

Vannkjemisk utvikling i innsjøer etter avsluttet kalking



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

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

Tittel Vannkjemisk utvikling i innsjøer etter avsluttet kalking	Løpenr. (for bestilling) 5628-2008	Dato 30. mai 2008
	Prosjektnr. Undernr. O-24265	Sider Pris 32
Forfatter(e) Atle Hindar og Liv Bente Skancke	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Fri
	Geografisk område Sør-Norge	Trykket CopyCat

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse 04040041-2 (2005) 04040041-3 (2006) 04040041-4 (2007)
---	--

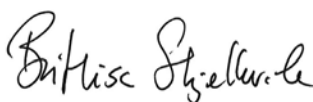
Sammendrag

Nedfallet av sure forbindelser har blitt gradvis redusert i takt med reduserte utslipp av svovel og nitrogen i Europa. Det har resultert i en markant endring i vannkjemisk 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 og biologisk utvikling etter avslutning av kalking i 11 innsjøer. Fem andre innsjøer har vært ukalkede referanseinnsjøer. De vannkjemiske resultatene viser at kalkstopp i innsjøer kan etterfølges av en lang "kalkhale", avhengig av kalkingsmåten, innsjøens form og vannets oppholdstid. Det vil si at vannkjemien ikke umiddelbart går tilbake til nivået i omkringliggende, ukalkede innsjøer. Kalking over flere år og med store doser kan gi en lang hale selv for innsjøer med kort oppholdstid. Siden veien tilbake til en ukalket tilstand kan gå over flere år, har vi god tid til å vurdere endringene etter kalkstopp. Det vil også si at vi kan forsøke kalkstopp selv i innsjøer der en er i tvil om avslutning er en riktig strategi.

Fire norske emneord 1. Innsjøkalking 2. Vannkjemisk 3. ANC 4. Kalkstopp	Fire engelske emneord 1. Lake liming 2. Water chemistry 3. Acid neutralising capacity (ANC) 4. Termination of liming
---	--



Atle Hindar
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

Vannkjemisk utvikling i innsjøer etter avsluttet kalking

Forord

Forsuringsforholdene i Norge har vært i bedring siden ca. 1990, og flere steder har det vært antatt at forholdene i vann og vassdrag igjen kan være akseptable for fisk og andre forsuringfølsomme organismer. Samtidig er kalkbehovet redusert og enkelte steder kan det være mulig 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 var kalket gjennom flere år. Kontrakt fra DN ble mottatt 4. juli samme år.

Denne rapporten omhandler vannkjemiske data som er samlet inn som del av prosjektet i perioden 2005-2007 og andre vannkjemiske data for enkelte av innsjøene. Prosjektet har vært gjennomført i samarbeid med Fylkesmannen i de berørte fylker. I Østfold har Leif Roger Karlsen hos Fylkesmannen tatt prøver. Bjørn Walseng og Trygve Hesthagen ved Norsk institutt for naturforskning har også samlet prøver her. I Oslo og Akershus har Knut Fjermeros, Bjørn Otto Dønnum, Jan-Rune Samuelsen og Geir Engdahl fra lokale jeger- og fiskerforeninger utført prøvetaking, mens Gunder Trommald har samlet inn prøvene i Buskerud. NIVA har samlet inn prøver i Telemark og Aust-Agder.

Vi takker alle for godt samarbeid.

Grimstad, 30. mai 2008

Atle Hindar

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn	7
2. Mål	7
3. Lokalteter og analyser	7
4. Resultater	9
4.1 Buskerud	9
4.2 Akershus	13
4.3 Østfold	16
4.4 Aust-Agder	19
4.5 Telemark	22
5. Diskusjon	25
6. Konklusjoner	28
7. Referanser	28
Vedlegg A. Primærtavell for vannkjemi 2005-2007	30

Sammendrag

Fra omkring 1990 og fram til 2005 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. I den samme perioden er kalkforbruket i enkeltlokaliteter blitt sterkt redusert.

Det er en klar sammenheng mellom fiskestatus og ANC (syrenøytraliserende kapasitet) i norske innsjøer. Siste års vannkjemiske overvåking og beregninger av ”ukalket vannkvalitet” i kalkede innsjøer har vist at det kan være grunn til å avslutte kalking i enkelte lokaliteter fordi ANC er økt til akseptable nivåer for innlandsfisk. I flere fylker er kalking i innsjøer med antatt akseptabel vannkvalitet avsluttet. Flere av dem er med i den foreliggende undersøkelsen.

Målet med prosjektet har vært å dokumentere endringer i vannkjemisk og biologisk utvikling etter at kalking avsluttes. Resultatene skal bidra til å vurdere om det var riktig å avslutte kalkingstiltaket og eventuelt om også andre kalkingstiltak i samme område kan avsluttes. Den biologiske utviklingen (fisk) følges i hovedsak av Fylkesmannen, mens NIVAs måleprogram har omfattet den vannkjemiske delen.

Resultatene viser at kalkslutt i innsjøer etterfølges av en lang ”kalkhale”. Det vil si at vannkjemien (kalsium, pH, aluminium og ANC) ikke umiddelbart går tilbake til nivået i omkringliggende, ukalkede innsjøer. Årsaken til dette henger sammen med kalkingsmåten, innsjøens form og vannets oppholdstid. Kalking 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.

Reduksjonen i Ca-konsentrasjon og Ca/Mg-forholdet etter kalkstopp kan se ut til å gå raskere enn reduksjonen i pH og økningen i aluminium. Hvis dette bekreftes ved ytterligere målinger, kan det vise at veien tilbake mot en ukalket tilstand blir enda lenger, noe som kan være positivt hvis en er i tvil om at kalkstopp var en riktig strategi.

Kalkstopp gir altså ingen umiddelbar avslutning av kalkingseffekten i innsjøene. Siden veien tilbake til en ukalket tilstand kan gå over flere år, vil det si at en har god tid til å vurdere endringen etter kalkstopp. Det vil også si at en kan forsøke kalkstopp selv i innsjøer der en er i tvil om avslutning er en riktig strategi.

For å være på tryggest mulig grunn når en skal vurdere kalkstopp 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.

Summary

Title: Water chemistry in lakes after termination of liming

Year: 2008

Author: Atle Hindar and Liv Bente Skancke

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5363-4

The deposition of acidic components in southern Norway has decreased gradually from 1990 until 2005 in parallel with a corresponding decrease in acid emissions in Europe. A resulting change in water chemistry in lakes and streams has followed. This in turn has resulted in a significant decrease in limedoses for limed lakes.

A close relationship between fish status and ANC (acid neutralising capacity) exists for Norwegian lakes. ANC has increased, and calculations of “un-limed” water chemistry in limed lakes have shown that termination of liming may be possible in single lakes. Liming has already been terminated in some lakes with anticipated acceptable water quality. Several of these lakes are part of this work.

The aim of the present project has been to document changes in water chemistry and fish biology after termination of liming. The results and recommendations are supposed to contribute to decisions regarding termination of liming programmes in single lakes and regions. Fish populations are examined mainly by the County administrations (not reported here), and NIVA has monitored the water chemistry.

Results from this monitoring show that termination of liming is followed by a long “liming tale”, which 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. Liming strategy, lake-morphometry and the lake retention time is important for the magnitude of the tale. Reductions in Ca and the Ca/Mg-relation after liming seem to proceed faster than corresponding reduction in pH and increase in inorganic Al.

Termination of liming, then, does not 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.

1. Bakgrunn

Fra omkring 1990 og til 2005 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 i innsjøer og elver, med økt pH og ANC (syrenøytraliserende kapasitet) og redusert konsentrasjon av aluminium, spesielt den giftige fraksjonen (SFT 2007).

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 2005,a).

Det er en klar sammenheng mellom fiskestatus og ANC i norske innsjøer, se for eksempel Henriksen m.fl. (1999). Siste års vannkjemiske overvåking (SFT 2007) og beregninger av ”ukalket vannkvalitet” i kalkede innsjøer (Hindar og Larssen 2005,a; Kroglund 2007) har vist at det kan være grunn til å avslutte kalking i enkelte lokaliteter fordi ANC er økt til akseptable nivåer for innlandsfisk. I flere fylker er kalking i innsjøer med antatt akseptabel vannkvalitet avsluttet. Flere av dem er med i den foreliggende undersøkelsen.

2. Mål

Målet med prosjektet har vært å dokumentere endringer i vannkjemisk og biologisk utvikling etter at kalking avsluttes. Den biologiske utviklingen (fisk) følges i hovedsak av Fylkesmannen, mens NIVAs måleprogram har omfattet den vannkjemiske delen og fiskeundersøkelser i Store Finntjenn, Aust-Agder. Resultatene skal bidra til å vurdere om det var riktig å avslutte kalkingstiltaket og eventuelt om også andre kalkingstiltak i samme område kan avsluttes.

3. Lokaliteter og analyser

De undersøkte innsjøene er lokalisert i fem fylker, med spredning i høyde over havet, størrelse og naturlig vannkjemi. **Tabell 1** viser ulike data for innsjøene, mens lokalitetenes plassering er vist i figurer i resultatdelen.

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 to årlige prøver; etter vår- og høstsirkulasjonen, men enkelte innsjøer ble ikke prøvetatt våren 2005 og innsjøene i Østfold ble ikke prøvetatt i 2006.

Aluminiumkonsentrasjonene kan vise i hvilken grad vannet er forsuret og vannkvaliteten dårlig for fisk. Al-data i denne rapporten er fra to forskjellige laboratorier, NINAs lab i Trondheim og NIVAs lab i Oslo. Metodene for Al-fraksjonering og analyser er forskjellige (Hindar m.fl. 2000), og vi opererer derfor med ulike benevninger her. Tm-Al og Um-Al hos NINA er hhv. totalt monomert og uorganisk monomert Al, mens RA1 og LA1 hos NIVA er hhv. reaktivt og labilt Al. Um-Al og LA1 inneholder de giftige fraksjonene, men LA1 har som regel høyere konsentrasjoner enn Um-Al.

ANC er også beregnet som ANC_{org} (Lydersen m.fl. 2004; Hindar og Larssen 2005,b), spesielt i innsjøer med mye organisk stoff, for å gi et bedre anslag på biologisk status.

Tabell 1. Kringinfo, samt morfometriske og hydrologiske data for de innsjøene som er med i denne rapporten. Data er hentet fra ulike kilder, og er oppgitt. Øvrige data er hentet fra NVE Atlas og deretter beregnet.

Fylke	Kommune	Lokalitet	NVE-nr.	Kalkingsstatus	HOH	Vannareal km ²	Middeldyp* m	Volum mill. m ³	Nedbørfelt km ²	Spes. avrenn. l/s/km ²	Års- avrenn. mill. m ³	Oppholds- tid år	Kilder
Buskerud	Flå	Langtjern**	7272	referanse	518	0,23	2,4	0,56	4,69	19	2,81	0,2	Henriksen og Grande (2002)
Buskerud	Flå	Langvatn	7243	kalket 1989-2002	398	0,63	6,8	4,27	18,4	20	11,59	0,37	Middeldyp fra Å. Tysse
Buskerud	Flå	Øvstevatn	7242	kalket 1989-2002	402	0,42	2,8	1,17	9,4	22	6,51	0,18	Middeldyp fra Å. Tysse
Akershus	Nannestad	Trasletjern	4962	kalket siste gang i 2004	473	0,032	9,5	0,3	1,06	20	0,67	0,45	Engdahl, NJFF; middeldyp
Akershus	Aursk.-Høl.	Maltjern	3169	kalket siste gang i 2004	199	0,43	10	4,28	10,7	16	5,39	0,79	Monsen, NJJF: maksdyp 35 m
Østfold	Enningdal	Hauganetjern	3006	Referanse	142	0,11	2,7	0,3	2,11	13	0,86	0,35	B. Walseng; maksdyp ca 8 m
Østfold	Enningdal	Brønntjern	3004	kalket siste gang i 2004	154	0,14	1,3	0,18	1,62	13	0,66	0,27	B. Walseng; maksdyp ca 4 m
A.-Agder	Gjerstad	L. Finntjenn	146676	kalket 1981, referanse	236	0,007	2,4	0,016	0,056	32	0,06	0,28	Hindar 1984
A.-Agder	Gjerstad	S. Finntjenn	8091	kalket 1981-2005	236	0,016	3,0	0,048	0,106	32	0,11	0,45	Hindar 1984
Telemark	Fyresdal	Tussetjørn	1311	Referanse	671	0,15	1,5	0,22	7,2	32	7,26	0,03	
Telemark	Fyresdal	Nestjørn	14809	kalket siste gang i 2004	714	0,11	2,5	0,28	4	36	4,54	0,06	
Telemark	Fyresdal	Grodvatn	14827	kalket siste gang i 2004	711	0,49	5,0	2,44	11	35	12,13	0,2	
Telemark	Fyresdal	Sandvatn	14905	kalket siste gang i 2004	703	0,56	4,0	2,25	21,2	35	23,37	0,1	
Telemark	Fyresdal	Øyarvatn	15002	kalket siste gang i 2004	702	1,71	10	17,07	39,2	34	41,98	0,41	
Telemark	Fyresdal	Hyljevatn	14884	Referanse	725	1,02	3,0	3,06	6,5	34	6,96	0,44	
Telemark	Fyresdal	Berghylvatn	14992	kalket siste gang i 2004	713	0,42	5,0	2,12	2,2	32	2,25	0,94	

*anslag er brukt for egne beregninger

**justert middeldyp og avrenning

4. Resultater

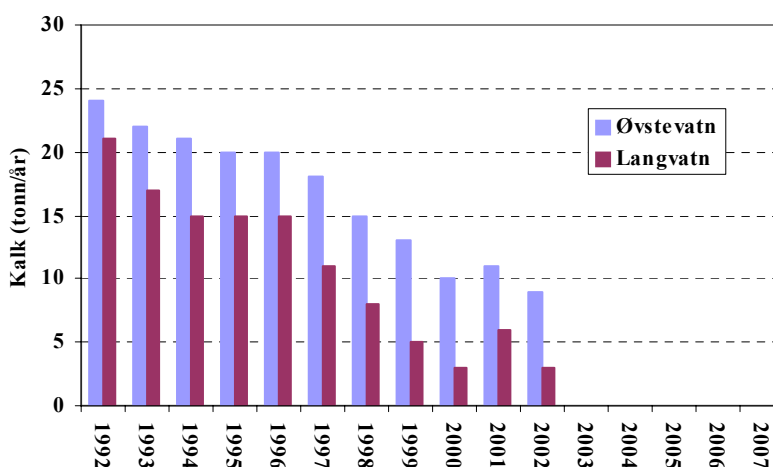
Datagrunnlaget og presentasjonen er litt ulik for de forskjellige innsjøene/fylkene. For noen foreligger en lang dataserie, mens for andre er det kun data fra de siste årene. Data som hører til dette prosjektet er gitt i vedlegg. Presentasjonen er fylkesvis.

4.1 Buskerud

Alle de tre innsjøene i Buskerud ligger i Drammensvassdraget. Langtjern renner ut til Lielvi og videre vestover til Krøderen, mens Øvstevatn og Langvatn drenerer østover til Buvatn og ligger i Soknas nedbørfelt (se **Figur 1**). Av disse innsjøene er Langtjern minst i størrelse (0,23 km²), og 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 (merket med rød ring). Langtjern ligger 3-5 km sør for de to andre. Kilde NVE Atlas.



Figur 2. Brukte kalkmengder i Øvstevatn og Langvatn i perioden 1992-2007.

Langtjern brukes her som referanse for de to kalkede lokalitetene i Flå kommune. Denne referanseinnsjøen ligger godt skjermet for menneskelig aktivitet, og følges opp av NIVA med ukentlig prøvetaking for Statens forurensningstilsyn. Dataserien fra Langtjern er svært lang og dermed godt egnet til formålet. Den inngikk også i arbeidet med en metodeutvikling for å finne ”ukalket” vannkjemi i kalkede innsjøer (Hindar og Larssen 2005,a). Langtjern viser en jevn gjenhenting etter forsureningen, med en økning i ANC på nærmere 30 $\mu\text{ekv/l}$ og klar reduksjon i LAI-konsentrasjonen.

Innsjøene Langvatn og Øvstevatn ble begge kalket i perioden 1989 - 2002. De to innsjøene har relativt lik vannkjemi, og **Figur 3** viser utviklingen gjennom en 25-årsperiode.

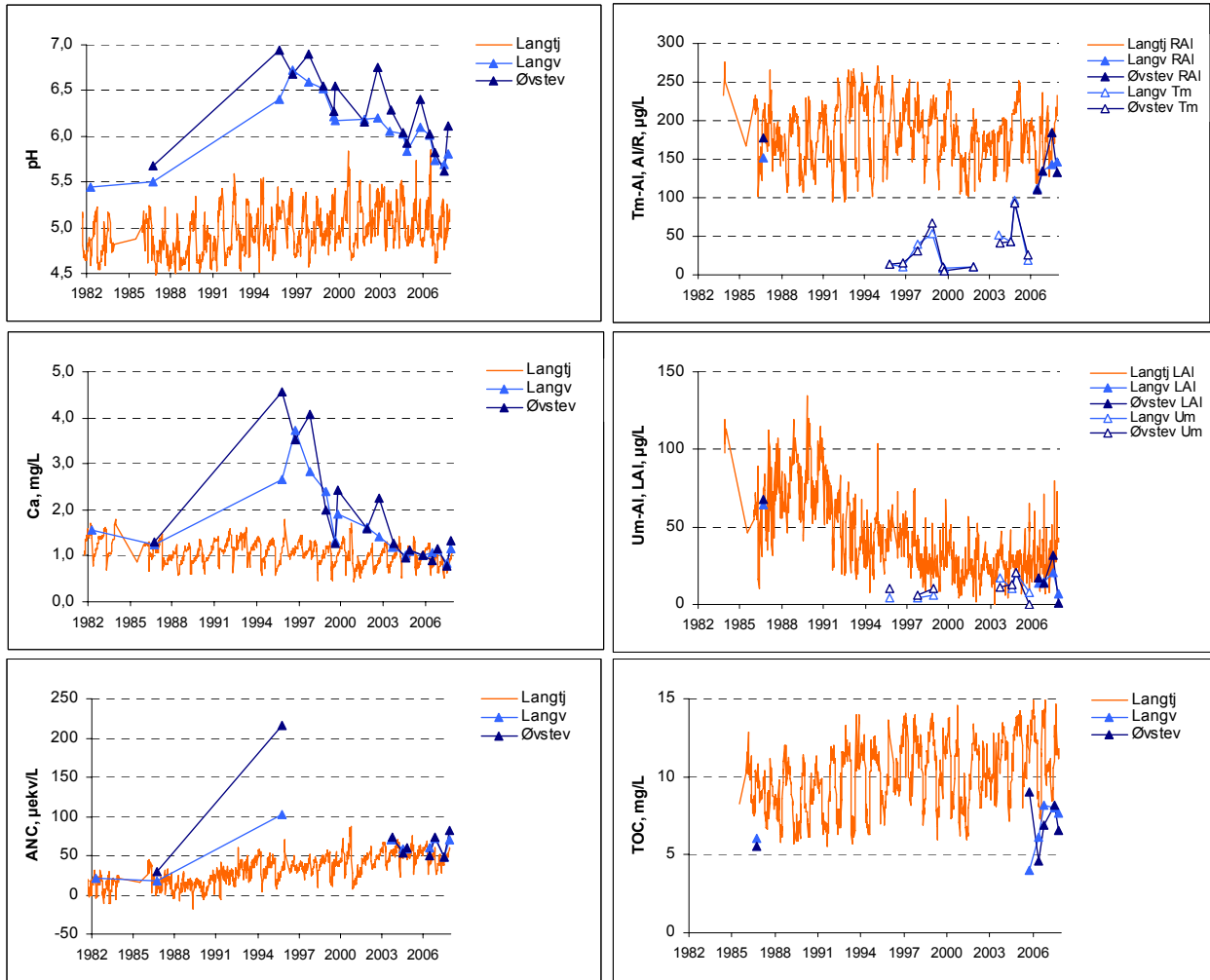
Frekvensen på prøvetakingen og utvalget av analyserte parametre har vært ujevn i disse 25 årene. **Figur 3** viser at kalkingen har gitt et godt løft i pH i kalkingsperioden, og at effekten tilsynelatende har holdt seg også i etterkant. Før kalking (i september 1986) ble det registrert pH-verdier i Langvatn og Øvstevatn på hhv. 5,51 og 5,68. Høyeste pH-verdi i Langvatn og Øvstevatn i siste tre-årsperiode ble målt i høstprøven i 2005, med hhv. pH-verdi 6,1 og 6,4 mens referanseinnsjøen da hadde pH 5,3. Av vår- og høstprøvene i perioden 2005 – 2007 viser alle de tre innsjøene lavest pH-verdi i prøvene fra 9. juli 2007 (pH 4,83 i Langtjern og pH 5,6-5,7 i Langvatn og Øvstevatn). I juli 2007 var vannkemien trolig preget av flom.

Kalsiumkonsentrasjonene avtok raskt ned på nivå med referansen etter at kalkingen opphørte (**Figur 3** og **Figur 4**). Fra 1,3-4,6 mg Ca/l i kalkingsperioden var verdiene i intervallet 0,8-1,3 mg Ca/l i siste treårsperiode. I referanseinnsjøen lå kalsiumkonsentrasjonene på 0,7-1,1 mg/l.

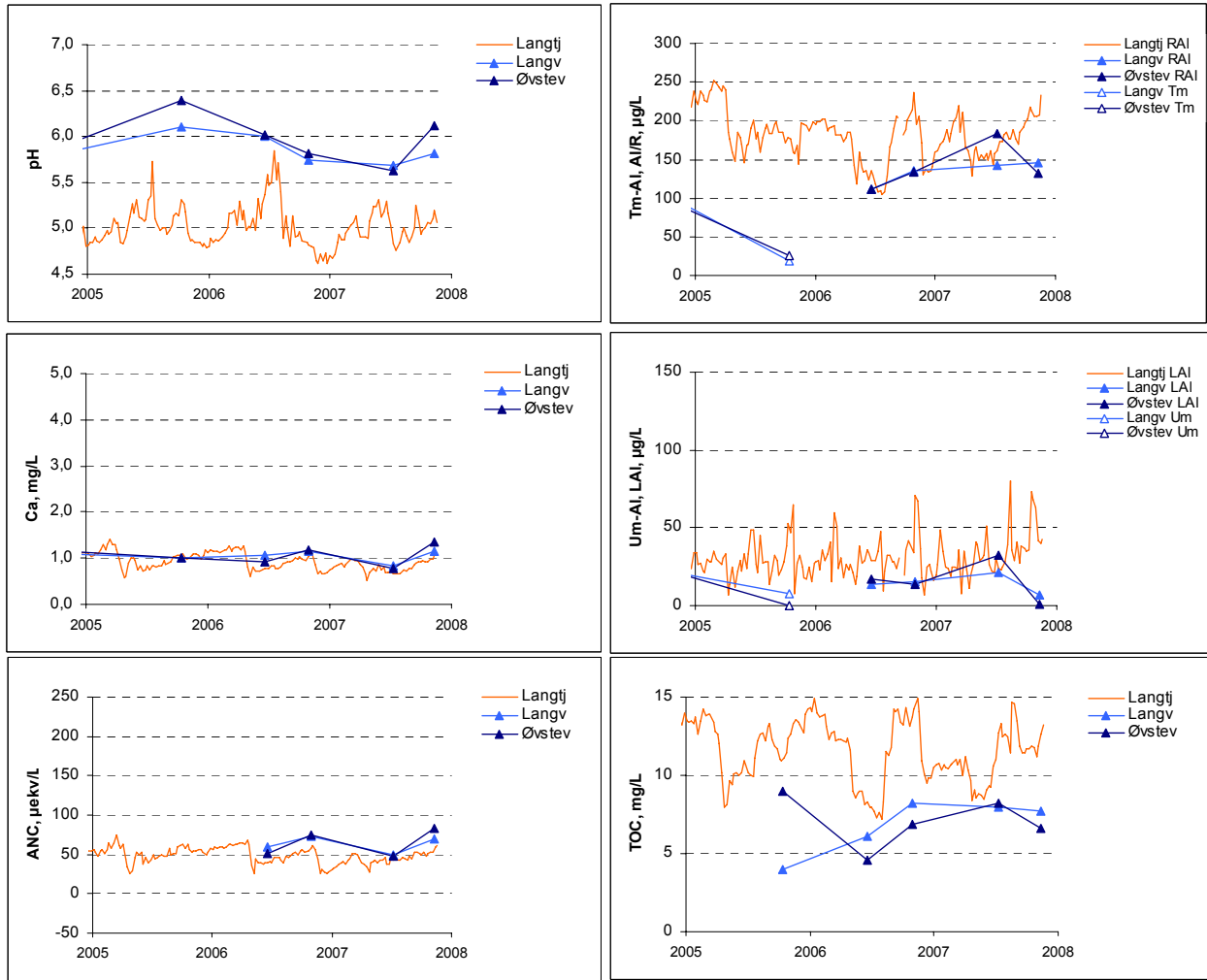
Figur 5 viser forholdet mellom kalsium og magnesium i de tre innsjøene i Buskerud. Verdiene for magnesium i Langvatn og Øvstevatn i oktober 2005 virker unaturlig lave og medfører at forholdet mellom de to basekationene tilsynelatende blir veldig høyt. Ser en bort fra disse verdiene, ligger verdiene etter avsluttet kalking på nivå med situasjonen før kalking og med referanseinnsjøen.

Verdiene for labilt aluminium (LAI) i perioden fra før kalking og til etter kalkslutt har gått vesentlig ned, fra 64-68 $\mu\text{g/l}$ i 1986 til 14-17 $\mu\text{g/l}$ i 2005-2006 (**Figur 3**). Verdien av reaktivt aluminium (RAL) og labilt aluminium (LAI) har variert noe i prøvene tatt i 2007. LAI-verdiene i prøvene fra juli 2007 var forhøyet i begge innsjøene (21 $\mu\text{g/l}$ i Langvatn og 32 $\mu\text{g/l}$ i Øvstevatn), mens høstprøvene samme år igjen var lave (< 10 $\mu\text{g/l}$). Årsaken til økningen i LAI i juli-prøvene var flom og noe lavere pH.

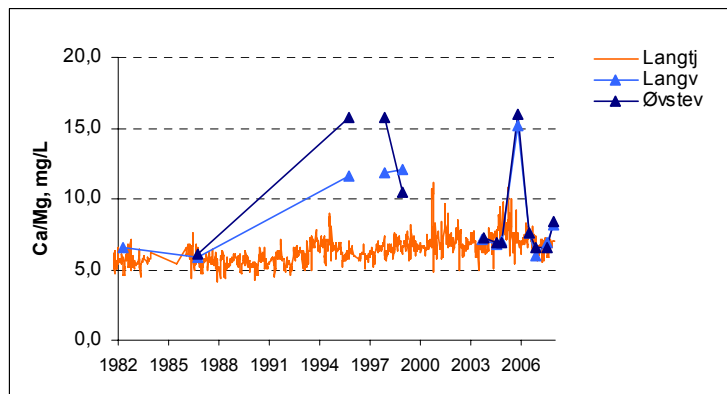
Slik **Figur 3** og **Figur 4** viser har referanseinnsjøen et høyt innhold av TOC (totalt organisk karbon), og dette medvirker til at pH er en del lavere enn i de to andre innsjøene. At TOC-innholdet i hovedsak er høyere i Langvatn og Øvstevatn nå enn i prøvene som ble tatt i 1982, kan skyldes øket utvasking av humus pga mindre sur nedbør (de Wit m.fl. 2007). Relativt nye forskningsresultater viser at denne effekten preger mange innsjøer i Norge, 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 1982-2007 (Data for Langvatn og Øvstevatn før 2006: FM i Buskerud). Langtjern blir prøvetatt ukentlig som del av SFTs overvåkingsprogram.



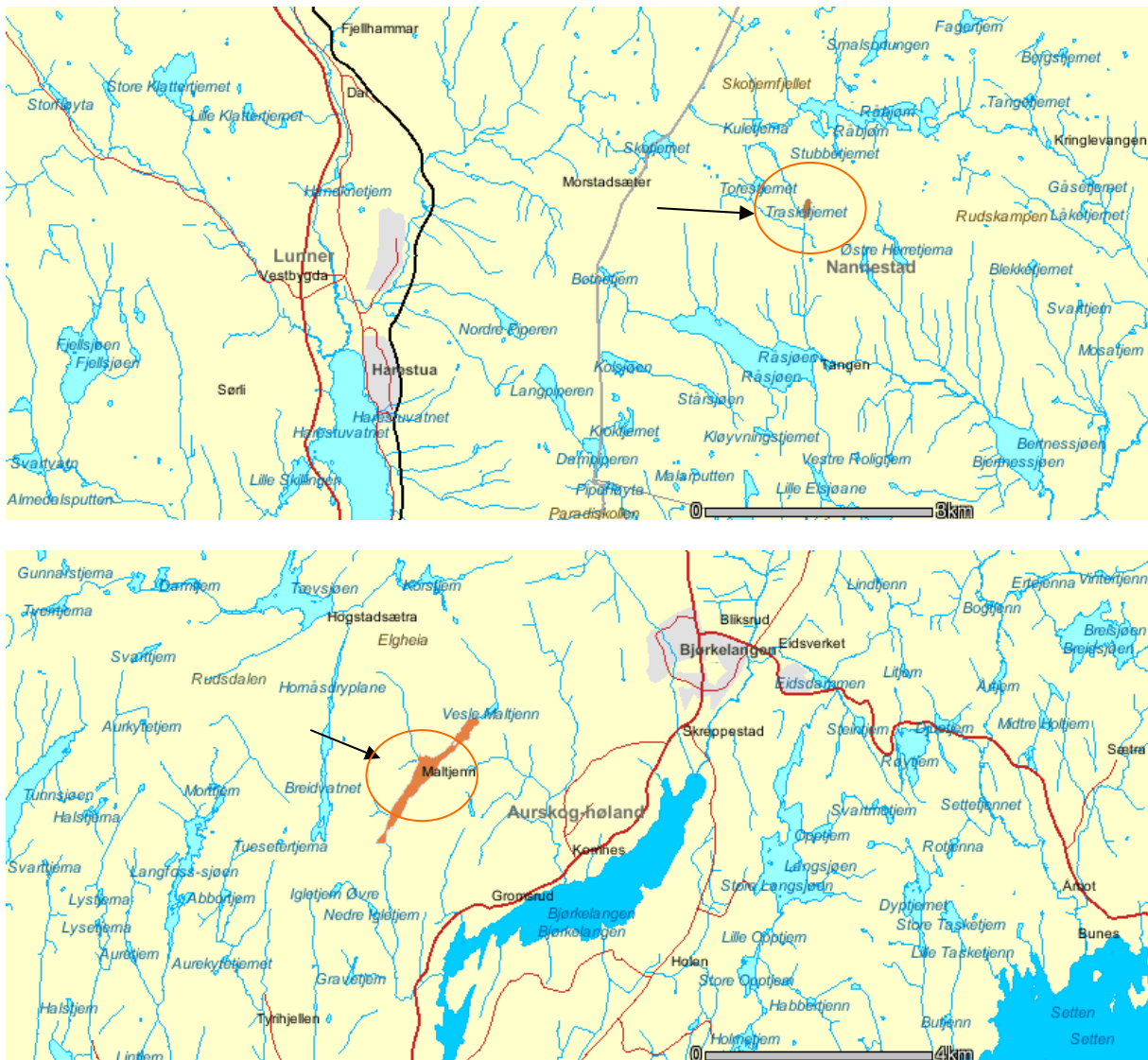
Figur 4. De samme stasjoner og parametre som i foregående figur, men kun for perioden 2005-2007 (Data for Langvatn og Øvstevatn før 2006: FM i Buskerud).



Figur 5. Forholdet mellom kalsium og magnesium for de tre innsjøene i Buskerud er vist for perioden 1982-2007. Spesielt lave Mg-konsentrasjoner i oktober 2005 gir tilsynelatende høyt Ca/Mg-forhold.

4.2 Akershus

I Akershus følges to innsjøer. Trasletjern, som ligger nord på Romeriksåsen og nordøst for Harestuvatnet, drenerer til Rotua, Glommavassdraget, mens Maltjern ligger nordvest for Bjørkelangen i Haldenvassdraget (se **Figur 6**). Trasletjern er blant de minste innsjøene som er med i denne undersøkelsen (0,032 km²), mens Maltjern har et areal som er over 10 ganger større. Trasletjern ligger på nærmere 500 m.o.h. og i småkupert barskoglandskap med noe innslag av løvskog. Ca. 25% av nedbørfeltet er vann- og myrområder. Maltjern ligger på ca. 200 m.o.h. i et barskoglandskap med store skogområder. Området rundt selve vannet er skrint med fjell og bergnabber som går rett ned i vannet. Vannet har tidligere vært drikkevannskilde, men er nå reservevannkilde.



Figur 6. Kartet viser plasseringen av de to lokalitetene i Akershus (angitt med pil og rød ring). Kilde NVE Atlas.

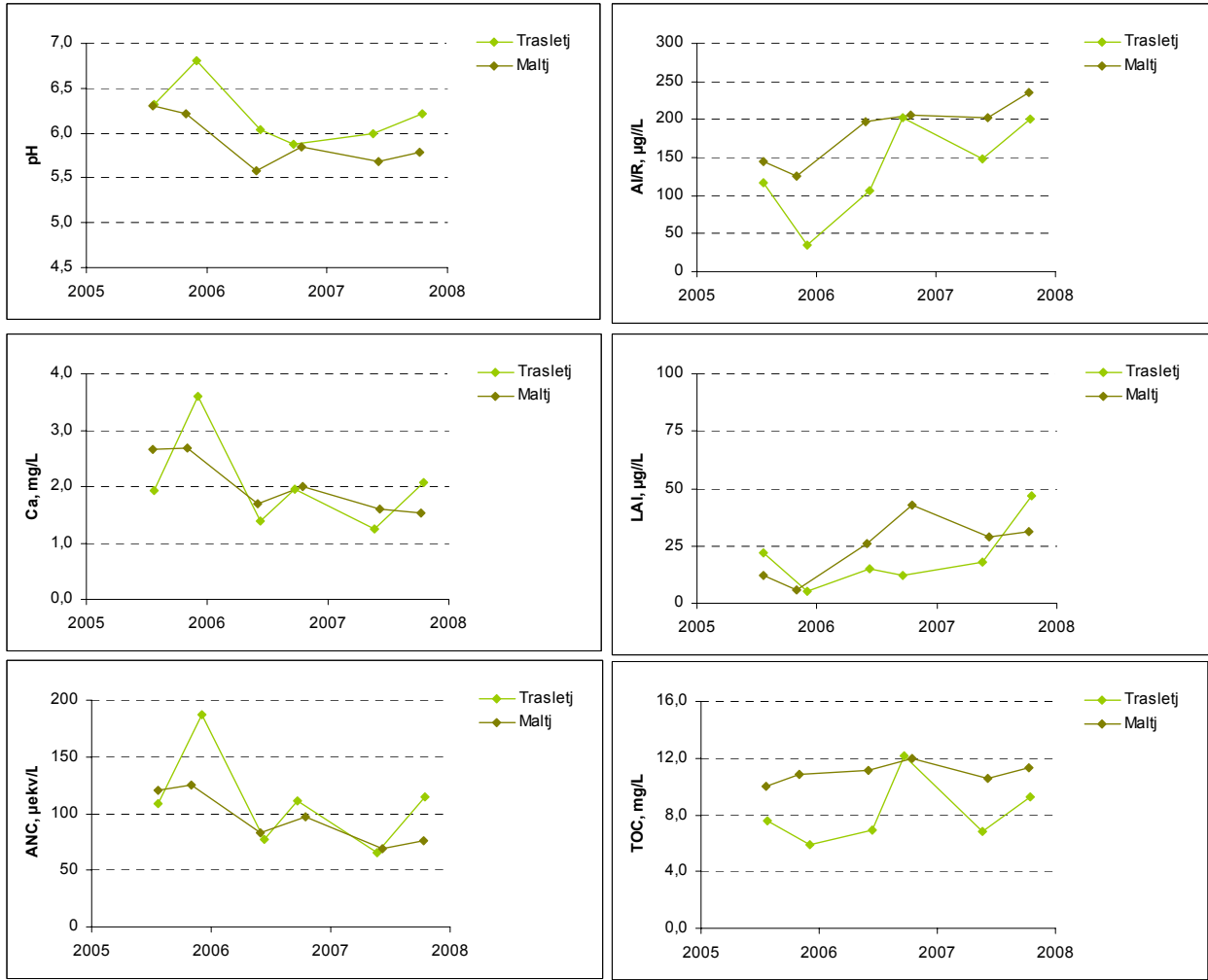
Begge lokalitene ble kalket siste gang i 2004, og i denne rapporten er det kun med data fra perioden etter at kalkingen var avsluttet. Trasletjern er vesentlig mindre i størrelse enn Maltjern, og den korte oppholdstiden influerer på vannkvaliteten. Data for kalsiumkonsentrasjoner i Trasletjern viser at det trolig ligger mye kalk på bunnen. Oppløst kalsium i bunnvannet blandes med resten av vannmassen ved gode sirkulasjonsforhold, og bidrar til kalkeffekt og større variasjon i vannkjemi (**Figur 7**).

pH-verdiene i Trasletjern varierte mellom 5,99-6,8 i prøvene tatt de siste tre årene, mens prøvene fra Maltjern var i intervallet 5,6-6,3. Begge innsjøene synes å ha laveste pH-verdi andre året etter kalkslutt for så å få en liten økning igjen det påfølgende året, dog ikke verdier som registrert i juli 2005. Maltjern synes å ha størst reduksjon i pH etter kalkslutt av de to innsjøene.

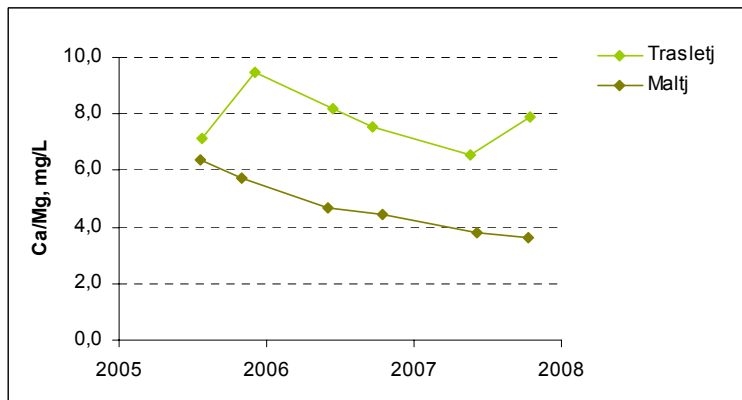
Også kalsiumverdiene i Maltjern avtar nokså raskt; 2,7 mg/l i 2005, 1,7-2,0 mg/l i 2006 og 1,5-1,6 mg/l i 2007. I Trasletjern er reduksjonen mindre tydelig og synes å være mer preget av sesongsvingninger, med lavere verdier om våren og høyere om høsten. Forholdet mellom kalsium og magnesium er vist i **Figur 8**, og viser tydelig forskjell mellom de to innsjøenes utvikling.

Verdiene av RAl øker i begge innsjøene med økende tid etter kalkingsperioden. Den giftige fraksjonen av aluminium, LAl, øker også gjennom treårsperioden, med verdier < 10 µg/l den første høsten etter kalkslutt mot 31-47 µg/l den tredje høsten.

TOC (totalt organisk karbon) synes å øke mest i den minste av innsjøene de siste tre årene. Verdiene ligger jevnt over noe høyere i Maltjern enn i Trasletjern. TOC-verdien i Trasletjern høsten 2006 kan synes å være svært høy, men den korte oppholdstiden kan trolig gi en del svingninger i vannkjemi.



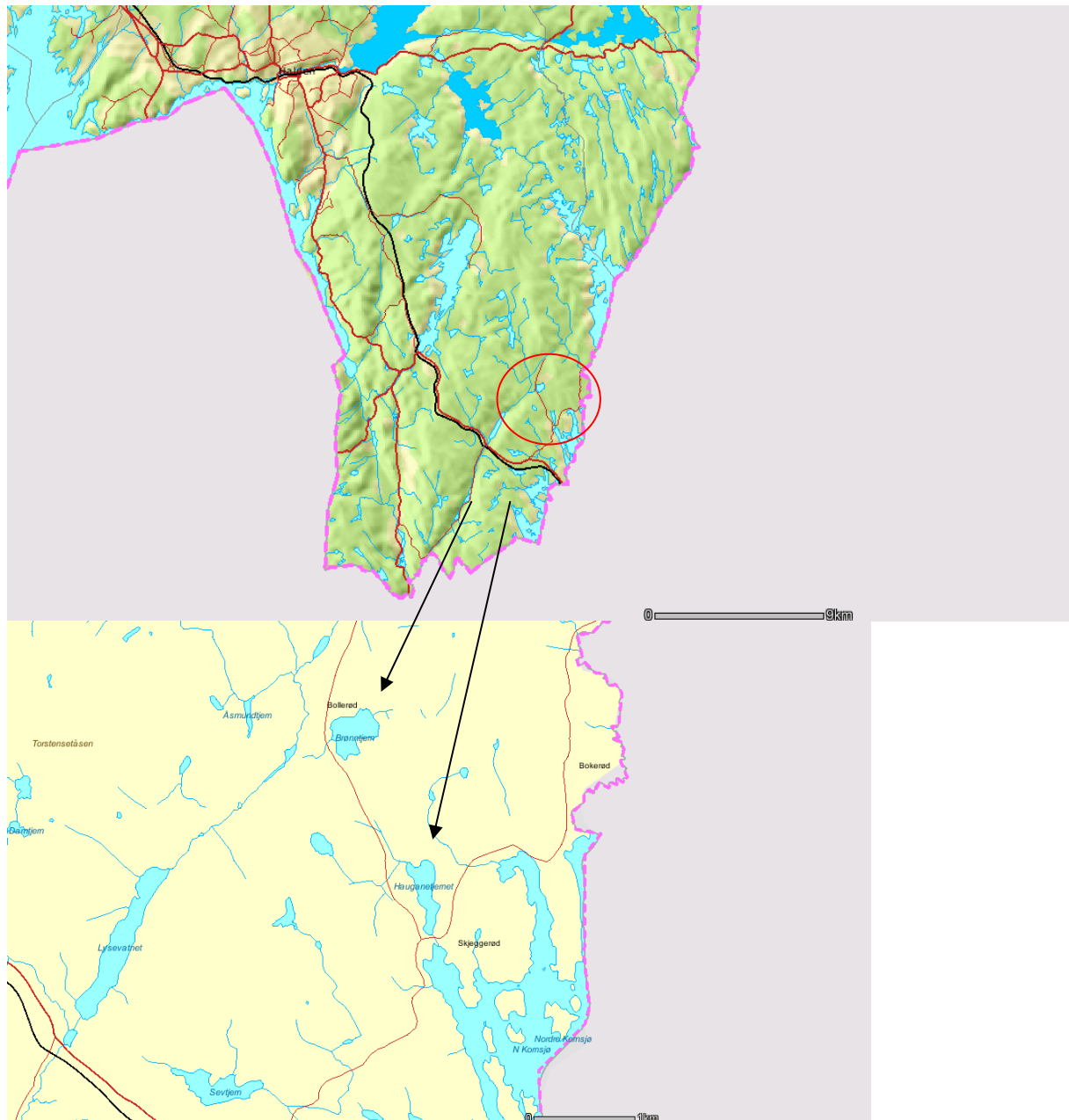
Figur 7. Sentrale vannkjemiske parametre for innsjøene Trasletjern og Maltjern i Akershus for perioden 2005-2007.



Figur 8. Forholdet mellom kalsium og magnesium for de to innsjøene i Akershus er vist for perioden 2005-2007.

4.3 Østfold

I Østfold følges de to innsjøene Hauganetjern og Brønntjern (se **Figur 9**), som drenerer til Iddefjorden via Enningdalselven. De to innsjøene er omtrent like store i areal og de er relativt små (0,1 km²). De ligger på ca 150 m.o.h. i et forholdsvis flatlendt skogsområde med furu og bjørk. Ved Brønntjern er det også noe myr og et lite område med dyrket mark. Det har vært hogst i nedbørfeltet til Brønntjern som kan ha påvirket vannkjemien i undersøkelsesperioden.



Figur 9. Kartet viser plasseringen av Brønntjern og Hauganetjern i Østfold (markert med ring og piler). Kilde: NVE Atlas.

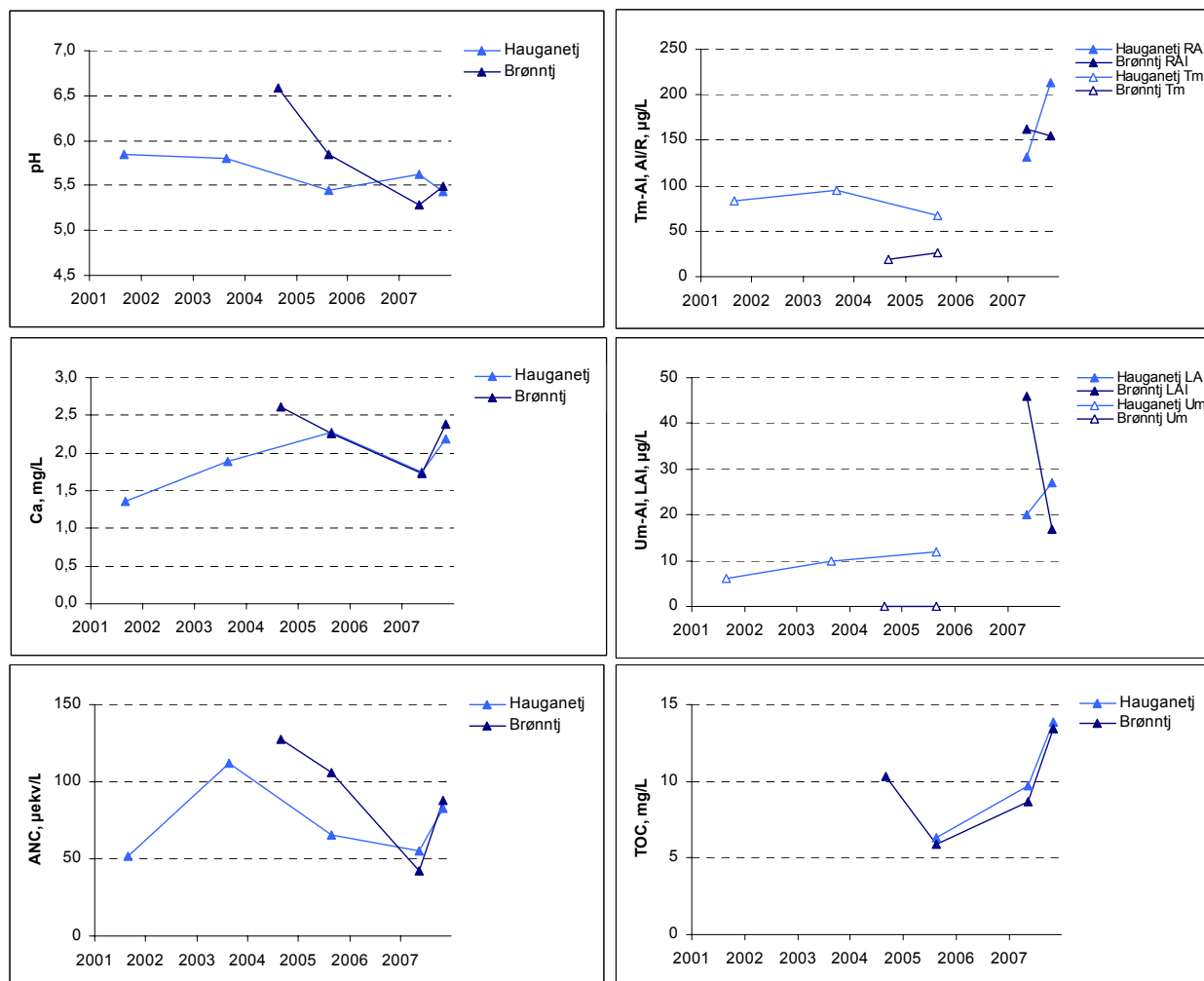
Hauganetjern er referanselokalitet, mens Brønntjern ble kalket siste gang i 2004. Siden det ikke ble tatt prøver i 2006, er det lite datagrunnlag for disse to innsjøene etter at kalkingen ble avsluttet. ANC-verdiene i Hauganetjern ligger på 50-100 $\mu\text{ekv/l}$, som korrigert til ANC_{0aa} blir 20-40 $\mu\text{ekv/l}$. Dette skal være helt akseptabel vannkvalitet for aure og abbor selv om pH er mellom 5,4 og 6,0.

pH-verdien i referanselokaliteten har gått ned fra pH 5,8 til pH 5,4 i tidsperioden høsten 2001 til høsten 2007 (**Figur 10**). Den lave pH-verdien i 2005 kan skyldes seneffekter av sjøsaltepisoder i forbindelse med uværet på etterjulsvinteren i 2005. Det er tatt prøver annet hvert år siden 2001, og verdiene for klorid fordoblet seg i 2005 i forhold til verdiene i 2003, til 8,68 mg/l fra 4,97 mg/l. Og selv i 2007 er konsentrasjonen ikke tilbake på nivået i 2001 og 2003. I den kalkede lokaliteten Brønntjern er ikke økningen i klorid så tydelig. Her falt pH-verdien fra 6,59 høsten 2004 til 5,29 våren 2007, men økte til 5,5 samme høst. pH synes nå å ha kommet ned på samme nivå som referanseinnsjøen, tre år etter kalkslutt.

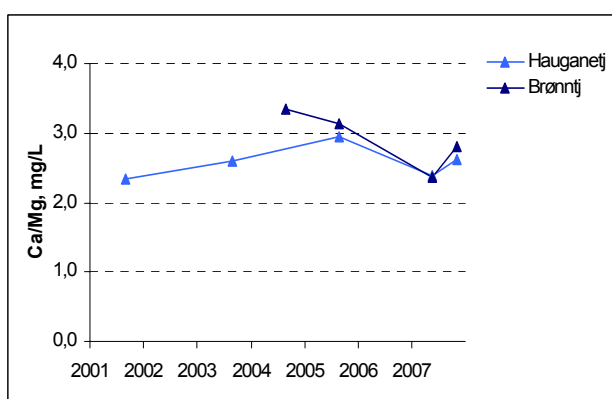
Konsentrasjonen av kalsium i Brønntjern viser også en reduksjon i perioden 2004 - vår 2007. Økning i kalsium høsten 2007 gir nesten samme verdi som i 2005. De to innsjøene synes å ha nesten identiske verdier for kalsium etter opphør av kalkingen. Forholdet mellom kalsium og magnesium er også likt for de to innsjøene, som vist grafisk i **Figur 11**.

Siden prøvene er analysert på laboratorier med ulike analysemetoder for aluminium, er det ikke så enkelt å sammenligne verdiene for de ulike årene. Referanseinnsjøen har lavere innhold av uorganisk monomert aluminium enn den tidligere kalkede innsjøens konsentrasjon av labilt aluminium. Forskjellen mellom laboratoriene gir imidlertid også slike resultater; uorganisk monomert Al er lavere enn labilt Al (Hindar m.fl. 2000)

Konsentrasjonene av TOC (totalt organisk karbon) har samme utviklingsmønster i begge innsjøene. Verdiene er relativt høye og i intervallet 5,9-13,9 mg/l.



Figur 10. Sentrale vannkjemiske parametre for innsjøene Hauganetjern og Brønntjern i Østfold i perioden 2001-2007 (Data for 2007: NIVA).



Figur 11. Forholdet mellom kalsium og magnesium for de to innsjøene i Østfold i perioden 2001-2007.

4.4 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.



Figur 12. Kartet viser plasseringen av Store og Lille Finntjenn i Aust-Agder (markert med ring og pil). Kilde: NVE Atlas.

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 $\mu\text{ekv/l}$ i årene 2005-2007 (**Figur 13**), og korrigert for

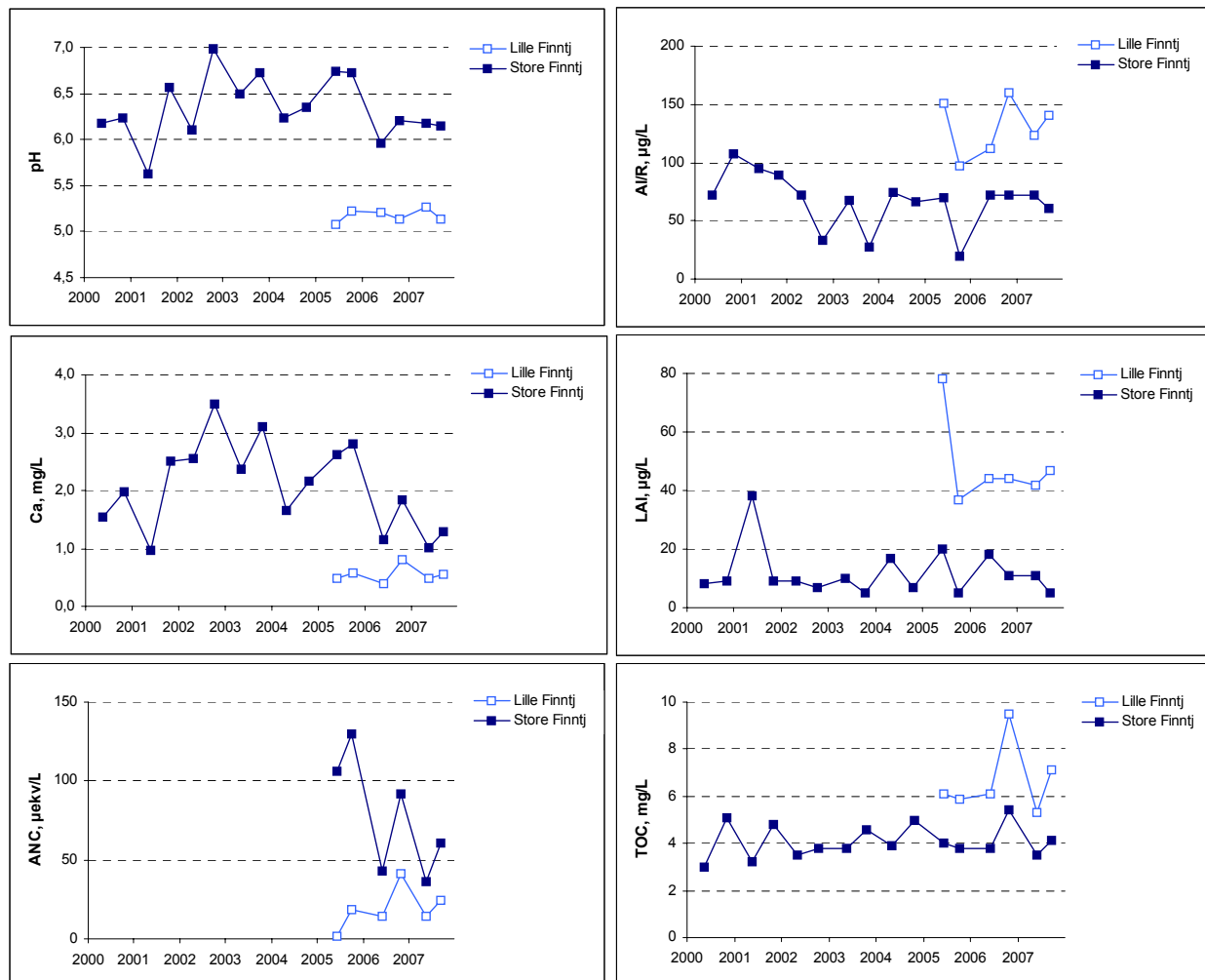
TOC blir ANC_{Oaa} ca. 5 $\mu\text{ekv/l}$, nær et kritisk område for aure, men trolig akseptabelt for abboeren i området.

I Store Finntjenn har pH falt fra 6,7 i siste kalkingsår til pH 6,0-6,2 de to påfølgende årene, og synes å ha stabilisert seg ved de siste tre prøvetakingene (**Figur 13**). Det er foreløpig ikke noe dramatisk fall i pH ned til nivået i Lille Finntjenn, som hadde pH 5,1-5,3 i samme treårsperiode (2005-2007).

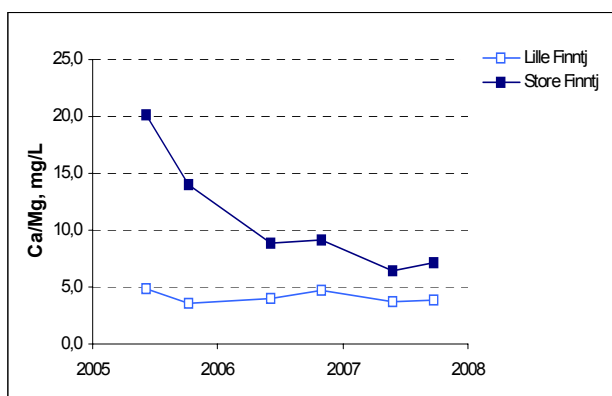
På samme måte som for pH, var den største reduksjonen i kalsiumkonsentrasjon fram mot prøvetaking første våren etter kalking. Fra 2,8 mg/l høsten 2005, ble det i vårprøven 2006 målt 1,15 mg/l. Siden har kalsiumkonsentrasjonene ligget i intervallet 1,0-1,8 mg/l. Referansen hadde kalsiumkonsentrasjoner på 0,4-0,8 mg/l de siste tre årene. Forholdet mellom kalsium og magnesium viser også at den tidligere kalkede innsjøens verdier nærmere seg referansens verdier, men at den ikke har nådd bakgrunnsnivået to år etter avsluttet kalking (**Figur 14**).

Verdiene for aluminium viser ingen stor økning i Store Finntjenn etter at kalkingen opphørte. Innholdet av labilt aluminium synes å holde seg lavt, og er under halvparten av verdiene i referanseinnsjøen.

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.



Figur 13. 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 prøvene i perioden 2005-2007 er tatt i utløpet.



Figur 14. Forholdet mellom kalsium og magnesium for de to innsjøene i Aust-Agder er vist for perioden 2005-2007.

4.5 Telemark

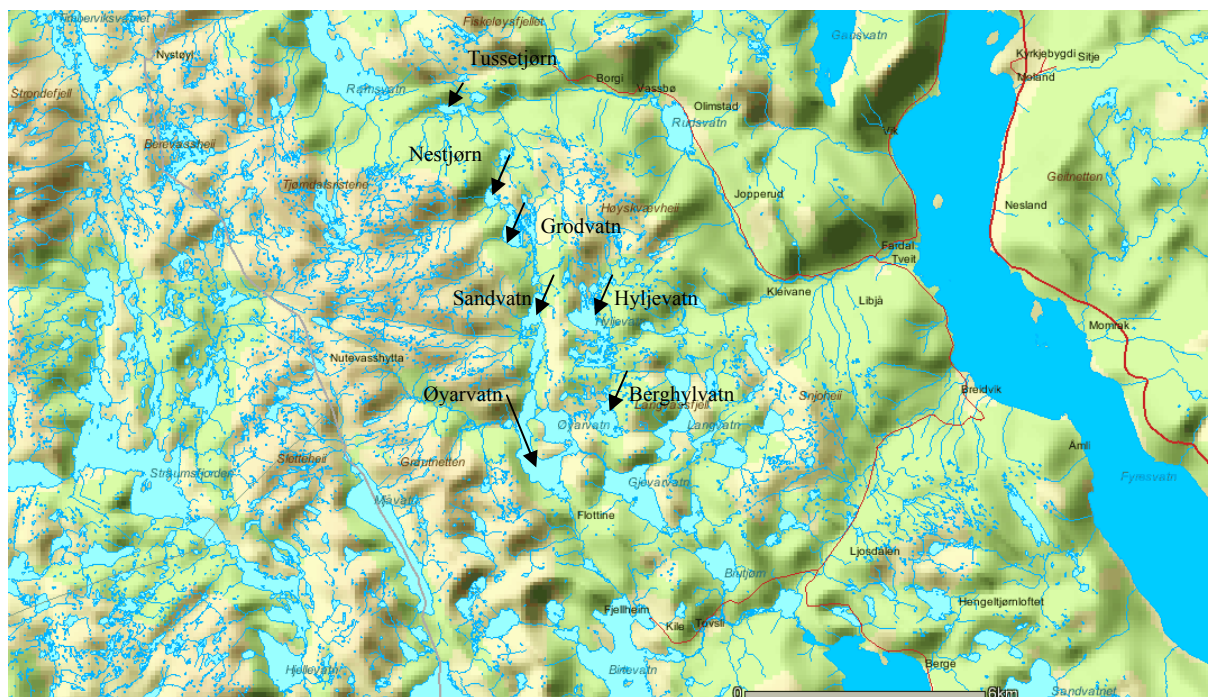
I Telemark følges sju innsjøer vest for Fyresvatn, øverst i Arendalsvassdraget (**Figur 15**). Alle ligger i skrint heiområde ca. 700 m.o.h. Referanseinnsjøen Tussetjørn ligger lengst nord av innsjøene. Her er det naturlige utløpet fysisk avstengt, og vannet ledes nordover til Ramsvatn gjennom en utsprengt tunnel i den vestre enden. Reguleringen har trolig en helt marginal effekt på vannkjemien.

Referanseinnsjøen Hyljevattn 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 Hyljevattnområdet.

Vannkvaliteten i referansevannene er forholdsvis god, med ANC på 5-20 $\mu\text{ekv/l}$ i Hyljevattn og 15-30 $\mu\text{ekv/l}$ i Tussetjørn. Korrigert for TOC blir ANC_{Oaa} på hhv. 5-10 $\mu\text{ekv/l}$ og 0-5 $\mu\text{ekv/l}$, noe som skulle gi godt grunnlag for oppbygging av fiskebestander etter forsøringsperioden. I begge vatna er det fisk, en etter hvert god bestand i Tussetjørn (SFT 2008) og trolig en tynn bestand i Hyljevattn. Bestanden i Tussetjørn har klart seg gjennom forsøringsperioden uten kjente utsetninger, mens bestanden i Hyljevattn har klart seg i nærmere 20 år uten utsetninger.

De fem andre innsjøene er alle kalket (siste gang i 2004), og ligger på ”rekke og rad” i vassdraget Gjøv oppstrøms Nesvatn; Nestjørn renner ut i Grodvattn som renner ut i Sandvatn, som igjen renner ut i Øyarvatn og hit kommer også vannet fra Berghylvattn fra øst.

Tussetjørn har kortest oppholdstid av alle innsjøene i denne undersøkelsen (0,03 år) mens Berghylvattn har lengst (0,94 år). Innsjøene Øyarvatn og Hyljevattn er de to største innsjøene av de 16 innsjøene som er med, og overflatearealet er på 1-2 km^2 .



Figur 15. Kartet viser plasseringen av innsjøene i Telemark vest for Fyresvatn. Kilde: NVE Atlas.

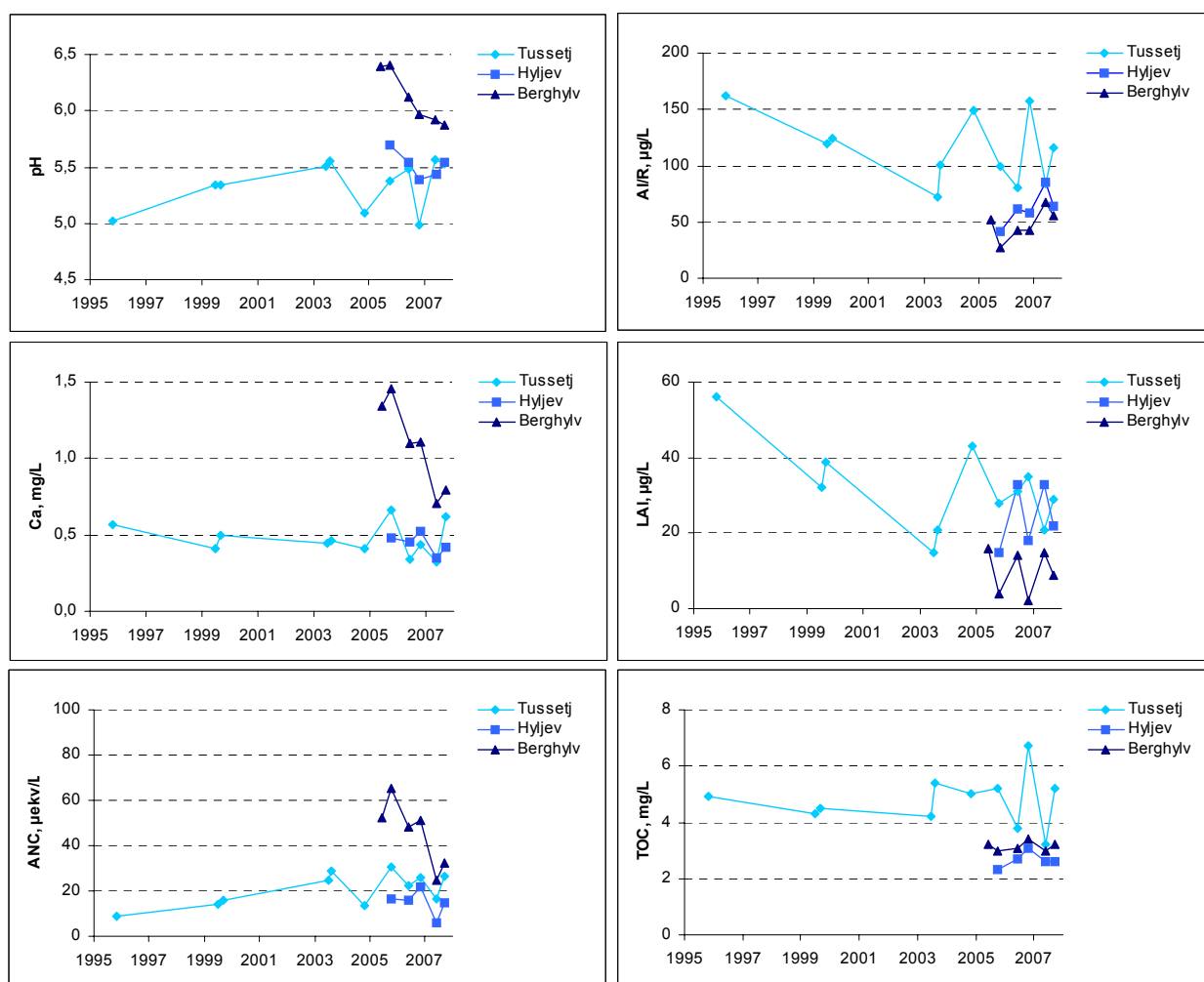
pH i referanseinnsjøen Tussetjørn har vært i området 5,0-5,6 i perioden 1995-2007 (**Figur 16**), og i Hyljevattn har pH ligget mer stabilt på 5,4-5,7 de siste tre årene. I de kalkede innsjøene falt pH merkbart andre året etter kalkslutt (**Figur 16** og **Figur 17**). Grodvattn og Sandvatn hadde størst

reduksjon i pH, og pH var hhv. 5,2-5,3 i høstprøven 2006. At pH ikke falt like mye i Øyarvatn skyldes trolig tilsig av mindre surt vann fra Berghylvatn. Alle de kalkede innsjøene hadde imidlertid enten en utflating eller økning i pH påfølgende år.

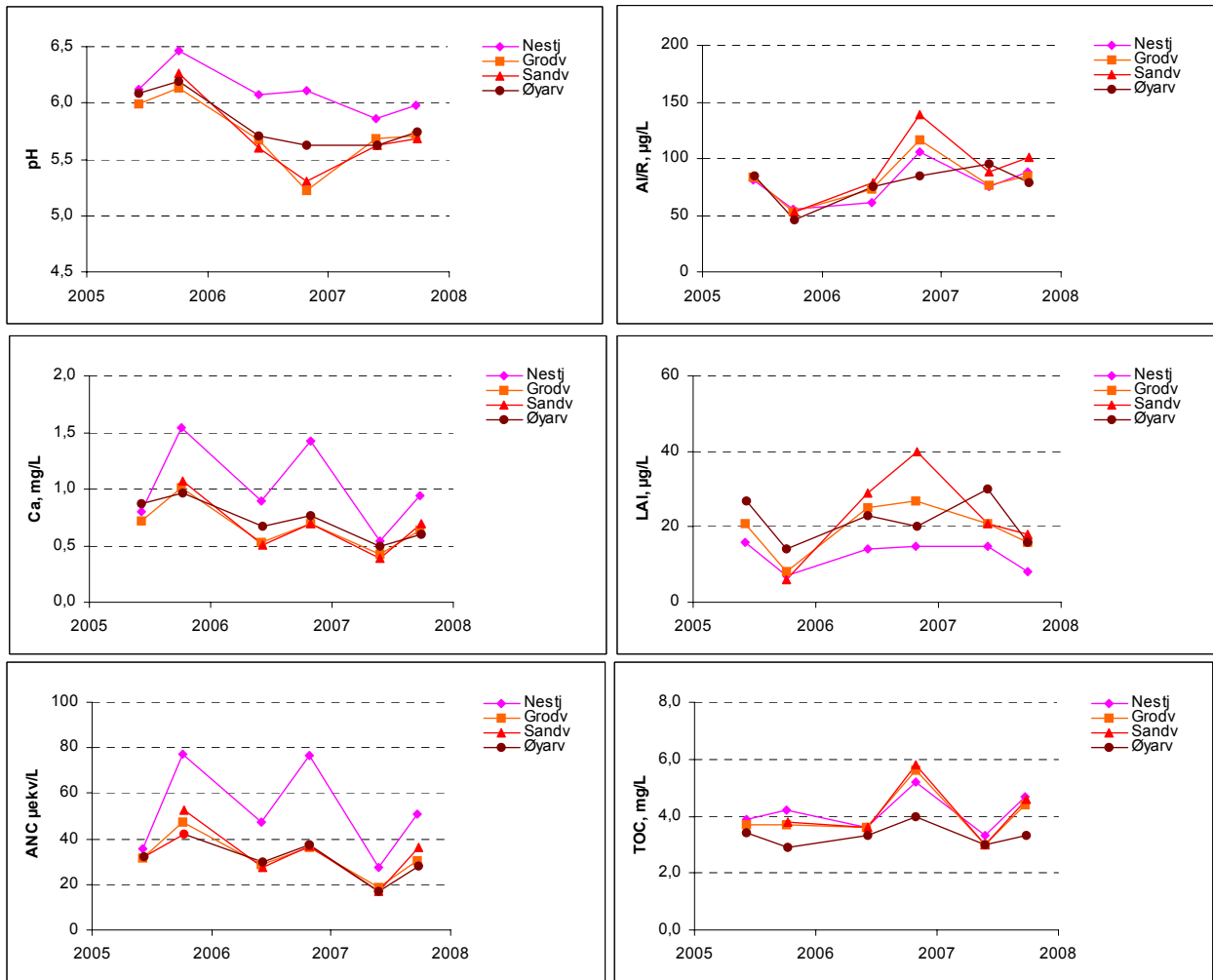
Utviklingen i ANC (syrenøytraliserende kapasitet) og kalsium de siste tre årene er svært lik for alle de kalkede innsjøene, men Nestjørn og Berghylvatn ligger noe høyere enn de andre tre innsjøene. Det tredje året etter kalkslutt er verdiene på nivå med referansen Tussetjørn. I begge referansevannene har forholdet mellom kalsium og magnesium ligget relativt stabilt på 4-5, mens alle de kalkede innsjøene har hatt en sterk reduksjon de siste tre årene (**Figur 18**). Berghylvatn har ligget noe høyere enn de andre kalkede innsjøene.

De lave pH-verdiene høsten 2006 gjenspeiles i økning i verdiene for aluminium. Konsentrasjonen av reaktivt aluminium i Tussetjørn var 157 µg/l, mens Sandvatn hadde høyest verdi blant de tidligere kalkede innsjøene (139 µg/l). Innholdet av labilt aluminium, LAI, var imidlertid relativt lavt, med høyeste konsentrasjon i Sandvatn høsten 2006 (40 µg/l). Ett år seinere hadde imidlertid alle de kalkede innsjøene LAI-verdier <20 µg/l og dermed lavere verdier enn de to referansene.

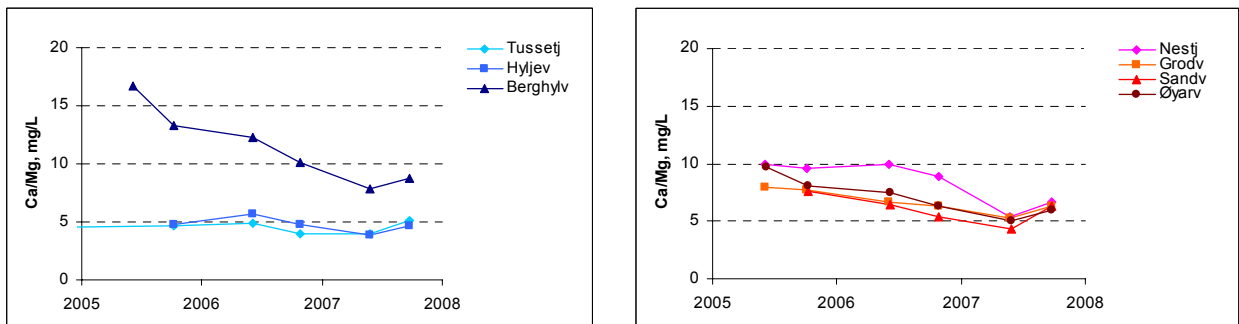
Innholdet av TOC er i intervallet 2-7 mg/l i de sju innsjøene, der Tussetjørn har høyeste verdier og størst variasjon.



Figur 16. Sentrale vannkjemiske parametre for innsjøene Tussetjørn, Hyljevvatn og Berghylvatn i Telemark. Tussetjørn og Hyljevvatn er ukalkede referansevann.



Figur 17. Vannkjemiske parametre for innsjøene Nestjørn, Grodvatn og Sandvatn og Øyarvatn i Telemark.



Figur 18. Forholdet mellom kalsium og magnesium for innsjøene i Telemark for perioden 2005-2007. Tussetjørn og Hyljevatn er ukalkede referansevann.

5. Diskusjon

Målet med prosjektet er å undersøke hva som skjer vannkjemisk og biologisk etter avsluttet kalking. Denne rapporten omhandler de vannkjemiske endringene. Den vannkjemiske utviklingen viser at det er ulike veger tilbake til et beregnet eller antatt bakgrunnsnivå. Vi har valgt å vurdere hva som skjer med ANC, som henger direkte sammen med fiskestatus, og forholdet Ca/Mg, som viser sporene etter kalking med vanlig vassdragskalk (CaCO_3), som kriterier for endringene. I tillegg viser også pH og aluminiumkonsentrasjoner klart hvordan vannkjemien responderer på stopp i kalkingen.

Endringsforløp avhenger trolig av hovedsakelig fem forhold:

- I vann med kort oppholdstid (her satt til < 0,4 år) endres vannkjemien generelt raskt pga rask fortykning. Lang oppholdstid og stort dyp virker motsatt.
- Grunne vann har stort bunnareal i forhold til vannvolumet. Her kan det ha sedimentert mye kalk til bunnen, kalk som siden eksponeres effektivt for bølgeslag og løses opp.
- Vann som er kalket hardt (mye kalk per vannvolum og/eller mye kalk til sedimentet i grunne innsjøer) trenger mer tid på å tømme kalkreservene
- Vann som er kalket indirekte fra oppstrøms kalkede innsjøer, er prisgitt utviklingen høyere oppe i nedbørfeltet
- Vann som er kalket mange ganger og over lang tid, antas å ha stor kalkreserve i sedimentet

Kombinasjoner av alt dette finnes, for eksempel grunne vann med kort oppholdstid som er kalket i en årrekke og som også påvirkes av kalking oppstrøms. Innsjøene i denne undersøkelsen kan karakteriseres som i **Tabell 2**. Vi har ikke innhentet data om brukte kalkmengder for alle innsjøene, men vannkjemireultatene indikerer om det er kalket med store doser.

Tabell 2. Karakterisering av innsjøene etter kalkingsmåte og oppholdstid. Referanseinnsjøene er med i tabellen, men ikke karakterisert for annet enn oppholdstid. Alle de kalkede innsjøene har vært kalket over mange år.

Fylke	Kommune	Lokalitet	Kalket direkte	Kalket oppstrøms	Oppholdstid <0,4 år
Buskerud	Flå	Langtjern	-	-	X
Buskerud	Flå	Langvatn	X	X	X
Buskerud	Flå	Øvstevatn	X		X
Akershus	Nannestad	Trasletjern	X		
Akershus	Aurskog-Høland	Maltjern	X		
Østfold	Enningdal	Hauganetjern	-	-	X
Østfold	Enningdal	Brønntjern	X		X
Aust-Agder	Gjerstad	Lille Finntjenn	-	-	X
Aust-Agder	Gjerstad	Store Finntjenn	X		
Telemark	Fyresdal	Tussetjørn	-	-	X
Telemark	Fyresdal	Nestjørn	X		X
Telemark	Fyresdal	Grodvatn	X	X	X
Telemark	Fyresdal	Sandvatn	X	X	X
Telemark	Fyresdal	Øyarvatn	X	X	
Telemark	Fyresdal	Hyljevatt	-	-	
Telemark	Fyresdal	Berghylvatt	X		

Resultatene i denne rapporten er basert på perioden etter kalkstopp i innsjøer. Denne perioden har hatt lengst varighet for innsjøene i Buskerud (5 år) og kortest (2 år) for Store Finntjenn i Aust-Agder. Den

vannkjemiske utviklingen tilbake mot et bakgrunnsnivå kan dermed ha kommet temmelig langt for noen, men kort for andre. Det er imidlertid andre faktorer enn tiden som også styrer dette.

Langvatn og Øvstevatn i Buskerud ble kalket siste gang i 2002. Allerede i årene før kalkstopp 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 forsureningsstrykk, men også et riktigere (lavere) vannkvalitetsmål.

Etter kalkstopp er Ca og Ca/Mg tilbake til et antatt bakgrunnsnivå, mens pH, LAI og ANC ser ut til være gunstigere enn i referansevannet. Dette kan skyldes generelle vannkjemiske forhold, men også at vannkjemien ikke er stabilisert ennå. Svakt høyere ANC i disse to innsjøene, som i tillegg har lavere TOC enn referansen, kan gjenspeile en lang tids buffervirkning av kalk som ikke reflekteres i Ca, men i pH og LAI.

Maltjern og Trasletjern i Akershus ble kalket siste gang i 2004. Alle data er fra perioden etterpå, og det er ingen referanseinnsjøer med her. Det er derfor bare mulig å se på utviklingen etter kalkstopp. Kalsium er redusert begge steder, med påfølgende reaksjon på de andre parametrene. I løpet av de tre årene etter kalkstopp er ANC ikke kommet ned i kritiske verdier, selv om pH i Maltjern nå ligger i området 5,6-6,0. Lav pH i dette området reflekterer også høy TOC-konsentrasjon (TOC= 10-12 mg/l).

pH i Trasletjern er nesten uforandret, og henger sammen med at forholdet Ca/Mg også er nesten uforandret. Årsaken til dette kan søkes blant de faktorene som styrer vannkvalitetsutviklingen, spesielt en forholdsvis lang oppholdstid og stort dyp. Forholdet Ca/Mg er fortsatt avtakende i Maltjern. Det vil si at utviklingen her ikke er stabilisert tre år etter kalkstopp. Det kan skyldes at oppholdstiden er lang, 0,79 år. Det vil derfor ta tre år pga oppholdstiden alene. I tillegg kommer sannsynligvis oppløsning av kalk fra bunnen, som vil forlenge ”kalkhalen” ytterligere.

Al er økt i både Trasletjern og Maltjern, både den reaktive og labile fraksjonen, men LAI er under 50 $\mu\text{ekv/l}$ og TOC er svært høy. Høy TOC kan føre til at noe organisk bundet Al blir hengende igjen i ionebytteren som separerer fraksjonene. LAI kan dermed være overestimert, men uansett er verdiene innenfor det sensitive innlandsfiskearter tåler og harmonerer dermed med ANC.

Brønntjern i Østfold ble kalket siste gang i 2004, mens Hauganetjern er ukalket referanse. Surheten i Brønntjern er gradvis kommet ned på pH 5,5, dvs. samme nivå som i Hauganetjern, etter kalkstopp. Tilsvarende har skjedd med kalsiumkonsentrasjonen og ANC. Forholdet Ca/Mg er svært likt eller noe høyere i Brønntjern.

ANC-nivået er nær eller over 50 $\mu\text{ekv/l}$ i begge vann, men TOC er tidvis svært høy. Ved å regne om til ANC_{OAA} på basis av TOC, viser det seg at ANC_{OAA} har kommet ned til 15 $\mu\text{ekv/l}$ i 2007. Dette skal gi fisken god beskyttelse, og hvis vannkvalitetsutviklingen stabiliseres på dette nivået har kalkstopp vært riktig for Brønntjern.

Kalking av Store Finntjenn i Aust-Agder har gitt pH over 6,0 det aller meste av perioden 2000-2005. Kalsiumkonsentrasjonene viser at kalkingen i årene 2002-2005 har gitt noe bedre vannkvalitet enn første del av perioden. Etter siste kalking i 2005 er pH fortsatt nær eller over 6,0, men Ca er ikke kommet ned til bakgrunnsnivået. Det vises også i ANC og Ca/Mg-forholdet. Avtaket i Ca følger trolig et noe konservativt mønster (saktere enn oppholdstiden skulle tilsi), slik som avdekket etter kalking på 80-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). I og med at Store Finntjenn har vært kalket så lenge, er denne kilden betydelig, jfr. den stabile vannkjemien de to første årene etter kalkstopp.

ANC på nær 50 $\mu\text{ekv/l}$ og tilsvarende ANC_{0aa} på noe under 40 $\mu\text{ekv/l}$ i Store Finntjenn er helt akseptabelt, men tilsvarende verdier i referansevannet Lille Finntjenn er 0-40 $\mu\text{ekv/l}$ og -18 – 15 $\mu\text{ekv/l}$. De lave verdiene i Lille Finntjenn kan tyde på at vannkvaliteten i Store Finntjenn over tid kan bli på grensen til akseptabelt. Forholdsvis høye LAI-verdier og pH nær 5,0 peker også på at de vannkjemiske forholdene her ikke er betryggende. Store Finntjenn har kun abbor, som tåler mer enn aure. Det kan derfor være at bestanden kan sikres uten kalking, men at enkelte årsklasser får problemer.

Fire av de tidligere kalkede innsjøene i Telemark ligger på rekke og rad (Nestjørn, Grodvatn, Sandvatn og Øyarvatn), mens Berghylvatn renner inn i Øyarvatn fra øst. Siste kalkingsår var 2004. De to referanseinnsjøene er plassert nord for (Tussetjørn) og øst for (Hyljevatt) disse fem og ligger i andre vassdrag. Geologien og syredeposisjonen antas imidlertid å være om lag den samme for alle.

Tussetjørn har data helt tilbake til 1995, mens Hyljevatt har fra de siste tre årene. Det er en svak forskjell i vannkjemie mellom disse to referansevannene som skyldes høyere TOC-konsentrasjon i Tussetjørn. De fem kalkede vannene har TOC-nivåer mellom de to referansene, med Berghylvatn og Øyarvatn som de klareste. Nestjørn, Grodvatn og Sandvatn har svært likt TOC-nivå. Berghylvatn ligger svært nær Hyljevatt og begge er såkalte toppvatn uten andre innsjøer oppstrøms.

pH i Berghylvatn er på veg nedover etter kalking og har passert 6,0. Forventet nivå etter stabilisering vil være nær 5,5, men pga lang oppholdstid og en effekt som kan likne på det vi så i Buskerud (raskere respons på Ca enn pH og LAI), vil dette antakelig ikke inntreffe før etter 2010. Konsentrasjonen av LAI i Berghylvatn har ikke endret seg ennå, mens konsentrasjonen av Ca avtar. Ca og forholdet Ca/Mg kan nå et stabilt lavt nivå tidligere enn pH og LAI.

I Berghylvatn er alle vannkvalitetsparametre med relevans til fisk (ANC, pH og LAI) fortsatt svært akseptable. ANC i Hyljevatt er i området 5-20 $\mu\text{ekv/l}$ og LAI er under 40 $\mu\text{ekv/l}$. Det kan tyde på at vannkvaliteten er nær, men trolig på riktig side av en kritisk grense i innsjøen og at innsjøene i området bør klare seg uten kalking. Skjellsandkalking i gytebekker kan vurderes i en overgangsfase, men god rekruttering flere steder tyder på at også dette er overflødig. Innsjøgyting kan heller ikke utelukkes som en positiv faktor. Bestanden blir da mindre utsatt for eventuell dårlig vannkvalitet i bekker.

Endring i vannkjemie for de fire andre innsjøene har et uventet rolig forløp. Nestjørn, med sin svært korte oppholdstid, antatt liten dybde og åpenbart lange ”kalkingshale”, må ha fått en solid overdose kalk og dermed en forholdsvis stor kalkreserve på bunnen i og med at Ca-konsentrasjonen avtar sakte og med stor sesongvariasjon. Forholdet Ca/Mg var nærmest konstant de første to årene etter kalkstopp 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.

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 LAI. ANC er over 17-18 $\mu\text{ekv/l}$ og LAI er under 40 $\mu\text{g/l}$ i alle innsjøene etter kalkstopp. Selv om det forventes ytterligere utvikling i retning referanseinnsjøenes vannkjemie, vil dette trolig ta flere år. Det nivået som etter hvert nås vil, som allerede beskrevet, trolig være akseptabelt for fisk.

Utviklingen i Telemarks-vatna og flere av de andre innsjøene kan ha stor betydning for kalkingsstrategien i tilhørende områder. Innsjøene har vært forholdsvis sterkt forsuret, men er nå i ferd med eller har kanskje allerede fått tilbake en akseptabel vannkvalitet. En til dels sakte endring i vannkjemie etter kalkstopp kan gi grunnlag for redusert kalkingsfrekvens kombinert med overvåking.

6. Konklusjoner

Selv om perioden etter kalkstopp er forholdsvis kort og ulik for de innsjøene som er med her, er det allerede nå, og også basert på referanseinnsjøenes vannkvalitet, avdekket forhold som gir grunnlag for konklusjoner:

- Vannkvaliteten i referanseinnsjøer viser at kalkstopp for innsjøene i de fleste tilfeller har vært en riktig beslutning (kanskje ikke Store Finntjenn). Kalking av gytebekker bør vurderes hvis oppbyggingen av fiskestammer går tregt.
- Vannkvaliteten i Store Finntjenn kan over tid komme ned mot kritiske nivåer, men abborbestanden kan trolig sikres uten kalking. Overvåking kan være nødvendig for å vurdere situasjonen.
- Kombinasjonen grunne vann og store kalkdoser, spesielt i kombinasjon med flere gangers kalking, kan gi en forholdsvis lang periode med god vannkjemi etter kalkstopp selv i innsjøer med kort oppholdstid (Nestjørn). Dette skyldes stort kalklager på bunnen som virker som en intern kalkkilde.
- Avtaket i Ca etter kalkstopp ser ut til å være raskere enn tilsvarende reduksjon for pH og økning i LAI. Det kan gi en ekstra beskyttelse i perioden etter kalkstopp. Hvor reell og generell denne effekten er og hvor lang tid den varer kan ikke fastsettes ennå.
- Momentene over viser at kalkstopp i kombinasjon med en overvåking av vannkjemi bør forsøkes som strategi for innsjøer som er stoppkandidater, men der en er usikker på om en beslutning om kalkstopp er riktig.
- For å være på tryggest mulig grunn når en skal vurdere kalkstopp 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.

Disse konklusjonene vil bli klarere og bedre dokumentert ved å følge innsjøenes vannkjemi iallfall 2-3 år til.

7. Referanser

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.

Henriksen, A., Fjeld, E. and Hesthagen, T. 1999. Critical load exceedance and damage to fish populations. *Ambio* 28: 583-586.

Henriksen, A. and Grande, M. 2002. Lake Langtjern - fish studies in the Langtjern area 1966-2000. NIVA-rapport 4537. 45 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. og Enge, E. 1999. Evaluering av kalkingsstrategien for store innsjøalkingsprosjekter i Norge. NIVA-rapport 4034. 61 s.

Hindar, A. og Kroglund, F. 2000. Forsuringssituasjonen for laks i Vosso og vurdering av behov for ytterligere kalkingstiltak. NIVA-rapport 4255. 41 s.

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

Kroglund, F. 2007. Metode for å beregne en "naturlig" vannkvalitet i kalka innsjøer i Aust-Agder. NIVA-rapport 5364. 61 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.

SFT. 2007. Overvåking av langtransportert luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 2006. Statlig program for forurensningsovervåking, rapport 1000/2007, TA-2322/2007. Statens forurensningstilsyn (SFT), Oslo.

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

Vedlegg A. Primærtavell for vannkjemi 2005-2007

Lokalitet	Dato	pH	Ca mg/l	ALK mmol/l	Alk-E µekv/l	Al/R µg/l	Al/II µg/l	LAL µg/l	Tm-Al µg/l	Om-Al µg/l	Um-Al µg/l	Al/ICP mg/l	TOC mg/l C	Farge mg Pt/l	Kond mS/m	TURB FTU	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO ₃ -N µg/l N	NH ₄ -N µg/l N	Tot-N µg/l N	Tot-P µg/l P	ANC µekv/l	
Buskerud																											
Langtjern, utløp	10/10/05	5,31	1,06	0,043	13	178	125	53					10,9		1,18		0,14	0,62	0,06	0,52	0,96	17	7	285	6	57	
Langtjern, utløp	19/06/06	5,37	0,78	0,040	10	136	107	29					8,3		0,99		0,10	0,52	0,10	0,37	1,04	<1	11	265	16	40	
Langtjern, utløp	23/10/06	4,84	0,96	0,024	0	215	181	34					13,1		1,45		0,15	0,59	0,07	0,45	0,94	14	12	300	4	54	
Langtjern, utløp	09/07/07	4,83	0,66	0,013	0	161	137	24					12,7		1,28		0,11	0,45	0,04	0,25	0,59	<1	9	250	6	43	
Langtjern, utløp	05/11/07	5,11	0,98	0,034	3	206	164	42					11,9		1,23		0,14	0,53	0,07	0,43	0,93	6	4	270	6	53	
Langvatn	12/10/05	6,10	1,02	0,030					19		8		4,0	47	1,30	0,45	0,07	0,72	0,15	0,89	1,89	14					
Langvatn	19/06/06	6,01	1,07	0,056	27	112	98	14					6,1		1,11		0,14	0,73	0,19	0,48	1,37	<1	13	195		59	
Langvatn	28/10/06	5,74	1,14	0,060	31	135	120	15				0,265	8,2		1,28		0,19	0,83	0,16	0,49	1,24	7	19	260		73	
Langvatn	09/07/07	5,69	0,83	0,045	15	143	122	21					8,0		1,04		0,12	0,61	0,09	0,36	1,01	2	6	200		49	
Langvatn	10/11/07	5,81	1,15	0,053	24	146	139	7					7,7		1,16		0,14	0,80	0,12	0,44	1,10	18	3	260		70	
Øvstevatn	12/10/05	6,40	1,02	0,030					26		<5		9,0	31	1,30	0,52	0,06	0,72	0,12	0,36	0,81	7					
Øvstevatn	19/06/06	6,02	0,91	0,054	25	111	94	17					4,6		0,98		0,12	0,68	0,15	0,39	1,31	<1	26	160		50	
Øvstevatn	28/10/06	5,82	1,17	0,064	36	134	120	14				0,269	6,9		1,24		0,18	0,87	0,10	0,49	1,22	5	<2	240		74	
Øvstevatn	09/07/07	5,62	0,79	0,044	14	184	152	32					8,2		0,98		0,12	0,57	0,06	0,28	0,94	2	5	215		48	
Øvstevatn	10/11/07	6,12	1,34	0,066	38	132	131	1					6,6		1,29		0,16	0,93	0,15	0,57	1,22	7	12	255		82	
Akershus																											
Trasletjern	24/07/05	6,32	1,92	0,081	54	116	94	22					7,6		1,59		0,27	1,02	0,13	0,92	1,48	<1	12	220	5	109	
Trasletjern*	02/12/05	6,81	3,60	0,167	143	35	30	5					5,9		2,54		0,38	1,02	0,14	0,96	1,82	100	7	265		187	
Trasletjern	12/06/06	6,04	1,39	0,068	40	106	91	15					6,9		1,42		0,17	0,93	0,25	0,73	1,56	<1	53	275		77	
Trasletjern	21/09/06	5,87	1,96	0,070	42	202	190	12				0,354	12,2		1,68		0,26	1,09	0,16	0,89	1,63	4	56	360		111	
Trasletjern	21/05/07	5,99	1,24	0,058	29	149	131	18					6,8		1,38		0,19	0,94	0,21	0,89	1,41	46	10	250		66	
Trasletjern	15/10/07	6,21	2,06	0,084	57	200	153	47					9,3		1,74		0,26	1,06	0,21	0,98	1,40	60	12	305		115	
Maltjern	21/07/05	6,31	2,67	0,084	57	144	132	12					10,0		2,57		0,42	1,62	0,38	2,50	2,65	20	8	270	4	121	
Maltjern	31/10/05	6,22	2,68	0,082	55	125	119	6					10,9		2,64		0,47	1,65	0,38	2,54	2,54	59	6	290	4	125	
Maltjern	01/06/06	5,58	1,69	0,052	23	197	171	26					11,1		2,25		0,36	1,61	0,44	2,13	2,36	47	33	395		83	
Maltjern	17/10/06	5,85	2,00	0,063	35	205	162	43				0,379	12,0		2,37		0,45	1,77	0,42	2,49	2,66	34	16	335		97	
Maltjern	07/06/07	5,69	1,60	0,050	21	203	174	29					10,6		2,34		0,42	1,63	0,44	2,59	2,47	45	9	315		69	
Maltjern	10/10/07	5,78	1,53	0,058	29	235	204	31					11,3		2,47		0,42	1,59	0,39	2,31	2,21	32	3	320		77	
Østfold																											
Hauganetjern	24/08/05	5,44	2,28		15				67	55	12		6,3	86	4,39		0,77	4,23	0,29	8,68	2,78	5			380	6	66
Hauganetjern	18/05/07	5,63	1,75	0,044	14	131	111	20					9,7		4,13		0,73	3,91	0,74	7,74	2,91	27	10	570		56	
Hauganetjern	08/11/07	5,43	2,18	0,048	19	214	187	27					13,9		4,48		0,83	4,09	0,61	8,19	2,55	56	51	505		82	
Brønntjern	24/08/05	5,85	2,26		51				26	26	0		5,9	77	4,32		0,72	3,72	0,35	6,48	2,61	5			470	12	106
Brønntjern	18/05/07	5,29	1,73	0,034	3	162	116	46					8,7		4,42		0,73	4,02	0,57	7,90	3,06	93	20	480		43	
Brønntjern	08/11/07	5,49	2,38	0,051	22	155	138	17					13,4		4,67		0,85	4,20	0,70	8,92	2,21	57	33	485		88	

NIVA 5628-2008

Lokalitet	Dato	pH	Ca mg/l	ALK mmol/l	Alk-E µekv/l	Al/R µg/l	Al/II µg/l	LAL µg/l	Tm-Al µg/l	Om-Al µg/l	Um-Al µg/l	Al/ICP mg/l	TOC mg/l C	Farge mg Pt/l	Kond mS/m	TURB FTU	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO ₃ -N µg/l N	NH ₄ -N µg/l N	Tot-N µg/l N	Tot-P µg/l P	ANC µekv/l	
Aust-Agder																											
Lille Finntjern, utløp	07/06/05	5,08	0,49	0,022	0	151	73	78					6,1		1,36		0,10	0,95	0,09	1,49	1,35	58	8	280		2	
Lille Finntjern, utløp	09/10/05	5,22	0,58	0,032	0	97	60	37					5,9		1,37		0,16	1,06	0,10	1,54	1,32	19	22	280	4	18	
Lille Finntjern, utløp	06/06/06	5,21	0,40	0,030	0	112	68	44					6,1		1,22		0,10	0,86	0,09	0,98	1,25	<1	14	195		14	
Lille Finntjern, utløp	30/10/06	5,13	0,80	0,040	10	160	116	44				0,288	9,5		1,51		0,17	1,06	0,13	1,30	1,20	7	111	440		41	
Lille Finntjern, utløp	28/05/07	5,26	0,49	0,030	0	124	82	42					5,3		1,24		0,13	0,97	0,08	1,41	1,21	<1	15	265		14	
Lille Finntjern, utløp	22/09/07	5,14	0,55	0,030	0	141	94	47					7,1		1,30		0,14	0,92	0,07	1,21	1,05	<1	8	255		25	
Store Finntjern, utløp	07/06/05	6,74	2,62	0,111	85	70	50	20					4,0		2,06		0,13	1,02	0,08	1,49	1,77	38	11	215		106	
Store Finntjern, utløp	09/10/05	6,73	2,80	0,132	106	19	14	5					3,8		2,10		0,20	1,21	0,09	1,49	1,83	20	32	250	4	130	
Store Finntjern, utløp	06/06/06	5,96	1,15	0,048	19	72	54	18					3,8		1,34		0,13	1,07	0,08	1,22	1,79	26	6	180		43	
Store Finntjern, utløp	30/10/06	6,20	1,83	0,081	54	72	61	11				0,171	5,4		1,68		0,20	1,18	0,09	1,25	1,60	10	48	295		92	
Store Finntjern, utløp	28/05/07	6,17	1,02	0,050	21	72	61	11					3,5		1,39		0,16	1,10	0,07	1,51	1,65	11	17	200		36	
Store Finntjern, utløp	22/09/07	6,15	1,28	0,058	29	61	56	5					4,1		1,42		0,18	1,12	0,08	1,35	1,49	1	3	225		60	
Telemark																											
Tussetjørn	06/10/05	5,38	0,66	0,036	5	100	72	28					5,2		0,98		0,14	0,64	0,07	1,07	0,64	3	<5	195	4	30	
Tussetjørn	04/06/06	5,48	0,34	0,035	4	81	50	31					3,8		0,67		0,07	0,51	0,08	0,44	0,58	4	6	160		22	
Tussetjørn	27/10/06	4,99	0,44	0,030	0	157	122	35					6,7		1,00		0,11	0,57	0,02	0,56	0,69	4	12	215	3	26	
Tussetjørn	26/05/07	5,57	0,32	0,034	3	84	63	21					3,2		0,70		0,08	0,56	0,05	0,73	0,52	2	5	150		17	
Tussetjørn	23/09/07	5,53	0,62	0,037	6	116	87	29					5,2		0,83		0,12	0,57	0,04	1,00	0,55	3	7	210	4	27	
Nestjørn	06/06/05	6,12	0,80	0,046	16	81	65	16					3,9		0,86		0,08	0,54	0,07	0,77	0,65	9	8	149		36	
Nestjørn	06/10/05	6,47	1,54	0,075	47	55	48	7					4,2		1,18		0,16	0,63	0,07	0,96	0,70	5	<5	175	4	77	
Nestjørn	04/06/06	6,07	0,89	0,050	21	61	47	14					3,6		0,79		0,09	0,53	0,08	0,54	0,67	9	4	125		47	
Nestjørn	27/10/06	6,11	1,42	0,068	40	106	91	15				0,191	5,2		1,04		0,16	0,55	0,05	0,71	0,59	5	10	205		77	
Nestjørn	26/05/07	5,86	0,54	0,040	10	75	60	15					3,3		0,76		0,10	0,57	0,06	0,76	0,59	2	4	140		28	
Nestjørn	23/09/07	5,98	0,94	0,048	19	88	80	8					4,7		0,94		0,14	0,60	0,06	0,82	0,57	6	3	190		51	
Grodvatn	06/06/05	5,99	0,72	0,041	11	83	62	21					3,7		0,84		0,09	0,54	0,07	0,79	0,65	15	9	132		32	
Grodvatn	06/10/05	6,13	1,01	0,050	21	53	45	8					3,7		0,94		0,13	0,61	0,07	0,91	0,76	7	<5	165	3	47	
Grodvatn	04/06/06	5,67	0,53	0,038	8	73	48	25					3,6		0,69		0,08	0,52	0,07	0,51	0,67	7	5	132		29	
Grodvatn	27/10/06	5,22	0,69	0,037	6	117	90	27				0,209	5,6		0,90		0,11	0,53	0,04	0,56	0,72	7	5	230		36	
Grodvatn	26/05/07	5,68	0,42	0,036	5	76	55	21					3,0		0,72		0,08	0,54	0,05	0,75	0,60	3	7	140		18	
Grodvatn	23/09/07	5,71	0,63	0,038	8	85	69	16					4,4		0,77		0,10	0,47	0,04	0,64	0,58	5	3	190		31	
Sandvatn	07/10/05	6,26	1,07	0,055	26	53	47	6					3,8		0,97		0,14	0,63	0,07	0,86	0,80	11	6	175	4	52	
Sandvatn	05/06/06	5,60	0,51	0,037	6	79	50	29					3,6		0,70		0,08	0,51	0,08	0,48	0,67	20	4	132		27	
Sandvatn	28/10/06	5,30	0,70	0,040	10	139	99	40					5,8		0,89		0,13	0,53	0,05	0,61	0,72	11	9	215		37	
Sandvatn	27/05/07	5,63	0,39	0,035	4	88	67	21					3,0		0,74		0,09	0,55	0,05	0,77	0,62	8	4	130		17	
Sandvatn	25/09/07	5,68	0,69	0,038	8	101	83	18					4,6		0,80		0,11	0,53	0,05	0,67	0,56	10	9	190		37	
Øyarvatn	07/06/05	6,09	0,87	0,045	15	85	58	27					3,4		0,94		0,09	0,56	0,07	0,85	0,84	50	9	165		32	
Øyarvatn	07/10/05	6,19	0,97	0,050	21	46	32	14					2,9		0,92		0,12	0,59	0,07	0,84	0,84	35	7	155	2	42	
Øyarvatn	05/06/06	5,71	0,67	0,040	10	75	52	23					3,3		0,81		0,09	0,57	0,08	0,63	0,82	45	7	180		30	
Øyarvatn	28/10/06	5,62	0,76	0,044	14	85	65	20				0,150	4,0		0,84		0,12	0,53	0,06	0,60	0,77	24	9	230		38	
Øyarvatn	27/05/07	5,62	0,50	0,034	3	95	65	30					3,0		0,83		0,10	0,60	0,05	0,88	0,78	34	6	160		17	
Øyarvatn	25/09/07	5,74	0,60	0,038	8	79	63	16					3,3		0,79		0,10	0,55	0,05	0,71	0,65	26	9	170		28	

NIVA 5628-2008

Lokalitet	Dato	pH	Ca mg/l	ALK mmol/l	Alk-E µekv/l	Al/R µg/l	Al/II µg/l	LAL µg/l	Tm-Al µg/l	Om-Al µg/l	Um-Al µg/l	Al/ICP mg/l	TOC mg/l C	Farge mg Pt/l	Kond mS/m	TURB FTU	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO ₃ -N µg/l N	NH ₄ -N µg/l N	Tot-N µg/l N	Tot-P µg/l P	ANC µekv/l
Hyljevatn	07/10/05	5,69	0,48	0,036	5	41	26	15					2,3		0,74		0,10	0,53	0,06	0,73	0,84	29	7	165	3	17
Hyljevatn	05/06/06	5,54	0,45	0,034	3	61	28	33					2,7		0,79		0,08	0,56	0,06	0,63	0,84	56	16	180		16
Hyljevatn	28/10/06	5,39	0,52	0,038	8	58	40	18				0,110	3,1		0,79		0,11	0,49	0,06	0,60	0,80	32	26	250		22
Hyljevatn	28/05/07	5,43	0,35	0,030	0	85	52	33					2,6		0,79		0,09	0,53	0,05	0,83	0,78	55	10	200		6
Hyljevatn	25/09/07	5,54	0,42	0,032	0	64	42	22					2,6		0,74		0,09	0,51	0,05	0,70	0,71	33	11	170		15
Berghylvatn	07/06/05	6,39	1,34	0,060	31	52	36	16					3,2		1,08		0,08	0,53	0,06	0,78	0,90	70	11	190		52
Berghylvatn	07/10/05	6,41	1,46	0,068	40	27	23	4					3,0		1,10		0,11	0,57	0,07	0,79	0,90	30	13	215	3	65
Berghylvatn	05/06/06	6,12	1,10	0,053	24	43	29	14					3,1		0,96		0,09	0,57	0,05	0,68	0,84	51	17	190		48
Berghylvatn	28/10/06	5,97	1,11	0,054	25	43	41	2				0,099	3,4		0,92		0,11	0,50	0,04	0,63	0,79	26	14	220		51
Berghylvatn	27/05/07	5,92	0,71	0,041	11	68	53	15					3,0		0,87		0,09	0,53	0,04	0,79	0,78	49	8	190		25
Berghylvatn	25/09/07	5,87	0,79	0,040	10	56	47	9					3,2		0,84		0,09	0,52	0,04	0,73	0,72	37	10	190		32

*Prøven fra Trasletjern 2/12-05 tatt på ukurant prøveflaske.

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