

Vannkjemisk utvikling i innsjøer i Buskerud, Telemark og Aust-Agder de 5-8 første årene etter avsluttet kalking



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 Vannkjemisk utvikling i innsjøer i Buskerud, Telemark og Aust-Agder de 5-8 første årene etter avsluttet kalking	Løpenr. (for bestilling) 6260-2011	Dato 23.12.2011
	Prosjektnr. Undernr. 24265	Sider Pris 34
Forfatter(e) Atle Hindar	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Fri
	Geografisk område Sør-Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse 09040060-3 (2011)
--	---

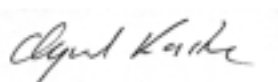
Sammendrag

Reduserte utslipp av svovel og nitrogen i Europa har resultert i en markant endring i vannkjemi i innsjøer og elver. I den samme perioden er kalkforbruket i enkeltlokaliteter i Sør-Norge blitt sterkt redusert, og det kan være grunn til å avslutte kalking i enkelte innsjøer. Målet med prosjektet har vært å dokumentere endringer i vannkjemisk utvikling etter avslutning av kalking i innsjøer. De vannkemiske resultatene viser at kalkslutt i innsjøer kan etterfølges av en lang "kalkhale", avhengig av kalkingsmåten, innsjøens form og vannets oppholdstid. Det vil si at vannkemien ikke umiddelbart går tilbake til nivået i omkringliggende, ukalkede innsjøer. Helikopterkalking og annen kalking med tørt kalkmel over flere år og med store doser kan gi en langvarig kalkeffekt selv for innsjøer med kort oppholdstid. Siden veien tilbake til en ukalket tilstand i slike innsjøer kan gå over flere år, kan det være god tid til å vurdere endringene etter kalkslutt. Det vil si at kalkslutt eller redusert kalkingsfrekvens, i kombinasjon med overvåking av vannkjemisk utvikling, kan vurderes i innsjøer der en er i tvil om avslutning er en riktig strategi.

Fire norske emneord 1. Innsjøkalking 2. Vannkjemi 3. Syrenøytraliserende kapasitet (ANC) 4. Kalkslutt	Fire engelske emneord 1. Lake liming 2. Water chemistry 3. Acid neutralising capacity (ANC) 4. Termination of liming
--	---



Atle Hindar
Prosjektleder



Øyvind Kaste
Forskningsleder
ISBN 978-82-577-5995-7



Brit-Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

**Vannkjemisk utvikling i innsjøer i Buskerud,
Telemark og Aust-Agder de 5-8 første årene etter
avsluttet kalking**

Forord

Forsuringsforholdene i Norge har vært i stadig bedring de siste 20 årene, kalkbehovet er redusert, og i en rekke innsjøer har NIVA anbefalt å avslutte tiltakene helt.

I prosjektforslag av 16. februar 2005 foreslo NIVA å dokumentere vannkjemiske og biologiske effekter av å avslutte kalking i innsjøer som har vært kalket gjennom flere år. 16 innsjøer i Akershus, Østfold, Buskerud, Telemark og Aust-Agder, hvorav fire ukalkede referanseinnsjøer, ble valgt ut. Kontrakt fra DN ble mottatt 4. juli samme år, og prosjektet har deretter blitt videreført.

Denne rapporten omhandler vannkjemiske data som er samlet inn i dette prosjektet i perioden 2005-2010 og også andre vannkjemiske data for enkelte av innsjøene. Etter treårsrapporten i 2008 ble prosjektet i 2009 innsnevret til å omfatte de 12 innsjøene i Buskerud, Telemark og Aust-Agder. Vi har derfor valgt å bare ta med disse innsjøene i denne rapporten.

Prosjektet har vært gjennomført i samarbeid med Fylkesmannen i de berørte fylker. Gunder Trommald har samlet inn vannprøvene i Buskerud, mens NIVA har samlet inn prøvene i Telemark og Aust-Agder. Liv Bente Skancke har kvalitetssikret og sammenstilt data.

Vi takker alle for godt samarbeid.

Grimstad, 23.12.2011

Atle Hindar

Innhold

	1
Innhold	5
Sammendrag	6
1. Bakgrunn	8
2. Mål	8
3. Lokalteter og analyser	9
4. Resultater	11
4.1 Innsjøer i Buskerud	11
4.2 Innsjøer i Aust-Agder	14
4.3 Innsjøer i Telemark	16
4.4 Kalkeffekthalen	20
5. Diskusjon	26
6. Konklusjon og anbefalinger	28
7. Referanser	29
Vedlegg A. Primærtavell for vannkjemi 2005-2010	31

Sammendrag

Fra omkring 1990 og fram til 2010 har nedfallet av sure forbindelser blitt gradvis redusert i takt med reduserte utslipp, spesielt av svovel, i Europa. Det har resultert i en markant endring i vannkjemi mhp forsurening i innsjøer og elver. Kalkforbruket i enkeltlokaliteter er blitt sterkt redusert i takt med denne utviklingen.

NIVA har vurdert behov for fortsatt kalking i en rekke innsjøer i flere fylker, og kommet til at kalking kan avsluttes i mange av dem. Det er fordi beregnede verdier for hva ANC (syrenøytraliserende kapasitet) ville vært uten kalking viser akseptabel vannkvalitet. I flere fylker er kalking i innsjøer med antatt akseptabel vannkvalitet også avsluttet. Flere av disse er med i den foreliggende undersøkelsen. I en del innsjøer er det tvil om kalkslutt vil være riktig, og det er derfor interessant å vite hva som skjer med vannkjemien etter kalkslutt.

Målet med prosjektet har vært å dokumentere endringer i vannkemisk utvikling etter at kalking avsluttes. Resultatene skal bidra til å vurdere om det var riktig å avslutte kalkingstiltaket i de undersøkte lokalitetene og eventuelt om også andre kalkingstiltak i de samme områdene kan avsluttes. Det var også et mål at resultatene skulle gi grunnlag for mer generelle anbefalinger.

Resultatene viser at kalkslutt i innsjøer kan etterfølges av en lang «hale» av kalkeffekt. Dette gjelder uansett for innsjøer med lang oppholdstid og skjer fordi det tar lang tid å fortynne det kalkede vannet. Er oppholdstiden ett år, vil det fortsatt være en kalkeffekt etter 2-3 år.

For flere innsjøer med kort oppholdstid er det også funnet at det kan ta tid å komme tilbake til nivået i omkringliggende, ukalkede innsjøer. Særlig helikopterkalking over flere år og med forholdsvis store kalkdoser kan gi en lang hale, selv for innsjøer med svært kort oppholdstid, slik som for Nestjørn i Fyresdal. I Store Finntjenn i Gjerstad skjedde kalking med manuell spredning av tørt mel, og også her er det en lengre effekthale enn oppholdstiden skulle gi grunnlag for.

Kalkslutt behøver altså ikke å gi en rask avslutning av kalkingseffekten i innsjøene. Siden veien tilbake til en ukalket tilstand for mange innsjøer kan gå over flere år, vil det si at det er god tid til å vurdere effekten av kalkslutt. Det vil også si at kalkslutt kan forsøkes uten stor risiko, selv i innsjøer der det er tvil om avslutning er en riktig strategi.

For å være på tryggest mulig grunn når en skal vurdere kalkslutt, er data fra omkringliggende, ukalkede innsjøer svært verdifulle. Gir ANC-verdier grunnlag for å avslutte og har de ukalkede innsjøene fiskebestander som klarer seg, skulle situasjonen være grei så sant det ikke er spesielle grunner for tvil. For helikopteralkede innsjøer, og særlig for de som har fått store kalkdoser, kan virkningen av sedimentert kalk gi kalkeffekt over forholdsvis lang tid. Det gir muligheter for å følge utviklingen i innsjøer der det er tvil om kalkslutt er riktig.

Det anbefales å følge ANC-utviklingen etter kalkslutt. For innsjøer der en er sikker på at det ikke er særlig risiko forbundet med kalkslutt, vil en overvåking hvert tredje år være tilstrekkelig, mens årlige høstprøver for analyse og beregning av ANC vil være nyttig i «usikre» innsjøer. Kalkingsmetoden gir også grunnlag for å vurdere prøvetakingsfrekvensen, og den kan være mindre hyppig der det forventes en lang kalkeffekthale.

Summary

Title: Water chemistry in lakes in Buskerud, Telemark and Aust-Agder counties the first 5-8 years after termination of liming

Year: 2011

Author: Atle Hindar

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5995-7

The deposition of acidic components in southern Norway has decreased gradually from 1990 until 2010 in parallel with a corresponding decrease in acid emissions in Europe. A resulting change in water chemistry and acidity in lakes and streams has followed. This in turn has resulted in a significant decrease in limedoses for limed lakes.

NIVA has evaluated the need for further liming of a long range of lakes in several counties in Norway, and concluded that liming may be terminated in many of them. ANC (Acid Neutralising Capacity) will be acceptable without liming. Liming has already been terminated in some lakes, and eight of these lakes are part of this work. Doubt regarding whether or not termination of liming is without risk may exist in some lakes, and for these lakes knowledge of the development in water chemistry after termination will be valuable.

The aim of the present project was to document changes in water chemistry after termination of liming. The results and recommendations are supposed to contribute to sound decisions regarding termination of liming programmes in single lakes and regions.

Results from the water chemistry monitoring show that termination of liming may be followed by a liming effect "tail". This means that the water chemistry (Ca, pH, inorganic Al and ANC) moves relatively slowly towards the status of un-limed lakes of the same area. The lake retention time and liming strategy are probably the most important factors for the combination of expected dilution and the magnitude of the liming effect "tail".

Termination of liming, then, may not necessarily result in immediate termination of the liming effect. There may be sufficient time (years) to follow the water chemistry and reconsider the strategy for the lake at hand. Water chemistry and fish biology data for un-limed lakes in the area will also indicate if liming should proceed or not.

We recommend examination of water chemistry after termination of liming. Sampling and analyses for calculation of ANC once a year should be sufficient, but may be less frequent in lakes with longer retention time than one year.

1. Bakgrunn

Fra omkring 1990 og fram til 2010 har nedfallet av sure forbindelser blitt gradvis redusert i takt med reduserte utslipp av svovel og nitrogen i Europa. Det har resultert i en markant endring i vannkjemi i innsjøer og elver, med økt pH og ANC (syrenøytraliserende kapasitet) og redusert konsentrasjon av aluminium, spesielt den giftige fraksjonen (Klif 2011).

I den samme perioden er kalkforbruket i enkeltlokaliteter blitt sterkt redusert (Hindar og Enge 1999). Situasjonen i to av de innsjøene som er med i denne undersøkelsen kan illustrere dette. I perioden 1992 til 2002 ble kalkforbruket i Øvstevatn og Langevatn i Buskerud redusert fra 15-20 tonn/år til 5-10 tonn/år (Hindar og Larssen 2005a).

Det er en klar sammenheng mellom fiskestatus og ANC i norske innsjøer, se for eksempel Henriksen m.fl. (1999). Vannkjemisk overvåking og beregninger av «ukalket» ANC i kalkede innsjøer (Hindar og Larssen 2005a; Austnes og Kroglund 2010) har vist at kalking kan avsluttes i en rekke lokaliteter i for eksempel Buskerud og Akershus (Garmo og Austnes 2011; Garmo, m.fl. 2011) fordi ANC er økt til akseptable nivåer for innlandsfisk. I Vest-Agder derimot er det fortsatt kalkingsbehov i 80 av nær 100 undersøkte innsjøer, mens det i 17 er usikkert om kalking bør avsluttes (Austnes og Kroglund 2010). I flere fylker er kalking i innsjøer med antatt akseptabel vannkvalitet allerede avsluttet. Åtte av disse innsjøene er med i den foreliggende undersøkelsen.

I mange av de undersøkte innsjøene er det usikkert om kalkslutt vil være en riktig beslutning, og det er derfor viktig å vite hva som skjer med vannkjemien etter kalkslutt. Data fra noen undersøkte innsjøer på 1980-tallet viste at det er en hale av kalkeffekt etter gjentatte kalkingstiltak (Hindar 1984; Rosseland og Hindar 1988). Det vil si at kalkeffekten avtar saktere enn forventet basert på ren fortynning, og at restkalk i sedimentet er kilden til en slik langtidseffekt.

I svært dype innsjøer, slik som Nisser og Fyresvatn i Telemark, ble kalken fullstendig løst opp etter innsjøkalkingene i 1996 og 1997 (Hindar og Rognerud 2011), og vil dermed ikke gi en langtidseffekt ut over det den lange oppholdstiden i disse innsjøene skulle tilsi. Innsjøer ved svenskegrensen hadde imidlertid synlige kalkrester i sedimentet. I sedimentene i to innsjøer i Vest-Agder (Terjevatn og Selura) ble det funnet svært lite kalkrester, noe som tyder på at en slik intern kalkkilde ikke alltid er til stede (Hindar og Rognerud 2011). I flere grunne innsjøer i Varåavassdraget i Hedmark ble det målt betydelige effekter av tidligere gjennomførte kalkinger under snøsmeltingen i 2011 (Hindar 2011).

Basert på foreliggende data fra flere innsjøer er det et behov for å se nærmere på hvilke faktorer som kan gi en langtidseffekt etter avsluttet kalking. Lang oppholdstid vil generelt medføre at kalkeffekten avtar saktere enn hvis innsjøen har kort oppholdstid. I tillegg antas det at kalkingsstrategier som gir dårlig kalkoppløsning vil være viktig for en langtidseffekt.

2. Mål

Målet med dette prosjektet var å dokumentere endringer i vannkjemisk utvikling etter avsluttet kalking, og å undersøke om beslutningen om å avslutte kalkingen i de undersøkte innsjøene var riktig. Målet var også å identifisere langtidseffekter av kalking. Det skulle gjøres ved å undersøke om det er en effekt utover det en kan forvente ved ren fortynning av det kalkpåvirkede vannet i innsjøene. Resultatene fra prosjektet ble antatt å kunne bedre grunnlaget for å vurdere risikoen ved kalkslutt, spesielt i innsjøer der en er i tvil om kalkslutt vil være biologisk forsvarlig.

3. Lokalteter og analyser

Innsjøer i fem fylker var opprinnelig med i prosjektet, men innsjøene i Akershus og Østfold (Hindar og Skancke 2008) ble tatt ut av prosjektet etter fire år. Undersøkelsene av innsjøene i Buskerud, Telemark og Aust-Agder ble imidlertid videreført, og resultatene inngår i denne rapporten. Tabell 1 viser karakteristiske data for disse innsjøene, mens lokalitetenes plassering er vist i figurer i resultatdelen. I resultatdelen er det også en nærmere omtale av de enkelte innsjøene.

Som en del av prosjektet, ble det gjennomført dybdemålinger i de fem kalkede Telemarksjøene i 2010 og de to i Buskerud i 2011. Det ble gjort ved bruk av håndholdt ekkolodd fra kano. Målinger ble utført i transekter slik at vi fikk dekket alle områder av innsjøene. Dybdekoter ble tegnet inn på kart og arealberegningsteknikken i NVE Atlas ble brukt for å finne arealet innenfor hver kote. Ved å avsette disse arealene mot respektive dyp og integrere arealet innenfor den framkomne kurven, ble innsjøvolumet funnet. Innsjøvolum dividert med årlig avrenning fra innsjøens nedbørfelt gir den teoretiske oppholdstiden.

Noen av lokalitetene er blitt prøvetatt under andre prosjekter slik at det finnes eldre data, og datagrunnlaget er dermed ulikt for de forskjellige innsjøene. Fra og med 2005 er det tatt vannprøver etter vår- og høstsirkulasjonen.

For å få en best mulig oversikt over endringer i vannkjemi er vannprøvene analysert på følgende parametre: pH, alkalitet, konduktivitet, totalt organisk karbon (TOC), totalt nitrogen (tot N), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K), sulfat (SO_4), nitrat (NO_3), ammonium (NH_4), klorid (Cl) og aluminiumsfraksjoner.

Aluminium (Al) - data i denne rapporten er fra to forskjellige laboratorier, NIVAs lab i Oslo og NINAs lab i Trondheim. Metodene for Al-fraksjonering og analyser er forskjellige (Hindar m.fl. 2000), og vi opererer derfor med ulike benevnninger her. RAl og LAl hos NIVA er hhv. reaktivt og labilt Al, mens Tm-Al og Um-Al hos NINA er hhv. totalt monomert og uorganisk monomert Al. LAl og Um-Al inneholder de giftige Al-forbindelsene, og beregnes som differanser mellom målte fraksjoner. LAl har som regel noe høyere konsentrasjoner enn Um-Al.

ANC beregnes som $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K} - \text{SO}_4 - \text{NO}_3 - \text{N} - \text{Cl}$, og er også beregnet som ANC_{org} ($\text{ANC}_{\text{org}} = \text{ANC} - 10,2 \cdot \text{TOC} / 3$) for å gi et bedre anslag på biologisk status. ANC_{org} er det samme som ANC_{oaa} , der oaa står for organic acid anions (Lydersen m.fl. 2004, Hindar og Larssen 2005b).

Tabell 1. Karakteristiske data for innsjøene. Data er enten basert på egne målinger og beregninger eller hentet fra ulike kilder. Til hjelp i beregningene er NVE Atlas brukt. Her har vi også hentet areal- og avrenningsdata.

Fylke	Lokalitet	NVE-nr	Kalkingsstatus	HOH	Innsjøareal km ²	Middeldyp m	Volum mill. m ³	Nedbørfelt km ²	Spes.avre l/s/km ²	Årsavre mill. m ³	Teor.oppht. år	Kilder
Buskerud	Langtjern*	7272	referanse	518	0,23	2,4	0,56	4,69	19	2,81	0,20	Henriksen og Grande 2002
Buskerud	Langvatn	7243	kalket 1989-2002	398	0,63	6,1	3,81	18,1	27,3	15,57	0,24	
Buskerud	Øvstevatn	7242	kalket 1989-2002	402	0,42	3,0	1,24	9,48	27,3	8,15	0,15	
A-Agder	Lille Finntjenn	146676	kalket 1981, referanse	236	0,007	2,4	0,016	0,056	29	0,05	0,31	Hindar 1984, justert avre
A-Agder	Store Finntjenn	8091	kalket 1981-2005	236	0,016	3,0	0,048	0,106	29	0,10	0,50	Hindar 1984, justert avre
Telemark	Tussetjørn**	1311	referanse	671	0,15	1,5	0,22	7,2	32	7,26	0,03	anslag middeldyp
Telemark	Nestjørn	14809	kalket siste gang i 2004	714	0,11	5,5	0,60	4,0	36	4,54	0,13	
Telemark	Grodvatn	14827	kalket siste gang i 2004	711	0,49	3,8	1,84	11,0	35	12,13	0,15	
Telemark	Sandvatn	14905	kalket siste gang i 2004	703	0,56	4,3	2,40	21,2	35	23,37	0,10	
Telemark	Øyarvatn	15002	kalket siste gang i 2004	702	1,71	9,1	15,47	39,2	34	41,98	0,37	
Telemark	Berghylvatn	14992	kalket siste gang i 2004	713	0,42	6,9	2,92	2,2	32	2,25	1,30	
Telemark	Hyljevatn**	14884	referanse	725	1,02	3,0	3,06	6,5	34	6,96	0,44	anslag middeldyp
	*justert middeldyp og avrenning											
	**anslag er brukt for egne beregninger											

4. Resultater

Datagrunnlaget og presentasjonen er litt ulik for de forskjellige innsjøene/fylkene. For noen foreligger en lang dataserie, mens for andre er det kun data fra denne undersøkelsen. Data som hører til dette prosjektet er gitt i vedlegget. Presentasjonen av vannkjemisk utvikling er fylkesvis, deretter ser vi på langtidseffekten av kalking mer samlet.

4.1 Innsjøer i Buskerud

Alle de tre innsjøene i Buskerud ligger i Flå kommune i Drammensvassdraget. Langtjern renner ut til Lielvi og videre vestover til Krøderen, mens Øvstevatn og Langvatn drenerer østover til Buvatnet i Soknas nedbørfelt (se **Figur 1**). Av disse innsjøene er Langtjern minst i størrelse (0,23 km²). Øvstevatn og Langvatn har hhv. dobbelt så stort og tre ganger så stort areal som Langtjern. Innsjøene ligger på om lag 400-500 m.o.h. i et typisk skogsområde på Østlandet med noe myr.

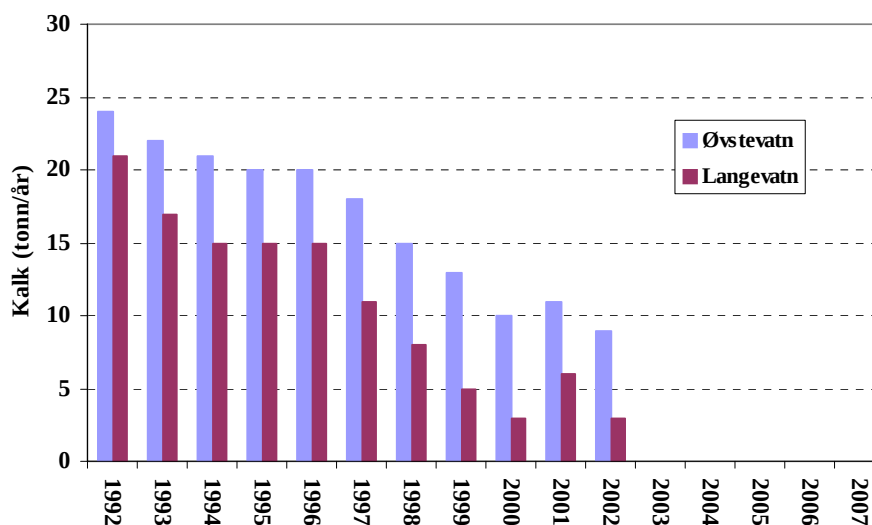


Figur 1. Kartet viser plasseringen av de tre lokalitetene i Buskerud. Øvstevatn og Langvatn er sentralt i kartet, og Langtjern ligger 3-5 km sør for de to andre. Kilde NVE Atlas.

Langtjern brukes her som referanse for de to kalkede lokalitetene. Denne referanseinnsjøen ligger godt skjermet for menneskelig aktivitet, og følges opp av NIVA med ukentlig prøvetaking. Prøvetakingen er del av statlig program for forurensningsovervåking (Klif 2011). Dataserien fra Langtjern er svært

lang og dermed godt egnet som referansemateriale for forsurestilstanden og -utviklingen i området. Den inngikk også i arbeidet med en metodeutvikling for å finne ”ukalket” vannkjemi i kalkede innsjøer (Hindar og Larssen 2005a). Langtjern viser en jevn gjenhenting etter forsuringen, med en økning i ANC på nærmere 30 $\mu\text{ekv/l}$ og klar reduksjon i LAl-konsentrasjon. Det har også vært en nedadgående trend for konsentrasjon av Ca og Mg pga mindre syretrykk og dermed mindre mobilisering av slike basekationer.

Innsjøene Langvatn og Øvstevatn ble begge kalket i perioden 1989 – 2002, og det har vært en gradvis reduksjon i kalkmengder fram til kalkslutt (**Figur 2**).



Figur 2. Kalkforbruk i Øvstevatn og Langvatn i perioden fra 1992 og fram til kalkslutt.

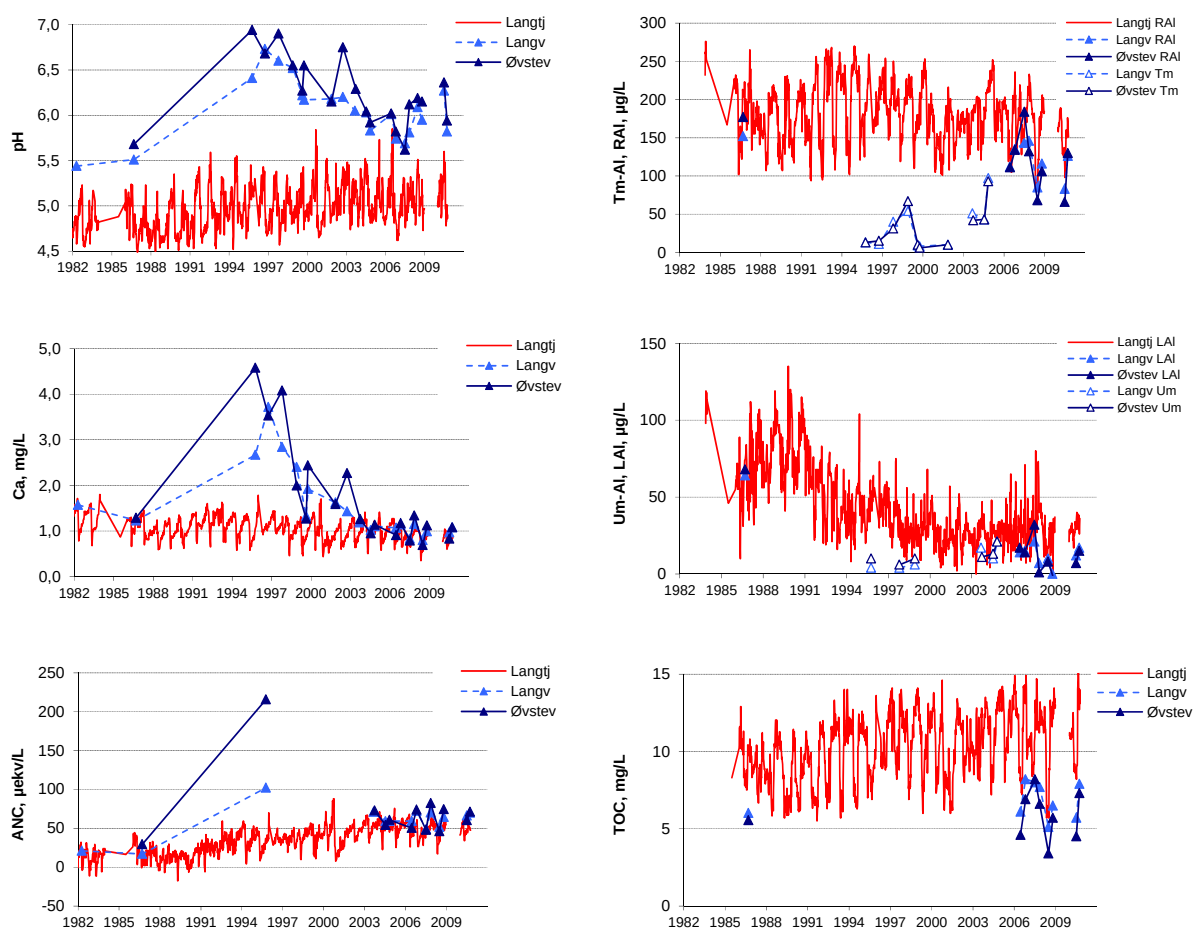
Det foreligger vannkjemiske data fra før kalking (1982 og 1986) og deretter etter kalking fra 1995, men frekvensen på prøvetakingen og utvalget av analyserte parametre har vært ujevn. De to innsjøene har relativt lik vannkjemi (**Figur 3**). Kalkingen har gitt et godt løft i pH og effekten har tilsynelatende holdt seg også etter kalkslutt. pH-verdien i Langvatn og Øvstevatn var fortsatt i området 5,6-6,4 i årene 2007-2010, mens referanseinnsjøen da hadde pH 5,0-5,5.

Kalsiumkonsentrasjonene avtok raskt ned til ca. 1 mg/l etter at kalkingen opphørte, mens referansen hadde en midlere Ca-konsentrasjon på 0,75 mg/l i perioden 2005-2009 (**Figur 3** og **Figur 4**). Dette forløpet tyder på et raskt avtak mot referansetilstanden, men det er litt uklart hvor langt unna referansetilstanden de to innsjøene befinner seg. Basert på data fra før kalking i begge innsjøene og forventet reduksjonsgrad i Ca pga mindre sur nedbør, er referansekonsentrasjonen på ca. 1 mg/l nådd. Konsentrasjonen i Langtjern er imidlertid 0,25 mg/l lavere. Førdata for de kalkede vannene er kun basert på ett datasett, mens det foreligger ukentlige data fra Langtjenn. Forskjellen gir en stor grad av usikkerhet omkring forventet Ca-konsentrasjon uten kalking.

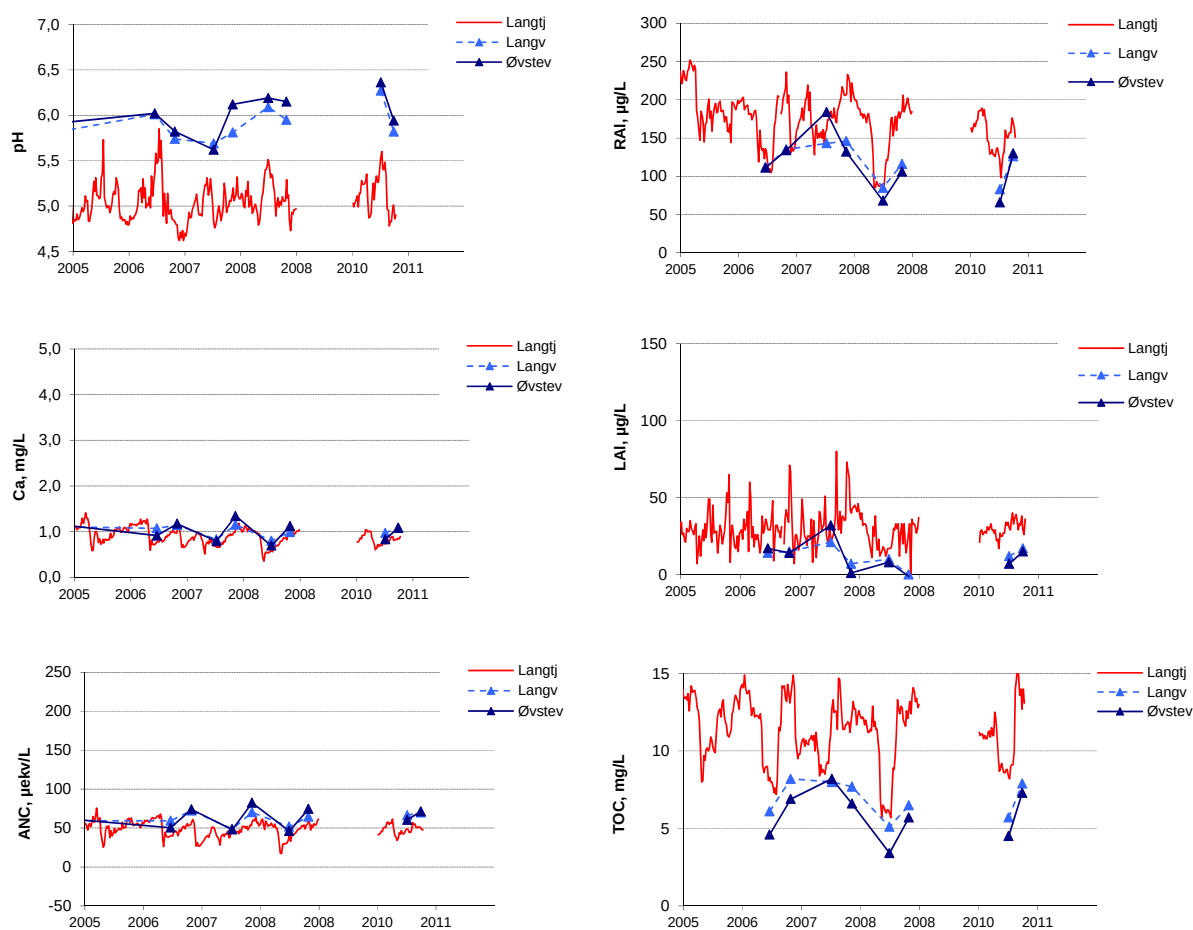
ANC er også høyere i begge de kalkede innsjøene enn i Langtjern. Det gjelder spesielt når en beregner ANC_{org} . Middelverdien for ANC_{org} i Langvatn og Øvstevatn er hhv. 43 og 40 $\mu\text{ekv/l}$ i perioden 2006-2010, mens verdien er 4 $\mu\text{ekv/l}$ for referansevannet Langtjern. Dette tyder på en klar kalkeffekt også i perioden 2006-2010. pH er høyere i de to kalkede innsjøene enn i Langtjern, men det kan delvis skyldes høyere TOC-konsentrasjon i Langtjern.

Konsentrasjonen av labilt aluminium (LAl) ble kraftig redusert som en følge av kalking, men er også redusert som følge av mindre sur nedbør, jfr utviklingen i Langtjern. LAl-konsentrasjonene har vært lave (<32 µg/l) i hele perioden etter kalkslutt. Både reaktivt Al (RAI) og LAl er også lavere enn i referansevannet, noe som forsterker inntrykket av en kalkeffekt.

Referanseinnsjøen Langtjern har et høyt innhold av TOC, og dette medvirker til at pH er lavere enn i de to andre innsjøene. TOC-konsentrasjonen er også klart økt i perioden 1985-2010. Dette skyldes trolig økt utvasking av humus pga mindre sur nedbør (de Wit m.fl. 2007). Relativt nye forskningsresultater viser at denne effekten preger mange innsjøer i Norge, samt andre steder i Europa og i Nord-Amerika (Monteith m.fl. 2007).



Figur 3. Sentrale vannkjemiske parametre for lokalitetene Langtjern, Langvatn og Øvstevatn i Buskerud i årene 1982-2010 (Data for Langvatn og Øvstevatn før 2006: FM i Buskerud). Langtjern blir prøvetatt ukentlig som del av Klifs overvåkingsprogram (Klif 2011).



Figur 4. De samme stasjoner og parametre som i foregående figur, men kun for perioden 2005-2010.

4.2 Innsjøer i Aust-Agder

De to minste lokalitetene i denne undersøkelsen, Lille og Store Finntjenn på hhv. 0,007 og 0,016 km², ligger i Aust-Agder. De er en del av Gjerstadvassdraget og ligger tett ved hverandre i skog/myrterreng drøyt 200 m.o.h. nordvest for Gjerstad stasjon på Sørlandsbanen (**Figur 5**).

Begge vann ble kalket i 1981 (Hindar 1984). Lille Finntjenn er kalket kun denne ene gangen og regnes som en referanse i denne sammenheng, mens Store Finntjenn er kalket jevnlig og siste gang i 2005. Lille Finntjenn hadde ANC mellom 0 og 41 µekv/l i årene 2005-2010 (**Figur 6**), og korrigert for TOC blir ANC_{org} ca. 5 µekv/l, nær et kritisk område på 8 µekv/l for aure, men trolig akseptabelt for abboren i området.



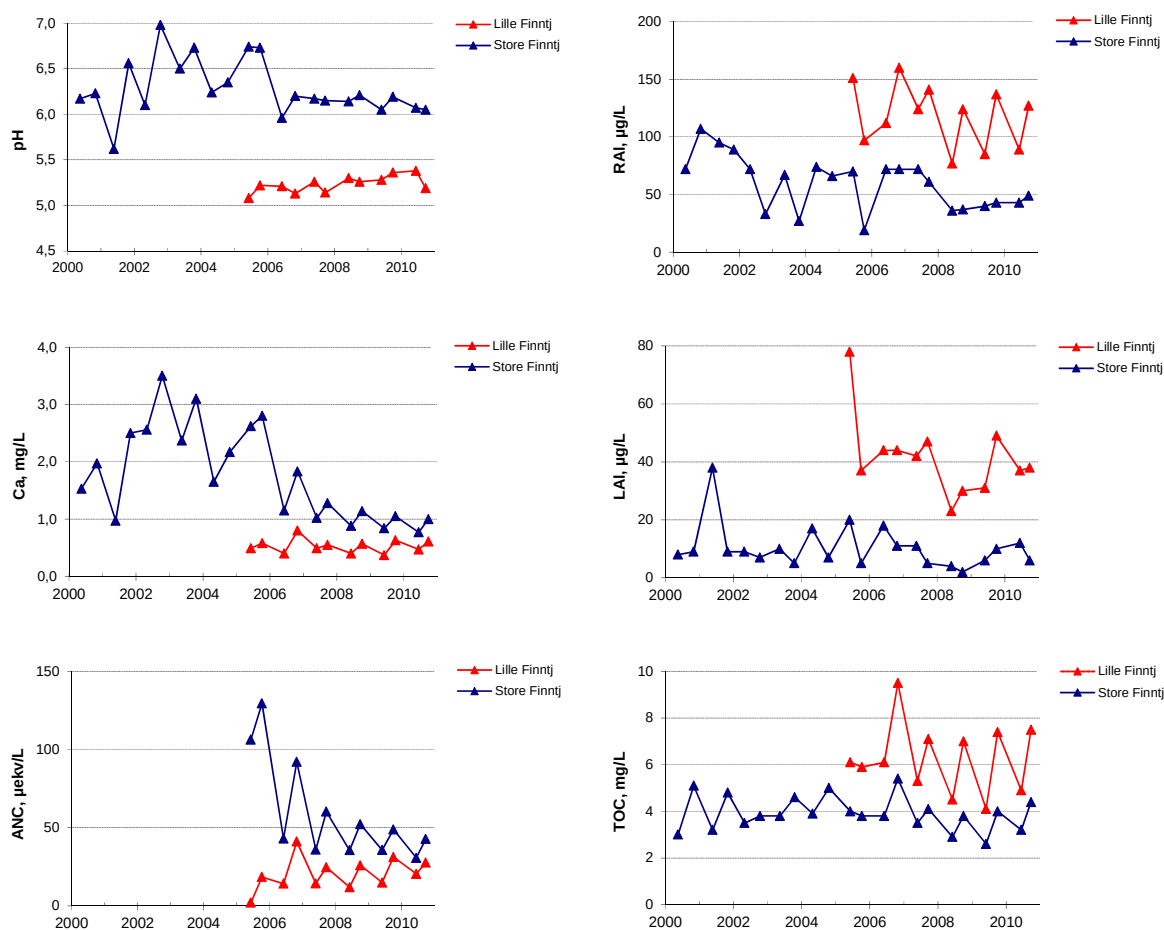
Figur 5. Kartet viser plasseringen av Store og Lille Finntjenn i Aust-Agder. Kilde: NVE Atlas.

I Store Finntjenn har pH falt fra 6,7 i siste kalkingsår til pH 5,9-6,2 alle de påfølgende årene, og synes å ha stabilisert seg (**Figur 6**). Det er foreløpig ikke noe dramatisk fall i pH ned til nivået i Lille Finntjenn, som hadde pH 5,1-5,4 i samme periode.

Den største reduksjonen i Ca-konsentrasjon var fram til den første våren etter kalking. Fra 2,8 mg/l høsten 2005, ble det i vårprøven 2006 målt 1,15 mg/l. Siden det har konsentrasjonene ligget i intervallet 0,7 -1,8 mg/l. Referansen Lille Finntjenn har Ca-konsentrasjoner på 0,4-0,8 mg/l, dvs. klart lavere. Store Finntjenn har noe høyere Ca-konsentrasjon fra naturens side, men bakgrunnsnivået er åpenbart ikke nådd etter avsluttet kalking.

Lang kalkeffekt gjenspeiles også i ANC og konsentrasjonen av labilt Al. ANC er helt klart i et akseptabelt område, og fortsatt høyere enn i referansevannet. LAl har svært lave konsentrasjoner (<20 µg/l), og viser ingen økning etter at kalkingen opphørte. LAl i referansevannet ligger forholdsvis høyt, men kan være akseptabelt for aure.

Lille Finntjenn har høyere TOC-konsentrasjon enn Store Finntjenn; om lag 2 mg/l skiller de to innsjøenes innhold av total organisk karbon. Det skyldes større innslag av myr i nedbørfeltet til Lille Finntjenn og torv som omkranser vannet. pH er dermed noe lavere enn i Store Finntjenn uten kalking, men forklarer ikke den store forskjellen i LAl.



Figur 6. Sentrale vannkjemiske parametre for innsjøene Lille og Store Finntjenn i Aust-Agder. Prøvene fra Store Finntjenn er blandprøver fra 1-3 m dyp i perioden 2000-2004, mens alle prøvene i perioden 2005-2010 er tatt i utløpet.

4.3 Innsjøer i Telemark

I Telemark følges sju innsjøer vest for Fyresvatn, øverst i Arendalsvassdraget (**Figur 7**). Alle ligger i skrint heiområde ca. 700 m.o.h. Referanseinnsjøen Tussetjørn ligger lengst nord av innsjøene. Her er det naturlige utløpet fysisk avstengt, og vannet ledes nordover til Ramsvatn gjennom en utsprengt tunnel i den vestre enden. Reguleringen har trolig en helt marginal effekt på vannkjemien. Referanseinnsjøen Hyljevatn ligger sentralt plassert i området, og drenerer østover mot Fardøla. Ingen av disse to innsjøene har vært kalket, om en ser bort fra noe bruk av skjellsand for mange år siden i Hyljevatn-området.

Vannkvaliteten i referansevannene (**Figur 8** og **Figur 9**) er forholdsvis god, med ANC på 5-20 µekv/l i Hyljevatn og 15-30 µekv/l i Tussetjørn. Korrigert for TOC blir ANC_{org} på hhv. 5-10 µekv/l og 0-5 µekv/l, noe som skulle gi godt grunnlag for oppbygging av fiskebestander etter forsøringsperioden. Grenseverdien vi bruker for ANC_{org} er riktignok 8 µekv/l, men det gir svært god beskyttelse av fiskebestander. I begge vatna er det da også fisk, en etter hvert svært overtallig bestand av dårlig kvalitet i Tussetjørn (SFT 2008; egne observasjoner) og trolig en tynn bestand av til dels storvokst aure i Hyljevatn (egne observasjoner). En tynn bestand i Hyljevatn skyldes mest sannsynlig dårlige gyteforhold i små tilløpsbekker. Men det er ikke usannsynlig at det forgår innsjøgyting i enkelte

områder. Bestanden i Tussetjørn har klart seg gjennom forsuringsperioden uten kjente utsettinger, mens bestanden i Hyljevatn har klart seg i nærmere 20 år etter de siste utsettingene (grunneier, pers.medd.).

De fem andre innsjøene er alle kalket (siste gang i 2004), og fire av dem ligger på rekke og rad i vassdraget Gjøv oppstrøms Nesvatn; Nestjørn renner ut i Grodvatn som renner ut i Sandvatn, som igjen renner ut i Øyarvatn og hit kommer også bekken fra Berghylvatn i øst.

Tussetjørn har kortest oppholdstid av alle innsjøene i denne undersøkelsen (0,03 år) mens Berghylvatn har lengst (1,3 år). Innsjøene Øyarvatn og Hyljevatn er de to største innsjøene av de 12 innsjøene som er med, og overflatearealet er på 1-2 km².



Figur 7. Kartet viser plasseringen av innsjøene i Telemark vest for Fyresvatn. Avløpet til Tussetjørn går i fjelltunnel mot vest. Avløpet fra Nestjørn går sørover til Grodvatn, men i denne kartopplysningen ser det ut som det går nordover. Kilde: NVE Atlas.

I det følgende har vi knyttet referansevannet Hyljevatn til Berghylvatn fordi disse to har mange fellestrekk, mens utviklingen i de fire øvrige er sammenliknet med referansevannet Tussetjørn.

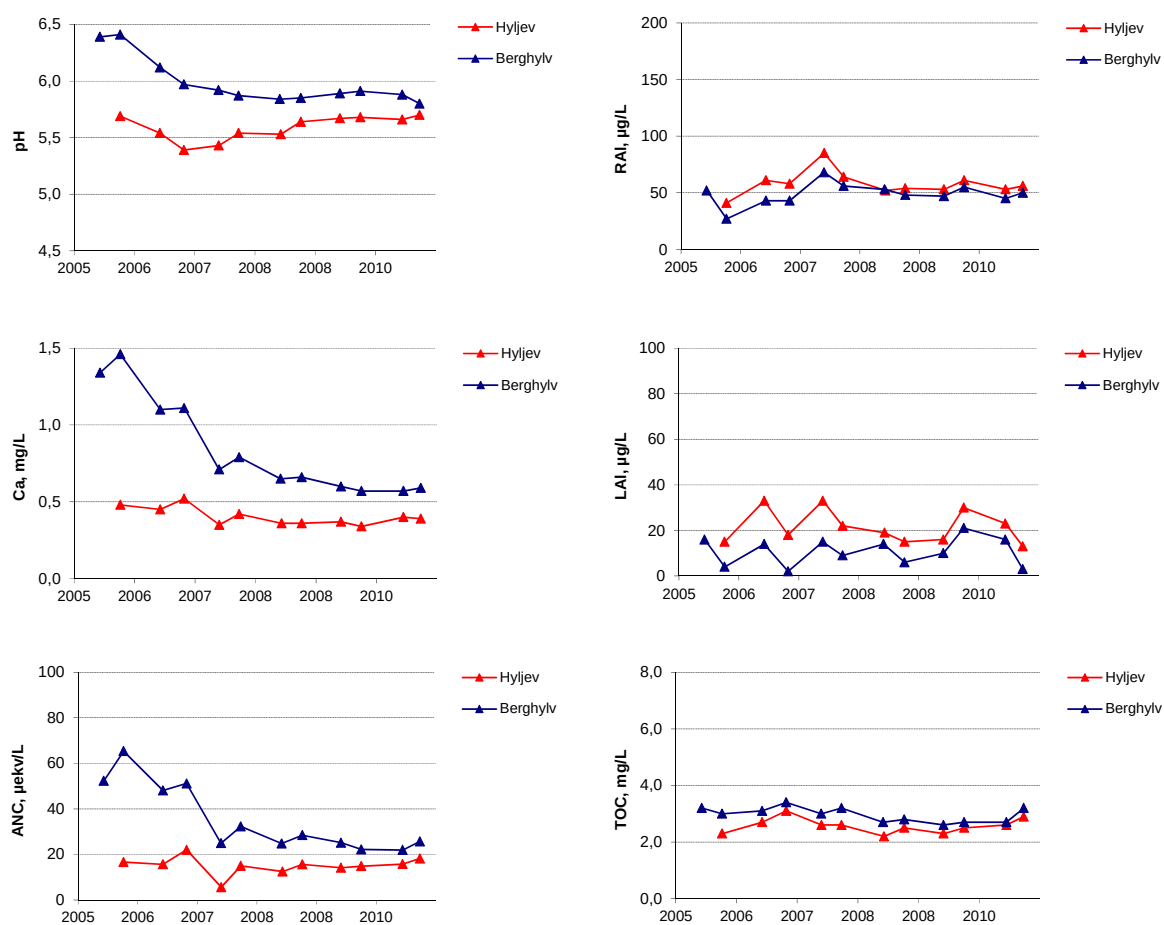
Berghylvatn har lang oppholdstid (1,3 år), og endringer etter kalkslutt skal derfor gå forholdsvis sakte. Med denne oppholdstiden vil rein fortynning gi en bakgrunnsvannkjemi etter 4-5 år, dvs. i 2009-2010. Sakte går det da også (**Figur 8**), men alle målinger av pH, Ca og LAI og beregnede verdier for ANC viser en klar kalkeffekt i tillegg. pH har ennå ikke vært nede på bakgrunnsnivået, ei heller Ca og ANC. LAI har tidvis vært høyere enn enkeltverdier i referansen, men for samtidige målinger er det klare forskjeller.

ANC-verdiene i Berghyl var omkring 25 $\mu\text{ekv/l}$ de 3-4 siste årene, mens verdiene var 6-22 $\mu\text{ekv/l}$ i referansevannet. Mens referansevannet hadde ANC_{org} på 6 $\mu\text{ekv/l}$ i middel, dvs. omkring grenseverdien på 8 $\mu\text{ekv/l}$, hadde Berghylvatn verdier over denne grensen. I begge innsjøer er auren dermed svært godt beskyttet mot forsuringskader. Dette understrekes av de lave konsentrasjonene av LAI i begge innsjøene.

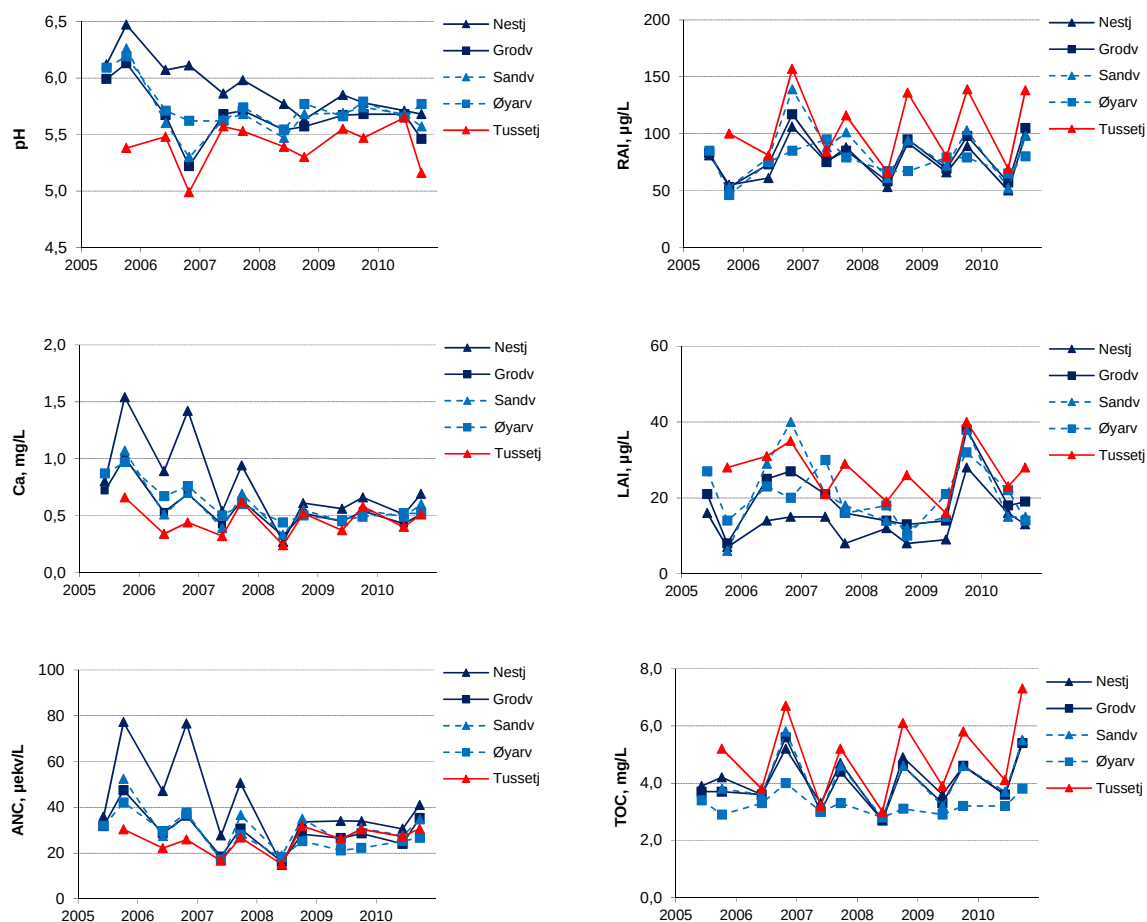
pH i referanseinnsjøen Tussetjørn var 5,0-5,6 (**Figur 9**), og viser en del variasjon som henger sammen med den korte oppholdstiden. I de kalkede innsjøene falt pH merkbart etter kalkslutt, men alle hadde en utflating i pH de påfølgende årene. For samtidige prøver har pH i referansevannet alltid vært lavest, en klar indikasjon på kalkeffekter. Samme tendens gjelder for Ca og gjør seg i hovedsak også gjeldende for LAI og ANC. ANC_{org} ligger imidlertid lavest for Tussetjørn i hele perioden, og forskjellen er størst mellom Nestjørn og referansevannet.

ANC og ANC_{org} ligger nær grenseverdiene i Nestjørn, men klart over i de andre innsjøene. Middelverdien for ANC_{org} er for øvrig den samme (6 $\mu\text{ekv/L}$) i begge referansevannene. Ingen LAI-verdier har heller vært over 40 $\mu\text{g/l}$. Så også i disse innsjøene er auren godt beskyttet mot forsuringskader.

I Tussetjørn og de andre innsjøene med forholdsvis kort oppholdstid er det klare sesongsvingninger i de fleste parametre. Det gjelder særlig TOC. Det er vårprøvene som er klarest pga vannutskifting og fortynning under snøsmeltingen, og høstprøvene som har mest organisk stoff. Dette gjenspeiles i reaktivt aluminium (RAI), som hovedsakelig utgjøres av en organisk fraksjon (målt som ikke-labilt Al) når pH er tilstrekkelig høy.



Figur 8. Sentrale vannkjemiske parametre for innsjøene Hyljevatn og Berghylvatn i Telemark. Hyljevatn er et ukalket referansevatn.



Figur 9. Sentrale vannkjemiske parametre for innsjøene Nestjørn, Grodvatn, Sandvatn, Øyarvatn og Tussetjørn i Telemark. Tussetjørn er et ukalket referansevann

4.4 Kalkeffekthalen

En nærmere undersøkelse av forløpet for Ca og Ca/Mg-forholdet etter kalkslutt kan avklare om forløpet følger en ren vannfortynning eller om forløpet er påvirket av de kalkreservene som eventuelt fortsatt er i innsjøen. Spesielt i innsjøer som har fått kraftige doser og som er kalket fra helikopter kan en forvente at mye av kalken er blitt igjen i sedimentet. Denne kalken kan representere en intern kalkkilde og dermed bidra til langtidseffekt etter kalkslutt.

Fortynningskurver beskriver hva som skjer med et tilsatt stoff som bare er utsatt for den fortynningen som skjer over tid ved at vann fra omliggende terreng renner inn i innsjøen. Det er forskjellen mellom de konsentrasjonene som er målt og de som beregnes med fortynningskurver som best kan vise om det er en effekt av kalk på bunnen.

Fortynningskurver kan lages basert på innsjøens teoretiske oppholdstid og karakteristiske konsentrasjoner i innløpet og i innsjøen selv ved oppstart av en tidsperiode. De kan også lages basert på målt avrenning i utløpet, men det er ikke gjort her.

Denne likningen (etter Dillon og Scheider 1983):

$$C_t = C_a + (C_0 - C_a)e^{-t/T},$$

der:

C_t = konsentrasjon etter tiden t

C_a = konsentrasjonen i tilrenning

C_0 = konsentrasjon ved start ($t=0$)

T = teoretisk oppholdstid, år

beskriver fortynning. Den kan brukes til å beregne konsentrasjonen etter en viss tid. Ved å regne ut C_t for tidsrommet mellom hver prøvetaking, kan disse verdiene avsettes i et tidsdiagram sammen med målte konsentrasjoner.

For å finne innsjøenes oppholdstid kreves det at innsjøenes dyp måles opp på en slik måte at en kan beregne volumet. I prosjektet er det gjennomført dybdemålinger i de fem kalkede Telemark-innsjøene og de to kalkede Buskerud-innsjøene, se kapittel 3. Data for innsjøene i Aust-Agder fantes allerede.

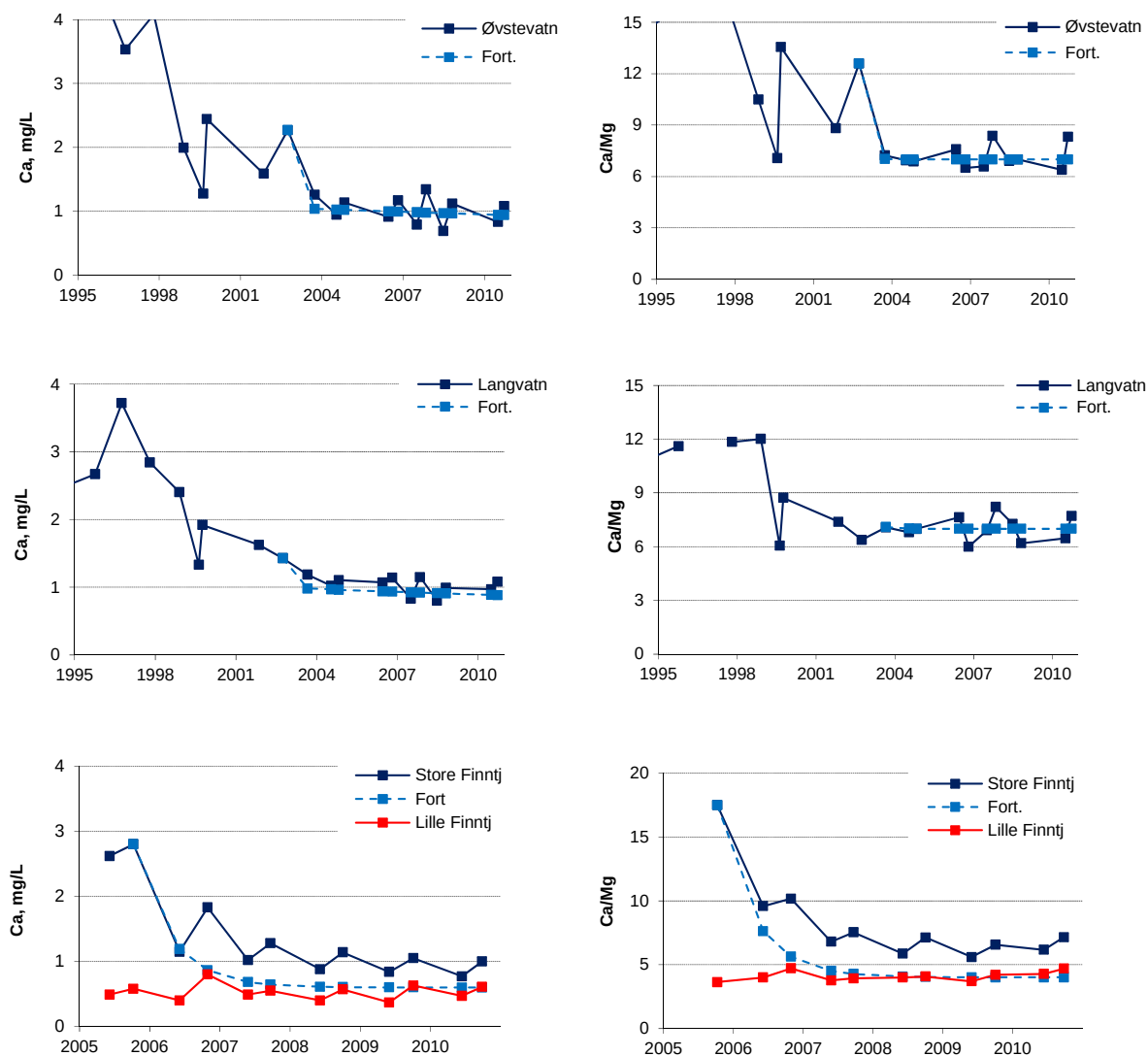
I **Figur 10 - Figur 13** har vi vist målte Ca-konsentrasjoner og beregnede Ca/Mg-forhold etter kalkslutt i referansevann og alle de åtte kalkede innsjøene i denne undersøkelsen. I samme grafer er vist den teoretiske fortynningen, som er laget både for Ca og for Ca/Mg-forholdet.

Øvstevatn og Langevatn har begge kort oppholdstid, og både Ca og Ca/Mg ble raskt redusert ned til et bakgrunnsnivå som er beregnet basert på målinger før kalking og beregnede endringer slik som beskrevet i kapittel 3. Bakgrunnsnivået i begge to ble funnet på basis av få data fra 1986.

Den raske endringen tilbake mot en «ukalket» tilstand kan tyde på at det har vært en forsiktig kalking av de to vannene de siste årene før kalkslutt slik at kalkoppløsningen har vært god. I Langvatn nedstrøms Øvstevatn kan det se ut som det er en noe høyere Ca-konsentrasjon enn fortynningen skulle gi, og at det dermed er en effekt av oppstrømskalkingen og/eller kalk i sedimentet. Både Ca-konsentrasjon og Ca/Mg-forholdet er imidlertid svært nær det beregnede bakgrunnsnivået i begge vannene.

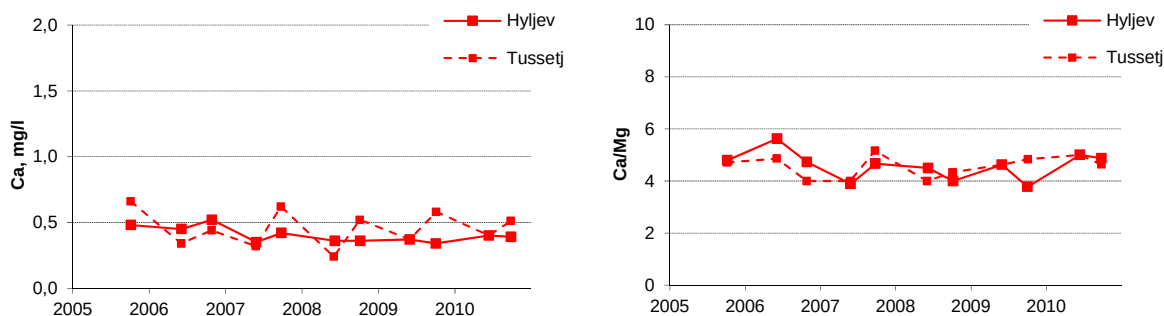
Som nevnt er det en usikkerhet knyttet til beregningen av bakgrunnsnivået, og benyttes Ca-konsentrasjonen i referansevannet Langtjern, er det en klar forskjell mellom de to kalkede (1 mg/l) og referansevannet (0,75 mg/l) i perioden fram mot 2010. Legges denne forskjellen til grunn, er det en klar og vedvarende kalkingseffekt, som også kan være med å forklare det gunstige pH-nivået og de lave LAI-konsentrasjonene.

I Store Finntjenn i Aust-Agder er kalkpåvirkningen tydelig. Her er det åpenbart effekter av sedimentert kalk i alle år etter kalkslutt. Det vises på Ca-konsentrasjonen, som ligger klart over det en ville forvente ved kun fortynning. Og effekten kommer enda tydeligere fram for Ca/Mg-forholdet. I løpet av et par år etter kalkslutt skulle det være tilbake på et bakgrunnsnivå, mens det ser ut til å ha stabilisert seg på et klart høyere nivå. En nedadgående tendens kan imidlertid spores.



Figur 10. Målte konsentrasjoner av Ca og beregnede verdier for Ca/Mg-forholdet sammen med beregnede fortynningskurver for de samme parametrene. Fortynningskurvene er startet fra siste kalking. Data for innsjøene i Buskerud og Aust-Agder er vist her.

Den eneste forskjellen i Ca og Ca/Mg-forholdet for de to referansevannene i Telemark ser ut til å være at variasjonen i Ca er større i Tussetjørn enn i Hyljevatn (**Figur 11**). Det er ikke uventet så lenge de geologiske forholdene i området er like, og kan trolig tilskrives forskjellen i oppholdstid. Tussetjørn har svært rask vannutskifting, og vannkjemien kan dermed endre seg tilsvarende raskt i takt med endringer i tilrenningen. Dette er langt mindre tydelig for Ca/Mg-forholdet fordi Ca og Mg endrer seg etter samme mønster. I og med at forskjellen mellom de to referansevannene er så liten, har vi her valgt å bruke data fra Hyljevatn sammen med data for de kalkede innsjøene.



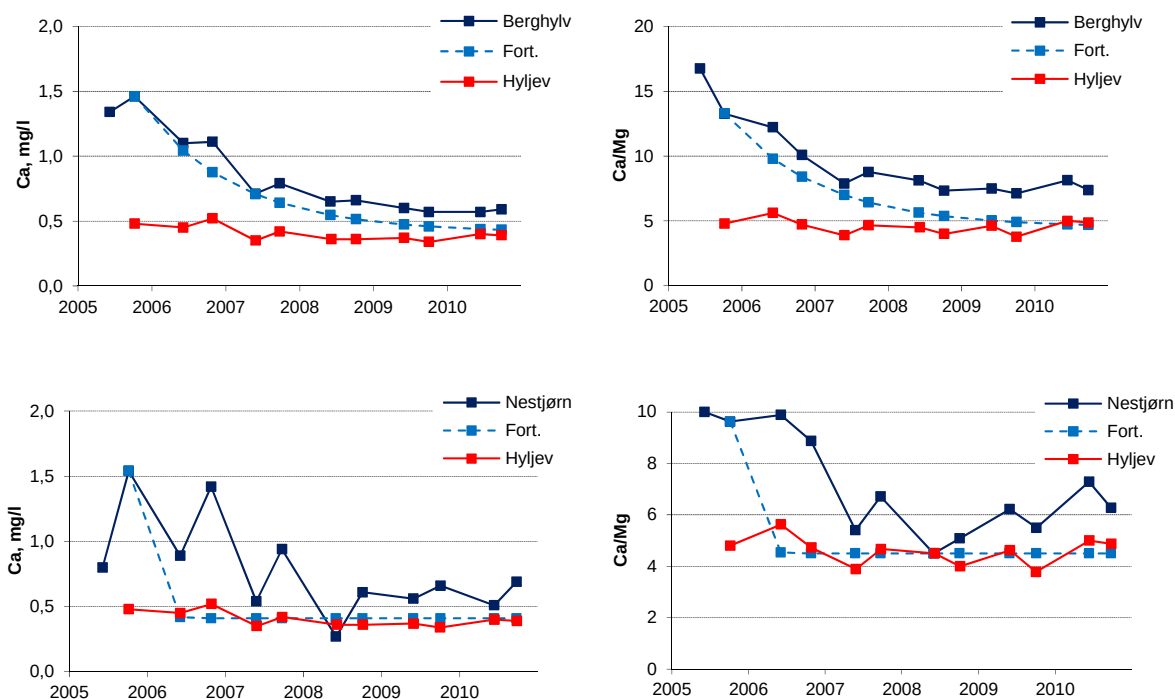
Figur 11. Ca-konsentrasjon og beregnet Ca/Mg-forhold for de to referansevannene i Telemark.

For først å sammenlikne effekten av kalkslutt mellom to vann med svært forskjellig oppholdstid, har vi valgt å se på de to toppvannene (øverst i nedbørfeltet) Berghylvatn og Nestjørn. Berghylvatn har en så lang oppholdstid som 1,3 år. Det skyldes kombinasjonen av lite nedbørfelt i forhold til innsjøareal (faktor 5,2) og forholdsvis stort innsjøvolum. Nestjørns oppholdstid er svært kort (0,13 år) som i hovedsak skyldes stort nedbørfelt i forhold til innsjøstørrelse (faktor 36).

I Berghylvatn forventes en lang effekthale og i Nestjørn en svært kort. Dette gjenspeiles i fortynningskurvene i **Figur 12**. I Berghylvatn forventes det en tilbakegang til en ukalket vannkjem i 2009-2010, mens det i Nestjørn skal skje kun et halvt år etter kalkslutt. Men i begge innsjøer er det en åpenbar effekt av kalk som løses opp fra bunnen. Det ses tydelig i figurene for Ca, men enda tydeligere i figurene for Ca/Mg.

Den største effekten av sedimentert kalk finner vi i Nestjørn. Forløpet, som inkluderer snøsmeltingen, ser ut til langt på vei å følge fortynningskurven. I den isfrie perioden fram til prøvetakingen på seinhøsten løses det opp mye kalk fra bunnen. Denne sesongsvingningen skjedde hvert år, men var størst de tre første årene. I og med at Nestjørn har så kort oppholdstid, forventes også en naturlig svingning, slik som i Tussetjvann, men de tre første årene etter kalkslutt var den klart større enn i Tussetjvann. Seks år etter kalkslutt er det fortsatt kalkrester på bunnen. Dette gir et betydelig bidrag til Ca-konsentrasjonen, og som vi har sett, også til vannkvaliteten (pH, ANC).

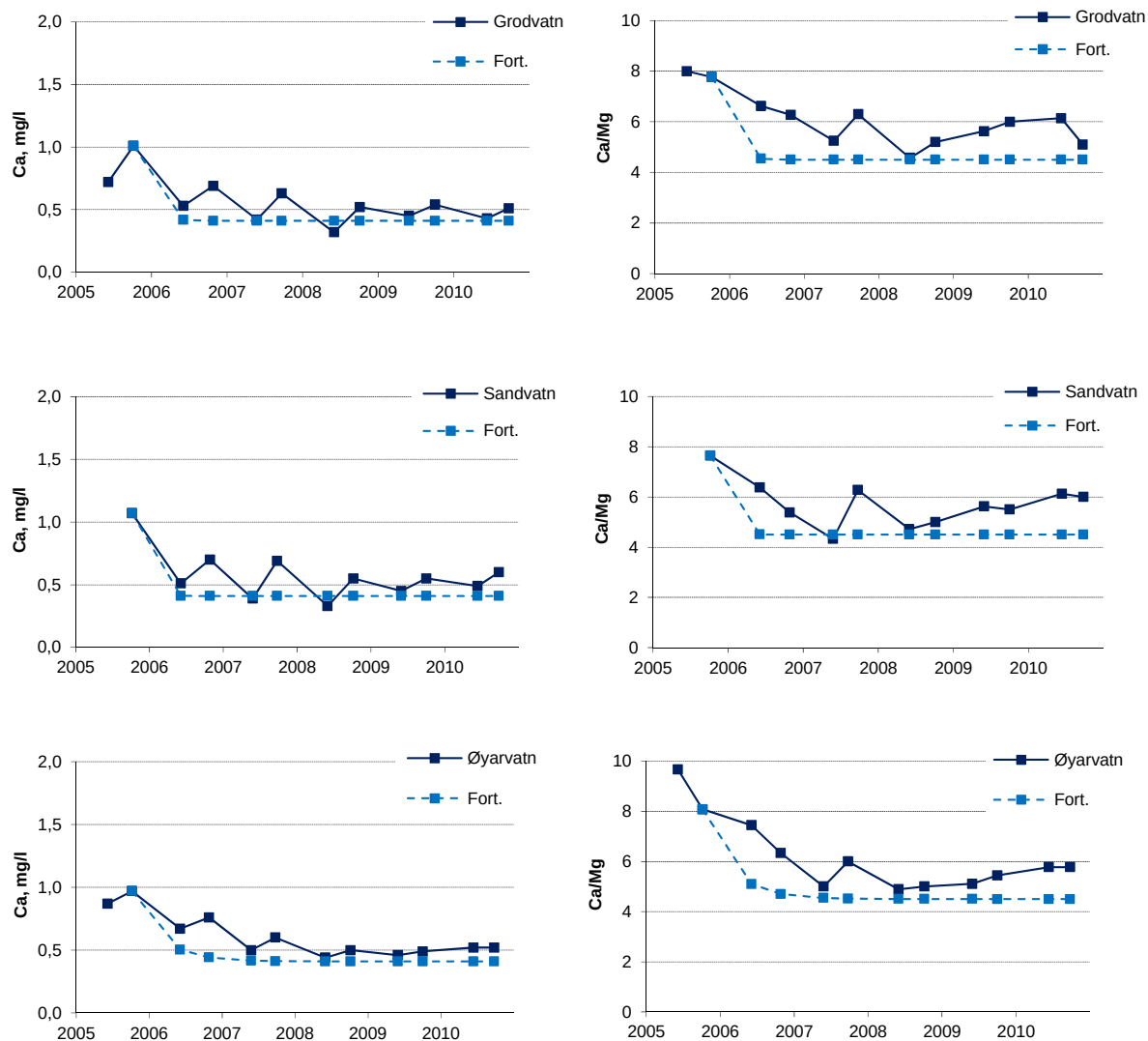
I Berghylvatn er variasjonen langt mer dempet i og med den lange oppholdstiden, men også her er det en klar forskjell mellom målte Ca-konsentrasjoner og de som kommer fram kun som et resultat av fortynning. På samme måte som i Store Finntjenn ser det ut til å være en svært sakte retur mot et antatt bakgrunnsnivå for både Ca og Ca/Mg-forholdet.



Figur 12. Målte konsentrasjoner av Ca og beregnede verdier for Ca/Mg-forholdet sammen med beregnede fortynningskurver for de samme parametrene. Fortynningskurvene er startet fra siste kalking. Data for de to toppvannene (ligger øverst i nedbørfeltet) i Telemark er vist her.

Utviklingen i Grodvatn, Sandvatn og Øyarvatn etter kalkslutt (**Figur 13**) er påvirket av oppstrømskalking. Men nedbørfeltet fra utløp Nestjørn og til utløpet av det nedenforliggende Grodvatn tredobles, slik at effekten av det som skjer i Nestjørn viskes en del ut fram mot utløpet av Grodvatn. Dette gjenspeiles både i lavere Ca-konsentrasjoner og i mindre variasjon i Grodvatn.

Alle de tre innsjøene nedstrøms Nestjørn har kort oppholdstid, og i alle tre er det en forholdsvis rask reduksjon i Ca-konsentrasjon etter kalkslutt. Men i alle tre, er det samtidig en klar effekt av kalk i hele undersøkelsesperioden. Fram til 2010 hadde verken Ca eller Ca/Mg-forholdet kommet tilbake til et forventet referansenivå i noen av dem. Det kan kanskje være tvil om at bakgrunnsnivået for Ca er det samme i Øyarvatn som i referansevannet Hyljevatt, men i og med at Ca/Mg-forholdet fortsatt avviker betydelig, er vi temmelig sikre på at det er en klar kalkeffekt.



Figur 13. Målte konsentrasjoner av Ca og beregnede verdier for Ca/Mg-forholdet sammen med beregnede fortynningskurver for de samme parametrene. Fortynningskurvene er startet fra siste kalking. Data for de tre innsjøene nedstrøms Nestjørn i Telemark er vist her.

Forskjellen mellom målte konsentrasjoner og fortynningskurven gir i utgangspunktet en mulighet for å kvantifisere kalkbidraget fra sedimentet. Men dette må gjøres med forsiktighet – om en integrerer arealet mellom kurvene i de figurene vi nå har gått gjennom, blir det feil. Kalkoppløsningen mellom to prøvetakingstidspunkt finnes ved å sammenlikne endringen i de to målte konsentrasjonene med den endringen fortynning fra første til andre tidspunkt gir. En slik stegvis fortynningsberegning er brukt for å finne kalkoppløsningen fra sedimentet for toppsjøene, dvs. de som ikke har kalking oppstrøms (**Tabell 2**). Er det kalking oppstrøms, kommer det inn en tilleggskilde, som gjør slike beregninger mer usikre. Vi har derfor valgt å ikke beregne dette for de tre innsjøene nedstrøms Nestjørn.

Beregningene viser flere ting. Det er stor forskjell i kalkdose, både om en ser kalkmengden i forhold til innsjøvolum (mg kalk/liter) eller i forhold til innsjøareal (t kalk/ha). Det kommer blant annet fram at Nestjørn er kalket med dobbelt så mye kalk som Berghylvatn, men 10 ganger mer kalk om en ser på

kalkdose. Kalkoppløsningen fra sedimentet er da også mer enn fire ganger så stor i Nestjønn om en ser på kalk oppløst per innsjøareal. Mens Store Finntjenn på nesten alle måter legger seg mellom disse to. For Øvstevatn har vi valgt å ikke gjennomføre beregninger av kalkoppløsning fra sedimentet fordi det er usikkerhet om referansetilstanden.

Tabell 2. Kalkdata for de fire toppsjøene i denne undersøkelsen. Brukte kalkmengder per år er satt opp i første kolonne, deretter hva dette gir i konsentrasjon og arealdose for innsjøene. I de to siste kolonnene finnes beregnede data for hvor mye som er løst opp fra sedimentet totalt etter kalkslutt og hva som er løst opp totalt per innsjøareal. De to er nær null for Øvstevatn.

Lokalitet	Kalk t/år	Kalk mg kalk/l	Kalk t kalk/ha	Sed.oppl. t kalk	Sed.oppl. t kalk/ha
Store Finntjenn	0,36	7,5	0,23	0,38	0,24
Berghylvann	6	2,05	0,14	5,3	0,13
Nestjønn	13,4	22,2	1,22	6,4	0,58
Øvstevatn	11,6	9,35	0,28		

Årsaken til de forskjellene som er funnet diskuteres nærmere i neste kapittel.

5. Diskusjon

Målet med prosjektet er å undersøke hva som skjer med vannkjemien etter avsluttet kalking, samt å beregne størrelsen på en eventuell langtidseffekt fra sedimentert kalk.

Vi har vist utviklingen i pH, Ca, ANC og aluminiumsfraksjoner i de lokalitetene der kalking er avsluttet og i nærliggende referanseinnsjøer. Disse parametrene, i kombinasjon med TOC, viser vannkvaliteten og dermed hvilken fiskestatus man kan forvente. For å beregne langtidseffekten har vi brukt utviklingen i Ca, og sett på forskjellen mellom målte verdier og verdier beregnet med en fortynningslikning.

Konsentrasjonen av Mg antas å være forholdsvis upåvirket av kalking, slik at Ca/Mg-forholdet også blir en parameter for påvirkning. Fordelen med Ca/Mg-forholdet er at denne parameteren er mindre påvirket av langtidsendring i konsentrasjonene av Ca og Mg. Som følge av redusert syretrykk (mindre sur nedbør) er konsentrasjonen av disse to basekationene redusert de siste 20 årene.

Resultatene i denne rapporten er hovedsakelig basert på perioden etter kalkslutt i innsjøer. Denne perioden har hatt lengst varighet for innsjøene i Buskerud (8 år) og hhv. 5 og 6 år for Store Finntjenn i Aust-Agder og innsjøene i Telemark. Den vannkjemiske utviklingen tilbake mot et bakgrunnsnivå bør dermed ha kommet langt.

Langvatn og Øvstevatn i Buskerud ble kalket siste gang i 2002. Allerede i årene før kalkslutt var det betydelige vannkjemiske endringer som følge av den nedtrappingen i kalkmengde som er vist i **Figur 2**. Det vises spesielt godt på kalsium, men også på pH. Resultatene tyder på at det har vært en viss overkalking tidligere og at reduksjonen ikke bare er en tilpasning til endret forsurestrykk, men også til et riktigere vannkvalitetsmål.

Etter kalkslutt er Ca og Ca/Mg tilbake til eller noe over et antatt bakgrunnsnivå, avhengig av hvilken metode som brukes. pH, LAI og ANC ser ut til være gunstigere enn i referansevannet, noe som er et

klart tegn på en vedvarende kalkeffekt. Særlig den betydelige forskjellen i Ca og ANC_{org} mellom de to kalkede innsjøene og referansen går i retning av en langtidseffekt etter kalkslutt.

Etter kalkslutt i Store Finntjenn i Aust-Agder er pH fortsatt over 6,0, og Ca er ikke kommet ned til bakgrunnsnivået. Denne klare kalkeffekten vises også i ANC og Ca/Mg-forholdet. Avtaket i Ca er saktere enn oppholdstiden skulle tilsi, slik som det allerede ble avdekket etter kalking på 1980-tallet (Hindar 1984). Det ble den gang påvist at utviklingen etter kalking både av Store Finntjenn og Lille Finntjenn var styrt dels av ordinær fortynning, men også sterkt av at sedimentert kalk ble løst opp fra bunnen og representerte en intern kalkkilde over tid. Tilsvarende er vist for Store Hovvatn (Hindar og Wright 2005).

Store Finntjenn har vært kalket lenge, og er hele tiden kalket manuelt fra båt. Kalken er spredd uten oppslemming, noe som gir en klart dårligere kalkoppløsning enn ved maskinell båtkalking. Kalkkilden på innsjøbunnen er åpenbart betydelig, jfr. også den stabile vannkjemien de to første årene etter kalkslutt.

ANC_{org} på omkring 30 µekv/l i Store Finntjenn de fire siste årene er helt akseptabelt. Men ANC-verdiene i referansevannet Lille Finntjenn i samme periode er 1 µekv/l. De lave verdiene i Lille Finntjenn kan tyde på at vannkvaliteten i Store Finntjenn over tid kan bli på grensen til akseptabelt. Men forholdet mellom ANC og fiskestatus er basert på høstprøver, og middelet av høstprøvene i Lille Finntjenn er noe høyere (3 µekv/l). Forholdsvis høye LAl-verdier og pH nær 5,0 peker imidlertid på at de vannkjemiske forholdene i området fortsatt ikke er betryggende. Store Finntjenn har kun abbor, som tåler mer enn aure. Det kan derfor være at bestanden er sikret uten kalking.

Geologien og syredeposisjonen antas å være om lag den samme for alle de undersøkte Telemark-innsjøene. ANC er hhv. 5-20 µekv/l og 15-30 µekv/l i de to referansevannene, og middelverdien for ANC_{org} er den samme (6 µekv/l) i begge siden det er noe høyere TOC-konsentrasjon i Tussetjørn. LAl-konsentrasjonen er under 40 µg/l. Det kan tyde på at vannkvaliteten er nær, og trolig på riktig side, av en kritisk grense. Innsjøene i området bør derfor klare seg uten kalking. Beslutningen om kalkslutt er derfor riktig, men det kan være grunn til å følge utviklingen. De fem kalkede vannene har TOC-nivåer mellom de to referansene, med Berghylvatn og Øyarvatn som de klareste.

pH i Berghylvatn er sakte på vei ned etter kalkslutt og har passert 6,0. Men et forventet nivå på 5,4-5,7 er ikke nådd, og det er usikkert når det vil inntreffe. Konsentrasjonen av LAl i Berghylvatn har ikke endret seg ennå, mens konsentrasjonen av Ca og ANC har stabilisert seg. I Berghylvatn er alle vannkvalitetsparametre med relevans til fisk (ANC, pH og LAl) fortsatt akseptable.

Endring i vannkjemii for de fire andre innsjøene har et uventet rolig forløp. Mest overraskende er det at Nestjørn, med sin svært korte oppholdstid, har en så langvarig kalkeffekt. Dette vannet er kalket med helikopter og må ha fått en solid dose kalk over lang tid. Det er dermed en forholdsvis stor kalkreserve på bunnen som fører til at Ca-konsentrasjonen avtar sakte og at det er store sesongvariasjoner etter kalkslutt. Forholdet Ca/Mg var nærmest konstant de første to årene etter kalkslutt og viser at kalkreservene fullstendig har demmet opp for fortynningseffekter den første tiden. Men Ca-konsentrasjonen og Ca/Mg-forholdet var nær bakgrunnsnivået på hhv. 0,5 mg/l og 5 våren 2007. Det vil si at det tærer hardt på kalkreserven i den forstand at den interne kalkkilden ikke alltid klarer å holde tritt med fortynning i snøsmeltingsperioden.

Grodvatn, Sandvatn og Øyarvatn har samme utvikling i Ca, ANC og Ca/Mg, men fordi Øyarvatn har lavere TOC er vannkjemien ellers noe bedre her. Det gjenspeiles i pH og LAl. ANC er over 17-18 µekv/l og LAl er under 40 µg/l i alle innsjøene etter kalkslutt. Selv om det forventes ytterligere utvikling i retning referanseinnsjøenes vannkjemii, vil dette trolig ta flere år.

6. Konklusjon og anbefalinger

Utviklingen i de undersøkte innsjøene i Telemark og Buskerud viser at kalking ikke lenger er avgjørende for gode vannkjemiske forhold og gode fiskebestander i de områdene innsjøene ligger. Beslutningen om å avslutte kalking har vært riktig.

I Store Finntjenn går vannkjemien svært sakte tilbake til en referansesituasjon, og for abboren i vannet vil vannkjemien sannsynligvis være tilfredsstillende uten kalking i framtida. Vannkvaliteten i referansevannet Lille Finntjenn viser imidlertid at dette er et område der kalking fortsatt kan være nødvendig for å sikre aurebestander.

Er det tvil, vil den til dels sakte endringen i vannkjemien etter kalkslutt gi grunnlag for enten å avslutte eller å redusere kalkingsfrekvensen sterkt hvis dette kombineres med overvåking.

Resultatene i denne undersøkelsen viser at den vannkjemiske utviklingen etter kalkslutt avhenger av naturgitte forhold og karakteristika som er knyttet til selve kalkingen. Vi vil spesielt peke på følgende generelle forhold som er framkommet (og med innsjønavn i parentes som eksempler):

- I innsjøer med kort oppholdstid (her satt til $< 0,4$ år) endres vannkjemien generelt raskt pga rask fortynning. Lang oppholdstid (> 1 år) virker motsatt, og kalkeeffekten vil uansett holde seg i 2-4 år (Nestjørn og Berghylvatn).
- Er det kalket med tørt kalksteinsmel fra helikopter eller båt, vil mye kalk synke rett til bunns og dermed gi et internt kalklager. Dette kalklageret er aktivt og løses opp over tid, slik at det blir en kalkeeffekt over tid (Nestjørn, Berghylvatn og Store Finntjenn).
- Vann som er kalket hardt, dvs mye kalk per areal og vannvolum, kan ha et forholdsvis stort internt kalkreservoar ved kalkslutt (Nestjørn).
- Vann som er kalket skånsomt og i tillegg er dype, dvs lite kalk per areal og vannvolum, kan ha et forholdsvis ubetydelig internt kalkreservoar (de dype innsjøene Nisser og Fyresvatn med om lag 100 % kalkoppløsning, samt Terjevatn og Selura, der det ikke ble funnet kalkrester i sedimentet av betydning).
- Vann som er kalket indirekte fra oppstrøms kalkede innsjøer, har en tilleggskilde til kalkeeffekt. De er delvis prisgitt utviklingen høyere oppe i nedbørfeltet (Langvatn og de tre vannene nedstrøms Nestjørn).
- Vann som er kalket mange ganger og over lang tid, antas å ha større kalkreserve i sedimentet enn innsjøer som har en kort kalkingshistorie.

Kombinasjoner av de ulike punktene finnes, slik vi har vist for Nestjørn.

Overvåking etter kalkslutt kan følge dette skjemaet:

- 1) Hvis det er liten eller ingen risiko for at ANC blir kritisk dårlig etter kalkslutt, undersøkes ANC i høstprøver tre år og seks år etter kalkslutt.
- 2) Hvis det er usikkert om ANC blir kritisk dårlig etter kalkslutt bør kalkslutt kombineres med årlig undersøkelse av ANC. Er oppholdstiden lang, kan ANC hvert tredje år være tilstrekkelig.
- 3) Anbefalingen i 2) bør kombineres med årlig kontakt med den som søkte om kalkingsmidler for å følge med på bestandsutviklingen.
- 4) Hvis kalkslutt kan få store konsekvenser, f.eks. i form av tap av en svært verdifull bestand eller tap av fiske i et svært attraktivt fiskeområde, bør 2) kombineres med biologiske undersøkelser.
- 5) Hvis det er usikkert om ANC blir kritisk dårlig etter kalkslutt kan kalkingsfrekvensen reduseres sterkt, f.eks. fra årlig til hvert tredje år. Dette kombineres med årlig (eller mindre frekvent) undersøkelse av ANC.

Data fra omkringliggende, ukalkede innsjøer er svært verdifulle. Vi har brukt slike data aktivt i dette arbeidet, og data fra ukalkede innsjøer er også grunnlaget for de modellene NIVA har brukt for å beregne «ukalket» ANC i kalkede innsjøer. Gir ANC-verdier og evt. fiskestatus i slike innsjøer grunnlag for å avslutte, skulle situasjonen være grei så sant det ikke er spesielle grunner for tvil.

7. Referanser

Austnes, K. og Kroglund, F. 2010. Vurdering av fortsatt kalkingsbehov i kalkede innsjøer i Vest – Agder. NIVA-rapport 6062. 30 s.

de Wit, H., Mulder, J., Hindar, A. and Hole, L. 2007. Long-term increase in dissolved organic carbon in streamwaters in Norway is response to reduced acid deposition. *Environ. Sci. Technol.* 41: 7706 – 7713.

Dillon, P.J. and Scheider, W.A 1983. Modeling the reacidification rates of neutralized lakes near Sudbury, Ontario. Pp. 121-154. In: Schnoor, J.J. (ed.) *Modelling of Total Acid Precipitation Impacts*. Amer. Chem. Soc.; Ann Arbor Sci. Press. Las Vegas.

Garmo, Ø. og Austnes, K. 2011. Vurdering av fortsatt kalkingsbehov i kalkede innsjøer i Buskerud. NIVA-rapport 6201. 78 s.

Garmo, Ø., Kroglund, F. og Austnes, K. 2011. Vurdering av fortsatt kalkingsbehov i kalkede innsjøer i Oslo og Akershus. NIVA-rapport 6151. 35 s.

Hindar, A. 1984. pH-utvikling og kalkutnyttelse ved kalking av tre småvann i Gjerstad, Aust-Agder. Rapport 14-84, Kalkingsprosjektet. 70 s.

Hindar, A. 2011. Reetablering av Vänerlaksen i Trysilvassdraget – forsureningssituasjonen og behovet for kalking. NIVA-rapport 6269-2011. 20 s.

Hindar, A. og Enge, E. 1999. Evaluering av kalkingsstrategien for store innsjøkalkingsprosjekter i Norge. NIVA-rapport 4034. 61 s.

Hindar, A. og Larssen, T. 2005a. Metodikk for å avgjøre om og når kalking av innsjøer kan avsluttes i områder med redusert sur nedbør. NIVA-rapport 5029. 34 s.

Hindar, A. og Larssen, T. 2005b. Modifisering av ANC- og tålegrenseberegninger ved å inkludere sterke organiske syrer. *Naturens tålegrenser*, fagrapport 119. NIVA-rapport 5030. 39 s.

Hindar, A. og Rognerud, S. 2011. Kvantifisering av kalkrester og metaller i sedimentet etter innsjøkalking. NIVA-rapport 6161, 42 s.

Hindar, A. og Skancke, L.B. 2008. Vannkjemisk utvikling i innsjøer etter avsluttet kalking. NIVA-rapport 5628. 32 s.

Hindar, A., Teien, H.-C., Salbu, B., Lierhagen, S. og Oug, E. 2000. Faktorer som påvirker aluminiumskjemien og dermed vannkvalitetsmålet for laks i Tovdal- og Mandalsvassdraget. NIVA-rapport 4229. 81 s.

Hindar, A. and Wright, R.F. 2005. Long-term records and modeling of acidification, recovery and liming at Lake Hovvatn, Norway. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 2620-2631.

Klif 2011. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - effekter 2010. Statlig program for forurensningsovervåking. Klif-rapport 1094/NIVA-rapport 6214. 159 s.

Lydersen, E., Larssen, T. and Fjeld, E. 2004. The influence of total organic carbon (TOC) on the relationship between acid neutralizing capacity (ANC) and fish status in Norwegian lakes. *Sci. Tot. Environ.* 326: 63-69.

Monteith, D.T., Stoddard, J.L., Evans, C.D., de Wit, H.A., Forsius, M., Hogasen, T., Wilander, A., Skjelkvale, B.L., Jeffries, D.S., Vuorenmaa, J., Keller, B., Kopacek, J., Vesely, J., et al. 2007. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature*, 450 (7169): 537-U9.

Rosseland, B.O. and Hindar, A. 1988. Liming of lakes, rivers and catchments in Norway. *Water, Air, Soil Pollut.* 41: 165-188. (Also appearing in Brocksen, R.W. and Wisniewski, J. (eds.) 1988: *Restoration of aquatic and terrestrial systems*. Kluwer Academic Publishers. 501 pp.)

SFT 2008. Overvåking av langtransporterte forurensninger 2007. Sammendragsrapport. Statlig program for forurensningsovervåking, rapport 1032/2008, TA-2422/2008. Statens forurensningstilsyn, Oslo.

Vedlegg A. Primærtabel for vannkjemi 2005-2010

Lokalitet	NVE vann nr	Dato	pH	Kond mS/m	Alk-E µekv/L	Tot-N µg/L N	NH ₄ -N µg/L N	NO ₃ -N µg/L N	TOC mg/L C	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Al/R µg/L	Al/I µg/L	LAL µg/L	Ca mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	ANC µekv/L	ANC _{org} µekv/L
Buskerud, Flå kommune																				
Langvatn	7243	19.06.06	6,01	1,11	27	195	13	<1	6,1	0,48	1,37	112	98	14	1,07	0,19	0,14	0,73	59	39
Langvatn	7243	28.10.06	5,74	1,28	31	260	19	7	8,2	0,49	1,24	135	120	15	1,14	0,16	0,19	0,83	73	45
Langvatn	7243	09.07.07	5,69	1,04	15	200	6	2	8,0	0,36	1,01	143	122	21	0,83	0,09	0,12	0,61	49	22
Langvatn	7243	10.11.07	5,81	1,16	24	260	3	18	7,7	0,44	1,10	146	139	7	1,15	0,12	0,14	0,80	70	44
Langvatn	7243	29.06.08	6,09	0,90	23	175	6	1	5,1	0,38	0,96	85	75	10	0,80	0,14	0,11	0,69	52	34
Langvatn	7243	27.10.08	5,95	1,15	27	205	8	14	6,5	0,41	0,97	116	116	0	0,99	0,14	0,16	0,72	65	43
Langvatn	7243	06.07.10	6,27	1,02	34	185	4	<1	5,7	0,33	0,95	83	71	12	0,97	0,12	0,15	0,73	66	47
Langvatn	7243	28.09.10	5,82	1,09	29	215	7	11	7,9	0,39	0,88	126	109	17	1,08	0,12	0,14	0,73	70	43
Øvstevatn	7242	19.06.06	6,02	0,98	25	160	26	<1	4,6	0,39	1,31	111	94	17	0,91	0,15	0,12	0,68	50	35
Øvstevatn	7242	28.10.06	5,82	1,24	36	240	<2	5	6,9	0,49	1,22	134	120	14	1,17	0,10	0,18	0,87	74	51
Øvstevatn	7242	09.07.07	5,62	0,98	14	215	5	2	8,2	0,28	0,94	184	152	32	0,79	0,06	0,12	0,57	48	20
Øvstevatn	7242	10.11.07	6,12	1,29	38	255	12	7	6,6	0,57	1,22	132	131	1	1,34	0,15	0,16	0,93	82	60
Øvstevatn	7242	29.06.08	6,19	0,78	23	160	7	<1	3,4	0,32	0,85	68	60	8	0,69	0,11	0,10	0,63	46	35
Øvstevatn	7242	27.10.08	6,15	1,15	38	235	11	4	5,7	0,52	0,93	106	107	0	1,12	0,13	0,16	0,84	75	55
Øvstevatn	7242	06.07.10	6,36	0,89	34	165	7	1	4,5	0,24	0,75	66	59	7	0,83	0,10	0,13	0,65	60	45
Øvstevatn	7242	28.09.10	5,94	1,04	31	190	3	5	7,3	0,37	0,82	130	115	15	1,08	0,08	0,13	0,75	71	47
Aust-Agder, Gjerstad kommune																				
Lille Finnjern	146676	07.06.05	5,08	1,36	0	280	8	58	6,1	1,49	1,35	151	73	78	0,49	0,09	0,10	0,95	2	-19
Lille Finnjern	146676	09.10.05	5,22	1,37	0	280	22	19	5,9	1,54	1,32	97	60	37	0,58	0,10	0,16	1,06	18	-2
Lille Finnjern	146676	06.06.06	5,21	1,22	0	195	14	<1	6,1	0,98	1,25	112	68	44	0,40	0,09	0,10	0,86	14	-7
Lille Finnjern	146676	30.10.06	5,13	1,51	10	440	111	7	9,5	1,30	1,20	160	116	44	0,80	0,13	0,17	1,06	41	9
Lille Finnjern	146676	28.05.07	5,26	1,24	0	265	15	<1	5,3	1,41	1,21	124	82	42	0,49	0,08	0,13	0,97	14	-4
Lille Finnjern	146676	22.09.07	5,14	1,30	0	255	8	<1	7,1	1,21	1,05	141	94	47	0,55	0,07	0,14	0,92	25	1
Lille Finnjern	146676	06.06.08	5,30	1,05	0	200	2	<1	4,5	1,19	1,08	77	54	23	0,40	0,08	0,10	0,87	12	-3
Lille Finnjern	146676	03.10.08	5,26	1,30	4	270	23	5	7,0	1,32	0,97	124	94	30	0,57	0,08	0,14	0,96	26	2
Lille Finnjern	146676	01.06.09	5,28	1,10	0	240	<2	<1	4,1	1,21	0,95	85	54	31	0,37	0,07	0,10	0,93	15	1
Lille Finnjern	146676	04.10.09	5,36	1,36	11	315	57	4	7,4	1,47	0,91	137	88	49	0,63	0,08	0,15	1,06	31	6
Lille Finnjern	146676	14.06.10	5,38	1,19	8	215	11	2	4,9	1,24	1,13	89	52	37	0,47	0,07	0,11	1,03	20	4
Lille Finnjern	146676	27.09.10	5,19	1,35	5	275	25	4	7,5	1,38	1,09	127	89	38	0,61	0,11	0,13	1,05	28	2

Lokalitet	NVE vann nr	Dato	pH	Kond mS/m	Alk-E µekv/L	Tot-N µg/L N	NH ₄ -N µg/L N	NO ₃ -N µg/L N	TOC mg/L C	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Al/R µg/L	Al/II µg/L	Ca mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	ANC µekv/L	ANC _{org} µekv/L	
Store Finntjern	8091	07.06.05	6,74	2,06	85	215	11	38	4,0	1,49	1,77	70	50	20	2,62	0,08	0,13	1,02	106	93
Store Finntjern	8091	09.10.05	6,73	2,10	106	250	32	20	3,8	1,49	1,83	19	14	5	2,80	0,09	0,20	1,21	130	117
Store Finntjern	8091	06.06.06	5,96	1,34	19	180	6	26	3,8	1,22	1,79	72	54	18	1,15	0,08	0,13	1,07	43	30
Store Finntjern	8091	30.10.06	6,20	1,68	54	295	48	10	5,4	1,25	1,60	72	61	11	1,83	0,09	0,20	1,18	92	74
Store Finntjern	8091	28.05.07	6,17	1,39	21	200	17	11	3,5	1,51	1,65	72	61	11	1,02	0,07	0,16	1,10	36	24
Store Finntjern	8091	22.09.07	6,15	1,42	29	225	3	1	4,1	1,35	1,49	61	56	5	1,28	0,08	0,18	1,12	60	46
Store Finntjern	8091	06.06.08	6,14	1,22	20	200	11	5	2,9	1,34	1,47	36	32	4	0,88	0,08	0,15	1,06	36	26
Store Finntjern	8091	03.10.08	6,21	1,42	36	220	5	1	3,8	1,43	1,36	37	35	2	1,14	0,09	0,17	1,10	52	39
Store Finntjern	8091	01.06.09	6,05	1,27	19	200	4	16	2,6	1,40	1,32	40	34	6	0,84	0,07	0,15	1,10	36	27
Store Finntjern	8091	04.10.09	6,19	1,47	37	225	35	5	4,0	1,53	1,30	43	33	10	1,05	0,07	0,17	1,18	49	35
Store Finntjern	8091	14.06.10	6,07	1,43	31	200	16	11	3,2	1,42	1,45	43	31	12	0,77	0,07	0,14	1,15	31	20
Store Finntjern	8091	27.09.10	6,05	1,37	28	220	25	9	4,4	1,53	1,38	49	43	6	1,00	0,07	0,16	1,16	43	28
Telemark, Fyresdal kommune																				
Tussetjern	1311	06.10.05	5,38	0,98	5	195	<5	3	5,2	1,07	0,64	100	72	28	0,66	0,07	0,14	0,64	30	13
Tussetjern	1311	04.06.06	5,48	0,67	4	160	6	4	3,8	0,44	0,58	81	50	31	0,34	0,08	0,07	0,51	22	9
Tussetjern	1311	27.10.06	4,99	1,00	0	215	12	4	6,7	0,56	0,69	157	122	35	0,44	0,02	0,11	0,57	26	3
Tussetjern	1311	26.05.07	5,57	0,70	3	150	5	2	3,2	0,73	0,52	84	63	21	0,32	0,05	0,08	0,56	17	6
Tussetjern	1311	23.09.07	5,53	0,83	6	210	7	3	5,2	1,00	0,55	116	87	29	0,62	0,04	0,12	0,57	27	9
Tussetjern	1311	02.06.08	5,39	0,63	2	144	4	4	3,0	0,65	0,38	66	47	19	0,24	0,05	0,06	0,54	15	5
Tussetjern	1311	04.10.08	5,30	0,93	2	190	<2	3	6,1	0,80	0,44	136	110	26	0,52	0,04	0,12	0,62	32	11
Tussetjern	1311	30.05.09	5,55	0,71	6	165	<2	2	3,9	0,56	0,45	80	64	16	0,37	0,05	0,08	0,58	26	13
Tussetjern	1311	04.10.09	5,47	0,99	9	190	9	<1	5,8	1,04	0,50	139	99	40	0,58	0,07	0,12	0,68	30	11
Tussetjern	1311	12.06.10	5,65	0,63	10	141	4	2	4,1	0,41	0,48	69	46	23	0,40	0,06	0,08	0,48	27	13
Tussetjern	1311	25.09.10	5,16	0,93	3	195	4	3	7,3	0,72	0,41	138	110	28	0,51	0,05	0,11	0,55	31	6
Nestjern	14809	06.06.05	6,12	0,86	16	149	8	9	3,9	0,77	0,65	81	65	16	0,80	0,07	0,08	0,54	36	23
Nestjern	14809	06.10.05	6,47	1,18	47	175	<5	5	4,2	0,96	0,70	55	48	7	1,54	0,07	0,16	0,63	77	63
Nestjern	14809	04.06.06	6,07	0,79	21	125	4	9	3,6	0,54	0,67	61	47	14	0,89	0,08	0,09	0,53	47	35
Nestjern	14809	27.10.06	6,11	1,04	40	205	10	5	5,2	0,71	0,59	106	91	15	1,42	0,05	0,16	0,55	77	59
Nestjern	14809	26.05.07	5,86	0,76	10	140	4	2	3,3	0,76	0,59	75	60	15	0,54	0,06	0,10	0,57	28	16
Nestjern	14809	23.09.07	5,98	0,94	19	190	3	6	4,7	0,82	0,57	88	80	8	0,94	0,06	0,14	0,60	51	35
Nestjern	14809	02.06.08	5,77	0,61	10	122	5	5	2,7	0,69	0,39	53	41	12	0,27	0,05	0,06	0,53	15	6
Nestjern	14809	04.10.08	5,63	0,86	10	160	2	5	4,9	0,82	0,48	92	84	8	0,61	0,06	0,12	0,58	34	17
Nestjern	14809	30.05.09	5,85	0,75	13	150	4	4	3,6	0,61	0,51	66	57	9	0,56	0,06	0,09	0,58	34	22
Nestjern	14809	04.10.09	5,78	0,94	15	170	7	7	4,6	1,04	0,50	89	61	28	0,66	0,07	0,12	0,68	34	18
Nestjern	14809	12.06.10	5,71	0,65	13	129	3	2	3,6	0,43	0,51	50	34	16	0,51	0,07	0,07	0,47	31	18
Nestjern	14809	25.09.10	5,68	0,79	16	180	3	7	5,5	0,60	0,45	99	86	13	0,69	0,05	0,11	0,53	41	22

Lokalitet	NVE vann nr	Dato	pH	Kond mS/m	Alk-E µekv/L	Tot-N µg/L N	NH ₄ -N µg/L N	NO ₃ -N µg/L N	TOC mg/L C	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Al/R µg/L	Al/I µg/L	LAL µg/L	Ca mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	ANC µekv/L	ANC _{org} µekv/L
Grodvatn	14827	06.06.05	5,99	0,84	11	132	9	15	3,7	0,79	0,65	83	62	21	0,72	0,07	0,09	0,54	32	19
Grodvatn	14827	06.10.05	6,13	0,94	21	165	<5	7	3,7	0,91	0,76	53	45	8	1,01	0,07	0,13	0,61	47	35
Grodvatn	14827	04.06.06	5,67	0,69	8	132	5	7	3,6	0,51	0,67	73	48	25	0,53	0,07	0,08	0,52	29	16
Grodvatn	14827	27.10.06	5,22	0,90	6	230	5	7	5,6	0,56	0,72	117	90	27	0,69	0,04	0,11	0,53	36	17
Grodvatn	14827	26.05.07	5,68	0,72	5	140	7	3	3,0	0,75	0,60	76	55	21	0,42	0,05	0,08	0,54	18	8
Grodvatn	14827	23.09.07	5,71	0,77	8	190	3	5	4,4	0,64	0,58	85	69	16	0,63	0,04	0,10	0,47	31	16
Grodvatn	14827	02.06.08	5,54	0,65	5	146	6	16	2,7	0,71	0,46	58	44	14	0,32	0,05	0,07	0,55	16	7
Grodvatn	14827	04.10.08	5,57	0,77	8	170	3	4	4,6	0,70	0,46	95	82	13	0,52	0,04	0,10	0,52	28	13
Grodvatn	14827	30.05.09	5,67	0,71	9	150	4	10	3,3	0,58	0,51	69	55	14	0,45	0,05	0,08	0,55	27	15
Grodvatn	14827	04.10.09	5,68	0,79	11	180	10	2	4,6	0,70	0,53	98	60	38	0,54	0,03	0,09	0,56	29	13
Grodvatn	14827	12.06.10	5,68	0,68	13	160	4	2	3,6	0,44	0,62	57	39	18	0,43	0,07	0,07	0,47	24	12
Grodvatn	14827	25.09.10	5,46	0,78	10	190	6	10	5,4	0,60	0,48	105	86	19	0,51	0,05	0,10	0,51	30	11
Sandvatn	14905	07.10.05	6,26	0,97	26	175	6	11	3,8	0,86	0,80	53	47	6	1,07	0,07	0,14	0,63	52	39
Sandvatn	14905	05.06.06	5,60	0,70	6	132	4	20	3,6	0,48	0,67	79	50	29	0,51	0,08	0,08	0,51	27	15
Sandvatn	14905	28.10.06	5,30	0,89	10	215	9	11	5,8	0,61	0,72	139	99	40	0,70	0,05	0,13	0,53	37	17
Sandvatn	14905	27.05.07	5,63	0,74	4	130	4	8	3,0	0,77	0,62	88	67	21	0,39	0,05	0,09	0,55	17	7
Sandvatn	14905	25.09.07	5,68	0,80	8	190	9	10	4,6	0,67	0,56	101	83	18	0,69	0,05	0,11	0,53	37	21
Sandvatn	14905	01.06.08	5,47	0,67	3	147	5	21	2,8	0,62	0,44	61	47	14	0,33	0,05	0,07	0,54	19	9
Sandvatn	14905	06.10.08	5,68	0,77	10	175	4	11	4,6	0,65	0,48	94	82	12	0,55	0,04	0,11	0,61	35	19
Sandvatn	14905	31.05.09	5,69	0,73	8	150	2	19	3,2	0,60	0,55	72	57	15	0,45	0,06	0,08	0,56	25	14
Sandvatn	14905	02.10.09	5,74	0,80	12	190	6	15	4,6	0,65	0,54	103	65	38	0,55	0,04	0,10	0,57	31	15
Sandvatn	14905	13.06.10	5,68	0,69	12	132	3	3	3,7	0,49	0,62	52	37	15	0,49	0,07	0,08	0,50	28	15
Sandvatn	14905	26.09.10	5,57	0,78	13	170	4	11	5,5	0,56	0,52	98	83	15	0,60	0,05	0,10	0,52	35	16
Øyarvatn	15002	07.06.05	6,09	0,94	15	165	9	50	3,4	0,85	0,84	85	58	27	0,87	0,07	0,09	0,56	32	20
Øyarvatn	15002	07.10.05	6,19	0,92	21	155	7	35	2,9	0,84	0,84	46	32	14	0,97	0,07	0,12	0,59	42	32
Øyarvatn	15002	05.06.06	5,71	0,81	10	180	7	45	3,3	0,63	0,82	75	52	23	0,67	0,08	0,09	0,57	30	18
Øyarvatn	15002	28.10.06	5,62	0,84	14	230	9	24	4,0	0,60	0,77	85	65	20	0,76	0,06	0,12	0,53	38	24
Øyarvatn	15002	27.05.07	5,62	0,83	3	160	6	34	3,0	0,88	0,78	95	65	30	0,50	0,05	0,10	0,60	17	7
Øyarvatn	15002	25.09.07	5,74	0,79	8	170	9	26	3,3	0,71	0,65	79	63	16	0,60	0,05	0,10	0,55	28	17
Øyarvatn	15002	01.06.08	5,54	0,76	6	185	12	47	2,8	0,77	0,64	67	49	18	0,44	0,06	0,09	0,59	18	9
Øyarvatn	15002	06.10.08	5,77	0,75	10	160	5	28	3,1	0,67	0,57	67	57	10	0,50	0,05	0,10	0,54	25	15
Øyarvatn	15002	31.05.09	5,66	0,80	8	185	7	50	2,9	0,67	0,67	79	58	21	0,46	0,06	0,09	0,59	21	11
Øyarvatn	15002	02.10.09	5,79	0,77	11	170	11	42	3,2	0,68	0,63	79	47	32	0,49	0,05	0,09	0,56	22	11
Øyarvatn	15002	13.06.10	5,65	0,76	12	165	6	41	3,2	0,57	0,70	65	43	22	0,52	0,06	0,09	0,55	25	14
Øyarvatn	15002	26.09.10	5,77	0,75	13	180	10	32	3,8	0,57	0,64	80	66	14	0,52	0,06	0,09	0,54	27	14

Lokalitet	NVE vamn nr	Dato	pH	Kond mS/m	Alk-E µekv/L	Tot-N µg/L N	NH ₄ -N µg/L N	NO ₃ -N µg/L N	TOC mg/L C	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Al/R µg/L	Al/II µg/L	Ca mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	ANC µekv/L	ANC _{org} µekv/L	
Berghylvatn	14992	07.06.05	6,39	1,08	31	190	11	70	3,2	0,78	0,90	52	36	16	1,34	0,06	0,08	0,53	52	41
Berghylvatn	14992	07.10.05	6,41	1,10	40	215	13	30	3,0	0,79	0,90	27	23	4	1,46	0,07	0,11	0,57	65	55
Berghylvatn	14992	05.06.06	6,12	0,96	24	190	17	51	3,1	0,68	0,84	43	29	14	1,10	0,05	0,09	0,57	48	38
Berghylvatn	14992	28.10.06	5,97	0,92	25	220	14	26	3,4	0,63	0,79	43	41	2	1,11	0,04	0,11	0,50	51	40
Berghylvatn	14992	27.05.07	5,92	0,87	11	190	8	49	3,0	0,79	0,78	68	53	15	0,71	0,04	0,09	0,53	25	15
Berghylvatn	14992	25.09.07	5,87	0,84	10	190	10	37	3,2	0,73	0,72	56	47	9	0,79	0,04	0,09	0,52	32	21
Berghylvatn	14992	01.06.08	5,84	0,80	13	200	16	65	2,7	0,77	0,68	53	39	14	0,65	0,04	0,08	0,58	25	16
Berghylvatn	14992	06.10.08	5,85	0,81	12	170	7	42	2,8	0,72	0,63	48	42	6	0,66	0,04	0,09	0,54	28	19
Berghylvatn	14992	31.05.09	5,89	0,81	12	215	11	61	2,6	0,70	0,63	47	37	10	0,60	0,04	0,08	0,57	25	16
Berghylvatn	14992	02.10.09	5,91	0,79	12	190	17	56	2,7	0,71	0,64	55	34	21	0,57	0,04	0,08	0,54	22	13
Berghylvatn	14992	13.06.10	5,88	0,79	14	180	7	66	2,7	0,65	0,66	45	29	16	0,57	0,04	0,07	0,54	22	13
Berghylvatn	14992	26.09.10	5,80	0,75	13	195	12	46	3,2	0,66	0,60	50	47	3	0,59	0,04	0,08	0,53	26	15
Hyljevatn	14884	07.10.05	5,69	0,74	5	165	7	29	2,3	0,73	0,84	41	26	15	0,48	0,06	0,10	0,53	17	9
Hyljevatn	14884	05.06.06	5,54	0,79	3	180	16	56	2,7	0,63	0,84	61	28	33	0,45	0,06	0,08	0,56	16	6
Hyljevatn	14884	28.10.06	5,39	0,79	8	250	26	32	3,1	0,60	0,80	58	40	18	0,52	0,06	0,11	0,49	22	11
Hyljevatn	14884	28.05.07	5,43	0,79	0	200	10	55	2,6	0,83	0,78	85	52	33	0,35	0,05	0,09	0,53	6	-3
Hyljevatn	14884	25.09.07	5,54	0,74	0	170	11	33	2,6	0,70	0,71	64	42	22	0,42	0,05	0,09	0,51	15	6
Hyljevatn	14884	07.06.08	5,53	0,74	3	185	13	49	2,2	0,75	0,67	52	33	19	0,36	0,05	0,08	0,58	12	5
Hyljevatn	14884	06.10.08	5,64	0,70	4	147	6	19	2,5	0,68	0,61	54	39	15	0,36	0,05	0,09	0,51	16	7
Hyljevatn	14884	31.05.09	5,67	0,75	5	190	9	51	2,3	0,68	0,66	53	37	16	0,37	0,05	0,08	0,56	14	6
Hyljevatn	14884	02.10.09	5,68	0,71	8	170	14	33	2,5	0,66	0,64	61	31	30	0,34	0,05	0,09	0,54	15	6
Hyljevatn	14884	13.06.10	5,66	0,70	8	155	7	43	2,6	0,59	0,72	53	30	23	0,40	0,05	0,08	0,52	16	7
Hyljevatn	14884	26.09.10	5,70	0,68	10	160	8	23	2,9	0,58	0,64	56	43	13	0,39	0,05	0,08	0,51	18	8

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 tilnærmingssmåte 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