

Oppsummering av kjemiske målinger i vann ved Bergen Lufthavn Flesland 2016



Uni Research Miljø SAM-Marin
Thormøhlensgt. 55B
5008 Bergen

Telefon: 55 58 44 63

ISSN nr: ISSN-1890-5153

SAM e-rapport: 04-2017

Prosjektnummer: 811544

Tittel: Oppsummering av kjemiske målinger i vann ved Bergen Lufthavn Flesland 2016

Dato: 15.05.2017

Forfatter: Marte Haave

Geografisk område: Flesland i Bergen kommune (Hordaland fylke)

Oppdragsgiver: Avinor

Antall sider: 27

Emneord: Vannkjemi, prioriterte miljøgifter, PFOS, PFAS, tungmetaller, konduktivitet

Forsidefoto: Langavatn fotografert mot sør (Foto: Uni Research Miljø- LFI)

SAMMENDRAG

Rapporten tar for seg Avinors egne måleserier av kjemiske parametere i elver og vann ved Bergen Lufthavn Flesland i 2016. Dette arbeidet bygger videre på oversikt over kjemiske målinger fra 2010-2016, presentert i SAM e-rapport 06-2016 (**ISSN nr:** ISSN-1890-5153).

Formål med overvåkningsprogrammet ved Avinor er å dokumentere i hvilken grad de samlede aktivitetene ved lufthavnen påvirker tilstanden i resipientene ved lufthavnen, og økologisk tilstand i omkringliggende resipienter. Denne rapporten tar for seg tilstand for og endringer i prioriterte metaller og perfluorerte forbindelser, samt konduktivitet i elver og bekker nær flyplassen over de siste tre år. Det fokuseres også på forurensninger som kan stamme fra flyplassdrift og annen menneskelig aktivitet i området, og følger opp stoffer som ble påvist som problematiske i 2016.

Analyser av perfluorerte forbindelser (PFC = Perfluorerte alkaner, perfluorerte sulfonater og fluortelomersulfonater) viser store variasjoner, med de høyeste konsentrasjonene rundt brannøvingsfeltene. Kildene til perfluorerte forbindelser er både det nye og det gamle brannøvingsfeltet (Fig 1). Høyest konsentrasjon av PFOS i elv er målt i Lindevikabekken, mens grunnvannsprøver viser svært høy forurensning av PFOS like ved brannøvingsfeltet. Dreneringen av PFOS ut fra flyplassområdet skjer gjennom Lindevikabekken og Fleslandselven. Det er sannsynlig at PFOS som har trukket ned i grunnen fra brannøvingsfeltet er spredt over et stort område, slik at kartlegging og sanering vil være vanskelig. Et nytt brannøvingsfelt som benytter ikke-fluorert brannskum, og har kum for oppsamling av kjemikalier etter bruk vil medvirke til å redusere konsentrasjonene over tid, men mengdene PFC som allerede finnes i grunnen er problematiske og kan medføre en betydelig kilde til spredning av PFOS. Det er ikke beregnet hvilken mengde PFOS som finnes i grunnen basert på konsentrasjon og areal eller volum av grunnvannet. Det bør følges opp med forsøk på å begrense avrenning og sanere høyforurensset område, eventuelt binde PFOS *in situ* og hindre videre spredning.

Enkelte tungmetaller ble i rapport 6-2016 påvist å være forhøyet og er fulgt opp i denne rapporten. Ingen vesentlige endringer er vist for nivåene i 2016. Bly er fortsatt svært høyt i Træsvatn-området. Drenering av Træsvatn til Langavatn via Storaveitabekken medfører høye blykonsentrasjoner også i Langavatn. Træsvatn bør følges opp av grunneierne med tanke på effektstudier og opprydding. Træsvatn ligger utenfor Avinors område. Fylkesmannens miljøvernnavdeling er informert av Avinor om blynivåene i vannet.

Innholdet av kobber er særlig forhøyet nedenfor flystripen, noe som antyder at flystripen eller flyene kan være en kilde til kobber. Undersøkelsene i 2016 viser at tilstanden er uendret fra perioden 2010-2015. Tilstandsklassen for kobber etter analyse av totalt kobber er svært dårlig, med fare for toksiske effekter i vannlevende organismer, og en oppfølging av biotilgjengelig kobber vil utføres i 2017 for å vurdere dette. Nikkel og krom vil også følges opp videre i 2017.

Det er ikke vist vesentlige endringer i metallkonsentrasjoner siden sist undersøkelse, men varierende prøvetakingstidspunkt fra år til år, et begrenset antall analyser og forventet variasjon i vannkonsentrasjoner som følge av varierende avrenning og nedbør vanskeliggjør statistisk sammenlikning av analysedata eller

konklusjoner om endringer i konsentrasjoner.

Behov for endret prøvetakingsprogram, videre overvåkning og mulige tiltak diskuteres, og det foreslås å legge om overvåkningsprogrammet til å ta prøver av biota eller benytte passive prøvetakere for å få tidsvektede gjennomsnitt av konsentrasjoner og unngå sporadisk høye eller lave konsentrasjoner. Analysene må være hyppige nok og sensitive nok til å gi meningsfulle svar.

Flere stoffer som ikke har vist seg å være forhøyet i perioden 2010-2016, foreslås fulgt opp sjeldnere, gjerne med tre-fire års mellomrom for å overvåke eventuelle langsiktige endringer og påse at de lave verdiene av disse stoffene ikke endrer seg på grunn av driften av flyplassen.

Innhold

Sammendrag	3
1. Innledning	6
Områdebeskrivelse	6
Utslipp av driftskjemikalier	8
2. Material og metode	11
Datagrunnlag	11
Analysemetoder	11
Databehandling	12
Kvantifiseringsgrense (LOQ)	12
Rapportering	13
3. Resultater	14
Prioriterte stoffer	14
Perfluoreerte forbindelser	14
Tungmetaller	18
Kadmium og kvikksølv	18
Bly og nikkel	18
Kobber	19
Krom og sink	20
Ikke prioriterte stoffer- kjemikalier fra driften av flyplassen	22
3. Diskusjon og anbefalinger	24
Oppsummering	26
4. Referanser	27

1. INNLEDNING

Som oppfølging av arbeid i 2016 (SAM e-rapport 6-2016) har Uni Research Miljø bearbeidet data fra Avinors egen prøveserie av kjemiske parametere i elver og vann i 2016. Rapporten omhandler nivået av utvalgte prioriterte miljøgifter, blant annet tungmetaller og perfluoreerte forbindelser, samt konduktivitet i bekker og kanaler som mottar avrenning fra flyplassen. Det antas at forhøyede nivåer av metaller i flyplassens nærområde stammer til dels fra flyplassen, men mulige kilder i berggrunnen er ikke utredet. Økt konduktivitet kan også skyldes avrenning av veisalt fra veinettet rundt lufthavnen. Brannskum er eneste kjente kilde til perfluoreerte forbindelser i området. Rapporten tar for seg et utvalg av tungmetaller og viser nivåer i forhold til grenseverdier og mulige endringer fra sist periode.

Denne rapporten fokuserer på innholdet av miljøgifter i området rundt flyplassen i forhold til gjeldende og reviderte grenseverdier etter kvalitetssikring av miljøkvalitetsstandarder (M-608, Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota), og omhandler ikke biologiske studier eller økologisk tilstand. Det er for denne rapporten ikke gjort undersøkelser av effektene de kjemiske stoffene kan ha på biota i området.

Områdebeskrivelse

Figur 1.1 viser lufthavnen og undersøkelsesområdet. Vi ser også Træsvatn, som er et lite vann utenfor flyplassområdet. Det er to vassdrag ved Flesland som berøres direkte av Bergen Lufthavn: Fleslandsvassdraget og Lønningsvassdraget. I nord og øst er Fleslandsvassdraget preget av skog og myr, og til dels uberørt natur. Fleslandsvassdraget består av noen mindre tjern, samt fire navngitte innsjøer. Auretjørna ligger øverst, deretter kommer Træsvatnet, som drenerer via Store Veitabekken ut i Skjenavatnet og videre til Langavatn. Langavatn drenerer ut i Fleslandselven til Raunefjorden i bygden Flesland rett vest for lufthavnen. Det meste av Skjenavatnet er fylt igjen og nordenden og sørenden av Langavatn er også fylt med masser. Vannforekomsten med nedbørsfelt, vannføringer og økologisk status er beskrevet i Velle m.fl (2016).

Træsvatn er en nærmest urørt innsjø øst for lufthavnen. Den er 15 m dyp og omgitt av furuskog og myrmarker. Det finnes ikke veier til sjøen og den er i sparsomt besøkt av naboer på tur. Etablering av bybanens verkstedsområde kan medføre økt påvirkning på vannet. Analyser viser også at Træsvatn er svært forurensset av bly. Dette kan ha sammenheng med tidligere leirdueskyting i området. Kjemikalier fra driften av flyplassen er ikke antatt å påvirke Træsvatn. Vannet benyttes derfor som en referanse for naturtilstanden i området, selv om den er noe påvirket av menneskelig aktivitet. Vassdragene med nedslagsfelt som blir påvirket av drift og utvidelser ved flyplassen er vist i Figur 1.2.

I området nord for flystripen pågikk brannøvingsaktivitet i en periode etter etablering av lufthavnen. Lufthavnen åpnet på slutten av 1950-tallet, og det gamle brannøvingsfeltet, som omfatter et område på ca. 5 dekar, ble etablert i nord på Forsvarets eiendom (pers. komm., Einar Hermansson, Avinor). Flybildet fra tidlig 1970 tall (Illustrasjon 1) viser området i Nord, med brannøvingsfeltet rammet inn. Fra 1980-tallet ble

øvingsområdet mer definert til et felt (B). På 1980-tallet ble det også satt opp en simulator, synlig i bildet fra 2005 (C). Brannøvingsfeltet var i bruk frem til nytt øvingsfelt ble etablert på eksisterende område i 1994.



Illustrasjon 1: Flybilder som viser område nord med Brannøvingsfelt 1 (BØF1) ved Flesland i A:1970, B:1980 og C:2005. Kilde: Avinor

Brannskummet som ble benyttet fra 1970-tallet til 2001 inneholdt perfluoroktansyre (PFOS), kjent som en giftig og svært lite nedbrytbar forbindelse, som nå er faset ut av produksjon og bruk (Stockholm Convention, 2009). I 1994 flyttet brannøvingsfeltet til et område øst for Langavatn (BØF2, Figur 1.1). Ved Flesland ble PFOS holdig brannskum erstattet fra 2001 med AFFF brannskum basert på fluortelomersulfonat (FTS), og med innhold av andre perfluoralkylforbindelser (PFAS). PFOS, og PFOS-dannende forbindelser ble forbudt i Norge i april 2007, og i stor grad erstattet med Fluortelomersulfonater (FTS) (se også SAM e-rapport 06-2016). Forbindelsen 6:2 FTS er i følge produsenter ikke toksisk eller bioakkumulerende, og er heller ikke på ECHAs (European Chemicals Agency) kandidatliste over forbindelser som gir særlig grunn til bekymring (Substances of Very High Concern). 6:2 FTS er heller ikke observert å akkumulere eller biomagnifisere i biota over tid, men finnes igjen i biota ved utslippsområder (Haave og Johansen 2012, Hadler-Jacobsen og Heggøy 2012, Haave 2013). Andre biprodukter i AFFF er svært persistente og bioakkumulerende (<http://echa.europa.eu/candidate-list-table>). Disse ser vi i

akkumulere i biota der brannskum har vært benyttet (Haave og Hatlen, 2015). Avinor Bergen lufthavn har fra 2012 også erstattet fluorholdig brannskum med en ikke-fluorert variant (Moussol), som skal være vannløselig og svært lett nedbrytbar i akvatisk miljø (MSDS Moussol®). Et nytt brannøvingsfelt er under planlegging, hvor man vil ha oppsamling og lokal nedbryting av kjemikalier som benyttes under øvingene (Avinor, pers. komm.).

Området som nå kalles fyllplass nord ble etablert i området nord for rullebanen på 1980 tallet, i samme område som brannøvingsfeltet (BØF1, Figur 1.1) og området ble tatt inn i daværende SFTs database i 2003 og tinglyst heftet som forurensset. Det er etablert at området er tydelig forurensset med perfluorerte forbindelser, særlig PFOS, etter mange års bruk av brannskum. Konsentrasjoner i bakken er ifølge Avinors undersøkelser generelt under normverdi ifølge nyere undersøkelser (Avinor, pers. komm.) men vannavrenning fra området er sterkt influert av PFOS (Avinor, pers. komm.), som vi også ser av de høye PFOS konsentrasjonene i Lindevikabekken. Filtre med Organoclay, som binder Perfluorerte forbindelser er derfor satt inn oppstrøms Steinfjelltjern (STF, Figur 1.1). Nord for Langavatn ligger det et nytt massedeponi, bestående av overskuddsmasse fra anleggsarbeider på lufthavnen, i tråd med godkjent rammetillatelse for prosjektet. Massedeponi grenser til BØF 1, og er i denne rapporten betegnet som Deponi Nord (DN1 og DN2). Et utsnitt av området rundt BØF-2 er vist i Figur 1.2.

Generelle retninger for avrenning av overflatevann er vist i Figur 1.2B.

Utslipp av driftskjemikalier

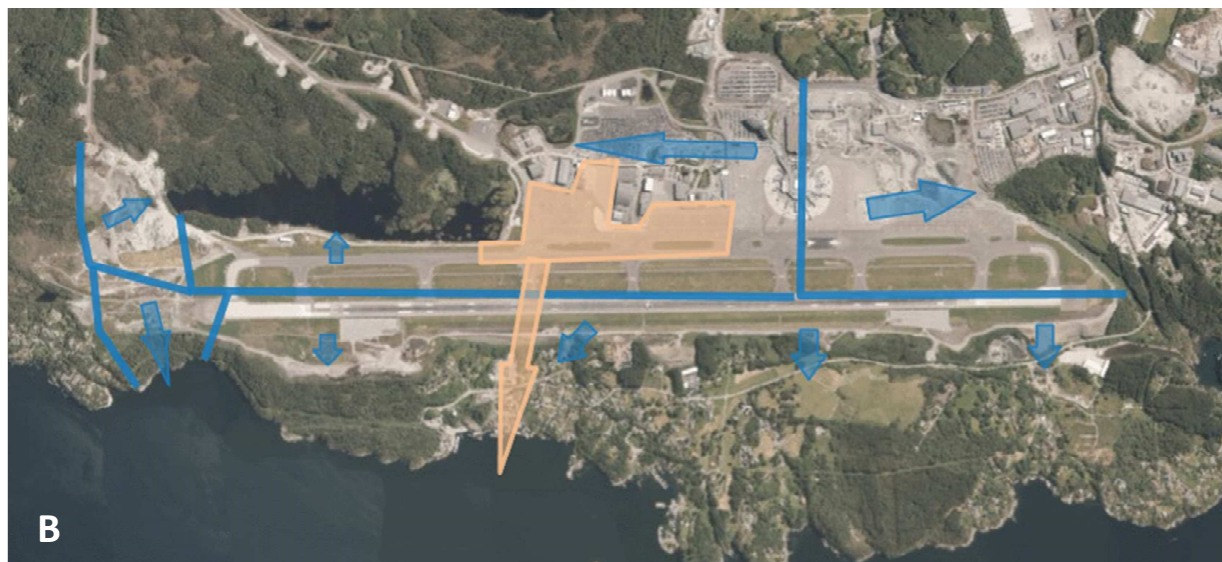
Gjeldende utslippstillatelse for Bergen Lufthavn Flesland er utstedt av Fylkesmannen i 2011. Denne gir tillatelse til utslipp av glykol og formiat under forutsetning at resipienter ikke tar skade. Dette omtales også i SAM-e-rapport 6-2016. I utslippstillatelsen er det forutsatt at all avising av fly skjer på en egen avisingsplattform med tett dekke og oppsamling av kjemikalier, som videre ledes til utslipp i sjø (Raunefjorden), mens den mest konsentrerte delen, A-glykol, samles i egen tank og gjenvinnes. Utslippstillatelsen pålegger videre lufthavnen om å følge opp med miljøovervåkning, som blant gjennomføres ved analyser av formiat i vann, og ved automatisk logging av konduktivitet i GA-kanalen og Lønningsbekken, som er de to sannsynlige resipientene for glykol og formiat fra rullebanen og avisingsplattformen. Forbruk og utslipp av avisingskjemikalier overvåkes og dokumenteres. Ved utlegg av formiat er det et mål å redusere forbruket av formiat på banearealene.

Bergen lufthavn, miljøovervåking 2016



Figur 1.1. Området for prøvetakning ved Bergen Lufthavn Flesland. Plassering av stasjoner for vannprøvetakning i tjern og elver er vist med røde punkter. Plassering av brannøvingsfeltene er vist med blå stiplet linje. Omtrentlig plassering av filter for perfluorerte forbindelser som er plassert oppstrøms for Steinfjelltjern er vist med blå sirkel. Kart: modifisert etter Avinor. Stasjonsnavn, fra nord mot sør: DN = Deponi Nord (1 og 2), STF = Steinfjelltjern, BØF = Brannøvingsfelt (1 og 2), LVB = Lindevikabekken, LVN = Langavatn Nord, LVØ = Langavatn Øst, LVS = Langavatn Sør, FEO = Fleslandselven øvre, SB = SVB = Store Veitabekken, GB = Gåstjørnsbekken, LB1 = Lønningsbekken 1.

GA = GA-kanal. Målepunkt for konduktivitet.



Figur 1.2 A) Plassering av kummer for grunnvannsprøver ved Brannøvingfeltet (BØF 2) som ble tatt i bruk i 1995. B) Skisse av området med hovedretning for avrenning fra flyplassområdet ved Bergen Lufthavn Flesland. (Kartkilde: Avinor)

2. MATERIAL OG METODE

Datagrunnlag

Data som omtales i denne rapporten stammer fra prøver fra faste prøvestasjoner i bekker, elver, tjern og sigevann, innsamlet av Avinor ved området rundt Bergen Lufthavn Flesland i 2016. Det utføres automatisk og kontinuerlig logging av konduktivitet, oksygen og temperatur i GA-Kanal og Lønningsbekken, som mottar avrenning av kjemikalier fra flyplassen. Dataseriene fra autologgeren er lastet ned fra <http://www.timeview2.net/> som Excel-fil og behandlet i statistikkprogram.

Prøver til vannkjemi er tatt av Avinors personell og analyser er utført av Eurofins Environment Testing Norway. Rådata og akkrediterte analysebevis er levert som elektroniske originalfiler fra Eurofins Environment Testing Norway til Uni Research. Data er samlet i en database med resultater fra 2010 til 2016 og kontrollert av Uni Research. Rapporten omhandler kun analyser av vann. Vannprøver som er benyttet i sammenstillingen er tatt fra overflaten (1-1,5 m) som tilsvarer prøvetakning benyttet i SAM e-rapport 6-2016.

Analysemetoder

Analysene er utført akkreditert av Eurofins Environment Testing Norway i Moss (Akkrediteringsnummer Test 003), og Eurofins' akkrediterte laboratorier i Tyskland og Sverige.

Metallanalyser ble utført ved Eurofins Environment Sweden i Lidköping. I 2016 ble metaller analysert ved oppslutning, som er den mest vanlige analysemetoden for miljøprøver. Dette diskuteres i rapport 6-2016, da analysemetoden vil påvirke resultatet. Veilederen spesifiserer ikke metodebruk. Metallene arsen (As), Bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr), nikkel (Ni), sink (Zn) aluminium (Al) og jern (Fe) ble analysert etter standard NS EN ISO 17294-2 og metallene kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), mangan (Mn), natrium (Na) og silisium (Si) ble analysert etter NS EN ISO 11885. Kvikksølv (Hg) ble analysert etter NS EN ISO 17852. På grunn av metode-endring i 2014-2015 er kun resultater fra oppsluttet metode sammenliknet i denne rapporten. For sammenlikning med filtrert metode, se SAM e-rapport 6-2016.

Perfluorerte forbindelser ble analysert ved intern metode hos Eurofins GfA Lab Service GmbH i Hamburg, Tyskland. Fra 2012 ble 12 forbindelser analysert (Tabell 2.1) men før dette ble kun PFOS analysert. Formiat og propylenglykol ble analysert ved interne metoder. Analysebevis er tilgjengelig i elektronisk format på forespørsel, men legges ikke ved rapporten på grunn av omfanget.

Tabell 2.1. Analyserte perfluorerte forbindelser i vannprøver fra Bergen Lufthavn Flesland, med kjemisk navn, forkortelse og kjedelengde

Kjemisk navn	Forkortelse	Kjedelengde (C-F)
Perfluorbutansulfonat	PFBS	C4
Perfluorbutansyre	PFBA	C4
Perfluorpentansyre	PFPeA	C5
6:2 Fluortelomersulfonat	6:2 FTS	C6
8:2 Fluortelomersulfonat	8:2 FTS	C8
Perfluorheksansulfonat	PFHxS	C6
Perfluorheksansyre	PFHxA	C6
Perfluorheptansyre	PFHpA	C7
Perfluoroktylsulfonat	PFOS	C8
Perfluoroktansyre	PFOA	C8
Perfluornonansyre	PFNA	C9
Perfluordekansyre	PFDA	C10

Databehandling

Rådata ble samlet i Excel og overført til Statistikkprogrammet SPSS for Windows (IBM SPSS v. 23). Grafer og tabeller ble laget i SPSS.

Kvantifiseringsgrense (LOQ)

Kvantifiseringsgrensen (Limit of Quantification: LOQ) er grensen for å angi konsentrasjonen av en forbindelse ved analyse. LOQ er høyere enn deteksjonsgrensen (LOD), som er grensen for å detektere tilstedeværelsen av en forbindelse i prøven, men da i så små mengder at konsentrasjonen er svært usikker. LOQ kan variere med stoff, prøvetype og konsentrasjon i prøven. En forbindelse som ikke finnes i mengder over LOQ kan likevel være tilstede i prøven i mengder like under LOQ, og dermed bidra til summen av forbindelsene. Ta som eksempel perfluorerte forbindelser (PFC). For å kunne estimere et verste-fall scenario dersom alle forbindelsene finnes i små mengder like under kvantifiseringsgrensen, oppgis sum PFC som inklusiv LOQ. Man viser også sum PFC eksklusiv LOQ, for å si hva som faktisk er kvantifisert. For å si noe om nivåene i miljøet blir målbart høyere vil derfor sum PFC eks LOQ være et godt hjelpemiddel. Det ene er ikke mer korrekt enn det andre, men er ulike måter å vurdere konsentrasjonene på.

Rapportering

Resultatene presenteres inndelt etter forurensningstype.

For metaller vises enkeltobservasjoner som datapunkt, ettersom det er ulikt antall analyserte prøver per år og stasjon. Resultatene viser dermed både spredning og maksimale verdier i forhold til grenseverdier for årlig gjennomsnitt og enkeltmålinger. For konduktivitet, som logges hver time, benyttes snittverdien per dag. For perfluorerte benyttes snittverdier av tilgjengelige målinger, og grafiske fremstillinger viser relative bidrag fra ulike forbindelser uten standardavvik. Gjennomsnittsverdier med standardavvik er vist i tabell for sammenlikning med tidligere år.

Vannkonsentrasjoner for metaller sammenliknes med etablerte grenseverdier der disse finnes, i henhold til Miljødirektoratets rapport M-608/2016 «Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Gjennomsnittskonsentrasjonene sammenliknes med grenseverdier for årsgjennomsnitt, Annual Average Environmental Quality Standard (AA-EQS), som er en grenseverdi satt for å beskytte mot negative effekter etter lang tids (kronisk) eksponering. Verdien er utledet med tilgjengelig kronisk- eller akutt- toksisitetsdata, med bruk av laveste NOEC (No Observable Effect Concentration) eller EC10 (effekt observert i 10 % av populasjonen), dividert med en sikkerhetsfaktor (assessment factor- AF) som avhenger av kvaliteten og mengden på tilgjengelige toksisitetsdata, og tilsvarer øvre grense for tilstandsklasse II (god).

Datapunktene for metallkonsentrasjoner representerer punktmålinger og ikke gjennomsnittsverdier. På grunn av variasjoner i temperatur og avrenning kan punktmålinger variere sterkt over korte tidsrom, og kan representere sporadiske konsentrasjonstopper som ikke er representative for et gjennomsnitt over perioden. Enkeltverdier blir derfor også sammenliknet med grenseverdier for maksimal tillatt konsentrasjon: Maximum Admissible Concentration EQS (MAC-EQS), som er en grenseverdi satt for å beskytte mot negative effekter etter kort tids (akutt) periodevis eksponering i vannlevende organismer. Denne grenseverdien er sammenliknbar med tidligere tilstandsklasse III (moderat). MAC-EQS er basert på akutt toksisitetsverdier (LC50), altså konsentrasjon hvor 50 % av testorganismene er døde eller viser en effekt av akutt eksponering etter (vanligvis) 48 timer. En sikkerhetsfaktor (AF) benyttes også for å sette MAC, basert på datamengden og kvaliteten av testene (Arp m.fl 2014). Grenseverdiene vil heretter omtales som grenseverdier for «kronisk toksisitet» (AA-EQS) og «akutt toksisitet» (MAC-EQS). Se også M-608/2016 om grunnlaget for beregning av grenseverdier.

I tilfeller hvor konsentrasjonene overskrider grenseverdier for både kronisk og akutt toksisitet (LC50), vil det være hensiktsmessig å sammenlikne konsentrasjonen med øvre grenseverdi for tilstandsklasse IV (dårlig), som gir informasjon om fare for omfattende akutt toksisitet for vannlevende organismer. Denne er basert på samme data som MAC-EQS men en lavere sikkerhetsfaktor er benyttet.

Klassifiseringsgrensene er altså begrenset av mengden og kvaliteten på tilgjengelige toksisitetsdata. Det bemerkes også at forhold som red/oks potensiale, mengde organisk karbon og sulfid vil påvirke toksisiteten av

metaller, men at det ikke finnes tilstrekkelig grunnlagsdata for slike presiseringer (TA-2229). For Kadmium er grenseverdiene for tilstandsklassene satt etter vannets hardhet, og i dette området er vannets hardhet i laveste kategori. Grenseverdiene for tilstandsklassene i denne rapporten er hentet fra M-608/2016 «Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota.

3. RESULTATER

Prioriterte stoffer

Perfluorerte forbindelser

Gjennomsnittlig konsentrasjon med standardavvik for alle de analyserte perfluorerte forbindelsene (PFC) i vannprøver fra deponiområder, tjern og elver i perioden 2011-2016 er vist i Tabell 3.1. Det er tatt et ulikt antall prøver per stasjon hvert år, slik at årsgjennomsnittene ofte er basert på et lavt antall prøver. Prøvene er også tatt på ulike tidspunkt mellom årene, noe som gjør trendanalyser usikre. Antallet prøver som snittet baserer seg på er vist under sum PFOS/PFOA og sum PFC i tabellen. De første årene ble kun PFOS/PFOA analysert, men senere er analysepakken utvidet. Figur 3.1 viser snittkonsentrasjonen av perfluorerte forbindelser per stasjon i for 2016, og viser også hvilke forbindelser som dominerer. For flere av stasjonene kan verdiene representere prøver tatt i månedene april, juni, august, oktober og november. Antallet prøver som hver enkelt verdi er basert på er vist i Tabell 3.1. Kun PFOS/PFOA ble analysert før 2013. Frost i bakken eller tørre perioder vil begrense avrenningen og analysene viser de laveste konsentrasjonene i vintermånedene, i forhold til årsgjennomsnittet (data ikke vist). Dette må være med i vurderingen av resultater ved få analyserte prøver.

Figur 3.2 viser årsgjennomsnittene av analyserte PFC for 2014- 2016 Langavatn Øst som ligger like ved brannøvingsfeltet (BØF2) der det ble målt høye konsentrasjoner i grunnvannet.

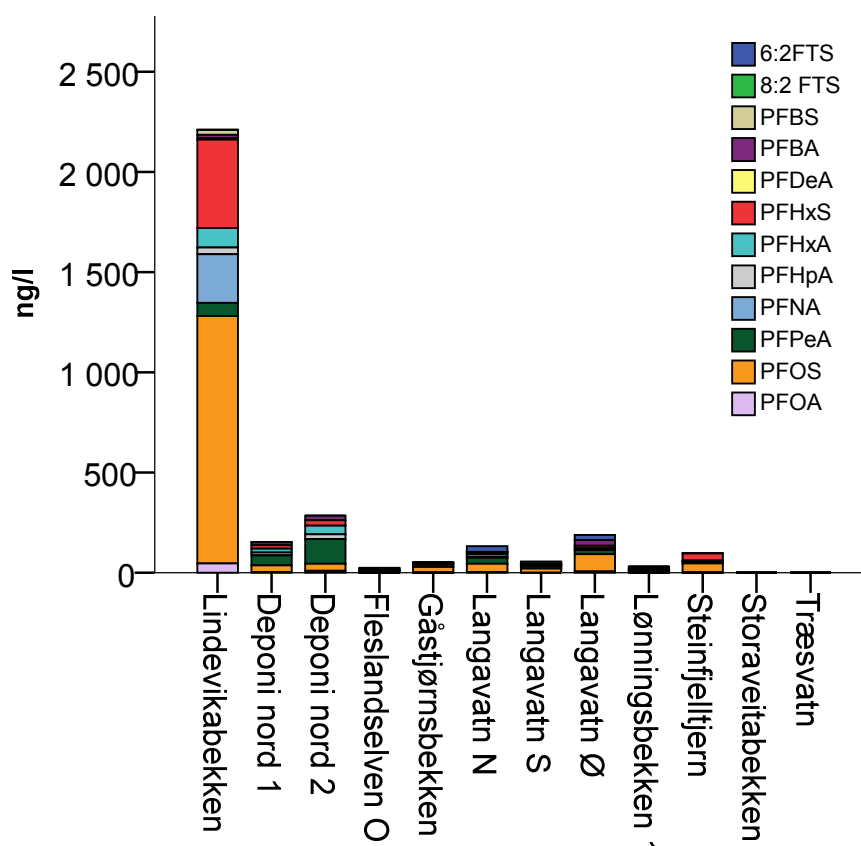
Analyserte verdier i prøver av grunnvannet er vist i Tabell 3.2. Verdiene er svært høye og medfører fare for toksisitet i vannlevende organismer. PNEC (Predicted Noe Effect Concentration) for PFOS i bløtdyr (*Mollusca*) er 73 µg/kg. Det forventes at PFOS vil kunne akkumulere til verdier som langt overskrider disse ved eksponering for avrenning fra grunnvannet, som ved GV3 har en konsentrasjon på 10,5 µg/L (10500 ng/L). Undersøkelser av stedfast biota i Langavatn vil være verdifullt for å vurdere akkumulering og effekter av de høye PFOS nivåene.

Resultatene viser at Træsvatn ikke har målbare konsentrasjoner av perfluorerte forbindelser i vann. Træsvatn ligger ikke på flyplassområdet. Dette støtter antakelsen om at den viktigste kilden til PFC i området er utslipp fra flyplassen.

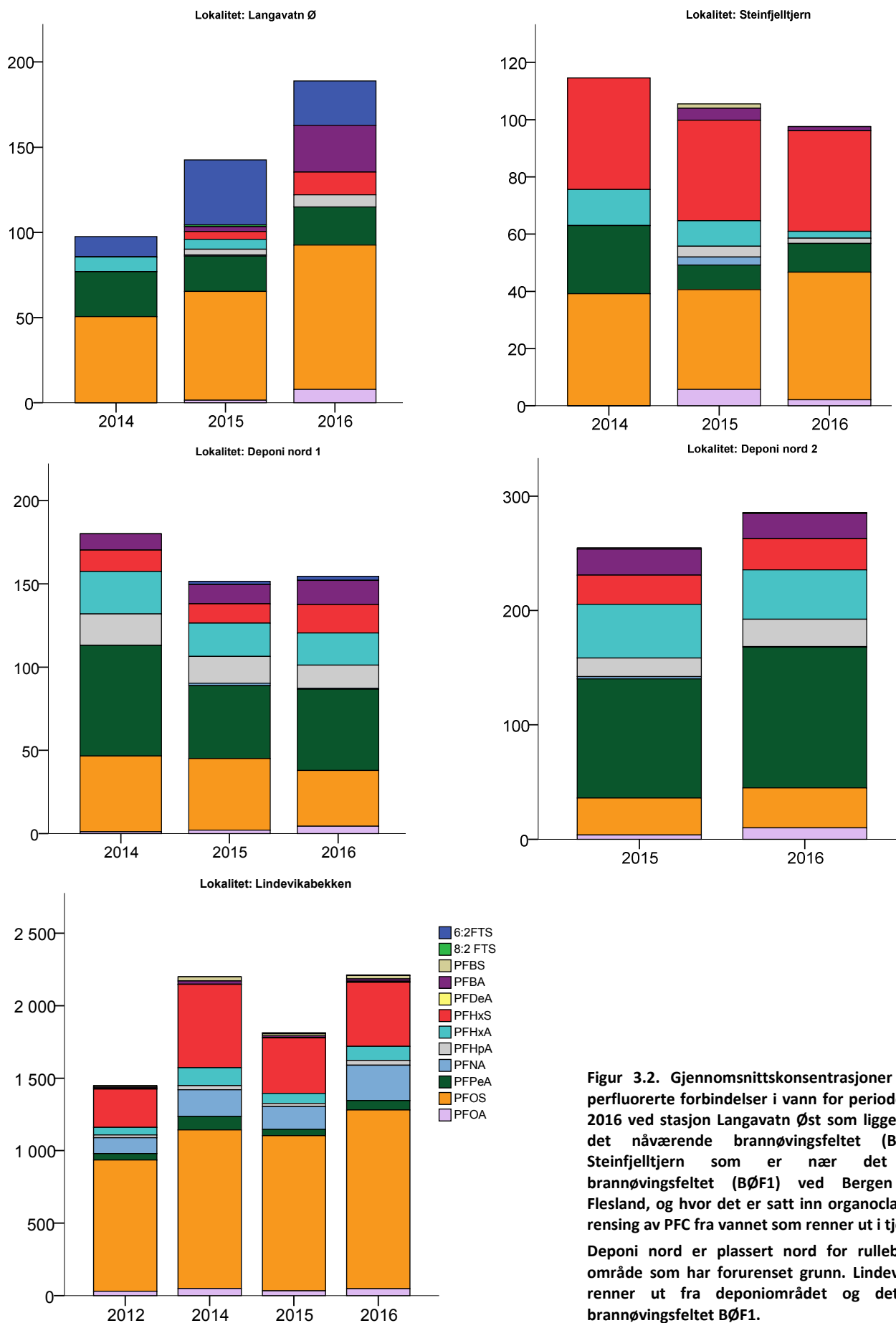
Alle målte konsentrasjoner av PFOS utenom ved Træsvatn er over kvantifiseringsgrensen, og er også over nivået for kroniske effekter (AA-QES: 0,65 ng/l = 0,00065µg/l), men ingen verdier er over akutte nivåer (MAC-EQS). Lindevikabekken, som mottar vann fra området nord for rullebanen (Figur 1.1) hadde de høyeste konsentrasjonene av PFOS og sum PFC (Tabell 3.1, Figur 3.1). Deponi Nord 1 og -2, og Steinfjelltjern hadde også høyere innhold av PFC enn stasjonene vest og sør for rullebanen (Figur 3.1) Det er liten tvil om at kilden til PFC

ved disse stasjonene inkluderer brannøvingsfeltet (BØF1) hvor det ble benyttet PFOS-holdig brannskum frem til 1994. Området nord for rullebanen drenerer også til Langavatn, og det er trolig at PFOS i Langavatn også stammer fra BØF1. Det er sannsynlig at store områder nord for rullebanen er kontaminert med PFOS, men det er usikkert hvor de høyeste forekomstene befinner seg. Et filter med organoclay fjerner PFC fra vann som renner ut i Steinfjelltjern. Dette kan på sikt medføre reduserte konsentrasjoner. Foreløpig er det ikke observert reduksjon i PFOS i Steinfjelltjern i måleperioden (Figur 3.2), men datagrunnlaget er sparsomt med en eller to prøver per år på ulike tidspunkt av året (Tabell 3.1). Analyser fra samme sesong hvert år ville vært verdifullt for bedre å kunne vurdere trender over tid. Figur 3.3 viser endring over tid for flere stasjoner, men igjen er datamaterialet sparsomt, og prøvene er tatt på ulike tider av året, som vanskeliggjør sammenlikning. Like ved Langavatn øst ligger brannøvingsfeltet som ble tatt i bruk i 1994 (BØF2). Den gang benyttet man fortsatt PFOS-holdig brannskum, og det er sannsynlig at denne stasjonen får tilsig av PFOS fra grunnen rundt brannøvingsfeltet. Tilsig også fra BØF1 til Langavatn Nord kan ikke utelukkes. Etter 2001 gikk Avinor over til å benytte AFFF brannskum som inneholdt for det meste Fluortelomersulfonat (FTS).

SAM e-Rapport 06-2016 diskuterer de ulike perfluorerte forbindelsene som observeres i prøvene.



Figur 3.1. Gjennomsnittskonsentrasjoner (ng/L) av perfluorerte forbindelser ved undersøkte stasjoner ved Bergen Lufthavn Flesland og referansestasjonen Træsvatn i 2016. merk ulikt antall prøver er tatt per stasjon.



Figur 3.2. Gjennomsnittskonsentrasjoner (ng/L) av perfluorerte forbindelser i vann for perioden 2014 til 2016 ved stasjon Langavatn Øst som ligger nærmest det nåværende brannøvingsfeltet (BØF2), og Steinfjelltjern som er nær det tidligere brannøvingsfeltet (BØF1) ved Bergen Lufthavn Flesland, og hvor det er satt inn organoclay filter for rensing av PFC fra vannet som renner ut i tjernet.

Deponi nord er plassert nord for rullebanen i et område som har forurenset grunn. Lindevikabekken renner ut fra deponiområdet og det tidligere brannøvingsfeltet BØF1.

Tabell 3.1. Gjennomsnittskonsentrasjoner (ng/L) med standardavvik (SD) for perfluorerte forbindelser i elver og vann Avinor Flesland i perioden 2011-2016.

Forbindelse (ng/l) Stasjon/år	6:2FTS		8:2 FTS		PFBS		PFBA		PFDeA		PFHxS		PFHxA		PFHpA		PFNA		PFPeA		PFOS		PFOA		PFOS /PFOA inkl LOQ		Sum PFC inkl LOQ		Antall
	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	n
DN1 2011	i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		54		8,9		63		i.a		1
2014	<LOQ		<LOQ		<LOQ		9,8	9,6	<LOQ		13	7,5	25	5,7	19	3,8	<LOQ		66	20	44	3,9	0,9	2,3	54	5,3	264	47	5
2015	2,0	1,8	<LOQ		<LOQ		12	4,2	<LOQ		12	2,7	20	7,8	16	7,4	1,3	1,2	44	16	43	8,8	2,1	2,1	47	7,8	170	32	5
2016	2,4	3,4	<LOQ		<LOQ		15	10,3	<LOQ		17	6,4	19	8,7	14	7,3	0,5	0,9	49	25	34	10	4,5	2,9	39	11	179	65	6
DN2 2015	<LOQ		<LOQ		1,1	1,5	23	6,7	<LOQ		26	4,9	47	13	16	3,8	1,9	2,7	104	21	32	15	3,9	5,4	41	14	297	21	2
2016	<LOQ		<LOQ		0,9	1,6	22	16	<LOQ		27	9,2	43	24	24	9,0	0,7	1,2	123	88	35	17	10	5,2	45	22	322	195	3
SFT 2012	i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		54		<LOQ		59		i.a		1
2013	i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		71	1,3	3,4	4,7	77	0,1	i.a		1
2014	<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		39		13		<LOQ		<LOQ		24		27	17,5	<LOQ		37	18	215		1
2015	<LOQ		<LOQ		1,5		4,2		<LOQ		35		8,9		3,8		2,8		8,6		35		5,7		41		110		1
2016	<LOQ		<LOQ		<LOQ		1,5	2,1	<LOQ		35	19	2,4	3,4	1,9	2,7	<LOQ		10	3,8	45	15,8	2,1	2,9	52	20	156	100	2
LVB 2012	<LOQ		<LOQ		9,2		9,1		6,3		264		52		19		109		45		1198	413	45	22	1248	442	1470		1
2013	i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		625	416	24	17	651	430	i.a		4
2014	<LOQ		<LOQ		28	12	22	1,4	2,9	4,1	574	126	124	44	29	0,6	183	94	94	6,8	1021	173	42	12	1060	183	2230	453	2
2015	2,2	2,6	3,6	4,3	14	9,5	11	7,5	4,0	4,8	383	183	69	26	21	5,2	156	70	45	12	1070	449	33	12	1104	459	1840	693	4
2016	1,2	2,1	1,6	2,9	24	15	15	9,8	8,3	2,1	441	256	98	55	33	16	244	128	65	39	1235	469	46	24	1278	489	2223	1007	3
LVN 2013	i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		41		<LOQ		46		i.a		1
2016	29	11	0,8	1,7	<LOQ		2,3	3,2	<LOQ		9,9	6,8	13	3,9	2,5	3,6	0,2	0,5	30	12	42	4,6	3,7	4,4	49	4,4	181	40	5
LVØ 2014	12	17	<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		8,6	12	<LOQ		<LOQ		26	12	49	4,1	<LOQ		61	4,8	248	61	2
2015	38	8,4	1,2	1,6	<LOQ		2,8	4,0	<LOQ		4,6	6,5	5,7	8,1	3,5	4,9	0,7	0,9	21	6,6	64	23	1,6	2,2	70	18	199	40	2
2016	26		<LOQ		<LOQ		28		<LOQ		13		<LOQ		7,2		<LOQ		22		85		7,8		93		240		1
LVS 2016	11	14	0,5	1,2	<LOQ		1,9	2,8	<LOQ		3,6	4,2	4,1	4,7	2,5	2,6	0,3	0,6	11	10	20	15	0,9	1,3	28	12	119	52	5
FEO 2016	<LOQ		<LOQ		<LOQ		6,2	11	<LOQ		7,0	6,9	0,5	1,0	0,3	0,5	<LOQ		2,3	3,5	6,6	12	1,6	2,5	14	13	87	57	4
GB 2016	4,2	8,4	<LOQ		<LOQ		6,3	12	<LOQ		12	6,4	0,4	0,7	<LOQ		0,8	1,6	0,4	0,9	29	40	1,7	2,5	34	43	109	85	4
LB1 2014	<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		4,0	7,0	2,3	4,0	<LOQ		<LOQ		6,3	6,6	15	4,6	<LOQ		22	3,2	110	33	3
2015	<LOQ		<LOQ		<LOQ		1,1	1,2	<LOQ		2,2	2,5	1,4	1,6	0,6	0,9	<LOQ		3,3	2,7	8	4,2	0,9	1,0	15	5,0	78	55	6
2016	<LOQ		<LOQ		<LOQ		6,9	12	<LOQ		7,8	2,0	0,7	1,3	0,4	0,8	<LOQ		4,0	2,7	9	1,4	1,6	2,4	13	1,8	72	27	4
SVB 2016	<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		10		73		1
TV 2016	<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		10	0	73		2

PFOS-konsentrasjoner over AA-EQS (0,65ng/L) er uthevet med rød skrift.

<LOQ: under kvantifiseringsgrensen for forbindelsen. Ved kun én analyse, eller konsentrasjoner under LOQ er ikke standardavviket (SD) vist.

n: antallet analyserte prøver som gjennomsnittet er basert på.

i.a: ikke analysert.

Stasjonsnavn: DN=Deponi Nord, SFT=Steinfjelltjern, LVB=Lindevikabekken, LVN=Langavatn Nord, LVØ=Langavatn Øst, LVS=Langavatn Sør, FEO =Fleslandselven oppstrøms, GB: Gåstjørnsbekken, LB=Lønningsbekken, SVB= Storaveitabekken, TV=Træsvatn.

Tabell 3.2 Konsentrasjoner (ng/L) av perfluorerte forbindelser i grunnvann ved brannøvingsfeltet (BØF2) ved Avinor Flesland i 2016.

Stasjon	6:2FTS	8:2 FTS	PFBS	PFBA	PFDeA	PFHxS	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFPeA	PFOS	PFOA	PFOS	PFOA inkl LOQ	Sum PFC inkl LOQ
GV3 (n=1)	5790	83	128	642	21	1380	1700	624	51	1560	10500	339	10900	22800	
GV4 (n=1)	391	60	15	67	8,2	110	146	125	14	237	1160	50	1210	2380	
Kum ø (n=1)	1750	<LOQ	26	132	8,8	496	578	542	64	579	5230	158	5380	9580	

PFOS-konsentrasjoner over AA-EQS (0,65ng/L) er uthevet med rødt skrift.

Tungmetaller

I 2014 gikk man over til å analysere tungmetaller ved oppslutningsmetode i stedet for filtrering. Metodeendringen medfører høyere verdier etter 2014. For oversikt over effekten av metodeendringen, se SAM e-rapport 6-2016. Gjennomsnittsverdien og standardavviket for tungmetaller analysert ved oppslutning (2014-2016) er vist i Tabell 3.3. Figur 3.3 viser konsentrasjoner og spredning av analyseresultater for de prioriterte tungmetallene kadmium, kvikksølv, bly og nikkel. Hvert punkt representerer en enkelt analyse i perioden 2014-2016 (oppsluttet metode). Vi ser som forventet variasjoner mellom enkeltmålinger i perioden. Med så få målinger per stasjon per år er det vanskelig å si om maksimale konsentrasjoner er fanget opp ved prøvetidspunktet, men verdiene representerer spredningen og den naturlige variasjon ved stasjonene, ettersom prøvene er tatt til ulike årstider. Vi ser også en viss grad av samsvar mellom målingene fra år til år.

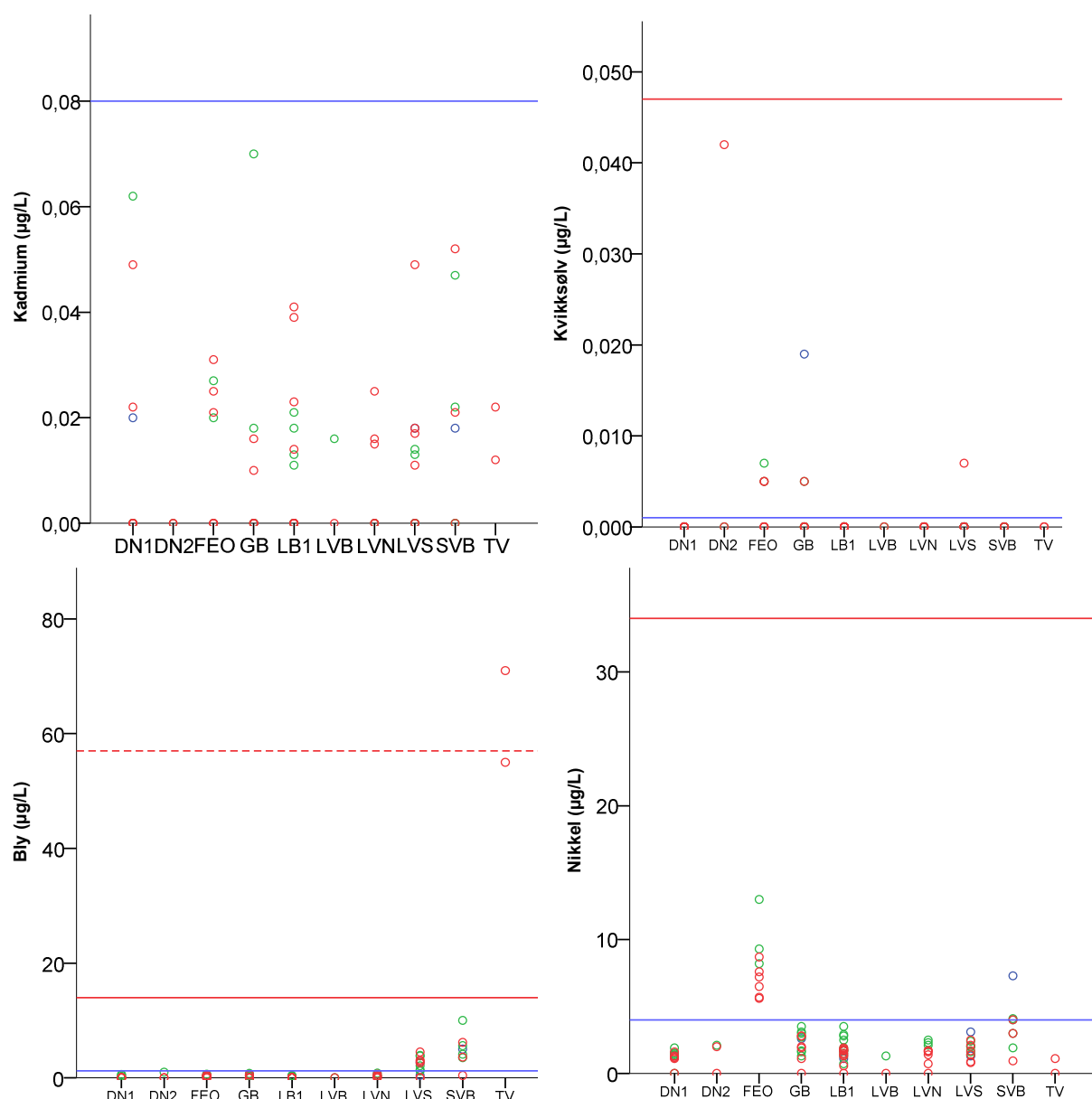
Figur 3.3 og Figur 3.4 viser konsentrasjoner i forhold til grenseverdier for kronisk og akutt toksisitet.

Kadmium og kvikksølv

Vi ser av Figur 3.3 at konsentrasjonen av kadmium ligger under grenseverdien for kronisk toksisitet (årlig gjennomsnittsverdi- AA-EQS). Kvikksølv ligger til dels over grenseverdien for kronisk toksisitet (AA-EQS) men under grensen for akutt toksisitet (enkeltmålinger- MAC-EQS).

Bly og nikkel

Træsvatn ligger utenfor flyplassområdet. Området ble tidligere brukt til leirdueskyting, og dette er en sannsynlig årsak til de høye blykonsentrasjonene i vannet, diskutert i SAM e-rapport 06-2016). Træsvatn Storaveitabekken og Langavatn har de høyeste verdiene av bly i området, og forholdene er relativt uendret fra tidligere. Vi ser at i 2016 har Træsvatn en måling av bly som også ligger over grensen for omfattende akutt toksisitet (Tilstandsklasse V- Svært dårlig). Nikkel viser i 2016 verdier under grenseverdien for kronisk toksisitet ved alle stasjoner unntatt Fleslandselven, der alle målingene i 2015 og 2016 viser konsentrasjoner over AA-EQS.



Figur 3.3. Konsentrasjoner (µg/L) av de prioriterte tungmetallene kadmium, kvikksølv, bly og nikkel i elver og tjern fra Bergen Lufthavn Flesland, og referanseområdet Træsvatn i 2014 til 2016. Markører: Blå = 2014, grønn= 2015, rød = 2016. DN= Deponi Nord, FEO=Fleslandselven Øvre, GB=Gåstjørnsbekken, LB1=Lønningsbekken, LVB=Lindevikabekken, LVN=Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør, SVB=Storaveitabekken, TV=Træsvatn. Blå linje markerer grenseverdien for grenseverdien for kronisk toksisitet (AA-EQS); rød, heltrukket linje viser grenseverdien for akutt toksisitet (MAC-EQS) og rød, stiplet linje markerer grenseverdien til tilstandsklasse V- Svært dårlig. Over denne verdien er det i henhold til veiledere fare for omfattende akutt toksisitet for vannlevende organismer.

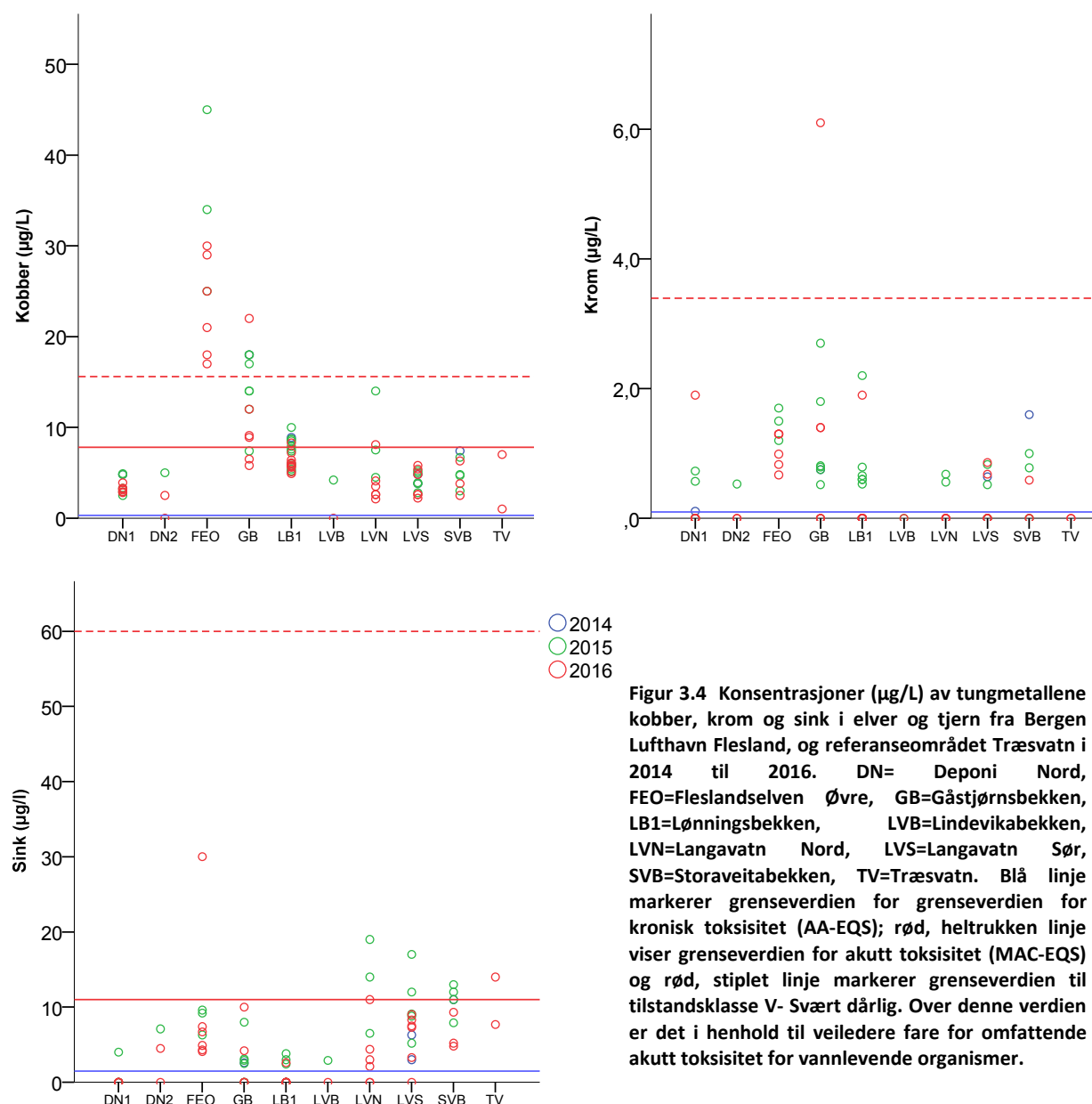
Kobber

For kobber har konsentrasjonen i Fleslandselven Øvre og Gåstjørnsbekken vært høy, og noen ganger over grensen til tilstandsklasse V (Svært dårlig og fare for omfattende akutt toksisitet) og for Lønningsbekken over akutt toksisitet (MAC-EQS- Figur 3.4). Stasjonene som ligger i området nedenfor flystripen vil motta avrenning fra rullebanen (Fig. 2.1), og hypotesen er at kilden til metaller er fra erosjon av metall i bremseklosser og

flyskrog, eller fra utslipp av eksos. En annen mulighet er utslipp fra kjøretøy og annen drift av flyplassen. For å avgjøre om kobber kan medføre akutt toksiske effekter i vannlevende organismer vil biotilgjengeligheten av det kobberet som er til stede vurderes i 2017 før eventuelle undersøkelser av effekter i vannlevende organismer.

Krom og sink

Verdiene av krom er generelt over grensen for kronisk toksisitet, særlig nedenfor flystripen. I 2016 var verdiene sjelden over grensen for akutt toksisitet. Krom og sink har høyere verdier nedenfor rullebanen i forhold til Deponiet i nord og Lønningsbekken, mens sink også har høye verdier ved Træsvatn, Storaveitabekken og Langavatn.



Figur 3.4 Konsentrasjoner ($\mu\text{g/L}$) av tungmetallene kobber, krom og sink i elver og tjern fra Bergen Lufthavn Flesland, og referanseområdet Træsvatn i 2014 til 2016. DN= Deponi Nord, FEO=Fleslandselven Øvre, GB=Gåstjørnsbekken, LB1=Lønningsbekken, LVB=Lindevikabekken, LVN=Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør, SVB=Storaveitabekken, TV=Træsvatn. Blå linje markerer grenseverdien for kronisk toksisitet (AA-EQS); rød, heltrukket linje viser grenseverdien for akutt toksisitet (MAC-EQS) og rød, stiplet linje markerer grenseverdien til tilstandsklasse V- Svært dårlig. Over denne verdien er det i henhold til veiledere fare for omfattende akutt toksisitet for vannlevende organismer.

Tabell 3.3 Årlig gjennomsnitt av metallkonsentrasjoner (µg/L) i undersøkte elver, bekker og innsjøer ved Flesland i perioden 2014-2016 ved oppslutning av totalt innhold.

Stasjon			Arsen			Bly			Kadmium			Kobber			Krom			Kvikksølv			Nikkel			Sink			
	År	n	snitt	sd	max	snitt	sd	max	snitt	sd	max	snitt	sd	max	snitt	sd	max	snitt	sd	max	snitt	sd	max	snitt	sd	max	
Elv/ bekk	FEO	2015	3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,6	0,016	0,014	0,027	34,7	10,0	45,0	1,5	0,3	1,7	0,004	0,004	0,007	10,2	2,5	13,0	8,4	1,8	9,6
		2016	6	0,0	0,1	0,3	0,2	0,2	0,4	0,013	0,014	0,031	23,3	5,5	30,0	1,1	0,3	1,3	0,002	0,003	0,005	6,9	1,2	8,7	9,6	10,1	30,0
	GB	2014	1	0,6		0,6	0,4		0,4	<LOQ		<LOQ	18,0		18,0	0,8		0,8	0,019		0,019	2,6		2,6	2,6		2,6
		2015	7	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,8	0,013	0,026	0,070	14,3	3,8	18,0	1,1	0,9	2,7	0,000	0,000	0,005	2,4	0,9	3,5	2,4	2,9	8,0
		2016	6	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,004	0,007	0,016	10,7	5,9	22,0	1,5	2,4	6,1	0,000	0,000	0,005	1,8	1,1	2,8	2,4	4,1	10,0
	LVB	2015	1	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	0,016		0,016	4,2		4,2	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	1,3		1,3	2,9		2,9
		2016	1	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	0,0		0,0	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ
	LB1	2014	1	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	8,9		8,9	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	1,1		1,1	<LOQ		<LOQ
		2015	11	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,4	0,006	0,008	0,021	7,4	1,6	10,0	0,5	0,7	2,2	<LOQ		<LOQ	2,0	0,8	3,5	0,8	1,5	3,8
		2016	10	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	0,012	0,017	0,041	6,1	1,0	8,3	0,2	0,6	1,9	<LOQ		<LOQ	1,4	0,6	1,9	0,3	0,9	2,6
	SVB	2014	1	0,4		0,4	5,0		5,0	0,018		0,018	7,4		7,4	1,6		1,6	<LOQ		<LOQ	7,3		7,3	11,0		11,0
		2015	4	0,3	0,4	0,7	5,8	2,9	10,0	0,017	0,022	0,047	4,8	1,5	6,7	0,4	0,5	1,0	<LOQ		<LOQ	3,3	1,0	4,1	11,0	2,2	13,0
		2016	3	0,3	0,0	0,3	3,4	2,9	6,2	0,024	0,026	0,052	4,2	1,9	6,3	0,2	0,3	0,6	<LOQ		<LOQ	2,6	1,6	4,0	6,4	2,5	9,3
Sigevann	DN1	2014	1	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	0,020		0,020	4,8		4,8	0,1		0,1	<LOQ		<LOQ	1,3		1,3	<LOQ		<LOQ
		2015	5	0,2	0,2	0,5	0,3	0,3	0,6	0,012	0,028	0,062	3,7	1,1	4,9	0,3	0,4	0,7	<LOQ		<LOQ	1,3	0,7	1,9	0,8	1,8	4,0
		2016	6	<LOQ		<LOQ	0,0	0,0	0,0	0,012	0,020	0,049	3,2	0,4	3,9	0,3	0,8	1,9	<LOQ		<LOQ	1,1	0,6	1,6	<LOQ		<LOQ
	DN2	2015	1	0,6		0,6	1,0		1,0	<LOQ		<LOQ	5,0		5,0	0,5		0,5	<LOQ		<LOQ	2,1		2,1	7,1		7,1
		2016	2	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	1,3	1,8	2,5	<LOQ		<LOQ	0,021	0,030	0,042	1,0	1,4	2,0	2,3	3,2	4,5
Tjern	LVN	2015	3	<LOQ		<LOQ	0,5	0,3	0,8	<LOQ		<LOQ	8,7	4,9	14,0	0,4	0,4	0,7	<LOQ		<LOQ	2,3	0,2	2,5	13,2	6,3	19,0
		2016	6	0,0	0,1	0,3	0,3	0,2	0,7	0,009	0,011	0,025	3,8	2,2	8,1	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	1,2	0,7	1,7	3,4	4,1	11,0
		2014	2	0,2	0,2	0,3	1,6	1,6	2,7	0,009	0,013	0,018	4,3	0,7	4,8	0,3	0,5	0,6	<LOQ		<LOQ	2,2	1,3	3,1	4,7	2,3	6,3
		2015	5	0,2	0,1	0,4	2,5	1,3	3,9	0,005	0,007	0,014	4,1	1,0	5,2	0,3	0,4	0,8	<LOQ		<LOQ	1,9	0,4	2,4	10,4	4,4	17,0
	LVS	2016	6	0,2	0,2	0,4	2,2	1,8	4,5	0,016	0,018	0,049	3,9	1,6	5,8	0,3	0,4	0,9	0,001	0,003	0,007	1,6	0,7	2,5	5,9	3,5	9,0
	TV	2016	2	0,8	0,2	1,0	63,0	11,3	71,0	0,017	0,007	0,022	4,0	4,2	7,0	<LOQ		<LOQ	<LOQ		<LOQ	0,6	0,8	1,1	10,9	4,5	14,0

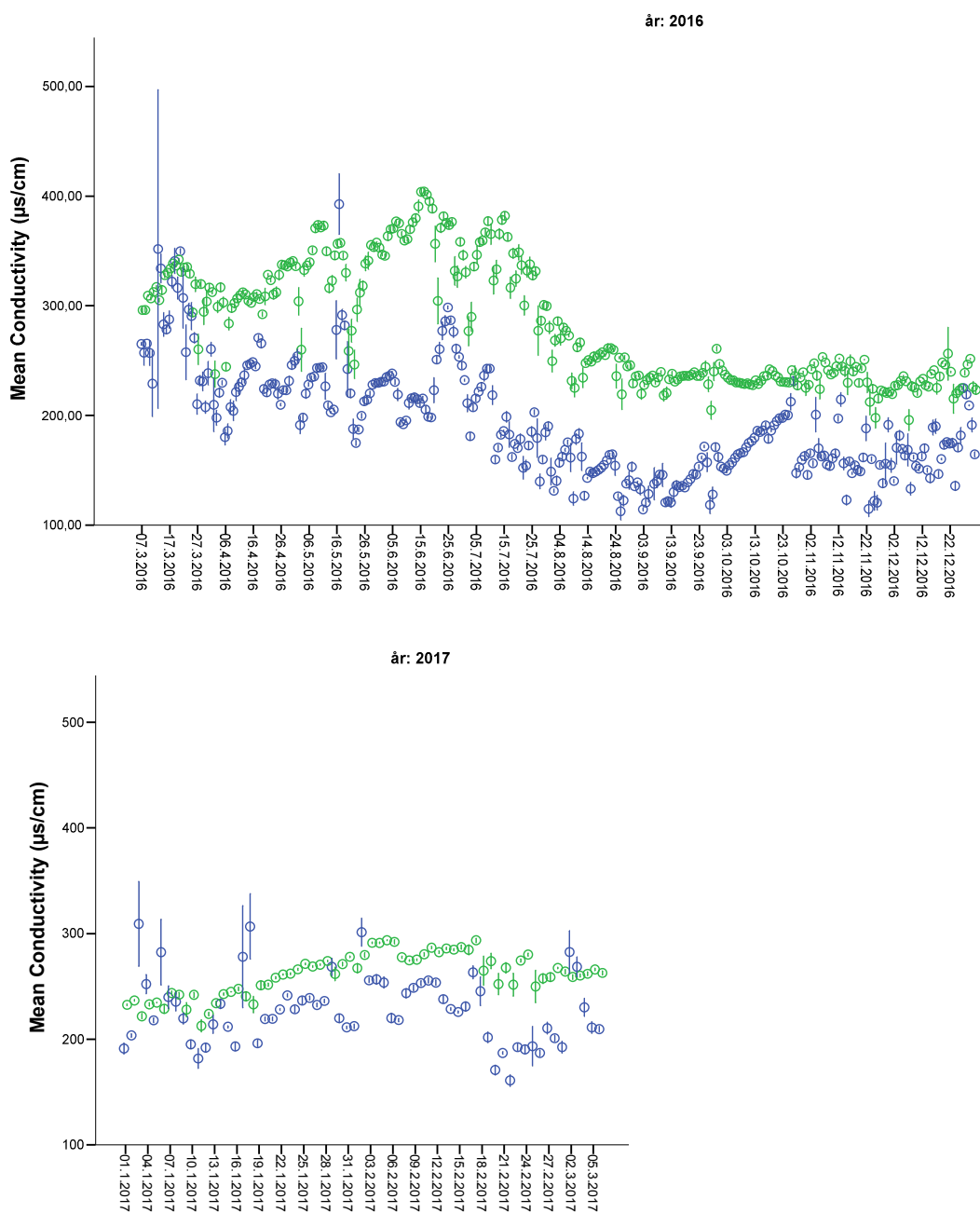
Forkortelser: n= antall analyserte prøver per år. Rosa celler betyr snittkonsentrasjoner over grenseverdien for årlig gjennomsnitt (kronisk toksisitet: AA-EQS). Røde celler betyr maksimalkonsentrasjoner over grenseverdien for akutt toksisitet (MAC-EQS), og over grenseverdien for tilstandsklasse V, som medfører fare for akutt omfattende toksiske effekter. Stasjonsnavn: FEO=Fleslandselven, GB= Gåstjørnsbekken, LB=Lønningsbekken, LVB=Lindevikabekken, SVB=Storaveitabekken, DN=Deponi Nord, LVN=Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør, TV=Træsvatn.

Ikke prioriterte stoffer- kjemikalier fra driften av flyplassen

I likhet med SAM e-rapport 06-2016 for perioden 2010-2015, viste heller ikke analysene av vannprøver i 2016 høye formiatkonsentrasjoner. De fleste målingene var under kvantifiseringsgrensen, og vil derfor ikke gi meningsfull informasjon om variasjon. Samtidig måling av konduktivitet i GA-Kanal og Lønningsbekken viser derimot at konduktiviteten varierer betydelig (84-478 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Figur 3.5). GA-kanalen har generelt lavere konduktivitet enn Lønningsbekken, men med stor døgnvariasjon noen døgn, og maksimalverdi på 478 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Formiat i vann medfører økning i pH, men brytes raskt ned under forbruk av oksygen. Høye konsentrasjoner av formiat i tjern kan i verste fall medføre oksygenfattig bunnvann. Konduktiviteten vil øke med innholdet av formiat, og ved 1000 mg/L vil konduktiviteten som følge av formiatet stige til ca. 1500 mS/m (=150 $\mu\text{S}/\text{cm}$). 3500 mg formiat/L representerer LC50_{96h}, og 1000 mg formiat er derfor vurdert som tålegrense under LC50 over kort tid. For vannloppen *Daphnia magna* er Predicted No effect Concentration (PNEC) av K-formiat 540 mg/L. Påvirkningen ble tilskrevet oksygenforbruk og pH-endring, heller enn toksiske effekter. Det blir også antatt at kombinasjonen av veisalt (NaCl) og Kaliumformiat vil være ekstra belastende for miljøet og mikrobene i resipienter (Kronvall 2008). Ved spørsmål om man overstiger samlet tålegrense kan det være grunn til å overvåke både kloridinnhold og formiatkonsentrasjon i tillegg til konduktivitet.

Vi ser i Figur 3.5 at konduktiviteten jevnt overstiger 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, men med de høyeste verdiene i juni når formiat ikke benyttes på flyplassen, som betyr at konduktivitetsøkningen ikke skyldes formiatet. Sporadisk høye verdier om vinteren kan derimot følge etter formiatutslipp. Særlig i GA-kanalen ser vi slike store variasjoner og sporadisk høy konduktivitet. Det vil være nødvendig å gjøre en nøyere kalibrering av utstyret for å korrelere formiatinnhold med konduktivitet ved ulike tider av året og ved innhold av andre salter (NaCl), og med varierende næringssaltinnhold, algeproduksjon, humusinnhold og andre forhold som kan endre konduktiviteten. I Langavatn tyder ikke dybdeprofilene av oksygen og konduktivitet på at bunnvannet er påvirket av formiat eller har oksygenmangel som kan følge av nedbrytning av formiat (Velle m. fl. 2016).



Figur 3.5 Gjennomsnittskonduktivitet ($\mu\text{s/cm}$) med 95 % konfidensintervall per dato fra 2016 (øverst) og 2017 (nederst). Blå markører= GA-Kanal og grønne markører= Lønningsbekken.

3. DISKUSJON OG ANBEFALINGER

En rekke parametere er undersøkt i vannmiljøet ved Bergen Lufthavn Flesland i løpet av de siste seks årene. Dataene er samlet inn på ulike tidspunkt mellom årene, og det er ulikt antall analyser av hver parameter fra de ulike stasjonene. Datasettet gir dermed et grunnlag for å vurdere vannforekomstenes variasjon gjennom året, men gir ikke mulighet til med sikkerhet å vurdere effekten av tiltak. Analysene viser at det er enkelte utfordringer som bør følges opp videre.

PFOS

Vi ser variasjoner i konsentrasjoner av PFOS i vannprøvene gjennom året. Analysene av vann viser at problemområdene er samlet rundt brannøvingsfeltene, og at kildene er både det nye og det gamle brannøvingsfeltet. Nivåene i Lindevikabekken har vært jevnt svært høye og er påvist over flere år, og det er derfor sannsynlig at den største dreneringen av PFOS ut fra området skjer gjennom Lindevikabekken. PFOS som har trukket ned i grunnen er mest sannsynlig spredt og vanskelig å rydde opp. Grunnvann ved BØF-2 er analysert, og funnet å ha svært høye verdier, slik at tiltak for å begrense denne spredningen vil ha størst effekt på total avrenning fra området.

Perfluorerte forbindelser har egenskapen at de verken er vann eller fettløselige, men danner en film på vannoverflater. Mye nedbør og fravær av tele i bakken vil kunne øke avrenningen til vann, noe som viser seg gjennom lavere konsentrasjoner i vintermånedene. For å få sammenliknbare målinger fra år til år vil det derfor være gunstig å ta prøver på samme tidspunkt av året, for eksempel om sommeren, dersom man ønsker et representativt bilde på utviklingen av konsentrasjonene over tid. De fysiske-kjemiske egenskapene gjør også at PFC avviser fett, og heller ikke binder seg særlig godt til sediment. PFC vil derimot binde seg til og konsentreres i proteiner, og bioindikatorer, altså levende organismer som representerer området, kan derfor gi et bedre bilde på belastningen gjennom året.

Analyser av helkroppshomogenater i unge fisk (young of the year- YOY), eller blodprøver av biota som lever i området er enkle og gode muligheter, som også er billigere enn utsett, opptak og analyser av passive prøvetakere for PFC. Av disse alternativene er vevsprøver fra årsgammel fisk en enkel og kostnadssvarende analyse som kan utføres på et begrenset antall fisk årlig. YOY vil også representere et begrenset område, da små fisk ikke har like store vandringsområder som eldre fisk. Tidligere analyser har påvist PFOS i albusnegl i Lindevika). Albusnegl (*Patella vulgata*) er en organisme som har vært brukt av Uni Research til overvåking av PFC i flere industrielle områder med PFC belastning, og som egner seg godt på grunn av sneglens stedfasthet og lange liv, samt dens raske respons på endringer i PFC utslipp til nærmiljøet (Haave 2013, Haave 2014, Haave m.fl. 2015, Haave og Hatlen 2015, Haave og Johansen 2013). Overvåking av PFC i albusnegl i Lindevika vil derfor kunne være et godt alternativ for å evaluere avrenning til Lindevika og effekten av eventuelle tiltak i flyplassområdet.

Basert på målinger av grunnvannskummene ved BØF-2 i 2016 er det sannsynlig at grunnvann ved BØF-2 er en viktig kilde til spredning av PFOS i området, og det kan derfor være mulig å definere et begrenset område for

effektive avbøtende tiltak. Vurdering av sanering eller andre metoder for å fjerne eller immobilisere PFOS på stedet kan utredes videre, for eksempel ved bruk av aktivt karbon, organoclay e.l. Overvåkning av tiltakenes effekt på sikt kan deretter gjøres i Langavatn og nedstrøms i elvene.

Tungmetaller

Enkelte tungmetaller er tydelig forhøyet i området. Høye nivåer av bly i Træsvatn-området er antatt å stamme fra blyhagl etter leirdueskyting, men drenering til Langavatn via Storaveitabekken medfører høye konsentrasjoner også i Langavatn. Det er først og fremst konsentrasjonen i Træsvatn som gir grunnlag for bekymring med hensyn til toksiske effekter og mulig fare ved menneskelig inntak av fisk fra vannet. Med tanke på prioriterte metaller, skal ikke bly og blyforbindelser slippes ut i miljøet. Træsvatn er derimot utenfor Bergen Lufthavns ansvarsområde, og en opprydning kan ikke pålegges Avinor. Fylkesmannens miljøvernavdeling er informert om tilstanden.

Innholdet av kobber, krom og nikkel er fortsatt forhøyet nedenfor flystripen, noe som antyder at flystripen eller flyene kan være en kilde til disse metallene. Sinkoksid og kromater kan benyttes som korrosjonshemmere, for eksempel i maling eller flyenes drivstoff og det er også mulig at det er innhold av disse i korrosjonshemmeren som finnes i K-Formiat. Hvilke korrosjonshemmere som benyttes er ikke spesifisert i materialdatabladet til K-Formiat (Aviform® L50). Selv om % volum eller vekt korrosjonshemmer er lav ved påføring, vil dette over tid kunne utgjøre betydelige mengder. Innholdet av metall i K-formiat kan undersøkes ved analyser for å avgjøre om dette er en potensiell kilde. Kobber kan, som foreslått av Velle m.fl (2016), stamme fra flyenes bremsesystemer. For å bedre vurdere biotilgjengelige nivåer og potensielle toksiske effekter av kobber, som er særlig forhøyet, skal det i 2017 benyttes passive prøvetakere for metall over en 30 dagers periode i Fleslandselven Oppstrøms (FEO) og mot utløpet av Fleslandselven, i Gåstjørnsbekken (GB) og ved utløpet av Langavatn Sør. Passive prøvetakere gir et tidsvektet gjennomsnitt over perioden prøvetakeren står ute, og medfører at ekstreme variasjoner over kort tid, som følge av for eksempel nedbør eller tørke, vil få mindre innvirkning på resultatet. Passive prøvetakene vil også kun ta opp biotilgjengelige forbindelser og frie ioner, og vil dermed gi et godt mål på den faktiske belastningen som metallkonsentrasjonene representerer (Zhang og Davison 1995).

Sink er forhøyet i Langavatn og Storaveitabekken, og enkelte analyser viser konsentrasjoner over grenseverdien for akutt toksisitet (MAC-EQS), som kan bety at det vil forekomme toksiske effekter på kort sikt. Kilden til sink i området er ukjent. Nivåene av sink vil ikke vurderes i denne omgang.

Langsiktig oppfølging av øvrige metaller og forbindelser som har gjennomgående lave konsentrasjoner kan også utføres for eksempel hvert fjerde år, for å overvåke eventuelle endringer. Den økologiske tilstanden er det som til syvende og siste er avgjørende for tilstanden til vannforekomsten. Man bør derfor alltid ha i tankene at det er effektene på biota som er det endelige målet på toksisitet.

Avrenning av formiat og veisalt vil medføre økning i konduktivitet, men konduktiviteten øker også med tilstedeværelsen av ioner i vannet. Altså vil flere forbindelser og forhold kunne påvirke konduktiviteten. For å kunne trekke verdifull informasjon ut av den automatiske loggingen av konduktiviteten bør det gjøres

kalibrering og testing i ulike perioder av året.

Oppsummering

Under følger en oppsummering av råd for fortsettelsen av kjemiske målinger og tiltak ved Bergen Lufthavn basert på funnene i denne rapporten og undersøkelser gjort i 2015:

1. Prøver til kjemiske målinger tas ved standardiserte metoder, og i samme periode hvert år, for å hindre store utslag av nedbørsforhold, temperatur og produktivitet i vannforekomstene.
2. Flere målinger per år fra hver stasjon vil gi et mer representativt og sammenliknbart bilde av forholdene fra år til år.
3. Det anbefales å begrense vann-analysene til å omfatte et utvalg relevante eller metaller.
4. Det anbefales ikke å fortsette å følge opp analyser som benyttes til klassifisering av vannforekomstene, da dette nå er etablert.
5. Det anbefales å avslutte eller endre metode for analyser av stoffer der man ser at verdiene som regel ligger under kvantifiseringsgrensen, da dette ikke gir meningsfull informasjon, som for formiat og propyleglykol.
6. Konsentrasjoner av PFOS følges opp med tanke på sanering eller begrensning av avrenning fra BØF-2 .
7. Tiltak for å begrense PFOS evalueres årlig ved prøver av ungfisk i Langavatn og albusnegl i Lindevika.
8. Det bør vurderes å gjøre lokale tiltak for sanering ved BØF2 grunnet ekstremverdier av PFOS i grunnvannet.
9. Passive prøvetakere (DGT) anbefales for å få et tidsvektet gjennomsnitt av biotilgjengelig metall, i stedet for vannprøver fra de samme vannforekomstene. Aktuelle metaller inkluderer men er ikke begrenset til bly, kobber, krom, nikkel, og sink.
10. Følgende metaller kan foreløpig nedprioriteres på grunn av gjennomgående lave verdier: Kvikksølv og kadmium.
11. Nedprioriterte stoffer bør følges opp minst hvert tredje år i forbindelse med evaluering av økologisk tilstand.
12. Autologgernes respons på formiatkonsentrasjoner bør valideres og kalibreres.

4. REFERANSER

Amundsen, C. E., I. Forfang, R. Aasen, T. Eggen, R. Sørheim, R. Hartnik and K. Næs (2008). Screening of polyfluorinated organic compounds at four fire training facilities in Norway. SFT. TA-2444/2008: 88 s. Arp HP, Ruus A, Macken A, Lillicrap A (2014) Kvalitetssikring av miljøkvalitetsstandarder. Miljødirektoratet, M241, 170s + vedlegg.

Haave, M. (2013) Oppfølgende undersøkelser av perfluorerte forbindelser (PFC) ved Kollsnes prosessanlegg i 2012. SAM e-rapport 3-2013. Uni Research Miljø: 75 s.

Haave, M. (2014). "Undersøkelse av perfluorerte forbindelser i albusnegl ved Statoil Mongstad 2014." SAM e-notat 21-2014: Uni Research Miljø 15 s.

Haave, M. og Hatlen K (2015). "Marine monitoring shows emerging long-chained perfluorinated compounds in biota, following the ban on PFOS." Symposium abstract, SETAC Barcelona.

Haave M, Hatlen K., Johansen P-O (2015) Miljøgifter i biota ved Statoil Mongstad 2015. SAM e-rapport 35-2015. Uni Research Miljø: 29+32 s.

Haave, M. og P-O. Johansen (2012) Analyse av Perfluorerte forbindelser i Albuesnegl (Patella vulgata) ved Statoil Mongstad SAM notat 24-2012, Uni Research Miljø: 18 s.

Haave, M. og P-O. Johansen (2013) Undersøkelse av utvalgte miljøgifter i krabbe ved Statoil Petroleum Mongstad. SAM-e-Rapport 38 - 2013 versjon 2, Uni Research Miljø: 26 s.

Johnsen GH, Urdal K (2011) Miljøkvalitet i innsjøer og bekker ved Bergen Lufthavn Flesland høsten 2009. Rådgivende Biologer AS, Bergen, 21 s.

Kronvall, K.W (2008) Miljøvurdering av bruk av Kaliumformiat i Statens vegvesen. Vegdirektoratet, 7s.

MSDS Moussol® http://www.egenes.as/global/29/MSDS_-_308_-_MOUSSOL-FF_3x6_-_norsk_2010.pdf

M-608/2016 «Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota» Miljødirektoratets rapportserie.

Stockholm Convention, 2009. C.N.524.2009. TREATIES-4 (Depositary Notification).

TA-2229 (2008). Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. TA2229/2007. SFT: 12 s.

Veileder 02:2013: Klassifisering av miljøtilstand i vann – økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver.

Velle G., Pulg U., Andersen G.L., Haave M., Schneider S. (2013) Biologiske og kjemiske undersøkelser i vassdrag ved Bergen Lufthavn Flesland. LFI rapport 212. LFI Uni Miljø, Bergen, 83 + 15 s.

Velle G., Haave M., Olsen E., Pulg U., Stranzl, S. (2016) Biologiske og kjemiske undersøkelser i vassdragene ved Bergen Lufthavn høsten 2015. LFI rapport 263. LFI Uni Miljø, Bergen, 59s.

Zhang, H. og W. Davison (1995). "Performance Characteristics of Diffusion Gradients in Thin Films for the in Situ Measurement of Trace Metals in Aqueous Solution." Analytical Chemistry 67(19): 3391-3400.