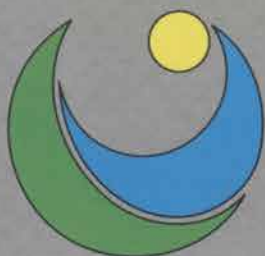


0 25

forskningsrapport

Betydningen av kalsium for tettheten av aureunger i bekker i tre forsurede vassdrag

Trygve Hesthagen
Bjørn Mejdell Larsen
Hans Mack Berger
Randi Saksgård
Syverin Lierhagen



NINA

NORSK INSTITUTT FOR NATURFORSKNING

Betydningen av kalsium for
tettheten av aureunger i bekker
i tre forsurede vassdrag

Trygve Hesthagen
Bjørn Mejdell Larsen
Hans Mack Berger
Randi Saksgård
Syverin Lierhagen

NINAs publikasjoner

NINA utgir seks ulike faste publikasjoner:

NINA Forskningsrapport

Her publiseres resultater av NINAs eget forskningsarbeid, i den hensikt å spre forskningsresultater fra institusjonen til et større publikum. Forskningsrapporter utgis som et alternativ til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

NINA Utredning

Serien omfatter problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen emne, litteraturstudier, sammenstilling av andres materiale og annet som ikke primært er et resultat av NINAs egen forskningsaktivitet.

NINA Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. Opplaget er begrenset.

NINA Notat

Serien inneholder symposie-referater, korte faglige redegørelser, statusrapporter, prosjektskisser o.l. i hovedsak rettet mot NINAs egne ansatte eller kolleger og institusjoner som arbeider med tilsvarende emner. Opplaget er begrenset.

NINA Temahefter

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

NINA Fakta-ark

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

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

Hesthagen, T., Larsen, B. M., Berger, H. M., Saksgård, R., Lierhagen, S. Betydningen av kalsium for tettheten av aureunger i bekker i tre forsørede vassdrag.

NINA Forskningsrapport 025: 1-24

Trondheim

ISSN 0802-3093

ISBN 82-426-1091-7

Forvaltningsområder:

Norsk: Forurensninger

Engelsk: Pollution

Rettighetshaver ©:

NINA Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon: Arnfinn Langeland

NINA, januar 1992

Design og layout:

Eva M. Schjetne

Kari Sivertsen

Alfhild M. Borgen

Tegnekontoret NINA

Sats: NINA

Trykk: BJÆRUM Trykkeri as

Opplag: 300

Trykt på 100% resirkulert papir!

Kontaktadresse:

NINA

Tungasletta 2

7005 Trondheim

Tel: (07) 58 05 00

Referat

Hesthagen, T. Larsen, B.M. Berger, H.M., Saksgård, R. & Lierhagen, S. 1992. Betydningen av kalsium for tettheten av aureunger i bekker i tre forsurede vassdrag. - NINA Forskningsrapport 025: 1-24

Kvalitativ tetthetsregistrering av aureunger og vannkjemiske analyser ble foretatt i tilløpsbekker til innsjøer i vassdragene Bjerkreim og Vikedal (Rogaland) og Gaula (Sogn og Fjordane) i perioden 1987-1990. Det er tidligere registrert forsurede kasser hos innsjølevende aure i disse vassdragene. Det er undersøkt mellom 122 og 143 bekker hvert år, tilsammen 530 registreringer med en samlet fangst på 3593 yngel (0+) og 2103 eldre individ ($\geq 1+$). Tettheten av aureunger i hver bekk er definert som antall fisk fanget pluss antall observerte individ pr. 100 m²/en omgang elfiske. Disse vannkjemiske parametrene ble inkludert i analysen: pH, kalsium, alkalinitet og labilt aluminium (bare i 1990). I tillegg inngikk lokalitetenes høyde over havet som uavhengig variabel. De tre vassdragene har middels lav pH (5,15-5,55), lavt innhold av kalsium (0,28-1,12 mg Ca/l), lav bufferkapasitet målt som alkalinitet (0,8-23,2 μ ekv/l) og lavt innhold av labilt aluminium (9,6-34,0 μ g/l). Tallene uttrykker årlige gjennomsnittsverdier.

I vassdragene Vikedal og Gaula var kalsium den beste forklaringsparameteren mht variasjonen i tettheten av både yngel og eldre aureunger. I Bjerkreim var derimot pH den enkeltfaktor som i de fleste tilfelle var best korrelert til tetthet, men også kalsium, alkalinitet og høyde over havet ga signifikante korrelasjoner. Et høyere innhold av kalsium i Bjerkreimsvassdraget (0,75-1,12 mg/l) er trolig årsaken til at denne faktoren har mindre betydning for tettheten av aureunger her sammenliknet med bekker i Vikedal og Gaula med lavere innhold av kalsium; henholdsvis 0,47-0,55 og 0,28-0,37 mg Ca/l. Sviktende rekruttering hos aure i Bjerkreim skjer i lokaliteter med gjennomsnittlig pH og kalsium på henholdsvis 4,96 og 0,54 mg/l, mens tilsvarende verdier i Vikedal og Gaula er henholdsvis 5,09 og 0,38 mg Ca/l og 5,35 og 0,23 mg Ca/l.

Emneord: Forsuring - Aure - Tetthet - Bekker - Elfiske - Vannkvalitet - Tålegrense

Trygve Hesthagen, Bjørn Mejdell Larsen, Hans Mack Berger, Randi Saksgård & Syverin Lierhagen, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim.

Abstract

Hesthagen, T., Larsen, B.M. Berger, H.M., Saksgård, R. & Lierhagen, S. 1992. The influence of calcium on the density of juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.) in some streams in three acidified Norwegian watersheds.- NINA Forskningsrapport 025:1-24

Qualitative juvenile brown trout density and water quality were monitored in tributaries/nursery streams to lakes in three acidified Norwegian watersheds during the period from 1987 to 1990. Two of the study areas (Bjerkreim and Vikedal) are located in southwestern Norway, while the third area (Gaula) is located in western Norway. Electrofishing was conducted in August each year and a water sample was obtained from each stream. A stepwise regression analysis was used to correlate fish abundance (number of fish caught and those observed 100 m⁻²/one sampling run) and five independent variables: pH, calcium (Ca), alkalinity, labile aluminium (1990 only) and height above sea level (m). Between 122 and 143 different streams were monitored each year, and a total of 530 samplings were conducted during the study period. A total of 3593 fry (age 0+) and 2103 older specimens (age $\geq 1+$) have been caught. In the Vikedal and Gaula watersheds, the single factor accounting for most of the variability in both fry and parr densities was calcium. In Bjerkreim, pH contributed to most of the variability in brown trout fry densities in two years. In Bjerkreim, calcium was of less importance for brown trout abundance, probably because of higher annual mean values (0,75-1,12 mg Ca/l) compared with that in the Vikedal (0,47-0,55 mg Ca/l) and Gaula (0,28-0,37 mg Ca/l) watersheds. A significant correlation between $\geq 1+$ brown trout abundance and altitude was recorded in both Bjerkreim and Gaula watersheds. No juvenile brown trout were recorded in streams with a mean pH and Ca-levels of 4,96 and 0,54 mg/l in Bjerkreim, 5,09 and 0,38 mg/l in Vikedal and 5,35 and 0,23 mg/l in Gaula.

Key words: Acidification - Brown trout - Density- Nursery/spawning streams - Electrofishing - Water quality - Critical levels

Trygve Hesthagen, Bjørn Mejdell Larsen, Hans Mack Berger, Randi Saksgård & Syverin Lierhagen, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim, Norway.

Innhold

Referat	3
Abstract	3
Forord	5
1 Innledning	5
2 Områdebeskrivelse	6
2.1 Bjerkreimsvassdraget	6
2.2 Vikevassdraget	7
2.3 Gaulavassdraget	8
3 Metode og materiale	8
3.1 Vannprøver	8
3.2 Ungfiskregistreringer	8
4 Resultater	10
4.1 Vannkvalitet	10
4.2 Fisketetthet	13
5 Diskusjon	21
6 Litteratur	22

Forord

Materialet til denne undersøkelsen er samlet inn i forbindelse med Statlig program for forurensningsovervåking under programmet "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør". Den biologiske delen av dette programmet er finansiert av Direktoratet for naturforvaltning (DN) og Norsk institutt for naturforskning. Bearbeiding og rapportering av materialet til denne rapporten er finansiert av DN. Følgende personer har hjulpet til under feltarbeidet: June Breistein, Kjell A. Dolmseth og Espen Enge. Forsknings sjef Arnfinn Langeland har gitt verdifulle kommentarer til rapporten.

Trondheim januar 1992
Trygve Hesthagen
Bjørn Mejdell Larsen

1 Innledning

Forsuringen har resultert i store skader på aurebestander i norske innsjøer (Sevaldrud & Muniz 1980, Hesthagen et al. 1989). Både reproduksjonssvikt med påfølgende dominans av større og eldre fisk (senescens) og overdødelighet blant eldre individ (juvenilisering) er årsaken til bestandsendringer hos aure i forsuringsområder (Rosseland et al. 1980, Andersen et al. 1984, Turnpenny et al. 1988, Bravington et al. 1990).

Det er foretatt en rekke undersøkelser for å relatere vannkvalitet og overlevelse hos aure i surt vann. I tillegg til pH synes innholdet av kalsium, alkalinitet og labilt aluminium å være de viktigste vannkjemiske parametrene. Innsjøer med skadede aurebestander har lavere pH og lavere innhold av kalsium (målt i innsjøenes utløpselver) enn lokaliteter med uendret fiskestatus (Wright & Snevik 1978, Sevaldrud & Muniz 1980, Chester 1984, Sevaldrud & Skogheim 1986, Henriksen et al. 1989, Hesthagen et al. 1989). Muniz & Walløe (1990) foretok en reanalyse av materialet benyttet i de ovenfornevnte publikasjoner, men fant ikke at konsentrasjonen av kalsium inngikk i regresjonsmodellen. I deres modell inngikk bare pH, labilt aluminium og innsjøens høyde over havet som signifikante variable med hensyn til å forklare fiskestatus.

Aure gyter vanligvis i rennende vann, hvor den også lever en kortere eller lengre periode før den vandrer ut i tilstøtende innsjø. Denne perioden synes å være kritisk for overlevelsen hos aure i forsuringsområder. Det er foretatt en rekke laboratoriestudier av overlevelse hos aureunger i surt vann som viser stor dødelighet under klekkeperioden. Reproduksjonssvikt inntreffer ved pH i intervallet 4,5-5,0 (Johansson et al. 1977, Grande et al. 1978). Videre er det en positiv sammenheng mellom konsentrasjonen av kalsium og overlevelsen hos aure (Brown 1981, Brown & Lynam 1981, Brown 1982a, b). Det er ikke funnet noen ytterligere effekt av kalsium når konsentrasjonen er høyere enn ca. 1,0 mg/l (Leivestad et al. 1980, Brown 1983).

Det er også vist at dødelighet hos laksefisk i surt vann kan skyldes aluminiumsforgiftning ved den uorganiske labile fraksjonen (Driscoll et al. 1980, Muniz & Leivestad 1980, Schofield & Trojnar 1980, Baker 1982, Brown 1983, Fivelstad & Leivestad 1984). Imidlertid kan kalsium redusere den skadelige virkningen av aluminium (Muniz & Leivestad 1980, Brown 1983, McDonald 1983a, Dalziel et al. 1986, Sadler & Lynam 1988).

Denne undersøkelsen omhandler vannkvalitet og kvalitativ registrering av aureunger i gytebekker i vassdragene Bjerkreim og

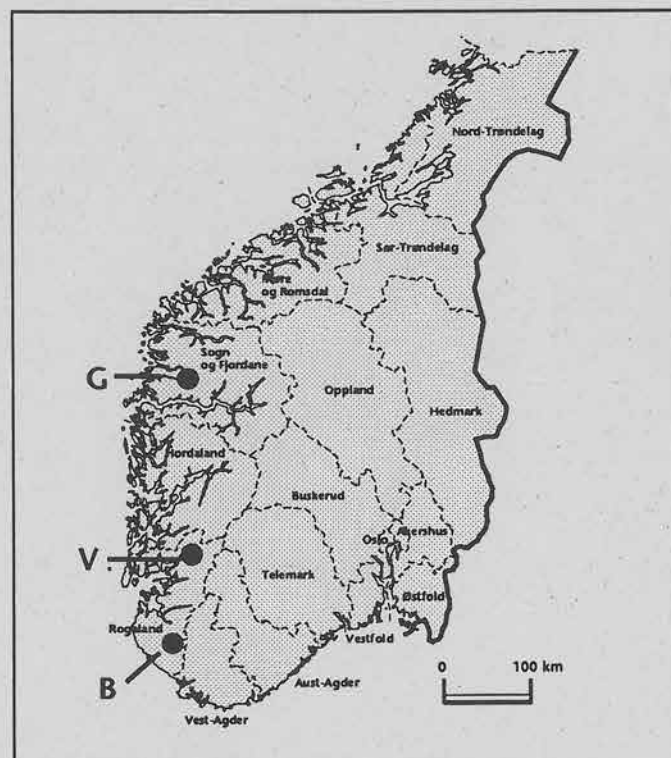
Vikedal i Rogaland og Gaula i Sogn og Fjordane. Hos innsjølevende aure i disse områdene har både fiskestatus og bestands sammensetning vist klare effekter av forurening (se kapittel 2). Vi ønsket derfor å teste (i) hvilke vannkjemiske parametre som har størst betydning for variasjonen i tettheten av aureunger og (ii) hvilke verdier av disse vannkjemiske parametrene som er kritiske for overlevelse hos aureunger. I tillegg til ulike vannkjemiske parametre inngår også lokalitetens høyde over havet i analysen (cf. Muniz & Walløe 1990).

2 Områdebeskrivelse

2.1 Bjerkreimsvassdraget

Bjerkreimsvassdraget ligger i den sørøstlige delen av Rogaland (**figur 1**). Området har typisk kystklima med en økning i årsnedbør fra kysten og innover. Bjerkreimsvassdraget har utspring i fjellområder (900-1.000 m o.h.) på grensa mot Vest-Agder. Vassdraget er sterkt forgreinet, og hovedelva tilføres vann fra en rekke sidevassdrag. De største sidevassdragene kommer fra øst, gjennom Ørsdal, Austrumdal og Maudal, og drenerer de høyereliggende delene av nedslagfeltet (> 500 m o.h.). Vassdragene som kommer fra vest drenerer de lavereliggende deler av nedbørfeltet (100-500 m o.h.).

Nedslagfeltet tilhører det sørnorske grunnfjellsområdet med dominans av granitt og gneiss. I Egersundområdet består berggrunnen av anortositt. Dette er bergarter som forvitrer lang-



Figur 1

Lokalisering av de tre vassdragene hvor undersøkelsene ble foreatt: B=Bjerkreim, V=Vikedal og G=Gaula. - Location of the areas where the study was conducted: B=Bjerkreim, V=Vikedal, G=Gaula.

Tabell 1. Nedbørfeltets størrelse, årsnedbør, middelavløp og antall innsjøer ≥ 50 da i de undersøkte vassdragene. *: målt ved utløpet av Viksdalsvatn ca 30 km fra utløpet. - Description of the different waterstreds with catchment area (km^2), average annual precipitation (mm), average discharge (m^3/s) and number of lakes ≥ 5 hectare.

Vassdrag	Nedbørfelt km^2	Årsnedbør mm	Middelavløp m^3/s	Antall innsjøer ≥ 50 da
Bjerkreim	708	1400 - 2600	60	188
Vikedal	119	2650	9	29
Gaula	630	2000 - 3000	41*	75

somt, og som i liten grad virker nøytraliserende på surt vann. Enkelte steder finnes det imidlertid små lokale innslag av mindre harde bergarter. Det finnes betydelige løsmasseavsetninger i nedslagfeltet, spesielt i tilknytning til dalførene i hovedvassdraget og i de vestre deler av feltet. I østre og høyereliggende deler av feltet er det imidlertid lite løsmasser.

Intensiv kulturpåvirkning i form av jordbruk med helårsbeite og lyngbrenning har endret den naturlige vegetasjonen sterkt. De store og sammenhengende lyngheiene i lavlandet er nå mange steder skogvokst, vesentlig av bjørka. På tross av de store nedbørmengdene (**tabell 1**) er myrarealet relativt beskjedent.

Østre deler av Bjerkreimsvassdraget er langt surere og mere ionefattig enn området vest for Bjerkreimselva (Enge 1988). Forskjellig vannkvalitet mellom de to områdene viser seg også i biologisk diversitet blant planktonkreps og bunndyr (Abrahamsen et al. 1972). Bjerkreimsvassdraget har bestander av laks, sjøaure, innlandsaure, røye, bekkerøye og ål. Røye finnes i innsjøer i hovedvassdraget og i de største vannene i de vestre sidevassdragene. Med unntak av Ørsdalsvatn finnes det ikke røye i de østre sidevassdragene. Det er betydelige forsureningskader på fiskebestandene i Bjerkreimsvassdraget (Sevaldrud & Muniz 1980, SFT 1987, 1988, Enge 1988). Nær 50 % av de opprinnelige aurepopulasjonene i vassdraget hadde gått tapt fram til 1987, og de fleste innsjøer lokalisert over 500 m o.h. er nå fisketomme.

2.2 Vikedalsvassdraget

Vikedalsvassdraget ligger i den nordlige delen av Rogaland på grensen mot Hordaland i Vindafjord, Suldal, Etne og Sauda

kommuner (**figur 1**). Dyrka mark i nedre del av vassdraget dekker omlag 4 km^2 av nedbørfeltet. Areal under skoggrensa (500 m o.h.) utgjør ca 60 % av nedslagfeltet.

Vikedalsvassdragets nedbørfelt er relativt smalt og langstrakt. Vikedalselva renner i et relativt flatt område i nedre deler, fra Fjellgardsvatn (154 m o.h.) og ned til fjorden. De største fjellområdene ligger i nordøst, med topper over 1.100 m o.h. De fleste av innsjøene er lokalisert 300-900 m o.h.

Berggrunnen består hovedsakelig av granitt, fyllitter og ulike gneistyper. Løsmasser i form av morenemateriale dekker en stor del av nedbørfeltet. I fjellet er myrer, grasheier og lyngheier dominerende, mens under skoggrensa utgjøres det meste av arealet av kulturmark, furuskog og bjørk-furuskog.

Grensetraktene mellom Hordaland og Rogaland er registrert som forsureningsområder med lave pH-verdier (SFT 1988). Vannanalyser fra Vikedalselva viste en nedgang i pH i løpet av 1970-tallet (Henriksen et al. 1981). I perioden 1980-1988 har det imidlertid vært en bedring i vannkvaliteten i Vikedalselva, og den gjennomsnittlige årlige pH har variert mellom 5,37 og 5,57 (SFT 1989). Flere av de øverste vatna i vassdraget har blitt fisketomme i løpet av de siste 20 årene, og forsurening synes å være årsaken til disse bestandsendringene (Sevaldrud & Muniz 1980, Nordland 1981, SFT 1984).

I tillegg til laks og sjøaure forekommer ål, niøye, trepigget stingsild og skrubbe i den lakseførende delen av vassdraget. I Fjellgardsvatn finnes det både aure, røye, trepigget stingsild og ål, mens aure er idag eneste fiskeart i resten av vassdraget.

2.3 Gaulavassdraget

Gaulavassdraget ligger sentralt i Sogn og Fjordane hovedsaklig innenfor kommunene Gaular, Førde og Balestrand (**figur 1**). Den sørlige delen av vassdraget kommer fra Gaularfjellet, og renner ned Eldalen til Viksdalsvatnet. Den nordre greinen av vassdraget har sine kilder mellom Grovabreen og Jostefonn og renner ned Haukedalen til Viksdalsvatnet. Herfra renner hovedelva vestover og ut ved Osen innerst i Dalsfjorden.

Breene i nordøst når opp i over 1.600 m o.h., og 35 % av feltet ligger høyere enn 900 m o.h. Skoggrensa i vest ligger på ca 400-500 m o.h., mens enkelte steder i øst når den opp i en høyde på ca 800 m. Skogen domineres av bjørk og furu med noe innslag av rogn og gråor. Gran er plantet flere steder nedover vassdraget. Langs hovedelva og rundt innsjøene er det mye dyrka mark, og arealmessig utgjør det ca 3 % av det totale nedbørfeltet.

Gaulavassdraget har en relativt ensartet geologi. I et parti mellom Haukedalsvatnet og sørover mot Eldalen er det et større område med amfibolitt og båndgneis/helleskifer/kvartsskifer. Resten av nedbørfeltet i Eldalen og Gaularfjell er ensartet migmatitt/gneis/granitt-bergarter. Løsmaterialet er konsentrert til dalbunn og dalsider, og i fjellområdene er det sparsomt med løsavsetninger.

Gaulavassdraget har et utpreget kystklima med forholdsvis lav sommertemperatur, milde vintre og mye nedbør. Vassdraget har en homogen vannkjemisk sammensetning som viser en ensartet geologisk og nedbørkjemisk påvirkning av avrenningsvannet (SFT 1986). Nær 90 % av innsjøene i området har en pH mellom 5,0-5,8 (SFT 1986). Vannkjemien på midten av 1980-tallet viste en liten grad av forsuring, men bufferkapasiteten er lav.

I tillegg til laks og sjøaure forekommer ål og trepigget stingsild i den lakseførende delen av vassdraget. I elvene og i innsjøene ovenfor lakseførende strekning finnes det bare aure. Flere av innsjøene i de høyereliggende områdene (900-1.200 m o.h.) har aldri hatt fisk. Av 49 innsjøer med kjent fiskestatus, har to bestander gått helt tapt, mens ytterligere 27 bestander har avtatt (SFT 1986).

3 Metode og materiale

3.1 Vannprøver

Vannprøver ble samlet inn på 250 ml vannflasker som først ble skylt med prøvevannet. Flaskene ble fylt helt for å redusere gassutvekslingen mellom luft og vann. Flaskene ankom laboratoriet 2-7 dager etter prøvetakingen. Surhet (pH), alkalinitet, konduktivitet, farge og turbiditet ble målt i NINA's vannkjemiske laboratorium ved ankomst. Resten av vannprøven ble lagret kjølig (4°C). Øvrige analyser ble utført i større serier på et seinere tidspunkt (kalsium, magnesium, natrium, kalium, jern, sulfat, klorid, nitrat, sss, silisium, aluminium og karbon).

pH ble målt potensiometrisk med et Radiometer PHM 84 tilkoblet glass- og kalomelektrode. Gjennomsnittsverdiene av pH er beregnet som aritmetisk middel av enkeltmålingene. Alkalinitet ($\mu\text{ekv/l}$) ble bestemt med automatisk titrering til $\text{pH} = 4,50$ (Alk 4,5) ved hjelp av Radiometer Titrator TTT 80, Radiometer Autoburette ABU 80 og Radiometer pH-meter PHM 84. Alkalinitet (Alk) ble deretter beregnet som beskrevet av Henriksen (1982). Kalsium (Ca, mg/l) ble analysert på et Perkin-Elmer 1100 B atomabsorpsjonsspektrofotometer. Aluminium (Al, $\mu\text{g/l}$) er analysert på en FIA Star 5020 Analyser etter Pyrokatekolfiolett-metoden (Dougen & Wilson 1974). Det er analysert på tre aluminiumsfraksjoner: (1) Totalt syrereaktivt aluminium (Al-R) etter syrekonservering med 0,1 M HCl i 7 dager, (2) totalt monomerisk aluminium (Al-M) på ikke-konserverte prøver, og (3) organisk monomert aluminium (Al-O) etter passering gjennom en kationbytter (Amberlite IR-120, 15-52 mesh) etter en metode beskrevet av Driscoll (1980). Labilt aluminium (Al-L) ble deretter beregnet etter formelen: $(\text{Al-M}) - (\text{Al-O})$. Fraksjoneringene er automatisert både med hensyn til ionebytting og syrekonservering.

3.2 Ungfiskregistreringer

Tettheten av aureunger ble registrert med elektrisk fiskeapparat (1600 V) på gyte- og oppvekstområder (innløp, utløp og tilløpsbekker) i et utvalg innsjøer i hvert vassdrag i august måned. Hver bekk ble avfisket en gang, og all fisk artsbestemt og lengdemålt til nærmeste mm. Antall observerte aureunger ble også notert. Det er skilt mellom årsyngel (0+) og eldre individ ($\geq 1+$) ved hjelp av lengdefordelingen. En ubetydelig andel av eldre individ besto av voksen fisk. Tettheten er beregnet kvalitativt som antall fisk fanget pluss antall individ observert pr. 100 m^2 /en omgang elfiske.

Tabell 2. Antall bekker hvor det ble foretatt elfiske (B), med angivelse av avfisket areal og antall yngel (Y) og eldre (E) aureunger fanget i vassdragene Bjerkreim, Vikedal og Gaula, 1987-1990. - Number of streams electrofished, area surveyed and number of fry (age 0+) and older specimens (age $\geq 1+$) caught each year during the period 1987-1990 in Bjerkreim, Vikedal and Gaula watersheds.

År	BJERKREIM				VIKEDAL				GAULA			
	B	Areal (m ²)	Y	E	B	Areal (m ²)	Y	E	B	Areal (m ²)	Y	E
1987	57	6 604	349	202	42	3 196	368	77	35	6 048	192	151
1988	60	7 196	588	312	49	4 021	220	148	34	4 820	172	119
1989	45	6 408	652	340	51	5 639	265	131	35	5 056	72	143
1990	40	4 590	488	273	46	2 622	195	84	36	5 320	32	123
Totalt	202	24 798	2 077	1 127	188	15 478	1 048	440	140	21 244	468	536

I Bjerkreimsvassdraget ble det i 1986 (forundersøkelse) og 1987 foretatt en regional undersøkelse med kartlegging av flest mulig vatn, og mange bekker er derfor undersøkt bare ett år. I 1988-1990 ble et utvalg av disse lokalitetene undersøkt på nytt. I Bjerkreimsvassdraget er det totalt foretatt 202 registreringer (49 innsjøer) fordelt på 40-60 bekker hvert år, alle lokalisert 63-659 m o.h. (**tabell 2**).

I Vikedalsvassdraget er tilløpsbekker til 9 vatn (154-586 m o.h.) elfisket hvert år, mens bekker til ytterligere to vatn har inngått i to av årene. Totalt er det foretatt undersøkelser i 42-51 bekker hvert år eller tilsammen 188 registreringer (**tabell 2**).

I Gaulavassdraget ligger alle forsøkslokalitetene i Eldalen. Det er foretatt undersøkelser i tilløpsbekker til 9-10 vatn hvert år, alle lokalisert 146-715 m o. h. Det ble gjennomført elfiske i 34-36 lokaliteter hvert år, eller tilsammen 140 registreringer (**tabell 2**).

Fra Bjerkreim ble dataene fra en bekk i 1988 og tre bekker i 1990 utelatt fordi disse lokalitetene hadde svært høye tettheter (327, 360, 370 og 560 individ pr. 100 m²). I 1990 var det uvanlig liten vannføring, og fisken i de aktuelle bekkene var konsentrert på et lite areal (henholdsvis 5, 15 og 15 m²). Det var også lav vannføring i den ene av disse bekkene i 1988 (elfisket areal var 10 m²). En fisketom bekk i Vikedalsvassdraget med pH > 6,0, er utelatt fra materialet i 1987 og 1990. Det er antatt at fysiske forhold begrenser rekrutteringen av aure i denne bekken. Ellers er betydningen av de fysiske forholdene for forekomsten av aure ikke vurdert (cf. Heggenes 1988). I Gaula ble en lokalitet som var undersøkt i 1989 og 1990 (Rimavatn) utelatt

på grunn av kalking. Totalt omfatter materialet fra alle tre vassdragene elfiske og vannkjemiske analyser fra 530 registreringer.

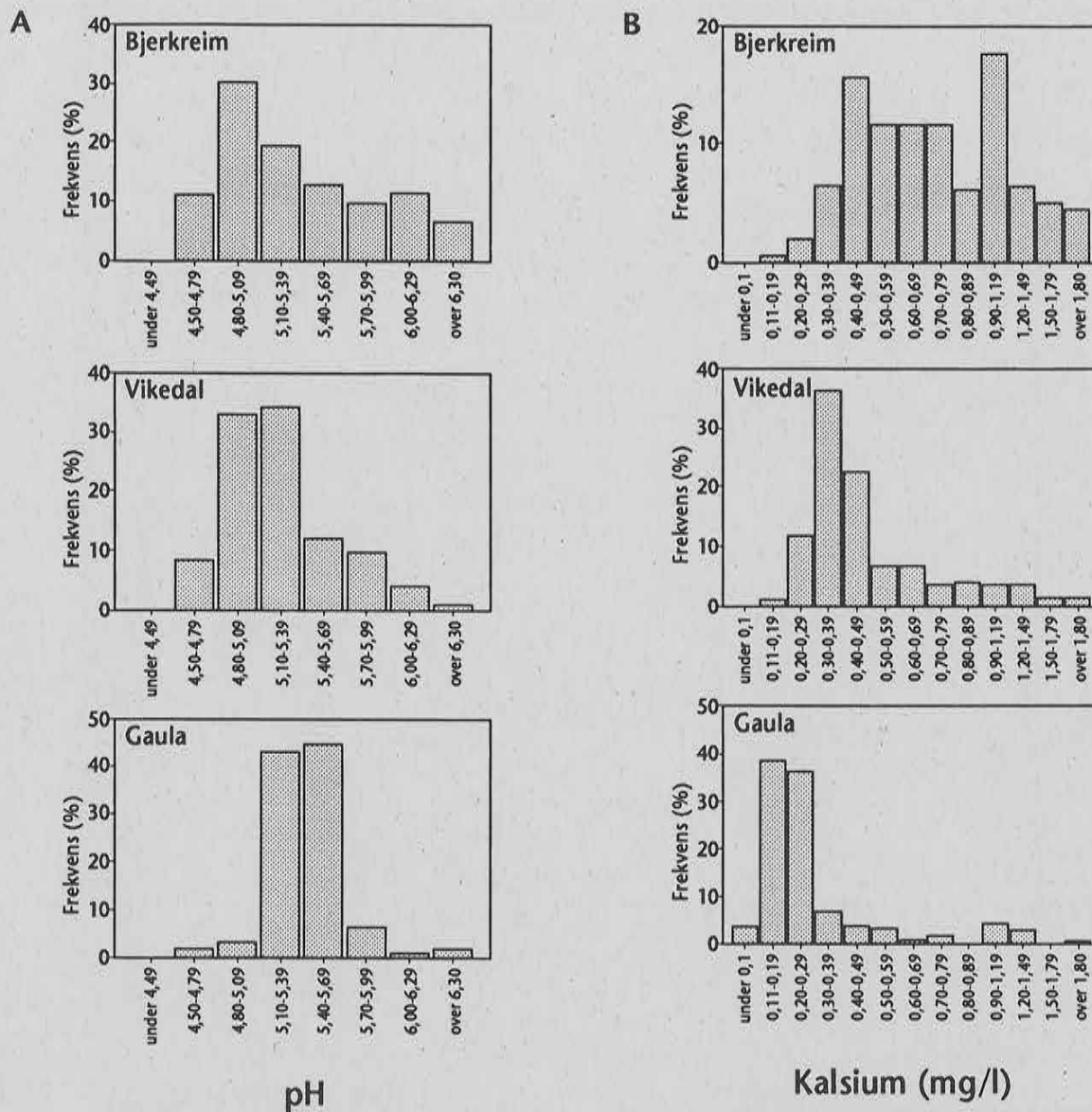
4 Resultater

4.1 Vannkvalitet

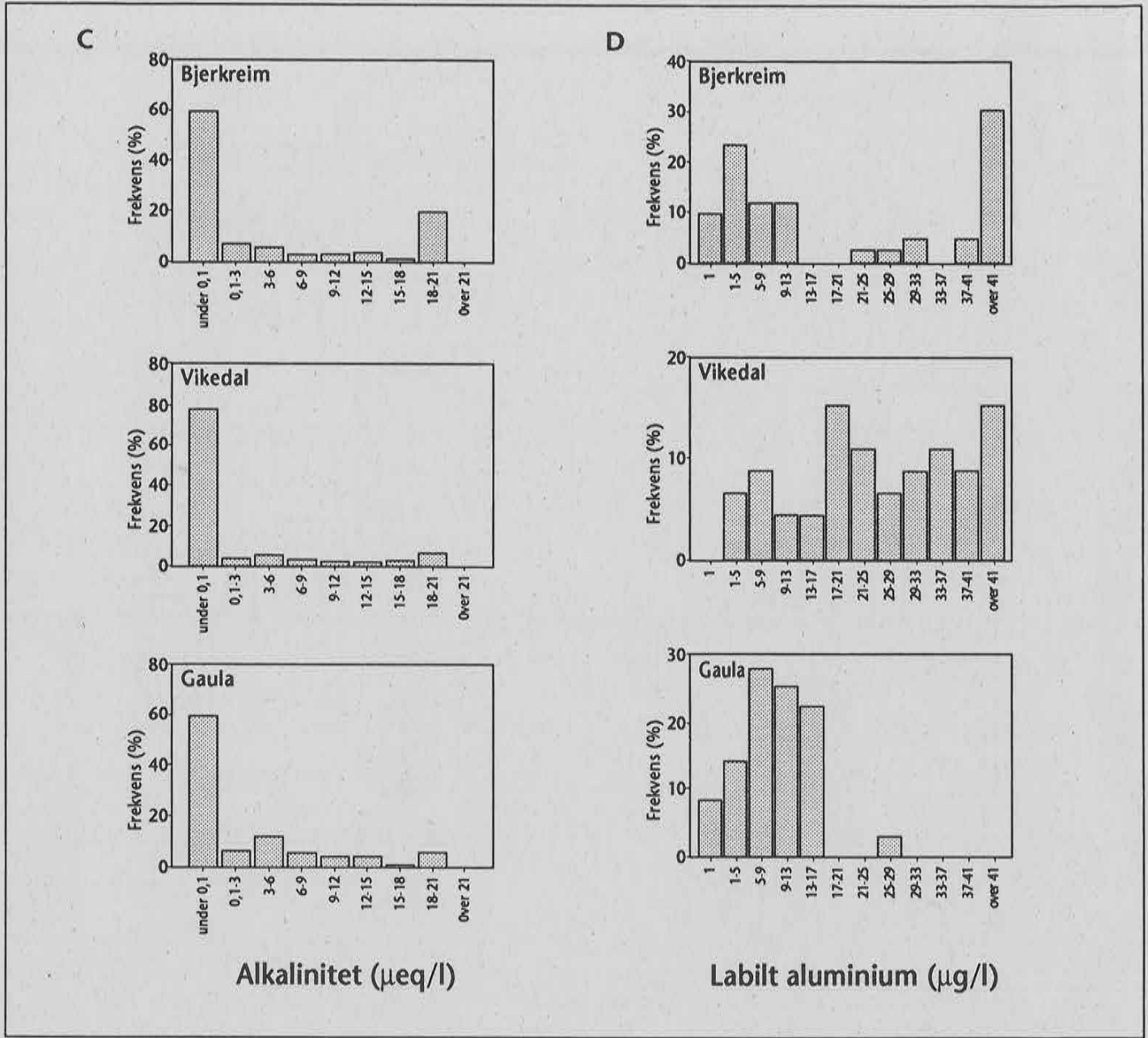
Bekkelokalitetene i Vikedal hadde, bortsett fra i 1987, de laveste pH-verdiene av de tre vassdragene (**tabell 3**). Få lokaliteter hadde lavere pH enn 4,8 og høyere enn 6,0 (**figur 2A**). Gaulavassdraget hadde det laveste kalsiuminnholdet med årlige gjennomsnittverdier fra 0,28-0,37, mens de høyeste verdiene ble målt i Bjerkreim med 0,75-1,12 mg/l (**tabell 3, figur 2B**). Alkaliniteten var vesentlig under 0.1 $\mu\text{ekv/l}$ i alle tre vassdragene (**tabell 3, figur 2C**). Gjennomsnittlig konsentrasjonen av labilt aluminium varierte fra 9,6 $\mu\text{g/l}$ i Gaula til 34,0 $\mu\text{g/l}$ i Bjerkreim (**tabell 3, figur 2D**).

Tabell 3. Gjennomsnittsverdier (\bar{x}) \pm standard avvik (S.D.) for pH, Ca (mg/l), alkalinitet (Alk, $\mu\text{ekv/l}$) og labilt aluminium (LAI, $\mu\text{g/l}$) for de undersøkte lokalitetene i vassdragene Bjerkreim, Vikedal og Gaula, 1987-1990. - Mean values (\bar{x}) \pm standard deviation (S.D.) for pH, Ca (mg/l), alkalinity (Alk, $\mu\text{ekv/l}$) and labile aluminium ($\mu\text{g/l}$) in Bjerkreim, Vikedal and Gaula watersheds, 1987-1990.

		BJERKREIM		VIKEDAL		GAULA	
		$\bar{x} \pm \text{S.D.}$	N	$\bar{x} \pm \text{S.D.}$	N	$\bar{x} \pm \text{S.D.}$	N
pH	1987	5.31 \pm 0.53	57	5.38 \pm 0.42	42	5.55 \pm 0.28	35
	1988	5.37 \pm 0.52	60	5.20 \pm 0.36	49	5.41 \pm 0.23	34
	1989	5.34 \pm 0.61	45	5.22 \pm 0.35	51	5.34 \pm 0.17	35
	1990	5.50 \pm 0.60	40	5.15 \pm 0.30	46	5.39 \pm 0.19	36
Ca	1987	0.75 \pm 0.34	57	0.55 \pm 0.37	42	0.37 \pm 0.45	35
	1988	0.78 \pm 0.71	60	0.47 \pm 0.38	49	0.33 \pm 0.26	34
	1989	0.94 \pm 0.60	45	0.53 \pm 0.28	51	0.30 \pm 0.28	35
	1990	1.12 \pm 1.04	40	0.48 \pm 0.24	46	0.28 \pm 0.30	36
Alk	1987	8.2 \pm 16.8	57	4.3 \pm 10.5	42	10.7 \pm 18.0	35
	1988	10.2 \pm 28.8	60	2.1 \pm 8.4	49	0.8 \pm 3.1	34
	1989	12.0 \pm 26.4	45	4.0 \pm 8.4	51	2.7 \pm 7.1	35
	1990	23.2 \pm 51.7	40	2.4 \pm 6.7	46	4.0 \pm 8.7	36
LAI	1990	34.0 \pm 36.6	40	26.2 \pm 13.7	46	9.6 \pm 5.7	36



Figur 2
 Frekvensfordeling av verdiene for pH (A), kalsium (B), alkalinitet (C) og labilt aluminium (D) i vassdragene Bjerkreim, Vikedal og Gaula, 1987-1990. - Frequency distribution of the values for pH (A), calcium (B), alkalinity (C) and labile aluminium (D) in the Bjerkreim, Vikedal and Gaula watershed, 1987-1990.



Figur 2, fortsatt

4.2 Fisketetthet

I Bjerkreimsvassdraget var pH den enkeltfaktor som forklarte mest av variasjonen i tettheten av både yngel og eldre aureunger samlet for alle år (**tabell 4, figur 3**). Konsentrasjonen av kalsium var signifikant korrelert til tettheten av eldre aureunger i 1988 og til både yngel og eldre individ i 1989. I 1987 var det en signifikant økning i tettheten av aureunger med økende høyde over havet. Videre ga alkalinitet best korrelasjon til yngelvariasjonen i 1987, og var andre signifikante variabel til samlet tetthet samme år. For hele forsøksperioden var det kun pH som inngikk i regresjonsmodellen som signifikant variabel for å forklare variasjonen (37 %) i tettheten av yngel og eldre individ:

$$\text{Tetthet} = 42,50 \text{ pH} - 200,13, P < 0,00001$$

I Vikedalsvassdraget var konsentrasjonen av kalsium sterkt korrelert til tettheten av aureunger (**tabell 5, figur 4**). Imidlertid var det signifikante korrelasjoner mellom tettheten av yngel og eldre individ og både pH og alkalinitet. For samlet tetthet av yngel og eldre individ i hele forsøksperioden forklarte kalsium 41 % av variasjonen i tettheten, mens alkalinitet bidrog lite til å bedre modellen (se **tabell 5**):

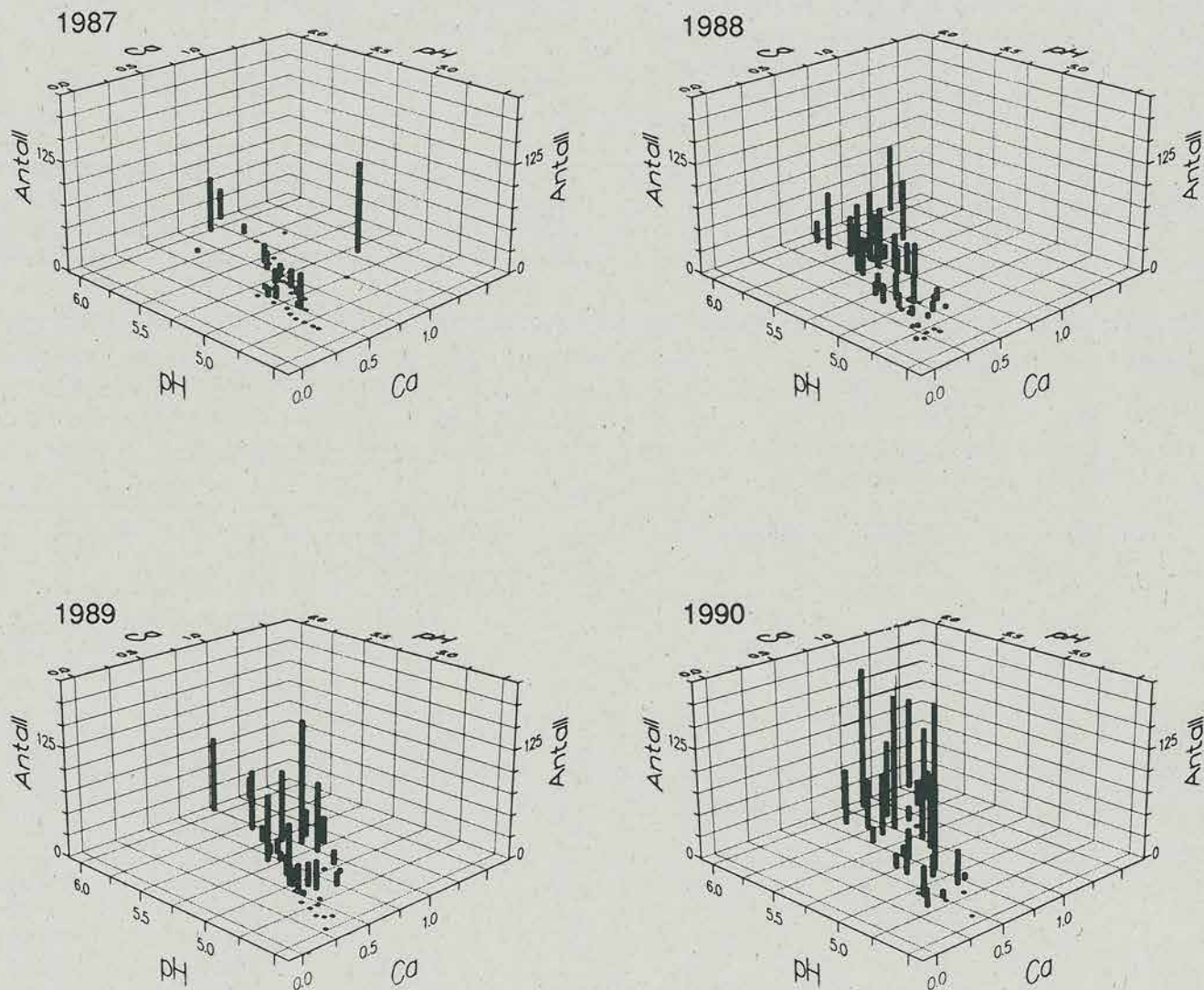
$$\text{Tetthet} = 34,39 \text{ Ca} + 0,59 \text{ Alk} - 1,29, P < 0,00001$$

I Gaulavassdraget var kalsium også den enkeltfaktor som viste best korrelasjon til tettheten av aureunger (**tabell 6, figur 5**). For yngel i 1988 og for eldre individ i 1990 forklarte konsentrasjonen av kalsium henholdsvis 50 og 74 % av den observerte variasjonen i tetthet. Ved siden av kalsium var alkalinitet den

Tabell 4. Multipell regresjonsanalyse mellom tettheten av aureunger (alder: 0+, ≥1+ og samlet) og ulike miljøvariable i bekkelokalteter i Bjerkreimsvassdraget, 1987-1990. Underskrifter til F-verdiene angir antall frihetsgrader. Bare signifikante korrelasjoner er innkludert. - Multiple regression analysis between juvenile brown trout density (age: 0+, ≥1+ and total) and different abiotic factors (pH, Ca, alkalinity, labile Al and stream altitude) for streams in Bjerkreim watershed, 1987-1990. Subscripts of the F-values are degrees of freedom. Only significant correlations are included.

År	Alder	Antall bekker	Rangering	Parameter	F-verdi	P	R ²
1987	0+	571	Alk	F _{1,55} =	25,2	< 0.00001	0.31
1987	0+	572	Høyde	F _{2,54} =	17.4	< 0.00001	0.39
1988	0+	601	pH	F _{1,58} =	28.3	< 0.00001	0.33
1989	0+	451	Ca	F _{1,43} =	27.3	< 0.00001	0.39
1990	0+	401	pH	F _{1,38} =	16.0	< 0.0005	0.30
Samlet	0+	2021	pH	F _{1,200} =	83.6	< 0.00001	0.29
1987	≥1+	571	Høyde	F _{1,55} =	33.9	< 0.00001	0.38
1988	≥1+	601	pH	F _{1,58} =	18.7	< 0.0001	0.24
1988	≥1+	602	Ca	F _{2,57} =	11.9	< 0.00001	0.30
1989	≥1+	451	Ca	F _{1,43} =	33.4	< 0.00001	0.44
1990	≥1+	401	pH	F _{1,41} =	21.8	< 0.00001	0.36
Samlet	≥1+	2021	pH	F _{1,200} =	79.1	< 0.00001	0.28
1987	0+≥1+	571	Høyde	F _{1,55} =	22.6	< 0.00001	0.29
1987	0+≥1+	572	Alk	F _{2,54} =	19.3	< 0.00001	0.42
1988	0+≥1+	601	pH	F _{1,58} =	46.9	< 0.00001	0.45
1989	0+≥1+	451	Ca	F _{1,43} =	42.6	< 0.00001	0.50
1990	0+≥1+	401	pH	F _{1,38} =	26.3	< 0.00001	0.41
Samlet	0+≥1+	2021	pH	F _{1,200} =	117.5	< 0.00001	0.37

Bjerkreim

**Figur 3**

Samlet tetthet pr. 100 m²/en elfiskeomgang for aureunger ved forskjellig pH og konsentrasjon av kalsium i bekker i Bjerkreim, 1987-1990. - Total density 100 m⁻²/one electrofishing run for juvenile brown trout at various pH and calcium concentrations in streams in Bjerkreim watershed, 1987-1990.

Tabell 5. Multipell regresjonsanalyse mellom tettheten av aureunger (alder: 0+, ≥1+ og samlet) og ulike miljøvariable i bekkelokaliteter i Vikedalsvassdraget, 1987 - 1990. Underskrifter til F-verdiene angir antall frihetsgrader. Bare signifikante korrelasjoner er innkludert. - Multiple regression analysis between juvenile brown trout density (age: 0+, ≥1+ and total) and different abiotic factors (see Table 4) for streams in Vikedal watershed, 1987-1990. Subscripts of the F-values are degrees of freedom. Only significant correlations are included.

År	Alder	Antall bekke	Rangering	Parameter	F-verdi	P	R ²
1987	0+	42	1	pH	F _{1,40} = 31.7	< 0.00001	0.44
1988	0+	49	1	Ca	F _{1,47} = 16.1	< 0.0005	0.26
1989	0+	51	1	Ca	F _{1,49} = 7.8	< 0.01	0.14
1990	0+	46	1	Ca	F _{1,44} = 15.2	< 0.0005	0.26
Samlet	0+	188	1	pH	F _{1,186} = 59.8	< 0.00001	0.24
Samlet	0+	188	2	Ca	F _{2,185} = 36.0	< 0.00001	0.28
1987	≥1+	42	1	Ca	F _{1,40} = 62.3	< 0.00001	0.61
1988	≥1+	49	1	Ca	F _{1,47} = 64.3	< 0.00001	0.58
1989	≥1+	51	1	Ca	F _{1,49} = 29.0	< 0.00001	0.37
1990	≥1+	46	1	Ca	F _{1,44} = 26.9	< 0.00001	0.38
Samlet	≥1+	188	1	Ca	F _{1,186} = 127.1	< 0.00001	0.41
Samlet	≥1+	188	2	pH	F _{2,185} = 68.5	< 0.00001	0.43
Samlet	≥1+	188	3	Alk	F _{3,184} = 50.1	< 0.00001	0.45
1987	0+ / ≥1+	42	1	Alk	F _{1,40} = 41.9	< 0.00001	0.51
1987	0+ / ≥1+	41	2	pH	F _{2,39} = 25.9	< 0.00001	0.57
1988	0+ / ≥1+	49	1	Ca	F _{1,47} = 42.4	< 0.00001	0.47
1989	0+ / ≥1+	51	1	Ca	F _{1,49} = 23.5	< 0.00001	0.32
1990	0+ / ≥1+	46	1	Ca	F _{1,44} = 42.0	< 0.00001	0.49
Samlet	0+ / ≥1+	188	1	Ca	F _{1,186} = 131.9	< 0.00001	0.41
Samlet	0+ / ≥1+	188	2	Alk	F _{2,185} = 69.7	0.00001	0.43

enkeltfaktor som best forklarte den totale variasjonen i tettheten av aureunger i Gaula. Dette gjaldt spesielt i 1989 da korrelasjonskoeffisienten for yngel og eldre individ var henholdsvis 0,72 og 0,66. Videre var pH og lokalisering (høyde) de beste forklaringsvariablene til tettheten av eldre individ i henholdsvis 1987 og 1988. I samlet tetthet av yngel og eldre individ inngikk både kalsium og høyde i likningen som beskriver variasjonen i tettheten, men bidraget fra høyde var lite (se **tabell 5**):

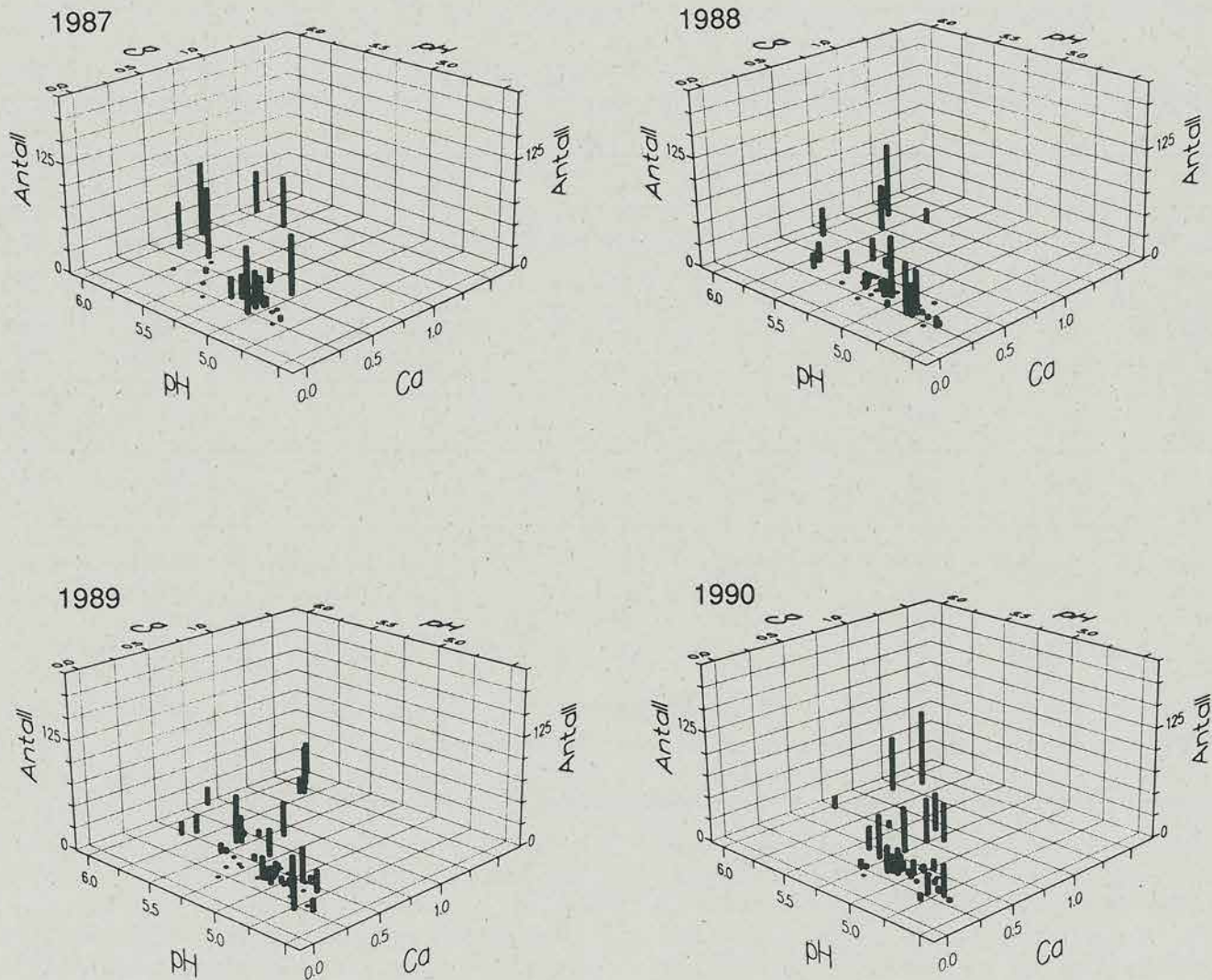
$$\text{Tetthet} = 32,32 \text{ Ca} - 0,03 \text{ Høyde} + 14,24, P < 0,00001$$

En analyse av totalmateriale fra alle tre vassdragene basert på samlet tetthet for yngel og eldre individ, ga denne likningen med faktorene rangert etter økende forklaringsprosent (Kumulerte R²-verdier i prosent bak hver variabel):

$$\text{Tetthet} = 13,31 \text{ Ca} (30 \%) + 25,85 \text{ pH} (36 \%) - 0,04 \text{ Høyde} (39 \%) - 112,81, P < 0,00001$$

Kalsium og pH er altså de to enkeltfaktorene som bidrar mest til å forklare den totale variasjonen i tettheten av aure i de tre vassdragene, mens bidraget fra høyde er lite. **Figur 6** viser tettheten av aureunger ved forskjellig pH og kalsium-innhold samlet for hele forsøksperioden for hvert av vassdragene. Sviktede reproduksjon hos aure skjer ved forskjellige vannkvalitet i de tre vassdragene. Gjennomsnittlig pH og kalsium i bekker hvor det ikke ble påvist aureunger i Bjerkreim var henholdsvis 4,96 og 0,54 mg/l (**figur 7**). Rekrutteringssvikt hos aure i Vikedal og Gaula skjer ved en høyere pH enn i Bjerkreim (5,09 og 5,35), men konsentrasjonen av kalsium er derimot lavere (0,38 og 0,23 mg/l).

Vikedal

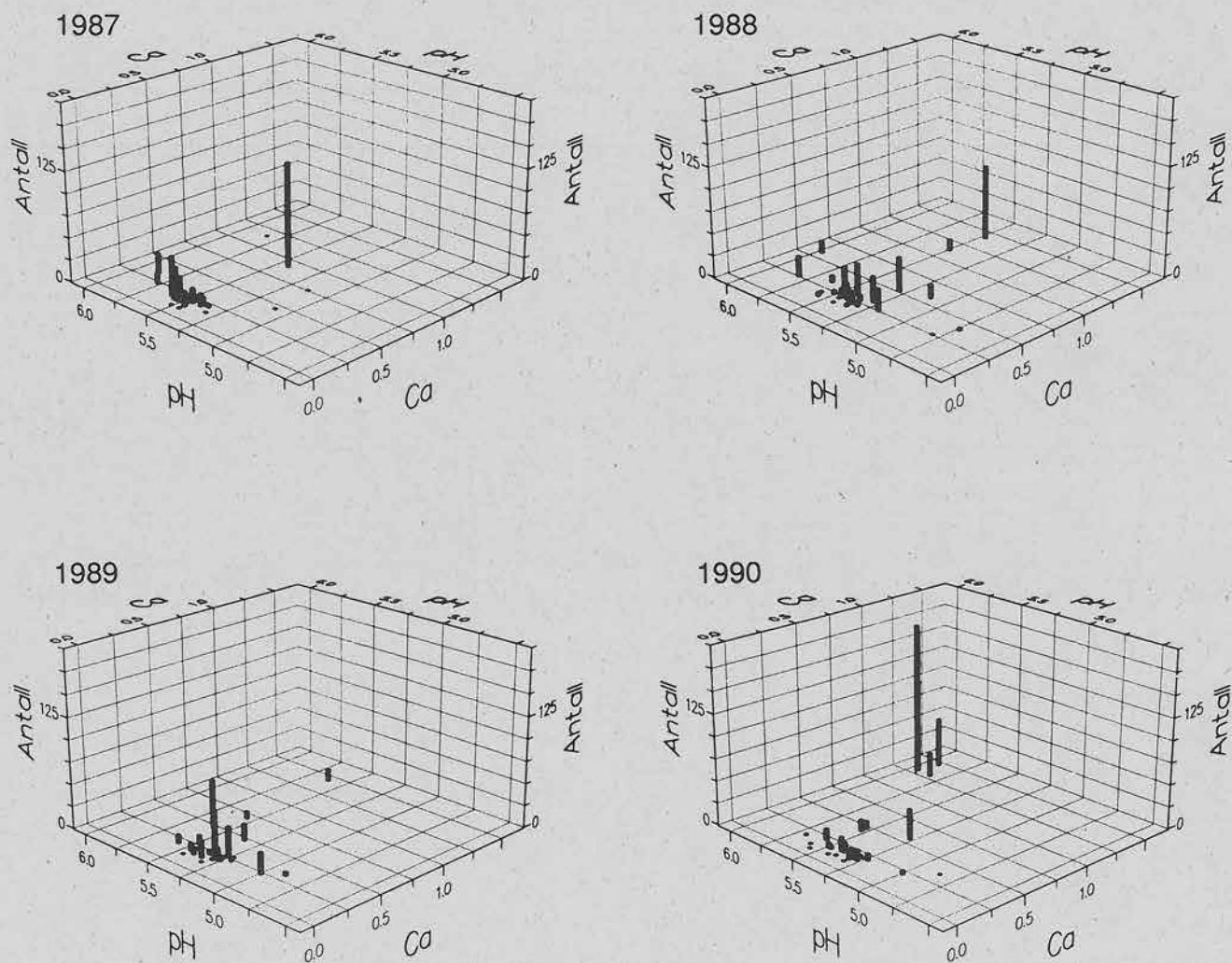
**Figur 4**

Samlet tetthet pr. 100 m²/en elfiskeomgang for aureunger ved forskjellig pH og konsentrasjon av kalsium i bekker i Vikedalsvassdraget, 1987-1990. - Total density 100 m²/one electrofishing run for juvenile brown trout at various pH and calcium concentrations in streams in Vikedal watershed, 1987-1990.

Tabell 6. Multipell regresjonsanalyse mellom tettheten av aureunger (alder: 0+, ≥1+ og samlet) og ulike miljøvariable i bekkelokalteter i Gaulavassdraget, 1987 - 1990. Underskrifter til F-verdiene angir antall frihetsgrader. Bare signifikante korrelasjoner er inkludert. - Multiple regression analysis between juvenile brown trout density (age: 0+, ≥1+ and total) and different abiotic factors (see Table 4) for streams in Gaula watershed, 1987-1990. Subscripts of the F-values are degrees of freedom. Only significant correlations are included.

År	Alder	Antall bekker	Rangering	Parameter	F-verdi	P	R ²
1987	0+	35	1	Ca	F _{1, 33} = 7.8	< 0.01	0.19
1988	0+	34	1	Ca	F _{1, 31} = 31.0	< 0.00001	0.50
1989	0+	35	1	Alk	F _{1, 33} = 83.4	< 0.00001	0.72
1989	0+	35	2	Ca	F _{2, 32} = 75.1	< 0.00001	0.82
1990	0+	36	1	Alk	F _{1, 34} = 49.4	< 0.00001	0.59
Samlet	0+	140	1	Ca	F _{1, 138} = 48.6	< 0.00001	0.26
1987	≥1+	35	1	pH	F _{1, 33} = 14.9	< 0.0005	0.31
1988	≥1+	34	1	Høyde	F _{1, 32} = 13.4	< 0.001	0.30
1988	≥1+	34	2	Alk	F _{2, 31} = 11.3	< 0.0005	0.42
1989	≥1+	35	1	Alk	F _{1, 33} = 64.1	< 0.00001	0.66
1989	≥1+	35	2	Ca	F _{2, 32} = 41.7	< 0.00001	0.72
1990	≥1+	36	1	Ca	F _{1, 34} = 95.8	< 0.00001	0.74
Samlet	≥1+	140	1	Ca	F _{1, 138} = 29.1	< 0.00001	0.17
1987	0+ / ≥1+	35	1	Alk	F _{1, 33} = 10.1	< 0.005	0.23
1988	0+ / ≥1+	34	1	Ca	F _{1, 32} = 30.6	< 0.00001	0.49
1989	0+ / ≥1+	35	1	Alk	F _{1, 33} = 95.6	< 0.00001	0.74
1989	0+ / ≥1+	35	2	Ca	F _{2, 32} = 79.9	< 0.00001	0.83
1990	0+ / ≥1+	36	1	Ca	F _{1, 34} = 104.1	< 0.00001	0.75
Samlet	0+ / ≥1+	140	1	Ca	F _{1, 138} = 57.8	< 0.00001	0.30
Samlet	0+ / ≥1+	140	2	Høyde	F _{2, 137} = 32.5	< 0.00001	0.32

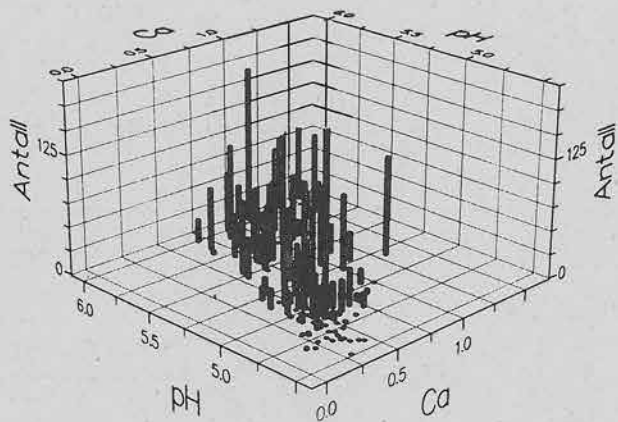
Gaula



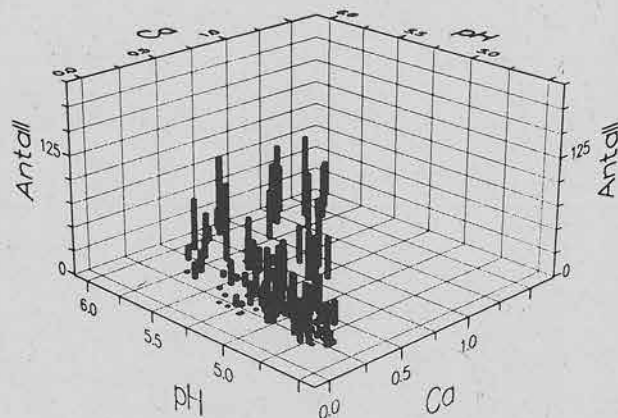
Figur 5

Samlet tetthet pr. 100 m²/en elfiskeomgang for aureunger ved forskjellig pH og konsentrasjon av kalsium i bekker i Gaulavassdraget, 1987-1990. - Total density 100 m⁻²/one electrofishing run for juvenile brown trout at various pH and calcium concentrations in streams in Gaula watershed, 1987-1990.

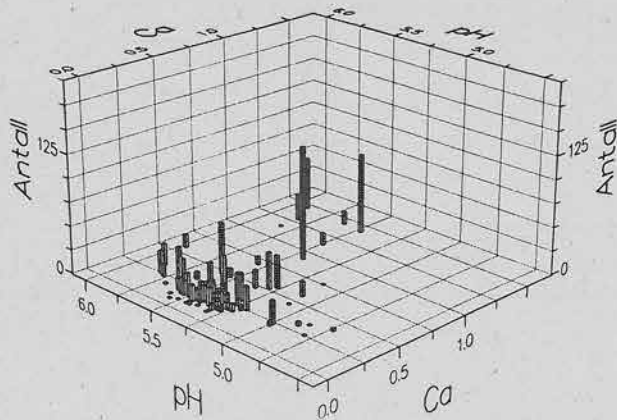
Bjerkreim



Vikedal

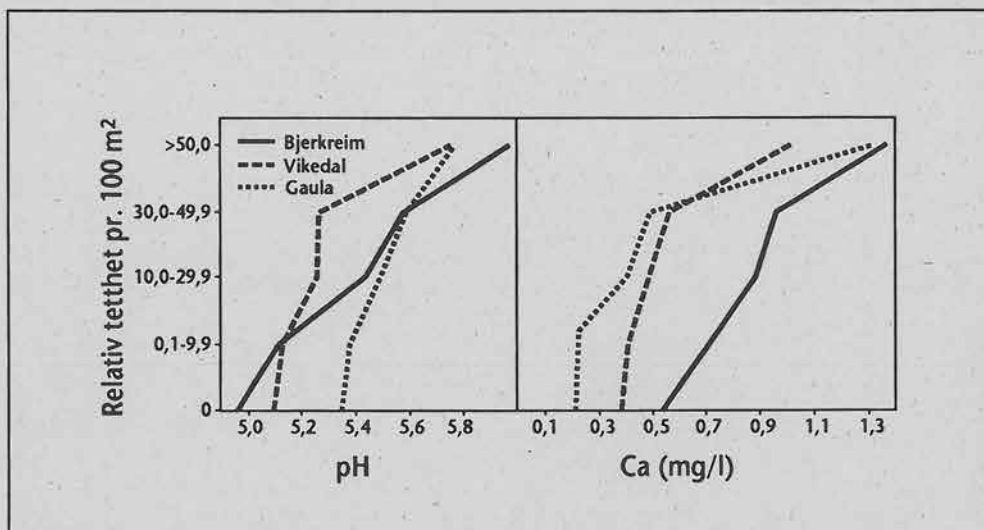


Gaula



Figur 6

Samlet tetthet pr. 100 m²/en elfiskeomgang for aureunger ved forskjellig pH og konsentrasjon av kalsium i bekker i vassdragene Bjerkreim, Vikedal og Gaula, 1987-1990. - Total density 100 m²/one electrofishing run for juvenile brown trout at various pH and calcium concentrations in streams in Bjerkreim, Vikedal and Gaula watersheds, 1987-1990.



Figur 7

Gjennomsnittlig pH og konsentrasjon av kalsium for bekker med forskjellig relativ tetthet av aure (samlet tetthet av yngel og eldre individ pr. 100 m²/en elfiskeomgang) i vassdragene Vikedal, Bjerkreim og Gaula, 1987-1990. - Mean pH and concentration of Ca in streams with different juvenile brown trout densities (densities of age groups 0+ and ≥1+ 100 m²/one electrofishing run) in Vikedal, Bjerkreim and Gaula watersheds, 1987-1990.

5 Diskusjon

Konsentrasjonen av kalsium synes å ha en signifikant betydning for fiskebestander i forsøringsområder i Norge, idet kalsium var den enkeltfaktor som best forklarte variasjonen i tettheten av aureunger i de undersøkte bekkene, spesielt i Gaula- og Vikedalsvassdraget. Konklusjonen fra vår undersøkelse er altså ikke i overensstemmelse med den presentert av Muniz & Walløe (1990) som fant at kalsium ikke inngikk i regresjonsmodellen for vannkvalitet og fiskestatus i norske innsjøer.

Konsentrasjonen av kalsium i Gaula og Vikedal er svært lave med gjennomsnittsverdier på henholdsvis 0,28-0,37 og 0,47-0,55 mg/l i de ulike årene. Tettheten av aureunger i Bjerkreimsvassdraget var i mindre grad korrelert til konsentrasjonen av kalsium. Årsaken til dette er trolig et høyere innhold av kalsium (0,75-1,12 mg/l) i dette vassdraget. Flere bekker drenerer her dyrka mark og beiteområder, noe som fører til økt utvasking av næringssalter og et generelt høyere ioneinnhold (Bergheim & Hesthagen 1990).

Disse resultatene er i samsvar med en rekke studier som viser at en økning i kalsium har en positiv effekt på overlevelse og fysiologisk status hos aure sjøl ved relativt lave konsentrasjoner (Leivestad et al. 1980, Brown 1982a, b, 1983, Howells et al. 1983). Imidlertid virker den gunstige effekten av kalsium bare opp til et gitt nivå. Således fant Leivestad et al. (1980) at kalsium reduserte ionetapet hos aure ved en konsentrasjon på 0,4 til 0,9 mg/l, men ikke ved høyere konsentrasjoner (0,9-1,7 mg/l). Brown (1983) fant i fravær av aluminium, dødelighet hos aureyngel som ble eksponert til surt vann (pH = 4,5) som inneholdt 0,25 og 0,5 mg Ca/l. Derimot ble det ikke funnet dødelighet i forsøk med samme pH, men med kalsium-konsentrasjoner på 1,0 og 2,0 mg/l. Eksperimentelle forsøk har vist en klekkedødelighet på hele 75 % hos aure eksponert til surt vann (pH = 4,5) når Ca-konsentrasjonen var lavere enn 1,5 mg/l (Brown 1982a). Carlsson og Johansson (1988) foretok burforsøk med ettårige aureunger i to forsuede bekker i Sør-Sverige, og fant at overlevelsen var signifikant korrelert til pH og (Ca+Mg) innholdet. Eksperimentelle forsøk med aurerogn og yngel i sure bekker (pH = 4,5) i sørvestre deler av Skottland (Loch Fleet), viste akutt dødelighet ved et kalsiuminnhold på 1,0 mg Ca/l og 60 µg/l labilt aluminium (Turnpenny et al. 1988). Brown (1982b) har vist at både overlevelsen av embryoet og selve klekkingen er sterkt avhengig av vannets kalsiuminnhold.

Det finnes få feltstudier av aure og vannkvalitet i bekkelokaliteter. Andersson & Andersson (1984) fant at tettheten av aure i

flere bekker i Midt-Sverige var sterkt korrelert med pH målt om sommeren, men bare svakt korrelert til ledningsevne. I bekker i Wales og Nord-England er tettheten av aure sterkt redusert eller tapt i lokaliteter med pH lavere enn 6.5 (Turnpenny et al. 1987).

De undersøkte bekkene i de tre vassdragene var ikke spesielt sure idet pH bare unntaksvis var under 5,0, og konsentrasjonen av labilt aluminium var også lav med årlige gjennomsnittsverdier fra 9,6-34,0 µg/l. Imidlertid kan sviktende ioneregulering og dødelighet hos laksefisk skje i vann med svært lave kalsiumverdier uten lav pH og høye konsentrasjoner av aluminium (Hutchinson et al. 1989).

Sviktende ioneregulering synes å være den dominerende fysiologiske reaksjonen hos fisk som lever i surt-ionefattig vann (Leivestad 1982). Ved lavt ioneinnhold blir gjellemembranene mere permeable (Wood & McDonald 1987). Dette forsterker ionetap og vanngjennomstrømming som igjen øker fiskens følsomhet for pH og aluminium (McWilliams & Potts 1978, McWilliams et al. 1980, McDonald 1983a,b, Hunn 1985).

I både Bjerkreim og Gaula avtok tettheten av aure med økende høyde over havet. Muniz & Walløe (1990) fant et analogt resultat idet innsjøens høyde inngikk i regresjonsmodellen som forklaringsvariabel til fiskestatus hos aure i innsjøer. Dette kan ha sammenheng med at elver og bekker under snøsmeltingen og avrenningen om våren er utsatt for raske endringer i vannkvaliteten med pH-fall, redusert ioneinnhold og mobilisering av labilt aluminium (Driscoll 1980, Johannessen et al. 1980, Bjärnberg 1983, Andersson & Nyberg 1984, Gunn & Keller 1986, Hesthagen 1989). I høyreliggende lokaliteter vil snøen akkumuleres gjennom vinteren, mens lavereliggende strøk med milde vintre har vekslende perioder med smelting og avsetning. Følgelig vil en ikke i samme grad få sure episoder i bekker i lavereliggende områder om våren (Andersen et al. 1984). Slike episoder kan ha en mer skadelig effekt på fiskebestander enn en gradvis forsøringsprosess (Harvey & Whelpdale 1986).

Det er vanskelig å angi nøyaktige verdier for sviktende rekruttering hos aure. En av grunnene til dette er at overlevelsen hos aure er et samvirke av flere faktorer som pH, kalsium og aluminium (Wood & McDonald 1987). I Bjerkreimsvassdraget er det sviktende rekruttering hos aure i bekker med gjennomsnittlig pH = 4,96 og 0,54 mg Ca/l. I Vikedal og Gaula ble det ikke registrert aureunger i lokaliteter med pH = 5,09 og 5,35 og kalsiuminnhold på 0,38 og 0,23 mg/l.

Det mest kritiske stadiet hos aure som lever i surt, ionefattig vann synes å være klekkeperioden (Skogheim & Rosseland 1984, Carlsson & Johansson 1988). Dataene fra vår undersøkelse kan derfor ikke benyttes direkte til å vurdere ved hvilken vannkvalitet det skjer reproduksjonssvikt hos aure. Det er tidligere foretatt vannkjemiske målinger fra innlandslokaliteter i både Vikedal og Gaula som viser pH-fall under snøsmeltingen (SFT 1984, 1986). De to vassdragene har imidlertid ulikt avrenningsmønster, og det gir forskjellig pH-utvikling gjennom våren og sommeren. En vesentlig del av snøsmeltingen skjer imidlertid før aure-eggene klekkes i mai/juni. I Vikedal er det relativt små endringer i pH fra mai til august, mens det i Gaula skjer en viss pH-økning gjennom sommeren. Kalsium-nivået endrer seg derimot lite fra klekkesidspunkt og fram til høsten i begge vassdragene (SFT 1984, 1986). Vi antar derfor at det er liten forskjell mellom kalsium-verdier som er målt i august og eventuelle minimumsverdier i perioden mai-august.

6 Litteratur

- Abrahamsen, J., Pallesen, P.F. & Solbakken, T. 1972. Fylkeskompendium for Rogaland. Om naturvitenskapelige interesser knyttet til uregulerte og "ubetydelige" regulerte vassdrag. Bind II. Kontaktutvalget. Vassdragsreg., Univ. Oslo. 372 s.
- Andersen, R. Muniz, I.P. & Skurdal, J. 1984. Effects of acidification on age class composition in Arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) and brown trout (*Salmo trutta* L.) in a coastal area, SW Norway. - Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 61: 5-15.
- Andersson, B. & Andersson, P. 1984. The distribution of trout (*Salmo trutta* L.) in relation to pH - an inventory of small streams in Delsbo, central Sweden. - Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 61: 28-33.
- Andersson, P. & Nyberg, P. 1984. Experiments with brown trout (*Salmo trutta* L.) during spring in mountain streams at low pH and elevated levels of iron, manganese and aluminium. - Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 61: 34-47.
- Baker, J.P. 1982. Effects on fish of metals associated with acidification. - I Johnsen, R.E., red. Acid rain/Fisheries. Am. Fish. Soc., Bethesda, MD. s. 165-176.
- Bergheim, A. & Hesthagen, T. 1990. Production of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., within different sections of a small enriched Norwegian river. - J. Fish Biol. 36: 545-562.
- Björnberg, B. 1983. Dilution and acidification effects during the spring flood of four Swedish mountain brooks. - Hydrobiologia 101: 19-26.
- Bravington, M.V., Rosenberg, A.A., Andersen, R., Muniz, I.P. & Beddington, J.R. 1990. Modelling and quantitative analysis of the impact of water quality on the dynamics of fish populations. - Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. s. 467-476.
- Brown, D.J.A. 1981. The effects of various cations on the survival of brown trout, *Salmo trutta*, at low pHs. - J. Fish Biol. 18: 31-40.
- Brown, D.J.A. 1982a. Influence of calcium on the survival of eggs and fry of brown trout (*Salmo trutta*) at pH 4.5. - Bull. Environ. Contam. Toxicol. 28: 664-668.
- Brown, D.J.A. 1982b. The effect of pH and calcium on fish and fisheries. - Water Air and Soil Pollut. 18: 243-351.
- Brown, D.J.A. 1983. Effect of calcium and aluminium concentrations on the survival of brown trout (*Salmo trutta*) at low pH. - Bull. Environ. Contam. Toxicol. 30: 582-587.
- Brown, D.J.A. & Lynam, S. 1981. The effect of sodium and calcium concentrations on the hatching of eggs and the survival of yolk sac fry of brown trout, *Salmo trutta* L. at low pH. - J. Fish Biol. 19: 205-211.
- Carlsson, U. & Johansson, T. 1988.

- Effekter av aluminium och kalcium på överlevnad och reproduktion av öring (*Salmo trutta* L.) i två försurade vattendrag. - Sötvannenslab. Drottningholm, Nr 11/1988. 21 s.
- Chester, P.F. 1984. Chemical balance in fishless lakes. - Proc. Roy. Soc. B. 305: 564-565.
- Dalziel, T.R.K., Morris, R. & Brown, D.J.A. 1986. The effects of low pH, low calcium concentrations and elevated aluminium concentrations on sodium fluxes in brown trout, *Salmo trutta* L. - Water, Air and Soil Pollut. 30: 569-577.
- Dougan, W.K. & Wilson, A.L. 1974. The absorptiometric determination of aluminium in water. A comparison of some chromogenic reagents and the development of an improved method. - Analyst 99: 413-430.
- Driscoll, C.T. 1980. Chemical characterization of some dilute acidified lakes and streams in the Adirondack region of New York State. - Ph. D. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, N.Y. 308 s.
- Driscoll, C.T., Baker, J.P., Bisogni, J.J. & Schofield, C.L. 1980. Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. - Nature 284: 161-164.
- Enge, E. 1988. Fiskeribiologiske undersøkelser i Bjerkreimsvassdraget 1987. Sten. Rapp. Fylkesmannen i Rogaland. 38 s.
- Fivelstad, S. & Leivestad, H. 1984. Aluminium toxicity to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.): mortality and physiological response. - Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 61: 69-77.
- Grande, M., Muniz, I.P. & Andersen, S. 1978. Relative tolerance of some salmonids to acid waters. - Verh. Int. Ver. Limnol. 20: 2076-2084.
- Gunn, J.M. & Keller, W. 1986. Effects of acidic meltwater on chemical conditions at nearshore spawning sites. - Water Air Soil Pollut. 30: 545-552.
- Harvey, H.H. & Whelpdale, D.M. 1986. On the prediction of acid precipitation events and their effects on fishes. - Water, Air & Soil Pollut. 30: 579-586.
- Heggenes, J. 1988. Physical habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) in riverine systems. - Nordic J. Freshw. Res. 64: 74-90.
- Henriksen, A. 1982. Alkalinity and acid precipitation research. - Vatten 38: 83-85.
- Henriksen, A., Snekvik, E. & Volden, R. 1981. Endringer i pH i perioden 1965-1979 for 38 norske vassdrag. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 2/81.
- Henriksen, A., Lien, L., Rosseland, B.O., Traaen, T.S. & Sevaldrud, I.H. 1989. Lake acidification in Norway: present and predicted fish status. - Ambio 17: 259-266.
- Hesthagen, T. 1989. Episodic fish kills in an acidified salmon river in southwestern Norway. - Fisheries 14: 10-17.
- Hesthagen, T., Berger, H.M., Blakar, I., Enge, E., Fjeld, E., Hansen, L.P., Hegge, O., Larsen, B.M., Sevaldrud, I.H., Strand, R. & Tysse, O. 1989. The effects of acid precipitation on freshwater fish in Norway. - I Longhurst, J.W.S., red. Acid deposition: Sources, Effects and Controls. British Library, Science Reference and Information Service Techn. Communicat. s. 117-142.
- Howells, G.D., Brown, D.J.A. & Sadler, K. 1983. Effects of acidity, calcium, and aluminium on fish survival and productivity: A review. - J. Sci. Food. Agric. 34: 559-570.
- Hutchinson, N.J., Holtze, K.E., Munro, J.R. & Pawson, T.W. 1989. Modifying effects of life stage, ionic strength and post-exposure mortality on lethality of H⁺ and Al to lake trout and brook trout. - Aquat. Toxicol. 15: 1-26.
- Hunn, J.B. 1985. Role of calcium in gill function in freshwater fishes. Comp. Biochem. Physiol. 82(A): 543-547.
- Johannessen, M., Skartveit, A. & Wright, R.F. 1980. Stream-water chemistry before, during and after snowmelt. - I Drabløs, D. & Tollan, A., red. Ecol. Imp. Acid Precip., SNSF-project, Oslo. s. 224-225.
- Johansson, N., Runn, P. & Milbrink, G. 1977. Early development of three salmonid species in acidified water. - Zoon 5: 127-132.
- Leivestad, H. 1982. Physiological effects of acid stress on fish. - I Haines, T.A. & Johnsen, E., red. Acid Rain/Fisheries. Am. Fish. Soc. Bethesda, MD. s. 157-164.
- Leivestad, H., Muniz, I.P. & Rosseland, B.O. 1980. Acid stress in trout from a dilute mountain stream. - I Drabløs, D. & Tollan, A., red. Ecol. Imp. Acid Precip. SNSF-project, Oslo. s. 318-319.
- McDonald, D.G. 1983a. The effects of H⁺ upon the gills of freshwater fish. - Can. J. Zool. 61: 691-703.
- McDonald, D.G. 1983b. The interaction of environmental calcium and low pH on the physiology of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. I. Branchial and renal net ion and H⁺ fluxes. - J. Exp. Biol. 102: 123-140.
- McWilliams, P.G. & Potts, W.T.W. 1978. The effects of pH and calcium concentrations on gill potentials in the brown trout, *Salmo trutta*. - J. comp. Physiol. 126: 277-286.
- McWilliams, P.G., Brown, D.J.A., Howells, G.D. & Potts, W.T.W. 1980. Physiology of fish in acid waters. - I Drabløs, D. & Tollan, A., red. Ecol. Imp. Acid Precip., SNSF-project, Oslo. s. 282-283.
- Muniz, I.P. & Leivestad, H. 1980. Toxic effects of aluminium on the brown trout (*Salmo trutta* L.). - I Drabløs, D. & Tollan, A., red. Ecol. Imp. Acid Precip., SNSF-project, Oslo. s. 320-321.
- Muniz, I.P. & Walløe, L. 1990. The influence of water and catchment characteristics on the survival of fish populations. - I Mason, B.J., red. The surface waters acidification programme, Cambridge Univ. Press. s. 327-342.
- Nordland, J. 1981. 10-års verna vassdrag i Vest-Norge. - DVF-

- Fiskerikonsulentene i Vest-Norge. 42 s.
- Rosseland, B.O., Sevaldrud, I.H., Svalastog, D. & Muniz, I.P. 1980. Effects of acidification on reproduction, population structure, growth and food selection. - I Drabløs, D. & Tollan, A., red. Ecol. Imp. Acid Precip., SNSF-prosjekt, Oslo. s. 336-337.
- Sadler, K. & Lynam, S. 1988. The influence of calcium on aluminium-induced changes in the growth rate and mortality of brown trout, *Salmo trutta* L. - J. Fish Biol. 33: 171-179.
- Schofield, C.L. & Trojnar, J.R. 1980. Aluminium toxicity to brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in acidified waters. - I T.Y. Torribara, T.Y., Miller, M.W & Morrow, P.E., red. Polluted Rain. New York: Plenum Press. s. 341-366.
- Sevaldrud, I.H. & Muniz, I.P. 1980. Sure vatn og innlandsfisket i Norge. Resultater fra intervjuundersøkelsene 1974-1979. - SNSF-prosjektet, IR 77/80. 92 s.
- Sevaldrud, I.H. & Skogheim, O.K. 1986. Changes in fish populations in southernmost Norway during the last decade. - Water, Air and Soil Pollut. 30: 381-386.
- Skogheim, O.K. & Rosseland, B.O. 1984. A comparative study on salmonid fish species in acid aluminium-rich water. I. Mortality of eggs and alevins. - Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 61: 177-185.
- Statens forurensningstilsyn (SFT). 1984. Vikedalsvassdraget, nedbør-, vannkjemiske og biologiske undersøkelser i 1981-1983. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 123/84. 160 s.
- Statens forurensningstilsyn (SFT). 1986. Gaularvassdraget. Nedbør-, vannkjemiske- og biologiske undersøkelser i 1984. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 248/86. 143 s.
- Statens forurensningstilsyn (SFT). 1987. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1986. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 296/87. 200 s.
- Statens forurensningstilsyn (SFT). 1988. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1987. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 333/88. 242 s.
- Statens forurensningstilsyn (SFT). 1989. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1988. - Statlig program for forurensningsovervåking, Rapp. 375/89. 274 s.
- Turnpenny, A.W.H., Sadler, R.J., Aston, R.J., Milner, A.G.P. & Lynam, S. 1987. The fish populations of some streams in Wales and northern England in relation to acidity and associated factors. - J. Fish Biol. 31: 415-434.
- Turnpenny, A.W.H., Dempsey, C.H., Davis, M.H. & Fleming, J.M. 1988. Factors limiting fish populations in the Lock Fleet system, and acidic drainage system in south-west Scotland. - J. Fish Biol. 32: 101-118.
- Wood, C.M. & McDonald, D.G. 1987. The physiology of acid/aluminium stress in trout. - Ann. Soc. Roy. Zool. Belgium 117: 399-410.
- Wright, R. & Snekvik, E. 1978. Chemistry and fish populations in 700 lakes in southernmost Norway. - Teknisk Notat (TN 37/77), SNSF-prosjekt, Oslo, Norway. 84 s.

0 25

nina
forsknings-
rapport

ISSN 0802-3093
ISBN 82-426-1091-7

Norsk institutt for
naturforskning
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel. (07) 58 05 00