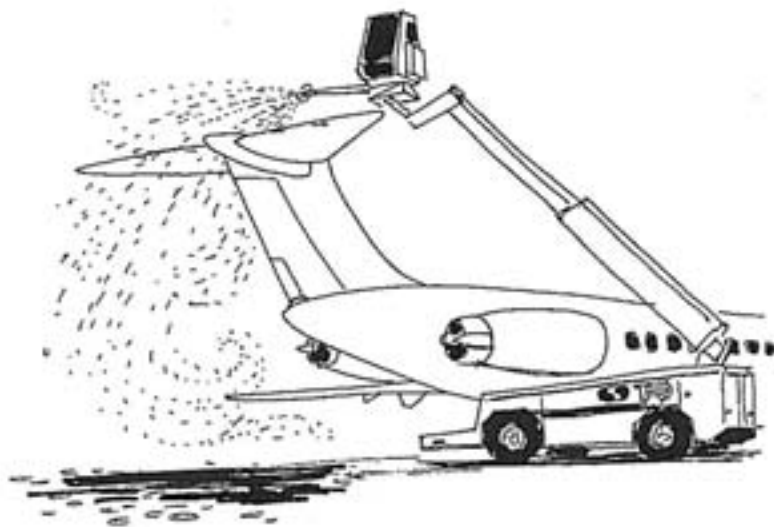


RAPPORT LNR 3977-98

Overvåking av
Lønnestjern ved
Bergen lufthavn,
Flesland 1997 - 98



Hovedkontor Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00 Internet: www.niva.no	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 29 50 55 Telefax (47) 37 04 45 13	Østlandsavdelingen Sandvikaveien 41 2312 Ottestad Telefon (47) 82 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Vestlandsavdelingen Nordnesboder 5 5008 Bergen Telefon (47) 55 30 22 50 Telefax (47) 55 30 22 51	Akvaplan-NIVA A/S 9015 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 60 Telefax (47) 77 68 05 09
---	---	--	---	---

Tittel Overvåking av Lønneestjern ved Bergen lufthavn, Flesland 1997-98.	Løpnr. (for bestilling) 3977-98	Dato Desember 1998
	Prosjektnr. Undernr. O-98052	Sider Pris 23
Forfatter(e) Vilhelm Bjerknæs	Fagområde Miljøgifter Overgjødning	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Luftfartsverket, Region Hordaland / Sogn og Fjordane	Oppdragsreferanse Sture Auren
--	----------------------------------

<p>Sammenheng</p> <p>Sommeren 1996 ble det konstatert at Lønneestjern var fullstendig oksygenfritt p.g.a. overbelastning av kloakk og lett nedbrybart organisk stoff. Tifenstene ble stønset, og det ble satt i verk lufting av tjernet høsten 1996 ved hjelp av diffusorer plassert ved bunnen av tjernet. Lufting har også pågått periodevis i 1997 og -98. Sommeren 1997 og -98 er det foretatt rutinemessige målinger av oksygen i vannsøylen. Det er også tatt prøver for analyser av næringsstoffer og glykol. Espelandstjern er nyttet som referansestasjon. Lufting ble igangsatt i 1997 og -98, etter at det ble konstatert sterkt reduserte oksygenverdier i Lønneestjern. Det er påvist vedvarende lave verdier av glykol i nedberfeltet og i selve Lønneestjern. Høy fosforbelastning er trolig en hovedårsak til høyt oksygenforbruk i vannet. Belastningen kan bare delvis forklares som tilførsler fra nedberfeltet, noe som kan bety at bidraget fra indirekte gjødning i selve tjernet er betydelig, en følge av lang tids overbelastning. Fortsatt lufting kan være nødvendig i perioder for å unngå oksygenfrie forhold og utløsning av fosfor fra sedimentene.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Avising av fly 2. Glykol 3. Næringsstoffer 4. Oksygen 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aircraft deicing 2. Glycol 3. Nutrients 4. Oxygen
--	--

Vilhelm Bjerknæs
Vilhelm Bjerknæs
Prosjektleder

ISBN 82-577-3573-6

Dag Berge
Dag Berge
Forskningssjef

O-98052

**Overvåking av Lønnestjern
ved Bergen lufthavn, Flesland 1997-98**

Forord

Sommeren 1996 ble det konstatert kraftig forurensning av Lønnestjern, etter at tilførsler av lett nedbrytbart organisk stoff førte til oksygenfrie tilstander i resipienten. Antatte hovedårsaker til tilstanden var brudd på kommunal kloakkledning fra Bergen lufthavn, Flesland, og tilførsel av glykolholdig overvann fra avisingsvæske for fly.

Høsten 1996 ble det satt igang lufting av Lønnestjern ved hjelp av diffusorer plassert på bunnen av tjernet. Lufting er også foretatt periodisk i 1997 og -98.

Etter oppdrag fra Luftfartsverket har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) overvåket tilstanden i Lønnestjern etter igangsetting av luftingen i 1996. Overvåkingen fortsatte vår, sommer og høst 1997 og -98. Espelandstjern er nyttet som referanselokalitet. Høsten 1997 og -98 ble det i tillegg utført prøvetaking og analyser av næringssalter og glykol. I 1998 ble overvåkingsprogrammet utvidet med overvåking av glykol i nedbørfeltet til Lønnestjern og i selve tjernet.

Rapporten tar for seg overvåkingen i 1997 og -98, og beskriver utviklingen av miljøtilstanden i Lønnestjern i denne perioden. Vi takker Luftfartsverket v/Sture Auren for oppdraget.

Bergen, 10. desember 1998

Vilhelm Bjercknes

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Materiale og metoder	7
2.1 Områdebeskrivelse	7
2.2 Prøvetaking og analyser	9
2.3 Nedbør og hydrologi	9
2.4 Tilstandsvurdering	10
3. Resultater	12
3.1 Oksygen	12
3.2 Glykol	14
3.3 Næringssalter og organisk carbon	15
3.4 Lukt	16
3.5 Fisk	16
4. Vurdering og konklusjon	17
5. Referanser	20
Vedlegg A: Analyseresultater og tilstandsklassifisering	

Sammendrag

Sommeren 1996 ble det konstatert at Lønnestjern ved Flesland flyplass var fullstendig oksygenfritt på grunn av sterk overbelastning av kloakk og lett nedbrytbart organisk stoff (glykol fra avisingsvæske for fly). Høsten 1996 ble det lagt diffusorer langs bunnen av tjernet for innblåsing av luft. Lufting ble foretatt høsten 1996 og i perioder i 1997 og -98. I tillegg er det gjennomført en overvåking av vannkvaliteten i tjernet og nedbørfeltet. Espelandstjern, som ligger i nabofeltet, er nyttet som referanse. Hovedmålene med overvåkingen har vært å følge med oksygeninnholdet i Lønnestjern, vurdere behov for lufting og å bedømme dagens belastning av plantenæringsstoffer og glykol. Måleresultatene er vurdert mot analyseresultater fra en måling i august 1991, dvs. før forurensningen av Lønnestjern startet, og mot måleresultatene fra Espelandstjern.

Sommeren 1997 og 1998 ble det foretatt rutinemessige målinger av oksygeninnholdet i vannsøylen i de to tjernene. I tillegg er det tatt prøver for analyse av næringssalter og glykol. Måleresultatene er vurdert ut fra SFT's vurderingssystem. På dette grunnlag er vannene plassert i tilstandsklasser og vurdert med hensyn til forurensningsgrad. Ved hjelp av modellbetraktninger er fosforbelastningen på innsjøene beregnet.

Gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i Lønnestjern var 67 µg/L (Tilstandsklasse V) i 1997 og 44 µg/L (Tilstandsklasse IV) i 1998. Målingen i august 1991 ga 40 µg P/L (Tilstandsklasse IV). Fosforbelastningen på Lønnestjern er beregnet til 37 kg i 1997 og 24 kg i 1998, mens vannets tålegrense er beregnet til 24 kg P pr år. Dette svarer til en middelkonsentrasjon på 24 µg/L. Et anslag på tilførsler via innløpsbekken gir 14 kg P i 1998, hvilket isåfall betyr at 10 kg P kommer fra andre kilder (sedimenter, oppvirvling ved lufting, diffus avrenning fra nærområdene). Det er i tillegg konstatert episodisk høy næringssaltbelastning på en av tilførselsbekkene til Lønnestjern, men få målinger gir relativt stor usikkerhet for å bedømme betydningen av slike episoder. Sedimentet er oksygenkrevende i seg selv etter mange år med overbelastning.

Midlere fosforkonsentrasjon i Espelandstjern var henholdsvis 163 og 200 µg/L i 1997 og 1998. For Espelandstjern er den årlige fosforbelastningen beregnet til 195 og 239 kg i de to årene, mens tålegrensen er beregnet til 29 kg P pr år, som tilsvarer en middelkonsentrasjon på 24 µg/L.

Få målinger gjør at de ovennevnte anslagene er relativt usikre.

Det er konstatert lave konsentrasjoner av propylen- og etylenglycol i Lønnestjern i 1998. En del av dette skriver seg fra et uhell, der det ble suppet ut 25 l. ren glykol.

Det konkluderes med at fosforbelastningen på Lønnestjern er hovedproblemet i dagens situasjon. Redusert vannutskifting ved at en av tilførselene, Kisteveita, er overført til kloakknett, bidrar i negativ retning. Kisteveita har størst vannføring av tilførselsbekkene, og har samtidig de laveste næringssaltkonsentrasjonene. En tilbakerføring av denne bekken til Lønnestjern antas å få en positiv effekt på tilstanden i tjernet. Oksygenfrie forhold bør unngås i Lønnestjern for å hindre tilførsel av fosfor fra sedimentene.

Tilstanden i Lønnestjern i 1998 var bedre enn i 1997, og fosforverdiene var på samme nivå som i 1991, dvs. før forurensningen startet. Nitrogen og organisk karbon var fortsatt langt over verdiene i 1991.

1. Innledning

Forurensningsproblemene i Lønnestjern ble undersøkt og beskrevet av NIVA sommeren 1996 (Holtan 1996), som konkluderte med at tjernet var fullstendig oksygenfritt på grunn av sterk overbelastning av kloakk og lett nedbrytbart organisk stoff (glykol fra avisingsvæske for fly). Avisingsvæske for fly består av propylenglykol, vann samt visse tilsetningsstoffer. Enkelte av tilsetningsstoffene er svært giftige for planter og dyr. Propylenglykol er ikke et plantenæringsstoff, men er lett nedbrytbart under stort forbruk av oksygen. Ved anaerob (oksygenfri) nedbrytning av propylenglykol dannes hydrogensulfid (H_2S) og merkaptaner. Disse stoffene er meget giftige dersom de opptrer i høye konsentrasjoner, men fører til sjenerende lukt i omgivelsene selv ved lave konsentrasjoner.

En tidligere undersøkelse av vannforekomstene ved Bergen Lufthavn foretatt av NIVA sommeren 1991 gir holdepunkter for å vurdere Lønnestjerns førtilstand (Stene Johansen & Holtan 1991). I tillegg til disse undersøkelsene foretok NOTEBY høsten 1996 en kartlegging av kilder til- og omfang av glykolforurensningen (NOTEBY 1996). Denne undersøkelsen omfattet prøvetaking og analyser av vann fra Lønnestjern og av jord og vannkilder i nedbørfeltet.

Høsten 1996 satte AS Veidekke, etter oppdrag fra Luftfartsverket, igang innblåsing av luft i Lønnestjern via diffusorer langs bunnen, med sikte på en restaurering av tjernet. Denne prosessen pågikk i perioden 17. oktober til 2. desember 1996, og ble fulgt opp av ca. ukentlig prøvetaking og analyser av oksygen (O_2) og hydrogensulfid (H_2S), utført av NIVA og assistert av AS Veidekke (Bjerknes 1996).

NIVA har overvåket vannkvaliteten i Lønnestjerns nedbørfelt og i Espelandstjern (referanse) vår, sommer og høst 1997 og -98. Målet med overvåkingen har vært å følge utviklingen med restaureringen, herunder:

1. Følge med oksygeninnholdet i vannsøylen i Lønnestjern gjennom sommersesongen
2. Vurdere risiko for oksygenfritt vann, med risiko for luktplager og utløsning av fosfor
3. Anbefale lufting av Lønnestjern etter behov
4. Fastslå belastning av glykol og næringsstoffer
5. Sammenlikne tilstand i 1997 og 1998 med måling fra august 1991

Hovedvekten er lagt på å overvåke utviklingen av oksygen i vannsøylen gjennom sommersesongen. Videre er det tatt prøver av næringssalter på sensommeren for å sammenlikne tilstanden med tidligere undersøkelser (Stene-Johansen og Holtan 1991; Holtan 1996). Foreløpig målkrav for restaurering av Lønnestjern skal ha grunnlag i analyseresultatene fra 1991 (SFT 1998). Det er også gjort prøvetakinger og analyser av glykol i tilførselsbekkene til Lønnestjern og i selve Lønnestjern for å kontrollere om tilførselene av avisingsvæske er stoppet.

Det foregår for tiden omfattende anleggsarbeider i området øst for Lønnestjern, og avrenning herfra kan ha påvirket miljøet i tjernet i 1998. Ut fra en visuell bedømmelse virker dette sannsynlig.

2. Materiale og metoder

2.1 Områdebeskrivelse

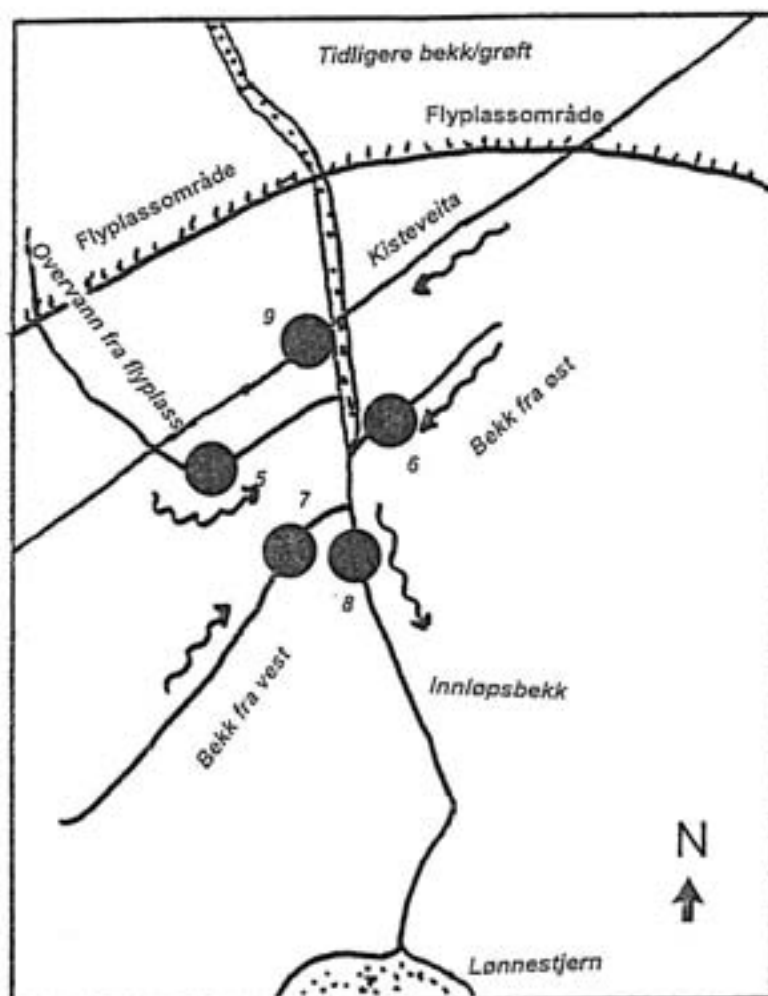
Lønnestjern ligger på sør-øst siden av Bergen lufthavn (Figur 1) Tjernets overflate er ca. 0.03 km^2 , største (målte) dyp på 8 m, og volumet ca. 60.000 m^3 . Nedbørfeltet til Lønnestjern er 0.36 km^2 , og er del av et totalt nedbørfelt på 0.75 km^2 (ved utløpet i Lønninghavn). Tjernet er omgitt av skog og kratt, og har øyer av flytetorv. Midlere vannføring ved tjernets utløp er beregnet til 20 l/s, og ved avløpsbakkens utløp ved Lønninghavn vel 40 l/s (Holtan 1996). Teoretisk oppholdstid i Lønnestjern



Figur 1. Situasjonkart.

Er vel 1 måned. Innløpsbekken til Lønnestjern samler følgende tilsig som er nevnt i rapporten (Nummereringen av stasjonene refererer til prøvepunkter nyttet av NOTEBY (1997), se Figur 2):

- 5. Overvannsavløp fra Bergen lufthavn
- 7. Bekk fra vest, drenerer bl.a. det militære området sør-øst for lufthavnen
- 6. Bekk fra øst
- 9. Kisteveita, grøft som drenerer størstedelen av feltet oppstrøms Lønnestjern
- 8. Innløpsbekk til Lønnestjern ("Samlebekk")



Figur 2. Kart som viser prøvepunkter i nedbørfeltet til Lønnestjern.

Espelandstjern ligger i nabofeltet til Lønnestjern, ca. 1 km sør-øst for Lønnestjern (Figur 1). Tjernet har et overflateareal på 0,02 km², og en midlere avrenning på 27,5 l/s (NVE 1987). Vannet ligger i et jordbruksområde, og er tildels kraftig påvirket av jordbruksavrenning (husdyrgjødsel).

Ut fra beliggenhet og påvirkning vil vi anta at Espelandstjern normalt vil være mer næringsrikt (eutroft) enn Lønnestjern, dvs. at pr. naturtilstand bør Lønnestjern ha noe lavere konsentrasjoner av næringssalter og noe høyere konsentrasjoner av oksygen i vannsøylen enn Espelandstjern.

2.2 Prøvetaking og analyser

Overvåkingen har primært vært knyttet til oksygenkonsentrasjonen i vannsøylen. Et hovedmål med dette har vært å vurdere igangsetting av lufting for å unngå plager av merkaptaner og hydrogensulfid i omgivelsene, samt utløsning av fosfor fra sedimentene. Espelandstjern ble pekt ut som referansevann våren 1997. Dette vannet er fulgt opp parallelt.

Ved hvert besøk i vannene ble det tatt vannprøver fra 0, 3, 5 og 7 m dyp ved hjelp av Ryttner vannhenter. Prøver ble fylt på glassflasker (ca. 125 ml) med tilslippte propper og tilsatt 1 ml mangansulfidløsning ("Winkler I) og 1 ml jodidopløsning ("Winkler II). I laboratoriet ble det foretatt titrimetrisk bestemmelse av henholdsvis hydrogensulfid (H_2S) eller oksygen (O_2) i prøvene etter Winklers metode (Winkler 1888). Vannhenteren er utstyrt med termometer, og temperaturen ble avlest og notert for hver meter fra 0 til 7 m dyp. På bakgrunn av oksygenbestemmelse og temperaturregistrering er det gjort beregninger av oksygenmetning i % (**Vedlegg A**). Siktedyp ble målt ved hjelp av standard sikteskive.

Ved de tre siste besøkene i vannene om høsten ble det tatt prøver for analyser av total fosfor (Tot-P), total nitrogen (Tot-N) og total carbon (TOC) i de samme dyp som oksygen. I tillegg er det tatt diverse prøver for analyser av glykol i Lønnestjern og i tilførselene til tjernet (se **Vedlegg A**). Ved prøvetaking i tilførselsbekkene har vi notert grad av løklukt fra vannet i bekkene som "ikke lukt", "svak løklukt" og "sterk løklukt" (**Vedlegg A**).

For å unngå nedbrytning og dermed endring i glykolinnhold under transport ble prøvene tatt om morgenen og sendt som "Jet pakke" til NIVA's laboratorium i Oslo, hvor de ble tatt hånd om samme dag. Glykolanalysene er foretatt etter NIVA-metode nr. H11. Prøvene filtreres for å fjerne partikler, og analyseres deretter direkte ved bruk av gasskromatograf utstyrt med flamme ionisasjons detektor (GC-FID). Glykolene identifiseres fra bestemmelse av retensjonstider til rene standardløsninger. Konsentrasjonen bestemmes ved at en setter opp en ekstern standardkurve og sammenlikner responsen fra glykoler i prøvene med denne. Som måleenhet benyttes mg/L. Metodens deteksjonsgrense er 0.5 mg/L.

Analyser av total fosfor (Tot-P/L) og total nitrogen (Tot-N/L) er utført med autoanalysator etter NIVA-metode D 2-1 og D 6-1. Konsentrasjonene er oppgitt i $\mu g/L$, og deteksjonsgrensene for Tot-P og Tot-N er henholdsvis 1 og 10 $\mu g/L$. Total organisk karbon (TOC) er analysert etter NIVA-metode G 4 ved hjelp av UV/S2O8-oksidasjon. Metodens deteksjonsgrense er 0.20 mg/L.

Prøvetaking og analyser av Lønnestjern ble satt igang 14. april, og Espelandstjern 9. juni 1997, se **Vedlegg A**. Lufting pågikk fra begynnelsen av april til 26. mai, og ble igangsatt på ny i slutten av august og fortsatte til 11. September 1997. Overvåkingen i 1998 ble, med mindre avvik, utført som i 1997, se **Vedlegg A**. Lufting av tjernet ble igangsatt etter prøvetaking 8. juli 1998 og pågikk til 11. august. Deretter ble lufting igangsatt på ny 27. august, og fortsatte kontinuerlig, bortsett fra stans i 1 døgn i forbindelse med hver prøvetaking, fram til 23. September 1998.

2.3 Nedbør og hydrologi

Nedbør målt ved Bergen-Florida for månedene april-oktober 1997 og -98 er gjengitt i Tabell 1 som prosent av normal. Spesifikk avrenning ($l/s km^2$) er estimert ut fra hydrologisk kart (NVE 1987), og normalavrenning (l/s) fra Lønnestjern og Espelandstjern er beregnet ut fra nedbørfeltens størrelse. For beregning av innsjøvolum har vi anslått middeldyp for begge innsjøene til 2 m. Disse tallene er benyttet som grunnlag for beregning av fosforbelastning (kapittel 4).

Tabell 1. Nedbørstasjon 50540 Bergen-Florida. Normalnedbør (mm) og nedbør i % av normal for overvåkingsperiodene i 1997 og -98.

Måned	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
Normal 1961-90	114	106	132	148	190	283	271
1997 % av normal	158	81	35	57	72	120	84
1998 % av normal	45	48	97	134	125	26	-

2.4 Tilstandsvurdering

Vurderingssystemet som benyttes er utviklet av NIVA for Statens Forurensningstilsyn (SFT 1997). Viktige parametre benyttes til å inndele lokalitetene i tilstandsklasser, der hver klasse er definert ut fra nivået av vedkommende parameter. Vanligvis benyttes middelveier av flere målinger. I noen tilfelle benyttes 90 persentil for måleverdier, eller dårligste (høyeste eller laveste) måling. Systemet som benyttes gir en inndeling i 5 tilstandsklasser (Tabell 2).

Tabell 2. Tilstandsklasser (SFT 1997).

Tilstandsklasse	Beskrivelse
I	God
II	Mindre god
III	Nokså dårlig
IV	Dårlig
V	Meget dårlig

Klassifisering kan benyttes for en rekke ulike forurensningstyper. I denne undersøkelsen er følgende forurensningstyper og parametre benyttet:

- **Næringssalter** (Fosfor og nitrogen)
- **Organisk stoffer** (Totalt organisk carbon, oksygeninnhold og siktedyp)

Resipientens forurensningsgrad bedømmes normalt ved å sammenlikne tilstanden ved undersøkelsen med forventet naturtilstand. Dette forholdet kan også deles inn i 5 kategorier (Tabell 3). I denne undersøkelsen er dagens tilstand sammenliknet med førtilstanden, slik denne framkommer i undersøkelsen fra 1991 (Stene-Johansen og Holtan 1991; SFT 1998).

Tabell 3. Forurensningsgrader (SFT 1997).

Forurensningsgrad	Beskrivelse
1	Lite forurenset
2	Moderat forurenset
3	Markert forurenset
4	Sterkt forurenset
5	Meget sterkt forurenset

For å sammenlikne dagens situasjon med situasjonen før forurensningen startet har vi benyttet data fra en måling i Lønnestjern i 1991 (Stene Johansen og Holtan 1991). SFT's foreløpige målkrav for restaurering av Lønnestjern er basert på målerseultanene fra denne undersøkelsen (SFT 1998). Espelandstjern er benyttet som referanselokalitet.

Ved hver prøvetaking er aritmetrisk middelverdi for oksygen fra 0, 3, 5 og 7 m dyp lagt til grunn for angivelse av tilstand på prøvetakingsstidspunktet. Laveste middelverdi målt (dårligste måling) i løpet av prøvetakingssesongen er benyttet som uttrykk for tjernets tilstand m.h.t. oksygen. For siktedyp er tilstandsvurdering gjort på grunnlag av aritmetrisk middel. Behov for å igangsette lufting er blitt fortløpende vurdert og diskutert med Luftfartsverket.

For næringssalter er tilstandsbedømmelsen basert på veiet middelkonsentrasjon av prøver fra 0, 5 og 7 m tatt på 3 tidspunkt på sensommeren/høsten. Tilførsler av fosfor er beregnet ut fra middelkonsentrasjon av Tot-P på grunnlag av FOSRES-modellen (Berge 1987). Ved hjelp av modellen er det også gjort beregninger av hva Lønnestjern og Espelandstjern kan tåle av fosfortilførsler pr år uten at det skal oppstå anaerobe tilstander. Disse verdiene kan nyttes som et mål for maksimum belastning.

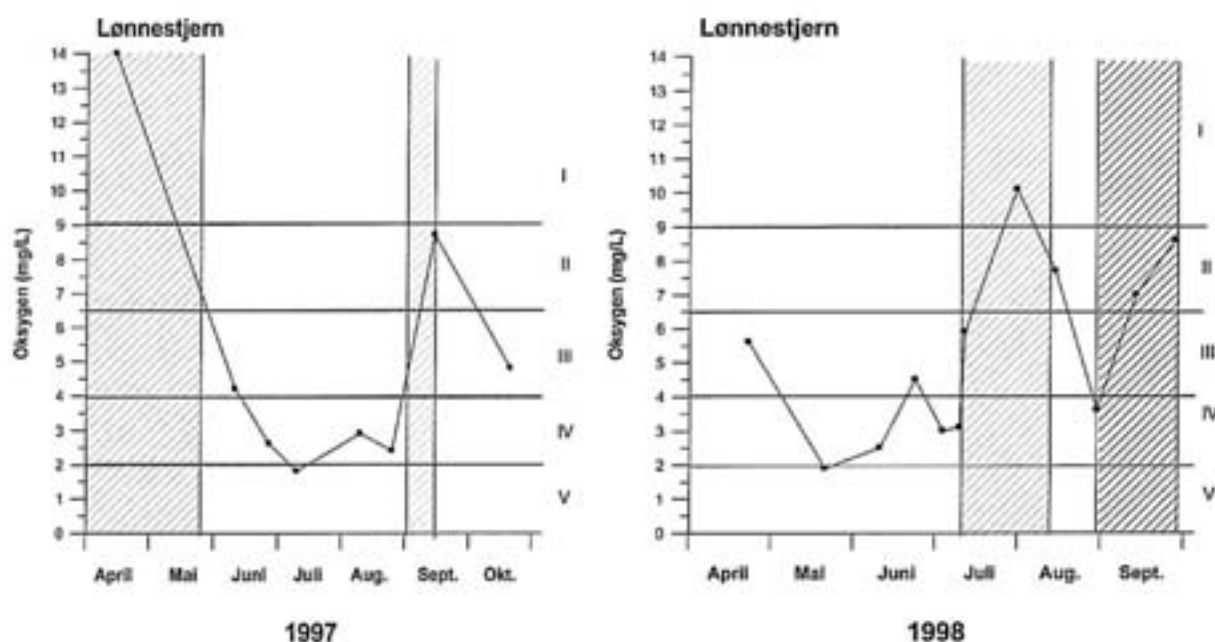
3. Resultater

3.1 Oksygen

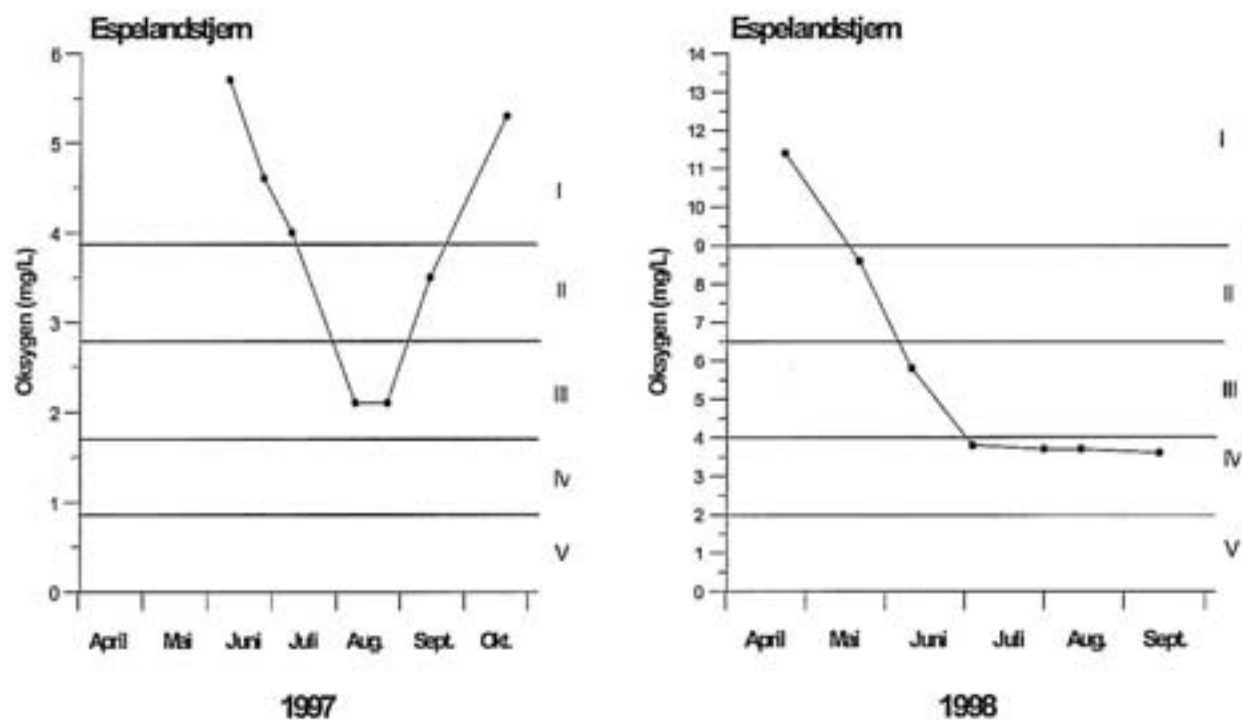
Figur 3 og 4 viser utviklingen i oksygenkonsentrasjonen i Lønnestjern og Espelandstjern gjennom sommersesongene 1997 og -98. Perioder med lufting i Lønnestjern gir en "kunstig" økning i oksygenkonsentrasjon sammenliknet med Espelandstjern.

Lufting av Lønnestjern foregikk fram til 2. desember 1996, og ble igangsatt på ny i begynnelsen av april 1997. Måling 14. april 1997 viste overmetning av oksygen i alle måledyp. Sommeren 1997 var en varm og nedberfattig sommer, noe som har bidratt til relativt høy produksjon og høyt oksygenforbruk. Lønnestjern var oksygenfritt fra 5 m dyp fra 25. juni, og tilnærmet oksygenfritt fra 3 m dyp fra 8. Juli 1997. Lufting ble igangsatt i september. I Espelandstjern skjedde oksygenreduksjonen i nedre del av vannsøylen noe langsommere (Figur 4).

Våren 1998 var varm og solrik, mens sommeren (juli-august) var regnfull og kald. Oksygenkonsentrasjonene i Lønnestjern våren 1998 var lavere enn i 1997, noe som skyldes forskjell i lufteprogram. Lufting ble igangsatt 8. Juli 1998. På dette tidspunkt var oksygenkonsentrasjonen 0,2 mg/L fra 5 m og ned. Espelandstjern var oksygenfritt på 7 m dyp i august (se vedlegg 1).



Figur 3. Lønneestjern 1997 og -98. Middelerdier for oksygen (mg/L) fra 0, 3, 5 og 7 m dyp. Perioder med oksygentiførsel fra diffusorer ved bunnen er skravert. Tilstandsklasser for oksygen er angitt på Y-aksen til høyre på diagrammene.



Figur 4. Espelandstjern 1997 og -98. Middelerdier for oksygen i 0, 3, 5 og 7 m dyp. Tilstandsklasser er angitt langs høyre Y-akse.

3.2 Glykol

Det er påvist både propylenglykol og etylenglykol i Lønnestjern. Påvisning av etylenglykol har sannsynligvis sammenheng med fermentering eller nedbrytning av propylenglykol. Ved slik nedbrytning dannes propanol, isopropanol, aldehyder og ketoner som mellomprodukter, og disse kan ved den anvendte analysemetode bli registrert som såvel propylen- som etylenglykol (Holtan 1996).

Prøver fra 0 og 7 m dyp i Lønnestjern 22. August 1997 viste relativt høye glykolverdier (Tabell 4). En prøve fra bekken Kistevcita tatt 24. mars 1998 viste 7,0 mg propylenglykol/L og 8,7 mg etylenglykol/L.

Tabell 4. Glykolverdier fra Lønnestjern 22. august 1997 (deteksjonsgrense 0,5 mg/L).

	Propylenglykol mg/L	Etylenglykol mg/L
Lønnestjern 0 m	118,0	13,5
Lønnestjern 7 m	8,0	11,5

Prøver for analyse av glykol ble samlet inn i 8 omganger i løpet av sommeren/høsten 1998 i prøver fra Lønnestjern og i tilførselsbekker til tjernet (Tabell 5 og 6; Vedlegg B). Ved en av prøvetakingene (27. august) ble det funnet 5000 mg propylenglykol/L og 28,5 mg etylenglykol/L i overvann fra flyplassen. Dette skyldtes et uhell der 25 l ren glykol ble suppet ut på avisingsplattformen (Sture Auren pers. komm.). Forøvrig ligger de fleste verdiene nær eller under deteksjonsgrensen på 0,5 mg/L.

Tabell 5 viser en del analyseverdier fra vannsøylen i Lønnestjern fra samme periode.

Tabell 5. Glykolverdier, min., median og maks. basert på 11 målinger i Lønnestjern i perioden 22. april-15. oktober 1998. (Median er den midterste verdien i en rekke der verdiene er ordnet i stigende rekkefølge). Deteksjonsgrensen er 0,5 mg/L.

	Propylenglykol mg/L			Etylenglykol mg/L		
	Min.	Median	Maks.	Min.	Median	Maks.
Lønnestjern	Ikke detektert	Ikke detektert	7,0	Ikke detektert	1,4	2,2

Det ble registrert lave verdier av etylenglykol gjennom hele sesongen 1998. Propylenglykol ble ikke registrert før 2. Juli, men er deretter påvist i nedbørfeltet ved hver prøvetaking. I selve Lønnestjern er propylenglykol registrert ved hver prøvetaking fra og med 27. august.

Tabell 6. Glykolverdier, min., median og maks. basert på 8 målinger i nedbørfeltet til Lønnestjern i perioden 22. april-15. oktober 1998 (dektekonsongrensen er 0,5 mg/L).

Stasjon	Propylenglykol mg/L			Etylenglykol mg/L		
	Min.	Median	Maks.	Min.	Median	Maks.
5. Overvann	Ikke detektert	1,0	5000	Ikke detektert	1,3	28,5
6. Bekk fra øst	Ikke detektert	Ikke detektert	2,0	0,7	1,1	1,4
7. Bekk fra vest	Ikke detektert	Ikke detektert	3,2	Ikke detektert	0,6	1,5
8. Kisteveita	Ikke detektert	1,0	1,9	0,7	1,1	2,1
9. Innløpsbekk	Ikke detektert	1,3	1,9	Ikke detektert	1,2	2,0

I prøver tatt under snøsmelting 5. november 1998, etter en periode med avising av fly, ble det registrert propylenglykol på Stasjon 5 (Overvann): 2,2 mg/L, Stasjon 8 (Kisteveita): 1,1 mg/L og Stasjon 9 (Innløpsbekk): 1,4 mg/L. Konsentrasjonene av etylenglykol var < 0,5 mg/L i alle prøver.

3.3 Næringsalter og organisk carbon

Prøvetaking og analyser av næringsalter og TOC ble foretatt i Lønnestjern og Espelandstjern i tre omganger fra august til oktober 1997 og 1998 (Tabell 7). Bortsett fra prøvetakingen i august 1997, lå fosfor på samme nivå som i august 1991 (Stene Johansen og Holtan 1991). Bortsett fra denne ene målingen viser samtlige fosformålinger lavere verdier enn målingen som ble foretatt i august 1996, som var på 70 µg Tot-P/L (Holtan 1996). Fosforverdiene i Espelandstjern er ekstremt høye, primært som følge av forurensning fra husdyrgjødsel.

Nitrogenverdiene i Lønnestjern er påfallende høye, men noe lavere i 1998 enn i 1997. Verdiene ligger imidlertid i størrelsesorden 2-3 ganger over verdier målt i tjernet i 1991 og 1996, og er også jevnt over høyere enn verdiene fra Espelandstjern.

Tabell 7. Næringsalter (P og N) og TOC i Lønnestjern og Espelandstjern 1997-98. Middelverdier av prøver fra 0, 5 og 7 m.

Dato	Lønnestjern			Espelandstjern		
	Tot-P µg/L	Tot-N µg/L	TOC mg/L	Tot-P µg/L	Tot-N µg/L	TOC mg/L
220897	108	3777	8,2	203	1217	9,5
110997	48	2923	6,5	143	2130	11,0
161097	45	1917	12,8	143	2240	11,5
120898	37	3813	7,5	168	1540	11,0
240998	48	1970	6,4	249	1297	8,7
141098	48	1817	6,4	183	1467	9,4

Kisteveita (Stasjon 9) rant tidligere ut i innløpsbekken til Lønnestjern, men ble høsten 1996 overført til kloakknett, og dermed styrt utenom Lønnestjern. Bekk fra vest (Stasjon 6) og øst (Stasjon 7) og overvann fra flyplassen (Stasjon 5) renner ut i innløpsbekken (Stasjon 8), se Figur 2. Tabell 8 viser verdier fra 2 prøvetakinger i tilførselsbekkene til Lønnestjern høsten 1998. Bortsett fra Kisteveita er

Tabell 8. Næringsalter og TOC i tilløpsbekker og utløpsbekk 1998.

Dato	Stasjon	Tot-P µg/L	Tot-N µg/L	TOC mg/L
290798	5. Overvann	-	-	10,7
120898		70	2400	9,9
141098		24	505	1,2
290798	6. Bekk fra øst	-	-	6,7
120898		47	1190	6,4
141098		47	1230	8,0
290798	7. Bekk fra vest	-	-	53,1
120898		3866	28100	340
141098		66	-	16,7
290798	8. Innløpsbekk	-	-	9,7
120898		30	3010	8,4
270898		-	-	9,8
240998		-	-	7,6
141098		58	5270	10,8
290798		9. Kisteveita	-	-
120898	10		6900	8,8
141098	11		5920	7,9
270898	Utløpsbekk			7,9
240998				6,5
141098				6,9

fosforverdiene høye i samtlige kilder. Bekk fra vest (Stasjon 7) drenerer området der septiktanken til Luftforsvaret er plassert. De ekstreme næringssalt- og TOC-verdiene i denne bekken 29. Juli og 12. august skyldes trolig lekkasje herfra. Bortsett fra moderate fosforverdier for Kisteveita, viser alle kildene høye verdier av næringssalter og TOC. Enkeltmålinger i utløpsbekken viser lavere verdier av TOC enn målinger i innløpsbekken foretatt samme dag.

3.4 Lukt

Det ble registrert "svak løklukt" i prøver fra innløpsbekken til Lønnestjern (Stasjon 8) 24. mars, 20. mai og 29. juli 1998, fra Kisteveita (Stasjon 9) 2. og 29. juli 1998 og fra overvann (Stasjon 5) 27. August 1998 (Anmerket som "Lukt" i Vedlegg B).

3.5 Fisk

Ett enkelt vak av fisk, trolig aure, ble observert i Lønnestjern 24. September 1998.

4. Vurdering og konklusjon

Veiet middel av oksygenkonsentrasjonene for 1997 gir tilstandsklasse III for oksygen i Lønnestjern (Tabell 9) og tilstandsklasse IV for Espelandstjern (Tabell 10). Bedre tilstandsklasse for Lønnestjern skyldes lufting.

Fosfor regnes som minimumsfaktor for planteproduksjon i ferskvann, mens nitrogen vanligvis er tilstede i overskudd. I praksis vil gjerne et N:P-forhold i vann på ca. 12 markere skillet mellom nitrogen- og fosforbegrensning (Berge *et al.* 1995). N:P-verdier mindre enn 12 indikerer nitrogenbegrensning, mens verdier større enn 12 indikerer fosforbegrensning, noe som er tilfellet for bl.a. Lønnestjern. På denne bakgrunn vil diskusjonen i det følgende i stor grad dreie seg om fosfor.

Svak, men ikke signifikant reduksjon i fosforkonsentrasjonen fra 1997 til -98 gir grunnlag for en lavere tilstandsklasse for dette parameteret i 1998, uten at det er mulig å si om dette er uttrykk for en trend. Fosformålingene i 1998 gir samme tilstandsklasse for dette parameteret (Tilstandsklasse IV) som i 1991.

Tabell 9. Klassifisering for tilstandsklasse (SFT 1997) i Lønnestjern 1997 og -98. Klassifiseringen av oksygen er basert på dårligste (laveste) middelverdi av 8 prøvetakinger i 1997 og 13 prøvetakinger i 1998. Siktedyp er basert på aritmetrisk middel av 7 målinger i 1997 og 13 i 1998. Næringssalter (Tot-P, Tot-N) og organiske stoffer (TOC) er basert på veiet middel av 3 prøvetakinger i hvert av årene.

Virkning av	Parameter	Enhet	Verdi		Tilstandsklasse	
			1997	1998	1997	1998
Næringssalter	Tot-P	µg/L	67	44	V	IV
	Tot-N	µg/L	2872	2533	V	V
Organiske stoffer	TOC	mg/L	9,3	6,8	IV	IV
	Oksygen	mg/L	5,2	5,3	III	III
	Siktedyp	m	1,8	1,7	IV	IV

Tabell 10. Klassifisering for tilstandsklasse i Espelandstjern 1997 og -98. Klassifiseringen av oksygen er basert på dårligste (laveste) middelverdi av 7 prøvetakinger i 1997 og 8 prøvetakinger i 1998. Siktedyp er basert på aritmetrisk middel av 6 målinger i 1997 og 9 målinger i 1998.

Næringssalter og organiske stoffer er basert på veiet middel av 3 prøvetakinger i hver av årene.

Virkning av	Parameter	Enhet	Verdi		Tilstandsklasse	
			1997	1998	1997	1998
Næringssalter	Tot-P	µg/L	163	200	V	V
	Tot-N	µg/L	2196	1435	V	V
Organiske stoffer	TOC	mg/L	11	9,7	IV	IV
	Oksygen	mg/L	3,9	5,8	IV	III
	Siktedyp	m	1,8	1,7	IV	IV

Tabell 11 gir en sammenlikning av en del målinger på samme tidspunkt (august) fra 4 ulike år i Lønnestjern. I august 1998 var fosfor og TOC på samme nivå som i 1991, mens nitrogen ligger 3-4 ganger over 1991-verdien. Høyere oksygenverdi i 1998 enn i 1991 skyldes lufting.

Tabell 11. Lønnestjern. Middelerverdier av næringssalter (0, 5 og 7 m), organisk stoff (0, 5 og 7 m) og oksygen (0, 3, 5 og 7 m) i august 1991 (Stene Johansen og Holtan 1991), juni 1996 (Holtan 1996) og august 1997 og 1998.

Parameter	Enhet	Tidspunkt			
		12.08.91	25.06.96	22.08.97	12.08.98
Tot-P	µg/L	40	70	108	37
Tot-N	µg/L	1020	1600	3777	3813
TOC	mg/L	5,4	47,6	8,2	7,5
Oksygen	mg/L	3,7	0	2,4	7,7

N/P-forholdet i Lønnestjern var høyere i 1997 og 1998 enn ved tidligere målinger, og er høyere enn i Espelandstjern.

Det er foretatt beregninger vha. FOSRES (Berge 1987) for å vurdere fosforbelastning på Lønnestjern (Tabell 12) og Espelandstjern (Tabell 13). I beregningene i Tabell 14 har vi estimert Kisteveitas vannføring til 50% av vanntilførselen til Lønnestjern. Etter overføringen av Kisteveita til kloakknett er dermed avrenningen til Lønnestjern anslått redusert fra 20 l/s til 10 l/s på årsbasis.

Tabell 12. Lønnestjern (areal 0,03 km², middeldyp 2 m). Beregning av fosforbelastning.

År	Avrenning (l/s)	Middel Tot-P (µg/l)	Beregnet P-tilførsel (kg)
1991	20	40	40
1996	20	70	70
1997	10	67	37
1998	10	44	24

Iflg. Modellberegningene tåler Lønnestjern maksimalt 24 kg P pr. år med en avrenning på 20 l/s, og maksimalt 13 kg P pr. år med en avrenning på 10 l/s. I begge tilfelle tilsvarer dette en middelkonsentrasjon av Tot-P i innsjøen på 24 µg/l.

Et enkelt anslag på tilførsler via innløpsbekken gir 14 kg P i 1998. Dette betyr i så fall at 10 kg P kommer fra andre kilder (sedimentene: indre gjødsling under oksygenvinn og/eller oppvirvling pga. lufting; diffus avrenning fra nærområdene). Dessuten kan en ikke utelukke episodiske tilførsler med høyt næringssaltinnhold via innløpsbekken (jfr. registreringen på Stasjon 7 12. august 1998).

Tabell 13. Espelandstjern (areal 0,02 km², middeldyp 2 m). Beregning av fosforbelastning.

År	Avrenning (l/s)	Middel Tot-P (µg/l)	Beregnet P-tilførsel (kg)
1997	27,5	163	195
1998	27,5	200	239

Avrenningen fra Espelandstjern er anslått til 27,5 l/s på årsbasis (Tabell 15). Med denne avrenningen tåler innsjøen maksimalt 29 kg P pr. år. Dette tilsvarer en middelkonsentrasjon av Tot-P i innsjøen på 24 µg/l (Tilstandsklasse IV).

Anslagene ovenfor er følsomme for avvik i vannføring og for hvor presise middelveiene for P er. Jo flere P-målinger, jo bedre estimat. For vanlig innsjø-overvåking er det vanlig med 6-8 målinger gjennom produksjonssesongen, men for beregninger av massetransport trengs det månedlige målinger gjennom året (pluss tettere prøvetaking under perioder med stor avrenning).

Glykol omsettes biologisk under høyt forbruk av oksygen. Det biokjemiske oksygenforbruket etter 5 døgn (BOF₅) er ca. 1 gram oksygen pr. gram væske. For en total nedbrytning av en vektenhet propylenglykol trengs ca. 1,7 vektenheter oksygen (Holtan 1996). De glycolkonsentrasjonene som er målt i Lønnestjern i 1998 utenom utslippsepisoden i august kan tyde på at det fortsatt ligger rester av avisingsvæske og nedbrytningsprodukter i nedbørfeltet. Konsentrasjonene er lave, men kan likevel virke negativt i en sterkt belastet resipient som Lønnestjern. I tillegg er tilsetningsstoffene i avisingsvæske giftige for organismelivet i vann, selv ved meget lave konsentrasjoner. Kjemisk sammensetning og nedbrytbarhet av disse stoffene i naturen er ikke kjent. Selv om det er påvist sterkt reduserte konsentrasjoner av glykoler i Lønnestjern, kan man ikke uten videre anta at tilsetningsstoffene følger samme forløp. Bortsett fra overvannsprøven 27. August 1998, var konsentrasjonene av glykol i 1998 svært lave, og i en stor del av prøvene ble glykol ikke detektert i det hele tatt (Vedlegg B).

Det er konstatert en svak bedring i tilstanden i Lønnestjern fra 1997 til -98. Den klimatiske forskjellen mellom de to årene var stor. 1997 var en varm og nedbørfattig sommer, mens sommeren 1998 var kjølig og regnfull. Denne forskjellen i klimatiske forhold har medført ulikheter i avrennings- og utskiftingsforhold og i produksjonsforhold, og er trolig tilstrekkelig til å forklare forskjellen i tilstand. Det er derfor ikke mulig å fastslå noen klar trend i restaureringsprosessen på bakgrunn av disse to årene.

Tilstanden med hensyn til fosfor var i 1998 på nivå med målingen fra 1991, som SFT har satt opp som et foreløpig mål for restaureringen, mens verdiene for nitrogen og TOC lå over 1991-verdiene (Vedlegg B; Stene-Johansen og Holtan 1991).

Ut fra de registreringer og beregninger som er gjort er høy konsentrasjon av næringssalter et hovedproblem i Lønnestjern. Iflg. beregningene ovenfor tilføres bare deler av dette gjennom tilførselsbekkene, mens resten trolig tilføres fra sedimentene under reduktive forhold, sammen med andre oksygenkrevende stoffer. Sedimentet er også oksygenkrevende i seg selv etter mange års overbelastning. Det vil derfor være viktig å sikre mest mulig aerobe forhold i vannsøylen.

Økt gjennomstrømming og vannutskifting i Lønnestjern kan bl.a. oppnås ved å tilbakeføre Kisteveita fra kloakknett til sitt naturlige avløp til Lønnestjern. Det ble sporadisk konstatert svak løklukt i Kisteveita sommeren 1998, men dette vil neppe gi store luktproblemer i omgivelsene. Da Kisteveita ifølge målinger er den reneste av tilførselskildene med hensyn til fosfor, vil den i dagens situasjon kunne ha en "rensende" funksjon for Lønnestjern. I tillegg kan lufting i perioder av sommerhalvåret fortsatt vise seg nødvendig for å unngå oksygenfrie tilstander. Slike tilstander begunstiger utløsning av fosfor og andre oksygenkrevende stoffer fra sedimentene.

Fortsatt overvåking av oksygen og næringssalter anbefales for å vurdere virkningen av de foreslåtte tiltak og for å slå fast om Lønnestjern oppnår de krav med hensyn til tilstand som miljømyndighetene krever. Diffus avrenning fra anleggsområdet ved Lønning næringspark og mulige effekter av dette bør undersøkes.

5. Referanser

- Berge, D. 1987. Fosforbelastning og respons i grunne og middels grunne innsjøer. NIVA rapport nr. 2001. 45 s.
- Berge, D., Bokn, T., Faafeng, B., Johansen, S. W. Johnsen, T., Lømsland, E. og Tjomsland, T. 1995. Effekter av overgjødning: dose/respons av nærings saltene fosfor og nitrogen. Status og kunnskapsmangler. NIVA rapport nr. 3289. 76 s.
- Bjerknes, V. 1996. Oksygenmålinger ved lufting av Lønnestjern ved Bergen lufthavn, Flesland høsten 1996. NIVA rapport nr. 3588-96. 12 s.
- Holtan, H. 1996. Befaring og undersøkelse av Lønningtjern med tilløp ved Bergen Lufthavn, Flesland. NIVA rapport nr. 3529-96. 20 s.
- NOTEBY 1997. Lønnestjern ve Bergen lufthavn, Flesland. Utvidete miljøtekniske undersøkelser. Kildelokalisering. 51766 – 2. 16 s.
- NVE 1997. Avrenningskart over Norge. 1:500 000. Blad 1.
- SFT 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Veiledning 97:04. TA-nummer 1468/1997. 31 s.
- SFT 1998. Flesland Lufthavn – klage på vedtak om restaurering av Lønnestjern. Brev til Luftfartsverket og Fylkesmannen i Hordaland datert 24. Mars 1998, Ref. 97/02282 TSk. 3 s.
- Stene-Johansen, S. og Holtan, H. 1991. Glykolavrenning ved lufthavnene – Vurdering av resipienter og behov for reparerende – forebyggende tiltak. Fase 2. NIVA rapport nr. 2720. 49 s.
- Winkler, L. W. 1888. Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffs. Ber. Dtsch. Ges. 21, 2843-2854.

Vedlegg A.

Analyseresultater og tilstandsklassifisering

1997Oksygen		Lønnesstjern		Espelandstjern		Tilstand		Sikt (m)	
Dato	Middel O2	STD	Tilstand	Sikt (m)	Tilstand	Middel O2	STD	Tilstand	Sikt (m)
1404	14	0,04	I						
906	4,2	3,8	IV			5,7	3,1	III	
2506	2,6		IV	2,5	III	4,6	5,2	III	1,5
807	1,8	2,2	V	2,5	III	4	4,2	III	2
708	2,9	5,7	IV	1,5	IV	2,1	4	IV	2
2208	2,4	4,4	IV	2	IV	2,1	3,2	IV	2,5
1109	8,7	0,06	II	2	IV	3,5	3	IV	2
1610	4,8	0,6	III	2,5	III	5,3	0,05	III	1
Middel	5,175		III	2,166667	III	3,9		IV	1,833333
STD	4,179798			0,408248		1,434108			0,516398
Tilstand	III			III		IV			IV

1998 Næringsalter		Lønnesstjern		Espelandstjern		TOC	
Dato	Dyp	Tot-P	Tot-N	Tot-P	Tot-N	Tot-P	Tot-N
1208	0	33	3680	71	1600	11,3	11,3
	3	34	3860	102	1810	12,4	12,4
	5	35	3860	127	1350	10,1	10,1
	7	46	3850	370	1400	10,2	10,2
		37	3812,5	167,5	1540	11	11
		6,055301	88,45903	136,9294	209,9206	1,080123	1,080123
		IV	V	V	V	IV	IV
2708	0						
	7					8,2	
						11,2	
2409	0	40	2060	68	1070	6,3	8
	5	44	1930	98	1180	6,5	8,4
	7	61	1920	580	1640	6,4	9,8
		48,33333	1970	248,6667	1296,667	8,733333	
		11,15049	78,1025	287,3349	302,3795	0,945163	
		V	V	V	V	IV	IV
1410	0	47	1880	126	1460	6,2	9,5
	5	48	1780	138	1440	6,5	9,1
	7	48	1790	286	1500	6,5	9,6
		47,66667	1816,667	183,3333	1466,667	6,4	9,4
		0,57735	55,07571	89,11416	30,5505	0,173205	0,264575
		IV	V	V	V	III	IV
Veiet middel		Tot-P	Tot-N			TOC	
		37	3813			7,5	
		48	1970			6,4	
		48	1817			6,4	
Middel		44,33333	2533,333			6,766667	
STD		6,350853	1110,861			0,635085	
Tilstand		IV	V			IV	

1998 Tilløpsbekker til Lønneestjern									
Dato	Stasjon	ToiP	totN	TOC					
2907	5			10,7					
	6			6,7					
	7			53,1					
	8			9,7					
	9			9,2					
1208	5	70	2400	9,9	V			IV	
	6	47	1190	6,4	IV			III	
	7	3866	28,1 mg	340	V			V	
	8	30	3010	8,4	IV			IV	
	9	10	6,9 mg	8,8	II			IV	
2708	8			9,8					
2409	8			7,6					
1410	5	24	505	1,2	IV			I	
	6	47	1230	8	IV			IV	
	7	66	xx	16,7	V			V	
	8	58	5270	10,8	V			IV	
	9	11	5920	7,9	III/III			IV	
	5	70	2400	9,9					
				9,8					
				7,6					
				1,2					
Middel		24	505	1,2					
Tilstand		47	1452,5	7,125					
	IV		V	III					

