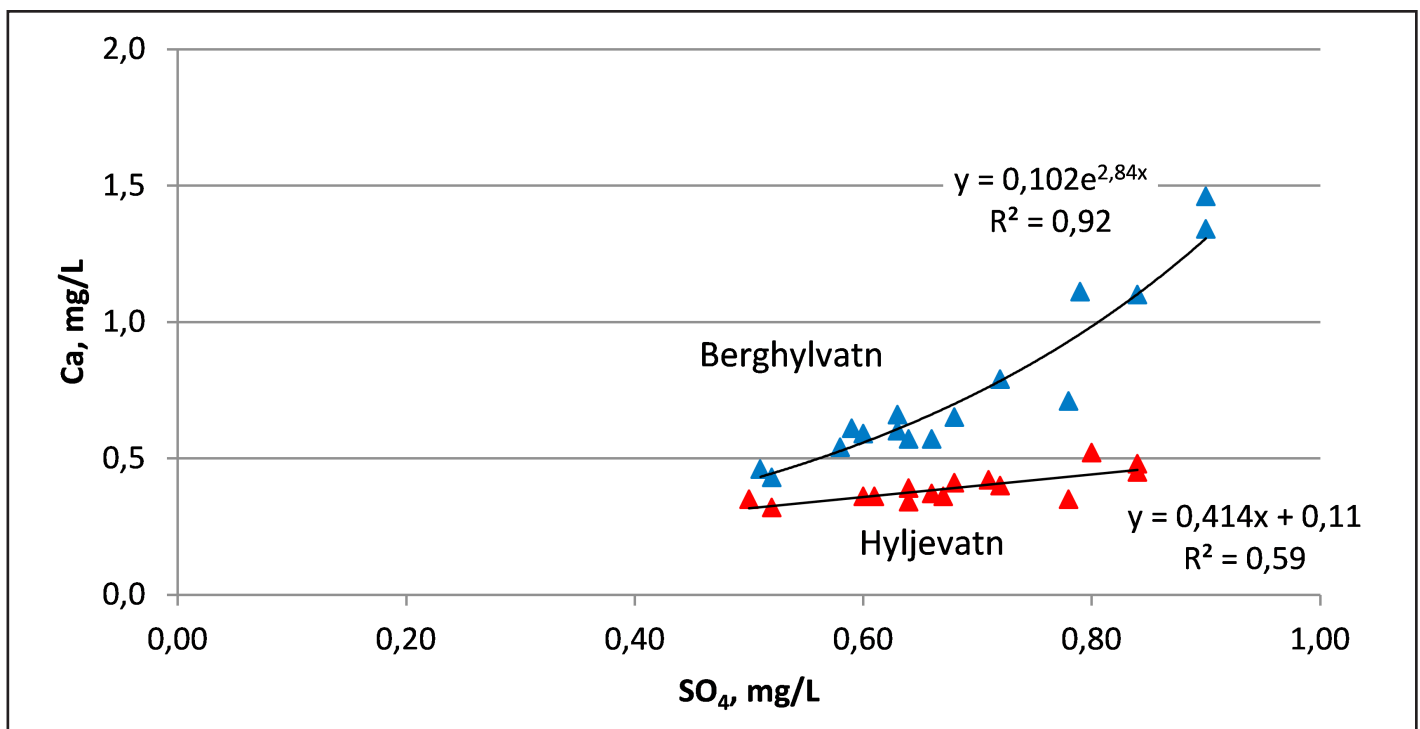


Vannkjemisk utvikling i innsjøer i Buskerud, Telemark og Aust-Agder de 9-12 første årene etter avsluttet kalking



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 Vannkjemisk utvikling i innsjøer i Buskerud, Telemark og Aust-Agder de 9-12 første årene etter avsluttet kalking	Løpenr. (for bestilling) 6874-2015	Dato 17.6.2015
	Prosjektnr. Undernr. 14128	Sider Pris 33
Forfatter(e) Atle Hindar og Liv Bente Skancke	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon
	Geografisk område Sør-Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet	Oppdragsreferanse Kontrakt 14040006
---------------------------------------	--

<p>Sammendrag</p> <p>Reduserte utslipp av svovel og nitrogen i Europa har resultert i en markant endring i vannkjemisk utvikling i innsjøer og elver. I den samme perioden er kalkforbruket sterkt redusert og kalking er avsluttet i mange innsjøer. Målet med prosjektet har vært å dokumentere endringer i vannkjemisk utvikling etter avslutning av kalking i innsjøer. De vannkjemiske resultatene 9-12 år etter kalkslutt viser at kalkeffekten fortsatt er påvisbar i enkelte innsjøer, avhengig av kalkingsmetoden og vannets oppholdstid. Vannkjemisk utvikling styres ikke bare av fortynning, men også av langtidsoppløsning av sedimentert kalk. Helikopteralking og annen kalking med tørt kalkmel over flere år og med store doser kan gi en langvarig kalkeffekt selv for innsjøer med kort oppholdstid. Kalkslutt eller betydelig redusert kalkingsfrekvens, i kombinasjon med overvåking av vannkjemisk utvikling, kan derfor vurderes i innsjøer der en er i tvil om avslutning er en riktig strategi</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Innsjøkalking 2. Vannkjemisk 3. Kalkingsstrategi 4. Kalkslutt 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lake liming 2. Water chemistry 3. Liming strategy 4. Termination of liming
--	---



Atle Hindar
Prosjektleder



Øyvind Kaste
Forskningsleder

**Vannkjemisk utvikling i innsjøer i Buskerud,
Telemark og Aust-Agder de 9-12 første årene etter
avsluttet kalking**

Forord

Forsuringsforholdene i Norge har vært i stadig bedring de siste 20-30 årene, kalkbehovet er redusert, og i en rekke innsjøer har NIVA anbefalt å avslutte tiltakene helt. Kalking er nå også avsluttet i mange innsjøer.

I prosjektforslag av 16. februar 2005 foreslo NIVA å dokumentere vannkjemiske 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 Direktoratet for naturforvaltning ble mottatt 4. juli samme år, og prosjektet har deretter blitt videreført, sist basert på kontrakt av 19.2.2014 fra Miljødirektoratet.

Denne rapporten er basert på vannkjemiske data som er samlet inn i dette prosjektet i perioden 2005-2014, 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, som for 6-årsrapporten i 2010, valgt bare å 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.

Hanne Hegseth har de siste årene vært vår kontaktperson i Miljødirektoratet.

Vi takker alle for godt samarbeid.

Grimstad, 17. juni 2015

Atle Hindar

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn	7
2. Lokalteter og analyser	7
3. Resultater	10
3.1 Innsjøer i Buskerud	10
3.2 Innsjøer i Aust-Agder	13
3.3 Innsjøer i Telemark	15
3.4 Kalkeffekthalen	20
4. Diskusjon	24
5. Konklusjon og anbefalinger	26
6. Referanser	27
Vedlegg A. Primærtavell for vannkjemi 2005-2014	29

Sammendrag

Fra omkring 1990 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 med hensyn til forsuring 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 vannkjemisk 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 langvarig kalkeffekt. Dette gjelder uansett for innsjøer med lang oppholdstid, slik som for Berghylvatn i Telemark, og skjer fordi det tar lang tid å fortynne det kalkede vannet. Er oppholdstiden ett år, vil det fortsatt være en kalkeffekt etter 3-4 år. Men i Berghylvatn, der kalking ble avsluttet i 2005, var det fortsatt en resteffekt etter kalking i 2014.

For flere innsjøer med kort oppholdstid ($<0,4$ år) er det også funnet at det kan ta lang tid å komme tilbake til nivået i omkringliggende, ukalkede innsjøer. Slike innsjøer tilføres gjerne en stor kalkmengde per volumenhet for at effekten skal holde seg fram til rekalking året etter. Særlig helikopteralking over flere år og med forholdsvis store kalkdoser kan gi en lang effekt-«hale», slik som for Nestjørn i Fyresdal. Store Finntjenn i Gjerstad ble kalket regelmessig ved manuell spredning av tørt mel fra 1981 til og med 2005, og også her er det en lengere 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 her grunnlag for å avslutte og har de ukalkede innsjøene god fiskestatus, skulle situasjonen være grei så sant det ikke er spesielle grunner for tvil.

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 og ANC_{org} vil være nyttig i «usikre» innsjøer. Oppholdstid og kalkingsmetode gir også grunnlag for å vurdere prøvetakingsfrekvensen, og den kan være mindre hyppig der det forventes en langvarig kalkeffekt.

Summary

Title: Water chemistry in lakes in Buskerud, Telemark and Aust-Agder counties the first 9-12 years after termination of liming

Year: 2015

Author: Atle Hindar and Liv Bente Skancke

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-6609-2

The deposition of acidic components in southern Norway has decreased gradually from 1990 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. Several liming operations have also been terminated in this period.

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 several lakes, and eight of these lakes are part of this work. Doubt regarding whether or not termination of liming is without risk may exist for some lakes, and for these lakes knowledge of the most likely water chemistry changes after termination will be valuable.

The aim of the present work 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 operations in individual lakes and regions less affected by acid rain.

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 in the same area. The lake retention time and liming strategy are the most important factors for this long-term effect. Even lakes with short water retention times (< 0.4 years) may experience a long-lasting liming effect after termination due to high liming doses, and especially if limed by use of helicopter. Liming with dry powder and high doses may result in relatively large liming deposits on the lake sediment surface, and this material will continue to dissolve and thus represent an internal liming source.

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, i.e. analyses for calculation of ANC and ANC_{0aa} (Lydersen et al. 2004) after termination of liming. The sampling frequency should be based on water retention time and the previous liming strategy for each single lake.

1. Bakgrunn

Fra omkring 1990 har nedfallet av forsurende 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 (Garmo mfl. 2014). I den samme perioden er kalkforbruket i enkeltlokaliteter blitt sterkt redusert (Hindar og Enge 1999) og kalking er avsluttet i mange innsjøer, f.eks. i Arendalsvassdraget (Hindar 2014a).

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. To tidligere rapporter fra dette prosjektet (Hindar og Skancke 2008; Hindar 2011a) og flere andre undersøkelser (Hindar 1984; Rosseland og Hindar 1988; Hindar 2011b) dokumenterer betydelig langtidseffekt etter kalking. Men etter kalking av dype innsjøer og i innsjøer med ubetydelige kalkrester på bunnen er det ikke forventet en langtidseffekt utover den tiden det tar (ca. 3-4 ganger oppholdstiden) å fortynne det kalkede vannvolumet tilbake til en ukalket tilstand (Hindar og Rognerud 2011).

I den foreliggende rapporten er det tatt med vannkjemiske resultater fra 2011 og 2014. Det vil si at det nå foreligger data for 9-12 år etter kalkslutt i de aktuelle innsjøene. Hensikten med de nye prøvene var å få en enda bedre dokumentasjon av langtidseffekten av kalking, og undersøke om det var grunnlag for å nyansere tidligere konklusjoner og anbefalinger.

Av hensyn til lesbarheten har vi i det følgende i størst mulig grad valgt å beholde tidligere tekst (Hindar 2011a), men lagt vekt på å få fram nyanser og endringer der det har vært grunnlag for det.

2. Lokaliteter 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 alle 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.

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 (SO₄), nitrat (NO₃), ammonium (NH₄), klorid (Cl) og aluminiumsfraksjoner.

Aluminium (Al) - data i denne rapporten er fra to forskjellige laboratorier; NINAs lab i Trondheim (Buskerudinnsjøene tom 2004), ellers NIVAs lab i Oslo. Metodene for Al-fraksjonering og analyser er forskjellige (Hindar m.fl. 2000), og vi opererer derfor med ulike benevninger her. RAl og LAl hos NIVA er hhv. totalt 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 potensielt giftige Al-forbindelsene, og beregnes som differanser mellom målte fraksjoner. LAl har som regel noe høyere konsentrasjoner enn Um-Al.

ANC beregnes som $Ca + Mg + Na + K - SO_4 - NO_3 - N - Cl$, men er også beregnet som ANC_{org} ($ANC_{org} = ANC - 10,2 * TOC / 3$) 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 Larsen 2005b).

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

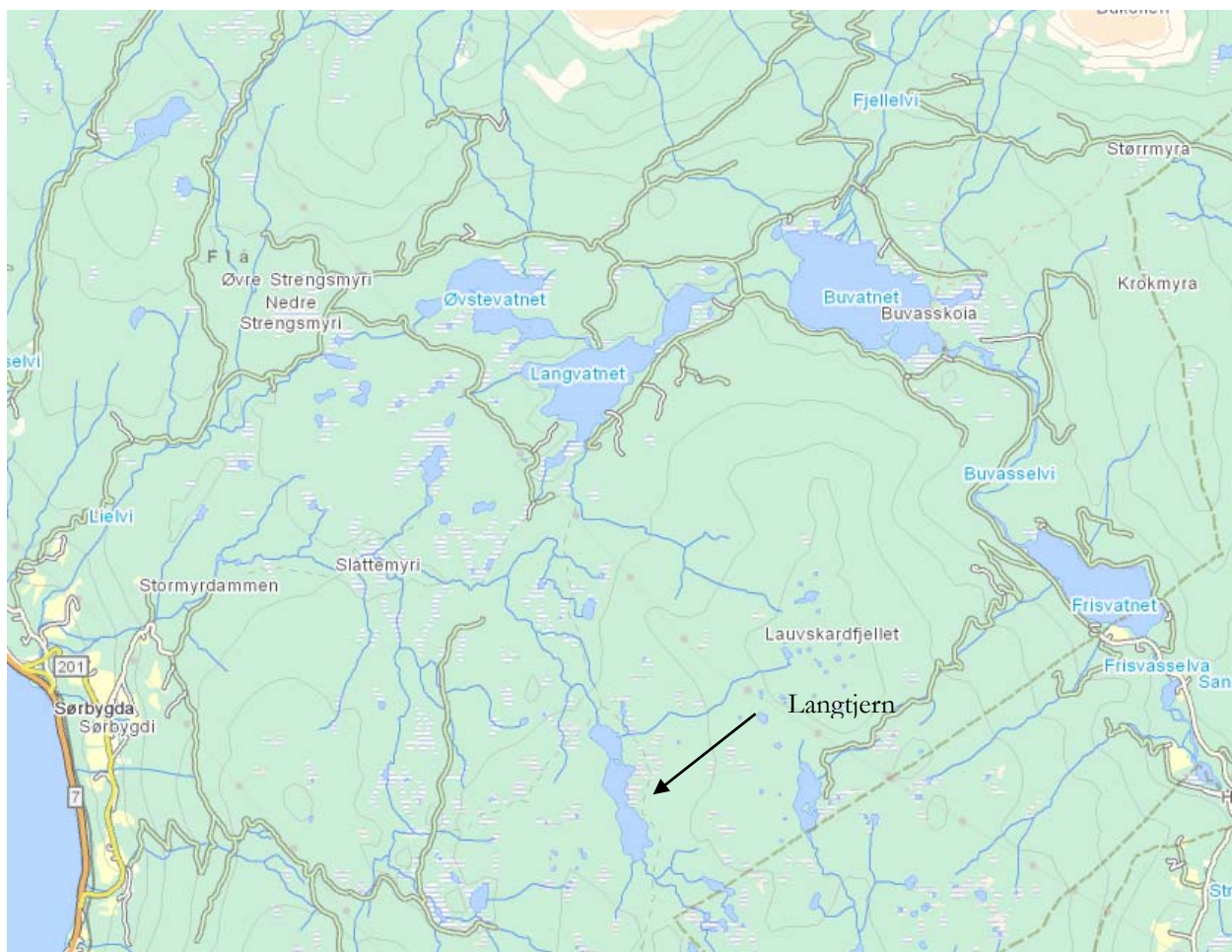
Fylke	Lokalitet	NVE-nr	Kalkingsstatus	HOH	Innsjøareal km ²	Middeldyp m	Volum mill. m ³	Nedbørfelt km ²	Spes.avre l/s/km ²	Årsavre mill. m ³	Teor.oppht. år	Kilder
Buskerud	Langtjern*	7272	referanse	518	0,23	2,4	0,56	4,69	19	2,81	0,20	Henriksen og Grande 2002
Buskerud	Langvatn	7243	kalket 1989-2002	398	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	Hyljevatt**	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											

3. 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. Alle 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.

3.1 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 med noe myr på Østlandet.

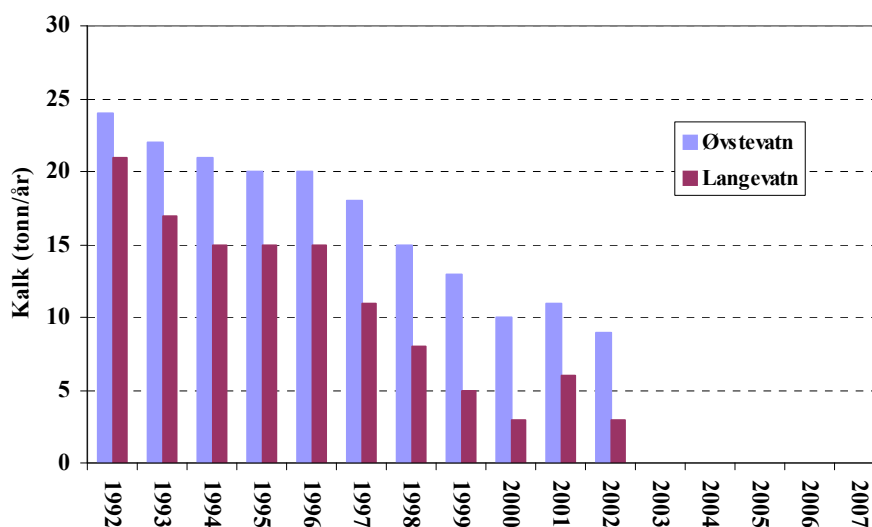


Figur 1. Plasseringen av de tre lokalitetene i Buskerud. Øvstevatn og Langvatn er sentralt i kartet, og Langtjern ligger 3-5 km sør for de to andre. Kilde NVE Atlas.

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 (Miljødirektoratet 2014). Dataserien fra Langtjern er

svært lang og dermed godt egnet som referansemateriale for forureningstilstanden 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 forureningen, med en økning i ANC på nærmere 30 $\mu\text{ekv/L}$ og klar reduksjon i LAl-konsentrasjon (**Figur 3**). 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 parametere har vært ujevn. De to innsjøene har relativt lik vannkjemi med hensyn til TOC, men er ikke så humøse som referansevannet (**Figur 3**).

Kalkingen har gitt et godt løft i pH og effekten har tilsynelatende holdt seg også etter kalkslutt. pH-verdiene 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. Data fra 2011 og 2014 viser at pH har stabilisert seg omkring 6,0 og ANC på nær 50 $\mu\text{ekv/L}$ (**Figur 4**), men effekten av redusert belastning med sur nedbør har sannsynligvis også bidratt sterkt til dette.

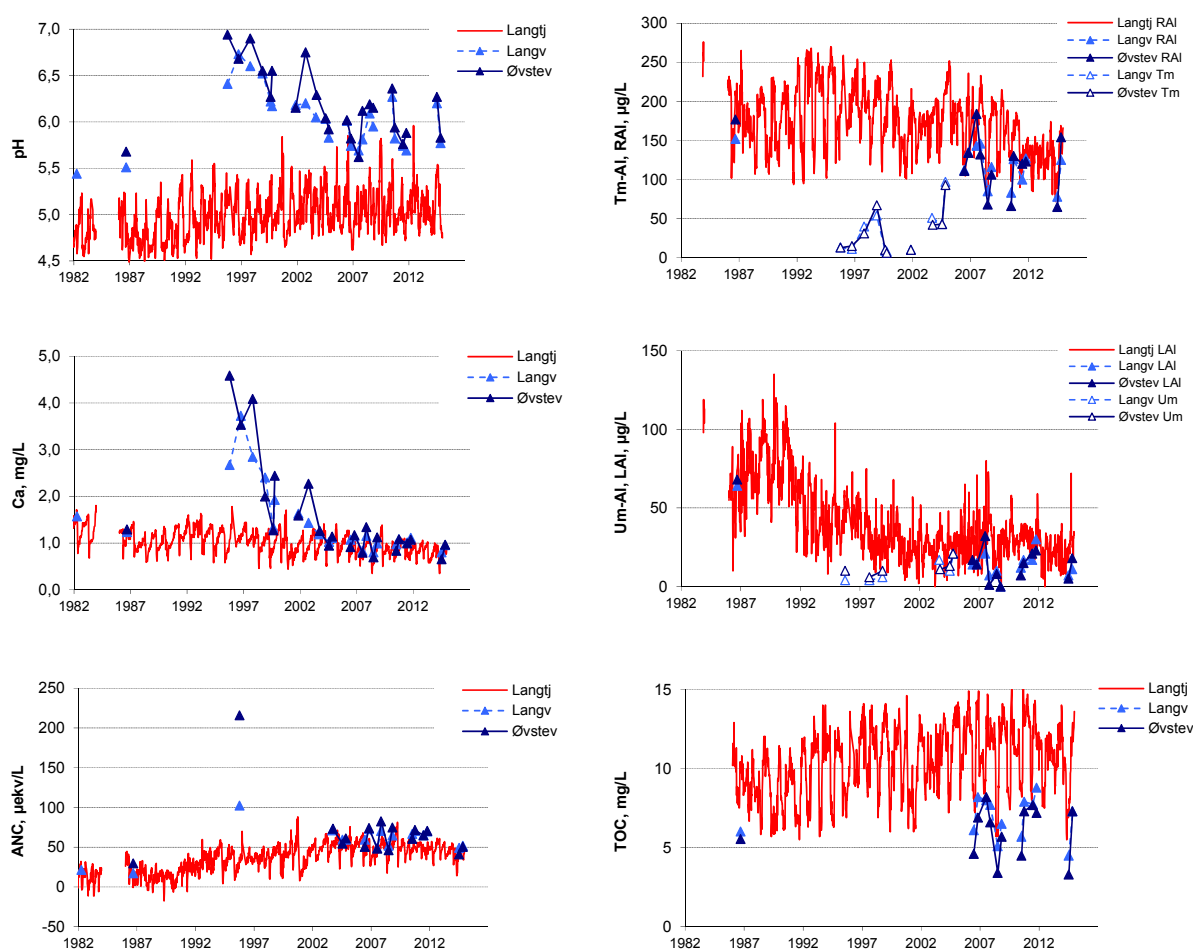
Kalsiumkonsentrasjonene i begge vann avtok raskt ned til ca. 1 mg/l etter at kalkingen opphørte og har deretter avtatt ytterligere. Men det har konsentrasjonen i referansevannet også i takt med redusert syretrykk (**Figur 3** og **Figur 4**). Kalsiumkonsentrasjonen i alle de tre innsjøene har de siste årene vært svært lik, spesielt i 2014, og de tidligere kalkede innsjøene kan nå være nær referansetilstanden.

ANC etter kalkslutt er nå på samme nivå som i Langtjern, men klart høyere om vi korrigerer for sterkesyredelen i TOC ($\text{ANC}_{\text{org}} = \text{ANC} - 10,2/3 * \text{TOC}$). Middelverdien for ANC_{org} i Langvatn og Øvstevatn var hhv. 43 og 40 $\mu\text{ekv/l}$ i perioden 2006-2010 og redusert til hhv. 38 og 39 $\mu\text{ekv/L}$ i perioden 2010-2014. I Langtjern var middelverdiene 2 $\mu\text{ekv/L}$ for perioden 2006-2010 og 9 $\mu\text{ekv/L}$ i perioden 2010-2014. Forskjellen kan tyde på en klar kalkeffekt også i perioden 2010-2014. På den annen side er det nå den samme forskjellen i ANC (økt med om lag 25 $\mu\text{ekv/L}$) i referansevannet som i de to kalkede

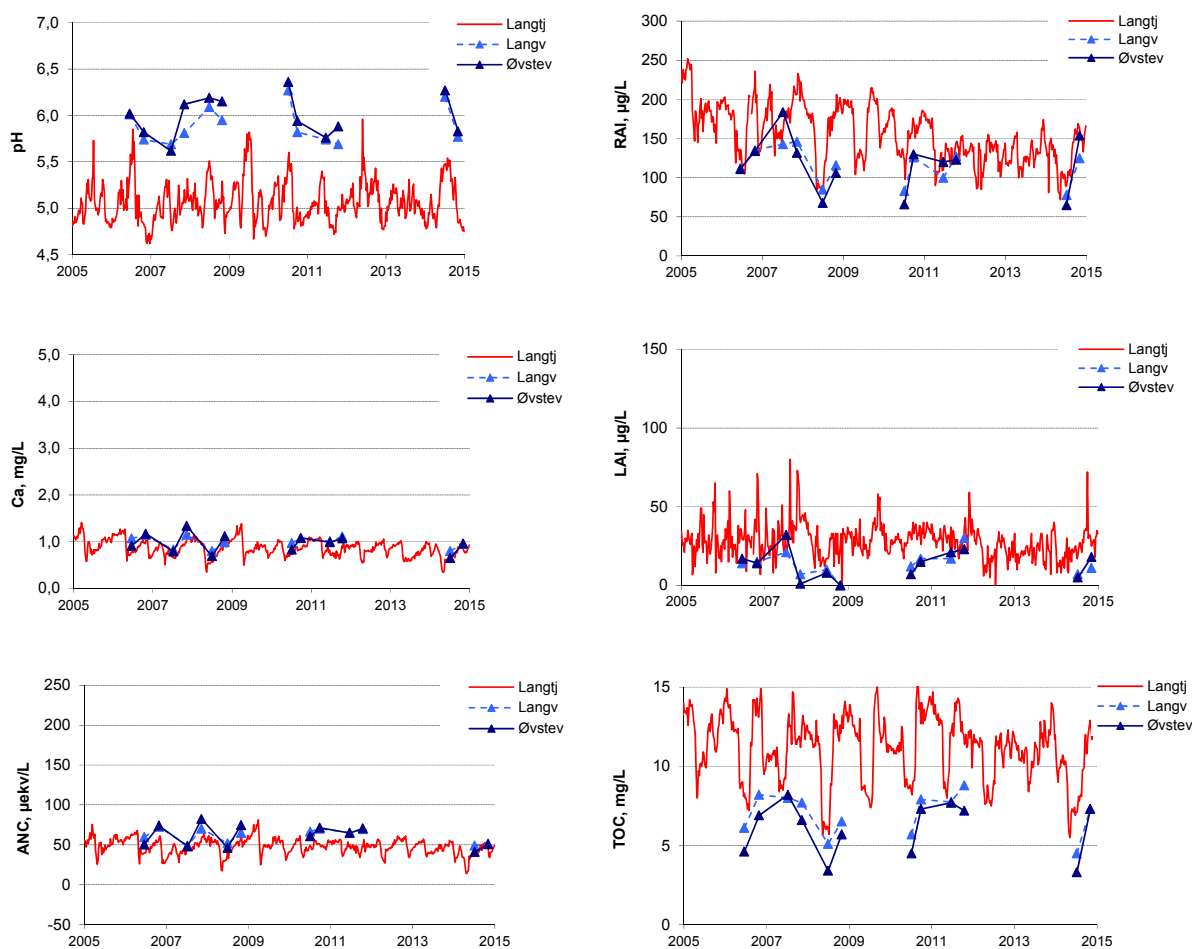
mellom verdier på 1980-tallet og omkring 2014 (**Figur 3**). Data fra Lille Hovvatn i Aust-Agder viser at ANC har økt fra -50 - -60 $\mu\text{ekv/L}$ til 0 - 10 $\mu\text{ekv/L}$ i samme periode (Hindar 2014b), så denne økningen på 25 $\mu\text{ekv/L}$ kan også tilskrives mindre sur nedbør. Her må det påpekes at det er svært få ANC-verdier fra kalkingsinnsjøene fra 1980-tallet, noe vi kommer tilbake til.

Konsentrasjonen av uorganisk monomert aluminium (LAI og UmAl) ble kraftig redusert som en følge av kalking, men er også redusert som følge av mindre sur nedbør, jfr utviklingen i Langtjern (**Figur 3**). LAI-konsentrasjonene har vært lave (< 32 $\mu\text{g/l}$) i hele perioden etter kalkslutt og indikerer at kalkslutt i kombinasjon med redusert syretrykk har opprettholdt en akseptabel vannkvalitet for innlandsfisk.

Referanseinnsjøen Langtjern har en forholdsvis høy konsentrasjon av TOC, og dette medvirker til at pH er lavere enn i de to andre innsjøene. TOC-konsentrasjonen er også klart økt fra 1985. Dette skyldes trolig økt utvasking av humus pga mindre sur nedbør (de Wit m.fl. 2007). Denne effekten preger mange innsjøer i Norge, samt andre steder i Europa og i Nord-Amerika (Monteith m.fl. 2007).



Figur 3. Sentrale vannkjemiske parametere for lokalitetene Langtjern, Langvatn og Øvstevatn i Buskerud i årene 1982-2014 (Data for Langvatn og Øvstevatn før 2006: FM i Buskerud). Langtjern blir prøvetatt ukentlig som del av Miljødirektoratets overvåkingsprogram.



Figur 4. De samme stasjoner og parametere som i foregående figur, men kun for perioden 2005-2014.

3.2 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). Et vannskille gjør at de drenerer i hver sin retning.

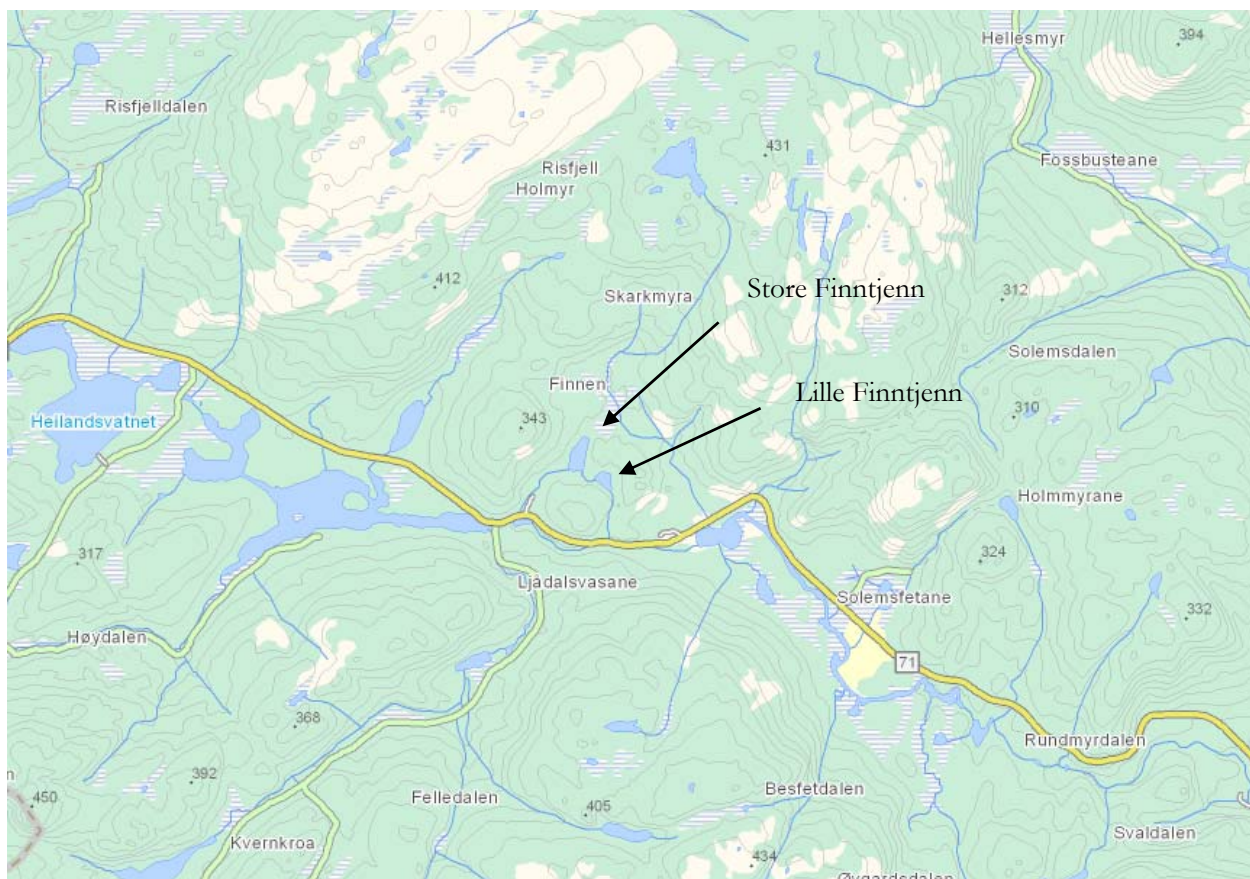
Begge vann ble kalket i 1981 (Hindar 1984). Lille Finntjenn er kalket kun denne ene gangen og regnes nå som en referanse i denne sammenheng, med pH-verdier under 5,5. Store Finntjenn er kalket jevnlig etter 1981 og siste gang i 2005. pH har falt fra 6,7 i siste kalkingsår, og synes å ha stabilisert seg med verdier på over 5,5 i 2011 og 2014 (Figur 6). Det er klart forskjellig fra referansevannet.

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 avtatt jevnlig til et nivå under 1 mg/L, men klart høyere enn i referansevannet (Figur 6).

Store Finntjenn har noe høyere Ca-konsentrasjon enn Lille Finntjenn fra naturens side. I perioden 9.2.1980 - 9.6.1981, dvs. før førstegangs kalking i 1981, var midlere Ca-konsentrasjon 0,90 mg/L i Lille Finntjenn og 1,07 mg/L i Store Finntjenn. Denne forskjellen på 0,17 mg/L er betydelig mindre enn midlere forskjell på 0,34 mg/L i perioden 2010 - 2014. Forventet bakgrunnskonsentrasjon i Store

Finntjenn på 0,56 mg/L ($0,34 * 1,07/0,90 = 0,56$) er åpenbart ikke nådd etter avsluttet kalking siden middelkonsentrasjon var 0,75 mg/L i 2014.

En liten joker i dette regnestykket er at det i 1981 også ble lagt ut 1750 kg kalk i terrenget i et lite areal (434 m²) i nordenden av Store Finntjenn (Hindar 1984). I 1983, på litt under to år, var 327 kg kalk (19 %) oppløst og rent ut i vannet. Hvis vi antar at 2014-differansen i Ca ($0,75-0,56$ mg/L = 0,19 mg/L) i sin helhet skyldes denne kalkingen og at effekten har vært konstant siden 1983, tilsvarer det en kalktransport på nesten dobbelt så mye som den restmengden som lå igjen i 1983. Vi må dessuten anta at effekten ikke har vært konstant, men avtakende over tid, noe som øker den totale transporten. Beregningen viser at det er helt usannsynlig at terrengkalkingen i 1981 fortsatt bidrar vesentlig til en betydelig forskjell i Ca-konsentrasjon mellom Store og Lille Finntjenn. Forskjellen skyldes derfor først og fremst langtidseffekten av innsjøkalkingene.

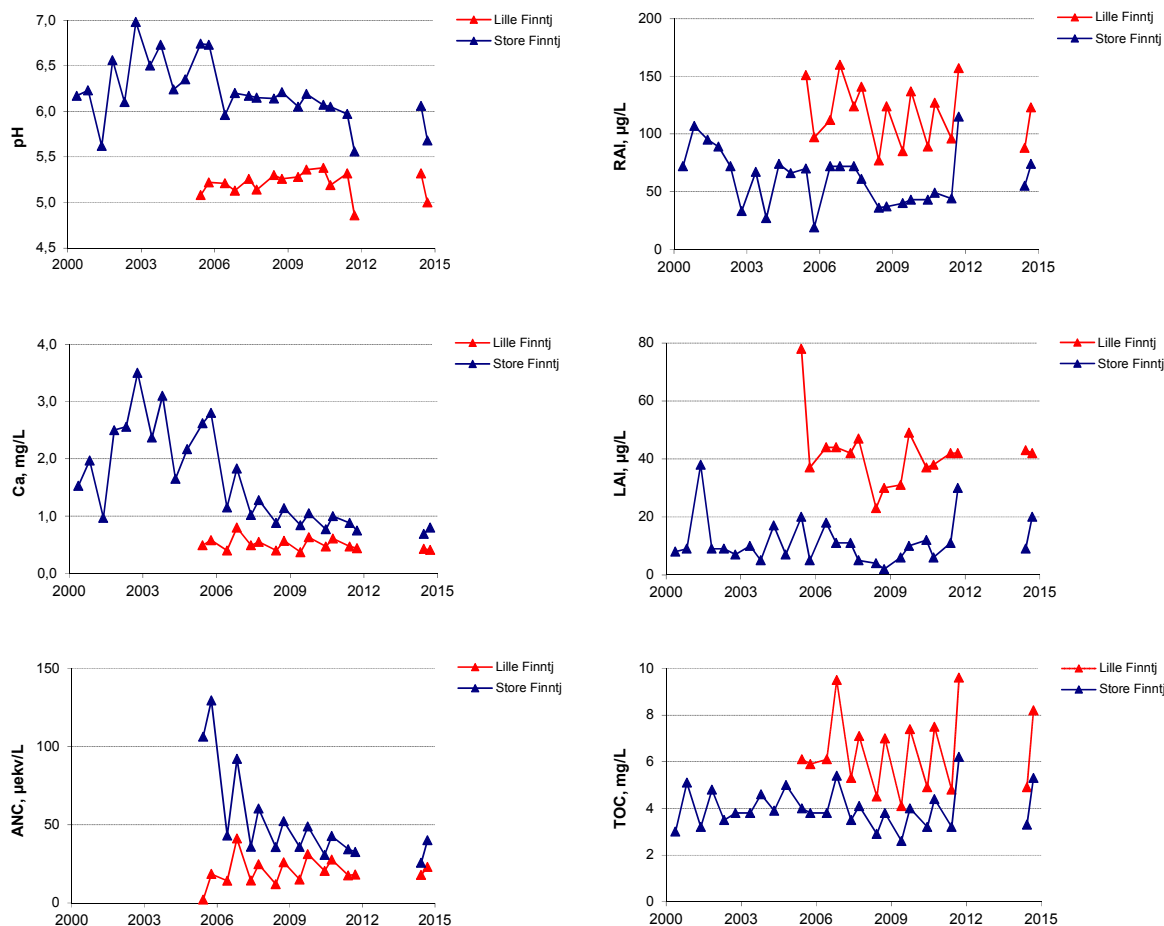


Figur 5. Kartet viser plasseringen av Store og Lille Finntjenn i Aust-Agder. Kilde: NVE Atlas.

Lille Finntjenn hadde ANC mellom 0 og 41 $\mu\text{ekv/L}$ i årene 2005-2010 (**Figur 6**), og korrigert for TOC blir ANC_{org} ca. 5 $\mu\text{ekv/L}$. Det er noe lavere enn kritisk grense på 8 $\mu\text{ekv/L}$ for aure, men trolig akseptabelt for abborren i området. Tallene for 2011 og 2014 lå også i dette intervallet.

Lang kalkeffekt i Store Finntjenn gjenspeiles også i ANC og konsentrasjonen av labilt Al. ANC var helt klart i et akseptabelt område også i 2011 og 2014 (**Figur 6**). ANC_{org} var 12-23 $\mu\text{ekv/L}$, klart bedre enn grenseverdien, og fortsatt klart høyere enn i referansevannet. Konsentrasjonen av LAl var lav (<30 $\mu\text{g/L}$), men de noe høyere verdiene om høsten i både 2011 og 2014 er knyttet til forholdsvis lave pH-verdier. Det kan være tegn på at vannkjemien ikke har stabilisert seg.

Konsentrasjonene av LAI i referansevannet ligger forholdsvis høyt, og stabilt på 40 µg/L, men det kan være akseptabelt for aure. Lille Finntjenn har en TOC-konsentrasjon som i middel (2005-2014) er 2,5 mg/L høyere enn i Store Finntjenn. Det skyldes større andel myr i nedbørfeltet til Lille Finntjenn og torv som omkranser vannet. pH kan dermed ha vært noe lavere enn i Store Finntjenn uten kalking, men forklarer ikke den målte forskjellen i LAI-konsentrasjon.



Figur 6. Vannkjemiske parametere for 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 2005-2014 er tatt i utløpet.

3.3 Innsjøer i Telemark

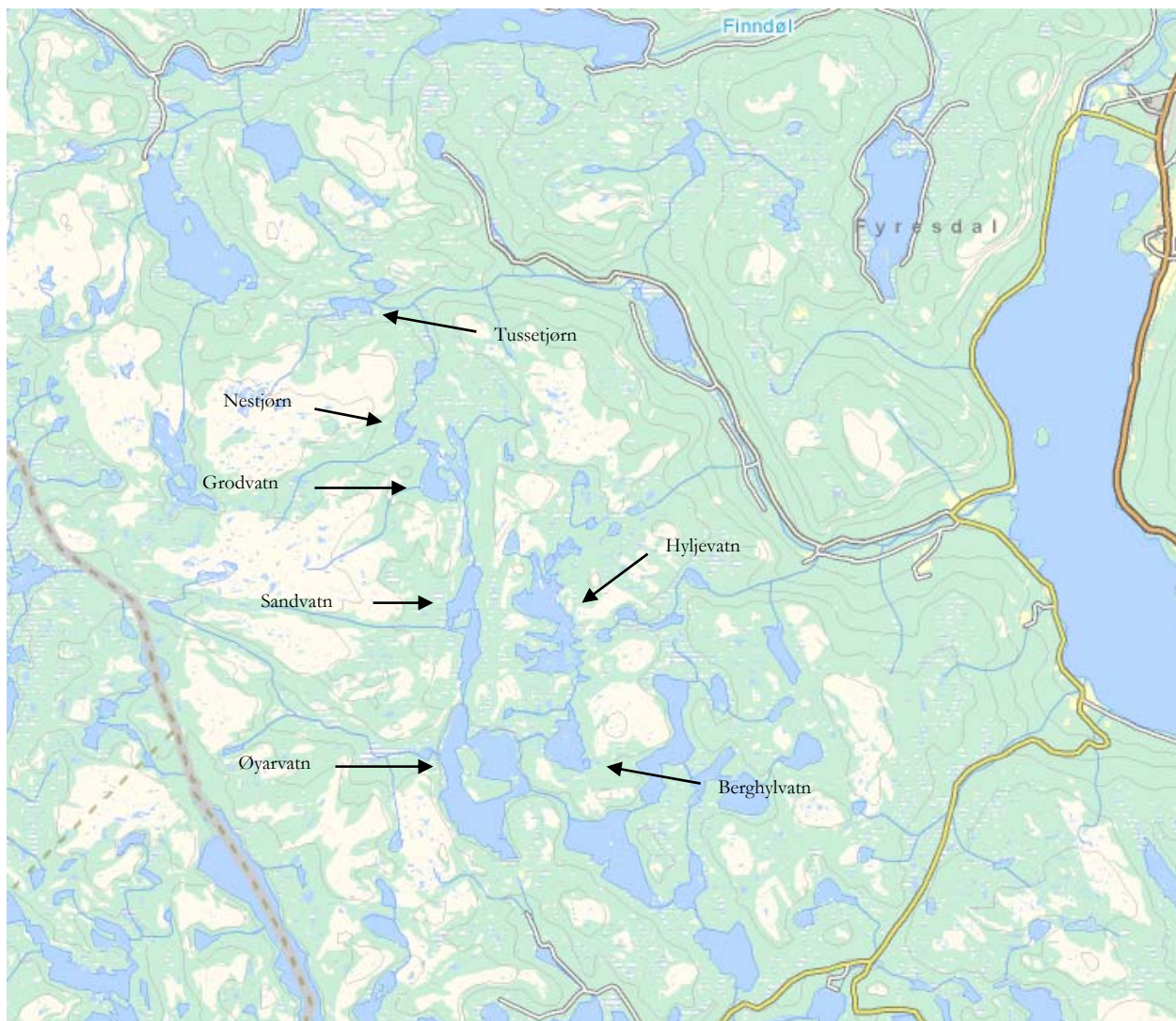
I Telemark inngår sju innsjøer vest for Fyresvatn i prosjektet (**Figur 7**). Alle ligger i skrint heiområde ca. 700 m.o.h. Referanseinnsjøen Tussetjønn ligger lengst nord. Her er det naturlige utløpet fysisk avstengt, og vannet ledes nordover til Ramsvatn gjennom en utsprengt tunnel i den vestre enden. Reguleringen har trolig ingen effekt på vannkjemien. Referanseinnsjøen Hyljevatt 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 Hyljevatt-området.

Vannkvaliteten i referansevannene (**Figur 8 - Figur 11**) er forholdsvis god, med ANC på 12-20 µekv/L i Hyljevatt og 17-34 µekv/L i Tussetjønn for 2011 og 2014. Korrigert for TOC blir ANC_{org} på hhv. 0-16 µekv/L og 4-8 µekv/L, noe som skulle gi forholdsvis godt grunnlag for oppbygging av fiskebestander

etter forsøringsperioden. Grenseverdien vi bruker for ANC_{org} er riktignok 8 $\mu\text{ekv/L}$ 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 fisk med god kvalitet i Hyljevattn (egne observasjoner). En tynn bestand i Hyljevattn skyldes mest sannsynlig dårlige gyteforhold i små tilløpsbekker. Men det er ikke usannsynlig at det foregår innsjøgyting i enkelte områder og kanskje også i utløpspartiet. Bestanden i Tussetjørn har klart seg gjennom forsøringsperioden uten kjente utsetninger, mens bestanden i Hyljevattn har klart seg i om lag 30 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 øverst i vassdraget Gjøv oppstrøms Nesvatn (**Figur 7**). Bekken fra den femte, Berghylvattn i øst, renner også ned i Øyarvatn.

Referansevannet Tussetjørn har kortest oppholdstid av alle innsjøene i denne undersøkelsen (0,03 år), mens Berghylvattn har lengst (1,3 år). Øyarvatn og Hyljevattn er de to største innsjøene som er med i undersøkelsen, og overflatearealet er på hhv. 1,7 og 1 km^2 .

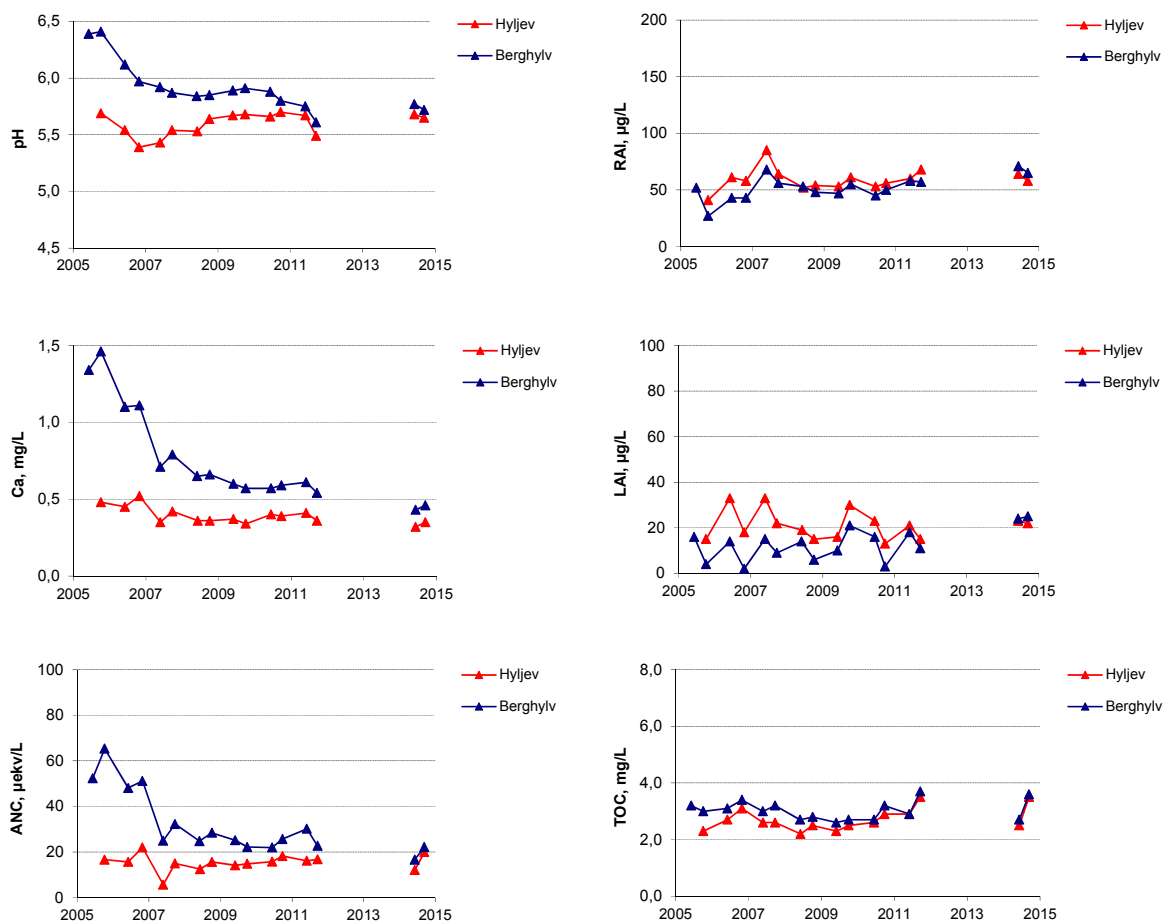


Figur 7. Kartet viser plasseringen av innsjøene i Telemark vest for Fyresvatn. Avløpet til Tussetjørn går i fjelltunnel mot vest. Avløpet fra Nestjørn går sørover til Grodvattn og ikke nordover, men i denne kartoppløsningen ser det ut som det går nordover. Kilde: NVE Atlas.

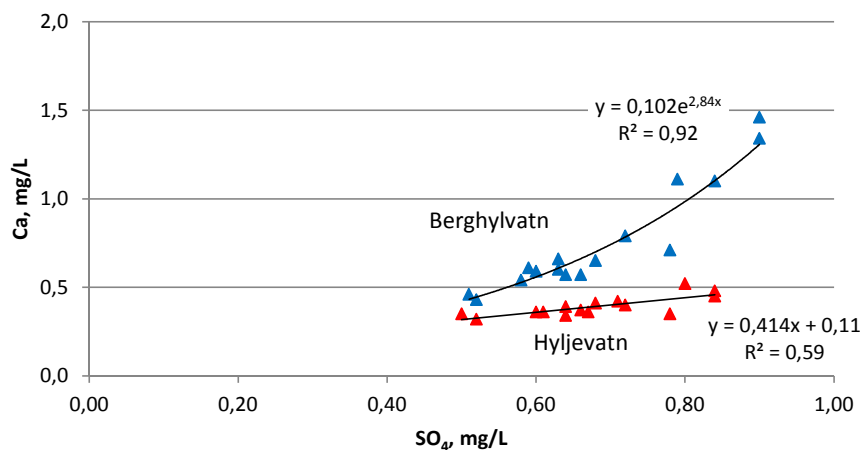
I det følgende har vi knyttet referansevatnet Hyljevatn til Berghylvatn fordi disse to har mange fellestrekk (størrelse, relativt lite nedbørfelt, øverste innsjø i eget nedbørfelt), mens utviklingen i de fire øvrige er sammenliknet med referansevatnet Tussetjørn.

Berghylvatn har lang oppholdstid (1,3 år), og endringer etter kalkslutt skal derfor gå forholdsvis sakte. Med denne oppholdstiden ville kun fortykning gi en bakgrunnsvannkjemi etter 5-6 år, dvs. i 2009-2010. Sakte går det da også (**Figur 8**), men alle målinger av pH og Ca, samt beregnede verdier for ANC viser en klar kalkeffekt i tillegg, i og med at de er høyere i Berghylvatn enn i Hyljevatn. Men målingene i 2011 og 2014 viser at forskjellene nå er svært små, og konsentrasjonen av LAI var faktisk 1-3 $\mu\text{g/L}$ høyere i Berghylvatn enn i Hyljevatn i 2014.

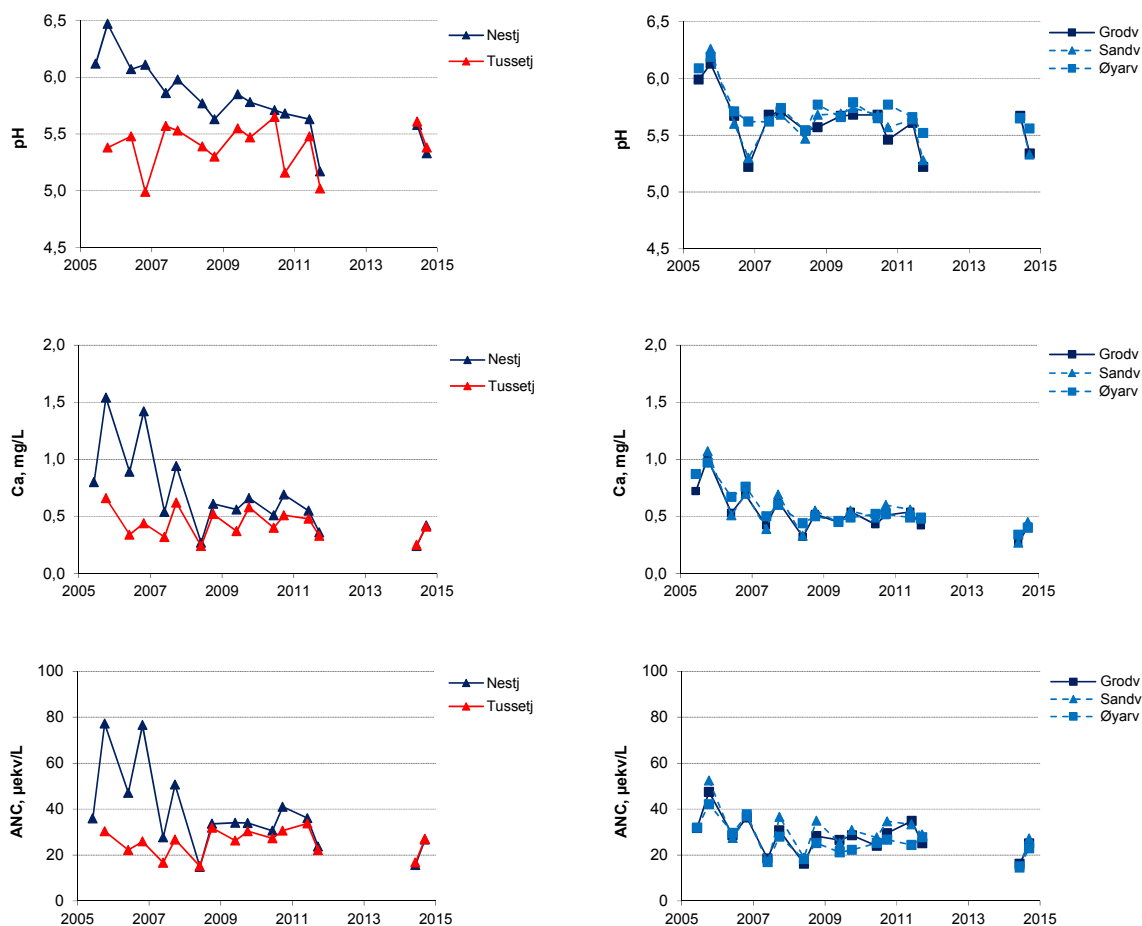
ANC-verdiene i Berghylvatn var 17-30 $\mu\text{ekv/L}$ i 2011 og 2014, mens verdiene var 12-20 $\mu\text{ekv/L}$ i referansevatnet. Mens referansevatnet hadde ANC_{org} på 6 $\mu\text{ekv/L}$ i middel, dvs. omkring grenseverdien på 8 $\mu\text{ekv/L}$, hadde Berghylvatn en middelværdi på 12 $\mu\text{g/L}$, dvs. klart over denne grensen. I begge innsjøer er auren dermed svært godt beskyttet mot forsureningskader. Dette understrekes av de lave konsentrasjonene av LAI ($\leq 25 \mu\text{g/L}$) i begge innsjøene.



Figur 8. Vannkjemiske parametere for Hyljevatn og Berghylvatn i Telemark. Hyljevatn er et ukalket referansevatn.



Figur 9. Forholdet mellom sulfat og kalsium i Berghylvatn og Hyljevattn i perioden 2005-2014. Regresjonslinjer med likninger er lagt inn. Figuren kan leses som et tidsplokk fra høyre mot venstre, se tekst.

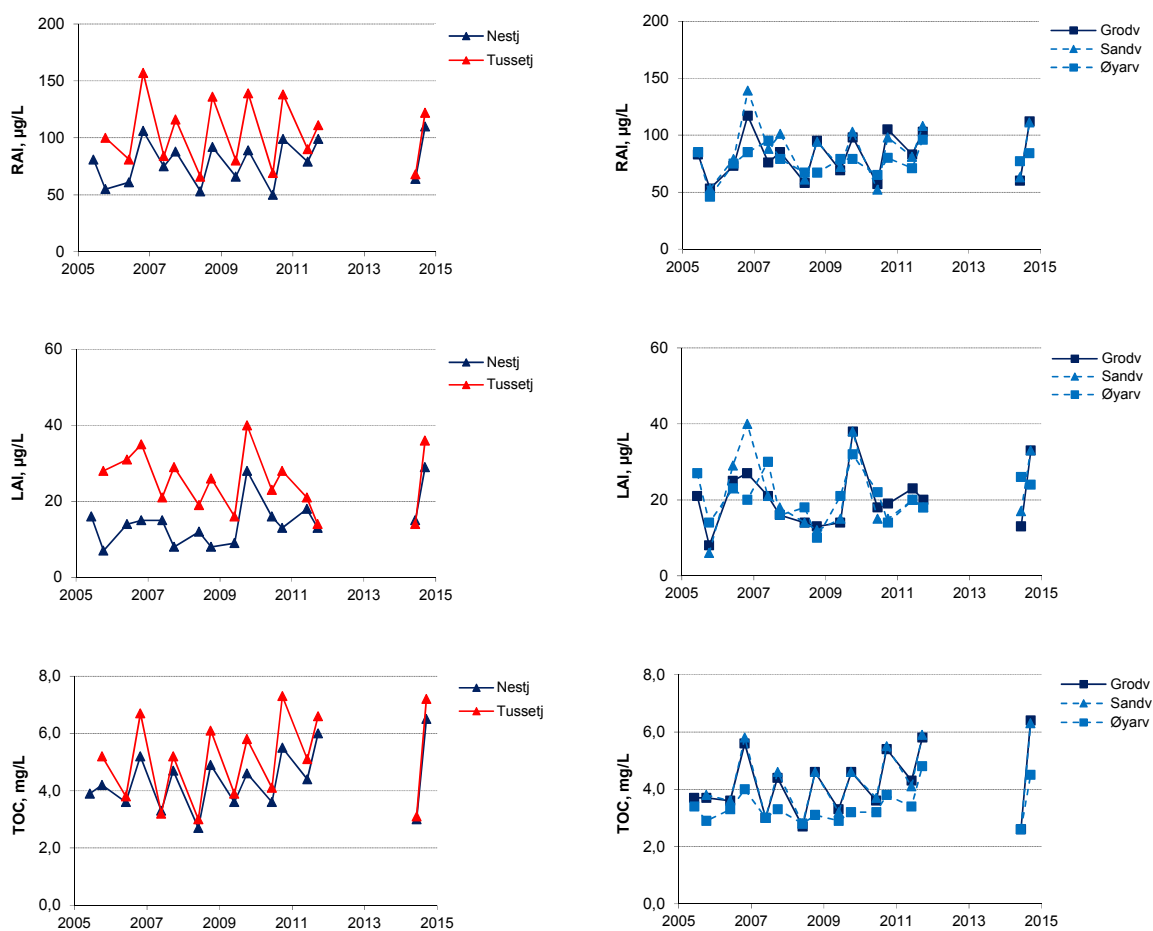


Figur 10. pH, kalsium og ANC for innsjøene Nestjønn, Grodvatn, Sandvatn, Øyarvatn og Tussetjønn i Telemark. Tussetjønn er et ukalket referansevann.

Fortsatt kalkpåvirkning synes også godt når vi plotter sulfatkonsentrasjon mot kalsiumkonsentrasjon for de to innsjøene (**Figur 9**). Denne figuren kan leses fra høyre mot venstre som en endring fram mot situasjonen i 2014. Mens konsentrasjonen av Ca følger reduksjonen i SO_4 (pga redusert sur nedbør) i Hyljevattn i perioden 2005-2014, har reduksjonen i Ca i Berghylvattn også en tilleggforklaring, nemlig redusert kalkeffekt. Kalkeffekten bidro sterkt til Ca-konsentrasjonen i begynnelsen av perioden, men stadig mindre fram mot 2014. Det er imidlertid fortsatt en klar Ca-forskjell mellom innsjøene.

pH i referanseinnsjøen Tussetjørn var 5,0-5,6 i perioden 2005-2014 (**Figur 10**), og viser en del variasjon som blant annet 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 vært lavest helt fram til 2014, en klar indikasjon på langvarige kalkeffekter. Samme tendens gjelder for Ca, ANC og LAl, men bare fram til 2011, se også **Figur 11**.

Middelverdien for ANC_{org} var lavest for Tussetjørn i 2011 og 2014 (6 $\mu\text{ekv/L}$), men nå bare ubetydelig lavere enn middelverdien for de fire andre (9-10 $\mu\text{ekv/L}$). Mens ANC_{org} ligger ubetydelig under grenseverdien på 8 $\mu\text{ekv/L}$ i Tussetjørn, er den marginalt over i de andre innsjøene. Med den gode beskyttelsen som er grunnlaget for grenseverdien, må vannkvaliteten fortsatt kunne sies å være akseptabel i alle. Etter de siste prøvene i 2011 og 2014 er det fortsatt ikke målt LAl-konsentrasjoner over 40 $\mu\text{g/L}$, noe som styrker denne konklusjonen. I 2011 og 2014 var høyeste LAl-konsentrasjoner 33 $\mu\text{g/L}$ i de fire kalksluttsjøene og 36 $\mu\text{g/L}$ i Tussetjørn.



Figur 11. Reaktivt og labilt Al, samt TOC for innsjøene Nestjørn, Grodvattn, Sandvatn, Øyarvatn og Tussetjørn i Telemark. Tussetjørn er et ukalket referansevann.

I Tussetjørn og de andre innsjøene med forholdsvis kort oppholdstid er det klare sesongsvingninger i de fleste parametere. Det gjelder særlig TOC. Det er vårprøvene som er klartest pga vannutskifting og fortytning under snøsmeltingen, og høstprøvene som har mest organisk stoff. Dette gjenspeiles i reaktivt aluminium (RAL), som hovedsakelig utgjøres av en organisk fraksjon (målt som ikke-labil Al) når pH er tilstrekkelig høy. Hele 64-79 % av variasjonen i RAL kan forklares med variasjonen i TOC. Dette er beregnet ved lineær regresjon for Tussetjenn, Nestjørn, Grodvatn og Sandvatn. I Øyarvatn, Hyljevatn og Berghylvatn er variasjonen i TOC langt mindre pga lengere oppholdstid, og sammenhengen ikke så god. Men andelen organisk bundet Al (ILAL) er ikke vesentlig forskjellig mellom disse to gruppene, hhv 77 % og 71 % ILAL av RAL i middel for perioden 2005-2014.

3.4 Kalkeeffekthalen

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 fortytningen 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. Det beste ville være å bruke reelle vannføringstall til dette formålet, men i mangel av det har vi brukt middelavrenning.

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

Denne likningen (etter Dillon og Scheider 1983):

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

der:

C_t = konsentrasjon etter tiden t

C_a = konsentrasjonen i tilrenning

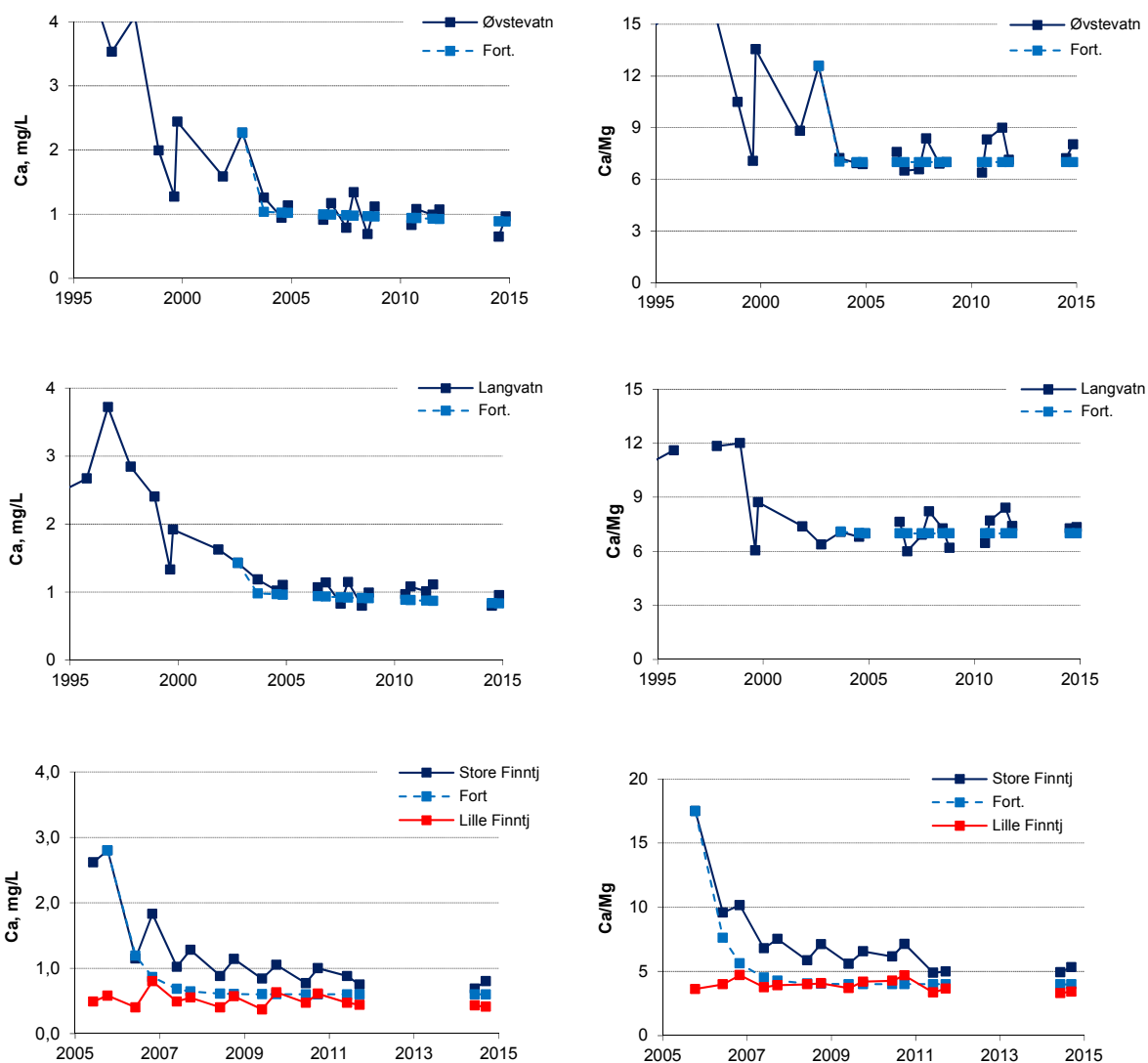
C_o = konsentrasjon ved start ($t=0$)

T = teoretisk oppholdstid, år

beskriver fortytning. 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 tidligere gjennomført dybdemålinger i de fem kalkede Telemark-innsjøene og de to kalkede Buskerud-innsjøene, mens data for innsjøene i Aust-Agder allerede fantes, se **Tabell 1**.

I **Figur 12 - Figur 15** 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 fortytningen, som er laget både for Ca og for Ca/Mg-forholdet.



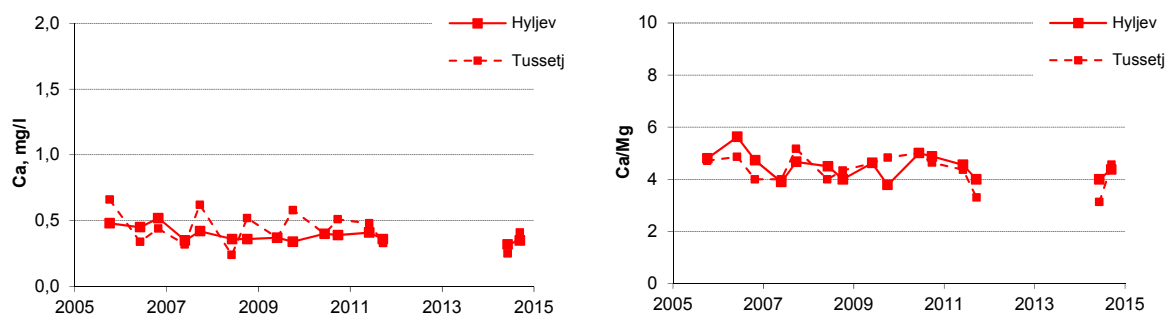
Figur 12. Målte konsentrasjoner av Ca og beregnede verdier for Ca/Mg-forholdet sammen med beregnede fortynningskurver for de samme parameterne. Fortynningskurvene er startet fra siste kalking. Data for innsjøene i Buskerud og Aust-Agder er vist her. Enkelte data for Øvstevatn er ikke inne i grafen av hensyn til aksene og lesbarheten.

Øvstevatn og Langevatn har begge kort oppholdstid, og både Ca og Ca/Mg-forholdet 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. Både Ca-konsentrasjon og Ca/Mg-forholdet er svært nær det beregnede bakgrunnsnivået i begge vannene. Det er imidlertid en usikkerhet knyttet til beregningen av bakgrunnsnivået, og benyttes Ca-konsentrasjonen i referansevannet Langtjern, er det en klar forskjell mellom de to kalkede (middelverdi på 0,92 mg/L i Øvstevatn og 0,97 mg/L i Langvatn i 2011 og 2014) og referansevannet (0,81 mg/L) i samme periode. 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 i Ca-konsentrasjon kan imidlertid spores, men det har det også vært parallelt med redusert forsuring, jfr. redegjørelsen over for Berghylvatn.

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 Hyljev (Figur 13). 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 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 Hyljev sammen med data for de kalkede innsjøene.



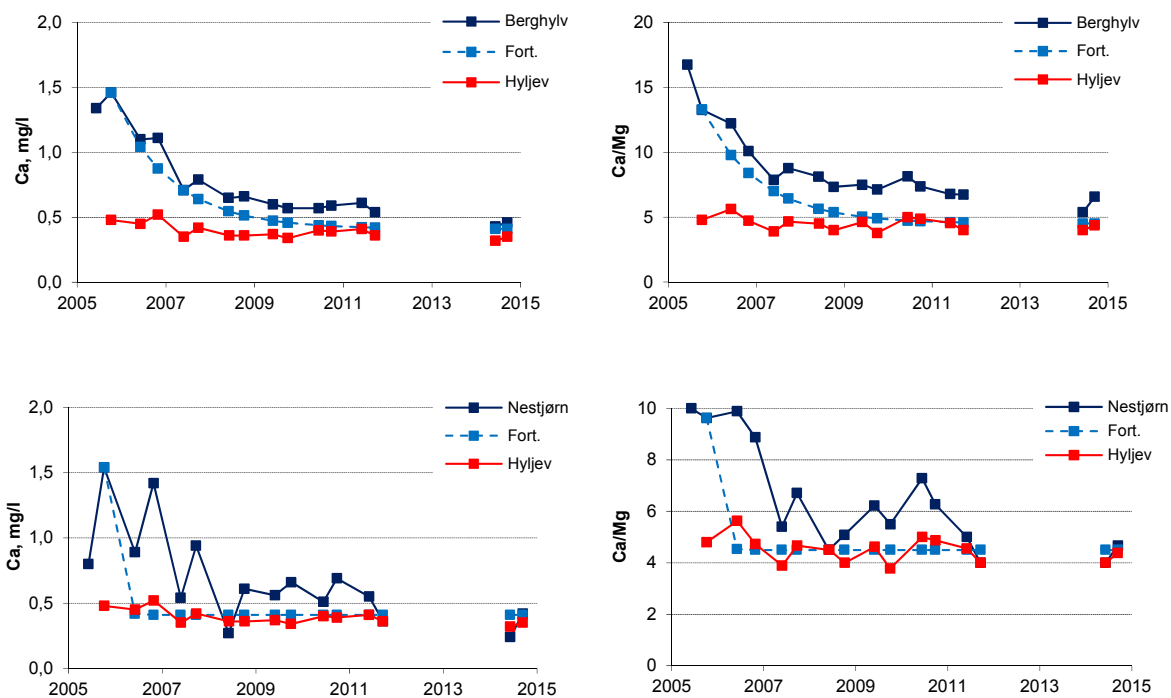
Figur 13. Konsentrasjonen av Ca og beregnet Ca/Mg-forhold for de to referansevannene i Telemark.

For først å sammenlikne effekten av kalkslutt mellom to vann med svært forskjellig oppholdstid, har vi valgt å se på Berghylvatn og Nestjørn. Berghylvatn har en så lang oppholdstid som 1,3 år. Det skyldes kombinasjonen av lite nedbørfelt i forhold til innsjøvolum. Nestjørn's oppholdstid er svært kort (0,13 år) pga det relativt store nedbørfeltet. I Berghylvatn forventes dermed en lang effekthale og i Nestjørn en svært kort. Dette gjenspeiles i fortynningskurvene i **Figur 14**.

I Berghylvatn forventes det en tilbakegang til en ukalket vannkjemi i 2010-2011 (sammenfall mellom fortynningskurve og referansevannets verdier), 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 for Ca, men enda tydeligere for Ca/Mg-forholdet.

Den største effekten av sedimentert kalk finner vi i Nestjørn. Forløpet ser først ut til langt på vei å følge fortynningskurven, sannsynligvis pga snøsmeltingen. I den isfrie perioden fram til prøvetakingen på seinhøsten året etter kalkslutt løses det åpenbart opp mye kalk fra bunnen, og Ca-konsentrasjonen øker markert. Denne sesongsvingningen var størst de tre første årene. I og med at Nestjørn har så kort oppholdstid, forventes også en naturlig svingning, slik som i Tussetjørn, men de tre første årene etter kalkslutt var den klart større enn i Tussetjørn. I 2011 og 2014 var imidlertid denne forskjellen nærmest utvisket, noe som tilsier at vannkjemien i hovedsak var styrt av forsuringssituasjonen.

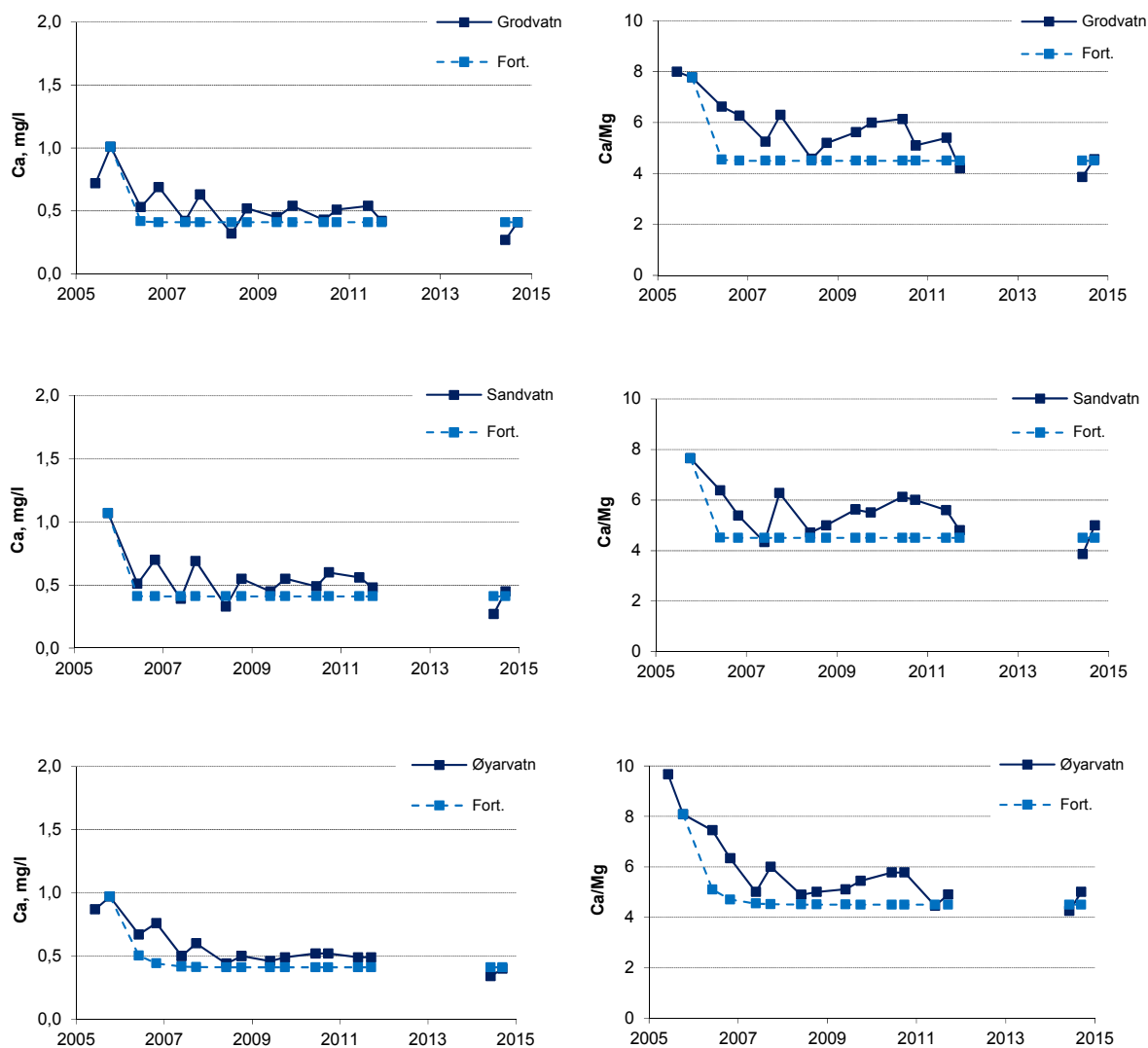
I Berghylvatn er variasjonen langt mer dempet i og med den lange oppholdstiden. Her er det også en klar forskjell mellom målte Ca-konsentrasjoner og forventet fortynning i 2011, men ikke i 2014. Både Ca og Ca/Mg-forholdet er imidlertid fortsatt høyere i Berghylvatn, og indikerer en kalkeffekt, slik som vi også har vist over.



Figur 14. Målte konsentrasjoner av Ca og beregnede verdier for Ca/Mg-forholdet for Berghylvatn og Nestjørn sammenliknet med beregnede fortynningskurver og referansevatnet Hyljevvatn. Fortynningskurvene er startet fra siste kalking.

Utviklingen i Grodvatn, Sandvatn og Øyarvatn etter kalkslutt (**Figur 15**) er påvirket av oppstrømskalkingen. 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 en klar effekt av kalking fram til 2011, og verken Ca-konsentrasjon eller Ca/Mg-forholdet hadde kommet tilbake til et referansenivå. Men i 2014 har dette skjedd, også for Ca/Mg-forholdet, noe som viser at kalkeffekten ikke lenger har betydning.



Figur 15. Målte konsentrasjoner av Ca og beregnede verdier for Ca/Mg-forholdet sammen med beregnede fortynningskurver for de samme parameterne i de tre innsjøene nedstrøms Nestjørn i Telemark. Fortynningskurvene er startet fra siste kalking.

4. Diskusjon

Målet med dette arbeidet har vært å undersøke hva som skjer med vannkjemien etter avsluttet kalking av innsjøer. Det er spesielt langtidseffekten fra oppløsningen av sedimentert kalk som har vært i fokus. Data foreligger nå for 9-12 år etter avsluttet kalking, og ga et godt grunnlag for eventuelt å justere konklusjoner fra tidligere rapporter fra dette prosjektet.

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 vurdere langtidseffekten nærmere har vi brukt utviklingen i Ca og forholdet Ca/Mg, 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 variasjoner i konsentrasjonen av Ca og Mg som skyldes endringer i sur nedbør og klimavariasjon.

Resultatene i denne rapporten er hovedsakelig basert på perioden etter kalkslutt i innsjøer. Denne perioden har hatt lengst varighet for de to innsjøene i Buskerud (12 år) og hhv. 9 og 10 år for Store Finntjenn i Aust-Agder og de fem innsjøene i Telemark. Den vannkjemiske utviklingen tilbake mot et bakgrunnsnivå bør dermed ha kommet langt, selv for de innsjøene som etter norsk målestokk har forholdsvis lang oppholdstid (> 1 år).

Men i samme periode har det også vært en betydelig reduksjon i sur nedbør. Det gjenspeiles ved en regional reduksjon i sulfatkonsentrasjon, slik som vist for Berghylvatn og Hyljevatt. Vannkvaliteten er dermed forbedret, og har til en viss grad balansert den reduserte kalkeeffekten. Men dette gjelder ikke Ca-konsentrasjonen, som er redusert både som resultat av kalkslutt og redusert forsurening.

Vannkvaliteten i referansevannene er blitt forholdsvis god i undersøkelsesperioden, og er svært nær den grenseverdien for påvirkning av fiskebestander som er satt.

En langvarig resteffekt etter avsluttet kalking og en gradvis redusert forsurening har i hele perioden gitt gode forhold for aure i innsjøene. Det vil si at det å avslutte innsjøkalking ikke nødvendigvis innebærer en stor risiko. Tilpasset oppfølging i form av vannkjemiske undersøkelser og fiske bør imidlertid gjennomføres fram til kalkeeffekten er borte, se under konklusjoner.

Innsjøer med lang oppholdstid, slik som Berghylvatn, vil uansett ha en langvarig kalkeeffekt etter avsluttet kalking. Det er fordi det tar flere år å fortynne det kalkede vannet med vann fra terrenget omkring. Men langtidsopløsning av kalk kan bidra betydelig til effekten. Nestjørn har til sammenlikning svært kort oppholdstid, men er over tid kalket med forholdsvis store kalkdoser fra helikopter for å gi tilstrekkelig effekt fram til rekalkingene. Dette har gitt et betydelig kalkreservoar på innsjøbunnen og en lang kalkeeffekt-«hale». Denne situasjonen kan være typisk for innsjøer med kort oppholdstid (<0,4 år), men som vi har sett, kan vannkjemien variere forholdsvis mer her enn i innsjøer med lang oppholdstid. Høstregn og snøsmelting kan gi dominans av fortykning, mens effekten av kalkopløsning kan dominere utover sommeren.

Avtaket i Ca-konsentrasjon 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 fortykning, 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) og andre innsjøer, som beskrevet innledningsvis.

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 kalkopløsning enn ved dagens maskinelle båtalking, der kalken blandes med vann og deretter spres i vifteform utover vannflaten. Kalkkilden på innsjøbunnen er åpenbart betydelig i Store Finntjenn, og effekten av oppløsning herfra er fortsatt målbar.

Et forhold som vi allerede har berørt, men som krever spesiell oppmerksomhet, er reduksjonen i Ca-konsentrasjon i referansevannene. Reduksjonen styres, som vi har sett, av reduksjonen i SO₄-konsentrasjon. I Hyljevatt og Berghylvatn er SO₄-konsentrasjonen nå (2014-data) kommet ned til 0,5 mg/L, mens tilhørende Ca-konsentrasjon er 0,3-0,35 mg/L. Data fra Lille Hovvatn (ikke vist her) indikerer at dette kan være historisk lave konsentrasjoner. Den vedvarende reduksjonen gir grunn til bekymring fordi vannkvaliteten er nær grenseverdier for ANC, men kan samtidig bli marginal for enkelte arter med hensyn til kalsium. Den biologiske effekten av kombinasjonen av disse forholdene er lite kjent.

5. 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. Langtidseffekten av kalking har dessuten gitt god anledning til å følge utviklingen tilbake mot en referansetilstand.

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. Supplerende målinger i 2011 og 2014 styrker tidligere konklusjoner. Vi vil spesielt peke på følgende generelle forhold som er framkommet:

- I innsjøer med kort oppholdstid (her satt til $< 0,4$ år) endres vannkjemien generelt raskt pga rask fortykning. Lang oppholdstid (> 1 år) virker motsatt, og kalkeffekten vil uansett holde seg i 2-4 år.
- 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 kalkeffekt over tid.
- Vann som er kalket «hardt», dvs mye kalk per areal og vannvolum, kan ha et forholdsvis stort internt kalkreservoar ved kalkslutt. Dette er typisk for innsjøer med kort oppholdstid, og kan gi også disse innsjøene en betydelig langtidseffekt.
- Vann som er kalket skånsomt og i tillegg er dype, slik at kalkopløsningen blir nær 100 % (ikke i denne undersøkelsen), kan ha et ubetydelig internt kalkreservoar.
- Vann som er kalket indirekte fra oppstrøms kalkede innsjøer, har en tilleggskilde til kalkeffekt. De er delvis prisgitt utviklingen høyere oppe i nedbørfeltet.
- Vann som er kalket mange ganger og over lang tid, antas å ha større kalkreserver 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 en liten eller ingen risiko for at vannkvaliteten (helst beregnet som ANC_{org}) blir kritisk dårlig etter kalkslutt, undersøkes ANC i høstprøver tre år og seks år etter kalkslutt.
- 2) Hvis det er usikkert om ANC_{org} blir kritisk dårlig etter kalkslutt bør kalkslutt kombineres med årlige vannkjemiske undersøkelser. Er oppholdstiden lang, kan undersøkelser hvert tredje år være tilstrekkelig.
- 3) Anbefalingen i 2) bør kombineres med 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 vannkvaliteten blir kritisk dårlig etter kalkslutt kan kalkingsfrekvensen reduseres sterkt, f.eks. fra årlig til hvert tredje år. Dette kombineres med årlige (eller mindre frekvente) undersøkelser.

Data fra omkringliggende, ukalkede innsjøer er svært verdifulle. Vi har brukt slike data aktivt i dette arbeidet. Gir vannkjemiske undersøkelser av den typen vi har gjennomført og evt. fiskestatus i slike innsjøer grunnlag for å avslutte, skulle situasjonen være grei så sant det ikke er spesielle grunner for tvil.

6. 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.
- Garmo, Ø., Skancke, L.B. og Høgåsen, T. 2014. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Vannkjemiske effekter 2013. Rapport M153, Miljødirektoratet. 55 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. 2011a. Vannkjemisk utvikling i innsjøer i Buskerud, Telemark og Aust-Agder de 5-8 første årene etter avsluttet kalking. NIVA-rapport 6260. 34 s.
- Hindar, A. 2011b. Reetablering av Vänerlaksen i Trysilvassdraget – forurensingssituasjonen og behovet for kalking. NIVA-rapport 6269-2011. 20 s.
- Hindar, A. 2014a. Vannkjemisk, Arendalsvassdraget, s. 15-17. I: Kalking av laksevassdrag. Effektkontroll i 2013. Rapport M-208. Miljødirektoratet.
- Hindar, A. 2014b. Hvorfor kan vi ikke slutte å kalke? pH-status 4-2014: 3-5.
- 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.

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 2005-2014

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	LAL µg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	ANCI µekv/l	ANC _{org} µekv/l
Buskerud, Flå kommune																				
Langvann	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
Langvann	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
Langvann	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
Langvann	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
Langvann	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
Langvann	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
Langvann	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
Langvann	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
Langvann	7243	22.06.11	5,74	1,06	29	265	9	8	7,8	0,39	1,00	100	83	17	1,01	0,18	0,12	0,75	65	39
Langvann	7243	16.10.11	5,69	1,10	25	315	10	17	8,8	0,39	0,97	127	97	30	1,11	0,17	0,15	0,69	70	40
Langvann	7243	07.07.14	6,20	0,91	31	180	6	7	4,5	0,50	0,81	78	71	7	0,80	0,14	0,11	0,64	49	34
Langvann	7243	03.11.14	5,77	1,09	20	215	<2	14	7,3	0,52	1,23	125	114	11	0,95	0,14	0,13	0,72	52	27
Øvstevann	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
Øvstevann	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
Øvstevann	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
Øvstevann	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
Øvstevann	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
Øvstevann	7242	27.10.08	6,15	1,15	38	235	11	4	5,7	0,52	0,93	106	107	-1	1,12	0,13	0,16	0,84	75	55
Øvstevann	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
Øvstevann	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
Øvstevann	7242	22.06.11	5,76	1,01	31	225	8	1	7,7	0,30	0,95	120	99	21	0,99	0,11	0,11	0,73	65	39
Øvstevann	7242	16.10.11	5,88	1,09	29	225	7	4	7,2	0,38	0,96	123	100	23	1,07	0,14	0,15	0,74	71	46
Øvstevann	7242	07.07.14	6,27	0,77	29	170	7	5	3,3	0,44	0,64	65	60	5	0,65	0,11	0,09	0,56	41	30
Øvstevann	7242	03.11.14	5,83	1,11	22	200	<2	7	7,3	0,58	1,28	154	136	18	0,96	0,10	0,12	0,77	50	26
Aust-Agder, Gjerstad komune																				
Lille Finntjern	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 Finntjern	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 Finntjern	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 Finntjern	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 Finntjern	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 Finntjern	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

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	LAL µg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	ANC1 µekv/l	ANC _{org} µekv/l
Lille Finntjern	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 Finntjern	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 Finntjern	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 Finntjern	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 Finntjern	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 Finntjern	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
Lille Finntjern	146676	04.06.11	5,32	1,23	10	250	13	<1	4,8	1,49	1,21	96	54	42	0,47	0,10	0,14	1,09	18	1
Lille Finntjern	146676	20.09.11	4,86	1,56	0	380	32	20	9,6	1,24	1,00	157	115	42	0,44	0,07	0,12	0,96	18	-14
Lille Finntjern	146676	09.06.14	5,32	1,17	6	205	11	3	4,9	1,45	0,93	88	45	43	0,43	0,09	0,13	1,01	18	1
Lille Finntjern	146676	12.09.14	5,00	1,49	0	285	11	<2	8,2	1,46	0,72	123	81	42	0,41	0,08	0,12	1,08	23	-5
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
Store Finntjern	8091	04.06.11	5,97	1,52	28	260	44	26	3,2	1,74	1,50	44	33	11	0,88	0,10	0,18	1,27	34	23
Store Finntjern	8091	20.09.11	5,56	1,35	19	305	39	23	6,2	1,32	1,33	115	85	30	0,75	0,06	0,15	1,10	33	12
Store Finntjern	8091	09.06.14	6,06	1,26	22	205	8	20	3,3	1,60	1,25	55	46	9	0,69	0,09	0,14	1,15	26	14
Store Finntjern	8091	12.09.14	5,68	1,36	20	270	23	10	5,3	1,57	1,08	74	54	20	0,80	0,09	0,15	1,22	40	22
Telemark, Fyresdal kommune																				
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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

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	LAL µg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	ANC1 µekv/l	ANC _{org} µekv/l
Tussetjørn	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
Tussetjørn	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
Tussetjørn	1311	03.06.11	5,48	0,77	14	190	9	2	5,1	0,63	0,46	90	69	21	0,48	0,05	0,11	0,62	34	16
Tussetjørn	1311	20.09.11	5,02	0,95	0	220	2	2	6,6	0,53	0,42	111	97	14	0,33	0,05	0,10	0,46	22	0
Tussetjørn	1311	08.06.14	5,61	0,58	13	123	2	12	3,1	0,51	0,26	68	54	14	0,25	0,07	0,08	0,38	17	6
Tussetjørn	1311	14.09.14	5,38	0,95	15	295	23	4	7,2	0,54	0,47	122	86	36	0,41	0,07	0,09	0,52	27	2
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	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
Nestjørn	14809	03.06.11	5,63	0,75	16	170	8	2	4,4	0,63	0,51	79	61	18	0,55	0,06	0,11	0,61	36	21
Nestjørn	14809	20.09.11	5,17	0,87	2	195	<2	1	6,0	0,51	0,42	99	86	13	0,36	0,06	0,09	0,46	24	3
Nestjørn	14809	08.06.14	5,58	0,57	11	114	<2	4	3,0	0,51	0,25	64	49	15	0,24	0,08	0,06	0,38	16	5
Nestjørn	14809	14.09.14	5,33	0,89	10	235	9	4	6,5	0,51	0,45	110	81	29	0,42	0,06	0,09	0,48	27	5
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
Grodvatn	14827	03.06.11	5,61	0,75	16	170	8	7	4,3	0,59	0,50	83	60	23	0,54	0,06	0,10	0,59	35	20
Grodvatn	14827	20.09.11	5,22	0,86	4	245	4	9	5,8	0,57	0,46	103	83	20	0,42	0,05	0,10	0,48	25	5

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	LAL µg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	ANC1 µekv/l	ANC _{org} µekv/l
Grodvatn	14827	08.06.14	5,67	0,57	12	114	11	15	2,6	0,54	0,33	60	47	13	0,27	0,09	0,07	0,41	16	7
Grodvatn	14827	14.09.14	5,34	0,90	11	245	11	8	6,4	0,50	0,49	112	79	33	0,41	0,06	0,09	0,47	25	3
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
Sandvatn	14905	02.06.11	5,64	0,76	16	170	9	11	4,1	0,61	0,59	81	61	20	0,56	0,07	0,10	0,59	33	19
Sandvatn	14905	19.09.11	5,28	0,85	5	225	5	15	5,9	0,54	0,49	108	90	18	0,48	0,06	0,10	0,50	29	9
Sandvatn	14905	07.06.14	5,65	0,60	12	165	3	21	2,6	0,56	0,37	63	46	17	0,27	0,08	0,07	0,42	15	6
Sandvatn	14905	13.09.14	5,33	0,88	10	245	14	11	6,3	0,53	0,46	111	78	33	0,45	0,07	0,09	0,48	27	6
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
Øyarvatn	15002	02.06.11	5,66	0,79	15	185	14	47	3,4	0,67	0,70	71	51	20	0,49	0,08	0,11	0,59	24	13
Øyarvatn	15002	19.09.11	5,52	0,78	11	215	10	27	4,8	0,55	0,54	96	78	18	0,49	0,06	0,10	0,51	28	11
Øyarvatn	15002	07.06.14	5,65	0,70	12	148	5	50	2,6	0,65	0,49	77	51	26	0,34	0,09	0,08	0,49	15	6
Øyarvatn	15002	13.09.14	5,56	0,77	13	220	17	18	4,5	0,58	0,47	84	60	24	0,40	0,08	0,08	0,50	23	8

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	LAL µg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	ANC1 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
Berghylvatn	14992	02.06.11	5,75	0,76	16	215	19	63	2,9	0,57	0,59	58	40	18	0,61	0,05	0,09	0,55	30	20
Berghylvatn	14992	19.09.11	5,61	0,75	11	275	13	57	3,7	0,58	0,58	57	46	11	0,54	0,03	0,08	0,48	23	10
Berghylvatn	14992	07.06.14	5,77	0,72	14	245	10	66	2,7	0,71	0,52	71	47	24	0,43	0,06	0,08	0,52	17	7
Berghylvatn	14992	13.09.14	5,72	0,75	14	210	18	37	3,6	0,64	0,51	65	40	25	0,46	0,05	0,07	0,54	22	10
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	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
Hyljevatt	14884	02.06.11	5,67	0,72	13	200	18	88	2,9	0,61	0,68	60	39	21	0,41	0,06	0,09	0,56	16	6
Hyljevatt	14884	19.09.11	5,49	0,71	8	220	14	39	3,5	0,54	0,60	68	53	15	0,36	0,04	0,09	0,48	17	5
Hyljevatt	14884	07.06.14	5,68	0,68	12	155	6	52	2,5	0,66	0,52	64	41	23	0,32	0,07	0,08	0,48	12	4
Hyljevatt	14884	13.09.14	5,65	0,70	12	195	17	15	3,5	0,58	0,50	58	36	22	0,35	0,06	0,08	0,51	20	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 tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

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