

563

OPPDRA GSMELDING

Aure og vannkvalitet i innsjøer
i Sogn og Fjordane

Trygve Hesthagen
Grete Aastorp



NINA • NIKU

NINA Norsk institutt for naturforskning

Aure og vannkvalitet i innsjøer i Sogn og Fjordane

Trygve Hesthagen
Grete Aastorp

NINA•NIKUs publikasjoner

NINA•NIKU utgir følgende faste publikasjoner:

NINA Fagrapport

NIKU Fagrapport

Her publiseres resultater av NINAs og NIKUs eget forskningsarbeid, problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, og litteraturstudier. Rapporter utgis også som et alternativ eller et supplement til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

Opplag: Normalt 300-500

NINA Oppdragsmelding

NIKU Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA og NIKU gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. I tillegg til de emner som dekkes av fagrapportene, vil oppdragsmeldingene også omfatte befaringsrapporter, seminar- og konferanseforedrag, årsrapporter fra overvåkningsprogrammer, o.a.

Opplaget er begrenset. (Normalt 50-100)

NINA•NIKU Project Report

Serien presenterer resultater fra begge instituttene prosjekter når resultatene må gjøres tilgjengelig på engelsk. Serien omfatter original egenforskning, litteraturstudier, analyser av spesielle problemer eller tema, etc.

Opplaget varierer avhengig av behov og målgrupper.

Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov bl.a. for å informere om viktige problemstillinger i samfunnet. Målgruppen er "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern-avdelinger, turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

Opplag: Varierer

Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINA og NIKUs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

Opplag: 1200-1800

I tillegg publiserer NINA og NIKU-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Hesthagen, T & Aastorp, G.L. 1998. Aure og vannkvalitet i innsjøer i Sogn og Fjordane. - NINA Oppdragsmelding 563: 1-14.

Trondheim, oktober 1998

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-0976-4

Forvaltningsområde:

Forurensing

Pollution

Rettighetshaver ©:

Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning

NINA•NIKU

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Tor G. Heggberget

NINA•NIKU, Trondheim

Design og layout:

Synnøve Vanvik

Sats: NINA•NIKU

Kopiering: Norservice

Opplag: 150

Kontaktadresse:

NINA•NIKU

Tungasletta 2

7005 Trondheim

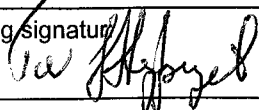
Tel: 73 80 14 00

Fax: 73 80 14 01

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 13506 Forsuring - overvåking

Ansvarlig signatur



Oppdragsgiver:

Direktoratet for naturforvaltning

Fylkesmannen i Sogn og Fjordane

Referat

Hesthagen, T & Aastorp, G.L. 1998. Aure og vannkvalitet i innsjøer i Sogn og Fjordane. - NINA Oppdragsmelding 563: 1-14.

Vannkvalitet med spesiell referanse til overskridelser av tålegrenser og status hos aure ble undersøkt i 472 innsjøer i Sogn og Fjordane. I tillegg inngikk 13 høyere-liggende innsjøer som aldri har hatt fisk. Vannprøvene ble vestentlig samlet inn i 1990 (n = 335), med noe supplering i 1994 (n = 98) og 1995 (n = 52). Fiskestatus ble registrert ved å intervjuer lokale fiskere og grunneiere, og angitt som uendra, redusert og tapt. Beregninger av overskridelser av tålegrenser er basert på en empirisk «steady-state» modell som inkluderer vannets syre-nøytraliserende kapasitet (ANC). Den kritisk kjemisk verdi mht til skader på aurebestander er satt til $20 \mu\text{ekvl}^{-1}$ ($\text{ANC}_{\text{limit}}$). En relativt stor andel av de undersøkte innsjøene har en forsuringfølsom vannkvalitet idet 31,7 % ikke hadde alkalitet, mens ytterligere 23,3 % hadde lave nivåer ($0,1\text{-}12,5 \mu\text{ekvl}^{-1}$). Innholdet av kalsium var også lavt med under $0,25 \text{ mg l}^{-1}$ i 9,6 % av innsjøene, mens 32,9 % hadde konsentrasjoner mellom $0,25\text{-}0,50 \text{ mg l}^{-1}$. Søre deler av fylket har de største forsuringsskadene på fisk. Innsjøer med tapte og reduserte aurebestander hadde lavere pH, lavere alkalitet, lavere innhold av kalsium (Ca) og høyere innhold av labilt aluminium (Al_i) enn de uten skader. Gjennomsnittlige verdier for pH, Ca og Al_i for innsjøer med tapte og uendra bestander var henholdsvis: 5,20 vs 5,85, 0,38 vs 0,88 mg l^{-1} og 27,59 vs 8,01 $\mu\text{g l}^{-1}$. Gjennomsnittlig ANC for innsjøer med uendra, reduserte og tapte bestander var henholdsvis +19,74, -5,35 og -8,84 μekvl^{-1} . En multippel regresjonsanalyse viste at Al_i var best korrelert til fiskestatus, men pH forklarte også noe av variasjonen i bestandsresponsen. Innsjøer med forsuringsskader på fisk var lokalisert noe høyere i vassdragene enn de uten slike skader. En diskriminantanalyse viste at Al_i best grupperte innsjø-ene mht deres fiskestatus med en korrekt klassifiseringsprosent på 74,2. Deretter fulgte pH som ga en tilsvarende prosent på 61,2. Det var også en god sammenheng mellom fiskestatus og overskridelser av tålegrenser. I innsjøer med tapte aurebestander var tålegrensene generelt overskredet, idet gjennomsnittlig verdi var $+32,08 \mu\text{ekvm}^{-2}\text{år}^{-1}$. Tålegrensene i sjøer uten fiskeskader var i de fleste tilfeller ikke overskredet ($-20,24 \mu\text{ekvm}^{-2}\text{år}^{-1}$).

Emneord: Sogn og Fjordane, innsjøer, aure, vannkvalitet, ANC, overskridelser av tålegrenser.

Trygve Hesthagen, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7005 Trondheim.
Grete Aastorp, Dovre Safetec A/S, PB 4163, 7046 Trondheim.

Abstract

Hesthagen, T. & Aastorp, G. L. 1998. Brown trout (*Salmo trutta*) status in relation to water quality and exceedances of critical load of acidity of lakes in western Norway. - NINA Oppdragsmelding 563: 1-14.

Status in terms of unaffected, damaged and lost brown trout populations (*Salmo trutta*) was related to various water chemistry parameters and to the exceedances of critical load of acidity of lakes in the County of Sogn og Fjordane in western Norway. Water was sampled during the autumns of 1990, 1994 and 1995 (n = 485). We used an empirical «steady-state» model that incorporates Acid-Neutralizing Capacity (ANC) to estimate exceedance of critical loads in each lake. In the model, we used a critical ANC ($\text{ANC}_{\text{limit}}$) of $20 \mu\text{eq l}^{-1}$, which implies that no brown trout populations are damaged in lakes with higher values. Lakes that were most affected by acidification are located in southern parts of the county. A large fraction of the study lakes were acid-sensitive, as 31.7 % had no alkalinity, while an additional 23.3 % were low-buffered ($0.1\text{-}12.5 \mu\text{eq l}^{-1}$). About 41 % of the study lakes had pH below 5.5, and 42.5 % had less than 0.50 mg l^{-1} in calcium. Lakes with lost and affected populations of brown trout were more acidic, had lower concentrations of calcium and higher concentrations of inorganic Al (Al_i) than lakes with healthy populations. Lakes with lost populations had a much lower ANC than those with healthy populations, mean values being -8.84 and $+19.74 \mu\text{eq l}^{-1}$, respectively. A multiple regression analysis showed that Al_i was the best predictor of brown trout status, and to a lesser extent pH. A discriminant analysis showed that the percentage of grouped cases correctly classified was highest for Al_i (74.2 %) and pH (61.2 %). Fish status was also strongly related to exceedances of the critical load; mean values for lakes with lost, damaged and healthy populations were $+32.08$, $+25.70$ and $-20.24 \mu\text{eqm}^{-2}\text{yr}^{-1}$, respectively.

Key words: Western Norway, lakes, brown trout, status, water quality, exceedances of critical loads.

Trygve Hesthagen, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim, Norway
Grete L. Aastorp, Dovre Safetec A/S, PB 4163, Valentinlyst, N-7046 Trondheim, Norway.

Forord

Undersøkelsen er finansiert av Direktoratet for naturforvaltning og Miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Sogn og Fjordane. Innsamlingen av fiskestatus i 1990 ble i hovedsak foretatt av daværende fiskeforvalter i Sogn og Fjordane, Roy Langåker. Vannprøvene i 1990 ble samlet inn av Hans Mack Berger, Bjørn M. Larsen og June Breistein hos NINA. Undersøkelsen i 1990 inngikk i **Biologisk overvåking av sur nedbør** under programmet **Statlig program for forurensningsovervåking**. Ansvarlig for innsamling av vannprøver og fiskestatus i 1994 og 1995 har vært konsulent Merete Farstad hos Fylkesmannen i Sogn og Fjordane. Mange enkeltpersoner og ansatte i kommuneforvaltningen i fylket har skaffet opplysninger om fiskestatus. Det rettes en takk til alle som har bidratt til gjennomføringen av undersøkelsen.

Trondheim, september 1998

Trygve Hesthagen
Prosjektleder

Innhold

Referat	3
Abstract.....	3
Forord	4
1 Innledning	5
2 Områdebeskrivelse.....	5
3 Metoder.....	7
4 Resultater	8
4.1 Vannkvalitet	8
4.2 Vannkvalitet og fiskestatus	8
5 Diskusjon	11
6 Litteratur	11
Vedlegg.....	14

1 Innledning

Den første regionale kartleggingen av fiskestatus og forsuring på Vestlandet ble foretatt i 1976-77 forbindelse med SNSF prosjektet (Sevaldrud & Muniz 1980). Kjennskapen til fiskestatus var usikker, og vannkjemiske kriterier ble derfor i stor grad benyttet for å avgrense skadeområdene. I Sogn og Fjordane ble det funnet klare indikasjoner på forsuring i en rekke større og mindre områder. Det ble registrert lav pH og fiske-skader i fire områder på totalt 2.140 km²: (i) Gulen sør for Sognefjorden, (ii) Høyanger/Gaular, (ii) Naustavassdraget og (iv) områder rundt Ålftobreen i Bremanger og Flora kommuner. Innsjøer med tapte og reduserte aurebestander var svakt bufret og ofte lokalisert i høyereliggende områder. Det ble antydning at utviklingen liknet den på Sørlandet før og umiddelbart etter siste verdenskrig.

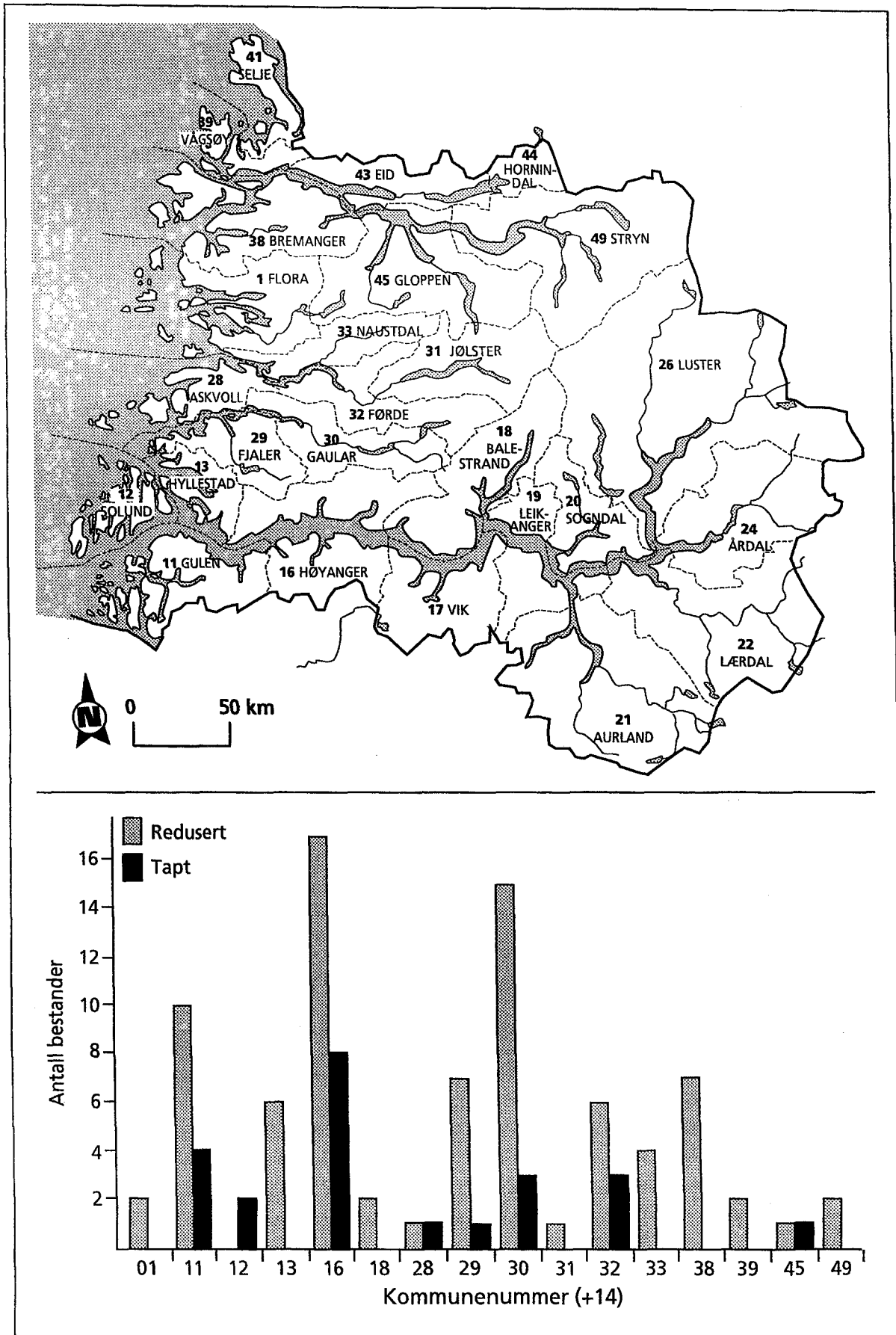
Den neste undersøkelsen av fiskestatus i innsjøer i Sogn og Fjordane ble foretatt i 1990. Samtidig ble det samlet inn vannprøver fra et utvalg innsjøer (SFT 1991, Hesthagen et al. 1994). Status for 1.017 aurebestander viste at 56 (5,5 %) hadde gått tapt, mens ytterligere 165 bestander (16,2 %) hadde avtatt. Av 68 røyebestander var fem avtatt og to tapt. Det hadde skjedd en klar forverring i forsuringssituasjonen siden 1970-tallet, idet arealet med skada fiskebestander hadde økt til 4.500 km². 45% av skadene hadde skjedd på 1970 tallet og 40 % i neste ti-år.

For å motvirke forsuringen og bedre forholdene for fisk i innsjøer i Sogn og Fjordane er det nå satt igang kalking i nærmere 80 innsjøer (Merete Farstad, pers. medd.). Dette omfatter lokaliteter med både fullkalking og bekkkalking. En videre prioritering av hvilke innsjøer som bør kalkes, krever kunnskap om relasjonen mellom fiskestatus og ulike vannkjemiske variabler. I denne undersøkelsen blir dette analysert for et utvalg innsjøer i Sogn og Fjordane. Videre blir fiskestatus relatert til innsjøenes syrenøytraliserende kapasitet (ANC), og til overskridelser av tålegrenser. Aure er eneste fiskeart i de fleste innsjøene i Sogn og Fjordane, og undersøkelsen omfatter derfor bare denne arten.

2 Områdebeskrivelse

Sogn og Fjordane består av 26 kommuner og dekker et areal på 18.83 km² (figur 1). En digital beregning fra kart med målestokk 1:250.000 viser at fylket har 3 226 innsjøer større enn 1,5 ha med et samlet areal på 832,3 km² (Norges Vassdrags- og Energiverk, Regime-vassdragsregister). Innsjøarealet i Sogn og Fjordane utgjør derfor 4,5 % totalarealet. Antall innsjøer blir imidlertid noe underestimert ved en slik digital beregning fordi mindre lokaliteter ikke identifiseres på 1:250.000 kart (Geir Taubøll, NVE, pers. medd.).

Berggrunnen i store deler av Sogn og Fjordane består av forvittringsbestandig grunnfjell (Sigmond et al. 1984). Slike bergarter gir, i kombinasjon med lite løsmasser, vassdragene lav bufferkapasitet. Det er regionale forskjeller i deponeringen av forsuringskomponenter i nedbøren. Årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat (SO₄-S) og nitrat (NO₃-N) målt ved Haukeland helt nord i Hordaland og i Nausta i Sunnfjord, viser betydelig høyere avsetninger i sør (tabell 1). Gjennomsnittlig pH og konsentrasjon av sulfat i nedbøren på de to stasjonene for perioden 1985-95 var henholdsvis 4,73 vs 4,80 og 0,38 vs 0,23 mg l⁻¹ (Tørseth 1996). Det er også betydelige forskjeller i våtavsetningen av sulfat på de to stedene med årlig veid middel på henholdsvis 1.192 og 574 mg m⁻² år⁻¹.



Figur 1. Lokalisering av de enkelte kommunene med angitt kommune-nummer (14 ikke angitt) i Sogn og Fjordane med antall tapte (T) og reduserte (R) aurebestander i hver kommune blant innsjøene med vannkjemiske data fra 1990, 1994 og 1995.

Tabell 1. Gjennomsnittlige verdier for våtavsetninger av noen komponenter i nedbøren på stasjonene i Haukeland i Hordaland og i Nausta (Sunnfjord) i Sogn og Fjordane fra 1985-95 basert på veide årsmiddelkonsentrasjoner (Tørseth 1996).

Parameter Enhet	Årlig våtavsetning					pH	Nedbør mm	Årlige middelkonsentrasjoner			
	SO ₄ mg l ⁻¹	NO ₃ mg l ⁻¹	NH ₄ mg l ⁻¹	Ca mg l ⁻¹	Mg mg l ⁻¹			SO ₄ mg m ⁻²	NO ₃ mg m ⁻²	NH ₄ mg m ⁻²	H ⁺ μekvm ⁻²
Haukeland	0,38	0,18	0,21	0,15	0,27	4,73	3.679	1.192	631	740	68
Nausta	0,23	0,12	0,10	0,11	0,21	4,80	2.564	574	306	237	41

3 Metoder

Opplysninger om status for aure ble samlet inn ved hjelp av intervju-undersøkelser, og angitt som uendra, redusert (skadet) og tapt. Metoden er testet ved prøvefiske i innsjøer med ulike statuskategorier, og funnet statistisk holdbar (Hesthagen et al. 1993). En diskriminantanalyse viste at bestandene som ble oppgitt som uendra og tapt, i stor grad ble gruppert riktig. En dominerende del av de skadede bestandene ble derimot gruppert som tapte. Dette indikerer at skadegraden er større enn det intervjudataene viser. Dårlig kjennskap til status for reduserte bestander skyldes trolig at interessen for fisket i slike innsjøer er liten, samtidig som slike bestander fortsetter å avta. Dette er i overensstemmelse med lavere fangstutbytte i innsjøer med bestander som har vært redusert mellom 10 og 20 år, sammenliknet med de som har vært redusert i kortere tid. Aurebestander i Sogn og Fjordane som kan være skadet eller tapt på grunn av andre årsaker enn forsurening, er forsøkt ekskludert fra materialet. Dette kan omfatte innsjøer med introduksjon av fremmede arter, vassdragsregulering eller andre habitatødeleggende inngrep, manglende/dårlige gyteforhold, varierende fiskeutsettinger, hardt fiske etc.

Vannprøvene ble samlet i 1990 (n = 335), 1994 (n = 98) og 1995 (n = 52), totalt 485 stk. Tretten av innsjøene har aldri hatt fisk. Prøvetakingen i 1990 var basert på et tilfeldig utvalg ved at alle innsjøer større enn 3 ha i hver kommune ble nummerert. I 1994 og 1995 ble prøvene vesentlig tatt i innsjøer i de mest forsuringfølsomme områdene av fylket. Antall prøver i hver kommune er vist i **Vedlegg 1**. Prøvene i 1990 ble tatt i oktober måned, dvs etter tilnærmet fullsirkulasjon av innsjøene. I 1994 og 1995 foregikk innsamlingen noe tidligere på høsten. Prøvene ble lagret kaldt og analysert ved NINA's vannkjemiske laboratorium innen en uke. De vannkjemiske analysene er foretatt etter standard metoder (Nøst & Schartau 1996).

Vi benyttet en empirisk «steady-state» modell ved beregning av overskridelser av tålegrenser. Det innebærer at endringer i vannkvaliteten over tid blir ignorert. Bare

vannprøver fra 1990 og 1994 ble benyttet i beregningene.

Modellen som kalkulerer overskridelser av tålegrenser er basert på vannets syre-nøytraliserende kapasitet (ANC), definert som forskjellen mellom basekationer og sterke syrers anioner.

Tålegrensen (CL) for en innsjø er definert som tapet av ikke-marine base-kationer $[BC]_0^*$ fra nedslagfeltet før forsuringen startet. Tålegrensen for sterke syrer for en indikator-organisme er gitt ved:

$$CL = Q \cdot ([BC]_0^* - ANC_{\text{limit}})$$

der Q er gjennomsnittlig årlig avrenning, ANC_{limit} er kritisk ANC nivå for en bestemt indikator-organisme. For fiskebestander i norske innsjøer blir det benyttet en ANC_{limit} på 20 μekvl^{-1} (Henriksen et al. 1995).

Likningen for beregning av overskridelser av tålegrenser for overflatevann (CL_{ex}) for sulfat og nitrat er:

$$CL_{\text{ex}} = [SO_4^{2-}]_{\text{dep}}^* + N_{\text{lekk}} - BC_d^* - CL$$

der $[SO_4^{2-}]_{\text{dep}}^*$ er total svoveldeposisjon, N_{lekk} er nåværende nitrogenlekkasje fra nedslagfeltet, og BC_d^* ikke-marin basekationdeposisjon (Henriksen et al. 1995).

4 Resultater

4.1 Vannkvalitet

En stor andel av de undersøkte innsjøene hadde enten ingen alkalitet (31,7 %) eller lav bufferkapasitet med verdier mellom 0,1-12,5 μekvl^{-1} (23,3 %) (**figur 2**). Det var flest innsjøer med pH mellom 5,0-5,5 (34,4 %), mens bare 6,4 % var surere enn pH 5,0. Mht til kalsium så hadde ca 10 % av innsjøene < 0,25 mg l^{-1} , og ytterligere 32,9 % mellom 0,25-0,50 mg l^{-1} . Innholdet av oppløst organisk stoff målt som totalt organisk karbon (TOC), var lavt med en gjennomsnittlig konsen-trasjon på 2,01 mg l^{-1} (**tabell 2**). Innholdet av silisium var også lavt med et gjennomsnitt på 0,34 mg l^{-1} . Det var også lave konsentrasjoner av labilt aluminium (Al_i) med < 5,0 $\mu\text{g l}^{-1}$ i 39,1 % av innsjøene. Bare 17 % av lokalitetene hadde høyere konsentrasjoner enn 20 $\mu\text{g l}^{-1}$ (**figur 2**). Hele 45 % av innsjøene hadde ANC verdier mellom -10 og +10 $\mu\text{eq l}^{-1}$, mens 17 % var lavere enn -20 μekvl^{-1} . Innholdet av nitrat (NO_3^-) var svært lavt med < 20,0 og < 60 $\mu\text{g l}^{-1}$ i henholdsvis 29,2 og 63,1 % av innsjøene. Innholdet av sulfat var også lavt med en gjennomsnittlig konsentrasjon på 2,08 mg l^{-1} .

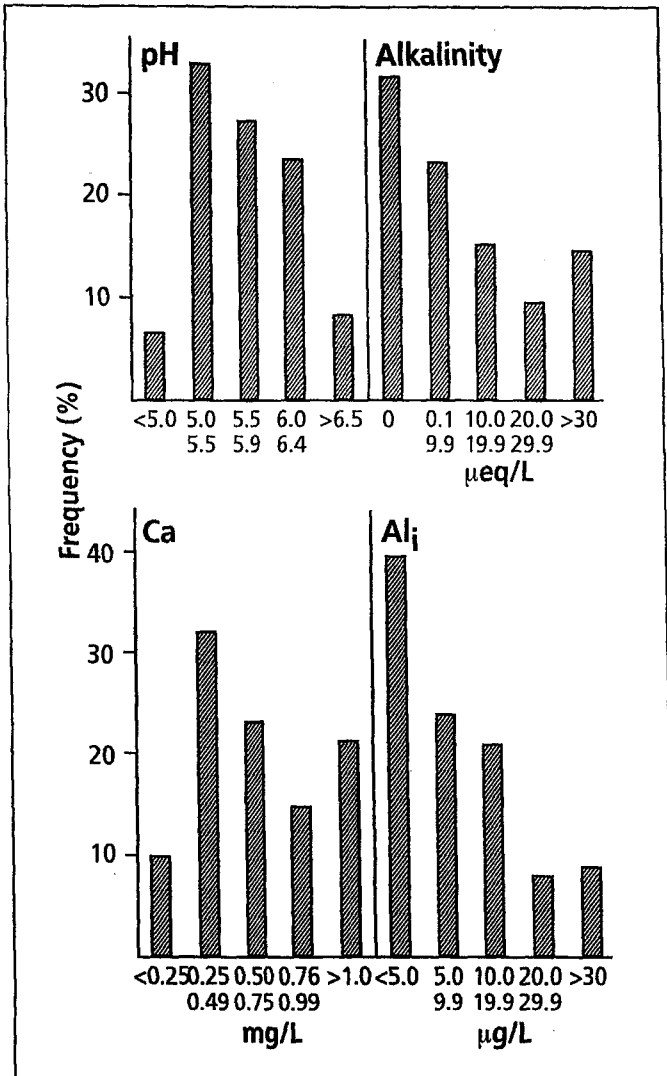
4.2 Vannkvalitet og fiskestatus

De sørvestlige deler av Sogn og Fjordane har de største forsurende skadene på fisk, dvs. kommunene Gulen, Høyanger, Fjaler, Gaular og Førde (**figur 1**).

Det var signifikante forskjeller i vannkvalitet mellom innsjøer med tapte og uendra aurebestander for pH, alkalitet, kalsium, kalium og labilt aluminium (ANOVA; Scheffé test, **tabell 2**). Innsjøer med tapte og reduserte bestander hadde derimot relativt lik vannkvalitet, og bare labilt aluminium viste signifikant forskjell. Innsjøer med tapte og uendra aurebestander hadde gjennomsnittlig pH-verdier på henholdsvis 5,20 og 5,85. Lokaliteter med uendra fiskestatus hadde betydelig høyere alkalitet (23,51 μekvl^{-1}) enn de med tapte bestander (0,59 μekvl^{-1}). Innsjøer i siste kategori hadde over tredobbelte så høyt innhold av labilt aluminium (27,59 $\mu\text{g l}^{-1}$) som de med uendra bestander (8,01 $\mu\text{g l}^{-1}$). Det var også betydelige forskjeller i innholdet av kalsium mellom innsjøer med uendra og tapte bestander, idet gjennomsnittlige verdier var på henholdsvis 0,88 og 0,38 mg l^{-1} .

Tabell 2. Gjennomsnittlige verdier \pm standard avvik for utvalgte vannkjemiske parametre, samt høyde over havet, for innsjøer i Sogn og Fjordane prøvetatt i 1990, 94 og 95. De gjennomsnittlige verdiene ble testet mha enveis variansanalyse (ANOVA) basert på en Scheffé test ($p < 0,05$). Gjennomsnittlige verdier som ikke er signifikant forskjellige er angitt med samme bokstav. n = antall innsjøer med vannkjemiske data i hver fiskestatuskategori. For TOC og silisium var antall prøver henholdsvis 325 og 151. I kategorien «Alle sjøer» ($n = 485$) inngår også 13 innsjøer som aldri har hatt fisk. Målinger av farge er angitt i mg Pt/L (Platinum) og turbiditet i FTU (Formazin Turbidity Unit).

Variabel	Enhet	Alle sjøer ($n = 485$)	Sjøer med ulik status for aure		
			Uendra ($n = 365$)	Redusert ($n = 84$)	Tapt ($n = 23$)
pH		5,70 \pm 0,52	5,85 \pm 0,50 _a	5,28 \pm 0,33 _b	5,20 \pm 0,24 _b
Alkalitet	$\mu\text{ekvl/L}$	18,35 \pm 33,78	23,51 \pm 37,43 _a	2,58 \pm 5,00 _b	0,59 \pm 1,31 _b
ANC	$\mu\text{eq/L}$	13,45 \pm 36,74	19,74 \pm 39,68 _a	-5,35 \pm 14,08 _b	-8,84 \pm 10,77 _b
Kalsium (Ca)	Mg/L	0,77 \pm 0,82	0,88 \pm 0,91 _a	0,41 \pm 0,22 _b	0,38 \pm 0,16 _b
Magnesium (Mg)	Mg/L	0,35 \pm 0,30	0,37 \pm 0,32 _a	0,29 \pm 0,19 _a	0,30 \pm 0,20 _a
Natrium (Na)	Mg/L	2,38 \pm 2,13	2,43 \pm 2,26 _a	2,19 \pm 1,70 _a	2,24 \pm 1,63 _a
Kalium (K)	Mg/L	0,27 \pm 0,20	0,29 \pm 0,21 _a	0,18 \pm 0,09 _b	0,17 \pm 0,06 _b
Totalt organisk karbon (TOC)	Mg/L	2,01 \pm 1,14	2,04 \pm 1,19 _a	2,01 \pm 1,03 _a	1,54 \pm 0,61 _a
Turbiditet	FTU	0,67 \pm 1,89	0,63 \pm 1,57 _a	0,92 \pm 3,19 _a	0,53 \pm 0,35 _a
Farge	Mg Pt/L	14,27 \pm 12,65	14,54 \pm 12,51 _a	14,67 \pm 14,41 _a	8,30 \pm 6,69 _a
Sulfat (SO_4)	Mg/L	2,08 \pm 1,36	2,17 \pm 1,48 _a	1,77 \pm 0,86 _a	1,80 \pm 0,92 _a
Nitrat (NO_3)	$\mu\text{g/L}$	53,76 \pm 49,34	53,61 \pm 52,55 _a	51,68 \pm 38,10 _a	62,59 \pm 34,40 _a
Klorid (Cl)	Mg/L	4,20 \pm 3,87	4,29 \pm 4,12 _a	3,94 \pm 3,05 _a	4,01 \pm 2,98 _a
Silisium (Si)	Mg/L	0,34 \pm 0,18	0,35 \pm 0,19 _a	0,29 \pm 0,16 _a	0,17 \pm 0,07 _a
Total reaktivt Al (Al_i)	$\mu\text{g/L}$	58,65 \pm 35,91	54,19 \pm 32,59 _a	75,33 \pm 46,73 _b	62,92 \pm 27,23 _{ab}
Total monomert Al (Al_m)	$\mu\text{g/L}$	29,22 \pm 22,59	24,35 \pm 18,36 _a	43,07 \pm 29,74 _b	45,91 \pm 21,50 _b
Organic Al (Al_o)	$\mu\text{g/L}$	17,94 \pm 15,07	16,34 \pm 13,90 _a	22,56 \pm 18,05 _b	18,32 \pm 11,82 _{ab}
Inorganisk Al (Al_i)	$\mu\text{g/L}$	11,28 \pm 13,14	8,01 \pm 9,46 _a	20,51 \pm 17,37 _b	27,59 \pm 17,30 _c
Tålegrense (CL)	$\mu\text{ekvl/m}^2/\text{år}$	-20,24 \pm 84,06	-35,91 \pm 89,88 _a	25,70 \pm 35,18 _b	32,08 \pm 23,49 _b
Innsjøens høyde	m o.h.	517 \pm 369	517 \pm 398 _a	479 \pm 244 _a	646 \pm 266 _a

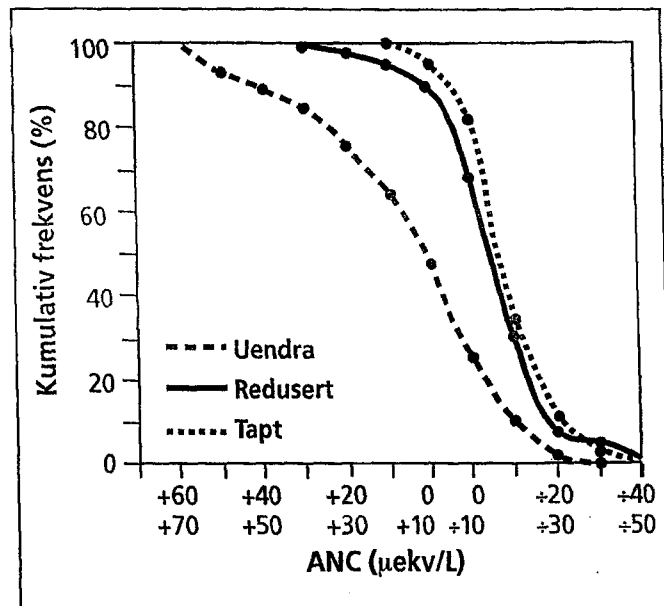


Figur 2. Fordelingen av pH, alkalitet, kalsium (Ca) og labilt aluminium (Al_i) i undersøkte innsjøer i Sogn og Fjordane.

Det ble satt opp kurver for ANC basert på kumulative frekvensfordelinger for de tre statuskategoriene (figur 3). Disse kurvene viser en relativt god sammenheng mellom ANC og graden av fiskeskader. Blant innsjøer med reduserte og tapte bestander hadde henholdsvis 69 og 83 % negativ ANC, mens tilsvarende andel for innsjøer uten skader var 26 %. Gjennomsnittlig ANC for innsjøer med tapte, reduserte og uendra bestander var henholdsvis 8,84, -5,35 og +19,74 µekvl⁻¹ (tabell 2).

Det ble også satt opp kurver for overskridelser av tålegrenser basert på kumulative frekvensfordelinger for ulike fiskestatuskategorier (figur 4). Det var en relativt god sammenheng mellom fiskeskader og tålegrenseoverskridelser. I innsjøer med reduserte og tapte bestander var tålegrensene overskredet i henholdsvis 80 og 91 % av tilfellene. Tilsvarende andel for innsjøer uten fiskeskader var 41 %. Det var også statistiske forskjeller i overskridelsene mellom innsjøer med uendra og reduserte bestander, men ikke mellom de med reduserte og tapte bestander (tabell 2). Gjennomsnittlige verdier for overskridelser av tålegrenser for

innsjøer med tapte og reduserte bestander var henholdsvis +32,08 og +25,70 µekv m⁻² år⁻¹, mot -35,91 µekv m⁻² år⁻¹ hvor det ikke var skader.

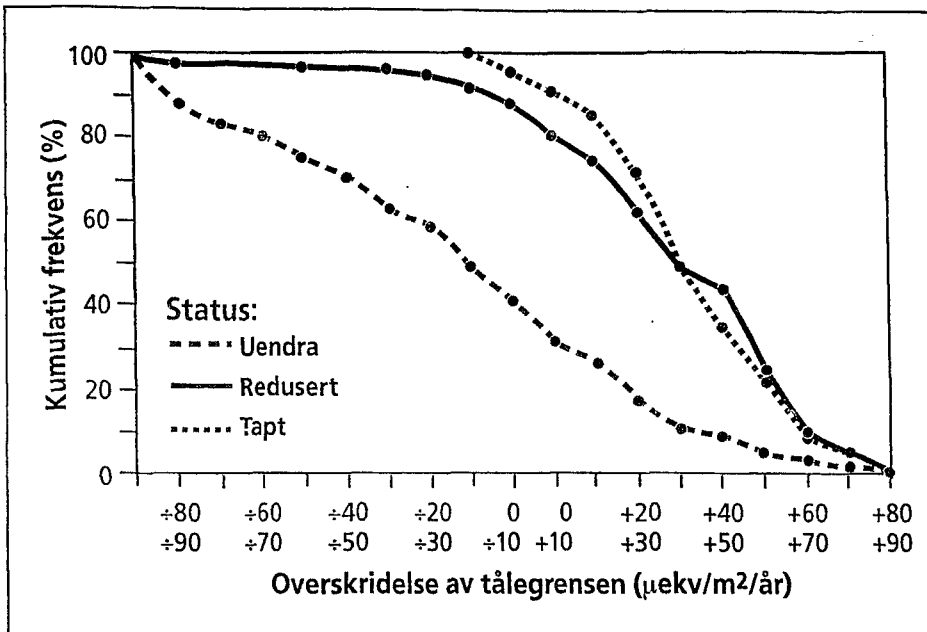


Figur 3. Kumulative fordelinger av syre-nøytraliserende kapasitet (ANC) for innsjøer med uendra, reduserte og tapte aurebestander i Sogn og Fjordane.

Det var et omvendt forhold mellom fiskestatus i innsjøer og deres lokalisering i vassdraget gitt som høyde over havet (tabell 2). I gjennomsnitt lå innsjøer med reduserte og tapte bestander på henholdsvis 479 og 646 m o.h. Innsjøer uten fiskeskader hadde en intermediær beliggenhet (517 m o.h.).

Det ble foretatt en regresjonsanalyse mellom ulike vannkjemiske variabler (cf. tabell 2) og fiskestatus som uavhengig variabel. Bare den labile aluminiums-fraksjonen ble benyttet i analysen. ANC ble heller ikke inkludert fordi den baserer seg på parametre som allerede er inkludert i analysen. ANC er definert som summen av kationer minus summen av anioner (Bulger et al. 1993). Det ble foretatt to analyser; en uten og en med høyde over havet, henholdsvis Modell 1 og 2 (tabell 3). Begge analysene viste at Al_i var best korrelert med bestandsstatus. I Modell 1 forklarte Al_i 20,5 % av variasjonen i status, og pH som tilleggsvariabel økte bare i liten grad forklaringsmodellen (total r² = 0,247). Modell 2 ga nær samme forklaringsgrad som Modell 1 (r² for høyde = 0,028, total r² = 0,275).

Videre ble det anvendt en diskriminantanalyse for å vurdere om vannkjemien er i overensstemmelse med fiskestatusklassifiseringen (tabell 4). Denne analysen viste at Al_i best klassifiserte innsjøene mht deres fiskestatus (74,2 %). Denne parameteren ga god forutsigbarhet mht fiskestatustilhørigheten for uendra bestander (86,3 %). Den var derimot dårlig for reduserte bestander (28,6 %), og middels god for tapte bestander



Figur 4. Kumulative fordelinger av overskridelser av tålegrenser for innsjøer med uendra, reduserte og tapte aurebestander i Sogn og Fjordane.

Tabell 3. Stegvis regresjonsanalyse mellom ulike vannkjemiske variabler og status hos aure i innsjøer i Sogn og Fjordane. Tabellen viser bidraget av ulike vannkjemiske variabler i form av regresjonskoeffisienter (r^2) i datasett 1 og 2. Verdiene i fet skrift viser regresjonskoeffisientene for modell 1 og 2. Tabellen viser også bidraget av ulike vannkjemiske variabler. Data for TOC og Si ble ikke målt i alle prøver. De eksisterende dataene for disse to variablene ble inkludert i datasett 1, men uten å gi noe signifikant bidrag.

Variabler i datasett 1 og 2	Variabler inkludert i modellen	r^2
Sett 1: pH, Alk, Al _i , Ca, Mg, Na, K, Farge, turbiditet, NO ₃ , SO ₄ og Cl	Al _i	0,205
	pH	0,042
	K	0,013
	Alkalitet	0,006
	Modell 1	Totalt bidrag
Sett 2: Alle variabler i Sett 1 pluss innsjøenes høyde	Al _i	0,205
	pH	0,042
	Innsjøenes høyde	0,028
	Modell 2	Totalt bidrag

(47,8 %). pH ga også en rimelig god prediksjon med en korrekt klassifisering på 61,2 %; høyest var den for uendra bestander (67,1 %). Det ble gjort tilsvarende analyser for andre vannkjemiske parametre. Kalsium, alkalitet og silisium ga best korrelasjon med en andel korrekt klassifisert bestander på 45,7-49,4 %.

Tabell 4. Klassifisering av innsjøer med aure i Sogn og Fjordane i form av predikert fiskestatustilhørighet for fire vannkjemiske variabler. Gruppe 1, 2 og 3 representerer henholdsvis uendra, skadede og tapte aurebestander. Predikert gruppetilhørighet er angitt i både antall og prosent (i parentes). Korrekt klassifisert i prosent (Korr.-%) er angitt helt til høyre. N = antall bestander i hver gruppe.

Variabel	Gruppe	N	Predikert gruppe-medlemskap			Korr.-%
			1	2	3	
Al _i	1	365	315 (86,3)	25 (6,8)	25 (6,8)	74,2
	2	84	37 (44,0)	24 (28,6)	23 (27,4)	
	3	23	5 (21,7)	7 (30,4)	11 (47,8)	
pH	1	365	245 (67,1)	76 (20,8)	44 (12,1)	61,2
	2	84	15 (17,9)	32 (38,1)	37 (44,0)	
	3	23	2 (8,7)	9 (39,1)	12 (52,2)	
Ca	1	365	195 (53,4)	102 (27,9)	68 (18,6)	49,4
	2	84	11 (13,1)	25 (29,8)	48 (57,1)	
	3	23	2 (8,7)	8 (34,8)	13 (56,5)	
Alkalitet	1	364	180 (49,5)	97 (26,6)	87 (23,9)	46,1
	2	84	6 (7,1)	18 (21,4)	60 (71,4)	
	3	23	0 (0,0)	4 (17,4)	19 (32,4)	
Silisium	1	121	60 (49,6)	25 (20,7)	36 (29,8)	45,7
	2	27	9 (33,3)	6 (22,2)	12 (44,4)	
	3	3	0 (0,0)	0 (0,0)	3 (100)	

5 Diskusjon

En stor del av de undersøkte innsjøene i Sogn og Fjordane har en forsuringfølsom vannkvalitet, og representerer derfor marginale leveområder for aure. Omlag en 1/3 av innsjøene hadde ingen alkalitet, mens en noe mindre del hadde lav bufferkapasitet (0,1-12,5 μ ekvl⁻¹). De fleste lokalitetene hadde lavt innhold av kalsium, mens konsentrasjonen av labilt aluminium ikke var spesielt høyt. Forsuring er trolig den alvorligste trusselen mot fiskeressursene ferskvann i Sogn og Fjordane. Beregninger basert på innsjøer større enn 3 ha viser at 168 aurebestander har gått tapt, mens ytterligere 445 bestander ahar avtatt (Hesthagen et al. 1998b). De forsuringsskadende innsjøene ligger hovedsakelig i sørvestlige deler av fylket. Dette skyldes trolig regionale forskjeller i geologi og deposisjon av forsuringskomponenter (tabell 1).

Over 95 % av de undersøkte innsjøene hadde høyere konsentrasjoner av sulfat enn 15 μ eq l⁻¹, dvs 0,75 mg l⁻¹. Dette er grensen for antropogent bidrag (Henriksen et al. 1988). Det naturlige bakgrunnsnivået for nitrat er 60 μ g l⁻¹, og bare 37 % av de undersøkte innsjøene i Sogn og Fjordane hadde høyere konsentrasjoner. Sulfat er derfor hovedkilden til forsuringen av ferskvann på Vestlandet. Deposisjonen av sulfat har også avtatt kraftig i løpet av de siste 15 årene, mens mengden nitrogen har vært tilnærmet konstant (Tørseth 1996). På sørvestlandet er imidlertid våtdeposisjonen av nitrogen omtrent

dobbelt så høy som for sulfat. Derfor har det vært en økning i den relative betydningen av nitrogen for forsuringen (Henriksen et al. 1997).

Flere faktorer gjør at resultatene fra undersøkelsen gir en noe unøyaktig vurdering av de kritisk vannkjemiske verdiene hos aure mht forsuring. Selv om opplysninger om fiskestatus er gitt av informanter med god lokal-kunnskap om bestandsforholdene, vil alltid slike opplysninger være forbundet med en viss usikkerhet (Hesthagen et al. 1993). For det første kan det i mange tilfeller være vanskelig å vurdere bestandsstatus i en innsjø. Det kan f eks være tvil om en bestand er uendra eller lettere skada, sterkt skada eller tapt etc. For det andre har disse endringene i de fleste tilfeller skjedd flere år før vannprøvene ble tatt, dvs det er en forsinkelse i målingen av dose-respons. I tillegg er ville aurebestander vanskelig å modellere i forsuringssammenheng på grunn av sin livssyklus. Generelt gyter aure på rennende vann (innløp, utløp eller tilløpsbekker), men vokser opp i en tilstøtende innsjø. De yngste stadiene hos aure er de mest forsuringfølsomme, og vannkvaliteten i bekker kan være mer kritisk enn i innsjøer. I vår undersøkelse ble vannprøvene tatt på utløpet, og resultatene gjenspeiler vannkvaliteten i selve innsjøen. Vi forutsetter derfor homogen vannkvalitet mellom hovedløp (innløp og utløp) og eventuelle tilløpsbekker. Dette er imidlertid ikke alltid riktig (Sharpe et al. 1987). Det er vist at sure innsjøer med marginal vannkvalitet ofte kan opprettholde aurebestander dersom det finnes bekker med relativt god

vannkvalitet (Hesthagen & Jonsson 1998). Dette skyldes trolig at slike bekker fungerer som gyte- og oppvekstrefugier for aure. Bestandstettheten hos aure i sure innsjøer er bedre korrelert til kalsium-innholdet i den beste tilløpsbekken, enn til vannkvaliteten i andre bekker eller innløp/utløp (Hesthagen & Jonsson 1998). En del innsjøer med negativ ANC og relativt store overskridelser hadde ikke fiskeskader. Dette kan skyldes at disse lokalitetene har tilløpsbekker med god vannkvalitet. Derfor kan vannkvaliteten i gyte- og oppvekstområder være flaskehalsen for å opprettholde aurebestander i mange forurede innsjøer. Dette skyldes at de yngste stadiene er mer ømfintlige for surt, ionefattig vann med labilt aluminium enn eldre innsjølevende individ. Det kan derfor være tilstrekkelig å kalke viktige gytebekker for å oppnå en tilfredsstillende rekruttering i mange sure innsjøer. Helsekalking er også kostnads-krevende, og kan gi høy rekruttering med påfølgende reduksjon i fiskens vekst og kvalitet.

Våre prøver viser bare vannkvaliteten på ett bestemt tidspunkt om høsten. Det kan imidlertid også være betydelige variasjoner i vannkvaliteten i tid. Våre resultater gir derfor ikke absolutte kritisk kjemiske verdier for skader på aurebestander. I vassdrag på Vestlandet er det påvist lav pH og høyt innhold av labilt aluminium under perioder med mye nedbør vår og høst, og i forbindelse med vinterstormer med mye sjøsalt i nedbøren (Hindar et al. 1994, 1997). Under slike episoder kan det oppstå fiskedød blant litt eldre aure (Barlaup & Åtland 1996). Under slike episoder kan det trolig også skje økt dødelighet hos rogn og yngel. Bestandsundersøkelser i sure innsjøer viser nemlig at rekrutteringssvikt er den vanligste årsaken til tap av aurebestander (Hesthagen 1997).

Ulike statistiske analyser viste at labilt aluminium var best relatert til fiskestatus. Forklaringsgraden var imidlertid lav med bare ca 20 %. Surheten (pH) var den nestbeste forklaringsvariabelen mht fiskestatus. Imidlertid var ikke innsjøer med skadede og tapte bestander verken spesielt sure (5,28 vs 5,20) eller hadde høyt innhold av labilt aluminium (20,51 vs 27,59 $\mu\text{g l}^{-1}$). De små forskjellene i vannkvalitet mellom innsjøer med reduserte og tapte bestander, viser for øvrig at små endringer i vannkvaliteten kan gi flere tapte bestander. Slike lave konsentrasjoner av labilt aluminium er ikke forventet å gi forsurende skader hos aure (Barlaup 1996). Når vannkvaliteten i mange innsjøer i Sogn og Fjordane likevel resulterer i skader på aurebestander skyldes dette trolig svært lavt innhold av kalsium. Gjennomsnittlige verdier for kalsium i innsjøer med tapte og reduserte bestander var bare henholdsvis 0,38 og 0,41 mg l^{-1} . Laboratorieforsøk med aure har vist at slike lave kalsiumverdier kan være kritisk for overlevelse av unge stadier i surt vann selv uten giftig aluminium (Brown 1983). I sure og næringsfattige bekker, blant annet i Gaularvassdraget i Sogn og Fjordane, er det vist at kalsium en nøkkelparameter mht å forklare variasjonen i tettheten av aureunger (Hesthagen et al. 1998c). Det

er for øvrig påvist fiskedød hos aure i ei elv i Sogn og Fjordane med et innhold av labilt aluminium på nivå med det vi fant i innsjøer med tapte aurebestander (cf. Åtland et al. 1998). Denne elva har forøvrig et høyere kalsiuminnhold enn de fleste innsjøene i vår undersøkelse.

Silisium var til en viss grad korrelert med fiskestatus idet innsjøer med uendra aurebestander hadde dobbelt så høye konsentrasjoner som de med tapte bestander. Silisium kan også til en viss grad benyttes til å gruppere innsjøenes fiskestatus med en korrekt klassifiseringsprosent på 45,7. Imidlertid har innsjøer i Sogn og Fjordane svært lavt innhold av silisium med et gjennomsnitt på bare 0,34 mg l^{-1} . Eksperimentelle forsøk har vist at giftigheten av løst aluminium i vann blir nærmest eliminert ved tilstrekkelig innhold av silisium (Birchall et al. 1989). Det er også vist at tettheten av aureunger i bekker i Gaularvassdraget i Sogn og Fjordane var positivt korrelert med konsentrasjonen av silisium (Hesthagen et al. 1998b).

Innsjøer med reduserte og tapte aurebestander lå generelt høyere i vassdragene enn de med uendra aurebestander. Dette kan blant annet skyldes ugunstige vannkvalitet og dårligere gyteforhold for aure i tilløpsbekker som drenerer høyereliggende innsjøer. Mer forsurende vannkvalitet i slike områder kan enten skyldes større nedbørmengder, og dermed høyere svoveldeposisjon, eller geologiske forhold med større innslag av lite forvitrede bergarter og lite løsmasser. Mange høyereliggende innsjøer i Sogn og Fjordane har ikke naturlige aurebestander, og det må foretas regelmessige utsetninger. Slike lokaliteter er forsøkt ekskludert fra undersøkelsen. I enkelte tilfeller kan det derfor være vanskelig å vurdere hvorvidt skadede bestander skyldes svak og ustabil naturlig rekruttering eller andre forhold som f.eks. forsurende. Før det settes igang kalking i mer høyereliggende innsjøer bør det derfor foretas en grundig vurdering av bestandsforholdene (relativ mengde fisk og aldersstruktur) og forekomsten av gytebekker.

Det var en relativt god sammenheng mellom ANC og overskridelser av tålegrenser og graden av fiskeskader. Statistiske analyser viste klare forskjeller i gjennomsnittlig ANC og overskridelser i innsjøer med og uten fiskeskader. Det var ubetydelige skader på aurebestander i innsjøer med ANC verdier over 20 $\mu\text{ekv l}^{-1}$. Det viser at forutsetningen i beregningene av overskridelser av tålegrenser er oppfylt. Resultatene kan benyttes ved vurderinger av fiskeskader som skyldes forsurende. Vi fant at en del innsjøer med god vannkvalitet, dvs positiv ANC og lave eller ingen overskridelser, hadde skadede aurebestander. Dette skyldes enten at fiskestatus er feilaktig vurdert, at vannkvaliteten er lite representativ for lokaliteten eller at fiskeskadene skyldes andre årsaker enn forsurende. En bør derfor alltid foreta en nøye vurdering av vannkvalitet og fiskestatus før kalking.

Det skjer nå en gradvis bedring av forsureingssituasjonen på Vestlandet med påfølgende bedring av fiskebestander. I løpet av de siste 15 årene har det vært en betydelig reduksjon i konsentrasjonen av svovel i nedbøren i Sogn og Fjordane (SFT 1997). Flere steder i fylket har det også skjedd en bedring av fiskebestander, bl.a. i Gulen kommune som er hardt rammet av forsurening (M. Farstad, pers. medd.). Det har også vært en positiv utvikling i tettheten av aure i bekker som drenerer innsjøer i Gaularvassdraget (SFT 1997).

6 Litteratur

- Barlaup, B.T. 1996. Ecological responses of brown trout (*Salmo trutta* L.) to temporal and spatial variation in water chemistry caused by acidification and liming. - Dr. Sc. thesis, Univ. i Bergen, Institutt for zoologi. 37 s.
- Barlaup, B.T. & Åtland, Å. 1996. Episodic mortality of brown trout (*Salmo trutta* L.) caused by sea-salt induced acidification in western Norway. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 1835-1843.
- Birchall, J.D., Exley, C., Chappell, J.S. & Phillips, M.J. 1989. Acute toxicity of aluminium to fish eliminated in silicon-rich acid waters. - Nature 338: 146-148.
- Brown, D.J.A. 1983. Effect of calcium and aluminum concentrations on the survival of brown trout (*Salmo trutta*) at low pH. - Bull. Environ. Contamin. Toxicol. 30: 582-587.
- Bulger, A.J., Lien, L., Cosby, B.J. & Henriksen, A. 1993. Brown trout (*Salmo trutta*) status and chemistry from the Norwegian Thousand Lake Survey: statistical analysis. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 575-585.
- Henriksen A., Lien L., Traaen T.S., Sevaldrud I.S. & Brakke, D. 1988. Lake acidification in Norway - present and predicted chemical status. - Ambio 17: 259-266.
- Henriksen, A., Posch, M., Hultberg, H. & Lien, L. 1995. Critical loads of acidity for surface waters - can the ANC_{limit} be considered variable? - Water, Air and Soil Pollut. 85: 2419-2424.
- Henriksen, A., Hindar, A., Hessen, D.O. & Kaste, Ø. 1997. Contribution of nitrogen to acidity in the Bjerkreim river in southwestern Norway. - Ambio 26: 304-311.
- Hesthagen, T. 1997. Population responses of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* (L.)) and brown trout (*Salmo trutta* L.) to acidification in Norwegian inland waters. - Dr. philos thesis, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Berger, H.M. 1994. Utvikling i forsureingsskader på fiskebestander i Sør-Norge etter 1950. - NINA Forskningsrapport 50: 1-16.
- Hesthagen, T. & Jonsson, B. 1998. The relative abundance of brown trout in acidic softwater lakes in relation to water quality in tributary streams. - J. Fish Biol. 52: 419-429.
- Hesthagen, T., Rosseland, B.O., Berger, H.M. & Larsen, B.M. 1993. Fish community status in Norwegian lakes in relation to acidification: a comparison between interviews and actual catches by test fishing. - Nordic J. Freshw. Res. 68: 34-41.
- Hesthagen, T., Sevaldrud, I.H. & Berger, H.M. 1998a. Assessment of fish damage to fish populations in Norwegian lakes due to acidification. - Ambio (Akseptert).

- Hesthagen, T., Aastorp, G., Langåker, R.M., Farstad, M. & Berger, H.M. 1998b. Responses of brown trout (*Salmo trutta* L.) to water quality and critical acid load of lakes with low ionic content.- Verh. Internat. Verein. Limnol. (Sendt).
- Hesthagen, T., Heggenes, J., Larsen, B.M., Berger, H.M. & Forseth, T. 1998c. Effects of water chemistry and habitat on the density of young brown trout *Salmo trutta* in acidic streams. - Water, Air and Soil Pollut. (I trykken).
- Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. & Semb, A. 1994. Acid water and fish death. - Nature 372: 327-328.
- Hindar, A., Kroglund, F. & Skiple, A. 1997. Forsurings-situasjonen i lakseførende vassdrag på Vestlandet; vurdering av behovet for tiltak. - Norsk institutt for vannforskning, NIVA-Rapp. LNr 3606-97. 72 s + vedlegg.
- Nøst, T. & Schartau, A.K. 1996. Kjemisk overvåking av norske vassdrag. Elveserien 1995. - NINA Oppdragsmelding 446: 1-37.
- Sevaldrud, I.H. & Muniz, I.P. 1980. Sure vatn og innlandsfisket i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelsene 1974-1979. - SNSF-prosjektet, IR 77/80, Ås. 92 s.
- SFT 1991. (Statens forurensningstilsyn). Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1990. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 466/91.
- SFT 1997. (Statens forurensningstilsyn). Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 1996. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 710/97.
- Sharpe, W. E., Leibfried, V.G., Kimmel, W.G. & DeWalle, D.R. 1987. The relationship of water quality and fish occurrence to soils and geology in an area of high hydrogen and sulfate ion deposition. - Water Research Bulletin 23: 37-46.
- Sigmond, E.M.O., Gustavson, M & Roberts, D. 1984. Geologisk kart over Norge.1:1 000 000. - Norges Geologiske Undersøkelser, Trondheim.
- Tørseth, K. 1996. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1995. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 663/96. 189 s.
- Åtland, Å., Bjerknes, V., Barlaup, B.T., Gabrielsen, S.E., Hindar, A., Kleiven, E., Kvellestad, A., Raddum, G.G. & Skiple, A. 1998. Vannkvalitet og anadrom fisk i Høyanger- og Orneviksvassdraget i Sogn og Fjordane. - Norsk institutt for vannforskning, Rapp. O-97170. 53 s.

Vedlegg 1

Antall vannprøver tatt i de enkelte kommuner i 1990, 94 og 95. Den enkelte kommune er angitt med sitt kommunenummer, se figur 1.

Kommunenr.	1990	1994	1995	Totalt
1401	24		3	27
1411	19		5	24
1412	5			5
1413	12	19	6	37
1416	36	2	5	43
1417	8	1		9
1418	11		1	12
1419	6			6
1420	9			9
1421	6	3	9	18
1422	18			18
1424	13			13
1426	16		1	17
1428	8		6	14
1429	7	25	6	38
1430	11	20	4	35
1431	5	5		10
1432	13	5	1	19
1433	18		1	19
1438	27	16	1	44
1439	10			10
1441	9		1	10
1443	8			8
1444	1		1	2
1445	25	2		27
1446	10		1	11
Totalt	335	98	52	485

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0976-4

563

**NINA
OPPDRAGS-
MELDING**

NINA Hovedkontor
Tungasletta 2
7005 TRONDHEIM
Telefon: 73 80 14 00
Telefax: 73 80 14 01

**NINA
Norsk institutt
for naturforskning**