

Påvirkes laksesmolt av aluminium i
brakkvann? Storelva i Holt,
Aust-Agder, 2010



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Påvirktes laksesmolt av aluminium i brakkvann? Storelva i Holt, Aust-Agder, 2010.	Løpenr. (for bestilling) 6149-2011	Dato Nov 2011
	Prosjektnr. Undernr. O-29446	Sider Pris 29+vedlegg
Forfatter(e) F. Kroglund, T. Haraldstad H.C. Teien (UMB) J. Guttrup, Å.Johansen (Tvedestrand kommune)	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Fri
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA
Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning (DN)		Oppdragsreferanse 05040029-6

Sammendrag

Tidligere forsøk har påvist svekket vandringsvillighet når smolten utsettes for akkumulert aluminium i brakkvann. Denne belastningen vil være tetthetsuavhengig, men vil være knyttet til tilførsel av aluminium samt hvor i fjordsystemet aluminium foreligger på en form som er akkumulert. Belastningen synes å øke når saltnivået i fjorden passerer ca 1 promille, for så å avta når saltnivået overstiger 10 promille. Smolt eksponert i brakkvann i 2010 akkumulerte aluminium på gjellene i større omfang enn påvist tidligere år (2003-2009). Det er derfor rimelig å anta at antall smolt som nådde fram til kyststrømmen var lavt i 2010. Inntil det igangsettes tiltak mot Al i brakkvann vil ikke gytebestandsmålet for Storelva i Holt kunne oppnås.

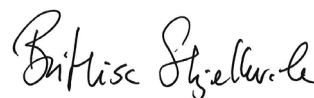
Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Laks	1. Atlantic salmon
2. Aluminium	2. Aluminum
3. Brakkvann	3. Estuary
4. Vannkvalitet	4. Water quality



Frode Kroglund
Prosjektleder



Øyvind Kaste
Forskningsleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

ISBN 978-82-577-5884-4

Påvirkes laksesmolt av aluminium i brakkvann?

Storelva i Holt, Aust-Agder, 2010.

Forord

Aluminium i brakkvann kan være årsaken til redusert laksefangst i enkelte elver. Siden 2005 har Direktoratet for naturforvaltning støttet forskning som belyser hvilken betydning aluminium i brakkvann kan ha på smoltens utvandringssatferd og overlevelse fra smolt til voksen laks. Fra prosjektets start til nå er innholdet i de årlige undersøkelsene endret. Mens fokus i starten var på å beskrive de kjemiske forandringene aluminium gjennomgår i kontakt med saltvann har fokus etter hvert blitt dreid mot tiltak. Bruk av natriumsilikat kan binde aluminium på en mer inert (ikke-reaktiv) form og dermed redusere belastningen på utvandrende smolt, mens transport av smolt forbi problemområdene i fjorden kunne ha samme økologiske effekt.

Vår kontaktperson i DN har vært Roy Langåker og Roar A. Lund mens Dag Matzow har vært kontaktpersonen hos Fylkesmannen i Aust-Agder. Vi takker for samarbeidet og den støtte vi har fått.

Grimstad, 15. november 2011

Frode Kroglund

Innhold

	1
Storelva i Holt, Aust-Agder, 2010.	3
Innhold	5
Sammendrag	7
Summary	9
1. Innledning	10
2. Lokalteter og metoder	11
2.1 Lokalteter	11
2.2 Fysio-kjemiske bakgrunnsdata; ferskvann	13
2.2.1 Vannføring	13
2.2.2 Vannkjemi	13
2.3 Fysio-kjemiske bakgrunnsdata; saltvann	13
2.3.1 Dybdegradienter samt kontinuerlig logging av salt- og temperatur i fjorden	14
2.4 Analysemetoder fisk	15
2.4.1 Smolt	15
3. Resultater fysiske kjemiske forhold	16
3.1 Vannkvalitet i Storelva	16
3.1.1 Vannføring (id: 18.4.0 NVE Lundevann)	16
3.1.2 Temperatur (Nes verk og Hauglandsdammen)	18
3.1.3 pH (Nes verk og Hauglandsdammen)	20
3.1.4 Vannkjemi i elva - hovedioner	21
3.1.5 Gjellemetall i elv	21
3.1.6 Blodfysiologi	22
3.2 Smoltutvandring	23
3.3 Vannkvalitet i fjorden	24
3.3.1 CTD målinger	24
3.4 Gjellemetall og blodfysiologi i brakkvann/fjord	26
3.4.1 Gjellemetall	26
3.4.2 Blodfysiologi	28

4. Diskusjon	29
5. Referanser	30
Vedlegg A. Rapporter fra prosjektet	31
Vedlegg B. Daglig fangst av laks og ørretsmolt	32
Vedlegg C. Aktivitetsliste	33

Sammenheng

Storelva i Aust-Agder har vært kalket siden 1996. Mens det vannkjemiske målet er oppnådd, er utviklingen i fangst av laks langt dårligere enn forventet. Gytebestandsmålet for elva er beregnet til 564 kg hunnlaks (424 – 848 kg). Prosentoppnåelse av gytebestandsmålet har vært i størrelsesorden 10 til 30 % på 2000-tallet. Mens det forventes en årlig laksefangst i størrelsesorden 1 tonn, er laksefangstene i elva i dag generelt <100 kg/år. Utviklingen i fangst av laks i Storelva etter kalking avviker således fra det som ellers er tilfellet i kalka Sørlandselver. Denne tilstanden kan ikke forklares ut fra vannkjemisk målt i elva. Det er ingen grunn til å forvente at laks fra Storelva skal ha en lavere sjøoverlevelse enn laks i naboelver, såfremt ikke smolt fra Storelva utsettes for én eller flere lokale trusler. Den lokale trusselen vi har fokusert på siden 2003 er aluminium (Al) i brakkvann. Fra oppdrett er det kjent at Al i brakkvann kan drepe laks som holdes i mærd. Hypotesen har vært at smolt under utvandring og voksen laks under tilbakevandring vil kunne påvirkes av Al i brakkvann. Hvis Al i brakkvann påvirker smoltutvandring, vil andelen smolt som når havet bli redusert med dertil redusert innsig av voksen laks etter sjøoppholdet.

Vannkvaliteten i selve Storelva var tilfredsstillende i 2010 som i tidligere år. Prøver tatt av metallakkumulering på fiskegjeller samt blodkjemisk antyder ikke noen negativ påvirkning fra vannkjemisk. Gjelle-Al verdiene var i hovedsak < 10 µg Al/g gjelle tv. Det konkluderes derfor med at dagens kalkingsstrategi er tilfredsstillende for smolt innenfor vassdraget.

- *Vannkvalitet i elva er ikke årsak til svekket smoltproduksjon eller kvalitet*

Vannføringen i 2010 var høy i april for å avta til lave nivåer i siste halvdel av mai. Utviklingen i 2010 var delvis lik den i 2008 og 2009, men svært ulik vannføringene i 2005 og 2007 (tørr vår) eller 2003 og 2006 (våt vår). Utviklingen i vanntemperatur våren 2010 var relativt lik utviklingen i 2008 og 2009. Begge årene var betydelig varmere enn 2006. År til år variasjon i vannføring og vanntemperatur samt variasjoner i det marine miljøet (været) har betydning for hvor i fjordsystemet Al kan/vil foreligge på en akkumulert form. Fra forsøk har vi vist at Al i økende grad mobiliseres på en akkumulert form når saltnivået overstiger 1 promille. Basert på konduktivitetmålinger økte saltnivået i overflatevannet (0-1 m dyp) i Songevatn til verdier >1 promille i dagene omkring 20. mai eller samtidig som i 2009. Denne grenseverdien ble passert ca 1 uke tidligere ved Doknes (ytterst i Nævestadfjorden).

Som i tidligere år ble det i 2010 påvist en klar mobilisering av gjellereaktivt Al med økende saltnivå. I brakkvann akkumulerte fisken betydelige mengder Al på gjellene, og verdier i området 200 til 300 µg Al/g gjelle tv (tørrvekt) var vanlige når saltnivået var på 1 til 4 promille. Dette innebærer at all fisk som oppholdt seg i overgangen mellom Songevatn og Nævestadfjorden fra omkring 18. mai opplevde vannkvaliteter med Al på akkumulert form. Nederst i Nævestadfjorden var betingelsene til stede 1-2 uker tidligere. Basert på eldre forsøk er det konkludert med at akkumulering av Al på fiskegjellene (gjelle-Al) er størst når saltinnholdet i fjordvannet passerer 1 promille, avtar når saltnivået overstiger 6 promille og elimineres ved nivåer over 15 promille. Mekanismer og transformasjoner av Al i brakkvann omtales i egen rapport (Teien m.fl., 2009). Det synes ikke å være endringer i reaktivitet til Al knyttet til vannets alder fra Songevatn til Nævestadfjorden utløp. Dette avviker fra det som tidligere er erfart fra ferskvann hvor reaktivitet til Al avtar over tid. Etersom Al ikke avgiftes med økende alder i brakkvann vil Al-tilførsel, -fortynning og vanntemperatur være de viktigste årsakene til variasjon i akkumulert Al.

Endringene i saltnivåer i 2010 var nokså like situasjonen i 2009 og 2008. Dette året var undersøkelsene supplert med telemetristudier (F.Økland, NINA). Når saltnivået ut av Lagstrømmen

var < 1 promille kom ca 50 % av smolten fram til det ytre fjordområdet ved Risør. Omkring 13. mai økte saltnivået oppstrøms Lagstrømmen, og fisk som ankom dette området etter denne datoen ville i økende grad eksponeres for akkumulert Al. Andel smolt som da nådde Risør sank til 20 %. Hovedutvandringen fra Storelva var etter 18. mai i 2010. Det forventes derfor at andelen smolt som nådde kyststrømmen var lav.

- *Det var betydelige konsentrasjoner av gjellereaktivt Al i fjorden i 2010*
- *Reaktiviteten til Al i brakkevann avtar ikke med økende vannalder, men med endringer i saltnivå*
- *Konsentrasjonene av Al i fjorden forventes å ha påvirket smoltutvandringen i 2010*

Summary

Title: Are salmon smolt affected by aluminum in estuaries? Results from River Storelva 2010.

Year: 2011

Author: Kroglund, F, Güttrup, J., Johansen, Å., Teien, H.-C. and Haraldstad, T.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5884-4.

Aluminum (Al) in estuaries affects smolt movements. The hypothesis is that gill reactive labile Al accumulates onto the fish gill affecting body functions. When gill-Al exceeds 50 µg Al/g gill dry weight, smolt stop on their sea-ward migration and stay within the estuarine environment. This occurs when salinity increases past 1 psu, to be reduced and eliminated when salinity increases past 10 and approaches 15 psu. These limits are probably related to riverine Al transport in the individual watershed and estuarine mixing conditions. We here present data on water chemistry, gill-Al and fish physiology in 2010.

1. Innledning

Fangst av laks og sjøørret i Storelva i Holt er dårligere enn det som forventes ut fra produksjonsarealene og vannkjemi i elva. Vassdraget er kalket fra 1996. Fylkesmannen i Aust-Agder uttrykte bekymring for utviklingen i fangst etter kalkingen i 2003. I løpet av de 7 årene fra kalkingen startet burde fangstene av laks ha økt. Fraværet av en økning er avvikende i forhold til utviklingen i fangst i andre kalka elver i regionen. Dette resulterte i et pilotarbeid hvor konklusjonen ble at vannkvalitet i elva var tilfredsstillende, men at man ikke kunne utelukke at aluminium (Al) i brakkvann skadet smolten under utvandring, alternativt hemmet preging og tilbakevandring av laks (Kroglund mfl, 2008).

Observasjoner av svimete smolt i brakkvannsområdene utenfor Storelva i 2005 medførte at man i 2007 igangsatte radiotelemetriundersøkelser. I disse ble vill laksesmolt fra elva innfanga, merka og satt ut i elva for å studere vandringsatferd. I 2007 nådde 18 % av smolten frem til åpent hav. Året etter nådde 46 % av smolten merket sent i april frem til havet, mens kun 23 % av smolten merket i mai nådde frem. Høyest utvandringsfrekvens ble målt i en periode vannføringen i elva var høy og vannet i brakkvannsinnsjøene Songevatn og Nævestadfjorden hadde et saltinnhold på mindre enn 1 promille. Når vannføringen avtar, vil saltvann fra kystområdene i Sandnesfjorden trenge inn Lagstrømmen og bidra til å heve saltnivået i de indre fjordbassengene. Når saltnivået passerer 1 promille, endrer Al tilstandsform fra å være biologisk inaktivt til å bli reaktivt. Dette påvises som økt akkumulering av Al på fiskens gjeller. Hypotesen er at dette hemmer utvandring. Ut fra vandringsdata på smolt i 2007 og 2008 konkluderes det med at smoltutvandring hemmes av Al i brakkvann, hvor hemming synes å inntreffe i saltintervallet 1 til 10 promille (ppt). Avvikende vandringsferd var mest typisk i de områdene betingelsene for Al-mobilisering var tilstede. Det er utviklet en egen vandringsmodell for smoltbevegelser i fjorden som tar hensyn til de fysiokjemiske faktorene (Diserud m.fl., 2010). Sammenhenger mellom endringer i salinitet og mobilisering av Al og akkumulering av Al på fiskens gjeller er etter hvert godt kjent (Teien mfl., 2010). Her rapporteres vannkjemiske data innsamlet i Storelva i 2010 samt data på endringer i salinitet og gjelle-Al i fjordvannet.

2. Lokalteter og metoder

2.1 Lokalteter

Undersøkellesområdet i 2010 spenner fra områdene like oppstrøms Fosstveit kraftverk til kystvannet ved Risør (**Error! Reference source not found.**). Fra Fosstveit kraftverk til Butjønna er det 4,2 km (**Tabell 1**). Herifra til Lundevanns innløp er det 1 km, mens det er 3 km til utløpet av elva.

I brakkvannsbassengene Songevatn og Nævestadfjorden vil saltnivået variere med vannføringen i elva og innstrømming av saltvann gjennom Lagstrømmen. Saltnivået i Lagstrømmen vil variere med vannretning som igjen bestemmes av vannføringen i elva, av flo/fjære og strømningsforhold i havet utenfor. Lagstrømmen er 1,3 km lang. Fra utløpet av Lagstrømmen til fjordmunningen er det normalt økende saltnivå, fra lave nivåer i Nævestadfjorden til høye nivåer ytterst mot kystvannet. Det er sjeldent påvist <20 ppt fra Hopestranda i Sandnesfjorden og utover. Det er ca. 22 km fra kraftverket til fjordmunningen.

Tabell 1. Avstander mellom ulike stasjoner våren 2010. Avstandsmålinger starter i elva ved kraftverket, ved Strømmen for brakkvannsområdene og på utløpet av Lagstrømmen for saltvannsområdene.

	Lok nr	Km	Akkumulerte Avstander innenfor elv & fjord	Akkumulert total avstand
Oppstrøms til kraftverk	1	0,37		
Kraftverk til PIT minstevf	2	0,04		
PIT misntevf til PIT nedstrøms			0,23	
Kraftverket til PIT nedstrøms	4	0,19	0	0
PIT nedstrøms til Buhølen	5/6	4,0	4,2	
Buhølen til Lundevatn	7	1,0	5,2	
Buhølen til Lundevatn utløp			0,88	
Lundevatn utløp til Strømmen	9	0,14	6,2	
Sum kraftverk til Strømmen			6,2	6,2
Strømmen til Song/Næv	10	1,4	0	
Son/Næv til Lagstrømmen	11	4,0	5,4	
Lagstrømmen	11-12	1,3	6,7	
Sum mulig brakkvann			6,7	12,9
Lagstrømmen til Håholmen	13	2,7	0	
Håholmen til Saltbuholmen ytr			3,9	
Saltbuh. Til Trollbergvika	14	1,7	8,3	
Trollbergvika til kyststrømmen	15	>1	>9,3	
Sum sannsynlig saltvann			>9,3	>22,2

2.2 Fysio-kjemiske bakgrunnsdata; ferskvann

2.2.1 Vannføring

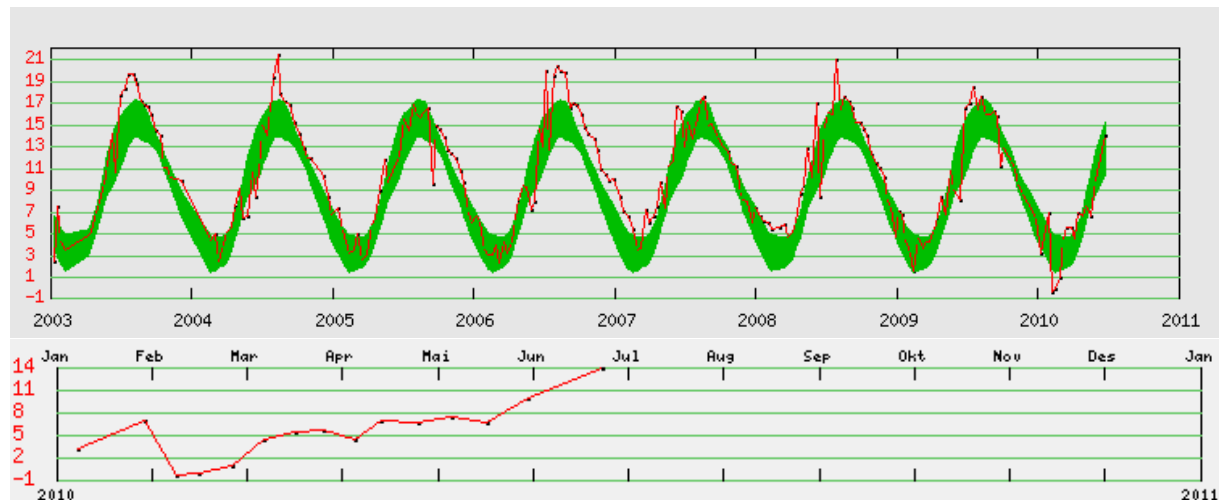
Det er to vannføringsstasjoner i vassdraget. Mens NVE (stasjon 18.4.0) måler vannføring i Lundevatn, måles også vannføring ved kalkdosereren ved Hauglandsfossen. Sistnevnte stasjon er brukt i tidligere rapporter hvor det er argumentert med at vannføring ved denne multiplisert med 2 vil gi vannføringen ut av Lundevatn. Vi har nå ett år med data som viser at dette ikke stemmer, og at det mest sannsynlig er vannføringskurven ved Hauglandsfossen som er feil. Det er igangsatt recalibrering av denne (R.Høgberget).

2.2.2 Vannkjemi

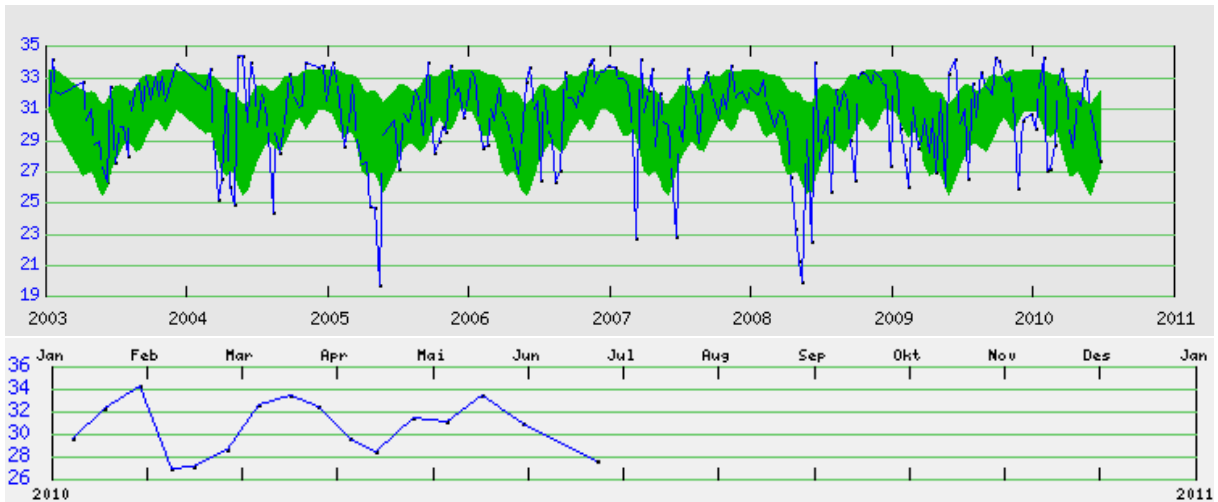
Det benyttes her data fra alle overvåkingsprogrammer i Storelva; Effektkontrollen (flere parameter), dosererkontrollen (få parameter) og driftskontrollen (kontinuerlig overvåking). Disse målingene er utført i henhold til de målemetoder som til enhver tid brukes i DN's overvåkingsprogram (se DN's rapporter på kalking, www.dirmat.no). Dataene suppleres med egne målinger hvor det særlig legges vekt på fraksjonering av aluminium (Al). Al fraksjoneres i felt, etter ferskvanns- og saltvannsprotokoller, avhengig av saltnivå. De kjemiske analysene er i henhold til standard protokoller ved UMB.

2.3 Fysio-kjemiske bakgrunnsdata; saltvann

Selv ved Lista (N 58°05' E 6°32') er det i perioder stor variasjon i saltholdighet og temperatur på 1 m dyp (**Figur 2, Figur 3**). Selv om denne stasjonen er langt fra Risør, viser variasjonene i saltnivåer her at saltnivået i kyststrømmen langs Skagerak varierer kraftig gjennom året. Denne variasjonen sammen med variasjon i vannføring i elva vil medføre at det ikke kan forventes en 1:1 sammenheng mellom saltnivåer i fjorden og Al-konsentrasjon. Når lav salinitet skyldes ferskvann fra Storelva tilføres brakkvannet Al. Når kyststrømmen har lav salinitet, forventes det ikke at den samtidig transporterer Al. Dette skyldes at vannkildene som gir lavt saltnivå i kyststrømmen ikke er forurensningspåvirket som Storelva.



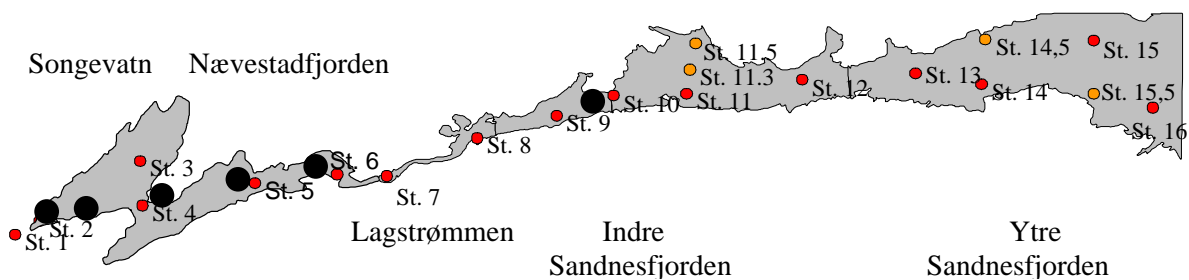
Figur 2. Øverst: Målinger av temperatur på 1 m dyp ved Lista fra 2003. Nederst: Data fra 2010. Hentet fra: <http://data.nodc.no/stasjoner/index.php>.



Figur 3. Øverst: Målinger av salinitet på 1 m dyp ved Lista fra 2003. Nederst: Data fra 2010. Hentet fra: <http://data.nodc.no/stasjoner/index.php>.

2.3.1 Dybdegradienter samt kontinuerlig logging av salt- og temperatur i fjorden

Saltprofiler ble målt ved bruk av en STD/CTD Sound Vel. Probe SD204 levert fra SAIV, Bergen. Dette er en multifunksjonslogger som registrerer tid, vannndybde over måleren (som trykk), temperatur, saltholdighet og turbiditet, samt fluoresens som et mål på klorofyll i planteplankton. I rapporteringen for 2009 er det lagt vekt på dybde (0-4 m) og på å generere horisontale profiler (geografisk variasjon) og vertikale profiler (variasjon med dyp og tid på én stasjon). Saltmålinger ble utført 24. april, 4., 9., 18., og 24. mai, samt 3. juni. Måleinstrumentet ble da senket fra båt på de ulike målepunktene (**Figur 4, Tabell 2**). Normalt ble det målt fra overflata og ned til bunnen. Software som følger instrumentet er benyttet til å integrere verdier for salt og temperatur på ulike dyp. STD/CTD ble plassert på bunnen av Songevatn nær smoltfella når den ikke var i bruk til innsjøprofiler. Dette gir data på endringer i salt på ett dyp samt variasjon i vannstand.



Figur 4. Målestasjoner for dybdeprofiler med CTD (faste stasjoner gitt som røde prikker. Stasjoner prøvetatt av og til er vist med oransje punkter). Fisk er eksponert ved de sorte punktene.

2.4 Analysemetoder fisk

2.4.1 Smolt

Vi har hovedsakelig arbeidet med smolt. En smolt gjennomgår en prosess, hvor den endrer kroppsfasong, farge, atferd og fysiologi, fra verdier som antyder en stasjonær parr til verdier som antyder en utvandringssklar smolt. Vi har fanget fisken under vandring. Ettersom dette er et viktig kriterium for det å være en smolt, er denne egenskapen gitt hovedvekt. Dette innebærer at all fisk som fanges inn og ser ut som en smolt, betraktes som å være en smolt. Dette er ikke nødvendigvis riktig. Vi benyttet derfor også et størrelseskriterium. Fisk <12 cm kan, men trenger ikke være smolt. Fisk >12 cm oppfattes som sikker smolt. Nedenfor er det vist bilder av "typisk" smolt fra Storelva (**Error! Reference source not found.**). På den ene fisken sees skader vi antar er bittskader fra laksand. Et lite antall smolt hadde slike skader.

Mens de fleste av fiskene fanget så ut som smolt, var det tydelige endringer i smoltdrakt (økende smoltifisering) i løpet av forsøksperioden. Smolten fanget i Strømmen var mer smoltifisert enn den som ble fanget ved Fosstveit. Forskjellen var tydeligst i grad av sølvfarging. Løse skjell ble kun registrert de siste dagene (overgang mai/juni) og da i Strømmen. Ettersom begge fellene fanget nedvandrende fisk, betraktes fisken som smoltifisert begge fangststeder.

Blodprøvene ble analysert med bruk av I-stat. Dette er en blodanalysator benyttet i alle fiskeførsøk på 2000-tallet. Gjellemetaller ble analysert etter standard metode ved UMB og i henhold til prosedyrer lik de benyttet siden 1995.

Smolthjulet i Strømmen var plassert på samme lokalitet som benyttet årlig siden 2006.

Tabell 2. Plassering av dybdeprofil (CTD) stasjoner og stasjoner for kontinuerlig logging av salt og temperatur (WTW) stasjoner i 2009.

Nr	Sted	NS	ØV	CTD	WTW
1	Strømmen	58.40.214	008.58.945	X	x
2	Ekstra	58.40.331	008.59.618	X	
3	Songevatn nord	58.40.768	009.00.205	X	
4	Overgang Song/Næv	58.40.438	009.00.306	X	X
5	Holmen i Nævestadfjorden	58.40.646	009.01.825	X	
6	Doknes	58.40.762	009.02.740	X	X
7	Strandane	58.40.737	009.03.466	X	
8	Pålene	58.41.999	009.04.435	X	X
9	1. basseng Sandnesfjorden	58.41.160	009.05.025	X	
10	Bunkers	58.41.365	009.05.844	X	X
9	2. basseng Sandnesfjorden	58.41.417	009.06.505	X	
11,0-11,5	Hopestranda	58.41.653	009.07.447	X	
12	Midtfjord	58.41.784	009.08.127	X	
13	Sandnes Camping	58.41.662	009.09.761	X	
14	Saltbuholmen	58.41.774	009.11.070	X	
15	Store Furøy sørlig gap	58.42.145	009.12.772	X	
15	Store Furøy nordlig gap	58.42.175	009.12.230	X	
16	Slippsted smolt	58.41.545	009.14.104	x	

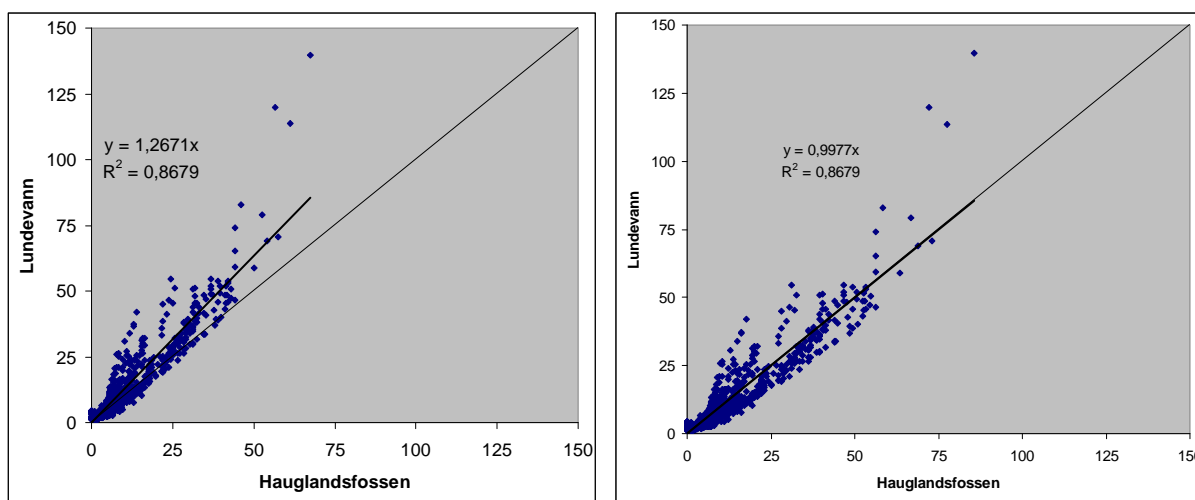
3. Resultater fysiske kjemiske forhold

3.1 Vannkvalitet i Storelva

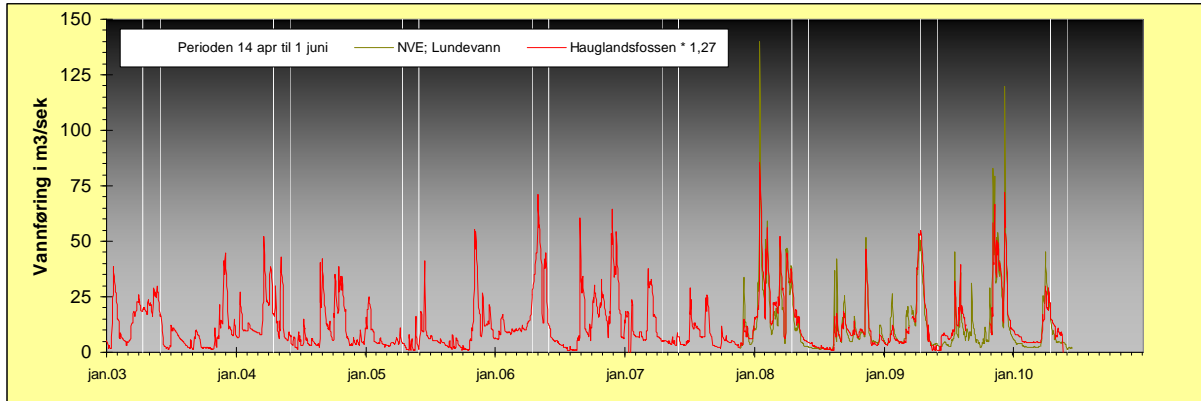
3.1.1 Vannføring (id: 18.4.0 NVE Lundevann)

For å få et estimat på vannføring ut av Storelva ble det opprinnelig anbefalt å gange vannføringen ut av Hauglandsfossen med 2, ettersom dette målepunktet er plassert ca. midtveis i vassdraget. Høsten 2007 ble det etablert en ny vannføringsstasjon i Storelva (Lundevatn id: 18.4.0). Sammenlignes vannføringen målt der med den målt ved Hauglandsfossen, tyder sammenhengen på at vannføring ved Hauglandsfossen overestimeres dersom gangefaktor 2 benyttes (konverteringstabell fra cm vannstand til vannføring er m.a.o. feil). Settes Hauglandsfossen lik Lundevatn kan 87 % av variasjonen forklares uten å korrigere, samtidig som at vannføringen da underestimeres noe. En korreksjonsfaktor for eldre data på 1,27 ser ut til å gi et godt estimat for vannføringen ut av Storelva (**Figur 5ab**). Når det foreligger ny formel for konvertering fra cm vannstand til m³ ved Hauglandsfossen, bør alle eldre data re-kalkuleres.

Vannføring ut av Storelva basert på Hauglandsfossen * 1,27 for perioden 2003 til 2010, samt målt i Lundevatn fra 2007 til 2010 er vist i **Figur 6**. Dag til dag variasjon er tilfredsstillende lik, men i perioder er vannføringen betydelig høyere nederst i vassdraget enn det som beregnes lengre oppe. Dette kan være riktig og skyldes lokale variasjoner i nedbør. Likeledes vil vannføringen ved Hauglandsfossen være mer dempet pga. innsjøen Vegår enn det som er tilfellet i elvemunningen.

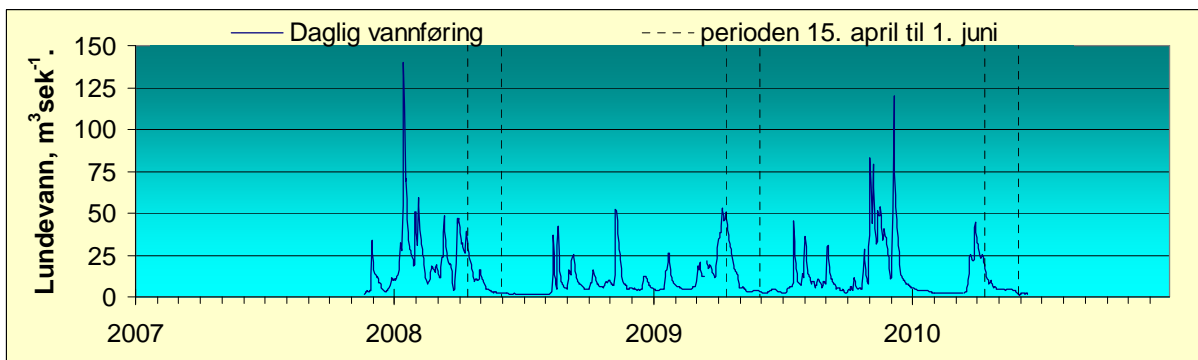


Figur 5. Vannføring målt ved Hauglandsfossen og ved NVEs stasjon 18.4.0. I figuren til venstre (a) er ukorrigert data fra Hauglandsfossen vist. I figuren til høyre (b) er vannføringen økt med en faktor på 1,27.



Figur 6. Vannføring ut av Storelva. Data fra Hauglandsfossen er multiplisert med 1,27, hvor korreksjonsfaktoren er basert på daglige data fra nov. 2007 til juni 2010. Fra nov 2007 til juni 2010 er data fra NVE-stasjon 18.4.0 Lundevatn inkludert i plottet.

Vannføringa målt ved Lundevatn om vinteren og tidlig på våren i 2010 var lavere enn i de to årene forut (**Figur 7**). Det var en markert vårflo som startet 19-20 mars. Det var også en markert flom i elva i desember 2009. En tilsvarende flom ble målt i januar 2008. Slike forskjeller mellom år og sesong i avrenning medfører år til år variasjon i saltnivået i Songevatn, Nævestadfjorden samt i Sandnesfjorden.

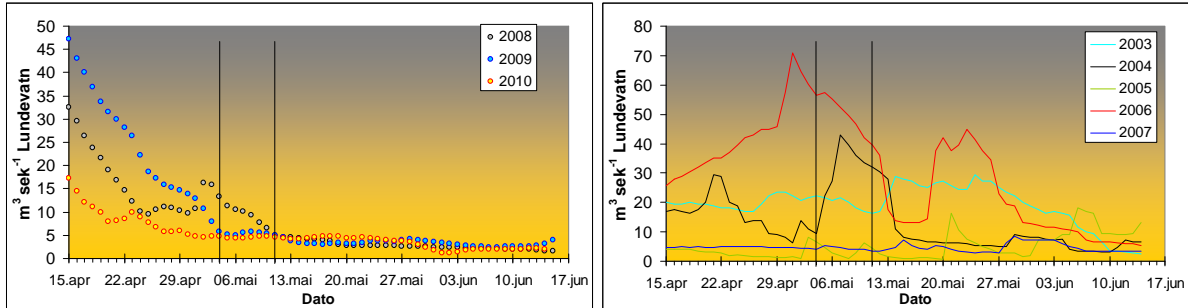


Figur 7. Vannføring oppgitt for NVEs stasjon Lundevatn for perioden november 2007 til juni 2010.

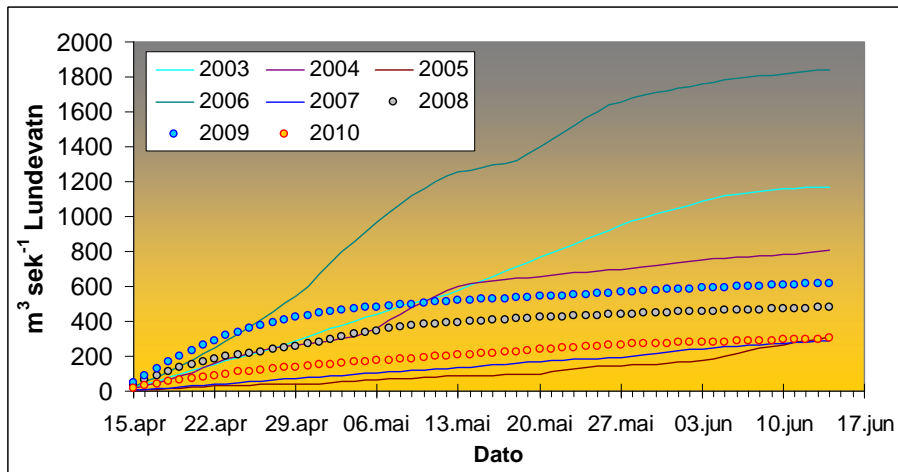
Vannføringen avtar likt i årene 2008 til 2010 (**Figur 8**). Alle tre årene har en periode med kraftig avtagende vannføring mellom 15. april og ca. 24. april. Derifra og frem til 4. mai kan forløpet variere mellom årene. Fra 4. mai var vannføringen i 2009 og 2010 lik. Fra 11. mai var den lik alle tre årene. Årene før dette var vannføringen om våren høy i 2003, 2004 og 2006 og lav i 2005 og 2007. April flommen manglet også disse siste årene. Datasettet fra 2003 til 2010 antyder således tre typer "våravrenning". Vår med mye vann (2003, 2004, 2006), vår med vårflo i april, deretter lavvannføring (2008, 2009, 2010) og vår med lite vann hele våren (2005 og 2007). Midlere avrenning er vist i **Tabell 3**. Erfaringsmessig starter smoltutvandringen i løpet av siste uke av april og varer fram til ca. 20. mai når temperaturen i elva overstiger 7°C.

Vannføring i elva har betydning for saltnivået og utvikling i denne i Songevatn og Nævestadfjorden. Det vil være brakkvann i disse områdene når det er lav vannføring i elva. Ut fra vannføring forventes det brakkvann i deler av Songevatn og Nævestadfjorden hele våren 2010. Denne år til år forskjellen i vannføring har betydning for hva slags miljø smolten opplever i Songevatn og Nævestadfjorden.

Akkumulert vannføring beregnet fra 15. april hvert år var lavest i 2005 og 2007, og høyest i 2006 (**Figur 9**). Akkumulert vannføring var også høy i 2003, men da inntraff økningen først fra midten av mai. År 2010 var således blant de ”tørre” årene.



Figur 8. a) Vannføring i perioden 15. april til 15. juni ved NVE stasjon Lundevatn i årene 2008-2010. De to vertikale strekene markerer henholdsvis fra hvilken dato vannføring var lik i 2009 og 2010, og fra hvilken dato vannføringen var lik alle tre årene. Samme datogrenser er lagt inn i figuren til høyre for å illustrere forskjellene mellom årene 2003-2007 og 2008-2010.



Figur 9. Akkumulert vannføring i perioden 15. april til 15. juni for årene 2003 til 2010.

Tabell 3. Midlere vannføring beregnet for tre 14.dagers perioder våren 2004 til våren 2010. Perioder med lav vannføring har blå bakgrunnsfarge mens perioder med mye vann har lilla farge.

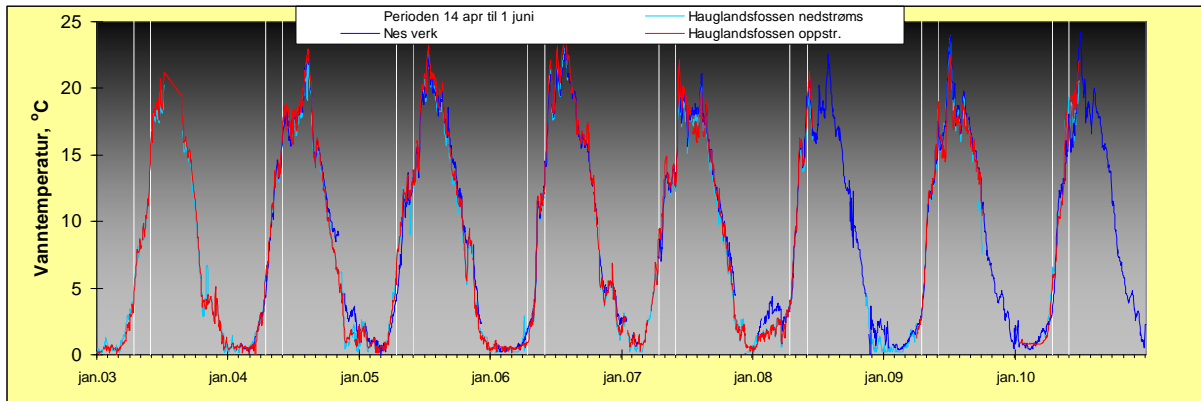
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
15 april-30 apr	19,6	16,9	2,6	37,7	4,9	16,8	27,2	9,1
1 mai - 14 mai	20,7	24,6	3,3	47,3	4,3	9,3	6,2	4,5
15 mai - 31 mai	25,2	6,7	4,0	26,9	4,9	3,0	3,5	4,0

3.1.2 Temperatur (Nes verk og Hauglandsdammen)

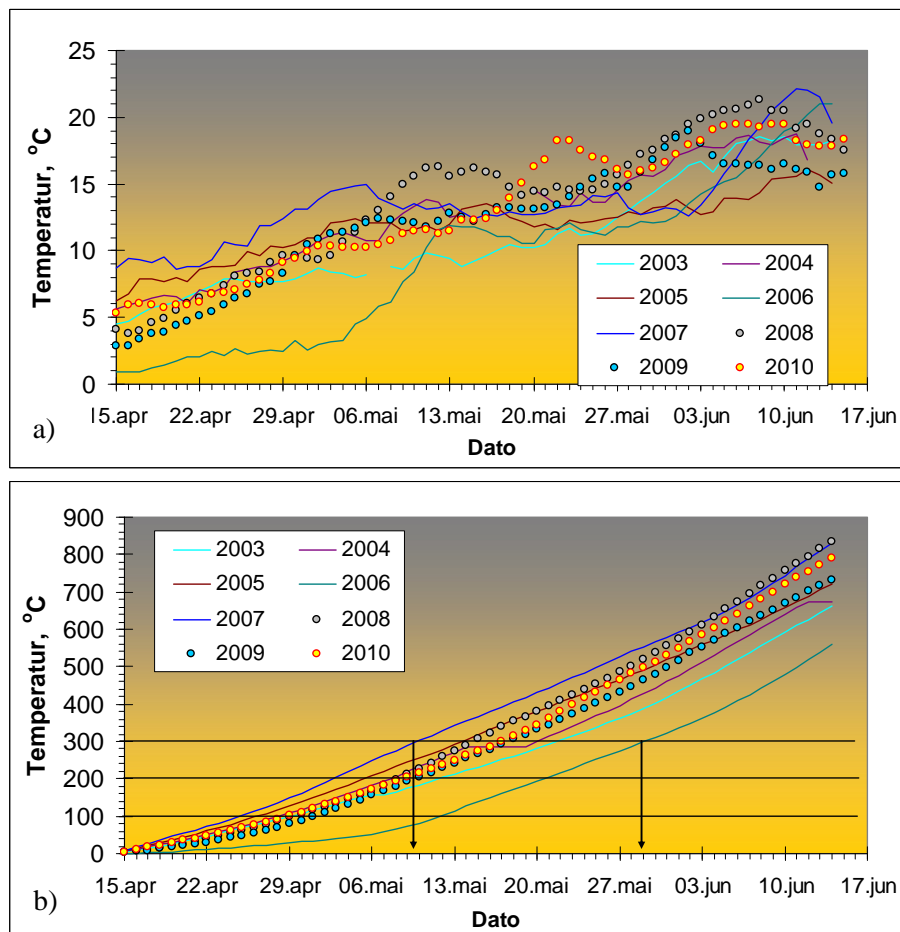
Det er ingen opplagte trender i temperaturvariasjonen gjennom året i perioden 2003 til 2010. Det er heller ikke her utført noen analyse for å undersøke dette nærmere (**Figur 10**).

Våren 2006 var betydelig kaldere enn normalt for perioden (**Figur 11ab**). Erfaringsmessig fanges det smolt ved Strømmen når temperaturen overstiger 7°C. I 2006 var temperaturen høyere enn dette først

9. mai. I 2010 ble denne temperaturen passert 27. april. Årene 2005 og 2007 var ”varmere” en normalt for perioden. Beregnes det en akkumulert temperaturøkning med start 15. april blir det tydelig hvordan 2006 var et kaldt år, mens 2007 var et ”varmt” år. Middeltemperatur for 14-dagers perioder for årene 2003 til 2010 er vist i **Tabell 4**. Denne år til år forskjellen i temperatur har betydning for hva slags miljø smolten opplever i Songevatn og Nævestadfjorden.



Figur 10. Vanntemperatur i Storelva målt ved Nes Verk og ved Hauglandsfossen i perioden 2003 til 2010.



Figur 11. Temperaturutvikling i perioden fra 15. april til 15. juni årene 2003 til 2010. I nedre panel er temperatur akkumulert fra 15. april til 15. juni. 2006 og 2007 var henholdsvis det kaldeste og varmeste året.

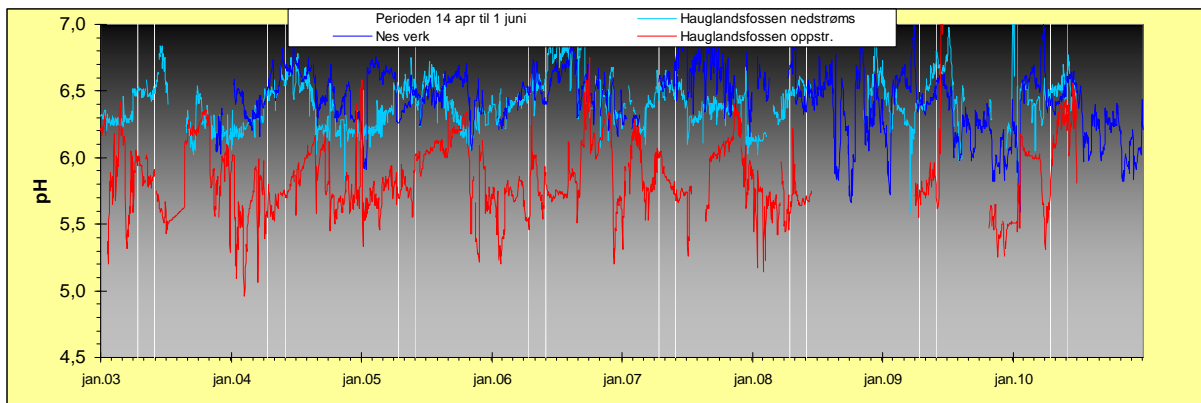
Tabell 4. Middeltemperatur målt i tre 14-fagers perioder årene 2003 til 2010.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
15 april-30 apr	6,7	7,4	8,6	2,0	10,1	6,7	5,6	6,9
1 mai - 14 mai	8,8	11,9	11,9	6,8	13,8	13,2	11,8	10,9
15 mai - 31 mai	11,5	14,5	12,6	11,5	13,2	15,5	14,4	15,8

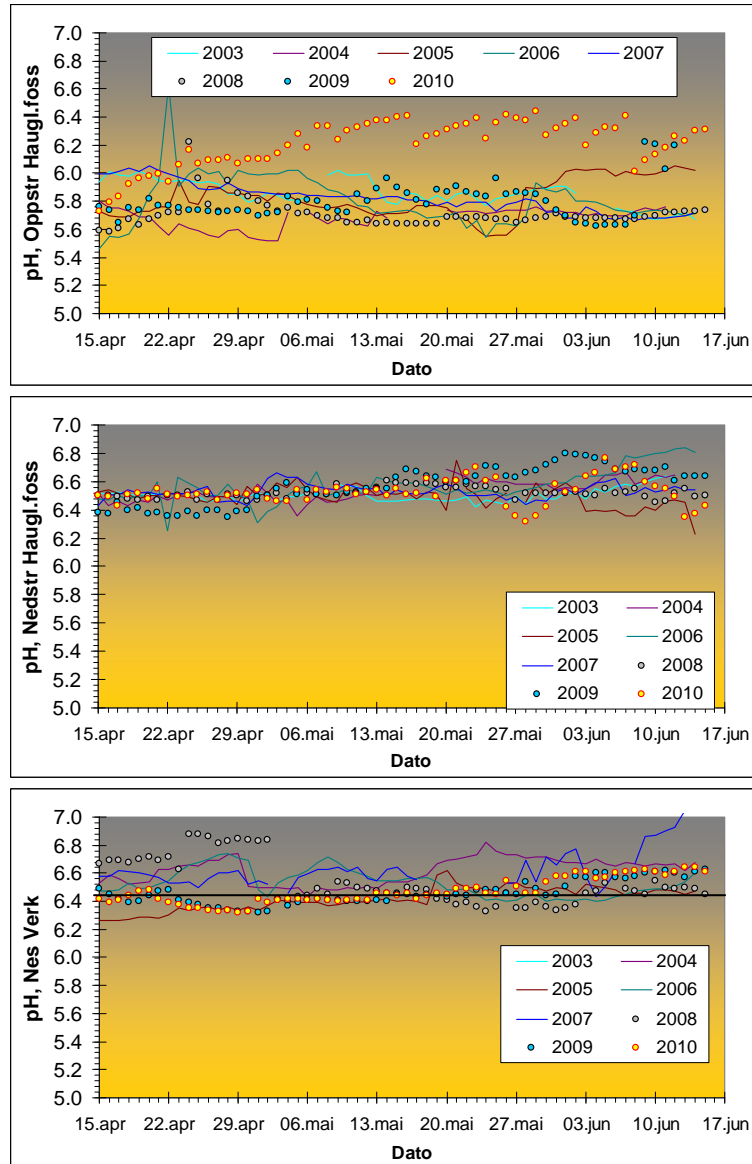
3.1.3 pH (Nes verk og Hauglandsdammen)

Den kontinuerlige pH-loggingen oppstrøms Hauglandsfossen har vist seg i perioder å kunne gi feil pH-nivå oppstrøms kalkingen, ved at sensoren kunne bli påvirket av vann fra en mindre sidebekk. Data herifra er likevel vist for perioden 2003 til 2010 som en illustrasjon på endringer oppnådd ved å endre sensorplassering.

pH målt ved Nes Verk var ca. 0,1 pH-enhet lavere enn nedstrøms Hauglandsfossen i 2010 (**Figur 12**). De tre siste årene har pH også vært ca. 0,1 til 0,2 enheter lavere enn årene forut (**Tabell 5**). Basert på middel-pH er pH-målet for tiltaket likevel nådd. Basert på de daglige målingene var pH ofte ned mot 6,3 (**Figur 13**). Dette er ikke en kritisk lav pH-verdi, men representerer likevel en underskridelse i forhold til pH-mål 6,4 som er anbefalt i denne type vassdrag.

**Figur 12.** Daglig variasjon i pH oppstrøms Hauglandsfossen, etter kalking (nedstrøms Hauglandsfossen) samt ved målområdet Nes verk.**Tabell 5.** Midlere pH målt ved Nes Verk, oppstrøms og nedstrøms kalkdosereren ved Hauglandsfossen i perioden 15. april til 15. juni årene 2003 til 2010.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Oppstr. H.foss								
15 april-30 apr	5,9	5,6	5,8	6,0	5,9	5,8	5,7	6,1
1 mai - 14 mai	5,9	5,7	5,7	5,8	5,8	5,7	5,8	6,3
15 mai - 31 mai	5,9	5,7	5,8	5,7	5,8	5,7	5,8	6,3
Nedstr. H.foss								
15 april-30 apr	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,4	6,5
1 mai - 14 mai	6,5	6,5	6,5	6,6	6,5	6,6	6,6	6,5
15 mai - 31 mai	6,5	6,6	6,5	6,6	6,5	6,5	6,7	6,6
Nes verk								
15 april-30 apr		6,6	6,3	6,6	6,6	6,8	6,4	6,4
1 mai - 14 mai		6,5	6,4	6,6	6,6	6,5	6,4	6,4
15 mai - 31 mai		6,7	6,5	6,5	6,6	6,4	6,5	6,5



Figur 13. Kontinuerlig pH-måling utført oppstrøms Hauglandsfossen (øverste panel), nedstrøms Hauglandsfossen (midtre panel) og ved Nes Verk (nederste panel) for årene 2003 til 2010.

3.1.4 Vannkjemi i elva - hovedioner

Kjemidata fra 2010 er rapportert via DN's effektkontroll (www.dirnat.no). Det er ingen grunn til å anta at vannkjemi i 2010 var vesentlig forskjellig fra tidligere år.

3.1.5 Gjellemetall i elv

Det ble målt gjelle-metall to til tre ganger i løpet av smoltutvandringsperioden (**Tabell 6**). Nivåene av gjelle-Al og gjelle-Cu er vurdert i henhold til kriteriene anbefalt til naturmangfoldloven (Anon. 2010).

Det ble målt en ubetydelig overskridelse av gjelle-Al kriteriet for god vannkvalitet ved Fosstveit 15. mai. Dette skyldes en forhøyd verdi hos 1 av 6 fisk prøvetatt. Høye verdier målt ved Strømmen 27. mai skyldes mest sannsynlig innslag av brakkvann på stasjonen med tilhørende metallmobilisering og

ikke gjelle-reaktivt Al i elva. Denne stasjonen må derfor vurderes ut fra brakkvannskriterier og ikke ferskvannskriterier. Verdier for andre metaller var innenfor normalområdet i en humuspåvirket elv.

Grenseverdier for klassifisering av gjelle-Al og gjelle-Cu anbefalt benyttet hos laks i ferskvann (Anon. 2010). Det er ikke laget grenseverdier for hver vanntype.

	Ingen	Liten	Moderat	Stor
Gjelle-Al	<10	<15	15-45	>45
Gjelle-Cu	<5	10	20	>20

Tabell 6. Gjellemetallnivåer målt på smolt prøvetatt fra smolthjul ved Fosstveit, Butjønna og Strømmen i mai 2010. Det er gitt snittverdier ± 1 S.D. for aluminium (Al), kobber (Cu), jern (Fe), mangan (Mn) og kalsium (Ca). Alle enheter er i $\mu\text{g} \cdot \text{met}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ tørrvekt. Hver gruppe består av 5 til 6 smolt. Det er ferskvann ved Fosstveit og Butjønna, mens Strømmen er påvirket av saltvann.

		Al	Cu	Fe	Mn	Ca
Fosstveit	12. mai 2010	9.4 \pm 4.4	3.3 \pm 0.9	411 \pm 118	98.6 \pm 58.8	46043 \pm 13000
Fosstveit	15. mai 2010	27.7 \pm 26.2	2.7 \pm 0.5	452 \pm 103	118.2 \pm 48.1	40236 \pm 8603
Fosstveit	27. mai 2010	9.4 \pm 3.9	2.9 \pm 0.5	366 \pm 125	64.4 \pm 7.9	38049 \pm 3943
Butjønna	13. mai 2010	13.2 \pm 3.9	2.1 \pm 0.4	299 \pm 45	87.9 \pm 43.6	50097 \pm 6238
Butjønna	27. mai 2010	8.3 \pm 2.3	2.1 \pm 0.2	274 \pm 63	67.1 \pm 35.4	32421 \pm 4013
Strømmen	20. mai 2010	14.7 \pm 5.4	2.8 \pm 0.6	397 \pm 128	67.8 \pm 17.9	39834 \pm 6394
Strømmen	27. mai 2010	50.2 \pm 46.6	2.2 \pm 0.3	312 \pm 94	84.4 \pm 39.2	35703 \pm 3792
Strømmen	6. juni 2010	8.3 \pm 3.9	2.3 \pm 0.4	358 \pm 146	55.7 \pm 14.2	32500 \pm 4404

3.1.6 Blodfysiologi

Blodverdiene var innenfor normalområdet for smolt (**Tabell 10**). Det var noe redusert Na^+ og Cl^- ved Butjønna 13. mai. Det var imidlertid ingen økning i glukose. Det antas at dette beskjedne avviket fra normalitet skyldes håndtering i smolthjulet med påfølgende prøvetaking og ikke vannkjemi. Smolten hadde god status og det forventes ikke ut fra disse verdiene redusert sjøoverlevelse som følge av fysiologisk kvalitet.

Tabell 7. Blodfysiologi målt på smolt prøvetatt fra smolthjul ved Fosstveit, Butjønna og Strømmen i mai 2010. Det er gitt snittverdier ± 1 S.D. for natrium (Na), kalium (K), klorid (Cl) og glukose (Glu). Alle enheter er i mM Hver gruppe består av 5 til 6 smolt. Det er ferskvann ved Fosstveit og Butjønna, mens Strømmen er påvirket av saltvann.

		Na	K	Cl	Glu
Fosstveit	12. mai 2010	133.4 \pm 7.3	4.4 \pm 0.5	128.8 \pm 3.5	9.3 \pm 3.2
Fosstveit	13. mai 2010	131.6 \pm 4.4	3.7 \pm 0.2	131.4 \pm 4.1	9 \pm 2.3
Butjønna	13. mai 2010	127.4 \pm 7.5	6 \pm 0.7	123.8 \pm 6.8	5.6 \pm 1.1
Butjønna	27. mai 2010	141.3 \pm 3.9	4 \pm 0.8	131.7 \pm 6.4	6.3 \pm 1.1
Strømmen	27. mai 2010	135 \pm 13	4.3 \pm 0.8	125 \pm 8.5	5.1 \pm 0.5

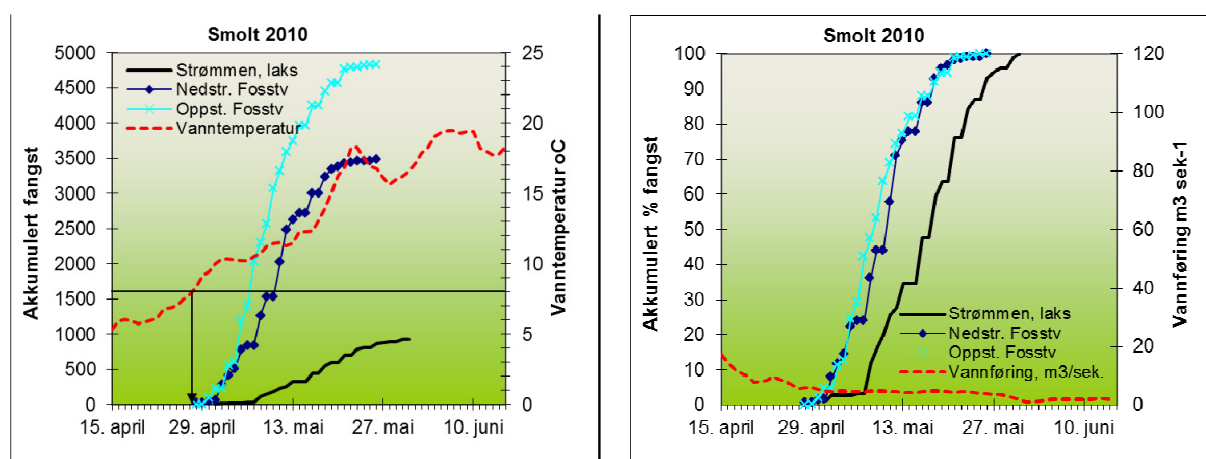
3.2 Smoltutvandring

Det utvandret færre fisk fra Storelva i 2010 enn i tidligere år ettersom vi transporterte fisk forbi gjeddeområdene i elva og satte fisken først ut i salt fjordvann. Umerket smolt som passerte ble fanget i økende antall fra 7. mai (**Figur 14**). Smolten ble fanget ca 1 uke senere ved Strømmen enn ved Fosstveit. Basert på målinger ved Strømmen hadde 25 % av smolten utvandret innen 12. mai. 50 % nivået ble nådd 17. mai og 75 % nivået ble nådd 22. mai (**Tabell 8**). Lakseutvandringen var noe tidligere enn utvandringen av ørretsmolt (**Vedlegg A**).

I forhold til midlere dato for vandring beregnet for årene 2005 til 2010, var utvandringen i 2010 ca. 1 uke senere enn normaltidspunktet. Denne forsinkelsen kan ikke kun forklares med temperatur. Denne år til år forskjellen i tidspunkt for utvandring har betydning for hva slags miljø smolten opplever i Songevatn og Nævestadfjorden.

Tabell 8. Datoer vanntemperaturen passerte 8 og 10°C årene 2005 til 2010 sammen med datoer smolthjulene ble satt ut, første smolt ble fanget, dato med maks fangst og datoer for 25, 50 og 75 % fangst. Antall dager fra 25 til 90 % fangst er beregnet. Verdiene gjelder kun laksesmolt.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Midlere dato ±1 SD
Temp>8°C	22. apr	10. mai	14. apr	25. apr	29. apr	28. apr	26.apr ± 9
Temp>10°C	28. apr	11. mai	24. apr	4. mai	1. mai	1. mai	1.mai ± 6
Fella satt ut dato	3. mai	2. mai	26. apr	15. apr	26. apr	1. mai	27.apr ± 7
1. Smolt fanga	3. mai	6. mai	26. apr	20. apr	28. apr	1. mai	29.apr ± 6
Dag maks fangst	11. mai	17+25. apr	27+30. apr	3+6. mai	14. mai	16. mai	7.mai ± 5
25 % fangst	10. mai	18. mai	27. apr	4. mai	10. mai	11. mai	8.mai ± 7
50 % fangst	11. mai	24. mai	29. apr	6. mai	13. mai	17. mai	11.mai ± 9
75 % fangst	12. mai	28. mai	3. mai	9. mai	16. mai	21. mai	14.mai ± 9
90 % fangst	13. mai	2. juni	15. mai	13. mai	22. mai	26. mai	20.mai ± 8
Ant dgr 25-90%	3	15	18	9	12	15	12 ± 5

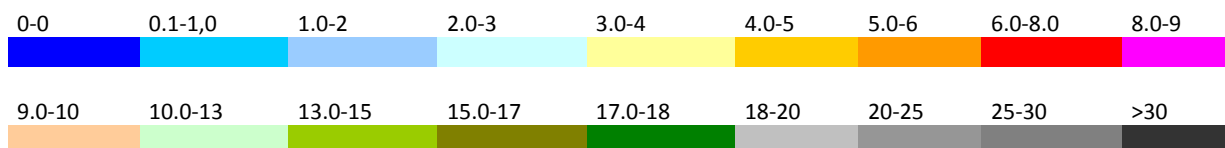


Figur 14. Venstre panel: Akkumulert smoltfangst ved Fosstveit (overfor og nedenfor kraftverket) samt ved Strømmen våren 2010. Høyre panel: Akkumulert prosent utvandring på de samme figurene. I figuren til venstre er vanntemperatur og i figuren til høyre vannføring inkludert.

3.3 Vannkvalitet i fjorden

3.3.1 CTD målinger

Det ble utført måling av saltprofiler den 6., 15., 20. og 31. mai. Den 6. juni ble salt målt manuelt på flere dyp. Endringene i saltnivå er vist nedenfor for dyp fra 0,5 til 4 m for hver av måledatoene og stasjon. Profilene er målt fra overflata til bunnen etter samme protokoll som benyttet tidligere år. Saltnivåer er i figurene angitt med målt verdi samt farge som illustrerer nivåene. Fargeskalaen er vist nedenfor.

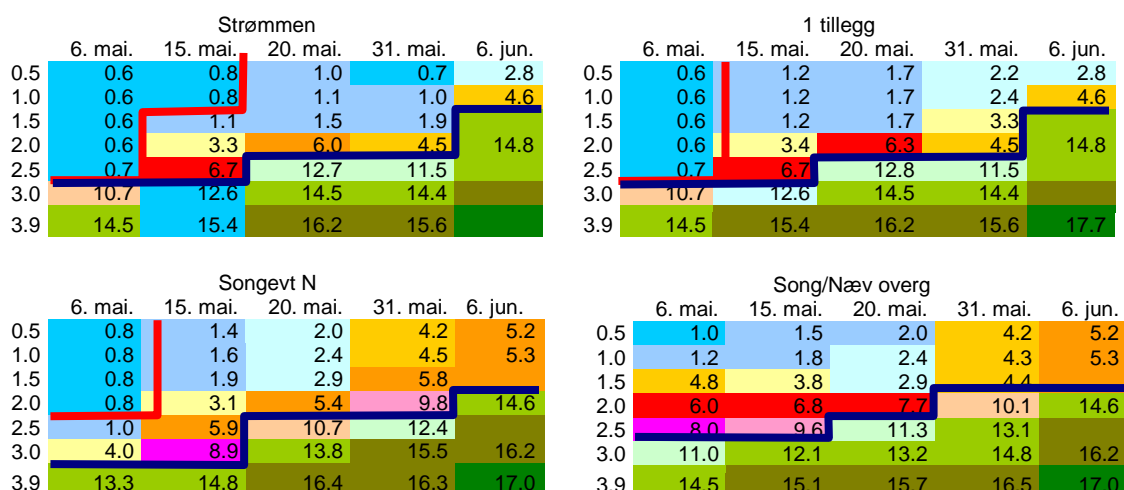


Erfaringsmessig øker akkumulering av Al på fiskens gjeller når saltnivået øker forbi 1 promille for å avta når saltnivået passerer ca. 5 promille. Akkumulering er lav til fraværende når saltnivået overstiger 10 promille. Smoltvandring synes knyttet akkumulering av Al på gjellene og vil dermed også være knyttet til endringer i salinitet.

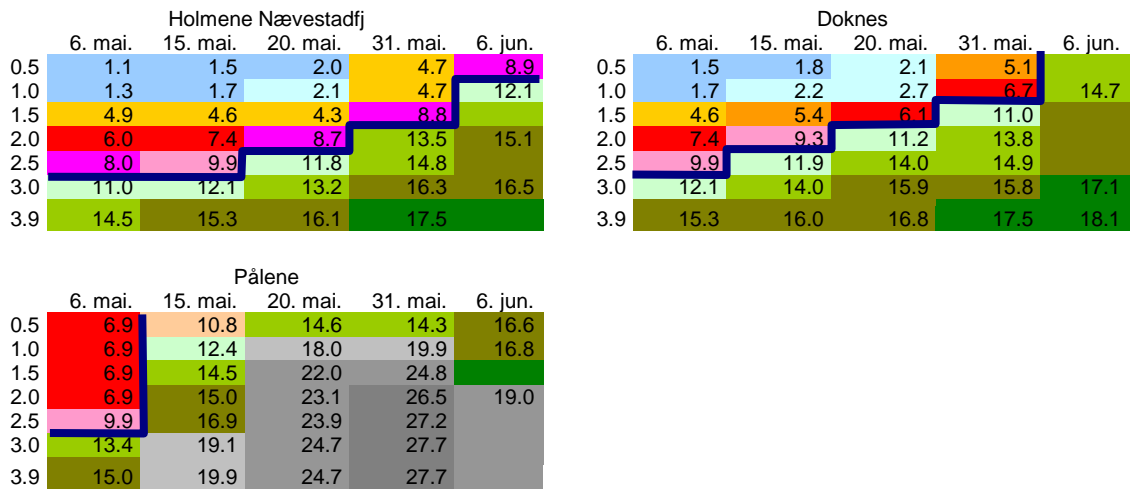
Innerst i Songevatn økte saliniteten i overflatevannet forbi 1 promille omkring 15. mai. Det var en tydelig sjiktning på 2,5 m dyp i starten av perioden. Nedenfor dette dypet var saltnivået alltid høyere enn 10 promille i mai. Dette saltnivået steg opp mot overflata utover i mai og lå på ca. 1,5 m dyp tidlig i juni. Endringene illustrerer hvordan saltvann trenger inn i dypvannet og gradvis hever saltnivået i øvre vannlag (**Figur 15**).

I Nævestadfjorden økte saliniteten i overflatevannet forbi 1 promille minst 1 uke tidligere enn i Songevatn. Målingene i juni viste at saltnivået da hadde økt til nivåer hvor akkumulering av Al på fiskens gjeller ikke forventes. På utløpet av Lagstrømmen vil saltnivået variere daglig med fjord og fjære (**Figur 16**).

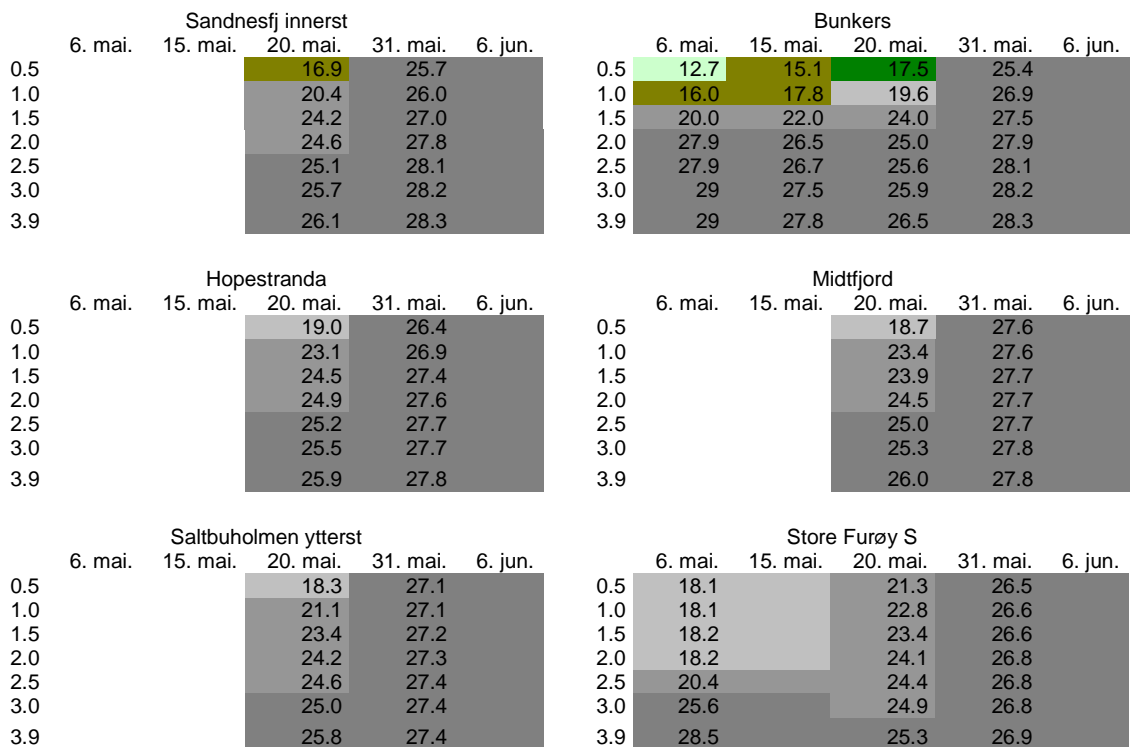
Fra Lagstrømmen og ut mot fjordgapet var saltnivået for høyt til at det forventes akkumulering av Al på fiskens gjeller (**Figur 17**).



Figur 15. Endringer i salinitet (ppt) ved Strømmen, 1. tilleggsstasjon, Songevatn nord og i overgangen mellom Songevatn og Nævestadfjorden i perioden 6. mai til 6. juni for dybdene 0,5 til 3,9 m under overfalten (y-akse).



Figur 16. Endringer i salinitet (ppt) ved Holmene i Nævestadfjorden, ved Doknes og pålene i perioden 6. mai til 6. juni for dybdene 0,5 til 3,9 m under overfalten (y-akse).



Figur 17. Endringer i salinitet (ppt) 6 stasjoner i Sandnesfjorden i perioden 6. mai til 6. juni for dybdene 0,5 til 3,9 m under overfalten (y-akse).

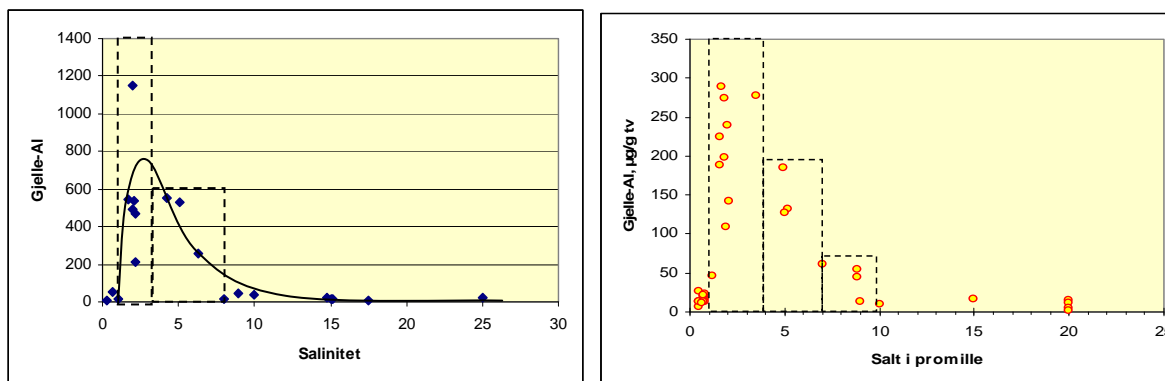
3.4 Gjellemetall og blodfysiologi i brakkvann/fjord

3.4.1 Gjellemetall

Det ble målt gjellemetall to til tre ganger i løpet av smoltutvandringsperioden (**Tabell 9**). Det foreligger ikke kriterier som angir responsnivå for gjelle-metaller i brakkvann. Erfaringsmessig vil verdier $> 50\text{-}60 \mu\text{g Al g}^{-1}$ gjelle tv tilsi økende hemming av smoltvandring. Verdier $> 100 \mu\text{g Al g}^{-1}$ gjelle tv må betraktes som uakseptable.

Gjelle-Al nivåene var svært høye i prøvene tatt 20. og 31. mai. Verdier $> 500 \mu\text{g Al g}^{-1}$ gjelle tv var vanlig på 0,5 m dyp i denne perioden i hele Songevatn og Nævestadfjorden. Prøver tatt på 2m dyp hadde en lavere konsentrasjon enn dette. Dette skyldes mest sannsynlig saltere vann på dette dypet.

Det inntraff en betydelig endring i gjelle-Al mellom 27. mai og 6. juni. Fra å måle høye konsentrasjoner i mai, var konsentrasjonene i juni lave. Denne endringen kan knyttes til endringer i saltnivå. Det var en klar sammenheng mellom endringer i salt og gjelle-Al nivåer. I saltintervallet 1 til ca. 3 promille økte gjelle-Al, for å deretter avta etter hvert som saltnivået økte mot 10 promille (**Figur 18**). Det ble målt høyere konsentrasjoner gjelle-Al i 2010 enn i 2009, men kurveforløpet var likt (**Figur 19**). Nivåene målt i 2010 var svakt høyere enn det som ble målt i 2008 og 2007. Majoriteten av smolten fra Storelva innvandret til brakkvann med høye konsentrasjoner gjelle-reaktivt Al. En betydelig hemming kan således forventes i 2010, hvor hemmingen sannsynligvis opphørte omkring månedsskiftet mai/juni.

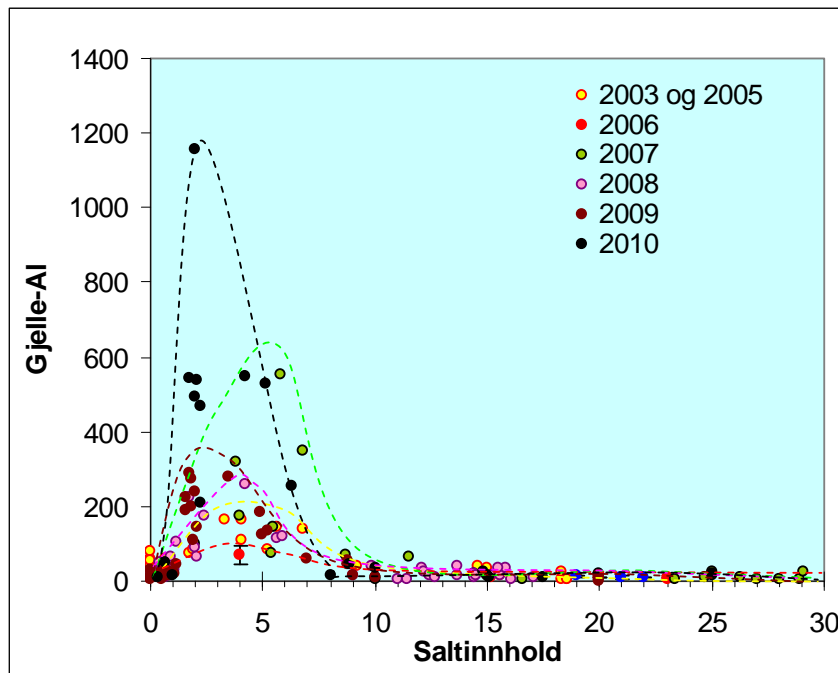


Figur 18. Venstre: Sammenheng mellom salinitet og gjelle-Al i 2010. Det er her satt sammen data fra alle stasjoner fra Strømmen til Sandnesfjorden, alle datoer. Tilsvarende figur for 2009 er vist til høyre.

Tabell 9. Gjelle metallnivåer målt på smolt prøvetatt fra eksponeringsbur utplassert i fjorden fra Strømmen i Songevatn til Bunkers i Sandnesfjorden i mai 2010. Det er gitt snittverdier ± 1 S.D. for aluminium (Al), kobber (Cu), jern (Fe), mangan (Mn) og kalsium (Ca). Alle enheter er i $\mu\text{g} \cdot \text{met}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ tørrvekt. Hver gruppe består av 5 til 6 smolt. Gjelle-Al konsentrasjoner er gradert etter en skala fra god (blå) til svært dårlig (rød). Saltnivået ved Strømmen økte i observasjonsperioden.

		Al	Cu	Fe	Mn	Ca
Strømmen	20. mai 2010	14.7 \pm 5.4	2.8 \pm 0.6	396.6 \pm 127.5	67.8 \pm 17.9	39834 \pm 6394
Strømmen	27. mai 2010	50.2 \pm 46.6	2.2 \pm 0.3	311.6 \pm 93.5	84.4 \pm 39.2	35703 \pm 3792
Strømmen	6. juni 2010	8.3 \pm 3.9	2.3 \pm 0.4	358.3 \pm 145.7	55.7 \pm 14.2	32500 \pm 4404
Song 1. tillegg 0.5 m dyp	20. mai 2010	541.9 \pm 158	2.8 \pm 0.8	572.3 \pm 166.4	48.2 \pm 27.1	39701 \pm 6129
Song 1 tillegg 0.5 m	31. mai 2010	470.8 \pm 21.4	2.2 \pm 0.3	339.2 \pm 105.9	55.7 \pm 29.8	43267 \pm 8443
Song 1 tillegg 0.5 m	6. juni 2010	208.4 \pm 94.2	4.2 \pm 0.8	554 \pm 252.6	19.3 \pm 15.8	71611 \pm 27894
Song 1. tillegg 2 m dyp	20. mai 2010	254.6 \pm 49.6	2.5 \pm 0.3	364 \pm 70.7	43.7 \pm 13.2	37622 \pm 1942
Song 1 tillegg 2 m	31. mai 2010	34.4 \pm 12	2.2 \pm 0.2	232.3 \pm 25.9	48.7 \pm 8.1	39571 \pm 3809
Song 1 tillegg 2 m	6. juni 2010	23.3 \pm 7.8	3.2 \pm 1.6	458.8 \pm 86.1	56.8 \pm 27.4	43297 \pm 7142
Næv/Song	20. mai 2010	491.4 \pm 95.3	2.8 \pm 0.7	495.1 \pm 55.2	68.9 \pm 13.6	58273 \pm 15081
Næv/Song	31. mai 2010	549.6 \pm 159.4	2.9 \pm 0.4	328.6 \pm 135.1	48.2 \pm 17.4	43046 \pm 4282
Næv/Song	6. juni 2010	14.4 \pm 5.8	3.4 \pm 0.4	566.8 \pm 95.3	50.5 \pm 7.6	39936 \pm 5163
Songevt 0,5	20. mai 2010	1153.4 \pm 945.7	6.6 \pm 5.4	2446.6 \pm 1897.1	51.4 \pm 9.4	40796 \pm 4748
Songevt 0,5	6. juni 2010	46.3 \pm 18.2	2.9 \pm 0.2	491.5 \pm 108.7	47.3 \pm 8.4	31576 \pm 2767
Songevt 2	6. juni 2010	11.8 \pm 5.2	3.6 \pm 0.3	524.2 \pm 135.8	61.2 \pm 13.8	36723 \pm 3437
Doknes	20. mai 2010	537.1 \pm 125.9	3.6 \pm 0.7	584.1 \pm 138.4	49.3 \pm 8.2	35830 \pm 4209
Doknes	31. mai 2010	529.3 \pm 187.3	2.5 \pm 0.4	340.9 \pm 103.7	60.7 \pm 13.1	47200 \pm 8225
Doknes	6. juni 2010	13 \pm 5	2.4 \pm 0.3	593.7 \pm 266.5	55.2 \pm 13	38123 \pm 7296
Bunkers	20. mai 2010	7.8 \pm 3.1	2.7 \pm 0.3	339.9 \pm 44.1	73.1 \pm 22.5	34689 \pm 6771
Bunkers	6. juni 2010	20.9 \pm 27.8	2.8 \pm 0.8	435.2 \pm 120.1	48.9 \pm 14.5	30385 \pm 4000

0-20	20-40	40-60	60-100	100-200	200-400	400-1000
------	-------	-------	--------	---------	---------	----------



Figur 19. Sammenheng mellom saltinnhold (ppt) og gjelle-Al ($\mu\text{g/g}$) målt i brakkvann utenfor Storelva årene 2003, 2005 til 2010.

3.4.2 Blodfysiologi

Fysiologisk status til smolt eksponert i brakkvann var avvikende fra det som var forventet (**Tabell 10**). Særlig gjaldt dette plasma. Cl-verdiene var sannsynligvis lave som en respons hos fisken på økende blodforsuring. Tilsvarende respons er målt også andre år når gjelle-Al nivåene har vært tilstrekkelig høye.

Tabell 10. Blodverdier målt på smolt prøvetatt fra eksponeringsbur utplassert fra Strømmen i Songevatn til Bunkers i Sandnesfjorden i mai 2010. Det er gitt snittverdier for målinger mot slutten av mai 2010. Det er gitt snittverdier ± 1 S.D. for natrium (Na), kalium (K), klorid (Cl) og glukose (Glu). Alle enheter er i Mm Hver gruppe består av 5 til 6 smolt.

Lokalitet	Dato	Na	K	Cl	Glu
Strømmen	27. mai 2010	135 \pm 13	4.3 \pm 0.8	125 \pm 8.5	5.1 \pm 0.5
Song 1 tillegg 0.5 m	31. mai 2010	145.4 \pm 5	3.7 \pm 0.6	125.2 \pm 7.6	4.9 \pm 1.8
Song 1 tillegg 2 m	31. mai 2010	149.3 \pm 3.6	3.3 \pm 0.6	128.8 \pm 3.7	5.7 \pm 0.9
Næv/Song	31. mai 2010	148.2 \pm 7	3.8 \pm 0.6	127.6 \pm 3	5.5 \pm 0.5
Doknes	31. mai 2010	149 \pm 5.6	3.7 \pm 0.9	128 \pm 3.7	6.3 \pm 1

4. Diskusjon

Vannføringen i Storelva var lav våren 2010. Basert på dette kunne det forventes at Songevatn og Nævestadfjorden ville inneholde en økende mengde salt utover i mai 2010 (Tjomsland og Kroglund 2010). Denne utviklingen inntraff som forventet: Saltnivået økte forbi 0,6 promille i Songevatn allerede 6. mai. Nivået passerte 1 promille ved smolthjulet 20. mai og nærmet seg 3 promille i starten av juni. Utviklingen målt ved Smolthjulet var rimelig lik det som ble målt på strekningen mellom smolthjulet og overgangen mellom Songevatn og Nævestadfjorden og i nordenden av Songevatn. Som forventet, inntraff tilsvarende endringer tidligere, og utviklet seg raskere i Nævestadfjorden.

Når saltnivået overstiger ca. 1 promille forventes det økt mobilisering av Al på fiskens gjeller. Det var som i 2009 en klar sammenheng mellom endringer i saltnivå og gjelle-Al. Konsentrasjonen på gjellene var imidlertid høyere i 2010 enn i 2009. Mens det i 2009 i hovedsak ble målt verdier $< 300 \mu\text{g Al/g}$ gjelle tv, var verdier $> 500 \mu\text{g/g}$ vanlig i 2010. Årsaken til denne forskjellen er ikke avklart. Den kan skyldes konsentrasjon av Al i elvevannet, forskjeller i temperatur og vannføring. Vannføringen fra 4. mai var lik begge årene. Det var litt varmere vann i 2010, men forskjellen var såpass liten at dette neppe kan forklare forskjellen. Konsentrasjonen av Al på gjellene avtok fra slutten av mai til tidlig i juni 2010. Dette kan forklares med økende satholdighet i fjordområdet.

Sammenstilles data på salinitet og gjelle-Al over flere år, er ikke sammenhengen sterk (Diserud mfl til trykking). Dette tyder på at det er en komponent vi ikke har full kontroll over. Selv om det fra et faglig ståsted hadde vært ønskelig med kunnskap om hva som er årsaken til år til år variasjonen, er det alle år en klar sammenheng mellom økt salt og økt gjelle-Al i saltintervallet 1 til ca. 5 promille. Deretter avtok konsentrasjonen av Al på gjellene, for å gå mot lave verdier ved høyere saltnivåer. Variasjon i saltnivå på en lokalitet og dyp innenfor døgnet vil være en faktor vi ikke har kontroll over. Al på gjellene vil være bestemt av vannkjemien i perioden forut, hvor saltnivået kan ha vært økende/avtagende på prøvetidspunktet. Dette forventes å gi mismatch mellom salinitet, Al i vannet og gjelle-Al.

Smoltutvandring ut av Storelva startet 29. april og var nær avsluttet mot slutten av mai. 75 % av smolten hadde utvandret innen 14. mai. Dette innebærer at smolten møtte brakkvann med gjellereaktivt Al i Songevatn tidlig i sesongen. Basert på tidligere erfaringer fra telemetristudiene kan det derfor forventes at få av disse utvandret raskt til fjordmunningen. Når saltnivået i Songevatn og Nævestadfjorden økte i juni kan det forventes at vandringshemming knyttet til Al opphørte å påvirke smoltens adferd.

Akkumulering av Al på fiskens gjeller er den mest sannsynlige årsaken til noe lave plasma-Cl verdier i blodprøver tatt 31. mai. Fisken vil kunne redusere Cl-konsentrasjonen i blod for å motvirke en økende blod-forsuring. Blodforsuring tyder på økende respiratorisk stress som forventes å kunne inntreffe når gjelle-Al konsentrasjonen er høy.

5. Referanser

Anon. 2011. Kvalitetsnormer for laks – anbefalinger til system for klassifisering av villaksbestander. Temarapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 1, 103 s.

Diserud, O.H., Kroglund, F., Teien, H.-C., Tjomsland, T. og Økland, F. 2011. Modellering av Aluminiumspåslag på gjellene hos utvandrende laksesmolt. NINA rapport til trykking.

Kroglund, F., Gutterup, J. (SNO), Kleiven, E., Stefansson, S. (UiB), Barlaup, B. (UiB), Teien, H.C. (UMB, 2007. Aluminium, et miljøproblem for laks i Sandnesfjorden, Aust-Agder?. NIVA. Rapport 1. nr OR-5366. 47 s.

Tjomsland, T., Kroglund, F., 2010. Modellering av strøm og saltholdighet i Sandnesfjorden ved Risør. NIVA. Rapport 1. nr OR-6049. 31 s.

Vedlegg A. Rapporter fra prosjektet

2003&2005

Kroglund, F., Gutterup, J., Kleiven, E., Stefansson, S., Barlaup, B., Teien, H.-C. 2007. Aluminium, et miljøproblem for laks i Sandnesfjorden, Aust-Agder? NIVA. Rapport 1. nr OR-5366. 47 s.

2006-data

Kroglund, F., Teien, H.-C., Salbu, B., Rosseland, B.O., Güttrup, J. Haraldstad, T. 2011. Aluminium, en potensiell trussel for utvandrende laksesmolt. Datarapport fra Storelva i Holt og Audna, 2006. NIVA-rapport 6244, 35 s+vedlegg.

2007-data

Kroglund, F., Høgberget, R., Haraldstad, T., Økland, F., Thorstad, E., Teien, H.-C., Rosseland, B.O., Salbu, B., Nilsen, T.O., Stefansson, S., og Guttrup, J. 2011. Påvirkes smoltvandring av aluminium i brakkvann? Storelva datarapport 2007. NIVA-rapport 6245. 81 s + vedlegg.

2008-data

Kroglund, F., Høgberget, R., Haraldstad, T., Økland, F., Thorstad, E., Teien, H.-C., Rosseland, B.O., Salbu, B., Nilsen, T.O., Stefansson, S., Guttrup, J. og Å. Johansen. 2011. Påvirkes smoltvandring av aluminium i brakkvann? Storelva datarapport 2008. NIVA-rapport 6246. 69 s + vedlegg.

2009-data

Tjomsland, T., Kroglund, F., 2010. Modellering av strøm og saltholdighet i Sandnesfjorden ved Risør. NIVA. Rapport 1. nr OR-6049. 31 s.

Teien, H.-C., Kroglund, F., Kleiven, M., Salbu, B. og Rosseland, B.O. 2009. Bruk av natriumsilikat i forhold til kalk for å avgifte aluminium i ferskvann og brakkvann. UMB-rapport Rapport nr : 2/2009. ISSN 0805 – 7214. 65s.

Teien, H.-C., Kroglund, F., 2009. Komparative studier mellom kalksteinsmel (Miljøkalk VK3, Miljøkalk NK3) og kalkslurry BIODALK 75; løselighet av Ca og økning i pH over tid. UMB-rapport Rapport nr :2/2009. ISSN 0805 – 7214. 27s.

Kroglund, F., Teien, H.-C., Rosten, C., Hawley, K., Guttrup, J., Johansen, Å., Høgberget, R., Kristensen, T., Tjomsland, T. og Haugen, T.. 2011. Betydningen av kraftverk og predasjon fra gjedde for smoltproduksjon og aluminium i brakkvann for postsmoltoverlevelse. Datarapport 2009. NIVA-rapport 6084, 103s.

2010-data

Kroglund, F., Haugen, T., Guttrup, Jim., Hawley, K., Johansen, Åsmund., Rosten, C., Kristensen, T., Tormodsgard, Lars., 2011. Effekter av å passere en kraftverksturbin på smoltoverlevelse og atferd. Betydningen av tiltak. NIVA. Rapport 1. nr OR-6139. 35 s.

Kristensen, T., Rustadbakken, A., Kroglund, F., Guttrup, Jim (SNO), Johansen, Åsmund., Hawley, K., Rosten, C., Kjøsnæs, Arne Jørgen., 2010. Gjeddens betydning som predator på laksemolt: Populasjonsstørrelse, adferd og predasjonsomfang på laksemolt i Storelva, Aust-Agder.. NIVA. Rapport 1. nr OR-6085. 31 s.

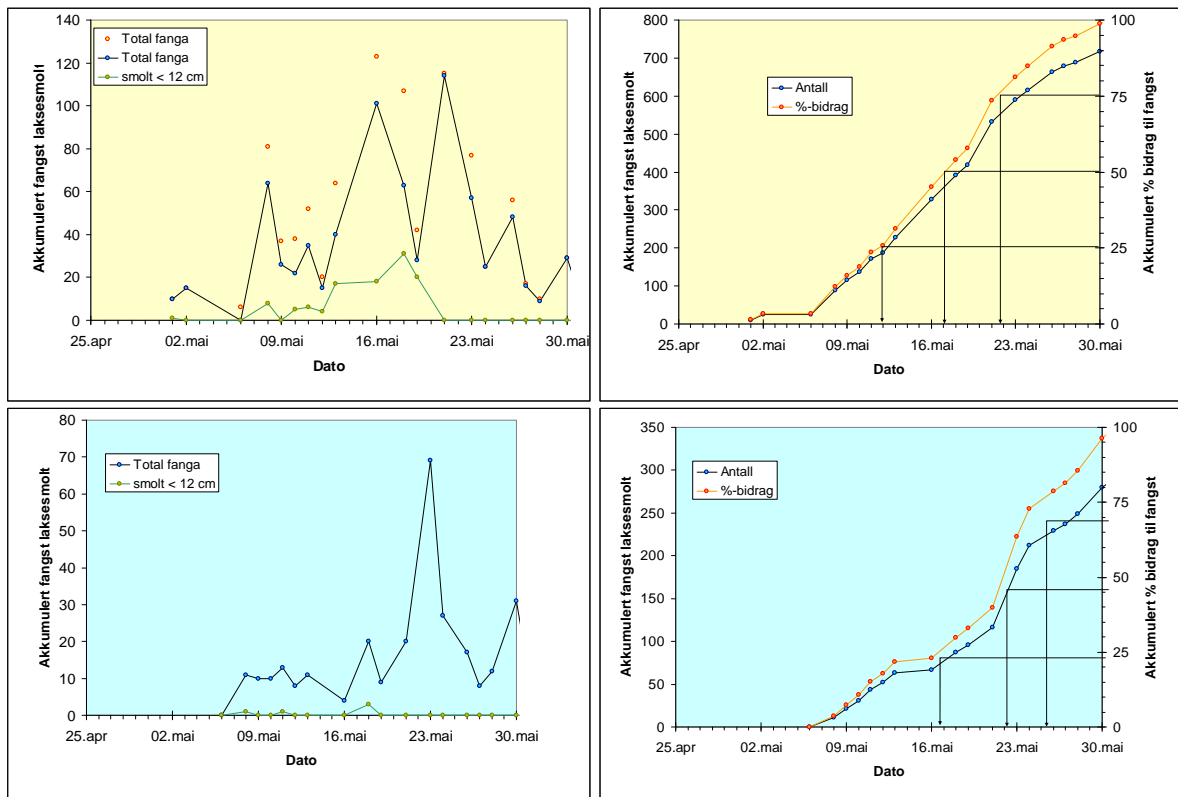
Kroglund, F., Guttrup, Jim., Haugen, T., Hawley, K., Johansen, Åsmund., Karlsson, Anders., Kristensen, T., Lund, E., Rosten, C., 2011. Samvirkning mellom ulike trusler på oppnåelse av gytebestandsmål for laks. Storelva i Holt som eksempel. NIVA. Rapport 1. nr OR-6148. 71 s.

Kroglund, F., Haraldstad, T., Teien, H.-C., Guttrup, J. og Å. Johansen. 2011. Mobilisering av aluminium i brakkvann og akkumulering på fiskegjeller; Storelva datarapport brakkvann 2010. NIVA rapport 6149. 30 s.

Under trykking

Diserud, O.H., Kroglund, F., Teien, H.-C., Tjomsland, T. & Økland, F. Modellering av gjellealuminium: Aluminiumspåslag på gjellene til laksesmolt og betydningen dette kan ha for utvandringen - NINA Rapport [XXX. XX s.]

Vedlegg B. Daglig fangst av laks og ørretsmolt



Figur 20. Fangst av umerket smolt (laks øverst, ørret nederst) ved Strømmen våren 2010. Smolt < 12 cm samt total fangst er vist. Gjenfangster av smolt merket oppstrøms er ekskludert fra figuren

Vedlegg C. Aktivitetsliste

		2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Områdebeskrivelse m/delfelt		x	x	x	x			
Vannføring ut av Storelva (Hauglandsfossen x 2 eller 1,27)		H*2	H*2	H*2	H*2	H*2	H*1.27	H*1.27
Vannføring Gjerstad						x		
Vannføring Lundevatn (sep 2007)							x	modell
Kont. temp Haug. og Nes Verk		x	x	x	x	x	x	x
Estimering av oppholdstid				H*2		H*2		
DN vannkemikontroll		x	x	x	x	x	x	x
Kont. pH Hauglandsfossen		x	x	x	x	x	x	x
Kont. pH Nes Verk		x	x	x	x	x	x	x
Elvekjemi	Tot							
In situ Al fraksjonering	fraksj		x	x	x	x	x	
Fjordkjemi	Tot		x	x	x	x	x	
In situ Al fraksjonering	fraksj		x	x	x	x	x	
DGT		x	x					
Manuell saltmåling overflate		x	x	x				
CTD; dybdeprofiler					x	x	x	X
Kontinuerlig logging overflata						x	x	Nei
Hydrologi					x		H*1.27	
Strømmodell fjord						x	x	x
El-fiske vinter				vår	x			
Smoltfelle (antall)		1	1	1	1	1	2	4
Fangsteffektivitet						x	x	x
Smoltalder		x	x	x	x			
Lengde			x	?	x	x	x	x
Vekt								
Hybrider							x	
Bestandsestimat - smolt						(x)	x	x
Bestandsestimat - laks			x				x	x
Bureksponeringer FV		x	x	x	x	x	x	x
Gjelle-Al		x	x	x	x	x	x	x
Gjelle ATP			x	x	x	x	x	
Blod			x	?	x			
Bureksponeringer fjord		x	x	x	x	x	x	x
Gjelle-Al		x	x	x	x	x	x	x
Akkumuleringsrater						x	x	x
Gjelle ATP			x	x	x			
Blod			x	x	x			
Telemetri			fluktres		x	x		
PIT merking							x	x
Slep av smolt						x	x	x
Gjeddefestival		x	x	x	x			
Graving for kraftverk					x			
Predatorfiske				x	x			
Karforsøk					x	x	x	x
Gjelle Akkumuleringsrater						x		
Nasjonal lakselusovervåking						x	x	x
Undersøkelser i Audna, (V-Agder)				x				

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no