



Rogaland - en integrert del av den atlantiske bioregion: karakteristikk av akvatiske økosystemer og effekt av klimaforandringer

Jens Petter Nilssen

INNLEDNING

Rogalands ferskvann er framfor alt påvirket av oseanisk klima ved sin beliggenhet nær Nordsjøen, en del av Atlanterhavet. Høy årsnedbør i regioner med bratte landskapsformer (utenom flat-Jæren) gir stor vanngjennomstrømming i innsjøene og lavt til meget lavt ioneinnhold (= minerogene salter, som kalsium og magnesium) i de samme områder. Derfor har betydelige deler av Rogaland vært utsatt for negative effekter av sur nedbør, særlig i Dalane og høyereliggende områder nær grensen til Agder. Spesielt Jæren, men også deler av Haugesund og Karmøy utgjør et unntak og vannene her er rikere på salter, både næringssalter og minerogene. Mange ferskvann, i Rogalands fjellområder og i Dalane, har lavt organisk innhold (= lavt fargetall på innsjøvannet) og derved svært klart vann. I andre deler av fylket som lavereliggende deler av Haugalandet og Ryfylke finnes svært humøse lokaliteter med kraftig brunt vann og lavt siktedyp. Relativt begrensede områder, spesielt flat-Jæren og Haugalandet, ligger under den høyeste marine grense etter siste istid. Dette studiet av ferskvannsfaunaen i Rogaland og deres relasjon til en nylig publisert framskriving eller scenarie rundt klimaforandringer i Norges vestlige områder, er basert primært på krepsdyr i innsjøer og deres viktigste konsumenter som fisk og virvelløse dyr. Jæren-området utgjør imidlertid en svært spesiell region for norsk fauna og innehar økologiske strukturer som i Norge ellers bare finnes i det flate landområdet fra Asker/Bærum langs Oslofjorden til byene i Østfold. Resten av ferskvannene i Rogaland tilhører typiske vestlandsvassdrag som er en del av den atlantiske biom (= klima- og vegetasjonssone), og adskiller seg svært tydelig fra vassdrag f.eks. i øst-Norge. Skal en derfor forstå de spesielle økoprosessene i innsjøer som finnes i Rogaland, bortsett fra flat-Jæren, må en se til innsjøer i

Restene av disse artene (tilhører familien Chydoridae; småkreps) som blir funnet i store mengder i ferskvannsedimenter, er viktige ledefossiler ved historiske studier av innsjøer, og til å vurdere den historiske utviklingen for hele økosystemet i nedslagsfelt og innsjøer (upubl. tegninger av G.O. Sars).

The fossils or remnants of these species (the family Chydoridae, Entomostraca; Crustacea) are abundant in freshwater sediments and form important information in palaeolimnological studies on historical developments of watersheds and lakes (unpubl. drawings from G.O. Sars).

Vest-Norge (Hordaland, Sogn- og Fjordane) og på de britiske øyene. Lignende innsjøer som på lav-Jæren er meget vanlige i det flate landskapet rundt Østersjøen fra Danmark til Finland. Innsjøene i Rogaland er iøynefallende nok ennå ikke undersøkt i stor oppløsning ved at økologien til de viktigste organismene i vannene er studert i detalj over minst ett kalenderår. Det bør etterlyses slike detaljerte (og ikke minst kostbare) studier basert på emner som systematikk, artsøkologi (livshistorier, habitatøkologi), og studier av totale næringsstrukturer som inkluderer hele økosystemet fra vannkjemi/-fysikk til fisk og fugl gjennom hele årssyklusen. Selv om noen studier foreligger i større detaljeringsgrad, som fra Mosevatn og tilsvarende områder på Jæren, er dette folkerike og velstående fylket framfor alt karakterisert ved såkalte rutineinnsamlete data eller ”monitoring-undersøkelser”. Derfor er det ofte betydelig mangel på lange linjer i studiet av fylkets innsjøer, og dette er et vitenskapelig savn ved forsøk som dette på å forutsi effekten av framtidige klimaforandringer. Heldigvis forekommer slike studier med overføringsverdi til Rogaland fra innsjøer rundt Bergen, fra de britiske øyene og Aust-Agder, i tillegg til detaljerte studier av mange karakteristiske humuslokaliteter rundt Oslo, Akershus og på Østlandet ellers.

FORSØK PÅ EN OVERORDNET KARAKTERISTIKK AV INNSJØER I ROGALAND

GEOLOGISKE OG ØKOLOGISKE FORHOLD UNDER SISTE DEL AV SISTE ISTID I SØRVEST-NORGE

I de siste millioner år har nordvest-Europa opplevd en mengde istider, samt at disse istidene hadde perioder da isen vekselvis trakk seg tilbake eller



hadde bre-fremstøt. Mot slutten av siste istid (ca. 15-20 000 år før nåtid) var Rogaland dekket av en stor isbre – ”Skagerrakbreen”. Tyngden av denne trykket ned betydelige landområder i Sør-Norge, og deler av Rogaland lå under havets overflate. Særlig viktig for innvandring av plante- og dyrelivet til Rogaland var at mesteparten av arealet mellom de britiske øyene og langt opp mot norskekysten var tørt land og dekket med en uendelig mengde av ferskvannslokaliteter av alle størrelser og typer. Dette utgjorde det såkalte ”Doggerland” (for en mer detaljert diskusjon, se Nilssen et al. 2013). Like etter at isen startet sin tilbaketrekning, strakte Doggerland (Figur 1) seg fra

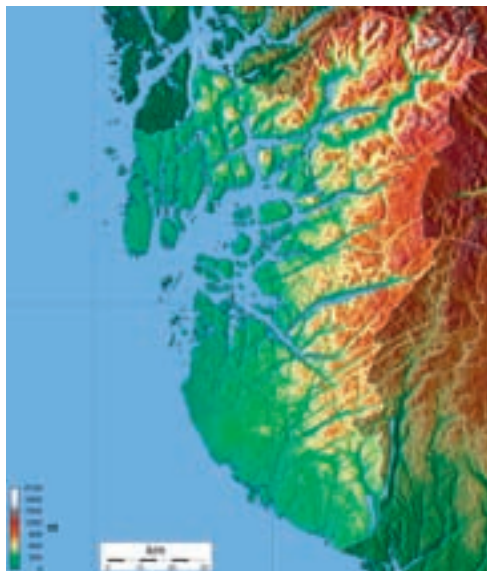


Figur 1. (venstre) Land-hav forhold i Nordsjø-området fra ca. 14 000 år før nå (fra ”Climate change – a set on Flickr” - <https://www.flickr.com/photos/>).

Land-ocean relationship in the North Sea region from around 14 000 years BP (illustration from the web)

Figur 2. (høyre) Gult: landområder som ligger over tidligere marin grense etter siste istid; blått: havområde i noen tidsrom etter siste istid (fra Romundset 2011). Områder under marin grense er relativt begrenset i Rogaland på grunn av lav tidligere marin grense og sterkt kupert kysttereng.

Yellow: land situated below postglacial marine limit; blue: ocean at some point after the last glacial period (from Romundset 2011). Area below postglacial marine limit is relatively restricted in Rogaland because of low marine limit and strong coastal relief.



Figur 3. (venstre) Rogalands topografi. (Fra: "Topography of Rogaland county, Norway"; <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rogaland-topo.png>).

Topography of Rogaland county (illustration from the web).

Figur 4. (høyre) Orrevatnet er en betydelig mer baltisk innsjøtype enn vestnorsk (foto fra web). I Jær-området har typiske europeiske fiskearter som sørv – indikatorer for eutrofe forhold – spredd seg ved menneskenes hjelp i nyere tid.

Orrevatnet – a typical Baltic lake type (photo from the web). In the Jæren region typical Baltic and European species of cyprinid fish, such as rudd, has been spread by humans the last 2-3 decades.



ROGALANDS TOPOGRAFI OG GEOLOGI

Rogaland ligger sør-vest i Norge og grenser til Nordsjøen (del av Atlanterhavet), samt fylkene Hordaland i nord, Telemark i nord-øst og agderfylkene i øst (Figur 3). Rogaland kan betraktes som et Norge i miniatyr fordi fylket har litt av alt når det gjelder landskapsformer og ferskvanns-lokaliteter. Det er relativt høye fjell og dype fjorder, god og dyp landbruksjord og skogområder, innsjøer av alle former og typer (Figur 4), lange sandstrender og svabergområder (Figur 5).

Rogaland har historisk sett vært delt opp i flere geografiske områder: Dalane, Jæren, Haugalandet og Ryfylke. Bergart- og løsmassesammensetningen samt nedbørens saltinnhold gir til sammen en basis for ioneinnholdet i innsjøene (Abrahamsen et al. 1972, Wright & Henriksen 1978, Faafeng et al. 1985, Enge

den engelske østkysten til Holland, Nord-Tyskland og Danmark – et område på størrelse med dagens Storbritannia. Etter at isen hadde trukket seg tilbake, steg landet. Betydelige deler av sør-Norge har derfor tidligere vært havbunn (Figur 2), noe som har fått avgjørende betydning for innsjøers stoffomsetning og organismeliv.

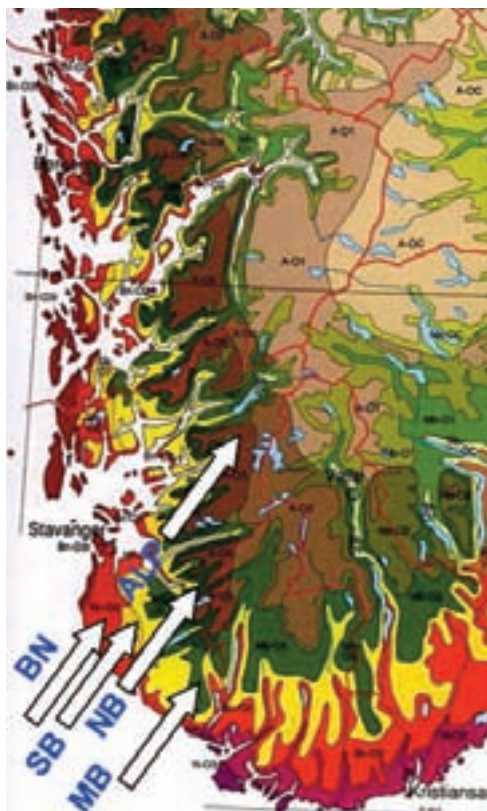
2013). Helt sør i Rogaland ligger Dalanes anorthositt- og charnockittlandskap. Disse bergartene er dypbergarter og overflateformen gir et nakent "månelandskap" med helt spesielle steinformasjoner med små og grønne sprekkdaler mellom. Nord for Dalane ligger Jæren. Jæren betyr "kant" og beskriver godt landskapet som ligger mellom Nordsjøen og åslandskapet og fjellområdene innenfor (se f.eks. Prøsch-Danielsen & Simonsen 2000a, 2000b, Sageidet 2005). Jæren minner om danske og baltiske områder med sitt småkuperte og meget fruktbare landskap (Nilssen et al. 2013). Jærkysten er



preget av etter norske forhold lange sandstrender som Orrestrand og Borestrand. I nord, mot grensen til Hordaland og som en natur- og klimamessig integrert del av dette, ligger Haugalandet (se f.eks. Eide & Paus 1983). Dette er et småkupert og delvis karrig landskap, med noen mindre landbruksområder. Berggrunnen på Haugalandet består hovedsakelig av granitt og fyllit. Mange av innsjøene her er svært humøse (Øygarden & Mikkelsen 1999, Enge 2013). Ryfylke domineres av Boknafjorden som er en bred, åpen fjord med mange øyer. Øyene er grønne og frodige på grunn av gunstig klima og næringsrike bergarter. Boknafjorden snevres inn med mange fjordarmer. Landskapet preges av store høydeforskjeller, fosser og massive fjell. Det er mye nakent steinlandskap, men også furuskoger og noe landbruksjord. Mot grensen til nabofylkene i øst ligger dal- og heilandskapet, som igjen går over i høyfjell. Heiene ligger stort sett mellom 700 og 1000 meter over havet. Høyfjellsområdet har topper opp mot 1400-1600 meter og er snaufjell med lite vegeta-

Figur 5. På Eigerøy utenfor Egersund – det kupert kystområdet ligger på berggrunn av anorthositt og charnockitt, som forvitrer på en karakteristisk måte. Foto: Ann-Helén Rønning.

The island of Eigerøy outside Egersund. This coastal region is on anorthosite and charnockite, displaying a characteristic weathering structure. Photo: Ann-Helén Rønning.



Figur 6. Vegetasjonssoner i Rogaland (etter Moen 1998).
Koder: BN (rødlig): boreonemoral sone, SB (gullig):
sørboreal, MB (lysgrønn): mellomboreal, NB (mørkgrønn):
nordboreal, ALP (brunlig): alpin sone.

Vegetational zones in Rogaland (after Moen 1998).
Legend: BN (reddish): boreonemoral zone, SB (yellowish):
southern boreal, MB (light green): middle boreal, NB
(dark green): north boreal, ALP (brownish): alpine zone.

sjon. Fylket har store, oppdemte innsjøer som Blåsjø-bassenget, et av Norges største vannreservoarer. Mot nordvest og vest ligger det ytre øylandskapet, der værharde holmer og skjær har lavt relieff. Mange av øyene består av prekambriske vulkanske grunnfjellsbergarter. Disse øyene er dekket av sva-bergdammer med samme arter som i tilsvarende dammer i Sør-Norge og på de britiske øyene.

ROGALAND OG GEOLOGISK-KLIMATISKE FORHOLD FOR FERSKVANN

I Rogaland finnes 5 vegetasjonssoner (Moen 1998), som er avgjørende for hva slags typer ferskvannsøkosystemer som utvikler seg og blir dominerende (Figur 6). Lengst ut mot kysten, grovt regnet mellom Egersund og grensen til Hordaland, inklusive de ytre delene av øyene i Boknafjorden/Ryfylke, ligger et relativt tynt felt med boreonemoral sone. På Jæren og i Haugalandets kyst er dette feltet betydelig bredere (Figur 6). Den boreonemorale sonen danner overgang mellom kystsonen og barskogene innenfor. Innslag av varmekjær vegetasjon på klimatisk gunstige steder er typisk. Bar- og blandingsskoger finnes i resten av skoglandskapet. Sonen strekker seg i tillegg langt inn i dalene. Innenfor og høyere enn boreonemoral sone ligger sørboreal sone som stedvis er svært smal. Her er det klarere barskogdominans, selv om det forekommer innslag av en del arter med høyere temperaturkrav, samt spredt edellauvskog på egnede steder. Denne sonen strekker seg langt inn i dalene (Figur 6). Høyere beliggende åslandskaper midt i fylket tilhører mellomboreal sone. Her er lavurtvegetasjonen sjelden, varmekjære skogsamfunn blir borte, myrarealene øker og vegetasjonen får tydelig barskogspreg, ofte med innslag av bjørk. I nordboreal sone, som strekker seg opp mot skog-grensa, ligger fjellbjørkeskogen med dominans av dunbjørk og glissen barskog, mange jordvannsmyrer og en del typiske fjellararter. Nordboreal sone er ganske smal i en del bratte dalsider. Innenfor nordboreal sone kommer den alpine sonen, som ikke har trevegetasjon.

De såkalte vegetasjonsseksjoner (eller klimasoner) dokumenterer variasjonen i plantelivet mellom kyst og innland. Klimasonene gir indirekte uttrykk for variasjoner i klima som nedbør, luftfuktighet og vintertemperatur, og dette påvirker i sin tur innsjøenes stoffomsetning og dyrelivets økologi. Vestnorge har såkalt atlantisk klima (eller kystklima) og sonen strekker seg oppetter kysten til midt på Nordland fylke (Figur 7). Her er det mildt og jevnt klima med relativ høy årsnedbør, særlig i vestområdene.

Det aller meste av Rogaland tilhører den såkalte ”klart og sterk oseaniske seksjon”, hvor i tillegg store deler av arealet har vært kraftig forsuret grunnet atmosfæriske utslipp (Abrahamsen et al. 1972, Enge & Lura 2003, Enge 2013, og flere studier av Enge og samarbeidspartnere 1980-tallet til dags dato). Vegetasjonstyper tilpasset fuktig havluft preger denne avdelingen. Vegetasjonen her har stort innslag av vestlige arter med høyt krav til luftfuktighet, samtidig mangler arter med høyt krav til stabile vinterforhold. Lengst nordøst



i Rogaland ligger et lite område hvor ”oseanisk seksjon” (bare) er representert. Avstanden fra havet har betydning for forekomst av artsrike typer som framfor alt favoriseres av høye vintertemperaturer. Lokalteter med høyere biologisk mangfold er oftest resultat av flere gunstige miljøfaktorer samtidig. Kombinasjon av lav beliggenhet, marine sedimenter, gunstig hydrologi, sørvendt eksponering og høy varmesum er årsak til at en del lokaliteter langs kysten er blant de mer arts- og variasjonsrike vi har, som innsjøene på flat-Jæren.

Figur 7. Dominerede klimasoner i Europa. Atlantisk region deles videre inn i en nordlig del som omfatter arealet fra nordlige del av Irland og UK, nord-Tyskland og Danmark og kysten av Norge. Navner og inndeling kan variere innen de ulike forfattere. (Fra:[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Floristic_regions_in_Europe_\(english\).png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Floristic_regions_in_Europe_(english).png)).

Dominating climate zones in Europe (illustration from web). The Atlantic region is further subdivided into a northern part comprising northern part of Ireland/UK, northern Germany, Denmark and coastal Norway. Subdivisions in Europe vary according to different authors.

Ferskvannene i kystområdene på Vestlandet (fra Rogaland via Hordaland til Sogn og Fjordane) er spesielle i europeisk sammenheng, en må til noen få steder i kystområdene i Skottland (Fryer & Forshaw 1979, Fryer 1980, 1993) og Irland (Nilssen & Rønning unpubl.data) for å finne lignende vannsystemer med tilsvarende fysikk, kjemi og biologi (Figur 7).

Ferskvannene i de boreale vegetasjonsområdene på Vestlandet er stort sett ulike andre norske ferskvann også, og dette skyldes mange forhold, både fysiske, kjemiske, geologiske, geografiske og biologiske. Noen av de viktigste er fysiske faktorer som mengde nedbør og temperaturforhold gjennom året, men også geo-biologiske som nedslagsfeltets geokjemiske struktur og vegetasjonsforhold, humusstruktur og utvasking av ioner i nedslagsfeltet. I tillegg kommer indre økologiske forhold i vannmassene som predasjon og konkurranse, innvandring og spredning av organismer – og alle mulige kombinasjoner av dette. Til tross for at biogeografien til f.eks. en av de viktigste dyregruppene i ferskvann småkreps (Entomostraca) synes lav på deler av Vestlandet, og skulle indikere enkle biologiske forhold, er dette bare tilsynelatende. På grunn av faktorene over er naturforholdene i Vestlandet komplisert med store variasjoner over små arealer og adskiller seg tydelig fra de tørrere deler av Østlandet og Sørlandet. Når man tenker på innsjøer i Rogalands mer karrige deler, bl.a. i alpine områder, er det primært klarvannssjøer det tenkes på (jfr. Enge & Kroglund 2011, Enge 2013), men like karakteristisk for fylket som klare, dypere innsjøer er små og store humus-sjøer med brunt vann, lavt siktedyp og lav pH, omgitt av snaufjell med torv og myrområder eller nåletrevegetasjon, som mange innsjøer på Haugalandet (Øygarden & Mikkelsen 1999, Enge 2013).

Allerede for lenge siden ble humusforholdene på Vestlandet spesielt bemerket (Gaarder 1938). Denne tidlige undersøkelsen ser imidlertid ut til å ha gått forskningen forbi – den ble i alle fall ikke sitert av etterfølgende forskere som arbeidet i dette eller tilsvarende områder. Gaarders (1938) studium er viktig for å forstå de spesielle forholdene med nedslagsfelt på Vestlandet, og vil sammen med paleoøkologiske (= studier av organismerester i innsjø-sedimenter) undersøkelser sette de spesielle vestlandsvannene inn i et komparativt vitenskapelig perspektiv. Humus er meget ulikeartet og avhengig av

geografiske og klimatiske (både makro- og mikro-) forhold (Vik et al. 1985). Gaarder (1938 s. 9) hevdet at vestlandsjorden i alminnelighet er en utvasket, næringsfattig og sterkt sur jord med råhumuspreget humuslag i jordprofilen, men at det også er betydelig variasjon avhengig av nedslagsfeltets beskaffenhet. Surheten ble målt og økte fra løvskog-, nåleskog-, lyng-, myrortv- og til myrjord (Gaarder 1938). Vestlandets og Rogalands udyrkede jord har således meget særpregete egenskaper med lavt fosforinnhold, lav basemetningsgrad (= minerogent innhold) som betinger en sur og dårlig nedbrutt humus (Gaarder 1930, 1938). I tillegg vil mineraliseringen av tungt nedbrytbare organiske forbindelser i innsjøenes strandsoner hemmes ved økende surhet (Laake 1976), og fører gradvis til store forandringer i strandsonenes stoffkretsløp og produksjon.

NEDBØR, TEMPERATUR OG AVRENNING – OG BIOLOGISKE EFFEKTER VED VANNKJEMIVARIASJONER

Mesteparten av Rogalands innsjøer over ca. 150 moh. mottar store nedbørsmengder, som strømmer gjennom innsjøer som allerede er meget fattig på ioner og spesielt viktige ioner som kalsium. Innsjøene får svært lav oppholdstid, og ofte dype sirkulerende sjikt med små refugiemuligheter (= muligheter til å unngå) for organismene. Dette betyr at de blir eksponert for disse spesielle vanskelige økologiske forholdene, spesielt kan dette være et problem for vinteraktive organismer. Kystområdene og maritime deler av Rogaland og Vestlandet er i tillegg eksponert for hyppige sjøsaltepisoder, som i enda sterkere grad stresser det lille baseinnholdet som fortsatt finnes i jordsmonn og vannmasser. I tillegg øker utlekningen av humus (spesielt fra det øvre humusskiktet; Figur 8) under sterke regnperioder og gir også negative effekter på akvatiske organismer. Svært mange innsjøer i Rogaland er således brune og tydelig farget av avrenning av humusstoffer, som allerede demonstrert av Lundbeck (1954).

Det som også stresser mange følsomme organismer i forsurningsprosessene er de lave kalsium- eller kationeverdiene og syre-nøytraliserende kapasitet (kalles ANC) generelt (se Enge & Kroglund 2011, Enge 2013). Mange organismer, spesielt den viktige slekten i ferskvann *Daphnia* får fysiologiske og økologiske problemer ved lave pH verdier (Hessen & Rukke 2000, Wærvågen et al. 2002), fordi deres kroppsvæsker er i så intim kontakt med de omgivende vannmasser (Nilssen et al. 1984a, 1984b).



Figur 8-venstre. Et typisk jordprofil fra Rogaland og Vestlandet – podsolfilet. Avrenningen fra råhumus og humus er meget sur (Fra web: <http://ndla.no/en/node/6265>). Høyre: like typisk jordprofil fra Rogaland – torvjordsprofil (utsnitt fra Kitty Kielland 1900 – «Torvmyr, Jæren» www.digitaltmuseum.no/things/torvmyr-jren-maleri/NMK-B/NG.M.00976). Ferskvann på slik jord er kraftig farget og har ofte pH lavere enn 5,5.

Left: a typical soil profile from Rogaland and western Norway – the podsol profile, with acid run-off (from the web). Right: another typical soil profile from Rogaland – moor soil (from painting of Kitty Kielland 1900 "Peat Bog on Jæren"). Such freshwaters are strongly coloured and often with pH below 5,5.



ennå viktigere: det vannet som renner inn i vannmassene i innsjøoverflaten får mye større virkning i det totale budsjettet for innsjøen og taper ned mye større deler av vannmassens kationer enn om det hadde strømmet relativt upåvirket gjennom de i øvre lag av epilimnion (= øvre vannmasser), som det gjør når innsjøer er islagt (Andersen 2002). Betydelige deler av Rogaland har allerede innsjøer med isfrie vintre, og under klimaforandringer (se disse avsnitt) vil slike forhold bli viktige elementer i innsjøenes metabolisme.

Man tenker ofte på Rogaland og hele Vestlandet som regionen med de klare innsjøene – det stemmer også – men like vanlig er humusinnsjøer med fravær av den så vanlige slekten på Sør- og Østlandet: *Daphnia* (Brekke et al. 2011). Hvis pH overstiger 5,3 og fiskepredasjonen er lav "impliserer" dette tilstedeværelse av *Daphnia* i østlandske og sørlandske innsjøer (Nilssen unpubl.data). Deler av Vestlandet og Rogaland er derimot ikke noe typisk levested for store lavlandsdaphnier som *D. longispina* og *D. lacustris*, mens

Den spesielle og for mange organismer økologisk utfordrende kombinasjonen i ferskvann på Vestlandet, er mellom temperatur og nedbør, spesielt om vinteren. I et lite påaktet, men viktig studium har Andersen (2002) i kystsonen på Sørlandet studert i detalj hvordan relativt høye vinter-temperaturer, som er vanlig i ytre Vestland, påvirker kjemi både i nedslagsfelt (= innløpsbekker) og i selve innsjøene. Resultatene er tydelige: Hvis nedslagsfeltet ikke fryser om vinteren foregår nedbrytningen hele denne sesongen, men avrenningen er mye surere enn ved frossenmarksforhold, og

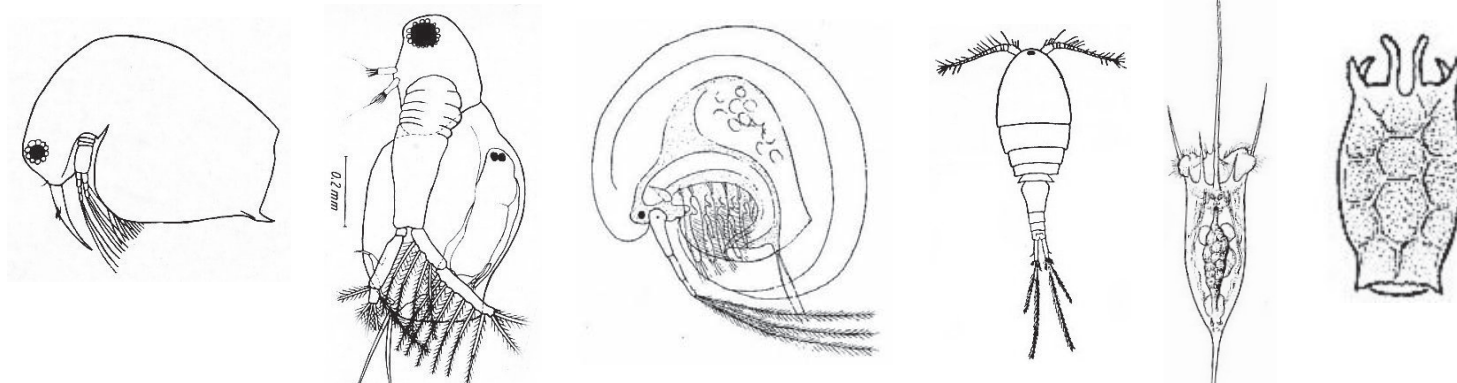
høyfjellsarten *D. alpina* har mindre problemer med spesielt lav kalsiummengde (se Johnsen et al. 2009). Denne arten finnes like over grensen i Aust-Agder (Nilssen 2009a), og er høyst sannsynlig også til stede i alpine deler av Rogaland.

Daphnia-arter er i mye nærmere kontakt med innsjøvannet enn hoppekreps (copepoder), *Chaoborus* (svevemygg, fantommygg) og vannbiller, ved at kroppsvæskene til disse sistnevnte gruppene er mer avstengt fra det omgivende vannet enn for slekten *Daphnia* (Nilssen et al. 1984a, 1984b). Dette betyr at de også er mer utsatt for kvalitetsforandringer i dette mediet, og ved lavere kalsiumverdier blir stressen kraftigere (Hessen & Rukke 2000, Wærvågen et al. 2002). Det er tidligere observert at en kraftig sjøsaltepisode før den aktuelle populasjonen av *D. longispina* s.str. hadde dannet "beskyttende" hvileegg i en kystnær, grunn dam på Randvik i Risør, Aust-Agder, fullstendig slo ut denne; flere ti-år etterpå er den fortsatt ikke kommet tilbake (Nilssen upubl.data). De andre artene klarte seg, som f.eks. bunnlevende cyclopoide copepoder og den pelagiske arten *Eudiaptomus gracilis* (Nilssen upubl.data).

DYREPLANKTON SOM INDIKATORER FOR FORSURING, EUTROFIERING OG HUMIFISERING (= ØKENDE BRUNFARGE I VANNET)

Dyreplankton utgjør et avgjørende økologisk ledd mellom plante- og bakterieplankton og fisk. De mest attraktive fiskearter for mennesket er enten hele livet planktivore (= konsumerer dyreplankton) eller har viktige stadier som er det, som regel yngelstadiet. Krepsdyrsamfunnet i en bestemt lokalitet er stabilt, hvis det ikke er utsatt for betydelige miljøendringer, som langvarige klimaforandringer og økologisk stress (Pejler 1975). Kratz et al. (1987) fant at forekomst av krepsdyrplanktonet var mer variabelt mellom innsjøer enn innen år, mens hjuldyrsamfunnene var mer variable over tid. Det totale dyreplanktonsamfunnet vil derfor egne seg godt for å identifisere og studere økologisk stress som forsurening, eutrofiering, humifisering, og restaurering fra alle disse tilstandene.

Forsuringen er kjent for å påvirke antallet av og artssammensetning av zooplankton, spesielt på grunn av forandrede predatorforhold (Eriksson et al. 1980, Nilssen 1980, Henrikson & Oscarson 1981). Det er framfor alt slekten *Daphnia* som er følsom og avtar sterkt ved pH under 5,3, hvis lokalitetene



Figur 9. Karakteristiske arter av dyreplankton i forsurede innsjøer. Fra venstre tre vannlopper: *Bosmina longispina* (den vanlige norske *obtusirostris* typen), *Diaphanosoma brachyurum*, *Holopedium gibberum* (norsk: gelékrepse), hoppekrepse *Acanthocyclops vernalis* (ofte sammen med *Diacyclops nanus*), og de to rotatoriene: *Kellicottia longispina* og *Keratella serrulata*. Alle artene har ulik størrelse, målestokken er kun for *D. brachyurum* (fra ulike kilder for bestemmelse av dyreplankton).

Zooplankton species characteristic of acidified sites (from different sources). From the left: *Bosmina longispina* (the typical Norwegian *obtusirostris* type), *Diaphanosoma brachyurum*, *Holopedium gibberum* (all three cladocerans), *Acanthocyclops vernalis* (a copepod often occurring together with *Diacyclops nanus*), *Kellicottia longispina*, *Keratella serrulata* (both rotifers). Size indication for *Diaphanosoma brachyurum* only.

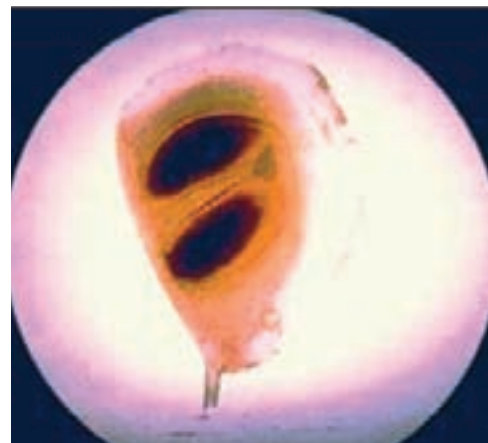
ikke er kraftig humøse (Nilssen & Wærvågen 2002a). En annen gruppe som er utsatt ved økende forsuring er de cyclopoide copepodene (Roff & Kwiatkowski 1977, Nilssen 1980), spesielt *Cyclops scutifer* og enkelte kalanoide copepoder som *Mixodaptomus laciniatus*. Ved kronisk forsuring forsvinner disse stort sett fra lokalitetene. En annen følsom art er den østnorske *Thermocyclops oithonoides*, mens *Mesocyclops leuckarti* og spesielt *Cyclops strenuus* tolererer svært lave pH-verdier (Nilssen & Wærvågen 2000, Nilssen &

Wærvågen 2003). Også de fleste artene innen den cyclopoide slekten *Eucyclops* er følsomme overfor forsuring (Walseng 1988). Calanoide copepoder, som *Eudiaptomus gracilis*, klarer seg godt ved pH ned til 4,5 og høye aluminiumskonsentrasjoner. I kronisk sure lokaliteter over flere tiår, er det hovedsakelig artene *E. gracilis*, *Bosmina longispina* og *Diaphanosoma brachyurum* (lavlandet) som finnes tilbake av krepserdyr (Figur 9). I tillegg kan en del litorale (= lever i strandsonen) arter påtreffes i de fri vannmassene til ulike tider av året. Av rotatorier er det hovedsakelig følgende arter som blir igjen i sure lokaliteter: *Kellicottia longispina*, *Keratella serrulata* (opptrer i tillegg ofte sammen med høye humus-konsentrasjoner), samt ulike arter av *Collotheca* og *Polyarthra* (Wærvågen & Nilssen 2003). Før de ulike artene forsvinner fra lokaliteten ved økt forsuring, har de lenge produsert hvileegg (Figur 10). Disse kan klekke når systemet igjen kan huse artene. Imidlertid produserer de cyclopoide copepodene ikke hvileegg, i likhet med en viktig og vidt utbredt europeisk copepode som *E. gracilis*.

Enkelte arter som er påvirket av sur nedbør, forsvinner gjerne over noen tiår. Dette i motsetning til laksefisk som ørret og røye, som forsvinner relativt raskt når de ikke lenger kan oppnå at yngelen vokser opp. Da kan gjerne arter som ørret bli borte i løpet av 4-5 år. Selv om det er foretatt mye forskning i sure områder, er det fortsatt en rekke forhold vi ikke kjenner godt til rundt gruppen dyreplankton. De forholdene som er best kjent, er forandringen i næringskjedene ved forsuring og kalking. Fisk, som er såkalt nøkkelkonsument i næringskjedene, dør ut under forsuring og erstattes av invertebrate arter, som larver av *Chaoborus* og buksvømmere (Eriksson et al. 1980, Nilssen 1980, 1984, Nilssen & Wærvågen 2002a).

Det foreligger få systematiske langtidsstudier av restaurering av innsjøer basert på dyreplankton i Norge, hvor historiske data er tilgjengelige. Det er vanlig at *Daphnia* observeres å komme tilbake, og de har sin sannsynlige opprinnelse fra hvileeggene (Nilssen & Wærvågen 2002b), eller spredning via og gjennom fugler (Proctor 1964). Studier basert på copepoder og rotatorier i Sør Norge er likeledes beskrevet (Nilssen & Wærvågen 2003, Wærvågen & Nilssen 2003). Bortsett fra de detaljerte kvantitative undersøkelsene i det såkalte "Kalkningsprosjektet" i Gjerstad/Risør-området fra slutten av 1970-tallet (f.eks. Sandøy & Nilssen 1987a, 1987b), foreligger det sjelden autøkologiske (= studier av enkeltarter) og økosystemstudier av dyreplankton i sure innsjøer. Dette er bemerkelsesverdig, siden nyere studier understreker at dødelige (= letale) og subletale faktorer virker på arten som enhet, og ikke på funksjonelle grupper sammen, både når det gjelder klimaforandring (Carpenter et al. 1992, Adrian & Deneke 1996, Gerten & Adrian 2000, 2001) og forsuring (Nilssen et al. 1984a). Men det er publisert en mengde data rundt biogeografisk fordeling av dyreplankton i områder med vann av ulik kvalitet.

Siden mesteparten av innsatsen under den mest hektiske forsurningsforskningen på 1980-tallet konsentrerte seg om biogeografiske studier, er det store kunnskapsmangler om økosystemene. Selv om vi stort sett kan resonnerer oss fram til tidligere zooplanktonsamfunn, er det vanskelig å finne data på opprinnelige zooplanktonsamfunn før forsurning. Hvordan interaksjonene var mellom de ulike artene, spesielt predatorer (= spiser andre organismer), er ikke kjent. Den opprinnelige sammensetningen av dyreplankton i enkelte godt undersøkte sure norske områder er mulig å rekonstruere basert på tidligere publikasjoner og innsamlede materiale (Nilssen 1984). Det finnes imid-

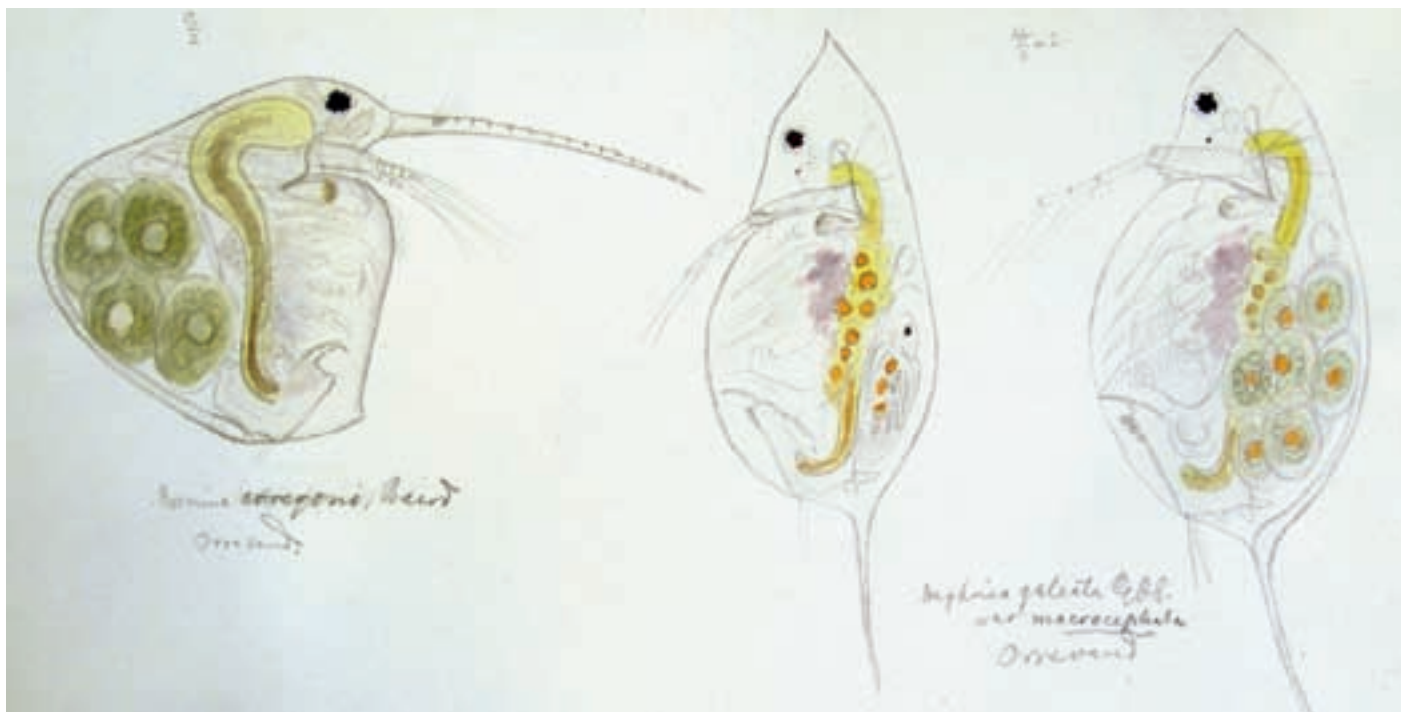


Figur 10. Den boreale arten *Daphnia lacustris* danner eggbanker i sedimentene (se Figur 12 for kroppsform). Her er vist et ca. 50 år gammelt ephippium (hylster) med to hvileegg fra Heilandsvann, Aust-Agder.

The typical boreal species *Daphnia lacustris* produces sediment egg-banks (see Figure 12 for body morphology). The photo shows a 50 year old ephippium with two resting eggs from Lake Heilandsvann in the neighbouring county, Aust-Agder.

lertid lite data om de opprinnelige zooplanktonsamfunnene før forsuren-
ingen satte inn for alvor rundt 1960 i Rogaland (se neste avsnitt).

Ved en studie av 8 norske innsjøer ble krepsdyrfaunaen rekonstruert før for-
suren-ingen startet (ca. 1900) og fram til i dag, samt at efippier (= struktur som
inneholder hvileegg) til *Daphnia* også ble registrert (SFT 2002). Flere av
innsjøene hadde *Daphnia*-rester i dypere lag av sedimentet, som tidligere
observert i tilsvarende sedimenter (Nilssen 1984). I innsjøer med det laveste



Figur 11. Småkreps fra Orrevatnet: *Bosmina coregoni* og en
spesiell form av *Daphnia galeata*, som kan være en
hybridform (upubl. tegning av G.O. Sars).

Microcrustaceans from Lake Orrevatnet: *Bosmina coregoni*
and a special form of *Daphnia galeata* which could be a
hybrid morphotype (unpubl. drawings from G.O. Sars).

ioneinnholdet og kalsiumverdier på ca. 0,25 mg · L⁻¹ hadde ikke *Daphnia*-
rester i dypere sedimenter, som demonstrerer at slike økosystemer kan ha
problemer med å understøtte egen populasjoner av denne følsomme gruppen
(se ellers Hobæk 2000).

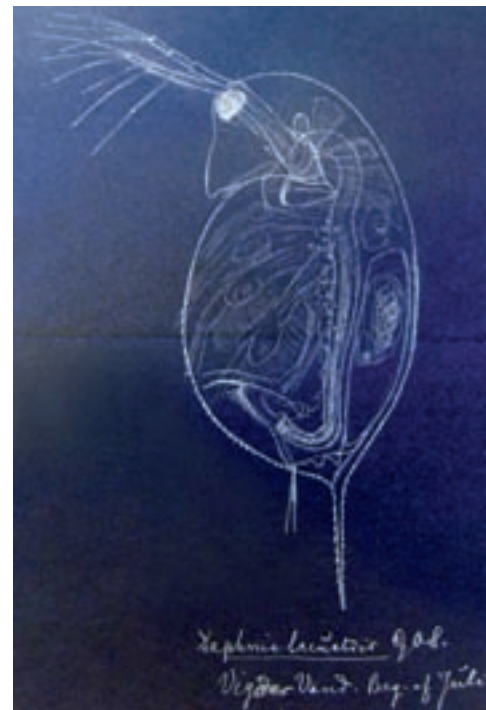
TIDLIGERE DATA MED KREPSDYRSTUDIER I INNSJØER FRA ROGALAND

Georg Ossian Sars, som blir regnet som verdens største krepsdyrforsker gjennom alle tider, arbeidet intenst på sin upubliserte oversikt over Norges cladocerer i flere tiår. Han undersøkte også lokaliteter på Jæren, spesielt innsamlet av hans kollega H. Huitfeldt-Kaas (1906) mot slutten av 1890-tallet. Dette gjør det mulig å lage en oversikt fra slutten av 1800-tallet (G.O. Sars' tid) over dyreplanktonet, og noen bunnlevende arter av krepsdyr, før forandringen satt inn. Jæren var for ham et viktig zoogeografisk område, og han har etterlatt seg flere illustrasjoner og organismepreparater herifra. I Orrevatn observerte G.O. Sars Norges vestligste utbredelse av *Bosmina coregoni* og en særegen form av *Daphnia galeata* (Figur 11). Han undersøkte også flere innsjøer i sør-Hordaland på grensen til Haugalandet. Her fant han bl.a. *Daphnia lacustris* i Vigdarvatn (Figur 12), en art som siden ble observert av den tyske krepsdyrforskeren Klie i et nærliggende tjern, Iglatjønn, i en studie av primært bunnfauna i Haugesunds innsjøer (i Lundbeck 1954). Den nærliggende arten *D. longispina* s.str. er imidlertid også vanlig i kystområdet (Sars upubl.data).

I Jærområdet og nærliggende områder spiller dyreplanktonets arts- og størrelsessammensetning avgjørende rolle for systemenes økologi. I noen innsjøer har det skjedd viktige endringer i zooplanktonsamfunnet siden Ossian Sars' og Huitfeldt-Kaas' undersøkelser fra slutten av 1800-tallet, mens andre har vært mer stabile. Rester av skall på bl.a. krepsdyr i innsjøsedimentene (her er spesielt slekten *Bosmina* (Figur 11) og familien Chydoridae viktige ledefosiler (Figur 13)) kan anvendes ved såkalte paleoøkologiske studier for å vurdere hele den historiske utviklingen for økosystemet fra siste istid (se også Molværsmyr et al. 2008).

BIOGEOGRAFI, BEVARINGSØKOLOGI, BIOINVASJONER, RØD- OG SVARTELISTE

Tidligere biogeografiske studier i dette området omfatter som nevnt studiene til Huitfeldt-Kaas (1906) og Lundbeck (1954). Senere studier er NIVA-rapporter fra 1960-70-tallet (med begrenset data på småkreps), Rognerud & Skogheim (1975), Spikkeland (1983), DN-Overvåknings-Notater (fra 1990-tallet til d.d.), Walseng (1993) og Walseng et al. (1992, 1995), foruten istids"relikt"-studiene til Sømme (1936) og Mathiesen (1953) og monitoring-studiene gjennom mange år til Molværsmyr (f.eks. 2006, 2007), og det



Figur 12. Den typiske boreale småkrepsen *Daphnia lacustris* er sannsynligvis vanlig i Rogaland, som her fra Vigdarvatnet, Haugesund grense (upubl. tegning av G.O. Sars, gjort negativ av forfatterne).

The typical boreal microcrustacean *Daphnia lacustris* is most probably common in Rogaland; this specimen derives from Lake Vigdarvatnet, on the Haugesund border (unpubl. drawing of G.O. Sars; negative by the authors).



Figur 13. Representanter av familien Chydoridae slik Sars så dem fra sedimentet fra ulike økosystemer i Sør-Norge. Restene av disse artene, som blir funnet i ferskvannsedimenter er viktige ledefossiler ved historiske studier av innsjøer, og til å vurdere den historiske utviklingen for hele økosystemet i innsjøer (unpubl. tegninger av G.O. Sars).

Representatives of the family Chydoridae illustrated by Sars from different freshwater sediment ecosystems in south Norway. The fossils or remnants of these species form important information in palaeolimnological studies (unpubl. drawings from G.O. Sars).

relativt omfattende økologiske studiet til Faafeng et al. (1985). Tidligere i denne studien har vi behandlet biogeografi i dette området og hypotetisk forhistorie til denne. Nå er det spesielt de økologiske forholdene som skal kommenteres i forhold til forureng/restaurering og effekt av beregnede klimaforandringer.

Norskerenna utenfor bl.a. Rogaland utgjør en særegen struktur, og har gjennom tidene transportert en enorm mengde brakkvann, men i perioder også nesten ferskt vann, avhengig av prosessene i det innenforliggende baltiske området (Wohlfarth et al. 2008). Denne enorme vanntransporten har åpenbart kunnet bringe mange nye arter til Jær-området, spesielt fisk og andre større organismer, som siden var i stand til å vandre opp de slake vassdragene på Lav-Jæren (Huitfeldt-Kaas 1918). Jæren har en rekke arter som ikke finnes på Vestlandet ellers, som f.eks. sik (*Coregonus lavaretus*) og

lagesild (*Coregonus albula*). Den originale og grundige ferskvannsforskeren og Norges første internasjonalt kjente limnolog, Huitfeldt-Kaas (1918), postulerte at disse artene var kommet vannveien via Norskerenna under spesielt gunstige salinitetsforhold. Sikslekten er vanlig i det baltiske området og spiller en meget stor rolle som konsumenter på dyreplankton (Thienemann 1950, Nilsson & Pejler 1973).

FORSURING OG NATURLIG RESTAURERING AV FERSKVANN I ROGALAND

Allerede i 1870-årene ble det registrert tilbakegang i fiskebestanden i Sandvatn i Hunnedalsheiene (Huitfeldt-Kaas 1922), av årsaker som i ettertid er antatt å skyldes forsurening. I disse heiområdene ble det i 1920-årene registrert massedød av ørret i fjellvann, samtidig med fiskedød av laks lenger nede i vassdragene (Huitfeldt-Kaas 1922). Senere har forsuringproblemen økt, og i Rogaland ble et område tilsvarende ca. 40 prosent av fylkets areal betegnet som skadet av forsurening i 1970-80 (Figur 14-15). Forsuringen var kraftigst i de høyestliggende og indre deler av Rogaland fylke. Her var nesten samtlige vann blitt fisketomme, men mange av dem allerede før siste krig (Sevaldrud og Muniz 1980).

Ørretens økologiske krav overfor surhet er også avhengig av andre vann-kjemiske emner, som saltinnhold og humusmengde. Sevaldrud og Muniz (1980) har vist at ørret er særlig følsom for surt vann når mineralogent saltinnhold i vannmassene (= konduktiviteten) er lav. Ved lavt saltinnhold måtte pH overstige 5,8 for å unngå tap av ørretbestander; mens pH på 5,1 var tilstrekkelig ved høyere konduktivitet. Senere har også andre faktorer som kalsium, aluminium og spesielt organisk materiale (se oversikt for Rogaland; Figur 16) vist seg å være viktige, særlig for laks.

Fylkesmannen i Rogaland utformet på 1980-tallet et pH-kart for fylket basert på tilgjengelige målinger (se Figur 10). Svovelnedfallet var høyest på 1970- og først på 1980-tallet, og avtok betydelig utover på 1990-tallet. pH-kartet fra 1980-årene var derfor ikke lenger representativt og i 2002 besluttet Fylkesmannen å oppdatere kartet, denne gang basert på målinger innenfor et relativt avgrenset tidsintervall (sommer/høst 2002). Resultatene viste at pH-verdiene hadde økt ca. 0,5 enhet mellom 1980-tallet og 2002 (Enge og Lura 2003). Men endringene i pH utviklet seg lite fra 2002 til en senere måling i 2007 (Enge 2013).

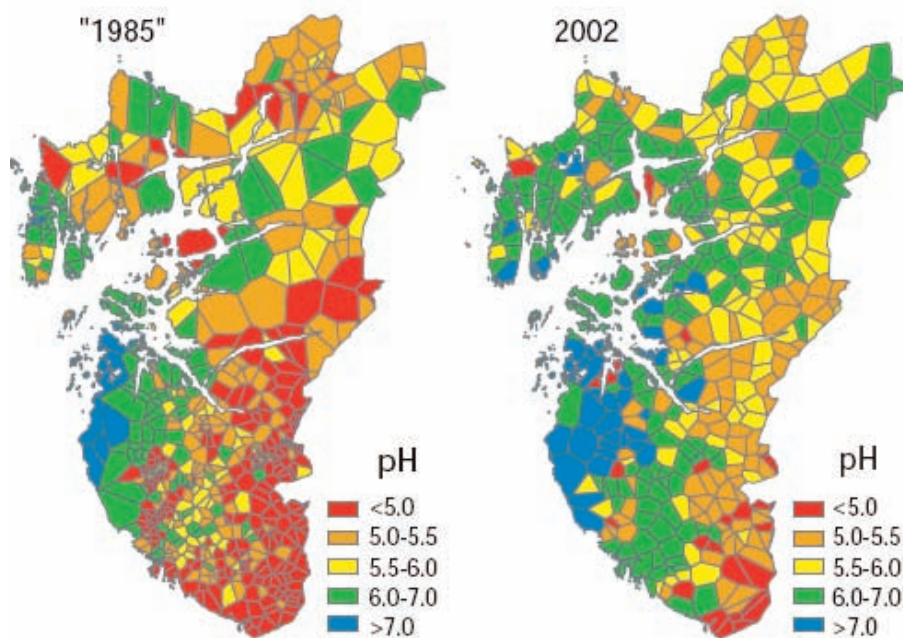


Figur 14. (venstre) Deler av Rogaland (i orange) hvor fisken døde ut pga forsuring (fra Hesthagen & Østborg 2008).

Part of Rogaland showing where fish has disappeared (orange colour) due to long-range transported acidification (from Hesthagen & Østborg 2008).

Figur 15. (høyre) pH kart for Rogaland under maksimal forsuring (før 1990) og etter at den atmosfæriske forbedringen har satt inn (etter Enge 2013).

Acidification (pH) of Rogaland under maximum acidification (before 1990) and after improvements of the long-range acidification (from Enge 2013).



De senere årene har det som følge av forbedringer i vannkjemi vært iaktatt kraftige forbedringer i fiskestatus i Rogaland og indre Agder (Enge 2002). De fleste vann som tidligere hadde restbestander av ørret, har i dag tette og overbefolkede bestander.

Det ble funnet klar sammenheng mellom både klorid og konduktivitet og kalsium og konduktivitet. Konduktiviteten (det såkalte saltinnholdet) i vannet er i hovedsak en kombinasjon av to faktorer: tilførsler av sjøsalt via vær og vind, og forvitring av kalkholdige bergarter. Sjøsaltinnflytelsen er vanligvis representert ved klorid, og berggrunnseffekten ved kalsium. Regresjonene antydte at sjøsalt generelt var viktigere for konduktiviteten enn berggrunnseffekten (jfr. ulike studier av Enge og samarbeidspartnere; Enge 2013).

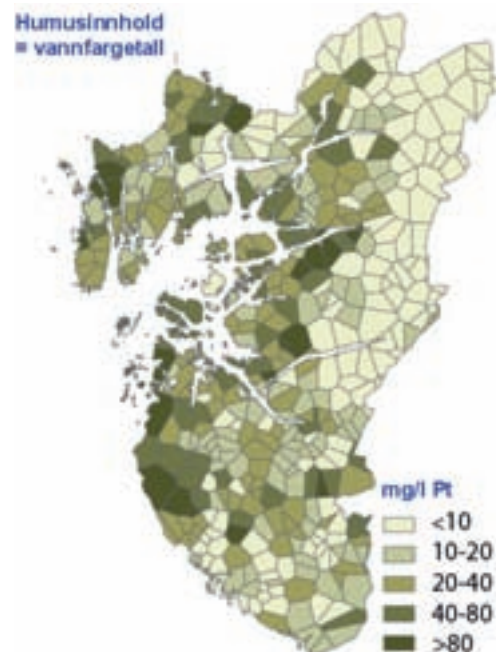
REDUSERTE UTSLIPP AV FORSUREDE STOFFER

Reduserte utslipp av svovel i Europa har medført at konsentrasjonene av sulfat i nedbør i Norge har avtatt med opp til 80 prosent fra 1980 til 2009. Nitrogenutslippene går også ned, i Sør-Norge har nitrat og ammoniumkonsentrasjon i nedbør blitt redusert med hhv. opp mot 50 prosent og over 50 prosent i samme tidsperiode. Endringene er i samsvar med de rapporterte endringer i utslipp i Europa. De totale tilførsler av forsurende stoff i Rogaland har dermed avtatt de siste 25 årene, og dette har resultert i bedret vannkvalitet i overvåkede innsjøer og vassdrag (Enge 2013).

Det er imidlertid ikke bare naturlig restaurering som er viktig å legge merke til ved kalking, men også en sterk tendens til episodisk forsurening og kraftig reforsuring i ionefattige områder i løpet av kalkingsprosessen. Klimaet på den nordlige halvkule hvor Norge er plassert, er vekslende og uforutsigbart, og påvirket av den såkalte NAO (= Nord-Atlantiske Oscillasjonen) (Hurrell & Van Loon 1997). Økte lufttemperaturer i løpet av vinteren over mesteparten av Nord-Europa i siste del av 1980- og 1990-årene ga en ekstrem fase av NAO med unormalt lavtrykk i bl.a. Nordsjøen og Sør-Norge. Denne førte til en rekke tunge nedbørsperioder, både sommer, høst og vinter, fulgt av relativ høy temperatur. Det var denne som førte til nye nedbørsrekorder sommeren/høsten 2000. Det var ikke bare denne episoden som hadde negativ innflytelse på vannkjemien og førte til reforsuring over store områder. Også tidligere kraftige episoder (Kaste et al. 1999), ofte assosiert med sjøsaltepisoder, virket negativt inn på vannfaunaen og førte f.eks. til svake årsklasser av fisk, som vinteren 1993 over store deler av Sørlandet.

NATURLIG SURE LOKALITETER I ROGALAND

Vi har siden tidlig på 1970-tallet i mange norske fylker undersøkt forsurening, effekt av kalking og naturens egen restaurering etter forsurening. Naturlig sure lokaliteter finnes vanlig utbredt i mange skogrike regioner i sørøst-Norge, spesielt øverst i vassdragene (Nilssen 2009b). Slike innsjøer har nesten alltid mye humus i vannmassene, og ofte pH under 5,0 (Grande 1970, Nilssen 2009b). Lenger nede i nedslagfeltene er slike innsjøer betydelig mer sjeldne, men kan finnes der hvor bekker renner gjennom tykke og brede myrområder i lavt landskapsprofil.



Figur 16. Organisk innhold i innsjøene i Rogaland (fra Enge 2013). Det er i første rekke lokalitetene nærmest kysten og beliggende i boreale områder som har sterk farge, som skyldes utvasking av humusstoffer fra jordsmonnet. En rekke innsjøer i Rogaland er svært klare med høy sikt i vannmassene.

Organic content in Rogaland lakes (from Enge 2013). Sites close to the coast and boreal sites exhibit strong water colour due to runoff from to humic soil. Many sites are very transparent.

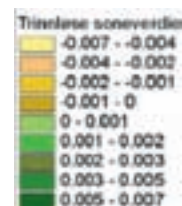
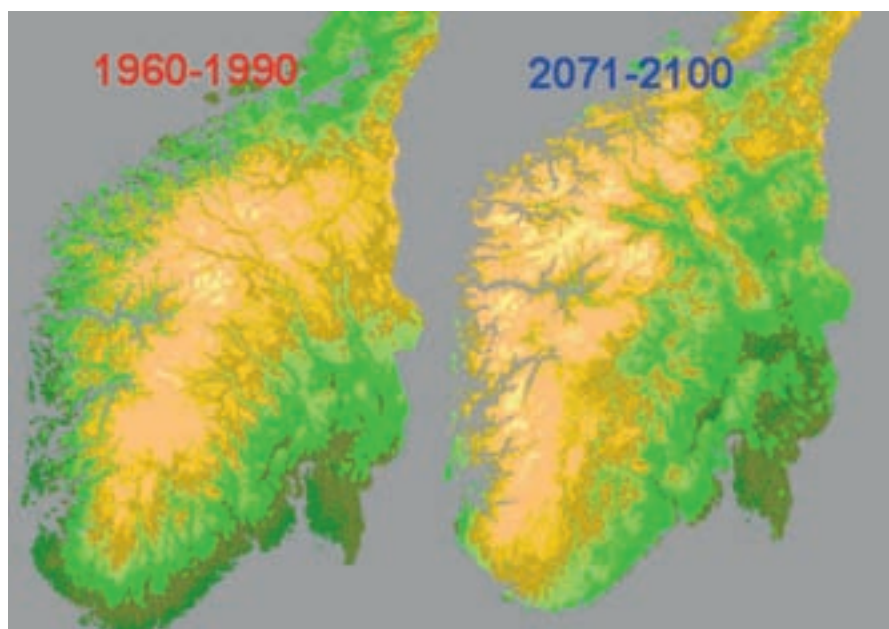
Spesielt på Vestlandet inklusive Rogaland er det områder med høy farge i vannmassene i kystnære områder (Lundbeck 1954, Øygarden & Mikkelsen 1999, Enge 2013). Disse lokalitetene har ofte pH rundt eller like over pH 5,0. I tillegg er mange av dem karakterisert ved mangel på mikrokrepsdyr som *Daphnia* (Hobæk 2000). Denne slekten kommer vanligvis tilbake etter for-suring (fra hvileegg), og finnes nesten overalt hvor pH overstiger 5,3 (Nilssen & Wærvågen 2002b). Årsaken til at *Daphnia* ikke finnes i flere kystnære inn-sjøer på Vestlandet er ikke økologisk lett forståelig, siden pH ikke er ekstremt lav, og i tillegg ville forhøyet innhold av humus kunne bedre forholdene til pH for denne slekten (Hobæk & Raddum 1980).

KLIMAFORANDRINGER I NORGE – GENERELLE VUDERINGER OG MODELLER

ROGALAND OG KLIMAFORANDRINGER

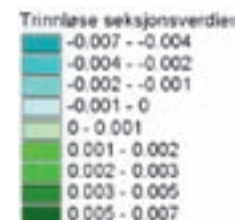
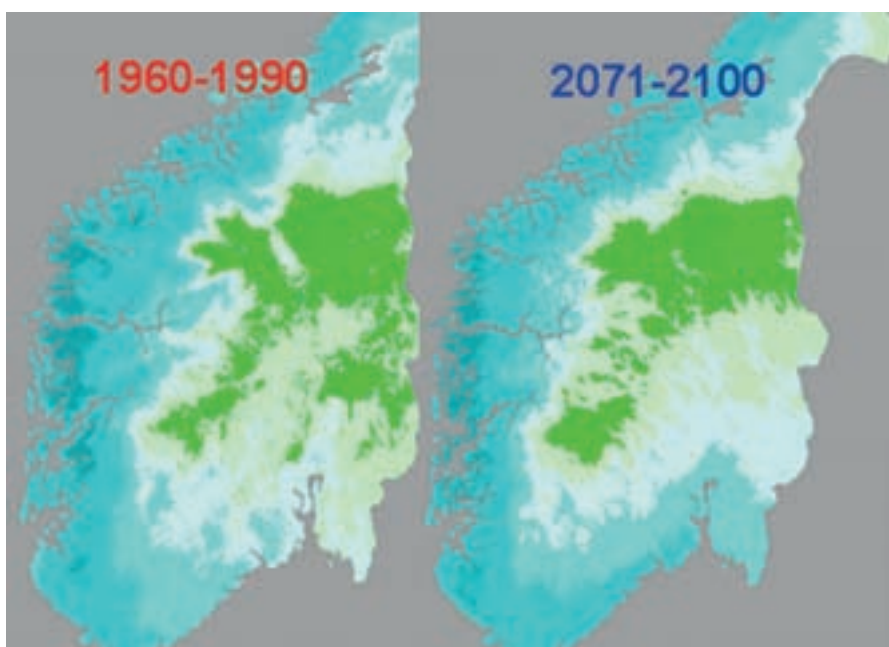
Klima er en avgjørende faktor for variasjonen vi finner i naturen. I Norge er det identifisert to bioklimatiske hovedgradienter, én hovedsakelig knyttet til temperatur og høyde over havet og én i hovedsak knyttet til nedbør (klimatisk fuktighet) og avstand fra havet. En samlet kartframstilling av for-delning av disse to hovedgradientene i Norge basert på ekspertvurderinger, med utgangspunkt i en lang rekke biogeografiske og klimatiske kriterier, er gitt av Moen (1998).

Mange har arbeidet med klimascenarier og –modeller i Norge og utlandet de siste tiårene (se f.eks. Framstad et al. 2006), men et studium basert på vegetasjonssoner (Bakkestuen et al. 2009, under arbeid) er spesielt inter-essant for forholdene i Rogaland. Denne rapporten beskriver et modellsystem for vegetasjonsregioner (= bioklimatiske regioner) som er arealdekkende for hele fastlands-Norge med en oppløsning på 1 km. Modellsystemet er en videreutvikling av tidligere arbeider hvor bare et utvalg av kilometerrutene i Norge ble analysert med samme metode. For å illustrere konsekvensen av gitte klimascenarier for perioden 2071-2100, er det på grunnlag av modell-arbeid laget kart som viser utbredelsen av vegetasjonsregioner i Norge. En sammenligning mellom vegetasjonsmodellene for normalperioden 1961-1990 og klimascenariemodellene for 2071-2100 viser store endringer og fuktigere og varmere klima i de mest foranderlige delene av kartet (Figur 17-18).



Figur 17. Klimascenarium: effekt av klimaforandringer – basert på vegetasjonssoner (fra Bakkestuen et al. 2009). Økende gulhet (oppover soneverdiene) = mer boreale forhold og økende humifisering.

Climate scenario: effects of climate change – based upon vegetation zones (from Bakkestuen et al. 2009). Increasing yellowness denotes more boreal conditions and increasing humification.



Figur 18. Klimascenarium: effekt av klimaforandringer – basert på oseanitet (fra Bakkestuen et al. 2009). Økende blåhet oppover indikerer mer oseaniske forhold.

Climate scenario: effects of climate change – based upon degree of oceanicity (from Bakkestuen et al. 2009). Increasing blue upwards denotes increasing oceanicity.

POTENSIELLE ENDRINGER INNEN VEGETASJONSREGIONENE

For å illustrere mulige effekter av klimaendringer, slik de er modellert i klimascenariene, gir (Bakkestuen et al. 2009) en antydning av hvor store bioklimatiske endringer som kan komme til å finne sted (Figur 17-18). En sammenligning mellom vegetasjonsmodellene for normalperioden 1961–1990 og klimascenariomodellene viser endringer opp til 2,5 seksjonsenheter (= mer oseanisk klima; Figur 18) og opp til 3,5 soneenheter (= varmere klima; Figur 17) enn det dagens vegetasjon og klima viser.

Områdene som ser ut til å få sterkest endring i oseanisk retning er høyereleggende felt i Sør-Norge og i Nordland/Troms. Minst endring langs seksjonsgradienten ser ut til å finne sted på Østlandet, spesielt i Østfold og langs Sørlandskysten og flat-Jæren. Områdene som ser ut til å få sterkest endring i retning av et varmere klima er indre strøk av Finnmark (med en forskyvning på opp til 3,5 soneenheter). Utslaget langs denne gradienten ser ut til å være størst i kontinentale områder, minst langs vestkysten av Sør-Norge og Nordlandskysten inkludert deler av Lofoten.

Temperatur og nedbør er grunnleggende miljøegenskaper som vi vet er avgjørende for dagens fordeling av vegetasjonsregioner. Gitt at scenariene for klimaendringer med såvidt store endringer som angitt (Figur 17-18), viser seg å slå til, må det forventes store endringer også i fordelingen av vegetasjonsregioner og derved arters utbredelse i Norge. Vi vet imidlertid ikke hvor raskt vegetasjonen vil reagere på klimaendringene. Noen arter har stor migrasjonsevne (= spredningsevne), mens andre vil reagere langsommere. Noen terrestriske (= knyttet til landjorden) og akvatiske (= knyttet til hav og ferskvann) økosystemer har stor motstand mot endringer, andre er mer åpne for invasjon av arter som sprer seg. Arealbruksendringer, som også antas å være en viktig årsak til vegetasjonsendringer (se Bryn 2009), representerer også en kilde til usikkerhet i det generelle mønsteret.

Men disse klimaframskrivningene er ikke helt "logiske" i forhold til hvordan folk flest forstår klimaforandringene, at "*alt*" blir *varmere*. Resultatene for Rogaland og store deler av Vestlandet viser at så ikke er tilfelle (Figur 17-18). Riktignok vil innsjøene på flat-Jæren, Karmøy og deler av Haugalandet bli varmere eller ha samme temperaturforhold som nå, men for resten av fylket blir forholdene slik at innsjøene vil utvikle seg til mer typiske boreale typer:

de vil bli kaldere pga av større vanngjennomstrømming og vil miste verdifulle kationer som kalsium. *Mange av innsjøene vil derfor bli mer humøse og dertil mer næringsfattige (= oligotrofe).*

KLIMAFORANDRINGER OG SJØSALTILFØRSEL

Kystnære områder mottar ofte sjøsalter med nedbøren, særlig i perioder med kraftig vind. Store mengder sjøsaltpåvirket nedbør kan i allerede forsursingsutarmete områder føre til at vannet i vassdragene blir enda surere enn tilførselene fra den vanlige nedbøren skulle tilsi. Dette skyldes at natrium-ioner fra sjøsaltene i nedbøren holdes igjen i nedbørfeltet ved ionebytting med hydrogen og aluminium. Store mengder surt og aluminiumsrikt avrenningsvann vil derfor kunne gi surstøtepisoder i vassdrag. Slike surstøtepisoder er vanligvis kortvarige, men det sure vannet kan oppholde seg lenge i innsjøer og dermed gi surt vann til vassdrag over et noe lengre tidsrom. På grunn av lav pH og mye aluminium, som i slike tilfeller foreligger i store mengder i den tilstand som er giftig for fisk og bunndyr (= den labile formen), vil slike episoder kunne føre til akutt dødelighet for vannlevende organismer.

På slutten av åttitallet og begynnelsen av nittitallet har en hatt eksempler på ekstremperioder med mye nedbør og sterk vind om vinteren. Den største og alvorligste sjøsaltepisoden fant sted i 1993, og dette førte til surstøtepisoder i flere vassdrag på Vestlandet (Henriksen et al. 1993). Sjøsalttilførsel er imidlertid helt naturlig langs kysten, der en i de ytterste områdene har en stor og nærmest kontinuerlig tilførsel av salter, som også er sannsynlig i Rogaland. I slike områder vil det alltid være mye natrium i jordsmonnet, og det er derfor mindre sannsynlig at surstøtepisoder vil finne sted i slike vassdrag. Lenger inn i landet er tilførselene av sjøsalter, målt som klorid, vanligvis svært små, men kan i ekstreme perioder med storm og mye nedbør bli kraftig forhøyet. Selv om forsuringen har avtatt de siste ti-årene, øker ikke jordsmonnets innhold av basekationer, så bufferevnen mot sjøsaltepisoder vil fortsatt være svak i store deler av fylket.

KLIMAFORANDRINGER PÅ FLAT-JÆREN

Klimaet på flat-Jæren blir som nå, eller noe varmere, hvilket betyr at innsjøene får varmere vann i epilimnion og lengre, varmere tidsperioder fordi somrene varer lengre. Vannene vil ha begrenset eller ingen isdekning om vinteren.

Hvordan biomasse akkumuleres i den pelagiske sonen (= de fri vannmasser) i innsjøer (i planteplankton, dyreplankton, fisk og/eller ulike kombinasjoner av dette) er demonstrert gjennom flere tiår med intensiv forskning siden slutten på 1950-tallet (Wetzel 2001). Dyreplankton spiller her en helt avgjørende rolle, men også fiskesammensetning, størrelsessammensetningen på planteplankton, næringssalter og mikrostoffers sirkulering. En rekke undersøkelser ble igangsatt rundt eutrofiering (= overgjødning) fra 1970-tallet, og flere typer biomanipuleringer ble igangsatt ved å påvirke næringsnettets struktur og spesielt i hvilke trofiske nivå biomassen skulle akkumuleres (Wetzel 2001). Mange av innsjøene på flat-Jæren er betydelig påvirket av næringssalter og blant Norges mest næringsrike eller eutrofe. Hvis avrenning av næringssalter fortsetter som nå, vil disse innsjøene bli enda mer eutrofe, og kan få hyppigere algooppblomstringer, også med giftige alger.

En av de viktigste forskere i ferskvann gjennom alle tider, dansken Carl Wesenberg-Lund opprettet etter intensive undersøkelser av danske innsjøer en innsjøtype han kalte "Den Baltiske Innsjøtypen", som kan sammenlignes med innsjøene på flat-Jæren (Wesenberg-Lund 1904, 1908). Den er utbredt over store deler av det Baltiske området: Danmark, Nord-Tyskland, Nord-Polen, sør (spesielt Skåne) og Mellom-Sverige og i Norge i noen få lavereliggende områder, hvor de viktigste ligger på flat-Jæren, i Østfold, Vestfold og Akershus. Orrevatn (Figur 4) er således en betydelig mer baltisk innsjøtype enn en typisk vestnorsk innsjø. Det betyr at for å forstå økosystemet i denne og lignende innsjøer på Jæren, må en studere innsjøer i det baltiske området.

Denne innsjøtypen er karakterisert av store grunne områder, middels til lite dyp og et relativt varmt hypolimnion (godt over 4 °C) om sommeren (som ikke sjelden er surstoffritt eller har områder med refugier fra fiskebeiting;

Figur 19. I den baltiske innsjøtypen spiller planktivor fisk som sikfisk (øverst venstre) og sørv (øverst høyre) viktig rolle for å undertrykke zooplankton, mens cladoceren *Leptodora kindti* (til venstre nede) konsumerer små arter som *Bosmina longirostris* (til høyre nede), samt påvirker den ytre morfologien til artene (fotos fra ulike kilder på web).



In the Baltic lake type, planktivorous fish such as whitefish (upper left) and rudd (upper right; a cyprinid species) play important role to suppress zooplankton, whereas the predatory cladoceran *Leptodora kindti* (lower left) consumes small species such as *Bosmina longirostris* (lower right), and also influences the morphology of the species (photos: different sources from the web).

Figur 20. (under) Små, gjennomsiktige arter av zooplankton som (fra venstre) *Ceriodaphnia pulchella*, *Diaphanosoma brachyurum* og *Daphnia cucullata* er ofte karakterarter i baltiske innsjøer, sammen med predatoren *Cyclops strenuus* (upubl. tegninger av G.O. Sars).

Small, transparent species of zooplankton (from left) *Ceriodaphnia pulchella*, *Diaphanosoma brachyurum* and *Daphnia cucullata* often make up character species in Baltic lakes, together with the predatory *Cyclops strenuus* (unpubl. drawings from G.O. Sars).



Figur 21. (høyre) Hoppekreps – copepoder som *Cyclops abyssorum* – blir viktige arter ved økende eutrofiering av innsjøer på Jæren og i baltiske innsjøer. De har ofte refugium fra fiskepredasjon i områder med lite oksygen i hypolimnion, eller i hvilestadier (= diapause). Her er arten avbildet etter akkurat å ha kommet ut fra sedimentet diapause i copepodittstadium 5.

Copepods – such as *Cyclops abyssorum* – forms important species with increasing eutrophication of lakes in the Jæren region, as well as in Baltic lakes. They often possess refuge from fish predation in habitats with little oxygen, or form diapause (= resting) stages. This specimen has just aroused from sediments diapause in copepodite (= instar) stage 5.



zooplankton som *Ceriodaphnia pulchella*, *Diaphanosoma brachyurum* og *Daphnia cucullata* er ofte karakterarter i baltiske innsjøer, sammen med predatoren *Cyclops strenuus* (Figur 20), som imidlertid ikke er vanlig i Rogaland.

Relativt store hoppekreps som *Cyclops abyssorum* (Figur 21) – blir viktige arter ved økende eutrofiering av innsjøer på Jæren og baltiske innsjøer. De slipper delvis unna fiskebeiting ved å oppholde seg i områder med lite oksygen i

dypvannet eller i inaktive hvilestadier i bunnsedimentet i utsatte tider av året. I perioden fra senhøsten til St.Hans, opptrer i Baltiske innsjøer såkalte vinteraktive cyclopoide copepoder som *Cyclops strenuus* og *C. vicinus* som beiter på små stadier av dyreplankton, spesielt i våroppblomstringsperioden. Dette har store effekter og kan føre til at planteplankton i våroppblomst-

(Figur 19). Disse innsjøer har intens fiskebeiting, i første rekke fra en rekke arter av sikfisk og karpefisk, som hele året i tillegg bidrar til sterk intern gjødsling, bl.a. med fosfor. Spesielt om sommeren, når årets yngel opptrer, er det sjeldent at større dyreplanktonarter innen *Daphnia* opptrer, samtidig blir hjuldyr og encellede dyr mye vanligere. Derfor avtar beitetrykket drastisk på planteplankton, og store mengder – ofte giftige og vannblomst-dannende – planteplankton opptrer, og lager store problemer for menneskelig anvendelse (se f.eks. Skulberg 1979, Skulberg et al. 1984). Små, gjennomsiktige arter av

ringen langt på vei tømmer vannmassene for næringssalter, som igjen påvirker de etterfølgende artene av planteplankton og på sensommer og høst fører til oppblomstring av store, uønskede og giftige arter (Nilssen 1978).

I Jær-området (Figur 22) har i tillegg typiske europeiske fiskearter som sørv – indikatorer for eutrofe forhold – spredd seg ved menneskenes hjelp i nyere tid. Dette utgjør nå innledningen til en kritisk økologisk situasjon i innsjøene om noen få tiår (Nilssen 2009c).



KLIMAFORANDRINGER I BOREALE DELER AV ROGALAND

De største arealene av Rogaland ligger utenfor flat-Jæren og effektene er beskrevet tidligere (Figur 17-18). For de boreale delene av Rogaland vil forholdene være forskjellige fra flat-Jæren og kan føre til økende humusinnhold, vannfarge, og lavere pH og kalsiuminnhold. Ved stor humusmengde, kan også vannmassene få permanent lav pH, som i svært kraftige humøse innsjøer i Fennoscandia ellers. Ved slik økende humifisering, vil også typiske boreale arter som gelekrepsen (*Holopedium gibberum*) og *Cyclops scutifer* øke (Figur 23); disse er også karakteristisk for mer næringsfattige innsjøer. De blir også mer vanlig ved økende borealifisering, og dette kan få betydning for det pelagiske økosystemet.

I Rogaland finnes store daphnider – som *Daphnia lacustris* og *Daphnia longispina* – registrert av G.O. Sars før 1900 (og artene finnes fortsatt i fylket). Artene opptrer sjeldent tallrikt i vanlige norske innsjøer i lavlandet, på grunn av høy fiskebeiting. Med lavere kalsiumverdier, som ved økende utvasking, kan slekten *Daphnia*, spesielt disse to artene få fysiologiske problemer i akvatiske miljøer i deler av Rogaland med kalsium under ca. 0,5 mg/l.



Figur 22. I flere tiår har det vært drevet forskning i Jær-vannene. Dette må således betraktes som klassiske lokaliteter innen ferskvannsforskning – mange lokaliteter er forandret siden G.O. Sars' tid og eutrofieringen har økt. Mosvatnet (venstre) har vært manipulert med fiskejerning (rotenon), mens det i Frøylandsvatnet de siste årene har kommet en svært skadelig fiskeart sørv (fotos fra ulike kilder på web).

The Jæren lakes have been studied for many years and as such form classical sites in limnology. Many sites have changed conspicuously since G.O. Sars' time and especially eutrophication has increased. Lake Mosvatnet (left) has been manipulated with rotenone, whereas in Lake Frøylandsvatnet the unwanted fish species rudd has appeared the last decades (photos from different web sources).

Figur 23. Disse arter - gelekrepseren *Holopedium gibberum* (venstre) og *Cyclops scutifer* (høyre) – er karakteristisk for mer næringsfattige innsjøer, og blir betydelig sjeldnere eller faller ut når innsjøene eutrofieres, som har skjedd siden Ossian Sars' undersøkelser i Sør Norge på 1800-tallet. De blir også mer vanlig ved økende borealisering (unpubl. tegninger av G.O. Sars). Dette kan få betydning for det pelagiske økosystemet.

Both *Holopedium gibberum* (left) and *Cyclops scutifer* (right) – form characteristic species for more oligotrophic sites, and are uncommon in typical eutrophic sites. They will probably increase with increasing borealisation of western Norwegian lakes, influencing the pelagic community (unpubl. drawings from G.O. Sars).



KLIMAFORANDRINGER, ISTIDSKREPS OG ANDRE FERSKVANNSDYR PÅ FLAT-JÆREN

Allerede på 1880-tallet oppdaget den verdenskjente norske krepsdyrforskeren Georg Ossian Sars den sjeldne krepsdyrarten *Monoporeia affinis* (Figur 24) i Orrevatnet og senere i 1922 ble den oppdaget i Frøylandsvatnet (Sømme 1936), noe lenger opp i samme vassdrag. Denne arten tilhører en gruppe krepsdyrarter som har blitt kalt for "istidsrelikter" og utgjør arter som



Figur 24. Disse artene av istidsrelikter står i fare for å forsvinne fra Rogaland; venstre: *Monoporeia affinis* (norsk: flatbent istidskreps) fra Orrevatnet og Stokkalandsvatnet, høyre: *Pallasea quadrispinosa* (norsk: firetornet istidskreps) fra Stokkalandsvatnet (upubl. tegninger av G.O. Sars).

The following species of "glacial relicts" are in danger of disappearing from Rogaland; left: *Monoporeia affinis* from lakes Orrevatnet and Stokkalandsvatnet, *Pallasea quadrispinosa* (right) from lake Stokkalandsvatnet (unpubl. drawings from G.O. Sars).

vandret inn avhengig av prosesser som dominerte under og like etter siste istid. De er, med unntak av forekomstene på flat-Jæren, bare funnet naturlig utbredt i Norge i lavereliggende strøk på Østlandet (Spikkeland et al. 2012a, 2012b).

En ny art i denne gruppen ble senere funnet i Stokkalandsvatnet, et rekelignende krepsdyr som bestemt til pungreken *Mysis relicta* (Mathiesen 1953). Funnene av istidskreps på Jæren vakte oppsikt også utenlands, og området fikk besøk av innen- og utenlandske forskere ved flere anledninger. Etter å ha gjennomført genetiske undersøkelser av bestanden, fant en at den tilhørte en annen art av pungreke, som fikk navnet *Mysis salemaai* (Väinölä & Rockas 1985, Audzijonyte & Väinölä 2005). Dette er til nå den eneste kjente forekomst av denne arten i Norge. Väinölä besøkte også Orrevatnet, men fant ikke lenger flatbent istidskreps der. Denne innsjøen var siden Sars sin tid blitt senket 2 m., og var nå bare 4 m. dyp, og mye tydet på at bestanden var utdødd. Dermed var det to kjente bestander av istidskreps på Jæren; flatbent istidskreps i Frøylandsvatnet og pungreke i Stokkalandsvatnet.

I Stokkalandsvatnet ble også firetornet istidskreps *Pallasea quadrispinosa* (Figur 24) funnet, en ren ferskvannsart som aldri tidligere er observert vest

for Glomma (Spikkeland et al. 2012a, b). At bare tre individer ble påtruffet, til tross for flere tråldrag i innsjøen, antyder at denne arten er svært fåtallig her. I tillegg er bestanden av flatbent istidskreps *Monoporeia affinis* i Orrevatnet etter alt å dømme utdødd.

Totalt er det registrert naturlig forekommende istidsrelikter i 40 innsjøer i Norge, nesten utelukkende utbredt i de dypeste og kalde vannlagene (= hypolimnion). Noen steder, som f.eks. i Orrevatnet, kan også bestandene ha gått ut. De viktigste årsakene til dette er sannsynligvis færre og mindre tilgjengelige dybdeområder på grunn av eutrofiering (= overgjødning), og trolig også økt fiskebeiting (jfr. Orrevatnet). I tillegg kan bestanden av firetoenget istidskreps i Stokkalandsvatnet allerede være i faresonen på grunn av næringsanrikning eller overgjødning.

I Stokkalandsvatnet ble det i tillegg funnet ca. 40 individer av en gråsuggeart (eller asell) som viste seg å være den søreuropeiske arten *Proasellus coxalis* (Spikkeland et al. 2013), som i Nord-Europa tidligere bare er funnet noen få steder i Skåne.

Den lokale utbredelsen til istidsimmigrantene i Rogaland er således "klemmt" mellom økende fiskepredasjon og avtagende oksygeninnhold i dypvannet; som følger med den økende næringstilgangen til innsjøene. Stor tilførsel av næringsstoffer og medfølgende overgjødning er en trussel mot disse følsomme artene. Den eneste positive nyheten er at artene kan komme tilbake fra meget små restmengder når overgjødslingen avtar (Särkkä et al. 1990).

KLIMAFORANDRINGER OG SPREDNING AV FAUNAFREMMEDE FISKEARTER

I Norge har nye uønskede fiskearter blitt spredd til store deler av Sør-Norge (Nilssen & Wærvågen 2001, Nilssen 2009c, Storli 2011, Hesthagen & Sandlund 2012, Kleiven & Hesthagen 2012). Også i Rogaland vil det bli store økologiske problemer med denne faunaspredningen ved framtidige klimaforandringer (jfr. Nilssen 2009c). Av disse artene forårsaker sørv og gjedde de mest alvorlige påvirkningene, og de har samtidig det største spredningspotensialet. Sørv vil bli et svært stort problem for mange innsjøer og andre ferskvannsfiskearter i Rogaland på grunn av sin spesielle økologi (Nilssen 2009c). Arten vil ikke bare påvirke de vanlige lokale artene (allerede nå er

det blitt mye mindre av de store *Bosmina*-formene, og betydelig mer av den lille arten *Bosmina longirostris* (Molværsmyr 2006, 2007)) og mange arter av hjuldyr, men eutrofiering og andre økologiske problemer vil trolig utvikle seg til det verre med tiden. Artsspredningen kan også få store konsekvenser for den stedegne faunaen: se Figur 19.

S.B. Wærvågen (Høgskolen i Hedmark) har gjennomgått dyreplankton fra flere lokaliteter gjennom mange år (data gjengitt i ulike rapporter av Molværsmyr (2006, 2007), se også Sanni & Wærvågen (1990), Molværsmyr & Wærvågen (1997)). Det er tydelig at både fisk og virvelløse planktonkonsumenter (som *Leptodora kindti*), spiller stor rolle for sesongmessige mengdeforhold for flere av artene av byttedyr (*Bosmina*, *Daphnia*), slik det er antydnet i diagrammene i Faafeng et al. (1985).

Andre arter som også er svært tilpasset forholdene på Jæren, som hoppekrepsen *Cyclops vicinus* og hjuldyret *Kellicottia bostoniensis* (se Andersen 2010), kan også spres og lett etableres her. De er nå i betydelig spredning i øst-Norge og hele Norden forøvrig (Andersen 2010, Nilssen unpubl.data).

KLIMAFORANDRINGER OG FORTSATT NÆRINGSANRIKNING (EUTROFIERING) AV JÆRVANNENE

Med økende mengde av karpefisk, som nå er i ferd med å skje på flat-Jæren, vil dette få stor negativ effekt på innsjøenes metabolisme. Rogaland er et intensivt jordbruksområde, og spesielt de lavereliggende delene, flat-Jæren, har vannsystemer som allerede er svært tydelig preget av overgjødning (Bergheim et al. 1976, Faafeng et al. 1985, rapporter til Molværsmyr over flere år). Det er også tydelig at denne har økt de siste tiårene, eller i beste fall har stabilisert seg som svært høy (Molværsmyr et al. 2008). Det er spesielt etter 2. verdenskrig at eutrofiering økte sterkt (Molværsmyr et al. 2008), og det har heller ikke vært uvanlig med giftig algeblomst i flere lokaliteter (Skulberg 1979, Skulberg et al. 1984). Klimaforandringene kan føre til økt eutrofiering av innsjøene på flat-Jæren, spesielt i sammenheng med spredning av karpefisk som sørv.

HVORDAN OVERVÅKES INNSJØER I NORGE OG ROGALAND?

For at samfunnet skal vite hvordan økologiske og andre forhold i ferskvann utvikler seg, er det satt i gang store overvåkningsstudier fra sentralt hold. Disse drives av norske overvåknings- og forurensningsmyndigheter og dekker store deler av landet.

EUs-VANNDIREKTIV AV ÅR 2000 – KORT OVERSIKT

EUs vanndirektiv, som Norge har ratifisert, krever at innsjøer skal tilbakeføres til den ”originale” tilstand innen få år fra nå (vanligvis 2021; utsatt fra 2015). For å identifisere den ”opprinnelige” tilstanden, er paleoøkologiske studier svært nyttig, siden mye historisk, opprinnelig materiale er kastet i årenes løp (se eget avsnitt). Detaljerte paleoøkologiske undersøkelser har demonstrert hvordan vannkjemi, innsjøer og hele nedslagsfeltet har utviklet seg siden isen trakk seg tilbake fra Fennoscandia etter siste istid (Battarbee et al. 1990, Renberg et al. 1993). Disse viser at alle akvatiske lokaliteter var mest ione- og næringsrike like etter at isen hadde trukket seg tilbake, fordi den kjemiske forvitringen virket direkte på eksponerte løsmasser. Etter at vegetasjonen etablerte seg, opptrådte en vekslende grad av naturlig forsuring i nedslagsfeltet. Langt senere førte menneskenes aktiviteter til en mer ionerik tilstand, som skyldes opparbeiding av kulturlandskap (Sageidet 2005), før det antropogene (fra mennesker) nedfallet det siste hundreåret førte til en sterk forsuring i følsomme økosystemer. Det er derfor vanskelig å bestemme hvor i innsjøenes historisk-dynamiske utvikling at den ”opprinnelige” vannkvaliteten skal fastlegges, som EUs vanndirektiv har som ett av sine hovedelementer. Likevel er det generell enighet om at vannkvaliteten vi refererer til er forholdene like før den nylig antropogene forsuringen (SNV 2000). Paleo-økologiske studier er påbegynt i Rogaland (Molværsmyr et al. 2008), men bør også omfatte ytterligere faunaelementer som f.eks. vannlopper, fjærmygg og andre grupper (se Cohen 2003 for en grundig oversikt).

De spesielle økosystemene i Rogaland generelt og utfordringene på flat-Jæren spesielt, krever at samfunnet bryr seg om dette, og studier er satt i gang. I Jærområdet har det imidlertid (til tross for plassering av et læresenter i dette nærområdet: Universitetet i Stavanger) vært mer vanlig med overvåkning (såkalte monitoring) enn med detaljstudier i arters økologi (f.eks. Faa-feng et al. 1985, Molværsmyr 2006, 2007). Ingen detaljerte livshistorie- og

habitatøkologiske studier er gjennomført, slik det f.eks. er gjort i enkelte andre deler av landet vanligvis beliggende nær universiteter; se mer detaljert beskrivelse i Nilssen (2013) og Nilssen et al. (2013). Et stort overvåkningsprogram synes nå å foregå på flat-Jæren, men det kan etterlyses mer detaljerte studier basert på emner som systematikk, artsøkologi (som livshistorier og habitatøkologi), og studier av totale næringsstrukturer som inkluderer hele økosystemet fra kjemi/fysikk til fisk og fugl. Problemet med slike prosjekter er de høye utgiftene (det blir 10 ganger så dyrt som de enkle monitoringsstudiene som nå foregår, og hvem skal betale for dette?), og etter hvert mangel på fagpersoner i Norge og ellers på kloden. Imidlertid, hvis monitoringsstudier blir utført med gode metoder og faste tidsintervaller over flere tiår, kan også slike generere verdifull basalkunnskap om slike økosystemer som beskrevet over.

EU5-VANNDIREKTIV – ELEMENT AV NPM OG ØKENDE BYRÅKRATISERING I FORSKNINGEN

Et spesielt eksempel på økende byråkrati i praktisk forskning er EUs vanndirektiv av år 2000, som kan betraktes som et NPM (= New Public Management) element, med opprinnelse hos EUs byråkrater, overført til Norge fra EU. Dette skjer selv om våre vannsystemer avviker betraktelig fra en rekke av de mellom- og sør-europeiske, spesielt på grunn av lavt ioneinnhold i Norge og Fennoskandia. (Det bør legges til at det blant norske forskere er ulikt syn på dette – forskere og byråkrater i det nye miljøverndirektoratet, NIVA og NINA synes å støtte EUs vanndirektiv, mens denne forfatteren tilhører et mindretall). Det detaljerte inndelingssystemet i dette vanndirektivet når det gjelder økologisk tilstand på vannøkosystemer, utformes delvis i byråkratisk språkdrakt, som en nyoppdaget løsning (se Schopenhauer 1997 s. 52-59), og man synes å se bort i fra stor akkumulert feltforskning fra en mengde naturforskere over mange tiår, som f.eks. oppsummert av Sládeček (1973). Et tidlig eksempel på et annet detaljert inndelingssystem utgjør f.eks. Naumann (1931: Limnologische Terminologie: 776 sider), en ekstrembokøvelse med så mange analytiske inndelinger (se Rodhe 1973 s. 27) at den overhodet ikke har latt seg anvende vitenskapelig meningsfylt etter at den ble publisert.

I EUs omfattende, byråkratidrevne vanndirektiv er, overraskende nok, den pelagiske sonen ikke behandlet i detalj eller *sammenheng*, fordi et avgjør-

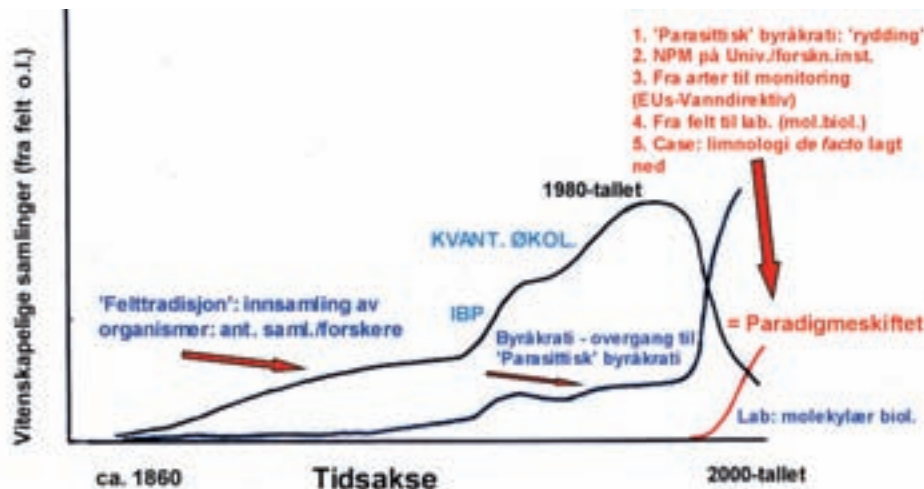
ende element som dyreplankton, hvor mye av gjennombruddene er kommet i limnologisk grunnforskning (Hutchinson 1951, Elgmork 1959, Hrbáček et al. 1961, Shapiro et al. 1975, Lampert 1997, Gliwicz 2003), ikke er inkludert. Det er derfor ikke unaturlig at et *synthese-fag* som limnologi er i ferd med å bli lagt ned i Norden (Nilssen 2014 i ms), selv om vannet på kloden (fortsatt) er noe av det viktigste for menneskene.

Antall personer som arbeider med grunnforskning innen ferskvann på universiteter, og lignende institusjoner, i Norge har vært stabilt eller i jevn, svak nedgang de siste tiårene fra ca. 1970, mens administrasjonene har økt ekstremt (mange hundre prosent) i samme tidsrom (se også Wheeler 2014). Endel av dette har sammenheng med at prosjektene har blitt større og mer anvendte, rettet mot løsning av spesielle forskningspolitiske problemer (Nørretranders 1985: s. 16-19; s. 382-389). Det finnes få publiserte, reflekterte data på denne utviklingen, heller ikke om virkningen(e) av sterk økende byråkratisk styring av forskningen gjennom ulike former av NPM og den praktiske og daglige gjennomføringen av denne (se Brew 2001). Det utgjør en stor utfordring for vitenskapen, spesielt grunnforskningen, at slike data ikke finnes eller underkommuniseres, som en del av nødvendig vitenskaps-sosiologisk og -filosofisk forskning (Nørretranders 1985). Samtidig med økningen av ikke-forskere ved de samme stedene, er det observert en overgang fra "webersk" byråkrati til "parasittisk" byråkrati (se Charlton 2010). Denne type byråkrati går i tillegg like inn i kjernen av grunnforskningen (Brew 2001), og i de siste årene har den til og med lagt retningen for forskning; se f.eks. innholdet i Vanndirektivet (WFD, fra EUs byråkrater) ved slike steder som mange europeiske universiteter og andre forskningsinstitusjoner i Europa og Norge.

TILGJENGELIGHET PÅ REFERANSEMATERIALE OG OPPRETTTHOLDELSE AV VITENSKAPELIGE SAMLINGER

Etterhvert som naturvitertradisjonen forsvinner fra forskningen og data-maskiner blir den viktigste kilde for innsamling av data, går mengden av innsamlet feltprøver kraftig ned (Figur 25). I tillegg vil (små og store) samlinger etter avgåtte forskere bli ryddet bort eller kastet, ofte samtidig med bok- og særtrykksamlinger etter de samme forskere. Dette forhindrer også mulighetene for at de profesjonelle institusjonene (= de statlige universitets-museene) får påfyll av vitenskapelig materiale (se Wheeler 2014), som jo ofte staten selv har støttet med økonomiske midler. En viktig bifaktor er at siden

vitenskapelig materiale ofte ikke lagres, kan man heller ikke kontrollere og/eller gjenta mange av forskningsresultatene. En av den ideelle forskerfor-
 eningen Müller – Sars Selskapets (stiftet i 2014) hovedoppgaver er å bidra til
 å gjeninnføre og styrke naturviter-tradisjonen (= engelsk: 'field naturalist'),
 selve grunnlaget for begrepet naturvitenskapelig forskning, fordi selskapet
 mener at utviklingen går i feil retning; ved bl.a. å se bort i fra tiårs intens
 forskning på mikrokrepsdyr, hjuldyr og den pelagiske økosonen. Som det
 framgår av



Figur 25. Forhold mellom innsamlet vitenskapelig materiale innen akvatisk (og annen) biologi (øverste svarte kurve med topp på 1980-tallet) og byråkratipåvirkning på forskning (blå kurve med topp etter år 2000) de siste ca. 150 årene. Rød kurve viser overgang til molekylærbiologisk biologi, hvor ofte prøver hentes fra databaser på web. Kvant. = kvantitativ, NPM = New Public Management, IBP = Det Internasjonale Biologiske Programmet. Se teksten for detaljer.

Relationship the last 150 years between scientific aquatic (and other) material being collected from the field (upper, black curve), type of bureaucracy influencing research (blue curve), and increase in molecular biology (red curve). Legends: Kvant. = quantitative, NPM = New Public Management, IBP = International Biological Programme. See the Norwegian text for further details.

Figur 25, er det en meget stor nedgang av det tilgjengelige materialet som kontinuerlig samles inn ved feltundersøkelser de ca. 150 siste årene. Det skyldes hovedsakelig de samme faktorene som beskrevet tidligere, men spesielt viktig er NPM og det "parasittiske" byråkratis ønske om "orden" i kjølerom, fryserom, skap og andre steder. De siste årene er en mengde akkumulert og historisk vitenskapelig materiale kastet – og er borte for alltid.

Et lite eksempel utgjør småkreps (Entomostraca; det inngår ikke i EUs vann-direktiv). En norsk samling har verdenskarakter: "G.O. Sars Samling". G.O. Sars og hans far Michael Sars er Norges største vannforskere til alle tider, og de er norsk biologis "Niels Henrik Abel". Samlingen til G.O. Sars er todelt, vitenskapelige objekter er lagret på Naturhistorisk Museum, UiO og illustrasjoner på Nasjonalbiblioteket, Oslo avd.. Samlingen på Naturhistorisk Museum er helt avhengig av nyinnsamlet materiale for å kunne oppdateres fylogenetisk (= slektskap), systematisk-taksonomisk (vanligvis via såkalt gamma-taksonomi), og ikke minst nomenklaturisk (= navnsetting av arter og

former). Slikt materiale samles best inn fra typelokaliteter (= sted hvor arten er beskrevet første gang), typeområder og andre viktige geografiske områder hvor Sars hentet sitt rikholdige materiale. Innsamling av vitenskapelig materiale av småkreps skal gjøres slik at de senere skal kunne analyseres med molekylærbiologiske metoder.

Forskning i Norge og organisering av forskningssentrene innen faget limnologi er på grunnplanet i en relativt uavklart tilstand i forhold til samfunnets krav. Det ble f.eks. hevdet at EUs vanndirektiv til sitt overvåknings- og kartleggingsarbeide hadde behov for ca. 300 Master-kandidater og ca. 80 PhD-kandidater i tiårene fra 2009 (CIENS 2009). Det som i virkeligheten har skjedd er milevidt fra disse tallene, og i stedet har syntesefaget limnologi blitt et mikro-fag (bemerkelsesverdig nok i samme tidsrom). Det er mye fagbyråkratisk stoff i dokumentet (CIENS 2009), og dette sammen med bemerkelsesverdig små økonomiske midler utgjør en spesielt uheldig kombinasjon.

EUS VANNDIREKTIV AV ÅR 2000 – SAMMENDRAG VANNOMRÅDET ROGALAND

Det finnes mange tusen små og store vann og innsjøer i Rogaland – og minst like mange elver og bekker. Vannkvaliteten i regionen spenner fra svært klare og næringsfattige innsjøer i fjellområdene til næringsrike innsjøer og elver i lavlandet, som vi tidligere har demonstrert. Kyst og fjordlandskapet preger hele vannregionen, i form av den åpne eksponerte kystlinjen som strekker seg fra sør til nord, og de mange fjordene som preger hele Boknafjordområdet og flere av vannområdene.

Miljøtilstanden til en vannforekomst bestemmes ikke bare av type og mengde ytre påvirkning på vannet, men også vanntypen er viktig, det vil si de iboende egenskapene i en vannforekomst (se Wetzel 2001). Dette er avgjørende for å kunne fastsette miljøtilstand, risiko og miljømål. En finner mer informasjon om disse kriteriene i karakteriseringsveilederen (Direktoratgruppen 2011).

Vannmiljøet i vannregionen i Rogaland (opplysningen er tatt fra web: <http://www.vannportalen.no/Rogaland/>) er påvirket av mange ulike sektorer, aktiviteter og næringer. Resultatene fra karakteriseringen antyder at så mye som 70 prosent av vannforekomstene i vannregionen er i ”risiko” eller ”mulig

risiko” for ikke å nå målet om ”god” økologisk tilstand innen 2021. Hvis vannforekomster som kun har sur nedbør som påvirkning trekkes ut av bildet, reduseres andelen til fortsatt så høyt som ca. 60 prosent. Landbrukspåvirkede elver og innsjøer, spesielt på Jæren, er et spesielt alvorlig risikoområde.

Med de framskrevne klimautsikter referert til i denne undersøkelsen, kan dette gi en kombinert negativ effekt i de spesielle og verdifulle ferskvannsøkosystemene som ligger på flat-Jæren. Dessuten, i områder av Rogaland utenfor flat-Jæren vil økt nedbør derimot føre til en sterkere boreal struktur av natur og ferskvann, kraftigere brunfarging (= humifisering) og sannsynligvis også lavere pH i ferskvannene.

TAKKSIGELSER

Forfatteren takker følgende personer for informasjon og data om klimaforhold, klimascenarier, landskapsforhold, paleoøkologi og innsjøer i Rogaland: Vegar Bakkestuen (Naturhistorisk Museum, Univ. i Oslo), Ingrid Ebne (miljøvernleder i Haugesund), Espen Enge (Fylkesmannen i Rogaland), Åge Molværsmyr (IRIS = International Research Institute of Stavanger), L. Prøsch-Danielsen (Arkeologisk museum, Univ. i Stavanger), Kristian Solberg (Fylkesmannen i Rogaland), Svein B. Wærvågen (Høgskolen i Hedmark), Alf Harry Øygarden (Solanum kompetanse, Rogaland), samt Müller-Sars Selskapet for økonomisk støtte og Nasjonalbiblioteket i Oslo for tilgang til G. Osian Sars' vitenskapelige illustrasjoner. Vitenskapelige utsagn og meninger er forfatterens ansvar. Fotografier og illustrasjoner ved forfatteren der ikke annet er nevnt.

LITTERATUR

- Abrahamsen, J. & Pallesen, P.F. & Solbakken, T. 1972. Fylkeskompendium for Rogaland. Om naturvitenskapelige interesser knyttet til uregulerte og "ubetydelig" regulerte vassdrag. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer, Universitetet i Oslo. 372 s.
- Andersen, D.O. 2002. Chemistry of a limed lake and its tributaries. Potential impact of climatic change. Diss. Fac. Math. Natural Sciences, Univ. Oslo.
- Andersen, F.B. 2010. Zooplanktonsamfunn i lavlandslokaliteter i et karakteristisk østnorsk mosaikklandskap: gradientanalyser av zooplankton og utvalgte abiotiske og biotiske miljøfaktorer. Masteroppgave i limnologi, Biologisk Institutt, Univ. Oslo. 277 s.
- Audzijonyte, A. & Väinölä, R. 2005. Diversity and distributions of circumpolar fresh- and brackish-water *Mysis* (Crustacea: Mysida): descriptions of *M. relicta* Lovén 1862, *M. salemaai* n. sp., *M. seigerstralei* n. sp. and *M. diluviana* n. sp., based on molecular and morphological characters. *Hydrobiologia* 544: 89-141.
- Bakkestuen, V., Erikstad, L. & Halvorsen, R. 2009. Klimaendringer og Norges vegetasjon. Hvordan påvirkes vegetasjonsmodeller av ulike klimascenarier? NINA Rapport 524: 1-24.
- Battarbee, R.W., Mason, J., Renberg, I. & Talling, J.F. (eds) 1990. Paleolimnology and lake acidification. *Phil. Trans. R. Soc. London. B* 327: 223-445.
- Bergheim, A., Sivertsen, A. & Snekvik, E. 1976. Jærenundersøkelsene – feltrapport om resipient-undersøkelsene juni/juli og august 1976. Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk. Fiskeforskningen Ås. Rapport 1161/76. 14 s. + 36 tabeller.
- Brekke, E., Hobæk, A., Johnsen, G.H. & Nilssen, J.P. 2011. Kalking og naturlig restaurering av tidligere forsurede innsjøer i Hordaland. Basert på innsjøtypologi og pelagiske bioindikatorer. Rådgivende Biologer AS rapport 1446, 57 sider, ISBN 978-82-7658-853-8.
- Brew, A. 2001. The nature of research. Inquiry in academic contexts. Routledge/Falmer, UK. 205 s.
- Bryn, A. 2009. Vegetation mapping and landscape changes. GIS-modelling and analysis of vegetation transitions, forest limits and expected future forest expansion. Ph.D avhandling, Institutt for geografi, Universitetet i Bergen, Bergen.
- Carpenter, S.R., Fisher, S.G., Grimm, N.B. & Kitchell, J.F. 1992. Global change and freshwater ecosystems. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 23: 119-139.
- Charlton, B.G. 2010. The cancer of bureaucracy: how it will destroy science, medicine, education; and eventually everything else. *Medical Hypotheses* 74: 961-965.
- CIENS (Forskningssenter for miljø og samfunn) 2009. Vanndirektivet – behov for kunnskap, kompetanse og kapasitet. Utkast-Upubl.
- Cohen, A.S. 2003. Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems. Oxford University Press, New York, 500 pp.
- Direktoratgruppen 2011. Veileder 01:2011a. Karakterisering og analyse. Metodikk for karakterisering og risikovurdering av vannforekomster etter vannforskriftens §15. Fra www.vannportalen.no.
- Eide, F.G. & Paus, Aa. 1982. Vegetasjonshistoriske undersøkelser på Kårstø, Tysvær kommune, Rogaland. Rapport 23 – Botanisk Institutt, Universitetet i Bergen. 45 s.
- Elgmork, K. 1959. Seasonal occurrence of *Cyclops strenuus strenuus*. *Folia Limol. Scand.* 11:1-196.
- Enge, E. 2002. Recovery i Sira og Kvina: "Nu går allting så meget bedre". pH-status - 8: 8-9.
- Enge, E. 2013. Water chemistry and acidification recovery in Rogaland County. *Vann* 48: 78-88.
- Enge, E. & Lura, H. 2003: Forsuringsstatus i Rogaland 2002. Ambio Miljørådgiving & Fylkesmannen i Rogaland, rapport nr. 10014-1.
- Enge, E. & Kroglund, F. 2011. Population density of brown trout (*Salmo trutta*) in extremely dilute water qualities in mountain lakes in Southwestern Norway. *Water, Air and Soil Pollution* 219: 489-499.
- Eriksson, M.O.G., Henrikson, L., Nilssen, B.-I., Nyman, G., Oscarson, H.G. & Stenson, A.E. 1980. Predator-prey relations important for the biotic changes in acidified lakes. *Ambio* 9: 248-249.
- Framstad, E., Hanssen-Bauer, I., Hofgaard, A., Kvamme, M., Ottesen, P., Toresen, R., Wright, R., Ådlandsvik, B., Løbersli, E. & Dalen, L. 2006. Effekter av klimaendringer på økosystem og biologisk mangfold. DN-utredning 2006-2. 62 s.
- Fryer, G. 1980. Acidity and species diversity in freshwater crustacean faunas. *Freshwat. Biol.* 10: 41-45.
- Fryer, G. 1993. The freshwater Crustacea of Yorkshire. A faunistic & ecological survey. Yorkshire Naturlists' Union & Leeds Philosophical and Literary Society. T. Wilson & Son, Kendal. 312 s.
- Fryer, G. & Forshaw, O. 1979. The freshwater Crustacea of the island of Rhum (Inner Hebrides) - a faunistic and ecological survey. *Biol. J. Linn. Soc.* 11: 333-367.
- Faafeng, B., Brabrand, Å., Brettum, P., Guldbrandsen, T., Løvik, J.E., Rørslett, B., Saltveit, S. & Tjomsland, T. 1985. Overvåkning av Orrevassdraget. Hovedrapport 1979-83 (Overvåkningsrapport nr. 191A/85). 128 s. ISBN 82-577-0948-4.
- Gerten, D. & Adrian, R. 2000. Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography* 45: 1058-1066.
- Gerten, D. & Adrian, R. 2001. Differences in the persistency of the North Atlantic Oscillation signal among lakes. *Limnology and Oceanography* 46: 448-455.
- Gliwicz, Z. M. 2003. Between hazards of starvation and risk of predation – the ecology of offshore animals. *Excellence in ecology*. Book 12. Ed. O. Kinne – International Ecology Institute, Oldendorf/Luhe. 379 pp.
- Grande, M. 1970. Sammenheng mellom oksygeninnhold, organisk stoff, surhetsgrad og fiskeproduksjon i små innsjøer. NIVA-Fremdriftsrapport, del I. B - 5/69: 1-18.
- Gaarder, T. 1930. Die Bindung der Phosphorsäure im Erdboden. *Vestl. Forstl. Forsøksst.* 14. 140 s.
- Gaarder, T. 1938. Vestlandets humus. *Tidsskr. skogbruk*. 1938 nr.2/3, særtrykk 15 s.
- Henriksen, A., Hindar, A., Tørseth, K. & Lien, L. 1993. Betydningen av sjøsaltanriket nedbør i vassdrag og mindre nedbørfelt. Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993. NIVA rapport 2917, 42 sider, ISBN 82-577-2328-2.

- Henrikson, L. & Oscarson, H.G. 1981. Corixids (Hemiptera - Heteroptera), the new top predators in acidified lakes. Verh. int. Verein. Limnol. 21: 1616-1620.
- Hessen, D. & Rukke, N.A. 2000. UV radiation and low calcium as mutual stressors for *Daphnia*. Limnol. Oceanogr. 45: 1834-1838.
- Hesthagen, T. & Østborg, G. 2008. Endringer i areal med forsuret fiskbestand i norske innsjøer rundt 1990 til 2006. NINA-Rapport 169. 114 s.
- Hesthagen, T. & Sandlund, O.T. 2012. Gjedge, sørv og suter: status, vektorer og tiltak mot uønsket spredning. NINA Rapport 669. 45 s.
- Hobæk, A. 2000. Subfossile rester av vannlopper (Cladocera) i sedimenter fra seks innsjøer i ytre Sogn og Sunnfjord. NIVA Rapport 4297-2000: 1-26.
- Hobæk, A. & Raddum, G.G. 1980. Zooplankton communities in acidified lakes in South Norway. SNSF-project, IR, 75/80: 1-132.
- Hrbáček, J., Dvorakova, M., Korinek, V. & Prochazkova, L. 1961. Demonstration of the effects of fish stock on the species composition of zooplankton and the intensity of metabolism of the whole plankton association. Verh.int.Verein.Limnol. 14:192-195.
- Huitfeldt-Kaas, H. 1906. Planktonundersøgelser i Norske Vande. Centraltrykkeriet, Kristiania. 199 s. +3 plansjer and 9 tabeller (norsk med tysk resumé).
- Huitfeldt-Kaas, H. 1918. Ferskvandsfiskenes utbredelse og indvandring i Norge med et tillæg om krebsen. Centraltrykkeriet, Kristiania. 107s. + 34 kart.
- Huitfeldt-Kaas, H. 1922: Om aarsaken til massedød av laks og ørret i Frafjord-elven, Helleelven og Dirdalselven i Ryfylke høsten 1920. Norges Jæger og Fiskerforenings tidsskrift, 1922, 1/2: 37-44.
- Hutchinson, G. E. 1951. Copepodology for the ornithologist. Ecology 58: 571-577.
- Hurrell, J.W. & Van Loon, H. 1997. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. Climate Change 36: 301-326.
- Johnsen, G.H., Brekke, E., Hobæk, A. & Nilssen, J.P. 2009. Dyreplankton i Hordaland og Sogn og Fjordane: Artenes miljøpreferanser og miljøfaktorenes betydning for zooplanktonsamfunnene på Vestlandet. Rådgivende Biologer AS rapport 1253, 60 sider, ISBN 978-82-7658-711-1.
- Kaste, Ø., Brettum, P., Håvardstun, J. Kleiven, E., Kroglund, F., Oug, E. & Walseng, B. 1999. Store Finntjenn i Aust-Agder. Vannkjemisk og biologisk utvikling i løpet av 15 år med kalking. NIVA-rapport 4046. 74 s.
- Kleiven, E. & Hesthagen, T. 2012. Fremmede fiskearter i ferskvann i Aust-Agder – Historikk, status og konsekvenser. NINA Rapport 665. NIVA Rapport 12/001. 115 s.
- Kratz, T.K., Frost, T.M. & Magnusson, J.J. 1987. Inferences from spatial and temporal variability in ecosystems: Long-term zooplankton data from lakes. Am. Nat. 129: 830-846.
- Lampert, W. 1997. Zooplankton research: the contribution of limnology to some general ecological paradigms. Aquatic Ecology 31: 19-27.
- Lundbeck, J. 1954. Zur Kenntnis der Lebensverhältnisse in sauren Binnenseen. Arch. Hydrobiol./Suppl. 20: 18-117 + 15 Abb. & 15 Tab.
- Laake, M. 1976. Effekter av lav pH på produksjon, nedbrytning og stoffkretsløp i littoralsonen. SNSF-Prosjektet, Rapport IR 29/76: 1-75.
- Mathiesen, O. A. 1953. Some investigations of the relict crustaceans in Norway with special reference to *Pontoporeia affinis* Lindstrøm and *Pallasea quadrispinosa* G. O. Sars. Nytt Mag. Zool. 1: 49-86.
- Moen, A. 1998. Nasjonalatlas for Norge. Vegetasjon. Statens Kartverk. Hønefoss.
- Molværsmyr, Å. 2006. Overvåkning av Jærvassdrag 2005 – Datarapport. Rapport IRIS 2006/35. 34 s.
- Molværsmyr, Å. 2007. Overvåkning av Jærvassdrag 2006 – Datarapport. Rapport IRIS 2007/35. ISBN 978-82-490-0516-1.
- Molværsmyr, Å. & Wærvågen, S.B. 1997. Long-term effects of planktivorous fish removal in the small, eutrophic, Lake Mosvatn, Norway. Verh. Internat.Verein. Limnol. 26: 548-549.
- Molværsmyr, Å., Bunting, L., Burgess, A. & Bennion, H. 2008. The eutrophication of Lake Frøylandsvatn, South-Western Norway, as indicated by the sediment records. Verh. Internat.Verein. Limnol. 30: 560-4.
- Nilssen, J.P. 1978. Eutrophication, minute algae and inefficient grazers. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 36: 121-138.
- Nilssen, J.P. 1980. Acidification of a small watershed in southern Norway and some characteristics of acidic aquatic environments. Int. Revue ges. Hydrobiol. 65: 177-207.
- Nilssen, J.P. 1984. An ecological jig-saw puzzle: reconstructing aquatic biogeography and pH in an acidified region. Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 61: 138-147.
- Nilssen, J.P. 2009a. Naturlig regional restaurering og effekter av kalking i tidligere forsured innsjøer i Aust-Agder 2002-2007. Müller-Sars Selskapet. Rapport nr. 5 – 2009. 70 s. ISBN: 978-82-8030-013-3.
- Nilssen, J.P. 2009b. Innsjøer og tjern i Oslo marka, naturlige variasjoner og menneskeindusert forurengning: dyreplankton som biologiske indikatorer. Müller-Sars Selskapet. Rapport nr. 6 – 2009. 86 s. ISBN: 978-82-8030-012-6.
- Nilssen, J.P. 2009c. Vedvarende menneskeindusert spredning av bredspektret ferskvannfisk til og internt i Norge: et holarktisk, økologisk perspektiv (Continuous human dispersal of broad-niched freshwater fish to and inside Norway: an Holarctic, ecological perspective). Müller-Sars Selskapet. Rapport nr. 10 – 2009. 78 s. ISBN-13: 978-82-8030-003-4.
- Nilssen, J.P. 2013. Dyreliv i innsjøer og dammer nær storbyen Kristiansand og det øvrige Vest-Agder – en bemerkelsesverdig underkommunisert region innen akvatisk økologi og biogeografi i Norge og Norden. Agder naturmuseum og botaniske hage, Årbok 2011-12: 22-47.
- Nilssen, J.P. 2014 i ms. (35s.). Closing the pelagic mind: A case study on bureaucratisation of science and neglect of historical scientific progress by the European Union and its recent (fresh)water directive (WFD).
- Nilssen, J.P. & Wærvågen, S.B. 2000. Superficial ecosystem similarities vs autecological stripping: the "twin species" *Mesocyclops leuckarti* (Claus) and *Thermocyclops oithonoides* (Sars) – seasonal habitat utilisation and life history traits. Journal of Limnology 59: 79-102.
- Nilssen, J.P. & Wærvågen, S.B. 2001. Den nylige spredning av gjedde og karpefisk i Sør-Norge relatert til tap av biologisk mangfold, Norges ansvar for bevaring av sårbare biotoper og lokalbefolkningens historiske bruk av ferskvannene. Fagutredning AbelSenteret 2001/3: 1-41.

- Nilssen, J.P. & Wærvågen, S.B. 2002a. Intensive fish predation: an obstacle to biological recovery following liming of acidified lakes? *J. Ecosyst. Stress Recovery* 9: 73-84.
- Nilssen, J.P. & Wærvågen, S.B. 2002b. Recent re-establishment of the key species *Daphnia longispina* and cladoceran community following chemical recovery in a strongly acid-stressed region in southern Norway. *Arch. Hydrobiol.* 153: 557-580.
- Nilssen, J.P. & Wærvågen, S.B. 2003. Ecological distribution of pelagic copepods and species relationship to acidification, liming and natural recovery in a boreal area. *J. Limnol.* 62: 97-114.
- Nilssen, J.P., Potts, W.T.W. & Østdahl, T. 1984a. Fysiologi til zooplankton under for-suring og kalking: Et pilotstudium med radioisotoper. Kalkingsprosjektet Rapport 11-84: 1-37.
- Nilssen, J.P., Østdahl, T. & Potts, W.T.W. 1984b. Species replacements in acidified lakes: physiology, predation or competition? *Rep. Inst. Freshwat. Res. Drott-ningholm* 61: 148-153.
- Nilssen, J.P., Kjellberg, G. og Spikkeland, I. 2013. Jæren og kystområdet i lavereliggende deler av Rogaland – en særegen biogeografisk og økologisk region for ferskvannsorganismer i Norge. Museum Stavanger årbok 2012: 118-143.
- Nilsson, N.-A. & Pejler, B. 1973. On the relation between fish fauna and zooplankton composition in North Swedish lakes. *Rep. Inst. Freshwat. Res. Drott-ningholm* 53: 51-77.
- Nørretranders, T. 1985. Det udelelige. Niels Bohrs aktualitet i fysik, mystik og po-litik. Gyldendal, København. 460 s.
- Pejler, B. 1975. On long-term stability of zooplankton composition. *Rep. Inst. Fres-hwat. Res. Drottningholm* 54: 107-117.
- Proctor, V.W. 1964. Viability of crustacean eggs recovered from ducks. *Ecology* 45: 656-658.
- Prøsch-Danielsen, L. & Simonsen, A. 2000a. The deforestation patterns and the establishment of the coastal heathland in southwestern Norway. *AmS Skrifter* 15: 1-47.
- Prøsch-Danielsen, L. & Simonsen, A. 2000b. Paleo-ecological investigations towards the reconstruction of the history of forest clearance and coastal heathland in south-western Norway. *Vegetation history and Archaeobotany* 9: 189-204.
- Renberg, I., Korsman, T. & Anderson, J. 1993. A temporal perspective of lake acidification in Sweden. *Ambio* 22: 264-271.
- Rodhe, W. 1973. Aneboda – Annodazumal. *Aquannalen (Societas Aquatica Lundensis)* 1973: 25-32.
- Roff, J.C. & Kwiatkowski, R.E. 1977. Zooplankton and zoobenthos communities of selected northern Ontario lakes of different acidities. *Can. J. Zool.* 55: 899-911.
- Rognerud, S. & Skogheim, O.K. 1975. En limnologisk befarung av innsjøer på Jæren i 1974. Rapport til MD, juni 1975. Oslo 4 juni 1975 (ikke sett, sitert etter Walseng 1993).
- Romundset, A. 2011. Kvartærgeologisk kartlegging i Vest-Agder. Foredrag NGU. Kvinesdal 11. november 2011. 36 slides. Fra web i mars 2013.
- Sageidet, B.M. 2005. A geoarchaeological study of processes that formed the cultural landscape at Orstad, Jæren, SW-Norway, in prehistoric times. Dr.Scient Thesis. UMB, Ås.
- Sandøy, S. & Nilssen, J.P. 1987a. Life cycle dynamics and vertical distribution of *Heterocope saliens* (LILLJ.) in two anthropogenic acidic lakes in southern Norway. *Arch. Hydrobiol.* 110: 83-99.
- Sandøy, S. & Nilssen, J.P. 1987b. Cyclopoid copepods in marginal habitats: Abiotic control of population densities in anthropogenic acidic lakes. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 76: 236-255.
- Sanni, S. & Wærvågen S.B., 1990. Oligotrophication as a result of planktivorous fish removal with rotenone in the small, eutrophic, Lake Mosvatn, Norway. *Hydrobiologia* 200/201: 263-274.
- Schopenhauer, A. 1997. Om det gode og det slette. Pax, Oslo.
- Sevaldud, I. & Muniz, I. P. 1980. Sure vatn og innlandsfiske i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelsene 1974-1979. SNSF, IR 77/80.
- SFT 2002. Overvåkning av langtransporterte forurensninger 2001. Sammen-dragsrapport. Rapport 850/2002: 1-81.
- Shapiro, J., La Marra, V. & Lynch, M. 1975. Biomanipulation: An ecosystem ap-proach to lake restoration. In P.L. Brezonik and J.L. Fox, eds., *Water Quality Management through Biological Control*, Gainesville, FL: Dept. of Env. Eng. Sciences, Univ. Florida. 85-96.
- Skulberg, O. M. 1979. Giftvirkninger av blågrønnalger – første tilfelle av *Microcys-tis*-forgiftning registrert i Norge. Temarapport 4: 1-42. Norsk institutt for vann-forskning, Oslo. (English summary).
- Skulberg, O. M., Codd, G. A. & Carmichael, W. W. 1984. Toxic blue-green algal blooms in Europe: a growing problem. *Ambio* 13: 244-247.
- Sládeček, V. 1973. System of water quality from the biological point of view. *Ar-chiv für Hydrobiologie - Beiheft: Ergebnisse der Limnologie* 7. Stuttgart. 218 s., 70 fig.
- SNV (Statens Naturvårdsverk) 2000. Kalkning på 2000-talet. Rapport 5086/2000.
- Spikkeland, I. 1983. Hydrografi og evertebratfauna i Sokndalsvassdraget 1982. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer, Universitetet i Oslo. Rapport 66. 75 s.
- Spikkeland, I., Kinsten, B. & Kjellberg, G. 2012a. Istidskreps på Jæren. Undersøkelse av innsjøene Bråsteinvatnet, Stokkalandsvatnet, Frøylandsvatnet og Orrevatnet september 2012. Østfoldmuseene, avd. Haldenvassdragets Kanalmuseum, Ørje. Rapport 2/2012. 12 s.
- Spikkeland, I., Kasbo, R., Kjellberg, G., Nilssen, J.P., Opsahl, R. & Vaaler, J.P. 2012b. Is-tidsinnvandrere ("istidsrelikter") i ferskvann – nye observasjoner og oppdatering av utbredelsen i Norge. *Fauna (Oslo)* 65: 82-96.
- Spikkeland, I., Nilssen, J.P., Kinsten, B. & Kjellberg, K. 2013. En ny ferskvann-sisopode *Proasellus coxalis* i Norge – ulovlig introdusert som følge av grenseover-skridende sports- og mataukfiske? *Fauna (Oslo)* 66: 54-62.
- Storli, L.T. 2011. Troféfiskere sprer karpefisk og gjedde: Sørlandsvassdragene øde-legges. *Jakt & Fiske* 4-2011: 70-75.

Sømme, S. 1936. Contribution to the biology of Norwegian fish food animals. Some small collections of amphipoda and Mysis relicta from Norwegian lakes. Avh. Norske Vidensk. Akad. I Mat.-naturvid. Klasse 1936 (9): 1-11.

Särkkä, J., Meriläinen, J.J. & Hynynen, J. 1990: The distribution of relict crustaceans in Finland: new observations and some problems and ideas concerning relicts. Ann. Zool. Fenn. 27: 221-225.

Thienemann, A. 1950. Verbreitungsgeschichte der Süßwassertierwelt Europas. Die Binnengewässer 18: 1-809.

Vik, E., Carlson, D.A., Eikum, A.S. & Gjessing, E.T. 1985. Removing aquatic humus from Norwegian lakes. J. Am. Water Works Assoc. 77: 58-66.
Väinölä, R. & Rochas, H. 1990. New distributional records on "glacial relict" crustaceans. Ann. Zool. Fennici 27: 215-220.

Walseng, B. 1993. Verneplan I og II, Rogaland. Krepssdyrundersøkelser. NINA Oppdragsmelding 222: 1-33.

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

Walseng, B., Halvorsen, G. & Storeid, S.-E. 1992. Ferskvannundersøkelser i Saudaområdet. Saudaprojektet. ENCO Env. Consult. a.s.. Rapport. 75 s.

Walseng, B., Hagman, E., Halvorsen, G. & Storeid, S.-E. 1995. Krepssdyr- og bunn-dyrfaunaen i en rensepark på Jæren med syv fangdammer. Et pilotprosjekt. NINA Oppdragsmelding 336: 1-19.

Wesenberg-Lund, C. 1904. Studier over de Danske søers plankton. Specielle del. 2 deler. Del 1: Tekst med engelsk resume. Del 2: Bilag. 8 kort, 10 tavler og 9 planktonstabeller. Dansk ferskvands-biologisk laboratorium op.5. København, 223 s.

Wesenberg-Lund, C. 1908. Plankton Investigations of the Danish Lakes. General part: The Baltic Freshwater Plankton, its Origin and Variation. 2 vols. Vol.1: Text. Vol.2: Appendix with 46 tables. Danish Freshwater Biological Laboratory, op.5. København, 389 s.

Wetzel, R. 2001. Limnology. 3rd ed. Lake and River Ecosystems. Academic Press. 1006 s.

Wheeler, Q. 2014. Are reports of the death of taxonomy an exaggeration? New Phytologist 201: 370-371.

Wohlfarth, B., Björck, S., Funder, S., Houmark-Nielsen, M., Ingólfsson, O., Lunkka, J.-P., Mangerud, J., Saarnisto, M. & Vorren, T. 2008. Quaternary of Norden. Episodes 31: 73-81.

Wright, R.F. & Henriksen, A. 1978: Chemistry of small Norwegian lakes, with special reference to acidic precipitation. Limnology and Oceanography 23: 487-498.

Wærvågen, S.W., Rukke, N.A. & Hessen, D.O. 2002. Calcium content of crustacean zooplankton and its potential role in species distribution. Freshw. Biol. 47: 1866-1878.

Wærvågen, S.B. & Nilssen, J.P. 2003. Major changes in pelagic rotifers during natural and forced recovery from acidification. Hydrobiologia 499: 63-82.

Øygarden, A.H. & Mikkelsen, K.O. 1999. "Viksevasdraget". En vurdering av forurensningssituasjonen basert på eksisterende data. Solanum Kompetanse. Rapport 10-99: 1-45 + primærdata.

ENGLISH SUMMARY:

ROGALAND – AN INTEGRATED PART OF THE ATLANTIC BIOREGION: CHARACTERISTICS OF AQUATIC ECOSYSTEMS AND EFFECTS OF CLIMATE CHANGE

The freshwaters of Rogaland County, southwest-Norway are primarily influenced by oceanic climate due to their situation close to the Atlantic Ocean. Heavy rainfalls over landscapes with high relief have resulted in clear waters with extremely low minerogenic ionic content. Therefore, large parts of Rogaland have been negatively influenced by acid rainfall, especially in higher altitudinal regions. Characteristically, the lower part of the Jæren region and northern part around Haugesund/Karmøy have more eutrophic and neutral freshwaters, but often with considerable humic contents and low transparencies. Only restricted parts of the county is situated below the previous postglacial marine limit. This study of the freshwater fauna in Rogaland related to a recent climate change model is primarily based upon microcrustaceans and their main consummators fish and invertebrate predators. Crustacean zooplankton forms the important link between primary producers and fish, and plays a decisive role for the whole freshwater structure, dynamics and processes.

Rogaland county contains all types of lakes, as a Norway in miniature. The Jæren-region harbours characteristic freshwater sites, so-called Baltic lakes, elsewhere rare in Norway, and are most commonly found in the low relief landscape around the Baltic from Denmark to Finland. The rest of the lakes in this county form part of typical west Norwegian watersheds with heavy through-flow. They belong to the so-called Atlantic Biome, and to understand them one should study typical west Norwegian sites, and sites situated on the British Isles including Ireland. A great many of the Rogaland lakes are strongly coloured by humic

substances. Moreover, many of the lakes suffer heavy through-flow during winters with no snow and ice-cover, and such ecological circumstances largely drain the major cations, compared with stratified lakes with ice coverage during winters.

The water chemistry in Rogaland lakes has recovered considerably from serious acidification during the last 2-3 decades, and the conditions are probably currently close to “pre-acidification” conditions, except possibly that the level of cations such as calcium has slightly decreased.

However, the water quality in many mountain lakes in Rogaland is extremely dilute and is probably restricting the distribution of brown trout and some microcrustaceans, such as the important genus *Daphnia*.

Climate is a main determinant of variation in nature. Two main regional gradients in Norway are generally identified, one related mainly to temperature and elevation, and one to precipitation (climatic humidity) and distance from the sea. To illustrate the effects of given climate change scenarios (2071-2100), models are developed as basis for maps of predicted distributions of vegetation regions, based on a model system for bioclimatic variation (vegetation regions) in Norway with a spatial resolution of 1 km. Comparisons of these maps with the existing models for the period 1961–1990 reveal changes up to 2.5 vegetation section units and 3.5 vegetation zone units (i.e. change in direction of regions characterised by a warmer and a wetter climate).

However, these prescribed climate change scenarios do not accord well with how most people understand climate change, that is: ‘everything’ becomes warmer. The results of climate scenario of the freshwaters of Rogaland demonstrate that only the low situated sites in Jæren region become slightly warmer, whereas the rest of the county’s lakes will develop into more typical boreal types. The lakes will become browner and colder because of heavy rain, especially winter rain episodes, and loose part

of their valuable major cations. They will therefore become more humic and probably also more oligotrophic. Coastal regions will also receive sea-salt episodes, which will result in even more acid and coloured lakes. Even if the acidification has decreased the last decades, the soil’s content of base ions has not increased, so the buffering capacity against sea-salt episodes is still weak. Concurrent with increasing borealisation, also organisms typical of such coloured, oligotrophic waters will increase in abundance or show an increased area of distribution.

The Water Framework Directive is a recent European Union project which commits European Union member states to achieve so-called ‘good qualitative and quantitative status’ of all their water bodies by 2015; now extended to 2021. This huge project was initiated in 2000, and will eventually confiscate large resources within research and education curriculum, and not least research bureaucracy and aquatic science(s) itself. Strikingly, the entire zooplankton subsystem and thus the coherence inside the pelagic zone are left out of the elsewhere detailed plans of the European Union’s aquatic directive. Therefore, the necessary accompanying research part of The Water Framework Directive appears considerably out of phase with scientific progress and advancement in basic research in limnology, since significant part of the theory of science learnt from limnology derives from the pelagic region. Since the research policy of the EU is influencing all its fellow or co-operating countries, it is not unnatural that ‘traditional’ limnology, a subject of scientific synthesis, is not taught in most Scandinavian countries these days, irrespective of the great importance of freshwaters on this entire globe.

The numbers of scientists working with freshwaters have declined slightly the last generation, whereas the numbers of the ‘associate’ bureaucracy has increased enormously within the same period, a change which eventually will influence the total limnology research field. Concurrent with

Lakes in Rogaland have unfortunately not yet been investigated in great detail over at least one full year cycle. This concerns habitat ecology studies, life histories, and the

However, the percent deficiency of such detailed quantitative and qualitative studies precludes the possibility of detailed prescription of the effects of future climate change, based on the present scenarios.