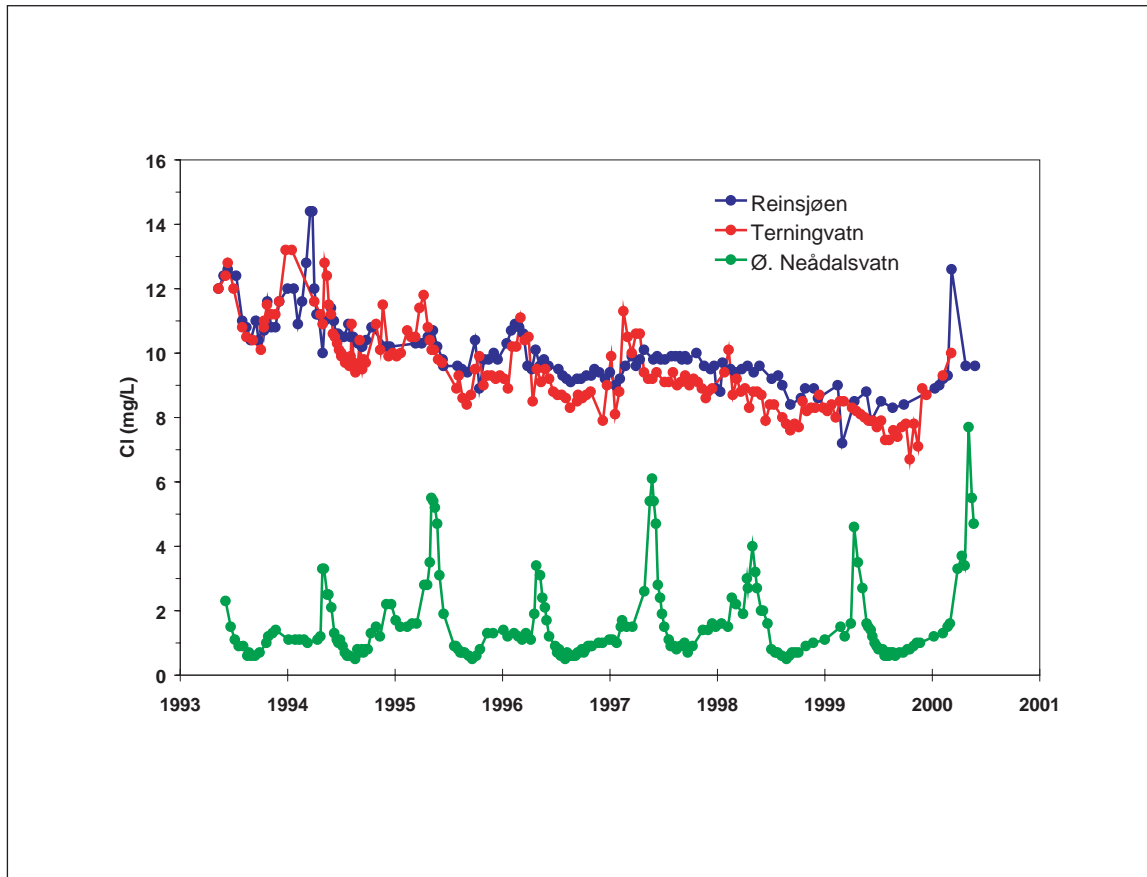


# Overvåking av vannkvalitet i ferskvann ved Tjeldbergodden 1993-2000



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

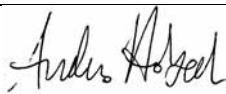
9015 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Overvåking av vannkvalitet i ferskvann ved Tjeldbergodden. 1993-2000	Løpenr. (for bestilling) 4707-2003	Dato 30.06.03
	Prosjektnr. Undernr. O-93102	Sider Pris 38
Forfatter(e) Hobæk, A.	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon
	Geografisk område Møre og Romsdal, Sør-Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statoil Tjeldbergodden	Oppdragsreferanse 45000509/29.08.96
--	--

<p>Sammendrag</p> <p>Vannkvalitet er overvåket i områder omkring Tjeldbergodden i forbindelse med etablering av metanolfabrikken. På tre hovedstasjoner er vannkvalitet overvåket regelmessig: Reinsjøen ved Tjeldbergodden i Aure, Terningvatn i Agdenes, og i referanselokaliteten Øvre Neådalsvatn i Surnadal. I tillegg er det tatt årlige prøver om høsten i ytterligere 36 innsjøer i kommunene Hitra, Aure, Hemne, Snillfjord, Agdenes og Rissa.</p> <p>Rapporten dokumenterer måleresultater for perioden mai 1997 - mai 2000, og variasjon i vannkvalitet gjennom perioden 1993-2000. Med unntak for én innsjø i Hemne som er påvirket av lokale inngrep, er de vannkjemiske endringene små, og området er generelt lite påvirket av både langtransportert og lokal forurensning. I løpet av måleperioden 1993-2000 har mengden ioner av marin opprinnelse sunket i innsjøenes avrenning, og det samme kan også spores for mengden av ikke-marint sulfat. Samtidig har surhetsgraden (pH) steget svakt i perioden. Det er ikke påvist noen endring i mengdene av totalt nitrogen eller nitrat-nitrogen i innsjøene.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Overvåking</li> <li>2. Forsuring</li> <li>3. Ferskvann</li> <li>4. Vannkvalitet</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Surveillance</li> <li>2. Acidification</li> <li>3. Inland waters</li> <li>4. Water quality</li> </ol>
---	--



Anders Hobæk  
Prosjektleder



Brit Lisa Monsen Skjelkvåle  
Forskningsleder



Nils Roar Sælthun  
Forskningsdirektør

**Overvåking av vannkvalitet i ferskvann  
ved Tjeldbergodden**

1993 – 2000

## Forord

NIVA har på oppdrag for Statoil overvåket vannkvalitet i ferskvann i områdene rundt metanol-fabrikken på Tjeldbergodden siden mai 1993. I tidsrommet fram til mai 1995 var overvåkings-programmet en del av et felles program under 4Ni-instituttene. Etter dette er programmet videreført direkte for Statoil Tjeldbergodden.

Denne rapporten sammenfatter resultatene av overvåking av vannkvalitet i ferskvann i områdene rundt metanolfabrikken på Tjeldbergodden i perioden mai 1996 - april 1997.

Innsamling av prøver på de faste stasjonene i programmet er utført av Erik Kårvatn (Todalen), Jan Øyan (Moldtun) og John O. Kjørsvik (Kjørsvikbugen). Leif Lien (NIVA) har utført innsamling av prøver hver høst, bortsett fra på Hitra hvor R. Lund har forestått innsamlingene. Alle medarbeidere takkes for innsatsen.

Bergen, juni 2003

*Anders Hobæk*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Materiale og metoder</b>	<b>8</b>
2.1 Lokalteter	8
2.2 Analyser og beregninger	10
<b>3. Resultater</b>	<b>11</b>
3.1 Reinsjøen (Lok. 1)	12
3.2 Terningvatn (Lok. 2)	13
3.3 Øvre Neådalsvatn (Lok. 3)	16
3.4 Høstundersøkelsen (Lok. 4 – 36)	18
<b>4. Tålegrenser for forsuring</b>	<b>23</b>
<b>5. Konklusjoner</b>	<b>25</b>
<b>6. Henvisninger</b>	<b>26</b>
<b>Vedlegg A.</b>	<b>27</b>

---

## Sammendrag

NIVA har på oppdrag for Statoil overvåket vannkvalitet i ferskvann er i området omkring metanolfabrikken på Tjeldbergodden. Fabrikken ble bygget i perioden 1993-1997, og har siden vært i drift. Overvåkingen har vært innrettet mot mulige forsurelseeffekter, fordi nitrogenoksider fra fabrikkens utslipp til luft kan tenkes å bidra til forsurelse i vassdragene.

Måleprogrammet startet i mai 1993, og har gått uavbrutt til mai 2000. I programmet inngår regelmessige analyser av vannkvalitet (hovedkomponenter og forsurelse-parametre) i tre hoved-lokaliteter: Reinsjøen ved Tjeldbergodden (Aure kommune); Terningvatn (Agdenes kommune) og Øvre Neådalsvatn (Surnadal kommune). Sistnevnte ligger utenfor influensområdet og fungerer som referanse-lokalitet. I tillegg prøvetas 36 innsjøer spredt i det forventede influensområdet i kommunene Hitra, Aure, Hemne, Snillfjord, Agdenes og Rissa. Disse lokalitetene undersøkes en gang årlig etter mønster av SFTs overvåking av langtransportert forurensning. Biologiske registreringer i hovedlokalitetene rapporteres separat..

Hovedlokalitetene Reinsjøen og Terningvatn er vannkjemisk sett ganske like. Tilførselene av forsurende komponenter er små i hele området, og ingen av innsjøene viser tegn til forsurelseproblemer. De vannkjemiske variasjonene som kan påvises i området skyldes naturlig variasjon, primært svingninger i deposisjon av sjøsalter. I løpet av perioden 1993-2000 har det skjedd en reduksjon i ioner av marin opprinnelse, og en meget svak reduksjon i konsentrasjon av ikke-marin sulfat i de to hovedlokalitetene. Nitrogen-mengdene som er målt i innsjøene svinger dels med årstidene, men det er også betydelig tilfeldig variasjon. Det kan ikke påvises noen endring i nitrogeninnholdet i innsjøenes avrenning gjennom overvåkingsperioden, verken for totalt nitrogen eller for nitrat-nitrogen.

## Summary

Title: Monitoring of freshwater quality around the Tjeldbergodden plant. 1993-2000.

Year: 2003

Author: Hobæk, Anders

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4375-5

NIVA has monitored water quality of freshwaters in the influence area of Statoil's methanol plant at Tjeldbergodden, Møre & Romsdal County, Norway, over the period 1993-2000. The factory was built 1993-97, and production initiated in 1997. A possible acidification of freshwaters via acid fallout from the plant's atmospheric discharge of nitrogen oxides was the target of monitoring, which was based on regularly analysing water samples for all main ion components as well as acidification parameters. The monitoring program entailed fortnightly sampling of the runoff of two main lakes Reinsjøen and Terningvatn, plus the reference lake Øvre Neådalsvatn outside the influence area. In addition, 36 lakes scattered over the entire influence area was sampled once each autumn, following the methodology used in monitoring of long-range atmospheric pollution by the Norwegian Pollution Control Authority. Inventories of biological indicators of acidification were also conducted, and reported separately.

The two main monitoring lakes Reinsjøen and Terningvatn have similar water qualities. The region receives only small amounts of acidifying atmospheric pollution, and none of the monitored lakes showed signs of acidification. Variability in water chemistry was ascribed to natural variations, particularly in the deposition of salts of marine origin. Over the monitoring period 1993-2000, we observed a general reduction in the level of marine ions, and a very slight reduction in non-marine sulphate contents in the two main localities. The nitrogen contents in runoff oscillated with season, and also showed large short-term variations. No time trends were discernible in runoff contents of total nitrogen or nitrate.

# 1. Innledning

NIVA har på oppdrag for Statoil overvåket vannkvalitet i ferskvann i områdene rundt metanolfabrikken på Tjeldbergodden siden mai 1993. I tidsrommet fram til mai 1995 var overvåkingsprogrammet en del av et felles program under 4Ni-instituttene. Etter dette er programmet videreført direkte for Statoil Tjeldbergodden.

Hensikten med overvåkingen er å følge med på om Nox-utslipp fra metanolfabrikken har innvirkning på nitratnivået og forsureningssituasjonen i innsjøene i influensområdet .

Overvåkingsprogrammet omfatter én referanselokalitet utenfor, og to lokaliteter innenfor forventet influensområde for fabrikken. Alle tre ligger på fastlandet, og prøvetas regelmessig gjennom hele året. I tillegg inngår ytterligere 30 innsjøer hvor det tas prøve én gang pr. år.

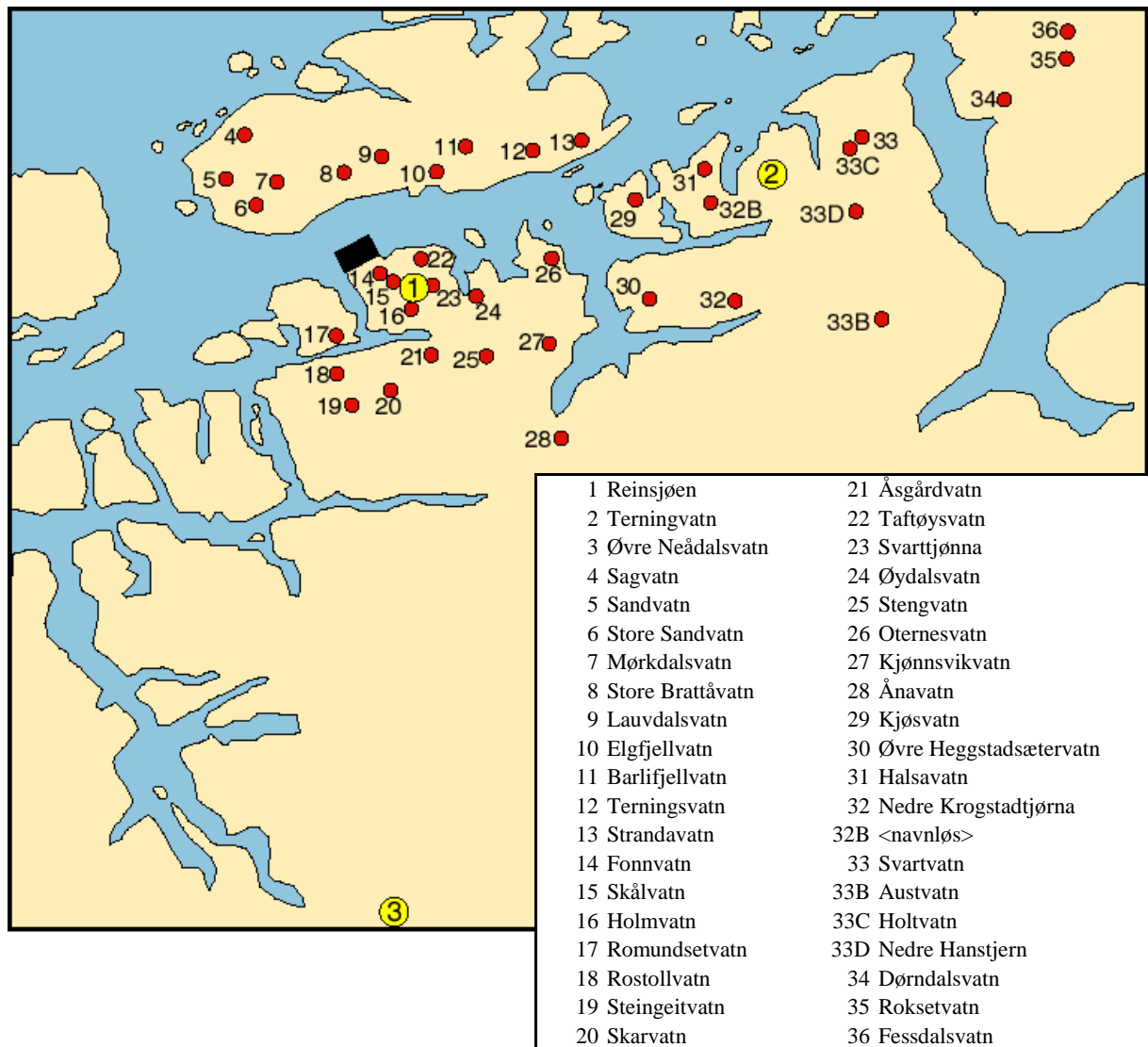
Vannkjemiske data for perioden 1993-1997 er rapportert tidligere (Hobæk m. fl. 1994; Hobæk 2000). I denne rapporten sammenfattes resultatene for hele overvåkingsperioden perioden mai 1993 - mai 2000. Som vedlegg gjengis måledata for perioden mai 1997 - mai 2000 (Vedlegg A).



## 2. Materiale og metoder

### 2.1 Lokalteter

En liste over lokalitetene som inngår i programmet er gitt i Tabell 1. Geografisk lokalisering er vist i Figur 1. Hovedlokaliteter er Reinsjøen ved Tjeldbergodden og Terningvatnet ved Moldtun (Agdenes kommune), samt referanselokaliteten Øvre Neådalsvatn (Todalen i Surnadal kommune). Vannprøver er tatt i utløpet av disse innsjøene ca. hver 14. dag av lokale observatører, og sendt direkte til NIVAs laboratorium i Oslo for analyse. I snøsmeltingsperioden ble det tatt hyppigere prøver. Innsamling av vannprøver fra 37 innsjøer fordelt i det forventede influensområdet for metanolfabrikken ble gjennomført hver høst i slutten av oktober ved hjelp av helikopter. Hitra kommune har ikke gitt landingstillatelse for helikopter, og de 10 lokalitetene der (lok. 4-13) er blitt prøvetatt av lokal kontaktperson i november/desember. Av ulike praktiske årsaker lyktes det ikke å få tatt prøver lok. 36 i Rissa i 1998. Det samme gjelder lokalitetene 4-9 på Hitra i 1999.



**Figur 1.** Innsjøer i overvåkingsprogrammet. De tre hovedlokalitetene er vist som gule sirkler, og innsjøene som er med i høstundersøkelsene som røde sirkler. Metanolfabrikken på Tjeldbergodden er vist som en mørk firkant. Flere data om innsjøene er vist i Tabell 1.

**Tabell 1.** Innsjøer som inngår i overvåkingsprogrammet for ferskvann på Tjeldbergodden.

<b>Nr</b>	<b>Innsjø</b>	<b>Hoh</b>	<b>Kommune</b>	<b>UTM Øst-Nord</b>
1	Reinsjøen	66	Aure	4885-70303
2	Terningvatn	93	Agdenes	5245-70456
3	Øvre Neådalsvatn	728	Surnadal	4991-69610
4	Sagvatn	19	Hitra	4705-70433
5	Sandvatn	50	Hitra	4695-70382
6	St. Sandvatn	92	Hitra	4725-70367
7	Mørkdalsvatn	118	Hitra	4758-70392
8	St. Brattåvatn	64	Hitra	4797-70387
9	Lauvdalsvatn	172	Hitra	4875-70445
10	Elgfjellvatn	55	Hitra	4910-70405
11	Barlifjellvatn	98	Hitra	4937-70440
12	Terningsvatn	51	Hitra	5006-70436
13	Strandavatn	56	Hitra	5055-70462
14	Fonnavatn	71	Aure	4866-70294
15	Skålvatn	58	Aure	4880-70290
16	Holmvatn	360	Aure	4905-70266
17	Romundsetvatn	113	Aure	4827-70234
18	Rostollvatn	445	Aure	4829-70198
19	Steingeitvatn	307	Aure	4847-70171
20	Skarvatn	346	Aure	4888-70191
21	Åsgårdvatn	214	Aure	4927-70234
22	Taftøysvatn	76	Hemne	4903-70324
23	Svarttjønnna	337	Hemne	4935-70287
24	Øydalsvatn	78	Hemne	4967-70286
25	Stengvatn	377	Hemne	4983-70226
26	Oternesvatn	182	Hemne	5033-70345
27	Kjønnsvikvatn	209	Hemne	5047-70245
28	Ånavatn	272	Hemne	5053-70163
29	Kjøsvatn	96	Snillfjord	5117-70410
30	Ø. Heggstadsætervatn	78	Snillfjord	5137-70317
31	Halsavatn	105	Snillfjord	5176-70445
32	N. Krogstad tjørna	374	Snillfjord	5223-70318
32B	<navnløs>	451	Snillfjord	5188-70319
33	Svartvatn	161	Agdenes	5335-70486
33B	Austvatn	224	Agdenes	5378-70312
33C	Holtvatn	236	Agdenes	5310-70473
33D	Nedre Hanstjern	194	Agdenes	5352-70355
34	Dørndalsvatn	204	Rissa	5468-70538
35	Roksetvatn	193	Rissa	5527-70583
36	Fessdalsvatn	258	Rissa	5531-70636

## 2.2 Analyser og beregninger

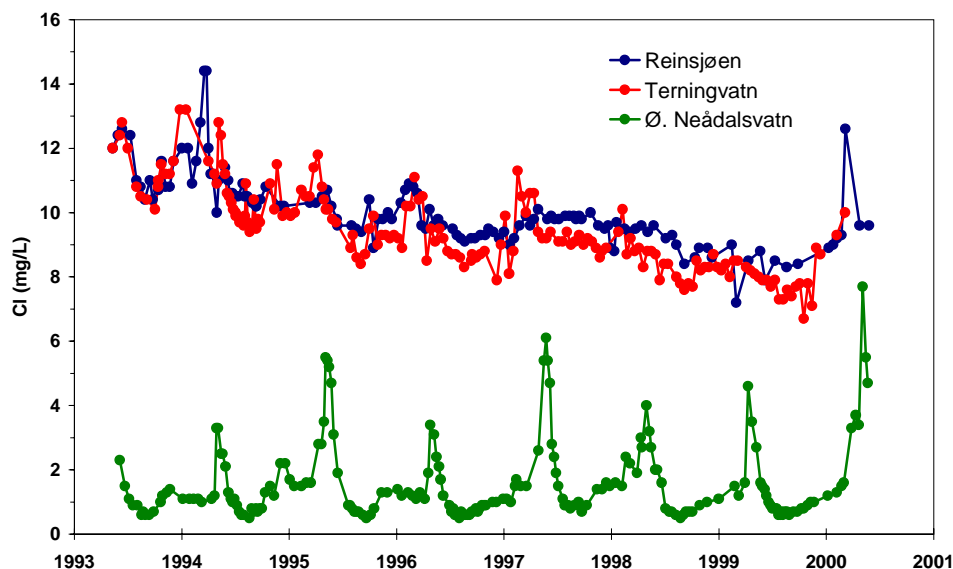
Alle kjemiske analyser er utført ved NIVAs laboratorium. Samtlige vannprøver er blitt analysert for følgende parametre: pH, konduktivitet, klorid, sulfat, nitrat, totalt nitrogen, kalsium, magnesium, natrium, kalium, alkalitet, reaktivt og ikke løsløst aluminium (RAI og IIAI), og totalt organisk karbon. Parametrene og analysemetoder er kort beskrevet i Vedlegg A. Basert på måleresultatene er det beregnet ANC (Acid Neutralizing Capacity eller syrenøytraliserende evne). Dette er et uttrykk for vannets bufferevne mot forsuring, og beregnes som basekationer minus sterke syrers anioner Henriksen *et al.* (1992).

Det er tidligere gjort beregninger av tålegrenser for forsuring av overflatevann og overskridelser av disse for alle lokaliteter (Hobæk m.fl. 1994). Disse beregninger er oppdatert her. I Vedlegg B er det redegjort for grunnlag og metode for disse beregningene. Det har bare vært små endringer i deponering av forsurende stoffer gjennom undersøkelsesperioden (Knudsen & Johnsrud 1996; Johnsrud & Knudsen 1996; Haugsbakk 1997).

### 3. Resultater

I det følgende gjennomgås resultatene fra de tre hovedlokalitetene, og deretter resultater fra innsjøene som er med i høstundersøkelsen. Avslutningsvis ser vi på vannkjemiske endringer over tid i alle lokalitetene. Alle vannkjemiske analysedata fra perioden mai 1997 – mai 2000 er samlet i vedleggstabellene.

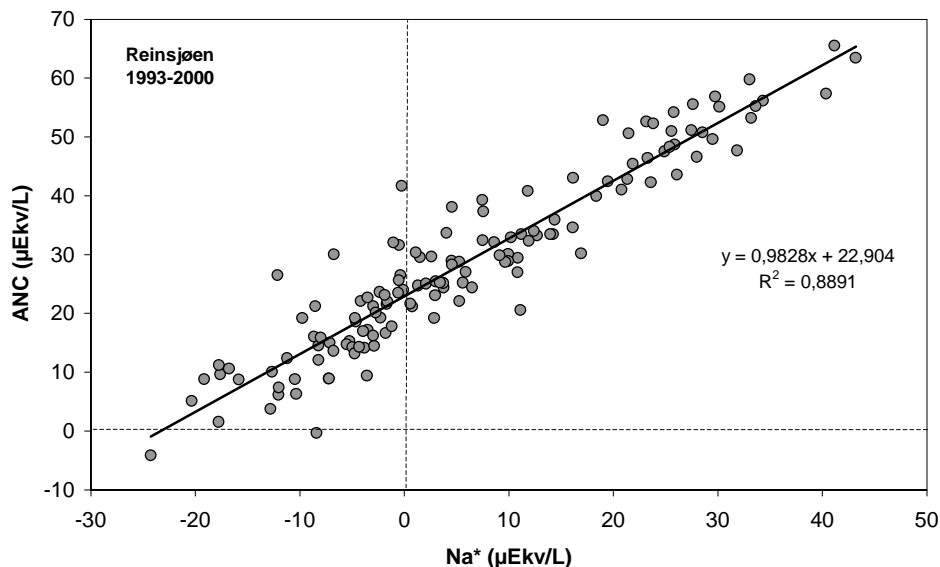
En stor del av de vannkjemiske hovedkomponenter i disse områdene stammer fra sjøsalter som avsettes i nedbør eller som tørravsetning. Det er viktig å kunne skille mellom sjøsaltenes bidrag og hva som skyldes langtransportert (eller lokal) forurensning av forsurende stoffer, spesielt for sulfat. Som basis for å skille ut det marine bidraget brukes kloridkonsentrasjonen i avrenningsvannet. Figur 2 viser kloridmengden gjennom hele overvåkingsperioden 1993-2000 i de tre hovedlokalitetene. Nivået i referanse-lokaliteten Øvre Neådalsvatn ligger vesentlig lavere enn de to andre, som følge av større avstand til kysten. Her finner vi også en markert sesongvariasjon, med høyest kloridkonsentrasjon under snøsmeltingen tidlig på sommeren. I de to andre lokalitetene har kloridnivået sunket fra 1993 til 2000, da verdiene økte igjen. Den generelle reduksjonen kan ha sammenheng med svært stor deposisjon av sjøsalter vintrene før målingene tok til. Også innenfor kortere tidsrom forekommer betydelige fluktuasjoner som følge av varierende klorid-deposisjon. Sjøsaltmengden i avrenningen preger mye av den vannkjemiske dynamikken i alle de tre overvåkingsfeltene.



**Figur 2.** Kloridkonsentrasjon i de tre hovedlokalitetene i perioden 1993 - 2000.

Syrenøytraliserende evne (ANC eller Acid Neutralizing Capacity) beregnes på grunnlag av ionebalansen. Mengden ikke-marine basekationer ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{K}^+$ ) bidrar til bufferevnen, mens sterke syrer anioner ( $\text{SO}_4^{2-}$  og  $\text{NO}_3^-$ ) reduserer den. For innsjøer som ligger nær kysten og stadig utsettes for tilførsler av salter fra havet, ser vi at ANC ofte fluktuerer sterkere enn i innlandet på grunn av de raske endringene i ionebalansen. Dette skyldes trolig at sjøsaltene påvirker prosesser i jordsmonnet som fører til raske skiftninger i mengden ikke-marine basekationer i avrenningen, og dette slår ut i sterk variasjon i den beregnede ANC. Sammenhengen mellom  $\text{Na}^*$  (ikke-marint Na, det

dominerende basekation) og ANC er vist i Figur 3. En lineær regresjon tyder på at variasjon i  $\text{Na}^*$  alene forklarer nesten 90% av variasjonen i ANC for denne lokaliteten. Figuren viser samtidig at en stor del av de beregnede  $\text{Na}^*$ -verdier er negative, og assosiert med lave ANC-verdier. En alternativ parameter for bufferevne mot forsurening er alkalitet. Denne måles i vannprøvene, og viser betydelig mindre variasjon enn ANC. Det er derfor lagt mer vekt på alkalitet enn på ANC i omtalen av vannkvalitet og endringer i denne over tid i lokalitetene.



Figur 3. Forholdet mellom ANC (syrenøytraliserende evne) og konsentrasjon av ikke-marint natrium ( $\text{Na}^*$ ) i Reinsjøen (data fra hele perioden 1993-2000).

### 3.1 Reinsjøen (Lok. 1)

Analysedata for perioden mai 1997 – mai 2000 er vist i Vedlegg A. Resultatene for hele overvåkingsperioden er sammenfattet i Figur 4. Konduktiviteten, som er et uttrykk for totalt ioneinnhold, sank fra rundt 5 mS/m i 1993 til ca. 4,1 mot slutten av perioden. På sen vinteren 2000 fikk vi en stigning med markert topp 8. mars (Figur 4). Dette hang sammen med økning i klorid og basekationer og skyldes nye tilførsler av sjøsalter (Figur 2, Figur 4).

Surhetsgraden (pH) varierte mellom 5,7 og 6,5, i løpet av overvåkingsperioden. Fram til og med 1997 var det ingen tegn til endring, mens fra 1998 synes pH å øke langsomt (Figur 4). Middelverdi for perioden 1993-1997 var pH 6,0, og i 1998-2000 pH 6,1. Innholdet av organisk materiale (TOC) har vist liten variasjon mellom 2 og 4 mg/L gjennom perioden (middel 2,7 mg/L), uten noen tegn til endring. Mengden aluminium i avrenningen følger normalt TOC-innholdet godt. I Reinsjøen var middelverdien for Reaktivt aluminium (RAI) 44 µg/L, med variasjon fra 30–70 µg/L (Figur 4). Av dette var bare en liten andel Labilt Aluminium (LAI), som er den potensielt giftige fraksjonen for ferskvannsorganismer. Maksimal verdi for LAI gjennom hele perioden var 23 µg/L (i september 1993 og i mars 1994), mens middelverdien var 3 µg/L.

Som beskrevet foran får vi for Reinsjøen ofte ”underskudd” på ikke-marint natrium. I den beregnede ionebalansen gir dette store utslag i mengden ikke-marine basekationer ( $\text{BC}^*$ ), og dermed også i

beregningen av syrenøytraliserende kapasitet (ANC). Svingningen i  $BC^*$  og ANC (Figur 4) avhenger av variasjon i mengden  $Na^*$ , mens de andre basekationene varierte langt mindre. Sett over hele overvåkingsperioden viste mengden Na den samme nedgang fram til våren 2000 som tidligere vist for Cl (Figur 2, Figur 4). En svak tendens til nedgang gjelder også for Mg og Ca, selv om dette ikke er synlig på Figur 4 på grunn av skalaen. Antagelig henger denne tendensen sammen med en stor deposisjon av sjøsalter under vinterstormene 1992-93, og disse saltene er langsam vasket ut av nedbørfeltet i årene etterpå.

ANC viste et noe høyere nivå i begynnelsen av perioden (1993-94) enn senere (Figur 4). Alkaliteten viste derimot en svak økning gjennom 1993-94, og har siden ligget nokså stabilt rundt 20-24  $\mu\text{Eq/L}$  (Figur 4). Sulfatmengden varierte ubetydelig rundt middelverdien på 2,0 mg/L gjennom det meste av perioden, men fra 1998 av har nivået krøpet litt under dette. I Figur 4 er vist ikke-marint sulfat ( $SO_4^*$ ), som også har vært relativt konstant i perioden. Det er imidlertid tegn til en svak reduksjon i nivået i den ikke-marine fraksjonen i perioden 1998-2000.

Mengden Total-nitrogen (Tot-N) lå på 150  $\mu\text{g/L}$  i middel for hele perioden, og varierte mellom 95 og 370  $\mu\text{g/L}$ . I 1999 og 2000 ble det registrert en høy enkelt-måling hvert år (Figur 4). Også for Nitrat-nitrogen ( $NO_3\text{-N}$ ) synes nivået å være uforandret gjennom perioden med en middelverdi på 38  $\mu\text{g/L}$  (Figur 4). Her ser vi en tydelig sesong-syklus med lavere verdier om sommeren på grunn av biologisk opptak i nedbørfeltet. Somrene fra og med 1997 har verdiene ligget lavere enn tidligere. Årsaken til dette er ikke kjent, men kan ha sammenheng med høyere temperatur og økt plantevekst.

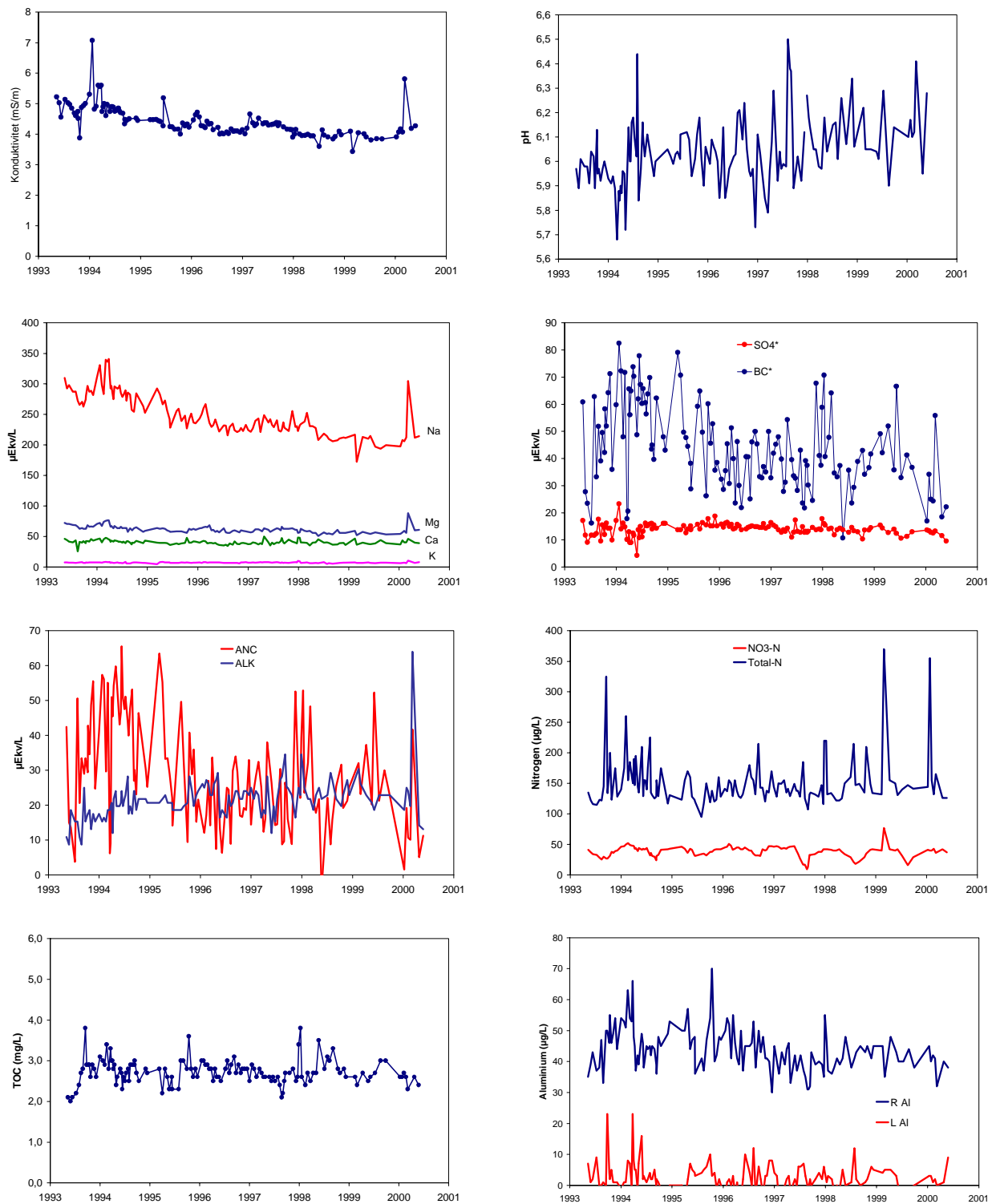
### 3.2 Terningvatn (Lok. 2)

Analysedata er vist i Vedlegg A. Resultatene for perioden er også sammenfattet i Figur 5. Vannkjemisk sett ligner forholdene i Terningvatn mye på dem i Reinsjøen. Ioneinnholdet (målt som konduktivitet) var omtrent identisk, med middelverdi på 4,3 mS/m, og viste samme fallende trend som i Reinsjøen (Figur 5).

pH varierte mellom 5,6 og 6,6, med et middel på 6,11. Verdiene var lavest vinteren 1997 (Figur 5). En svakt økende tendens kan spores over perioden 1993-2000, men svakere enn i Reinsjøen. Innholdet av organisk materiale (TOC) lå noe høyere (middel 3,5 mg/l) enn i Reinsjøen, og varierte også mer (2,2 - 5,4 mg/L, Figur 5). RAl lå litt høyere i Terningvatn (middel 59  $\mu\text{g/L}$ ) enn i Reinsjøen, mens LAl fraksjonen også her lå lavt (middel 2,2  $\mu\text{g/L}$ , max 18  $\mu\text{g/L}$ ). I 1997 fikk vi en kort periode med lave verdier for Al (Figur 5).

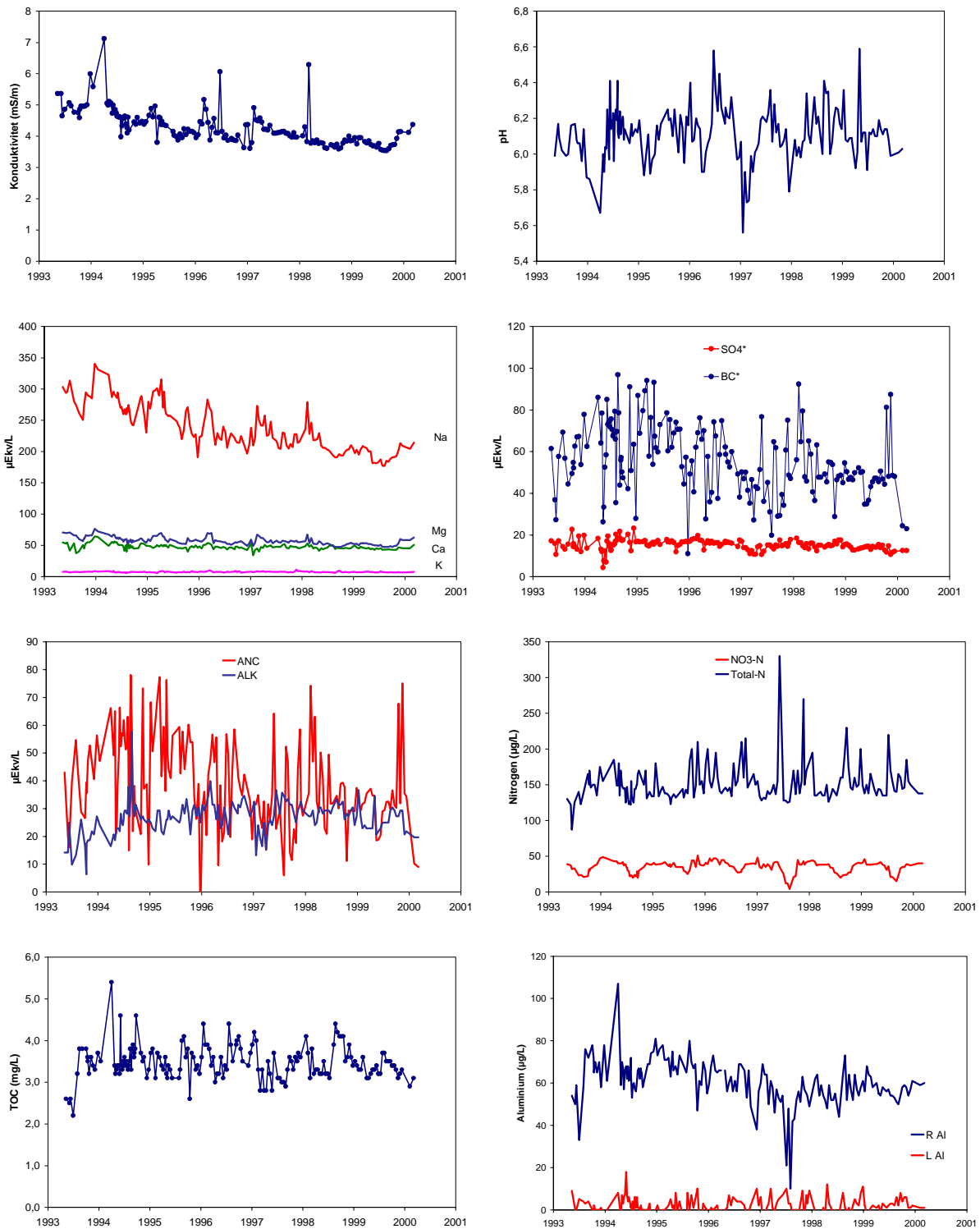
Av basekationene (Figur 5) varierte først og fremst natrium, som viste fallende nivå gjennom perioden (parallelt med Cl-mengden, Figur 2). Mengden kalsium lå litt høyere enn i Reinsjøen, ellers er verdiene nokså like. Som i Reinsjøen fikk vi også i Terningvatn periodevis "underskudd" på  $Na^*$ , og dermed betydelige svingninger i  $BC^*$  (ikke-marine basekationer). Dette gjenspeiles i stor variasjon i ANC (Figur 5), som svingte mellom 7 og 78  $\mu\text{Eq/L}$  med et middel på 39  $\mu\text{Eq/L}$ . Alkaliteten varierte mindre (6 - 58  $\mu\text{Eq/L}$ ), med en middelverdi på 27  $\mu\text{Eq/L}$ . Tendensen over tid var den samme som i Reinsjøen, med ANC høyest og ALK lavest tidlig i perioden (1993-94). Sulfatmengdene (middel 2,0 mg/L) var omtrent identiske med Reinsjøens, og variasjonen var liten. Figur 5 viser  $SO_4^*$  (ikke marin sulfat), som også viste liten variasjon. Også for Terningvatn kan en svak reduksjon i  $SO_4^*$  spores mot slutten av perioden.

Total-nitrogen lå i middel på 151  $\mu\text{g/L}$ , med en maksimalverdi på 330  $\mu\text{g/L}$  (juni 1997). Nivået av Tot-N viser en meget svak økende tendens over perioden.  $NO_3\text{-N}$  varierte sesongmessig rundt middelverdien på 35  $\mu\text{g/L}$ , uten at noen tendens kan spores (Figur 5).



**Figur 4.** Vannkjemiske data fra Lok. 1 Reinsjøen gjennom overvåkingsperioden 1993-2000.

Øverst Konduktivitet (til venstre) og pH (til høyre); i rekke to basekationer (til venstre) og til høyre summen av ikke-marine basekationer (BC\*) sammen med ikke-marint sulfat (SO<sub>4</sub>\*), i rekke tre alkalitet og ANC (til venstre) og nitrogen (til høyre); i rekke fire totalt organisk karbon (til venstre) og to fraksjoner av aluminium (til høyre).



**Figur 5.** Vannkjemiske data fra Lok. 2 Terningvatn gjennom overvåkingsperioden 1993-2000. Øverst Konduktivitet (til venstre) og pH (til høyre); i rekke to basekationer (til venstre) og til høyre summen av ikke-marine basekationer (BC\*) sammen med ikke-marint sulfat (SO<sub>4</sub>\*); i rekke tre alkalitet og ANC (til venstre) og nitrogen (til høyre); i rekke fire totalt organisk karbon (til venstre) og to fraksjoner av aluminium (til høyre).



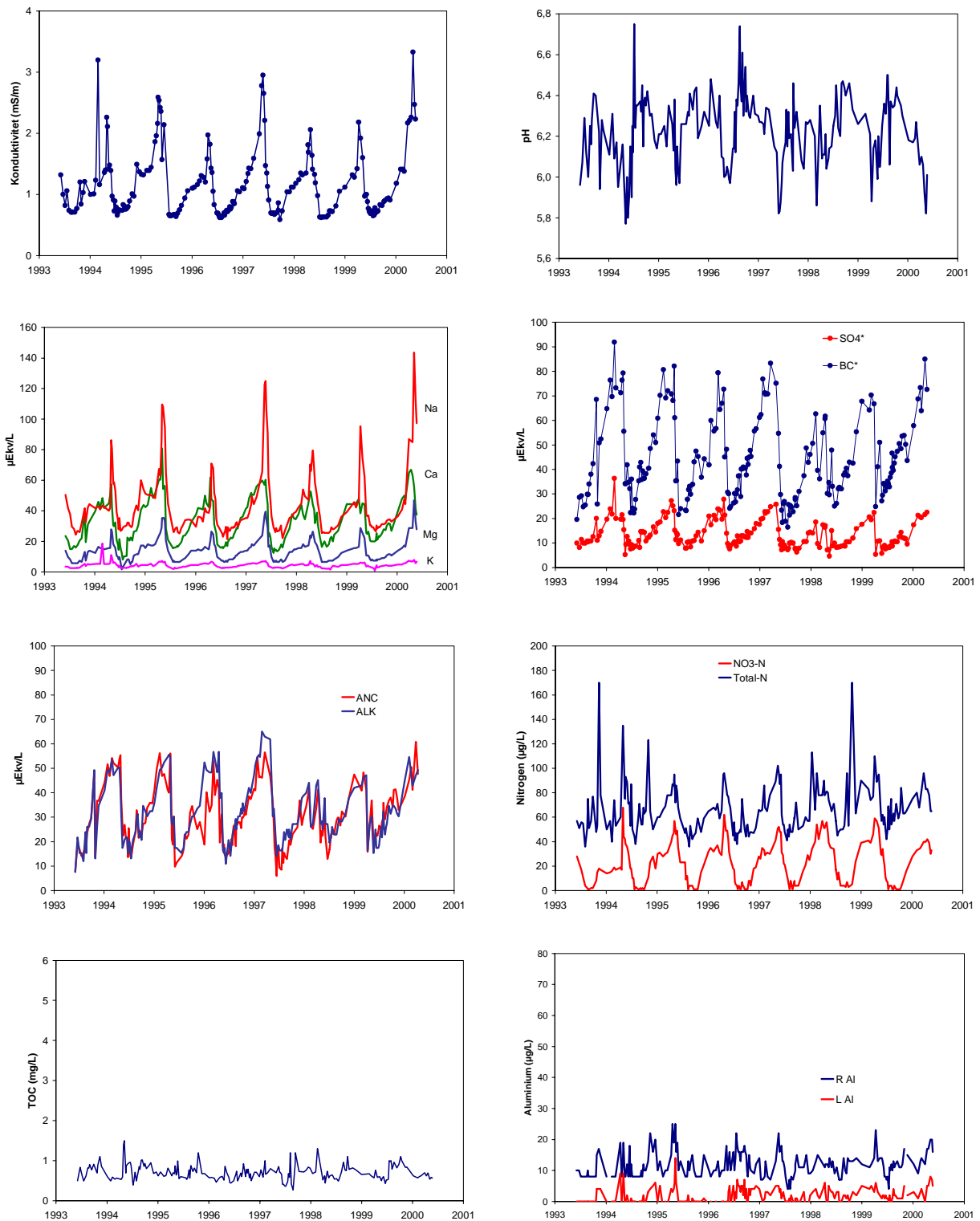
### 3.3 Øvre Neådalsvatn (Lok. 3)

Analysedata mai 1997 – mai 2000 er vist i Vedlegg A. Resultatene for hele perioden 1993-2000 er sammenfattet i Figur 6. I Ø. Neådalsvatn har vi en markert sesongsyklus i vannkjemien. Dette skyldes at innsjøen ligger både høyere og lenger inne i landet enn Reinsjøen og Terningvatn, og har en mye mer markert klimatisk sesong enn innsjøene ute ved kysten. Komponenter avsatt om vinteren akkumuleres i snø, og når innsjøen under snøsmeltingen. Totalt ioneinnhold (målt som konduktivitet) lå langt lavere enn i innsjøene ved kysten, og viste de høyeste verdiene (opptil 3 mS/m) under tidlig snøsmelting (Figur 6). I løpet av sommeren sank konduktiviteten mot 0,6 mS/m. Dette mønsteret ble fulgt av alle ioner som har helt eller delvis marin opprinnelse, som vist i Figur 2 for klorid.

Surhetsgraden fulgte et motsatt sesongmønster, med lavest verdier under slutten av snøsmeltingen (Figur 6). pH kunne da synke mot 5,8. I løpet av sommeren steg pH til 6,7. Middelverdien for perioden var 6,2. Innholdet av organisk karbon lå nokså stabilt lavt rundt 0,8 mg/L (Figur 6). Reaktivt aluminium (RAI) lå jevnt lavt rundt en middelvei på 12 µg/L. Den labile Al fraksjonen lå ofte under deteksjonsgrensen. Middelverdien var 1,8 µg/, mens maksimalverdien var 14 µg/L.

Basekationene (Na, Ca, Mg og K) fulgte sesongmønsteret for sjøsalter (Figur 6) med høyeste verdier under snøsmeltingen. Utslaget var størst for Na og Ca, som er de dominerende kationer i innsjøen, og minst merkbart for K. Også de ikke-marine fraksjonene av basekationene (summert til BC\* i Figur 6) fulgte den samme syklus. Dette gav seg utslag i en markant sesongvariasjon i ANC og ALK. I dette tilfellet viser disse to parametrene godt samsvar. Middelverdien for ANC var 29 µekv/L (variasjon mellom 6 og 61 µekv/L), og for ALK 31 µekv/L (variasjon mellom 8 og 65 µekv/L).

Nitrogenmengdene lå lavere i Ø. Neådalsvatn enn i innsjøene ute ved kysten. Tot-N varierte mellom 36 og 170 µg/L, med en middelvei på 66 µg/L (Figur 6). Også for denne parameteren ser vi en sesongvariasjon med høyeste verdier i snøsmeltingen. For NO<sub>3</sub>-N var nivået lavere (middel 17 µg/L), og sesongvariasjonen enda klarere som følge av biologisk opptak i produksjonssesongen (Figur 6). Nitratinnholdet sank under deteksjonsgrensen på 10 µg/L for analysemetoden fra midt i juli hver sommer. Mengden sulfat varierte fra 0,4 mg/L til 1,9 mg/L, med de høyeste verdier under snøsmeltingen. Den ikke-marine fraksjonen (SO<sub>4</sub>\*) viste også en tydelig sesongvariasjon (Figur 6), med en jevn stigning utover vinteren mot snøsmeltingen. Det var en svak tendens til reduksjon i mengden ikke-marint sulfat over perioden 1993-2000.



**Figur 6.** Vannkjemiske data fra Lok. 3, Øvre Neådalsvatn, gjennom overvåkingsperioden 1993-2000. I øverste rekke Konduktivitet (til venstre) og pH (til høyre); i rekke to basekationer (til venstre) og til høyre summen av ikke-marine basekationer (BC\*) sammen med ikke-marint sulfat (SO<sub>4</sub>\*); i rekke tre alkalitet og ANC (til venstre) og nitrogen (til høyre); i rekke fire totalt organisk karbon (til venstre) og to fraksjoner av aluminium (til høyre).

### 3.4 Høstundersøkelsen (Lok. 4 – 36)

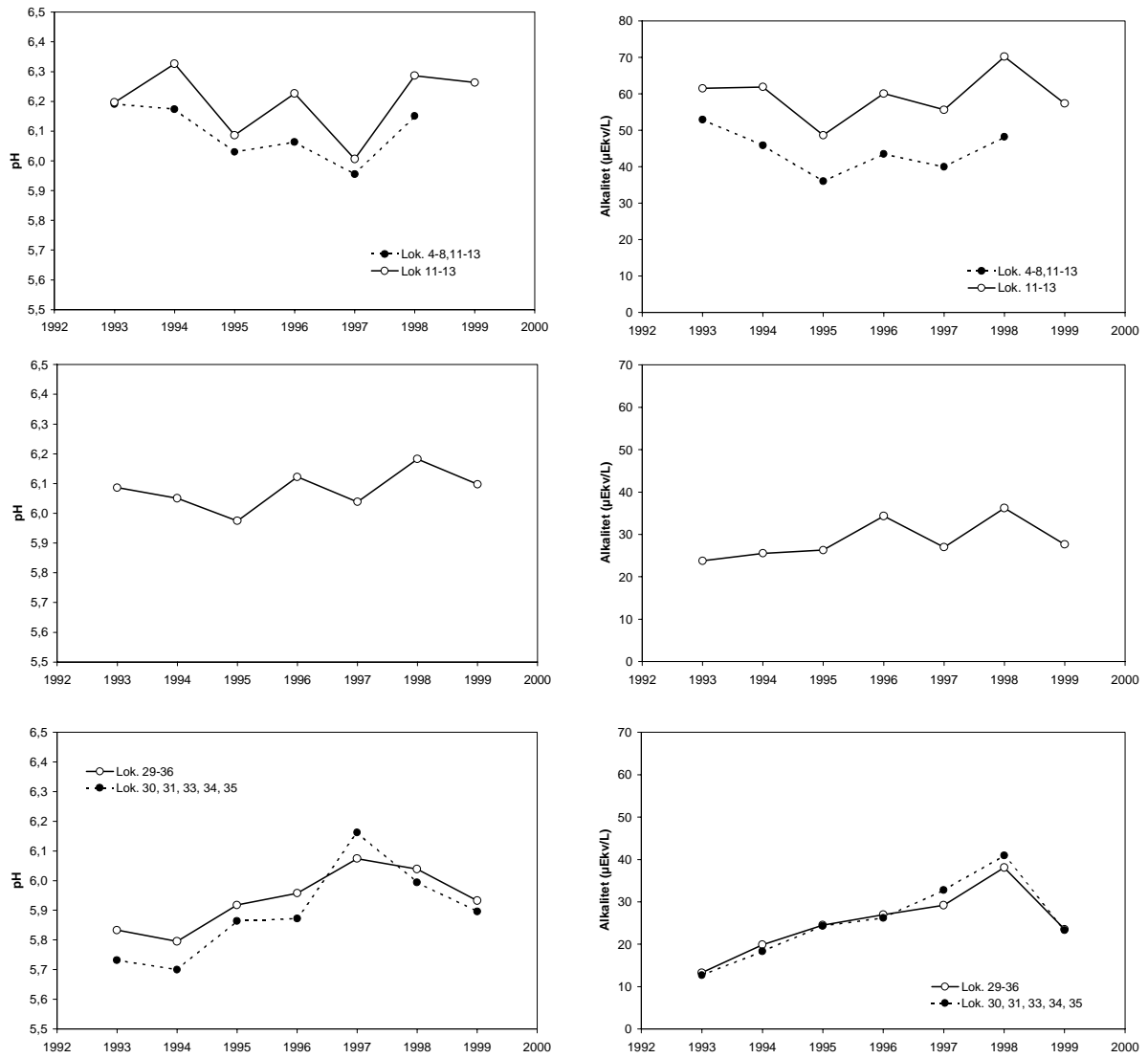
Måleresultater for alle lokalitetene 1997-1999 er gitt i Vedlegg A. En av lokalitetene i Hemne (lok. 24 Øydalsvatn) har fra 1995 vist en markert endring i vannkjemi, med økt innhold av kationer (unntatt Na), og dermed også sterk økning i ALK og ANC. Der har også vært en tydelig økning i Tot-N og NO<sub>3</sub>-N. Dette skyldes etter alt å dømme aktivitet i innsjøens nærrområde. Innsjøen er derfor ikke tatt med i den videre behandlingen av resultatene. Det er også enkelte huller i datasettet fordi innsamlingen praktiske årsaker ikke har latt seg gjøre enkelte år. Dette gjelder lok. 36 (Fessdalsvatn i Rissa) i 1998. På Hitra mislyktes innsamlingen i lok. 4, 5, 6, 7, 8 og 9 i 1999 på grunn av værforholdene.

Innsjøene på Hitra skilte seg ut med høyest innhold av klorid og totalt ioneinnhold. De hadde også det høyeste TOC-innholdet, og både ALK og ANC lå høyest her. Forøvrig var forskjellene ellers ganske små. Lokalitetene i Snillfjord og Agdenes hadde lavest innhold av basekationer og dermed lavest ALK og ANC.

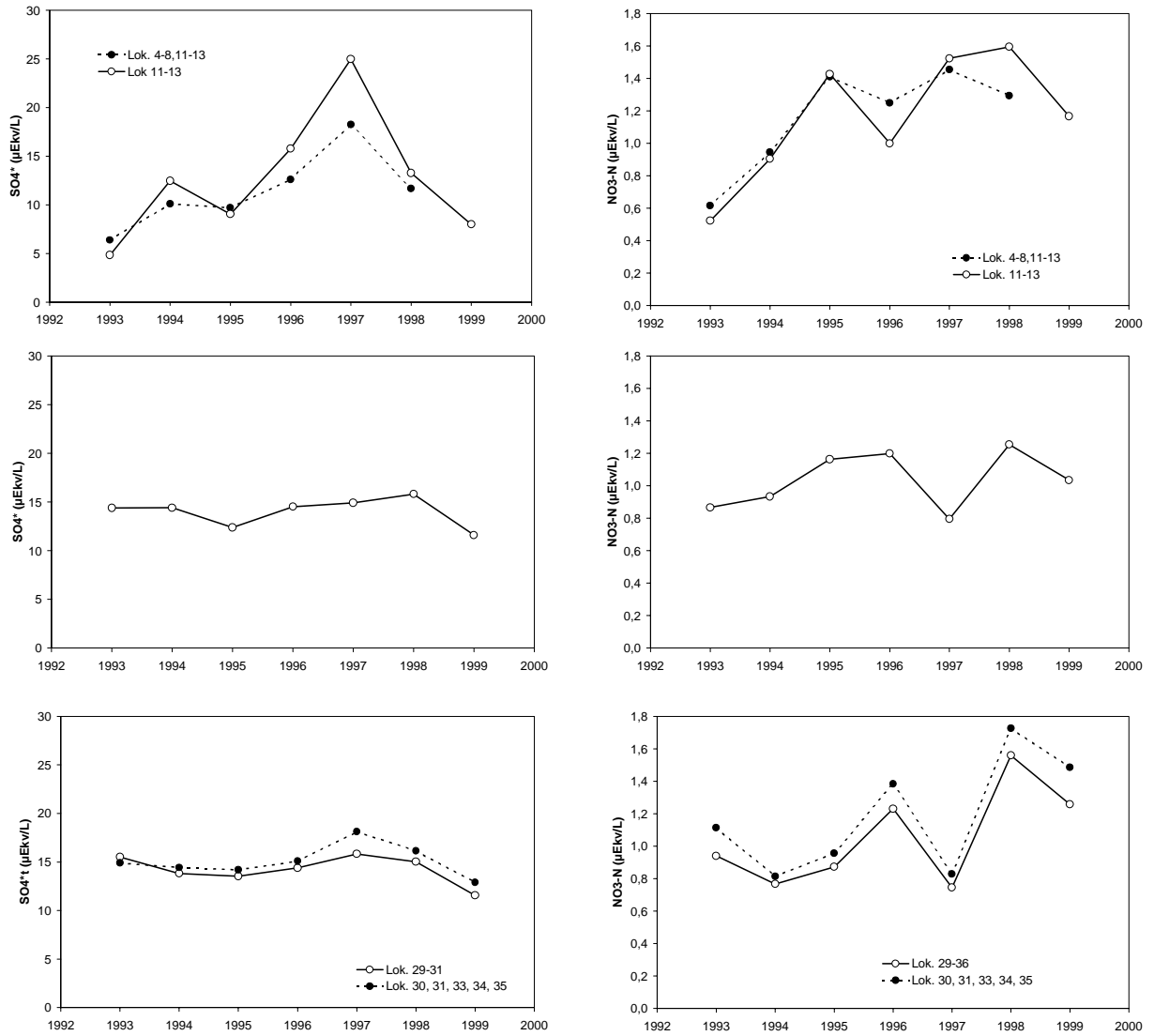
En kort sammenfatning av vannkjemiske endringer gjennom perioden er vist i Figur 6, 7 og 8. Figurene viser middelerverdi for innsjøene i hvert av områdene Hitra; Aure og Hemne; og Snillfjord, Agdenes og Rissa. Dette er den samme inndelingen som er benyttet tidligere. For Hitra er det vist to kurver. Den ene er basert på lokalitetene 4, 5, 6, 7, 8, 11 og 13. For disse innsjøene har vi sammenhengende dataserier 1993-98, men mangler 1999. Den andre kurven viser tre innsjøer (lok. 10, 11, 12 og 13) der også 1999 er med, men vi mangler data for lok. 10 i 1994. For gruppen Aure og Hemne er lok. 24 ikke tatt med.

Surhetsgraden (pH) viste ingen store endringer, men synes å øke svakt gjennom perioden i Aure og Hemne (Figur 6). Tilsvarende var det for alkaliteten, som også viste en svak økning i denne innsjøgruppen. Mengden ikke-marint sulfat svingte en god del på Hitra, med høyeste verdier høsten 1997 (Figur 7). For Aure/Hemne og Snillfjord/Agdenes/Rissa så vi tegn til en svak nedgang i sulfatmengden. Derimot viste nitrat-mengdene tegn til å øke gjennom perioden for alle områdene. Mest uttalt var dette på Hitra. Denne økningen har vesentlig skjedd før metanolfabrikken startet opp i 1997, og i perioden etter dette har fluktuationene vært for store til å påvise noen trend.

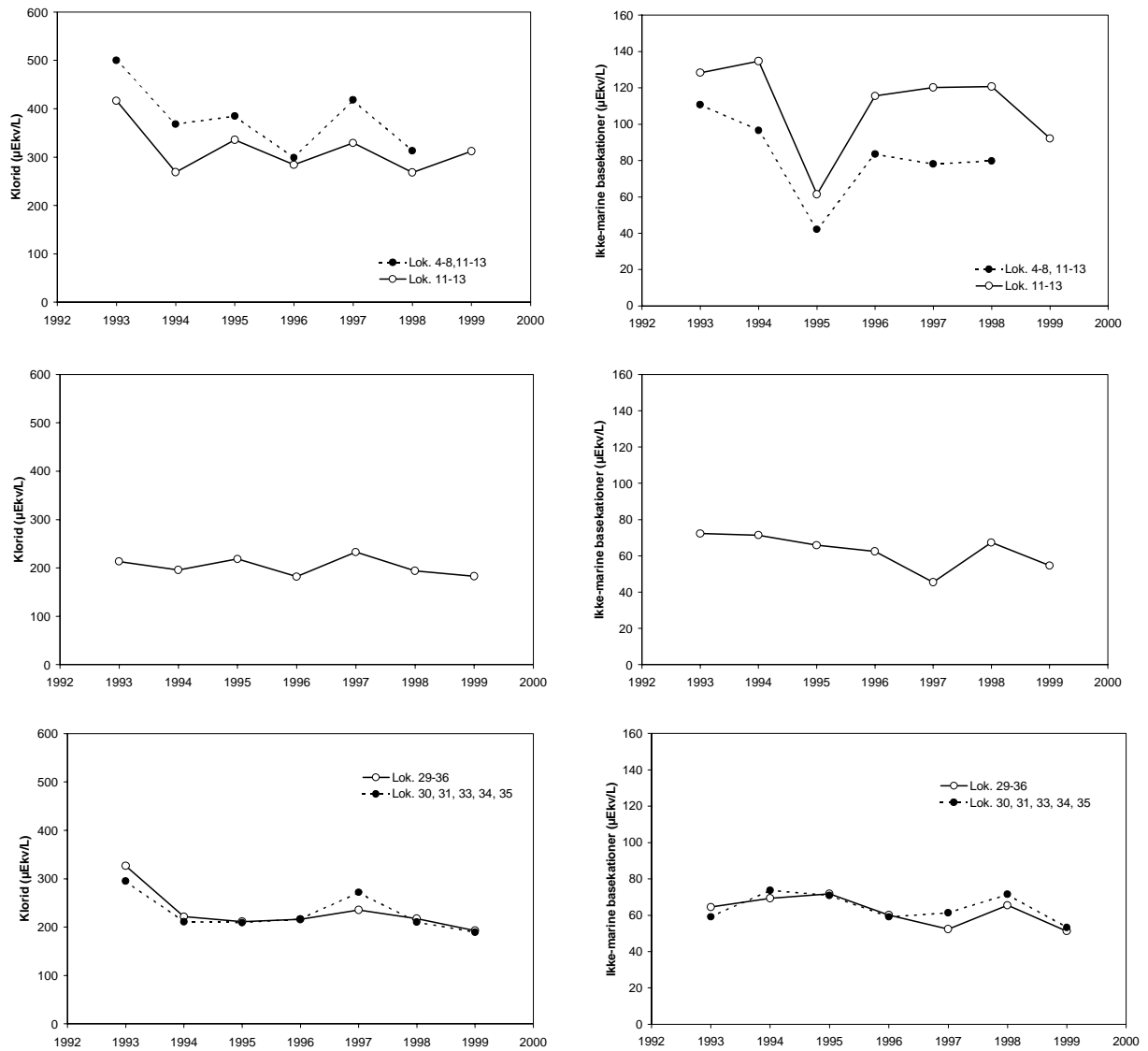
Basekationene og kloridmengdene er vist i Figur 8. På Hitra fluktuerer disse ionene mest, og her er det ingen eller ubetydelige trender. I de andre områdene ser vi omtrent de samme trendene som er registrert i hovelokalitetene, dvs. reduksjon i kloridmengder og basekationer gjennom perioden.



**Figur 7.** Utvikling i pH (venstre paneler) og alkalitet (høyre paneler). Figurene viser middelerverdier for hvert år i perioden 1993-99 for innsjøer prøvetatt i høstundersøkelsene. Innsjøene er gruppert til Hitra (øvre paneler), Aure og Hemne (midtre paneler) og Snillfjord, Agdenes og Rissa (nedre paneler).

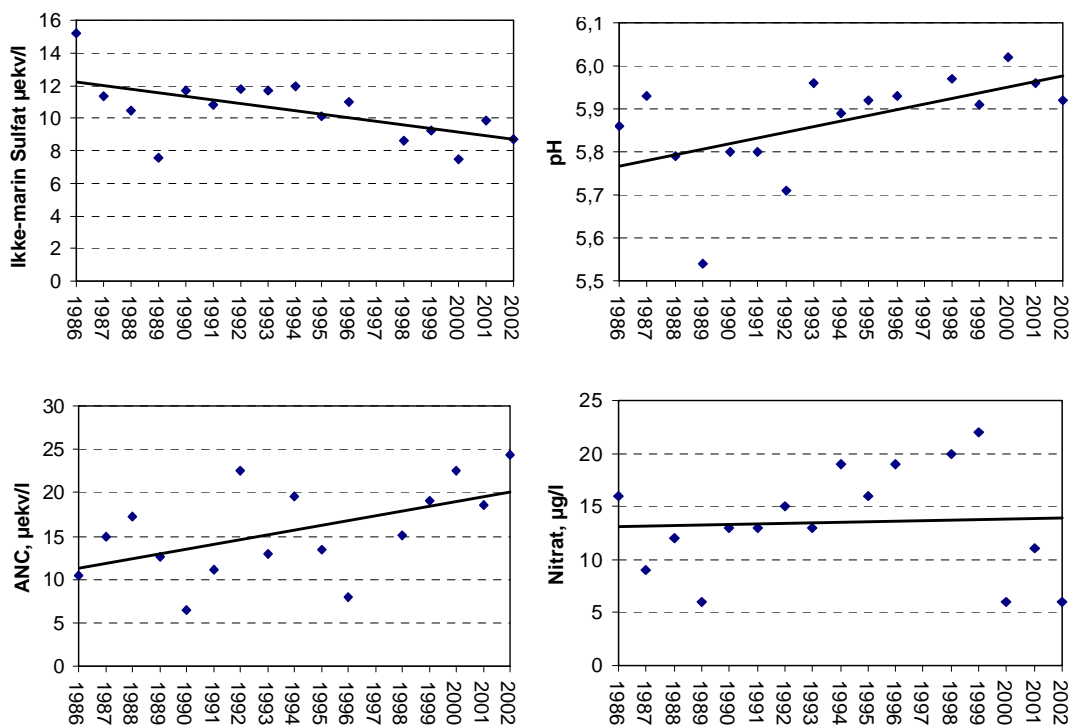


**Figur 8.** Utvikling i ikke-marint sulfat (venstre paneler) og nitrat-nitrogen (høyre paneler). Figurene viser middelerverdier for hvert år i perioden 1993-99 for innsjøer prøvetatt i høstundersøkelsene. Innsjøene er gruppert til Hitra (øvre paneler), Aure og Hemne (midtre paneler) og Snillfjord, Agdenes og Rissa (nedre paneler).



**Figur 9.** Utvikling i klorid (venstre paneler) og ikke-marine basekationer ( $\text{Na}^*$ ,  $\text{Mg}^*$ ,  $\text{Ca}^*$ ,  $\text{K}^*$ ; høyre paneler). Figurene viser middelerverdier for hvert år i perioden 1993-99 for innsjøer prøvetatt i høstundersøkelsene. Innsjøene er gruppert til Hitra (øvre paneler), Aure og Hemne (midtre paneler) og Snillfjord, Agdenes og Rissa (nedre paneler).

Mange innsjøer i området har lavt kalsiuminnhold, og er dermed følsomme for potensiell foruring. Eksempelvis har lok. 20 Skardvatn i Aure kalsiumverdier rundt 0,3 -0,4 mg/L og har derved svært liten motstandskraft mot foruring. Denne innsjøen er også med i Statlig program for forurensningsovervåking, og prøver er tatt hver høst siden 1986. Noen vannkjemiske parametre for Skardvatn vist i Figur 10, for å illustrere trender over lengre tid enn overvåkingsprogrammet for Tjeldbergodden dekker.

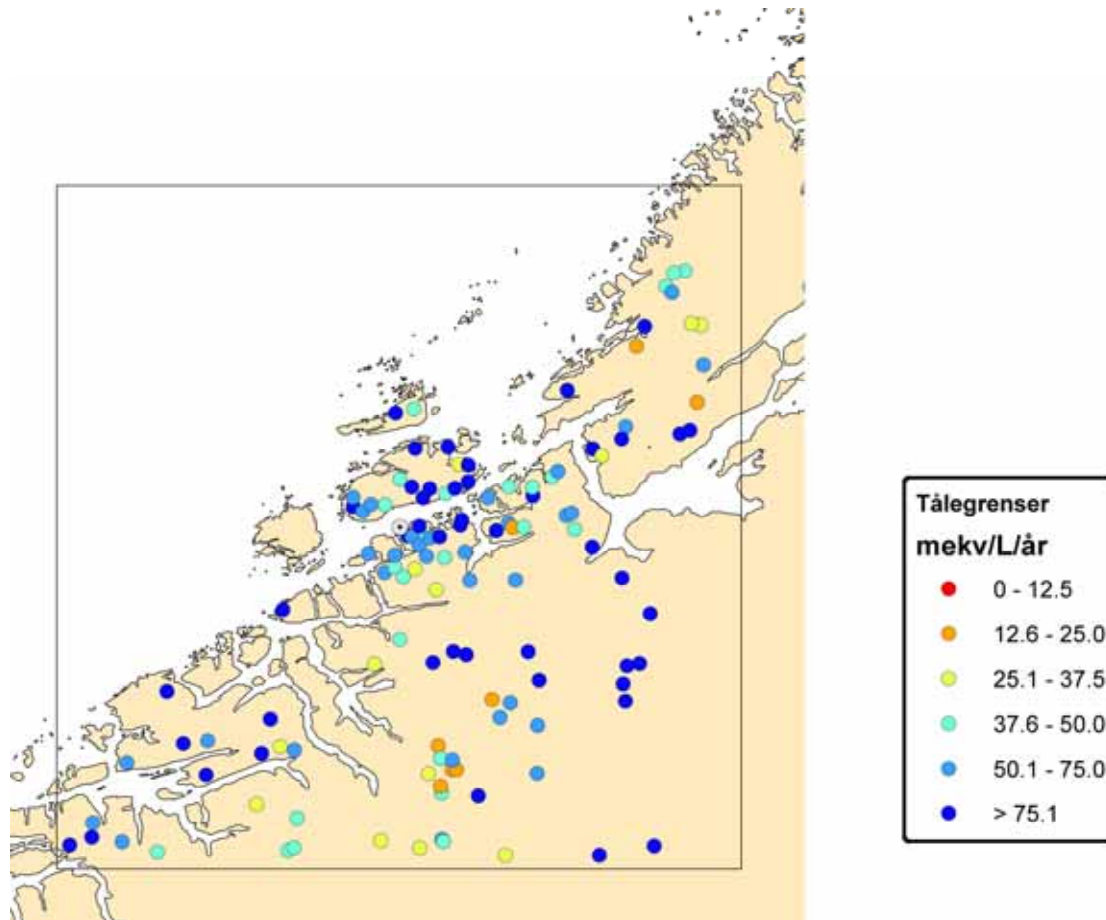


**Figur 10.** Vannkjemiske trender i Lok. 20 Skardvatn i Aure. Innsjøen har vært med i Statlig program for forurensningsovervåking fra 1986.

Belastningen med sur nedbør i denne landsdelen er svært lav og nærmer seg det man kan forvente som naturlig bakgrunnskonsentrasjon. Sulfatkonsentrasjonene har vist en svak fallende trend i løpet av de siste 16 årene (Figur 10). I samme periode har det også vært en liten økning i pH og ANC. Dette mønsteret reflekterer reduserte svovelutslipp generelt i Europa (SFT 2002). Nitratverdiene er lave, men hadde en stigende tendens til 1999. De siste 3 årene har verdiene vært under halvparten av 1999-konsentrasjonen. Nitrat er ubetydelig som bidrag til foruring i Skardvatn.

## 4. Tålegrenser for forsurening

Tålegrenser for innsjøene i denne undersøkelsen samt andre innsjøer i området (data fra Statens program for forurensningsovervåking) er beregnet og presentert i Figur 11. Tålegrensene er beregnet ved hjelp av SSWC modellen () og middelverdien for alle år benyttet som datagrunnlag. Tålegrensene er generelt relativt lave. Av de 123 innsjøene som er prøvetatt har 9 vann tålegrense under 25 meq/m<sup>2</sup>/år og ytterligere 37 vann under 50 meq/m<sup>2</sup>/år. Dagens nedfall i området er til sammenligning estimert til å være 20-50 meq/m<sup>2</sup>/år (Hole og Tørseth, 2002).

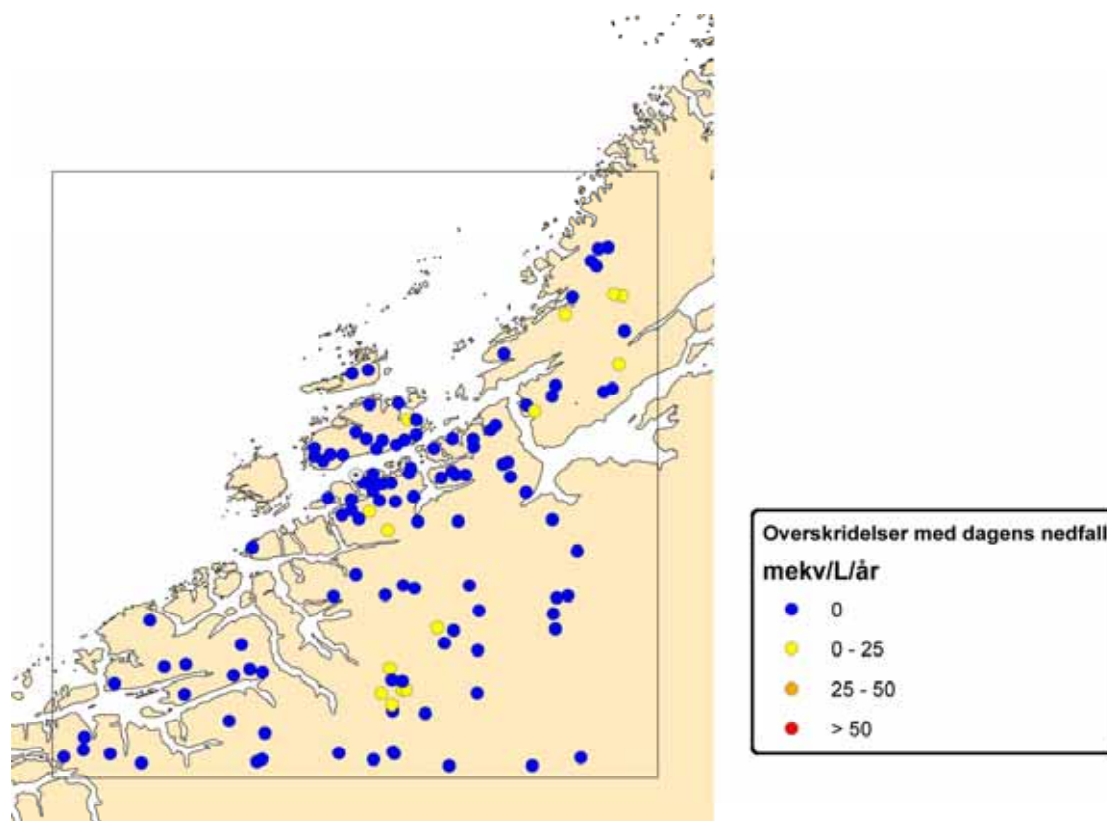


**Figur 11.** Tålegrenser for forsurening av overflatevann i området rundt Tjeldbergodden. Hver prikk representerer en innsjø. Blant disse inngår innsjøene i denne undersøkelsen, pluss en rekke lokaliteter fra Statlig program for forurensningsovervåking (SFT 2002).

Overskridelser av tålegrensene ved dagens nedfall er presentert i Figur 12. Tilsammen 13 av de 123 vannene har overskredne tålegrenser ved dagens nedfall. Overskridelsene er relativt små. Største overskridelse er 23 meq/m<sup>2</sup>/år ved dagens nedfall.

Samlet sett inneholder området mange forsureningsfølsomme vannforekomster, men lav belastning av sur nedbør medfører at vannkvaliteten generelt er god. Overvåkingen i området har til nå ikke kunne påvise økt forsurening som følge av luftutslipp fra metanolfabrikken. En moderat økning i sur nedbør belastningen kan imidlertid gi forsureningseffekter i de mest følsomme vannforekomstene.





**Figur 12.** Overskridelser av tålegrenser for forsurening av overflatevann i området rundt Tjeldbergodden ved dagens nitrogen- og svovelnedfall samt dagens nitrogenavrenning.

## 5. Konklusjoner

Måleprogrammet har gått sammenhengende fra mai 1993 til mai 2000. I løpet av denne perioden har vi ikke kunnet påvise noen systematisk endring i nitrogeninnholdet i innsjøenes avrenning, verken for totalt nitrogen eller nitrat-nitrogen. Generelt for regionen gjelder at vassdragene er lite påvirket av forsuring, og at vi kan spore en svak reduksjon i mengden ikke-marint sulfat. En del av innsjøene har lav tålegrense for forsuring, men for de aller fleste av dem er tålegrensene ikke overskredet. Overskridelsene som er registrert er små.

Hovedlokalitetene Reinsjøen og Terningvatn er vannkjemisk sett ganske like. Vannkjemien er preget av variasjoner i mengden ioner som har marin opprinnelse (deposisjon av sjøsalter). Dette er naturlig i slike kystnære vassdrag. I løpet av perioden 1993-2000 har det skjedd en reduksjon i ioner av marin opprinnelse, og en meget svak reduksjon i konsentrasjon av ikke-marin sulfat i de to hovedlokalitetene. Det synes vesentlig å være svingninger i deposisjon av sjøsalter som forårsaker vannkjemiske variasjoner. I referanselokaliteten Øvre Neådalsvatn er årstidsvariasjon mest fremtredende, noe som henger sammen med innsjøens beliggenhet lengre inn i landet og høyere opp i fjellet.

Nitrogenmengdene som er målt i innsjøene svinger dels med årstidene, men det har også vært en betydelig variasjon mellom år. Det har ikke vært noen tegn til økt innhold av nitrat eller total-nitrogen i avrenningen etter at metanolfabrikken startet opp i 1997.

## 6. Henvisninger

- Haugsbakk, I. 1997. Førundersøkelse av nedbørkvaliteten ved Tjeldbergodden i Aure kommune. Mai 1996-april 1997. NILU Rapport nr. OR59/97.
- Henriksen, A., L. Lien, T.S. Traaen og S. Taubøll. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Naturens tålegrenser, Rapport 34. NIVA-rapport, Lnr. 2819, 29 s.
- Hindar, A., A. Henriksen, K. Tørseth og L. Lien. 1993. Betydningen av sjøsaltanriket nedbør i vassdrag og mindre nedbørfelt. Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993. NIVA-rapport, Lnr. 2917, 42 s.
- Hobæk, A. 2000. Overvåking av vannkvalitet i ferskvann ved Tjeldbergodden. Mai 1996 - april 1997. NIVA-rapport, Lnr. 4175-00. 25 s.
- Hobæk, A., L. Lien og T.M. Johnsen. 1994. Miljøovervåking Tjeldbergodden. Delprosjekt A2 ferskvann. Resultater fra grunnlagsundersøkelser 1993. NIVA-rapport Lnr. 3108. 24 s.
- Hole, L. R. and Tørseth, K. 2002. Deposition of major inorganic compounds in Norway 1978-1982 and 1997-2001: status and trends. Naturens tålegrenser 115. OR 61/2002, NILU, Kjeller. 72 pp.
- Knudsen, S. & M. Johnsrud. 1996. Førundersøkelse av luftforurensningssituasjonen på Tjeldbergodden i Aure kommune. Mai 1993-april 1994. NILU Rapport nr. OR32/96.
- Johnsrud, M. & S. Knudsen. 1996. Førundersøkelse av luftforurensningssituasjonen på Tjeldbergodden i Aure kommune. Mai 1994-april 1996. NILU Rapport nr. OR49/96.
- SFT. 2002. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 2001. Statlig program for forurensningsovervåking Rapport 854/02, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norge. 194 pp.
- Thomassen, J. (red.) 1995. Miljøovervåking Tjeldbergodden. Etablering av overvåkingsprogram 1993-1994. NINA Oppdragsmelding 376: 20 s.

## Vedlegg A.

Vannkjemiske resultater fra perioden mai 1997 – april 2000. Resultatene fra de tre hovedlokalitetene Reinsjøen (Lok. 1), Terningvatn (Lok. 2) og Øvre Neådalsvatn (Lok. 3) er satt opp i hver sin tabell, mens resultatene fra Høstundersøkelsen utgjør tabellene 4, 5 og 6.

I tabellene er det brukt følgende parametre og koder:

Kode	Parameter	Enhet	Analysemetode
pH	Surhetsgrad	-	Potensiometri
Kond	Elektrisk ledningsevne	mS/m	Elektrometri
Alk	Alkalitet	µekv/l	Potensiometriske titrering til pH = 4,5
Cl	Klorid	mg/l	Ionekromatografi
SO <sub>4</sub>	Sulfat	mg/l	Ionekromatografi
NO <sub>3</sub> -N	Nitrat-nitrogen	µg N/l	Automatisert kolorimetri
Tot-N	Total-nitrogen	µg N/l	Fotometri (AA)
Ca	Kalsium	mg/l	ICP (induktivt koblet plasma-atomemisjon)
Mg	Magnesium	mg/l	ICP
Na	Natrium	mg/l	ICP
K	Kalium	mg/l	ICP
RAI	Reaktivt Aluminium	µg/l	Automatisert kolorimetri
IIAI	Ikke Labil Aluminium	µg/l	Automatisert kolorimetri
LA1	Labil Alimium	µg/l	Beregnes ved differensen mellom Ral og IIAI
TOC	Totalt organisk karbon	mg/l	Oksidasjon til CO <sub>2</sub> og måling med IR-detektor

**Vedleggstabell 1.** Vannkjemiske målinger i utløpet av Reinsjøen (St. 1) i perioden mai 1997- mai 2000.

Dato	pH	Kond mS/m	Alk µekv/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> -N µg/L	Tot-N µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	RAI µg/L	IIAI µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L
29.05.97	5,92	4,34	12	9,8	1,9	47	149	0,81	0,74	5,44	0,31	42	40	2	2,6
12.06.97	6,04	4,37	19,7	9,9	2,0	40	138	0,71	0,70	5,57	0,30	37	37	0	2,5
24.06.97	5,97	4,37	15,3	9,8	2,2	35	138	0,80	0,72	5,35	0,28	39	33	6	2,6
08.07.97	5,99	4,3	21,8	9,8	2,0	27	128	0,75	0,74	5,26	0,29	42	36	6	2,5
30.07.97	5,98	4,31	27,2	9,9	2,0	17	185	0,81	0,77	5,53	0,32	37	30	7	2,6
13.08.97	6,50	4,33	28,2	9,9	2,1	17	125	0,79	0,76	5,14	0,29	35	32	3	2,4
27.08.97	6,38	4,35	32,5	9,9	2,0	9	114	0,85	0,73	5,10	0,27	31	31	0	2,1
04.09.97	6,37	4,38	34,6	9,8	2,0	13	107	0,95	0,80	5,17	0,29	31	32	-1	2,2
15.09.97	6,13	4,28	25	9,9	2,0	33	132	0,81	0,76	5,45	0,27	32	30	2	2,5
22.09.97	5,89	4,36	25	9,8	2,0	33	135	0,77	0,76	5,25	0,28	43	43	0	2,7
23.10.97	6,02	4,24	22,9	10,0	2,1	34	132	0,90	0,76	5,12	0,27	39	37	2	2,7
18.11.97	5,92	4,16	16,4	9,6	2,0	38	128	0,83	0,77	5,87	0,30	40	36	4	2,8
10.12.97	6,12	4,15	25	9,5	2,0	38	147	0,80	0,74	5,27	0,31	39	37	2	2,5
22.12.97		4,14	22,9	9,6	2,0	42	116	0,77	0,74	5,30	0,30	35	29	6	2,6
29.12.97	6,27	3,90	34,6	8,9	2,1	42	220	0,97	0,68	5,12	0,39	55	51	4	3,4
12.01.98	6,18	4,00	30,4	8,8	2,0	42	220	0,96	0,69	5,33	0,36	46	45	1	3,8
20.01.98	6,14	4,15	25	9,7	2,1	42	132	0,81	0,76	5,38	0,27	37	34	3	2,6
16.02.98	6,05	4,00	21,8	9,5	2,0	41	134	0,80	0,72	5,48	0,28	36	34	2	2,4
05.03.98	6,05	3,95	21,8	9,4	2,0	40	129	0,79	0,71	5,81	0,29	38	40	-2	2,7
26.03.98	5,98	3,96	18,6	9,5	1,9	40	122	0,71	0,72	5,30	0,25	41	41	0	2,5
15.04.98	5,97	3,99	22,9	9,6	2,0	42	122	0,80	0,68	5,31	0,25	39	40	-1	2,7
06.05.98	6,18	3,94	25	9,4	2,0	38	125	0,81	0,68	5,24	0,27	41	36	5	2,7
25.05.98	6,04	3,94	21,8	9,6	2,0	34	150	0,91	0,62	4,78	0,25	48	48	0	3,5
06.07.98	6,15	3,60	22,9	9,2	1,9	29	160	0,80	0,69	5,02	0,32	38	37	1	2,8
28.07.98	6,16	4,13	29,3	9,3	2,0	21	215	0,81	0,66	4,93	0,20	41	29	12	3,1
11.08.98	6,01	3,97	27,2	9,0	1,9	18	147	0,79	0,67	4,82	0,25	43	41	2	3,0
07.09.98	6,26	3,91	21,8	8,4	1,8	22	149	0,73	0,65	4,74	0,21	45	45	0	3,3
13.10.98	6,07	3,84	19,7	8,6	1,7	29	135	0,74	0,74	4,77	0,25	43	42	1	2,8
27.10.98	6,15	3,92	22,9	8,9	1,9	35	210	0,78	0,68	4,84	0,27	45	43	2	2,7
26.11.98	6,34	4,09	27,2	8,9	1,9	41	149	0,79	0,68	4,88	0,28	41	35	6	2,8
10.12.98	6,06	3,98	22,9	8,6	1,9	42	134	0,72	0,68	4,86	0,28	45	40	5	2,6
15.02.99	6,22	4,09	30,4	9,0	2,0	40	132	0,94	0,72	4,98	0,30	45	41	4	2,6
02.03.99	6,05	3,43	26,1	7,2	1,7	77	370	0,73	0,63	3,96	0,26	35	30	5	2,4
12.04.99	6,05	4,04	22,9	8,5	1,8	42	155	0,80	0,70	4,90	0,27	48	43	5	2,7
23.05.99	6,04	4,01	20,7	8,8	1,9	40	150	0,76	0,67	4,83	0,30	43	40	3	2,5
08.06.99	6,01	3,91	18,6	7,9	1,7	42	131	0,75	0,66	4,94	0,27	40	41	-1	2,6
12.07.99	6,29	3,81	22,9	8,5	1,7	31	140	0,77	0,69	4,53	0,25	40	43	-3	2,7
21.08.99	5,90	3,85	22,9	8,3	1,7	16	147	0,89	0,67	4,46	0,28	44	45	-1	3,0
28.09.99	6,14	3,84	22,9	8,4	1,8	29	141	0,78	0,65	4,59	0,28	38	38	0	3,0
11.01.00	6,10	3,91	18,6	8,9	1,9	41	144	0,74	0,66	4,54	0,25	45	42	3	2,6
26.01.00	6,17	4,07	25	9,0	1,9	40	355	0,88	0,69	4,78	0,27	40	37	3	2,6
08.02.00	6,10	4,17	24	9,2	1,9	40	155	0,81	0,72	4,73	0,28	42	41	1	2,7
23.02.00	6,12	4,07	19,7	9,3	1,9	43	132	0,81	0,68	4,88	0,25	41	39	2	2,6
08.03.00	6,41	5,81		12,6	2,4	36	165	0,93	1,07	7,00	0,42	32	32	0	2,3
25.04.00	5,95	4,18	14,2	9,6	1,9	42	126	0,80	0,73	4,87	0,26	40	39	1	2,6
26.05.00	6,28	4,27	13,1	9,6	1,8	37	126	0,78	0,74	4,93	0,31	38	29	9	2,4

**Vedleggstabell 2.** Vannkjemiske målinger i utløpet av Terningvatn (St. 2) i perioden mai 1997- mai 2000.

Dato	pH	Kond mS/m	Alk µekv/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> -N µg/L	Tot-N µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	RAI µg/L	IIAI µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L
12.05.97	6,06	4,2	24,0	9,2	2,0	42	137	0,98	0,67	5,21	0,32	53	48	5	3,2
26.05.97	6,19	4,2	27,2	9,2	1,8	42	155	1,00	0,71	5,70	0,31	51	45	6	2,8
09.06.97	6,21	4,4	36,7	9,4	1,9	35	330	0,94	0,65	5,10	0,30	54	47	7	3,7
07.07.97	6,18	4,1	28,2	9,1	2,0	25	128	0,96	0,70	4,98	0,29	21	11	10	3,1
21.07.97	6,23	4,1	35,7	9,1	2,0	12	128	0,95	0,67	4,72	0,30	48	45	3	3,1
04.08.97	6,36	4,1	34,6	9,4	2,0	12	125	0,95	0,66	4,69	0,31	10	7	3	3,0
18.08.97	6,07	4,1	32,5	9,0	1,9	4	126	1,02	0,70	5,29	0,29	42	44	-2	3,0
01.09.97	6,28	4,1	33,5	9,1	2,0	13	150	1,04	0,69	5,28	0,31	43	43	0	2,9
15.09.97	6,12	4,2	31,4	9,3	2,0	21	170	0,93	0,68	4,83	0,28	52	52	0	3,3
29.09.97	6,17	4,1	31,4	9,0	2,1	22	137	0,90	0,66	4,70	0,27	56	58	-2	3,6
13.10.97	6,04	4,1	28,2	9,2	2,0	45	170	0,99	0,70	4,88	0,30	51	48	3	3,5
27.10.97	6,05	4,0	25,0	9,1	2,0	38	138	0,96	0,69	4,76	0,27	63	54	9	3,3
10.11.97	6,08	4,0	29,3	8,9	2,0	38	155	0,95	0,68	5,23	0,31	57	61	-4	3,6
24.11.97	6,14	4,1	31,4	8,6	1,9	43	270	0,95	0,70	5,23	0,44	55	48	7	3,5
01.12.97	6,04	4,0	32,5	8,8	2,0	38	150	0,92	0,67	4,92	0,34	54	51	3	3,7
15.12.97	5,79	4,0	29,3	8,9	2,1	42	170	0,91	0,67	4,96	0,35	49	40	9	3,6
26.01.98	6,08	4,0	27,2	9,4	2,2	44	195	0,98	0,69	5,43	0,31	62	63	-1	4,1
09.02.98	5,99	4,3	27,2	10,1	2,2	43	135	1,06	0,82	6,42	0,33	64	65	-1	3,7
23.02.98	6,04	3,8	29,3	8,7	2,0	37	135	0,96	0,65	5,25	0,27	54	55	-1	3,1
09.03.98	5,98	6,3	24,0	9,2	2,0	38	138	1,01	0,75	5,66	0,34	59	62	-3	3,8
23.03.98	6,07	3,8	25,0	8,8	1,9	38	140	0,90	0,64	5,01	0,29	54	53	1	3,2
06.04.98	6,08	3,9	30,4	8,9	2,0	38	135	0,94	0,63	5,02	0,27	52	54	-2	3,3
20.04.98	6,34	3,8	30,4	8,3	1,8	38	135	0,91	0,63	5,06	0,28	48	36	12	3,3
04.05.98	6,11	3,9	28,2	8,8	2,0	38	150	0,82	0,69	5,27	0,27	59	56	3	3,2
18.05.98	6,06	3,8	29,3	8,8	2,0	39	126	0,91	0,66	4,81	0,26	52	51	1	3,2
01.06.98	6,19	3,8	29,3	8,7	1,9	34	134	0,88	0,62	4,73	0,30	52	54	-2	3,5
15.06.98	6,32	3,8	29,3	7,9	1,7	34	144	0,91	0,63	4,73	0,28	55	55	0	3,2
29.06.98	6,17	3,6	28,2	8,4	1,9	27	140	0,93	0,65	4,67	0,28	49	53	-4	3,2
13.07.98	6,21	3,6	30,4	8,4	1,9	26	135	0,99	0,63	4,64	0,28	44	46	-2	3,1
11.08.98	6,00	3,7	33,5	8,0	1,8	20	160	1,01	0,59	4,45	0,26	64	56	8	3,9
24.08.98	6,41	3,7	31,4	7,8	1,8	23	160	0,89	0,58	4,39	0,24	73	72	1	4,4
07.09.98	6,34	3,7	31,4	7,6	1,8	24	190	0,93	0,58	4,38	0,31	52	53	-1	4,2
21.09.98	6,35	3,7	32,5	7,8	1,8	24	230	0,91	0,58	4,50	0,38	64	63	1	4,1
05.10.98	6,00	3,6	26,1	7,7	1,8	27	175	0,91	0,58	4,45	0,30	57	59	-2	4,1
19.10.98	6,07	3,6	28,2	8,5	2,0	27	146	0,90	0,60	4,45	0,26	52	50	2	4,1
02.11.98	6,20	3,8	27,2	8,2	1,9	36	143	0,92	0,61	4,58	0,29	64	59	5	3,5
16.11.98	6,26	3,9	29,3	8,3	2,0	38	160	0,92	0,63	4,66	0,28	57	54	3	3,6
30.11.98	6,25	3,8	30,4	8,3	2,0	40	147	0,90	0,64	4,68	0,27	54	52	2	3,9
14.12.98	6,17	4,0	24,0	8,7	1,9	41	150	0,91	0,66	4,83	0,28	58	50	8	3,6
28.12.98	6,14	3,9	27,2	8,3	1,9	40	200	0,96	0,64	4,73	0,30	61	50	11	3,4
11.01.99	6,36	3,9	36,7	8,2	1,9	41	149	1,00	0,63	4,54	0,29	56	54	2	3,5
25.01.99	6,08	4,0	27,2	8,4	1,9	46	138	0,94	0,64	4,66	0,27	68	70	-2	3,4
08.02.99	6,07	3,8	22,9	8,0	1,8	38	150	0,90	0,61	4,49	0,28	64	65	-1	3,3
22.02.99	6,09	4,0	24,0	8,5	1,8	38	138	0,96	0,65	4,68	0,28	63	62	1	3,3
08.03.99	6,09	4,0	22,9	8,5	1,8	38	165	0,93	0,65	4,79	0,28	58	56	2	3,6
05.04.99	5,92	3,8	22,9	8,3	1,8	39	143	0,90	0,65	4,72	0,31	60	59	1	3,1

Tabellen fortsetter neste side

Vedleggstabell 2 fortsatt

Dato	pH	Kond mS/m	Alk µekv/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> -N µg/L	Tot-N µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	RAI µg/L	IIAI µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L
19.04.99	6,01	3,8	22,9	8,2	1,8	39	135	0,93	0,63	4,60	0,31	55	53	2	3,1
03.05.99	6,59	3,9	34,6	8,1	1,8	40	144	0,88	0,63	4,61	0,28	54	55	-1	3,2
17.05.99	6,07	3,7	20,7	8,0	1,8	42	143	0,90	0,62	4,17	0,29	58	55	3	3,3
31.05.99	6,12	3,7	21,8	7,9	1,8	38	135	0,86	0,61	4,18	0,27	57	55	2	3,3
14.06.99	6,12	3,7	22,9	7,9	1,8	37	135	0,91	0,61	4,16	0,27	56	55	1	3,4
28.06.99	5,91	3,7	25,0	7,7	1,7	31	135	0,89	0,60	4,21	0,27	57	55	2	3,2
12.07.99	6,12	3,8	25,0	7,9	1,8	36	220	0,91	0,62	4,31	0,33	54	51	3	3,2
26.07.99	6,11	3,6	25,0	7,3	1,7	21	170	0,86	0,58	4,08	0,28	54	51	3	3,7
09.08.99	6,14	3,6	25,0	7,3	1,7	21	155	0,87	0,58	4,07	0,28	53	51	2	3,7
23.08.99	6,10	3,5	29,3	7,6	1,8	18	141	0,87	0,58	4,26	0,26	51	45	6	3,5
06.09.99	6,10	3,5	30,4	7,4	1,7	15	140	0,88	0,58	4,22	0,26	50	48	2	3,5
20.09.99	6,19	3,6	29,3	7,7	1,8	23	165	0,87	0,59	4,33	0,28	54	46	8	3,5
04.10.99	6,14	3,7	27,2	7,8	1,7	33	160	0,86	0,58	4,38	0,27	58	54	4	3,4
18.10.99	6,11	3,7	27,2	6,7	1,5	35	144	0,86	0,60	4,40	0,27	59	53	6	3,4
01.11.99	6,14	3,7	29,3	7,8	1,8	35	146	0,86	0,60	4,43	0,27	58	52	6	3,3
15.11.99	6,14	3,9	29,3	7,1	1,5	39	185	0,94	0,65	4,64	0,28	54	53	1	3,1
29.11.99	6,08	4,1	20,7	8,9	1,8	38	155	0,93	0,73	4,91	0,26	57	56	1	3,2
13.12.99	5,99	4,1	21,8	8,7	1,8	37	150	0,91	0,71	4,81	0,27	61	59	2	3,3
07.02.00	6,01	4,1	19,7	9,3	1,9	40	138	0,91	0,71	4,69	0,28	59	58	1	2,9
06.03.00	6,03	4,4	19,7	10,0	2,0	40	138	1,02	0,76	4,93	0,30	60	59	1	3,1

**Vedleggstabell 3.** Vannkjemiske målinger i utløpet av Øvre Neådalsvatn (St. 3) i perioden mai 1997-mai 2000.

Dato	pH	Kond mS/m	Alk µekv/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> -N µg/L	Tot-N µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	RAI µg/L	IIAI µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L
17.05.97	6,12	2,78	30,4	5,4	1,5	51	102	1,14	0,45	2,82	0,27	22	17	5	0,85
25.05.97	5,96	2,95	33,5	6,1	1,4	52	96	1,21	0,48	2,87	0,28	16	13	3	0,71
31.05.97	5,82	2,65	29,3	5,4	1,2	48	87	1,04	0,42	2,43	0,25	17	13	4	0,70
07.06.97	5,83	2,21	21,8	4,7	1,0	48	95	0,89	0,35	2,10	0,22	18	17	1	0,66
14.06.97	5,88	1,47	14,2	2,8	0,9	31	62	0,46	0,20	1,44	0,15	13	11	2	0,41
21.06.97	5,97	1,35	17,5	2,4	0,7	29	54	0,51	0,21	1,26	0,14	13	<10	3	0,41
28.06.97	6,07	1,13	18,6	1,9	0,7	22	54	0,45	0,17	1,07	0,13	11	<10	1	0,37
06.07.97	6,12	0,91	16,4	1,5	0,6	21	48	0,33	0,12	0,84	0,11	<10	<10	0	0,36
21.07.97	6,17	0,70	16,4	1,1	0,5	12	41	0,25	0,08	0,67	0,10	<5	<5	0	0,47
27.07.97	6,33	0,69	16,4	0,9	0,5	9	50	0,31	0,09	0,64	0,12	<5	<5	0	0,68
03.08.97	6,15	0,70	20,7	0,9	0,6	4	44	0,28	0,08	0,60	0,11	7	6	1	0,58
09.08.97	6,32	0,70	24,0	0,9	0,6	<1	54	0,29	0,09	0,66	0,11	<5	<5	0	1,2
16.08.97	6,19	0,67	20,7	0,8	0,6	8	48	0,27	0,08	0,61	0,12	8	6	2	0,42
29.08.97	6,21	0,70	25,0	0,9	0,6	<1	48	0,29	0,08	0,62	0,11	7	7	0	0,27
13.09.97	6,03	0,86	21,8	1,0	0,5	8	60	0,35	0,10	0,70	0,11	10	10	0	0,91
14.09.97	6,46	0,74	25,0	0,9	0,5	4	59	0,36	0,10	0,64	0,10	12	11	1	1,2
24.09.97	6,24	0,59	20,7	0,7	0,4	4	72	0,32	0,08	0,51	0,09	15	14	1	5,0
10.10.97	6,32	0,73	27,2	0,9	0,5	4	50	0,44	0,09	0,62	0,11	11	12	-1	0,73
14.11.97	6,08	1,04	27,2	1,4	0,7	16	53	0,57	0,16	0,81	0,17	11	8	3	0,72
01.12.97	6,04	1,04	31,4	1,4	0,7	21	60	0,76	0,16	0,84	0,19	15	19	-4	0,76
16.12.97	6,27	1,12	37,8	1,6	0,9	29	57	0,70	0,18	0,89	0,17	9	10	-1	0,84
28.12.97	6,26	1,12	38,8	1,5	0,9	25	57	0,69	0,18	0,90	0,18	9	7	2	0,81
16.01.98	6,28	1,18	39,9	1,6	0,9	34	113	0,76	0,19	0,97	0,19	10	7	3	0,68
07.02.98	6,23	1,24	44,1	1,5	1,1	40	66	0,88	0,19	1,03	0,20	13	9	4	0,72
20.02.98	6,20	1,35	26,1	2,4	0,8	54	96	0,75	0,22	1,24	0,20	15	13	2	1,3
06.03.98	5,86	1,32	27,2	2,2	0,7	42	78	0,69	0,20	1,14	0,17	14	13	1	1,0
30.03.98	6,35	1,35	43,0	1,9	1,1	57	78	0,91	0,21	1,08	0,18	12	8	4	0,52
13.04.98	6,09	1,81	45,1	3,0	1,2	51	90	1,06	0,29	1,62	0,28	11	<5	6	0,62
16.04.98	6,11	1,69	40,9	2,7	1,2	51	78	1,05	0,27	1,52	0,21	12	9	3	0,44
01.05.98	6,11	2,06	27,2	4,0	0,9	56	81	0,88	0,32	1,83	0,21	12	14	-2	0,74
11.05.98	6,21	1,64	28,2	3,2	0,8	47	80	0,82	0,27	1,54	0,18	11	6	5	0,57
16.05.98	6,04	1,41	25,0	2,7	0,6	39	74	0,64	0,24	1,35	0,14	14	10	4	0,61
31.05.98	6,09	1,33	37,8	2,0	1,0	35	68	0,78	0,21	1,14	0,18	11	8	3	0,64
06.06.98	6,14	1,19	27,2	2,0	0,7	35	65	0,63	0,19	1,04	0,13	13	10	3	0,64
21.06.98	6,15	0,98	27,2	1,6	0,7	34	71	0,46	0,14	0,85	0,14	9	8	1	0,54
05.07.98	6,25	0,63	19,7	0,8	0,5	17	57	0,33	0,08	0,59	0,09	11	8	3	0,55
18.07.98	6,30	0,62	21,8	0,7	0,5	9	45	0,38	0,08	0,60	0,09	8	5	3	0,49
25.07.98	6,45	0,63	26,1	0,7	0,5	15	48	0,40	0,08	0,59	0,09	7	7	0	0,53
09.08.98	6,24	0,63	22,9	0,6	0,5	4	50	0,33	0,08	0,59	0,08	7	7	0	0,71
25.08.98	6,20	0,63	22,9	0,5	0,5	4	50	0,36	0,09	0,59	0,09	14	12	2	0,96
04.09.98	6,46	0,66	26,1	0,6	0,5	4	53	0,44	0,09	0,61	0,06	10	8	2	0,77
13.09.98	6,47	0,73	29,3	0,7	0,6	3	69	0,46	0,09	0,67	0,11	9	8	1	0,75
23.09.98	6,44	0,73	28,2	0,7	0,6	7	96	0,40	0,09	0,64	0,16	14	12	2	1,1
04.10.98	6,40	0,72	28,2	0,7	0,6	3	53	0,49	0,10	0,65	0,15	13	13	0	0,78
30.10.98	6,46	0,81	31,4	0,9	0,7	5	170	0,54	0,12	0,70	0,13	13	10	3	0,82

Tabellen fortsetter



Vedleggstabell 3 fortsatt

Dato	pH	Kond mS/m	Alk µekv/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> -N µg/L	Tot-N µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	RAI µg/L	IIAI µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L
24.11.98	6,33	1,05	37,8	1,0	0,9	24	63	0,67	0,15	0,83	0,18	14	12	2	0,76
02.01.99	6,26	1,12	42,0	1,1	1,0	39	90	0,89	0,17	0,90	0,18	12	7	5	0,65
25.02.99	6,31	1,32	43,0	1,5	1,2	41	83	0,89	0,19	1,05	0,21	11	7	4	0,67
11.03.99	6,27	1,28	46,2	1,2	1,1	39	74	0,90	0,19	0,97	0,20	12	7	5	0,62
31.03.99	6,21	1,42	47,2	1,6	1,3	46	77	0,96	0,20	1,08	0,21	14	11	3	0,57
11.04.99	5,88	2,18	16,4	4,6	0,9	59	110	0,77	0,35	2,19	0,24	23	17	6	0,76
25.04.99	6,14	1,92	27,2	3,5	1,0	57	89	0,90	0,31	1,71	0,22	13	10	3	0,58
10.05.99	6,18	1,60	30,4	2,7	0,9	51	95	0,89	0,27	1,44	0,24	14	12	2	0,60
24.05.99	5,99	0,97	15,3	1,6	0,5	30	63	0,51	0,13	0,86	0,14	14	13	1	0,50
30.05.99	6,20	0,99	19,7	1,5	0,6	29	57	0,50	0,13	0,84	0,16	13	11	2	0,56
07.06.99	6,05	1,00	25,0	1,4	0,6	34	62	0,53	0,13	0,85	0,15	11	9	2	0,60
13.06.99	6,05	0,88	17,5	1,2	0,6	25	54	0,48	0,12	0,78	0,14	8	7	1	0,52
20.06.99	6,15	0,77	17,5	1,0	0,5	21	60	0,41	0,10	0,70	0,13	8	6	2	0,43
27.06.99	6,25	0,72	17,5	0,9	0,5	11	50	0,40	0,09	0,70	0,12	7	6	1	0,52
03.07.99	6,29	0,69	18,6	0,8	0,5	8	42	0,40	0,10	0,67	0,11	8	7	1	0,52
12.07.99	6,36	0,73	24,0	0,8	0,5	7	50	0,40	0,09	0,67	0,10	<5	<5	0	0,54
18.07.99	6,33	0,71	26,1	0,8	0,5	<1	69	0,40	0,09	0,65	0,09	11	9	2	1,0
24.07.99	6,31	0,65	21,8	0,6	0,5	4	50	0,40	0,09	0,63	0,03	10	10	0	0,98
31.07.99	6,40	0,66	29,3	0,6	0,5	4	65	0,41	0,09	0,61	0,11	12	13	-1	1,0
05.08.99	6,50	0,78	32,5	0,7	0,6	4	75	0,51	0,10	0,70	0,17	11	10	1	0,88
08.08.99	6,50	0,69	26,1	0,6	0,5	4	54	0,42	0,09	0,65	0,11	10	9	1	0,79
15.08.99	6,32	0,71	22,9	0,7	0,6	<1	57	0,43	0,10	0,66	0,12	13	9	4	0,86
22.08.99	6,06	0,72	26,1	0,7	0,6	<1	63	0,47	0,10	0,68	0,12	11	9	2	0,96
29.08.99	6,37	0,73	27,2	0,6	0,6	4	57	0,46	0,10	0,67	0,14	12	10	2	0,91
12.09.99	6,34	0,83	34,6	0,7	0,6	<1	71	0,50	0,11	0,72	0,15	13	12	1	0,82
26.09.99	6,35	0,82	31,4	0,7	0,7	<1	59	0,56	0,11	0,72	0,16	11	10	1	0,91
10.10.99	6,44	0,88	34,6	0,8	0,8	<1	65	0,55	0,12	0,73	0,17	11	10	1	1,1
17.10.99	6,40	0,90	34,6	0,8	0,7	3	84	0,60	0,13	0,77	0,17	12	11	1	1,0
31.10.99	6,37	0,93	33,5	0,9	0,7	8	63	0,64	0,14	0,79	0,16	17	12	5	0,9
11.11.99	6,35	0,94	31,4	1,0	0,7	12	63	0,63	0,14	0,79	0,16	110	56	54	0,83
22.11.99	6,30	0,91	30,4	1,0	0,6	16	65	0,54	0,13	0,76	0,16	15	13	2	0,84
07.01.00	6,18	1,18	45,1	1,2	1,0	28	75	0,80	0,17	0,84	0,19	12	9	3	0,62
07.02.00	6,17	1,41	54,6	1,3	1,2	33	80	0,96	0,19	0,94	0,19	9	8	1	0,57
23.02.00	6,19	1,41	47,2	1,5	1,2	34	68	1,00	0,21	1,09	0,22	13	10	3	0,61
02.03.00	6,27	1,38	43,0	1,6	1,2	35	75	0,95	0,20	1,02	0,22	14	10	4	0,62
28.03.00	6,06	2,17	47,2	3,3	1,5	40	96	1,30	0,35	2,00	0,29	12	12	0	0,70
11.04.00	6,10	2,21	49,3	3,7	1,6	40	83	1,34	0,35	1,97	0,27	17	12	5	0,62
21.04.00	6,06	2,26	50,4	3,4	1,5	42	83	1,27	0,35	1,95	0,27	17	12	5	0,69
04.05.00	5,92	3,33	9,8	7,7	1,2	39	78	1,12	0,57	3,30	0,31	20	12	8	0,54
15.05.00	5,82	2,47	9,8	5,5	0,9	30	65	0,83	0,40	2,58	0,22	20	13	7	0,58
22.05.00	6,01	2,23	18,6	4,7	0,9	33	65	0,75	0,34	2,24	0,26	16	11	5	0,56

**Vedleggstabell 4.** Vannkjemiske målinger fra høstundersøkelsen 1997 (lok. 4-36).

LOK	Dato	pH	Kond mS/m	Alk µekv/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> -N µg/L	Tot-N µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	RAI µg/L	IIAI µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L
4	29.11.97	5,97	8,37	33,5	20,0	3,4	21	185	1,44	1,51	11,20	0,54	73	66	7	6,9
5	29.11.97	5,80	9,78	29,3	23,6	4,0	16	255	1,44	1,73	13,60	0,68	99	97	2	10,4
6	29.11.97	6,11	7,99	36,7	20,5	3,4	16	190	1,40	1,39	10,80	0,52	82	74	8	7,1
7	29.11.97	6,01	5,50	21,8	13,6	2,5	33	131	0,84	0,95	7,20	0,32	37	28	9	2,7
8	14.12.97	5,73	3,02	31,4	5,8	1,8	13	265	0,45	0,42	4,25	0,13	43	45	-2	7,4
9	29.11.97	6,57	4,69	67,1	9,7	2,3	12	170	1,57	0,82	5,87	0,29	47	42	5	6,2
10	14.11.97	5,76	4,78	32,5	9,9	2,6	4	205	0,93	0,75	6,27	0,26	123	116	7	10,4
11	14.12.97	6,08	5,64	64,0	11,8	2,8	9	250	1,28	0,99	7,65	0,35	87	83	4	9,5
12	14.12.97	6,17	6,74	62,9	14,5	3,3	38	360	2,01	1,22	8,64	0,66	57	55	2	11,2
13	14.12.97	5,77	4,37	39,9	8,7	2,4	17	300	0,96	0,72	6,01	0,22	76	74	2	12,5
14	15.10.97	5,91	4,38	29,3	9,6	2,1	4	175	0,96	0,76	5,70	0,28	81	85	-4	7,5
15	15.10.97	5,71	4,11	21,8	8,9	2,1	6	155	0,83	0,66	5,27	0,27	82	79	3	6,4
16	15.10.97	6,28	2,93	30,4	6,4	1,3	8	110	0,82	0,51	3,44	0,18	22	23	-1	2,6
17	15.10.97	5,69	5,21	22,9	12,1	2,3	<1	205	0,92	0,94	6,71	0,36	67	66	1	7,9
18	15.10.97	6,30	2,84	31,4	6,2	1,3	6	84	0,72	0,53	3,41	0,19	13	12	1	1,9
19	15.10.97	6,39	2,50	31,4	4,9	1,6	25	78	0,76	0,43	2,81	0,25	14	15	-1	1,1
20	15.10.97	5,97	2,09	14,2	4,6	1,1	12	78	0,36	0,33	2,42	0,14	23	20	3	1,5
21	15.10.97	6,38	3,83	40,9	8,2	1,8	36	147	1,14	0,63	4,48	0,25	27	25	2	3,2
22	15.10.97	5,20	6,67	8,7	14,9	3,2	8	255	0,92	1,22	8,55	0,45	101	96	5	10,6
23	15.10.97	6,00	3,65	26,1	8,2	1,8	4	122	0,85	0,62	4,17	0,23	27	26	1	2,9
24	15.10.97	7,06	6,81	184,6	11,7	3,1	160	290	3,43	1,13	6,98	0,74	45	43	2	4,6
25	15.10.97	6,34	2,82	27,2	6,0	1,4	17	95	0,67	0,47	3,21	0,19	19	17	2	1,8
26	15.10.97	6,24	5,60	32,5	12,7	2,8	8	165	1,16	0,99	7,17	0,37	54	53	1	4,8
27	15.10.97	5,99	3,37	27,2	7,1	1,7	4	175	0,86	0,58	3,74	0,22	61	61	0	6,1
28	15.10.97	6,14	2,99	33,5	5,7	1,7	17	170	1,08	0,53	3,22	0,19	39	39	0	5,8
30	15.10.97	6,46	4,88	69,2	9,4	2,9	8	205	1,48	0,84	5,77	0,39	109	108	1	9,2
31	15.10.97	6,07	6,15	31,4	14,2	2,8	23	160	1,05	1,08	8,01	0,42	58	61	-3	5,0
32	15.10.97	5,91	1,87	19,7	3,7	0,9	8	144	0,51	0,33	2,00	0,14	35	34	1	3,9
32B	15.10.97	5,75	1,75	15,3	3,7	0,9	2	96	0,38	0,27	1,95	0,10	30	26	4	2,2
33	15.10.97	6,68	4,07	18,6	9,1	2,0	17	175	0,81	0,69	5,10	0,27	75	68	7	5,6
33B	15.10.97	5,92	2,29	25,0	4,3	1,2	12	160	0,68	0,42	2,87	0,17	61	57	4	5,1
33C	15.10.97	5,43	2,64	12,0	5,2	1,3	<1	160	0,46	0,41	3,20	0,14	94	89	5	7,0
33D	15.10.97	5,05	2,68	0,0	4,7	1,1	<1	225	0,48	0,43	2,84	0,15	83	80	3	10,4
34	15.10.97	5,65	3,89	16,4	8,9	1,8	<1	155	0,73	0,66	4,89	0,25	56	52	4	4,6
35	15.10.97	5,95	3,26	28,2	6,6	1,6	9	205	1,01	0,57	3,90	0,23	73	74	-1	6,6
36	15.10.97	5,80	3,09	20,7	6,5	1,5	7	195	0,74	0,51	3,50	0,20	57	55	2	5,5

**Vedleggstabell 5.** Vannkjemiske målinger fra høstundersøkelsen 1998 (lok. 4-36).

Lokalitet 36 (Fessdalsvatn i Rissa) ble ikke prøvetatt i 1998.

LOK	Dato	pH	Kond mS/m	Alk-E µekv/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> -N µg/L	Tot-N µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	RAI µg/L	IIAI µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L
4	05.12.98	6,11	6,76	37,8	15,9	2,7	18	220	1,25	1,08	8,91	0,41	84	88	-4	6,6
5	05.12.98	6,03	6,52	39,9	14,3	2,3	12	240	1,15	1,06	8,69	0,44	106	108	-2	9,9
6	05.12.98	6,25	5,30	51,4	11,5	2,3	17	200	1,07	0,85	6,88	0,33	99	97	2	7,5
7	05.12.98	6,09	5,13	22,9	12,1	2,3	23	125	0,79	0,85	6,44	0,36	43	40	3	2,8
8	13.12.98	5,87	3,02	22,9	6,4	1,4	8	220	0,53	0,48	4,07	0,11	43	42	1	5,5
9	13.12.98	6,68	3,91	98,2	6,9	1,5	12	185	1,74	0,72	4,44	0,24	53	50	3	6,1
10	06.12.98	5,83	4,52	39,9	9,2	1,7	7	235	0,94	0,79	6,02	0,26	139	139	0	12,7
11	13.12.98	6,26	4,90	86,8	9,6	1,9	8	255	1,36	0,89	6,24	0,25	100	94	6	9,2
12	06.12.98	6,42	5,39	68,1	11,0	2,2	42	350	1,86	0,96	6,47	0,48	76	75	1	12,1
13	06.12.98	6,18	4,15	55,6	7,9	1,8	17	320	1,26	0,74	5,47	0,27	130	125	5	12,2
14	19.11.98	6,42	4,42	68,1	8,5	2,5	8	160	1,43	0,82	5,19	0,30	80	76	4	5,9
15	19.11.98	5,97	3,55	31,4	7,3	1,9	8	180	0,82	0,60	4,44	0,27	92	89	3	6,4
16	19.11.98	6,41	2,64	42,0	5,1	1,3	14	155	0,91	0,47	3,22	0,20	35	33	2	3,3
17	19.11.98	5,93	4,21	35,7	8,8	1,7	12	245	0,84	0,77	5,42	0,31	95	89	6	8,9
18	19.11.98	6,38	2,27	35,7	4,4	1,2	12	119	0,60	0,40	2,80	0,20	26	23	3	2,3
19	19.11.98	6,41	2,50	35,7	4,4	2,1	41	116	0,91	0,41	2,69	0,26	14	12	2	1,3
20	19.11.98	5,97	1,98	15,3	4,2	1,0	20	110	0,38	0,32	2,43	0,19	24	20	4	1,4
21	19.11.98	6,38	3,55	37,8	7,4	1,7	41	180	1,08	0,61	4,21	0,28	30	29	1	3,3
22	19.11.98	5,33	5,33	18,6	11,4	2,1	13	370	0,83	0,94	7,28	0,37	150	144	6	14,2
23	19.11.98	6,38	3,10	39,9	6,2	1,5	12	205	0,85	0,55	3,79	0,20	46	44	2	3,9
24	19.11.98	7,14	6,85	209	11,2	3,2	139	300	3,81	1,02	7,47	0,80	46	42	4	4,4
25	19.11.98	6,32	2,67	28,2	5,6	1,3	18	102	0,65	0,43	3,15	0,21	24	22	2	1,9
26	19.11.98	6,26	5,32	39,9	11,6	2,7	19	190	1,08	0,89	7,00	0,36	93	77	16	5,8
27	19.11.98	6,20	3,01	40,9	5,6	1,4	8	205	0,90	0,52	3,65	0,24	89	79	10	7,5
28	19.11.98	6,20	3,09	37,8	5,7	1,7	20	205	1,16	0,54	3,43	0,30	56	53	3	6,1
29	19.11.98	6,08	5,69	29,3	13,1	2,6	24	175	0,95	0,95	7,30	0,40	70	66	4	5,0
30	19.11.98	6,22	3,98	45,1	7,6	2,2	46	235	1,23	0,73	4,62	0,38	108	101	7	7,7
31	19.11.98	5,90	4,12	22,9	9,2	2,0	16	160	0,70	0,66	5,17	0,29	101	96	5	5,0
32	19.11.98	6,22	1,98	32,5	3,5	0,9	8	155	0,67	0,35	2,28	0,18	49	46	3	4,2
32B	19.11.98	5,86	1,71	15,3	3,3	0,9	4	170	0,42	0,27	2,04	0,11	39	34	5	2,8
33	19.11.98	6,01	4,11	80,6	7,5	1,8	24	215	1,65	0,67	4,68	0,21	106	100	6	7,6
33B	19.11.98	5,99	2,30	28,2	4,3	1,1	14	170	0,63	0,40	2,78	0,19	62	57	5	4,8
33C	19.11.98	5,89	2,91	25,0	6,0	1,4	14	195	0,68	0,47	3,58	0,20	108	98	10	6,1
33D	19.11.98	5,08	2,85	4,1	4,9	1,0	3	295	0,59	0,51	3,18	0,17	118	113	5	12,2
34	19.11.98	5,68	3,48	15,3	7,6	1,6	16	180	0,62	0,58	4,23	0,25	74	72	2	5,1
35	19.11.98	6,16	2,94	40,9	5,4	1,5	19	215	1,05	0,56	3,44	0,25	94	89	5	6,8

**Vedleggstabell 6.** Vannkjemiske målinger fra høstundersøkelsen 1999 (lok. 4-36).  
Lokalitetene 4-9 på Hitra samt lokalitetene 33B og 33D i Agdenes ble ikke prøvetatt i 1999.

LOK	Dato	pH	Kond mS/m	Alk-E µekv/L	Cl mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> -N µg/L	Tot-N µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	RAI µg/L	IIAI µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L
10	12.12.99	5,98	6,45	45,1	13,9	2,1	6	215	1,35	1,20	7,97	0,26	109	105	4	9,4
11	29.11.99	6,29	5,05	46,2	11,1	1,9	<1	205	1,11	0,90	6,33	0,20	78	74	4	7,4
12	12.12.99	6,34	5,80	73,3	11,8	2,1	35	350	1,94	1,04	6,80	0,46	63	66	-3	10,4
13	12.12.99	6,16	4,94	52,5	10,3	1,8	13	290	1,38	0,89	6,10	0,27	72	70	2	10,9
14	19.11.99	6,03	3,94	31,4	8,3	1,9	6	149	0,97	0,73	4,71	0,30	86	90	-4	6,7
15	19.11.99	5,82	3,43	20,7	7,2	1,7	7	155	0,80	0,59	4,14	0,27	88	89	-1	6,3
16	19.11.99	6,36	2,47	33,5	4,8	1,1	12	128	0,81	0,43	2,87	0,16	32	32	0	2,8
17	19.11.99	5,87	4,31	27,2	9,3	1,6	9	235	0,89	0,81	5,18	0,31	76	76	0	8,1
18	19.11.99	6,39	2,43	34,6	4,8	1,1	8	90	0,70	0,44	2,87	0,20	22	23	-1	2,2
19	19.11.99	6,40	2,29	29,3	4,3	1,6	33	87	0,73	0,38	2,56	0,26	16	12	4	1,1
20	19.11.99	5,91	1,95	0,0	4,0	1,0	22	87	0,42	0,32	2,37	0,15	24	23	1	1,5
21	19.11.99	6,38	3,39	35,7	6,8	1,6	46	155	1,03	0,57	3,82	0,27	30	28	2	3,2
22	19.11.99	5,27	4,83	14,2	10,2	1,7	6	270	0,76	0,84	5,91	0,31	125	124	1	13,1
23	19.11.99	6,31	2,81	32,5	5,8	1,2	8	129	0,78	0,50	3,28	0,19	34	33	1	3,3
24	19.11.99	7,01	6,44	184,6	10,4	2,9	119	235	3,52	0,97	6,59	0,73	43	37	6	4,4
25	19.11.99	6,33	2,57	27,2	5,3	1,2	16	96	0,65	0,42	2,97	0,19	23	20	3	1,9
26	19.11.99	6,27	4,69	35,7	10,0	2,3	12	185	1,02	0,81	5,64	0,31	76	70	6	5,3
27	19.11.99	5,87	2,78	29,3	4,9	1,0	6	245	0,93	0,52	3,28	0,16	90	73	17	9,0
28	19.11.99	6,16	2,76	35,7	5,0	1,5	12	185	1,15	0,49	3,01	0,23	48	47	1	5,9
29	19.11.99	6,04	5,53	29,3	12,3	2,4	23	160	0,95	0,93	6,92	0,39	67	64	3	5,2
30	19.11.99	5,84	3,64	30,4	6,8	2,0	45	234	0,97	0,68	4,19	0,33	107	79	28	8,2
31	19.11.99	5,90	3,90	20,7	8,5	1,8	16	147	0,68	0,65	4,70	0,27	87	79	8	4,8
32	19.11.99	6,11	2,07	24,0	4,0	0,8	7	141	0,65	0,38	2,34	0,15	43	44	-1	4,1
32B	19.11.99	5,90	1,95	13,1	3,5	0,9	6	129	0,50	0,33	2,27	0,09	32	28	4	2,2
33	19.11.99	5,84	3,24	19,7	6,6	1,4	16	195	0,73	0,54	3,93	0,22	90	87	3	6,1
33C	19.11.99	5,48	2,80	9,8	5,8	1,1	<1	155	0,59	0,47	3,29	0,13	96	94	2	6,1
34	19.11.99	5,79	3,12	16,4	6,5	1,4	16	170	0,61	0,51	3,71	0,21	67	64	3	5,0
35	19.11.99	6,11	2,71	29,3	5,2	1,2	11	190	0,93	0,50	3,08	0,19	74	75	-1	6,1
36	19.11.99	5,83	2,45	18,6	4,8	1,1	7	155	0,63	0,42	2,98	0,14	62	62	0	5,1

## Vedlegg B.

# Beregning av tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for tilførsler av syre til overflatevann

### Definisjoner

**Naturens Tålegrense** (eng: *Critical Load/Levels*): Et mål for tilførsel av forurensninger som, utfra dagens viten, ikke fører til skadelige effekter på følsomme komponenter i økosystemet slik som reduserte fiskebestander/fiskedød og skogskader/skogsdød.

**Miljømål** (eng: *Target Load*): Nasjonalt fastsatte belastningsverdier som tar tekniske, økonomiske, sosiale og politiske hensyn og som kan ligge over eller under naturens tålegrense. Ideelt sett skal miljømålene reduseres til tålegrensen eller lavere over tid.

**Syrenøytraliserende kapasitet** (*Acid Neutralizing Capacity, ANC*): En løsnings evne til å nøytralisere tilførsler av sterke syrer.

**Reseptor**: Et økosystem av interesse som potensielt kan påvirkes av atmosfæriske tilførsler av svovel og nitrogen (F.eks. jord, grunnvann, overflatevann).

**Biologisk indikator(er)**: Organisme(r) eller populasjoner som er følsomme overfor kjemiske endringer som følge av endringer i atmosfæriske tilførsler av svovel og nitrogen (f.eks. trær, fisk, bunndyr).

**Kritisk kjemisk verdi**: Den høyeste verdi for en kjemisk komponent eller kombinasjon av komponenter som ikke frembringer en skadelig respons hos en biologisk indikator (f.eks. ANC, pH, Al/Ca forholdet).

**Tålegrense**-definisjonen gir oss en ramme for å lage tallmessige anslag for de belastninger som kan gi uønskede skader. Det finnes to hovedmetoder for å beregne tålegrenser for økosystemer i overflatevann; prosess-orienterte modeller og empiriske modeller. De prosess-orienterte modellene forsøker å beskrive matematisk de underliggende årsak/virkningsforholdene mellom sur nedbør og vannkvalitet. Slike modeller kan enten være dynamiske simuleringsmodeller (MAGIC, SMART etc.) eller steady state modeller basert på massebalanse-beregninger (PROFILE). De empiriske vannkjemiske modellene er "steady state modeller" som ikke tar hensyn til tidsavhengige prosesser, og de kan derfor brukes på grunnlag av begrenset informasjon. De nasjonale tålegrensekartene er laget basert på slike modeller. Denne framgangsmåten er også benyttet i denne rapporten.

For beregning av tålegrenser for forsuring av overflatevann bruker vi en metode som kalles "The Steady-State Water Chemistry (SSWC) method". Denne er spesielt anvendelig for overflatevann i områder hvor innsjøer er det mest følsomme økosystemet m.h.p. forsuring. Metoden forutsetter at tilnærmet all sulfat i avrenningen kommer fra sjøsalter og antropogene kilder (forbrenning av fossilt brennstoff) og at veldig lite genereres i nedbørfeltet ved forvitring. Tålegrensen for innsjøer kan beregnes på basis av en årlig veid middelvei, eller som i tilfellet med data fra innsjøundersøkelsen

benyttet her, på basis av en høstprøve, som vi antar representerer en slik veid middelvei. Metoden baserer seg videre på bruk av ANC som et kjemisk kriterium for sensitive organismer i vann.

## Om forutsetningene i modellen

Tålegrensen for en innsjø er definert på grunnlag av den opprinnelige forvittringshastigheten i nedbørfeltet. Den totale fluxen av basekationer ( $BC^*_t$ ) fra et nedbørfelt er et resultat av balansen mellom input fra forvittring ( $BC_w$ ), ione-bytte ( $BC_i$ ), ikke-marin atmosfærisk avsetning ( $BC^*_{dep}$ ), og opptak i biomassen ( $BC_u$ ):

$$BC^*_t = BC_w + BC_i + BC^*_{dep} - BC_u \quad (1)$$

hvor alle parametere er uttrykt som årlige fluxer ( $\text{mekv}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{år}^{-1}$ ). Av disse parameterene er  $BC^*_t$  og  $BC^*_{dep}$  beregnet direkte fra avrenningsmengde, nedbørvolum og konsentrasjonsmålinger.

$BC_i$  er relatert til langtids endringer i atmosfæriske tilførsler av sure ikke-marine anioner (sulfat og nitrat) ( $\Delta AN^*$ ) ved en F-faktor:

$$F = BC_i / \Delta AN^* \quad \text{eller} \quad BC_i = F \cdot \Delta AN^* \quad (2)$$

Vi antar nå følgende:

1.  $BC_w$  endres ikke med endringer i syre avsetning.
2.  $BC_0$  (den "opprinnelige" basekationavrenningen (før-forsuringstid)) =  $BC_w + BC_d$
3. Sulfat i avrenningen er i likevekt med sulfat i nedbøren (d.v.s det hverken lagres eller frigjøres sulfat i nedbørfeltet).

For før-forsuringssituasjonen har vi:

$$\begin{aligned} [BC^*]_0 &= [BC^*]_t - F \cdot (\Delta[SO_4^*] + \Delta[NO_3]) = \\ &= [BC^*]_t - F \cdot ([SO_4^*]_t + [NO_3]_t - [SO_4^*]_0 - [NO_3]_0) \end{aligned} \quad (3)$$

hvor t referer til dagens konsentrasjon og 0 til før-forsurings konsentrasjoner.

Verdien av F er en funksjon av basekationkonsentrasjonen og ligger normalt mellom 0 og 1. F spenner fra nær 0 i innsjøer med lave konsentrasjoner av basekationer til 1 i innsjøer med høye konsentrasjoner av basekationer.

En algoritme for F er:

$$F = \sin((\pi/2) \cdot [BC^*]_t / S) \quad (4)$$

Hvis  $[BC^*]_t > S$ , blir F satt til 1. Her er S basekationkonsentrasjonen for  $F = 1$ . I Norge har S blitt beregnet til å være 400  $\mu\text{ekv/l}$ .

Vi antar videre at  $[NO_3]_0 = 0$  for alle innsjøer. Bakgrunns sulfat ( $[SO_4^*]_0$ ) er beregnet ut fra norske innsjøer som er lite påvirket av sur nedbør:

$$[SO_4^*]_0 = 8 + 0.17 [BC^*]_t \quad (\text{når konsentrasjonene er i } \mu\text{eq/l}) \quad (5)$$

Denne ligningen indikerer at det er et atmosfærisk bakgrunnsbidrag av  $[\text{SO}_4^*]$  på gjennomsnittlig 8  $\mu\text{eq/l}$  og et geologisk bidrag som er proporsjonal med konsentrasjonen av basekationer.

## Beregning av tålegrenser for syre

Tålegrensen for tilførsler av syre til innsjøer kan nå beregnes:

$$\text{CL}(\text{Ac}) = ([\text{BC}^*]_0 - [\text{ANC}]_{\text{limit}}) \cdot Q \quad (6)$$

hvor:

$\text{CL}(\text{Ac})$  = tålegrensen for syre i innsjøen

$[\text{BC}^*]_0$  = opprinnelig ikke-marin basekationkonsentrasjon

$[\text{ANC}]_{\text{limit}}$  = grenseverdi for ANC

$Q$  = avrenning

For å kunne beregne tålegrenser for overflatevann, må man definere en kritisk grenseverdi for ANC som indikerer når vannkvaliteten ikke er god nok for en bærekraftig, reproduserende fiskebestand. Denne grenseverdien ( $\text{ANC}_{\text{limit}}$ ) varierer fra 0 til 50  $\mu\text{eq L}^{-1}$  avhengig av nedbørfeltets egenskaper.

Dagens overskridelser av tålegrensen for tilførsel av syre kan uttrykkes:

$$\text{Ex}(\text{Ac}) = \text{S}^*_{\text{dep}} + \text{N}_{\text{leach}} - \text{BC}^*_{\text{dep}} - \text{CL}(\text{Ac}) \quad (7)$$

$$\text{hvor } \text{N}_{\text{leach}} = \text{N}_{\text{dep}} - \text{N}_s \quad (8)$$

der  $\text{N}_s$  representerer alle nitrogen-opptak i nedbørfeltet.  $\text{N}_{\text{leach}}$  er beregnet fra målte konsentrasjoner av nitrat og ammonium i avrenningen. Data for nitrogen avsetning er derfor ikke nødvendig for beregning av dagens overskridelse. For overskridelser under fremtidige scenarier brukes modellerte avsetningsverdier.

Framgangsmåten for beregning av tålegrenser for overflatevann er nærmere beskrevet i: Henriksen A. og Posch, M., 2001. Water Air and Soil Pollution Focus no. 1 s. 375-398.