

Vurdering av utvikling av fargetall og TOC i Birkelandsvatn, Rogaland



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

| | | |
|--|---------------------------------------|-----------------------|
| Tittel Vurdering av utvikling av fargetall og TOC i Birkelandsvatn, Rogaland | Løpenr. (for bestilling) 6241-2011 | Dato Desember 2011 |
| | Prosjektnr. Udemnr. O-11329 | Sider Pris 37 |
| Forfatter(e) Richard F. Wright, Øyvind Kaste, Kari Austnes, Liv Bente Skancke | Fagområde Klima | Distribusjon Fri |
| | Geografisk område Rogaland | Trykket NIVA |

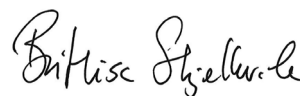
| | |
|--------------------------|---|
| Oppdragsgiver(e) IVAR | Oppdragsreferanse Karl Olav Gjerstad |
|--------------------------|---|

| |
|--|
| <p>Sammendrag</p> <p>Birkelandsvatn er tiltenkt som råvannskilde for fremtidig drikkevannsforsyning for Stavanger-regionen. For å kunne anslå fremtidig behov for vannbehandling har NIVA foretatt en vurdering av framtidig utvikling av farge/totalt organisk karbon (TOC) i innsjøen, samt risiko for at verdiene overskrider gjeldende grenseverdier for akseptabelt nivå av farge i drikkevann. Det har vært en statistisk signifikant økning i vannets innhold av TOC på overvåkingsstasjonene i Bjerkreimsvassdraget siden 1992. Hovedårsaken til økningen i TOC antas å være nedgangen i konsentrasjonene av sulfat (SO₄) i vannet siden 1990. Nedgangen i SO₄-tilførsler fra sur nedbør har nå stoppet opp, og det forventes derfor ikke at TOC-konsentrasjonene i vann vil gå ytterligere opp som følge av SO₄ i årene framover. Klimaparametere som lufttemperatur og nedbørmengde kan også påvirke TOC-konsentrasjoner i vann. Virkningene vil imidlertid være sesongavhengige, slik at nettoeffekten av endret klima på produksjon og utvasking av TOC fra nedbørfeltet trolig vil være forholdsvis liten på årsbasis.</p> |
|--|

| | |
|---|---|
| <p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Drikkevann 2. Fargetall 3. Klima 4. Sur nedbør | <p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Drinking water 2. Water colour 3. Climate 4. Acid rain |
|---|---|



Øyvind Kaste
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

**Vurdering av utvikling av fargetall og TOC i
Birkelandsvatn, Rogaland**

Forord

Birkelandsvatn i Bjerkreim kommune, Rogaland, er tiltenkt som råvannskilde for fremtidig drikkevannsforsyning for Stavanger-regionen. IVAR ønsker en vurdering av framtidig farge og TOC-utvikling i innsjøen. Hensikten er å få et bedre grunnlag for å vurdere om råvannskilden er egnet i forhold til vannbehandling med ozon/biofiltrering.

NIVAs prosjektforslag ble utarbeidet av Kari Austnes 28. juni 2011, og forslaget ble formelt akseptert av oppdragsgiver 3. august. Innhenting og systematisering av eksisterende data er foretatt av Liv Bente Skancke. Meteorologiske data er skaffet gjennom met.no's web-portal eKlima. Hoveddelen av utredningen, inkludert de statistiske analysene, er utført av Richard F. Wright, mens Øyvind Kaste har stått for sluttredigering av rapporten med faglige innspill fra Kari Austnes.

Kontaktperson hos IVAR har vært Karl Olav Gjerstad.

Oslo/Grimstad, desember 2011

Øyvind Kaste

Innhold

| | |
|--|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| Summary | 7 |
| 1. Bakgrunn og mål | 9 |
| 2. Datagrunnlag og statistiske metoder | 12 |
| 2.1 Birkelandsvatn | 12 |
| 2.2 Vannkjemi | 12 |
| 2.3 Meteorologiske data | 15 |
| 2.4 Hydrologi | 15 |
| 2.5 Nedbørkjemi | 16 |
| 2.6 Rapporter | 16 |
| 2.7 Statistiske metoder | 16 |
| 3. Resultater | 18 |
| 3.1 Vannkjemi | 18 |
| 3.1.1 Farge og TOC i Birkelandsvatn | 18 |
| 3.1.2 Tidstrender i TOC og andre parametere | 19 |
| 3.2 Tidstrender i påvirkningsfaktorer: sur nedbør, sjøsalter og klima | 24 |
| 3.2.1 Sur nedbør | 24 |
| 3.2.2 Sjøsalter | 24 |
| 3.2.3 Klima | 24 |
| 3.3 Statistiske analyser av tidstrender i TOC og aktuelle forklaringsvariabler | 28 |
| 3.3.1 Temperatur og nedbør | 28 |
| 3.3.2 Vannkjemi, vannføring og temperatur Øygardsbekken og Ørsdalselva | 28 |
| 3.4 Forholdene i 2011 | 30 |
| 4. Vurdering av resultatene | 34 |
| 4.1 Samspill TOC, vannkjemi og klima | 34 |
| 4.2 Framtidsutsikter | 35 |
| 5. Referanser | 37 |

Sammendrag

Birkelandsvatn i Bjerkreim kommune, Rogaland, er tiltenkt som råvannskilde for fremtidig drikkevannsforsyning for Stavanger-regionen. Vi har benyttet det som allerede eksisterer av data på vannkjemisk, hydrologi, deponisjon og arealfordeling, samt litteratur, og på dette grunnlaget foretatt en vurdering av historisk utvikling i farge og TOC. Videre har vi brukt tilgjengelige klimascenarier og dagens empiriske kunnskap fra vassdraget om klimavariasjon og vannkvalitet til å vurdere framtidig utvikling av farge og TOC, samt risiko for at verdiene i framtiden vil overskride gjeldende grenseverdier for akseptabelt nivå av farge og TOC i drikkevann.

Trendanalyse med Mann-Kendall-testen viser at det har vært en statistisk signifikant økning i vannets innhold av totalt organisk karbon (TOC) på overvåkingsstasjonene i Bjerkreimsvassdraget siden 1992. Dette er i tråd med trendene som er observert i andre deler av Sør-Norge. Årsaken til økningen i TOC synes først og fremst å være nedgangen i konsentrasjonene av sulfat (SO_4) siden 1990. Dette skyldes reduksjoner i tilførselene av svovel i sur nedbør. Det er beskrevet flere ulike mekanismer som kan forklare hvorfor lavere konsentrasjoner av sterke syres anioner (SO_4 , Cl, NO_3) fører til høyere konsentrasjoner av TOC i avrenningsvann. Konsentrasjonene av klorid (Cl) viste ingen signifikante tidstrender ved noen av overvåkingsstasjonene. Nitrat (NO_3) konsentrasjonene har gått ned noe i perioden; både i Øygardsbekken og i Ørsdalselva. Klimaparametere som lufttemperatur og nedbørmengde kan også påvirke TOC-konsentrasjoner. Statistiske trendanalyser viser at både lufttemperatur og nedbørmengde har økt signifikant i perioden 1/1990-12/2009 ved meteorologisk stasjon 42920 Sirdal.

Mann-Kendall-statistikken er også brukt til å avdekke sammenhenger mellom trender i TOC-konsentrasjon og vannkjemiske (SO_4 , Cl, NO_3 -konsentrasjon) og klimatiske (lufttemperatur og vannføring) parametere. For Øygardsbekken er det tydelig negativ korrelasjon mellom TOC-trend og trender for anionene SO_4 , Cl og NO_3 . Testen viser også at trender i klimaparametere er korrelert med TOC-trend på denne stasjonen. Høyere vannføring på sensommeren og om høsten er positiv korrelert med TOC, mens høyere vannføring om vinteren er negativ korrelert med TOC. Siden TOC i hovedsak produseres om sommeren og høsten er det mye utvaskbart TOC på denne tiden, mens økt vannføring om vinteren gir en fortyningseffekt.

Den kraftige nedgangen i SO_4 -tilførsler fra sur nedbør, som har pågått helt siden tidlig på 1980-tallet, har nå stoppet opp, og det forventes bare små endringer i framtiden. Det forventes derfor ikke at TOC-konsentrasjonene i vann vil gå ytterligere opp som følge av endringer i SO_4 i dette området. Anionet NO_3 er også en mulig driver for TOC. Nivået av NO_3 i vassdraget er imidlertid såpass lavt at det ikke kan regnes med noen vesentlig effekt på TOC-konsentrasjoner i vannet. Cl-konsentrasjoner i nedbør og avrenning drives først og fremst av intensitet og hyppighet av stormer. På lengre sikt er det forventet økt hyppighet og intensitet av stormer og sjøsaltepisoder med klimaendring. Dette vil medføre en generell økning av Cl-konsentrasjonene i vann, noe som basert på tidligere observasjoner bør føre til lavere konsentrasjoner av TOC i elver og innsjøer.

Basert på foreliggende klimascenarier fram mot 2020-2050 og 2071-2100, forventes nedbørmengden å øke vinter, vår og høst, men å minke om sommeren. I og med at Birkelandsvatn har oppholdstid på ca. 5 måneder, vil økte konsentrasjoner av TOC i tilløpselvene om høsten kunne utjevnes av lavere konsentrasjoner om vinteren. Nettoeffekten av endret nedbørmengde kan derfor i teorien bli null, selv om det også må påregnes relativt store år-til år variasjoner. Også temperatur forventes å øke ved framtidig klimaendring. Trend-korrelasjonen for Øygardsbekken tyder på at økt temperatur om vinteren vil gi lavere konsentrasjoner av TOC i avrenningen, kanskje på grunn av fortyning som følge av økt snøsmelting.

Selv om sommeren 2011 var preget av mye og hyppig nedbør, viser vannprøvene fra Birkelandsvatn ingen dramatiske effekter på fargetall. Det var en jevn økning i fargetall i innløpsbakkene fra juli til slutten av september, men det ble bare registrert en beskjeden økning i øvre vannlag i Birkelandsvatn i samme periode (fra 8 til 13 mg Pt/L). I de dypere vannlagene var det stabile verdier omkring 8 mg Pt/L gjennom hele perioden. Middelverdiene for farge i øvre og nedre vannlag i Birkelandsvatn i 2011 skiller seg ikke vesentlig fra målinger som er foretatt i innsjøen i løpet av de foregående tre årene.

Basert på det foreliggende datamaterialet og fremtidige klimafremskrivninger fra met.no er vår konklusjon at den generelle TOC-konsentrasjonen i Birkelandvatn ikke vil fortsette å øke i fremtiden. Sykliske variasjoner i klimaparametere (temperatur, nedbør) og ekstreme klimahendelser (flom, storm, vind) vil føre til variasjoner i TOC-konsentrasjoner i tilløpselver og i selve Birkelandvatn. Det er vanskelig å si om disse år-til-år variasjonene vil bringe TOC-konsentrasjoner (og dermed fargetall) kortvarig over kriteriet for drikkevann (20 mg Pt/L). Dagens fargetall i Birkelandsvatn ligger i underkant av 10 mg Pt/L, med TOC-verdier omkring 1.0-1.5 mg C/L, og data som foreligger fram til nå tyder på at det skal relativt stor fargetallsøkning til i tilløpsbakkene før konsentrasjonene de dypere vannlagene i Birkelandsvatn endres i vesentlig grad. Det er derfor lite sannsynlig at fargetallet i denne delen av innsjøen skal overskride kriteriet for drikkevann (20 mg Pt/L) gitt den kunnskapen vi baseres oss på i dag.

Summary

Title: Analysis of trends in colour/TOC in Lake Birkelandsvatn, Rogaland

Year: 2011

Author: Richard F. Wright, Øyvind Kaste, Kari Austnes, Liv Bente Skancke

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5976-6

Lake Birkelandsvatn, Bjerkreim township, Rogaland county, is a potential raw water source for future drinking water for the Stavanger region. We have used existing data for water chemistry, hydrology, atmospheric deposition and land use together with relevant scientific literature to assess the historical development of water colour/TOC (total organic carbon). In addition we have used available climate scenario projections and empirical relationships between climate parameters and water quality to give expert judgement on possible future development of colour/TOC with respect to possible exceedence of the current standard for colour/TOC in drinking water.

Trend analyses with the Mann-Kendall test show that there has been a statistically-significant increase in water concentration of TOC at monitoring stations in the Bjerkreim river basin since 1992. This is in agreement with trends observed over most of southern Norway. The most likely explanation for the increase in TOC is the decrease in sulphate (SO₄) since 1990. This is due to the reduction in acid deposition. Concentrations of Cl do not show significant trends over this period. Nitrate (NO₃) concentrations have declined slightly at both Øygardsbekken stream and Ørdsdalelva river. There are several possible mechanisms for higher TOC concentrations in response to low concentrations of strong acid anions (SO₄, Cl, and NO₃). Climate parameters such as air temperature and precipitation can also affect TOC concentrations. Trend analyses show that both air temperature and precipitation amount have increased over the period 1990-2009 at the meteorological station 42920 Sirdal.

The Mann-Kendall test was also used to find significant relationships between trends in TOC concentrations and other water chemistry parameters (SO₄, Cl, NO₃), as well as climate parameters (air temperature and precipitation amount). At Øygardsbekken there was a clear negative correlation between TOC trend and trends for the anions SO₄, Cl, and NO₃. Trends in climate parameters are also correlated with trends in TOC. Higher discharge in the summer and autumn is positively correlated with TOC, while higher discharge in the winter is negatively correlated with TOC. Since TOC is produced mainly in the summer and autumn there is more leachable TOC available, whereas in the winter higher discharge results in a dilution effect.

The large decline in SO₄ deposition from the 1980s has now nearly ceased and only small changes are expected in the future. Thus no further increase in TOC can be expected as a result of decline in SO₄. The anion NO₃ is also a possible driver of TOC concentration, but the levels of NO₃ in the river basin are very low such that they probably do not affect TOC significantly. Cl concentrations in runoff are primarily due to deposition of seasalts which enter the coastal atmosphere during storms. Over the long term the intensity and frequency of storms is expected to increase, and this will lead to a general increase in Cl concentrations in water, and most probably a decrease in TOC concentrations.

Based on climate scenarios produced by met.no for 2020-2050 and 2071-2100 precipitation amount is expected to increase in winter, spring and autumn and decrease in summer. Birkelandsvatn lake has a water retention time of about 5 months. Increased concentrations of TOC in inlet streams during the summer and autumn might thus be offset by decreased concentrations during the winter and spring, such that the net effect will be small. Temperature increase in the future might give further decrease in TOC levels in the winter, perhaps as a result of mid-winter snow melt.

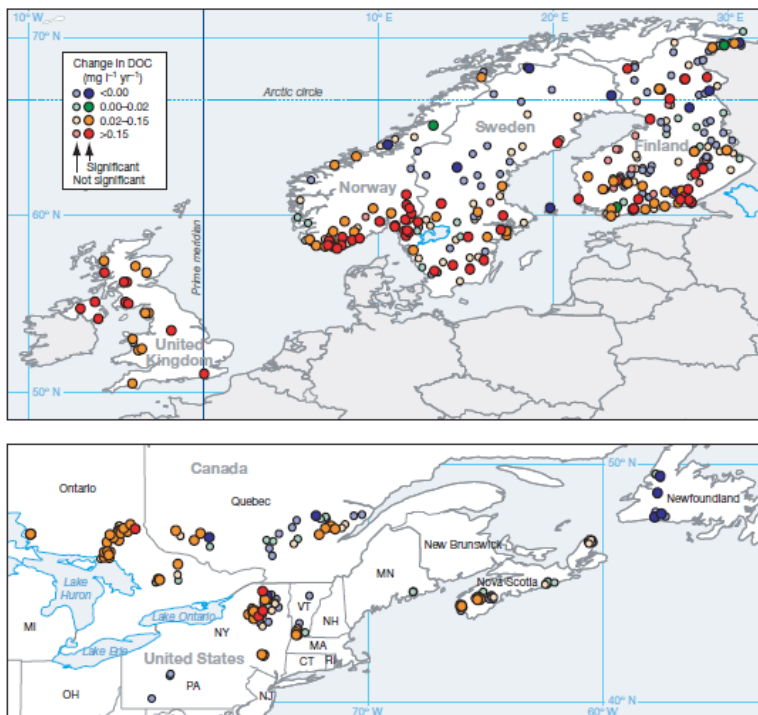
Although summer 2011 had unusually large and frequent rainfall, water samples from Birkelandsvatn lake show no dramatic increase in colour. There was a gradual increase in colour in the inlet streams from July to September, but only a minor change in surface water colour in Birkelandsvatn lake (from 8 to 13 mgPt/L). Deeper waters had stable levels of about 8 mg Pt/L through the whole summer. Mean colour in upper and lower waters of Birkelandsvatn lake in 2011 did not differ significantly from those of the past three years.

Based on the data used here and projections of future climate from met.no we thus conclude that the TOC concentrations in Lake Birkelandsvatn will not continue to increase in the future. Cyclic variations in climate (temperature, precipitation) and extreme climate events (floods, storms, wind) will lead to variations in TOC concentrations in the inlet streams and in the lake itself. It is difficult to say if the year-to-year variations will push the TOC level (and thereby the colour level) above the criterion for drinking water of 20 mg Pt/L. Present-day colour in lake Birkelandsvatn lies at about 10 mg Pt/L, with TOC 0.5 – 1 mgC/L. The data suggest that a relatively large increase in TOC in the inlet streams would be required to give major changes in the colour in deep water in Birkelandsvatn. Therefore it is unlikely that the colour will exceed the drinking water criterion in the future.

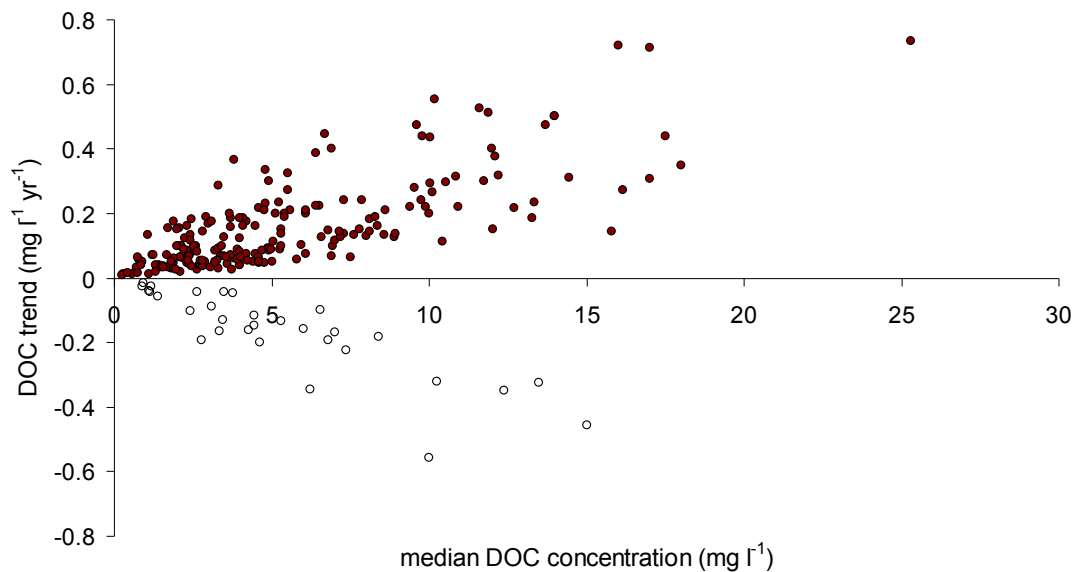
1. Bakgrunn og mål

Kvaliteten av råvannet som kommer inn til drikkevannsanleggene er avgjørende for dimensjonering, valg av behandlingsmetode og endelig kvalitet av drikkevannet. Vannets farge er en viktig komponent i råvannet i denne sammenhengen. Drikkevannet bør ikke overskride gjeldende grenseverdi for farge, som er satt til 20 mg Pt/L. Farge kommer vanligvis fra humus, et produkt av nedbrytning av organisk materiale enten i nedbørfeltet eller i selve vannet. Dette kalles ”naturlig organisk materiale” (NOM). Humusinnholdet i vannet bestemmes ofte ved å måle totalt eller løst organisk karbon (TOC eller DOC). Som regel er bare en liten andel av TOC som ikke er DOC. Det er viktig å forstå hvilke prosesser som styrer både mengden og kvaliteten av TOC. Hvor mye som produseres og vaskes ut styres av en kombinasjon av faktorer, inkludert temperatur, nedbør (mengde, frekvens, kvalitet), landskapstyper, jordsmonn, topografi og jordvannets kjemiske sammensetning. TOC-kvaliteten styres av selve nedbrytningsprosessen, og både kvalitet og mengde kan endres fra TOC forlater jorda til det foreligger som råvann i drikkevannsanlegget (in-stream/in-lake-prosesser). For å kunne sikre god vannbehandling, er det viktig å kunne estimere mengde og kvalitet av TOC i råvannet. Dette vil også være viktig i planleggingen av framtidig vannbehandling. Her vil effekter av klimaendringer og framtidige endringer i nedbørkvalitet være viktige faktorer.

Konsentrasjoner av TOC og farge har økt i mange vannforekomster over de siste 20 årene. Økningen har skjedd i vann over store deler av Norden, Nord-Europa og nordøstlige deler av Canada og USA (Monteith et al. 2007) (**Figur 1**). Økningen har skjedd i vann med både lavt og høyt innhold av TOC, og endringen har vært proporsjonal med konsentrasjonen av TOC i vannet (**Figur 2**).



Figur 1. Trender i løst organisk karbon (DOC) (mg/l/år) i innsjøer i nord Europa og østlige Nord-Amerika i perioden 1990-2004. Kilde: Monteith et al. (2007)

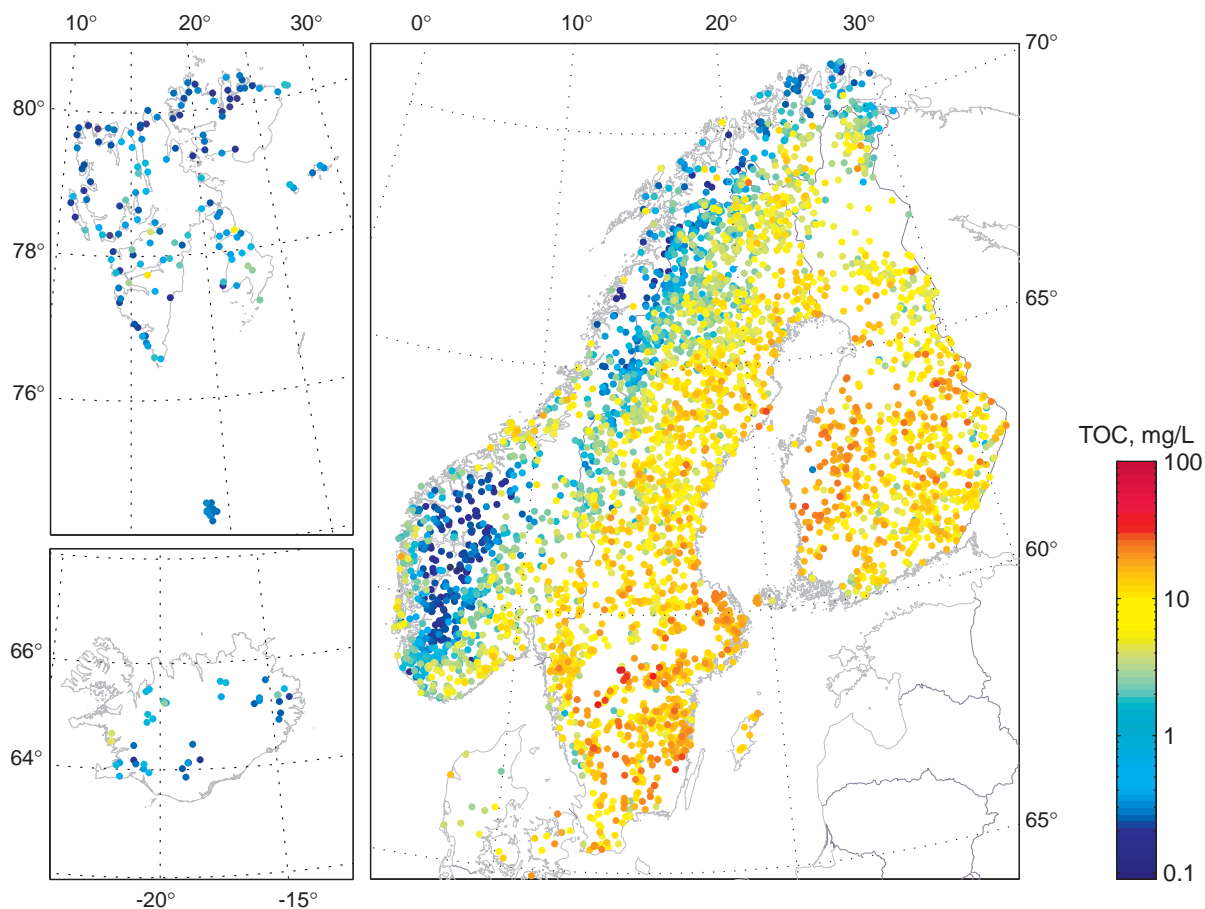


Figur 2. Forhold mellom løst organisk karbon (DOC) trender (mg C/L/år) og absolutt DOC-konsentrasjon (median verdi for hver lokalitet over perioden 1990-2004). Positive og negative trender ($p < 0,1$) er angitt ved henholdsvis hele og åpne sirkler. Kilde: (Monteith et al. 2007) i ICP Waters report 87/2007 (de Wit and Skjelkvåle 2007).

En gjennomgang av trender i vannkjemien tyder på at det er nedgang i sulfat (SO_4) konsentrasjoner, og sekundært klorid (Cl) konsentrasjoner, som er årsaken til økningen i TOC de siste 20 år (de Wit et al. 2007, Monteith et al. 2007). Sulfat har gått ned som følge av nedgang i sur nedbør. Følgelig er vann som har hatt en økning i TOC mest utbredt i områder med kraftig redusert sur nedbør.

Dette utelukker ikke at variasjoner i klima og fremtidig klimaendringer også kan påvirke TOC-konsentrasjoner i vannet. En analyse av lengre dataserier (~35 år) fra 28 store vassdrag i Sverige viser at også vannføring forklarer mye av variabiliteten i TOC-konsentrasjoner (Erlandsson et al. 2008). TOC-konsentrasjonene i små bekker viser ofte tydelige sesongvariasjoner, med lave nivåer på vinter og vår og høyere nivåer på sommer og høst. TOC-produksjon i nedbørfelt er styrt av klimatiske faktorer, og utvasking av TOC fra jorda er avhengig av avrenningsmengden. Men den entydige økningen i TOC i 1990-årene kan ikke forklares av endret klima, i og med at det har ikke vært noen entydige trender i klimaparametere som temperatur eller nedbør i samme tidsperiode.

De landsomfattende innsjøundersøkelsene om ble gjennomført i 1986 og 1995 (de såkalte 1000-sjøers undersøkelsene) viser at det er en tydelig økende gradient i TOC-konsentrasjon når en går fra vest mot øst i Norge (Henriksen et al. 1988, Skjelkvåle et al. 1996) (**Figur 3**). Viktige årsaker til dette er bl.a. nedbørmengde (større utvasking/fortynning i vest), andel myr i nedbørfeltene (TOC øker med myrandel) og andel skog (TOC øker med andel skog versus bare områder). TOC-konsentrasjonen i vann er i stor grad en funksjon av organisk materiale som tilføres jorda (via strøfall, frigivelse fra planterøtter, etc) og graden av utvasking fra jorda. I områder med lav produksjon av utvaskbart organisk materiale og høy nedbør, vil det være liten akkumulering av organisk materiale i jorda og lave TOC-konsentrasjoner i avrenningsvannet. I områder med høy (skog)produksjon og lite nedbør, vil organisk materiale ha en tendens til å akkumulere i jorda og avrenningsvannet vil ha en høyere TOC-konsentrasjon. De økende TOC-trendene som er observert i Sør-Norge siden 1990 har gitt størst utslag i områder med allerede høye TOC-konsentrasjoner. Også Vestlandet og Sør-Vestlandet har hatt en signifikant økning i TOC, men den faktiske endringen i TOC-konsentrasjon fra 1990 til i dag har likevel vært relativt beskjeden (KLIF 2010).



Figur 3. TOC-konsentrasjoner i skandinaviske innsjøer. Data fra nordisk innsjøundersøkelse gjennomført i 1995 (Henriksen m.fl. 1998).

I denne rapporten ser vi på utviklingen i farge og TOC i Birkelandsvatn, Bjerkreim kommune, Rogaland. Vannet er tiltenkt brukt som råvannskilde for drikkevannsforsyning. Vi benytter det som allerede eksisterer av data på vannkjemi, hydrologi, deponisjon og arealfordeling, samt litteratur, og foretar en vurdering av historisk utvikling i farge og TOC basert på dette. Videre bruker vi ulike klimascenarier og vurderer framtidig utvikling av farge og TOC, samt risiko for at verdiene overskrider grenser for akseptabelt nivå av farge og TOC i innsjøen.

2. Datagrunnlag og statistiske metoder

2.1 Birkelandsvatn

Birkelandsvatn (= 1523 Byrkjelandsvatnet) ligger i Bjerkreim kommune, Rogaland (**Figur 4, Figur 5**). Nedbørfeltet ved utløpet er 177 km², median høyde er 560 moh (Bramslev 2011), mens spesifikk avrenning er 75 l/s/km² (**Tabell 1**). Størstedelen av nedbørfeltet (58 %) er dekket av fjell og åpen fastmark. Skog, innsjøer og myr utgjør henholdsvis 19%, 16 % og 1%. Fulldyrket jord og innmarksbeite dekker henholdsvis 2.9 og 2.8 % av nedbørfeltet. Store deler av nedbørfeltet består av næringsfattige bergarter og vegetasjonen her er vesentlig dominert av lyng og grasarter. Terrenget i nedbørfeltet er preget av store høydegradienter og bratte fjellskråninger ned mot elv/innsjø. Fjellskråningene er dels preget av steinur og dels bevakst med skog (oftest bjørk). Kombinasjonen av bratte skråninger og tynt jordsmonn fører til hurtig avrenning etter nedbør-episoder.

Tabell 1. Hydrologiske og morfometriske data for Birkelandsvatn (fra Gjerstad, upubl).

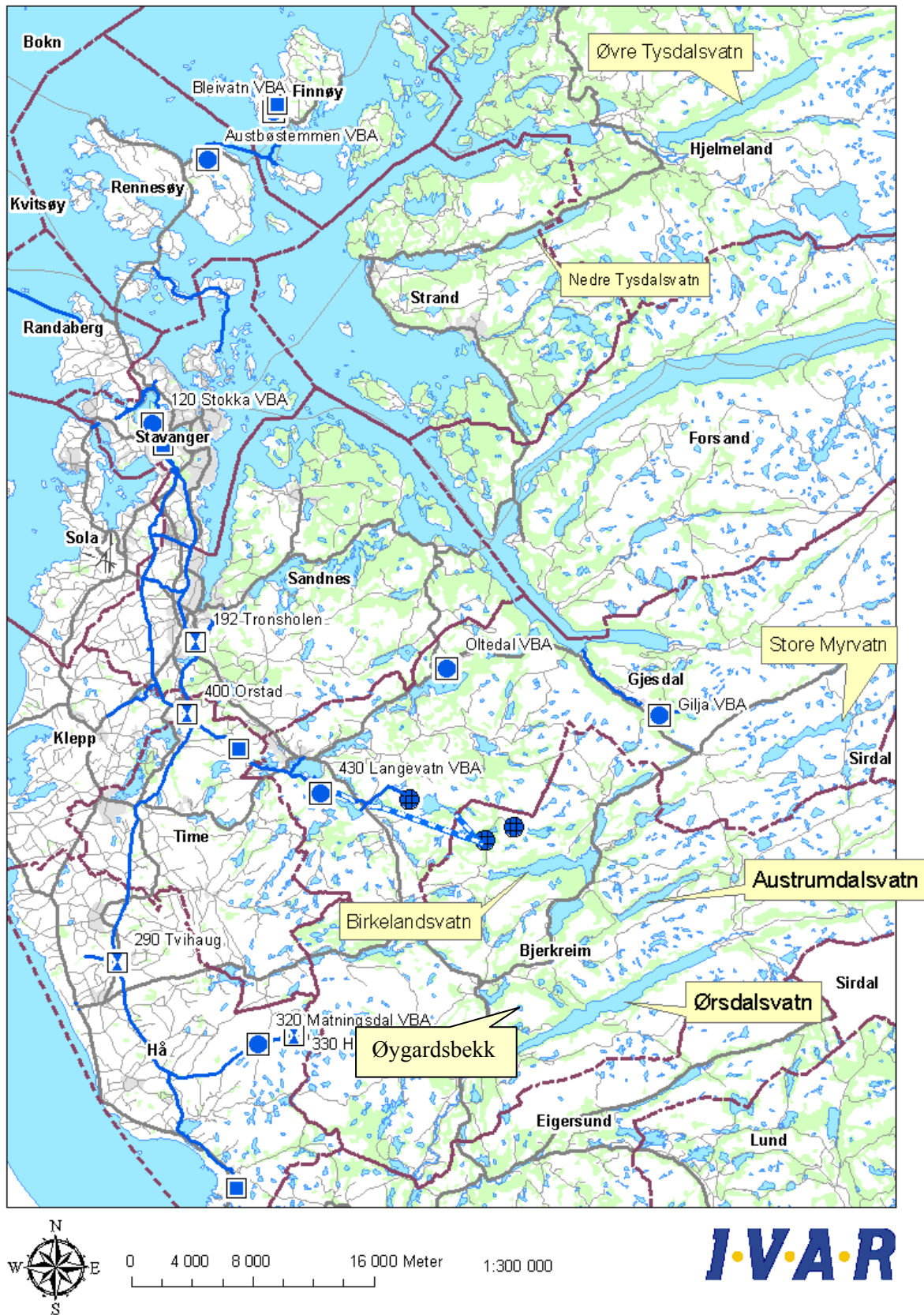
| | Enhet | Verdi |
|--|---------------------|---------------|
| Høyde over havet | moh | 179 |
| Totalt nedbørfelt (inkl. Stølsvatn/Romsvatn) | km ² | 177 |
| Vannareal | km ² | 5,4 |
| Største dybde | m | Ca. 90 |
| Midlere dybde | m | Ca. 30 |
| Magasinivolum | mill m ³ | Ikke regulert |
| Volum innsjø | mill m ³ | 214 |
| Spesifikk avrenning (1961 – 1990) | L/s/km ² | 75 |

2.2 Vannkjemi

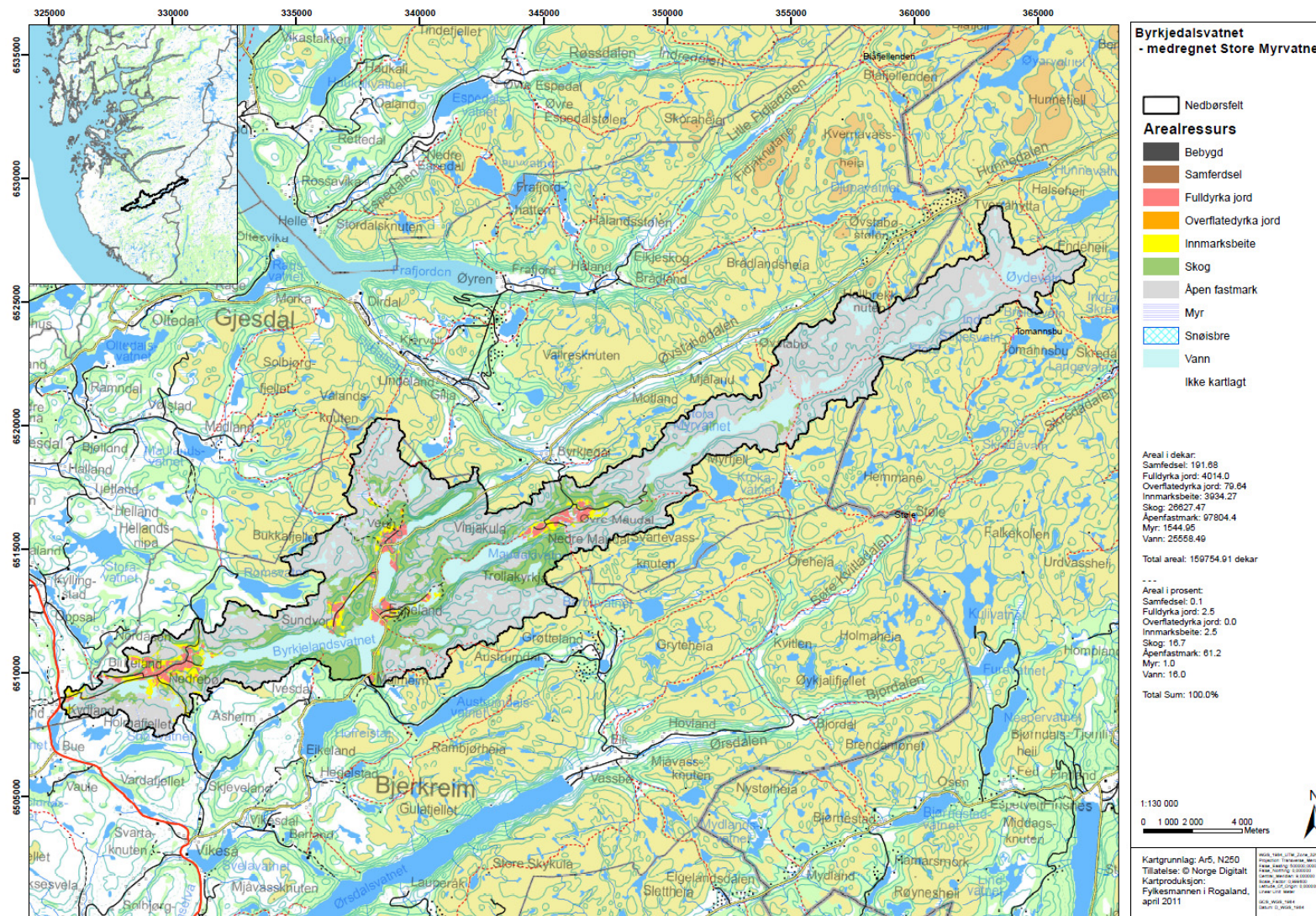
Data innsamlet av NIVA

NIVA har gjennom årene vært involvert i flere overvåkingsprogrammer i Bjerkreimsvassdraget. Alle data er samlet i NIVAs vanndatabase RESA. Følgende stasjoner anses som relevante i forbindelse med dette prosjektet (se **Figur 4** for lokalisering og **Tabell 2** for sammenligning av arealfordeling og spesifikk avrenning):

- Utløp Birkelandsvatn: 12-24 prøver i året 1992-1997. Etter at det ble bygd kalkdoserer i elva, ble stasjonen flyttet noen meter lenger opp og overvåket videre i perioden 1998-2010 (12-16 prøver per år, TOC bare frem til 2006).
- Utløp Austrumdalsvatn. 12-24 prøver per år fra 1992 til nå. TOC bare frem til 2006
- Ørdsdalselva: 12-24 prøver per år fra 1992 til nå.
- Øygardsbekken (2,55 km²) er feltforskningsstasjon innenfor KLIFs sur nedbør overvåking. Ukentlige data fra 1992 til nå. Har noe lavere spesifikk avrenning og høyere andel myr enn Birkelandsvatn, men øvrig arealfordeling er godt representativ.



Figur 4. Kart over området med Birkelandsvatn avmerket (fra Gjerstad 2011a).



Figur 5. Kart over Birkelandsvatn med nedbørsfelt (kartgrunnlag fra Fylkesmannen i Rogaland).

Tabell 2. Spesifikk avrenning og arealfordeling i nedbørfeltet til analyserte stasjoner. Data for Birkelandsvatn hentet fra Gjerstad (2011a), mens data for øvrige stasjoner er hentet fra Kaste et al. (1997).

| | Sp. avr. l/s/km ² | Fjell, åpen fastmark | Skog | Innsjø | Myr | Åker | Beite |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------|------|--------|-----|------|-------|
| Birkelandsvatn | 75 | 58 | 19 | 16 | 1 | 2.9 | 2.8 |
| Austrumdalsv | 85 | 75 | 12 | 12 | 1 | 0 | 0 |
| Innløp Ørsdalsv | 79 | 78 | 13 | 7 | 1 | 0 | 1 |
| Øygardsbekken | 56 | 83 | 4 | 7 | 6 | 0 | 0 |

Vannkjemiske data innsamlet av IVAR

IVAR har egne data, både fra Birkelandsvann og nærliggende Romsvann og Stølsvann; mest farge, men også endel TOC. Analyseresultater for bl.a. fargetall og TOC på enkeltprøver tatt i Birkelandsvatn i 2008, 2009, 2010 og 2011 er tatt med i vurderingene. Det er resultatene for stasjon 3 og 4 som er mest relevante, da de ligger nær planlagt råvannsinntak med inntaksdyp på ca 70 m. IVAR v. Karl Olav Gjerstad har utarbeidet en rapport som viser status for eksisterende råvannskilder (Gjerstad 2011b). Her fremgår bl. a. fargetallsutvikling for Stølsvatn og Storevatn som ligger i nærheten av Birkelandsvatn, men disse kildene er relativt små (spesielt Stølsvatn) og neppe representative for Birkelandsvatn.

2.3 Meteorologiske data

Vi har lastet ned data fra flere meteorologiske stasjoner, se **Tabell 3** for oversikt. Flere av stasjonene er blitt avsluttet i senere år, og det er nå kun Maudal som fortsatt er aktiv for både temperature og nedbør. Sirdal-stasjonen er flyttet flere ganger og stasjon 42920 ble i april 2010 erstattet av en ny stasjon, 42940 Sirdal Sinnes (ikke på **Tabell 3**). Stasjonene 42920 og 42940 er benyttet til analyser av temperatur- og nedbørdata i denne rapporten. Det er i tillegg foretatt en sammenligning av nedbørforholdene ved stasjonene 42920 Sirdal, 43810 Maudal og 44520 Helleland.

Tabell 3. met.no stasjoner med temperatur og nedbørdata

| St.nr. | Navn | I drift fra | I drift til | Hoh | Kommune | Temp. | Nedbør |
|--------|-----------|-------------|-------------|-----|-----------|-------|--------|
| 42920 | SIRDAL | sep.74 | apr.10 | 500 | SIRDAL | X | X |
| 42921 | SIRDAL | jan.98 | jun.04 | 500 | SIRDAL | X | |
| 43500 | UALAND | mai.68 | mar.97 | 196 | LUND | X | X |
| 44520 | HELLELAND | jan.62 | | 280 | GJESDAL | | X |
| 43540 | ØRSDALEN | jan.23 | des.05 | 70 | BJERKREIM | | X |
| 43810 | MAUDAL | aug.46 | | 311 | GJESDAL | | X |

2.4 Hydrologi

NVEs vannføringsstasjon Austrumdal (REGINE 27.1) ligger utenfor nedbørfeltet, men antas likevel å gi et forholdsvis godt bilde av langtidstrend, samt gi en pekepinn på sesongvariasjon og mer kortvarige vannføringsvariasjoner. Vi har derfor benyttet denne stasjonen og data fra 1986-2010 som surrogat for vannføringsmønster ved utløpet av Birkelandsvatn, men med viktige forbehold som er nevnt under. Nedbørfeltet til Austrumdal-stasjonen ligger høyere (median 660 moh) enn feltet til Birkelandsvatn (median 560 moh), noe som medfører høyere spesifikk avrenning, større snøakkumulering, mindre senhøst/vinteravrenning og senere vårfloem i det førstnevnte feltet. Begge feltene inneholder forholdsvis

store og dype innsjøer, som bidrar til å jevne ut vannføringen over tid (demper flomtopper, øker generell lavvannføring).

Disse faktorene er nærmere utdypet av hydrolog Jean P. Bramslev, Multiconsult, som har beregnet vannføringsdata for utløp Birkelandsvatn (1934 – 1970) (Bramslev 2011).

2.5 Nedbørkjemi

Nærmeste stasjon med nedbørkjemiske data er Hundseid i Vikedal og Vatnedalen, øverst i Setesdal (Aas et al. 2011). Månedsmiddel-konsentrasjoner av hovedkomponenter i nedbør er lastet ned fra NILUs hjemmeside (www.nilu.no).

2.6 Rapporter

Følgende rapporter er gjort tilgjengelig for prosjektet gjennom IVAR:

- Rapport fra IVAR om Birkelandsvatn som gir en generell oversikt og bl.a. diskuterer tidligere resultater (Gjerstad 2011a). Rapporten inneholder en beskrivelse av nedbørfeltet (inkludert arealfordeling) samt innsjøen. Det er gitt noe info om TOC/farge-utvikling.
- Rapport fra Multiconsult i forbindelse med magasinberegninger som har relevans i forhold til diskusjon av representative målestasjoner for vannføring (Bramslev 2011). Sammenligner kapasitet Birkelandsvatnet/Myrvatn. Inneholder diverse kart og figurer avrenning/tilsig/flom etc.
- Rapport utarbeidet av Karl Olav Gjerstad som viser status for eksisterende råvannskilder (Gjerstad 2011b).
- met.no rapport om nedbør- og temperaturutvikling Birkelandsvatn og Store Myrvatn (Hygen 2011): Sesongnedbør (total, 99-percentil døgn, antall dager med 10 mm eller mer, antall dager med 50 mm eller mer) 2020-2050 + 2071-2100 (tre scenarier) sammenlignet med 1961-1990+1981-2010. Månedstemperatur (samme scenarier og sammenligning), sesong (antall døgn med middeltemp over 0 og 10°C). Scenariene antyder en jevn økning i lufttemperatur, samt økning i nedbør høst og vinter, hovedsakelig i form av større episoder.

2.7 Statistiske metoder

Vi har benyttet trendanalyser ved Mann-Kendall (MK) test. MK er ikke-parametrisk og egnet til å teste for tidstrender, også når dataene har sterke sesongsvingninger.

Mann-Kendall-testen (MK): en enkel og robust ‘rangerings’-test utviklet 1945 (Mann 1945) og videreutviklet 1975 (Kendall 1975) for analyse av trender. Det er en ikke-parametrisk test som ikke stiller krav til spesielle statistiske forhold (i motsetning til vanlig parametrisk regresjon). Testen håndterer manglende verdier i serier og verdier under deteksjonsgrensen. Den er mye brukt i analyse av lange dataserier. Det finnes flere varianter av MK testen.

Seasonal Mann-Kendall (SMK): dette er en videreutvikling av MK-testen til å inkludere sesongvariasjoner (Hirsch et al. 1982) og korreksjon for seriell korrelasjon (Hirsch and Slack 1984). Prinsippet er at hver sesong (for eksempel månedsverdier) testes for trend før testverdiene oppsummeres til én verdi. Denne metoden har fordelen at problemer med seriell korrelasjon minskes. Det er en sterkere test enn MK-testen for variabler med sterk sesongavhengighet.

Dataserier med p-verdier < 0.05 er rapportert som signifikant økende eller minkede (“sterke trender”), mens dataserier med p-verdier ≥ 0.05 og < 0.10 er rapportert som marginalt signifikante (“svake trender”). Testen analyserer bare retning og signifikans av endringen, ikke størrelsen på endringen.

Ved bruk av Mann-Kendall-testen beregnes også korrelasjoner mellom Mann-Kendall-statistikken for ulike parametere, dvs. hvor like trendene i to parametere er. Resultatene oppgis her som en r-verdi, som indikerer grad av sammenheng og om trendene er positivt eller negativt korrelert. Korrelasjonene er rapportert hvis den absolutte r-verdien er $> 0,5$.

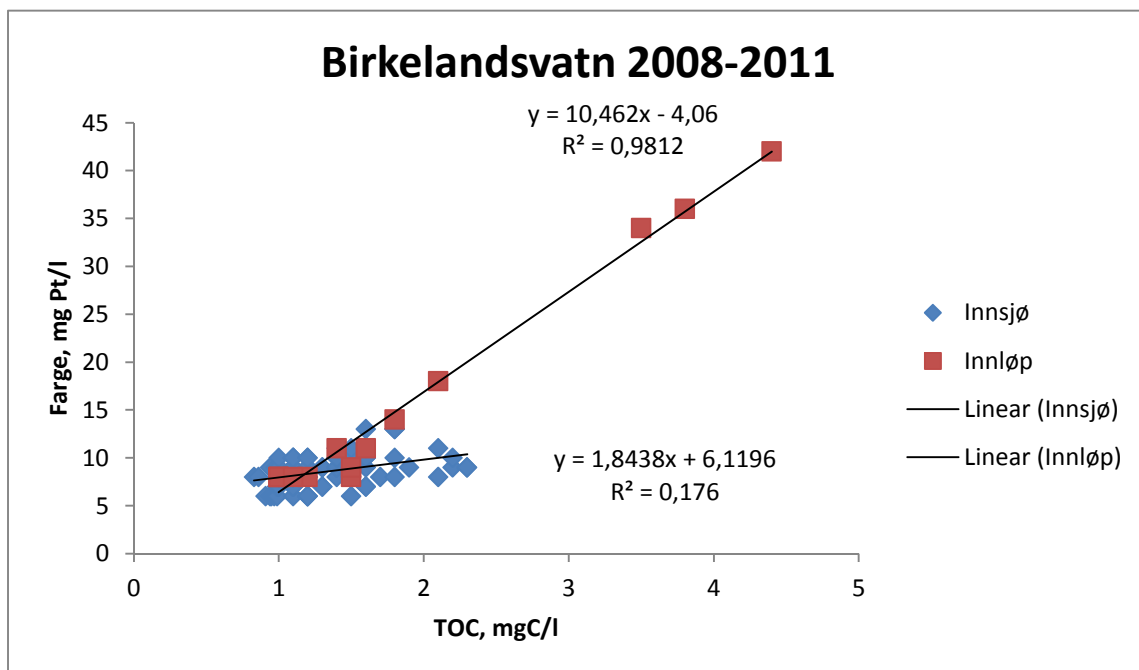
Beregningene er gjort ved hjelp av et excel-program lastet ned fra <http://www.slu.se/sv/fakulteter/nl/om-fakulteten/institutioner/institutionen-for-ekonomi/personal/von-bromssen-claudia/partial-mann-kendall-tests/>.
(Libiseller and Grimvall 2002)

3. Resultater

3.1 Vannkjemi

3.1.1 Farge og TOC i Birkelandsvatn

Drikkevannsforskriften opererer med en grenseverdi for farge på 20 mg Pt/L. De aller fleste overvåkingsprogrammene for vannkvalitet i Norge omfatter TOC eller DOC, og ikke farge. Fargetall er godt korrelert med TOC, slik at TOC vanligvis er et godt surrogat for fargetall. Både fargetall og TOC er målt i en del prøver fra Birkelandsvatn inkludert tilløp i perioden 2008-2011. I vannprøver fra selve vatnet viser de to parametere en svak, men positiv korrelasjon (**Figur 6**). For tilløpsbekkene som har høyere konsentrasjoner er sammenhengen tydelig. Grovt sett kan forholdet i bekkene uttrykkes som farge (mg Pt/L) = 10 * TOC (mg C/L). Det mye lavere stigningstallet for innsjøprøvene kan dels skyldes tvilsom kvalitet på TOC-analysene (K.O. Gjerstad, pers. medd.), eller at fargetallet i innsjøen er redusert pga. av fotooksidasjon (bleking pga. UV-stråling i øvre vannlag).



Figur 6. Forhold mellom farge og TOC i vannprøver tatt i Birkelandsvatn (stasjon 1-5, alle dyp) og tilløpsbekker i perioden mai 2008 til oktober 2011. Data fra IVAR.

Det er tydelig forskjell mellom bekkprøvene og innsjøprøvene mht. fargetall. For å kunne beregne et veid gjennomsnitt av bidraget fra tilløpsbekkene er hver bekk tillagt en vekt basert på gjennomsnittlig vannføringsbidrag til Birkelandsvatn (se tabell på neste side). Tallgrunnlaget for denne vektingen er stilt til disposisjon fra K.O. Gjerstad, IVAR.

| | Vekt |
|----------------------------------|------|
| Innløp 1, Sundvor | 0,03 |
| Innløp 2, Espeland/Vinjvatn | 0,23 |
| Innløp 3, Espeland/Maudal | 0,63 |
| Innløp 4, Birkeland/Nedrebø | 0,09 |
| Innløp 5a, Birkeland/Stølsvatn | 0,01 |
| Innløp 5b, Birkeland/Kyrkjefjell | 0,02 |

Basert på denne vektingen hadde tilløpsbekkene et gjennomsnittlig fargebidrag på 12,0 mg Pt/L og en gjennomsnittlig TOC-konsentrasjon på 1,7 mg/L (**Tabell 4**). Innsjøprøvene hadde lavere fargetall og TOC-verdier enn tilløpsbekkene, og verdiene sank også mot dypet. Innsjøens oppholdstid er en viktig faktor i dette, både ved at variasjon i innløpsbekkene jevnes ut i et stort vannvolum, og ved at prosesser som fotooksidasjon (bleking/omdanning pga. UV-stråling), assimilasjon/opptak i planktonsamfunnet og sedimentasjon får lengre virkningstid. Aluminiums-konsentrasjonene i denne delen av vassdraget er så vidt lave (vanligvis < 20 µg uorganisk Al/L i senere år) at aluminium vil ha ubetydelig effekt som flokkuleringsmiddel.

Tabell 4. Gjennomsnittsverdier og maksimumsverdier for fargetall, TOC og UV-transmisjon i Birkelandsvatn med tilløpsbekker fra mai 2008 til oktober 2011. Bearbeidet etter data fra IVAR.

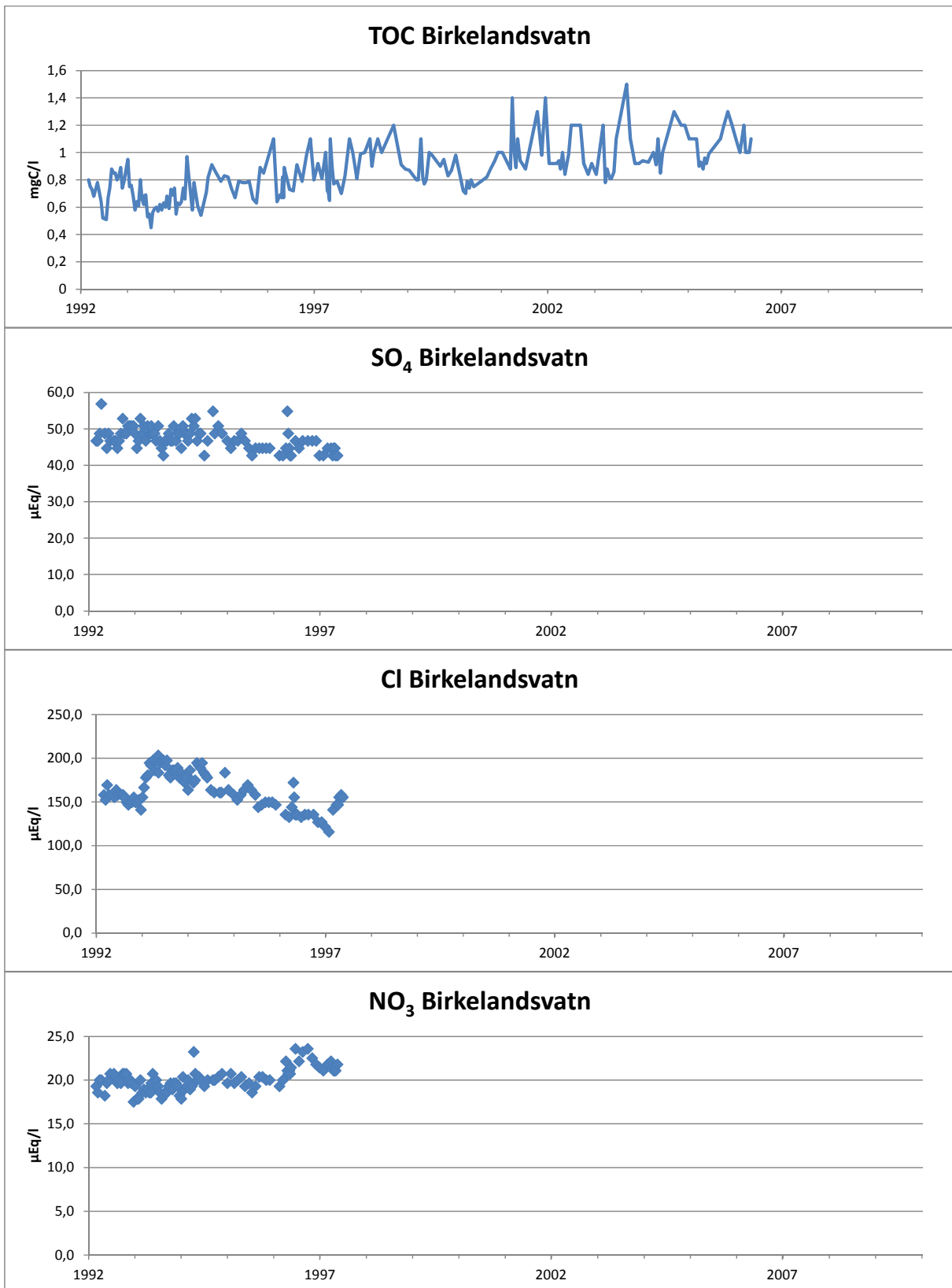
| | Farge mg Pt/L | TOC mg/L | UV-transm % |
|---------------------|------------------|-------------|----------------|
| Gjennomsnitt | | | |
| Bekker (veid verdi) | 12,0 | 1,7 | |
| Innsjø, 0-10 m | 9,5 | 1,5 | 52,4 |
| Innsjø, 20-85 m | 7,9 | 1,2 | 59,0 |
| Maks-verdier | | | |
| Bekker (veid verdi) | 18,7 | 1,9 | |
| Innsjø, 0-10 m | 13,0 | 2,3 | |
| Innsjø, 20-85 m | 11,0 | 2,1 | |

Sollyset fører til fotooksidasjon av naturlig organisk materiale i vann (Bertilsson and Tranvik 2000). En svensk studie anslår at 8 timers innstråling kan bryte ned ca 5% av vannets TOC. Undersøkelser i Kanada viser at fotooksidasjon påvirkes av både pH og jerninnholdet i vannet (Wu et al. 2005). Fotooksidasjon fører til at stillestående vann har lavere konsentrasjoner av TOC (og farge) enn innløpsbekkene.

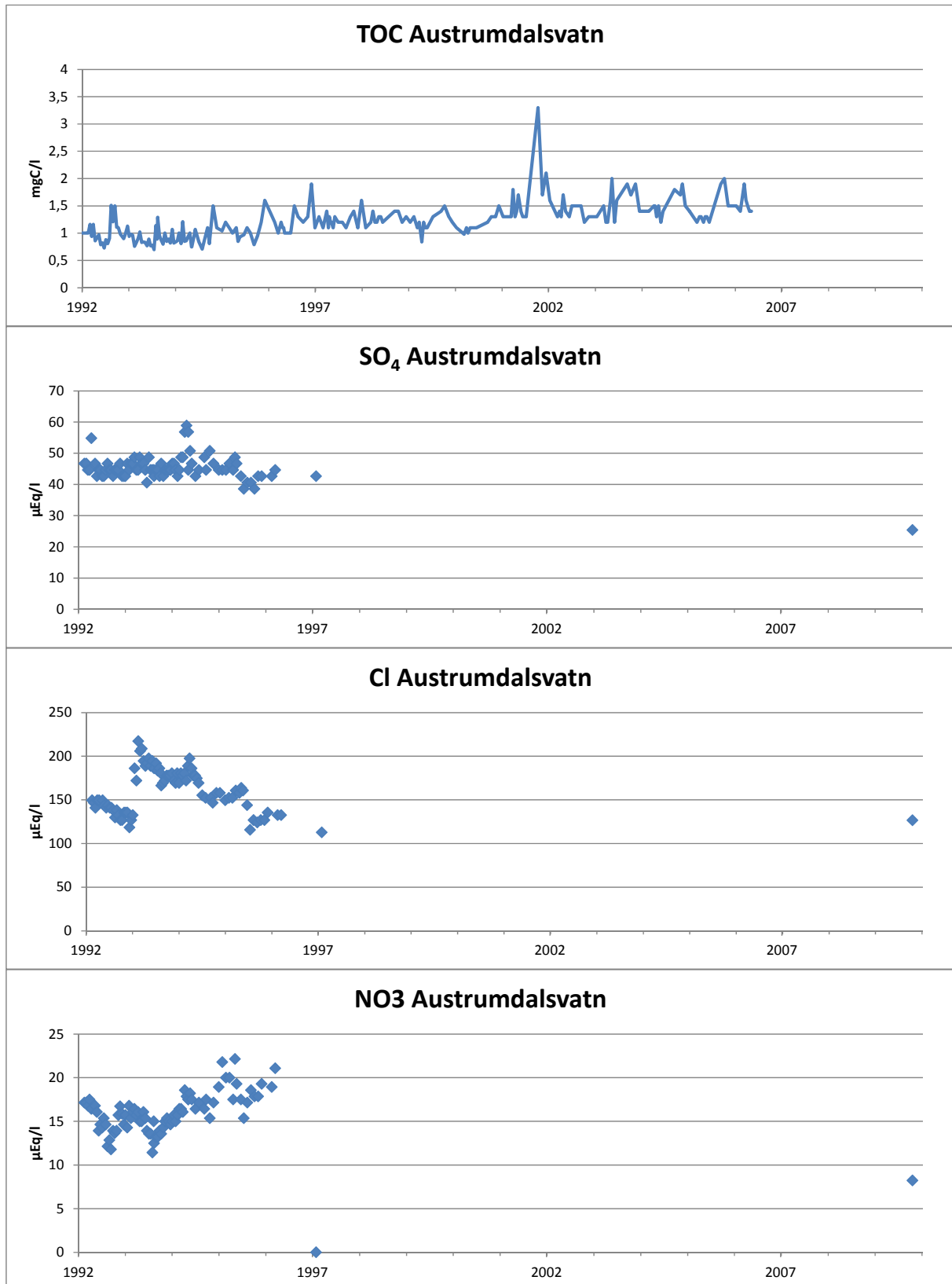
3.1.2 Tidstrender i TOC og andre parametere

I utløpet av Birkelandsvatn har TOC økt fra ca. 0,7 mg C/L i 1992 til ca. 1 mg C/L i 2006. For anionene SO₄, Cl og NO₃ finnes data bare frem til 1997, men av disse viser SO₄ en klar nedgang i konsentrasjon (**Figur 7**). Austrumsdalsvatn viser omtrent samme mønster som Birkelandsvatn; økning i TOC fra ca. 1 mg C/L i 1992 til ca. 1,5 mg C/L i 2006 (**Figur 8**). Ørsdalselva har en komplett dataserie over hele perioden 1992-2010. SO₄ konsentrasjonene har gått signifikant ned i perioden, mens TOC viser store sesongsvingninger (**Figur 9**). Også Øygardsbekken har en komplett dataserie over hele perioden 1992-2010. Her har det også vært en signifikant nedgang i SO₄, samt store sesongsvingninger i TOC (**Figur 10**). I datasettet for Øygardsbekken fremgår det også at høye klorid-

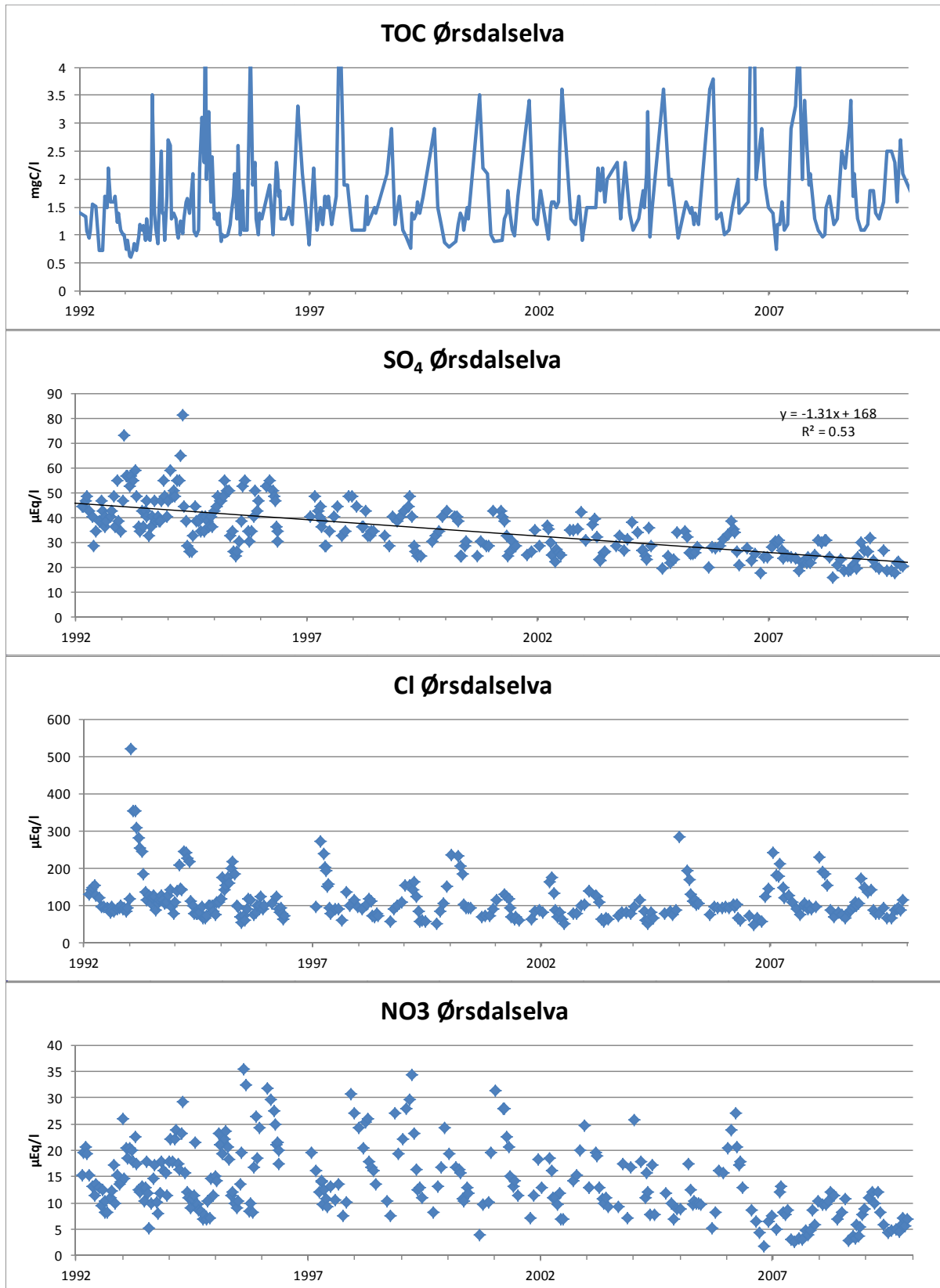
konsentrasjoner i forbindelse med sjøsalt-episoder ofte faller sammen med minima i TOC-konsentrasjon.



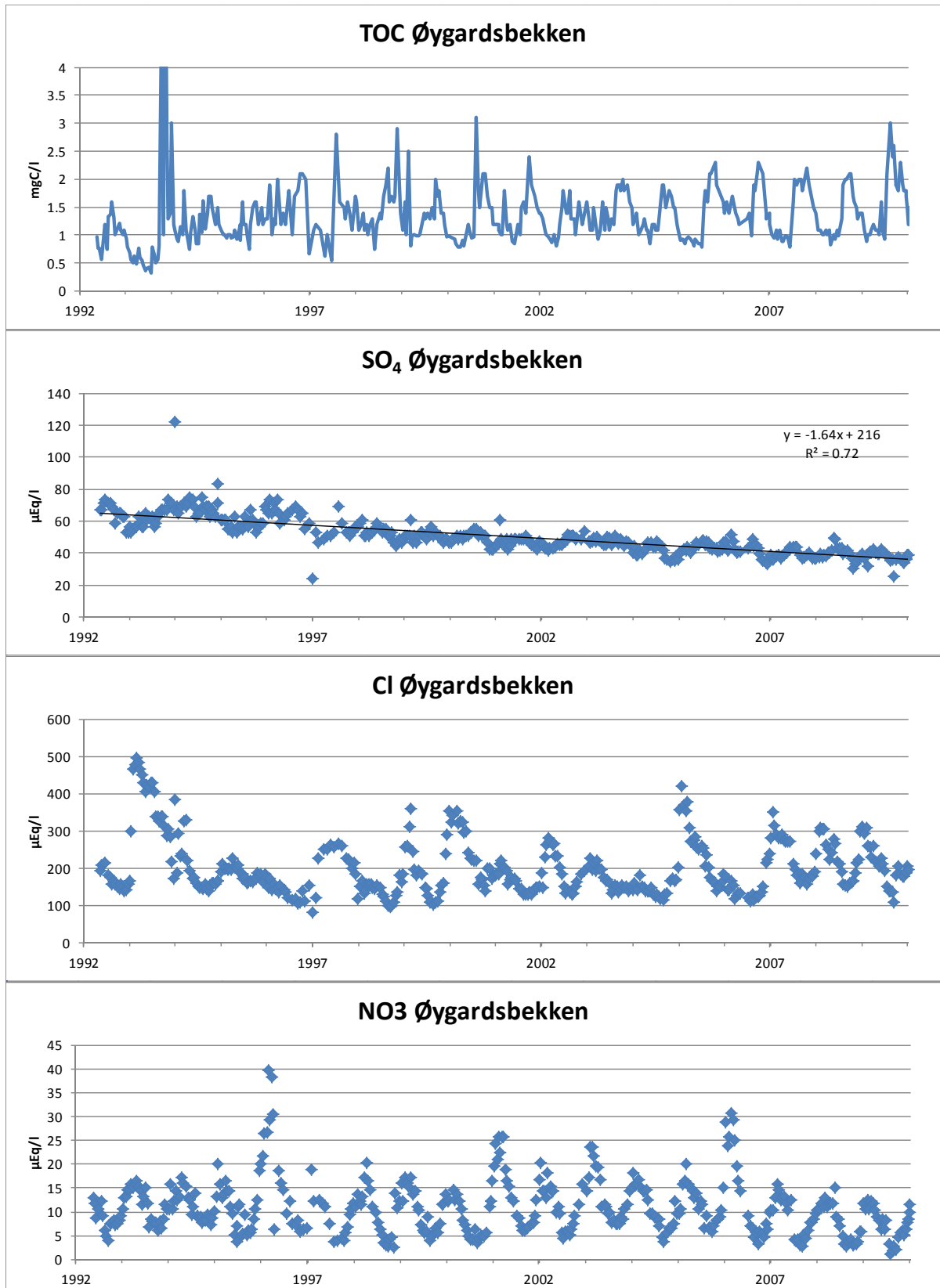
Figur 7. Konsentrasjoner av TOC, SO₄, Cl, og NO₃ i Birkelandsvatn for perioden 1992-2007.



Figur 8. Konsentrasjoner av TOC, SO₄, Cl, og NO₃ i Austrumdalsvatn for perioden 1992-2007.



Figur 9. Konsentrasjoner av TOC, SO₄, Cl, og NO₃ i Ørsdalselva for perioden 1992-2010.

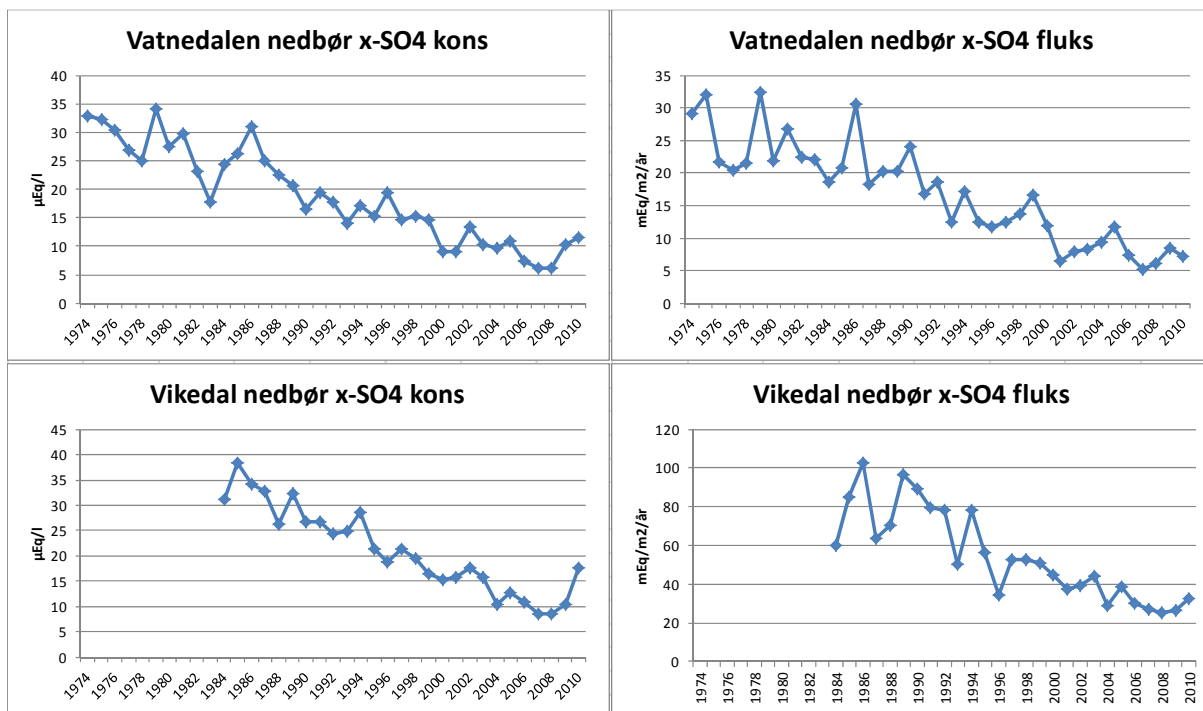


Figur 10. Konsentrasjoner av TOC, SO₄, Cl, og NO₃ i Øygardsbekken for perioden 1992-2010.

3.2 Tidstrender i påvirkningsfaktorer: sur nedbør, sjøsalter og klima

3.2.1 Sur nedbør

Tilførsel av sur nedbør har minnet betraktelig over hele Nord-Europa siden 1970-årene. NILUs nedbørstasjoner i Vatnedalen (Bykle kommune, Aust-Agder) og Vikedal (Vikedal kommune, Rogaland) viser tydelig nedgang i både konsentrasjon og deponisjon av ikke-marint SO_4 (**Figur 11**). Dette er årsaken til at SO_4 konsentrasjoner i vann og vassdrag har gått ned i samme perioden.



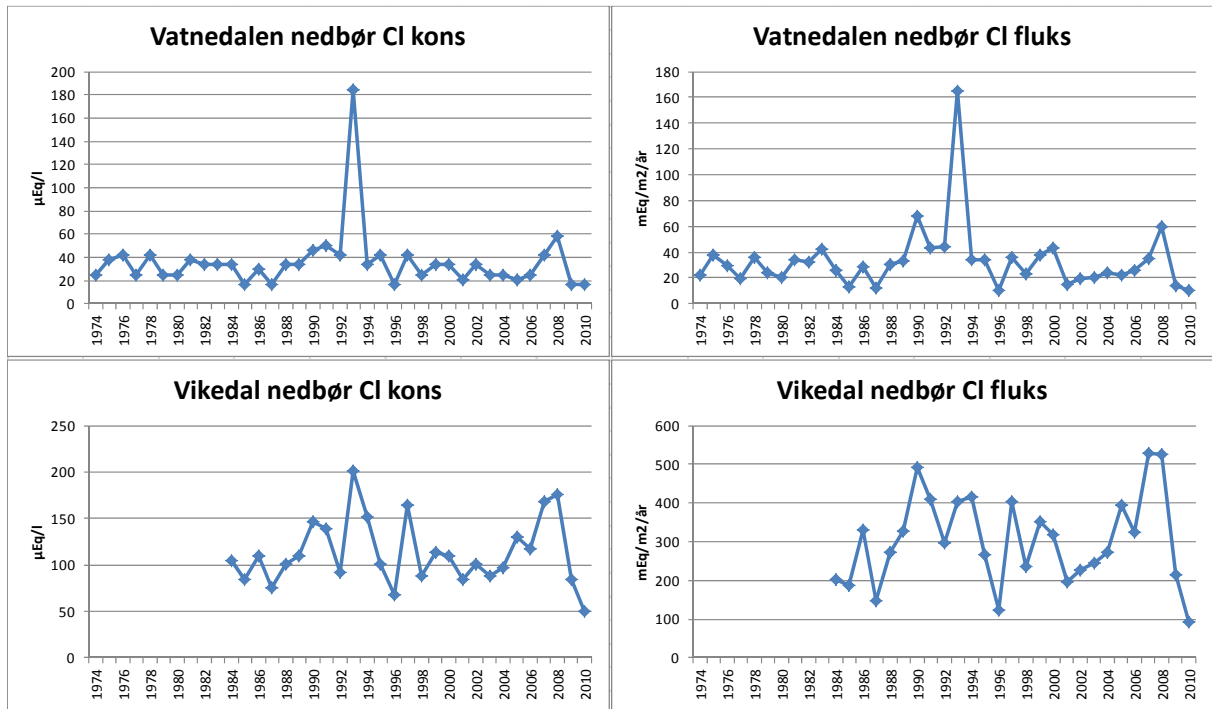
Figur 11. Årlig volum-veid middelkonsentrasjon og fluks av ikke-marint sulfat ($x\text{-SO}_4$) i nedbør målt ved Vatnedalen og Vikedal 1974-2010. Kilde: Statlig program for forurensningsovervåking/NILU.

3.2.2 Sjøsalter

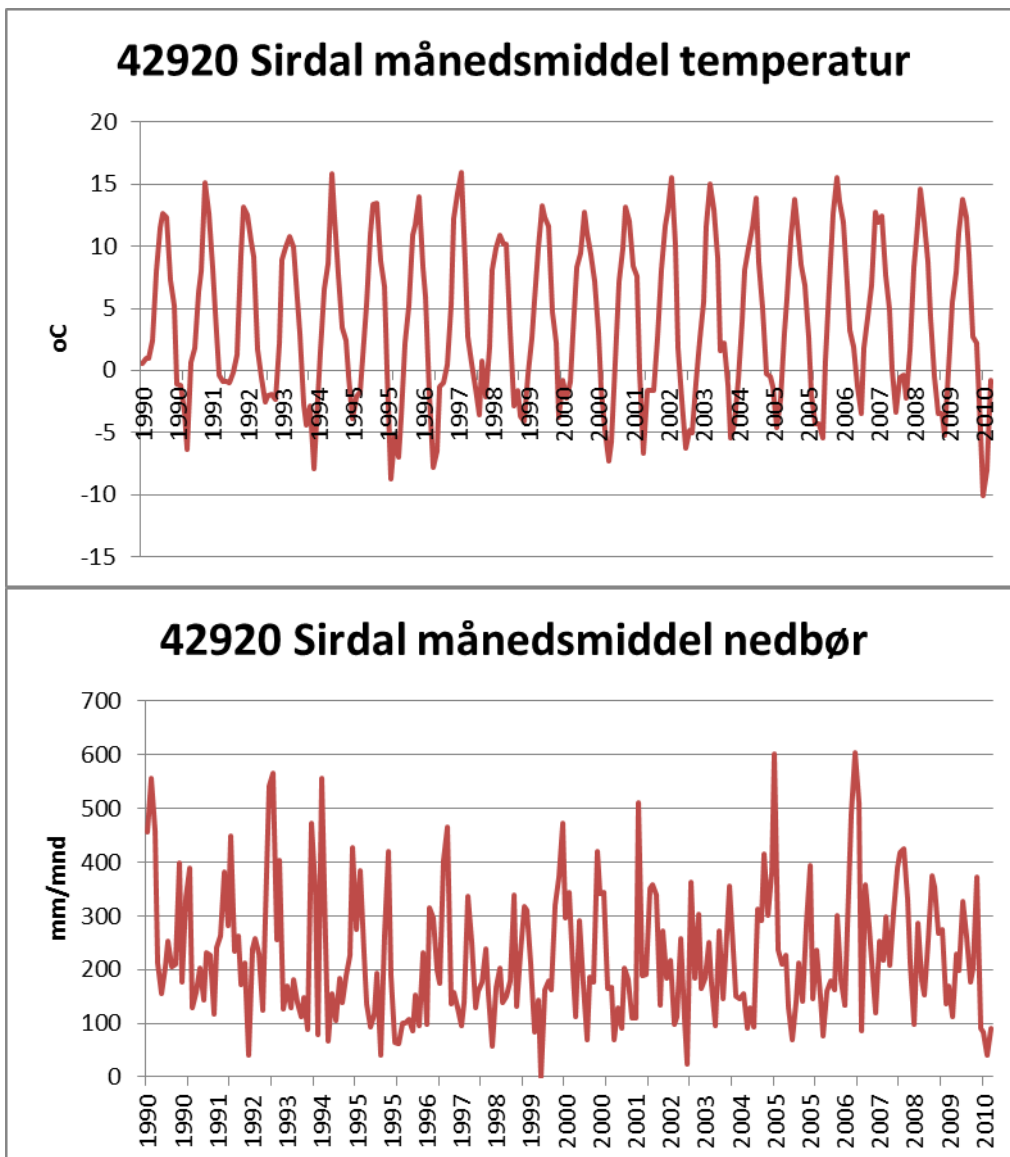
Konsentrasjoner og tilførsler av sjøsalter, spesielt klorid, viser ingen tydelig tidstrend 1974-2010 (**Figur 12**). Sjøsalter i nedbøren kommer etter kraftig stormer med mye vind. I Agder var stormen januar 1993 spesielt kraftig, og dette gjenspeiles i nedbørdata fra Vatnedalen.

3.2.3 Klima

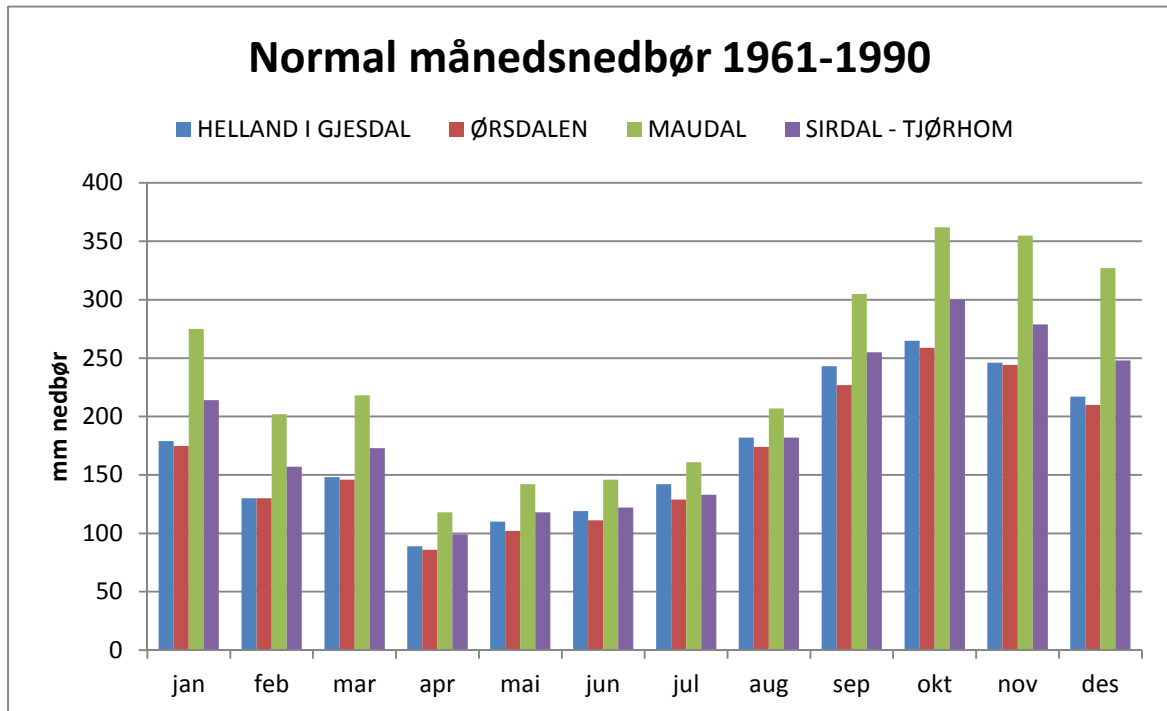
Hverken temperatur eller nedbørmengder viser en entydig tidstrend over perioden 1990-2010. Av met.no værstasjoner i området, er det kun stasjon 92940 Sirdal som har data for begge parametere over hele perioden (**Figur 13**). met.no's rapport om fremtidige nedbørforhold på Birkelandsvatn (Hygen 2011) viser til at temperaturen har økt over alle måneder i perioden 1981-2010 dersom en sammenligner med referanseperioden 1961-1990. For sammenligningens skyld er normal månedsnedbør ved 92940 Sirdal sammenstilt med tre andre målestasjoner i nærheten av Birkelandsvatn (**Figur 14**).



Figur 12. Årlig volum-veid middelkonsentrasjon og fluks av klorid (Cl) i nedbør målt ved Vatnedalen og Vikedal 1974-2010. Kilde: Statlig program for forurensningsovervåking/NILU.



Figur 13. Månedlig middeltemperatur og nedbørmengde ved met.no værstasjon 42940 Sirdal for perioden 1990-2010.



Figur 14. Sammenligning av normal månedsnedbør ved fire stasjoner i nærheten av Birkelandsvatn. Data fra eKlima.

3.3 Statistiske analyser av tidstrender i TOC og aktuelle forklaringsvariabler

Forklaringsvariabler som har inngått i analysene: SO₄, Cl, avrenning og temperatur

3.3.1 Temperatur og nedbør

Mann-Kendall (MK) rank test viser en økning i temperatur ($p < 0,01$) på årsbasis. Fordelt på sesong (seasonal Mann-Kendall SMK), er det bare april som har signifikant økning i temperatur over perioden 1993-2009. For nedbørmengde gir MK en signifikant økning ($p < 0,02$) på årsbasis. Her er det november måned som har signifikant økning ($p < 0,01$) (**Tabell 5**).

Tabell 5. Resultat av MK-tester på temperatur og nedbørmengde (månedsmiddel) for met.no stasjon 42920 Sirdal i perioden 1/1993 – 12/2009.

| Mann-Kendall | | |
|--------------|---------|---------|
| Parameter | Trend | p-verdi |
| temperatur | positiv | 0,009 |
| nedbørmengde | positiv | 0,02 |
| | | |

| Seasonal Mann-Kendall | | | |
|-----------------------|----------|---------|---------|
| Parameter | Måned | Trend | p-verdi |
| temperatur | april | positiv | 0,04 |
| nedbørmengde | november | positiv | 0,01 |

3.3.2 Vannkjemi, vannføring og temperatur Øygardsbekken og Ørsdalselva

Mann-Kendall tester ble gjort for vannkjemiske parametere, vannføring og lufttemperatur (42920 Sirdal) for Øygardsbekken (1/1993 - 12/2009) og Ørsdalselva (1/1990 – 12/2009). For Øygardsbekken viser SMK signifikant økning i temperatur (april) og avrenning (september og november) (**Tabell 6**). TOC har økende trend (august og september), SO₄ har negativ trend (alle måneder), Cl har ingen trender, og NO₃ har negative trender for august, september og oktober.

Ørsdalselva hadde omtrent de samme trendene som Øygardsbekken (**Tabell 7**). Vannføringsdata for Ørsdalselva mangler og kunne derfor ikke testes.

Tabell 6. Resultat av MK-tester på temperatur, vannføring og vannkjemi (volum-veid månedsmiddel) for Øygardsbekken i perioden 1/1993 – 12/2009.

| Mann-Kendall | | |
|---------------------|--------------|----------------|
| Parameter | Trend | p-verdi |
| temperatur | positiv | 0,02 |
| vannføring | positiv | 0,009 |
| TOC | positiv | 0,01 |
| SO ₄ | negativ | <0,0001 |
| Cl | ingen | |
| NO ₃ | negativ | 0,07 |

| Seasonal Mann-Kendall | | | |
|------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Parameter | Måned | Trend | p-verdi |
| temperatur | april | positiv | 0,04 |
| vannføring | september | positiv | 0,01 |
| vannføring | november | positiv | 0,0007 |
| TOC | august | positiv | 0,003 |
| TOC | september | positiv | 0,0003 |
| SO ₄ | Alle måneder | negativ | <0,0001 |
| Cl | Alle måneder | ingen | |
| NO ₃ | august | negativ | 0,04 |
| NO ₃ | september | negativ | 0,01 |
| NO ₃ | oktober | negativ | 0,07 |

| Seasonal Mann-Kendall. Korrelasjon av trendstatistikk mellom TOC og: | | |
|---|-------------------------------|-----------------------------|
| Parameter | Måned | Partiell korrelasjon |
| temperatur | april | positiv |
| vannføring | feb, mar, apr | negativ |
| vannføring | aug, sept | positiv |
| SO ₄ | aug, sept | negativ |
| Cl | feb, mars, apr, mai, jun, des | negativ |
| NO ₃ | feb | positiv |
| NO ₃ | jul, aug, sept | negativ |

Tabell 7. Resultat av MK-tester på temperatur, vannføring og vannkjemi (månedsmiddel) for Ørdsalselva i perioden 1/1991 – 12/2009.

| Mann-Kendall | | |
|-----------------|---------|---------|
| Parameter | Trend | p-verdi |
| temperatur | positiv | 0,05 |
| TOC | positiv | 0,02 |
| SO ₄ | negativ | <0,0001 |
| Cl | ingen | |
| NO ₃ | negativ | 0,003 |

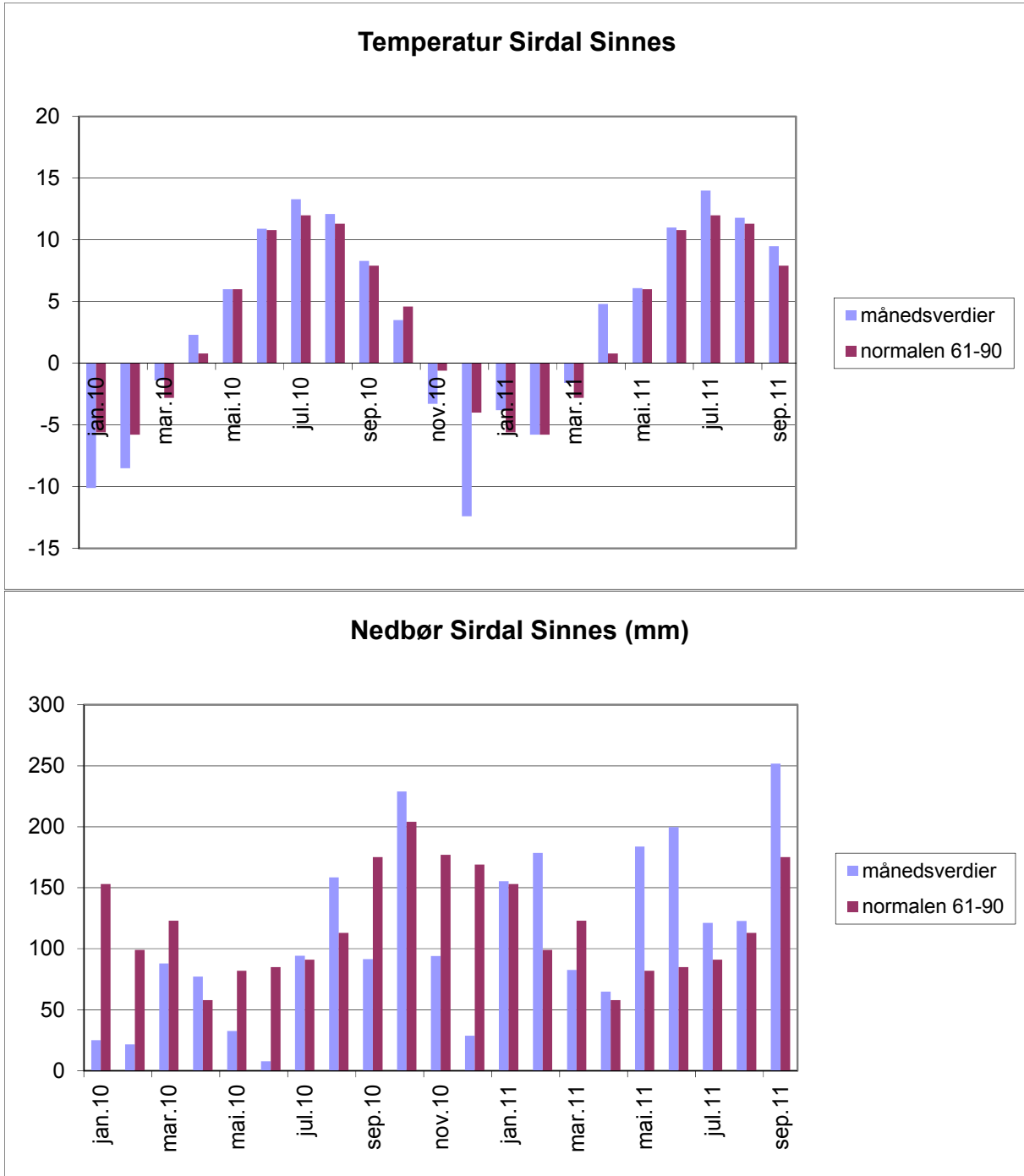
| Seasonal Mann-Kendall | | | |
|-----------------------|--------------|---------|---------|
| Parameter | Måned | Trend | p-verdi |
| temperatur | april | positiv | 0,05 |
| TOC | november | positiv | 0,02 |
| SO ₄ | Alle måneder | negativ | <0,0001 |
| Cl | Alle måneder | ingen | |
| NO ₃ | april | negativ | 0,007 |
| NO ₃ | mai | negativ | 0,007 |
| NO ₃ | september | negativ | 0,02 |
| NO ₃ | november | negativ | 0,02 |

| Seasonal Mann-Kendall. Korrelasjon av trend- statistikk mellom TOC og: | | Korrelasjon > 0,5 |
|---|----------------------------|----------------------|
| Parameter | Måned | Partiell korrelasjon |
| temperatur | okt, nov | positiv |
| SO ₄ | jul, aug, okt, nov | negativ |
| Cl | jan, apr, mai, aug, nov | negativ |
| NO ₃ | jul, okt, nov, des | negativ |

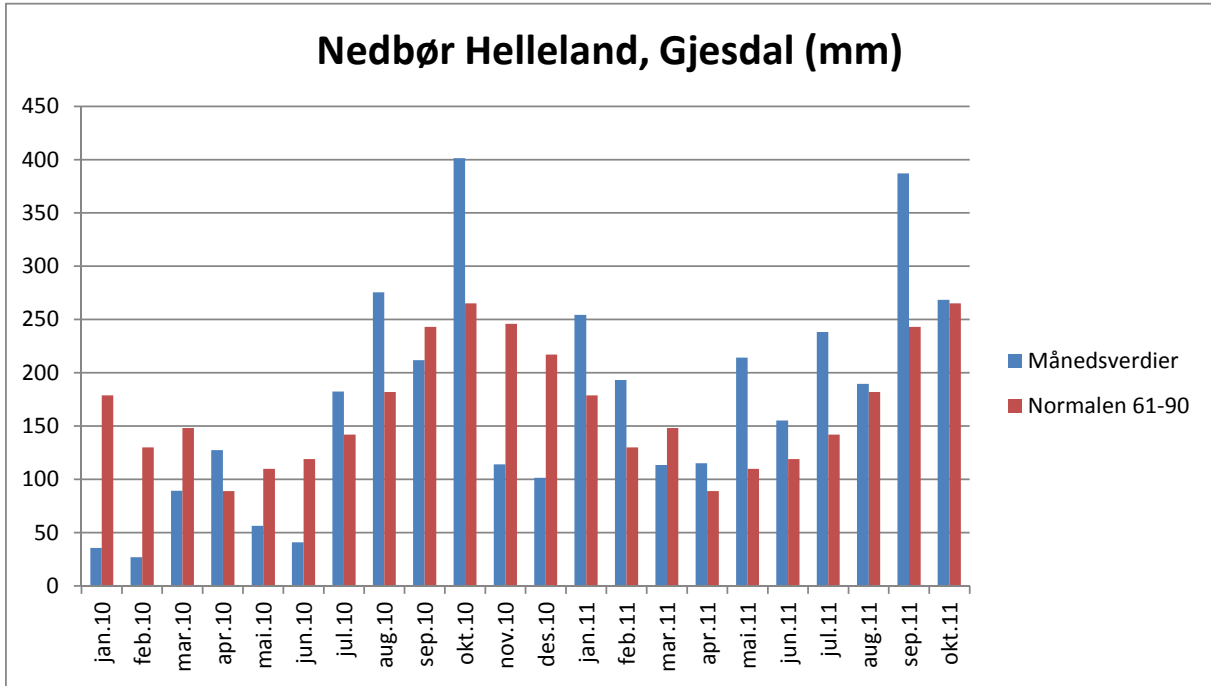
3.4 Forholdene i 2011

Sommeren 2011 var svært våt sammenlignet med normalen (**Figur 15**). I mai og juni var månedsnedbøren over det dobbelte av normalen ved met.no stasjonen Sirdal-Sinnes, mens også juli, august og september hadde verdier godt over normalen. Ved met.no stasjonene Helleland og Gjesdal, som ligger nærmere Birkelandsvatn, var det stort sett det samme mønsteret, bortsett fra at juli var noe våtere enn juni i forhold til normalen. Temperaturmessig lå alle månedene mellom april og september over det normale ved Sirdal-Sinnes. Spesielt april var svært mild i 2011.

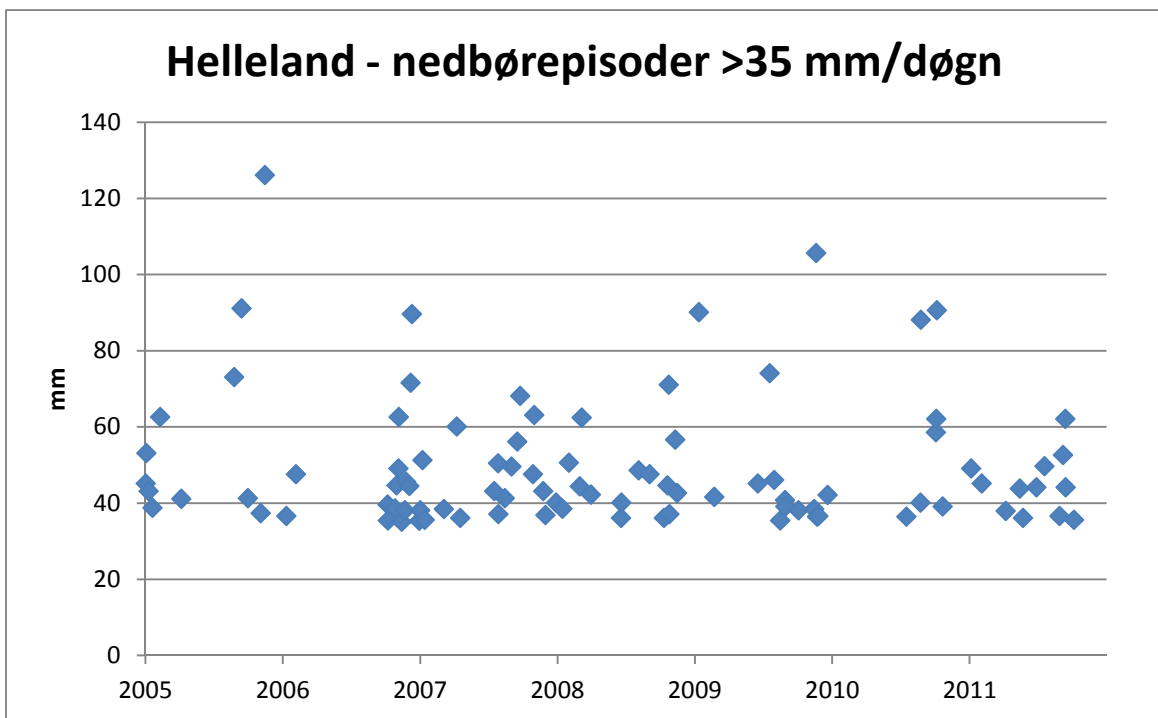
Selv om sommeren 2011 var uvanlig nedbør-rik, var frekvensen av kraftige nedbørepisoder (>35 mm/døgn) ikke nevneverdig større enn de foregående 5 år (**Figur 17**).



Figur 15. Månedsmidler for temperatur og nedbør ved met.no stasjonen i Sirdal 2010-2011.



Figur 16. Månedsmidler for nedbør ved met.no stasjonen Helleland i Gjesdal, 2010-2011. NB! Oktober 2011 mangler 3 dager på full dataserie.



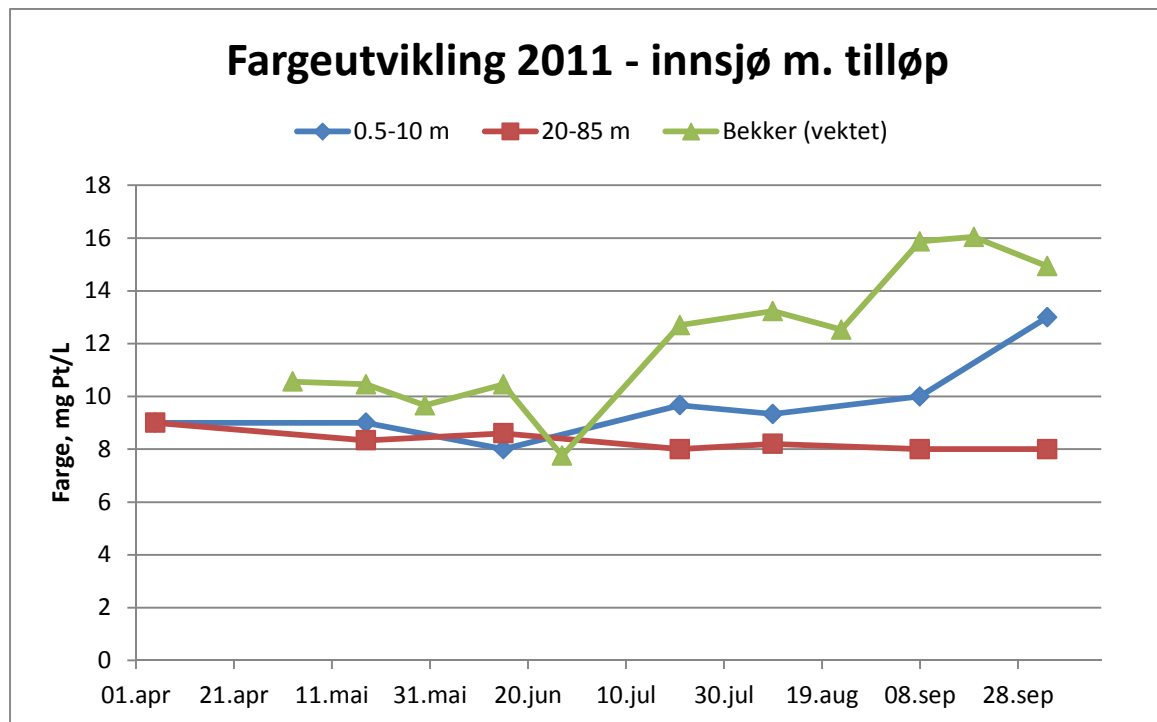
Figur 17. Nedbørepisoder >35 mm met.no stasjonen Helleland i Gjesdal, 2005-2011.

Selv om sommeren 2011 var preget av mye og hyppig nedbør, viser vannprøvene fra Birkelandsvatn ingen dramatiske effekter på fargetall (

Figur 18). Det var en jevn økning i fargetall i innløpsbekkene fra om lag 1. juli til slutten av september, hvor de vektete gjennomsnittsverdiene økte fra 8-10 til 16 mg Pt/L. Det var også en økning i øvre vannlag i Birkelandsvatn i samme periode fra 8 til 13 mg Pt/L. I de dypere vannlagene var det stabile verdier omkring 8 mg Pt/L gjennom hele perioden. Dette er som forventet, i og med at det ikke foregår utveksling mellom øvre og nedre vannlag utenom sirkulasjonsperiodene om våren og høsten.

Middelverdiene for farge i øvre (0.5-10 m) og nedre (20-85 m) vannlag i 2011, skiller seg ikke vesentlig fra middelverdiene for de foregående tre årene. I de øvre vannlag i 2011 var middelverdien 9.7 mg Pt/L, mot 7.0-9.8 i årene 2008-2010. Likeledes var middelverdien i dypere vannlag 8.3 mg Pt/L i 2011, mot 6.5-9.5 i 2008-2010. Det må her legges til at antall prøver, undersøkte stasjoner, dyp og tid på året varierte mellom de ulike årene, slik at dataene ikke er direkte sammenlignbare.

Det foreligger ikke sammenligningsgrunnlag bakover i tid for tilløpsbekkene.



Figur 18. Fargeutvikling på ulike dyp i Birkelandsvatn, sammenlignet med tilløpsbekker i 2011. Bidraget fra tilløpsbekkene er vektet i forhold til totalt vannføringsbidrag

4. Vurdering av resultatene

4.1 Samspill TOC, vannkjemi og klima

Økningen i TOC siden 1992 er tydelig og statistisk signifikant i både Birkelandsvatn og Austrumdalsvatn. Variasjoner i TOC dempes i disse store innsjøene. I bekker og elver er langtidstrender vanskeligere å påvise fordi de er preget av store sesongsvingninger i TOC-konsentrasjoner. Men seasonal Mann-Kendall rank tester viser signifikant økning i TOC i både Øygardsbekken og Ørdsalselva over samme periode. I Øygardsbekken var økningen signifikant i august og september, mens Ørdsalselva hadde signifikant økning i november.

Årsaken til økningen i TOC synes først og fremst å være nedgangen i SO₄-konsentrasjoner siden 1990. Dette skyldes reduksjoner i tilførselene av svovel i sur nedbør. Bare Øygardsbekken og Ørdsalselva har lange serier for sulfat, klorid og nitrat i vannet. Disse viser kraftig nedgang i SO₄-konsentrasjoner: Øygardsbekken fra 70 µEq/L i 1992 til 40 µEq/L i 2010, og Ørdsalselva fra 45 µEq/L til 20 µEq/L. SMK tester viser at SO₄ nedgangen har skjedd i samtlige av årets måneder.

Endringen i kloridkonsentrasjonen som følge av endret intensitet og hyppighet av sjøsaltepisoder kunne være en annen mulig forklaring. Men Cl-konsentrasjonene viser ingen signifikante tidstrender.

NO₃-konsentrasjonene har gått noe ned i perioden; både i Øygardsbekken (august og september) og i Ørdsalselva (april, mai, september og november). Men NO₃ konsentrasjonene er mye lavere enn SO₄ og Cl, og kan dermed ikke forklare nedgangen i TOC.

Klimaparametere som lufttemperatur og nedbørmengde kan også påvirke TOC-konsentrasjoner. MK og SMK tester viser at både lufttemperatur (p=0.009) og nedbørmengde (p=0.02) har økt signifikant i perioden 1/1990-12/2009 ved stasjon 42920 Sirdal. For temperatur var økningen signifikant bare i april måned (p=0.04), mens for nedbør var økningen signifikant i november (p=0.01).

Korrelasjon av Mann-Kendall-statistikken brukes til å avdekke samsvar mellom trender for ulike parametere. Her blir testen brukt til å se på sammenhenger mellom trender for TOC-konsentrasjon og trender i vannkjemiske (SO₄, Cl, NO₃-konsentrasjon) og klimatiske (lufttemperatur og vannføring) parametere. For Øygardsbekken er det tydelig negativ korrelasjon mellom trenden i TOC og trendene for anionene SO₄, Cl og NO₃. Trendene i både SO₄ og NO₃ er signifikant negativ korrelert med TOC-trenden i august og september, mens Cl-trenden er signifikant negativ korrelert med TOC-trenden om vinteren.

Det er flere ulike mekanismer som kan forklare hvorfor lavere konsentrasjoner av sterke syres anioner (SO₄, Cl, NO₃) fører til høyere konsentrasjoner av TOC i avrenningsvann. En mulig forklaring er at TOC løses lettere ut ved lavere ionestyrke i jordvæsken. Ionestyrken (I) til en løsning er en funksjon av konsentrasjonen av alle ioner som er til stede i løsningen:

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n c_i z_i^2$$

hvor c_i er den molare konsentrasjon av et ion (mol/L), z_i er ladningen til ionet, og summen inkluderer alle ioner i løsningen. SO₄ har ladning to og bidrar fire ganger mer til I i forhold til Cl og NO₃ med enheter mol/L (dobbel så mye med enheter µEq/L).

En alternativ forklaring er at reduserte konsentrasjoner av SO_4 , Cl og NO_3 i jordvæsken fører til høyere pH, som igjen fører til lavere konsentrasjoner av uorganisk aluminium. Både H^+ og Al danner sterke organiske komplekser. Generelt løses mer organisk C ut av jorda ved høyere pH (lavere H^+ konsentrasjon).

Det er vanskelig å skille mellom disse to mekanismene i praksis, fordi lavere konsentrasjoner av sterke syres anioner fører til både lavere ionestyrke og høyere pH i jordvannet.

I tidsserien for TOC for Øygardsbekken (**Figur 10**) inntreffer de fleste toppene i etterkant av vekstsesongen, omkring september-oktober. En viktig årsak til dette er at noe av det organiske materialet som produseres i løpet av vekstsesongen tilbakeføres til jorda som strøfall og lekkasje fra planterøtter. En del av dette organiske materialet vil vaskes ut direkte, mens det meste må brytes videre ned av mikroorganismer. Hastigheten på nedbrytingen øker med temperaturen, noe som kanskje er årsaken til den positive korrelasjonen mellom TOC-trend og temperatur-trend på seinhøsten i Ørdsdalselva (**Tabell 7**). Kombinasjonen av økt tilførsel av organisk materiale og relativt høy nedbryting på ettersommeren og høsten gir en akkumulering av potensielt løst organisk materiale i jorda, som lett vil kunne vaskes ut og tilføres vassdragene under nedbørsepisoder. Dette samsvarer godt med den positive korrelasjonen mellom trender i TOC og vannføring på sensommeren og om høsten (Øygardsbekken, **Tabell 6**). Utvaskingen vil som regel være høyere dess kraftigere nedbør det er, fordi vannet i større grad strømmer direkte fra den øvre delen av jorda, hvor akkumuleringen av organisk materiale er størst, og ut i bekken. Denne effekten vil være ekstra tydelig i bratt terreng, som rundt Birkelandsvatn. Ved mindre kraftig nedbør vil vannet strømme via dypere jordlag, hvor noe av det løste organiske materialet kan re-adsorberes.

Om vinteren viser resultatene en negativ korrelasjon mellom trender i TOC og vannføring (Øygardsbekken, **Tabell 6**). Dette er fordi mye av det potensielle løste organiske materialet allerede vil være vasket ut, og nedbrytingen er lavere. Dermed vil økt vannføring først og fremst ha en fortyningseffekt. For øvrig vil TOC-konsentrasjonen om vinteren kunne variere mye fra år til år, avhengig av de klimatiske forholdene. Viktige styrende faktorer vil være vannføring, frost, snø og sjøsalt-episoder. I milde vintre med lite snø/frost og mye nedbør vil mye av vannet drenere på overflaten og i grunne jordlag, som på samme vis som om høsten vil gi høyere TOC-konsentrasjon kalde vintre med frost i jorda og akkumulering av snø i nedbørfeltet, vil avrenningen i stor grad skje fra dypere jordlag (grunnvanns-sonen), hvor TOC-konsentrasjonene er lave. Denne effekten kan også være noe av forklaringen på den positive korrelasjonen mellom trender i TOC og temperatur på seinhøsten. Under snøsmeltingen vil TOC-konsentrasjonen i bekkene kunne variere fra år til år i forhold til selve avsmeltingsforløpet (dvs. blandingsforholdet mellom TOC-fattig smeltevann og avrenningsvann fra TOC-rike, øvre jordlag). Langtidsdata fra Øygardsbekken viser imidlertid at det oftest foregår en fortyning av TOC-konsentrasjonen under snøsmeltingsperioden.

4.2 Framtidsutsikter

Den kraftige nedgangen i SO_4 -tilførsler fra sur nedbør, som har pågått helt siden tidlig på 1980-tallet, har nå stoppet opp, og det forventes bare små endringer i fremtiden. Dette skyldes at SO_4 -konsentrasjonene i avrenningsvann, elver og innsjøer på Sør-Vestlandet er i ferd med å nærme seg det naturlige bakgrunnsnivået. Det forventes derfor ikke at TOC-konsentrasjonene i vann vil gå ytterligere opp som følge av SO_4 .

Cl-konsentrasjoner i nedbør og avrenning drives først og fremst av intensitet og hyppighet av stormer. På lengre sikt er det forventet økt hyppighet og intensitet av stormer og sjøsaltepisoder med klimaendring. Dette vil medføre en generell økning av Cl-konsentrasjonene i vann, noe som basert på tidligere observasjoner bør føre til lavere konsentrasjoner av TOC i elver og innsjøer.

NO₃ er også en mulig driver for TOC-konsentrasjonen i vann. Nivået av NO₃ er imidlertid mye lavere enn Cl i Birkelandsvatn og de andre lokalitetene i nærheten. NO₃ viste en svak økende trend i Birkelandsvatn i perioden 1992-1997, mens det i lengre serier fra Øygardsbekken og Ørdsalselva (1993-2010) har vært en svak nedgang. På disse stasjonene er nivået nå så lavt at det ikke kan regnes med noen vesentlig effekt på TOC-konsentrasjoner i vannet.

Det fremgår fra met.no's rapport om fremtidige klimaforhold på Birkelandsvatn (2020-2050 og 2071-2100; (Hygen 2011) at nedbørmengden forventes å øke vinter, vår og høst, men å minke om sommeren. Dette mønsteret er felles for alle de fire klimafremskrivningene (2 globale klimamodeller, 2 ulike scenarier for klimagassutslipp). Når det gjelder frekvens av intense nedbør-episoder (definert som >50 mm/døgn), gir ikke scenariene noen entydig indikasjon på at denne kommer til å øke vesentlig i fremtiden. Scenariet med kortest tidshorison (2020-2050) indikerer ca. 20-25% økning i vintermånedene, mens scenariene for 2071-2100 antyder en økt frekvens av intens nedbør om høsten. Ingen av scenariene indikerer noen økning i frekvens av intens sommersnedbør.

Korrelasjon av trendene for Øygardsbekken tyder på at økt nedbør (og dermed økt avrenning) om vinteren vil gi lavere konsentrasjoner av TOC, mens derimot økt nedbør om høsten vil gi høyere TOC-konsentrasjoner. I og med at Birkelandsvatn har oppholdstid på ca. 5 måneder, vil økte konsentrasjoner av TOC i tilløpselvene om høsten kunne utjevnes av lavere konsentrasjoner om vinteren. Nettoeffekten av endret nedbørmengde kan derfor i teorien bli null, selv om det også må påregnes relativt store år-til år variasjoner.

Også temperatur forventes å øke ved fremtidig klimaendring (Hygen 2011). Alle fire av met.no's fremskrivninger viser økt temperatur alle måneder i forhold til både normalperioden (1961-1990) og den nyeste 30-års perioden (1981-2010). Partiell seasonal Mann-Kendall test på Øygardsbekken tyder på at økt temperatur om vinteren vil gi lavere konsentrasjoner av TOC i avrenning, kanskje på grunn av fortykning som følge av økt snøsmelting.

Basert på det foreliggende datamaterialet og fremtidige klimafremskrivninger fra met.no er vår konklusjon at den generelle TOC-konsentrasjonen i Birkelandsvatn ikke vil fortsette å øke i fremtiden. Sykliske variasjoner i klimaparametere (temperatur, nedbør) og ekstreme klimahendelser (flom, storm, vind) vil føre til variasjoner i TOC-konsentrasjoner i tilløpselver og i selve Birkelandsvatn. Det er vanskelig å si om disse år-til-år variasjonene vil bringe TOC-konsentrasjoner (og dermed fargetall) kortvarig over kriteriet for drikkevann (20 mg Pt/L). Dagens fargetall i Birkelandsvatn ligger i underkant av 10 mg Pt/L, med TOC-verdier omkring 1.0-1.5 mgC/L, og data som foreligger fram til nå tyder på at det skal relativt stor fargetallsøkning til i tilløpsbekkene før konsentrasjonene i de dypere vannlagene i Birkelandsvatn endres i vesentlig grad. Det er derfor lite sannsynlig at fargetallet i denne delen av innsjøen skal overskride kriteriet for drikkevann (20 mg Pt/L) gitt den kunnskapen vi baserer oss på i dag.

5. Referanser

- Aas, W., S. Solberg, S. Manø, and K. E. Yttri. 2011. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 2010. Klif-rapport, TA-2812/2011.
- Bertilsson, S., and L. J. Tranvik. 2000. Photochemical transformation of dissolved organic matter in lakes. *Limnology and Oceanography* 45:753-762.
- Bramslev, J.-P. 2011. Delrapport 4: Magasinberegning. Multiconsult-rapport nr 215454/1, 19s + ekstra bilag med kart/figurer (23 s) og vedlegg 1-3 (14 s).
- de Wit, H. A., J. Mulder, A. Hindar, and L. Hole. 2007. Long term increase in dissolved organic carbon in stream waters in Norway is response to reduced acid deposition. *Environmental Science & Technology* 41:7706-7713.
- de Wit, H. A., and B. L. Skjelkvåle. 2007. Trends in surface water chemistry and biota; The importance of confounding factors. ICP Waters Report 87/2007, Norwegian Institute for Water Research, Oslo, Norway.
- Erlandsson, M., I. Buffam, J. Folster, H. Laudon, J. Temnerud, G. A. Weyhenmeyer, and K. Bishop. 2008. Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers explained by variation in flow and sulphate. *Global Change Biology* 14:1191-1198.
- Gjerstad, K. O. 2011a. Birkelandsvatn - en vurdering av egnethet som råvannskilde for drikkevannsforsyning. Foreløpig rapport. IVAR.
- Gjerstad, K. O. 2011b. Langevannsverket - Status for nåværende hovedråvannskilder og vannbehandling. Utkast til Delrapport 4, hovedplan 2070. IVAR.
- Henriksen, A., L. Lien, T. S. Traaen, I. Sevaldrud, and D. F. Brakke. 1988. Lake acidification in Norway - present and predicted chemical status. *Ambio* 17:259-266.
- Henriksen, A., Skjelkvåle, B.L., Mannio, J., Wilander, A., Harriman, R., Curtis, C., Jensen, J.P., Fjeld, E. & Moiseenko, T. 1998. Northern European lake survey, 1995. Finland, Norway, Sweden, Denmark, Russian Kola, Russian Karelia, Scotland and Wales. *Ambio* 27: 80-91
- Hirsch, R. M., and J. R. Slack. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* 20:727-732.
- Hirsch, R. M., J. R. Slack, and R. A. Smith. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality analysis. *Water Resources Research* 18:107-121.
- Hygen, H. O. 2011. Fremtidige nedbørforhold på Birkelandsvatn og Store Myrvatn, met.no, Notat.
- Kaste, Ø., A. Henriksen, and A. Hindar. 1997. Retention of atmospherically-derived nitrogen in subcatchments of the Bjerkreim River in southwestern Norway. *Ambio* 26:296-303.
- Kendall, M. G. 1975. Rank Correlation Methods. 4th Edition. Charles Griffin, London.
- KLIF. 2010. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - effekter 2009. Klima- og forurensningsdirektoratet (KLIF). Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 1078/2010. TA 2696/2010.
- Libiseller, C., and A. Grimvall. 2002. Performance of partial Mann-Kendall test for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics* 13:71-84.
- Mann, H. B. 1945. Nonparametric test against trend. *Econometrica* 13:245-259.
- Monteith, D. T., J. L. Stoddard, C. D. Evans, H. A. de Wit, M. Forsius, T. Høgåsen, A. Wilander, B. L. Skjelkvåle, D. S. Jeffries, J. Vuorenmaa, B. Keller, J. Kopáček, and J. Vesely. 2007. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 450:537-540.
- Skjelkvåle, B. L., A. Henriksen, B. Faafeng, E. Fjeld, T. S. Traaen, L. Lien, E. Lydersen, and A. K. Buan. 1996. Regional innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer. 677/96, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norway.
- Wu, F. C., R. B. Mills, Y. R. Cai, R. D. Evans, and P. J. Dillon. 2005. Photodegradation-induced changes in dissolved organic matter in acidic waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62:1019-1027.

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