

## ***Gjennomgang av kjemiske målinger i vann fra 2010 til 2016 ved Bergen Lufthavn***



**Uni Research Miljø SAM-Marin**

Thormøhlensgt. 55B

5008 Bergen

**Telefon:** 55 58 44 63

**ISSN nr:** ISSN-1890-5153

**SAM e-rapport:** 6-2016

**Prosjektnummer:** 810043

**Tittel:** Gjennomgang av kjemiske målinger i vann fra 2010 til 2016 ved Bergen Lufthavn

**Dato:** 17. juni 2016

**Forfatter:** Marte Haave og Gaute Velle

**Geografisk område:** Flesland i Bergen kommune (Hordaland fylke)

**Oppdragsgiver:** Avinor

**Antall sider:** 35

**Emneord:** Vannkjemi, miljøgifter, Vannforskriften

**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 fra perioden mars 2010 til januar 2016. Målingene legger grunnlaget for vurdering av kjemisk tilstand. Det fokuseres på forurensninger som kan stamme fra flyplassdrift og annen menneskelig aktivitet i området.

Dataseriene bekrefter at vannforekomsten er moderat kalkrik, humøs og ikke forsuret.

Dataene viser også at det er enkelte utfordringer som bør følges opp videre.

Analyser av perfluorerte forbindelser viser store variasjoner, med de høyeste konsentrasjonene rundt brannøvingsfeltene. Kildene er både det nye og det gamle brannøvingsfeltet. Høyest konsentrasjon av PFOS i vann finner vi i Lindavikabekken. Dreneringen av PFOS ut fra området skjer gjennom Lindevikabekken og Fleslandselven. Det er sannsynlig at PFOS som har trukket ned i grunnen er spredt over et stort område, slik at kartlegging og sanering vil være vanskelig. Filtre i bekker som drenerer området er et alternativ. Nytt brannøvingsfelt som benytter ikke-fluorert brannskum, og har kum for oppsamling av kjemikalier etter bruk vil medvirke til å redusere konsentrasjonene over tid.

Enkelte tungmetaller i området er forhøyet og vil trenge oppfølging, både med tanke på kilder og effekter. Bly er antatt å stamme fra blyhagl etter tidligere leirdueskyting i Træsvatn-området, 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. Området vil være svært vanskelig å rydde opp. Træsvatn ligger utenfor Avinors område.

Innholdet av særlig kobber, men også krom og nikkel er forhøyet nedenfor flystripen, noe som antyder at flystripen eller flyene kan være en kilde til de metallene. Kobber er spesielt høyt, med konsentrasjoner i vannet som er over tilstandsklasse V, svært dårlig, med fare for toksiske effekter i vannlevende organismer. Det er viktig å finne konsentrasjoner i fisken, samt undersøke toksiske effekter. Videre bør det prioriteres å finne kilden til kobberet. Flyenes bremsesystemer har tidligere vært foreslått som en mulig kilde.

Sink er forhøyet i Langavatn og Storaveitabekken, men kilden er ukjent. Enkelte analyser viser konsentrasjoner over grenseverdien for akutt toksisitet. Innholdet av andre prioriterte metaller, som kvikksølv, er lavt, og gir ikke grunnlag for oppfølging. Glykol og formiat påvises sjelden og i lave konsentrasjoner.

Stoffer som har vist forhøyede verdier, eller der det finnes kilder ved lufthavnen kan følges opp hyppig, og til samme tidpunkt hvert år for å sikre sammenlikningsgrunnlag i dataseriene. Et bredere spekter stoffer, som ikke er forhøyet per i dag, kan også følges opp med større intervaller, 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 .....	5
Bakgrunn .....	5
Områdebeskrivelse .....	5
Tiltak for å redusere utslipp av driftskjemikalier .....	9
2. Material og metode .....	10
Datagrunnlag .....	10
Analysemetoder .....	10
Databehandling .....	11
Kvantifiseringsgrense (LOQ) .....	11
Rapportering .....	12
3. Resultater .....	13
Prioriterte stoffer .....	13
Perfluorerte forbindelser .....	13
Tungmetaller .....	18
Bly og sink .....	22
Kadmium .....	22
Kobber .....	22
Aluminium .....	22
Ikke prioriterte stoffer- kjemikalier fra driften av flyplassen .....	25
3. Diskusjon og anbefalinger .....	28
4. Referanser .....	31
Takk .....	31
5. Vedlegg .....	32

# 1. INNLEDNING

## Bakgrunn

På oppdrag fra Avinor har Uni Research Miljø bearbeidet data fra Avinors egen prøveserie av kjemiske parametere i elver og vann ved Bergen Lufthavn Flesland fra perioden mars 2010 til januar 2016. Rapporten omhandler nivået av miljøgifter, blant annet tungmetaller, perfluorerte forbindelser, glykol og formiat. Enkelte av disse stammer fra driften av flyplassen, mens andre har ukjent opphav.

Prøver til vannkjemi er tatt av Avinors personell og analyser er utført av Eurofins Environment Testing Norway (Akkrediteringsnummer Test 003).

Driften og infrastrukturen til flyplassen påvirker potensielt vannforekomstene, og flyplassen har enkelte kjente utfordringer med hensyn til miljøgifter. Det er sannsynlig at kilden til en del av miljøgiftene er svært lokale, og knyttet til enkelte operasjoner ved driften, mens andre miljøgifter har ukjent opphav. Rapporten tar for seg disse utfordringene inndelt etter aktuelle miljøgifter, og diskuterer kilder, nivåer, videre overvåkning og mulige tiltak. Rapporten vurderer tilgjengelige data og identifiserer områder og stoffer som kan vurderes for oppfølging og videre datainnsamling. Rapporten foreslår også tilnærminger for å skaffe bedre datagrunnlag eller gjennomføre tiltak for å begrense spredning av miljøgifter.

Området ved Flesland er tidligere undersøkt med hensyn til økologisk og kjemisk tilstand til vannforekomstene (Johnsen og Urdal 2011; Velle m. fl 2013; Velle m.fl 2016). Økologiske tilstandsvurderinger i vann benytter enkelte kjemiske parametere som støtte, og går ikke i detalj med hensyn til trender eller kilder til miljøgifter. Denne rapporten fokuserer derimot på innholdet av miljøgifter i området rundt flyplassen i forhold til gjeldende og reviderte grenseverdier etter kvalitetssikring av miljøkvalitetsstandarder (M-241; Arp m.fl. 2014), og omhandler ikke biologiske studier eller økologisk tilstand. Det er for denne rapporten ikke gjort undersøkelser med hensyn til effektene de kjemiske stoffene kan ha på biota i området.

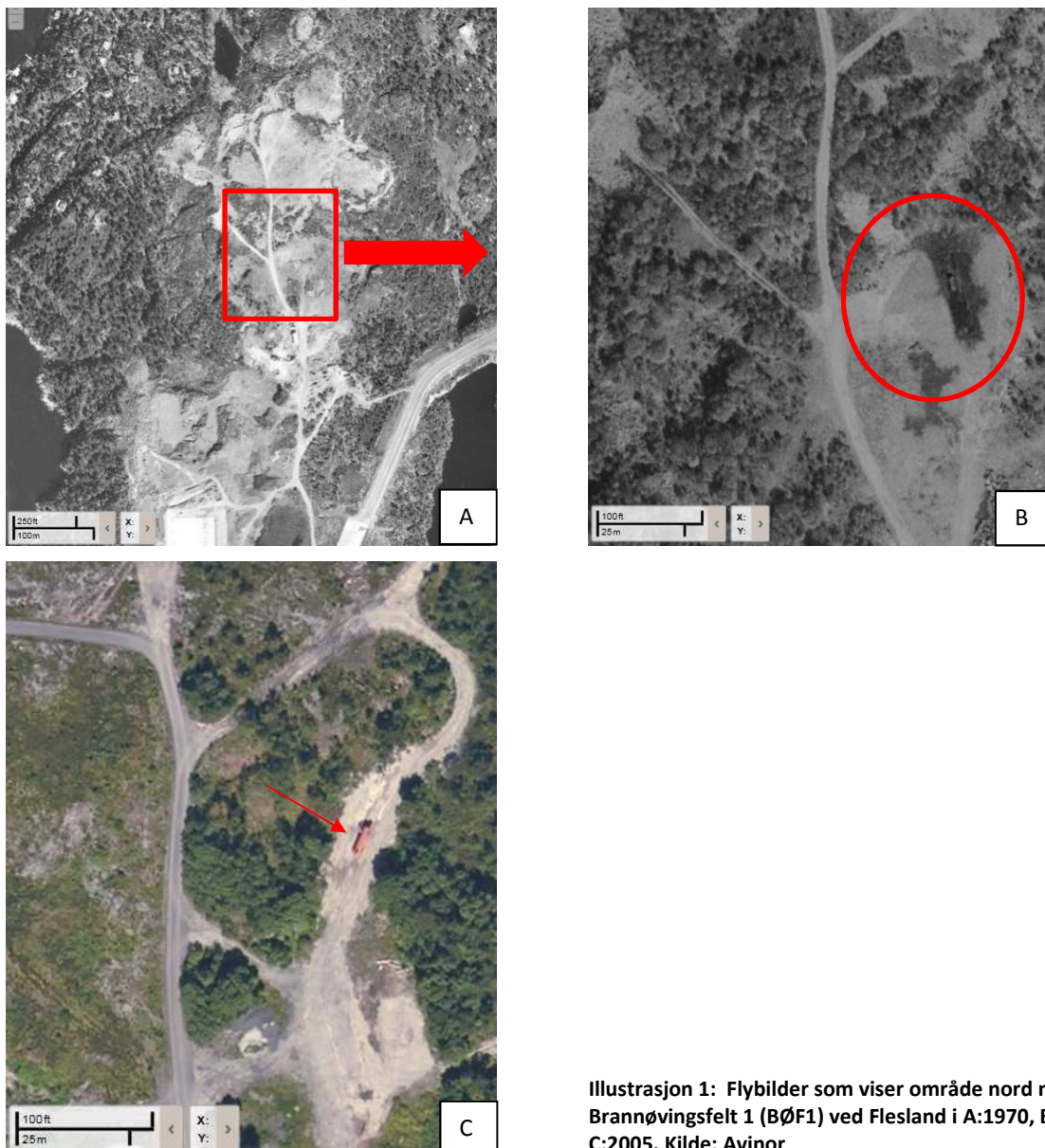
## Områdebeskrivelse

Figur 1.1 viser lufthavnen, og undersøkelsesområdet, og viser i tillegg 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 forurenset 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.



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. Fluortelomersulfonat (6:2FTS) som var blant de perfluoreerte forbindelsene som erstattet PFOS i brannskum, er siden funnet i biotaprøver nær avrenningspunkt fra brannøvingsfelt (Haave og Johansen 2012, Hadler-Jacobsen og Heggøy 2012, Haave 2013). 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. Flere langkjedede perfluoreerte forbindelser (C8-C14 PFCA), er derimot på ECHAs liste over stoffer man overvåker og vurderer for utfasing fordi de 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 er 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). Her ble det dumpet om lag 10.000 m<sup>3</sup> masse, hovedsakelig sprengstein. Dumping av betongrester og spesialavfall kan ikke utelukkes. Undersøkelser ble utført fra 1992 og frem til 1999 for å avdekke eventuelle misforhold, og området ble tatt inn i daværende SFTs database i 2003 og tinglyst heftet som forurenset. Grunnundersøkelser med formål å avdekke PFOS forurensing startet opp i 2011. Det er etablert at området er tydelig forurenset med perfluoreerte 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 Lindavikabekken. Filtre med organoclay, som binder Perfluoreerte forbindelser er derfor satt inn oppstrøms Steinfjelltjern for å forhindre avrenning av PFOS fra fyllplassen og brannøvingsfeltet til drikkevannskilden (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 ).

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



Figur 1.1. Området for prøvetaking ved Bergen Lufthavn Flesland i 2010-2016. Plassering av stasjoner for vannprøvetaking 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 = Gåsetjørnsbekken, LB1 = Lønningsbekken 1.

GA = GA-kanal. Målepunkt som ikke er omtalt i rapporten.

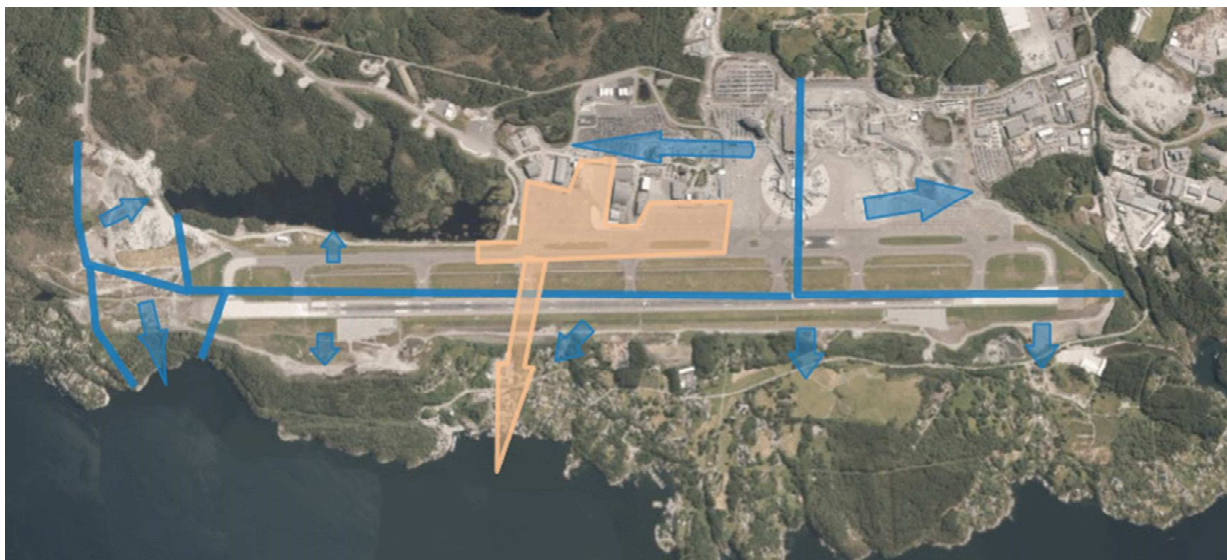


## Tiltak for å redusere utslipp av driftskjemikalier

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. 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). All glykolholdig snø fra avisingsplattform skal samles på eget snødeponi med tett dekke, og glykolholdig smeltevann herfra skal da føres til utslipp i sjø. Innen glykol føres til sjø skal den mest konsentrerte delen, A-glykol, samles i egen tank og gjenvinnes. Utslippstillatelsen pålegger videre lufthavnen om å følge opp med miljøovervåkning.

Forbruk av avisingskjemikalier og resultater fra miljøovervåkingen skal iht. tillatelsen oversendes fylkesmannen årlig. Dokumentering av forbruk gjøres via Avinors egne rapporteringssystem. I den nye de-ice-plattformen er det laget egne systemer som måler utslipp og oppsamling av glykol. Systemet skal sikre at ytre miljø er ivaretatt ved drift av anlegget. Ved utlegg av formiat for baneavising loggføres bevegelsene til utleggerbilen ved GPS-sporing, noe som skal redusere forbruket av formiat på banearealene. Alle utlegg blir registrert og logget på tidspunkt, geografisk posisjon og mengde.

Oljeutskillere er etablert i forbindelse med driftsverksted, avisingsplattform og andre områder med håndtering av olje ved lufthavnen, samt der fylling av drivstoff (fuelling) regelmessig forekommer. Det skal tas stikkprøver av utløpet fra oljeutskillerne to ganger per sesong, og prøvene analyseres for totale hydrokarboner (THC C10-C40). Grenseverdien for påslipp til VA nett, er 50 mg/l etter lokal forskrift. For utskillere som har utslipp til resipient er grensen 5 mg/l. Det tas per i dag ikke prøver av THC fra vannmiljøet.



Figur 1.2. Skisse av området med hovedretning for avrenning fra flyplassområdet ved Bergen Lufthavn Flesland. Kart: Avinor

## 2. MATERIAL OG METODE

### Datagrunnlag

Data som omtales i denne rapporten stammer fra prøver innsamlet av Avinor ved området rundt Bergen Lufthavn Flesland i perioden mars 2010 til januar 2016 og analysert av Eurofins Environment Testing Norway. Rådata og akkrediterte analysebevis ble levert som originalfiler fra Eurofins Environment Testing Norway via Avinor. Kjemiske målinger som var hentet inn i perioden mars 2010 til januar 2016 ble samlet i en felles database og kvalitetssikret av Uni Research. Mulighetene for reanalyser ved tvil var ikke til stede. Data fra vannforekomster som bekker, elver, tjern og sigevann er benyttet, mens data fra driftsanalyser, sediment eller jordprøver er sortert ut. Rapporten omhandler kun analyser av vann. Vannprøver som er benyttet i sammenstillingen er tatt fra overflaten (1-1,5 m), og sporadiske analyser av vann fra dypere vannlag utført ved enkelte stasjoner er utelatt. Noen resultater fra 2010 som hadde uspesifisert plassering, vanddyp og metode for prøvetakning er utelatt fra dataserien i denne rapporten. Det er i løpet av perioden tatt sporadiske prøver fra enkelte stasjoner, eller utført enkeltanalyser av stoffer som ikke er tatt med i denne oversikten da datagrunnlaget ikke gir grunnlag for tolkning. 7708 datapunkter ble benyttet etter kvalitetssikring. Stasjonsnavn som har variert gjennom årene er i denne rapporten endret slik at samme lokalitet omtales med ett og samme navn. Variasjonene i navnsetting medfører at stasjonsnavn kan variere mellom analysebevisene og denne rapporten. De ulike navnene på lokaliteter som er inkludert i denne rapporten har latt seg tolke i forhold til lokalitet. I tilfeller der det har vært usikkerhet har Avinors kontaktperson bistått i kvalitetssikring og kontroll av lokaliteter og datapunkter. Analysebevisene er tilgjengelige, men det store antallet analysebevis gjør at de ikke legges ved i sin helhet i denne rapporten.

### Analysemetoder

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

Metallanalyser ble utført ved Eurofins Environment Sweden i Lidköping. I 2015 gikk man fra analyse av metaller ved filtreringsmetode til analyse av totalt metall ved oppslutning (uten filtrering). Valget av analysemetode kan påvirke resultatet. Oppslutning medfører at partikkelbundet metall også vil inkluderes slik at verdiene blir høyere enn ved filtrert metode, og er den vanligste metoden å benytte ved analyse av miljøprøver som ikke er grunnvannsprøver. 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 (standard for både filtrert og oppsluttet metode) og metallene kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), mangan (Mn), natrium (Na) og silisium (Si) ble analysert etter NS EN ISO 11885 (standard for både filtrert og oppsluttet metode). Kvikksølv (Hg) ble analysert etter NS EN ISO 17852 (oppsluttet), eller NS EN ISO 12486 (filtrert).

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. Fosfor (P) ble analysert ved NS EN ISO 15681-2, nitrogen (N) ved NS 47473, og totalt organisk karbon (TOC) ved NS EN 1484. Alkalitet til pH 4,5 ble analysert i henhold til NS-EN ISO 9963-1, konduktivitet ble målt i henhold til NS-EN ISO 7888, og pH ble målt ved  $23 \pm 2$  °C i henhold til NS-EN ISO 10523. Suspendert stoff, formiat og propylenglykol ble analysert ved interne metoder.

**Tabell 2.1. Analyserte perfluorerte forbindelser i vannprøver fra Bergen Lufthavn Flesland i perioden 2012-2015, 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 og selektert i Excel og seleksjonen 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 faktisk 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. Vannkonsentrasjoner sammenliknes med etablerte grenseverdier der disse finnes, i henhold til Miljødirektoratets rapport M-241 «Kvalitetssikring av Miljøstandarder» (Arp m.fl 2014). Gjennomsnittskonsentrasjonene sammenliknes med grenseverdier for årsgjennomsnitt, Annual Average Environmental Quality Standard (AA-EQA), 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).

Enkeltverdier sammenliknes i denne rapporten også 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 sammenliknet 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, 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 Arp m.fl (2014) om grunnlaget for beregning av grenseverdier.

I enkelte tilfeller overskrider konsentrasjonene langt grenseverdier for både kronisk og akutt toksisitet (LC50), og det vil da 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 således begrenset av mengden og kvaliteten på tilgjengelige toksisitetsdata. Det bemerkes også i veilederen 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).

Grenseverdiene for tilstandsklassene i denne rapporten er hentet fra verdier oppgitt i Miljødirektoratets rapport M-241 (Arp m.fl 2014).

For parametere som nitrogen, fosfor og pH i vann benyttes tilstandsklasser fra Vanndirektivet (veileder 02:2013). Klassifisering av vannforekomstene baserer seg også på Vanndirektivets inndelinger og grenseverdier.

### 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 kan være 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 for hele perioden, og viser også hvilke forbindelser som dominerer. Figur 3.2 viser årsgjennomsnittene av 12 PFC for 2014-2016 for utvalgte stasjoner der det ble målt høye konsentrasjoner. Merk at for 2016 representerer figuren resultatet av én analysert prøve fra januar 2016, mens for de øvrige stasjonene kan verdiene representere prøver tatt i en eller flere av månedene april, juni, august, oktober og november. Antallet prøver som hver enkelt verdi er basert på er vist i Tabell 3.1 under sum PFOS/PFOA og sum PFC, ettersom kun PFOS/PFOA ble analysert ved enkelte anledninger. Prøvene fra 2016 er tatt i januar. Frost i bakken eller tørre perioder vil begrense avrenningen og kan antakelig medføre lavere konsentrasjoner i slike perioder. Motsatt vil mye nedbør og fravær av tele i bakken kunne øke avrenningen. Det vil 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. Dette må være med i vurderingen av resultater fra januar, og verdiene for 2016 må tolkes med varsomhet.

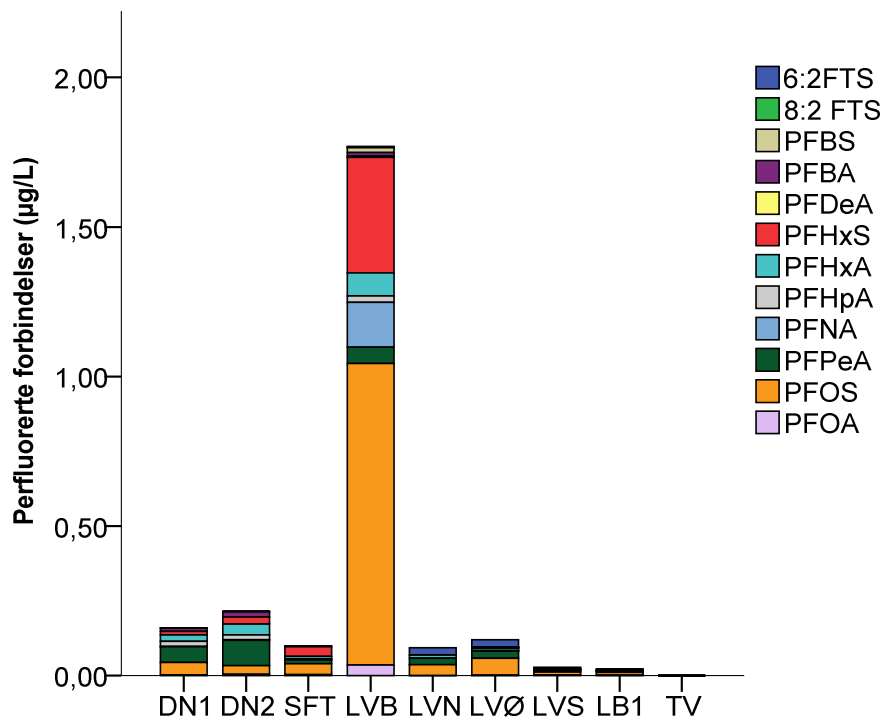
Resultatene viser at Træsvatn ikke har målbare konsentrasjoner av perfluorerte forbindelser i vann. Træsvatn ligger ikke på flyplassområdet. Dette støtter antakelsen om at den viktigste kilden til PFC i området er utslipp fra flyplassen.

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 1.2 og Figur 1.1) hadde de høyeste konsentrasjonene av PFOS og sum PFC (Tabell 3.1, Figur 3.1). Deponi Nord 1 og -2, samt 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. Ettersom det ble målt PFOS i Steinfjelltjern, som ble benyttet tidligere som drikkevann for eiendommene, er det satt in et filter med organoclay som fjerner PFC fra vann som renner ut i Steinfjelltjern. Dette kan på sikt medføre reduserte

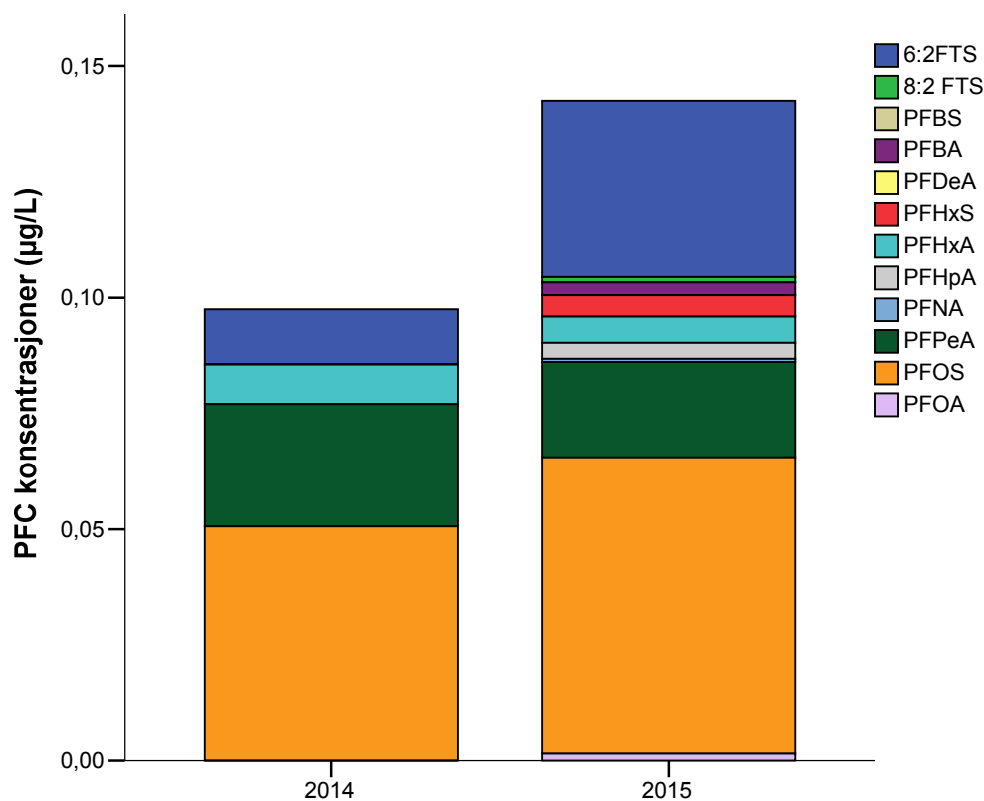
konsentrasjoner, da undersøkelser viser at filteret fjerner over 50% av sum perfluorerte i vannet (Avinor, data ikke vist). Foreløpig er det observert noe reduksjon i PFOS i Steinfjelltjern i måleperioden, men datagrunnlaget er sparsomt (Tabell 3.1). Lavere konsentrasjoner av sum PFC målt i januar 2016 kan som nevnt skyldes at prøven ble tatt på et tidspunkt med lite avrenning og tele i jorden, og en sammenlikning av analyser fra samme sesong hvert år ville vært verdifullt for bedre å kunne vurdere den langsiktige effekten av filteret. Konsentrasjonene av PFPeA og PFHxS var noe redusert i 2015 og januar 2016 i forhold til 2014, mens innholdet av PFOS var bortimot uendret (Figur 3.3, Tabell 3.1). Langavatn Nord har generelt høyere konsentrasjoner av PFOS enn Langavatn Sør, men lavere konsentrasjoner enn Langavatn Øst (Fig 3.1, Fig 3.3). 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).

Etter utfasingen av PFOS- holdig brannskum, og erstatning av PFOS med FTS, har det vist seg at det kan forekomme lokal økning i FTS- forbindelser i nærheten av brannøvingsfelt. Man har også sett tendenser til akkumulering av flere langkjedete perfluorerte forbindelser i biota, som kan være forurensninger fra langkjedede PFC benyttet som surfaktanter under produksjonen av FTS (Haave 2013, Haave 2014, Haave og Johansen 2012, Haave og Johansen 2013, Haave m fl. 2015). Vi ser at 6:2 FTS er til stede i vannprøver fra Langavatn Øst (Fig 3.2), til forskjell fra stasjonene i nærheten av BØF1. Dette bekrefter at en av kildene til PFC ved Langavatn Øst antakelig er BØF2 der det ble benyttet FTS-holdig brannskum, men bidrag av PFOS fra BØF 1 kan heller ikke utelukkes.

Avinor vil i forbindelse med utbyggingen av flyplassen flytte nåværende brannøvingsfelt. Man har også gått over til å benytte et fluorfritt brannskum fra 2013. Utslippene skal i tillegg samles opp fra et øvingsareal med kontrollert avrenning, slik at avrenning til grunn og spredning til miljøet minimeres. Dette vil på sikt bety redusert avrenning av PFC til Langavatn. Man kan derfor forvente at konsentrasjonen av 6:2 FTS, som er nedbrytbart og ikke akkumulerer, vil avta. Samtidig vil PFOS og andre PFC som ligger i grunnen ved BØF-2 brytes svært langsomt ned, og det vil sannsynligvis være målbare nivåer av PFOS og andre PFC i uoverskuelig tid fremover. Etter ferdigstilling av det nye brannfeltet vil BØF-2 eventuelt kunne saneres. Man kan hindre spredning av PFC fra grunnen enten ved opprydding eller ved å hindre avrenning til elvene gjennom å installere organoclay-filtre. Det kan imidlertid være vanskelig å lokalisere avrenningspunkter for installasjon av filter, da PFC sannsynligvis er spredt i jordsmonnet og vil ha en diffus avrenning.



Figur 3.1. Gjennomsnittskonsentrasjoner ( $\mu\text{g/L}$ ) av perfluorerte forbindelser ved undersøkte stasjoner ved Bergen Lufthavn Flesland og referansestasjonen Træsvatn i perioden 2012-2016. Stasjonsnavn: DN-Deponi Nord, SFT-Steinfjelltjern, LVB=Lindevikabekken, LVN=Langavatn Nord, LVØ=Langavatn Øst, LVS=Langavatn Sør, LB=Lønningsbekken, TV=Træsvatn.



Figur 3.2. Gjennomsnittskonsentrasjoner ( $\mu\text{g/L}$ ) av perfluorerte forbindelser i vann for 2014 og 2015 ved stasjon Langavatn Øst som ligger nærmest det nåværende brannøvingfeltet ved Bergen Lufthavn Flesland.

Tabell 3.1. Gjennomsnittskonsentrasjoner (ng/L) med standardavvik (SD) for perfluorerte forbindelser i elver og vann Avinor Flesland i perioden 2011-2015.

Forbindelse (ng/L)	6:2FTS		8:2 FTS		PFBS		PFBA		PFDeA		PFHxS		PFHxA		PFHpA		PFNA		PFPeA		PFOS		PFOA		sum PFOS/ PFOA (inkl LOQ)		Sum PFC (inkl LOQ)				
	Stasjon/år	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	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	1		0		
	2014	<LOQ		<LOQ		<LOQ		9,8	9,6	<LOQ		13	7,5	25	5,7	19	3,8	<LOQ		66	20	44	4	0,9	2,3	54	5,3	6	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	9	2,1	2,1	47	7,8	5	170	32	5
	2016	1,9		<LOQ		<LOQ		5,9		<LOQ		12		14		9		1,9		25		23		3,8		26	1	100	1	1	
DN2	2015	<LOQ		<LOQ		1,1	1,5	23	6,7	<LOQ		26	4,9	47	12,5	16	3,8	1,9	2,7	104	21	32	15	3,9	5,4	41	14	2	297	21	2
	2016	<LOQ		<LOQ		2,8		8,4		<LOQ		17		18		16		2,0		45		22		5,0		27	1	140	1	1	
SFT	2012	i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		54		0,0		59	1		0		
	2013	i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		71	1	3,4	4,7	77	0,1	2		0	
	2014	<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		39		13		<LOQ		<LOQ		24		27	18	<LOQ		37	18	2	215	1	1
	2015	<LOQ		<LOQ		1,5		4,2		<LOQ		35		8,9		3,8		2,8		8,6		35		5,7		41	1	110	1	1	
	2016	<LOQ		<LOQ		<LOQ		2,9		<LOQ		22		4,8		3,8		0,0		7,3		33		4,2		38	1	85	1	1	
LVB	2012	<LOQ		<LOQ		9,2		9,1		6,3		264		52		19		109		45		1198	413	45	22	1248	442	2	1470	1	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	4		0	
	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	3	2230	453	2
	2015	2,2	2,6	3,6	4,3	14	9,5	11,2	7,5	4,0	4,8	383	183	69	26	21	5,2	156	70	45	12	1070	449	33	12	1104	459	4	1840	693	4
	2016	3,7		4,9		6,5		3,9		5,9		146		35		14,6		98		25		694		18,6		713	1	1060	1	1	
LVØ	2014	12	17	<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		0,0	0,0	8,6	12	<LOQ		<LOQ		26	12,0	49	4,1	<LOQ		61	4,8	3	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	2	199	40	2
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	1		0		
	2016	24		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		11,5		<LOQ		<LOQ		21		36		<LOQ		41	1	143	1	1	
LVS	2016	4,6		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		2,2		2,6		2,2		<LOQ		4,6		10		2,0		12	1	35	1	1	
LB1	2013	i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		i.a		<LOQ		<LOQ		100	1		0		
	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	3	110	33	3
	2015	<LOQ		<LOQ		<LOQ		1,1	1,2	0,0	0,0	2,2	2,5	1,4	1,6	0,6	0,9	<LOQ		3,3	2,7	8,1	4,2	0,9	1,0	15	5,0	6	78	55	6
TV	2016	<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		<LOQ		10	1	73	1	1	

PFOS-konsentrasjoner over AA-EQS er uthevet med rødt skrift.

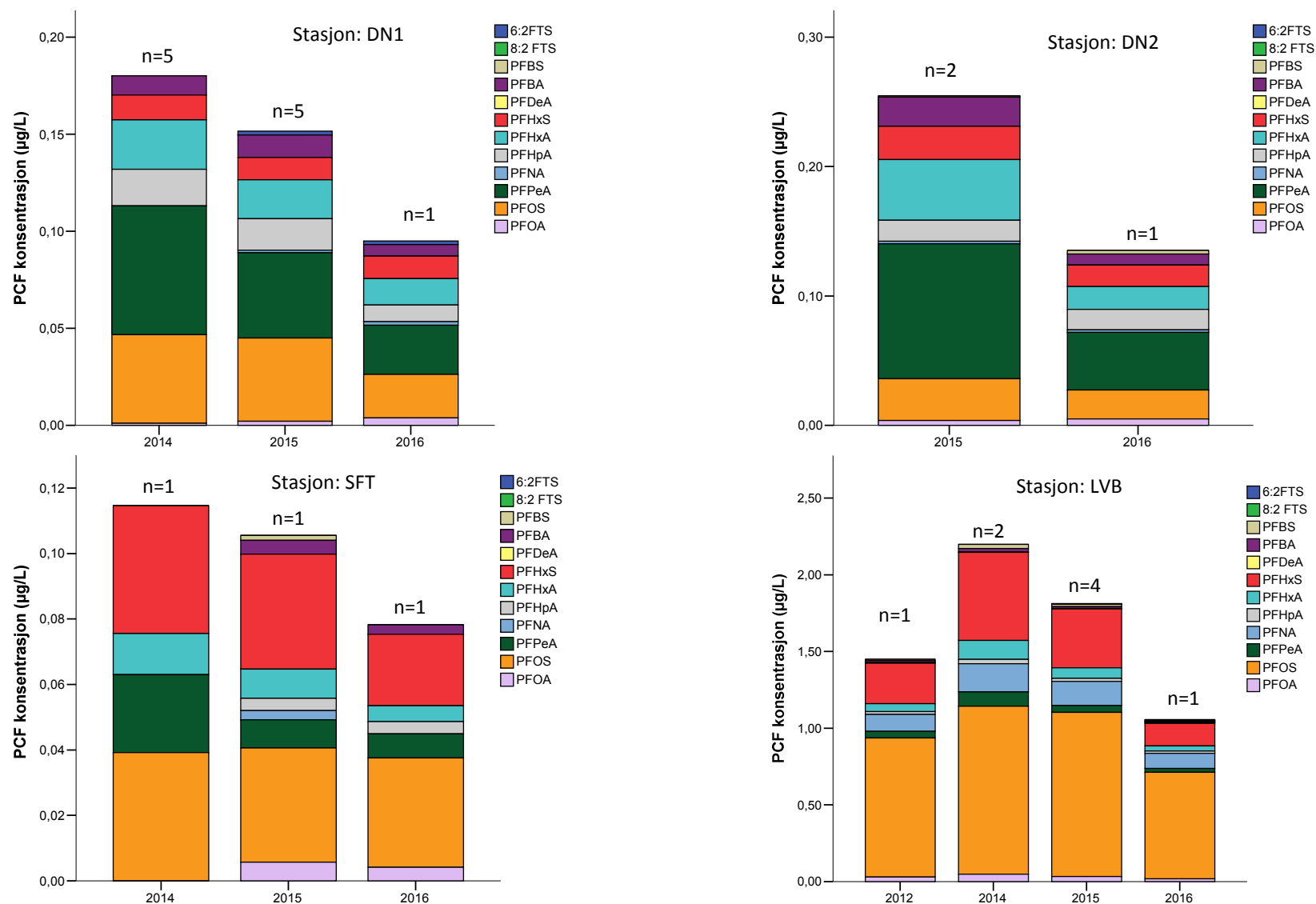
<LOQ: under kvantifiseringsgrensen for forbindelsen. Ved kun én analyse, eller konsentrasjoner under LOQ er ikke standardavviket (SD) vist.

n: antallet analyserte prøver som gjennomsnittet er basert på.

i.a: ikke analysert.

Stasjonsnavn: DN-Deponi Nord, SFT-Steinfjelltjern, LVB=Lindvikabekken, LVN=Langavatn Nord, LVØ=Langavatn Øst, LVS=Langavatn Sør, LB=Lønningsbekken, TV=Træsvatn.

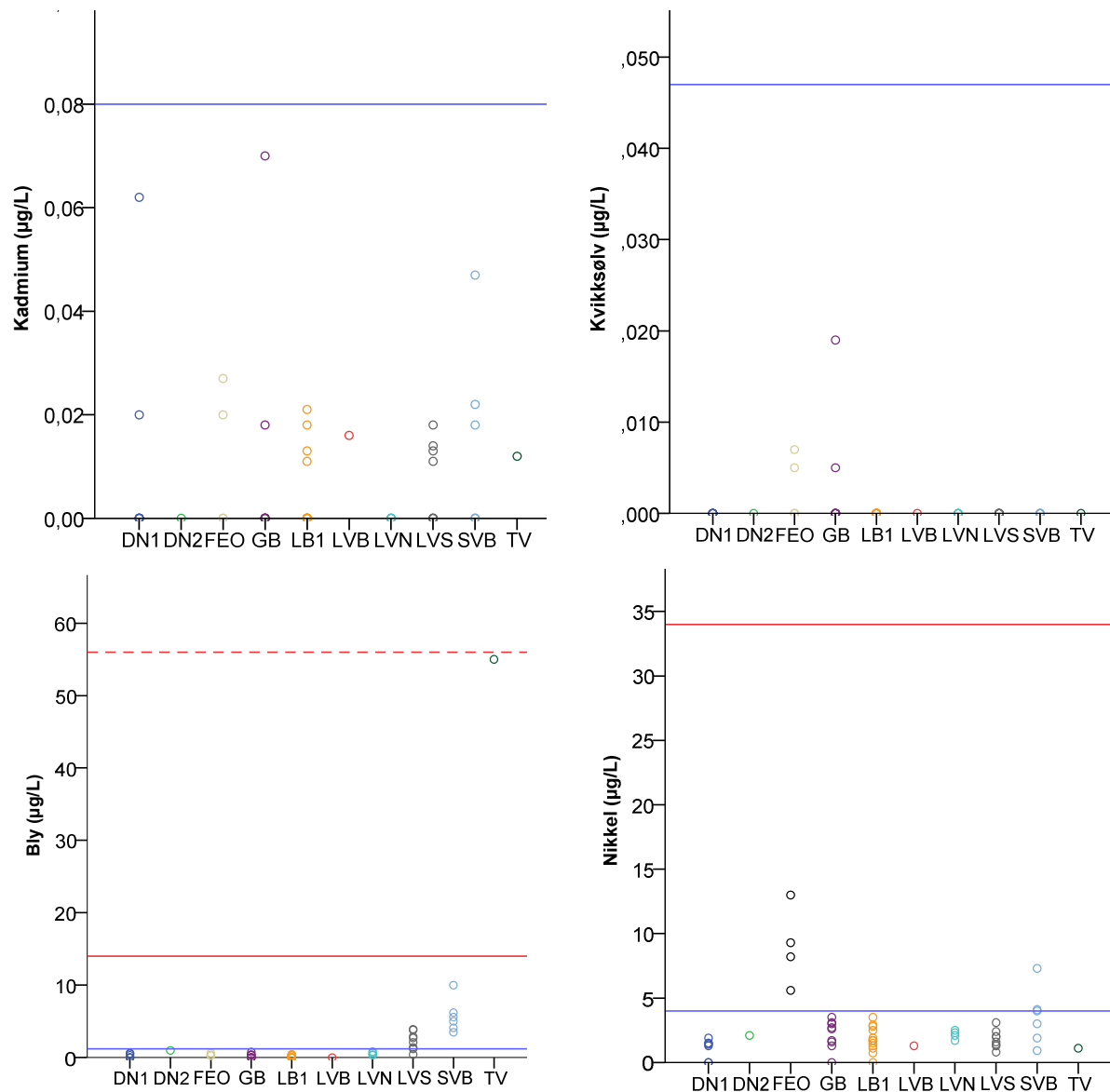




Figur 3.3. Gjennomsnittskonsentrasjoner per år for perfluorerte forbindelser i vann (µg/L) ved utvalgte stasjoner ved Bergen Lufthavn Flesland i perioden 2014-2016. n= antall målinger som snittet er basert på. Stasjonsnavn: DN =Deponi Nord, SFT = Steinfjelltjern, LVB = Lindevikabekken.

## Tungmetaller

I 2014 gikk man over til å analysere tungmetaller ved opplutningsmetode i stedet for filtrering. Metodeendringen medfører høyere verdier etter 2014. Gjennomsnittsverdien og standardavviket for tungmetaller analysert ved opplutning (2014-2016) er vist i tabell 3.2, og ved filtrering (2010-2014) i Tabell 3.3 og 3.4. Figur 3.4 viser spredningen i konsentrasjoner av de prioriterte tungmetallene kadmium, kvikksølv, bly og nikkel. Hvert punkt representerer en enkelt analyse i perioden 2014-2016 (oppluttet metode). Vi ser som forventet variasjoner mellom enkeltmålinger i perioden, og fremstillingen gir sannsynligvis et nokså representativt bilde av normal spredning av konsentrasjoner for hvert tungmetall per stasjon over tid.



Figur 3.4. Konsentrasjoner ( $\mu\text{g/L}$ ) av de prioriterte tungmetallene kadmium, kvikksølv, nikkel og bly i elver og tjern fra Bergen Lufthavn Flesland, og referanseområdet Træsvatn. DN= Deponi Nord, FEO=Fleslandselven Øvre, GB=Gåstjørnsbekken, LB1=Lønningsbekken, LVB=Lindvikabekken, 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 veilederne fare for omfattende akutt toksisitet for vannlevende organismer.

Tabell 3.2. Gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner ( $\mu\text{g/L}$ ) i undersøkte elver, bekker og innsjøer ved Flesland i perioden 2014-2016 ved opplutning av totalt innhold.

	Stasjon	n	Arsen (As)			Bly (Pb)			Kadmium (Cd)			Kobber (Cu)			Krom (Cr)			Kvikksølv (Hg)			Nikkel (Ni)			Sink (Zn)		
			Snitt	Max	SD	Snitt	Max	SD	Snitt	Max	SD	Snitt	Max	SD	Snitt	Max	SD	Snitt	Max	SD	Snitt	Max	SD	Snitt	Max	SD
Elv/bekk	FEO	4	0,16	0,43	0,21	0,4	0,6	0,2	0,012	0,027	0,014	31,3	45,0*	10,7	1,31	1,70	0,38	0,003	0,007	0,004	9,03	13,00	3,07	7,4	9,6	2,5
	GB	9	0,18	0,55	0,22	0,2	0,8	0,3	0,010	0,070	0,023	14,1	18,0*	4,0	1,58	6,10*	1,87	0,003	0,019	0,006	2,17	3,50	1,11	2,1	8,0	2,6
	LB1	13	0,14	0,34	0,14	0,1	0,4	0,1	0,005	0,021	0,008	7,3	10,0	1,6	0,41	2,20	0,62	<LOQ	<LOQ		1,79	3,50	0,95	0,7	3,8	1,4
	LVB	1	<LOQ	<LOQ		<LOQ	<LOQ		0,016	0,016		4,2	4,2		<LOQ	<LOQ		<LOQ	<LOQ		1,30	1,30		2,9	2,9	
	SVB	6	0,33	0,67	0,29	5,7	10,0	2,3	0,015	0,047	0,019	4,9	7,4	1,9	0,56	1,60	0,67	<LOQ	<LOQ		3,54	7,30	2,21	10,7	13,0	1,8
Sige- vann	DN1	7	0,13	0,48	0,22	0,2	0,6	0,3	0,012	0,062	0,023	3,7	4,9	1,1	0,20	0,73	0,31	<LOQ	<LOQ		1,09	1,90	0,76	0,6	4,0	1,5
	DN2	1	0,63	0,63		1,0	1,0		<LOQ			5,0	5,0		0,53	0,53		<LOQ	<LOQ		2,10	2,10		7,1	7,1	
Tjern	LVN	3	<LOQ	<LOQ		0,5	0,8	0,3	<LOQ	<LOQ		8,7	14,0	4,9	0,41	0,68	0,36	<LOQ	<LOQ		2,30	2,50	0,20	13,2	19,0	6,3
	LVS	8	0,20	0,35	0,17	2,3	3,9	1,2	0,007	0,018	0,008	3,9	5,2	1,1	0,25	0,83	0,35	<LOQ	<LOQ		1,83	3,10	0,71	8,8	17,0	4,3
	TV	1	0,65	0,65		55	55*		0,01	0,01		7,00	7,00		<LOQ	<LOQ		<LOQ	<LOQ		1,10	1,10		14,00	14,00	

Forkortelser: n= antall analyserte prøver i perioden 2014-2016. Rosa celler betyr snittkonsentrasjoner over grenseverdien for kronisk toksisitet (AA-EQS). Røde celler betyr maksimalkonsentrasjoner grenseverdien for akutt toksisitet (MAC-EQS). \*=Verdien er også 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.

Tabell 3.3. Gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner ( $\mu\text{g/L}$ ) i elver ved Bergen Lufthavn Flesland i perioden 2010-2015 ved filtrert metode.

Stasjon	n	år	Arsen		Bly		Kadmium		Kobber		Krom		Nikkel		Sink		Kvikksølv	
			Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD
FE	1	2010	<LOQ		0,38		0,010		4,15	0,49	0,33		2,20		2,50		<LOQ	
	3	2011	0,19	0,16	0,62	0,78	0,008	0,01	4,37	1,67	0,24	0,22	1,30	1,13	3,87	2,40	0,003	0,01
	3	2012	0,27	0,08	0,91	0,60	0,028	0,02	7,83	7,09	0,78	0,53	3,13	2,40	5,60	4,03	<LOQ	
GB	1	2010	<LOQ		0,29		0,018		18,00*	11,31	0,73		3,10		4,90		<LOQ	
	3	2011	0,12	0,10	0,05	0,09	0,009	0,01	16,53*	6,71	0,39	0,34	1,60	1,42	2,43	1,10	0,007	0,00
	6	2012	0,20	0,03	0,14	0,07	0,011	0,01	13,83	2,86	0,50	0,09	2,20	0,30	3,38	1,40	0,001	0,00
	5	2013	0,17	0,06	0,10	0,07	0,009	0,01	7,98	3,08	0,39	0,10	1,60	0,25	1,43	0,36	0,001	0,00
	5	2014	0,16	0,06	0,07	0,03	0,009	0,01	10,34	2,96	0,34	0,06	1,66	0,23	1,98	0,76	0,001	0,00
	1	2015	0,07		0,03		<LOQ		5,90		0,27		1,30		1,80		0,004	
LB1	1	2010	<LOQ		0,04		0,007		1,40	0,14	0,11		0,65		2,30		<LOQ	
	4	2011	0,10	0,06	0,14	0,26	0,009	0,01	3,73	5,57	0,11	0,10	1,70	2,68	10,28	12,03	0,001	0,00
	10	2012	1,16	3,08	0,04	0,03	0,018	0,03	2,37	1,50	0,39	0,52	0,79	0,29	4,38	1,78	<LOQ	
	7	2013	0,16	0,06	0,03	0,04	0,012	0,00	4,18	3,78	0,15	0,06	1,59	1,07	4,10	1,27	<LOQ	
	8	2014	0,16	0,06	0,00	0,01	0,013	0,01	6,26	1,05	0,13	0,06	1,92	0,57	1,87	1,18	<LOQ	
	1	2015	0,03		0,00		0,016		4,90		0,18		1,70		2,20		<LOQ	
LB2	1	2010	<LOQ		0,16		0,017		2,85	0,21	0,19		1,20		5,60		<LOQ	
	2	2011	0,09	0,12	0,04	0,06	0,005	0,01	1,25	1,77	0,09	0,13	0,47	0,66	6,35	4,03	<LOQ	
	1	2012	0,14		0,04		0,080		2,80		0,72		1,10		9,60		<LOQ	
SVB	3	2011	0,22	0,20	4,13	3,60	0,029	0,03	2,77	1,33	0,22	0,20	1,23	1,16	10,20	2,50	0,002	0,00
	4	2012	0,22	0,03	4,39	3,53	0,037	0,03	1,98	0,29	0,38	0,20	1,73	0,13	12,4	5,94	<LOQ	
	3	2013	0,25	0,06	3,30	1,91	0,018	0,00	2,03	0,67	0,24	0,03	1,87	0,32	7,13	3,85	0,001	0,00
	3	2014	0,41	0,12	2,26	2,47	0,015	0,01	3,73	0,21	0,37	0,10	2,83	0,68	5,73	2,41	0,001	0,00

N = antall analyserte prøver. Der snittverdi er oppgitt, men standardavvik (SD) ikke er vist er det kun en prøve som har konsentrasjoner over LOQ, eller kun en prøve er analysert (n=1). Ved snittverdi i slike tilfeller på 0,00 er verdien satt til <LOQ. Fleslandselven Øvre og Lindvikabekken ble ikke analysert ved filtrert metode i denne perioden. Rosa markering viser konsentrasjoner over grenseverdien for kronisk toksisitet (AA-EQS). Røde celler betyr maksimalkonsentrasjoner over grenseverdien for akutt toksisitet (MAC-EQS). \*=Konsentrasjonen er over grenseverdien til tilstandsklasse V, som medfører omfattende akutt toksiske effekter. Stasjonsnavn: FE=Fleslandselven, GB=Gåstjørnsbekken, LB=Lønningsbekken(1 og 2), SVB=Storaveitabekken.

Tabell 3.4. Gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner ( $\mu\text{g/L}$ ) i vann ved Bergen Lufthavn Flesland i perioden 2010-2015 ved filtrert metode.

Stasjon	n	år	Arsen		Bly		Kadmium		Kobber		Krom		Nikkel		Sink		Kvikksølv	
			Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD	Snitt	SD
DN-1	6	2014	0,20	0,03	0,03	0,01	0,024	0,01	2,78	0,51	0,17	0,04	0,91	0,11	1,4	0,8	<LOQ	
	1	2015	0,21		0,23		0,024		2,60		0,24		1,80		1,3		<LOQ	
LVN	2	2010	0,00	0,00	6,60	9,06	0,007	0,01	2,50	0,42	0,17	0,23	0,80	1,13	2,4	0,4	0,005	0,00
	5	2011	0,16	0,10	0,35	0,39	0,015	0,01	5,08	1,97	0,45	0,60	4,30	4,10	8,5	3,2	0,002	0,00
	5	2012	0,18	0,02	0,29	0,16	0,013	0,00	4,82	1,59	0,30	0,04	2,60	0,75	11,7	6,5	<LOQ	
	3	2013	0,20	0,04	0,50	0,25	0,009	0,01	6,93	3,79	0,32	0,13	2,73	0,32	13,4	10,1	0,002	0,00
	3	2014	0,18	0,03	0,24	0,24	0,014	0,00	6,90	6,17	0,20	0,07	2,50	1,04	11,2	10,2	0,001	0,00
	1	2015	0,12		0,19		0,024		4,70		0,23		1,50		13		0,003	
LVS	2	2010	<LOQ		0,29	0,41	0,008	0,01	3,05	0,35	0,13	0,18	4,75	1,63	3,3	1,3	<LOQ	
	4	2011	0,21	0,14	4,25	5,93	0,011	0,01	4,78	2,50	0,22	0,16	3,08	2,69	6,3	6,1	0,001	0,00
	7	2012	0,24	0,03	1,31	1,10	0,023	0,02	4,27	1,80	0,33	0,14	2,23	1,16	8,9	6,8	<LOQ	
	4	2013	0,25	0,10	0,94	0,92	0,012	0,01	2,70	1,43	0,26	0,05	1,41	0,52	4,4	1,1	0,002	0,00
	6	2014	0,24	0,06	0,75	0,76	0,014	0,01	3,22	1,22	0,26	0,10	1,58	0,33	5,7	2,6	<LOQ	
	1	2015	0,12		0,72		0,026		5,40		0,24		2,10		14*		0,004	
TV	1	2010	<LOQ		51		<LOQ		<LOQ		2,00		<LOQ		3,8		0,01	
	2	2011	0,36	0,51	34,75	35,7	0,025	0,035	1,45	2,05	0,18	0,25	1,85	2,62	8,5	3,54	0,00	0,01
	2	2012	0,51	0,08	40,5	24,7	0,058	0,020	10,85	10,11	0,20	0,03	2,65	0,21	23,5	9,19	0,00	0,00
	2	2013	0,75	0,26	67,5*	6,4	0,040	0,028	6,45	3,75	0,40	0,20	2,40	1,13	20,5	10,61	0,00	0,00

N = antall analyserte prøver. Der snittverdi er oppgitt, men standardavvik (SD) ikke er vist er det kun en prøve som har konsentrasjoner over LOQ, eller kun en prøve er analysert (n=1). Ved snittverdi i slike tilfeller på 0,00 er verdien satt til <LOQ. Rosa markering viser konsentrasjoner over grenseverdien for kronisk toksisitet (AA-EQS). Røde celler betyr maksimalkonsentrasjoner over grenseverdien for akutt toksisitet (MAC-EQS). \*=Konsentrasjonen er over grenseverdien til tilstandsklasse V, som medfører omfattende akutte toksiske effekter. Stasjonsnavn DN=Deponi Nord, LVN=Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør, TV=Træsvatn.

Vi ser av figur 3.4 og figur 3.5 at kadmium, kvikksølv, nikkel, kobber, krom og aluminium har de høyeste konsentrasjonene ved Fleslandselven Øvre og Gåstjørnsbekken, og til dels Lønningsbekken 1. Kvikksølv og nikkel har lave konsentrasjoner. For kvikksølv overskrider de målte konsentrasjonene (2014-2016) ingen grenseverdier, mens nikkel overskrider grenseverdien for kronisk toksisitet i Fleslandselven øvre.

### **Bly og sink**

Træsvatn ligger utenfor flyplassområdet. Området ble tidligere brukt til leirdueskyting, og dette er en sannsynlig årsak til de høye blykonsentrasjonene i vannet. Træsvatn renner ut via Storaveitabekken til sørenden av Langavatn, noe som kan forklare hvorfor det også er høye konsentrasjoner av bly i Storaveitabekken og Langavatn Sør. Også nivåer av sink er høyt ved stasjonene Træsvatn, Storaveitabekken og Langavatn Sør (Tabell, 3.2, 3.3 og 3.4) som kan bety at også sink spres fra Træsvatn, eller at det er en annen felles kilde i nedslagsfeltet. Sinkkonsentrasjonene i Storaveitabekken er under grenseverdien for kronisk toksisitet, mens i Langavatn Sør og Nord er konsentrasjonene høyere, rundt grenseverdien for kronisk toksisitet. Dette kan tyde på en kilde til sink i området som drenerer til Langavatn. En sannsynlig kilde her kan være deponiområdet.

### **Kadmium**

Konsentrasjonen av kadmium i den ene oppsluttede prøven fra Træsvatn i 2016 var lavere enn i Storaveitabekken, og lavere enn tidligere analyser fra samme stasjon ved filtrert metode. Om dette skyldes naturlige variasjoner og prøvetakningstidspunkt er uklart, og det er for tidlig å konkludere med at Storaveitabekken har en kilde til kadmium i nærheten som er ulik de øvrige metallene.

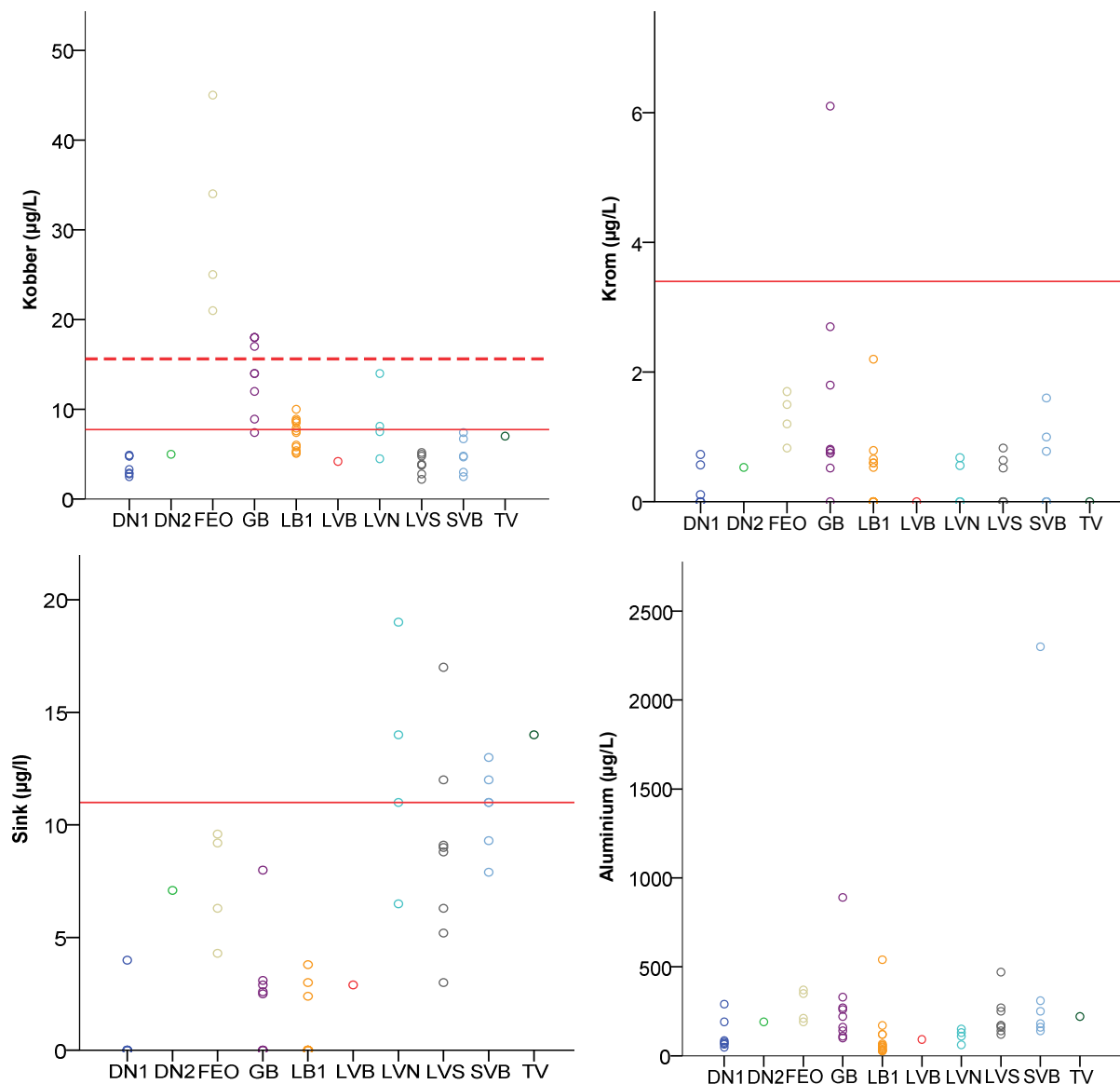
### **Kobber**

For kobber er konsentrasjonen i Fleslandselven Øvre og Gåstjørnsbekken noen ganger over grensen til tilstandsklasse V (Svært dårlig og fare for omfattende akutt toksisitet) og for Lønningsbekken over akutt toksisitet (MAC-EQS). For nikkel er alle de målte konsentrasjonene ved Fleslandselven Øvre over grenseverdi for kronisk toksisitet (AA-EQS), men under grensen for akutt toksisitet (MAC-EQS) (Fig 3.4). De forhøyede verdiene av de nevnte metallene ved flere stasjoner kan tyde på en felles kilde. Stasjonene ligger i området nedenfor flystripen og vil motta avrenning fra rullebanen (Fig. 2.1). Dette kan tyde på at kilden til metaller er fra flystripen, for eksempel fra flyene som muligens kan oppleve erosjon av metall i bremsklosser og flyskrog, eller fra utslipp av eksos. En annen mulighet er utslipp fra kjøretøy og annen drift av flyplassen. Dette bør undersøkes nærmere. Oppsamling eller begrenning av slike utslipp vil kreve omfattende kartlegging. For kobber er verdiene så høye at man kan forventet akutte toksiske effekter i vannlevende organismer. Det vil derfor være en naturlig prioritet å kartlegge kilder til kobber, biotilgjengeligheten av det kobberet som er til stede, og de eventuelle effektene av kobber i området.

### **Aluminium**

Konsentrasjonene av aluminium er svært høye i enkelte målinger. De høyeste konsentrasjonene finner vi i Storaveitabekken, Gåstjørnsbekken og Lønningsbekken. Grenseverdier for aluminium er ikke gitt, da

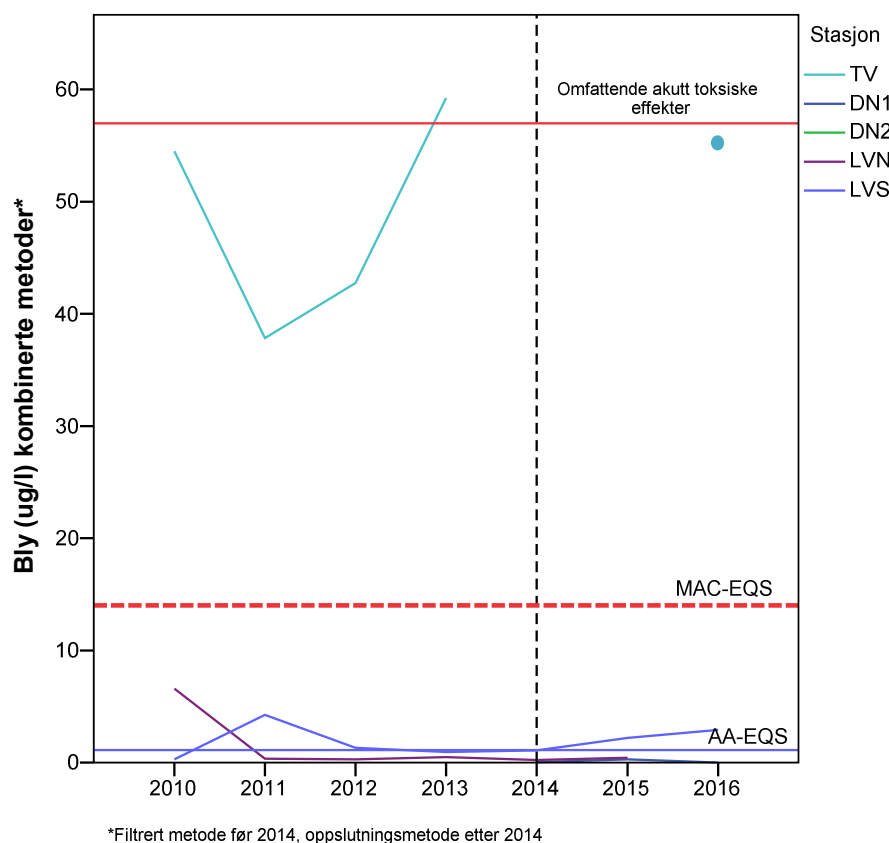
toksisiteten til aluminium avhenger av vannets pH, som er nøytral i Langavatn og mellom 5 og 6 i Træsvatn (Vedleggsfigur 1, bakerst i rapporten). Det er ikke forventet at dette innholdet av aluminium medfører gjelleskader, men dette er ikke undersøkt nærmere ennå. Dersom pH i vannene faller, kan de gjeldende verdiene av aluminium være høye nok til å overstige tilstandsklasse V, da grenseverdien for tilstandsklasse V for uorganisk aluminium i sure vannforekomster er på 95 µg/l, og vi her har verdier av total aluminium på opptil >2000 µg/l. Variasjonen mellom filtrert og oppsluttet metode for aluminium er vist i Vedleggstabell 1 bakerst i rapporten. Analysene viser at metodene medfører stor variasjon. Mest ekstrem variasjon er i Storaveitabekken som viste 2300 µg/l ved oppslutningsmetode, og 94 µg/L ved filtrert metode ved samme tidspunkt (Se Vedleggstabell 1 bakerst i rapporten). Dette kan bety at store mengder aluminium er partikulært bundet, og dermed ikke like biotilgjengelig som om det forelå som frie ioner. En endring i pH og biotilgjengelighet vil dermed kunne medføre toksisitet av aluminium.



Figur 3.5. Konsentrasjoner ( $\mu\text{g/L}$ ) av kobber, krom, sink og aluminium i elver og tjern fra Bergen Lufthavn Flesland, og referanseområdet Træsvatn. Rød, heltrukket linje markerer grenseverdien for akutt og kronisk toksisitet (AA-EQS og MAC-EQS er sammenfallende for kobber, krom og sink). For aluminium er det ikke oppgitt grenseverdier, da toksisiteten er avhengig av pH. Rød stiplet linje markerer grenseverdien mellom tilstandsklasse IV -Dårlig, og V- Svært dårlig. Over linjen er det i henhold til veiledere fare for omfattende akutt toksisitet for vannlevende organismer. DN= Deponi Nord, FEO=Fleslandselven Øvre, GB= Gåstjørnsbekken, LB1= Lønningsbekken, LVB= Lindevikabekken, LVN= Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør, SVB=Storaveitabekken, TV= Træsvatn.

Fig. 3.6 sammenstiller analyser av bly ved filtrert og oppløst metode. Vi ser vi at variasjonene i konsentrasjon kan være store over tid, men at man ved sammenlikning av alle analysene får et samlet inntrykk av konsentrasjonene i forhold til grenseverdier uavhengig av metode.





Figur 3.6. Konsentrasjoner av bly ( $\mu\text{g/L}$ ), målt ved filtrert metode før 2014 og oppsluttet metode etter 2014 (stiplet vertikal linje), viser at variasjonene er betydelige, men at konklusjonene i forhold til grenseverdier ikke er vesentlig endret. Træsvatn, analysert ved oppsluttet metode i 2016 er markert med et punkt. Blå horisontal linje: Grenseverdi for kronisk toksisitet (AA-EQS); horisontal rød stiplet linje: grenseverdien for akutt toksisitet (MAC-EQS); rød, heltrukken linje: grenseverdi for TK V- svært dårlig. TV= Træsvatn, DN= Deponi Nord 1 og 2, LVN=Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør.

Månedlige analyseresultater for metall i elver og tjern er vist i Vedleggstabell 2 og 3 bakerst i rapporten.

### Ikke prioriterte stoffer- kjemikalier fra driften av flyplassen

Vi ser av analyser som er utført i perioden 2010-2016 at gjennomsnittskonsentrasjonen av formiat er svært varierende. Ved flere stasjoner er konsentrasjonen under kvantifiseringsgrensen, mens i avrenningsfeltet fra flyplassen, slik som i Lønningsbekken kan konsentrasjonen være høyere (Tabell 3.5). Formiat medfører økning i pH, men brytes raskt ned under forbruk av oksygen. I elver vil ikke oksygeninnholdet bli et problem, mens formiat i tjern kan i verste fall medføre oksygenfattig bunnvann. Konduktiviteten er proporsjonal med innholdet av formiat, og ved 1000 mg/L vil konduktiviteten stige til ca. 1500 mS/m. Denne konsentrasjonen representerer også konsentrasjonen som gir 50 % dødelighet ved 24 timers eksponering i fisk ( $\text{LC}_{50_{24}}$ ). 1500 mS/m er langt høyere enn målingene her viser. Målingene antyder dermed at formiat ikke spres i vannmiljøet i mengder som kan anses som en toksisk belastning for fisken. I Langavatn tyder heller ikke dybdeprofilene av oksygen og konduktivitet på at bunnvannet er påvirket av formiat (Velle m. fl. 2016).

Propylenglykol som benyttes på de-ice platformene samles opp og gjenvinnes, og fortyntet løsning slippes til sjø. Målingene viser svært sjelden forekomst av propylenglykol i elver, tjern eller sigevann. Maksimalverdien av

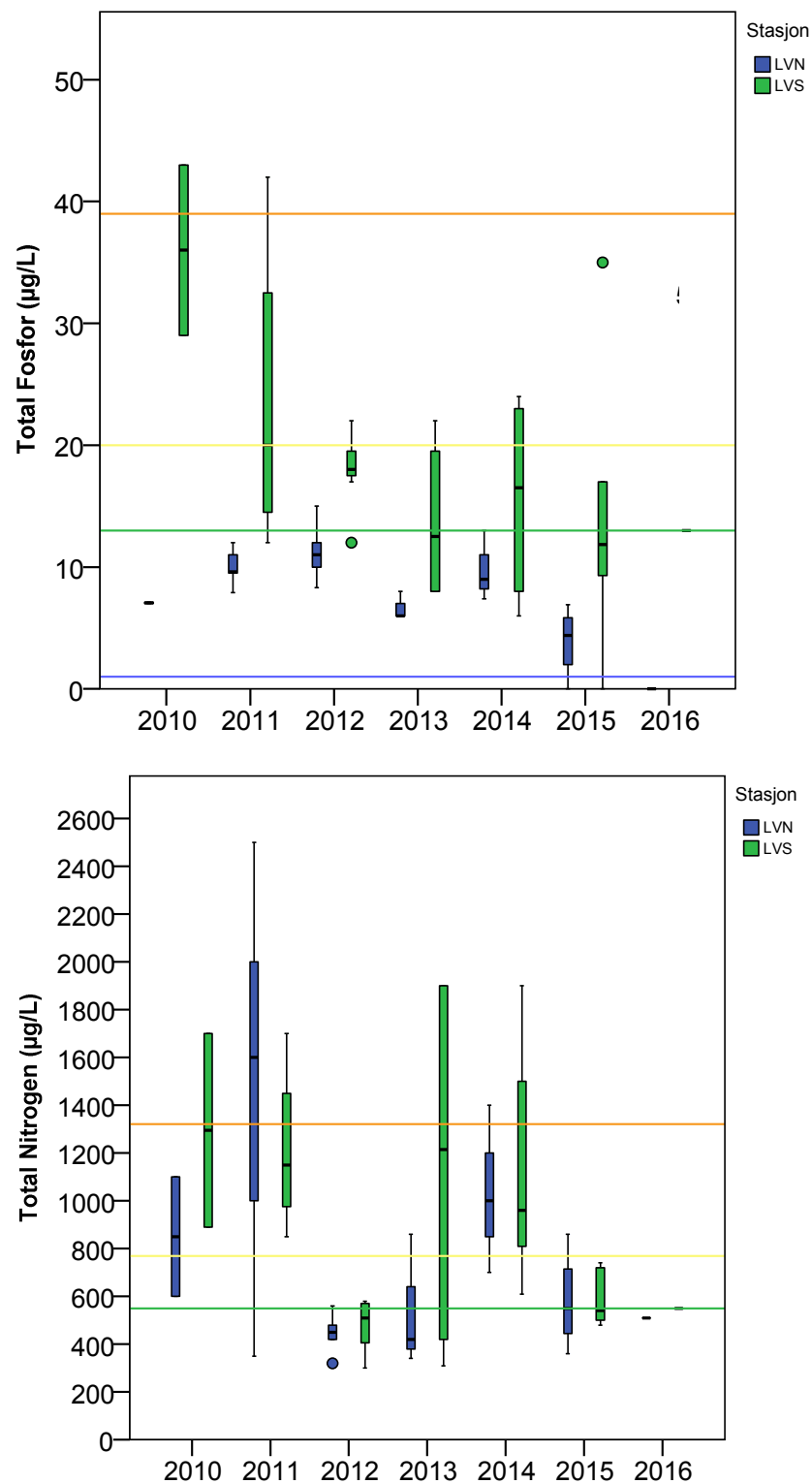
propylenglykol i Lønningsbekken stammer fra januar 2012. I elvene nedenfor rullebanen ble det i 2014-2016 ikke funnet propylenglykol i mengder over LOQ.

**Tabell 3.5. Gjennomsnittskonsentrasjoner av formiat og propylenglykol (mg/l), og konduktivitet (mS/m) i bekker og vann ved Bergen Lufthavn Flesland i perioden 2010-2016.**

Stasjon	Formiat (mg/L)				Konduktivitet (mS/m)				Propylenglykol (mg/l)			
	Snitt	maks	SD	n	Snitt	maks	SD	n	Snitt	maks	SD	n
DN1	<LOQ	<LOQ	-	1	19,2	19,7	0,8	2	<LOQ	<LOQ	-	1
FE	4,6	27,5	11,2	6	i.a	-	-	0	<LOQ	<LOQ	-	6
FEO	<LOQ	<LOQ	-	5	i.a	-	-	0	<LOQ	<LOQ	-	4
GB	1,9	42,2	8,8	23	28,6	36,4	5,6	4	<LOQ	<LOQ	-	23
LB1	15,3	304,0	62,4	24	41,4	63,3	14,3	24	0,2	2,2	0,6	20
LB2	12,1	48,4	24,2	4	i.a	-	-	0	0,6	2,5	1,3	4
SVB	<LOQ	<LOQ	-	5	17,7	20,3	3,7	2	<LOQ	<LOQ	-	5
LVN	<LOQ	<LOQ	-	9	15,6	44,9	12,9	7	<LOQ	<LOQ	-	9
LVS	0,4	4,6	1,1	18	15,0	22,7	4,6	11	0,0	0,4	0,1	18
TV	<LOQ	<LOQ	-	5	3,8	4,0	0,2	3	<LOQ	<LOQ	-	5

<LOQ: konsentrasjonen er under kvantifiseringsgrensen, standardavviket (SD) er da ikke vist; i.a: ikke analysert. n= antall analyser i perioden. DN=Deponi Nord, FE=fleslandselven, FEO=Fleslandselven Øvre, GB=Gåstjørnsbekken, LB=Lønningsbekken (1 og 2), SVB=Storaveitabekken, LVN=Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør, TV=Træsvatn.

I 2010 og 2011 var det målt høye innhold av fosfor i Langvatn sør, tilsvarende tilstandsklasse III (moderat), med enkelt verdier i 2010 i tilstandsklasse IV (dårlig) (Figur 3.7). Vi ser at nitrogen også var høyt, med enkelte verdier i Langavatn i tilstandsklasse IV- dårlig i 2010, 2011 2013 og 2014. I 2013 ble dette tilskrevet sprengningsarbeidet og anleggsarbeid og steinstøv etter sprengning, med uomsatt nitrogen (Velle m.fl. 2013). Fosfor hadde verdier i tilstandsklasse IV- dårlig i 2010 og 2011. I 2015 var både fosfor- og nitrogenverdiene for det meste i tilstandsklasse II god, med konfidensintervallet for nitrogen i Langvatn Nord oppe i tilstandsklasse III- moderat. Innholdet av nitrogen i bekkene er derimot noe høyere, som omtalt i Velle m.fl. 2016.



Figur 3.7. Boksplot (med konfidensintervall) der horisontale markører i boksen viser medianverdi og boksen viser 25-75% percentilen (spredningen) av fosfor og nitrogenverdier i Langavatn i perioden 2010-2016. De horisontale linjene markere grenseverdier mellom tilstandsklasser, etter revidert veileder 02:2013, der verdier som faller under linjene hører innunder tilstandsklassen: Blå=svært god, grønn=god; gul=moderat; orange=dårlig. Over den orange linjen er tilstandsklassen rød=svært dårlig. LVN=Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør.

### 3. DISKUSJON OG ANBEFALINGER

En rekke parametere er undersøkt i vannmiljøet ved Bergen Lufthavn Flesland i løpet av de siste seks årene. Selv om dataene er samlet inn på ulike tidspunkt, og det er ulikt antall analyser av hver parameter fra de ulike stasjonene, gir datasettet et godt grunnlag for å vurdere vannforekomsten og tolke målingene. Dataene gir også et bilde av variasjoner i de målte parameterne. Dataene viser tydelig at det er enkelte utfordringer som bør følges opp videre. De undersøkte parameterne gir et godt grunnlag for å klassifisere Langavatn og tilhørende vannforekomster som moderat kalkrike og humøse (se Vedleggsfigur 1 bakerst i rapporten). Verken Langavatn eller Træsvatn er forsuret, men Træsvatn som ligger noe høyere enn Langavatn og over marin grense har lavere kalkinnhold og lavere pH. På grunn av det lave kalkinnholdet og høye humusinnholdet vil den eksisterende pH i Træsvatn falle innenfor tilstandsklasse 1 - svært god (Veileder 02:2013).

Analyser av perfluoreerte forbindelser, deriblant PFOS, viser store variasjoner mellom de ulike stasjonene i området. Konsentrasjonene 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. Ved å lokalisere avrenningspunkter med de høyeste konsentrasjonene kan det være mulig å begrense spredningen av PFOS og andre PFC til miljøet ved å sette inn PFC-filtre, som det har vært gjort i Steinfjelltjern. Tidligere er det påvist PFOS i albusnegl i Lindevika. Albusnegl er en organisme som har vært brukt av Uni Research til overvåkning i flere industrielle områder, og som egner seg godt på grunn av sneglens stedfasthet og lange liv (Haave 2013, Haave 2014, Haave m.fl. 2015, Haave og Johansen, 2013). Overvåkning av albusnegl i Lindevika vil derfor kunne være et godt alternativ for å evaluere tilstanden og effekten av eventuelle tiltak.

Enkelte tungmetaller i området er forhøyet og vil trenge oppfølging, både med tanke på kilder og effekter. Bly er antatt å stamme fra blyhagl etter leirdueskyting i Træsvatn-området, 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 fare ved menneskelig inntak av fisken. Ettersom dette er et stort område med en myr, vil det kunne være svært vanskelig å rydde opp. Undersøkelser av blykonsentrasjoner i fisken i Træsvatn og Langavatn er tilrådelig, og brukere av området bør inntil videre advares mot å spise fisken. Med tanke på prioriterte metaller, er bly et prioritert og toksisk metall som ikke skal slippes ut i miljøet. Sannsynligvis skyldes innholdet blyhagl i Træsvatn området, og dette er utenfor Bergen Lufthavns ansvarsområde. Et pålegg om opprydning kan derfor ikke ilegges Avinor. Fylkesmannens miljøvernnavdeling er informert om tilstanden.

Innholdet av særlig kobber, men også krom og nikkel er forhøyet nedenfor flystripen, noe som antyder at flystripen eller flyene kan være en kilde til disse metallene. Kobber er til stede i konsentrasjoner i vannet som er over tilstandsklasse V, svært dårlig, med fare for toksiske effekter i vannlevende organismer. Det er viktig å finne konsentrasjoner i fisken, samt evt toksiske effekter. Videre bør det prioriteres å finne kilden til kobberet. Flyenes bremsesystemer har tidligere vært foreslått som en mulig kilde.

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. Innholdet av andre prioriterte metaller, som kvikksølv, er lavt, og gir ikke grunnlag for oppfølging.

Basert på analysemetoden og variasjoner i konsentrasjoner mellom oppsluttet og filtrert metode, vil det være av interesse å bedømme den biotilgjengelige andelen metaller i vannet ved bruk av passive prøvetakere (DGT). For å fastslå mer representative konsentrasjoner over tid ville det også være mulig å benytte passive prøvetakere. Disse gir et tidsvektet gjennomsnitt over perioden prøvetakeren står ute. Et tidsvektet gjennomsnitt medfører at ekstreme variasjoner over kort tid, som følge av for eksempel nedbør eller tørke, vil få mindre innvirkning på resultatet. Passive prøvetakere 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).

I tillegg vil det være av betydning at prøvene tas standardisert, og på samme periode hvert år. På den måten kan man minimere variasjon som følge av frost, tørke eller store nedbørsmengder.

Det kan være grunnlag for å følge opp et begrenset utvalg stoffer som har vist forhøyede verdier, eller der det finnes utslippskilder ved lufthavnen. Langsiktig oppfølging av et bredere spekter stoffer kan også utføres for eksempel hvert fjerde år, for å overvåke eventuelle endringer og påse at de lave verdiene av disse stoffene ikke endrer seg på grunn av driften av flyplassen.

På bakgrunn av denne rapporten vil vi anbefale at perfluorerte forbindelser undersøkes nærmere med tanke på områder med spesielt høye verdier. Dersom Steinfjelltjern fortsatt benyttes som drikkevannskilde, må overvåkingen fortsette også her. Med tanke på avrenning fra grunnen i områder med kjente kilder kan jordprøver og/eller vannprøver tas systematisk for å kartlegge gradienter ut fra forventet kilde, for på den måten å snevre inn feltet for nødvendige tiltak. Alternativt kan sette inn filter for PFC i bekker og elver som renner ut fra BØF1 og BØF2 uten flere forhåndsmålinger, og deretter overvåke endringer i miljøet på sikt nedstrøms for elvene. Det vil da være gunstig å bruke albusnegl i Lindevika som indikatororganisme for spredning av PFC til miljøet. Man kan også ta prøver av fisken i Langavatn direkte for å overvåke denne vannforekomsten. Ved fiskeprøver vil fisken representere PFC i hele vannsystemet, da den kan vandre og beite i både Langavatn og tilknyttede elver så fremt det ikke er vandringshindre.

Metaller som er svært forhøyet og som kan stamme fra driften ved Bergen Lufthavn er kobber og krom. De høyeste nivåene finner vi nedstrøms for rullebanen, noe som tyder på avrenning fra flystripes. Her bør nivåene følges opp med kartlegging av kilder, konsentrasjoner av biotilgjengelige ioner i vann, og eventuelt effektstudier. Parallelt med identifisering av kilder, og muligheter for begrensende tiltak kan man benytte passive prøvetakere (DGT) i elvene med de høyeste konsentrasjonene. Er konsentrasjoner av biotilgjengelig kobber høyt vil oppfølging med effektstudier være en mulighet, samt kartlegging av mulige tiltak. Krom foreligger i tre former, to-verdig, treverdig og seksverdig krom ( $\text{Cr}^{II+}$ ,  $\text{Cr}^{III+}$  og  $\text{Cr}^{VI+}$ ). Seksverdig krom er en kreftfremkallende og toksisk forbindelse, og det vil være av interesse å finne ut i hvilken form metallet

foreligger. Ettersom seksverdig krom er en rusthemmer, kan det tenkes at kilden er i flyenes motorer eller bremsesystemer, og at korrosjon etter de-icing kan medføre utslipp av krom når flyene letter eller kjører på rullebanen.

Kilden til sink i Storaveitabekken og Langavatn kan undersøkes ved prøver av eldre jordsmonn mot nyere. Dersom det er dumpet eller gravd ned metall i vannområdet vil dette kunne forårsake de høye verdiene. Ettersom man vet at deponiområdet har vært benyttet til dumping av avfall kan dette være en mulig kilde. Sink forekommer også naturlig i jordsmonnet mange steder.

Metaller der man ikke kjenner til kilder til utslipp ved flyplassen, og der konsentrasjonene har ligget jevnt lavt og under grensene for kronisk og akutt toksiske effekter de siste seks årene kan nedprioriteres for oppfølging. I stedet kan nivåene undersøkes ved standardiserte metoder med jevne mellomrom, for eksempel i en større miljøundersøkelse hvert tredje år i forbindelse med oppfølging av økologiske tilstandsvurderinger. Prøvene bør tas ved de samme stasjonene for sammenlikning, eventuelt fra et noe mindre utvalg stasjoner der hver stasjon representerer ett avrenningsområde. Passive prøvetakere vil da kunne være gode alternativer for å få tidsvektede gjennomsnitt, slik at prøvene viser gjennomsnittskonsentrasjoner for perioden, og ikke blir påvirket av sporadisk høye eller lave nivåer som følge av variasjoner i nedbør eller avrenning.

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.

En oppsummering av råd for fortsettelsen av kjemiske målinger ved Bergen Lufthavn basert på funnene i denne rapporten:

1. Prøver til kjemiske målinger tas ved standardiserte metoder, som tidligere benyttet.
2. Prøver til kjemiske målinger tas på samme periode hvert år og under samme værtype.
3. Benytte passive prøvetakere (DGT) for å få et tidsvektet gjennomsnitt av biotilgjengelig metall. Aktuelle metaller å måle inkluderer aluminium, bly, kobber, krom, nikkel, og sink.
4. Følgende metaller kan nedprioriteres på grunn av gjennomgående lave verdier: Kvikksølv og kadmium. Nedprioriterte stoffer bør følges opp minst hvert tredje år.

En oppsummering av videre studier:

1. Lokalisere punktkilder og avrenningspunkter for PFOS
2. Undersøke nivåer og effekter av tungmetaller i fisk
3. Overvåking av PFC utslipp ved bruk av albusnegl i Lindevika
4. Finne kilde til tungmetallene kobber, krom og sink

## 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.
- MSDS Moussol® <http://www.egenes.as/global/29/MSDS - 308 - MOUSSOL-FF 3x6 - norsk 2010.pdf>
- 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. ) 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.

## TAKK

Takk til kontaktpersoner hos Avinor, Peter Holmkvist og Terje Aarsand. Vi vil takke Avinor for oppdraget og ser frem til videre samarbeid.

## 5. VEDLEGG

Vedleggstabell 1. Konsentrasjoner av aluminium ( $\mu\text{g/l}$ ) ved filtrering versus oppslutning.

Stasjon	( $\mu\text{g/L}$ ) år	Aluminium filtrert			Aluminium oppsluttet		
		Snitt	SD	n	Snitt	SD	n
DN1	2014	35	10	6	290		1
	2015	39		1	93	56	5
	2016			0	70		1
DN2	2015			0	190		1
FE	2010	95		1			0
	2011	101	34	3			0
	2012	114	40	3			0
FEO	2015			0	310	87	3
	2016			0	190		1
GB	2010	270		1			0
	2011	173	76	3			0
	2012	138	35	6			0
	2013	83	36	5			0
	2014	101	33	5	260		1
	2015	59		1	301	271	7
	2016			0	110		1
LB1	2010	13		1			0
	2011	19	16	4			0
	2012	40	24	10			0
	2013	43	14	7			0
	2014	20	5	8	49		1
	2015	21		1	113	149	11
	2016			0	60		1
LB2	2010	75		1			0
	2011	55	16	2			0
	2012	79		1			0
LVB	2015			0	92		1
SVB	2011	153	46	3			0
	2012	127	71	4			0
	2013	103	24	3			0
	2014	94	53	3	2300		1
	2015			0	215	79	4
	2016			0	180		1
LVN	2010	130	28	2			0
	2011	90	51	5			0
	2012	99	36	5			0
	2013	133	21	3			0
	2014	65	22	3			0
	2015	100		1	100	36	3
	2016			0	150		1
LVS	2010	48	15	2			0
	2011	113	16	4			0
	2012	104	37	7			0
	2013	106	60	4			0
	2014	81	38	6	295	247	2
	2015	96		1	200	57	5
	2016			0	160		1
LVØ	2014	86		1			0
TV	2010	260		1			0
	2011	205	64	2			0
	2012	149	72	2			0
	2013	235	7	2			0
	2016			0	220		1

DN=Deponi Nord, FE=fleslandselven, FEO=Fleslandselven Øvre, GB=Gåstjørnsbekken, LB=Lønningsbekken(1og2), LVB=Lindavikabekken, SVB=Storeveitabekken SVB=Storaveitabekken, LVN/LVS/LVØ=Langavatn Nord/Sør/Øst, TV=Træsvatn.



**Vedleggstabell 2. Månedlige konsentrasjoner av metaller i elver (µg/l) analysert ved oppslutningsmetode.**

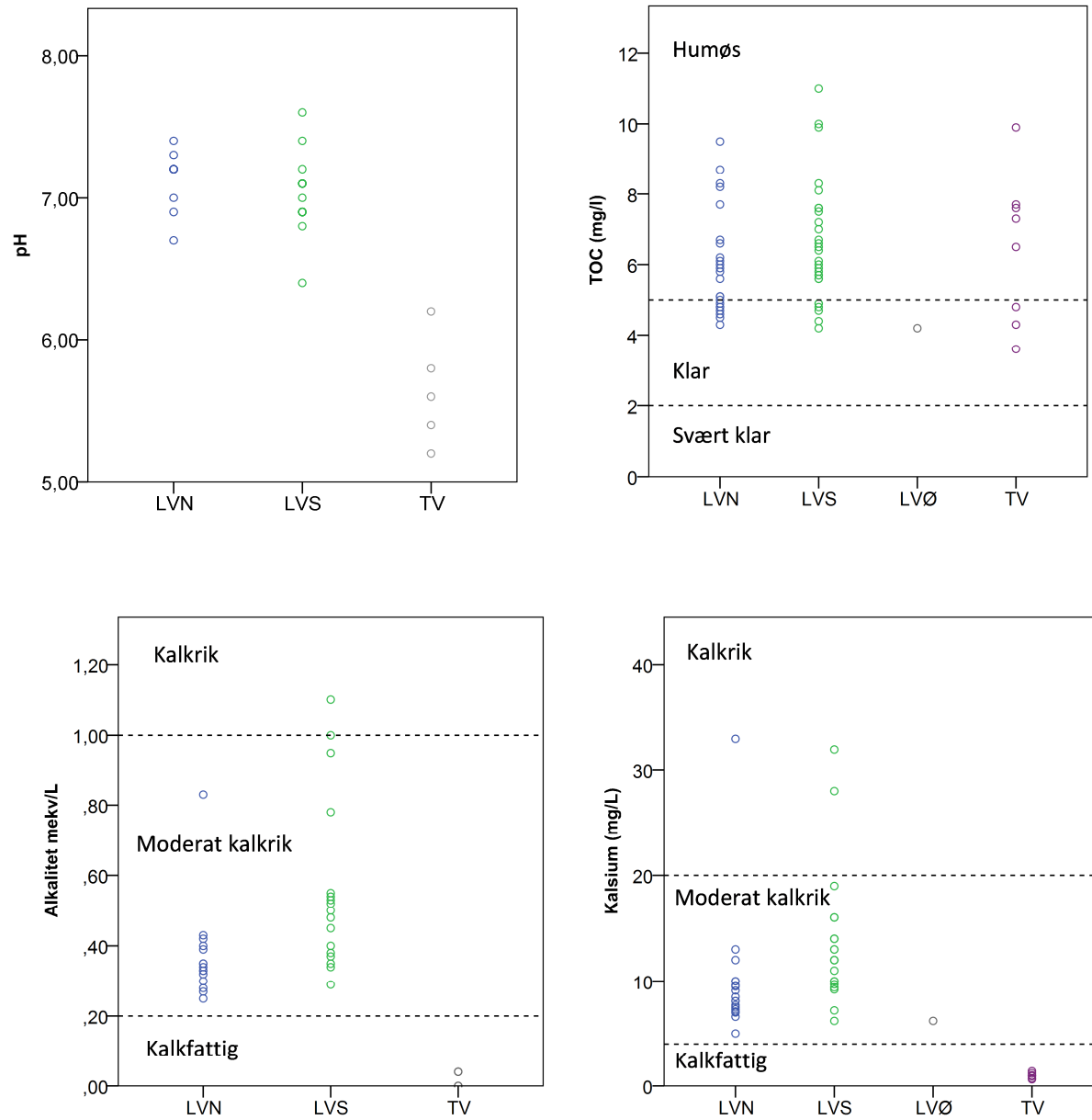
Stasjon	År-mnd	Arsen	Bly	Kadmium	Kobber *	Krom	Kvikksølv	Nikkel	Sink
FEO	2015-11	0,22	0,48	0,014	39,5	1,60	0,006	11,2	9
FEO	2015-12	0,21	0,25	0,020	25,0	1,20	<LOQ	8,2	6
GB	2014-3	0,55	0,36	<LOQ	18,0	0,75	0,019	2,6	3
GB	2015-2	<LOQ	<LOQ	<LOQ	7,4	<LOQ	<LOQ	1,3	<LOQ
GB	2015-3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	14,0	0,75	0,005	1,7	3
GB	2015-4	<LOQ	<LOQ	<LOQ	17,0	0,81	<LOQ	2,7	<LOQ
GB	2015-6	<LOQ	0,41	0,070	14,0	2,70	<LOQ	3,5	3
GB	2015-11	0,39	0,55	0,009	18,0	1,30	<LOQ	3,1	4
GB	2015-12	0,31	0,00	<LOQ	12,0	0,52	<LOQ	1,6	3
LB1	2014-3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	8,9	<LOQ	<LOQ	1,1	<LOQ
LB1	2015-2	<LOQ	<LOQ	0,011	7,6	<LOQ	<LOQ	1,9	<LOQ
LB1	2015-3	0,21	<LOQ	<LOQ	7,9	0,66	<LOQ	1,7	<LOQ
LB1	2015-4	<LOQ	<LOQ	<LOQ	8,7	0,60	<LOQ	2,5	2
LB1	2015-5	0,33	0,28	<LOQ	10,0	2,20	<LOQ	2,8	3
LB1	2015-6	<LOQ	<LOQ	0,018	8,7	0,60	<LOQ	2,9	<LOQ
LB1	2015-7	0,24	<LOQ	0,013	8,5	0,53	<LOQ	1,7	<LOQ
LB1	2015-8	0,21	0,30	<LOQ	7,4	<LOQ	<LOQ	1,3	4
LB1	2015-10	<LOQ	0,42	<LOQ	5,8	<LOQ	<LOQ	3,5	<LOQ
LB1	2015-11	0,27	<LOQ	<LOQ	5,3	0,40	<LOQ	1,2	<LOQ
LB1	2015-12	0,34	<LOQ	0,021	6,0	<LOQ	<LOQ	1,5	<LOQ
LVB	2015-2	<LOQ	<LOQ	0,016	4,2	<LOQ	<LOQ	1,3	3
SVB	2014-3	0,40	5,00	0,018	7,4	1,60	<LOQ	7,3	11
SVB	2015-2	0,00	4,10	<LOQ	3,0	0,00	<LOQ	1,9	13
SVB	2015-4	0,00	5,60	<LOQ	4,8	0,00	<LOQ	3,0	12
SVB	2015-6	0,62	3,50	0,047	4,7	1,00	<LOQ	4,0	8
SVB	2015-11	0,67	10,00	0,022	6,7	0,78	<LOQ	4,1	11

Rød markering viser konsentrasjoner over Maximum Admissible Concentration - EQS, som er satt for å beskytte mot negative effekter av korttids (akutt) periodevise eksponeringer. <LOQ: konsentrasjoner er under kvantifiseringsgrensen. For LOQ per stoff og analyse, se analysebevis. Tomme felt: ikke analysert på det gitte tidspunktet. FEO=Fleslandselven øvre, GB=Gåstjørnsbekken, LB1=Lønningsbekken 1, LVB= Lindavikabekken, SVB=Storaveitabekken.

**Vedleggstabell 3. Månedlige konsentrasjoner av metaller i tjern ( $\mu\text{g/l}$ ) ved oppslutningsmetode. Metoden ble kun utført ved DN-1 og LVS i 2014. Grenseverdi for MAC-EQS er benyttet \***

Stasjon	År-mnd	Arsen	Bly	Kadmium	Kobber	Krom	Kvikksølv	Nikkel	Sink
DN-1	2014-3	<LOQ	<LOQ	0,020	4,8	0,11	<LOQ	1,3	<LOQ
	2015-11	0,48	0,58	<LOQ	4,8	0,73	<LOQ	1,9	4
	2015-12	0,43	<LOQ	<LOQ	4,9	<LOQ	<LOQ	1,5	<LOQ
	2015-4	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,3	<LOQ	<LOQ	1,5	<LOQ
	2015-6	<LOQ	0,30	0,062	2,9	0,57	<LOQ	1,4	<LOQ
	2015-8	<LOQ	0,53	<LOQ	2,5	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
DN-2	2015-11	0,63	0,99	<LOQ	5,0	0,53	<LOQ	2,1	7
LVN	2015-3	<LOQ	0,40	<LOQ	7,5	0,56	<LOQ	2,1	14
	2015-5	<LOQ	0,32	<LOQ	4,5	0,68	<LOQ	2,3	7
	2015-8	<LOQ	0,81	<LOQ	14,0	<LOQ	<LOQ	2,5	19
LVS	2014-3	0,17	1,56	0,009	4,3	0,32	<LOQ	2,2	5
	2015-11	0,35	3,80	0,014	5,2	0,52	<LOQ	2,0	12
	2015-12	0,34	1,20	<LOQ	3,9	<LOQ	<LOQ	1,6	5
	2015-2	<LOQ	1,40	<LOQ	2,8	<LOQ	<LOQ	1,4	9
	2015-3	0,30	3,90	0,013	3,8	0,83	<LOQ	2,0	17
	2015-4	0,23	2,10	<LOQ	5,0	<LOQ	<LOQ	2,4	9

\*Rød markering viser konsentrasjoner over Maximum Admissible Concentration- EQS, som er satt for å beskytte mot negative effekter av korttids (akutt) periodevise eksponeringer. <LOQ: konsentrasjoner er under kvantifiseringsgrensen. For LOQ per stoff og analyse, se analysebevis. DN=Deponi Nord (1 og 2), LVN=Langavatn Nord, LVS=Langavatn Sør.



Vedleggsfigur 1. Klassifisering av vann ved Bergen Lufthavn Flesland i følge målinger av pH, Total organisk karbon (TOC), alkalitet (mekv/L) og Kalsium (mg/L) i perioden 2010-2016. LVN= Langavatn Nord, LVS = Langavatn Sør, LVØ = Langavatn Øst, TV = Træsvatn.