

Ny kalkingsstrategi for laks i Sokndalsvassdraget



Hovedkontor

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

NIVA Region Sør

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

NIVA Region Innlandet

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

NIVA Region Vest

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

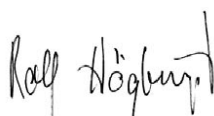
Tittel Ny kalkingsstrategi for laks i Sokndalsvassdraget	Løpenummer 7145-2017	Dato 28.04.2017
Forfatter(e) Rolf Høgberget	Fagområde Kalking og forsuring	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Rogaland	Utgitt av NIVA NIVAs Prosjektnummer 17103

Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet	Oppdragsreferanse 17080008
--	--------------------------------------

Sammendrag

Sokndalsvassdraget er et av de sørligste laksevassdragene i Norge. Det ble tidlig sterkt rammet av forsuring, og laksen var utryddet allerede i 1880-årene. Kalking ble påbegynt i 1987, og laksen har nå kommet tilbake til elva. Endringer i lokale kalkingsbehov har utløst behov for vurdering av dagens kalkingsstrategi. I rapporten vurderes eksisterende strategi mot alternativ dosering i tre lakseførende tilførselselver til Sokno (hovedelva) og virkninger av dette også i andre deler av vassdraget, samt Sokno. Målet med kalkingen er å etablere en livskraftig stabil laksebestand i alle deler av Sokno med tilførselsgrener. Det anbefales kalking av Rosslandsåna for sikring mot forsuring og blandsonereffekter i Bakkaåna og kalking med kalkdoserer i utløpet av Veisdalsvatnet for sikring av vannkvaliteten for laks i Litlå. Kalking av Ålgårdselva er også mulig, men gevinsten ved dette er usikker. Kunnskapen om forsuringseffekter under flom er i flere tilfeller for lav til å kunne anbefale valg av styringsløsning. Det anbefales derfor automatisk overvåking kombinert med kjemisk prøvetaking på strategisk optimale tidspunkter for å kunne avdekke virkningsforholdene under flom

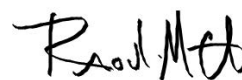
Fire emneord 1. Kalking 2. Forsuring 3. Laks 4. Elv	Four keywords 1. Liming 2. Acidification 3. Atlantic Salmon 4. River
---	--



Rolf Høgberget
Prosjektleder



Oyvind Kaste
Kvalitetssikrer



Raoul-Marie Couture
Forskningsleder

Ny kalkingsstrategi for laks i Sokndalsvassdraget

Forord

NIVA har hatt i oppdrag å utarbeide ny kalkingsstrategi for store deler av Sokndalsvassdraget i Rogaland samt vurdere dosererkalking som erstatning for dagens innsjøkalking. Oppdraget har vært på bestilling fra Miljødirektoratet.

Til hjelp i dette arbeidet har vi hatt nær kontakt med grunneierlaget i Sokndalsvassdraget ved leder Oddvar Mydland og Jon Kapstad. Videre har Ørjan Simonsen (FM i Rogaland), Schott Wolfram (tidligere gruvegeolog Titania A/S) og Espen Enge (Universitetet i Stavanger) bidratt med verdifull kunnskap og informasjon. Det er også foretatt befaring i området for klarlegging av de lokale forhold.

Vi vil takke alle de medvirkende partene for samarbeidet.

Hanne Hegseth i Miljødirektoratet har vært oppdragsgivers kontaktperson. Øyvind Kaste, NIVA, har kvalitetssikret rapporten etter fullmakt fra forskningsleder.

Grimstad, 28.04.2017

Rolf Høgberget

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	7
2 Vassdragsbeskrivelse	8
2.1 Generelt	8
2.2 Mydland/Guddalsvassdraget.....	9
2.2.1 Hydrologi Litlå.....	9
2.2.2 Vannkvalitet Litlå	9
2.3 Ålgårdselva	12
2.3.1 Hydrologi Ålgårdselva	12
2.3.2 Vannkvalitet Ålgårdselva.....	13
2.4 Rosslandsåna.....	15
2.4.1 Hydrologi Rosslandsåna.....	15
2.4.2 Vannkvalitet Rosslandsåna	16
3 Kalkingsmål	18
3.1 Biologiske mål.....	18
3.2 Vannkjemiske mål.....	18
4 Kalkingsstrategi	19
4.1 Litlå 21	
4.1.1 Eksisterende kalkingsstrategi i Guddal-/Mydlandsvassdraget.....	21
4.1.2 Alternative kalkingsstrategier.....	21
4.2 Ålgårdselva	23
4.2.1 Eksisterende kalkingsstrategi i Myssavassdraget	23
4.2.2 Alternativ kalkingsstrategi.....	24
4.3 Rosslandsåna.....	24
4.3.1 Eksisterende kalkingsstrategi i Barstadvassdraget.....	24
4.3.2 Alternativ kalkingsstrategi med bruk av doserer	24
5 Kalkingskostnader	25
6 Anbefalinger	26
6.1 Anbefalinger knyttet til kalkingsstrategi.....	26
6.2 Ytterligere undersøkelser	27
7 Referanser	28
8 Vedlegg	29
8.1 Upublisert resymé fra innlegg på norsk-svensk forsørings- og kalkingskonferanse. Hamar 2015. 29	

Sammendrag

Sokndalsvassdraget er et av de sørligste laksevassdragene i Norge. Nedbørfeltet er 306 km². Vassdraget består av fire hovedgreiner: Guddal/Mydlandsvassdraget, Ålgårdselva, Bakkåna og Rosslandsåna. Geologisk hører Sokndalsvassdraget til Egersundfeltet. Dette er bergarter som er motstandsdyktige mot kjemisk forvitring, og relativt mye av nedbørfeltet består av bart fjell. Disse forholdene gjør at vannkvaliteten er forsuringssatt. Bakgrunnskonsentrasjonen av kalsium er ca. 0,4 mg Ca/l. Det er stor sjøsaltpåvirkning av området.

Vassdraget var i tidligere tider en god lakseelv, men den lokale laksestammen ble tidlig sterkt rammet av forsuring, og var i realiteten så godt som utryddet allerede i 1880-årene. En storstilt kalkingsinnsats ble påbegynt i 1987, og laksen har nå for fullt kommet tilbake til elva. **Figur 1** Endringer i lokale kalkingsbehov har utløst behov for vurdering av dagens kalkingsstrategi. I rapporten vurderes eksisterende strategi mot alternativ dosering for de lakseførende strekningene i Guddal-/Mydlandsvassdraget (Litlå), Myssavassdraget (Ålgårdselva), Barstadvassdraget (Rosslandsåna), Bakkåna nedstrøms samløpet med Rosslandsåna og hovedelva (Sokno). Kalkmengder, kalktyper og kostnader er vurdert. Målet med kalkingen er å etablere en livskraftig stabil laksebestand i alle deler av Sokno med tilførselsgrener. Vannkjemiske mål for å oppnå dette handler mest om reduksjon av giftige aluminiumsforbindelser. Sammenhengen mellom labilt aluminium (LAl), pH og konduktivitet på lokalitetene er ikke tilstrekkelig klarlagt basert på tilgjengelige data.

Litlå

Dette delvassdraget er det tredje største (58 km²). Det er ingen regulering av vannføringen. Eksisterende oppvandringshinder for anadrom laksefisk er nedstrøms Refsvatnet, 5 km fra samløpet med Sokno. Planer om etablering av laksetrappet vil utvide oppvandringsmulighetene en del. Seks innsjøer kalkes i øvre deler av nedbørfeltet (147 tonn/år). Samlet gir dette god effekt i Mydlandsåna. Bidraget fra kalkingen er gjennomsnittlig 0,9 mg Ca/l, men med stor variasjon. God aluminiumskjemi oppstår ved pH \geq 6,4. Tre alternativer til dosererkalking er diskutert, hvor plassering ved utløpet av Veisdalsvatnet anbefales som nær optimal løsning. Kalkbehovet som CaCO₃ blir 220 tonn/år. Det foreslås benyttet kategori 3 kalk eller finere. Det foreligger ingen anbefaling om valg av styringsparameter(e) da det er lite kjent hvordan pH og konduktivitet utvikler seg under stor flom.

Ålgårdselva

Ålgårdselva er den minste av sidefeltene til Sokno. Nedbørfeltet er 51 km². Ingen reguleringsinngrep påvirker for tiden vannføringen i elva. Oppvandringshinderet for anadrom laksefisk er ved utløpet av Orrestadvatnet, 9 km fra utløpet mot Bakkaåna. Et elvekraftverk i lakseførende strekning av elva er under planlegging. Dette vil påvirke hydrologien i området som kan ha betydning for en eventuell dosererkalking.

Vassdragsavsnittet kalkes i dag med 209 tonn/år som innsjøkalking. Samlet effekt av tiltaket oppnås ved utløpet av Myssavatnet. God aluminiumskjemi indikerer god effekt av kalkingen. Manglende prøvetaking foretatt i sure episoder under flom utelukker likevel ikke at høye LAl-konsentrasjoner kan forekomme. Innsjøkalkingen i Myssavassdraget kan erstattes av dosererkalking. Et slikt anlegg bør stå i utløpet av Orrestadvatnet. Planer om fremtidig kraftverksregulering vil påvirke doseringen fra et slikt anlegg. Teoretisk dosererkalkbehov er 210 tonn CaCO₃/år. Settpunktregulering foreslås, men det er usikkert hvilken type sensor(er) som bør benyttes til styring av doseringen. Det foreslås kategori 2 kalk eller finere.

Rosslandsåna med nedre del av Bakkaåna

Rosslandsåna er den største av tilførselselvene til Sokno. Nedbørfeltet er 106 km². Vassdraget er sterkt regulert gjennom Lindeland kraftverk. Dagens reguleringsregime og dårlige oppvandringsmuligheter for laks gjør kalking for laks i Rosslandsåna lite nødvendig. Imidlertid bidrar den store vannføringen vesentlig til vannkvaliteten i Bakkaåna etter samløpet med denne. I dette området er det observert den tetteste gytebestanden av laks i hele Sokndalsvassdraget. Ingen kalking for laks gjennomføres, og vannkvaliteten i

Rosslandsåna er nærmest upåvirket av kalking. Kalking av Rosslandsåna blir derfor viktig i forhold til vannkvaliteten for laks. Teoretisk kalkbehov er 390 tonn CaCO_3 /år. Anlegget bør utstyres med settpunktregulering. Det er usikkert hvilken type sensor som bør benyttes. Imidlertid synes det som om pH kan være et brukbart alternativ.

Sokno

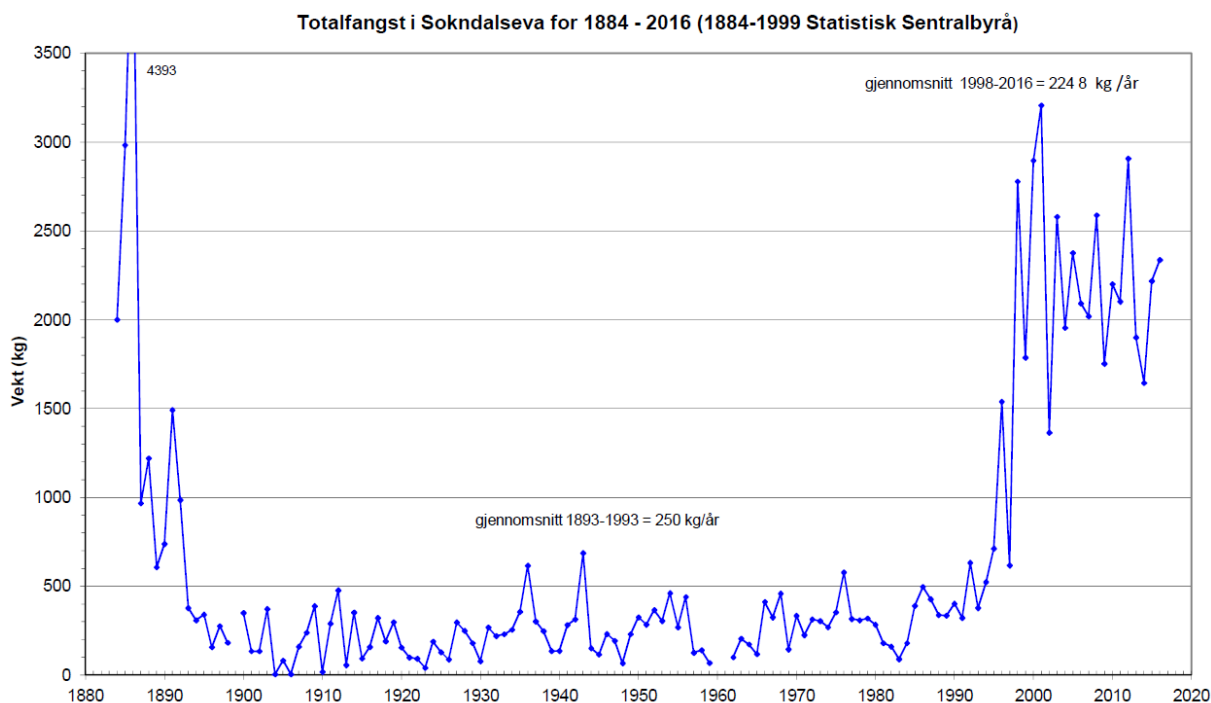
Vannkvaliteten for laks i Sokno er god i kun 50 % av kjemiprøvene med dagens kalkingsinnsats. Tiltakene som er foreslått og eksisterende innsjøkalking eller alternativ doseringskalking i Myssavassdraget sammen med planlagt doseringsanlegget i Bakkaåna utgjør tiltak i 95 % av Soknos nedbørfelt. Effekten av disse tiltakene vil derfor være en god løsning for hele Sokndalsvassdraget.

Anbefalinger

Det foreslås å øke kunnskapsstatus om vannkjemien under flom, spesielt i Ålgårdselva, og parametervalg ved settpunktsregulering (regulering til valgt fast verdi) av foreslåtte anlegg i Litlå og Rosslandsåna. Det anbefales derfor å gjennomføre ytterligere undersøkelser i alle tre sidevassdragene før det tas endelig stilling til kalkingsmetodikk og -styring. Det bør etableres automatisk overvåking kombinert med kjemisk prøvetaking på strategisk optimale tidspunkter. Overvåkingen må foregå i en tilstrekkelig lang periode til å kunne avdekke effektene på vannkvalitet under flom.

1 Innledning

Sokndalsvassdraget var i tidligere tider en god lakseelv, men den lokale laksestammen ble tidlig sterkt rammet av forsurening og var i realiteten så godt som utryddet allerede i 1880-årene. Det skulle gå 100 år før restaureringen av elva som lakseelv ble startet. En storstilt kalkingsinnsats ble da påbegynt i 1987 og 1989. Allerede 4 år etter den første kalkingen ble det observert noe laksyngel og eldre laksunger i vassdraget (Larsen og Hesthagen 2004). Senere har kalkingsinnsatsen økt og laksen har for fullt kommet tilbake til elva (**Figur 1**). Endringer i lokale forhold og kalkingsbehov påvirker kalkingsvirksomheten. Kalking for laks har andre krav enn kalking for innlandsfisk. Det er nødvendigvis ikke sammenfallende interesser i alle deler av vassdraget. Det har derfor oppstått et behov for å vurdere dagens kalkingsstrategi for laks i Sokndalsvassdraget. Vurderingen omfatter de lakseførende strekningene i Guddal-/Mydlandsvassdraget (Litlå), Myssavassdraget (Ålgårdselva), Barstadvassdraget (Rosslandsåna), Bakkåna nedstrøms samløpet med Rosslandsåna og hovedelva (Sokno).

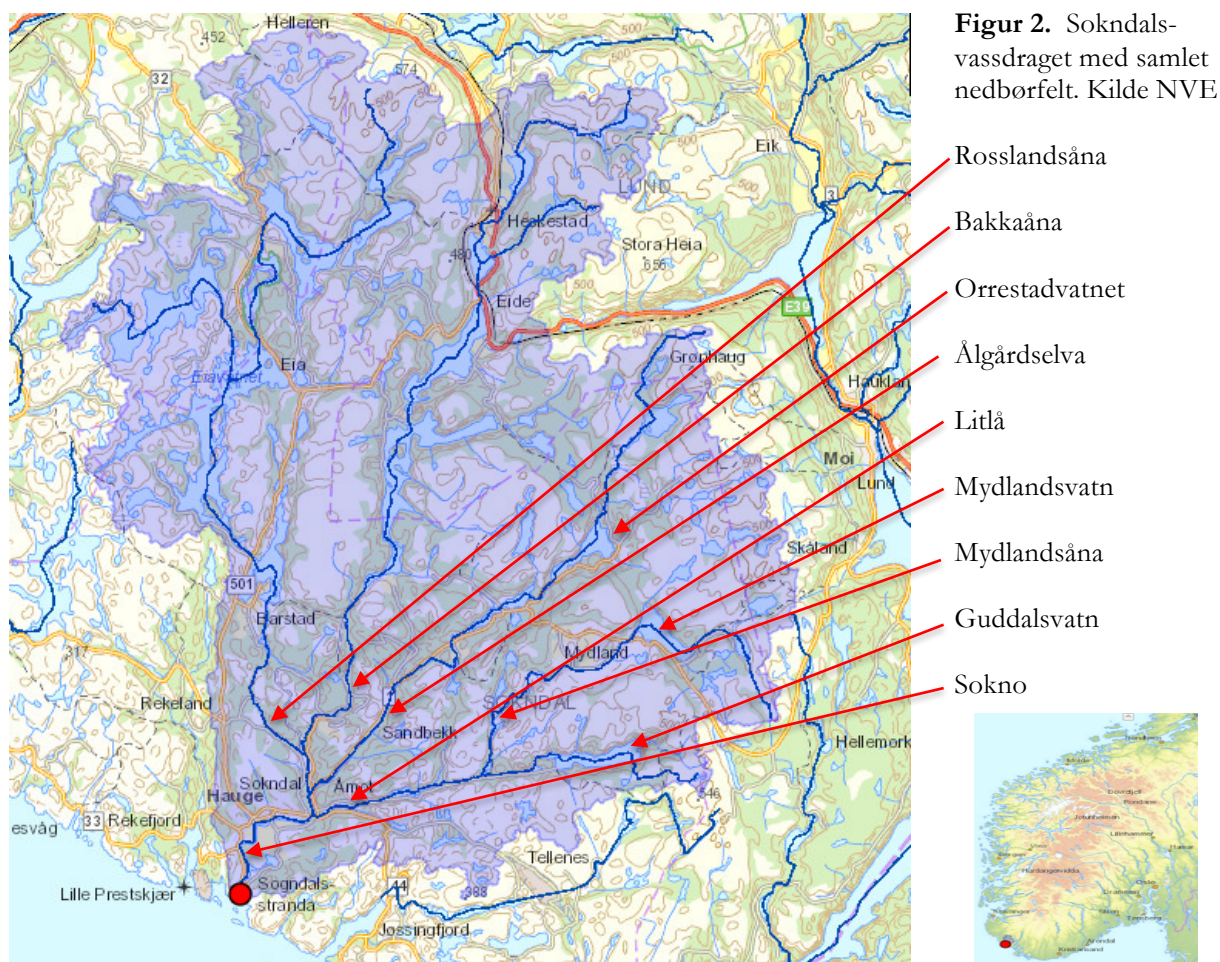


Figur 1. Fangststatistikk (laks og sjøaure) fra Sokndalsvassdraget gjennom over 100 år. Laksen ble tidlig utryddet fra vassdraget. (Kilde SSB og Sokndal grunneierlag statistikk v/ Schott Wolfram)

2 Vassdragsbeskrivelse

2.1 Generelt

Sokndalsvassdraget er en av de sørligste laksevassdragene i Norge. Kart med påtegning av de fleste lokale steder det refereres til er vist i **Figur 2**. Hele nedbørfeltet er 306 km² der 12 % av feltet består av innsjøer. Det er normalt lite isdannelse på disse om vinteren og generelt lite snøakkumulering i området. Middellavrenningen er 1730 mm/år. Vassdraget består av fire hovedgreiner: Guddal/Mydlandsvassdraget, Ålgårdselva, Bakkåna og Rosslandsåna. Nedbørsfeltet er kupert og karakterisert av trange dalfører omgitt av 100-300 m høye fjell. Geologisk hører Sokndalsvassdraget til Egersundfeltet som er en del av grunnfjellsområdet i sør. Bergartene består for det meste av anortositt og kvarts-mangeritt som er motstandsdyktige mot kjemisk forvitring. Vannkvaliteten er derfor forsøringsfølsom i alle deler av vassdraget. Utredninger omkring vannkjemien er gjort på grunnlag av eksisterende overvåkingsdata: Tiltaksovervåking av kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør (tidsrommet 2011 – 2016,) overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør og effekter i norske innsjøer (tidsrommet 1986-2016).



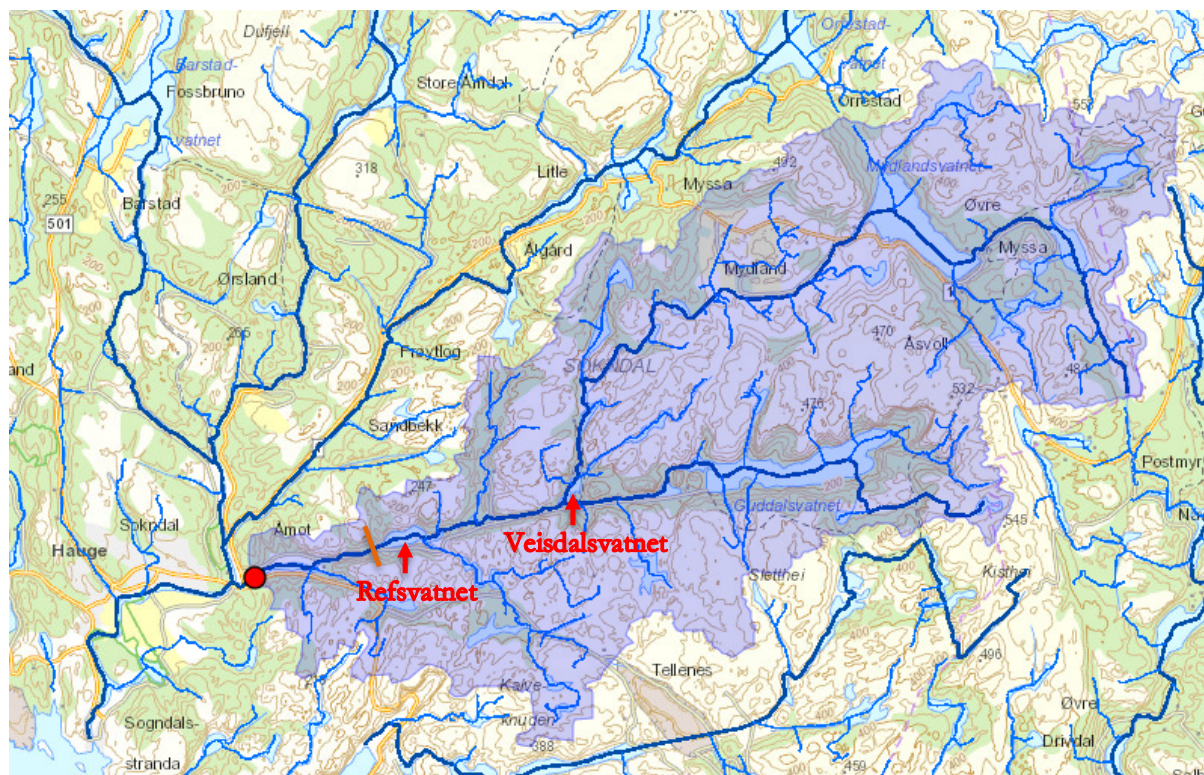
2.2 Mydland/Guddalsvassdraget

2.2.1 Hydrologi Litlå

Denne delen av Sokndalsvassdraget er det tredje største delnedbørfeltet (58 km²). Det er ingen regulering av vannføringen. Vassdraget består av to elver: Elva fra Guddalsvatnet og Mydlandsåna. Førstnevnte drenerer fra et område på 14 km², mens hovedløpet, Mydlandsåna, har sitt utspring i flere heivann oppstrøms Mydlandsvatnet. Disse elvene renner sammen i Litlå ved Veisdalsvatnet. Hydrologiske data er gjengitt i **Tabell 1**. Eksisterende oppvandringshinder for anadrom laksefisk er nedstrøms Refsvatnet i Litlå, 5 km fra samløpet med Sokno. Det er ønsker/planer om etablering av laksetrappet på stedet. Dette vil utvide oppvandringsmulighetene en del. Neste hindringspunkt er sannsynligvis utløpet av Mydlandsåna mot Veisdalsvatnet, foto **Figur 7**. Kart i **Figur 3**.

Tabell 1. Hydrologiske data for sidefelt Litlå av Sokno.

	Utløp Litlå	Mydlandsåna	Guddalså
Nedbørfelt (km ²)	58	30,2	13,8
Del av totalfelt, Sokno %	19	10	5
Middelavrenning (l/s/km ²)	57,4	60	61,1
Middelvannføring (m ³ /s)	3,33	1,8	0,84
5-års flom (m ³ /s)	47,3	25	10,7



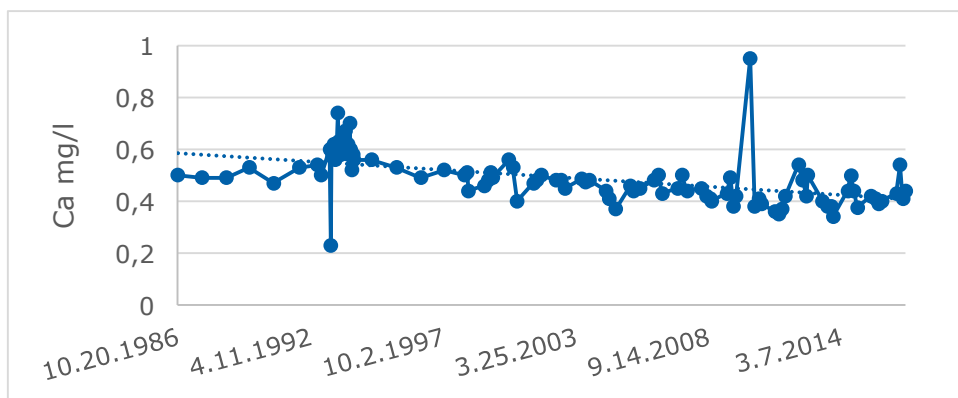
Figur 3. Kart med nedbørfelt og stedsnavn omtalt i rapporten. Oppvandringshinderet er markert brunt.

2.2.2 Vannkvalitet Litlå

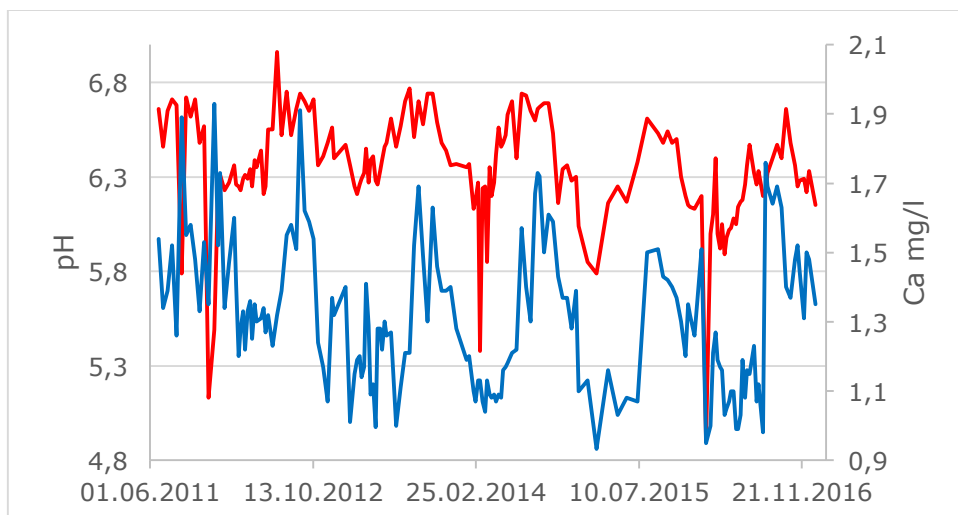
Vassdragsavsnittet tilhører samme geologiske område som resten av Sokndalsvassdraget. Uten karbonattilsetning vil vannkvaliteten bli forringet som følge av forurenging. For tiden kalkes ikke vannet fra Guddalsvatnet. Imidlertid har kalking av 6 innsjøer i nedbørfeltet til Mydlandsåna medført en økning i kalsiumkonsentrasjonen. Bakgrunnsverdier for kalsium (Ca) finnes i gamle analyser fra innsjøen Madbunn

oppstrøms Mydlandsvatn. Før kalking (1975 og 1985) var Ca-konsentrasjonen 0,3-0,4 mg/l. Grunnet redusert tilførsel av forsuringskomponenter er det sannsynlig at Ca-utlekkingen er redusert noe i forhold til tidligere. Hyppige prøver fra Ljosevatn, en ukalket lokalitet i Barstadvassdraget, underbygger trenden om reduserte Ca-konsentrasjoner (**Figur 4**). Dette er en utvikling som også observeres andre steder (Hindar m.fl. 2015). Det antas høyere bakgrunnskonsentrasjon i lavere regioner av nedbørfeltet. En gjennomsnittlig konsentrasjon på 0,4 mg Ca/l er derfor realistisk. Bidraget fra kalkingen er gjennomsnittlig 0,9 mg Ca/l. Imidlertid fordeles bidraget ulikt med tiden. **Figur 5** viser hvordan pH og Ca følger hverandre, og har store variasjoner.

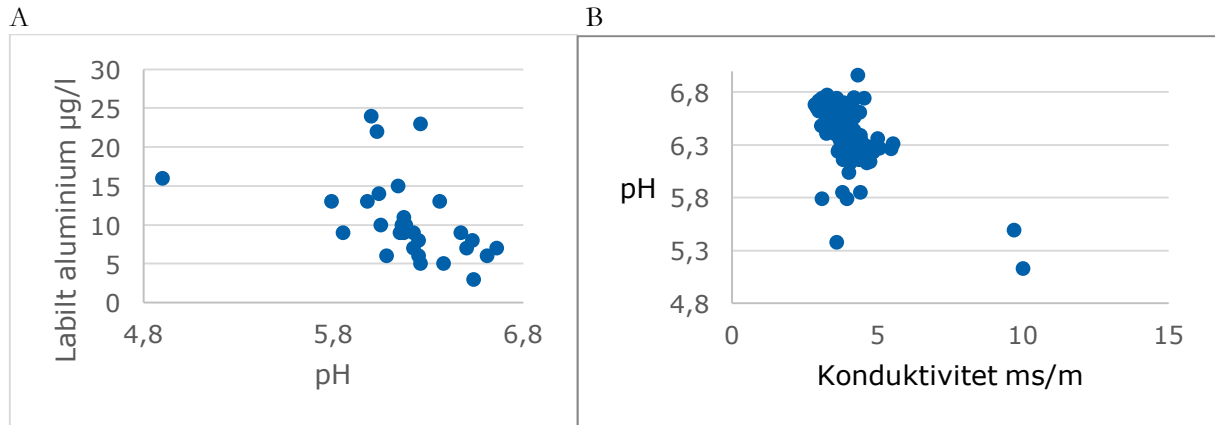
Ved lav bufferevne reduseres pH og giftig labilt aluminium (LAl) lekker ut i lokaliteten. God vannkvalitet for laks betinger $LAl < 10 \mu\text{g/l}$ (Veileder 2 2013). **Figur 6A** viser hvordan LAl øker ved pH-reduksjon. Imidlertid er ikke denne sammenhengen entydig. For å sikre god aluminiumskjemi går det fram av figuren at pH bør være $\geq 6,4$. Generelt kan akutt forsuring i kystnære områder utløses av saltvannspåvirket nedbør som tilføres ved storm og øker ionekonsentrasjonen slik at konduktiviteten øker. Denne sammenhengen er vanskelig å se i Litlå, selv om avstanden til havet er kort (**Figur 6B**). Imidlertid er det registrert to tilfeller med markert økt konduktivitet. Dette antyder at prøvetakingstidspunktene normalt ikke fanger opp forholdene under storm. Kloridkonsentrasjonene varierer imidlertid mellom 6-16 mg/l i Ljosevatnet (Barstadvassdraget), noe som stadfester en sjøsaltpåvirkning i området.



Figur 4. Redusert kalsiumkonsentrasjonen i Ljosevatnet. Reduksjonene begynte for ca. 20 år siden.



Figur 5. Kalsium (blå) og pH (rød) har sammenfallende konsentrasjonsutvikling over tid i Litlå.



Figur 6. A: Korrelasjonen mellom labilt aluminium og pH i Litlå. $\text{pH} > 6,4$ gir alltid lav LAl. B: Korrelasjonen mellom konduktivitet og pH. pH varierer mellom 5,4 og 7,0 ved ca. 4 mS/m. Det er derfor en dårlig sammenheng mellom disse parameterne.



Figur 7. Øverst: Vandringshinderet i Mydlandsåna, (innringet).

Nede til venstre: Oppvandringshinderet i Veisdalsvatnet

Nede til høyre: Ett av flere hindre mellom Veisdalsvatnet og Refsvatnet



2.3 Ålgårdselva

2.3.1 Hydrologi Ålgårdselva

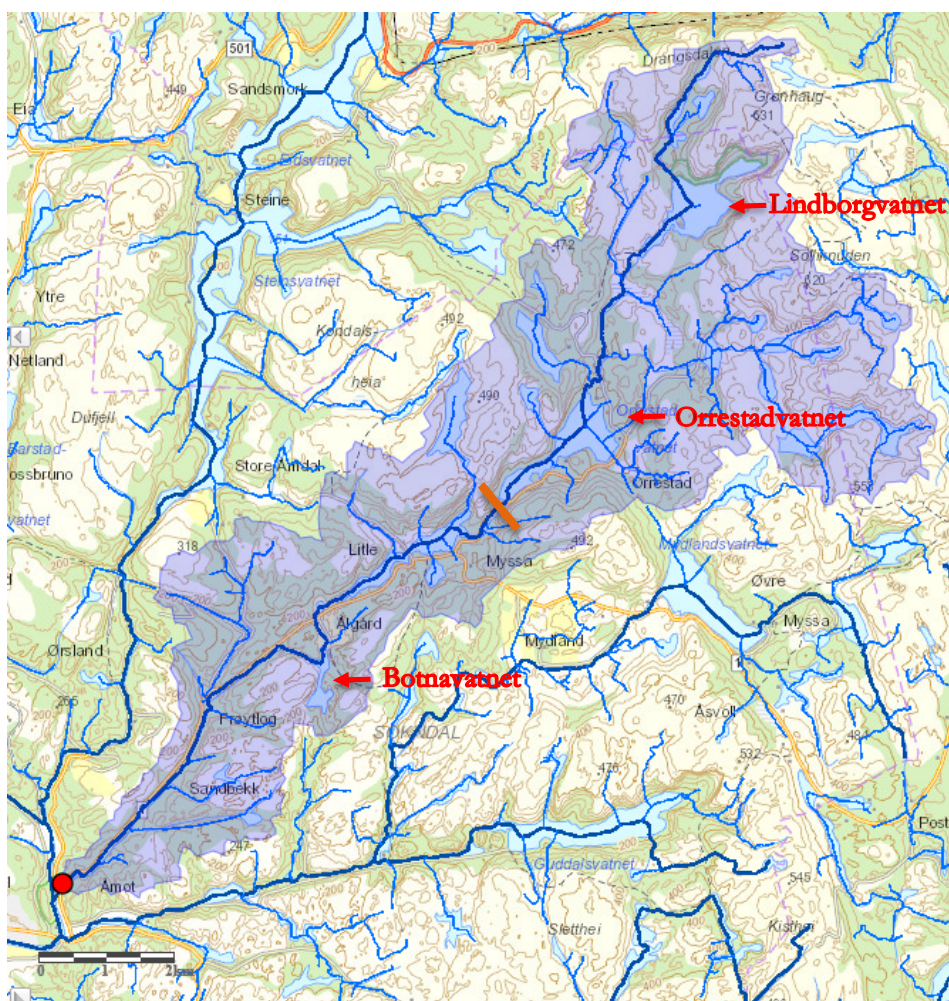
Ålgårdselva er den minste av sidefeltene til Sokno. Den har et nedbørfelt på 51 km². Ingen reguleringsinngrep påvirker for tiden vannføringen i elva. Oppvandringshinderet for anadrom laksefisk er ca. 148 m. o.h. ved utløpet av Orrestadvatnet, 9 km fra utløpet mot Bakkaåna (**Figur 8**). I 2015 ble det gitt tillatelse til bygging av et elvekraftverk på Frøytlog. Dette er i lakseførende strekning av elva. Det ble samtidig gitt tillatelse til regulering av Botnavatnet, Orrestadvatnet og Linborgvatnet. Årlig produksjon fra kraftverket vil bli ca. 15 GWh/år. Innsjøene har tidligere vært regulert i forbindelse med gruvedrift i området, men reguleringen har ikke vært aktivt brukt på flere tiår. Hydrologiske data er gjengitt i **Tabell 2**. Kart i **Figur 9**.

Tabell 2. Hydrologiske data for sidefelt Ålgårdselva av Sokno.

	Ved utløp til Bakkaåna
Nedbørfelt (km ²)	51
Del av totalfelt, Sokno %	17
Middelavrenning (l/s/km ²)	57,9
Middelvannføring (m ³ /s)	2,95
5-års flom (m ³ /s)	40,1



Figur 8. Oppvandringshinderet i Myssavassdraget nedstrøms Orrestadvatnet.

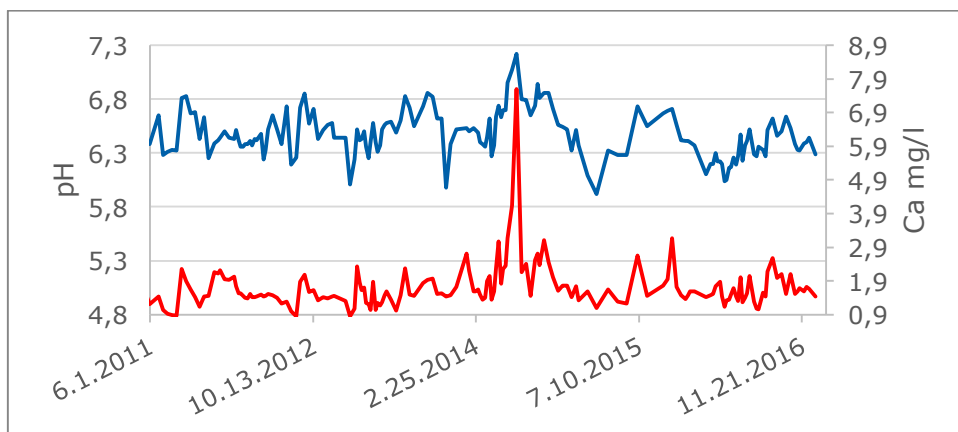


Figur 9. Kart med nedbørfeltet til Ålgårdselva. Oppvandringshinderet er merket brunt.

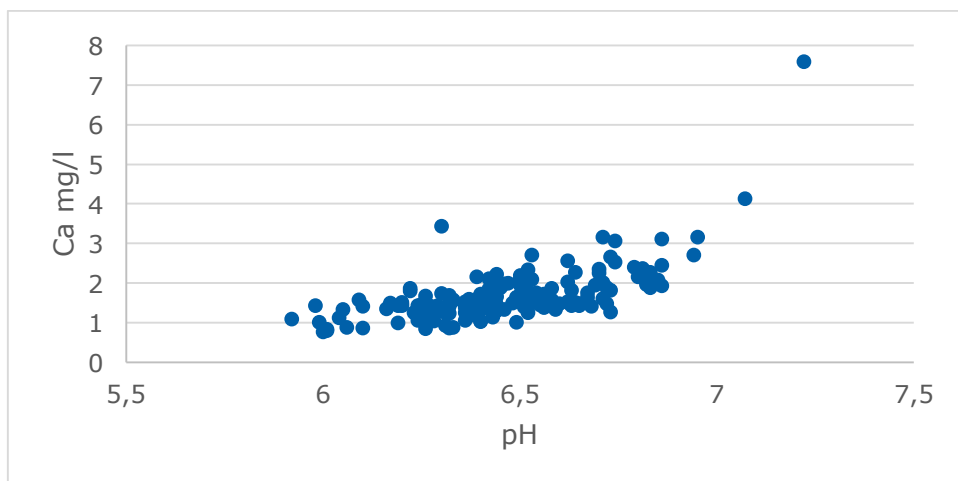
2.3.2 Vannkvalitet Ålgårdselva

Ålgårdselva er også meget forsuringfølsom. Grunnet kalkingen i en årrekke har Ca-konsentrasjonen økt i forhold til et bakgrunnsnivå på ca. 0,4 mgCa/l. Konsentrasjonene varierer i fase med kalkingstidspunkter og årstid (0,77- 7,6 mg Ca/l). pH er høy og samvarierer med Ca (**Figur 10**). **Figur 11** viser imidlertid moderat sammenheng mellom pH og Ca-konsentrasjon ved lave Ca-konsentrasjoner. Sjøsalt-påvirkning kan være årsaken til redusert sammenheng mellom Ca og pH. Det er også minimal sammenheng mellom pH og giftig labilt aluminium (**Figur 12A**). Sjøsaltpåvirkning gjør stort utslag i konduktiviteten og påvirker pH gjennom ionebyttingsprosesser. Denne effekten påvirker også konsentrasjonen av LAl (Kroglund m. fl. 2007). Det er en sammenheng i dette forholdet, men få analyser gjør forholdet dårlig dokumentert (**Figur 12B**).

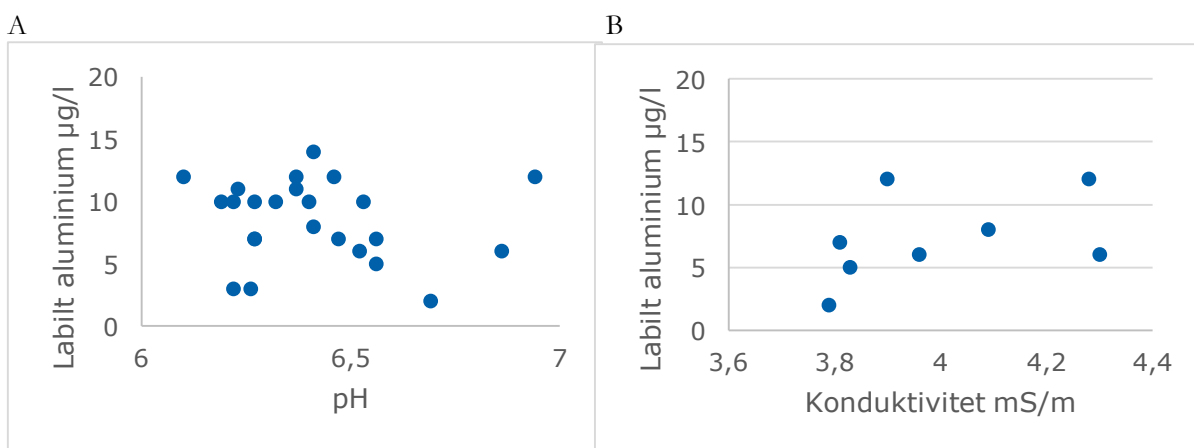
Kjemiprøvene viser at LAl-konsentrasjonen i Ålgårdselva er lav og innenfor, eller i grenseland for målet til god vannkvalitet for laks ($\leq 10\mu\text{g/l}$).



Figur 10. pH og kalsium i Ålgårdselva. Høy Ca-konsentrasjon 30. juni 2014 er antakelig en effekt av innsjøkalking i området.



Figur 11. Sammenhengen mellom kalsium og pH. Trenden er tydelig men variasjonen er stor ved identiske lave Ca-konsentrasjoner.



Figur 12. A: Det er dårlig sammenheng mellom pH og LAI. Årsaken kan være at LAI-konsentrasjonene er for lave til at klare sammenhenger kan detekteres.
B: Det er en sammenheng mellom konduktivitet og labilt aluminium, men få analyser og lave verdier gjør graden av sammenheng usikker. LAI-konsentrasjonene er lave.

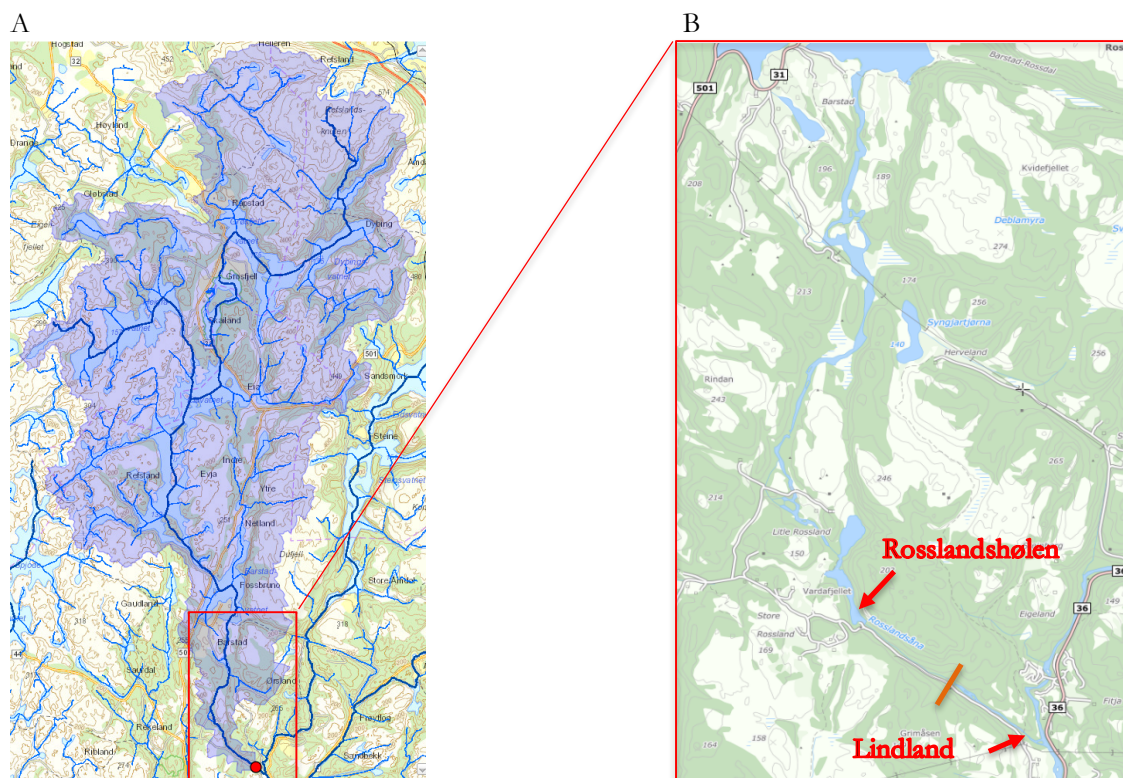
2.4 Rosslandsåna

2.4.1 Hydrologi Rosslandsåna

Rosslandsåna er den største av tilførselselvene til Sokno. Nedbørfeltet er 106 km². Vassdraget er sterkt regulert gjennom Lindeland kraftverk, som produserer ca. 36 GWt/år. Slukeevnen i kraftverket er ca. 10 m³/s. Inntaket til kraftverket er ved Rosslandshølen, 1,4 km fra utløpet mot Bakkaåna, og utslaget ledes via en tunnel direkte ut i Bakkaåna. Fisk kan vandre inn i tunnelutløpet av kraftverket, men oppvandringshinderet er definert i det naturlige elveleiet. Vassdraget kjennetegnes ved at relativt store deler av nedbørfeltet består av innsjøer (17 %). Eiivatnet, Heigravatnet og Kverven er reguleringsmagasiner for kraftverket og innsjøene kan reguleres med hhv 1,5, 6,0 og 3,0 meter. Flomutviklingene er derfor noe dempet, og 5-årsflommer er beregnet til ca. 10 ganger middelvannføringen (NVE-data). Det er pålagt minstevannføring i Rosslandsåna fra inntaksmagasinet i Rosslandshølen på 100 l/sek i perioden 15.04-15.09. Dersom tilsiget er mindre enn den angitte minstevannføringen, slippes hele tilsiget. Laks kan vandre ca. 600 m opp i det naturlige elveløpet, men oppvandring er minimal. En trapp i dammen ved Rosslandshølen skal sikre vandring av ål forbi inntaksdammen. Hydrologiske data gjeldene for utløpet mot Bakkaåna er gjengitt i **Tabell 3**. Kart i **Figur 13**

Tabell 3. Hydrologiske data for sidefelt Rosslandsåna av Sokno.

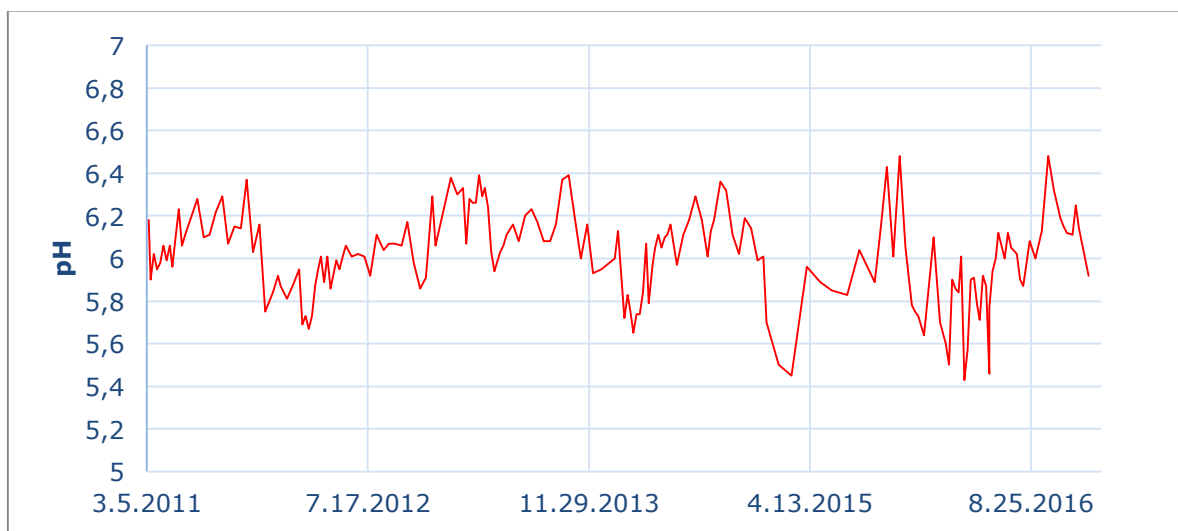
	Ved utløp i Bakkaåna
Nedbørfelt (km ²)	106,2
Del av totalfelt, Sokno %	35
Middelavrenning (l/s/km ²)	52,6
Middelvannføring (m ³ /s)	5,69
5-års flom (m ³ /s)	54,8



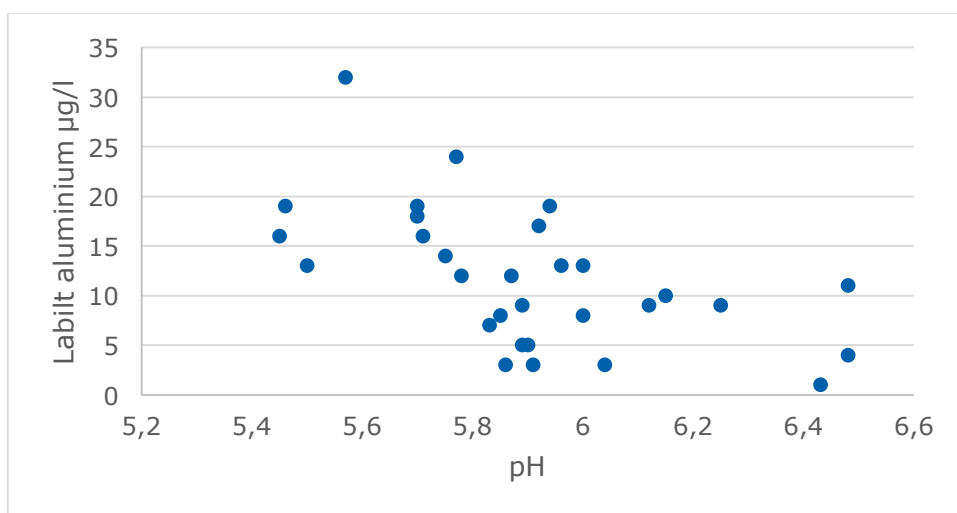
Figur 13. A: Barstadvassdraget med nedbørfelt. B: Forstørret nedre del med Rosslandsåna. Oppvandringshinderet er merket med brunt. Kartkilder NVE og Norkart.

2.4.2 Vannkvalitet Rosslandsåna

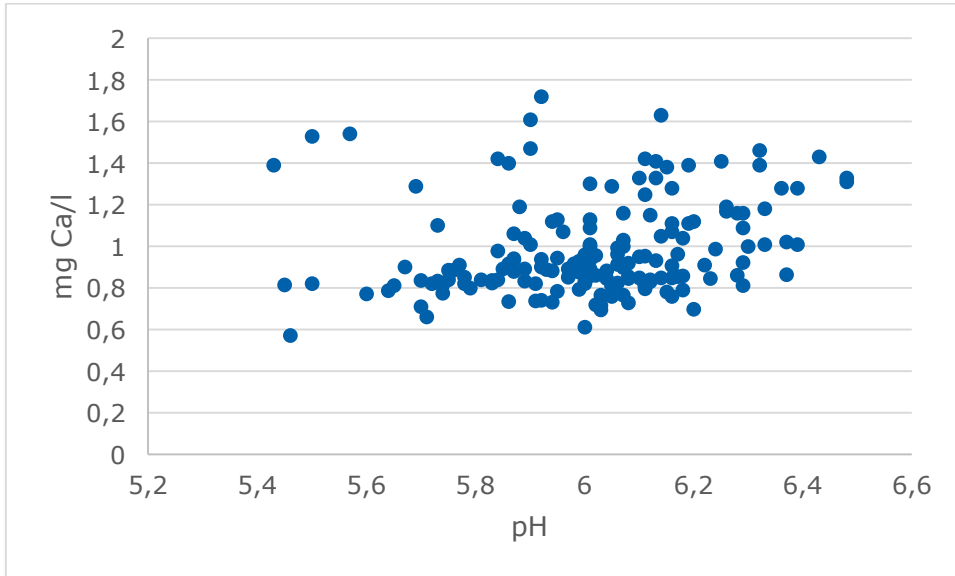
Rosslandsåna skiller seg ikke geologisk fra resten av nedbørfeltet til Sokno. Vannkvaliteten er derfor forsuringsutsatt. Vannkvaliteten er preget av lange perioder med meget lav pH (**Figur 14**). LAl-konsentrasjonen var 15-30 µg/l i 30 % av prøvene. Dette er klassifisert som «moderat til dårlig» og «dårlig til svært dårlig» i vannforskriften. **Figur 15** viser at LAl reduseres til ≤ 10 µg/l når pH >6. Ca varierer fra 0,57 til 1,72 mg/l med et unntak der konsentrasjonen var 4,5 mg/l (21.01.2013). Dette kan skyldes påvirkning fra lokal kalktilførsel utenom det ordinære innsjøkalkingsprogrammet eller jordbrukspåvirkning. Det er marginal sammenheng mellom pH- og Ca-konsentrasjonen (**Figur 16**). Andre faktorer enn Ca påvirker pH. Marin påvirkning er sannsynlig, da dette er påvist i Ljosevatnet (ref kapittel 2.2.2). LAl reduseres ved økende konduktivitet (**Figur 17**).



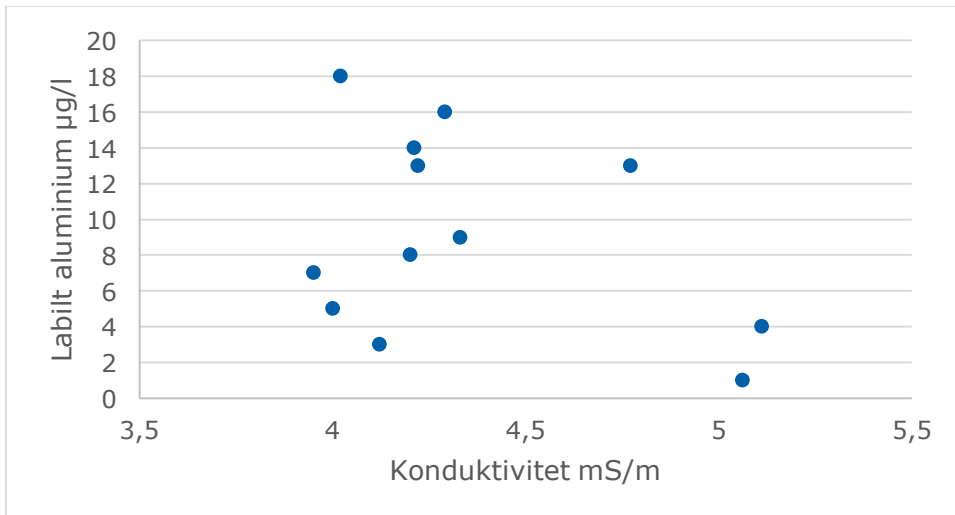
Figur 14. pH i Rosslandsåna ved Lindland registrert gjennom rutinemessige prøvetaking gjennom 5 år fra 2011.



Figur 15. Sammenheng mellom LAl og pH. LAl-konsentrasjoner definert som god tilstand opptrer ved pH > 6.



Figur 16. Korrelasjonen mellom kalsium og pH i Rosslandsåna.



Figur 17. Korrelasjonen mellom konduktivitet og LAI. Små økninger i konduktivitet sammenfaller med reduserte LAI-konsentrasjoner. Materialet er likevel noe mangelfullt til å konstatere graden av sammenheng.

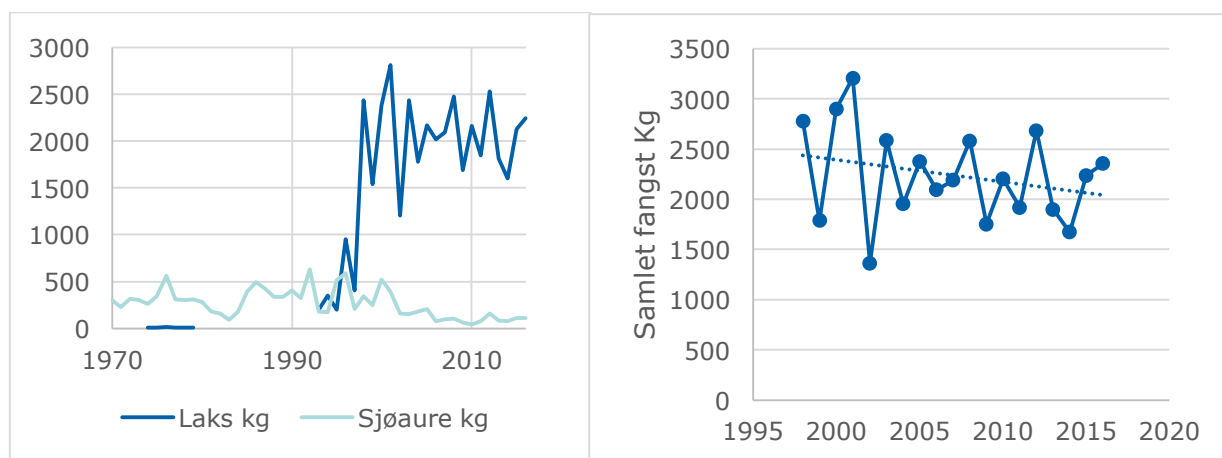
3 Kalkingsmål

Sokndalsvassdraget er lokalisert syd i Rogaland, og er et av de sydligste vassdragene i Norge. Vassdraget var fra gammelt av en god lakseelv. Nedbørfeltet består nye av bart fjell (44 %) som for det meste består av bergarter motstandsdyktige mot kjemisk forvitring. Områdene er derfor sårbare for forsuringseffekter fra langtransporterte forurensinger. Omfattende skader er påført vassdraget som følge av forsuring. Kalking av Sokndalsvassdraget ble derfor iverksatt for å bøte på skader forårsaket av sur nedbør og de første enkeltindivider av lakseyngelen ble observert i 1990, tre år etter kalkingsstart (Enge og Persson 1991).

3.1 Biologiske mål

Målet med kalkingsvirksomheten er først og fremst å øke produksjonen av anadrom laksefisk i vassdraget. Laksefisket ble dramatisk redusert allerede for 100 år siden (**Figur 1**). Årsakssammenhengene til dette tidlige bortfallet av laksebestanden er uklar, men viser tydelig hvor sårbart vassdraget er fra naturens side. Målet med kalkingen er å etablere en livskraftig og stabil laksebestand med gode oppvekstmuligheter i alle deler av Sokno med tilførselsgrener. Siden de første store laksefangstene ble registrert (1998) har fangstene svinget fra 1200 til 2800 kg laks og fordelingen mellom sjøaure og laks har gått i sjøaurens disfavør (**Figur 18A**). Det er ingen økning i samlede fangster gjennom disse årene, snarere en reduksjon på grunn av reduserte sjøaurefangster (**Figur 18B**).

Det er observert elveperlemuslinger i Sokno (Jon Kapstad pers. med.) Dette er en forsuringfølsom art som også vil nyte godt av stabil god vannkvalitet, uten at dette er et uttalt mål for kalkingen.

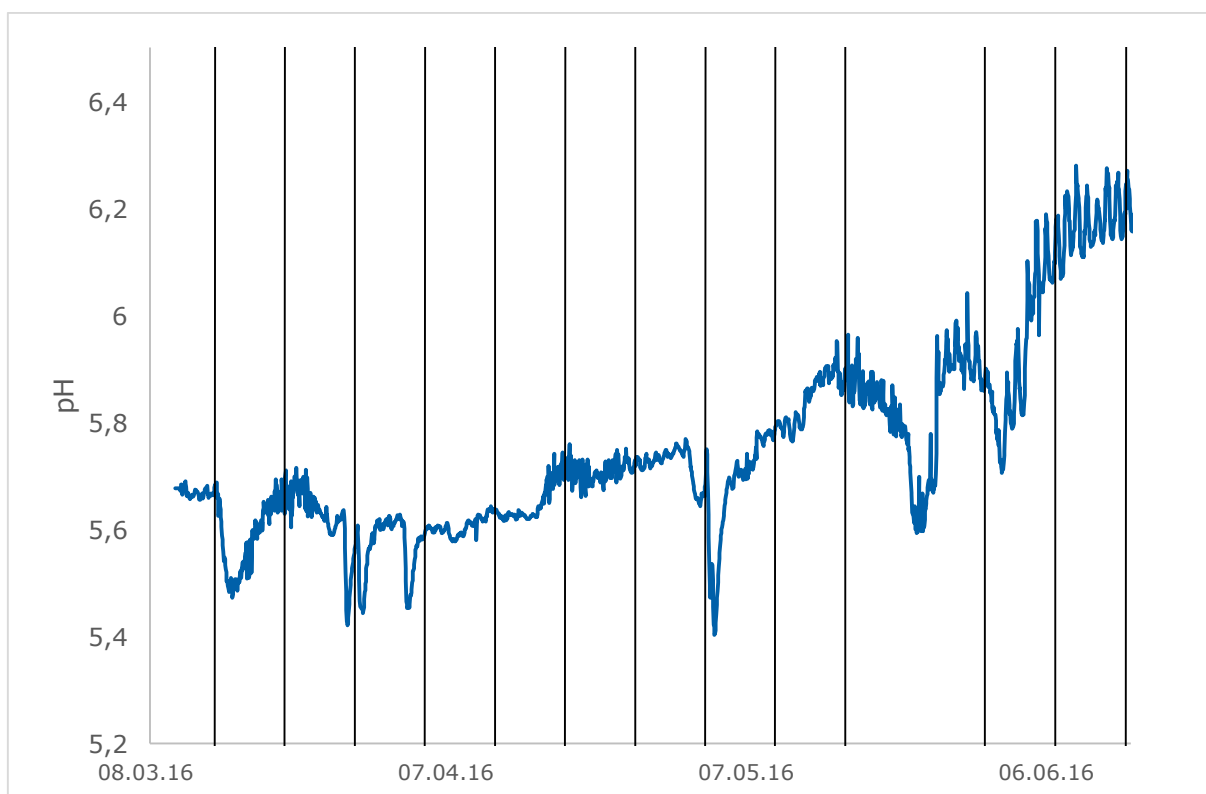


Figur 18. A: Laks og sjøaurefangst i Sokndalsvassdraget i tidsrommet 1970 – 2016. B: Samlet fangst i tidsrommet 1998 – 2016.

3.2 Vannkjemiske mål

Vannkjemiske mål i forhold til kalking for laks handler mest om reduksjon av giftige former av positivt ladet monomert aluminium. LAl-konsentrasjonen påvirkes av flere forhold, der blant annet ANC (acid neutralisation capacity) spiller en viktig rolle. Anionene tilføres av sulfat (SO_4), men også i slike kystnære vassdrag mye av klorid (Cl). Konsentrasjonen av kationene Ca og Mg, men også i mindre grad Na og K er nøytraliserende faktorer som påvirker LAl. Ca-konsentrasjonen øker ved kalking, men Sokndalsvassdraget tilføres også Mg og Na gjennom sjøsalter. TOC (total organic carbon) er en faktor som også påvirker LAl-konsentrasjonen. I Sokndalsvassdraget er TOC lav, og Ljosevatnet har normalt konsentrasjoner < 1 mg/l.

Vanndirektivets veileder i vannforskriften (02:2013) setter grenser for LAl-konsentrasjonen i forhold til laks. I TOC-fattig elv er denne grensen $\leq 10 \mu\text{g/l}$ for å tilfredsstille kravene til god sjøoverlevelse av smolt. Analysene viser at i Litlå, Ålgårdselva og Rosslandsåna er LAl-konsentrasjonene henholdsvis 34 %, 29 % og 53 %, over denne grensen på prøvetakingsdatoene. I tillegg til dette oppstår blandsone-effekter. Aluminiumskjemien påvirkes når surt ukalket og kalket vann blandes. Det kjemiske reaksjonsmønsteret som da oppstår øker giftigheten i en overgangsfase. Dette er spesielt viktig her hvor det er fire nokså like store vannføringer som renner sammen på ulike steder i nedbørfeltet. Det kjemiske analyseprogrammet forutsetter at prøver blir tatt ved avtalte tidspunkter. Akutte kortvarige episoder er derfor vanskelig å fange opp. Kontinuerlige pH-kurver fra Bakkaåna avslørte 6 forsuringsepisoder i løpet av 3 måneder våren 2016. Overvåkingsprogrammets 13 analyseserier fanget ikke opp et eneste av disse tilfellene (**Figur 19**). Tilstanden kan derfor periodevis være vesentlig dårligere enn analysene fra overvåkingsprogrammene tilsier.



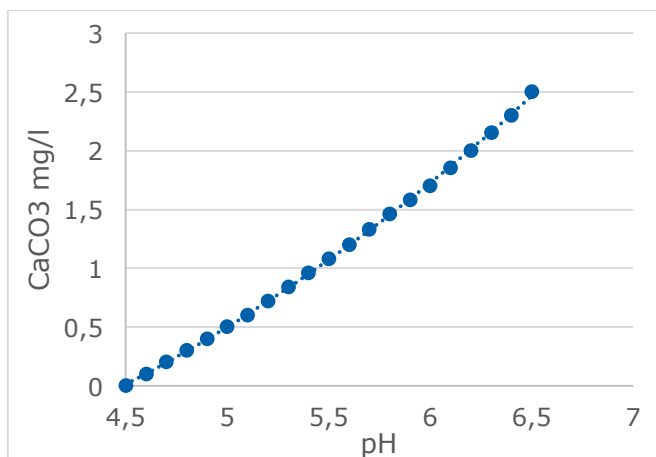
Figur 19. Automatisk pH-overvåking i Bakkaåna og prøvetakingsdatoer i overvåkingsprogrammet (Effektkontrollen av kalkingtiltak) markert med vertikale linjer. Figuren illustrerer at prøvetakingsdatoene i overvåkingsprogrammet ikke fanger opp forsuringdroppene.

4 Kalkingsstrategi

Det følgende er en vurdering av eksisterende kalkingtiltak i forhold til en mulig optimalisering ved alternative kalkingsstrategier. Hvert av delfeltene som rapporten omfatter har fått sin egen vurdering. Dette er de lakseførende strekningene i Litlå, Myssavassdraget (Ålgårdselva), Barstadvassdraget (Rosslandsåna), Bakkåna nedstrøms samløpet med Rosslandsåna og hovedelva (Sokno). Eksisterende kalkingsstrategi i alle deler av vassdraget som blir kalket består av innsjøkalking én gang i året. Generelt fører denne formen for kalking til varierende effekt på utløpselver/bekker fra kalkete innsjøer. Årsaken er

at kalket vann blir innlagret i vannmassene som følge av temperaturstratifikasjon. Kaldt ukalket overflatevann tilført fra nedbørfeltene om vinteren etter kalking vil dermed renne av uten at det kalkete vannet i innsjøen er representert i elvevannet. Denne effekten er større jo mer vinterlig forholdene er. Dersom det er kontinuerlig omrøring i vannmassene gjennom vinterhalvåret, utblir denne effekten, og man oppnår en bedre effekt av kalkingen. Dersom kalkingsstrategien baseres på dosereralking i rennende vann, øker kontrollen betydelig med kalkdosene som blir tilført. Imidlertid er det også usikkerhetsmomenter ved denne formen for kalking. Dosereralking er en metode som setter store krav til driftskontinuitet, spesielt dersom kalkingen foregår rett oppstrøms vandringshinderet for anadrom laksefisk uten innsjøer eller loner med innblandingskapasitet mellom oppvandringshinderet og doseringsanlegget. Utjevning over tid av tilførte kalkdoser er da ikke mulig. Dosering kan bygge på to grunnprinsipper, enten fast dose i forhold til vannføring eller benyttelse av variabel dose med et styringssignal basert på en vannkvalitetsparameter. Det er ikke mulig å benytte aluminium ($\leq 10 \mu\text{g LAI/l}$) som operativ parameter for styring av et doseringsanlegg. pH benyttes i de fleste tilfeller som styringsparameter, men også konduktivitet er benyttet i Bjordal, Ryfylke (Vedlegg: Resyme fra innlegg i Nordisk Kalkingsseminar 2015.). Ved pH-styring blir kalkdoseringen prosess-styrt, der tilbakemeldte verdier etter dosering danner grunnlaget for eventuelle justeringer i dosene. Konduktivitet som styringsparameter måles derimot alltid oppstrøms doseringspunktet. I hvilken grad konduktivitet er en god støtteparameter, avhenger av nedbørfeltets egenskaper samt sjøsaltpåvirkningen.

Grunnet for få observasjoner fra Sokndalsvassdraget med pH, konduktivitet og LAI i forsureningsepisoder, samt manglende av prøvetakingstidspunkter under flom (**Figur 19**), er valg av parameter til prosess-styrt dosering ikke endelig anbefalt, men kalkingsmengder er beregnet på grunnlag av pH-mål. Disse målene er fra tidligere satt til pH 6 (Tiltaksovervåkingen). Imidlertid viser eksisterende data i deler av vassdraget at god vannkvalitet for laks ikke oppnås før pH $>6,4$. Det er viktig å oppnå dette, spesielt i smoltifiseringsperioden. Derfor settes målet da til pH 6,4 i denne rapportens kalkberegninger. Vannmengdene som skal doseres er vektet til 40 % i smoltifisering og smoltutvandring (pH-mål 6,4) og 60 % for resten av året (pH-mål 6,0). For beregning av doseringsbehovet er det benyttet en generell titreringsstabell utarbeidet av NIVA for vannkvaliteter med totalt organisk innhold (TOC) $< 3 \text{ mg/l}$. Sokndalsvassdraget har generelt $\text{TOC} \leq 1 \text{ mg/l}$. Da TOC er meget lav, er det mulig at denne titeringskurven ikke er optimal. I påvente av titeringskurver som gjenspeiler reaksjonsmønstret mellom CaCO_3 tilsetning og pH-økning ved lav TOC, benyttes kurven gjengitt i **Figur 20**. Det følgende er en gjennomgang av eksisterende innsjøkalking og kalkingsbehovet ved dosereralking i hvert sideløp av Sokno.



Figur 20. Titreringskurve for CaCO_3 mot pH ved moderat TOC-konsentrasjon ($< 3 \text{ mg TOC/l}$).

4.1 Litlå

Nedbørfeltet er 58 km² og drenerer fra østlige områder av totalfeltet. 57 % av nedbørfeltet består av bart fjell. Høyeste punkt i nedbørfeltet er ca. 550 m. Oppvandringshinderet er i Litlå ved veibrua nedstrøms Refsvatnet. Nedbørfeltet er vist i **Figur 3**.

4.1.1 Eksisterende kalkingsstrategi i Guddal-/Mydlandsvassdraget

Vassdragsavsnittet kalkes med 147 tonn kalksteinsmel som innsjøkalking hvert år. Dette er fordelt på innsjøene gjengitt i **Tabell 4**. Samlete kalkingskostnader var i 2016 kr.: 323.000,- (ekskl. mva.).

Tabell 4. Fordeling av innsjøkalkingen i Guddal/Mydlandsvassdraget

Lokalitetsnavn	Tonn
Gullvatnet	25
I. Oddrevatnet	5
Krokevatnet Orrestad	12
Langevatnet/Midlivatnet	3
Mydlandsvatnet	100
Snilstjørna Mydland	2
Totalt Litlå	147

Tidligere ble også Guddalsvatn kalket, men dette opphørte, da kalking ble uønsket av grunneier(e). Med eksisterende kalkingsstrategi blir nesten all kalk (142 tonn) tilført relativt høyt oppe i vassdraget. Samlet effekt av dette tiltaket oppnås ved utløpet av bekken fra Sniltjørna mot Mydlandsåna. Vannføringen her representerer kun 30 % av nedbørfeltet. Ca-konsentrasjonene er moderate i alle prøver fra Litlå (0,9-1,9 mg Ca/l. Dette må tilskrives store tilførsler av ukalket vann fra nedbørfeltene nedstrøms Mydlandsvatnet. De kalkete innsjøene ligger i 233-334 m.o.h. Sannsynligheten for langvarig islegging om vinteren er derfor stor (isen i området lå til 1. april i 350 m høyde i 2017). Presmolt i vassdraget har høye krav til vannkvalitet også tidlig på vinteren (Kroglund mfl. 2012, Nilsen mfl.2013). Kalkingeffekten kan derfor være suboptimal i en periode under smoltifiseringen der det settes store krav til vannkvaliteten. LAI-konsentrasjoner > 20 µg/l i **Figur 6A** er alle vårprøver.

4.1.2 Alternative kalkingsstrategier

Kalkmengdene som må benyttes avhenger av annen kalking i området. Dersom all annen kalking opphører, vil vannkvaliteten over tid tilbakeføres til den naturlige tilstanden. Det foreligger ikke innsjødata for alle kalkete innsjøer i nedbørfeltet. Det er derfor benyttet en generell typisk dybdekurve som innsjøprofil ($\text{areal} = 0,17 \cdot \text{dyp}^2 + 37,3 \cdot \text{dyp} + 2089$) for totalt kalket innsjøareal. Middeldyp er beregnet til 37 m for alt kalket areal. Da blir teoretisk oppholdstid 0,4 år beregnet for utløpet av Mydlandsvatnet. Fortynningen medfører at effekten raskt vil avta (**Figur 21**), imidlertid vil tilbakeholdelse av kalk som følge av temperatursjiktning i innsjøene forlenge denne tiden. Alternativer til innsjøkalking er dosererkalking. En kalkingsstrategi med denne kalkingsformen muliggjør tilføring av nøyaktige doser i forhold til enhver tids behov. Det er skissert 3 alternativer alternative løsninger:

4.1.2.1 Dosererkalking nær oppvandringshinderet.

Doseringsanlegget må plasseres i en avstand til oppvandringshinderet som gir tilstrekkelig tid for avgiftning av LAI ved pH-økning. Faktorer som også påvirker disse prosessene er Ca-konsentrasjoner og temperatur (Teien og Kroglund 2009). En transporttid for det kalkede vannet på ca. 15 minutter før vandringshinderet ansees som tilstrekkelig selv om reaksjonsforløpet på langt nær er ferdig. En plassering ved utløpet av Veisdalsvatnet foreslås. Innblandingsforholdene er meget gode med god turbulens en strekning av elva på ca. 700 m nedstrøms doseringspunktet. Det foreslås benyttet kategori 3 kalk eller

finere. Avstanden til oppvandringshinderet er ca. 2,9 km. Noe som sikrer god kjemisk reaksjonstid. Ved eventuell utvidelse av lakseførende strekning (ref 2.2.1), også gjennom tiltak mellom Refsvatnet og Veisdalsvatnet, vil de nærmeste områdene nær doseringsanlegget være mindre optimale for laks. Utløpet av Mydlandsåna mot Veisdalsvatnet vil fortsatt være en effektiv hindring for oppvandrede laks. Foreslått plassering vil derfor være nær optimal. Dersom det skal benyttes nettspenning til drift av anlegget, må det etableres ny tilførsel fra nærmeste nettstrømpunkt, Foreli, en avstand på ca. 1,5 km.

Utløpet av Refsvatnet er også en mulig plassering av doseringsanlegget. Avstanden er da ca. 550 m til nettspenning. Potensialet ved eventuell økt lakseførende strekning blir med denne plasseringen ikke utnyttet.

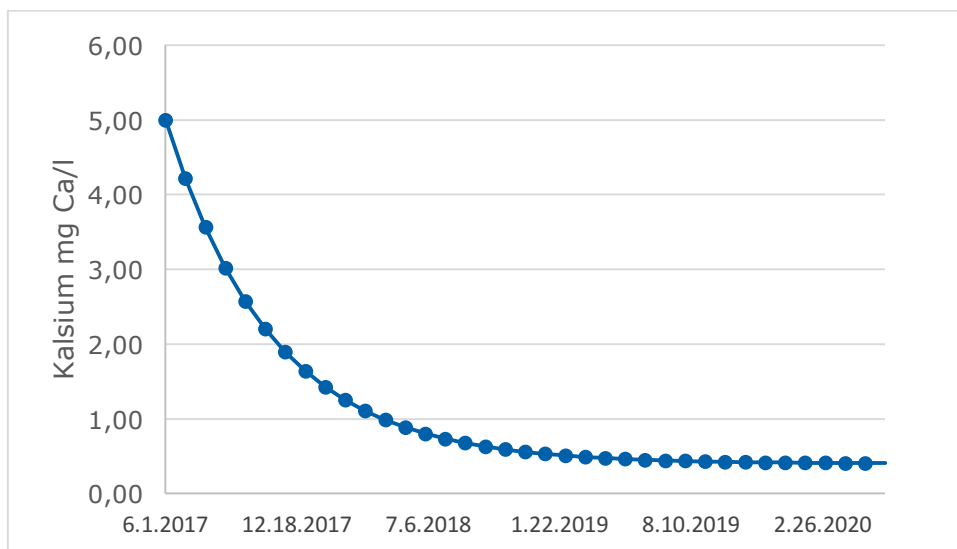
Når det ikke lenger er noen effekt av tidligere innsjøkalking, vil kalkbehovet som CaCO_3 være 220 tonn/år, forutsatt 75 % oppløsning, og organisk innhold som beskrevet innledningsvis i kap. 4. Teoretiske doser er 3,3 mg CaCO_3 /l til pH 6,4 og 2,3 mg CaCO_3 /l til pH 6,0. Grunnet mangelfulle opplysninger om pH og konduktivitet under forsuringsepisoder i eksisterende analysemateriale, er det ikke tatt endelig stilling til hvilke styringsparametere som bør legges til grunn for doseringen.

4.1.2.2 Dosering ved utløpet av Mydlandsvatnet

Strategisk sett er dette den minst optimale løsningen. Doseringsanlegget blir da lokalisert på et punkt der ca. 70 % av vannet tilkommer nedstrøms doseringspunktet. Doseringen må dermed økes betydelig for å oppnå ønsket effekt i Litlå. Det er marginale innblandingsforhold i elva på stedet. Etter ca. 140 m med noe turbulens i elva, følger en nesten 2 km lang strekning med rolig elv (**Figur 22**). Grunnet dårlige innblandingsforhold foreslås det benyttet kategori 2 kalk eller finere. Anlegget kan plasseres i nærheten av nettspenning. Det er beregnet et årlig kalkingsbehov på 250 tonn CaCO_3 (70 % oppløsning). Teoretiske doser er 9,4 mg CaCO_3 /l til pH 6,4 og 6,4 mg CaCO_3 /l til pH 6,0. Aktive prosess-signaler (pH eller konduktivitet) vil kunne bidra til økonomisering av kalkdoseringen, men tid fra endret dosering til effekt i Litlå (lakseførende del av elva) vil være for lang til at full effekt oppnås under forsuringsepisoder. Erfaring viser at ingen effekt oppnås i første del av episodene, mens siste del vil kalkdoseres til ønsket nivå (Høgberget og Håvardstun 2005).

4.1.2.3 Dosering nedstrøms jordene på Mydland

Nedstrøms jordene på Mydland renner Mydlandsåna raskere, og det oppstår mer turbulens i vannet. En plassering der vil bedre innblandingsforholdene. Overdoseringsfaktoren vil også være lavere, noe som bedrer forutsetningene for god oppløsning. Det er 0,5 km til nærmeste nettstrøm. Årlig kalkingsbehov vil være 230 tonn CaCO_3 (75 % oppløsning). Teoretiske doser i dette området vil være 6,3 mg CaCO_3 /l til pH 6,4 og 4,3 mg CaCO_3 /l til pH 6,0. Aktive prosess-signaler vil også her kunne bidra til økonomisering av kalkdoseringen, men tiden fra endret dosering til effekt i Litlå vil fortsatt være for lang til at full effekt oppnås i hele forsuringsepisodene, selv om effekten vil være bedre enn ved utløpet av Mydlandsvatnet.



Figur 21. Teoretisk reduksjon i kalsium (Ca) ved utløpet av Mydlandsvatnet etter kalking dersom ingen rekalking gjennomføres. (Dillon og Scheider 1982)

4.2 Ålgårdselva

Nedbørfeltet er 51 km² og drenerer fra nordøstlige områder av totalfeltet. 43 % av nedbørfeltet består av bart fjell. Høysete punkt i nedbørfeltet er 620 m. Oppvandringshindret er nedstrøms Orrestadvatnet.

4.2.1 Eksisterende kalkingsstrategi i Myssavassdraget.

Vassdragsavsnittet kalkes med 209 tonn kalksteinsmel som innsjøkalking hvert år. Dette er fordelt på innsjøene gjengitt i **Tabell 5**. Samlete kalkingskostnader var i 2016 kr.: 444.000,- (ekskl. mva.).

Tabell 5. Fordeling av innsjøkalkingen i Myssavassdraget.

Lokalitetsnavn	Tonn
Ljosevatnet Mysse	5
Matbrunn	20
Orrestadvatnet	175
Stivla	8
Tjødno Solli	1
Totalt Ålgårdselva	209

Ljosevatnet er den nederste kalkete innsjøen i Myssavassdraget. Kalk fra innsjøkalking blir derfor ikke tilført vassdraget nedstrøms Myssavatnet, og samlet effekt av tiltaket oppnås ved utløpet av dette. Vannføringen her representerer 65 % av nedbørfeltet. Ca-konsentrasjonen i prøvene fra Ålgårdsaelva varierer i området 0,7-7,6 mg Ca/l. Den store variasjonen har sammenheng med at relativt lite vann tilføres nedstrøms kalking slik at konsentrasjonene blir høye rett etter kalking. De kalkete innsjøene ligger i 161-388 m.o.h. Sannsynligheten for langvarig islegging om vinteren er derfor stor. Kaldt ukalket vann som akkumuleres oppunder isen dominerer da avrenningen fra innsjøene. Presmolt i vassdraget har høye krav til vannkvalitet også tidlig på vinteren (Kroglund mfl. 2012, Nilsen mfl. 2013). Kalkingseffekten kan derfor være for lav i en periode under smoltifiseringen. LAI-konsentrasjonen er imidlertid lav i de fleste prøver. Høyeste målte verdi er 14 µg LAI/l. Dette indikerer god effekt av kalkingen. Manglende prøvetaking foretatt i sure episoder under flom utelukker imidlertid ikke at høye LAI-konsentrasjoner kan forekomme (**Figur 23**)

4.2.2 Alternativ kalkingsstrategi

Innsjøkalkingen i Myssavassdraget kan erstattes av dosereralking. Det foreslås bare ett alternativ til plassering av et slikt doseringsanlegg.

4.2.2.1 Dosering i utløpet av Orrestadvatnet

Ved dosering fra et anlegg i utløpet av Orrestadvatnet vil 40 % av vannføringen tilføres nedstrøms anlegget. Et fremtidig reguleringsregime i Orrestadvatnet ved etablering/drift av Fløytlog kraftverk vil påvirke den naturlige avrenningen, og dermed dosene, men normalt vil relativt lave doser kunne doseres fra anlegget, og likevel gi akseptabel effekt (4,2 mg CaCO₃/l til pH 6,4 og, 2,9 mg CaCO₃/l til pH 6,0). Anlegget må plasseres nær oppvandringshinderet. Det er derfor viktig at de kjemiske prosessene ved kalktilsetningen skjer så fort som mulig for ikke å redusere vannkvaliteten for laks (**Figur 22**). Det foreslås kategori 2 kalk (Ø = 50 % < 9 µm) eller finere. Teoretisk kalkbehov når effekt av tidligere innsjøkalking opphører er 210 tonn CaCO₃/år. Et slikt doseringsanlegg bør utstyres med settpunktregulering. Dette vil bidra til mer nøyaktig dosering, og dermed økonomisering med kalktilsetningen. Det er usikkert hvilken type sensor som bør benyttes til betjening av prosess-signal for doseregulering (**Figur 12**). Automatisk logging av pH og konduktivitet med vannstand som støtteparameter gir bedre grunnlag for valg av prosess-signal. Automatisk prøvetaking i flomsituasjoner bør også etableres på en slik målestasjon.

4.3 Rosslandsåna

Nedbørfeltet er 106 km² og drenerer fra østlige områder av totalfeltet. 46 % av nedbørfeltet består av bart fjell. Høyeste punkt i nedbørfeltet er 574 m. Oppvandringshindret er ved Lindland nær utløpet mot Bakkaåna. Dagens reguleringsregime og dårlige oppvandringsmuligheter for laks (ref. 2.4.1) gjør kalking for laks i Rosslandsåna lite nødvendig. Imidlertid bidrar den store vannføringen vesentlig til vannkvaliteten i Bakkaåna etter samløpet med denne. Det er vedtatt å bygge et doseringsanlegg for laks i Bakkaåna (Hegseth 2017). Når surt vann fra Rosslandsåna renner sammen med den gode vannkvaliteten i Bakkaåna, vil dette føre til blandsonereffekter i områdene nedstrøms samløpet. I dette området er det observert den tetteste gytebestanden av laks i hele Sokndalsvassdraget (Skoglund mfl. 2016).

4.3.1 Eksisterende kalkingsstrategi i Barstadvassdraget

Vassdraget er tidligere innsjøkalket (siste kalking i 2005). Ingen kalking for laks gjennomføres for tiden i dette vassdragsavsnittet. Det er heller ikke store innsjøkalkingsprosjekter, men minimale mengder kalk tilføres ved at to innsjøer øverst i nedbørfeltet, Hommatjørna og Store Holmavatnet, blir kalket med henholdsvis 2 og 1 tonn kalksteinsmel hvert år. Vannkvaliteten i Rosslandsåna er derfor nærmest uberørt av denne kalkingen.

4.3.2 Alternativ kalkingsstrategi med bruk av doserer

Alternativ kalkingsstrategi oppgraderer Rosslandsåna som viktig i forhold til vannkvaliteten for laks i Bakkaåna i områdene fra utløpet av Rosslandsåna til utløpet av Ålgårdselva i Bakkaåna. Det er tidligere anbefalt plassering av et doseringsanlegg ved Little Rossland nær samløpet med Bakkaåna (Høgberget 2016). Teoretisk kalkbehov er 390 tonn CaCO₃/år. Anlegget bør utstyres med settpunktregulering av to årsaker:

- Sikring av at vannkvaliteten blir stabilt god ved samløpet mot Bakkaåna.
- Bidrar sterkt til økonomisering med kalkdosene og dermed også det årlige kalkbehovet.

Det er usikkert hvilken type sensor som bør benyttes til betjening av prosess-signal for doseregulering. Imidlertid synes det som om pH kan være et brukbart alternativ (**Figur 12**).



Figur 22. *Venstre:* Rolig parti av Mydlandsåna nedstrøms utløpet av Mydlandsvatnet. *Midten:* Området nedstrøms Mydland. Rolige strømningsforhold, men økende vannstrøm skimtes der Mydlandsjordene slutter. *Høyre:* Utsyn over områdene umiddelbart nedstrøms oppvandringshinderet i Myssavassdraget.

5 Kalkingskostnader

Det er gjort beregninger på kostnadsfordelingen ved etablering av kalkdoseringsanlegg i Sokndalsvassdraget. Disse tar utgangspunkt i en pris for kalk på 900 kr pr. tonn. Videre er kostnaden ved å drifte anleggene beregnet til 200000 kr/år for et lite anlegg, og 250000 kr/år for et stort anlegg. **Tabell 6** viser hvordan fordeling av driftskostnadene blir ved de ulike alternativene. Etableringskostnadene av anleggene kommer i tillegg. Det antas at små anlegg kan etableres ved alle alternative lokaliteter. Etableringskostnadene for slike anlegg er ca. 1,5 mill. kr. Kapasiteten på beholdningstanken er imidlertid den faktoren som mest påvirker valget av anleggstype. Et stort anlegg koster ca. 3,5 mill. kr.

Tabell 6. Kalkforbruk og kostnadsfordeling ved de ulike kalkingsalternativene. Oppgitt innsjøkalking er det faktiske forbruket og utgiftene i 2016. driftsutgiftene utenom kalk ved doserererkalking er inkludert. Alle priser er ekskl. mva.

Sted	Innsjø- kalking/år Tonn	Innsjø- kalking/år kr	Doserer- kalking/år Tonn	Doserer- kalking/år kr
Mydland/Guddalsvassdraget innsjøkalking	147	323000		
Mydland/Guddalsvassdraget nær oppvandringshinderet			220	398000
Mydland/Guddalsvassdraget ved utløpet av Mydlandsvatnet			250	425000
Mydland/Guddalsvassdraget nedstrøms jordene ved Mydland			230	407000
Myssavassdraget	209	444000	210	389000
Barstadvassdraget			390	551000

6 anbefalinger

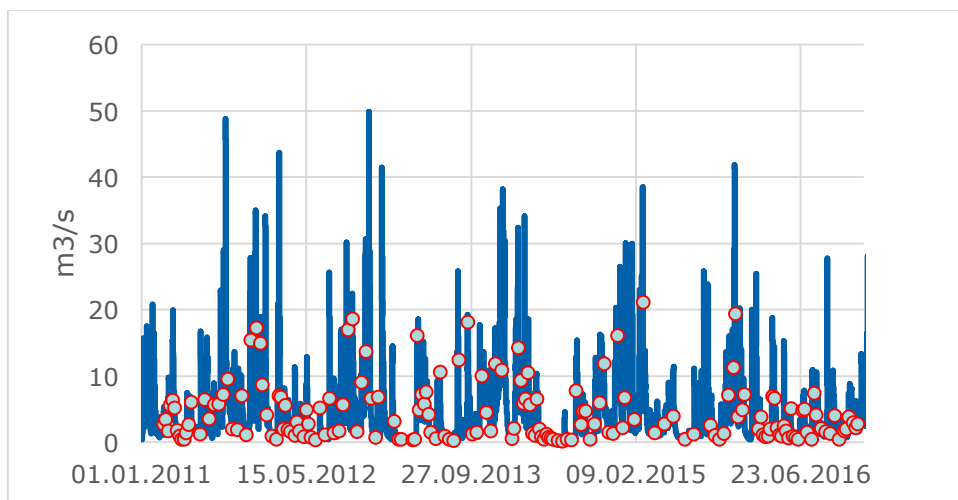
6.1 anbefalinger knyttet til kalkingsstrategi

Følgende anbefalinger gis i prioritert rekkefølge:

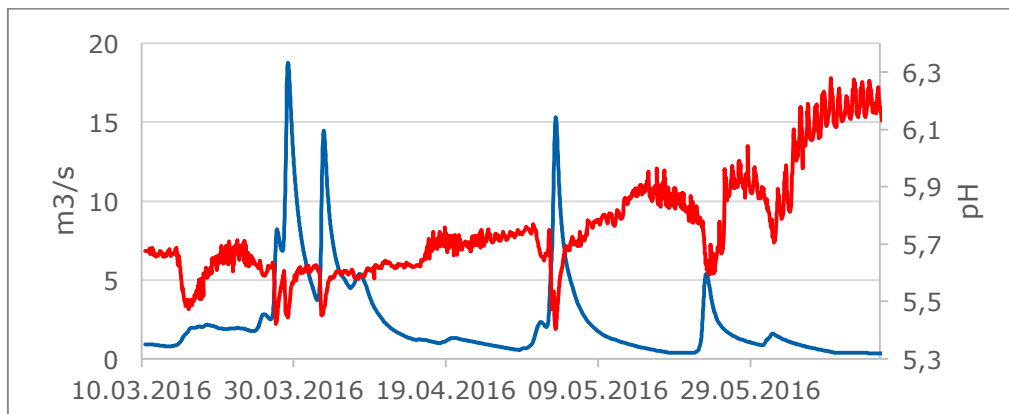
- Kalking av Rosslandsåna for sikring mot forsuring og blandsoneeffekter i Bakkaåna i områdene fra samløpet med Bakkaåna ved Lindland til samløpet med Ålgårdselva.
- Kalking med kalkdoserer i utløpet av Veisdalsvatnet for sikring av vannkvaliteten for laks i Litlå.

Vannkvaliteten for laks i Sokno er god i kun 50 % av kjemiprøvene (3 µg LAI/l - 22 µg LAI/l). Tiltakene som er foreslått og eksisterende innsjøkalking eller alternativ doseringskalking i Myssavassdraget sammen med planlagt doseringsanlegget i Bakkaåna utgjør tiltak i 95 % av Soknos nedbørfelt. Effekten av disse tiltakene vil derfor være en god løsning for hele Sokndalsvassdraget.

Basert på foreliggende data er det vanskelig å gi en klar anbefaling om dosererkalking i Ålgårdselva (Myssavassdraget). Eksisterende datagrunnlag tilsier at endret kalkingsstrategi ikke er nødvendig, da god vannkvalitet for laks ($LAI \leq 10 \mu\text{g/l}$) er observert i over 70 % av prøvene. Imidlertid er det usikkerhet omkring hvorvidt datamaterialet har fanget opp effekten av eventuelle forsuringsepisoder. **Figur 23** viser hvordan prøvetakingsprogrammet unngår å treffe de store flomsituasjonene. Bare 5 % av prøvene ble tatt ved flom $> 15 \text{ m}^3/\text{s}$. Vannkvaliteten under flom er derfor ikke godt dokumentert. Eventuelle forsuringseffekter oppstår vanligvis under flom. Dette er også dokumentert i Sokndalsvassdraget (**Figur 24**). Graden av forsuring under flom i Ålgårdselva er imidlertid ikke kjent.



Figur 23. Vannføringen i Litlå (NVE målestasjon Refsvatn) og prøvetakingstidspunkter i nabovassdraget, Ålgårdselva i Myssavassdraget. Prøvetakingstidspunktene ligger som avmerkinger på vannføringskurven.



Figur 24. Vannføring i Litlå (blå) og pH i tilstøtende vassdrag Bakkaåna (rød). pH reduseres ved kraftig flom.

6.2 Ytterligere undersøkelser

Det er manglende kunnskapsstatus vedrørende to forhold:

- Det foreligger ikke tilstrekkelig data og kunnskap til å kunne ta avgjørelsen om det bør etableres doserer i Ålgårdselva (Myssavassdraget).
- Parametervalg ved settpunktsregulering av anbefalte anlegg i Litlå (Mydland/Guddalsvassdraget) og Roslandsåna (Barstadvassdraget) er usikker, da sammenhengen mellom LAl, pH og konduktivitet på disse lokalitetene ikke er tilstrekkelig klarlagt i tilgjengelige data.

Det anbefales å gjennomføre ytterligere undersøkelser i alle tre sidevassdragene før det tas endelig stilling til disse forholdene. Det bør etableres automatisk overvåking kombinert med kjemisk prøvetaking på strategisk optimale tidspunkter. Overvåkingen må foregå i en tilstrekkelig lang periode til å kunne avdekke virkningsforholdene under flomavrenning.

7 Referanser

Dillon PJ, Scheider WA. Modeling the reacidification rates of neutralized lakes near Sudbury, Ontario. In: Schnoor JJ, editor. Modeling of total acid precipitation impacts. Ann Arbor Sci Press; 1982. p. 121-154.

Enge, E. & Persson, U. 1991. Tetthetsregistrenger av laks og aure i Rogalandsvassdrag, 1990. - Fylkesmannen i Rogaland, Miljø-vernavdelingen. Miljø-notat 1991-1. 29 s.

Hegseth, H. 2017. Nye kalkingstiltak for laks. pH-status 2017-1.

Hindar, A. 2015. Ettervirkninger av forsurening – hva skjer med kalsium? pH-status 2015-4.

Hindar, Garmo, Ø. og Teien, H. C. 2015. Sammenhengen mellom labilt aluminium og pH i kalkede Laksevassdrag. NIVA rapport 6872-2015.

Høgberget, R.; Håvardstun, J. 2005. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Tovdalsvassdraget. Avviksrapport 2004. NIVA-rapport 5051

Høgberget, H. 2016. Kalkingsstrategi for Bakkaåna, Sokndalsvassdraget. Notat NIVA J.nr.: 1491/16.

Kroglund, F. Finstad, B. Pettersen, K. Teien, H.-C. Salbu, B. Rosseland, B.O. Nilsen, T.O. Stefansson, S. Ebbesson, L.O.E. Nilsen, R. Bjørn, P.A. Kristensen, T. 2012. Recovery of Atlantic salmon smolts following aluminum exposure defined by changes in blood physiology and seawater tolerance. *Aquaculture* 362–363, 232–240.

Kroglund, F.; Kleiven, E.; Barlaup, B.T.; Halvorsen, G.A.; Gabrielsen, S.E.; Skoglund, H.; Wiers, T.; Gutterup, J.; Teien, H.C. 2007. Fisk og bunndyr, effekter av sjøsaltepisoder vinteren 2004/2005. NIVA-rapport 5369.

Larsen, B. M. & Hesthagen, T. 2004. Laks i kalkede vassdrag i Norge. Status og forventninger. NINA Fagrapport 81. 25pp.

Nilsen, T.O. Ebbesson, L.O.E. Handeland, S. O. Kroglund, F. Finstad, B. Angotzi, A. R. Stefansson S. O. 2013. Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts require more than two weeks to recover from acidic water and aluminium exposure. *Aquatic Toxicology* 142– 143, 33– 44.

Norsk klassifiseringssystem for vann i henhold til vannforskriften. 2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Veileder 02:2013

Skoglund, H., Olsen Espedal, E., Postler, C., Pulg, U., Stranzl, S., Bekke Lehman, G. og Velle, G. Gytefisktelling i Sokndalselva og Hellelandselva høsten 2016. Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI) Notat.

Teien, H.C., Kroglund, F. 2009. Komparative studier mellom kalksteinsmel (Miljøkalk VK3, Miljøkalk NK3) og kalkslurry BIOKALK 75 - løselighet av Ca og økning i pH over tid. Universitetet for miljø- og biovitenskap. Institutt for plante- og miljøvitenskap. ISSN 0805 -7214.

Tiltaksovervåking i 2015. Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør. M-582, 2016

8 Vedlegg

8.1 Upublisert resymé fra innlegg på norsk-svensk forsørings- og kalkingskonferanse. Hamar 2015.

Er konduktivitetsstyrte kalkdoserere fremtiden?

(Espen Enge)

Abstract

Omlag $\frac{3}{4}$ av konduktiviteten i innsjøene i Rogaland utgjøres av ioner av marin opprinnelse. Dette skyldes en kombinasjon av en geologi som består av langsomtforvitrende bergarter (gneiss, granitt, anortositt m.fl.), samt relativt kort avstand til kysten. Dynamikken i vannkjemien blir derfor i stor grad sjøsaltstyrt. I perioder med høy sjøsaltpåvirkning, som gir høy konduktivitet, ionebyttes Na^+ fra sjøsalt med H^+ og Al . Dette gjør det mulig å styre kalkdosereren etter konduktivitet i stedet for pH. Fordelene, sammenliknet med pH-styring, er driftssikkerhet, robusthet, sjelden kalibrering og begrenset vedlikeholdsbehov. Etter oppstart (nov. 2013) har Bjordal-dosereren gitt $\text{pH}=6.3\pm 0.2$ ($n=91$) og $\text{LAl}=3\pm 3$ $\mu\text{g/l}$ ($n=78$) i målområdet (Vassbø). De tilsvarende verdier oppstrøms var $\text{pH}=5.2\pm 0.3$ ($n=91$) og $\text{LAl}=23\pm 21$ $\mu\text{g/l}$ ($n=66$). Selv under sjøsaltepisoden i kjølvannet av stormen "Nina" (jan. 2015) var pH og LAl ved Vassbø hhv. 6.1 og 9 $\mu\text{g/l}$, mot 4.7 og 104 $\mu\text{g/l}$ oppstrøms dosereren.

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 samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

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