

# Overvåkning i forbindelse med rehabilitering av Knardalstrand renseanlegg



# RAPPORT

**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

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

**Vestlandsavdelingen**

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

**NIVA Midt-Norge**

Høgskoleringen 9  
7034 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Overvåkning i forbindelse med rehabilitering av Knardalstrand renseanlegg	Løpenr. (for bestilling) 6529-2013	Dato 2. mai 2013
	Prosjektnr. Undemr. 12336	Sider Pris 26
Forfatter(e) André Staalstrøm	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Porsgrunn	Trykket NIVA

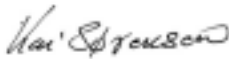
Oppdragsgiver(e) Porsgrunn kommune	Oppdragsreferanse
---------------------------------------	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Målinger av næringssalter rett ved dyputslippet til Knardalstrand RA i Porsgrunn viser at det er forhøyede verdier i dybdeintervallet 20 til 30 m. Dette skyldes helt klart dyputslippet, og er som forventet. Det kan synes å være en tendens til at verdiene i dette dybdeintervallet har økt i overvåkningsperioden, men datagrunnlaget er ikke godt nok til å si noe sikkert.</p> <p>Målinger på stasjon BC-1 midt i Frierfjorden viser ingen påvirkning fra dyputslippet. Oksygenforholdene dypere enn 60-70 m var i miljøklassen «svært dårlige» i overvåkningsperioden, men dette kan ikke direkte knyttes til utslipp av urensset avløpsvann fra renseanlegget.</p> <p>Måling av konsentrasjon av tarmbakterier i overflatelaget viser at miljøtilstanden har vært «dårlig», eller muligens «svært dårlig». Disse konsentrasjonene er likevel ikke over bakgrunnsverdiene målt Skienselva i perioden 1990-2004.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Frierfjorden</li> <li>2. Kommunalt avløpsvann</li> <li>3. Utslipp</li> <li>4. Saltvannskile</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. The Frierfjord</li> <li>2. Municipal wastewater</li> <li>3. Discharge</li> <li>4. Salt wedge</li> </ol>
---	--



André Staalstrøm  
Prosjektleder



Kai Sørensen  
Forskningsleder



Kristoffer Næs  
Forskningsdirektør

**Overvåkning i forbindelse med rehabilitering av  
Knardalstrand renseanlegg**

## **Forord**

NIVA ble på høsten 2012 engasjert for å overvåke effektene av redusert rensing ved Kardalstrand RA i Porsgrunn i forbindelse med rehabilitering av anlegget.

Feltarbeid har blitt utført av Odd Arne Segtnan Skogan og André Staalstrøm. Sistnevnte har skrevet rapporten. Birger Bjerkeng har bidratt med å evaluere teksten og vurderingene i rapporten.

Oslo, 2. mai 2013

*André Staalstrøm*

---

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>3</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Beskrivelse av området</b>	<b>11</b>
2.1 Sirkulasjon i Frierfjorden	11
2.2 Skienvassdraget	11
2.3 Sirkulasjon i overflatelaget	14
2.4 Oppsummering av mulige effekter	15
<b>3. Beregning av innlagringsdyp</b>	<b>16</b>
<b>4. Måling av vannkvalitet</b>	<b>17</b>
4.1 Hydrokjemi i Frierfjorden	17
4.2 Oksygenforhold	22
4.3 Bakteriekonsentrasjon ved utslipp i overløp	23
<b>5. Sammenfattende vurdering</b>	<b>24</b>
5.1 Angående forhøyet konsentrasjon av næringssalter i Frierfjorden	24
5.2 Angående oksygenforholdene i Frierfjorden	24
5.3 Angående bakteriekonsentrasjon i overflatelaget	24
5.4 Angående oksygenforholdene i Skienvassdraget	24
<b>6. Referanser</b>	<b>25</b>
<b>Vedlegg A. Målestasjoner med posisjonsangivelse</b>	<b>26</b>

---

## Sammendrag

NIVA ble på høsten 2012 engasjert for å overvåke effektene av redusert rensing ved Kardalstrand RA i Porsgrunn i forbindelse med rehabilitering av anlegget. Målinger av næringsalter rett ved dyputslippet til Knardalsstrand RA viser at det er forhøyede verdier i dybdeintervallet 20 til 30 m. Dette skyldes dyputslippet, og er som forventet. Det kan synes å være en tendens til at verdiene i dette dybdeintervallet har økt i overvåkningsperioden, men datagrunnlaget er ikke godt nok til å si noe sikkert. Målinger på stasjon BC-1 i overvåkningsprogrammet som ligger midt i Frierfjorden, viser ingen påvirkning fra dyputslippet.

Lave oksygenforhold i Frierfjorden er et vedvarende problem. Oksygenforholdene dypere enn 60-70 m var i miljøklassen «svært dårlige» i overvåkningsperioden, men dette kan ikke direkte knyttes til utslipp av urensset avløpsvann fra renseanlegget. Rehabiliteringen av renseanlegget har hatt tilstrekkelig kort varighet, slik at ingen forverring av miljøtilstanden i Frierfjorden har blitt observert.

Måling av konsentrasjonen av tarmbakterier i overflatelaget viser at miljøtilstanden har vært «dårlig». Siden prøvene ikke hadde blitt tilstrekkelig fortynnet under analyse var øvre deteksjonsgrense lavere enn grenseverdien mellom klassene «dårlig» og «svært dårlig». Det er derfor ikke usannsynlig at miljøtilstanden faktisk var i klassen «svært dårlig». Denne tilstanden kan muligens knyttes til utslipp av kloakk i overløp, men det må påpekes at målinger i perioden 1990-2004 viste at det aldri har blitt observert en miljøtilstand angående tarmbakterier som har vært bedre enn «dårlig». Målingene av tarmbakterier i måleperioden er derfor ikke over sannsynlig bakgrunnskonsentrasjon i elva.

I den perioden hvor dyputslippet til Knardalstrand RA var helt stengt av, gikk avløpsvannet i overløp. Et av disse er plassert i Gunnekleivfjorden, mens tre andre er plassert oppover i Skienselva. I Skienselva lå laget med innstrømmende saltvann hele tiden dypere (4.5-6.0 m) enn disse overløpene, hvor det dypeste var på 4 m. Vann fra overløpene blir derfor raskt fraktet nedover i elva. Det kan likevel ikke utelukkes at noe av det organiske materialet synker ned og legger seg i et lag nær bunn, hvor det kan føre til økt oksygenforbruk.

# Summary

Title: Monitoring during rehabilitation of the Knardalstrand sewage treatment plant

Year: 2013

Author: André Staalstrøm

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6264-3

Measurements of nutrients close to the discharge point of the Knardalstrand RA located in Porsgrunn, shows that elevated levels appear in the depth range 20 to 30 m. This can be explained by the discharge and is as expected. There seems to be a tendency of increase for the values of nutrient concentrations in this depth interval during the monitoring period, but there is not enough data to draw a firm conclusion. Measurements at Station BC-1 located in the middle of the Frierfjord shows no influence from the discharge.

Low oxygen conditions in Frierfjord are a persistent problem. Oxygen conditions deeper than 60-70 m was classified as "very bad" during the monitoring period. This however cannot be directly attributed to the discharge of untreated wastewater from the treatment plant. The duration of the rehabilitation of the treatment plant has been sufficiently short, and a deterioration of the environmental situation in the Frierfjord has not been observed.

Measurements of concentrations of intestinal bacteria in the surface layer in the river, shows that the environmental condition definitely has been "bad", but probably "very bad." This can be explained by discharge of untreated sewage in the river. It must however be pointed out that measurements in the period 1990-2004 showed that the environmental condition regarding intestinal bacteria have only been observed to be "bad" or "very bad".

In the period when the discharge point at 30 m depth from Knardalstrand RA was closed, the discharge water as led to four discharge points in the surface layer. One of these points was located in the Gunnekleivfjord and three was located in the Skien River. In the Skien River the boundary between fresh surface layer and the inflowing salt water layer, was in the range 4.5 to 6.0 m. This is deeper than the deepest discharge point in the river at 4 m. Water from the discharge points in the river will therefore be quickly transported down the river. It cannot be excluded that some of the organic material sinks and settles on the bottom, where it can lead to increased oxygen consumption.

# 1. Innledning

Knardalsstrand RA ble satt i drift i 1990 og hovedmengden av avløpet fra sentrale deler av Skien og Porsgrunn blir ført til dette renseanlegget. Anlegget er plassert på vestsiden av Skienselva i Porsgrunn. Avløpsledningen er lagt på bunnen av elva og har sitt utløp på 30 meters dyp litt vest for elvemunningen (**Figur 1**). Stasjonen rett over utslippet heter KR-1 (**Figur 2**).

Anlegget har i perioden oktober 2012 til mars 2013 vært under rehabilitering, og i denne perioden har det vært redusert renseseffekt av varierende grad. Fylkesmannen i Telemark ga i denne forbindelsen en midlertidig tillatelse til utslipp av urensset avløpsvann på 30 meters dyp i uke 44, 45, 46 og 47 i 2012, og utslipp av urensset avløpsvann i overløp i en periode på 3 døgn i uke 47. I uke 48 og 49 ble det tillatt redusert renseseffekt ved renseanlegget, med renseseffekt på 10% for fosfor og 15% for organisk stoff (BOF 5). I de 10 første ukene av 2013 ble det tillatt at renseseffekten periodevis er lavere enn normalt hvis tilrenningen ble unormalt høy.

De fire aktuelle overløpene er (**Figur 2**)

P357	1 m	Lensmannsdalen i Skien
KP304	2 m	Sundjordet
KP340	2 m	Rema 100 på Herøya
KP369	4 m	Dagbygg Knardalsstrand

Det ble krevet at det skulle gjennomføres et overvåkningsprogram og utarbeides en rapport som dokumenterer at kravene til renseseffekt er overholdt og som gir en vurdering og oppsummering av overvåkning av virkningen av utslippene. Det er dette som er gjort i denne rapporten.

Overvåkningen av utslippet har bestått av 4 tokt. Et tokt ble foretatt rett før arbeidet startet, 22. oktober 2012. Det andre toktet ble foretatt i den første perioden hvor urensset avløpsvann ble sluppet ut på 30 m ved stasjon KR-1, 7. november 2012. Det tredje toktet ble foretatt mens det var utslipp til de fire overløpene nevnt ovenfor, 22. til 23. november 2013. Det siste toktet ble foretatt 20. mars 2013.

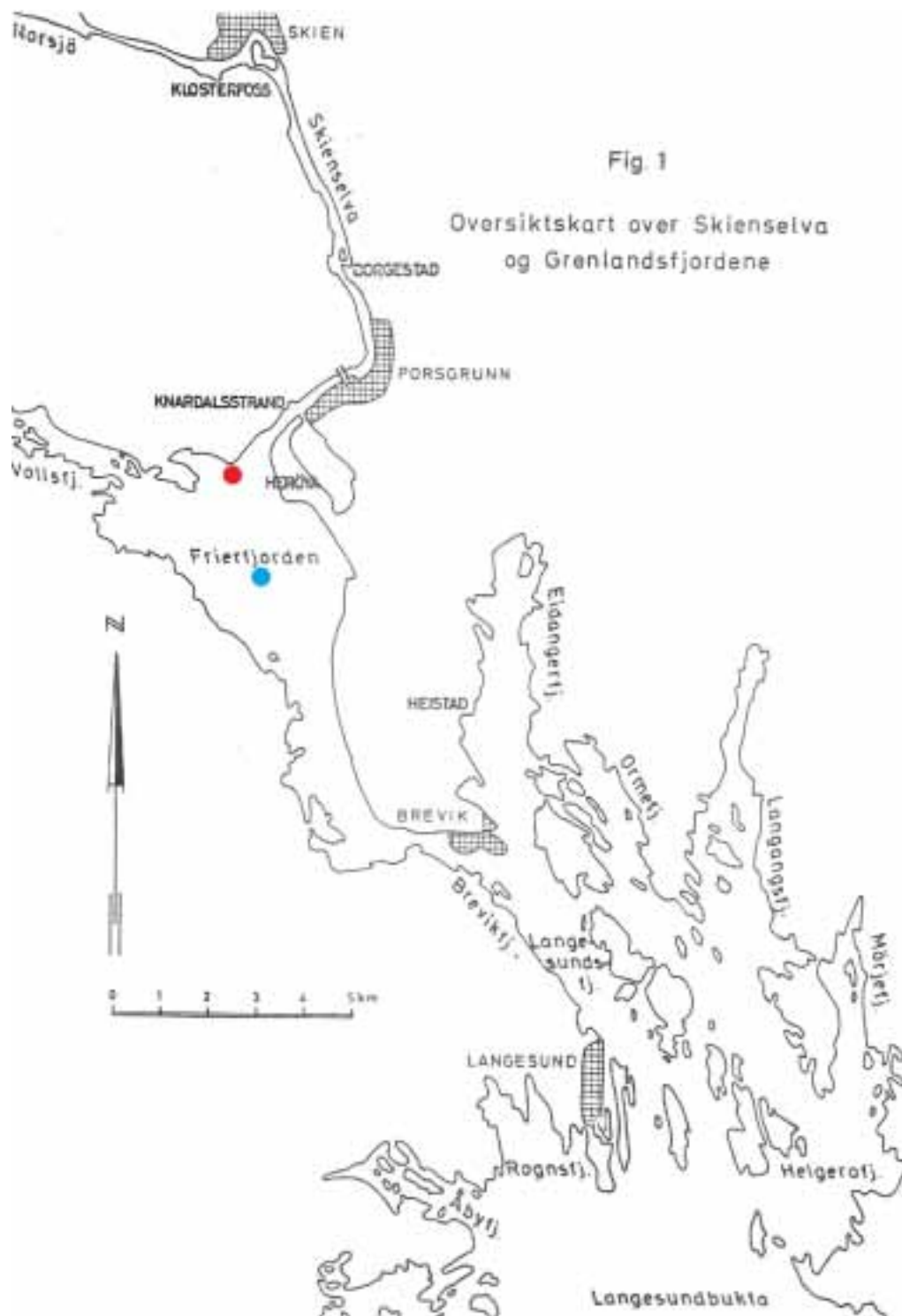
På hvert tokt ble det målt total mengde nitrogen, fosfor og organisk stoff samt konsentrasjon av løste næringssalter (nitrat+nitritt, fosfat, ammonium og silisium) på stasjon KR-1. Det ble målt oksygenkonsentrasjon med et profilerende instrument ved dyputslippet og i dype områder av Skienselva. Disse målingene ble sammenlignet med oksygenanalyser fra vannprøve tatt på stasjon KR-1.

På hvert tokt ble det målt profiler av saltholdighet og temperatur med en SAIV CTD på flere stasjoner for å kartlegge hydrografien i området (**Figur 2**).

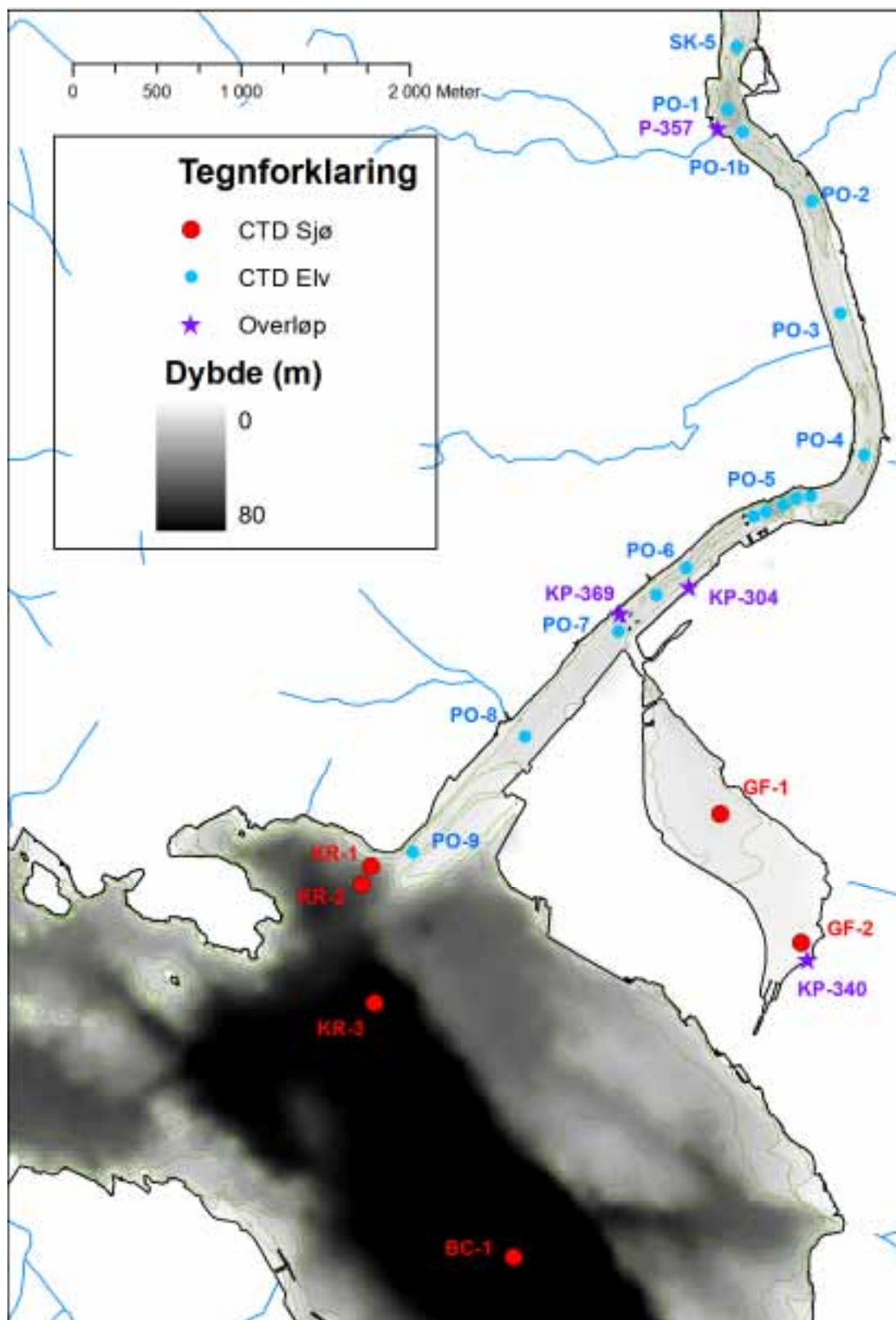
På det tredje toktet ble det i tillegg tatt vannprøver i overflata hvor det ble analysert for konsentrasjon av termotolerante koliforme bakterier og E. coli.

Først vil vi se på sirkulasjonen i Frierfjorden, Gunnekleivfjorden og i Skiensvassdraget, for å klargjøre hvilke problemer som kan oppstå ved utslipp av urensset avløpsvann. Deretter vil vi beregne innlagingsdypet til dyputslippet og se om overvåkningen har avdekket eventuelle miljøeffekter.

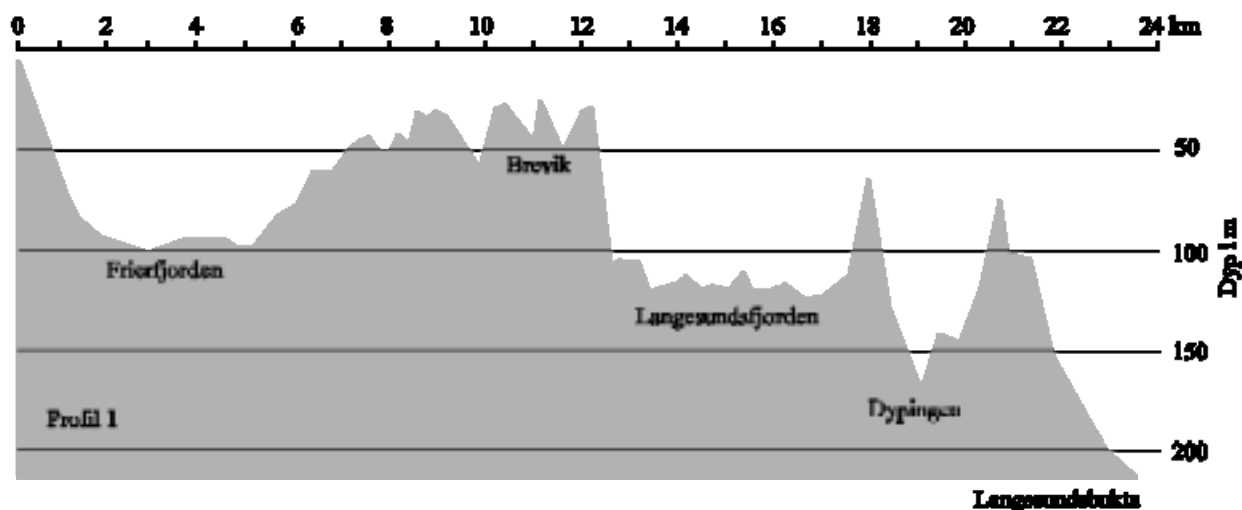




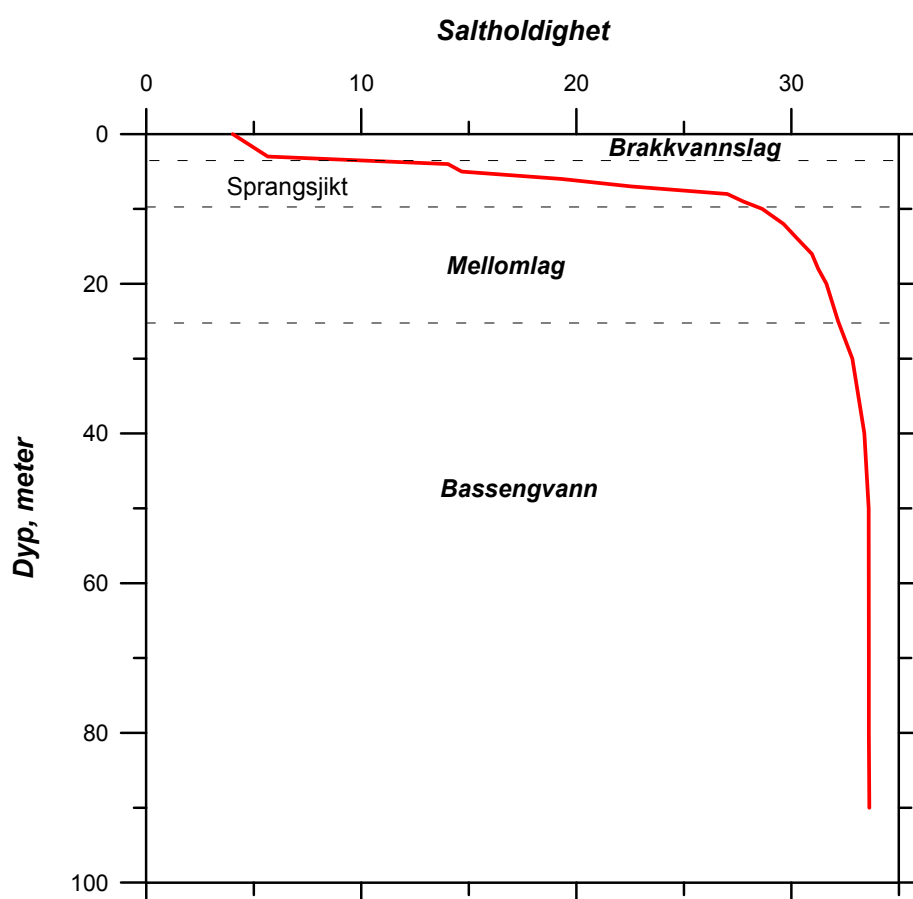
**Figur 1.** Oversiktskart over Frierfjorden hentet fra (Molvær, Resipientmessig vurdering av de kommunale og regionale avløpsplaner i Grenlandsregionen 1976). Den hydrografiske hovedstasjonen BC-1 (blå prikk) er avmerket midt i fjorden og utslippet fra Knardalsstrand RA er avmerket ved Skienselvas utløp (rød prikk).



**Figur 2.** Kart over Porsgrunn og Skiensvassdraget. CTD stasjoner er merket med prikker, stasjoner i elva med blått, og stasjoner i sjøen med rødt. Overløpene er merket med stjerner. De grønne linjene angir dybdekoter fra 10, 20, 40, og 50 m.



Figur 3. Langsgående bunnprofil fra Frierfjorden og til Langesundsbukta hentet fra (Bakke, et al. 2009).



Figur 4. Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser.

## 2. Beskrivelse av området

### 2.1 Sirkulasjon i Frierfjorden

Vannmassene i Frierfjorden (**Figur 1**) er preget av to forhold. Det første er at terskelen ved Brevik fører til at bassengvannet under 23 m dyp er avskåret fra vannmassene i Breviksfjorden og Langesundsfjorden (**Figur 3**). Det andre er at Skienselva tilfører fjorden store mengder ferskvann med 230-250 m<sup>3</sup>/s som typisk årsgjennomsnitt, med opptil 1000 m<sup>3</sup>/s i vårflommen og minimum 50-100 m<sup>3</sup>/s i juli-august. Den store ferskvannstilførselen og fjordterskelen gjør det naturlig å skjelne mellom tre hovedvannmasser i Frierfjorden (**Figur 4**):

- brakkvannslaget, som preges av ferskvannstilførselen
- mellomlaget som strekker seg ned til omkring terskeldypet eller litt dypere, og
- bassengvannet

Tykkelsen av brakkvannslaget varierer mellom 2 m og 8 m, avhengig av ferskvannstilførsel og vindforhold. Dette laget strømmer raskt ut gjennom fjordområdet. Overgangen fra brakkvannslag til mellomlaget er markert ved en sterk økning i saltholdighet, og omtales ofte som et sprangsjikt.

De tre vannmassene er preget av forskjellige utskiftningsmekanismer. Brakkvannet strømmer raskt ut gjennom fjordområdet, med bakevjer mot Volls fjorden og på Frierfjordens østside (se **Figur 1**). Den øvre delen av mellomlaget er preget av en inngående sjøvannsstrøm som erstatter sjøvannet som transporteres ut av fjorden med brakkvannsstrømmen. Mellomlaget er også sterkt påvirket av tidevann og av inn- og utstrømninger pga. variasjoner i vannmassenes egenvekt utenfor Brevik. Bassengvannet har en mer sporadisk vannfornyelse og større fornyelser foregår med flere års mellomrom (opptil 5 års intervall er registrert).

I periodene mellom de kortvarige og store dypvannsfornyelsene er dypvannet i Frierfjorden preget av langsomme variasjoner hvor tettheten i dypvannet gradvis blir redusert på grunn av at lettere vann nærmere overflata blandes ned i dypet, og samtidig blir oksygenet i dypvannet brukt opp ved nedbrytning av organisk materiale. Hvor fort denne prosessen går, er avhengig av tilførselen av materiale som krever oksygen for å brytes ned. Betydelig økt tilførsel av næringssalter til de øvre lagene av fjorden kan derfor føre til en forverring av oksygenforholdene fordi det gir økt nedsynkning av organisk materiale fra planteplanktonproduksjon. Måling av næringssaltkonsentrasjoner og oksygeninnhold er derfor de viktigste elementene i miljøovervåkinga. Også sedimenterende organisk materiale fra elva og fra kloakkutslipp vil bidra til oksygenforbruket i bassengvannet.

### 2.2 Skiensvassdraget

Vannføringen målt ved Skotfoss kraftverk er vist i **Figur 5**. Under tokt 1 var vannføringen 145-156 m<sup>3</sup>/s, og under tokt 2 var den 141-188 m<sup>3</sup>/s. I løpet av de to dagene tokt 3 varte, økte vannføringen fra 163 til 201 m<sup>3</sup>/s. Vannføringsdata var ikke tilgjengelig da tokt 4 ble foretatt, men den var omtrent 100 m<sup>3</sup>/s i perioden før toktet. Saltholdigheten i overflatelaget ute i Frierfjorden minker og brakkvannslaget blir tykkere når vannføringen øker (**Figur 5**).

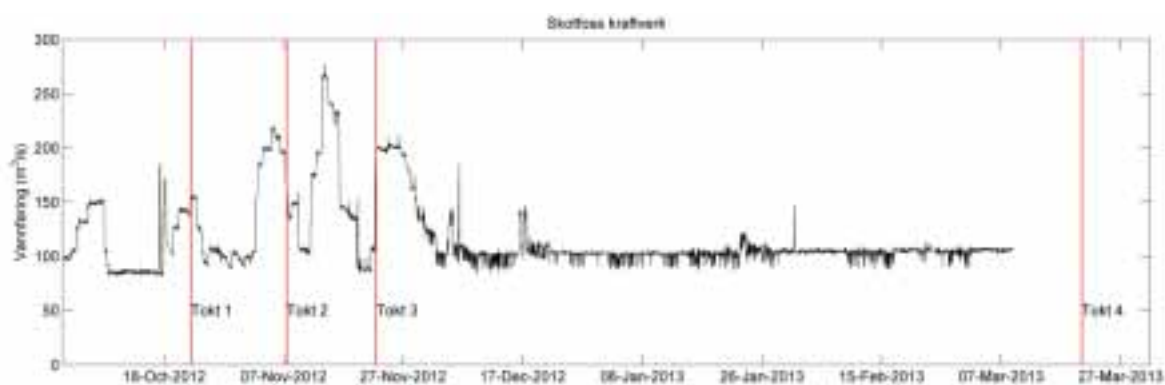
I Skiensvassdraget er det et skarpt skille mellom ferskvann i overflata som strømmer utover, og et lag med saltvann som trenger inn fra fjorden. Skillet mellom ferskvann og saltvann blir gradvis dypere når man beveger seg oppover elva, helt til ferskvannslaget når helt ned til bunn. Dette kalles gjerne en saltvannskile, og det er vanlig i elveutløp som er ganske flate. Det samme fenomenet er for eksempel

observert i Glomma (Sørgård, Martinsen og Aas 1990). Overvåking av Skiensvassdraget i årene 1993 til 2004 viser at saltvannskilen når helt opp til Skien ved flere anledninger (Barland 2005).

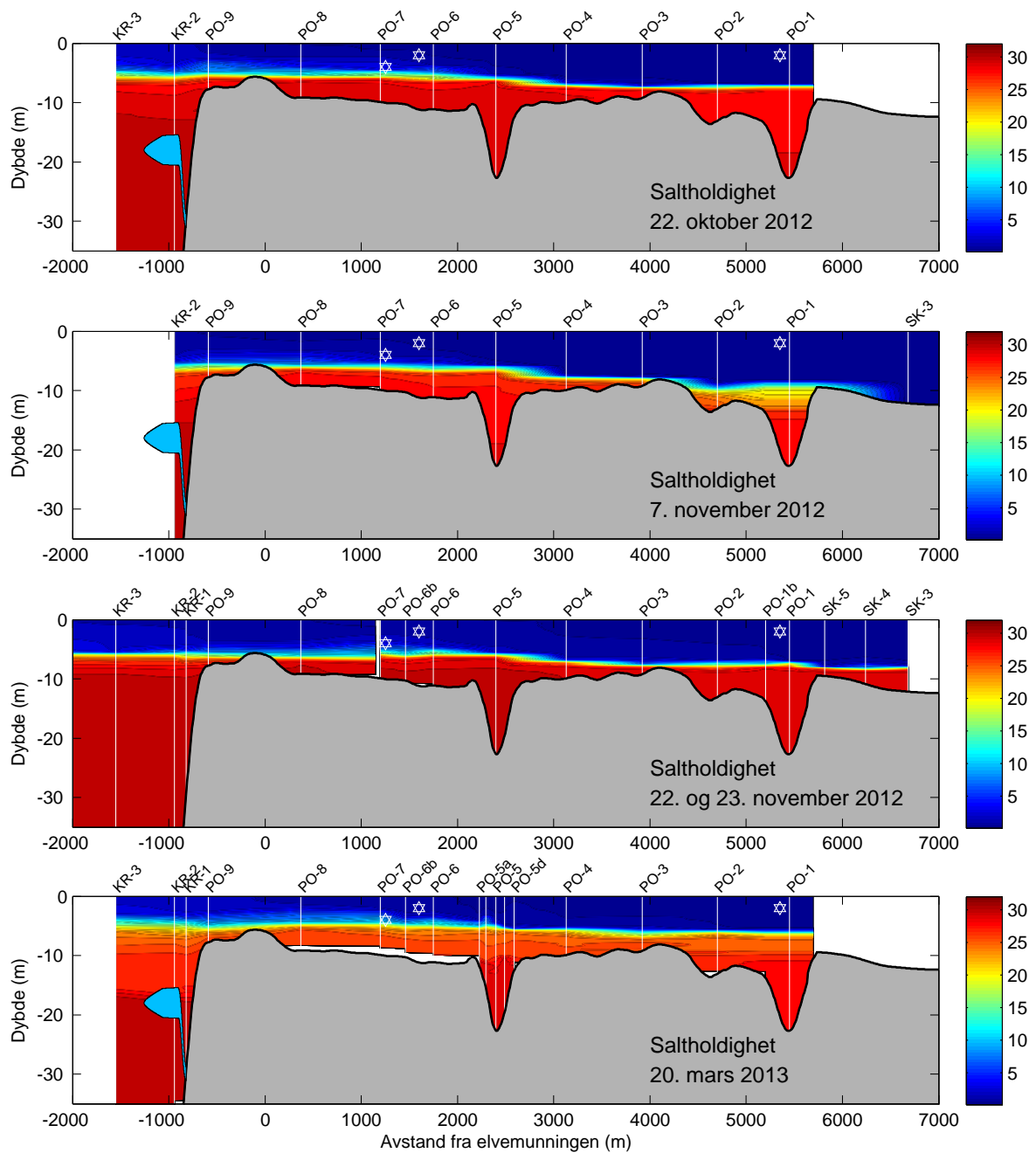
Bunntopografien i Skienselva består av blant annet tre dype groper, ved Porsgrunnbrua, ved Borgestad og i Skien. I disse gropene vil det tidvis legge seg vann som er så tungt på grunn av saltholdigheten at det blir liggende en stund. I slike tilfeller vil det over tid bli lave oksygen konsentrasjoner i disse gropene. På stasjon PO-4 (se **Figur 2**) er det typisk at det om sommeren kan være lange perioder med mindre enn 1.5 ml/l med oksygen i 20 m dyp (Barland 2005). Dette forekommer i perioder med lav vannføring i elva.

Ved tilførsel av organisk materiale i elva kan det tenkes at oksygenforbruket i gropene øker. Det kan for eksempel tenkes at vann som slippes ut på 4 m ved Knardalsstrand fraktes oppover i saltvannskilen og legger seg i dypet på stasjon PO-5.

Saltvannskilen i elva ble kartlagt på alle de fire toktene (**Figur 6**). Skillet mellom saltvannslaget og ferskvannslaget varierte mellom 4.5 og 6.0 m dyp ved Knardalsstrand (stasjon PO-7). Alle overløpene har sine utslipp i ferskvannslaget som strømmer utover.



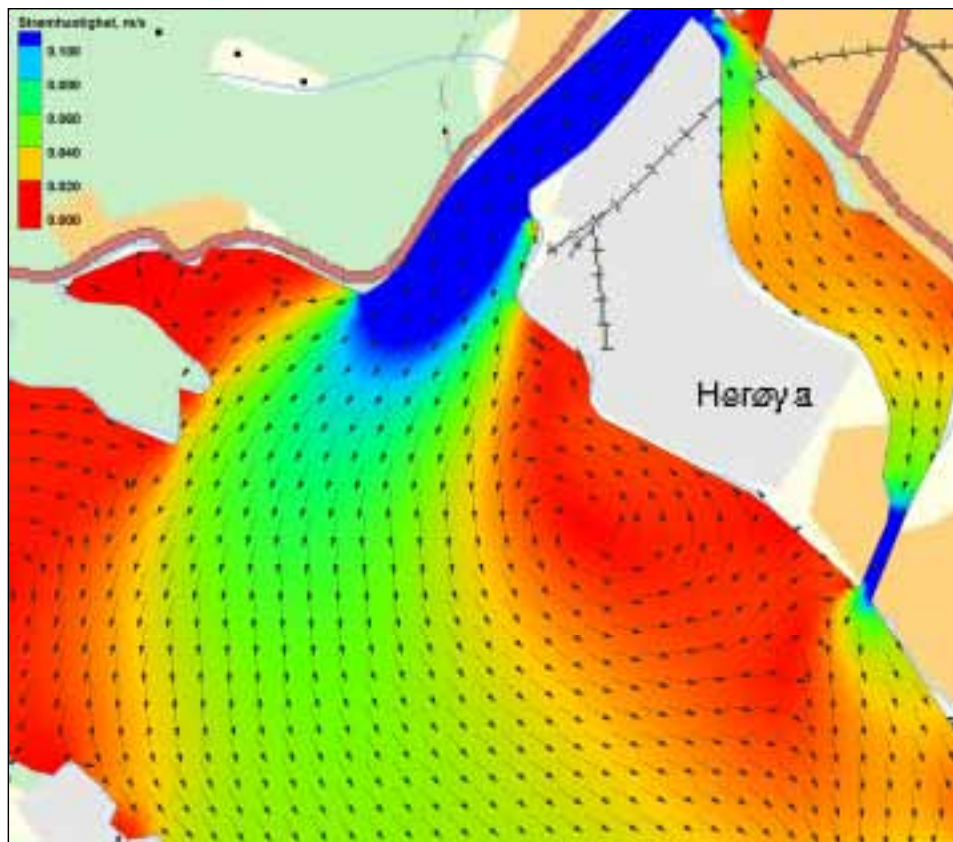
**Figur 5.** Vannføring i Skienselva målt ved Skotfoss kraftverk. Tidspunktet for de fire toktene er markert med vertikale røde linjer.



**Figur 6.** Saltholdigheten i Skienselva og ved utslippet til Knardalsstrand rensanlegg. Dyputslippet er markert med en blåfarget sky ved stasjon KR-1 for de tidspunkter da det var i drift. Overløpene er markert hvite stjerner.

## 2.3 Sirkulasjon i overflatelaget

Strømforholdene i overflatelaget er tidligere simulert ved bruk av modellen Surface Modeling System (SMS) (Bakke, et al. 2009). **Figur 7** viser sirkulasjonen ved vannføring 200 m<sup>3</sup>/s i Skienselva og 4 m tykt brakkvannslag. I denne ”prinsippfiguren” er ikke tidsvariable faktorer som tidevann eller vind inkludert, men den illustrerer tydelig hvordan utstrømmende elvevann setter opp en bakevje på østsiden av elvemunningen. I Gunnekleivfjorden strømmet vannet inn fra Skienselva i nord og ut til Frierfjorden gjennom en trang kanal i sør. Når avløpsvann slippes ut i overflatelaget gjennom overløp, vil det effektivt spre seg til hele området fra Borgestad og ned hele Skienselva og til Gunnekleivfjorden.



**Figur 7.** Simulering av sirkulasjonen i brakkvannslaget utenfor Herøya.  
Vannføring i Skienselva: 200 m<sup>3</sup>/s

## **2.4 Oppsummering av mulige effekter**

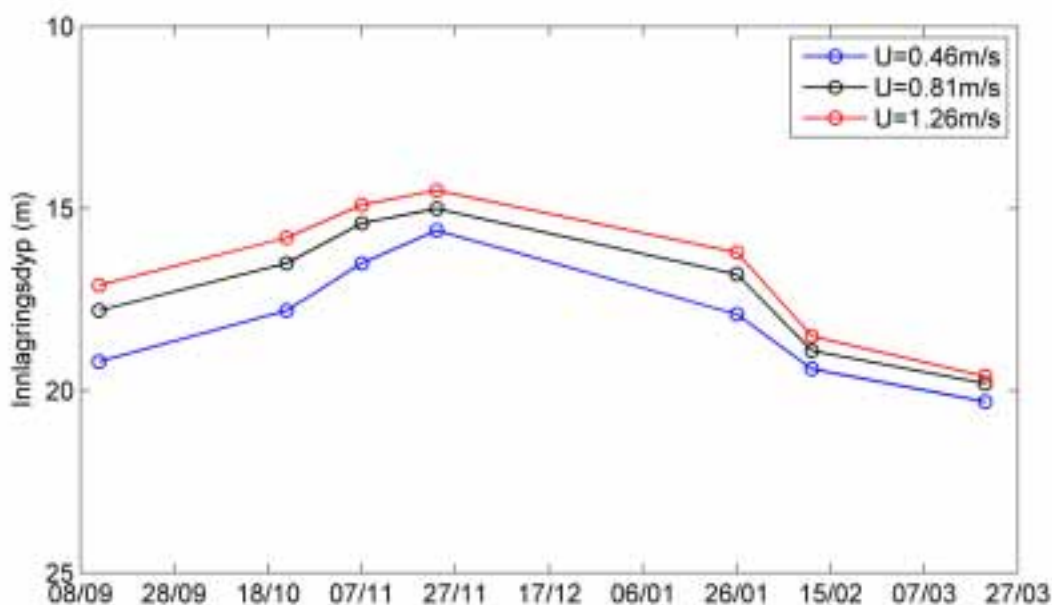
I lys av kunnskap om sirkulasjon i området kan vi sette opp følgende liste over mulige miljøeffekter ved midlertidig økt utslipp av næringssalter.

1. Forhøyet konsentrasjon av næringssalter i Frierfjorden.
2. Lavere oksygenverdier i dypvannet i Frierfjorden.
3. Høy bakteriekonsentrasjon i overflaten i hele området.
4. Lave oksygenverdier i dype deler av Skiensvassdraget.



### 3. Beregning av innlagringsdyp

For å bedømme effekten av utslipp av avløpsvann med redusert rensing er det viktig å vite hvor i vannsøylen vannet havner. Avløpsvannet er ferskt og har således en mindre tetthet enn sjøvannet det slippes ut i på 30 m fra et rør med en åpning. Strålen med avløpsvann vil stige oppover på grunn av oppdriften, samtidig som saltvann blandes inn i strålen og tettheten vil gradvis øke. Ved et punkt vil tettheten i avløpsvannet være lik tettheten til vannet i resipienten, og avløpsvannet vil innlagres i dette dypet. Innlagringsdypet er beregnet med modellen JETMIX, basert på CTD data fra stasjon BC-1 og KR-1. Det ble funnet at innlagringsdypet er 15 til 20 m (**Figur 8**).



**Figur 8.** Beregnet innlagringsdyp mellom september 2012 og mars 2013. Beregningene er basert på CTD-målinger fra stasjon KR-1 og BC-1. U er hastigheten i utslippsstrålen beregnet basert på driftsvannføring i Knardalsstrand RA fra oktober 2012.

## 4. Måling av vannkvalitet

### 4.1 Hydrokjemi i Frierfjorden

Vannkvaliteten i Frierfjorden har blitt overvåket gjennom flere år på stasjon BC-1 i forskjellige prosjekter. Data fram til og med 16. august 2012 ligger i databasen Aquamonitor ([www.aquamonitor.no/ytreoslofjord](http://www.aquamonitor.no/ytreoslofjord)). Hydrokjemiske målinger har da vanligvis blitt gjort i overflata og i 20 m. I tillegg til dette har Havforskningsinstituttet gjort målinger i september og november 2012, og i januar og februar 2013.

I 2011 ble næringssaltkonsentrasjoner målt i flere dyp ved seks anledninger. Disse dataene er presentert i **Figur 10** og **Figur 11** for å vise hva slags bakgrunnskonsentrasjoner som finnes i fjorden. **Figur 10** viser konsentrasjon av totalt innhold av nitrogen og fosfor sammen med oksygeninnhold i vannsøylen. Grenseverdier fra det offisielle systemet for klassifisering av vannkvalitet er vist i **Figur 9** (Molvær, Knutzen, et al. 1997). Ut fra dette systemet er vannkvaliteten «meget dårlig» for total nitrogen i overflata på våren og sommeren, mens den er «meget god» for total fosfor. Konsentrasjon av fosfor øker med dypet, mens oksygenkonsentrasjonen minker. Ved 60-70 meters dyp er vannkvaliteten «meget dårlig» når det gjelder oksygen.

**Figur 11** viser konsentrasjon av nitrat og fosfat sammen med konsentrasjon av klorofyll a i de øverste 30 meterne. Ved å sammenligne med **Figur 9** ser vi at vannkvaliteten er «dårlig» når det gjelder nitrat i overflata på våren og sommeren, mens den for total fosfor er «god» eller «meget god». Dette er et typisk mønster, hvor tilgangen av nitrogen gjerne stammer fra elvetilførsel, mens fosfor allerede finnes i vannmassene. Det ser ut til at det forekommer en oppblomstring som varer helt til fosfatet i overflata er brukt opp.

Under overvåkingen i dette prosjektet ble hydrokjemien målt på stasjon KR-1 i fire dyp. Resultatene er presentert i **Tabell 1**, **Tabell 2** og **Tabell 3**. Det ser ut til å være en topp i næringssaltkonsentrasjonene i 20-25 m på stasjon KR-1 som ligger rett over utslippet. Utslippet er i 30 m dyp og innlagingsdypet er i 15-20 m dyp (**Figur 8**), derfor er det ikke uventet at konsentrasjonen er høy i 20-25 m. Det er ingen tilsvarende topp i dataene fra BC-1. På tokt 1, som ble tatt før arbeidet på Knardalsstrand RA begynte, og på tokt 2, hvor det var redusert rensing, er det liten forskjell i næringssaltkonsentrasjonene. Under tokt 3, da utslippet ikke gikk ned til 30 m, men gikk ut i overløpene, er maksimumet total nitrogen, nitrat og ammonium redusert. Dette tydet også på at utslippet påvirker hydrokjemien på stasjon KR-1.

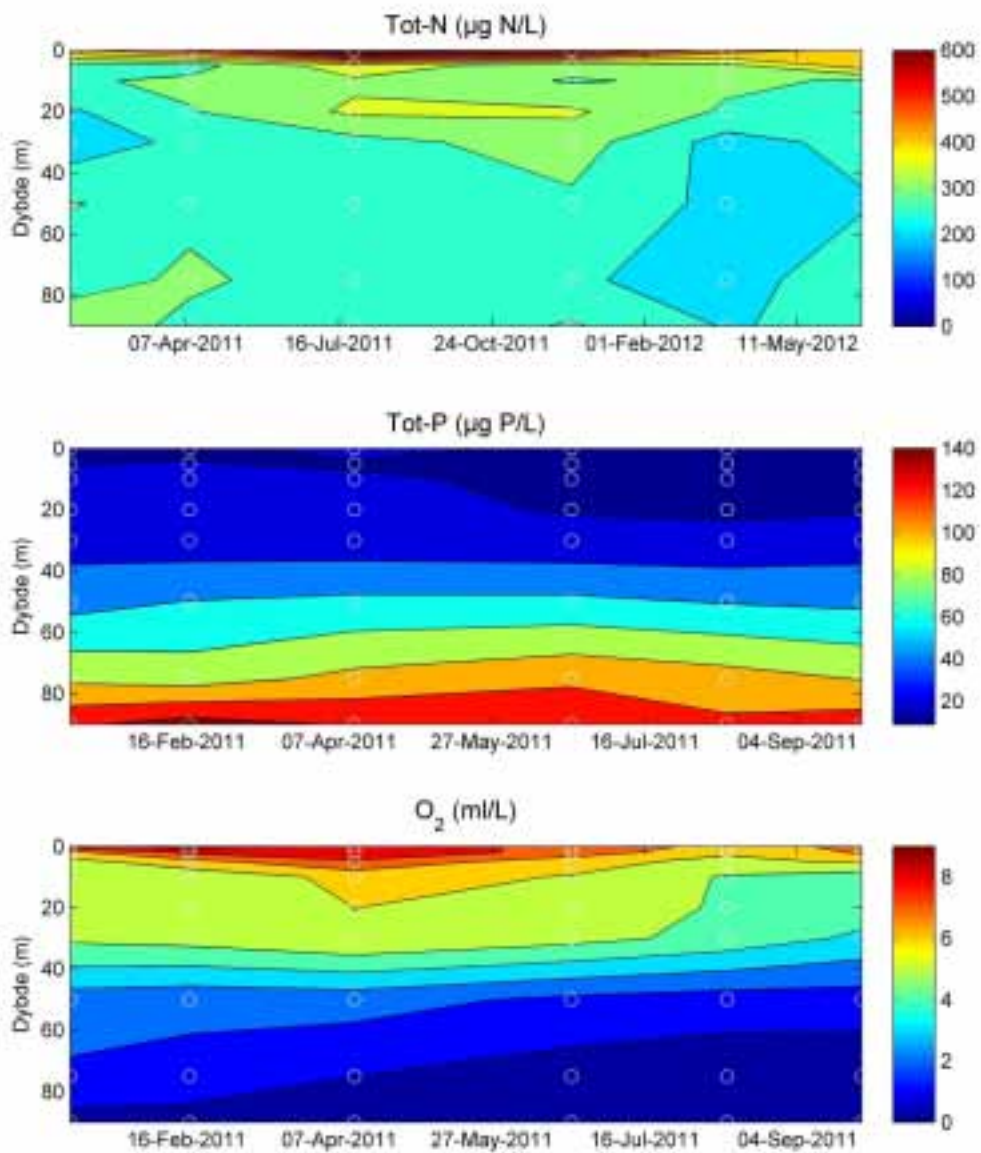
Det er en tendens til at konsentrasjonen av totalt nitrogen og fosfor i 20-30 m øker i perioden, og vi kan merke oss at det ble målt en konsentrasjon av totalt nitrogen på 700 µg N/l på det siste toktet i mars 2013. I denne betraktningen må man huske på at stasjon KR-1 er rett over utslippet, og det er sannsynlig at det er store horisontale gradienter i konsentrasjonene. Noen vannprøver kan ha blitt tatt midt i utslippsstrålen, mens andre kan ha blitt tatt utenfor. Vi må derfor være forsiktig med å tolke disse resultatene som trender i tid, så lenge datagrunnlaget er såpass sparsomt.

Målingene av næringssalter foretatt på stasjon BC-1 i januar og februar 2013 tydet ikke på økte konsentrasjoner av næringssalter i fjorden.

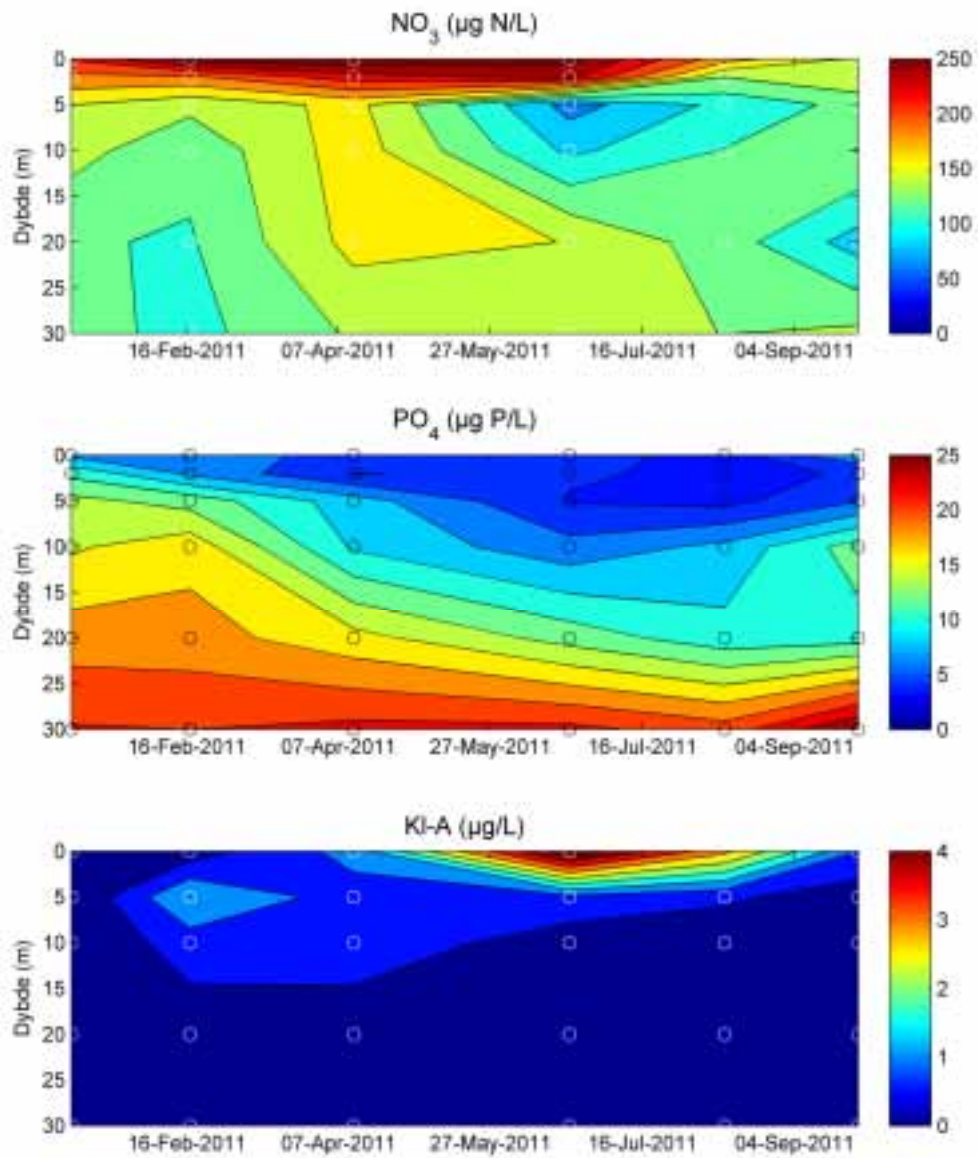
Parametre		Tilstandsklasser				
		I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
Overflatelag Sommer (Juni-august)	Total fosfor ( $\mu\text{g P/l}$ )*	<12	12-16	16-29	29-60	>60
	Fosfat-fosfor ( $\mu\text{g P/l}$ )*	<4	4-7	7-16	16-50	>50
	Total nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ )*	<250	250-330	330-500	500-800	>800
	Nitrat-nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ )*	<12	12-23	23-65	65-250	>250
	Ammonium-nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ )*	<19	19-50	50-200	200-325	>325
	Klorofyll a ( $\mu\text{g/l}$ )	<2	2-3.5	3.5-7	7-20	>20
	Siktedyp (m)	>7.5	7.5-6	6-4.5	4.5-2.5	<2.5
Overflatelag Vinter (desember- februar)	Total fosfor ( $\mu\text{g P/l}$ )*	<21	21-25	25-42	42-60	>60
	Fosfat-fosfor ( $\mu\text{g P/l}$ )*	<16	16-21	21-34	34-50	>50
	Total nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ )*	<295	295-380	380-560	560-800	>800
	Nitrat-nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ )*	<90	90-125	125-225	225-350	>350
	Ammonium-nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ )*	<33	33-75	75-155	155-325	>325
Dypvann	Oksygen ( $\text{ml O}_2/\text{l}$ )**	>4.5	4.5-3.5	3.5-2.5	2.5-1.5	<1.5
	Oksygen metning (%)***	>65	65-50	50-35	35-20	<20

\* Omregningsfaktoren til mg-at/l er 1/31 for fosfor og 1/14 for nitrogen.  
\*\* Omregningsfaktoren til  $\text{mgO}_2/\text{l}$  er 1.42  
\*\*\* Oksygenmetningen er beregnet for saltholdighet 33 og temperatur 6°C.

**Figur 9.** Klassifisering av tilstand for næringsalter, klorofyll a og siktedyp i overflatelaget, samt oksygen i dypvannet, ved saltholdigheter over 20 (Molvær, Knutzen, et al. 1997).



**Figur 10.** Målinger av totalt nitrogen (øverst), totalt fosfor (midten) og oksygen (nederst) på stasjon BC-1 i Frierfjorden. Målepunktene er vist som sirkler.



**Figur 11.** Målinger av nitrat (øverst), fosfat (midten) og klorofyll (nederst) på stasjon BC-1 i Frierfjorden. Målepunktene er vist som sirkler.

**Tabell 1.** Konsentrasjon av totalt organisk karbon, totalt nitrogen og totalt fosfor på stasjon KR-1.

Dyp (m)	22. oktober 2012			7. november 2012			23. november 2012			20. mars 2013		
	TOC mgC/l	Tot-N µgN/l	Tot-P µgP/l	TOC mgC/l	Tot-N µgN/l	Tot-P µgP/l	TOC mgC/l	Tot-N µgN/l	Tot-P µgP/l	TOC mgC/l	Tot-N µgN/l	Tot-P µgP/l
2	3.3	320	5	3.1	310	4	3.2	335	6	2.3	310	4
15	1.5	300	16	1.5	325	21	1.5	305	24	2.0	160	14
20	1.6	485	19				1.7	320	44	1.5	700	37
22				1.5	485	34						
25	1.4	440	18				1.7	305	40	1.2	580	43
30				1.3	220	20						

**Tabell 2.** Konsentrasjon av løste næringssalter på stasjon KR-1.

Dyp (m)	22. oktober 2012			7. november 2012			23. november 2012			20. mars 2013		
	NO <sub>3</sub> µgN/l	NH <sub>4</sub> µgN/l	PO <sub>4</sub> µgP/l	NO <sub>3</sub> µgN/l	NH <sub>4</sub> µgN/l	PO <sub>4</sub> µgP/l	NO <sub>3</sub> µgN/l	NH <sub>4</sub> µgN/l	PO <sub>4</sub> µgP/l	NO <sub>3</sub> µgN/l	NH <sub>4</sub> µgN/l	PO <sub>4</sub> µgP/l
2	155	22	1	160	21	2	180	33	4	160	44	2
15	142	28	13	138	38	15	117	48	19	14	13	5
20	315	25					104	63	30	128	513	27
22				155	121	23						
25	160	112	15				95	51	29	142	407	37
30				100	11	15						

**Tabell 3.** Konsentrasjon av SiO<sub>2</sub> på stasjon KR-1.

Dyp (m)	22. oktober 2012	7. november 2012	23. november 2012	20. mars 2013
	SiO <sub>2</sub> µg SiO <sub>2</sub> /l	SiO <sub>2</sub> µg SiO <sub>2</sub> /l	SiO <sub>2</sub> µg SiO <sub>2</sub> /l	SiO <sub>2</sub> µg SiO <sub>2</sub> /l
2	2590	2370	2450	2130
15	4150	477	506	76
20	3290		513	921
22		595		
25	886		506	1180
30		418		

**Tabell 4.** Den høyeste konsentrasjonen av næringssalter i dybdeintervallet 20-30 m på stasjon BC-1. Data fra den siste perioden er fra Havforskningsinstituttet.

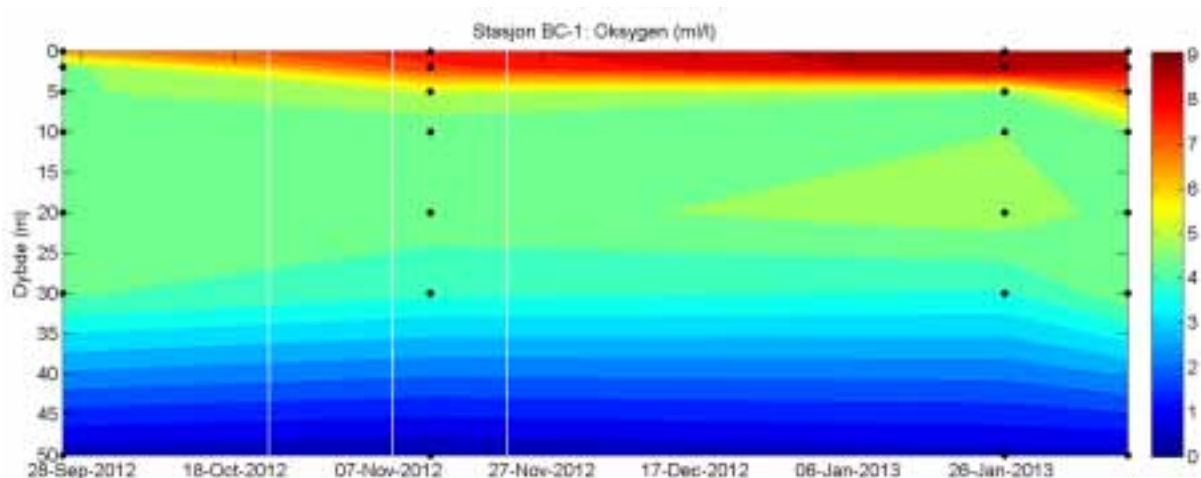
Parameter	BC-1 i løpet av 2011.	BC-1 i 2012 til og med august.	BC-1 fra sep 2012 til feb 2013.
Tot-N (µgN/l)	359	325	534
Tot-P (µgP/l)	32		33
NO <sub>3</sub> (µgN/l)	166	145	161
PO <sub>4</sub> (µgP/l)	26		31

## 4.2 Oksygenforhold

Ved stasjon KR-1 ble oksygenkonsentrasjonen målt til 4.20 ml O<sub>2</sub>/l på 25 m dyp den 20. oktober 2012, og til 4.22 ml O<sub>2</sub>/l på 30 m dyp den 7. november 2012. På stasjon BC-1 ble konsentrasjonen målt til 4.60 ml O<sub>2</sub>/l i 20 m og til 3.97 ml O<sub>2</sub>/l i 30 m. Verdiene på stasjon BC-1 og KR-1 er ganske like.

I januar 2013 var oksygenkonsentrasjonen omtrent lik den som ble observert før vinteren.

På CTD instrumentet som ble brukt på alle toktene, var det påmontert en sensor som måler oksygenkonsentrasjon. Dette instrumentet er ikke nøyaktig, og kan bare benyttes for å se på relative forskjeller mellom stasjoner målt samme dag. Sensoren har også lang responstid, og må henge i samme dyp i minst ett minutt for å få en stabil verdi.



**Figur 12.** Oksygenforholdene på stasjon BC-1 basert på data fra Havforskningsinstituttet (svarte prikker). De hvite linjene angir tidspunktene for toktene.

**Tabell 5.** Målt og beregnet konsentrasjon av oksygen.

Dato	Stasjon	Dyp (m)	Vannprøve ml O <sub>2</sub> /l	Instrument ml O <sub>2</sub> /l
22/10-12	KR-1	25	4.20	
7/11-12	KR-1	30	4.22	4.35
	PO-5	24		2.44
	PO-1	23		2.93
22/11-12	PO-5	22		3.38
	PO-1	20		3.51
20/3-13	PO-5	25		1.99
	PO-1	20		2.58

### 4.3 Bakteriekonsentrasjon ved utslipp i overløp

Når det slippes ut urensset kloakk i de overløp som er markert i **Figur 2**, er det forventet at bakteriekonsentrasjonen blir høy i overflatelaget i alle områdene nedstrøms for utslippspunktene. Den 22. november ble det målt konsentrasjon av termotolerante tarmbakterier og E. coli i Skienselva. Ved stasjon PO-1a utenfor overløpet ved Borgstad (P357) var kloakkutslippet synlig i overflata. Det ble i tillegg målt konsentrasjon av ammonium på de fleste stasjonene i elva. Den 23. november ble bakteriekonsentrasjonen målt på tre stasjoner i Gunnekleivfjorden. Bakterieanalysene ble utført av LabNett AS i Porsgrunn, og resultatene er presentert i **Tabell 6**.

Ved valg av analysebrett ved analyse av Koliforme/E. coli bakterier ble det valgt brett med øvre grense 200 kde/100 ml (kde = kolonidannende enhet). Konsentrasjonen var over denne grensen på alle prøvene. Disse prøvene ble analysert på nytt dagen etter, men disse resultatene kan man ikke stole på, fordi prøvene da hadde stått en natt i romtemperatur. De er likevel presentert i tabellen, men da er tallene satt i parentes og med grå skrift. Prøvene som ble tatt 23. november 2012 i Gunnekleivfjorden er analysert med brett med øvre grense 2400 kde/100 ml.

I følge (Andersen, et al. 1997) er en konsentrasjon av termotolerante tarmbakterier på over 200 kde/ml å klassifisere som dårlig tilstand. Er konsentrasjonen over 1000, klassifiseres tilstanden som meget dårlig. Til tross for at de analysene som ble gjort dagen etter av prøvene fra stasjonene i Porsgrunnelva har liten troverdighet, er det ut fra de høye verdiene sannsynlig at tilstanden her var meget dårlig. Dette er sannsynlig, siden tilstanden på stasjon GF-1, som ligger oppstrøms utslippet i Gunnekleivfjorden, hadde tilstanden meget dårlig.

Middelverdien for hvert år av målinger av tarmbakterier ved stasjon PO-5, fra og med 1990 til og med 2004, viser at tilstanden enten er dårlig (i 9 av 15 år) eller meget dårlig (i 6 av 15 år). Målingene fra november 2012 skiller seg ikke klart fra tidligere resultater.

**Tabell 6.** Konsentrasjon av tarmbakterier sammen med konsentrasjon av ammonium. De ti første prøvene ble analysert etter at prøveflaskene hadde stått i romtemperatur en natt, og er skrevet i parentes og med grå skrift.

Stasjon	Koli kde/100 ml	E.coli kde/100 ml	NH <sub>4</sub> µg N/l
SK-5	>200 (>2400)	>200 (1046)	34
PO-1	>200 (>2400)	>200 (866)	
PO-1a	>200 (>2400)	>200 (>2400)	66
PO-2	>200 (>2400)	>200 (1414)	29
PO-3	>200 (>2400)	>200 (1203)	31
PO-5	>200 (>2400)	>200 (1733)	27
PO-6	>200 (>2400)	>200 (>2400)	28
PO-6b	>200 (>2400)	>200 (1733)	25
PO-7	>200 (>2400)	>200 (1986)	24
PO-8	>200 (>2400)	>200 (>2400)	32
GF-1	>2400	>2400	
GF-2a	>2400	>2400	
GF-2b	>2400	>2400	



## 5. Sammenfattende vurdering

I denne rapporten har vi fokusert på fire problemstillinger:

1. Forhøyet konsentrasjon av næringsalter i Frierfjorden.
2. Lavere oksygenverdier i dypvannet i Frierfjorden.
3. Høy bakteriekonsentrasjon i overflaten i hele området.
4. Lave oksygenverdier i dype deler av Skienvassdraget.

Vi vil i det følgende oppsummere våre funn for hvert punkt.

### 5.1 Angående forhøyet konsentrasjon av næringsalter i Frierfjorden

Målinger av næringsalter rett ved dyputslippet til Knardalsstrand RA viser at det er forhøyede verdier i dybdeintervallet 20 til 30 m. Dette skyldes helt klart dyputslippet, og er som forventet. Det kan synes å være en tendens til at verdiene i dette dybdeintervallet har økt i overvåkningsperioden, men datagrunnlaget er ikke godt nok til å si noe sikkert. Målinger på stasjon BC-1 viser ingen påvirkning fra dyputslippet.

### 5.2 Angående oksygenforholdene i Frierfjorden

Lave oksygenforhold i Frierfjorden er et vedvarende problem. Oksygenforholdene dypere enn 60-70 m var svært dårlige i overvåkningsperioden, men dette kan ikke direkte knyttes til utslipp av urensset avløpsvann fra renseanlegget. Vi vil likevel påpeke at det er sannsynlig at oksygenforbruket hadde blitt merkbart større, om renseanlegget hadde fortsatt å slippe ut urensset avløpsvann. Rehabiliteringen av renseanlegget har hatt tilstrekkelig kort varighet, slik at en forverring av miljøtilstanden i Frierfjorden har blitt unngått.

### 5.3 Angående bakteriekonsentrasjon i overflatelaget

Måling av konsentrasjon av tarmbakterier i overflatelaget viser at miljøtilstanden helt sikkert har vært «dårlig», men sannsynligvis «svært dårlig». Dette kan muligens knyttes til utslipp av kloakk i overløp. Det må likevel påpekes at målinger i perioden 1990-2004 viste at miljøtilstanden angående tarmbakterier bare har vært observert å være «dårlig» eller «svært dårlig».

### 5.4 Angående oksygenforholdene i Skienvassdraget

I Skienselva lå laget med innstrømmende saltvann hele tiden dypere (4.5-6.0 m) enn overløpene, hvor det dypeste var på 4 m. Vann fra overløpene blir derfor raskt fraktet nedover i elva. Det kan likevel ikke utelukkes at noe av det organiske materialet synker ned og legger seg i et lag nær bunn, hvor det kan føre til økt oksygenforbruk.

Måling av saltholdighet, viser at det var en innstrømning av salt vann som la seg i de dype gropene ved Porsgrunnbrua og ved Borgstad, mellom tokt 2 og 3. Målinger med oksygensensor tyder på at oksygenforholdene økte i dypet på disse to stasjonene. Dette er som forventet.

## 6. Referanser

- Bakke, T., Molvær, J., Saloranta, T., Tønnesen, D., Sandbakken, M. og Brooks, S. 2009. Konsekvensutredning for produksjonsanlegg for silika og magnesium på Herøya, Porsgrunn. NIVA-rapport nr. 5873, 108 sider.
- Barland, K., 2005. Regional overvåkning av vannforekomster i Telemark 1970-2005. Rapport 2005-04, Fylkesmannen i Telemark og LabNett AS, 84 sider.
- Molvær, J., 1976. Resipientmessig vurdering av de kommunale og regionale avløpsplaner i Grenlandsregionen. NIVA-rapport nr. 0828, 41 sider.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Veiledning. SFT-veiledning nr. 97:03. TA-1467/1997, 36 sider.
- Sørgård, E., Martinsen, T. og Aas, E., 1990. Drag coefficient at a stationary salt wedge. *Journal of Geophysical Research*, 95, C5, 7337-7345.
- Stenström, P. Hydraulics and mixing in the Hudson River estuary: A numerical model study of tidal variation during neap tide conditions. *Journal of geophysical research*, 109, C04019.

## Vedlegg A. Målestasjoner med posisjonsangivelse

Stasjons kode	Stasjonsnavn	Easting (UTM32)	Northing (UTM32)	Breddegrad	Lengdegrad
Stasjoner i Porsgrunnelva					
SK-1	Skien	535294	6562175	59° 11.832' N	9° 37.072' E
SK-2		535689	6560928	59° 11.159' N	9° 37.474' E
SK-3		536422	6559578	59° 10.428' N	9° 38.230' E
SK-4		536587	6559143	59° 10.192' N	9° 38.399' E
SK-5	Oppstrøms Borgstad	536660	6558616	59° 09.908' N	9° 38.470' E
PO-1	Borgstad	536606	6558243	59° 09.707' N	9° 38.410' E
PO-1b	Nedstrøms Borgstad	536693	6558111	59° 09.636' N	9° 38.500' E
PO-2		537103	6557701	59° 09.413' N	9° 38.926' E
PO-3		537285	6556951	59° 09.008' N	9° 39.109' E
PO-4		537436	6556193	59° 08.598' N	9° 39.260' E
PO-5d		537095	6555946	59° 08.467' N	9° 38.900' E
PO-5c		537013	6555936	59° 08.462' N	9° 38.814' E
PO-5	Porsgrunnsbrua	536910	6555870	59° 08.427' N	9° 38.705' E
PO-5b		536833	6555852	59° 08.418' N	9° 38.624' E
PO-5a		536757	6555828	59° 08.405' N	9° 38.544' E
PO-6		536359	6555518	59° 08.240' N	9° 38.124' E
PO-6b		536181	6555357	59° 08.154' N	9° 37.935' E
PO-7	Knardalsstrand	535957	6555143	59° 08.040' N	9° 37.698' E
PO-8	Kaia	535402	6554517	59° 07.706' N	9° 37.111' E
PO-9	Elvemunningen	534737	6553832	59° 07.340' N	9° 36.407' E
Stasjoner nær Knardalsstrand RA					
KR-1	Dyputslipp	534491	6553747	59° 07.295' N	9° 36.148' E
KR-2		534437	6553638	59° 07.237' N	9° 36.091' E
KR-3		534500	6553120	59° 06.958' N	9° 36.152' E
Overløp					
P537		536548	6558133	59° 09.648' N	9° 38.348' E
KP304		536379	6555408	59° 08.181' N	9° 38.143' E
KP369		535968	6555252	59° 08.099' N	9° 37.711' E
KP340		537080	6553193	59° 06.984' N	9° 38.856' E
Stasjoner i Gunnekleivfjorden					
GF-1	Gunnekleivfjorden	536562	6554058	59° 07.453' N	9° 38.322' E
GF-2	Ved REMA-1000	537044	6553293	59° 07.038' N	9° 38.819' E
Overvåkningsstasjon					
BC-1	Frierfjorden	535334	6551425	59° 6.040' N	9° 37.009' E

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](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)