseng, B. & Karlsen, L.R. 2014. The development of crustaceans and perch in a formerly acidified lakes after liming was ceased. - NINA Rapport 858. 39 pp.

In this study we assessed the microcrustacean community and the perch (*Perca fluviatilis*) population in Lake Brønntjern in Enningdal catchment, southeastern Norway, during the period 2004-2014. This lake became highly acidified during the 1970s and 1980s, with pH between 4.7-5.2 and alkalinity at 1-4  $\mu\text{ekv/L}$ . A liming project was initiated in the autumn of 1990, and this mitigation measure continued until 2005. The liming gave generally a good water quality with pH ranging mainly between 6.0 and 7.0. However, a few episodes with pH drop to 5.4-5.5 were recorded. The water quality after liming has mainly been satisfactory, with, pH = 5.72-5.85, labile Al = 9-16  $\mu\text{g/L}$  and acid-neutralizing capacity (ANCoaa) = 44-88  $\mu\text{ekv/L}$ . However, a more marginal water quality was recorded in 2007, with pH = 5.29/5.49, labile Al = 46  $\mu\text{g/L}$  and ANCoaa = 11  $\mu\text{ekv/L}$ .

During the study period, altogether 43 microcrustacean species were found: 32 cladocerans and 11 copepods. In a survey including the whole catchment comprising 78 lakes, 82 species were found. Brønntjern is now considered to be representative for a non-limed lake situated below the marine limit with respect to crustacean diversity. During three years of sampling according to a standard protocol, 31 species (2004), 32 species (2011) and 37 species (2014), were identified. Though the water quality after liming should facilitate colonization by acid sensitive species, this has not happened. This may be due to strong predation pressure from both fish (perch) and *Chaoborus*. This is confirmed by the fact that *Bosmina longispina* is replaced by the smaller relative, *B. longirostris*. Both acid sensitive and acid tolerant species were found in Lake Brønntjern, and this is reflected by a DCA plot of all 78 lakes from the Enningdal catchment where this lake is found in the center of the figure. The placing of three species lists from Lake Brønntjern (from the years 2004, 2011 and 2014) indicates a slight reacidification of the lake. Information about species found before liming is missing, but it is likely that species like *Pseudochydorus globosus* and *Pleuroxus laevis* are new to the lake as a result of liming. In the open waters, the cladoceran *Ceriodaphnia quadrangula* and the copepods *Eudiaptomus gracilis* and *Thermocyclops oithonoides* were always dominating. Also in the littoral zone, common species for the area were dominating.

Assessment by means of Nordic gill nets revealed that Lake Brønntjern sustains a dense population of perch. However, large annual variation in both recruitment and abundance (Cpue) was found. This variation cannot be related to critical water quality such as pH and labile Al, but rather to variation in abiotic factors, i.e. water temperature, and to biotic factors such as competition and predation. The perch population in Brønntjern is highly stunted with  $L_{\text{max}}$  of 146-177 mm. Lake Brønntjern also sustains populations of pike (*Esox lucius*) and eel (*Anguilla anguilla*). However, their abundance cannot be assessed by our gill net surveys. The population of pike had suffered a reduction in abundance prior to liming, but is now reported as healthy. The present status of eel is not known. However, their abundance has probably decreased in recent years, similar to that found in other Norwegian river systems.

In recent years there has been a major reduction in the content of sulphate in precipitation in southern Norway. This development is expected to continue. We therefore conclude that the biological status of Lake Brønntjern will improve further in the next years to come.

Trygve Hesthagen, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim. Email: [trygve.hesthagen@nina.no](mailto:trygve.hesthagen@nina.no)

Bjørn Walseng, NINA, Gaustadbekkalleen 21, 0349 Oslo. Email: [bjorn.walseng@nina.no](mailto:bjorn.walseng@nina.no).

Leif Roger Karlsen, Fylkesmannen i Østfold, Miljøvern avdelingen, Postboks 325, 1502 Moss. Email: [fmoslrk@fylkesmannen.no](mailto:fmoslrk@fylkesmannen.no)

# Innhold

<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>5</b>
<b>Innhold .....</b>	<b>6</b>
<b>Forord .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Innledning.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Områdebeskrivelse .....</b>	<b>9</b>
2.1 Nedbørfelt .....	9
2.2 Kalking .....	11
2.3 Fisk .....	11
<b>3 Materiale og metoder .....</b>	<b>13</b>
3.1 Vannkjemi .....	13
3.2 Krepsdyr.....	13
<b>4 Resultater .....</b>	<b>16</b>
4.1 Vannkvalitet .....	16
4.2 Krepsdyr.....	19
4.2.1 Registrerte arter .....	19
4.2.2 Planktonsamfunnet .....	21
4.2.3 Arter i litoralsonen .....	25
4.2.4 DCA-analyse .....	29
4.3 Fisk .....	30
4.3.1 Fangstutbytte .....	30
4.3.2 Alder og bestandsstruktur hos abbor.....	31
4.3.3 Vekst hos abbor .....	32
<b>5 Oppsummering og konklusjon .....</b>	<b>34</b>
<b>6 Referanser.....</b>	<b>36</b>



## Forord

Denne rapporten presenterer en sammenstilling av data om krepsdyr og fisk i Brønntjern i Enningdalsvassdraget. Kalkingen ble satt i gang i 1990 og avsluttet høsten i 2005. Materialet er samlet inn i perioden 2004-2014. Oppstarten av prosjektet ble finansiert av Direktoratet for naturforvaltning, nå Miljødirektoratet. Sammenstillingen av resultatene i denne rapporten er gjort med støtte fra Fylkesmannen i Østfold. De har også finansiert prøvefiske i perioden 2007-2012. Leidulf Fløystad (NINA) har aldersbestemt fisken, mens Ola Ugedal (NINA) har foretatt beregningene av konstantene i von Bertalanffy's vekstfunksjon.

Trondheim/Oslo/Moss November 2014

Trygve Hesthagen, Bjørn Walseng & Leif Roger Karlsen

# 1 Innledning

Sur nedbør har forårsaket store skader på det biologiske mangfoldet i Sør-Norge, som krepsdyr, bunnfauna og fisk (Kroglund m.fl. 1994, Fjellheim & Raddum 1992, Hesthagen m.fl. 1999). Det er i hovedsak de sørligste deler av landet at skadene har vært størst. Men også enkelte områder av Øst-Norge har vært hardt rammet, slik som Enningdalsvassdraget i sørøstlige deler av Østfold (Hesthagen m.fl. 2007). Lokalteter over marin grense har vært sterkt rammet av sur nedbør allerede tidlig på 1900-tallet, med betydelige skader på bunndyr, krepsdyr og fisk (Borgstrøm m.fl. 1974, Sevaldrud & Muniz 1979, Raddum m.fl. 1984, Walseng & Hansen 1994, Walseng & Karlsen 1997). I et forsøk på å bøte på skadene har flere innsjøer i vassdraget blitt kalket.

Det har vist seg at planktoniske og litorale krepsdyr er egnet for overvåking av miljøtilstanden i innsjøer (Schartau m.fl. 1997, Schartau m.fl. 2000). Enkelte arter vurderes som survannsindikatorer, dvs. at de forekommer hyppigst i lokaliteter med surt vann. Andre arter er karakterisert som forsuringfølsomme, dvs. at de har gått tapt i sure innsjøer. Krepsdyrene har stor evne til rekolonisering, og man kan derfor forvente en rask respons på eventuelle vannkjemiske endringer. Det viste seg at reetableringen av forsuringfølsomme krepsdyrarter i de to kalkede vannene Nordre og Søndre Boksjø i Enningdalsvassdraget skjedde raskere og med flere arter involvert enn hva som har vært tilfelle andre steder i Norge (Walseng & Hesthagen 2012).

I 2001 ble det satt i gang et større ferskvannsbilologisk prosjekt i Enningdalsvassdraget (Hesthagen m.fl. 2002, 2007). Fram til 2009 ble alle innsjøer over ca. 1,2 hektar på norsk side av vassdraget, totalt 60 stykk, prøvefisket og prøvetatt mht. planktoniske og litorale krepsdyr (Walseng & Hesthagen 2012). Innsjøer i dette vassdraget omfatter både sterkt sure innsjøer over marin grense, svakt sure referanselokaliteter under marin grense og kalkede innsjøer. En av målsetningene med dette prosjektet var å sammenlikne krepsdyr- og fiskesamfunnene langs en vannkjemisk gradient, med fokus på i hvilke grad ulike arter i de to organismegruppene utviklet og reetablerte seg etter kalking. Det har også vært gjennomført et Interreg prosjekt i Enningdalsvassdraget (Walseng m.fl. 2011, Andersson m.fl. 2012, Johansson & Hesthagen 2012).

Siden 1980-tallet har det blitt brukt betydelige midler på kalking av vann og vassdrag i Sør-Norge (Sandøy & Romundstad 1995). Fra 1980 har det imidlertid vært en nedgang i årsmiddelskonsentrasjonene av sulfat i nedbør på 76-94 % på fastlands-Norge (Aas m.fl. 2014). Reduksjonen av svoveldioksid fra samme periode er beregnet til 93-96 %, og for sulfat i luft mellom 80-85 % (Aas m.fl. 2014). Tilsvarende reduksjon med 1990 som referanseår er 43-68 % for sulfat i nedbør, 60-85 % for svoveldioksid og 50-68 % for sulfat i luft. Dette har resultert i en betydelig bedre vannkvalitet i elver og innsjøer, i form av økt pH, mindre uorganisk giftig aluminium og høyere syrenøytraliserende kapasitet (Skjelkvåle m.fl. 2003). Dette har satt fokus på reversibiliteten av forsuring (Wright m.fl. 2005, Hesthagen m.fl. 2011).

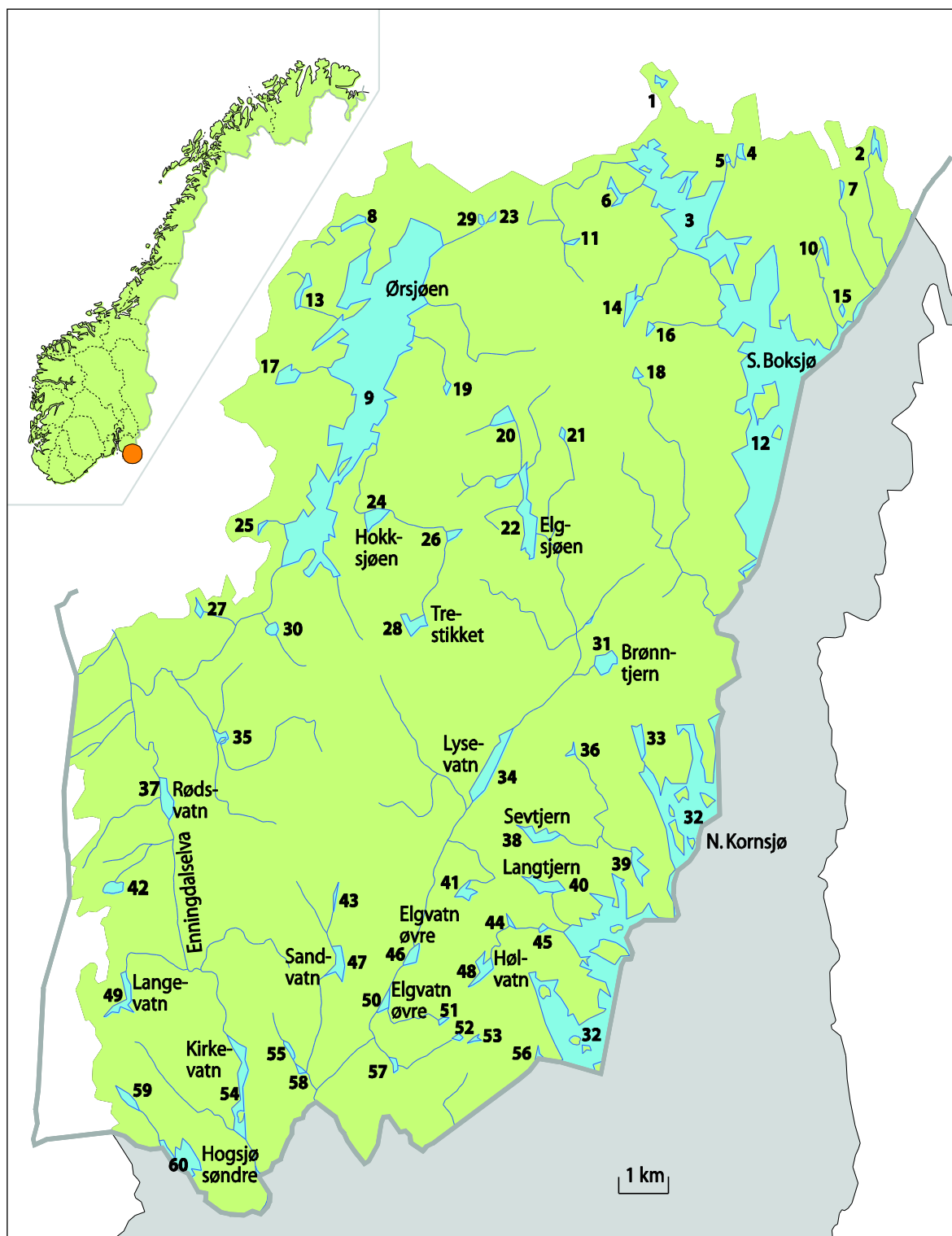
Reduserte utslipp med påfølgende naturlig bedring av vannkvaliteten har ført til en nedtrapping og avsluttet kalking i en rekke lokaliteter. Dette gjelder spesielt i løpet av de siste 10 årene. I Brønntjern i Enningdalsvassdraget ble kalkingen avsluttet høsten 2005. Det foreligger data om fisk (abbor) og krepsdyr både før og etter at kalkingen ble avsluttet. Hensikten med denne rapporten er å beskrive utviklingen hos krepsdyr og fisk i innsjøen i denne perioden.

## 2 Områdebeskrivelse

### 2.1 Nedbørfelt

Brønntjern ligger i Eljagreinen av Enningdalsvassdraget i Halden kommune, vest for Bokerød, dvs. nordvest for Nordre Boksjø (**figur 1**). Innsjøen drenerer sørover, bl.a. til Lysevatn og Elgvatna (**figur 1**). Den ligger 154 m o.h., dvs. ca. 20 m under marin grense, har et areal på 0,1375 km<sup>2</sup>, og en omkrets på 1,74981 km. Vannet er omkranset av blandingsskog, med gran, furu og bjørk. Berggrunnen består hovedsakelig av sure bergarter. Brønntjern er ikke regulert, men noen år før 1950 ble det demt opp om våren ved at det ble oppsatt noe spon på utløpet (Vasshaug 1990). Vatnet lar seg lett demme opp ca. 0,5 m uten at skadene ble vurdert som særlig store. Både inn- og utløpsløpsbekken er små og bunnfryser om vinteren (Vasshaug 1990). Tjernet står i kontakt med Eljavassdraget, trolig uten sperrefosser. Her forekommer det aure, men den fins ikke i Brønntjern (Steinar Stegerød, pers. medd.).

Brønntjern er en svært grunn innsjø med et maks dyp på ca. 5,0 m. På sommerstid er store deler av innsjøen dekt av vannliljer. Allerede i 1950 var det et nokså framtrædende vegetasjonsbelte i vannet, med takrør, snelle, krypsiv, en del lobelia og vassgro (Vasshaug 1990). Brønntjern er i betydelig grad myrpåvirket, som viser seg ved en brunlig vannfarge og et siktedyp på bare 1 m målt i august 2004. Målinger i 2014 viste siktedyp på 1,6-2,1 m (s. 18). På 1950-tallet utgjorde dyrket mark som grenset opp mot innsjøen ca. 25 % av strandlinjen (Vasshaug 1990). I dag er det fremdeles noe jordbruk rundt innsjøen, med vekselbruk gras og korn. Avrenningen i dag vurderes som liten i forhold til for 10-15 år siden (Steinar Stegerød, pers. medd.). Det er to hytter i nærheten av vatnet som ble satt opp på 1950/60-tallet, samt ett bolig-hus.



**Figur 1.** Geografisk lokalisering av Brønntjern lokalisert i østlige deler av Enningdalsvassdraget, her angitt ved nr. 31. På norsk side av vassdraget er det 60 innsjøer med en størrelse over ca. 1,2 ha (1-60). Brønntjern har vassdragsnummer 001.1A4C (NVE nummer 3004).



*Brønntjern sett mot sør. Foto: Leif Roger Karlsen*

## 2.2 Kalking

Innsjøer på norsk side av Enningdalsvassdraget har vært kalket siden tidlig 1970-tall. Nordre Hoggsjø ble kalket første gang i 1972, basert på jordbrukskalk. Pr. 2008 var 25 vann i vassdraget enten kalket eller påvirket av kalking. Disse lokalitetene utgjør hele 92 % av innsjøarealet. Brønntjern ble kalket første gang høsten 1990, med totalt 16,2 tonn kalk. Videre ble det kalket med 10,0 tonn i 1993, 1,6 tonn i 1997 og 1999, og 1,5 tonn hvert år fra 2000 til 2005. Totalt ble det i perioden 1990-2005 spredt 38,4 tonn kalk. Det har vært benyttet fint kalkstein-smel av typen SR. Det første året ble kalken spredt fra en pram, og seinere med helikopter.

## 2.3 Fisk

Brønntjern har bestander av abbor, gjedde og ål. Det ble ikke observert noen reduksjon i abborbestanden før kalking. Den har alltid vært dominert av mye småfallen fisk (Steinar Stegerød, pers. medd.). Men fisken synes jamn over å være noe større i dag enn f. eks. på 1970-tallet. Beskatningen av abbor har alltid vært svært liten, kun begrenset litt stangfiske. Men for 3-4 år siden var det en person som fisket med mæl (ruse), og fikk gode fangster. Gjedefebestanden antas å ha blitt redusert før kalkingen i 1990 (Steinar Stegerød, pers. medd.). Seinere har bestanden økt noe, og blir nå vurdert som middels stor. Gjedefebestanden vurderes likevel ikke som spesielt stor. Oppdemmingen av Brønntjern noen år før 1950 resulterte i at gjedda ble satt ut av spill for lange tider (Vasshaug 1990). Dette skyldtes trolig at rekrutteringen ble negativt påvirket. Det har alltid vært relativt bra med ål i Brønntjern, og opp gjennom årene har det vært fisket en del med ståsnøre og mark. Bestandsstatus for ål pr. 2014 er ukjent.



I 1967 ble det satt ut 300 større settefisk i Brønntjern, med en størrelse på ca. 15 cm. Dette var enten aure eller regnbueaure som ble kjøpt i Sverige (Steinar Stegerød, pers. medd.). Samtidig ble det satt i gang en relativt omfattende utfisking av gjedde med garn. Trolig ble det satt i gang allerede i 1966, og strekte seg over 2-3 år. Det ble imidlertid ikke gjenfanget særlig mange av den utsatte fisken. I 1967 ble det også satt ut 5000 aureyngel i større dam som ble anlagt i utløpselva, ca. 100 meter fra vatnet. Trolig ble det satt ut yngel også i 1968 og 1969. Denne fisken kunne vandre opp i Brønntjern. Den ble føret ved å legge rister med fôr over bekken. Men en flom i 1969 ødela dammen, og yngelen forsvant nedover vassdraget.



*Den vestlige bredden av Brønntjern. Foto: Bjørn Walseng.*



*Store deler av Brønntjern er på sommertid dekt av vannliljer. Foto: Bjørn Walseng.*

## 3 Materiale og metoder

### 3.1 Vannkjemi

Det har vært tatt vannprøver fra Brønntjern i en årrekke for å dokumentere effekten av kalkingen. Siden 2004 har prøvene blitt analysert for full ionebalanse for beregning av syrenøytraliserende kapasitet (ANC), definert som summen av basekationer [BC]: ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) minus summen av sterksyre anioner [SAA]: ( $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$ ). Det er foreslått en modifisert ANC beregning hvor organiske syrer som permanent opptre som anioner i pH-området for naturlig vann ( $\text{pH} > 4,5$ ), inngår sammen med de uorganiske sterksyreanionene. Den blir angitt som ANCoaa (Lydersen m.fl. 2004a, b). Parameteren blir beregnet på basis av to konstanter og innholdet av TOC (total organic carbon, mg C/L):  $[\text{BC}] - ([\text{SAA}] + (\frac{1}{3} * 10,2 * \text{TOC}))$ . For 2004 og 2012 foreligger det ikke målinger av TOC. For disse to årene ble TOC beregnet på basis av Fargetall (Pt/L) mot TOC basert på et vannkemisk datasett fra Enningdalsvassdraget som ble samlet inn i perioden 2004-2009. Det foreligger parallelle målinger av Farge-tall og TOC for 27 innsjøer. Forholdet mellom de to parametrene ble beskrevet ved følgende likning:

$$\text{TOC} = 0,084 * \text{Fargetall} + 3,520 \quad (F_{1,26} = 265,4, R^2_{\text{ad}} = 0,91, P < 0,0001)$$

Ulike Al-fraksjoner ble også analysert, inkludert den uorganiske og giftige fraksjonen (labilt Al). Vannprøvene ble analysert på Analysesenteret, Trondheim kommune.

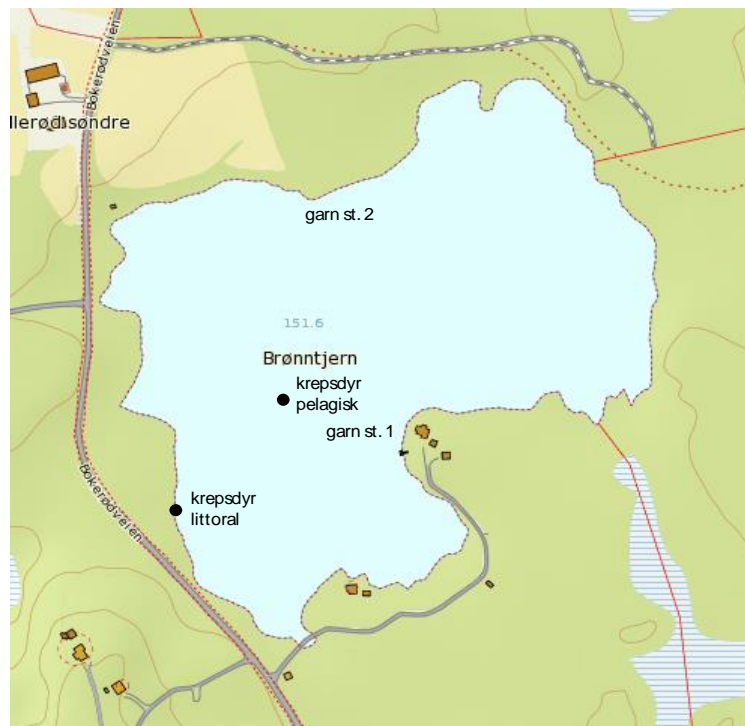
I 2014 ble det også målt temperatur og oksygeninnhold ved begge besøk, respektive 2. juli og 16. august.

### 3.2 Krepssdyr

Til sammen foreligger det prøver av planktoniske og litorale krepssdyr fra åtte besøk i perioden 2004-2014. Fra årene 2004, 2011 og 2014 foreligger prøver fra to besøk, mens det for 2012 og 2013 er tatt prøver ved ett besøk, om forsommeren. Alle prøvene fra forsommeren er tatt ultimo juni/primo juli, mens de andre prøvene er tatt rundt månedsskiftet august/september.

Planktonprøvene ble tatt nær midten av vannet der det på et begrenset område ble loddet et dyp på 5 m (**figur 2**). Det ble benyttet håv med maskevidde 90  $\mu\text{m}$ , diameter 30 cm og dybde 57 cm. I tillegg ble det med samme type håv tatt to kvalitative litoralprøver nær veien i den vestre delen av vannet. Den ene prøven ble tatt i flyteblad/langskuddvegetasjon pluss torvkant, mens den andre prøven er tatt i sump- og kortskuddvegetasjon, samt noe fjell/stein. Disse to habitatene ble valgt med tanke på at de skulle være representative for lokaliteten.

Individuelle krepssdyrprøver ble fraksjonert og minst 200 individer ble artsbestemt. Resten av prøven ble så gjennomgått for eventuelt å finne flere arter. Vannloppene (cladocerene) er bestemt ved hjelp av Smirnov (1971), Flössner (1972) 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). Vi har valgt å ta utgangspunkt i 78 vann fra norsk ( $n=60$ ) og svensk ( $n=18$ ) side av Enningdalsvassdraget. Artslistene fra Brønntjern fra respektive 2011 og 2014, som ble prøvetatt etter samme design som i det store datasettet, er behandlet passivt i ordinasjonen. Det innebærer at de er plassert i plottet der de hører hjemme uten at de bidrar til ordinasjonsresultatet. Data fra 2004 for Brønntjern inngår aktivt i ordinasjonen da vannet var en del av 78-sjøers-prosjektet.



**Figur 2.** Brønntjern med prøvetakingssteder for krepsdyr og fisk.

DCA arrangerer artslistene slik at de med lik artssammensetning blir liggende nær hverandre når resultatet plottes i et aksekors, mens artslistar 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. Pearson korrelasjon (SROC) ble benyttet for korrelasjonsanalyser. Denne gir korrelasjonen mellom variabler uten å ta hensyn til avhengige eller uavhengige variabler.



*Brønntjern sett mot øst. Foto: Bjørn Walseng*



### 3.3 Fiskeundersøkelser

I løpet av perioden 2004-2012 ble det gjennomført prøvafiske med bunngarn av typen Nordisk oversiktsgarn, og totalt seks ganger (**tabell 1**). Det ble etablert to stasjoner; i sørvest og i midtre deler i nord (**figur 2**). Hvert garn er 30 m langt og 1,5 m dypt, og dekker følgelig et areal på 45 m<sup>2</sup> (Appelberg m.fl. 1995). Følgende 12 maskevidder er representert på hvert garn: 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 15.5, 19.5, 24, 29, 35, 43 og 55 mm. Det ble foretatt et standard stratifisert prøvafiske ved at garna ble satt i to dybdeintervaller på hver stasjon: 0-3 m og 3-6 m dyp. Det ble benyttet ekkolodd ved setting av garna i de angitte dybdeintervallene. Fangsttinsatsen følger en standard, avhengig av innsjøenes størrelse og maks dyp. Plasseringen av garna i forhold til strandlinja avhenger av dybdeforholdene. Utbyttet blir angitt som antall individ fanget pr. 100 m<sup>2</sup> garnareal pr. natt (Cpue).

Aldersanalysen hos abbor er basert på otolitter (jf. Kleiven & Linløkken 2009). Veksten hos abbor i Brønntjern blir også vist som asymptotisk lengdevekst, angitt som  $L_{\infty}$  eller  $L_{\max}$  og vekstkoefisient ( $k$ ). Den siste parameteren uttrykker hastigheten som fisken nærmer seg  $L_{\max}$  med. Parametrene i von Bertalanffy's vekstlikning ble beregnet på basis av empirisk lengde ved gitt alder (von Bertalanffy 1938, Allen 1966):

$$L_t = L_{\infty} - (L_{\infty} - L_{t-1}) \cdot e^{-k \cdot L_t}$$

der  $L_t$  er fiskelengde ved alder  $t$ . De ulike parametrene ble beregnet vha. ikke-lineær regresjon.

**Tabell 1.** Antall abbor fanget på 0-3 og 3-6 m dyp på stasjon 1 og 2 i Brønntjern i perioden 2004-2012, og totalt. I 2007 ble bare stasjon 1 prøvafisket.

År	Stasjon 1		Stasjon 2		Antall totalt
Dyp	0-3 m	3-6 m	0-3 m	3-6 m	0-6 m
2004	53	30	38	35	156
2007	28	41	-	-	69
2009	11	3	28	6	48
2010	28	43	44	52	167
2011	88	40	89	13	230
2012	29	18	25	17	89

## 4 Resultater

### 4.1 Vannkvalitet

Den første vannkjemiske målingen i Brønntjern er fra 1950, og viste pH 6,2 (**tabell 2**) (Vasshaug 1990). Målingen ble foretatt med et Beckmann pH-meter (modell G) med batteri og Calomel elektrode mot glasselektrode. Til justering og kontroll ble det brukt to bufferoppløsninger, med pH 5,50 og 7,00. Dette resultatet er derfor ikke direkte sammenlignbart med resultatene fra seinere år, men det vurderes likevel som relativt pålitelig. Fram til kalkstart i 1990 skjedde det en klar forsurening av Brønntjern. Målinger i 1973 og 1986 viste pH på henholdsvis 5,1 og 5,2, og i 1990 var pH 4,7. Alkalitetsnivået var også svært lavt med 1-4  $\mu\text{eq/L}$ . Mengden kalsium ble før kalkstart målt til 1,67 mg/L (sommeren 1990). Etter kalkingen høsten 1990 økte pH til hele 7,11, og med et alkalitets- og kalsiumnivå på henholdsvis 34  $\mu\text{eq/L}$  og 7,13 mg/L. Men seinere inntraff det flere episoder med en viss reforsuring pga. manglende kalking; til pH 5,5 i 1992 og 5,4 i 1999. Etter de årlige kalkingene fra 1999 og fram til 2005, holdt vannkvaliteten seg stabil god med pH i hovedsak over 6,00. Men etter at kalkingen opphørte i 2005, skjedde det en klar reforsuring fram til 2007, da pH var 5,29. I seinere år har reduksjonen av mengden sulfat i nedbøren resultert i en bedret vannkvalitet, og siden 2009 har pH holdt seg stabilt rundt 5,7-6,0 (**tabell 3**).

I perioden 2004-2012 ble det foretatt mer omfattende vannkjemiske analyser av de innsamlede prøvene, inkludert giftig eller labilt aluminium (Ali) og syrenøytraliserende kapasitet (ANC) (**tabell 3**). ANC-beregningene omfatter også modifiserte verdier, ANCoaa, slik at organiske syrer som opptrer permanent som anioner i pH-området for naturlig vann ( $\text{pH} > 4,5$ ), inngår sammen med de uorganiske sterke syrers anioner (jf. Lydersen m.fl. 2004a, b). Alkaliteten har vært relativt høy etter kalking, med 34-56  $\mu\text{eq/L}$ . Labilt Al ble ikke påvist i prøvene fra de siste årene med kalking, dvs. i 2004 og 2005. Men reforsuringen fram til våren 2007 resulterte i mer oppløst aluminium, og konsentrasjonen av Ali økte til 46  $\mu\text{g/L}$ . Seinere har nivået gått kraftig tilbake, til konsentrasjoner på 8-17  $\mu\text{g/L}$ . ANCoaa var på slutten av kalkingsperioden hele 83-86  $\mu\text{eq/L}$ . Også seinere har det vært relativt høyt med 28-44  $\mu\text{eq/L}$ . Ett unntak var under reforsuringen i våren 2007, med ANCoaa=11  $\mu\text{eq/L}$ . ANCoaa-verdiene er for øvrig mye høyere enn ANC-verdiene, noe som viser et betydelig bidrag fra uorganisk sterke syrers anioner. Etter kalking er det målt et TOC innhold på 8,7-29,8 mg/L. Fargetallene har variert en god del, med 52-192 Pt/L (**tabell 2**). Mengden kalsium i Brønntjern synes nå å ha stabilisert seg, trolig rundt nivået før kalkstart, med konsentrasjoner på 1,6-2,0 mg/L (jf. **tabell 2**).

**Tabell 2.** Noen vannkjemiske data fra Brønntjern fra perioden 1950-2012, for pH, alkalitet, kalsium og fargetall. Dataene er hentet fra: 1950 (Vasshaug 1990), 1973-2003 (Fylkesmannen i Østfold), 2005 og 2007 (Hindar & Skancke 2008) og 2004, 2006, 2008 og 2009-2012 (NINA).

År	Dato	pH	Alkalitet (µekv/L)	Kalsium (mg/L)	Farge (Pt/L)
1950	Sommer	6,2			
1973	6.5.	5,1			
1986	8.6.	5,2	4		35
1990	4.7.	4,7	1	1,67	65
1990	1.11.	7,11	34	7,13	52
1991	14.10.	6,9	25	5,45	90
1992	26.10.	5,5	13	3,30	85
1994	1.11.	7,2	48	10,90	110
1995	22.6.	6,33			
1995	8.12.	6,6	27	7,8	98
1996	20.10.	7,1	35	6,4	81
1997	4.11.	7,0	32		73
1998	1.11.	6,1	11	3,0	
1999	12.5.	5,41			
1999	9.6.	5,51			
1999	8.11.	6,7	136	4,5	136
2001	20.5.	6,02	72	1,84	115
2001	10.11.	6,45	108	2,55	129
2002	25.5.	6,27	75	1,98	74
2002	30.5.	6,27	47	1,98	74
2002	3.11.	6,78	150	3,68	85
2003	13.11.	6,68	124	3,32	104
2004	15.8.	6,59	105	2,61	94
2005*	24.8.	5,85	51	2,26	77
2006	18.6.	6,06	78	2,30	
2007*	18.5.	5,29	34	1,73	
2007*	8.11.	5,49	51	2,38	
2008	9.11.	5,44	53	1,80	190
2009	3.11.	5,81	42	1,90	170
2010	27.5.	5,83	51	1,60	118
2010	21.9.	5,73	50	2,00	162
2010	24.10.	5,98	83	2,10	172
2011	21.9.	5,72	56	1,58	192
2012	20.9.	5,85	54	1,63	142

**Tabell 3.** Noen vannkjemiske data fra Brønntjern for årene 2004-2012; pH, alkalitet, TOC, Ali (labilt Al), ANC og ANCoaa. \* Beregnet etter målinger av Farge (Pt/L) (jf. s. 13). - : Data mangler.

Parameter	pH	Alkalitet	TOC	Ali	ANC	ANCoaa
Enhet		µekv/L	mg/L	µg/L	µekv/L	µekv/L
2004	6,59	105	11,4*	0	125	86
2005	5,85	-	5,90	0	103	83
2007	5,29	34	8,7	46	41	11
2007	5,49	51	13,4	17	85	40
2009	5,81	42	16,2	13	83	28
2010	5,73	50	16,4	13	100	44
2011	5,72	56	29,8	8	129	28
2012	5,85	54	15,5*	-	94	42

**Tabell 4.** Vannkjemiske data fra Brønntjern i 2004 sammenlignet med ni ukalkede referanse-vann lokalisert under marin grense som ble prøvetatt i perioden 2002-2007.

	Danmark 2002	Haug.tj 2003	Løksv 2003	Brønntj 2004	Hokksj 2004	Sevtjern 2005	Endetj 2007	Lerbekk 2007	Stenerud 2007	Damtjern 2008
h o.h.	128	132	142	154	148	147	62	141	148	148
Turb.	10,2	3,97	3,4	1,51	2,39		1,92	0,77	1,47	1,40
Farge	128	158	202	94	138	52	99	69	118	105
Kond-25	64,9	33,8	39,7	39,8	35,3	29,2	122,0	36,0	64,0	33,0
pH	5,72	5,8	5,49	6,59	5,22	6,63	6,34	5,14	5,69	4,98
Alk-3	51	45	33	105	11	33	0,273	0,005	0,047	0
Ca	2,44	1,89	1,74	2,61	0,86	1,49	5,1	0,94	2,36	0,74
Mg	1,15	0,73	0,8	0,78	0,58	0,54	1,69	0,61	1,03	0,51
Na	7,99	3,63	5,11	3,60	3,82	3,00	15,8	4,15	7,99	3,37
K	0,88	0,31	0,33	0,50	0,32	0,33	1,15	0,21	1,09	0,20
SSS	495	208	261	236	250	177	520	370	590	
SO <sub>4</sub>	5,48	3,22	2,67	3,12	3,85	1,79	1,92	0,77	1,47	0,87
Cl	13,49	4,97	7,27	6,07	6,02	4,95	22,8	6,87	12,6	5,51
NO <sub>3</sub>	7	1	1	0	0	5	<10	<10	190	27,00
Si	2,53	0,95	0,93	0,45	1,10	0,09	2,8	0,82	1,55	0,74
Al	401	376	462	133	388	92	181	300	422	344
Tm-Al	83	95	142	19	147	4	26	90	85	184
Om-Al	75	85	121	19	109	4	26	77	79	128
Um-Al	8	10	21	0	38	0	0	13	6	56
Pk-Al	318	281	320	114	241	88				
Tot-P	13,17	33,71	11,29	4,15	9,30	6,87	13,6	3,4	13,6	4,1
ANC	92	112	123	127	14	81	421	71	175	54
TOC							10	8,3	11,2	10,9

I forbindelse med undersøkelsen i Enningdalsvassdraget foreligger det også vannkjemiske data fra ni ukalkede vann som ligger under marin grense (**tabell 4**). Brønntjern skiller seg klart ut ved at det har en høy alkalitet sammenlignet med de ukalkede vannene. Ser vi på andre parametere er det stor variasjon mellom vannene. Basert på opplysningene forut for kalking av Brønntjern, synes Hokksjøen, Lerbekktjern og Damtjern (lokalisert ved Lerbekktjern) å være de beste referansene for et eventuelt ukalket Brønntjern. Disse har pH og ledningsevne i samme størrelsesorden. Også med hensyn til tot-P har Lerbekktjern og Damtjern like lave verdier som Brønntjern, Hokktjern har en noe høyere verdi, uvisst av hvilken grunn da innsjøen ikke drenerer arealer med dyrket mark. Dette er heller ikke tilfelle for Damtjern og Lerbekktjern. Høyere tot-P i de øvrige innsjøene har sammenheng med at de drenerer dyrket areal.

Måling av temperatur og oksygeninnhold i 2014, både i begynnelsen av juli og i siste halvdel av august, viste markert oksygensvinn ca. halvveis ned i vannsøylen (**tabell 5**). I juni falt oksygeninnholdet fra 8,30 mg/L ved to meters dyp til 1,46 mg/L på tre meters dyp. Den 16. august gikk sprangsjiktet noe dypere, dvs. vil målte 6,96 mg/L oksygen på tre meters dyp og 0,48 mg/L på 4 meters dyp. Vi kan anta at etter vårsirkulasjonen begynner det ganske snart å danne seg en oksygenfri sone over bunnen. Det er noe merkelig at et så markert og dypt lag med nær oksygenfritt vann etablerer seg i en så åpen, grunn og vindeksponert innsjø. Vannfargen ble ved begge besøk beskrevet som rødbrun, med et noe større siktedyp i juli med 2,1 m, mot 1,6 m i august.

**Tabell 5.** Temperatur (°C) og oksygeninnhold (mg/L) i Brønntjern i juli og august 2014.

	02.07.2014	02.07.2014	16.08.2014	16.08.2014
Dyp (m)	Temp	Oksygen (mg/L)	Temp	Oksygen (mg/L)
0	18,8	9,52	20,5	8,64
1	18,2	9,55	19,4	8,52
2	16,4	8,20	18,4	6,96
3	14,3	1,46	17,2	0,48
4	10,9	0,58	13,1	0,45
5	9,9	0,55		

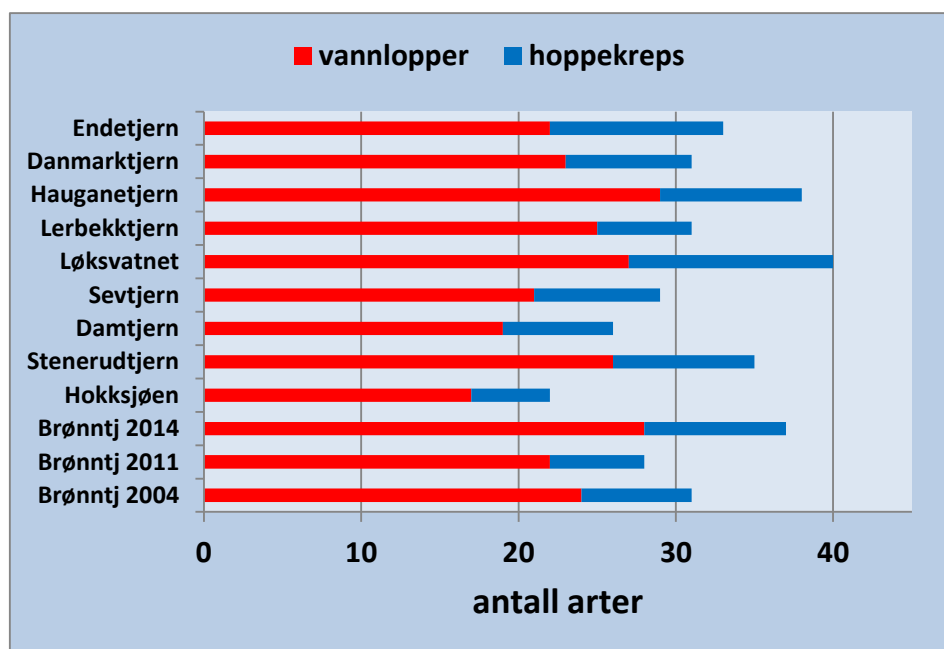
## 4.2 Krepssdyr

### 4.2.1 Registrerte arter

I Brønntjern ble det i perioden 2004-2014 registrert 43 arter av krepssdyr; 32 vannlopper og 11 hoppekreps (**tabell 6**). Antallet registrert ved et enkeltbesøk har variert fra 19 til 33 arter. Fra de tre årene som har vært prøvetatt etter samme design, dvs. ved to besøk, ble det funnet henholdsvis 31 arter (2004), 32 arter (2011) og 37 arter (2014). Til sammen er det registrert totalt 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 (Walseng & Hesthagen 2012).

Det fins ni innsjøer under marin grense in vassdraget som ikke har vært kalket eller påvirket av kalking. Med hensyn til artsantall skiller ikke Brønntjern seg vesentlig ut fra de ikke-kalkede lokalitetene ved et høyere artsantall (**figur 3**). Det ble riktignok registrert 37 arter i 2014, men flere av artene som ble registrert som nye for lokaliteten var kun enkeltindivider av arter som egentlig kan forventes å bli funnet her. Ett unntak er imidlertid *Pleuroxus laevis* som innen Enningdalsvassdraget kun er registrert fra Endetjern (Walseng & Hesthagen 2012). *Pleuroxus laevis* er påvist i 51 lokaliteter eller ca. 2 % av alle undersøkte vannforekomster i Norge. Atten av funnene er gjort i Østfold. Selv om hovedutbredelsen er på sørøstlandet, foreligger det også funn fra Troms i nord og i fra Rogaland i sørøst. Arten er overrepresentert i små og næringsrike vannforekomster. Den er mer sjelden ved pH under 5,5 enn ved pH>5,5.

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).



**Figur 3.** Artsantall av krepssdyr i Brønntjern i 2004, 2011 og 2014 sammenlignet med ni ukalkede referansevann under marin grense som ble prøvetatt i perioden 2002-2007.

**Tabell 6.** Arter av vannlopper og hoppekreps registrert i Brønntjern i perioden 2004-2014.

	jun 2004	aug 2004	jul 2011	sep 2011	jul 2012	jul 2013	jul 2014	aug 2014
<b>Vannlopper</b>								
Diaphanosoma brachyurum (Liév.)T	x	x	x	x	x	x	x	x
Latona setifera (O.F.M.)		x						
Sida crystallina (O.F.M.)	x	x	x	x	x	x	x	x
Holopedium gibberum Zaddach	x	x	x		x	x	x	
Ceriodaphnia megops Sars	x	x	x		x			
Ceriodaphnia pulchella Sars	x	x	x			x		
Ceriodaphnia quadrangula (O.F.M.)	x	x	x	x	x	x	x	x
Scapholeberis mucronata (O.F.M.)	x	x	x		x	x	x	x
Simocephalus vetula (O.F.M.)			x					
Bosmina longirostris (O.F.M.)	x	x	x	x	x	x	x	x
Bosmina longispina Leydig	x	x	x	x	x	x	x	x
Acantholeberis curvirostris (O.F.M.)	x		x		x	x	x	x
Iliocryptus sordidus (Liév.)							x	x
Ophryoxus gracilis Sars	x	x	x	x	x	x	x	x
Streblocerus serricaudatus (Fisch.)			x	x		x	x	x
Acroperus angustatus (Sars)			x	x	x		x	
Acroperus harpae (Baird)	x	x		x	x	x	x	x
Alona affinis (Leydig)	x	x	x	x	x	x	x	x
Alona guttata Sars		x		x	x	x	x	x
Alonella excisa (Fischer)		x	x	x		x	x	x
Alonella exigua (Fischer)		x	x			x		x
Alonella nana (Baird)		x	x	x	x	x	x	x
Alonopsis elongata Sars	x						x	
Chydorus sphaericus (O.F.M.)	x	x	x		x	x	x	x
Disparalona rostrata (Koch)								
Eurycercus lamellatus (A.F.M.)	x	x			x	x	x	x
Graptoleberis testudinaria (Sars)								x
Monospilus dispar								x
Pleuroxus laevis Sars								x
Pleuroxus truncatus (O.F.M.)		x	x	x	x	x	x	x
Pseudochydorus globosus (Baird)							x	
Rhynchotalona falcata Sars	x	x				x	x	
Polyphemus pediculus (Leuck.)	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Hoppekreps</b>								
Eudiaptomus gracilis Sars	x	x	x	x	x	x	x	x
Macrocyclus albidus (Jur.)	x	x	x	x	x	x	x	x
Macrocyclus fuscus (Jur.)					x	x	x	x
Eucyclops denticulatus (A.Graet.)	x	x					x	x
Eucyclops serrulatus (Fisch.)	x	x			x	x	x	x
Eucyclops speratus (Lillj.)		x	x		x	x		
Paracyclops affinis Sars							x	
Ectocyclops phaleratus					x			
Acanthocyclops robustus Sars		x		x	x	x	x	x
Diacyclops nanus (Sars)			x				x	
Thermocyclops oithonoides (Sars)	x	x	x	x	x	x	x	x
tot ant vannlopper	18	22	21	15	19	22	24	23
tot ant hoppekreps	5	7	5	4	8	7	9	7
tot ant krepssdyr	23	29	26	19	27	29	33	30

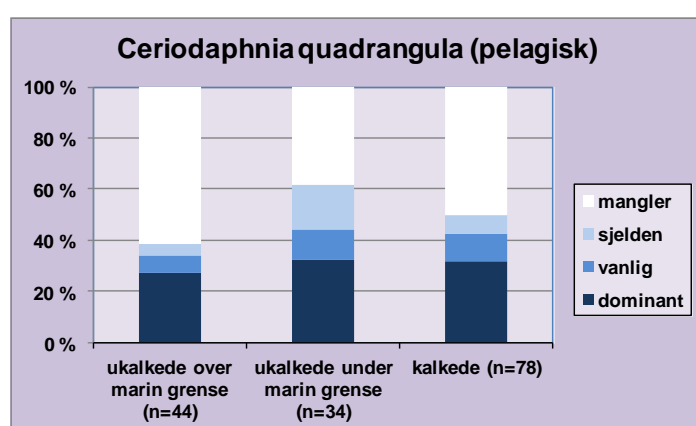
## 4.2.2 Planktonsamfunnet

Vannloppen *Ceriodaphnia quadrangula* (**figur 4**) var dominerende ved alle besøk i Brønntjern (**tabell 6**). Andelen den utgjorde av det totale antall individer varierte mellom 52,4 % i august 2004 til 16,2 % ved det siste besøket i 2014, med et snitt på 34,2 %.

*C. quadrangula* er både registrert som ny art etter kalking (Hörnström m.fl. 1992), og som en art som har økt i antall (Alenäs 1986, Hultberg & Andersson 1982). Tilbakegang er også konstatert (Hörnström m.fl. 1992, Hillbricht-Ilkowska 1977). I Enningdalsvassdraget er høye tettheter registrert i både kalkede og ukalkede lokaliteter. Vanligst er den i ukalkede lokaliteter under marin grense (**figur 4**). Den dominerte også i tre ukalkede referansevann; Hokksjøen (85,9% og 64,2 %), Lerbekktjern (25,7 % og 33,8%) og Damtjern (1,8 % og 29,5 %) (**tabell 7**).

**Tabell 7.** Planktonsamfunnets sammensetning i Brønntjern ved åtte besøk i perioden 2004-2014.

Dato	25.06.2004	31.08.2004	01.07.2011	21.09.2011	14.07.2012	11.07.2013	02.07.2014	16.08.2014
<b>Vannlopper</b>								
Diaphanosoma brachyurum (Lié)	0,4		0,3		2,7	1,8	0,4	0,2
Holopedium gibberum Zaddach	0,2	3,0	9,1		0,4	+	+	
Ceriodaphnia pulchella Sars	0,2							
Ceriodaphnia quadrangula (O.F.M.)	23,4	52,4	21,7	27,2	44,0	44,7	45,0	16,2
Bosmina longirostris (O.F.M.)	2,1	0,9	56,1	16,0	8,1	5,8	6,7	7,4
Bosmina longispina Leydig	0,2	0,4	+	0,4		+	+	+
Polyphemus pediculus (Leuck.)	2,1				0,8		+	
andre arter vannlopper	2,1			0,4	0,8	+	+	+
<b>Hoppekreps</b>								
Eudiaptomus gracilis Sars	25,5	13,0	5,1	24,1	10,0	7,2	6,3	2,6
cal naup	8,9	19,0	0,5	1,2		7,2	7,4	5,6
Thermocyclops oithonoides (Sars)	4,7	3,5	3,7	12,8	10,8	28,1	14,5	3,9
naup	32,3	7,4	3,5	17,9	23,1	5,0	19,6	64,0
andre arter hoppekreps		0,4			+			
tot ant individer	471	231	3741	257	2592	2773	2553	5372
trekk lengde	4	3	4	4	4	4	5	5
ant dyr pr m3	1666	1090	13234	909	9169	9809	7225	15203



**Figur 4.** Forekomsten til *Ceriodaphnia quadrangula* i ukalkede vann over og under marin grense, samt i kalkede vann i Enningdalsvassdraget (sjelden <1%, vanlig 1-10%, dominant >10%).

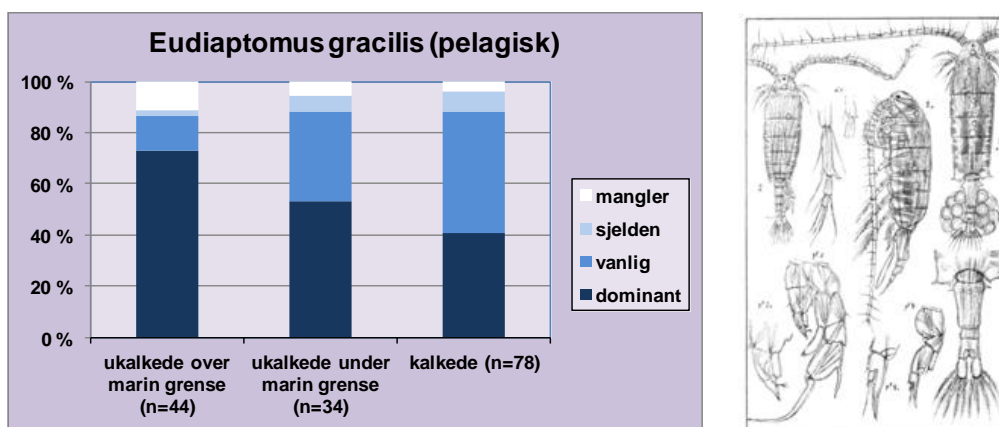
**Tabell 8.** Planktonsamfunnets sammensetning i Brønntjern, og i fire ukalkede lokaliteter under marin grense.

Lokalitet	Brøn.	Brøn.	Hokks.	Hokks.	Sevtj.	Sevtj.	Lerb	Lerb	Damtj	Damtj
Dato	jun	aug	jun	aug	jun	aug	jun	aug	jun	aug
Undersøkelsesår	2004	2004	2004	2004	2005	2005	2007	2007	2008	2008
<b>Cladocera</b>										
D. brachyurum	0,4		+		7,1	8,5	0,5			
H. gibberum	0,2	2,9	1,0	0,8			18,2	8,8	79,2	9,0
C. pulchella	0,2					+				
C. quadrangula	22,4	50,8	85,9	64,2			25,7	33,8	1,8	29,5
D. cristata					20,3	25,6		0,5		
D. longispina					1,9	1,4				
B. longirostris					+	1,0				
B. longispina	2,0	0,8	10,5	0,4			2,8	2,6	1,1	3,8
P. pediculus								2,1		
L. kindti					+	0,3				
andre	2,0		0,1				+	0,1		
<b>Copepoda</b>										
E. gracilis	24,4	12,6	0,7	23,8	37,4	40,9	24,7	14,6	8,6	16,7
H. appendiculata					0,0					
cal naup	8,5	18,5	1,7	10,8	11,6		6,5	4,7	3,6	14,1
C. scutifer									1,1	1,3
M. leuckarti					5,8	0,7	15,9	30,7	0,1	0,1
T. oithonoides	8,9	6,7			+	21,5				
andre		0,4					+			
cycl. naup	30,9	7,1			15,8		5,6	2,1	4,6	20,5
cycklopoditt indet										5,1
antall ind i prøven	492	238	2865	2400	3104	5862	2142	961	1401	1561
antall meter trekk	4	3	5,5	5	3	10	4	4	10,5	10
antall in pr m3	1740,5	1122,6	7370,9	6792	14641	8294,7	606	272	1888	2209

*Bosmina longirostris* dominerte ved begge besøk i 2011, ellers var den sjelden eller vanlig forekommende i planktonet ved de øvrige besøkene. Den er funnet i planktonet i 36 % av de 78 undersøkte innsjøene i Enningdalsvassdraget, og i noen få tilfeller dominerer den helt. Arten er gjennomgående noe mindre enn slektningen *B. longispina*. I Norge har *B. longirostris* en mer begrenset utbredelse enn *B. longispina*, og er funnet i langt færre lokaliteter. Den erstatter *B. longispina* i vann med høyt predasjonstrykk fra fisk og da særlig karpefisk. I næringsrike lokaliteter i Østfold er *B. longirostris* derfor meget vanlig (Walseng 1994). I Enningdalsvassdraget er den ikke blitt registrert i ukalkede vann over marin grense, men er vanlig i både kalkede vann og ukalkede vann under marin grense. Mye tyder på at det er et stort predasjonstrykk i Brønntjern da arten dominerer over *B. longispina* som forekom fåtallig.

Ikke uventet var calanoiden *Eudiaptomus gracilis* (figur 5) dominant i de fleste prøvene fra Brønntjern. Calanoide nauplier kan telles sammen med voksne/copepoditter av *E. gracilis* da de med stor sikkerhet tilhører arten. I planktonprøver fra Enningdalsvassdraget manglet *E. gracilis* kun i fire vann, heriblant to av de sureste vannene på norsk side, Langtjern og Kutjern. Den ble heller ikke funnet i Rødsvatn, som er et gjennomstrømningsvann (kort oppholdstid) med et dårlig utviklet planktonsamfunn. Den fjerde lokaliteten, Endetjern, er liksom Brønntjern en ukalket lokalitet under marin grense, men den er en meget grunn lokalitet som er i ferd med å gro igjen. Med ett unntak dominerte den også i tre andre vann; Hokksjøen (2,4 % og 34,6 %), Lerbekktjern (31,2 % og 19,3 %) og Damtjern (12,2 % og 30,8 %) (tabell 7). Disse kan betegnes som ukalkede referansevann med tanke på hvordan situasjonen i Brønntjern ville ha vært uten kalking.

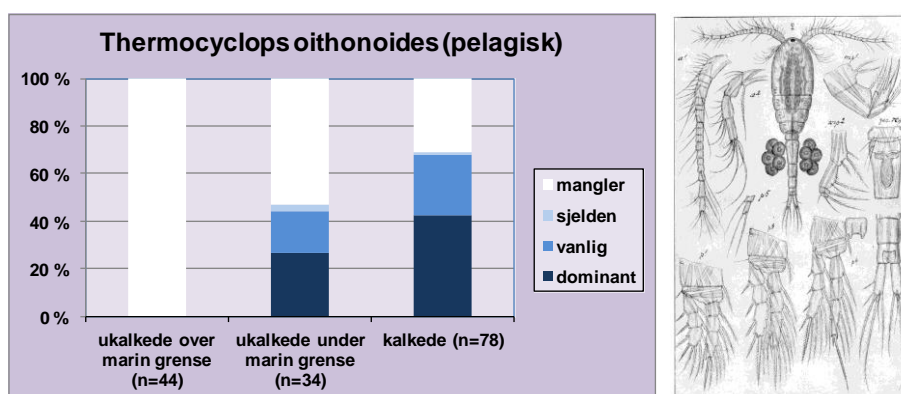




**Figur 5.** Forekomsten til *Eudiaptomus gracilis* i ukalkede vann over og under marin grense, samt i kalkede vann i Enningdalsvassdraget (sjelden < 1 %, vanlig 1-10 %, dominant > 10 %).

*E. gracilis* er vår vanligste calanaoide hoppekreps med hovedutbredelse på Sørlandet og i Sørøst-Norge, med forekomster nord til Elverumstraktene i Hedmark. Den dukker imidlertid opp igjen i de østlige deler av Finnmark der den er funnet både i Tana og Pasvik (Walseng & Halvorsen 1993). I Finnmark er den registrert sammen med slektningen *E. graciloides* har sitt hovedutbredelse i nord, men er også funnet i sørøstlige deler av Norge. Denne arten fins også i flere vann i Østfold der den kan sameksistere med *E. gracilis*. *E. gracilis* er ett av de vanligste krepsdyrene i europeiske innsjøer (Hutchinson 1967). Den har en stor økologisk toleranse og fins i ferskvannslokaliteter med svært forskjellig vannkvalitet (Ponyi 1956). Livssyklus varierer sterkt fra én generasjon til 11 generasjoner pr. år (Zankai 1978, Wærvågen 1985).

Med unntak av det første besøket i 2011 var cyclopoiden *Thermocyclops oithonoides* dominant i alle prøver fra Brønntjern. Alle nauplier antas å tilhøre arten da det ikke er påvist andre cyclopoide hoppekreps i innsjøen. I ukalkede vann over marin grense er arten aldri blitt registrert i Enningdalsvassdraget (**figur 6**). Av figuren framgår det at den ofte er dominant når den først er til stede. *T. oithonoides* fins ofte sammen med *Mesocyclops leuckarti*, og i Enningdalsvassdraget er det registrert sameksistens i 26 vann. I Brønntjern er *M. leuckarti* ikke påvist verken i pelgialen eller i litoralsonen. *T. oithonoides* er assosiert med et sterkt predasjonstrykk, og fravær av andre større cyclopoidearter forsterker dette inntrykket. Som tidligere nevnt erstatter *B. longirostris* slektningen *B. longispina* i Brønntjern, noe som også er tilfelle i vann med tette populasjoner av fisk. Vanligvis er det cyprinide-arter (karpefisk) vi her tenker på, men mye tyder på at tette bestander av abbor i Brønntjern har samme strukturerende effekt.

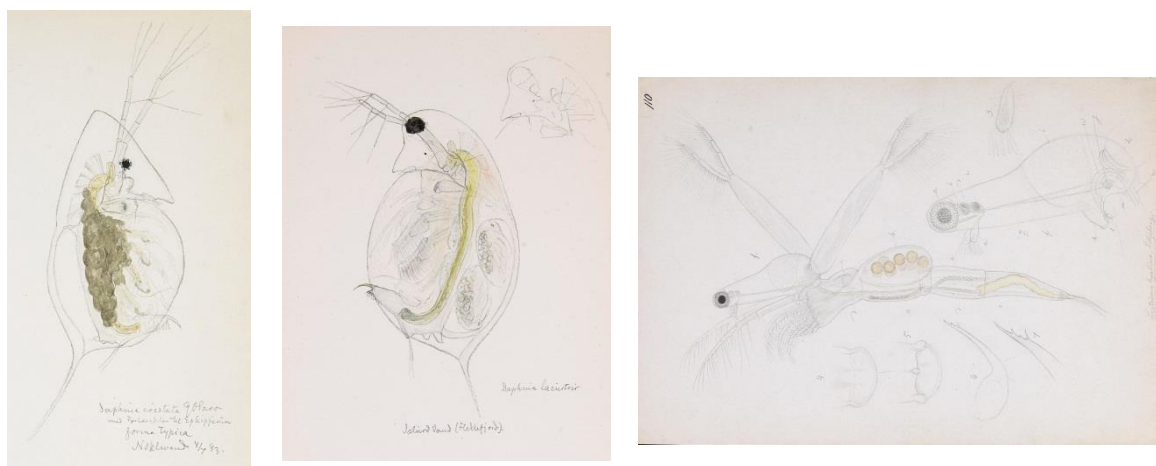


**Figur 6.** Forekomsten til *Thermocyclops oithonoides* i ukalkede vann over og under marin grense, samt i kalkede vann i Enningdalsvassdraget (sjelden < 1 %, vanlig 1-10 %, dominant > 10 %).

Vannloppen *Diaphanosoma brachyurum* forekom aldri i store tettheter i planktonet fra Brønntjern. Den er rapportert å ha blitt funnet i større tettheter etter kalking (Eriksson m.fl. 1983, Eriksson m.fl. 1982). I Gårdsjön i Sverige var dette den av de nye artene som økte raskest i antall etter kalking. Allerede sommeren etter kalking dominerte den i planktonet (Svensson m.fl. 1995). Den er karakterisert som en planktonlittoral art, dvs. at den kan forekomme like hyppig i de frie vannmasser som i strandsonen. Som vi vil se seinere, var det siste tilfelle i Brønntjern.

*Holopedium gibberum* ble stort sett bare funnet fåtallig. Unntak er juli-prøven fra 2011 da den utgjorde 9,1 %. Dette falt sammen med den ene store oppblomstringen av *B. longirostris* som ble registrert i løpet av undersøkelsesperioden. Vanligst er *H. gibberum* i ukalkede lokaliteter under marin grense. Den dominerte også i de tre ukalkede referansevannene; Hokksjøen (85,9% og 64,2 %), Lerbekktjern (25,7 % og 33,8%) og Damtjern (1,8 % og 29,5 %). Arten er ofte funnet å øke i antall etter kalking (Hultberg & Andersson 1982, Hörnström m.fl. 1992, Nilsson & Johansson 1985). I to av ti innsjøer i Midt-Sverige ble den registrert som ny art etter kalking (Hörnström m.fl. 1992). I den samme undersøkelsen ble det i de øvrige innsjøene dokumentert både en tilbakegang og en økning i tetthet. Økt fiskepredasjon, som en indirekte følge av kalking, har resultert i en nedgang i tettheten til *H. gibberum* (Alenäs 1986). Vi skal imidlertid ikke legge alt for mye vekt på andelen arten utgjør av planktonsamfunnet da den på kort tid kan blomstre opp i store antall.

Etter kalking hadde Brønntjern en pH som kan sammenlignes med Sevtjern, i størrelsesorden pH 6. At Sevtjern har en annen vannkvalitet enn de øvrige ukalkede innsjøene under marin grense, reflekteres i planktonsamfunnet. De tre vannloppene *Daphnia cristata*, *D. longispina* og *Leptodora kindti* (figur 7) ble funnet kun her. Det samme var tilfelle med calanoiden *Heterocope appendiculata*. Alle disse fire artene er karakterisert som forsuringfølsomme, og ingen av dem er heller funnet i ukalkede vann over marin grense. Det er rimelig å anta at med en svak reforsuring er det liten grunn til å tro at noen av disse artene vil etablere seg i Brønntjern når det ikke har skjedd i løpet av perioden da vannet har vært kalket. Det er mye som tyder på at predasjon fra en kombinasjon av svevemygg og abbor er styrende faktor med tanke på det observerte krepsdyrsamfunnet i Brønntjern, og i mindre grad vannkvaliteten. Selv om informasjon om krepsdyrsamfunnet fra før kalking mangler, er det grunn til å tro at noen arter er et resultat av kalking. *Pseudochydorus globosus* og *Pleuroxus laevis* er eksempler på dette.



**Figur 7.** Eksempel på forsuringfølsomme arter i Sevtjern som ikke er registrert i Brønntjern; *Daphnia cristata* (til venstre), *D. longispina* (i midten) og *Leptodora kindti* (tegninger G.O. Sars).

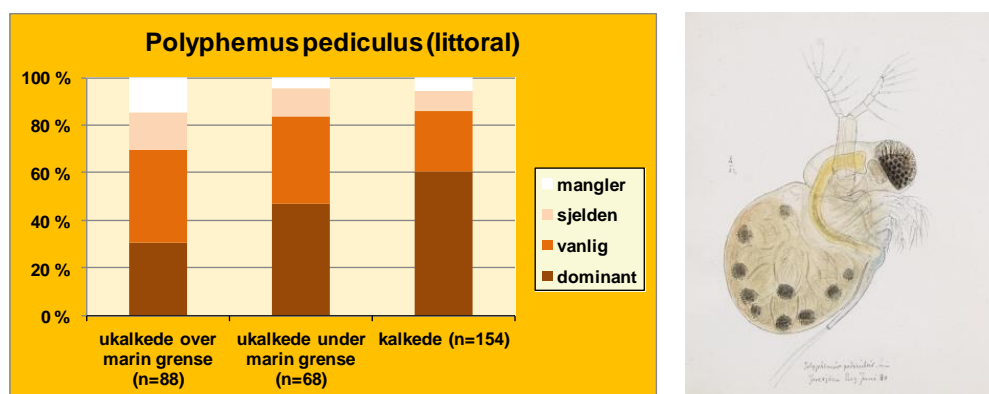
### 4.2.3 Arter i litoralsonen

I hovedsak er det de samme artene som er vanlige i Enningdalsvassdraget, som også dominerer i strandsonen til Brønntjern (**tabell 8**). Unntak er *B. longirostris* som var vanlig eller dominant art ved alle besøk i Brønntjern. I undersøkelsen som omfatter 78 lokaliteter i vassdraget (Walseng & Hesthagen 2012), var det slektningen *B. longispina* som var dominerende art i strandsonen. Et sterkt predasjonstrykk fra både en tett abborbestand og fra svevemygg, kan være en sannsynlig forklaring. På forsommeren i 2004, 2011 og 2014 var det dominans av *B. longirostris*.

Vannloppen *Ceriodaphnia quadrangula* var dominant ved hele fem av åtte besøk i Brønntjern. Samme art dominerte også i planktonet. Liksom *D. brachyurum* er den beskrevet som en planktonlitoral form. Interessant er det imidlertid at i 2004 var også slektningen *C. pulchella* dominant i høstprøven, mens den var vanlig på forsommeren, det vil si at de to artene sameksisterte. I tillegg forekom en tredje *Ceriodaphnia*-art, *C. megops*. Mye tyder på at *C. pulchella* og *C. megops* er blitt mer sjeldne etter kalkkutt, og i 2014 ble ingen av artene registrert. Sameksistens av *C. quadrangula* og *C. pulchella* er registrert i 15 lokaliteter i Enningdalsvassdraget, og da hovedsakelig i kalkede vann, aldri de sure. *C. pulchella* er vanligere enn *C. quadrangula* i næringsrike vann med pH>6,0. En tilbakegang av *C. pulchella* kan derfor settes i sammenheng med en svak reforsuring av Brønntjern.

Også *Polyphemus pediculus* var liksom *C. quadrangula* dominant i fem av åtte besøk. I undersøkelsen fra Ennindalsvassdraget (Walseng & Hesthagen 2012) var arten i tillegg til å være funnet i flest prøver, også den som var nest vanligst tallmessig (20,7%). Det var kun *B. longispina* som var tallmessig mer vanlig. Arten er kjent for å kunne blomstre opp i enorme tettheter, og høsten 2004 utgjorde den 70,3 % av individene i den ene litoralprøven fra Brønntjern. Arten er favorisert av kalking og var dominant (>10 %) i 60 % av prøvene fra kalkede vann i motsetning til 30 % i ukalkede vann over marin grense (**figur 8**). I ukalkede vann under marin grense dominerte den i underkant av 50 % av prøvene. *P. pediculus* er en predator-art som har en vid utbredelse i Norge.

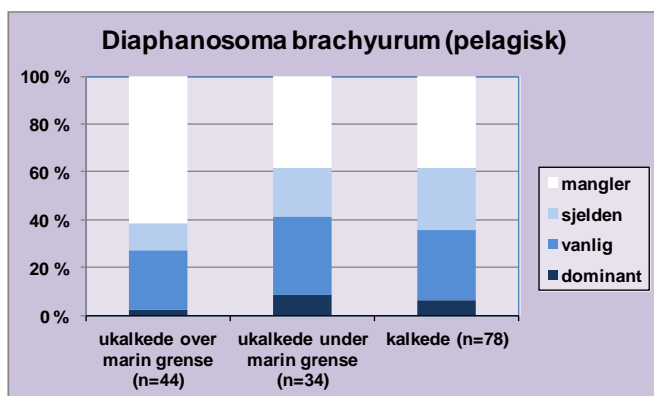
Som nevnt tidligere forekom vannloppen *Diaphnaosoma brachyurum* kun fåtallig planktonet. I planktonprøver fra de 78 undersøkte vannene i Enningdalsvassdraget ble den funnet i ca. 40 % av prøvene fra ukalkede vann over marin grense, mens den forekom i 60 % av prøvene fra både kalkede vann og i fra ukalkede vann under marin grense (**figur 9**). Arten, som er planktonlitoral art, kunne imidlertid dominere i litoralsonen Brønntjern, noe som var tilfelle om forsommeren i årene 2004, 2012 og 2014. Som nevnt tidligere er det registrert en rask økning i antall etter kalking. En viktig grunn til at denne arten øker i antall til tross for at det samme også var tilfelle for predatorer som svevemygg og vannteger, er sannsynligvis dens evne til å unnslippe disse (Drenner & McComas 1980). Dette skulle tilsi at arten også skulle utgjort en større andel av planktonet i Brønntjern. Hvorfor dette ikke er tilfelle, har vi ingen formening om.



**Figur 8.** Forekomsten til *Polyphemus pediculus* i ukalkede vann over og under marin grense, samt i kalkede vann i Enningdalsvassdraget (sjelden <1%, vanlig 1-10%, dominant >10%).

**Tabell 9.** Sammensetning av litorale krepsdyr i Brønntjern ved åtte besøk i perioden 2004-2014 \* < 1% \*\* 1-10% \*\*\* > 10%.

Dato	25.06.2004	31.08.2004	01.07.2011	21.09.2011	14.07.2012	11.07.2013	02.07.2014	16.08.2014
<b>Vannlopper</b>								
Diaphanosoma brachyurum	***	*	**	*	***	*	***	**
Latona setifera		*						
Sida crystallina	*	***	*	***	**	**	*	*
Holopedium gibberum			**					
Ceriodaphnia megops	**	*	*		**			
Ceriodaphnia pulchella	**	***	*			*		
Ceriodaphnia quadrangula	***	***	***	**	**	**	***	***
Scapholeberis mucronata	**	*	*		**	***	**	***
Simoccephalus vetula			*					
Bosmina coregoni								
Bosmina longirostris	***	**	***	**	**	**	***	***
Bosmina longispina	*	*	*		*	**	*	**
Acantholeberis curvirostris	*		*		*	*	**	*
Iliocryptus sordidus							*	*
Ophryoxus gracilis	*	**	*	*	*	**	***	**
Streblocerus serricaudatus			*	**		**	*	*
Acroperus angustatus			*	**	*		*	
Acroperus harpae (Baird)	*	*		**	*	*	*	*
Alona affinis (Leydig)	*	*	**	**	*	**	*	**
Alona guttata				**	*	**	*	**
Alonella excisa		*	*	*		**	**	**
Alonella exigua		*	*			**		*
Alonella nana (Baird)		*	**	***	*	**	*	**
Alonopsis elongata	*						*	
Chydorus sphaericus	*	*	*		*	**	*	**
Eurycercus lamellatus	*	*			*	*	*	*
Graptoleberis testudinaria								*
Monospilus dispar								*
Pleuroxus laevis								*
Pleuroxus trigonellus								*
Pleuroxus truncatus		*	*	***	*	**	*	*
Pseudochydorus globosus							*	
Rhynchotalona falcata	**	**				**	*	
Polyphemus pediculus	***	**	***	***	***	**	**	***
<b>Hoppekreps</b>								
Acanthodiaptomus denticornis								
Eudiaptomus gracilis	*	*	**	**	*		*	*
cal naup			**	*				
Macrocyclus albidus	*	**	**	**	*	**	*	**
Macrocyclus fuscus					*	*	*	*
Eucyclops denticulatus	*	*					*	*
Eucyclops serrulatus	**	*			*	*	*	*
Eucyclops speratus		*	*		*	**		
Paracyclops affinis							*	
Ectocyclops phaleratus					*			
Acanthocyclops robustus		*		**	*	*	*	*
Diacyclops nanus			*				*	
Thermocyclops oithonoides	*	*	**	**	**	*	**	**
naup	**		**	***	*	**	**	*
cyckloditt indet	**		**	**	**	**	**	**
tot ant ind	21332	5275	2274	265	52322	1632	5148	4644
trekkleugde (m)	16	20	20	20	20	20	16	12
ant in pr m3	18865	3732	1609	187	37018	1155	4553	5476

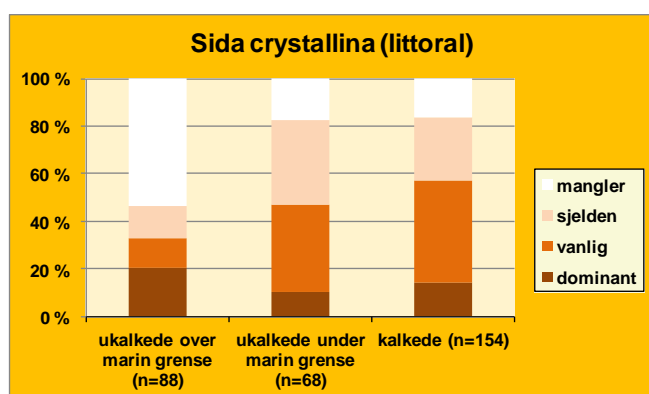


**Figur 9.** Forekomsten av *Diaphanosoma brachyurum* i planktonet i ukalkede vann over og under marin grense, samt i kalkede vann i Enningdalsvassdraget (sjelden <1%, vanlig 1-10%, dominant >10%).

Vannloppen *Sida crystallina* dominerte i høstprøvene fra 2004 og 2011, men har siden kun blitt funnet i mindre antall (vanlig/sjelden). *Sida crystallina* (**figur 10**), eller krystallkreps på norsk, er den største av de litorale krepsdyrene, og også en av de få artene med norsk navn. Hunnen kan bli opp til 4 mm lang, mens hannen er noe mindre (2,2 mm). Den er utbredt over hele landet, men forekommer noe mer spredt i nord enn sør. Den blir ofte funnet i store tettheter under bladene til nøkkerose. I Enningdalsvassdraget ble den funnet mindre hyppig i prøver fra ukalkede lokaliteter over marin grense (ca. 50%), enn de under marin grense og i kalkede lokaliteter (>80 %) (**figur 10**). Når det gjaldt dominans, forekom den derimot oftere i de ukalkede vannene over marin grense enn i de som ligger under denne.

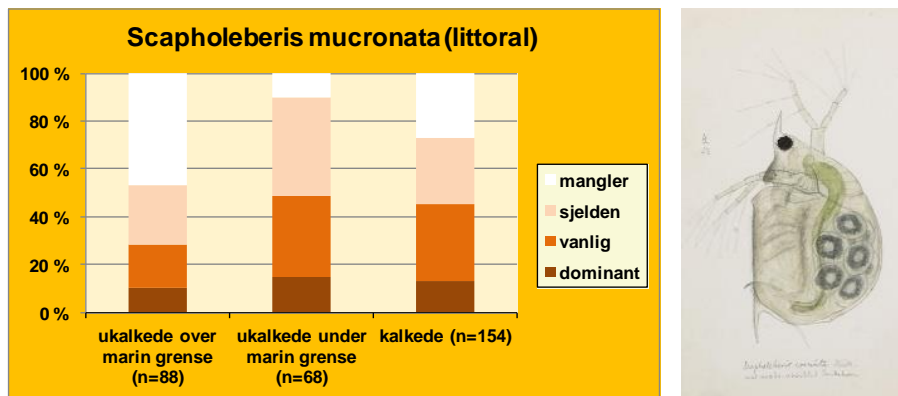
Vannloppen *Scapoleberis mucronata* har vært registrert i Brønntjern siden 2004, men det er kun i de to siste årene at den har vært dominant. Arten er noe vanligere sør i Norge enn i nord, men fins spredt helt opp til Finnmark. Den er tolerant i forhold til pH, men er noe mindre vanlig i de mest elektrolyttfattige lokalitetene. I Enningdalsvassdraget (Walseng & Hesthagen 2012) var den vanligst i vann under marin grense (**figur 11**), men den kunne like gjerne dominere i prøver fra ukalkede lokaliteter over marin grense.

*Ophryoxus gracilis* (**figur 12**) er ofte assosiert med en bedring i vannkvalitet i forbindelse med forsuring. Den er registrert i 45 av 78 undersøkte lokaliteter i Enningdalsvassdraget. Den mangler hovedsakelig i ukalkede vann over marin grense. I Brønntjern er den funnet ved alle besøk, og på forsommeren i 2014 var den dominant, noe som ikke er vanlig for denne arten.



**Figur 10.** Forekomsten til *Sida crystallina* i ukalkede vann over og under marin grense, samt i kalkede vann i Enningdalsvassdraget (sjelden <1%, vanlig 1-10%, dominant >10%).





**Figur 11.** Forekomsten til *Scapholeberis mucronata* i ukalkede vann over og under marin grense, samt i kalkede vann i Enningdalsvassdraget (sjelden <1%, vanlig 1-10%, dominant >10%).

Også vannloppen *Alonella nana* (figur 12) ble med unntak av det første besøket i 2004 alltid registrert i prøvene fra litoralsonen, og var dominant på forsommeren 2011. Den er den minste av våre vannlopper, og voksne individer blir ikke større enn 0,2-0,3 mm. Arten har en vid utbredelse og er funnet i nesten halvparten av alle undersøkte lokaliteter i Norge. I Enningdalsvassdraget forekom den hyppigst i prøver fra ukalkede vann over marin grense (ca. 80 % av prøvene). Her var den også oftest vanlig eller dominant. I Bastelitjern utgjorde den hele 34,5 % i en av prøvene fra juni 2007.

*Pleuroxus truncata* (figur 12) er den siste vannloppen som ble registrert som dominant i en litoralprøve fra Brønntjern (september 2011). Den er den vanligste av seks arter som tilhører denne slekten i Norge. Som nevnt tidligere i rapporten ble også den mer sjeldne slektningen *P. laevis* påvist i Brønntjern. *P. truncata* er lett å kjenne igjen på de karakteristiske taggene bak på kroppsskjoldet. I Enningdalsvassdraget ble den funnet i 52 % av lokalitetene. Den er relativt sjelden i de mest elektrolyttfattige lokalitetene, noe som samsvarer godt med hva vi også fant i Enningdalsvassdraget. Her ble den funnet i 24 % av prøvene fra ukalkede lokalitetene over marin grense, mot >60 % av prøvene fra kalkede og ukalkede lokaliteter under marin grense (Walseng & Hesthagen 2012).

I tillegg til de to planktoniske hoppekrepsene, *E. gracilis* og *T. oithonoides* ble også *M. albidus* funnet i alle litoralprøvene. Også åtte litorale hoppekrepsarter ble påvist i ett eller flere tilfeller. Blant disse finner vi *E. speratus* som er vurdert til å være en pH-følsom art, som er en indikator på bedre vannkvalitet når den forekommer i en tidligere forsuret lokalitet.



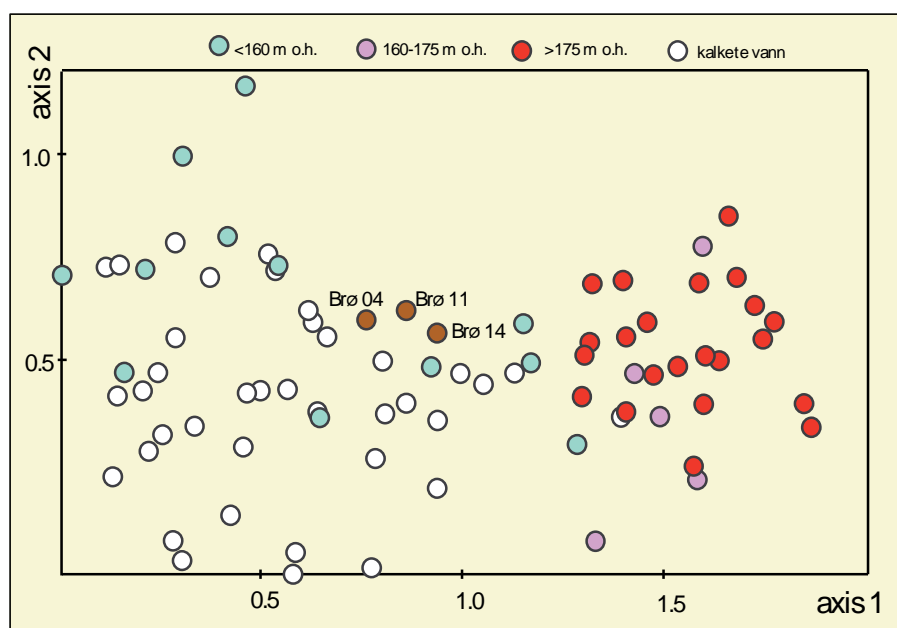
**Figur 12.** Vannloppene *Ophryoxus gracilis* (til venstre), *Alonella nana* (midten) og *Pleuroxus truncata* (Tegninger av G.O. Sars).

#### 4.2.4 DCA-analyse

Artslistene fra de 78 undersøkte innsjøene i Enningdalsvassdraget, inklusive Brønntjern fra 2004, er blitt analysert ved hjelp av DCA-ordinasjon (**figur 13**). Artslistene for Brønntjern fra årene 2012 og 2013 er blitt behandlet passivt i ordinasjonen (jf. metodekapittelet). Korrelasjonen mellom pH og 1-aksen var høyst signifikant ( $r^2=0,77$ ,  $p<0,001$ ). God korrelasjon mellom pH og 1-aksen er ikke uventet da erfaringer fra andre undersøkelser der lokalitetene representerer et spenn med hensyn til pH, er at 1-aksen er sterkt korrelert med pH (Hann & Turner 2000, Schartau m.fl. 2001). Korrelasjonen mellom artsantall og akse-1 var også høyst signifikant ( $r^2=0,77$ ,  $p<0,001$ ). Hvorvidt pH direkte eller indirekte påvirker artsinventaret, tar vi ikke stilling til. Akse 1 forklarer 22,4 % av totalvariasjonen i materialet, mens 2-aksen bidro med ytterligere 6,3 %. Lengden til 1-aksen var 1,8, mens 2-aksen var 1,4 SD-enheter.

Punktene for Brønntjern finner vi sentralt i plottet. En viktig årsak til at lokaliteten ikke ligger lengre mot den nøytrale enden av plottet kan tilskrives fravær av *Daphnia cristata*, som i Enningdalsvassdraget var den tallmessig nest vanligste vannloppen og ble registrert i 45 % av planktonsamfunnene. Den er i mange tilfeller blitt registrert som ny art etter kalking, bl. a. i Stora Härsjön i Sverige (Appelberg 1995). I Enningdalsvassdraget ble *D. cristata* ikke påvist i ukalkede vann over marin grense, mens den under marin grense er registrert i 40 % av prøvene ( $n=34$ ), der høyeste andeler ble registrert i ukalkede vann. I Sevtjern, en ukalket lokalitet som ligger nær Brønntjern og på mange måter er sammenlignbar, utgjorde arten 20,3 % i juni og 25,6 % i august. En mulig forklaring til at *D. cristata* ikke fins i Brønntjern kan være det sterke predasjonstrykket i vannet.

Artslistene fra Brønntjern i 2011 og 2014 legger seg noe nærmere de sure lokalitetene, og kan tolkes å gjenspeile en svak refsoring. Et bidrag til denne endringen er fraværet av *C. pulchella* i 2014. Denne arten er assosiert med lokaliteter i den nøytrale enden av plottet.



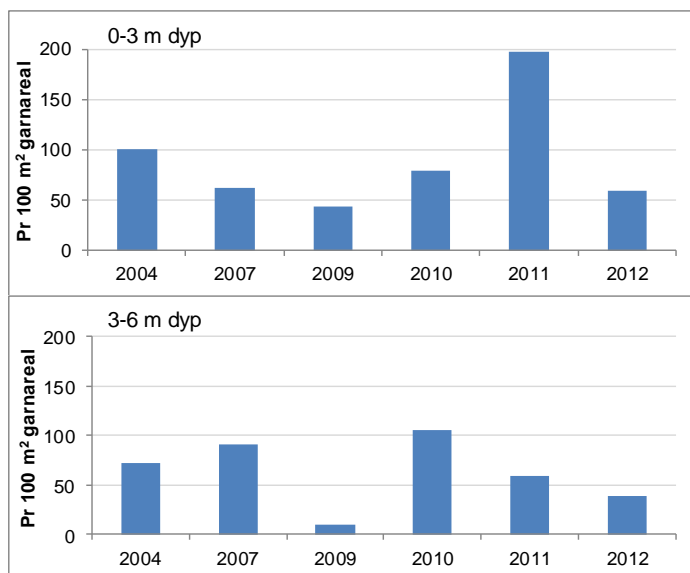
**Figur 13.** DCA-ordinasjon av de 78 undersøkte vannene i Enningdalsvassdraget, sett i forhold til lokalisering i form av høyde over havet (m.o.h.) og kalking. De > 175 m.o.h. er lokalisert over marine grense. tillegg til at Brønntjern inngår i undersøkelsen fra 2004, er artslistene fra innsjøen i 2011 og 2014 behandlet passivt i ordinasjonen og vist med fylte brune sirkler i figuren.

## 4.3 Fisk

### 4.3.1 Fangstutbytte

Abboren i Brønntjern har vist en betydelig variasjon i fangstutbytte (Cpue) i løpet av forsøksperioden, uttrykt som antall individ pr. 100 m<sup>2</sup> garnareal (Cpue) (**figur 14**). Det har også vært stor variasjon i utbyttet på 0-3 og 3-6 m dyp. I 2004 var Cpue på de to dypene henholdsvis 101 og 72 individ. I 2007 var fangsten noe lavere på 0-3 m dyp (Cpue=62), men høyere på 3-6 m dyp (Cpue=91). I 2009 var fangstene betydelig lavere både på 0-3 m dyp (Cpue=43) og 3-6 m dyp (Cpue=10). I 2010 var det på nivå med 2004 på begge dyp; med Cpue på 0-3 og 3-6 m dyp på henholdsvis 80 og 106 individ. I 2011 var utbyttet rekordhøyt, med Cpue på 0-3 m og 3-6 m dyp på henholdsvis 197 og 59 individ. I 2012 var det imidlertid mye lavere med Cpue på 60 individ på 0-3 m dyp.

Det ble til sammen fanget 8 gjedder under prøvefiske, med en variasjon i lengde på 34,5-68,5 cm (**tabell 10**).



**Figur 14.** Fangstutbytte (Cpue) av abbor i løpet av forsøksperioden 2004-2012, uttrykt som antall individ pr. 100 m<sup>2</sup> garnareal (Cpue).

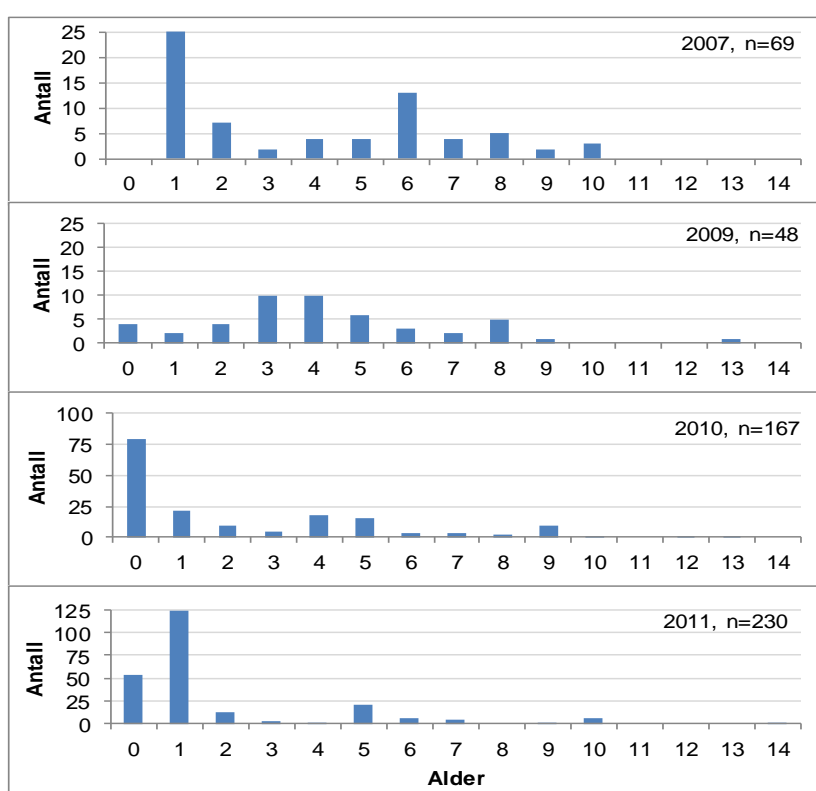
**Tabell 10.** Antall og størrelsen på gjedde som ble fanget under prøvefiske med garn i Brønntjern i perioden 2004-2012.

År	Lengde (cm)	Vekt (gram)
2004	53,0	1489
2004	53,2	1506
2009	42,6	672
2009	65,5	1715
2009	68,5	2025
2011	34,5	229
2011	68,0	-
2012	56,5	275

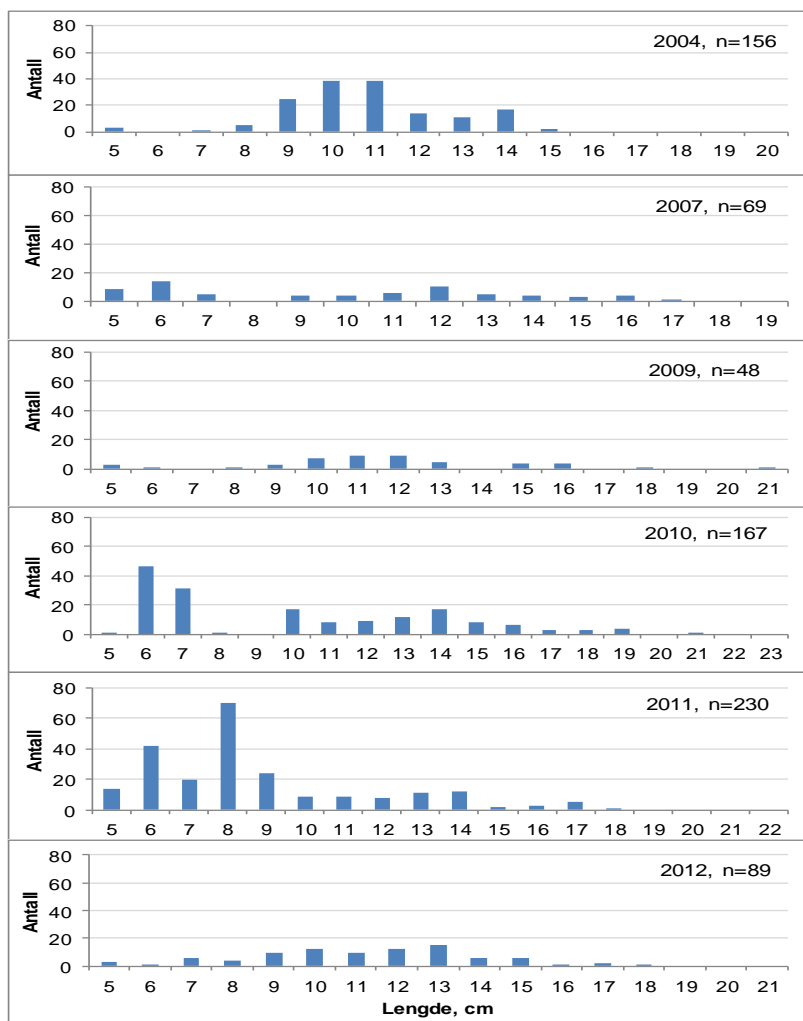


### 4.3.2 Alder og bestandsstruktur hos abbor

Alders – og størrelsessammensetning hos abbor i Brønntjern har variert betydelig i løpet av undersøkelsesperioden (**figur 15 & 16**). Dette skyldes i stor grad svært varierende rekruttering. I 2004 var det nærmest fravær av yngel (basert på lengdefordelingen), og i 2007 ble det overhode ikke påvist yngel. I 2007 ble det derimot påvist en sterk 2006-årsklassen, med et stort innslag av ettåringer (1+). Aldersfordelingen ellers i 2007 viste svært varierende årsklassestyrke, spesielt var 2001-årsklassen relativt sterk (6+). Også i 2009 var rekrutteringen svak, med en fangst på bare 4 yngel. Ut fra antall ettåringer det året, hadde rekrutteringen i 2008 også vært svak. I 2010 hadde derimot gytingen vært svært vellykket, idet yngelen utgjorde hele 47 % av fangsten (n=79). I 2010 var det ellers et relativt lite innslag av eldre individ. Også i 2011 var rekrutteringen god (n=53). Den sterke 2010-årsklassen viste seg nå ved et stort innslag av ett-åringer (n=124). Fangsten ellers det året viste svært få individ i aldersgruppene 2-4 år, noe som gjenspeiler svak rekruttering i årsklassene 2007 til 2009. Det foreligger ikke aldersdata fra materialet innsamlet i 2012, men lengdefordelingen viser nærmest fravær av yngel (**figur 16**). Det eldste individet i bestanden var 13 år, men svært få blir eldre enn 10 år.



**Figur 15.** Aldersfordeling hos abbor fanget ved prøvefiske med garn i Brønntjern i årene 2007-2011. n=antall fisk.



**Figur 16.** Lengdefordeling hos abbor fanget ved prøvefiske med garn i Brønn-tjern i årene 2004-2012. n=antall fisk.

### 4.3.3 Vekst hos abbor

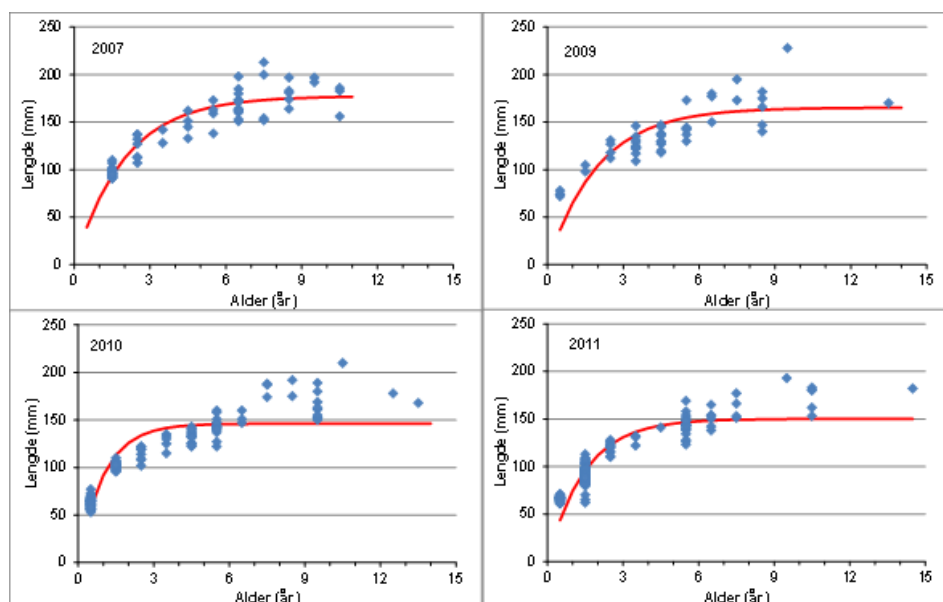
Abborren i Brønn-tjern har en langsom vekst. I første leveår oppnår yngelen vanligvis ei lengde på 60-70 mm, som vist i 2010 og 2011 da det var relativt høye tettheter (**tabell 11**). I 2009, da det nesten ikke fantes yngel (n=4), var gjennomsnittlig lengde 75 mm. I de neste to leveårene var den gjennomsnittlige lengdeøkningen henholdsvis 29 og 25 mm. I aldersgruppene 3+ til 7+ var tilveksten derimot bare 8-18 mm. For eldre fisk stagnerer tilveksten, og individ i aldersgruppene 7+ til 10+ hadde omtrent samme gjennomsnittlige lengde med en variasjon mellom 173-175 mm. Oppnådd vekt i disse aldersgruppene varierte fra 59 til 66 gram. Den asymptotiske lengden  $L_{\max}$  varierte en del mellom år, fra 146-177 mm (**tabell 11**, **figur 17**). Dette skyldes trolig en kombinasjon av varierende temperaturregime og bestandsstørrelse.

**Tabell 11.** Gjennomsnittlig lengde i mm (xL)  $\pm$  standard avvik i hver aldersgruppe hos abbor i Brønntjern i perioden 2007-2011, og gjennomsnittlig lengde og vekt i gram (xW)  $\pm$  standard avvik samlet for hele perioden for hver aldersgruppe. n=antall fisk.

Alder	2007		2009		2010		2011		Gj. s. lengde, samlet		Gj. S. vekt, samlet	
	xL	n	xL	n	xL	n	xL	n	xL	n	xW	n
0			75 $\pm$ 3	4	63 $\pm$ 5	53	66 $\pm$ 2	44	65 $\pm$ 5	101	-	
1	97 $\pm$ 5	25	102 $\pm$ 5	2	102 $\pm$ 4	18	91 $\pm$ 7	65	94 $\pm$ 7	110	8 $\pm$ 3	110
2	124 $\pm$ 13	7	123 $\pm$ 10	3	112 $\pm$ 7	6	119 $\pm$ 7	8	119 $\pm$ 10	24	19 $\pm$ 5	24
3	135 $\pm$ 10	2	126 $\pm$ 10	10	127 $\pm$ 9	4	127 $\pm$ 7	2	127 $\pm$ 9	18	24 $\pm$ 6	18
4	148 $\pm$ 12	4	133 $\pm$ 10	10	132 $\pm$ 7	16			135 $\pm$ 10	30	30 $\pm$ 6	30
5	158 $\pm$ 15	4	145 $\pm$ 15	6	143 $\pm$ 13	9	143 $\pm$ 12	175	145 $\pm$ 13	36	34 $\pm$ 10	36
6	169 $\pm$ 13	13	169 $\pm$ 17	3	149 $\pm$ 3	2	150 $\pm$ 11	5	163 $\pm$ 15	23	49 $\pm$ 14	23
7	180 $\pm$ 31	4	184 $\pm$ 16	2	181 $\pm$ 10	2	162 $\pm$ 12	4	175 $\pm$ 21	12	62 $\pm$ 22	12
8	180 $\pm$ 12	5	162 $\pm$ 18	5	184 $\pm$ 12	2			173 $\pm$ 17	12	61 $\pm$ 18	12
9	195 $\pm$ 4	2	228 $\pm$ 0	1	160 $\pm$ 10	8	193 $\pm$ 0	1	174 $\pm$ 24	12	66 $\pm$ 33	12
10	175 $\pm$ 17	3					172 $\pm$ 13	5	173 $\pm$ 14	8	59 $\pm$ 15	8
11												
12					178 $\pm$ 0	1			178 $\pm$ 0	1	63 $\pm$ 0	1
13			170 $\pm$ 0	1	168 $\pm$ 0	1			169 $\pm$ 1	2	57 $\pm$ 5	2
14							182 $\pm$ 0	1	182 $\pm$ 0	1	66 $\pm$ 0	1
Totalt	138 $\pm$ 13	69	136 $\pm$ 31	47	102 $\pm$ 39	122	99 $\pm$ 33	152	111 $\pm$ 39	390	23 $\pm$ 22	289

**Tabell 12.** Beregning av asymptotisk lengde ( $L_{max}$ ) og konstant ( $k$ ) i von Bertalanffy's vekstfunksjon for abbor i Brønntjern for årene 2007-2011, med standard feil (SE) og konfidensintervall.

År	Asymptotisk lengde i mm ( $L_{max}$ )		Konstant ( $k$ )	
	Verdi $\pm$ SE	Konfidensintervall	Verdi $\pm$ SE	Konfidensintervall
2007	177 $\pm$ 3	172-183	0,50 $\pm$ 0,03	0,45-0,55
2009	165 $\pm$ 7	151-179	0,47 $\pm$ 0,07	0,33-0,61
2010	146 $\pm$ 2	142-150	0,99 $\pm$ 0,04	0,91-1,07
2011	150 $\pm$ 3	145-155	0,68 $\pm$ 0,03	0,63-0,74



**Figur 17.** Plott av observert lengde mot alder hos abbor i Brønntjern for årene 2007-2011, med vekstkurve som er tilpasset von Bertalanffy's vekstfunksjon for beregning av  $L_{max}$  som er vist ved røde linjer.

## 5 Oppsummering og konklusjon

Den første vannkjemiske målingen i Brønntjern ble foretatt i 1950, og viste pH 6,2 (Vasshaug 1990). I løpet av de neste tiårene skjedde det en klar forsuring, med pH 5,4 i 1986 og 4,7 i 1990. Alkalitetsnivået i de to årene var også lavt, med 1-4  $\mu\text{ekv/L}$ . Kalkingen av Brønntjern ble satt i gang høsten 1990, med rekalking i 1993, 1997 og hvert år i perioden 1999-2005. Kalkingen resulterte i en god vannkvalitet, med pH rundt 6,0-6,5. Men det ble registrert episoder med refsuring både 1992 og 1999, med pH 5,4-5,5. Etter kalkingsslutt ble det også påvist en episode med refsuring med pH sommeren 2007 til 5,29. Etter 2009 har imidlertid pH holdt seg relativt stabil, med verdier på ca. 5,7-6,0. Labilt Al ble ikke påvist i de to siste årene Brønntjern ble kalket, og syre-nøytraliserende kapasitet (ANCoaa) var også høy med 83-86  $\mu\text{ekv/L}$ . Etter kalkslutt har imidlertid noe aluminium løst seg ut, og det ble målt labilt Al på 8-17  $\mu\text{g/L}$ . Under refsuringen våren 2007 var konsentrasjonen 46  $\mu\text{g/L}$ . Alkalitetsnivået har holdt seg relativt stabilt og høyt etter kalkslutt, med 34-56  $\mu\text{ekv/L}$ . Det samme gjelder ANCoaa med 28-42  $\mu\text{ekv/L}$ , bortsett fra under refsuringsepisoden våren 2007 med 11  $\mu\text{ekv/L}$ . Det synes derfor som om vannkvaliteten Brønntjern har blitt relativt god etter hvert som mengden sulfat i nedbøren har avtatt.

Brønntjern vurderes som representativt for ukalkede vann under marin grense i Enningdalsvassdraget, med hensyn til diversitet av krepsdyr. Vi har sammenlignet vannet med ni andre lokaliteter som også er ukalkede og ligger under marin grense. Tre av disse; Hokksjøen, Lerbekktjern og Damtjern, hadde pH i samme størrelsesorden som det målt i Brønntjern før kalking. Selv om dominansforholdene i planktonet kunne variere mellom disse lokalitetene, hadde de en ting felles, nemlig at forsuringsfølsomme arter manglet. Sevtjern har en vannkvalitet som kan sammenlignes med Brønntjern etter kalking. Vannet minner på mange måter om Brønntjern ved at det ligger under marin grense, har samme dyp, samt høyt innhold av humus, og i tillegg er det ukalket. De tre vannloppene *Daphnia cristata*, *D. longispina* og *Leptodora kindtii* ble funnet kun her. Det samme var tilfelle med calanoiden *Heterocope appendiculata*. Alle disse fire artene er karakterisert som forsuringsfølsomme, og ingen av dem er heller funnet i ukalkede vann over marin grense. Med en svak refsuring av Brønntjern er det rimelig å anta at ingen av disse artene vil etablere seg når det ikke har skjedd så langt. Det er mye som tyder på at predasjon fra både svevemygg og abbor er styrende faktor med tanke på det observerte krepsdyrsamfunnet og i mindre grad vannkvaliteten. Selv om informasjon om krepsdyrsamfunnet fra før kalking mangler, er det grunn til å tro at noen arter kan ha kommet inn som et resultat av kalking. Arter som *Pseudochydorus globosus* og *Pleuroxus laevis* er eksempler på dette.

Som en konklusjon er det mye som tyder på at kalking av Brønntjern ikke har endret særlig på sammensetningen av krepsdyrsamfunnet, når vi ser bort fra enkelte forsuringsfølsomme litorale arter som kan være nye. Disse opptrer alltid i lave tettheter og antas å bety mindre for økosystemet. Betydningen av pH som en regulerende faktor for krepsdyrsamfunnet blir sannsynligvis overstyrret av at vannet er grunt, har brunlig vannfarge, er sjiktet og er utsatt for predasjon fra både fisk og svevemygg. Dette bildet har ikke endret seg med kalking.

Vi fant et sterkt varierende fangstutbytte og årsklassestyrke hos abbor i Brønntjern i løpet av forsøksperioden. Bestanden består av småvoksne individ med en asymptotisk lengde ( $L_{\text{max}}$ ) på 146-177 mm (2007-2011). Abbor har en høy toleranse for forsuring (Hesthagen m.fl. 1992), og et varierende fangstutbytte er i stor grad et resultat av vekslende rekruttering. Slik varierende rekruttering og bestandsstruktur er vanlig hos abbor (Thorpe 1977). I ikke-forsuringsområder kan slike fluktuasjoner være forårsaket av temperaturforholdene under klekking, varierende konkurranse og predasjon fra eldre individ, avhengig av bestandsstørrelsen (Persson 1983, Mills & Hurley 1990). Det ble ikke observert endringer i bestanden av voksen abbor i Brønntjern før kalkstart i 1990 (Steinar Stegerød, pers. medd.). Men ut fra vannkvaliteten på det tidspunktet med pH 4,7, er det likevel sannsynlig at forsuringen i alle fall i enkelte år påvirket rekrutteringen. Innholdet av labilt Al var trolig også relativt høyt på det tidspunktet, da det under episoden med refsuring i 2007 var 46  $\mu\text{g/L}$ . Effekter av forsuring hos abbor i Brønntjern kan bl.a. sannsynliggjøres med resultater fra utsettingsforsøk i én kalket og tre sure ikke-

kalkede innsjøer på Sørlandet (Hesthagen m.fl. 2000, 2001). Det ble påvist god rekruttering basert på prøvefiske i den kalkede innsjøen (Cpue), og noe rekruttering i ett av to undersøkte år i én av de sure lokalitetene. Men også i det ene året var yngeldødelighet relativt høy, med et utbytte (Cpue) som var 5-7 ganger lavere enn i den kalkede innsjøen. Sviktende rekruttering ble satt i sammenheng med en marginal vannkvalitet. I denne innsjøen var minimum pH og maksimum labilt Al på våren i år med og uten reproduksjon henholdsvis 5,36 og 46  $\mu\text{g/L}$  vs. 5,15 og 94  $\mu\text{g/L}$ . I den kalkede innsjøen var pH og labilt Al på samme tidspunkt i de to årene henholdsvis 5,76 / 19  $\mu\text{g/L}$  og 6,57 / 5  $\mu\text{g/L}$ . Resultatene fra forsøket tydet på at abboren får total reproduksjonssvikt når pH og labilt Al på våren er henholdsvis  $< 5,15$  og  $> 60 \mu\text{g/L}$ . Det var en lineær sammenheng mellom fangsten av yngel i september (Cpue) i de enkelte innsjøene og vannkvaliteten i mai, både mht. labilt Al og pH. Eksperimentelle forsøk har vist høy dødelighet hos egg og yngel hos abbor like etter klekking ved  $\text{pH} < 5,0$ - $5,5$ , uten at dette er koblet til innholdet av labil Al (Runn m.fl. 1977).

Gjeddebestanden i Brønntjern er antatt å ha vært redusert før kalkstart i 1990. Ut fra de vannkjemiske forholdene på det tidspunktet med en pH på 4,7 og trolig negativ ANC, er dette sannsynlig. Dette er basert på en analyse av sammenhengen mellom ANC og sannsynligheten for bestandsendringer hos gjedde (jf. Lien m.fl. 1996).

Brønntjern har hatt en relativt bra bestand av ål tidligere. Dagens bestandsstatus er ukjent, men ut fra en generell bestandsnedgang hos ål i norske vassdrag i seinere år, er det sannsynlig at dette også er tilfelle i Brønntjern (jf. Thorstad m.fl. 2011). Men kalkingen i Enningdalsvassdraget har trolig hatt en klar positiv effekt på bestanden av ål (jf. Larsen m.fl. 2014).

## 6 Referanser

- Allen, K.R. 1966. A method of fitting growth curves of the von Bertalanffy type to observed data. - J. Fish. Res. Board Can. 23: 163-179.
- Andersson, J., Nilsson, F. & Rehndell, S. 2012. Vattenvårdsplan för Enningdalsälven. - Länsstyrelsen, Västra Götalands Län, Rapport 2012:09.
- 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 Pollut. 85: 401-406.
- 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.
- Fjellheim, A. & Raddum, G.G. 1992. Recovery of acid sensitive species of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in River Audna after liming. - Environ. Pollut. 78:173-78.
- Flössner D. 1972. Krebstiere, Crustacea, Kiemen- und Blattfüsser, Branchiopoda, Fischläuse, Branchiura. - Tierwelt Deutschland 60. 501 s.
- Hann, B.J. & Turner, M.A. 2000. Littoral microcrustacea in Lake 302S in the experimental lakes area of Canada: acidification and recovery. - Freshwat. Biol. 43: 133-146.
- Herbst, H.V. 1976. Blattfusskrebse (Phyllopoden: Echte Blattfüsser und Wasser- flöhe). – 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. Pollut. 78: 97-101.
- Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Berger, H.M. 1999. Assessment of damage to fish populations in Norwegian lakes due to acidification. - Ambio 28:12-17.
- Hesthagen, T. Nøst, T., Berger, H.M. Schartau, A.K.L., Saksgård, R. & Fløystad, L. 2000. Forsøk med re-etablering av abbor i forsuredde innsjøer på Sørlandet. – NINA Oppdragsmelding 643. 30 s.
- Hesthagen, T., Berger, H.M., Schartau, A.K.L., Nøst, T., Saksgård, R. & Fløystad, L. 2001. Low success rate in re-establishing European perch in some highly acidified lakes in southernmost Norway. - Water Air and Soil Pollut. 130:1361-66.
- 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. & Langåker, R.M. 2007. Effects of liming on the aquatic fauna in a Norwegian watershed: why do crustaceans and fish respond differently? - Water, Air, Soil Pollut.: Focus 7: 339-345.
- Hesthagen, T., Fjellheim, A., Schartau, A.K., Wright, R.F., Saksgård, R. & Rosseland, B.O. 2011. Chemical and biological recovery of Lake Saudlandsvatn, a formerly highly acidified lake in southernmost Norway, in response to decreased acid deposition. – The Sci. Tot. Environ. 409: 2908-2916.

- 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 corespondence analysis; an improved ordination technique. - *Vegetatio* 42: 47-58.
- Hindar, A. & Skancke, L.B. 2008. Vannkjemisk utvikling i innsjøer etter avsluttet kalking. - NIVA Rapport 5628-2008. 29 sider + vedlegg.
- Hutchinson, G.E. 1967. A treatise on limnology. II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. - New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Johansson, D. & Hesthagen, T. (red). 2012. Fiskevårdsplan för sjöar och vattendrag i Enningdalsälvens avrinningsområde. - Länsstyrelsen i Västra Götalands Län, Rapport 2012:54. 285 s.
- 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.
- Kleiven, E. & Linløkken, A. 2009. Samanlikning av aldersbestemming på gjellelokk og brende øyresteinar på åbor *Perca fluviatilis* frå fem innsjøar ved Fjorda, Oppland. - *Fauna* 62 (4). 112-123.
- Kroglund, F., T. Hesthagen, Hindar, A., Raddum, G.G., Staurnes, M., Gausen, D. & Sandøy, S. 1994. Sur nedbør i Norge. Status, utviklingstendenser og tiltak. - DN-utredning 1994-10. 98 s.
- Larsen, B.M., Hesthagen, T., Thorstad, E. & Diserud, O.H. 2014. Increased abundance of European eel (*Anguilla anguilla*) in acidified Norwegian rivers after liming. - *J. Freshwat. Fish.* (I trykk).
- Lien, L., Raddum, G.G., Fjellheim, A. & Henriksen, A. 1996. A critical limit for acid neutralizing capacity in Norwegian surface waters, based on new analysis of fish and invertebrate responses. - *The Sci. Total Environ.* 177: 173-193.
- Lydersen, E., Larssen, T. & Fjeld, E. 2004a. The influence of total organic carbon (TOC) on the relationship between acid neutralizing capacity (ANC) and fish status in Norwegian lakes. - *The Sci. Total Environ.* 326: 63-69.
- Lydersen, E., Larssen, T. & Fjeld, E. 2004b. Betydningen av humus for forholdet mellom syrenøtraliserende kapasitet (ANC) og fiskestatus i norske innsjøer. - *pH-status* nr 1-2004: 4-5.
- Mills, C.A. & Hurley, M.A. 1990. Long-term studies on the Windermere populations of perch (*Perca fluviatilis*), pike (*Esox lucius*) and Arctic char (*Salvelinus alpinus*). - *Freshwat. Biol.* 23: 119-136.
- Persson, L. 1983. Food consumption and competition between age classes in a perch (*Perca fluviatilis*) population in a shallow eutrophic lake. - *Oikos* 40: 197-207.
- Ponyi, J. E. 1956. Die Diaptomus-Arten der Natrongewässer auf der grossen Ungarischen Tiefebene. - *Zool. Anz.* 156: 257-403.
- Raddum, G.G., Hagenlund, G. & Halvorsen, G.A. 1984. Effects of lime treatment on the benthos of Lake Søndre Boksjø. - *Rep. Inst. Freshwat. Rep., Drottningholm* 61: 167-176.
- Runn, R., Johansson, N. & Milbrink, G. 1977. Some effects of low pH on the hatchability of eggs of perch, *Perca fluviatilis* L. - *Zoon* 5: 115-125.

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

Sandøy, S. & Romundstad, A.J. 1995. Liming of acidified lakes and rivers in Norway. An attempt to preserve and restore biological diversity in the acidified regions. - Water, Air and Soil Pollut. 85: 997-1002.

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.

Schartau, A.K.L., Hobæk, A., Halvorsen, G., Faafeng, B., Løvik, J.E., Nøst, T., Solheim, A.L. & Walseng, B. 1997. Virkninger av forurensninger på biologisk mangfold: Vann og vassdrag i by- og tettstedsnære områder. Diversitet av dyreplankton og litorale krepsdyr - naturlige gradienter og effekter av forurensninger, fysiske inngrep og introduksjoner. - NINA Temahefte 14. 58 s.

Schartau, A.K.L., Walseng, B., Nøst T. & Halvorsen, G. 2000. Freshwater crustaceans as monitors of long-range transported air pollutants. - Verh. Internat. Verein. Limnol. 27: 2484-2487.

Schartau, A.K., Walseng, B. & Snucins, E. 2001. Correlation between microcrustaceans and environmental variables along an acidification gradient in Sudbury, Canada. – Water, Air and Soil Pollut. 130: 1325-1330.

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.

Skjelkvåle, B.L., Evans, C., Larssen, T., Hindar, A., Raddum, G.G. 2003. Recovery from Acidification in European Surface Waters: A view to the future. - Ambio 32:170-75.

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

Thorpe, J.E. 1977. Morphology, physiology, behavior, and ecology of *Perca fluviatilis* and *P. flavescens* Michill. - J. Fish. Res. Board Can. 34: 1504-1514.

Thorstad, E.B., Larsen, B.M., Finstad, B., Hesthagen, T., Hvidsten, N.A., Johnsen, B.O., Næsje, T.F. & Sandlund, O.T. 2011. Kunnskapsoppsummering om ål og forslag til overvåkingssystem i norske vassdrag. - NINA Rapport 661. 69 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.

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

Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. - Human Biol. 10: 181-213.

Walseng, B. & Halvorsen, G. 1993. Verneplanstatus i Troms og Finnmark med fokusering på vannkjemiske forhold og krepsdyr. - NINA Utredning 54. 97 s.

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 kal-king av ferskvann i Østfold. - NINA Oppdragsmelding 490. 32 s.

Walseng, B., Hesthagen, T., Schartau, A.K., Johansson, D. & Backstrand, A. 2011. Enning-dalsvassdraget – et norsk/svensk grensevassdrag med store forsuringsproblemer. - Vann 04-211: 445-452

Walseng, B. & Hesthagen, T. 2012. Enningdalsvassdraget, en ferskvannsbiologisk dokumen-tasjon. Del 1- Krepsdyr. - NINA Rapport 827. 50 s.

Wright, R.F., Larssen, T., Camarero, L., Cosby, B.J., Ferrier, R.C., Helliwell, R.C. m.fl. 2005. Recovery of acidified European surface waters. - Environ. Sci. Technol. 39: 64A-72A.

Wærvågen, S. B. 1985. En limnologisk studie av Gjerstadvatn i Aust-Agder med spesiell vekt på zooplanktonsamfunnets livshistorier og populasjonsdynamikk. Hovedfagsoppgave i spesiell zoologi, Univ. Oslo. 177 s.

Zankai, P. N. 1978. The duration of development of Eudiaptomus gracilis (G.O.Sars) (Copepoda) in Lake Balaton. - Acta Biol. Debrecina 15: 183-198.

Aas, W., Solberg, S. & Yttri, K.E. 2014. Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway, annual report 2013. - Miljødirektoratet, Rapport M-203/2014. 101 s.







*Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.*

*NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.*

*Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-426-2453-6

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger