
RAPPORT

AVINOR AS

KRISTIANSAND LUFTHAVN - KJEVIK

UNDERSØKELSER AV PFAS I JORD, VANN OG BIOTA MED RISIKOVURDERING

2015-05-13



Kristiansand lufthavn, Kjevik. Foto: Torstein Liene ATL/LSK

Rapport nr.: 168186-02-A1		Oppdrag nr.: 168186		Dato: 13. mai 2015	
Oppdragsnavn: Perfluorerte og polyfluorerte forbindelser ved Kristiansand Lufthavn					
Kunde: Avinor AS					
KRISTIANSAND LUFTHAVN - KJEVIK UNDERSØKELSER AV PFAS I JORD, VANN OG BIOTA MED RISIKOVURDERING					
Sammendrag: Denne rapporten bygger på tidligere undersøkelser av PFAS-forurensning i jord og vann ved Kristiansand Lufthavn i 2011 og 2012. I tillegg er det presentert nye data fra 2012 til 2014; som er prøver av terrestriske arter samt biota fra ferskvann og fra marint område, supplert med nye vannprøver og vurderinger av spredningsforløp og restmengder av PFAS. Rapporten gjør også en vurdering av risiko knyttet til menneskelig helse, og risiko knyttet til økosystem som følge av PFAS-forurensningen. Øving med brannskum har ført til at det har blitt spredd totalt ca. 95 kg PFOS i perioden 1978 til 2001 og ca. 10 kg PFAS (med hovedvekt fluortelomerer) i perioden 2001 til 2012. En del av dette ligger i masser og grunnvann ved BØF 1 og BØF 2, men en del har også blitt transportert ut i Topdalselva og til Topdalsfjorden ved Kjevik lufthavn. Basert på målinger i jord og vann er det beregnet at det ligger igjen 10-36 kg PFOS ved brannøvingsfeltene i dag. Etter utfasingen av fluorholdig skum i 2005 viser målinger og beregninger at det er igjen en aktiv spredning fra grunnforurensning ved brannøvingsfelt og andre kjente kilder i størrelsesorden 250-300 g kg PFOS pr år. Vannforskriftens grense for god vannkvalitet er beskrevet ved et maksimalt innhold på 9,1 µg PFOS/kg våtvekt i akvatisk biota. Avinors miljømål samsvarer med dette. Konsentrasjonen av PFAS er påvist å overskride denne grensen for både planter og dyr i nærområdet til PFAS forurensingen. Det er og påvist PFAS-konsentrasjoner over denne grensen i individer i fjorden utenfor flyplassen men og på referanselokaliteter. Dette viser at det trolig er flere kilder til PFAS-forurensning i området rundt Kristiansand lufthavn. På bakgrunn av fremlagte analyser presentert i denne rapporten er det i følge Mattilsynet ikke grunnlag for å gi kostholdsråd for ferskvannsfisk eller sjømat på grunn av innhold av PFAS-forbindelser ved Kristiansand lufthavn. Med foreliggende relativt høye konsentrasjoner av PFAS målt i biota i nærområdet til forurensingen, og med utgangpunkt i at det ikke er gjennomført langvarige studier av konsekvenser på individnivå, kan en ikke se bort fra uheldige virkninger på individer. Men, med bakgrunn i gjeldende internasjonal kunnskap om toksiske effekter av PFAS på ulike organismer synes spredning av disse stoffene til tilgrensende økosystem å være beskjeden, og dermed synes risiko for skade på disse økosystemene som følge av PFAS fra Kristiansand lufthavn å være lav.					
Rev.	Dato	Revisjonen gjelder			Sign.
A1	2014-08-08	Utkast med biota			JJE

A2	2014-08-20	Utkast med vann/jord og spredningsvurdering	BB
A3	2015-01-09	Utkast med risikovurdering	JJE
A4	2015-02-11	Korreksjoner jord, vann og spredningsvurderinger	VK
B5	2015-03-12	Endelig utkast til Avinor	JJE
J8	2015-05-13	Endelig versjon	HK
Utarbeidet av: Finn R. Gravem, Halvard Kaasa, Jannike GB Jensen, Bente Breyholtz, Lars Været, Eivind Halvorsen		Sign.: 	
Kontrollert av: Vegard Kvisle/ Norconsult Frode Løset/ Sweco Oppdragsansvarlig / firma: Kim Rudolph-Lund/ Sweco Janicke Garmann/ Norconsult		Sign.:  Sign.:  Oppdragsleder / firma: Halvard Kaasa/ Sweco Vegard Kvisle/ Norconsult	

Forord

Avinor har i sin oppfølging av Miljøprosjektet engasjert eksterne konsulenter til å kartlegge og vurdere virkningene av per- og polyfluorerte forbindelser (PFAS) som er registrert på og rundt brannøvingsfeltene på Avinor sine lufthavner. Disse fluorerte stoffene ble tidligere brukt som bestanddel i brannskum.

For å skaffe oversikt over spredningsveier, samt å få gjort en vurdering av om spredning av disse fluorerte forbindelsene kan ha uheldige virkninger for mennesker og økosystem i nærområdene rundt lufthavnene, er det gjennomført registreringer av disse stoffene i jord, vann og levende organismer (biota). Det utarbeides en resultatrapport for hver lufthavn, med en tilhørende risikovurdering for mennesker og økosystem basert på innhentede data og tilgjengelig litteratur. Forutsetningen tidlig i prosjektet var at Avinor hadde størst fokus på effekt av PFAS på mennesker og innsamling av matbiota. Etter hvert som konsekvensene for økosystemene rundt lufthavnene økte i aktualitet, ble innsamlingen av andre typer biota utvidet.

Arbeidet som presenteres i denne rapporten bygger på data fra vann, jord, sedimenter og biologisk materiale som ble hentet inn i perioden 2011-2014. Rapporten er utarbeidet i samarbeid mellom Norconsult AS og Sweco Norge AS. Vurderinger av mattrygghet er gjort av Mattilsynet.

Prøver av vann, sedimenter og jord er hentet inn av Sweco, Cowi og Norconsult i samarbeid med Avinors personell ved lufthavnen. Biotaprøvene er samlet inn av Sweco Norge, med bistand fra Petter Dønnestad, grunneier ved Topdalselva og Jarle Ås Hansen, grunneier ved Herefossfjorden. Analysene av biotaprøvene er utført av ALS Laboratory Group Norway AS og NILU i Tromsø. Vann- og jordprøver er analysert av Eurofins. Utarbeidelse av rapporten er gjort av Sweco Norge og Norconsult, ved at Norconsult har hatt ansvar for å sammenstille og vurdere data knyttet til jord og vann, mens Sweco Norge har utarbeidet tekst og figurer knyttet til PFAS i biologisk materiale med risikovurdering i forhold til mennesker og økosystem, og har stått for sluttredigering.

Kontaktpersoner hos Avinor som har bidratt med mye informasjon og nyttige innspill er Bente Wejden, Trine Reistad, Ingvild Helland, Vidar Rosseland og Jarl Øvstedal.

De som har deltatt i utarbeidelse av rapporten er:

Sweco Norge AS:

Halvard Kaasa, Finn Gravem, Jannike Gry B. Jensen

Norconsult:

Vegard Kvisle, Eivind Halvorsen, Lars Været, Bente Breyholtz

Vi takker for oppdraget og godt samarbeid!

Halvard Kaasa, Vegard Kvisle

Mai 2015

Innhold

1	Innledning.....	9
1.1	Bakgrunn og formål.....	9
2	Perfluorerte og polyfluorerte alkylstoffer (PFAS).....	11
2.1	Generelt.....	11
2.2	Egenskaper PFAS.....	12
2.3	Effekter på miljø, mennesker og dyr	13
2.4	Økologiske konsekvenser av PFAS	13
2.5	PFAS i konsumvarer.....	16
3	Miljømål og akseptkriterier PFAS.....	17
3.1	Miljømål	17
3.2	Akseptkriterier i vann og biota	17
4	Metode risikovurdering	18
4.1	Inndeling miljøtilstand biota	18
4.2	Klasseinndeling sedimenter, jord og vann	19
4.3	Spredningsvurdering	20
4.3.1	Innledning	20
4.3.2	Metode for beregning av restmengde PFOS.....	20
4.3.3	Usikkerheter i beregningene	21
4.3.4	Metode for tidsestimat på utlekking av all PFOS fra brannøvingsfelt til resipient. 22	
4.4	Risikovurdering	22
4.5	Vurderinger av økologiske konsekvenser	23
4.5.1	Omregning muskel/lever til hel fisk	24
4.5.1	Bioakkumulering	26
4.6	Vurderinger av matbiota.....	27
5	Områdebeskrivelse.....	29
5.1	Beliggenhet og omgivelser	29
5.2	Naturverdier	31
5.2.1	Terrestre områder.....	31
5.2.2	Ferskvann / brakkvann	32
5.2.3	Marint miljø	33
5.3	Bruk av brannskum, brannøvingsfelt, andre PFAS-lokaliteter	33
5.3.1	Bruk av brannskum.....	33

5.3.2	BØF 3 - aktivt brannøvingsfelt (2008 -)	34
5.3.3	BØF 1 — eldste felt (1978 - 1985).....	34
5.3.4	BØF 2 — gammelt felt (1985 - 2008).....	34
5.3.5	Andre PFAS-lokaliteter	34
5.4	Utførte tiltak	34
6	Undersøkelser	35
6.1	Metodikk for prøvetaking i vann og jord	35
6.2	Jord	35
6.2.1	BØF 3 - aktivt brannøvingsfelt (2008 -)	36
6.2.2	BØF 1 - eldste felt (1978 – 1985).....	36
6.2.3	BØF 2 — gammelt felt (1985 - 2008).....	37
6.3	Sediment	43
6.4	Vann.....	44
6.4.1	Grunnvann.....	44
6.4.2	Overflatevann	52
6.5	Oppsummering jord og vann	65
6.6	Biota	65
6.6.1	Terrestriske arter	66
6.6.2	Ferskvannsarter.....	76
6.6.3	Marine arter	88
6.6.4	Vurdering datagrunnlag biota.....	105
7	Spredningsvurdering	106
7.1	Innledning	106
7.2	BØF-1 –eldste felt (1978 – 1985)	106
7.2.1	Terreng– og strømningsanalyse BØF-1	106
7.2.2	Beregning av mengde PFOS igjen i grunnen på BØF-1.....	108
7.2.3	Tidsestimat på utlekking av PFOS fra BØF-1.....	112
7.2.4	Konklusjon spredningsvurdering BØF-1.....	112
7.3	BØF-2 –gammelt felt (1985 - 2008).....	113
7.3.1	Terreng– og strømningsanalyse BØF-2	113
7.3.2	Beregning av mengde PFOS igjen i grunnen på BØF-2.....	117
7.3.3	Tidsestimat på utlekking av PFOS fra BØF-2.....	120
7.3.4	Konklusjon spredningsvurdering BØF-2.....	121
7.4	BØF-3 aktivt brannøvingsfelt (2008 -).....	122
7.5	Konklusjon spredningskapittel.....	122

8	Risikovurdering	123
8.1	Økosystem og risiko	123
8.1.1	Terrestrisk miljø	123
8.1.2	Ferskvann.....	125
8.1.3	Marint miljø	127
8.2	Matbiota og risiko	128
8.2.1	Mattrygghet.....	129
9	Oppsummering	130
9.1	Restmengder jord/spredning.....	130
9.2	Mattrygghet	130
9.3	Vannkvalitet og vannforskriften	130
9.4	Risiko for økosystem	131
10	Referanser	132

Vedlegg 1 Undersøkte arter

Vedlegg 2 Bakgrunnsteori klasseinndeling PFAS

Vedlegg 3 Ordliste

Vedlegg 4 Oversiktskart jord og vann fra undersøkelsene 2011-2012

- Oversiktskart jord og sediment
- Oversiktskart BØF 1 jord og sediment
- Oversiktskart BØF 2 jord og sediment
- Oversiktskart vann

Vedlegg 5 Oversiktskart biota fra undersøkelser 2012-2014

1 Innledning

De siste årene har en blitt oppmerksom på en gruppe syntetiske fluorerte karbonforbindelser som kan ha uønskede miljøkonsekvenser (Borg, D. and Håkansson, H., 2012). Disse stoffene har lenge vært brukt i mange industriprodukter, som f.eks. til impregnering, slipp-belegg i kokekar og i overflatebehandling. Et av produktene var brannskum som bl.a. ble brukt ved norske lufthavner. I Norge ble bruk av PFOS og PFOS-relaterte forbindelser i brannskum, tekstiler og impregneringsmidler regulert i 2007 gjennom produktforskriftens §§ 2-9, 4-1 og 4-2, samt i begrensningsdirektivet – PFOS (Regjeringen, 2007). Tidligere bruk har ført til at det fremdeles finnes rester av slike forbindelser i grunnen der produkter med denne type forbindelser ble anvendt.

Avinor brukte PFOS-holdig brannskum ved sine lufthavner da dette var lovlig, og før de negative miljøkonsekvensene av PFOS var kjent. Avinor byttet til PFOS-fritt skum i 2001. Mellom 2001 og 2012 ble det benyttet brannskum med andre PFAS enn PFOS, bl.a. 6:2 FTS, mens det i dag brukes et fluorfritt brannslukkingsskum.

Basert på tidligere undersøkelser gjennomført i Avinor sitt miljøprosjekt, har Norconsult og Sweco på oppdrag fra Avinor utført supplerende prøvetaking, kartlegging og risikovurdering av PFAS-forurensningen ved og rundt 18 av lufthavnene, spesielt ved brannøvingsfeltene.

Denne rapporten oppsummerer tidligere og nye PFAS-resultater fra analyser av vann, jord og biota ved Kristiansand lufthavn, Kjevik. Analyseprogrammet omfatter opp til 14 utvalgte PFAS. I rapporten er det brukt en del forkortelser og uttrykk som kan trenge en forklaring. Slik forklaring er gitt som fotnoter og det er utarbeidet en liten ordliste til dette formålet som ligger i vedlegg 3.

1.1 Bakgrunn og formål

Avinors Miljøprosjekt, som startet i 2010, har som formål å utrede miljøstatus og eventuelt gjennomføre tiltak på Avinors lufthavner. Dette for å sikre at de tekniske anleggene på lufthavnene og driften av disse er innenfor vilkår i utslippstillatelsene, og at de oppfyller Forurensningsloven med tilhørende forskrifter. Miljøprosjektet var delt inn i 9 delprosjekter (DP), hvor DP2 omhandlet forurensset grunn. Alle delprosjektene avsluttes innen utgangen av 2015, og miljøarbeidet overføres til driftsorganisasjonen.

Som del av Miljøprosjektets DP2 gjennomførte Cowi AS og Sweco Norge AS kartlegging og risikovurdering (SFT, 1999. Veileder 99:01. Risikovurdering av forurensset grunn) av PFOS-forurensning ved alle Avinors lufthavner i 2011-2012. Rapportene ble levert til Miljødirektoratet i januar 2013. Undersøkelsene påviste PFOS i varierende konsentrasjoner ved nesten alle brannøvingsfelt. Ved flere lufthavner ble det også funnet PFOS i områder der det ikke var forventet. DP2 arbeidene viste også at beregningsverktøyet som er utviklet for veileder 99:01 (SFT, 1999) ikke er godt nok til å bestemme spredning av PFAS fra grunn til resipient.

For å gjøre en utvidet risikovurdering basert på målt eksponering (Trinn 3 – SFT, 1999), ble Sweco Norge og Norconsult engasjert for innhenting av biologisk materiale i 2012 og 2013, samt eventuelt å supplere med vann og jordprøver. Dette som et grunnlag for å identifisere eventuelle behov for tiltak for fjerning av forurensning. Forutsetningen tidlig i prosjektet var at Avinor hadde fokus på effekt av PFAS på mennesker, og følgelig ble det i stor grad gjennomført analyser på fiskekjøtt av konsumfisk og noen arter som kan ha direkte påvirkning for opptaket av PFAS i disse. Etter hvert som vurdering av konsekvens for

økosystemene rundt lufthavnene økte i aktualitet, ble innsamlingen av andre typer biotaprøver utvidet. Prøvematerialet i denne undersøkelsen er likevel preget av hensynet til konsekvens for mennesker.

Kunnskapen om PFOS og PFAS har utviklet seg i løpet av prosjektperioden, og i begynnelsen var det kun fokus på PFOS og PFOA. Det ble derfor bare i begrenset omfang analysert for andre PFAS i starten av prosjektet.

Ved Kristiansand lufthavn er det gjennomført innsamling og analyse av terrestriske prøver rundt de nedlagte BØF-ene, akvatisk prøvemateriale fra en liten vannfylt grøft som renner ut i Topdalselva, Topdalselva og i det marine fjordsystemet, samt fra referansestasjoner både på land, ferskvann og marint. Det er hentet prøver av vegetasjon, pattedyr, mange fiskearter, noen krepsdyrarter, meitemark og marin musling. Vannovervåkingen ble også videreført med et utvalg eksisterende og nye prøvepunkter i 2013 og 2014. Det ble også samlet inn marine sedimenter fra område der biotaprøvene ble hentet. Innsamling av vann- og sedimentprøver ble gjort av COWI og Sweco.

Med bakgrunn i tilgjengelige analysedata og litteratur søker en i rapporten å belyse mulige spredningsveier og å vurdere om PFAS kan ha uheldige virkninger for mennesker og økosystem i nærområdene rundt lufthavnen.

2 Perfluorerte og polyfluorerte alkylstoffer (PFAS)

2.1 Generelt

PFAS (per- og polyfluorerte alkylstoffer) er en stor gruppe organiske, fluorholdige kjemiske forbindelser. Totalt finnes det flere hundre forskjellige stoffer og det utvikles stadig nye. Tabell 2-1 viser et utvalg av de mest vanlige forbindelsene med navn og kjemisk formel. Alle, eller noen av disse forbindelsene, er analysert i biota og eller i vann og jord i de utførte undersøkelsene. Felles for dem er at alle hydrogenatomene (perfluorerte) eller noen av hydrogenatomene (polyfluorerte) i alkylene er byttet ut med fluoratomer. PFAS deles inn i fire hovedgrupper; sulfonater, alkoholer, syrer og sulfonamider. Antall karbonatomer (C) i alkylkjeden er ofte 4 – 12 (C₄ – C₁₂), men også lenger.

Det er godt kjent at to av stoffene, PFOS (perfluoroktylsulfonat) og PFOA (perfluoroktylsyre), kan ha alvorlige helse- og miljøskadelige effekter, at de gjenfinnes overalt i miljøet og at de i liten grad brytes ned, verken biologisk eller kjemisk. Det er forholdsvis liten kunnskap om effektene av de andre stoffene, og både i Norge og utlandet forskes det for å øke forståelsen.

Tabell 2-1. Oversikt over de per- og polyfluorerte alkylforbindelsene som inngår i biota-, vann- og jordanalysene.

PFAS	Navn	Kjemisk formel
PFBA ^{b)}	Perfluorobutanoic acid	CF ₃ (CF ₂) ₂ COOH
PFPeA ^{a)}	Perfluoropentanoic acid	CF ₃ (CF ₂) ₃ COOH
PFHxA ^{a)}	Perfluorohexanoic acid	CF ₃ (CF ₂) ₄ COOH
PFHpA ^{a)}	Perfluoroheptanoic acid	CF ₃ (CF ₂) ₅ COOH
PFOA ^{a)}	Perfluorooctanoic acid	CF ₃ (CF ₂) ₆ COOH
PFNA ^{a)}	Perfluorononaic acid	CF ₃ (CF ₂) ₇ COOH
PFDA ^{a)}	Perfluorodecanoic acid	CF ₃ (CF ₂) ₈ COOH
PFBS ^{a)}	Perfluorobutans sulfonic acid	CF ₃ (CF ₂) ₃ SO ₃ H
PFHxS ^{a)}	Perfluorohexane sulfonic acid	CF ₃ (CF ₂) ₅ SO ₃ H
PFOS ^{a)}	Perfluorooctanesulfonic acid	CF ₃ (CF ₂) ₇ SO ₃ H
FTS-6:2 ^{a)}	6:2 fluortelomer sulfonate	CF ₃ (CF ₂) ₅ CH ₂ CH ₂ HSO ₃
FTS-8:2 ^{a)}	8:2 fluortelomer sulfonate	CF ₃ (CF ₂) ₇ CH ₂ CH ₂ HSO ₃
PFDS ^{c)}	Perfluoro-1-decanesulfonate	CF ₃ (CF ₂) ₉ HSO ₃
PFUnDA ^{c)}	Perfluoroundecanoic acid	CF ₃ (CF ₂) ₉ COOH
PFDoDA ^{c)}	Perfluorododecanoic acid	CF ₃ (CF ₂) ₁₀ COOH

a) Analysert i både biota, vann og jord

b) Analysert kun i vann og jord

c) Analysert kun i biota

PFOS er den mest utbredte av PFAS, og virker å være det endelige sluttproduktet ved nedbryting av flere andre per- og polyfluorerte alkylstoffer (Beach, S. *et al.*, 2006). PFOS er en stabil forbindelse og har en biologisk estimert halveringstid når den opptrer fritt i naturen på 41 år (van Asselt, ED *et al.*, 2011).

PFAS fremstilles syntetisk, og har vært brukt i industri- og forbrukerprodukter siden 1940-tallet. Stoffene har gode overflateegenskaper, og de kan blant annet danne tynne hinner som hindrer spredning av brann og avdamping av flyktige forbindelser. De forbedrer også produktenes vann- og smussavstøtende egenskaper. Stoffene brukes eller har vært brukt blant annet i brannskum, hydraulikkoljer, plantevernmidler, rengjøringsmidler, elektronisk utstyr, teflonbelegg, matemballasje, skismøring, samt i tekstiler og teppe.

Noen av forbindelsene benyttes ofte som hjelpekjemikalier i prosesser for å produsere andre fluorpolymere (f.eks. PFOA og PFNA benyttes for å lage PTFE (Teflon/Gore-Tex)).

Tidligere var PFOS-holdig brannskum den største kilden til utslipp av PFOS i Norge. Foruten PFOS, er det PFOA, 6:2 FTS, PFHxS og PFBS som hovedsakelig assosieres med brannskum. Klif (nå Miljødirektoratet) har utarbeidet en handlingsplan for å redusere forbruket og utslippene av PFAS, og blant annet ble PFOS i brannskum regulert i Norge i 2007 og PFOA i 2014. Avinor faset ut sin bruk av PFOS-holdig brannskum allerede i 2001, og annet PFAS-holdig brannskum i 2012. Avinor har alltid benyttet lovlig skum.

Stoffene kommer først og fremst inn i det akvatiske miljøet via avløpsvann (industri, kloakk, spredt avrenning osv.). Miljødirektoratet pålegger nå de bedriftene som mottar og behandler flytende farlig avfall, å redusere utslippene av perfluorerte miljøgifter (Miljødirektoratet, 2014).

I tiden etter at PFOS ble faset ut av bruk, har bruken og dermed konsentrasjonen av andre PFAS slik som PFBS, PFHxS og PFNA økt. PFOS, PFOA og andre per- og polyfluorerte forbindelser regnes nå som globale miljøgifter. Foreliggende informasjon viser at PFOS-beslektede forbindelser har blitt og blir fjernet fra mange produkter, men at det kan ta ytterligere 5-10 år før tilfredsstillende alternativer er utviklet og tatt i bruk.

Undersøkelser tyder på at bioakkumuleringsevnen og giftigheten av de per- og polyfluorerte forbindelsene øker med økende lengde på alkylkjeden. Med en kjedelengde på 5 karbonatomer eller mindre, virker ikke forbindelsene å være så farlige, men deres persistens (motstand mot nedbrytning av naturlige prosesser) betyr at de vil forbli i miljøet i lang tid.

2.2 Egenskaper PFAS

Det er stor spredning i egenskapene til de ulike PFAS, men generelt er de lite fettløselige, forholdsvis godt løselige i vann, og binder seg særlig til proteiner i organismene. I motsetning til andre halogenerte organiske miljøgifter oppkonsentreres PFAS ikke i fett, men sirkulerer i organismen knyttet til proteiner i blod og lever (KLIF, 2013). Forbindelsene brytes i liten grad ned (metaboliseres), og skilles primært ut fra leveren med galle, og konsentrasjonene i fisk er derfor høyest i blod, lever og galle, mens de i muskelvev er oftest betydelig lavere (Martin *et al.*, 2003).

De fysiokjemiske egenskapene til PFAS er av en slik karakter at deres oppførsel i miljøet hverken er enkel å skjønne eller lett å forutsi med de modeller og forutsetninger som vanligvis benyttes. De store forskjellene i de fysiokjemiske egenskapene (bl.a. vannløselighet, K_{oc}^1 , damptrykk osv.) bidrar til at PFAS ikke kan behandles som en homogen gruppe, spesielt ved vurdering av tiltak. Fordelingen mellom ulike miljømatrikser styres av komplekse interaksjoner mellom matriksens egenskaper (f.eks. ionebytter) og

¹ Fordelingskoeffisienten mellom organisk karbon og vann

stoffenes struktur og molekylære egenskaper. Dette innebærer at enkle modeller for å forutsi fordelingen mellom vann og jord, utlekkingsegenskaper og transport ikke kan benyttes.

Noen viktige egenskaper hos PFOS og PFOA:

- Anion (negativt ladd) i vann og sedimenter
- Overflateaktivt; molekylene har ofte en hydrofob og en lipofob del
- Lavt damptrykk (lite flyktige)
- Kjemisk og termisk stabile
- Høy persistens, dvs. brytes i liten grad ned i vann, sedimenter og jord
- Affinitet til organisk materiale, jord og sedimenter (assosieres til overflater): PFOS > PFOA
- Akkumuleres i næringskjeden
- Bioakkumuleringspotensiale (evnen til å bli lagret i organismer): Høyere for langkjedete PFAS og PFOS > PFOA
- Opptak i organismer av PFAS i akvatisk miljø skjer både direkte via vann og via næringsopptak
- Evnen til å transporteres med grunnvann øker med avtagende karbonkjedelengde.
- Ikke fettløselig og synes å binde seg til proteiner og proteinrike vevstyper (lever og blod)
- Moderat akutt giftighet.

2.3 Effekter på miljø, mennesker og dyr

Virkningsmekanismene til PFAS på mennesker og dyr er det foreløpig liten kunnskap om, men en del av de skadelige effektene er kjent. Eksempelvis virkning på organfunksjoner, endringer av fekunditet (fruktbarhet) og påvirkning på immunforsvar. Overhyppighet av ulike kreftformer knyttes også til høye blodverdier av disse stoffene. Nyere dyrestudier antyder at PFOS er mer toksisk enn EFSA antok i 2008 (EFSA, 2008), i første rekke gjelder det immuntoksisitet (Glynn A. *et al*, 2013; Grandjean, P and Budtz-Jørgensen, E., 2013).

Langkjedete PFAS er en bekymring for barns helse. Studier på forsøksdyr har vist utviklingstoksisitet, inkludert dødelighet for nyfødte. Barns eksponering er større enn hos voksne, dette som følge av økt inntak av mat, vann og luft per kilo kroppsvekt, samt barnespesifikke eksponeringsveier som morsmelk og inntak av ikke-matvarer, og kontakt med gulvet. Studier har vist PFAS i navlestrengsblod og morsmelk, og det er rapportert at barn har høyere nivåer av enkelte PFAS sammenlignet med voksne (EPA, 2009). EFSA (2012) viste at små barn fikk i seg to til tre ganger mer PFAS enn voksne (% TDI).

De forskjellige PFAS viser ulike halveringstider i organismer, og sannsynligvis varierer halveringstidene fra organisme til organisme. I menneske har PFOS og PFOA en halveringstid på omtrent 4 år. Organisasjonen *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)* påpeker imidlertid at kontinuerlig eksponering av disse stoffene vil kunne øke belastningen på kroppen til et nivå som gir uønsket utfall (ATSDR, 2009).

2.4 Økologiske konsekvenser av PFAS

Under er det gitt en beskrivelse av hvor PFAS er påvist i naturen, hvordan de akkumuleres i organismene og oppover i næringskjeden, og i hvilken grad stoffene skilles ut igjen. Det vil også bli gitt noen eksempler på observerte konsekvenser som følge av forsøk der organismene (stort sett enkeltarter, ikke økosystemer) ble eksponert for ulike

konsentrasjoner av ulike PFAS. I litteraturen som er gjennomgått er det imidlertid ikke funnet klare eksempler på negative effekter av PFAS på organismer i naturlige økosystemer.

Første gang det ble uttrykt bekymring for de toksiske effektene av enkelte PFAS var på 1980-tallet, men det var først da det for relativt få år siden ble utviklet mer sensitive analysemetoder, at disse forbindelsene ble påvist i uventede geografiske områder, som i Arktis og nordlige deler av Stillehavet. PFAS ble funnet i mange dyrearter, særlig toppredatorer, og det ble også påvist PFAS i blodprøver (blant annet bundet til proteiner i plasma) fra mennesker over hele verden (Giesy and Kannan, 2001; Kerstner-Wood *et al.*, 2003; Schultz *et al.*, 2003).

I 2004 ble det publisert en rapport i regi av Nordisk Ministerråd (NMR), hvor det ble presentert funn av PFAS i ulike miljøprøver fra seks nordiske land (Norge, Sverige, Danmark, Finland, Færøyene og Island) (Kallenborn *et al.*, 2004). Denne undersøkelsen pekte på at kloakkslam og sigevannsprøver også er viktige kilder til utslipp og spredning av PFAS ut i miljøet. I biota ble de høyeste konsentrasjonene funnet i toppredatorer som grindhval og steinkobbe, og i gjedde, som er en typisk rovfisk.

I Norge overvåker Miljødirektoratet PFAS i biota. Nylig ble det eksempelvis gjennomført en screeningundersøkelse av biota og sedimenter for blant annet PFAS på fastlandet i Norge og på Svalbard (Harju *et al.*, 2013). Prøvepunktene i denne undersøkelsen var spesielt valgt for å kunne eliminere lokale forurensningskilder, og å få innsikt i bakgrunnsdata for de aktuelle forbindelsene, som følge av langtransportert forurensing. Laveste konsentrasjoner ble funnet i abiotiske prøver (jord/vann), mens de høyeste nivåene ble funnet i sellever (85,5 µg/kg vv) og isbjørn (i underkant av 300 µg/L vv (våttvekt) i blodplasma i isbjørn), og i egg fra marine fugler (72,8 µg/kg vv). Av stoffene som ble påvist, viste blant annet PFOS en TMF (Trophic Magnification Factor) høyere enn 1, både for marine økosystem tilknyttet det norske fastland og Svalbard (Harju *et al.*, 2013). Dette innebærer at konsentrasjonen av PFOS økte fra ett nivå i næringskjeden til den neste, f. eks. fra sel til isbjørn.

En annen studie tok for seg økotoksikologiske effekter på meitemark (*Eisenia fetida*) som følge av påvirkningen av tre PFAS (Stubberud, 2006). Meitemarken er en viktig art, fordi den har en nøkkelrolle i det terrestriske økosystemet, både som nedbryter av organisk materiale i jord, og som matkilde for andre dyr som mange fuglearter og enkelte pattedyr som for eksempel grevling. Resultatene i studien viste at PFOS og PFOA var skadelig for meitemarkens reproduksjonsevne når nivået i jorda oversteg henholdsvis 10 og 16 mg/kg (reduisert antall avkom, lav vekt på avkom). BCF (Biokonsentrasjonsfaktor) for PFOS fra jord til meitemark var 2,3. Nivået av PFOS i meitemark var altså 2,3 ganger så høy som i omgivelsene. Dette tyder også på at oppkonsentreringen av PFOS starter på et lavt nivå i næringskjeden. For PFOA var BCF lik 1. Det var altså ingen forskjell i konsentrasjon av PFOA mellom meitemark og dens omgivelser i dette forsøket (Stubberud, 2006). De ulike PFAS blir dermed tatt opp i meitemarken i ulik grad. Generelt synes det som om forbindelser med lange karbonkjeder akkumuleres i større grad enn de med korte kjeder.

Det er også gjort studier av effekten av PFAS på fisk. I ett tilfelle ble umodne regnbueørret gitt fôr som inneholdt tre varianter av perfluorofosfonater (PFPA) og tre varianter av perfluorofosfinater (PFPIA) i 31 dager, etterfulgt av en 32-dagers utskillingsfase. Konsentrasjonen av de ulike forbindelsene i fôret varierte mellom 420 – 533 ng/g fôr (= 420-533 µg/kg vv). Både lever og hel fisk ble analysert regelmessig, samt stoffenes fordeling i blod, lever, hjerte, nyrer og gjeller, etter endt fôringsperiode. Det ble ikke observert noen dødelighet, men fisk som fikk forurenset fôr vokste signifikant dårligere og fikk mindre lever enn fisk som ikke fikk forurenset fôr (Lee *et al.*, 2012). Et annet interessant trekk var at PFAS

viste seg å bli skilt ut av kroppen etter at føringen stoppet. Halveringstiden for utskillelsen av PFAS varierte fra 3 til 43 dager, og tiden det tok å skille ut stoffene økte med antall perfluorerte karbonatomer i molekylet. BMF, biomagnifiseringsfaktoren (forholdet mellom konsentrasjonen av den aktuelle kjemiske forbindelsen i organismen og i maten organismen spiser), var mindre enn 1 for alle forbindelsene. Dette antyder at de studerte stoffene ikke ble oppkonsentrert utover det nivået føret har, når regnbueørreten kun fikk stoffene inn i kroppen gjennom maten den spiste.

I en ny studie gjort ved Universitetet i Oslo i samarbeid med Avinor, ble ungfisk av ørret (*Salmo trutta*) eksponert for vann som inneholdt en blanding av seks PFAS i et gjennomstrømningssystem i 20 dager, fulgt av en periode på 10 uker da fisken kun ble utsatt for rent vann (Johansen *et al.*, 2015). Fisken ble delt i to grupper, der den ene gruppen ble utsatt for «lav» konsentrasjon (5,8 PFOS µg/L) i vannet, mens den andre gruppen av fisk ble eksponert for «høy» konsentrasjon (455 µg PFOS /L).

Resultatene viser at eksempelvis PFOS og PFHxS ble tatt opp i fisken fra vannet, og PFOS i størst grad. Det var dessuten en signifikant akkumulering av PFOS og PFHxS i løpet av de tre ukene eksponeringen varte, for begge stoffene med høy utgangskonsentrasjon i vannet, og for PFHxS med lav utgangskonsentrasjon. Etter ti uker i rent vann hadde konsentrasjonen av PFOS i fisken ikke sunket i motsetning for PFHxS hvor nedgangen var signifikant. Det konkluderes også med at PFOS og PFHxS har et bioakkumuleringspotensial i fisk (Hellstad *et al.*, 2015).

Tilsvarende bioakkumulering og overføring til høyere trofiske nivå er rapportert fra ferskvann i Kina (Xu *et al.*, 2014), og fra et subtropisk næringsnett i Hong Kong (Loi *et al.*, 2011). Multivariate analyser viser at PFAS overføres til høyere trofiske nivå på samme måte som miljøgiftene PCB, DDT og PBDE, på tross av at de akkumuleres på ulikt vis (Haukås *et al.*, 2007).

Det viktigste opptaket av PFAS i næringskjedene med virkning for mennesket skjer når planter og dyr som brukes til menneskemat eksponeres for kontaminert luft, vann eller næring. Prinsipielt kan forurensingen fra et brannøvingsfelt til naturmiljøet spres videre til luft, vann, jord og biota. (Figur 2-1). Disse fire kategoriene er følgelig mottakere eller resipienter av forurensingen, og de står i nær kontakt med hverandre. Eksempelvis vil en meitemark kunne oppta forurensingen fra vann, jord og fra organisk materiale slik som løv fra trær som vokser på den forurensede lokaliteten. Spredningen av forurensingen foregår altså i et tredimensjonalt rom, og forurensningen kan over tid helt eller delvis transporteres bort fra det opprinnelige kildeområdet. Kompleksiteten i et spredningsbilde øker med antall forurensingsbærere.



Figur 2-1. Skjematisk fremstilling av forurensningssituasjonen ved brannøvingsfelt.

2.5 PFAS i konsumvarer

Van Asselt *et al.* (2013) fant at meieriprodukter anses å være den dominerende inntaksveien av PFOS for mennesker, i tillegg til sjømat, drikkevann, kjøtt og støv. Folkehelseinstituttet (Haug, 2012), har via BROFLEX-studien vist at for de fleste mennesker skjer det største opptaket av PFOS/PFOA gjennom maten, og spesielt fisk og skalldyr, men at innemiljø og drikkevann også kan være viktige eksponeringskilder. At viktigste eksponeringskilde for mennesker varierer kan skyldes regionale og lokale forhold.

EFSA²(2012) fant at PFOS i snitt utgjorde 29 % av 27 PFAS som det ble analysert for i et stort antall matvarer. Videre fant de at PFAS forekom hyppigst i fisk og annen sjømat, samt kjøtt og kjøttprodukter, og i noe mindre omfang i frukt og grønnsaker og drikkevann. I denne undersøkelsen var datamaterialet hentet fra 13 europeiske land, deriblant en stor andel fra Norge. Noorlander *et al.* (2011) fant imidlertid at i Nederland stammet 25 % av det totale inntaket av PFOS fra melk/meieriprodukter, mens kjøtt og fisk bidro med henholdsvis 21 % og 9 %. Inntaket av melk, melkeprodukter og kjøtt bør følgelig tas med i betraktningen når en ser på den totale belastningen hos mennesker. Det er sannsynlig at disse bidragene varierer med kostvaner og forutsetninger for lokal matproduksjon. Haug *et al.* (2010) viste at i Norge vil det for de fleste være gjennom maten, spesielt fisk og skalldyr, at vi får i oss mest PFOS og PFOA, men at innemiljø og drikkevann også kan være viktige eksponeringskilder. For små barn er det i tillegg andre kilder som ikke er relatert til mat, men at de krabber på gulvet og spiser på alt mulig. Det synes også relevant å vurdere gravides inntak spesielt.

For å studere opptak i matplanter, som er aktuelle for mennesker, ble fem ulike arter (vårhvet, poteter, mais, havre og flerårig raigrass) dyrket i jord som ble tilsatt PFOA og PFOS i konsentrasjoner fra 0,25 til 50 mg/kg jord. Studien viste at det ble funnet høye konsentrasjoner i den vegetative delen framfor i lagringsorganene (f. eks. i bladene framfor i frøene). Videre ble det funnet at konsentrasjonen i plantene økte med konsentrasjonen av PFAS i jorda. Ved konsentrasjoner fra 10 til 50 mg PFOA og PFOS /kg jord (varierte mellom artene) ble det observert økende effekter som nekrose (lokal celledød og vevsdød), gulfarging og redusert vekst med økende dose (Stahl *et al.*, 2009). Opptaket av PFAS i plantene hadde dermed synlige negative konsekvenser for plantene.

² European Food Safety Authority

3 Miljømål og akseptkriterier PFAS

3.1 Miljømål

Følgende miljømål er vedtatt i Avinors miljøkomité³, og er styrende for vurderingene i disse risikovurderingene:

- 1) PFAS-forurensning som følge av Avinors aktivitet skal håndteres slik at naturlige resipienter og tilgrensende økosystem har god vannkvalitet⁴ og gode livsbetingelser for berørte arter.
- 2) Utlekking og spredning av perfluorerte stoffer fra Avinors aktive og nedlagte brannøvingsfelt skal reduseres over tid sammenlignet med dagens situasjon⁵.

Karakterisering av miljøtilstand som utgangspunkt for miljømål 1 og 2 skal være basert på statistiske verdier og ikke på enkeltobservasjoner. Miljømål 1 legges til grunn for vurderingene av resultatene fra undersøkelsene som presenteres i denne rapporten, og i den grad undersøkelsene har tilstrekkelig omfang legges de til grunn for videre oppfølging av miljømål 2.

3.2 Akseptkriterier i vann og biota

Vannforskriftens grenser for god vannkvalitet i vannforekomster er beskrevet ved 9,1 µg PFOS/kg våtvekt (vv) i akvatisk matbiota (mat for både mennesker og dyr). Vi legger til grunn at rapporten skal ta utgangspunkt i en konservativ vurdering av risiko der 9,1 µg/kg vv PFAS skal brukes som grense for god kvalitet. Dette betyr at det her måles på samlet innhold av de 14 PFAS forbindelsene det analyseres på i biota (Tabell 2-1).

Dokumentasjon av negative effekter som følge av PFAS-innhold i ulike dyrearter viser at mengde PFAS i slike studier ofte er svært mye høyere enn 9,1 µg/kg (se avsnitt 2.4). En velger likevel å bruke denne grenseverdien for arter som er vanlige i de økosystemene som grenser til PFAS-forurensningene på lufthavnene, og det legges til grunn at konsentrasjoner opp til 9,1 µg PFAS/kg vv gir gode livsbetingelser for tilstedeværende arter.

Normen på 9,1 µg/kg vv legges til grunn for biota i akvatisk og terrestrisk miljø i resipientene.

Dersom det er behov for å vurdere vannkvalitet i forhold til drikkevann, benyttes det i denne rapporten svenske retningslinjer (www.slv.se), der Livsmedelverket har anbefalt at akseptverdiene skal baseres på at 10 % av TDI kommer fra drikkevann (Livsmedelsverket, 2014a og 2014b). I disse retningslinjene anbefales det tiltak dersom konsentrasjonen av PFAS overstiger 90 ng/L, og forbud mot å bruke det som drikkevann dersom konsentrasjonene overstiger 350 ng PFAS/L.

Ved fremstilling og vurdering av analyseresultater brukes statistiske verdier der det er grunnlag for det. Dette for å unngå feilkilder som kan oppstå ved å trekke konklusjoner basert på data fra få individer. Der det kun foreligger data fra få individer, presenteres disse med vurdering av representativitet.

³ Vedtatt 2014-09-12

⁴ Målt som EQS_{biota, human helse} = 9,1 µg PFOS/kg våtvekt

⁵ 2014

4 Metode risikovurdering

4.1 Inndeling miljøtilstand biota

Det er hensiktsmessig med en inndeling av PFAS-innhold i biota for å presentere funn med ulikt innhold, samt å antyde potensiell risiko. Det benyttes en 4-delt skala med fargekode (Tabell 4-1). Se ellers vedlegg 2 for bakgrunnsinformasjon. TDI⁶ er verdien for livslangt tolererbart daglig inntak (μg stoff/kg kroppsvekt/dag) av et spesifikt stoff. TDI-verdien bestemmes normalt på bakgrunn av studier med fugl eller pattedyr som utsettes for kronisk belastning av det aktuelle stoffet, og observasjoner av når skadelig påvirkning på organismene inntreffer, inkludert en sikkerhetsfaktor (Klif, 2012).

Når det gjelder PFOS, sier EUs vanndirektiv at et bidrag på inntil 10 % av TDI fra en kilde (her sjømat) defineres som god økologisk tilstand, da det antas at mennesker får i seg PFAS også fra andre kilder enn sjømat (f.eks. meieriprodukter, støv, drikkevann osv.) (Klif, 2012). Mattilsynet har tidligere gjennomført vurderinger av risiko for human helse knyttet til konsum av fisk fra resipienter ved fem av Avinors lufthavner (Mattilsynet, 2013). I Mattilsynets grunnlag for vurderinger sies det «Det er også antatt at fisk og sjømat står for det alt vesentlige opptaket av PFOS til kroppen».

I vurderingene av konsekvensene for miljø og for human helse legges i denne rapporten «føre var»-prinsippet til grunn på den måten at TDI-verdien for PFOS overføres til å gjelde for summen av funn av de 14 PFAS som inngår i biotaanalysene. Ved statistisk behandling av resultater, regnes resultater under deteksjonsgrensen (<LOD) som null.

Dagens kunnskap tilsier at mange av forbindelsene som tilhører gruppen PFAS er mindre miljøfarlige enn PFOS, og at en ved å bruke summen av PFAS i kategoriseringen trolig overestimerer miljøvirkningene og dermed tilstandskategori. Resultater der det ikke er gjort funn over deteksjonsgrensen regnes imidlertid som nullverdi, og dette gir sannsynligvis en underestimering av tilstand. Videre foreligger det en usikkerhet vedrørende eventuelle «cocktail-effekter»⁷ av ulike PFAS, og også i kombinasjon med eventuelle andre miljøgifter. Det foreligger svært lite forskning rundt dette, men den generelle utviklingen for klassifisering av miljøgifter i samfunnet er at de ofte anses som mer farlige etter hvert som kunnskapsnivået øker, slik at anbefalt TDI reduseres med tiden. En dokumentasjon av dette ligger i artikkelen til Grandjean og Budtz-Jørgensen (2013) der det hevdes at nåværende grense for drikkevann er flere hundre ganger for høy i forhold til effekter på immunsystemet hos mennesker.

Kategoriinndelingen i Tabell 4-1 er basert på TDI i forhold til human helse ved konsum (TDI = livslangt tolererbart daglig inntak av stoffet), og reflekterer delvis risikoen for økosystemene. EUs grense for god miljøtilstand er $9,1 \mu\text{g}$ PFOS /kg biota vv. Grense for dårlig miljøtilstand (Kategori IV i Tabell 4-1) er basert på at 100 % av TDI for en person på 70 kg og er $91,3 \mu\text{g}$ PFOS/dag resten av livet (EFSA). I denne rapporten er grenseverdien den samme men gjelder sum PFAS.

⁶ TDI - livslangt tolererbart daglig inntak av stoffet (μg stoff/kg kroppsvekt/dag)

⁷ kombinasjonseffekter ved påvirkning av flere ulike kjemiske stoffer samtidig

Tabell 4-1. Kategorisering av innhold av PFAS i biota med tanke på risiko for human helse og økosystem.

	Kategori I – Bakgrunn/ikke påvist	Kategori II – God miljøtilstand	Kategori III – Moderat miljøtilstand	Kategori IV – Dårlig miljøtilstand
PFAS, µg/kg biota vv	< LOD ⁸	LOD – 9,1 ⁹	9,1 – 91,3	> 91,3

4.2 Klasseinndeling sedimenter, jord og vann

Det er innholdet av PFAS i biota som er styrende for miljørisikovurderingen, og om resipienten er regnet for å ha god tilstand. For enklere å få en oversikt er det hensiktsmessig også med en kategorisering av innholdet av PFAS i sedimenter, jord og vann. Dette gjør det i tillegg enklere å kunne sammenligne ulike områder ved lufthavnen og mellom lufthavner.

For kategoriseringen av sedimenter, jord og vann, er klasseinndelingen av PFOS som er utarbeidet i Miljødirektoratets rapport TA-3001 «Utkast til bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitets-standarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota» (Klif, 2012) benyttet som et utgangspunkt. Da flere av grenseverdiene i klasse I og II er lavere enn rapporteringsgrensen for PFAS ved kommersielle laboratorier (5-10 ng/L) og dermed uoppnåelige, er det valgt å benytte kvantifiseringsgrensen som praktiske laveste grense i klasse II (Tabell 4-2). Se vedlegg 2 for bakgrunnsinformasjon og forklaring.

Selv om PFOS i dag anses som den mest miljøfarlige av PFAS, er klassifiseringen av summen av alle de analyserte PFAS presentert og vurdert for både vann- og jordprøvene etter kriteriene for PFOS, dette i henhold til føre-var-prinsippet.

Tabell 4-2. Kategorisering av innhold av PFAS i vann (ng/L) og sediment (µg/kg TS).

	Klasse I – Bakgrunn	Klasse II – Under kvantifiseringsgrense	Klasse III – Moderat	Klasse IV – Dårlig	Klasse V – Svært dårlig
Sjøvann, ng/L	0	< LOQ ¹⁰	LOQ – 23	23 – 7 200	> 7 200
Ferskvann, ng/L	0	< LOQ	LOQ – 230	230 – 36 000	> 36 000
Grunnvann, ng/L	0	< LOQ	LOQ – 230	230 – 36 000	> 36 000
Drikkevann, ng/L	0	< LOQ	LOQ – 90	90 – 350	> 350
Sediment kyst/ ferskvann, µg/kg TS	0	< LOQ	LOQ – 63	63 – 6 300	> 6 300

For PFOS i jord har Miljødirektoratet utarbeidet en normverdi på 100 µg/kg TS¹¹, og grensen for farlig avfall er 5000 mg/kg. Siden det ikke eksisterer helsebaserte tilstandsklasser for PFOS i jord, benyttes en inndeling utarbeidet av Aquateam for Avinor (Aquateam, 2011). Laveste klasse i denne inndelingen tilsvarer normverdien. Selv om denne klasseinndelingen var ment kun for PFOS, sammenlignes grensene med de analyserte PFAS. Dette er vist i Tabell 4-3.

⁸ LOD – Limit of detection (deteksjonsgrensen for de enkelte stoffene). LOD = verdi for blankprøve + 3*std.avvik

⁹ Funn over deteksjonsgrensen, opp til 9,1 µg/kg våtvekt

¹⁰ LOQ – kvantifiseringsgrense. LOQ = verdi for blankprøve + 10*std.avvik

¹¹ TS - tørrstoff

Tabell 4-3. Klassifisering av jord utviklet av Aquateam 2011, normverdi gitt i forurensningsforskriften.

	Klasse I - Bakgrunn	Klasse II - God	Klasse III - Moderat	Klasse V – Svært dårlig
Jord, µg/kg TS	< 100 µg/kg	100 - 250	250 - 6700	> 6700

Det må bemerkes at antall PFAS i analysepakkene for både vann og jord ble utvidet i løpet av prosjektperioden (2010-2014). Antall PFAS i resultatene kan derfor være noe ulike, avhengig av analysedato. Detaljene fremkommer i resultatkapitlet.

4.3 Spredningsvurdering

4.3.1 Innledning

Det gjøres en spredningsvurdering for hvert brannøvingsfelt. Topografi, vannbalanse, grunnvannsforhold, menneskeskapte dreneringsveier og generelle grunnforhold vurderes for å finne sannsynlige dreneringsveier fra kildeområdet (brannøvingsfeltet) til resipient. Disse dreneringsveiene kan være bekk, grunnvann, grøfter og lignende.

Hensikten med spredningsvurderingen er å skaffe et godt grunnlag for å vurdere belastning av resipient og eventuelle tiltak. Spredningsvurderingen søker å gi svar eller estimerer på: Restmengde PFOS på brannøvingsfeltene, transportert mengde PFOS til resipient per år, hvor lang tid det vil ta før all PFOS har drenert til resipient og omfang av spredningssone. I tillegg sammenlignes estimatet på restmengden av PFOS mot mengde PFOS totalt brukt på feltet gjennom årene.

Det estimeres hvor mye PFOS og PFAS som er brukt totalt på brannøvingsfeltene. Metodikk for estimeringen er beskrevet i avsnitt 5.3.

4.3.2 Metode for beregning av restmengde PFOS

Restmengden PFOS er basert på analyseresultater fra jordprøver som ble tatt ut i 2011. Enkelte av disse kan være analysert i 2014 for å få en bedre avgrensning av forurensningen. I hvert prøvepunkt beregnes en gjennomsnittlig konsentrasjon basert på målte PFOS-konsentrasjoner vertikalt i jordprofilet i punktet. Gjennomsnittlig PFOS-konsentrasjon i punktet blir deretter interpolert med metoden "natural neighbour" i programvaren Surfer. Fra interpoleringsresultatet beregnes gjennomsnittskonsentrasjonen for hele feltet (µg/kg).

Beregning av restmengde PFOS kommer frem slik:

- 1) Beregn volum (m^3) til massene ved å multiplisere areal forurensset område (m^2) med mektighet forurensede masser (m). Usikkerhet på areal og mektighet settes etter faglig skjønn.
- 2) Beregn vekt (kg) til massene ved å multiplisere massenes volum (m^3) med massenes tetthet (kg/m^3). Usikkerhet på massenes volum kommer fra pkt.1. Usikkerhet på massenes tetthet settes etter faglig skjønn.
- 3) Beregn vekt (kg) PFOS ved å multiplisere vekt (kg) forurensede masser med gjennomsnittlig interpolert PFOS-konsentrasjon i massene ($\mu g/kg$). Usikkerheten er basert på usikkerheten til punkt 2.

Forplantningsusikkerheter beregnes generelt etter denne formelen:

$$\frac{dz}{z} = \sqrt{\left(\frac{dx}{x}\right)^2 + \left(\frac{dy}{y}\right)^2}$$

Der x og y er faktorer i summen z.

4.3.3 Usikkerheter i beregningene

Beregningene av restmengde PFOS på brannøvingsfeltene og tiden det vil ta før all PFOS har lekket ut inneholder usikkerheter. Restmengden av PFOS blir angitt som et intervall for å synliggjøre usikkerheten.

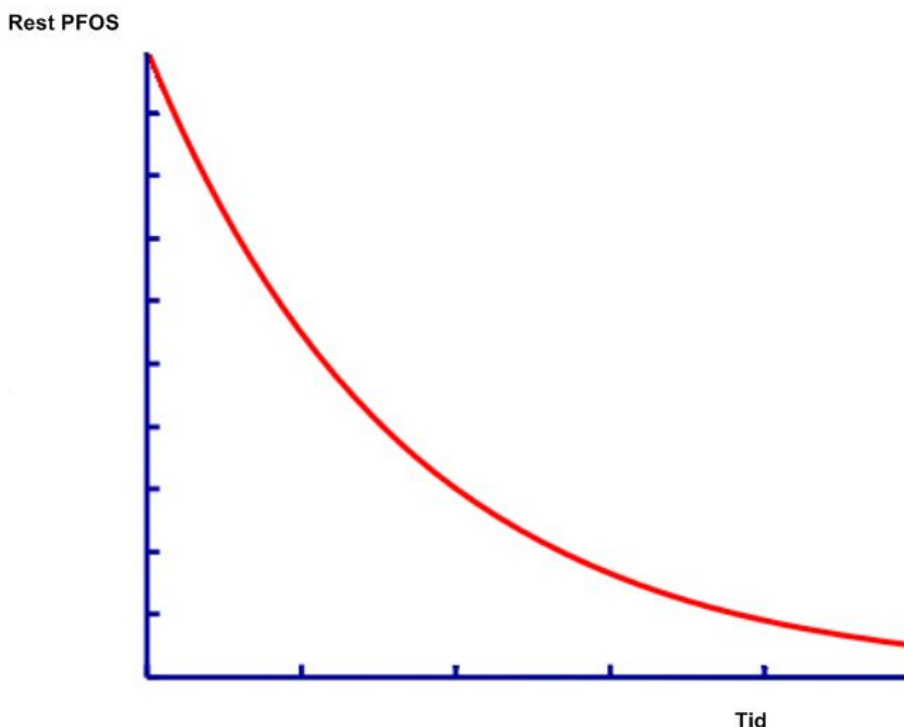
Tettheten til massene vil variere med mengden mineralsk eller organisk materiale i jordprofilen. Denne tettheten vil ha direkte innvirkning på estimatet på restmengde av PFOS på brannøvingsfeltene. God avgrensning av forurensset område horisontalt og vertikalt forutsetter en viss prøvetetthet og god plassering av prøvelokaliteter.

Restmengden av PFOS beregnes for selve brannøvingsfeltet og områder hvor det er sannsynlig at sprut fra brannskum kan ha landet på bakken (kildeområdet). Hvis det prøvetatte området ikke er godt avgrenset blir usikkerheten i estimatet større (usikkerheten blir da satt skjønnsmessig). I tillegg kan det være PFOS i massene i spredningsområdet (transportert via f.eks. bekk, grøft, grunnvann og markvann). Denne mengden PFOS antas å være mindre enn mengden igjen på feltet, men er ikke tatt med i beregningen.

Det er utfordrende å få representative vannprøver. Vannprøvene er tatt som stikkprøver og vil ha varierende konsentrasjon av PFOS bl.a etter værforhold, grunnvannsnivå, flo/fjære og prøvetakingsmetode. Det er sannsynlig at det lekker ut mest PFOS når det er mye nedbør eller snøsmelting, eller ved fysiske inngrep. Dette trenger ikke gi utslag på konsentrasjon i vannet da det vil være en større fortynning.

Vannbalansen i området kan være påvirket av drenering og grøfting som ikke er kartlagt. Vannmengden som drenerer fra brannøvingsfeltene vil ha direkte innvirkning på tidsestimatet på hvor lang tid det tar før all PFOS har lekket ut.

Tidsestimatet for hvor lang tid det tar før all gjenværende PFOS er lekket ut, har som forutsetning at det lekker ut like mye PFOS hvert år. Dette vil være en feilkilde da det vil lekke ut mindre PFOS etter som det blir mindre PFOS igjen på feltet (Figur 4-1).



Figur 4-1. Kurve som viser forholdet mellom rest PFOS og tid før all PFOS har lekket ut. Etter hvert som gjenværende mengde PFOS blir mindre, vil det også lekke ut mindre. Dette fører til at det tar lang tid før den siste resten blir borte.

4.3.4 Metode for tidsestimat på utlekking av all PFOS fra brannøvingsfelt til resipient

Det estimeres mengde PFOS som transporteres fra et brannøvingsfelt ved å se på vannanalyser fra et eller flere representative prøvepunkt som f.eks. utløpet av en bekk. Dette forutsetter at bekken drenerer hele området som feltet ligger innenfor. Finnes det ikke en bekk som drenerer hele området blir det brukt prøvesvar fra grunnvannsbrønner og prøver fra overflatevann i kombinasjon for å beregne mengden PFOS som transporteres ut fra området (g/år).

Konsentrasjonen av PFOS funnet i representative prøvepunkt (ng/L) blir multiplisert med et estimat av vannføringen oppstrøms prøvepunkt(ene) (L). Estimert vannføring blir utledet fra midlere avrenning per år og nedbørsfeltets størrelse. Nedbørsfeltet utledes fra topografi (terrengmodell med oppløsning på 10m*10m, Statens kartverk) og informasjon om menneskeskapte dreneringsveier som grøfter og lignende. Grunnvannets dreneringsretning vil som regel bestemmes av topografien.

Estimert tid før all PFOS har lekket ut i resipient, beregnes ved å dele restmengden PFOS (kg) med estimert mengde PFOS som transporteres ut fra området per år (g/år).

4.4 Risikovurdering

Ved rapporteringen i 2012/2013 utførte Sweco AS og Cowi AS miljøtekniske grunnundersøkelser og risikovurdering trinn 2 og til dels trinn 3 av PFOS i jord og vann i henhold til Miljødirektoratets risikovurderingsverktøy for menneskelig helse (SFT, 1999). Det ble benyttet målte konsentrasjoner der dette var tilgjengelig. Ved sammenligning av

beregnete og målte konsentrasjoner i vann, ble det tydelig at det var store usikkerheter i modellen, og at det til dels var svært dårlig samsvar mellom målte og beregnede konsentrasjoner. Denne risikovurderingen baseres derfor på målte konsentrasjoner. Dersom det foreligger data fra sedimenter tas også disse med i vurderingene sammen med nye resultater fra levende biota som er hentet inn fra forurensede arealer og fra resipientene/tilgrensende økosystemer.

Risikovurderingen ser på spredningsfare og risiko for forurensing av naturmiljø, samt risiko for økosystemer og menneskelig helse.

Vannprøver er tatt som stikkprøver og er antatt å være utsatt for ytre påvirkning (strømningsforhold, nedbør, flo/fjære mm.), og representerer derfor i større grad et øyeblikksbilde sammenlignet med prøver av biota. Det er derfor valgt at observasjoner fra biotaundersøkelsene skal være styrende for vurdering av risiko for økosystemer (og delvis human helse), og for videre vurdering av eventuelle behov for tiltak. Kunnskap om lokale forhold som gjelder vannhusholdning, hvordan lokale arter av planter og dyr brukes som menneskemat, kjennskap til lokale økosystem samt vurdering av spredning og konsentrasjoner i jord og vann skal brukes som støtteparametere i risikovurdering av økosystemene.

Som følge av dynamiske prosesser i luft, jord og vann kan forurensning spres geografisk. Det er derfor viktig i vurdering av miljøkonsekvenser og av risiko at det er kunnskap om hvor den aktuelle forurensningen befinner seg. Resipientene i denne sammenheng kan prinsipielt være jord, vann, luft og biota. Ved gjennomgang av risiko vurderes forurensningens effekt på lokale organismer, og om eventuell forurensning i levende organismer kan gi virkninger på tilgrensende økosystemer. Altså at biota kan bidra til spredning av forurensningen.

4.5 Vurderinger av økologiske konsekvenser

Økologiske konsekvenser av PFAS kan uttrykkes som endringer, skader eller ulemper som påvirker planter og dyr på en slik måte at virkningene opptre utover individnivå, eksempelvis på lokal populasjon, på art, eller også på styrkeforholdet mellom arter. Fremmedstoffer kan påvirke naturlige prosesser og dermed utviklingsforløp for arter og artsgrupperinger i ulike trofiske nivå. Eksempel kan være endringer av livslengde, fruktbarhet, vekst, genetikk, konkurranseevne, og adferd m.fl.

Vannkvaliteten kan ha betydning for opptak av PFAS i biota. Eksempelvis synes økt salinitet i vann å gi økt akkumulering av PFAS i muslinger (østers) (Jeon, J. *et al.*, 2010). Sterke syrer påvirker også vanligvis vannkvaliteten i ferskvann. En kan stille spørsmål ved om dette kan være medvirkende årsak til at det er funnet anrikning av PFOS på gjeller hos fisk. Svar på noen av disse spørsmålene kan bidra til å finne ut om eventuelle tiltak skal tilpasses lokalitetenes miljøforutsetninger for å redusere eventuell risiko.

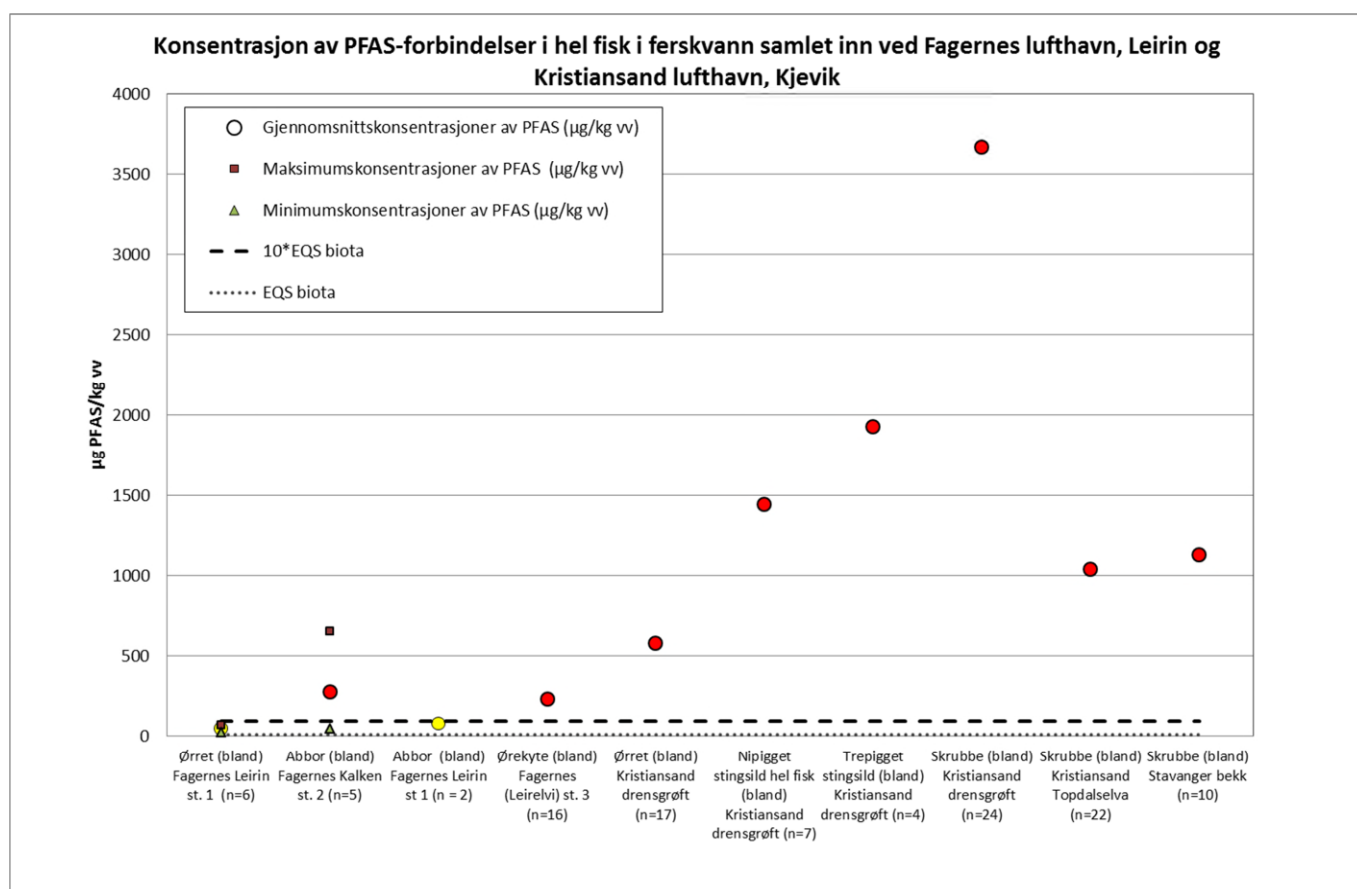
Basert på analysert materiale (analyseresultater, variasjoner, trofiske nivåer som er undersøkt ol.), sårbarheten for de omkringliggende økosystemene (f.eks. hekkeområde, naturreservat osv.), samt kjennskapet til de lokale økosystemene, gjøres det en faglig risikovurdering for eventuelle økologiske konsekvenser.

Det er rimelig å anta at effekter som vises i fysiologi, fruktbarhet, svekket motstandskraft, endret livslengde, vekst, genetikk, konkurranseevne og adferd hos individer kan lede til økologiske konsekvenser. Det er og rimelig å anta at persistente stoff som skilles dårlig ut fra organismer kan akkumuleres oppover i næringskjeden, og at predatorer kan være utsatt for

risiko når byttedyr har innhold av disse stoffene (eks. PFOS, PFOA og andre PFAS). Studier som er gjennomført på ulike arter, viser at det må være forholdsvis høye konsentrasjoner av PFAS i vann/mat/omgivelser før det observeres effekter på organismene. Dette kan tyde på at økosystemene kan være relativt robuste overfor akutt/kortvarig eksponering. Imidlertid sier dette lite om kroniske effekter og påvirkninger på arter og økosystemer.

4.5.1 Omregning muskel/lever til hel fisk

Analyseresultatene fra hele individer av fisk benyttes til å vurdere forurensingens påvirkning på økosystemet, der det er mulig. Alle artene som er analysert er fanget i ferskvann. Disse artene er ørret, abbor, ørekyte, trepigget og nipigget stingsild, og skrubbe fanget ved ulike lufthavner (se Figur 4-2).



Figur 4-2. Gjennomsnittlig konsentrasjon av PFAS (µg/kg våtvekt), maksimum og minimumskonsentrasjoner i hel fisk fanget i ferskvann ved Fagernes, Kristiansand og Stavanger lufthavn i 2013. Gule sirkler angir konsentrasjoner mellom 9,1 og 91 µg/kg vv og røde sirkler angir konsentrasjoner > 91,3 µg/kg vv.

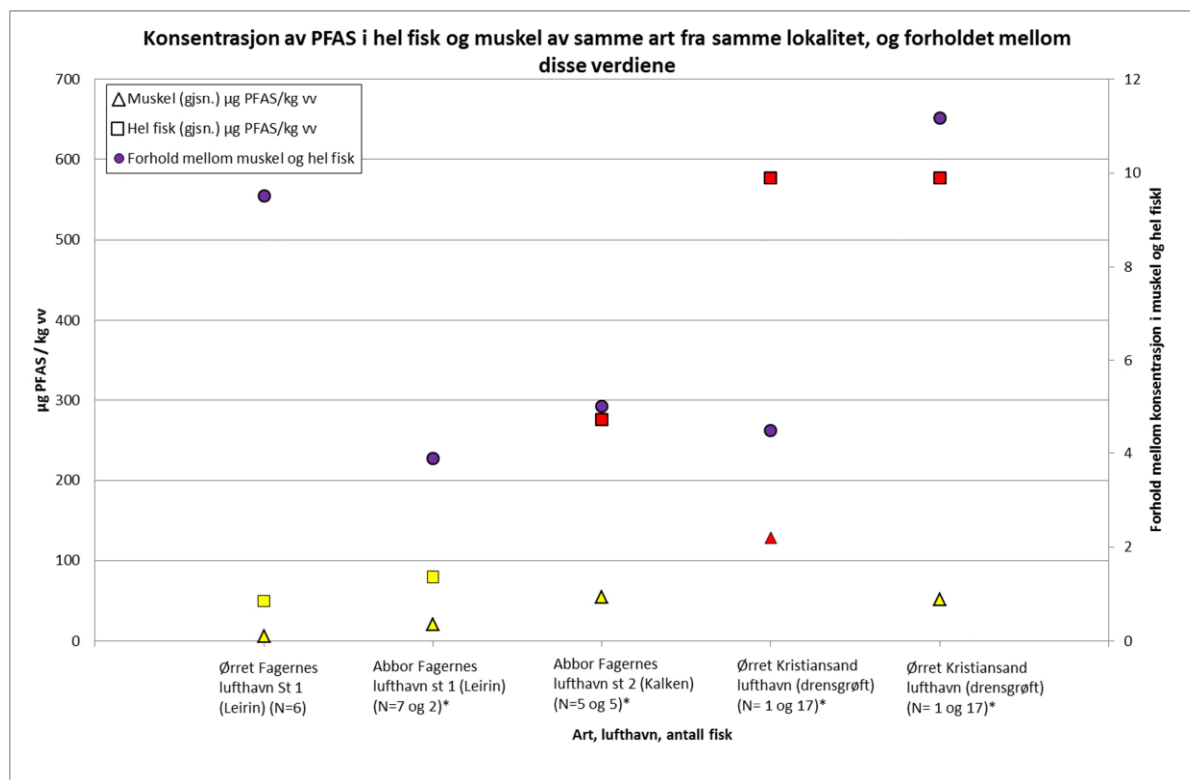
Fordi det foreligger få analyseresultater av hel fisk har vi sett på forholdet mellom konsentrasjonen av PFAS i muskelprøver og i hel fisk fra samme lokalitet der det finnes. Hensikten har vært å finne en omregningsfaktor som kan benyttes ved andre lokaliteter, der data for hel fisk mangler.

Fra innsjøen Lerin ved Fagernes lufthavn ble det analysert på muskelprøver fra 6 ørret før resten av fisken ble analysert. Gjennomsnitt-, maksimums, minimumskonsentrasjonene for muskelprøvene for ørret var 6,2, 18,0, 2,5 µg/kg vv (Gravem *et al.*, in prep.). Minimumskonsentrasjonen er satt til 2,5 µg/kg vv, som er halvparten av deteksjonsgrensen på 5 µg/kg vv, og som ble funnet hos to fisk. Standardavviket var 5,7. Tilsvarende Kristiansand lufthavn, Kjevik

konsentrasjoner for hel fisk var 49,8, 71 og 25 µg/kg vv, mens standardavviket var 17,1. Gjennomsnittlig forholdstall mellom konsentrasjonene i muskel og hel fisk for de seks ørretene var 9,5.). Høyeste og laveste forholdstall mellom muskel og hel fisk var henholdsvis 17,6 og 3,9.

Fra en drenggrøft, som drenerer området mellom to av brannøvingsfeltene ved Kjevik lufthavn og som munner ut i Topdalselva, har vi også analyser av hel ørret. Dette er en blandprøve av 17 små individer der konsentrasjonen av PFAS var 577,2 µg/kg vv. I tillegg har vi analysert på muskel og lever fra to andre, men større individer. I den største ørreten på 35,5 cm var konsentrasjonen i muskelen 128,4 µg/kg vv og i den andre, med en lengde på 20 cm var konsentrasjonen 51,6 µg/kg vv. Forholdstallet mellom konsentrasjonene i blandprøven fra den hele fisken og konsentrasjonen i muskelen på de to individene var henholdsvis 4,5 og 11,2. Forholdstallene er imidlertid usikre fordi analysene på muskel og hel fisk ikke er gjort på samme individ. Tallene ligger imidlertid innenfor variasjonen av det som ble funnet for ørret fra Leirin. Inntil det foreligger flere resultater fra hel fisk, benyttes forholdstallet 9,5 for å regne om fra konsentrasjoner av PFAS funnet i muskel på en lokalitet, til hel fisk i andre lokalitet når det gjelder laksefisk. En grunn til at dette ser ut til å være en brukbar tilnærming er at forholdstallet mellom konsentrasjoner av PFAS i muskel og lever fra samme fisk ser ut til å være omtrent de samme (ca. 20) både for ørret og røye i ulike lokaliteter.

Tilsvarende forholdstall for hel fisk og muskel av abbor fanget i Leirin og Kalken ved Fagernes lufthavn ligger mellom 3,9 og 5,0, og er følgelig lavere enn for ørret i samme lokalitet. Andre forholdstall kan derfor gjelde for andre arter.



Figur 4-3. Gjennomsnittskonsentrasjonen av PFAS i muskel og hel fisk og forholdet mellom disse i ørret og abbor fanget i samme lokalitet ved Fagernes Lufthavn, Leirin og ørret fanger ved Kristiansand lufthavn, Kjevik i 2013. * muskelprøven og hel fisk prøve stammer ikke fra samme fisk.

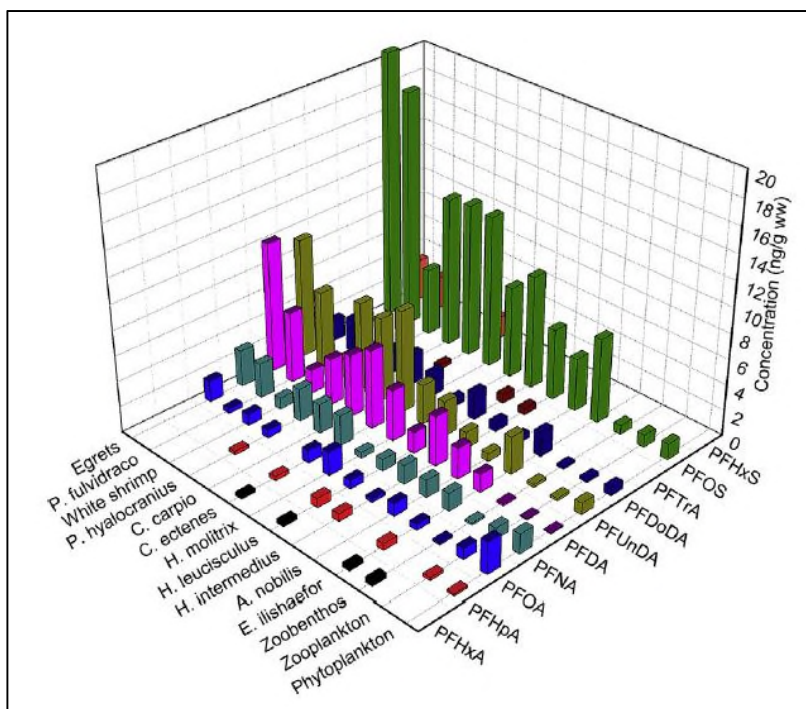
Følgende eksempel kan illustrere hvordan forholdstallet på 9,5 kan benyttes. Fra innsjøen Kalken ved Fagernes lufthavn ble det i tillegg til de seks individene der både muskel og hel fisk ble analysert, tatt muskelprøver av fem andre ørret. Gjennomsnittskonsentrasjonen av PFAS i muskel i denne fisken var 19,6 µg/kg vv, altså ca. tre ganger høyere enn nivået i de seks individene der både muskel og hel fisk ble analysert. Anvendes omregningsfaktoren på 9,5 fås en estimert gjennomsnittlig PFAS-konsentrasjon på 186 µg/kg vv i hel fisk.

4.5.1 Bioakkumulering

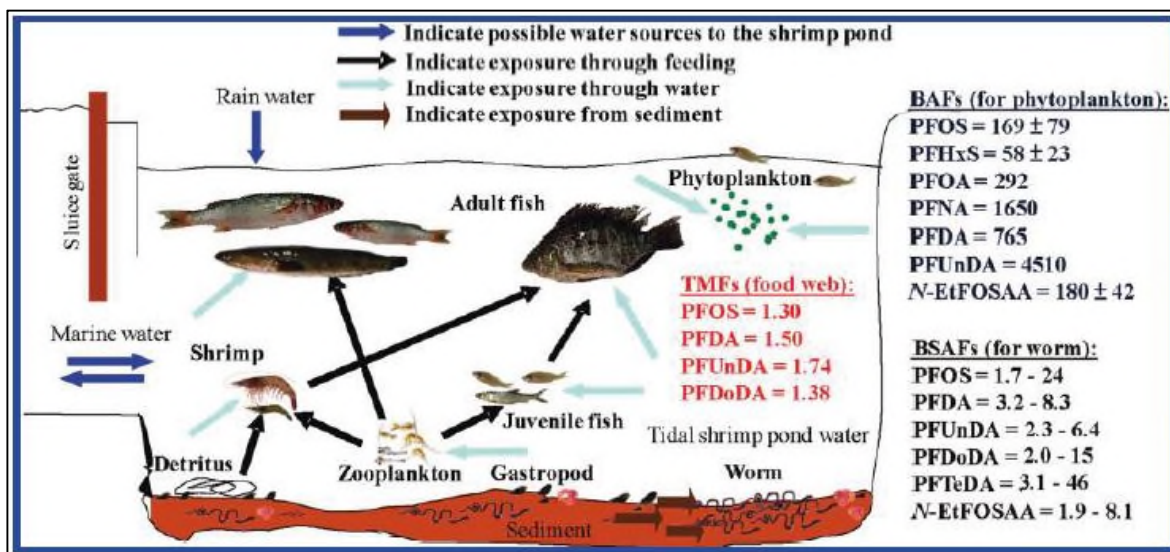
Analyser viser at PFAS overføres til høyere trofiske nivå i en næringskjede på samme måte som miljøgiftene PCB, DDT og PBDE, på tross av at de akkumuleres på ulikt vis (Haukås *et al.*, 2007). Det er også vist at konsentrasjonen av PFAS, som f. eks. PFOS, øker fra ett nivå i næringskjeden til det neste både i marine økosystem langt fra forurensningskilder nord for Lofoten og ved Svalbard (Harju *et al.*, 2013). Tilsvarende bioakkumulering og overføring til høyere trofiske nivå er rapportert fra ferskvann i Kina (Xu *et al.*, 2014), og fra et subtropisk næringsnett i Hong Kong (Loi *et al.*, 2011). Fordi vi ikke har et så omfattende datamateriale på de ulike lufthavnene av hele økosystem som i disse to undersøkelsene, har vi brukt disse for å illustrere hvordan PFAS kan flyttes fra lavere til høyere trofiske nivå, og hvordan bioakkumuleringen kan foregå.

I undersøkelsen i et økosystem i ferskvann i Kina (Xu *et al.*, 2014) ble det samlet inn prøver fra Taihu Lake. Prøvene omfattet vann, sedimenter, phytoplankton, zooplankton, bunndyr (zoobenthos), reker, ni forskjellige fiskearter (herbivore, omnivore og carnivore) og to hegrearter (Egrets og Blue heron). Til sammen utgjør dette et sammensatt næringsnett med ulike trofiske nivå for dette økosystemet. Kort fortalt ble det funnet at hegrene og de carnivore (kjøttetende) fiskeartene befant seg på de høyeste trofiske nivåene, og at PFAS med 9 – 12 karbonatomer ble signifikant biomagnifisert, med en trofisk magnifiseringsfaktor (TMF) på mellom 2,1 og 3,7. For PFOS lå TMF på 2,9. Resultatene fra denne undersøkelsen er vist i Figur 4-4, og beskriver hvordan innholdet av PFAS øker fra fyttoplankton, som er det laveste trofiske nivået, til muskel i hegrene (Egrets) og kjøtt i *P. fulvidraco*, som er en carnivor fiskeart, og representerer det høyeste trofiske nivået. Som det framgår av figuren var de påviste konsentrasjonene både i phytoplankton, zooplankton og zoobenthos lavere enn deteksjonsgrensen som har vært benyttet hos ALS i prosjektet for Avinor. For høye deteksjonsgrenser kan således bidra til å maskere innhold av PFAS for eksempel i zooplanktonprøver fra de lokalitetene der dette er samlet inn. Konsentrasjonen av PFOS i vann i Taihu Lake lå i området $3,5 \pm 2,6$ ng/L.

Det andre eksempelet bygger på undersøkelser av et subtropisk næringsnett i et brakkvannspåvirket våtmarksområde i Hong Kong (Loi *et al.*, 2011). Resultatene er oppsummert i en figur som illustrerer hvordan PFAS forflytter seg fra vann og sedimenter inn i biota og videre opp i næringsnettet, og derved til høyere trofiske nivå (Figur 4-5). Figuren viser videre at det skjer en bioakkumulering (BAF – Bio Accumulation Factor) fra vann til phytoplankton, og at faktoren varierer hos de ulike forbindelsene. For eksempel er BAF hos phytoplankton for PFOS 169 ± 79 . Det vil si at konsentrasjonen av PFOS i phytoplanktonet ($1,07$ ng/g vv) er 169 ± 79 ganger høyere enn i vannet det lever i ($6,39 \pm 0,98$ ng/L). Tilsvarende er konsentrasjonen av PFOS i børstemarkene (worm) $1,7 - 24$ ganger høyere enn i sedimentet den lever i. Den høyeste konsentrasjonen av PFAS ble i denne undersøkelsen funnet i kinesisk damhegre, og lå på $133,1$ µg/kg vv. Dette er betydelig høyere konsentrasjoner enn det som ble funnet i hegrer fra Taihu Lake (Xu *et al.*, 2014).



Figur 4-4. Konsentrasjoner og sammensetning av påviste PFAS, som ble funnet i prøver samlet inn fra næringsnettet i Taihu Lake i Kina. Figuren er hentet fra Xu et al. 2014.



Figur 4-5. Næringsnett, trofisk magnifiseringsfaktorer (TMFs), bioakkumuleringsfaktorer (BAFs) og biota – sediment akkumulerings faktorer (BSAFs) av ulike PFAS-forbindelser i biota fra «the Mai Po Marshes Nature Reserve, Hong Kong». Figuren er hentet fra Loi et al. 2011.

4.6 Vurderinger av matbiota

Mattilsynet har på forespørsel fra Avinor gjennomført vurderinger av mattrygghet for områder i tilknytning til flere lufthavner, og det er disse som legges til grunn for omtale av mattrygghet i denne rapporten. Mattilsynet har gjennomført sine vurderinger for Kristiansand Lufthavn Kjevik basert på analyser av biota fra 2012. Resultatene fra innsamling av matbiota fra 2013 er ennå ikke vurdert. I hovedsak gjelder dette ett eksemplar av stasjonær ørret fanget i grøfta som drenerer BØF 1 og 2.

Om sitt grunnlag for vurderingene sier mattilsynet blant annet:

«Det er ikke fastsatt grenseverdier for PFAS forbindelser i sjømat eller ferskvannsfisk. EFSA (European Food Safety Authority) gav i 2008 ut en vitenskapelig vurdering av PFAS-forbindelser: *Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts*. *EFSA Journal* (2008) 653, 1 – 131 of 21. february 2008. Rapporten etablerte et tolerabelt inntak (TDI) for PFAS-forbindelsen PFOS på 0,15 µg/kg kroppsvekt (BW). Siden PFOS er antatt å være den mest skadelige i megadoser og er ved de fleste analyser den komponenten som utgjør hoveddelen av PFAS-forbindelsene. PFOS antas i hovedsak å komme fra fisk og fiskeprodukt, samt luft/støv, og forekommer stort sett som små og lokale problem rundt områder med tidligere utslipp. Vurderingen her baseres på at et tilnærmet normalt volum for inntak av fisk og fiskeprodukt er på 714 g (inkl. SD) (*Norkost 2010 – 2011*).» (Mattilsynet 2015).

Beregning av risiko for mennesker ved inntak av helseskadelige stoffer er basert på TDI (livslangt tolererbart daglig inntak av stoffet). For PFOS og PFOA er TDI beregnet til henholdsvis 0,15 µg PFOS/kg kroppsvekt/dag og 1,5 µg PFOA/kg kroppsvekt/dag (EFSA, 2008). I disse verdiene er det lagt inn sikkerhetsfaktorer. EFSA skriver at med totalt inntak av PFOS fra normalt kosthold i Europa er det svært god margin til TDI (EFSA 2012).

Mattilsynet har på forespørsel fra Avinor gjennomført vurderinger av mattrygghet for områder i tilknytning til flere lufthavner, og det er disse som legges til grunn for omtale av mattrygghet i denne rapporten. Mattilsynet har gjennomført sine vurderinger for Kristiansand lufthavn basert på analyser av biota fra 2012. Senere analyseresultater er ikke vurdert.

5 Områdebeskrivelse

I vedlegg 4 til denne rapporten ligger kart for lufthavnen og omegn. Kartene inkluderer plassering av brannøvingsfelt og andre PFAS-lokaliteter, plassering av prøvepunkter for jord, sediment, grunnvann og overflatevann, samt analyseresultater av PFOS og PFAS. I vedlegg 5 til denne rapporten ligger kart som viser prøvepunkter og konsentrasjonsnivåer for innsamlet biotamateriale. Disse kartene, sammen med figurer og tabeller i rapporten, vil lette lesbarheten av teksten i de følgende kapitler. Det henvises derfor til alle vedlagte kartene her, og ikke i teksten som følger.

5.1 Beliggenhet og omgivelser

Kristiansand lufthavn, Kjevik ligger på en relativt flat elveterrasse ca. 15 m o.h. på Kjevik i Kristiansand kommune. Lufthavna ligger ut mot Topdalsfjorden/Ålefjærfjorden og ved utløpet av Topdalselva (også kalt Tovdalselva) (se Figur 5-1).

Landingsbanen ligger på stedegne løsmasser av varierende sammensetning. Løsmassene under flyplassområdet består av sand med lokalt liten (1-2 m) mektighet, over underliggende silt/leir. På deler av flyplassområdet ligger grunnvannet derfor høyt, stedvis kun ca. 1 m under terreng (kan være hengende grunnvannsspeil). Det er ikke knyttet interesser til bruken av grunnvannet i området. Ved brannøvingsfeltet som var i bruk fra 1985 - 2008 (BØF-2 i Figur 5-1) ligger grunnvannsnivået ca. 2-2,5 m under terreng (lavereliggende område uten silt/leirlag). Ved det eldste brannøvingsfeltet som var i bruk før 1985 er dyp til grunnvann trolig omkring 10 m. Dette er usikkert da den ene brønnen på feltet er ca. 9 meter dyp og ikke nådde grunnvann. Grunnvannet har avrenning mot Topdalselva i øst og Topdalsfjorden/Ålefjærfjorden i sørvest.

Topdalselva er vernet mot kraftutbygging. Det er knyttet betydelige frilufts- og rekreasjonsinteresser til elva og fjorden. Elva har en gjennomsnittlig vannføring ved utløpet på 65 m³/sek. Ålefjærfjorden/Topdalsfjorden er en terskelfjord der det tidvis kan utvikles såkalt «råttent bunnvann». Det innebærer at bunnvannet da mangler oksygen og at det utvikles hydrogensulfid. Årsaken til at det oppstår råttent vann er naturlig, og skyldes at vannet sjelden blir skiftet ut, dvs. oppholdstiden er lang. Når det er mangel på oksygen gir det ikke livsbetingelser for fisk og annet dyreliv.

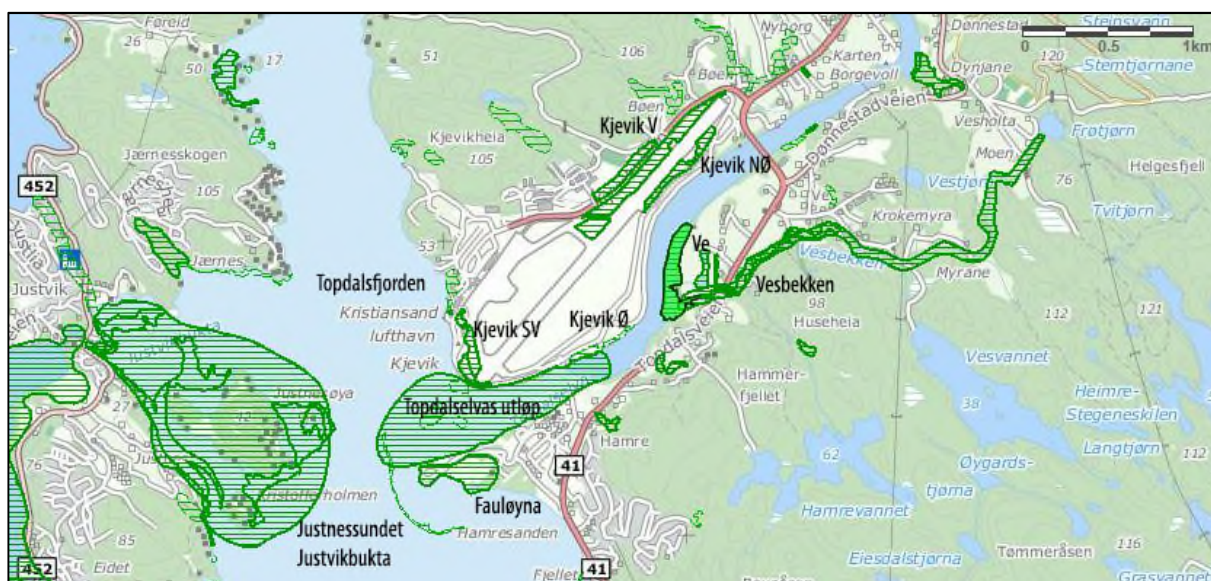
Detaljer om de tre feltene er beskrevet i kapittel 5.3.



Figur 5-1. Oversiktskart over Kristiansand lufthavn, Kjevik, med de to gamle brannøvingsfeltene BØF 1 og BØF 2, og det aktive brannøvingsfeltet (BØF 3), som ble tatt i bruk fra 2008.

5.2 Naturverdier

Kart over viktige naturtyper og naturverdier som er omtalt under er vist i Figur 5-2.



Figur 5-2. Oversiktskart over viktige naturtyper (grønn skravur) i tilknytning til Kristiansand lufthavn, Kjevik. Kartet er hentet fra <http://www.miljostatus.no/kart/>.

5.2.1 Terrestre områder

Kjevik Ø

Naturtype: Rik sump- og kildeskog. Utforming: Rikere strandskog. Verdi: Lokalt viktig.

Lokaliteten ligger utenfor flyplassgjerdet og består av et smalt og avgrenset belte strandskog med svartor mot Topdalselva. Skogen strekker seg ca. 450 meter langs elvebredden. Tresjiktet utenfor flyplassgjerdet domineres av gran med svartor mot elva og med et busk- og tresjikt av hegg, ask, spisslønn, bjørk og søtkirsebær. Bunnsjiktet har et typisk arts mangfold som en ofte ser i lavtliggende sumpskog, og selv om arealet er begrenset kan de gi et godt biotop tilbud til lokal fuglefauna.

Lokaliteten bør ses i sammenheng med slåttemarkslokaliteter på Kjevik og våtmarkslokaliteter i Topdalselva. Lokaliteten er vurdert som lokalt viktig (C) på grunn av en velutviklet svartorstrandskog. Se <http://geocortex.dirnat.no/silverlightviewer/?Viewer=Naturbase/>, for mer informasjon.

Kjevik SV

Naturtype: slåttemark. Verdi: svært viktig.

Lokaliteten ligger sørvest for rullebaneenden. Langs vegen nedenfor brinken ved rullebaneenden finnes det flekkvis meget velutviklet tørrbakkevegetasjon. Vegetasjonssammensetningen her har elementer av tørrengen som er kartlagt oppe på sletta ved rullebanen, men tørrbakkene her ned fra brinken har et mye høyere innslag av arter som tåler sterk uttørking. Flere rødslitearter av insekter er registrert i skrentene. For mer detaljer se: http://geocortex.dirnat.no/silverlightviewer/?Viewer=Naturbase

Kjevik NØ og Kjevik V

Naturtype: slåttemark. Verdi: viktig/svært viktig.

Lokalitetene ligger nord ved rullebanen, både på øst- og vestsiden, og er adskilt fra hverandre av den asfalterte rullebanen. Lokaliteten består av de "blomsterrike", sandige tørrengene ved rullebanen.

Lokalitetene har et tørrere preg enn engene som ligger helt sørvest på flyplassområdet. Dette er et svært viktig område for insekter heriblant rødlistearter. For mer detaljer om arter se: <http://geocortex.dirnat.no/silverlightviewer/?Viewer=Naturbase>

Fauløyna

Naturtype: Strandeng og strandsump. Verdi: svært viktig.

Vegetasjon: Uvanlig kombinasjon av vegetasjonstyper. Brakkvannsump, sandvoll. Strandrødtoppforekomsten (rødlistestatus: sårbar) er den klart største i Kristiansand og vokser tett i hele strandenga. Tusengylden (rødlistestatus: sårbar) finnes nær kanten av sandvollen i glissen takrørbelte.

5.2.2 Ferskvann / brakkvann

Topdalselvas utløp/Topdalselva

Naturtype: Deltaområde. Verdi: Viktig. Utforming: Stort typisk utformet delta er vurdert som viktig (B) (regionalt) på grunn av at elvedeltaet er et relativt intakt elvedelta med forholdsvis store gruntvannsområder og med en viktig funksjon som raste – og næringsområde for fugl. Det er også viktige marine naturtyper i elvedeltaet. Naturtypen er vurdert som sårbar på lista over naturtyper i Norge.

Sedimenter fra Topdalselva har i årenes løp bygd ut Hamresanden-Fauløyna og gruntvannsområdene ved utløpet av Topdalselva. Fauløyna utgjør en markert tange i fjorden med en vifteformet deltaplattform i elveutløpet. I gruntvannsområdet i elvedeltaet er det kartlagt tre forekomster av ålegressenger (Naturbase). Ålegressenger er viktige næringsområder for sjøfugl.

Topdalselvas utløp er sammen med Fauløyna-Hamresanden et viktig raste- og næringsområde for ande-, vade- og måkefugler. Ca. 170 arter er registrert i området i følge Artsobservasjoner. Fuglelivet i elvedeltaet er dog relativt arts- og individfattig sammenlignet med mange andre deltaområder. Noen arter er registrert i relativt høye antall som knoppsvane, krikand, stokkand, brunnakke, siland, kvinand, og toppand samt ærfugl. For øvrig er det også registrert rødlistearter og andre fuglearter i mindre antall så som; stjertand, skjeand, bergand, taffeland, svartand, sjøorre, vipe, storspove og rødstilk. Mye fugl bruker Topdalselva og strandarealene som trekk-korridor og rasteplasser

Topdalselva er lakseførende, og har en lakseførende strekning på ca. 45 km. Det er svært begrensede gyte- og oppvekstmuligheter i den nederste delen av vassdraget før Boenfossen. Av andre fiskeslag er det registrert ørret (stasjonær og anadrom), ål (rødlistet), skrubbe, abbor, sik, lagesild, kanadisk bekkerøye, trepigget stingsild, elve- og havniøye i vassdraget. Laksen kan vandre opp til Herefossfjorden.

Topdalselva er en av landsdelens største elver, og deltaet er betydelig påvirket av inngrep ved Kristiansand lufthavn både ved utfyllinger i sjø og ved signalanlegg ute i deltaet. På Fauløyna-siden er den ytterste delen lite utbygd, men på grunn av smale strandsoner og mye ferdsel har sannsynligvis lokaliteten mindre verdi for fuglelivet enn tidligere. Inngrepsstatus er i elvedatabasen vurdert som middels berørt. Elva er regulert og den fluviale aktiviteten er redusert som følge av dette.

Ve ved Topdalselva

Naturtype: mudderbank. Verdi: svært viktig.

Lokaliteten ligger på østsiden av Topdalselva rett overfor rullebanen. Lokaliteten er vurdert som svært viktig (A) på grunn av større forekomster av flere sjeldne vannplanter og brakkvannssump med mye pollsivaks. Lokaliteten omfatter gruntvannsområder og mudderbanker.

Vesbekken

Naturtype: viktig bekkedrag. Verdi: svært viktig.

Bekken munner ut i Topdalselva på østsiden av elva og rett overfor rullebanen. Utløpsosen har rik karplanteflora, og svartor dominerer som kantskog oppover lang Vesbekken. Dyreliv: God sjørretbekk, mye fisk registrert i nedre delene av bekken. Ved bekkeutløpet er det et fint våtmarksområde med åpne mudderflater av betydning for vadefugl.

5.2.3 Marint miljø

Justnessundet, Justvignbukta

Naturtype: undervannseng. Verdi: viktig.

Lokaliteten ligger vest for utløpet av Topdalselva og er påvirket av ferskvannsstrømmen fra elva. Området er viktig for knoppsvanebestanden i Kristiansand som raste-, myte- og til dels overvintringssted (Tellef Vestøl). Viktig oppvekstområde for siland, og andre andefugler.

Topdalsfjorden

Naturtype: ålegrassamfunn. Verdi: svært viktig.

Topdalsfjorden, som er en terskelfjord, er rikt på fiskearter, blant annet kysttorsk som gyter her. I dypere lag av fjorden kan det periodevis være oksygenfattige forhold, når det er lenge siden bunnvannet ble skiftet ut. I slike perioder vil det ikke være mye liv i dypere lag.

5.3 Bruk av brannskum, brannøvingsfelt, andre PFAS-lokaliteter

5.3.1 Bruk av brannskum

Solberg Scandinavian AS, lisensprodusent for 3M sitt «Light Water» AFFF 3 % skum, opplyser (personlig kommunikasjon) at skum benyttet før 2001 inneholdt 4 % PFAS. Det er ukjent hvor stor andel av dette som var PFOS.

Egenes Brannteknikk AS og Dr. Sthamer var hhv. leverandør og produsent av AFFF-skum benyttet fra 2001 - 2011/12. De opplyser (personlig kommunikasjon) at skum benyttet fra 2001 til 2011/12 anses å ha inneholdt 1,6 % innhold av PFAS og at skummet skulle være PFOS-fritt. I denne sammenheng betyr det at skummet kan inneholde opptil 0,001 vektprosent eller 10 mg/l, jfr. Produktforskriften. Analyser viser PFOS-konsentrasjoner i størrelsesorden 1-2 mg/l i helt nyåpnede fat med AFFF-skum.

For beregning av mengde PFOS som er tilført grunnen på brannøvingsfeltene har vi her basert oss på 4 % PFOS i skum benyttet før 2001 (all PFAS er PFOS for denne skumtypen). Siden PFOS er ansett som den giftigste av PFAS, mener vi at dette er en konservativ tilnærming.

For tilsvarende beregninger i årene 2001 til 2011/12 er det tatt utgangspunkt i at dette skummet i all hovedsak er PFOS-fritt. Beregnet mengde PFAS som er tilført grunnen på brannøvingsfeltene i denne perioden er derfor basert på 1,6 % innhold av PFAS i skummet. På Kristiansand lufthavn, Kjevik er det lokalisert tre brannøvingsfelt – ett aktivt og to nedlagte

(hhv. BØF 3, 1 og 2). Begge de nedlagte feltene (BØF 1 og BØF 2) ligger på Avinors område, øst-sørøst for rullebanene langs Topdalselva (Figur 5-1).

5.3.2 BØF 3 - aktivt brannøvingsfelt (2008 -)

Aktivt brannøvingsfelt (BØF 3) ligger på Avinors eiendom og ble tatt i bruk i 2008. Feltet er delvis sprengt inn i fjell nordvest for terminalområdet, ca. 100 m fra Ålefjærfjorden. Feltet driftes av Falck Nutec og benyttes av flere kunder i tillegg til Avinor. Falck Nutec beskriver at i dag er bakkekran som hovedregel stilt slik at vann går til oljeutskiller uavhengig av om det er øvelse eller ikke. Unntak er ved forhåndsmeldte store nedbørsmengder. Vannet ledes deretter via kommunalt nett ut til Odderøya renseanlegg og derfra ut i Kristiansandsfjorden. Tidligere ble overvann fra feltet i perioder uten øvelser sluppet via overvannsnett og direkte til sjø, men per i dag blir alt vann levert til kommunalt nett.

5.3.3 BØF 1 — eldste felt (1978 - 1985)

BØF 1 er det eldste brannøvingsfeltet, og ble benyttet fra ca. 1978 fram til 1985. I dette tidsrommet er det estimert at det ble brukt ca. 30 kg PFOS på BØF-1. Mengden brannskum er for samme tidsrom estimert til ca. 670 liter. Feltet ligger på nivå med dagens rullebane. I området sørøst for brannøvingsfeltet er det fylt opp en del overskuddsmasser fra tidligere gravearbeider på flyplassområdet. Massene dekker i dag den opprinnelige overflaten slik den var under driften av feltet. Grunnvannet strømmer i retning Topdalselva, som ligger ca. 10 m lavere enn terrasseflaten på nivå med havoverflaten.

5.3.4 BØF 2 — gammelt felt (1985 - 2008)

Gammelt brannøvingsfelt ble benyttet i perioden ca. 1985 – 2008. I dette tidsrommet er det estimert at det ble brukt ca. 65 kg PFOS og 10 kg PFAS på BØF-2. Mengden brannskum er for samme tidsrom estimert til ca. 1500 liter. I 2000 ble det oppgradert med ny plate, og det ble gjort noe rydding av området. Sørvest for brannøvingsfeltet er det fylt opp en del overskuddsmasser fra gravearbeider på flyplassområdet. Ved plattformen ligger grunnvannet ca. 2-2,5 m under terreng.

5.3.5 Andre PFAS-lokaliteter

Brannbilene vaskes jevnlig utenfor verkstedbyggene. Det er uvisst om dette kan ha bidratt med mindre mengder PFOS/PFAS til grunnen.

I tillegg skal skumkanon testes/skytebildet innstilles ukentlig. Til disse testene har det kun blitt brukt vann, både av hensyn til økonomi og rengjøring.

5.4 Utførte tiltak

Brannskum som inneholdt PFOS ble faset ut i 2001 og ble erstattet med et annet skum som inneholdt andre perfluorerte forbindelser. I 2011/2012 byttet Avinor også ut dette skummet, og erstattet det med et skum helt uten perfluorerte forbindelser. Avinor har alltid benyttet lovlige produkter.

6 Undersøkelser

Dette kapittelet beskriver hvilke prøver som ble samlet inn fra jord, vann, sedimenter og biota med tilhørende analyseresultater.

I vedlegg 4 til denne rapporten ligger kart for lufthavnen og omegn. Kartene inkluderer plassering av brannøvingsfelt og andre PFAS-lokaliteter, plassering av prøvepunkter for jord, sediment, grunnvann og overflatevann, samt analyseresultater av PFOS og PFAS. Disse kartene, sammen med figurer og tabeller i rapporten, vil lette lesbarheten av teksten i de følgende kapitler. Det henvises derfor til alle vedlagte kartene her, og ikke i teksten som følger.

6.1 Metodikk for prøvetaking i vann og jord

Prinsippet for de miljøtekniske grunnundersøkelsene ved brannøvingsfeltene (utført i DP2) var sjakting, nedsetting av grunnvannsbrønner, og prøvetaking i fire retninger i forhold til selve brannøvingsfeltet. Én av de fire retninger skulle velges som forlenget akse, med prøvetaking lengre fra brannøvingsfeltet. Denne retningen ble valgt ut fra kunnskap om sannsynlig spredningsretning, f.eks. strømningsretning for grunnvannet, fremherskende vindretning eller opplysninger om i hvilken retning brannskum ble blåst under øvelsene. Det skulle om mulig sjaktes ned til grunnvann. Noen steder var gamle øvingsfelt overfylt med mange meter grove masser.

Målsettingen var å sette miljøbrønner i minst tre sjakter der det var grunnvann, en oppstrøms og to nedstrøms brannøvingsfeltet. Det viste seg at dette ideelle oppsettet bare var mulig noen ganger, til dels fordi det ikke var enkelt å anslå noen sikker strømningsretning og til dels fordi det ikke var grunnvann i porøse masser over fjelloverflaten. Brønner ble i de fleste tilfellene satt ned i sjakter utført med gravemaskin. Det har vist seg at gravearbeider fører til betydelig mobilisering av PFAS, og analyseresultater av vannprøver tatt i slike brønner kan gi PFAS-konsentrasjoner som er høyere enn de man ellers ville finne i grunnvannet.

Prøver av vann i flere punkter har blitt tatt i perioden 2011- 2014, med den hensikt å påvise PFAS og avdekke dreneringsveiene for PFAS ved lufthavnen. De fleste prøvepunktene for vann er videreført i 2013 og 2014. Siden spredningsmodeller ikke var utarbeidet da prøvetakingsprogram ble opprettet, har prøveprogrammet basert seg på feltobservasjoner og observasjon av mulige kilder.

Endringen i prøvepunkter underveis i overvåkingen gjenspeiler forsøket på å avdekke aktuelle spredningsveier, da PFAS ble oppdaget i områder hvor en ikke forventet å finne disse.

6.2 Jord

Jordprøver ved Kristiansand lufthavn ble tatt i 2011 og 2012 og rapportert i 2012. En del av disse jordprøvene ble lagret hos Eurofins i påvente av analyse. Enkelte av prøvene ble analysert i 2014 med tanke på ytterligere avgrensning av forurensningen på brannøvingsfeltet. I tillegg er det tatt en del jordprøver ved lufthavnen i forbindelse med bygge-/gravearbeider, der det også er analysert for PFAS. Resultatene fra samtlige av disse prøvene er vist i oversiktskart for jordprøver vedlagt denne rapporten. Fargekodene angitt i avsnitt 4.2 er benyttet for å illustrere konsentrasjonsvariasjon.

Det har vært gjennomført flere utbyggingsprosjekter ved lufthavnen. Usikkerhet rundt mulige kilder til PFAS-forurensning har ført til at det har blitt prøvetatt og analysert mange jordprøver for PFAS. Resultatene er samlet i vedlegg 4, Oversiktskart for jordprøver. Kartet viser at det ikke er påvist PFOS over normverdien i prøvetatte masser på andre områder av lufthavnen enn ved de to gamle brannøvingsfeltene.

6.2.1 BØF 3 - aktivt brannøvingsfelt (2008 -)

Ved det aktive brannøvingsfeltet er det tatt få jordprøver. Dette skyldes at feltet i noe grad er sprengt inn i fjell (mot nord og øst), og at det i liten grad er løsmasser tilgjengelig for prøvetaking. Det er tatt grunne prøver syd og øst for feltet, og påvist PFOS under normverdi i en overflateprøve (pkt. BØF-3: 54; 10,7 µg/kg). Prøven er tatt ved styringsbua for feltet, ca. 40-50 m sørøst for feltets senter. For øvrig er det ikke påvist PFOS. Dette tyder på at test av skumkanoner i liten grad har ført til vidtrekkende spredning av PFOS i terrenget. Det er ikke påvist 6:2 FTS i prøvene.

6.2.2 BØF 1 - eldste felt (1978 – 1985)

Sentralt og nordvest ved det eldste brannøvingsfeltet er det påvist PFOS-konsentrasjoner opp til 15 ganger normverdien på 100 µg/kg i både overflatemasser (0-10 cm) og dypere liggende masse (10 – 160 cm). I ulike prøvepunkter er det påvist både jevn og ujevn fordeling av PFOS-konsentrasjoner vertikalt i massene på feltet. Det er ellers påvist spor av andre PFAS-forbindelser i enkelte prøver (Tabell 6-1 – 6-4).

Ved etablering av grunnvannsbrønn (BR15) sentralt på feltet ble det påvist PFOS i massene i flere dybder. Det ble ikke påvist PFOS over normverdien ned til 200 cm. Dette kan være et resultat av tidligere deponering av rene masser på stedet. For hver 100 cm fra 300 – 500 cm ble det påvist ca. 350 µg/kg PFOS. Mellom 500 – 600 cm ble det igjen ikke påvist PFOS over normverdien. Deretter er det påvist PFOS opp til ca. 280 µg/kg i masser fra 600 – 800 cm under terreng. I massene fra 800-900 cm er påviste PFOS-konsentrasjoner under normverdi.

Ved en inkuriefeil ble det ikke boret dypt nok i etableringen av BR15, og det er ikke påvist grunnvann i brønnen. Dette tyder på at det ved BØF-1 er en tykk umettet sone med PFOS-forurensning. Det er imidlertid tatt få prøver sentralt på feltet i dybder under 250 cm, og usikkerhetene er derfor store. I jordprøvene fra grunnvannsnivå (BØF-1: 42) ved Topdalselva ble det ikke påvist PFOS.

Videre sydøst for BR15, er det tatt jordprøver i flere dyp i skråning mot ned mot elva (punkt 801 fra SVVs undersøkelse)) og ved etablering av grunnvannsbrønn BR42 nær elven. Det er ikke påvist PFAS i disse prøvene.

De analyserte overflateprøvene tyder på at brannøving med skum ikke har ført til vidtrekkende spredning av skum i terrenget. Ut i fra historiske flyfotos kan det se ut til at det har vært utfylling mot sør en gang mellom 2005 og 2009, og mot øst en gang mellom 2011 og 2014, uten at det er mer kjent hvor massene er hentet fra.

Det er påvist PFOS i en overflate helt syd/vest på feltet, men dette stammer antagelig fra aktivitet ved BØF 2.

6.2.3 BØF 2 — gammelt felt (1985 - 2008)

Ved det nyeste av de to nedlagte feltene er det sentralt funnet konsentrasjoner av PFOS 24,4 ganger høyere enn normverdien. Den høyeste konsentrasjonen for PFOS er funnet i overflaten ved plattformen. Det er påvist 6:2 FTS i et fåtall jordprøver, samt PFOA, PFHxS og enkelte andre PFAS i noen punkter (Tabell 6-1 til Tabell 6-10). Høyeste konsentrasjoner av 6:2 FTS (31,4 og 31,8 µg/kg) er funnet i jorden ved plattformen (hhv BØF 2: 22 og 30), og er en god del lavere enn for PFOS.

Det er funnet PFOS i overflateprøver ca. 50 m nord for senter av feltet, men lave konsentrasjoner tyder likevel på at brannøving med skum ikke har ført til vidtrekkende spredning av PFOS i terrenget.

Tabell 6-1. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 1

Parameter	Enhet	BØF-1: 1-3	BØF-1: 2-3	BØF 1: 4-1	BØF 1: 4-2	BØF-1: 7-3	BØF 1: 11-1	BØF 1: 11-2	BØF 1: 12-2	BØF-1: 14-3	BØF-1: 15-1	BØF-1: 15-2	BØF-1: 15-3	BØF 1: 16-2	BØF-1: 16-3
Dato		05.07.2011 - 08.07.2011													
Dybde	cm	100-120	70-80	0-10	10-160	80-100	0-10	10-120	50-200	120-140	0-50	50-130	130-150	100-200	230-250
Jordtype		Silt/leire	Sand/silt	-	-	Sand	-	-	-	Silt/leire	Sand	Sand	Sand	-	Sand
6:2 FTS	µg/kg	<2,8	<3,3	< 3,2	< 3,7	-	< 3,1	< 3,5	< 2,7	-	-	-	-	< 3,0	<2,8
8:2 FTS	µg/kg	-	-	< 4,2	< 4,9	-	< 4,2	< 4,6	< 3,6	-	-	-	-	< 4,0	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	-	-	< 3,2	< 3,7	-	< 3,1	< 3,5	< 2,7	-	-	-	-	< 3,0	-
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	-	-	< 2,1	< 2,5	-	< 2,1	< 2,3	< 1,8	-	-	-	-	< 2,0	-
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	-	-	3,7	< 2,5	-	< 2,1	4,6	4,2	-	-	-	-	< 2,0	-
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	-	-	< 3,2	4,2	-	21,8	8,9	5,3	-	-	-	-	< 3,0	-
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	-	-	< 2,1	< 2,5	-	< 2,1	< 2,3	< 1,8	-	-	-	-	< 2,0	-
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	-	-	< 2,1	< 2,5	-	< 2,1	< 2,3	< 1,8	-	-	-	-	< 2,0	-
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	-	-	< 2,1	10,5	-	2,2	3,9	21,5	-	-	-	-	3,1	-
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	<1,8	<2,2	< 2,1	< 2,5	<2,4	< 2,1	< 2,3	< 1,8	<2,2	<1,9	<2,3	<2,1	< 2,0	<1,9
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	70,6	122	156	493	<2,4	53	209	562	330	1150	1220	1480	45,8	54
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	-	-	< 2,1	< 2,5	-	< 2,1	< 2,3	< 1,8	-	-	-	-	< 2,0	-
Sum PFC eks LOQ		-	-	159	508	-	76,9	226	593	-	-	-	-	48,9	-

Tabell 6-2. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 1, forts.

Parameter	Enhet	BØF 1: 17-2	BØF 1: 17-3	BØF 1: 36-2	BØF 1: 36-3	BØF-1: 37-3	BØF-1: 38-3	BØF-1: 39-1	BØF-1: 39-2	BØF-1: 39-3	BØF 1: 40-2	BØF-1: 40-3	BØF 1: 41-2	BØF-1: 41-3
Dato		05.07.2011 - 08.07.2011												
Dybde	cm	150-200	250-200	10-330	330-350	230-250	100-120	0-10	10-100	100-120	20-100	100-150	10-150	230-250
Jordtype		-	-	-	-	Sand	Sand	Sand	Sand	Silt/leire	-	Silt/leire	-	Sand
6:2 FTS	µg/kg	< 2,9	< 2,8	< 3,5	< 3,0	<2,6	-	-	-	-	< 3,4	<2,6	< 2,7	-
8:2 FTS	µg/kg	< 3,9	< 3,8	< 4,7	< 3,9	-	-	-	-	-	< 4,5	-	< 3,6	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	< 2,9	< 2,8	< 3,5	< 3,0	-	-	-	-	-	< 3,4	-	< 2,7	-
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	< 2,0	< 1,9	< 2,4	< 2,0	-	-	-	-	-	< 2,3	-	< 1,8	-
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	< 2,0	< 1,9	< 2,4	2,7	-	-	-	-	-	< 2,3	-	< 1,8	-
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	10,2	3,7	4,8	5,7	-	-	-	-	-	< 3,4	-	< 2,7	-
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	< 2,0	< 1,9	< 2,4	< 2,0	-	-	-	-	-	< 2,3	-	< 1,8	-
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	< 2,0	< 1,9	< 2,4	< 2,0	-	-	-	-	-	< 2,3	-	< 1,8	-
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	< 2,0	< 1,9	< 2,4	< 2,0	-	-	-	-	-	< 2,3	-	< 1,8	-
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	< 2,0	< 1,9	< 2,4	< 2,0	<1,7	<2,0	<2,3	<2,2	<2,0	< 2,3	<1,7	< 1,8	<1,8
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	25	19	4,2	64,9	291	418	310	1090	519	< 2,5	<1,7	< 1,8	<1,8
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	< 2,0	< 1,9	< 2,4	< 2,0	-	-	-	-	-	< 2,3	-	< 1,8	-
Sum PFC eks LOQ		35,2	22,7	9,0	73,3	-	-	-	-	-	i.p.	-	i.p.	-

i.p.: ikke påvist

Tabell 6-3. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 1, forts.

Parameter	Enhet	BØF 1: 42-2	BØF-1: 42-3	BR 15								
Dato		05.07.2011 - 08.07.2011		-								
Dybde	cm	50-200	230-250	0 - 100	100 – 200	200 – 300	300 – 400	400 – 500	500 – 600	600 – 700	700 – 800	800 - 900
Jordtype		-	Sand	Siltig sand + org jord	Fin/medium sand	Fin/medium sand	Medium sand	Medium sand	Medium/grov sand	Leire	Fin/medium sand	Fin/medium sand
6:2 FTS	µg/kg	< 2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8:2 FTS	µg/kg	< 3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	< 2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	< 1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	< 1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	< 2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	< 1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	< 1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	< 1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	< 1,9	<1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	< 1,9	<1,9	51	85	343	390	330	91	112	283	44
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	< 1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum PFC eks LOQ		i.p.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

i.p.: ikke påvist

Tabell 6-4. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 1, forts.

Parameter	Enhet	801					802
Dato		07. 04.2014 - 09.04.2014					
Dybde	cm	0 - 100	300 - 400	600 - 700	1000 - 1100	1100 - 1200	0 - 300
Jordtype							
6:2 FTS	µg/kg	<20	<20	<20	<20	<20	<20
8:2 FTS	µg/kg						
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sum PFC eks LOQ		-	-	-	-	-	-

Tabell 6-5. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 2

Parameter	Enhet	BØF-2: 18-2	BØF-2: 18-3	BØF-2: 19-3	BØF-2: 20-3	BØF-2: 21-2	BØF-2: 21-3	BØF 2: 22-1	BØF 2: 22-2	BØF-2: 22-3	BØF 2: 23-2	BØF 2: 24-2	BØF 2: 25-2	BØF 2: 25-3	BØF 2: 26-2	BØF 2: 26-3
Dato		05.07.2011 - 08.07.2011														
Dybde	cm	10-230	230-250	220-240	80-100	10-180	180-200	0-10	10-250	230-250	10-230	10-200	10-180	180-200	10-180	180-200
Jordtype		Sand	Sand	Sand	Sand	Jord/sand	Sand			Sand						
6:2 FTS	µg/kg	10,9	-	<2,6	i,a,	<2,7	-	16,7	31,4	-	< 3,7	< 3,1	< 3,3	< 3,3	< 3,4	< 3,2
8:2 FTS	µg/kg	-	-	-	-	-	-	5,8	4,1	-	< 5,0	< 4,1	< 4,4	< 4,5	< 4,5	< 4,3
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	-	-	-	-	-	-	< 3,5	< 3,1	-	< 3,7	< 3,1	< 3,3	< 3,3	< 3,4	< 3,2
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	-	-	-	-	-	-	< 2,3	< 2,1	-	< 2,5	< 2,1	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,1
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	-	-	-	-	-	-	< 2,3	< 2,1	-	< 2,5	< 2,1	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,1
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	-	-	-	-	-	-	22,5	56,7	-	< 3,7	< 3,1	< 3,3	< 3,3	3,8	< 3,2
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	-	-	-	-	-	-	4,6	6,5	-	< 2,5	< 2,1	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,1
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	-	-	-	-	-	-	< 2,3	< 2,1	-	< 2,5	< 2,1	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,1
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	-	-	-	-	-	-	< 2,3	3,4	-	< 2,5	< 2,1	< 2,2	< 2,2	16,9	< 2,1
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	6,4	<2,0	<1,7	<1,9	<1,8	<2,0	2,8	< 2,1	<1,9	< 2,5	< 2,1	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,1
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	1080	13,2	34,4	10,3	56,2	22,3	242	1700	92,4	659	124	204	4	530	4
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	-	-	-	-	-	-	5,8	2,4	-	< 2,5	< 2,1	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,1
Sum PFC eks LOQ		-	-	-	-	-	-	300	1800	-	659	124	204	4	550	4

Tabell 6-6. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 2, forts.

Parameter	Enhet	BØF 2: 27-2	BØF 2: 27-3	BØF-2: 28-2	BØF-2: 28-3	BØF 2: 29-2	BØF-2: 30-1	BØF-2: 30-2	BØF-2: 30-3	BØF-2: 31-2	BØF 2: 32-2	BØF 2: 33-2	BØF-2: 43-1	BØF 2: 44-2
Dato		05.07.2011 - 08.07.2011												
Dybde	cm	110-200	200-220	10-250	250-270	10-250	0-10	10-210	210-230	10-200	100-180	100-180	120-140	10-100
Jordtype				Sand	Sand		Sand	Sand	Sand		Sand		Sand	
6:2 FTS	µg/kg	< 3,7	< 3,6	29	-	< 3,5	31,8	14,2	-	<3,6	< 3,7	< 3,1	-	< 3,1
8:2 FTS	µg/kg	< 5,0	< 4,8	-	-	< 4,6	-	-	-	-	< 4,9	< 4,1	-	< 4,1
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	< 3,7	< 3,6	-	-	< 3,5	-	-	-	-	< 3,7	< 3,1	-	< 3,1
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	< 2,5	< 2,4	-	-	< 2,3	-	-	-	-	< 2,4	< 2,1	-	< 2,1
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	< 2,5	< 2,4	-	-	< 2,3	-	-	-	-	< 2,4	< 2,1	-	< 2,1
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	< 3,7	< 3,6	-	-	4,1	-	-	-	-	< 3,7	< 3,1	-	< 3,1
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	< 2,5	< 2,4	-	-	< 2,3	-	-	-	-	< 2,4	< 2,1	-	< 2,1
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	< 2,5	< 2,4	-	-	< 2,3	-	-	-	-	< 2,4	< 2,1	-	< 2,1
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	< 2,5	< 2,4	-	-	49,9	-	-	-	-	< 2,4	< 2,1	-	< 2,1
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	< 2,5	< 2,4	7,8	<2,1	< 2,3	2,9	3,7	<1,9	5,3	< 2,4	< 2,1	<2,2	< 2,1
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	89,3	2,8	318	57,7	618	2440	1330	141	352	62,1	6,8	< 2,20	7,1
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	< 2,5	< 2,4	-	-	< 2,3	-	-	-	-	< 2,4	< 2,1	-	< 2,1
Sum PFC eks LOQ		89,3	2,8	-	-	672	-	-	-	-	62,1	6,8	-	7,1

Tabell 6-7. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 2, forts.

Parameter	Enhet	BØF-2: 45-1	BØF-2: 46-1	BR 19-1	BR 19-2	BR 19-3	BR 19-4	BR 47-1	BR 47-2	BR 47-3	BR 47-4	BR 48-1	BR 48-2	BR 48-3	BR 48-4
Dato															
Dybde	cm	0-10	0-10	0-100	100-200	200-300	300-400	0-100	100-200	200-300	300-400	0-100	100-200	200-300	300-400
Jordtype		Jord	Jord												
6:2 FTS	µg/kg	-	-	<2,4	<3,3	<3,4	<3,7	<2,9	<3,7	<2,7	<3,3	<3,2	<3,5	<3,6	<2,5
8:2 FTS	µg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<4,3	<4,7	<4,8	<3,4
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	-	-	<2,4	<3,3	<3,4	<3,7	<2,9	<3,7	<2,7	<3,3	<3,2	<3,5	<3,6	<2,5
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	-	-	<1,6	<2,2	<2,3	<2,4	<1,9	<2,4	<1,8	<2,2	<2,2	<2,4	<2,4	<1,7
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	-	-	<1,6	<2,2	<2,3	<2,4	<1,9	<2,4	<1,8	<2,2	<2,2	<2,4	<2,4	<1,7
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	-	-	2,9	<3,3	<3,4	<3,7	<2,9	<3,7	<2,7	<3,3	<3,2	<3,5	<3,6	<2,5
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	-	-	<1,6	<2,2	<2,3	<2,4	<1,9	<2,4	<1,8	<2,2	<2,2	<2,4	<2,4	<1,7
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	-	-	<1,6	<2,2	<2,3	<2,4	<1,9	<2,4	<1,8	<2,2	<2,2	<2,4	<2,4	<1,7
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	-	-	<1,6	<2,2	<2,3	<2,4	<1,9	<2,4	<1,8	<2,2	<2,2	<2,4	<2,4	<1,7
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	<2,1	<2,3	<1,6	<2,2	<2,3	<2,4	<1,9	<2,4	<1,8	<2,2	<2,2	<2,4	<2,4	<1,7
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	4,3	8,1	362	109	29,8	11,6	12,5	6,5	6,9	6,8	2,2	<2,4	<2,4	<1,7
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	-	-	<1,6	<2,2	<2,3	<2,4	<1,9	<2,4	<1,8	<2,2	<2,2	<2,4	<2,4	<1,7
Sum PFC eks LOQ		-	-	362	109	29,8	11,6	12,5	6,5	6,9	6,8	2,2	i.p.	i.p.	i.p.

Tabell 6-8. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 2, forts.

Parameter	Enhet	BR 49-1	BR 49-2	BR 49-3	BR 49-4	BR 50-1	BR 50-2	BR 50-3	BR 50-4	BR 51-1	BR 51-2	BR 51-3	BR 51-4
Dato													
Dybde	cm	0-100	100-200	200-300	300-400	0-100	100-200	200-300	300-400	0-100	100-200	200-300	300-400
Jordtype													
6:2 FTS	µg/kg	<2,9	<2,7	<3,2	<3,1	<3,0	<3,4	<3,1	<3,5	<3,7	<3,4	<2,9	<3,2
8:2 FTS	µg/kg	-	-	-	-	<4,0	<4,6	<4,2	<4,7	-	-	-	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	<2,9	<2,7	3,2	<3,1	<3,0	<3,4	<3,1	<3,5	<3,7	<3,4	<2,9	<3,2
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	<1,9	<1,8	<2,1	<2,1	<2,0	<2,3	<2,1	<2,4	<2,5	<2,3	<2,0	<2,2
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	<1,9	<1,8	<2,1	<2,1	<2,0	<2,3	<2,1	<2,4	<2,5	<2,3	<2,0	<2,2
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	<2,9	<2,7	<3,2	<3,1	3,9	<3,4	<3,1	3,9	<3,7	<3,4	<2,9	<3,2
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	<1,9	<1,8	<2,1	<2,1	<2,0	<2,3	<2,1	<2,4	<2,5	<2,3	<2,0	<2,2
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	<1,9	<1,8	<2,1	<2,1	<2,0	<2,3	<2,1	<2,4	<2,5	<2,3	<2,0	<2,2
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	<1,9	<1,8	<2,1	<2,1	<2,0	<2,3	<2,1	<2,4	<2,5	<2,3	<2,0	<2,2
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	<1,9	<1,8	<2,1	<2,1	<2,0	<2,3	<2,1	<2,4	<2,5	<2,3	<2,0	<2,2
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	6,0	<1,8	10,8	8,5	82,2	29,4	12,4	46,8	209	73,5	15,4	8,9
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	<1,9	<1,8	<2,1	<2,1	<2,0	<2,3	<2,1	<2,4	<2,5	<2,3	<2,0	<2,2
Sum PFC eks LOQ		6,0	i.p.	10,8	8,5	86,1	29,4	12,4	50,7	209	73,5	15,4	8,9

Tabell 6-9. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 2, forts.

Parameter	Enhet	BR 52-1	BR 52-2	BR 52-3	BR 52-4	BR 53-1	BR 53-2	BR 53-3	BR 53-4
Dato									
Dybde	cm	0-100	100-200	200-300	300-400	0-100	100-200	200-300	300-400
Jordtype									
6:2 FTS	µg/kg	8,8	9,7	<3,0	<2,6	<3,0	<3,0	<3,1	<3,1
8:2 FTS	µg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	<2,6	<3,3	<3,0	<2,6	<3,0	<3,0	<3,1	<3,1
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	<1,7	<2,2	<2,0	<1,8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,1
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	<1,7	<2,2	<2,0	<1,8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,1
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	9,0	8,0	<3,0	<2,6	<3,0	<3,0	<3,1	<3,1
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	<1,7	<2,2	<2,0	<1,8	<2,0	<2,0	2,1	<2,1
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	<1,7	<2,2	<2,0	<1,8	<2,0	<2,0	2,5	<2,1
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	<1,7	4,2	<2,0	<1,8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,1
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	2,5	4,8	<2,0	<1,8	<2,0	<2,0	4,7	<2,1
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	1940	773	209	62,9	<2,0	<2,0	<2,0	4,6
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	<1,7	<2,2	<2,0	<1,8	<2,0	<2,0	<2,0	<2,1
Sum PFC eks LOQ		1960	800	209	62,9	i.p.	i.p.	9,3	4,6

Tabell 6-10. Analyseresultater av jordprøver ved BØF 3

Parameter	Enhet	BØF-3: 51	BØF-3: 52	BØF-3: 53	BØF-3: 54	BØF-3: 55
Dato		05.07.2011 - 08.07.2011				
Dybde	cm	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10
Jordtype		Silt/leire	Sand/silt	Sand	Silt/leire	Sand
6:2 FTS	µg/kg	<2,7	<3,0	<2,6	<3,0	<2,8
8:2 FTS	µg/kg	-	-	-	-	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	-	-	-	-	-
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	-	-	-	-	-
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	-	-	-	-	-
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	-	-	-	-	-
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	-	-	-	-	-
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	-	-	-	-	-
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	-	-	-	-	-
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	<1,8	<2,0	<1,7	<2,0	<1,9
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	<1,8	<2,0	<1,7	10,7	<1,9
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	-	-	-	-	-
Sum PFC eks LOQ		-	-	-	-	-

6.3 Sediment

I 2011 ble det tatt seks sedimentprøver langs elvekanten i Topdalselva. Prøvene S1 og E1 er tatt oppstrøms brannøvingsfeltene. Videre er prøvene E2 og S2 tatt rett nedstrøms BØF-1. Prøvene E3, S3 og S4 er hhv. tatt oppstrøms, i og rett nedstrøms dreneringsgrøften som går ut fra BØF-2.

Tabell 6-11. Analyseresultater av sedimentprøver ved BØF 1

Parameter	Enhet	E1	S1	E2	S2
Dato		05.07.2011 - 08.07.2011			
Dybde	cm	0-10	0-10	0-10	0-10
Jordtype		Sand	Sand	Sand	Sand
6:2 FTS	µg/kg	-	<3,5	-	<3,2
8:2 FTS	µg/kg	-	-	-	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	-	-	-	-
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	-	-	-	-
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	-	-	-	-
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	-	-	-	-
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	-	-	-	-
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	-	-	-	-
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	-	-	-	-
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	<2,0	<2,3	<2,1	<2,1
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	<2,0	<2,3	17,4	5,5
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	-	-	-	-
Sum PFC eks LOQ		-	-	-	-

Tabell 6-12. Analyseresultater av sedimentprøver ved BØF 2

Parameter	Enhet	E3	S3	S4
Dato		05.07.2011 - 08.07.2011		
Dybde	cm	0-10	0-10	0-10
Jordtype		Sand	Sand	Sand
6:2 FTS	µg/kg	-	<3,2	<3,4
8:2 FTS	µg/kg	-	-	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	µg/kg	-	-	-
Perfluorbutansyre (PFBA)	µg/kg	-	-	-
Perfluordekansyre (PFDA)	µg/kg	-	-	-
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	µg/kg	-	-	-
Perfluorheksansyre (PFHxA)	µg/kg	-	-	-
Perfluorheptansyre (PFHpA)	µg/kg	-	-	-
Perfluornonansyre (PFNA)	µg/kg	-	-	-
Perfluoroktansyre (PFOA)	µg/kg	<2,3	2,1	<2,3
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	µg/kg	21,7	224	61,1
Perfluorpentansyre (PFPeA)	µg/kg	-	-	-
Sum PFC eks LOQ		-	-	-

Analyseresultatene er vist i Tabell 6-11 og Tabell 6-12 og viser at det ikke ble påvist PFOS prøvene oppstrøms brannøvingsfeltene. I prøvene nedstrøms BØF-1 ble det påvist lave/moderate konsentrasjoner av PFOS.

I dreneringsgrøften som går ut fra BØF-2, ble det påvist moderat/høy konsentrasjon av PFOS (224 µg/kg). Oppstrøms og nedstrøms utløpet av grøften ble det påvist lave/moderate konsentrasjoner av PFOS. Prøven nedstrøms utløpet av grøften ser ut til å være påvirket av PFOS-tilførselen fra grøften.

I sedimentprøvene tatt i marint miljø 17. - 20. april 2012, både utenfor flyplassen på 7, 10 og 60 m dyp og på en referansestasjon på 7 m dyp, ble det ikke påvist PFAS over deteksjonsgrensene (Sweco 2012).

6.4 Vann

Ved Kristiansand lufthavn ble det i 2011 og 2012 utført analyser av overflatevann og grunnvann ved alle tre brannøvingsfelt. Ved de nedlagte feltene, BØF 1 og 2, ble det påvist til dels høye konsentrasjoner av PFOS i grunnvannet, samt mulig spredning til Topdalselva. I overflatevann fra dreneringsgrøfta som til dels drenerer BØF 2 og renner ut i Topdalselva, ble det påvist høy konsentrasjon av PFOS, mens det i overflatevann fra elvekanten ble påvist lave konsentrasjoner av PFOS.

Det aktive brannøvingsfeltet, BØF 3, drenerer mot Ålefjærfjorden/Topdalsfjorden. I 2012 ble det utført analyse av overvannet som renner til sjø fra feltet. Det ble da påvist lave konsentrasjoner av PFOS og noe høyere konsentrasjoner av 6:2 FTS.

Basert på disse resultatene, ble det valgt ut prøvepunkter ytterligere dokumentasjon av PFAS i vann. Tre av brønnene og fire av overflatevannspunktene ble videreført fra de tidligere undersøkelsene. I tillegg ble syv nye brønner etablert (2012) og prøvetatt, og fem overvannspunkter lagt til. Vedlagt oversiktskart for vann (Vedlegg 4) viser punktene som har inngått i vannprøvetakingen ved Kristiansand lufthavn.

6.4.1 Grunnvann

Ved prøvetakingen i 2011 ble brønnene lenset før prøvetaking med pumpe slik normal prosedyre for prøvetaking av grunnvann tilsier. Senere ble prøvetakingsmetoden revurdert og man gikk over til bruk av Bailer (prøvetaker) uten å tømme brønnen før prøvetaking. Alle brønner har hatt dedikert prøvetakingsutstyr. Det har vært noe varierende om utstyr og prøveemballasje ble skylt med vann fra brønnen før prøvetaking eller ikke. Dette kan ha påvirket resultatene i varierende retning.

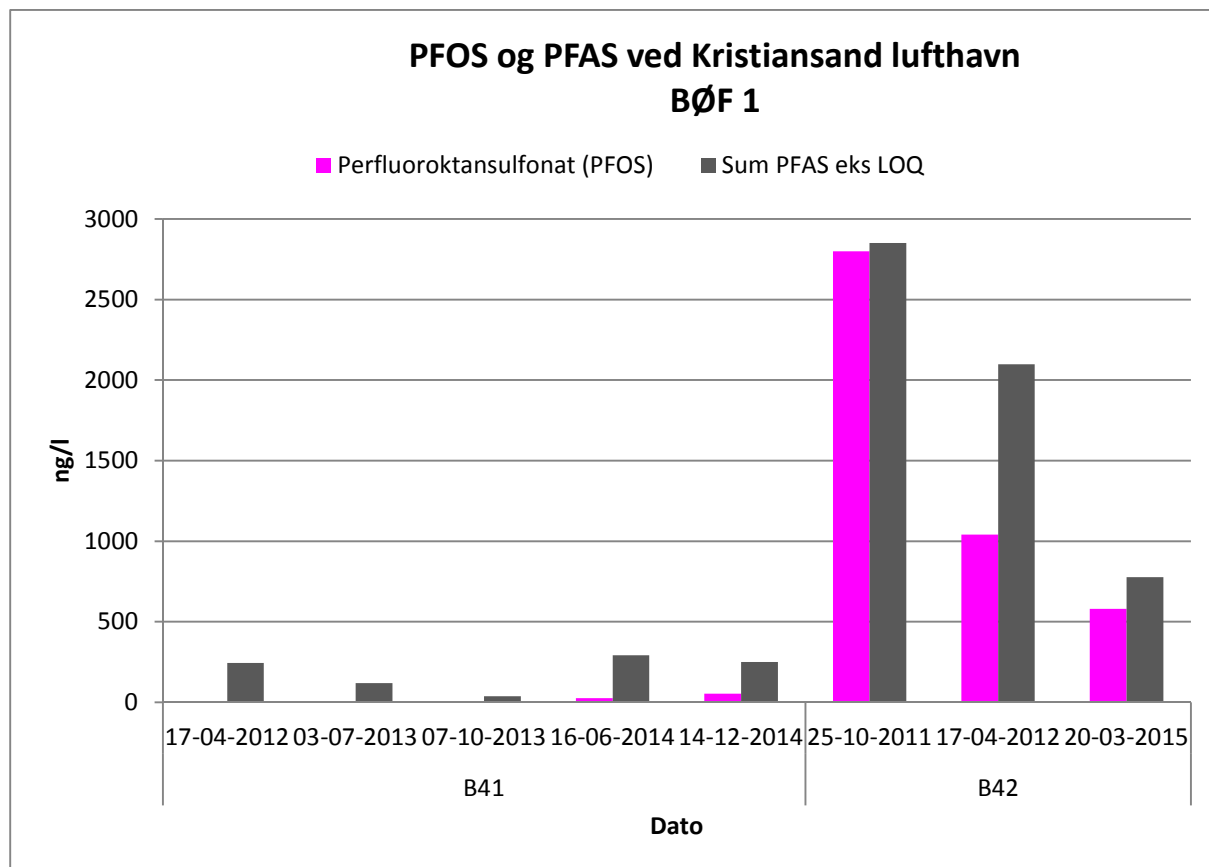
6.4.1.1 BØF 1

I 2011 ble det etablert to brønner (BR41 og BR42) langs Topdalselva nedstrøms BØF 1. Den nordligste brønnen (BR41). Den sydligste brønnen (BR42) fanger opp avrenning fra BØF 1. Grunnvannsspeilet ble registrert ca. 2,5 meter under terreng. Måleserier for BR41 og BR42 i perioden februar-april 2015 viser at grunnvannsnivå i begge brønnene ligger grunnvannsnivået omkring elvenivå og samvarierer med tidevannsvariasjoner i elva. Amplitude for variasjon i grunnvannsnivå er noe mindre enn for elva, og har en liten forsinkelse (ca. én time) i forhold til denne. Dette gjør at det ved avtakende tidevann og på lavvann er høyere grunnvannsnivå enn elvenivå, mens det motsatte forholdet er tilfelle ved stigende tidevann og på høyvann.

I 2011 ble det påvist høy PFOS-konsentrasjon i BR42 (2800 ng/l), men det i 2012 ble PFOS-konsentrasjon på 1040 ng/l i tillegg til PFHxS og PFNA. Det ble ikke påvist 6:2 FTS i 2012. Prøvetaking av brønnen ble ikke videreført, men er gjenopptatt våren 2015. Resultatene viser tilsvarende PFAS-sammensetning som i 2012, men i lavere konsentrasjoner.

Resultatene fra prøvetakingen av BR41 i 2013 og 2014 viser tilsvarende lave konsentrasjon (<250 ng/l) av PFOS/PFAS som ved prøvetakingen i 2011 og 2012. Forbindelsene 6:2 FTS eller 8:2 FTS ble heller ikke påvist her, men som i BR42 påvises PFHxS. Konsentrasjonen av PFAS varierer noe i brønnen.

Resultatene er vist i Figur 6-1 og Tabell 6-13.



Figur 6-1. Analyseresultater fra grunnvannsprøver ved BØF 1

Tabell 6-13. Analyseresultater fra grunnvannsbrønner ved BØF 1

Parameter	Enhet	B41					B42		
		17-04-2012	03-07-2013	07-10-2013	16-06-2014	14-12-2014	25-10-2011	17-04-2012	20-03-2015
6:2 FTS	ng/l	<7,5	<7,5	< 15,0	< 15,0	< 7,5	-	<7,5	4,2
8:2 FTS	ng/l	-	<10,0	< 20,0	< 20,0	< 10,0	-	-	< 2,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	14,5	11,3	< 15,0	18,2	11,2	-	36,5	2,7
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	<5,0	<5,0	< 10,0	< 10,0	< 5,0	-	<5,0	< 1,0
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	<5,0	<5,0	< 10,0	< 10,0	< 5,0	-	<5,0	< 1,0
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	201	92,1	37,8	214	158	-	506	88,6
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	15,2	8,5	< 10,0	11,4	7,6	-	51,3	3,6
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	<5,0	<5,0	< 10,0	< 10,0	< 5,0	-	<5,0	1,2
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	<5,0	<5,0	< 10,0	< 10,0	19,8	-	434	93,9
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	5,1	<5,0	< 10,0	21,6	< 5,0	51,9	22,9	3,8
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	7,9	6,3	< 10,0	25,4	52,8	2800	1040	579
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	<5,0	<5,0	< 10,0	< 10,0	< 5,0	-	7,6	< 1,0
Sum PFAS eks LOQ		243,7	118	37,8	291	250	-	2098,3	777

6.4.1.2 BØF 2

Ved grunnundersøkelsene i DP2 ble det satt ned to grunnvannsbrønner (BR18 og BR21) ved BØF 2 og gjennomført én prøvetakingsrunde av grunnvannet. Resultatene viste høy konsentrasjon av PFOS/PFAS og mulig spredning mot Topdalselva. I 2012 ble det etablert flere brønner for å få oversikt over spredning og spredningsveier for PFOS/PFAS. Plassering av brønnene er vist i vedleggskart for vann.

Brønnene ved BØF 2 er prøvetatt flere ganger, men med noe ulik prøvetakingshyppighet. Analyseresultater er vist i Figur 6-2 og Figur 6-3 med ulik skala på y-aksen, og i Tabell 6-14 til Tabell 6-17. Rekkefølgen på punktene tilsvarer ca. avstand fra senter av BØF 2.

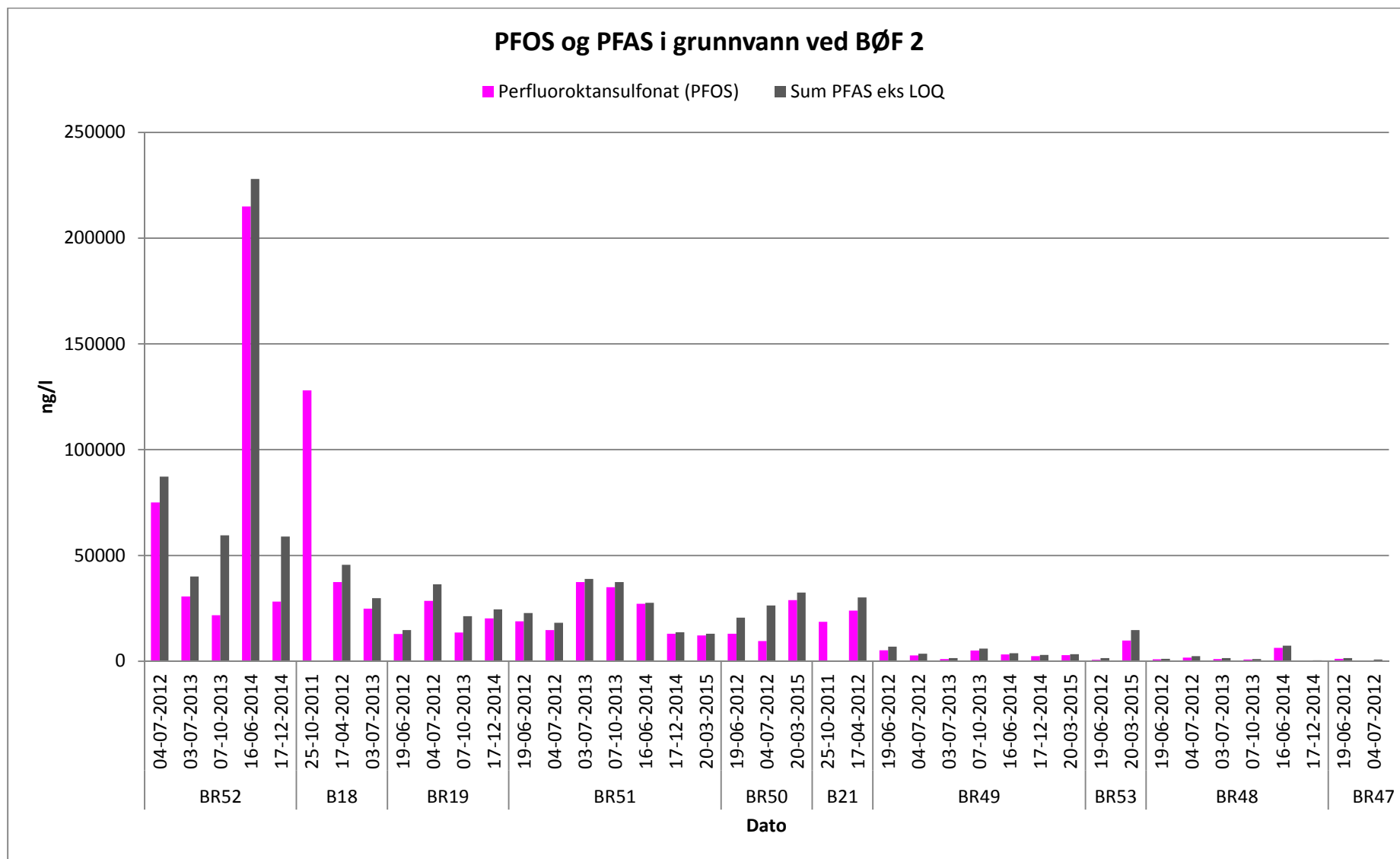
Resultatene generelt viser betydelige konsentrasjoner (>200 000 ng/l) av PFOS/PFAS ved senter av brannøvingsfeltet (BR18 og 52). I brønnene øst/nordøst for feltet (BR 19, 51, 50 og 21), som ligger nærmere Topdalselva og nord for dreneringsgrøfta, er det påvist PFOS/PFAS-konsentrasjoner på 100 000 ng/l. I brønnene BR49, 53, 48 og 47 sør for dreneringsgrøfta er det påvist lavere konsentrasjoner (<10 000 ng/l), med unntak av ett prøveresultat i R53 fra 2015. Forurensningsbildet av grunnvannet ligner det som er funnet i massene.

Ved prøvetaking i juni 2014 ble det påvist signifikant høyere konsentrasjon av PFOS i BR52 enn ved de foregående prøvetakingene. Det er ikke funnet noe forklaring på resultatet ved gjennomgang av prøvetaking og analyse. Brønnen er også prøvetatt i desember 2014, og påviste konsentrasjoner av PFOS/PFAS var dadda i samme størrelsesorden som tidligere prøver.

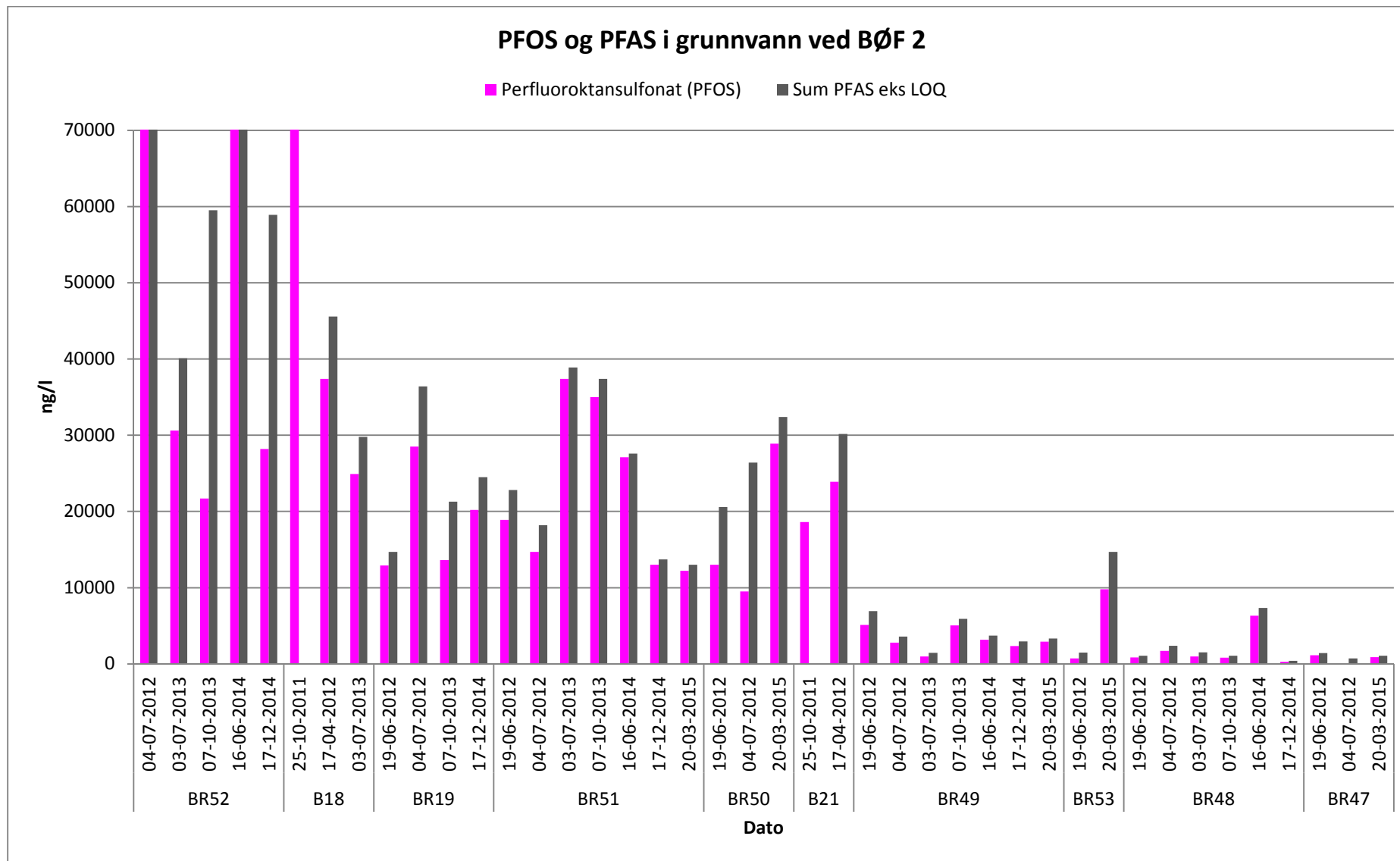
Videre viser resultatene at PFOS/PFAS-konsentrasjonene ved de ulike prøvetakingene varierer innenfor de enkelte brønner. Resultatene viser godt samsvar i høye/lave konsentrasjoner i brønnene ved de samme prøvetakingstidspunktene. Der er ukjent om dette er en reel endring i konsentrasjon, eller kan tilskrives systematisk ulikhet i prøvetaking.

I brønnene nærmest senter av BØF 2 (BR52, 18 og 19) er det påvist konsentrasjoner av alle analyserte PFAS, med dominansdominans av 6:2 FTS, perfluorheksansulfonat (PFHxS), perfluorheksansyre (PFHxA), Perfluorpentansyre (PFPeA) og til dels perfluoroktansyre (PFOA).

I brønnene nærmere Topdalselva ser påvist konsentrasjon av spesielt 8:2 FTS, perfluorbutansulfonat (PFBS), perfluorbutansyre (PFBA) og perfluordekansyre (PFDA) ut til å avta. Det påvises lavere konsentrasjoner (10-potens) av disse forbindelsene i brønnene sørvest for dreneringsgrøfta enn i brønnene nordøst for denne grøfta. Prøveresultatet i BR35 fra 2015 er dog noe høyere.



Figur 6-2. Analyseresultater fra grunnvannsprøver ved BØF 2.



Figur 6-3. Analyseresultater fra grunnvannsprøver ved BØF 2, justert skala på y-akse

Tabell 6-14. Analyseresultater fra grunnvannsbrønner ved BØF 2

Parameter	Enhet	BR52					B18			BR19			
		04-07-2012	03-07-2013	07-10-2013	16-06-2014	17-12-2014	25-10-2011	17-04-2012	03-07-2013	19-06-2012	04-07-2012	07-10-2013	17-12-2014
6:2 FTS	ng/l	4090	1960	4090	3360	10500	-	2240	1830	664	3370	1930	657
8:2 FTS	ng/l	225	237	< 200	604	256	-	-	339	187	373	268	620
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	233	596	2310	283	529	-	204	87,2	23,2	152	329	< 75,0
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	248	274	1200	218	412	-	102	116	65,7	204	224	124
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	<100	<50,0	< 100	76,6	< 100	-	<100	<50,0	15	<25,0	18,8	50
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	3350	2580	10800	3660	11300	-	2630	1270	290	1260	2150	1110
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	1240	1820	8970	1060	2240	-	1120	451	162	1040	956	476
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	351	439	1910	381	933	-	227	138	51,2	245	252	209
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	272	<50,0	< 100	1150	139	-	<100	<50,0	60,7	60,8	41,0	98,6
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	655	288	1250	1540	2430	1240	719	271	85	235	482	310
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	75100	30600	21700	215000	28200	128000	37400	24900	12900	28500	13600	20200
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	1400	1260	7250	907	1920	-	932	417	186	978	1070	574
Sum PFAS eks LOQ		87200	40100	59500	228000	58900	129240	45574	29800	14700	36400	21300	24500

Tabell 6-15. Analyseresultater fra grunnvannsbrønner ved BØF 2, forts.

Parameter	Enhet	BR51							BR50			B21	
		19-06-2012	04-07-2012	03-07-2013	07-10-2013	16-06-2014	17-12-2014	20-03-2015	19-06-2012	04-07-2012	20-03-2015	25-10-2011	17-04-2012
6:2 FTS	ng/l	723	855	308	534	102	123	105	425	1060	151	-	1310
8:2 FTS	ng/l	<200	<20,0	<100	< 200	<33,3	< 33,3	9,7	<100	<20,0	10,3	-	-
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	<150	85,3	<75,0	< 150	<25,0	< 25,0	14	169	574	122	-	126
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	<100	95,3	<50,0	< 100	<16,7	20,2	21,5	113	192	52,5	-	87,5
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	<100	<10,0	<50,0	< 100	<16,7	< 16,7	3	<50,0	22,4	94,2	-	<50
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	1570	1290	522	1060	121	316	297	4730	10800	2060	-	2700
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	483	398	170	278	80,6	101	107	582	1170	278	-	670
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	144	140	67,6	< 100	29,7	42,8	34,7	147	210	56,3	-	195
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	<100	31,1	<50,0	< 100	20	< 16,7	21	392	844	320	-	105
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	451	377	146	138	55,8	47	61,2	693	1440	247	305	469
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	18900	14700	37400	35000	27100	13000	12200	13000	9510	28900	18600	23900
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	434	291	194	360	96,7	127	119	366	541	184	-	619
Sum PFAS eks LOQ		22800	18200	38900	37400	27600	13700	13000	20600	26400	32400	18905	30181,5

Tabell 6-16. Analyseresultater fra grunnvannsbrønner ved BØF 2, forts.

Parameter	Enhet	BR49							BR53	
		19-06-2012	04-07-2012	03-07-2013	07-10-2013	16-06-2014	17-12-2014	20-03-2015	19-06-2012	20-03-2015
6:2 FTS	ng/l	54,1	48	<7,5	39,4	23,5	26,6	17,7	<15,0	113
8:2 FTS	ng/l	<20,0	<20,0	<10,0	< 20,0	<20,0	< 33,3	< 2,0	<15,0	41,1
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	60	26,1	9	19,2	<15,0	< 25,0	9	39,5	235
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	69,1	37,1	21,6	30,6	13,2	18,1	12,2	58,8	33,4
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	<10,0	<10,0	<5,0	< 10,0	<10,0	< 16,7	1,6	<10,0	4,5
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	718	334	221	465	291	349	240	379	3040
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	342	132	80,3	87,6	52,9	58,2	40	91,4	255
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	86,1	35,8	31,8	35,4	34,2	31,8	18,4	20,5	78,5
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	27,7	13	<5,0	14,8	<10,0	< 16,7	9,3	92,9	533
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	152	52,8	61,1	56	79,1	52,3	43,5	58,2	427
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	5130	2790	965	5040	3170	2350	2910	718	9780
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	289	124	72,5	116	51,4	71,4	35,3	43,3	127
Sum PFAS eks LOQ		6930	3590	1460	5910	3720	2960	3340	1500	14700

Tabell 6-17. Analyseresultater fra grunnvannsbrønner ved BØF 2, forts.

Parameter	Enhet	BR48						BR47		
		19-06-2012	04-07-2012	03-07-2013	07-10-2013	16-06-2014	17-12-2014	19-06-2012	04-07-2012	20-03-2015
6:2 FTS	ng/l	<7,5	15,3	34,1	< 15,0	34,7	< 25,0	<15,0	<15,0	8,8
8:2 FTS	ng/l	<7,5	<20,0	<10,0	< 20,0	<33,3	< 33,3	<15,0	<20,0	< 2,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	<7,5	23,3	14,9	< 15,0	<25,0	< 25,0	<15,0	<10,0	4,4
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	24,8	27,8	11,2	11,6	<16,7	< 16,7	37,1	<10,0	1,5
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	<5,0	<10,0	<5,0	< 10,0	<16,7	< 16,7	<10,0	274	1,6
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	59,4	310	320	134	667	64,7	165	17,3	154
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	27,4	102	42,1	29,8	64,1	20,5	19,5	<10,0	4,6
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	17,4	38,8	21,7	21,6	40,3	20,6	11,8	<10,0	3,9
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	10,8	<10,0	15,9	< 10,0	28,4	< 16,7	15,5	12,8	7
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	25,1	59,9	29,6	19,2	115	< 16,7	24,6	330	9,4
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	863	1700	990	803	6340	270	1140	<10,0	870
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	51,7	101	36	49,8	59,4	40,2	22,8	634	4,1
Sum PFAS eks LOQ		1080	2370	1520	1070	7350	416	1430	734	1070

6.4.2 Overflatevann

6.4.2.1 BØF 1 og 2 - Topdalselva

Grunnvann og evt. overflatevann fra både BØF 1 og 2 strømmer til Topdalselva og vil derfor omtales samlet og ses i sammenheng med PFAS i vann langs Topdalselva (se vedlegg 4, oversiktskart vann).

I DP2 ble det tatt prøver langs elvekanten av Topdalselva (V1, V2 og V4), samt i dreneringsgrøfta/bekken som renner ut ved BØF 2 (V3/bekk). V1 er tatt oppstrøms BØF 1, V2 er tatt nedstrøms BØF 1 og V4 er tatt nedstrøms BØF 2. Alle prøver er tatt fra land.

Prøvetaking av V1 ble ikke videreført, men erstattet av et punkt 4. V4 ble tatt nedstrøms utløpet av dreneringsgrøfta. Punktet ble videreført i prøvetakingen og i tillegg ble det lagt til et punkt 2 oppstrøms utløpet av dreneringsgrøfta.

Overvann fra lufthavnen (de-icingområdet og halve rullebanen) renner via et overvannsrør ut i en bekk/grøft nedstrøms BØF-2. Røret antas ikke å være tett. Fra røråpningen og ned til Topdalselva renner vannet i en bekk/grøft, sammen med grunnvannstilsig til denne. Vannføringen i bekken/dreneringsgrøfta varierer mye med nedbørs situasjonen. I tillegg presses vann fra Topdalselva opp i grøfta ved flo sjø i Topdalsfjorden, tidvis helt opp til utløpsrør for overvann.

I 2014 ble det etablert nye punkter oppstrøms og nedstrøms i Topdalselva (hhv. Top. oppstrøms og Top. nedstrøms). I tillegg ble det tatt vannprøver (CN 1 - 10) på ulike områder i Topdalselva i forbindelse med biotaundersøkelsene. Plassering av prøvepunktene er vist i vedlagt vannkart.

I forbindelse med arbeidet med tiltaksplanen for brannøvingsfeltene ved Kjevik ble det tatt ytterligere prøvetakinger av eksisterende punkter (i 2014/2015), samt lagt til enkelte nye punkter. De nye punktene er: punktet «V6» som ligger i strandkanten langs Topdalselva nedstrøms brønn BR42 ved BØF-1, «V3 bekk, utløp» i grøften ved BØF-2, nedstrøms eksisterende punkt «V3 bekk», samt punktene «V7 – 12» som ligger i strandkanten langs Topdalselva fra nedstrøms BØF-2 og sørover mot enden av rullebanen. Enkelte prøvetakinger er utført ved ulik tidevann og er merket «L» for lavvann og «H» for høyvann.

Samlet er overflatevann ved Topdalselva er prøvetatt flere ganger, men de ulike prøvepunktene har noe ulik prøvetakingshyppighet. Analyseresultater er vist i Figur 6-4 til Figur 6-8 med ulik skala på y-aksen, og i Tabell 6-18 til Tabell 6-23. Rekkefølgen på punktene er vist fra nord til sør i elva.

Overordnet viser resultatene at det ikke påvises PFOS/PFAS over rapporteringsgrensene i de prøvetatte vannmasser oppstrøms BØF-1 (t.o.m. pkt. CN-1). Unntaket er to lave konsentrasjoner av PFOS i to ulike punkter. I punktene ved BØF-1 vises det jevnt lave konsentrasjoner av PFOS/PFAS og ved BØF-2 vises det markante PFOS/PFAS-konsentrasjoner. I punktene nedstrøms BØF-2 reduseres konsentrasjonene vesentlig, med PFOS/PFAS-konsentrasjoner hovedsakelig <20 ng/l, kun med enkelte unntak. De fleste av disse punktene oppstrøms BØF-1 og nedstrøms BØF-2 er kun prøvetatt én gang og det uvisst hvor representative disse resultatene er. Punktene ved brannøvingsfeltene er derimot prøvetatt flere ganger og viser variasjon i PFOS/PFAS-konsentrasjonene innenfor og mellom prøvepunktene ved de ulike prøvetakingene.

Mer detaljert er det ved høyvann påvist moderat konsentrasjon av PFOS/PFAS i elven (pkt V6 og V2) nedstrøms brønn 42 på BØF-1. Konsentrasjonene er en tierpotens lavere i

overflatevannet ved lavvann sammenliknet med høyvann samme dag (kun én prøvetaking ved hver situasjon).

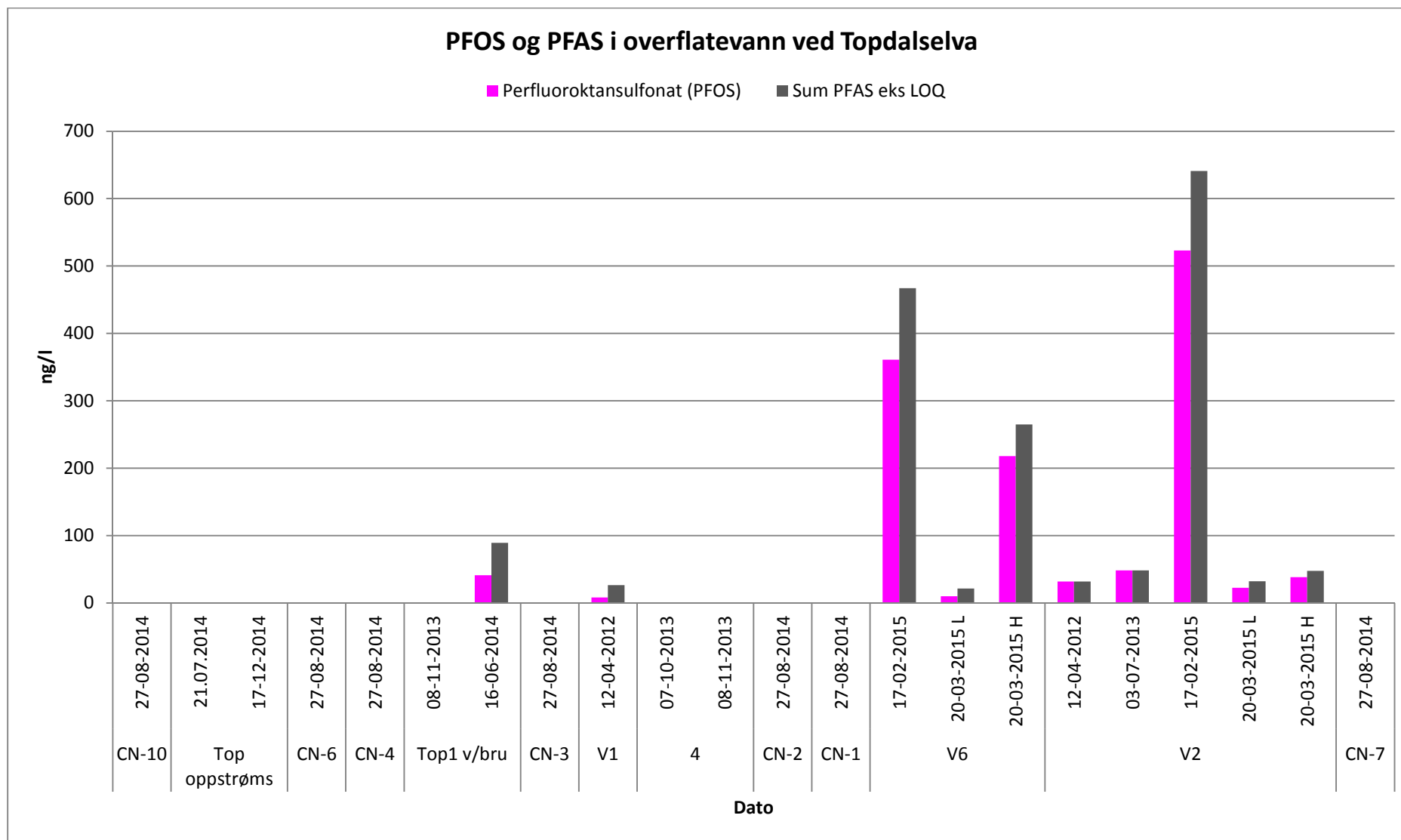
I dreneringsgrøften ved BØF 2, er det påvist markant konsentrasjon (2800 ng/l) av PFOS/PFAS ved den første prøvetakingen i 2011. Da ble det tatt prøve av vannet som renner i selve grøfta nedstrøms utløpet av overvannsrøret (V3/bekk). Prøvetaking i 2014 viser noe lavere konsentrasjon (ca. 800 ng/l), mens siste målinger tatt under lavvannsforhold i Topdalselva i 2015 viser lave konsentrasjoner (<10 ng/l). Prøvepunktet er påvirket dels av vann fra overvannsrør fra lufthavnsområdet utenom BØF 2, og dels av PFOS-forurensset grunnvann fra BØF 2. Det er også tatt gjentatte prøver av vannet direkte fra overvannsrøret (V3/rør). Disse viser gjennomgående lave konsentrasjoner (<10 ng/l). Disse kildeområdene er direkte sammenlignbare. Det antas at prøvene tatt i V3/bekk under lavvannsforhold, uten tidevannspåvirkning i bekken, i stor grad gjenspeiler vannkvaliteten fra V3/rør. Det er i 2015 også tatt prøver av vann i bekken rett oppstrøms utløpet til Topdalselva (V3/bekk utløp). Prøvene er tatt på henholdsvis høy og lavvann på samme dag. Prøvene tatt under høyvannspåvirkning fra Topdalselva, viser høyere konsentrasjon (ca. 350 ng/l) enn lavvannsprøvene (ca. 50 ng/l) tatt samme dag. I tillegg har lavvannsprøven i «V3/bekk utløp» høyere konsentrasjon enn prøve tatt på samme tidspunkt lengst opp i bekken (V3/bekk).

Resultatene fra punktene 2 og V4, hhv oppstrøms og nedstrøms utløpet av dreneringsgrøfta fra BØF 2, viser innhold av PFOS/PFAS i varierende konsentrasjon. 2 viser moderate og lave konsentrasjoner i 2013 og 2014, høyere i 2015. Høyest konsentrasjon er påvist i prøve tatt under høyvannsforhold i mars 2015 (ca. 1 500 ng/l). I V4 varierer konsentrasjonene en del, de fleste prøvene ca. 100 ng/l eller lavere. To prøver i 2013 viser noe høyere konsentrasjoner (ca. 350 - 450 ng/l), mens det er markant høyere konsentrasjon i én prøve tatt i 2014 (ca. 4 100 ng/l).

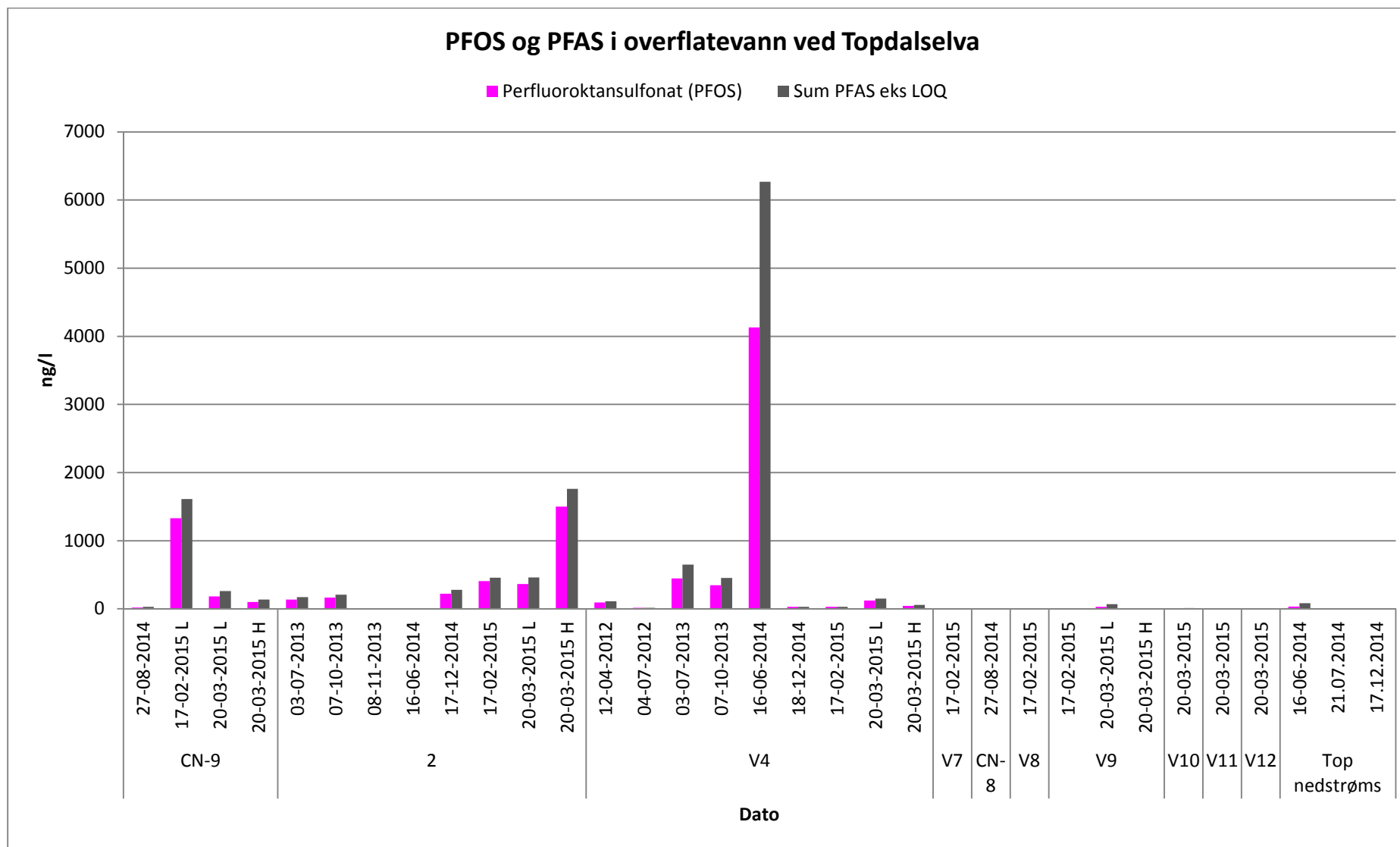
Det er ikke funnet noe forklaring på resultatet ved gjennomgang av prøvetaking og analyse.

Foruten PFOS er det påvist perfluorheksansulfonat (PFHxS) i flere av prøvene. Konsentrasjonen av PFHxS utgjør omkring 50 % av PFAS-konsentrasjonen i punktene Top1 v/bru og V1. Ellers utgjør stoffet <25 % av PFAS-konsentrasjonen i de andre prøvene. PFHxS er ikke påvist over rapporteringsgrensen i punktene Top oppstrøms eller Top nedstrøms.

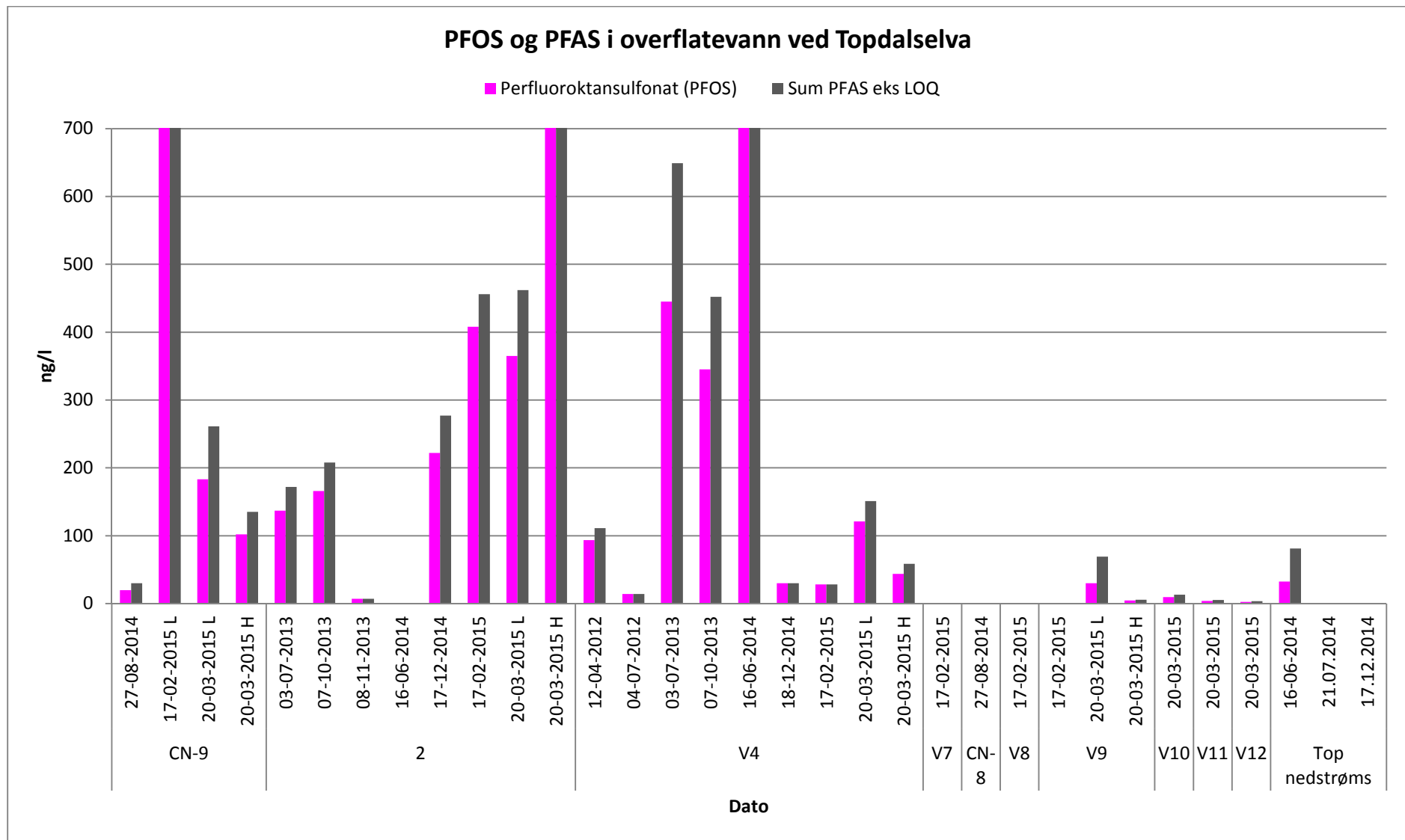
I tillegg er det påvist 6:2 FTS i Top nedstrøms ved prøvetakingen i 2014. Dette utgjør >50 % av PFAS-konsentrasjonen.



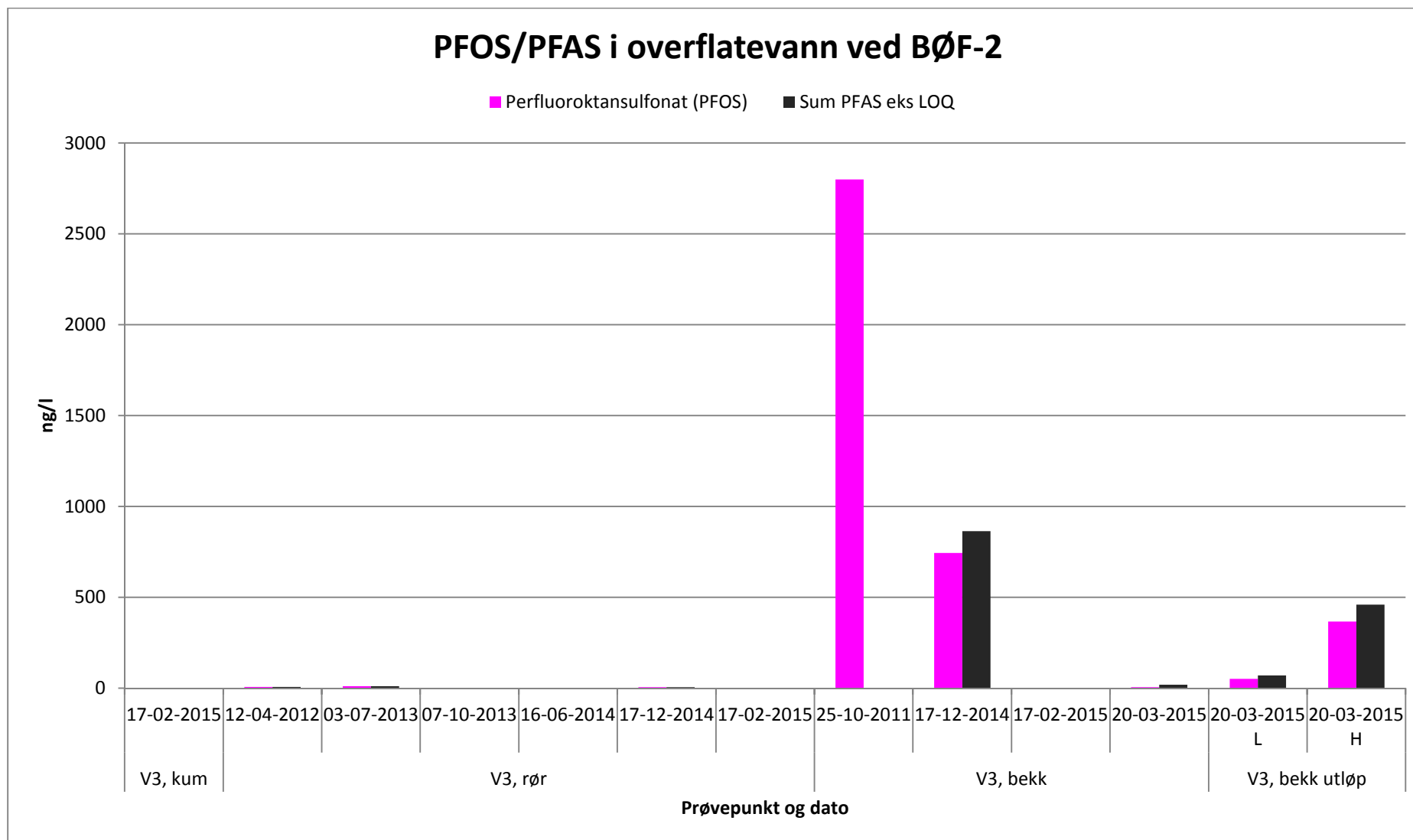
Figur 6-4. Analyseresultater fra overflatevannprøver fra øvre del av Topdalselva (t.o.m. BØF 1)



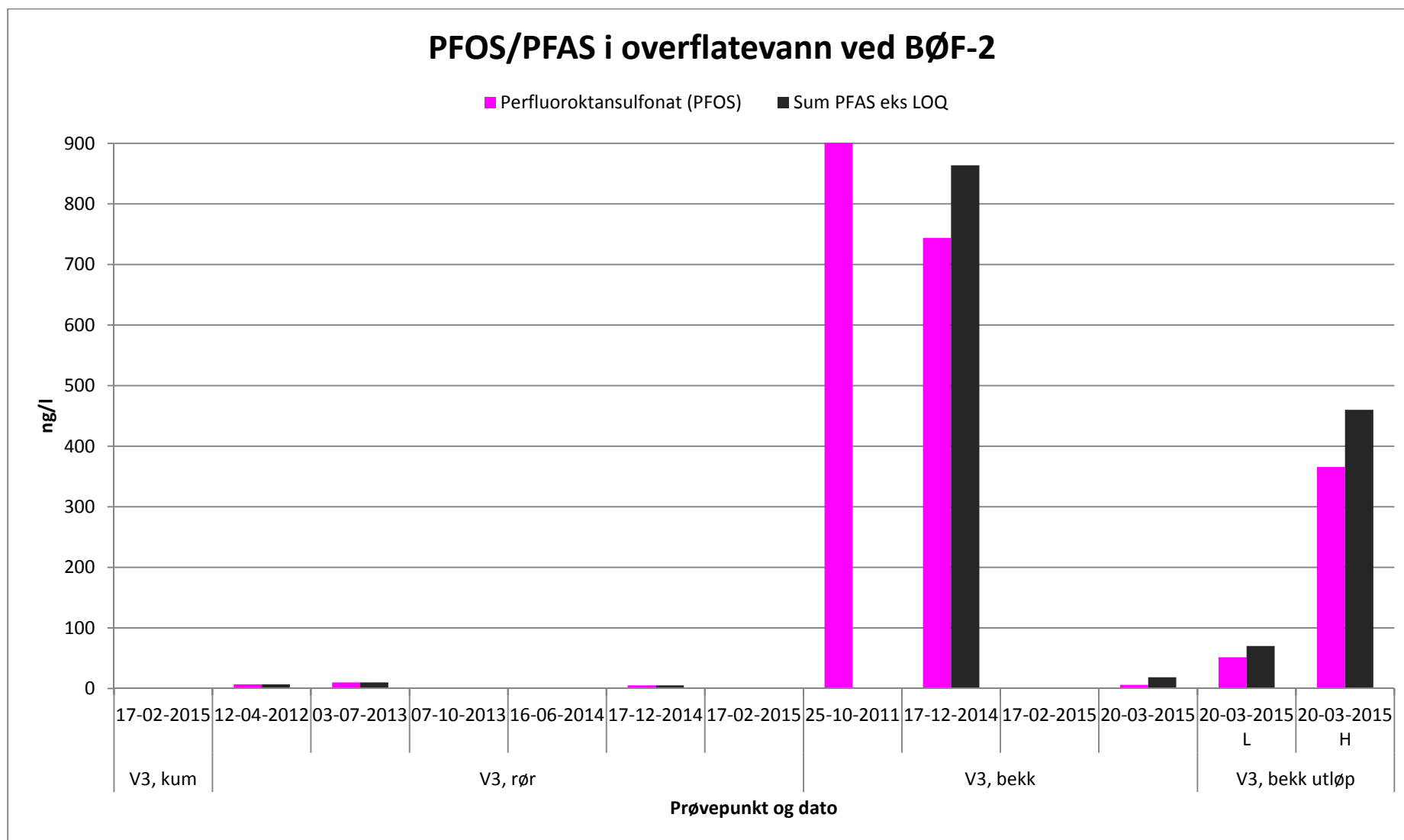
Figur 6-5. Analyseresultater fra overflatevannprøver fra nedre del av Topdalselva (f.o.m. BØF 2)



Figur 6-6 Analyseresultater fra overflatevannprøver fra nedre del av Topdalselva (f.o.m. BØF 2)



Figur 6-7. Analyseresultater fra overflatevannprøver fra BØF 2



Figur 6-8. Analyseresultater fra overflatevannprøver fra BØF 2

Tabell 6-18. Analyseresultater fra overvann ved BØF 1, BØF 2 og Topdalselva, punktene er sortert i strømningsretning

Parameter	Enhet	CN-10	Top oppstrøms		CN-6	CN-4	Top1 v/bru		CN-3	V1	4		CN-2	CN-1
		27-08-2014	21.07.2014	17-12-2014	27-08-2014	27-08-2014	08-11-2013	16-06-2014	27-08-2014	12-04-2012	07-10-2013	08-11-2013	27-08-2014	27-08-2014
6:2 FTS	ng/l	< 3,8	< 15,0	< 25,0	< 3,8	< 3,8	< 7,5	<15,0	< 3,8	<7,5	< 7,5	< 7,5	< 3,8	< 3,8
8:2 FTS	ng/l	< 5,0	< 20,0	< 33,3	< 5,0	< 5,0	< 10,0	<20,0	< 5,0	-	< 10,0	< 10,0	< 5,0	< 5,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	< 3,8	< 15,0	< 25,0	< 3,8	< 3,8	< 7,5	<15,0	< 3,8	<7,5	< 7,5	< 7,5	< 3,8	< 3,8
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	< 2,5	< 10,0	< 16,7	< 2,5	< 2,5	< 5,0	<10,0	< 2,5	<5,0	< 5,0	< 5,0	< 2,5	< 2,5
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	< 2,5	< 10,0	< 16,7	< 2,5	< 2,5	< 5,0	<10,0	< 2,5	<5,0	< 5,0	< 5,0	< 2,5	< 2,5
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	< 3,8	< 15,0	< 25,0	< 3,8	< 3,8	< 7,5	33,3	< 3,8	18,2	< 7,5	< 7,5	< 3,8	< 3,8
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	< 2,5	< 10,0	< 16,7	< 2,5	< 2,5	< 5,0	<10,0	< 2,5	<5,0	< 5,0	< 5,0	< 2,5	< 2,5
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	< 2,5	< 10,0	< 16,7	< 2,5	< 2,5	< 5,0	<10,0	< 2,5	<5,0	< 5,0	< 5,0	< 2,5	< 2,5
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	< 2,5	< 10,0	< 16,7	< 2,5	< 2,5	< 5,0	<10,0	< 2,5	<5,0	< 5,0	< 5,0	< 2,5	< 2,5
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	< 2,5	< 10,0	< 16,7	< 2,5	< 2,5	< 5,0	14,7	< 2,5	<5,0	< 5,0	< 5,0	< 2,5	< 2,5
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	< 2,5	< 10,0	< 16,7	< 2,5	< 2,5	< 5,0	41	< 2,5	8,3	< 5,0	< 5,0	< 2,5	< 2,5
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	< 2,5	< 10,0	< 16,7	< 2,5	< 2,5	< 5,0	<10,0	< 2,5	<5,0	< 5,0	< 5,0	< 2,5	< 2,5
Sum PFAS eks LOQ		i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	89	i.p.	26,5	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.

Tabell 6-19. Analyseresultater fra overvann ved BØF 1, BØF 2 og Topdalselva, punktene er sortert i strømningsretning, forts.

Parameter	Enhet	V6			V2					CN-7	CN-9			
		17-02-2015	20-03-2015 L	20-03-2015 H	12-04-2012	03-07-2013	17-02-2015	20-03-2015 L	20-03-2015 H	27-08-2014	27-08-2014	17-02-2015 L	20-03-2015 L	20-03-2015 H
6:2 FTS	ng/l	< 25,0	< 1,5	< 1,5	<7,5	<15,0	< 25,0	< 1,5	< 1,5	< 3,8	< 3,8	< 25,0	< 1,5	< 1,5
8:2 FTS	ng/l	< 33,3	< 2,0	< 2,0	-	<20,0	< 33,3	< 2,0	< 2,0	< 5,0	< 5,0	< 33,3	< 2,0	< 2,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	< 25,0	< 1,5	< 1,5	<7,5	<15,0	< 25,0	< 1,5	< 1,5	< 3,8	< 3,8	< 25,0	< 1,5	< 1,5
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	< 16,7	< 1,0	< 1,0	<5,0	<10,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0	< 2,5	< 2,5	< 16,7	< 1,0	1,1
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	< 16,7	< 1,0	< 1,0	<5,0	<10,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0	< 2,5	< 2,5	< 16,7	< 1,0	< 1,0
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	54,7	5,7	16,2	<7,5	<15,0	92,3	4,5	3,3	< 3,8	5,4	187	41,8	17,4
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	< 16,7	1,4	2,5	<5,0	<10,0	< 16,7	1,3	1,2	< 2,5	< 2,5	21,7	4,3	2,9
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	< 16,7	< 1,0	< 1,0	<5,0	<10,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0	< 2,5	< 2,5	< 16,7	1,1	< 1,0
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	51,7	4,2	25,4	<5,0	<10,0	26,3	3,8	3,5	< 2,5	4,7	28	24,6	6,5
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	< 16,7	< 1,0	1,4	<5,0	<10,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0	< 2,5	< 2,5	26,7	3,3	1,8
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	361	10	218	31,9	48,3	523	22,4	38,3	< 2,5	19,9	1330	183	102
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	< 16,7	< 1,0	1,4	<5,0	<10,0	< 16,7	< 1,0	1,1	< 2,5	< 2,5	21,3	2,6	2,3
Sum PFAS eks LOQ		467	21,4	265	31,9	48,3	641	32,1	47,4	i.p.	30	1610	261	135

L: lavvann, H: høyvann

Tabell 6-20. Analyseresultater fra overvann ved BØF 1, BØF 2 og Topdalselva, punktene er sortert i strømningsretning, forts.

Parameter	Enhet	2							
		03-07-2013	07-10-2013	08-11-2013	16-06-2014	17-12-2014	17-02-2015	20-03-2015 L	20-03-2015 H
6:2 FTS	ng/l	<15,0	< 15,0	<7,5	<15,0	< 7,5	< 25,0	7,7	24,9
8:2 FTS	ng/l	<20,0	< 20,0	<10,0	<20,0	< 10,0	< 33,3	< 2,0	< 2,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	<15,0	< 15,0	<7,5	<15,0	< 7,5	< 25,0	2,3	6,1
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	<10,0	< 10,0	<5,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	1,4	8,3
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	<10,0	< 10,0	<5,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	34,8	42,4	<7,5	<15,0	40,5	48	53,4	144
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	<10,0	< 10,0	<5,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	7,5	20,8
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	<10,0	< 10,0	<5,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	2,4	6,9
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	<10,0	< 10,0	<5,0	<10,0	7	51,7	8,6	15,2
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	<10,0	< 10,0	<5,0	<10,0	7,3	< 16,7	7,8	24,6
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	137	166	7,2	<10,0	222	408	365	1500
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	<10,0	< 10,0	<5,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	5,5	17,2
Sum PFAS eks LOQ		172	208	7,2	i.p.	277	456	462	1760

L: lavvann, H: høyyvann

Tabell 6-21. Analyseresultater fra overvann ved BØF 1, BØF 2 og Topdalselva, punktene er sortert i strømningsretning, forts.

Parameter	Enhet	V4								
		12-04-2012	04-07-2012	03-07-2013	07-10-2013	16-06-2014	18-12-2014	17-02-2015	20-03-2015 L	20-03-2015 H
6:2 FTS	ng/l	<7,5	<15,0	22,5	< 15,0	163	< 15,0	< 25,0	< 1,5	< 1,5
8:2 FTS	ng/l	-	<20,0	<20,0	< 20,0	<20,0	< 20,0	< 33,3	< 2,0	< 2,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	<7,5	<15,0	<15,0	< 15,0	51,6	< 15,0	< 25,0	< 1,5	< 1,5
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	<5,0	<10,0	<10,0	< 10,0	21,3	< 10,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	<5,0	<10,0	<10,0	< 10,0	<10,0	< 10,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	17,6	<15,0	131	91,0	1230	< 15,0	< 25,0	18,5	8,2
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	<5,0	<10,0	17	< 10,0	124	< 10,0	< 16,7	2,6	1,9
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	<5,0	<10,0	<10,0	< 10,0	41,6	< 10,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	<5,0	<10,0	<10,0	< 10,0	136	< 10,0	< 16,7	4,4	1,7
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	<5,0	<10,0	22,6	16,2	285	< 10,0	< 16,7	2,4	1,2
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	93,5	14,1	445	345	4130	30	28,3	121	43,8
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	<5,0	<10,0	12,2	< 10,0	84,4	< 10,0	< 16,7	2,2	1,6
Sum PFAS eks LOQ		111,1	14,1	649	452	6270	30	28,3	151	58,4

L: lavvann, H: høyyvann

Tabell 6-22. Analyseresultater fra overvann ved BØF 1, BØF 2 og Topdalselva, punktene er sortert i strømningsretning, forts.

Tabell 6-22: Analyseresultater fra overvann ved DØF 1, DØF 2 og Topdalsåna, punktene er sortert i nedstrømsretning, i.e.													
Parameter	Enhet	V7	CN-8	V8	V9			V10	V11	V12	Top nedstrøms		
		17-02-2015	27-08-2014	17-02-2015	17-02-2015	20-03-2015 L	20-03-2015 H	20-03-2015	20-03-2015	20-03-2015	16-06-2014	21.07.2014	17.12.2014
6:2 FTS	ng/l	< 25,0	< 3,8	< 25,0	< 25,0	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	48,6	< 15,0	< 25,0
8:2 FTS	ng/l	< 33,3	< 5,0	< 33,3	< 33,3	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	<20,0	< 20,0	< 33,3
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	< 25,0	< 3,8	< 25,0	< 25,0	2	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	<15,0	< 15,0	< 25,0
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	< 16,7	< 2,5	< 16,7	< 16,7	1,2	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<10,0	< 10,0	< 16,7
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	< 16,7	< 2,5	< 16,7	< 16,7	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<10,0	< 10,0	< 16,7
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	< 25,0	< 3,8	< 25,0	< 25,0	25	< 1,5	2,2	< 1,5	< 1,5	<15,0	< 15,0	< 25,0
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	< 16,7	< 2,5	< 16,7	< 16,7	3,7	1,2	1,4	1,2	1,2	<10,0	< 10,0	< 16,7
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	< 16,7	< 2,5	< 16,7	< 16,7	1,2	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<10,0	< 10,0	< 16,7
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	< 16,7	< 2,5	< 16,7	< 16,7	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<10,0	< 10,0	< 16,7
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	< 16,7	< 2,5	< 16,7	< 16,7	2,4	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<10,0	< 10,0	< 16,7
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	< 16,7	< 2,5	< 16,7	< 16,7	30	4,4	9,5	4	2,3	32,4	< 10,0	< 16,7
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	< 16,7	< 2,5	< 16,7	< 16,7	3,6	< 1,0	< 1,5	< 1,5	< 1,5	<10,0	< 10,0	< 16,7
Sum PFAS eks LOQ		i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	69,2	5,6	13,1	5,2	3,5	81,1	i.p.	i.p.

L: lavvann, H: høyvann

Tabell 6-23. Analyseresultater fra overvann ved BØF 2, punktene er sortert i strømningsretning.

Parameter	Enhet	V3, kum	V3, rør						V3, bekk				V3, bekk utløp	
		17-02-2015	12-04-2012	03-07-2013	07-10-2013	16-06-2014	17-12-2014	17-02-2015	25-10-2011	17-12-2014	17-02-2015	20-03-2015	20-03-2015 L	20-03-2015 H
6:2 FTS	ng/l	< 25,0	<7,5	<15,0	< 15,0	<15,0	< 7,5	< 25,0	-	14,5	< 25,0	< 1,5	< 1,5	5,3
8:2 FTS	ng/l	< 33,3	-	<20,0	< 20,0	<20,0	< 10,0	< 33,3	-	< 10,0	< 33,3	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	< 25,0	<7,5	<15,0	< 15,0	<15,0	< 7,5	< 25,0	-	< 7,5	< 25,0	< 1,5	< 1,5	< 1,5
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	< 16,7	<5,0	<10,0	< 10,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	-	< 5,0	< 16,7	1,2	1,3	8,6
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	< 16,7	<5,0	<10,0	< 10,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	-	< 5,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	< 25,0	<7,5	<15,0	< 15,0	<15,0	< 7,5	< 25,0	-	67,3	< 25,0	5,5	9,2	40,2
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	< 16,7	<5,0	<10,0	< 10,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	-	9,3	< 16,7	1,1	1,4	4,7
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	< 16,7	<5,0	<10,0	< 10,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	-	< 5,0	< 16,7	< 1,0	< 1,0	1,9
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	< 16,7	<5,0	<10,0	< 10,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	-	7,5	< 16,7	2,4	3,2	14,1
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	< 16,7	<5,0	<10,0	< 10,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	52	12,7	< 16,7	1,1	2	9,5
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	< 16,7	6,9	10,2	< 10,0	<10,0	5,4	< 16,7	2800	744	< 16,7	6	51,8	366
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	< 16,7	<5,0	<10,0	< 10,0	<10,0	< 5,0	< 16,7	-	8,9	< 16,7	1,1	1,4	9,3
Sum PFAS eks LOQ		i.p.	6,9	10,2	i.p.	i.p.	5,4	i.p.	-	864	i.p.	18,5	70,4	460

L: lavvann, H: høyvann

6.4.2.2 Ålefjærfjorden

I 2013 ble det tatt en vannprøve i Ålefjærbukta i forbindelse med overvåkning av avsningskjemikalier. Prøven ble i tillegg analysert mht. PFAS, men det ble ikke påvist PFAS over de gitte deteksjonsgrenser.

Tabell 6-24. Analyseresultater fra overvann ved Ålefjærfjorden

Parameter	Enhet	Ål1
Dato		07-10-2013
6:2 FTS	ng/l	< 7,5
8:2 FTS	ng/l	< 10,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	< 7,5
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	< 5,0
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	< 5,0
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	< 7,5
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	< 5,0
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	< 5,0
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	< 5,0
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	< 5,0
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	< 5,0
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	< 5,0
Sum PFAS eks LOQ		i.p.

6.4.2.3 Aktiv BØF

Ved det aktive brannøvingsfeltet ble det i DP2 tatt prøve av overvann som renner ut av et større rør (V5) og til sjø fra øvingsfeltets nærområde. I teorien kan vann fra feltet også føres denne veien i stedet for til kommunalt avløp ved bruk av en ventil. Dette har blitt utført tidligere, og ny informasjon tilsier at det i dag fortsatt gjennomføres utenom øvingstidspunkt ved varslede store nedbørsmengder. Det ble påvist lav konsentrasjon av PFOS, noe perfluorheksansyre (PFHxA) og perfluorpentansyre (PFPeA), samt høyere konsentrasjon av 6:2 FTS i prøven fra desember 2012.

I desember 2014 ble det tatt en ny vannprøve i punktet. I tillegg ble det tatt ut prøve fra to mindre rør (V5 Rør 1 og V5 Rør 2) som ligger ved siden av det store røret (V5). Det ble ikke påvist PFOS i noen av prøvene tatt i 2014. PFAS ble påvist i lave konsentrasjoner (<55 ng/l) og bestod av perfluorheksansyre (PFHxA) og perfluorpentansyre (PFPeA).

I august 2014 ble det tatt prøve av sjøvann i strandkanten utenfor det aktive brannøvingsfeltet (CN-11). Prøven viser ikke innhold av PFOS, mens konsentrasjonen av PFAS ligger på 16,3 ng/l og består av 6:2 FTS, perfluorheksansyre (PFHxA) og perfluorpentansyre (PFPeA).

I desember 2014 ble det tatt en sjøvannsprøve noe lengre ut i bukten utenfor det aktive brannøvingsfeltet (Sjø BØF-3). Resultatene viser PFOS-konsentrasjon på 15 ng/l, mens konsentrasjonen av PFAS ligger på 82,2 ng/l og består av 6:2 FTS, perfluorheksansyre (PFHxA) og perfluorpentansyre (PFPeA). Konsentrasjonene må anses som signifikant høyere enn i CN-11 prøven, men det bemerkes at prøvene ikke er tatt på samme tid og kun én prøvetaking (øyeblikksbilde).

Analyseresultatene er vist i Tabell 6-25 og Tabell 6-26.

Tabell 6-25. Analyseresultater fra overvann ved aktiv BØF

Parameter	Enhet	V5 RØR1	V5 RØR2	V5	
		18-12-2014	18-12-2014	12-04-2012	18-12-2014
6:2 FTS	ng/l	< 15,0	< 15,0	183	< 15,0
8:2 FTS	ng/l	< 20,0	< 20,0	-	< 20,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	< 15,0	< 15,0	<7,5	< 15,0
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	< 10,0	< 10,0	<5,0	< 10,0
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	< 10,0	< 10,0	<5,0	< 10,0
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	< 15,0	< 15,0	7,9	< 15,0
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	< 10,0	16,6	13,7	< 10,0
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	< 10,0	< 10,0	6,2	< 10,0
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	< 10,0	< 10,0	<5,0	< 10,0
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	< 10,0	< 10,0	<5,0	< 10,0
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	< 10,0	< 10,0	5,1	< 10,0
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	21,5	36,7	15,5	21,5
Sum PFAS eks LOQ		21,5	53,3	231,4	21,5

Tabell 6-26. Analyseresultater fra sjøvann utenfor aktiv BØF

Parameter	Enhet	CN-11	Sjø BØF 3
		27-08-2014	18-12-2014
6:2 FTS	ng/l	4,3	22,6
8:2 FTS	ng/l	< 5,0	< 20,0
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	< 3,8	< 15,0
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	< 2,5	< 10,0
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	< 2,5	< 10,0
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	< 3,8	< 15,0
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	3,4	10,9
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	< 2,5	< 10,0
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	< 2,5	< 10,0
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	< 2,5	< 10,0
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	< 2,5	15,0
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	8,6	33,8
Sum PFAS eks LOQ		16,3	82,2

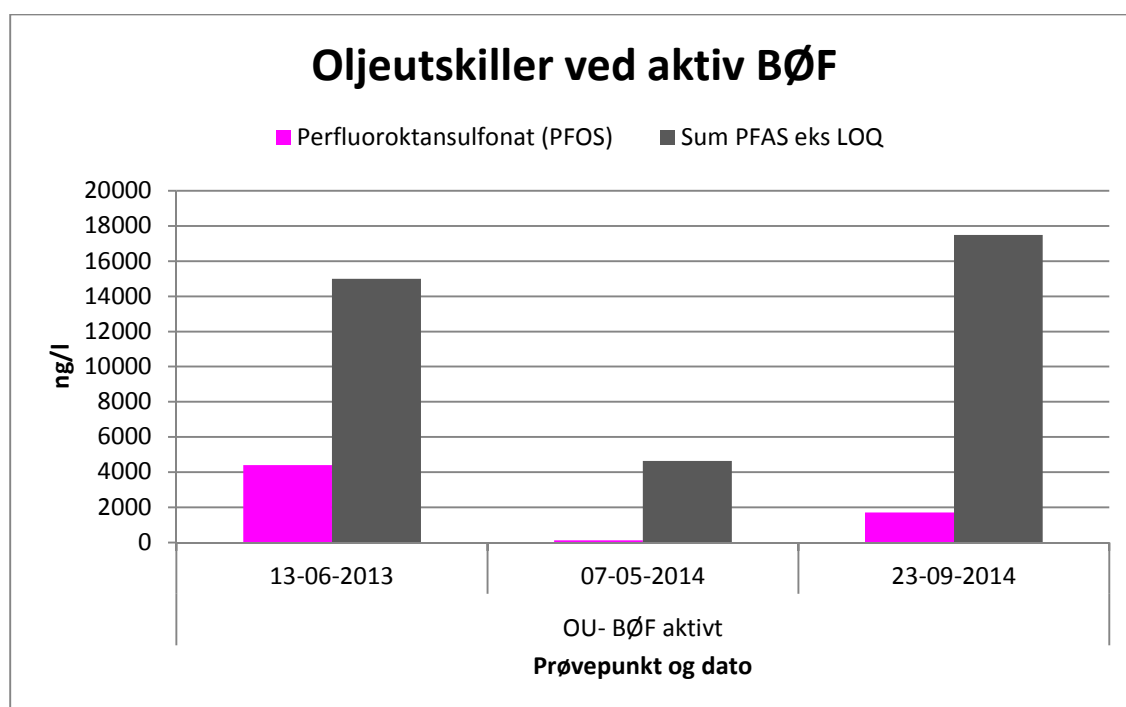
6.4.2.4 Aktiv BØF - oljeutskiller

Det aktive brannøvingsfeltet ved Kristiansand Lufthavn Kjevik er tilknyttet en oljeutskiller med påslipp til kommunalt nett, og går via kommunalt renseanlegg på Odderøya og derfra ut i Kristiansandsfjorden. Avløpsvannet er prøvetatt en gang under øvelse i 2013 og en gang i mai 2014 hvor det ikke var øvelse. Analyseresultatene er vist i Figur 6-9 og Tabell 6-27.

Resultatene viser høye konsentrasjoner av PFOS/PFAS ved øvelsessituasjonen i 2013. Konsentrasjonen av 6:2 FTS er høyere enn PFOS, som er naturlig ved et aktivt brannøvingsfelt. Når det ikke er øvelse på feltet, er det betydelig lavere konsentrasjon av PFOS/PFAS i vannet. Konsentrasjonen av PFAS domineres av 6:2 FTS.

Prøvetakingen i september 2014 viser igjen høye konsentrasjoner av PFAS, og det er rimelig å anta at det har vært en øvelse i forkant av prøvetakingen.

Avinor eier eiendommen som brannøvingsfeltet ligger på, men det er flere brukere av feltet og det øves hyppig. Det foreligger nå (januar 2015) en avtale som sier at det stilles samme krav til anskaffelse av skum hos andre aktører som det Avinor stiller til seg selv, men det kan ikke utelukkes at enkelte av brukerne fremdeles benytter AFFF (uten PFOS men med andre PFAS). Slikt skum er ikke forbudt, men Avinor har valgt å fase det ut fra sine brannbiler. Dette samt tidligere bruk av fluorholdig skum fra flere aktører gir en forklaring på konsentrasjonene av 6:2 FTS som påvises i avløpsvannet fra feltet.



Figur 6-9. Analyseresultater fra vannprøver fra oljeutskiller ved aktiv BØF

Tabell 6-27. Analyseresultater fra vann fra oljeutskiller ved aktiv BØF

Parameter	Enhet	OU- BØF aktivt		
Dato		13-06-2013	07-05-2014	23-09-2014
6:2 FTS	ng/l	7240	3300	12900
8:2 FTS	ng/l	1240	320	1240
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	ng/l	10	<7,5	24,2
Perfluorbutansyre (PFBA)	ng/l	970	487	108
Perfluordekansyre (PFDA)	ng/l	60	20,5	28,9
Perfluorheksansulfonat (PFHxS)	ng/l	80	9,9	230
Perfluorheksansyre (PFHxA)	ng/l	450	105	468
Perfluorheptansyre (PFHpA)	ng/l	140	47,8	147
Perfluornonansyre (PFNA)	ng/l	40	15,1	30,4
Perfluoroktansyre (PFOA)	ng/l	160	28,3	149
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	ng/l	4390	124	1700
Perfluorpentansyre (PFPeA)	ng/l	350	167	521
Sum PFAS eks LOQ		15000	4630	17500

6.5 Oppsummering jord og vann

Det er utført et betydelig antall PFAS-analyser av jord ved Kristiansand lufthavn i regi av ulike Avinorprosjekter. PFAS er kun påvist over normverdi ved de gamle brannøvingsfeltene (BØF 1 og 2) som ligger ved Topdalselva. Ved disse gamle brannøvingsfeltene er det sandige masser og påvist moderate konsentrasjoner (<5 000 µg/kg) PFOS. PFAS-forurensningen i umettet sone ved BØF 1 er ikke avgrenset, men sammenholdt med vanndata er likevel grunnlaget for en spredningsvurdering vurdert til å være akseptabelt. Lufthavnen har ikke registrert andre områder hvor det er benyttet brannskum.

Det er påvist betydelige konsentrasjoner (klasse IV og V) av stoffene i grunnvann både ved og nedstrøms feltene. Grunnvannet fra BØF 2 drenerer bl.a mot dreneringsgrøfta i V3 og konsentrasjonene ligger også i klasse IV her.

Det er tatt flere vannprøver i strandkanten langs Topdalselva, både oppstrøms og nedstrøms brannøvingsfeltene.

Overordnet viser resultatene at det ikke påvises PFOS/PFAS over rapporteringsgrensene i de prøvetatte vannmasser oppstrøms BØF-1 (t.o.m. pkt. CN-1). Unntaket er to lave konsentrasjoner av PFOS i to ulike punkter. I punktene ved BØF-1 vises det jevnt lave konsentrasjoner av PFOS/PFAS og ved BØF-2 vises det markante PFOS/PFAS-konsentrasjoner. I punktene nedstrøms BØF-2 reduseres konsentrasjonene vesentlig, med PFOS/PFAS-konsentrasjoner hovedsakelig <20 ng/l, kun med enkelte unntak. De fleste av disse punktene oppstrøms BØF-1 og nedstrøms BØF-2 er kun prøvetatt én gang og det uvisst hvor representative disse resultatene er. Punktene ved brannøvingsfeltene er derimot prøvetatt flere ganger og viser variasjon i PFOS/PFAS-konsentrasjonene innenfor og mellom prøvepunktene ved de ulike prøvetakingene.

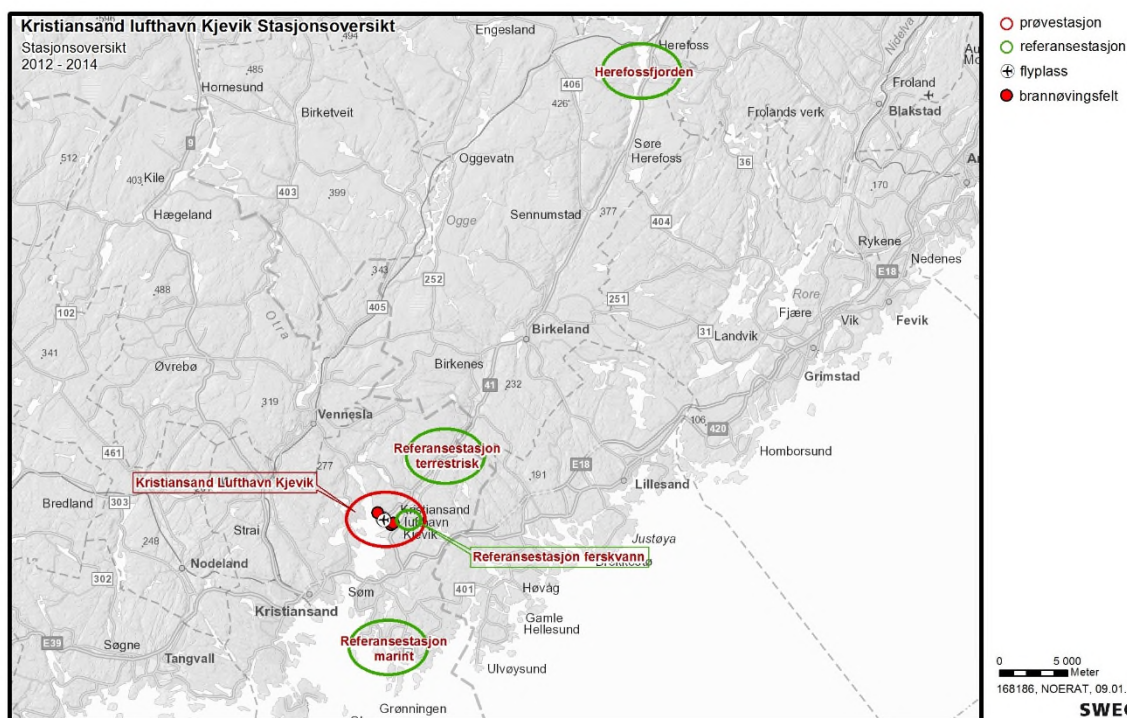
Prøvetakingene i vann har blitt utført med tanke på å avdekke/påvise PFAS-forurensning. Dermed er det hovedsakelig tatt prøver nær kilden. Dette datagrunnlaget er for skrint til å kunne gi en kvalifisert vurdering av forurensningstilstanden i Topdalselva mht. PFAS, samt å avdekke hvilken forurensning som ikke kan tilskrives lufthavnens aktivitet. Ytterligere overvåkning av resipienten Topdalselva bør derfor vurderes.

Vann fra oljeutskilleren ved det aktive brannøvingsfeltet inneholder konsentrasjoner av PFAS i øvre del av kategori IV. Innholdet av fluortelomerene 6:2 og 8:2 FTS er de dominerende PFAS i avløpsvannet. Innholdet av fluorstoffer kan skyldes tidligere (etter 2008) bruk av PFAS-holdig skum, eller at aktører også etter 2012 har brukt PFAS-holdig brannskum på feltet. Avløpsvannet ledes til kommunalt nett, via renseanlegg på Odderøya og derfra ut i Kristiansandsfjorden.

6.6 Biota

Kjevik var den første av lufthavnene det ble hentet inn biologisk materiale fra. Det ble lagt opp innsamling i forhold til både å kunne påvise PFAS i og ved forurensset område, og å kartlegge innhold av disse stoffene i ulike organismegrupper i resipientene. Det ble og gjort en trinnvis tilnærming for å «kalibrere» metodene med sikte på å finne organismegrupper som kunne si noe om hvordan PFOS og øvrige PFAS forbindelser kommer inn i næringskjeden, om hvilke biotagrupper som kan si noe om risiko for spredning til mennesker og om tilstanden i økosystemene. Feltarbeid har derfor vært gjennomført i flere omganger, april 2012, oktober 2012, juli – oktober 2013 og i august 2014.

Det ble samlet inn «påvisningsprøver» av organismer som lever i en vannfylt grøft nedstrøms BØF2 og langs elvas strandsone utenfor BØF2. I tillegg ble det samlet inn organismer på land, i Topdalselva, i marint miljø. og på referansestasjoner (se Figur 6-10). Undersøkte arter er beskrevet i vedlegg 1. Oversiktskartet i vedlegg 5 viser hovedresultater og fangststed.



Figur 6-10. Stasjonsoversikt innsamling av biotapprøver 2012-2014.

6.6.1 Terrestriske arter

6.6.1.1 Metodikk og datainnsamling

Det ble samlet inn stor skogmus i skogsområdet som ligger mellom gjerdet som avgrenser selve lufthavnsområdet og Topdalselva i april 2012. I slutten av august 2014 ble det i tillegg samlet inn blader av bjørk, svartor, osp, hegg og svartvier i samme området og i tilknytning til brannøvingsfeltene. Det ble også samlet inn meitemark. Plassering er vist i Figur 6-11 og Figur 6-12. Prøvepunktene ligger både i områder som er påvirket av forurensningen, og i et referanseområde som ikke er påvirket av aktivitet på Kjevik lufthavn.

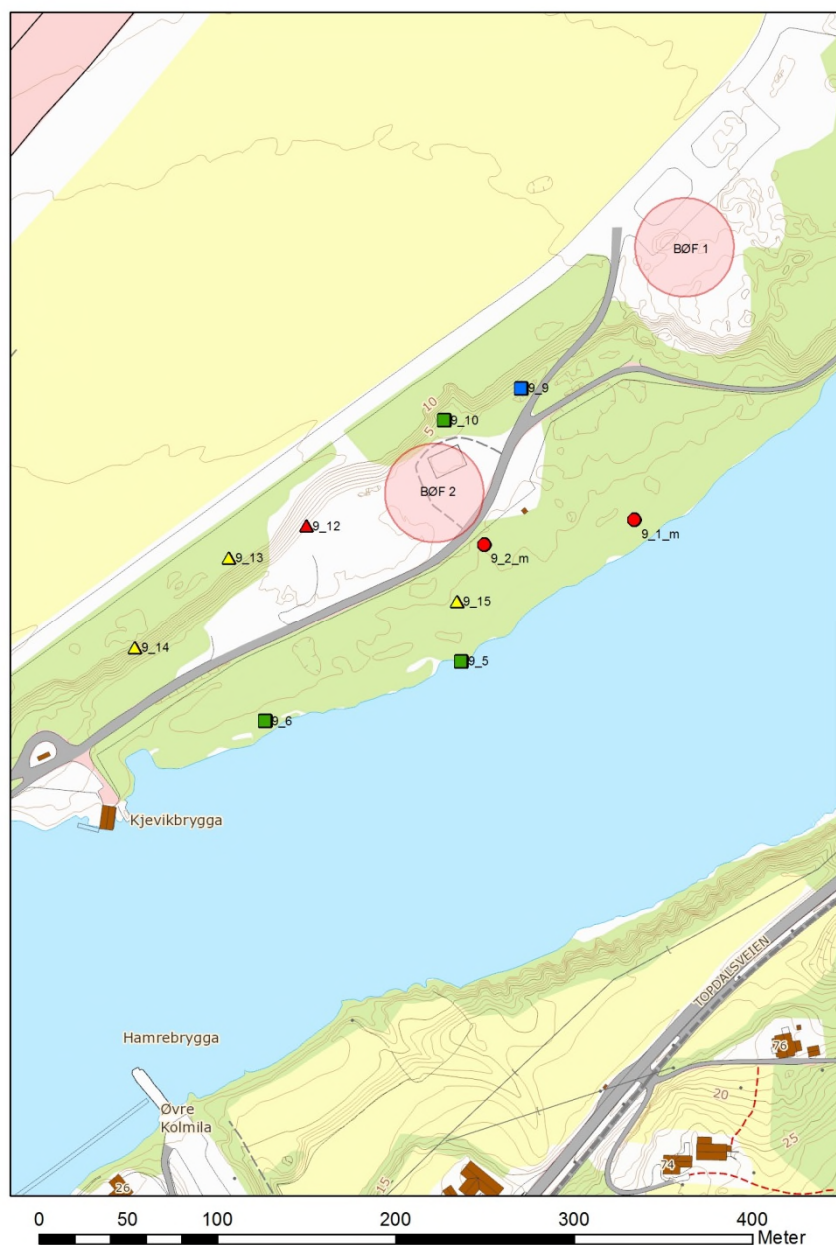
Vegetasjon innsamling av prøver

Totalt ble det samlet inn 30 vegetasjonsprøver fra transekter langs brannøvingsfeltene på Kjevik Lufthavn. Av disse ble 9 analysert (se Tabell 6-28). Svartor var klart mest dominerende i innsamlingsområdet. For å få en mest mulig enhetlig innsamling med hensyn på art ble det valgt å samle inn blader av svartor der denne var til stede. På tørrere steder hvor det ikke fantes svartor ble det samlet inn bjørkeblader (totalt 7). Dersom bjørk heller ikke var til stede ble det samlet inn osp (totalt 4). Der ingen av disse tre artene fantes innen en rimelig avstand fra ønsket innsamlingspunkt ble det tatt prøver fra den trevegetasjonen som var nærmest mulig.

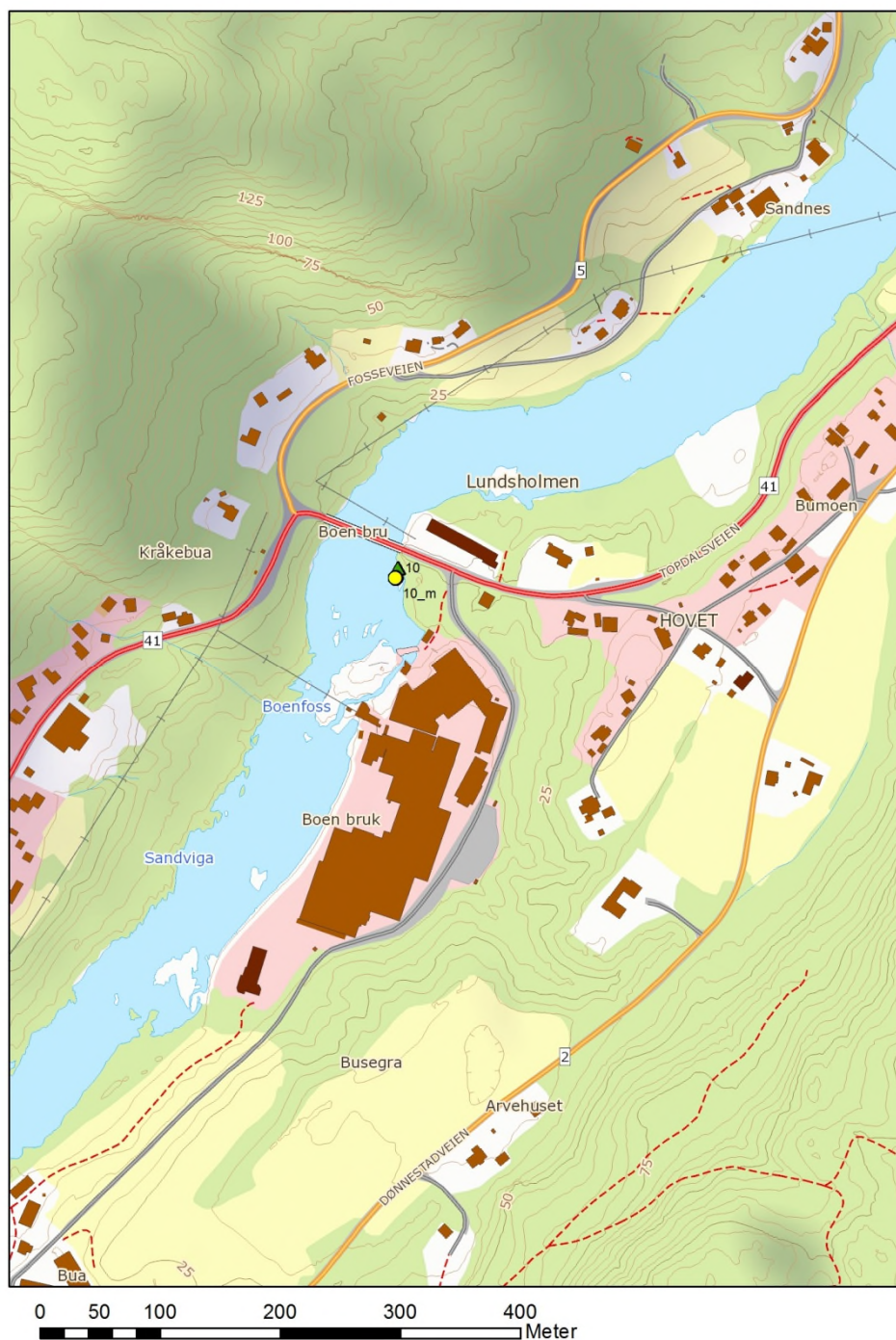
Fra hvert tre ble det tatt 20 – 25 blader i brysthøyde. Årsskudd ble valgt der dette var mulig. Blader med sopp eller annen sykdom ble unngått. Omkrets av stamme ble målt i brysthøyde, og treets høyde ble anslått). Avstand fra vannet og høyde over elvas vannstand ble (grovt) anslått. Der avstanden til vannet var lang ble dette ikke gjort (Datamangel, NA, i Tabell 6-28).

Det ble også samlet inn en referanseprøve av bjørk (prøve 10) fra et område ovenfor Boenfoss og Boen bruk, ca. 7,5 km oppstrøms utløpet av Topdalselva.

Prøvene av løv ble pakket i plastposer og sendt til NILU i Tromsø for analyse.



Figur 6-11. Punkter (trekant: bjørk, kvadrat: svartor og sirkel: meitemark) for hvor det ble tatt prøver i forhold til brannøvingsfeltene i slutten av august 2014 ved Kjevik lufthavn, prøvenummer og klasseinndeling for resultatene: Fargekoder ihht tabell 4.1.



Figur 6-12. Punkter (trekant: bjørk, meitemark: sirkel) for hvor det ble tatt prøver på referansestasjonen ved Topdalselva ca. 7,5 km oppstrøms Kjevik lufthavn i slutten av august 2014, prøvenummer og klasseinndeling for resultatene. Fargekoder ihht tabell 4.1.

Tabell 6-28. Vegetasjonsprøver tatt og analysert i tilknytning til Kjevik lufthavn. MFV: Meter fra vannkant/ elvebredden. MOV: Meter over vannkant/ elvebredden. Begge er anslått ved øyemål. Koordinater er oppgitt i grader, minutter og sekunder.

Prøve-ID	Koordinater: Nord	Koordinater: Øst	Art	MFV	MOV	Omkrets på trærne prøvene ble tatt fra (cm)	Anslått høyde på trærne (m)	Prøvested	Analysert
9_5	58.11.54.552	8.05.11.350	Svartor	6	0	60	15	BØF 1 og 2	NILU
9_6	58.11.55.049	8.05.11.359	Svartor	8	0	40	10	BØF 1 og 2	NILU
9_9	58.12.02.382	8.05.19.139	Svartor	200	10	15	6	BØF 1 og 2	NILU
9_10	58.11.04.547	8.04.55.780	Svartor	200	NA	4		BØF 1 og 2	NILU
9_12	58.11.57.491	8.05.09.580	Bjørk	150	NA	40	8	BØF 1 og 2	NILU
9_13	58.11.10.632	8.04.56.940	Bjørk	100	NA	5	1	BØF 1 og 2	NILU
9_14	58.11.06.528	8.04.55.900	Bjørk	120	NA	5	3	BØF 1 og 2	NILU
9_15	58.11.54.510	8.05.01.399	Bjørk	100	NA	30	8	BØF 1 og 2	NILU
10	58.14.46.230	8.08.25.159	Bjørk	2	1	40	10	Ovenfor fossen	NILU

Terrestrisk fauna innsamling av prøver

Mus

I april 2012 ble det satt ut i alt 102 musefeller av typen rapp. Hampetråd, innsatt med baconfett ble brukt som åte. Fellene ble plassert langs to linjer på utsiden av gjerdet som omkranser lufthavnsområdet; mellom elva og gjerdet. Området ble systematisk dekket. Hver gruppe med feller var markert med en farget markeringspinne. Fellene som ble satt ut på den ene rekka var delvis tildekket for å unngå utilsiktet fangst av fugl (se Figur 6-13). Fellene ble ettersett hver morgen, og stod ute i perioden 17.04 til og med 02.05 2012. I alt ble det samlet inn 10 storskogmus som ble sendt til analyse (Tabell 6-29).



Figur 6-13. Fangst av mus i skogsområdet mellom brannøvingsfeltene BØF 1 og BØF 2 og Topdalselva i april 2012. Foto Finn R. Gravem

Tabell 6-29. Prøver av storskogmus samlet inn og analysert i tilknytning til brannøvingsfeltene BØF 1 og 2, ved Kristiansand lufthavn, Kjevik i april og mai 2012.

Prøve id	Fangstdato	Koordinater UTM prøvested	Art	Prøvetype	Analysert
210	20.04.2012	32 V 446410 6451321	storskogmus	Lever individ	ALS
211	20.04.2012	32 V 446443 6451328	storskogmus	Lever individ	ALS
212	20.04.2012	32 V 446456 6451321	storskogmus	Lever individ	ALS
213	20.04.2012	32 V 446456 6451321	storskogmus	Lever individ	ALS
214	22.04.2012	32 V 446456 6451321	storskogmus	Lever individ	ALS
215	23.04.2012	32 V 446274 6451199	storskogmus	Lever individ	ALS
216	23.04.2012	32 V 446274 6451199	storskogmus	Lever individ	ALS
217	24.04.2012	32 V 446290 6451207	storskogmus	Lever individ	ALS
218	25.04.2012	32 V 446302 6451214	storskogmus	Lever individ	ALS
219	02.05.2014	32 V 446313 6451253	storskogmus	Lever individ	ALS

Meitemark (Lumbricidae)

Meitemark ble samlet inn fordi den er viktig i terrestriske økosystemer. Den er detritus-spiser og den kan være en god indikatorart. Det ble samlet inn prøver av meitemark i tilknytning til brannøvingsfeltene ved Kristiansand lufthavn, og på en referansestasjon (Tabell 6-30) i august 2014. Det ble samlet 8 – 10 individer fra hver lokalitet (Tabell 6-30). Arter er ikke bestemt.

Tabell 6-30. Prøver av meitemark samlet inn i tilknytning til brannøvingsfeltene ved Kjevik lufthavn og fra en referansestasjon i august 2014. Koordinater er oppgitt i grader, minutter og sekunder.

ID	Koordinater Øst	Koordinater Nord	Prøvested	Art	Prøvetype	Analysert
9_1_m	58.11.13020	8.04.57.779	Mellom / syd for BØF 1 og BØF 2	Meitemark	Blandprøve 8 – 10 individer	NILU
9_2_m	58.11.05412	8.04.55660	Syd for BØF 2	Meitemark	Blandprøve 8 – 10 individer	NILU
10_m	58.14.46230	8.08.25.159	Referanse ca. 7,5 km oppstrøms utløpet av Topdalselva	Meitemark	Blandprøve 8 – 10 individer	NILU

6.6.1.2 Presentasjon og vurdering av data fra alle innsamlingsrunder

Vegetasjon - funn

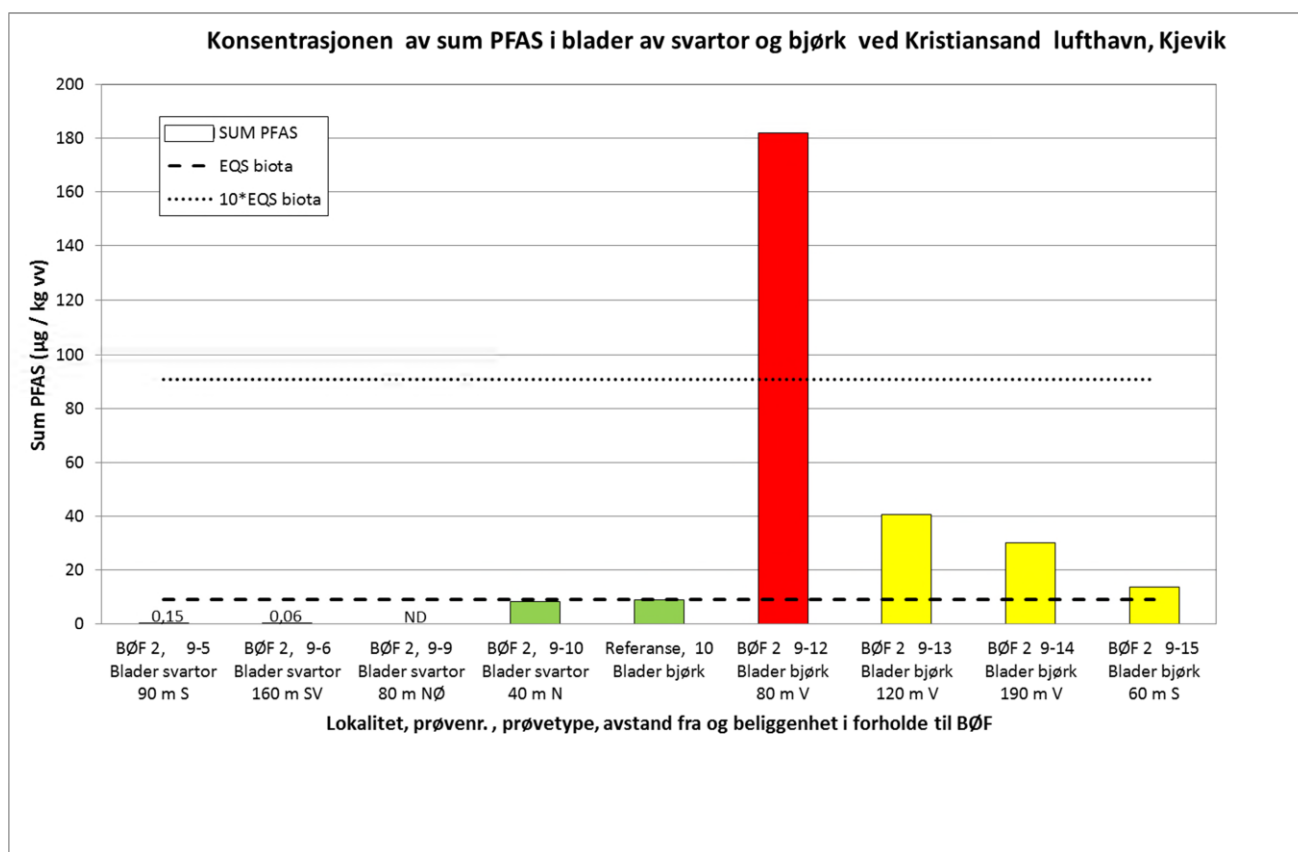
Kun blader av bjørk og svartor ble analysert. Med unntak av én prøve av svartorblader ble det påvist PFAS i alle prøvene av blader som ble analysert, også i referanseprøven av bjørk. Referansepunktet var lokalisert ca. 7,5 km oppstrøms lufthavna ved Boenfossen (Tabell 6-31 og Figur 6-14). Konsentrasjonen av PFAS i referanseprøven var 9,01 µg/kg vv, det vil si like under EQS biota på 9,1 µg/kg vv. Begrunnet med prøvepunktets beliggenhet, er dette et resultat som ikke kan skyldes aktiviteten ved lufthavnen, og det viser at det også finnes kilder til PFAS utenfor kildeområdet ved lufthavna. Hvilken virksomhet som er opphavet til de påviste PFAS er ikke påvist. Av de fire forbindelsene som ble funnet i referanseprøven forekom PFOA med høyest konsentrasjon (4,41 µg/kg vv).

Konsentrasjonen av PFAS i bjørkeblader samlet inn i tilknytning til brannøvingsfeltene, varierte fra 13,7 – 181,8 µg/kg vv (Tabell 6-31 og Figur 6-14). Laveste konsentrasjon lå med andre ord ikke mye høyere enn det som ble påvist i referanseprøven. Generelt lå konsentrasjonen i prøvene av bjørkeblader høyere enn i blader av svartor. Dette tyder på at de to artene responderer forskjellig med hensyn på opptak av PFAS, men kan også ha sammenheng med hvor trærne vokser i forhold til kildekilden (oppstrøms/nedstrøms) I bjørkebladene med høyest konsentrasjon dominerte PFOS (100 µg/kg vv). I tillegg forekom seks andre forbindelser i denne prøven hvorav PFHxS og PFOA hadde konsentrasjoner over EQS biota, henholdsvis 63,6 og 9,97 µg/kg vv (Tabell 6-31). I de tre andre prøvene av bjørkeblader ble PFOS påvist i to av prøvene, i svært lave konsentrasjoner. I tillegg forekom PFHxS, PFOA og PFDA, sistnevnte med konsentrasjoner over EQS biota i to av prøvene.

I tre av de fire analyserte prøvene av blader av fra svartor hvor det ble gjort funn, lå konsentrasjonen av PFAS under EQS biota på 9,1 µg/kg vv (Tabell 6-31 og Figur 6-14). I to av prøvene lå konsentrasjonen under 0,1 µg/kg vv. PFOA forekom i alle prøvene, men i prøven med høyest konsentrasjon forekom også PFUnDA, PFDoDA og PFTrDA i små mengder.

Tabell 6-31. Analyseresultater fra prøver av blader fra svartor og bjørk samlet inn i slutten av august 2014 ved brannøvingsfeltene BØF 1 og BØF 2 ved Kjevik lufthavn og en referansestasjon ved Topdalselva ca. 7,5 km oppstrøms. Fargekoder ihht tabell 4.1. De kjemiske forbindelsene som NILU har analysert og som ikke har inngått i tidligere analyseprogram er markert med grå farge. Benevnelsen n.a. står for «not analyzed».

ELEMENT (µg/kg)	BØF 1 og 2, 9-5 Blader svartor	BØF 1 og 2, 9-6 Blader svartor	BØF 1 og 2, 9-9 Blader svartor	BØF 1 og 2, 9-10 Blader svartor	Referanse, 10 Blader bjørk	BØF 1 og 2, 9-12 Blader bjørk	BØF 1 og 2, 9-13 Blader bjørk	BØF 1 og 2, 9-14 Blader bjørk	BØF 1 og 2, 9-15 Blader bjørk
PFBA	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
PFPeA	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
PFHxA	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
PFHpA	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
PFOA	0,09	0,06	< 0,05	7,74	4,41	9,97	7,07	4,93	8,98
PFNA	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PFDA	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	2,11	4,57	33,5	22	2,86
PFBS	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
PFHxS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	63,6	0,17	2,58	1,28
PFHpS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PFOS	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	100	< 0,10	0,59	0,56
FTS-6:2	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
FTS-8:2	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
PFUnDA	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,12	1,44	2,11	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PFDoDA	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	1,05	0,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PFTrDA	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,35	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PFTeDA	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
SUM PFAS	0,15	0,06	< 0,10	8,28	9,01	181,81	40,74	30,1	13,68



Figur 6-14. Analyseresultater fra prøver av blader fra svartor og bjørk samlet inn i slutten av august 2014 ved brannøvingsfeltene BØF 1 og BØF 2 ved Kjevik lufthavn og en referansestasjon ved Topdalselva ca. 7,5 km oppstrøms. Fargekoder ihht tabell 4.1. Benevnelsen ND. står for «not detected».

Vegetasjon - vurdering

Det ble gjort funn av PFAS i syv av åtte prøver av blader fra bjørk og svartor, noe som viser at disse treslagene tar opp forbindelsene. PFOA forekom i alle prøvene der det ble gjort funn, mens PFOS kun forekom i tre av fire prøver, alle fra bjørk. Kun i en av prøvene lå konsentrasjonen av PFOS (100 µg/kg vv) over EQS biota (9,1 µg/kg vv). PFDA (én prøve) og PFHxS (to prøver) forekom også med konsentrasjoner over EQS biota.

Generelt lå konsentrasjonen i alle prøvene av bjørkeblader høyere enn i blader av svartor, noe som kan tyde på at de to artene responderer forskjellig med hensyn på opptak av PFAS. Hvordan det forholder seg med annen vegetasjon er ikke undersøkt. Høye konsentrasjoner i lever hos stor skogmus som lever av plantekost og særlig frø, tyder imidlertid på at også annen vegetasjon i området rundt brannøvingsfeltene inneholder PFAS.

Vest for BØF 2 ble det tatt prøver av bjørkeblader fra tre trær som sto henholdsvis 80, 120 og 190 m vest for senter av dette øvingsfeltet (Figur 6-11). Bjørka som sto nærmest øvingsfeltet hadde den høyeste konsentrasjonen (181,8 PFAS µg/kg vv), mens konsentrasjonen avtok i en gradient med økende avstand til brannøvingsfeltet. Dette viser at forurensingen er spredd til biota utenfor selve kildeområdet, og at avstand til kilden synes å ha betydning for hva som påvises av PFAS i bladene. Et annet forhold kan være at konsentrasjonen er større i store trær som har større rotsystem enn mindre trær. Treet som sto nærmest kildeområdet hadde en stammediameter på 40 cm, mens de to som sto lenger

unna bare hadde en diameter på 5 cm. De ulike konsentrasjonene kan derfor også være et uttrykk for at store trær suger opp mer vann fra grunnen og derved større mengder av PFAS. Et annet bjørketre som sto bare ca. 60 m syd for BØF 2 og mellom BØF og elva hadde en diameter på 30 cm og den laveste konsentrasjonen (13,4 µg/kg vv). Grunnvannets strømningsretning i området går fra brannøvingsfeltets senter mot Topdalselva. Det kunne derfor forventes at forholdet mellom påvisninger av PFAS i bjørkeblader mot vest og syd skulle være motsatt dersom innhold i bjørkeblader har direkte sammenheng med konsentrasjonen i grunn/grunnvann. Det er imidlertid ikke tatt prøver av jord/grunnvann i området ved prøven 9-12, men i en jordprøve (BØF 2-31-2) noe syd for treet ble det påvist en konsentrasjon av PFOS på 352 µg/kg, noe som viser moderate jordverdier (klasse III) i området.

Prøveserien av bjørk indikerer at dette er en egnet art for å avdekke om PFAS finnes i vegetasjonen rundt øvingsfeltene. Konsentrasjonene som ble påvist i bjørk kan tyde på at det skjer en biomagnifisering i forhold til nivåene som ble påvist i jord (gjennomsnittlig 100 µg/kg) og grunnvann (gjennomsnittlig 13 µg/L) for BØF 2.

Funn av PFAS like under EQS biota i referanseprøven fra bjørk lokalisert ca. 7,5 km oppstrøms lufthavna viser at det er andre kilder til denne typen forurensing.

Meitemark - funn

Det ble påvist PFAS i alle de analyserte prøvene av meitemark, som ble samlet inn i august 2014 (Tabell 6-32 og Figur 6-15). I referanseprøven, som ble samlet inn nær elvebredden av Topdalselva ca. 7,5 km oppstrøms utløpet, viste analysene at summen av PFAS var 16,29 µg/kg vv og følgelig over EQS biota på 9,1 µg/kg vv. Av de ni forbindelsene som ble påvist dominerte PFOS (4,46 µg/kg vv), mens konsentrasjonene av de øvrige forbindelsene varierte mellom 0,18 (PFDA) og 2,99 (PFTTrDA) µg/kg vv. Som for referanseprøven av bjørk, som ble tatt på samme sted som meitemarken, viser dette igjen at det finnes andre kilder for disse forbindelsene enn det som kommer fra kildeområdet ved lufthavna.

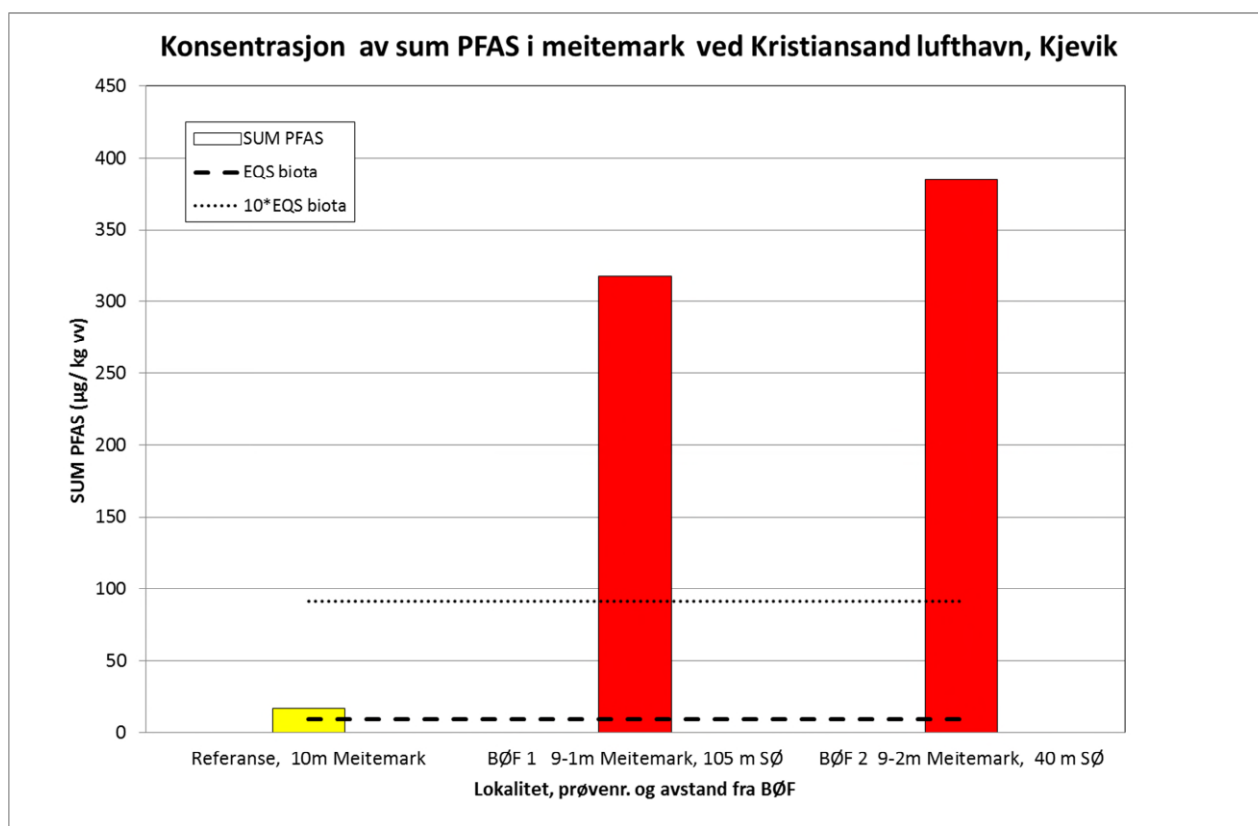
I begge prøvene av meitemark som ble samlet inn i tilknytning til BØF 1 og BØF 2 var konsentrasjonen av PFAS langt høyere enn i referanseprøven, henholdsvis 317,62 og 384,98 µg/kg vv. Konsentrasjonen var høyest i prøven som ble samlet inn nærmest BØF 2 (ca. 40 m syd øst for senter av BØF 2) (Figur 6-15). I begge prøvene dominerte PFOS med konsentrasjoner på 211 og 326 µg / kg vv. Foruten PFOS forekom ni andre forbindelser hvorav PFHxS, PFUnDA og PFTTrDA hadde konsentrasjoner over EQS biota.

Tabell 6-32. Analyseresultater fra prøver av meitemark samlet inn i slutten av august 2014 ved brannøvingsfeltene BØF 1 og BØF 2 ved Kjevik lufthavn og en referansestasjon ved Topdalselva ca. 7,5 km oppstrøms. Fargekoder ihht tabell 4.1. De kjemiske forbindelsene som NILU har analysert og som ikke har inngått i tidligere analyseprogram er markert med grå farge. Benevnelsen n.a. står for «not analyzed».

ELEMENT (µg/kg)	Referanse, prøve 10m Meitemark	BØF 1 og 2, prøve 9-1m Meitemark	BØF 1 og 2, prøve 9-2m Meitemark
PFBA	n.a	n.a	n.a
PFPeA	n.a	n.a	n.a
PFHxA	n.a	n.a	n.a
PFHpA	n.a	n.a	n.a
PFOA	1,67	6,79	6,84
PFNA	1,11	0,71	0,75
PFDA	0,18	1,43	0,79
PFBS	n.a	n.a	n.a
PFHxS	2,56	14,7	19,6
PFHpS	< 0,05	< 0,05	5,83
PFOS	4,46	211	326
FTS-6:2	n.a	n.a	n.a
FTS-8:2	n.a	n.a	n.a
PFUnDA	0,94	18,7	5,67
PFDoDA	0,97	6,59	1,62
PFTTrDA	2,99	50,8	16,2
PFTeDA	1,41	6,9	1,68
SUM PFAS	16,29	317,62	384,98

Meitemark - vurdering

Det ble funnet PFAS over EQS biota i alle de tre prøvene av meitemark som ble analysert, også i referanseprøven som ble tatt i samme området der referansen av bjørk ble samlet inn. I begge prøvene som ble samlet inn sydøst for BØF 1 og BØF 2 var konsentrasjonene høye, henholdsvis 317,6 og 385 µg/kg vv. Høyest konsentrasjon ble funnet i marken sydøst for BØF 2. Denne prøven ble tatt bare ca. 40 m fra senter av øvingsfeltet. Den andre prøven ble tatt ca. 105 m fra senter av BØF 1 og viser at konsentrasjonen i mark var høy også mer enn 100 m fra kildeområdet. Meitemark lever av planterester som blader fra trær. Høye konsentrasjoner i begge prøvene viser at mark biomagnifiserer PFAS i stor grad, og at opptaket er stort forholdsvis langt fra kilden. Selv om det var noe lavere konsentrasjon i prøven av mark som lå lengst unna kildeområdet er det vanskelig å konkludere med at konsentrasjonen avtar med økende avstand ut fra kun to prøver. Som for bjørk kan det godt tenkes at opptaket er avhengig av prøvestedet. Men, også meitemark synes å være en egnet art for å påvise PFAS. Meitemark spises av blant annet fugler, piggsvin og grevling.



Figur 6-15. Analyseresultater fra prøver av meitemark samlet inn i slutten av august 2014 ved brannøvingsfeltene BØF 1 og BØF 2 ved Kjevik lufthavn og en referansestasjon ved Topdalselva ca. 7,5 km oppstrøms. Fargekoder ihht tabell 4.1.

Storskogmus (*Apodemus flavicollis*)

Det ble fanget 10 storskogmus i skogsområdet mellom brannøvingsfeltene og Topdalselva. Analyseresultatene er vist i Tabell 6-33. PFAS ble påvist i lever i alle de ti individene. Minimum, maksimum og gjennomsnittskonsentrasjonene lå på henholdsvis 9,9, >192,5 og >134,4 µg/kg vv. PFOS forekom i alle leverprøvene av mus, med en konsentrasjon mellom 9,9 til >100 µg/kg vv. I syv av prøvene lå konsentrasjonene på mer enn 10 ganger EQS biota. Konsentrasjonen av PFOS lå imidlertid utenfor kalibreringsområdet for analysemetoden for disse syv individene, og siden leverprøvene var små, kunne de ikke reanalyseres. Det er dermed usikkert hvor høye konsentrasjonene av PFOS egentlig var. I tillegg til PFOS ble det påvist ytterligere fem forbindelser hvorav fire av dem, PFNA, PFDA, PFHxS og FTS-8:2, forekom i ett eller flere individer med konsentrasjoner over EQS biota. FTS-6:2 ble påvist i to individer med konsentrasjoner under EQS biota.

Tabell 6-33. Analyseresultater for 10 innsendte individer av stor skogmus, samlet inn fra skogsområde ved BØF1 og BØF 2 ved Kristiansand lufthavn, Kjevik i april 2012. Tabellen angir individdataene, gjennomsnitt-, maksimum og minimumskonsentrasjoner. Fargekoder iht tabell 4.1. (PFBA kunne ikke bestemmes på prøvene på grunn av dårlig gjenfinning av internstandard (kommentar fra analyselaboratoriet)). Gjennomsnittskonsentrasjoner for forbindelser der konsentrasjonen er oppgitt som > en konsentrasjon, er regnet ut ved å legge sammen summen av verdiene og dele på antallet. For konsentrasjoner oppgitt som > en gitt konsentrasjon, så er denne grenseverdien benyttet (f. eks. 100 for konsentrasjonen >100).

ELEMENT (µg / kg våttvekt)	210 Skogmus, lever	211 Skogmus, lever	212 Skogmus, lever	213 Skogmus, lever	214 Skogmus, lever	215 Skogmus, lever	216 Skogmus, lever	217 Skogmus, lever	218 Skogmus, lever	219 Skogmus, lever	Gjsn.	Maks.	Min.
PFBA	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PFPeA	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
PFHxA	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
PFHpA	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
PFOA	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PFNA	<1,0	14	12	4,4	32	3,4	1,7	2,4	<1,0	1,6	9,9	32,0	<1,0
PFDA	<1,0	9,2	6,3	9,7	10	7,6	1,3	3	1	2,1	5,6	10,0	<1,0
PFBS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
PFHxS	<1,0	6,3	<1,0	<1,0	35	3,5	2,4	1,3	1,5	<1,0	8,3	35,0	<1,0
PFOS	9,9	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	37	71	>81,8	>100	9,9
FTS-6:2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2,5	<2,0	<2,0	6,7	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
FTS-8:2	<2,0	8,5	19	24	13	23	27	76	11	14	>10	100	0,0
SUM PFAS	9,9	> 138	>137,3	>138,1	>192,5	>137,5	>132,4	>189,4	50,5	88,7	>134,4	>192,5	9,9

Storskogmus - vurdering

PFAS ble påvist over EQS biota i lever i alle de ti individene av storskogmus som ble fanget i tilknytning til BØF 1 og BØF 2. I syv av prøvene lå konsentrasjonene på mer enn 10 ganger EQS biota, men fordi konsentrasjonen av PFOS lå utenfor kalibreringsområdet for analysemetoden vet vi bare at konsentrasjonen var > 100 µg/kg vv. Funnene viser imidlertid at stor skogmus biomagnifiserer PFAS i levera, muligens ikke i samme grad som meitemark, men det kan ikke utelukkes. Fordi skogmus i stor grad lever av frø, viser de høye konsentrasjonene i leveren at andre plantearter enn bjørk og svartor også sannsynligvis tar opp PFAS. Storskogmus synes derfor også å være en god indikatorart. Storskogmus spises av blant annet rev, mår og ugler. Verdiene i muskel og hele individer forventes imidlertid å være lavere enn det som ble påvist i levera.

6.6.2 Ferskvannsarter

6.6.2.1 Metodikk og datainnsamling

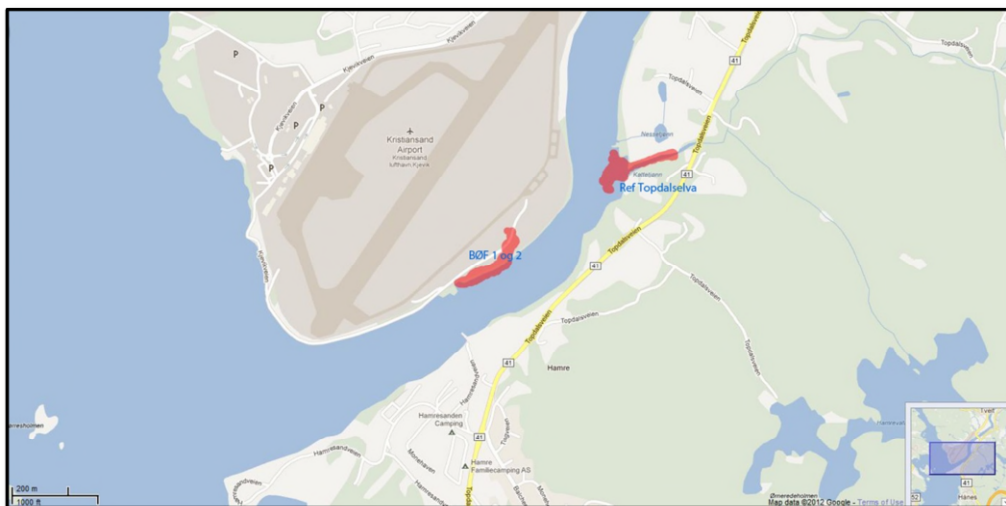
Området i Topdalselva som ble benyttet til innsamling av ferskvannsorganismer i april 2012, ligger i elva rett ut for brannøvingsfeltet BØF 1 og 2, og strekker seg ca. 150 m videre nedstrøms der drenggrøfta munner ut. Her ble det samlet inn småreker (ca. 50) og 22 skrubbe. I grøfta som drenerer avløpsvann nedenfor BØF 2 (Figur 6-18) ble det samlet inn 7 nipigget og 4 trepigget stingsild (Tabell 6-34).

En referanselokalitet ligger ca. 500 m oppstrøms brannøvingsfeltet, på andre siden av elva i utløpet til Vesbekken som renner ut i Topdalselva. På denne referanselokaliteten ble det samlet inn skrubbe og småreker ute i selve Topdalselva, mens 12 trepigget stingsild ble fanget i Vesbekken. Det ble benyttet elektrisk fiskeapparat og stanghov. Elektrofisket ble gjennomført på et areal på minst 100 m² i bekken. Områdene hvor det ble samlet inn dyr i 2012 er vist i Figur 6-16. Stanghov ble benyttet til å fange skrubbe og småreker ute i elva da disse responderte lite på fiskeapparatet.

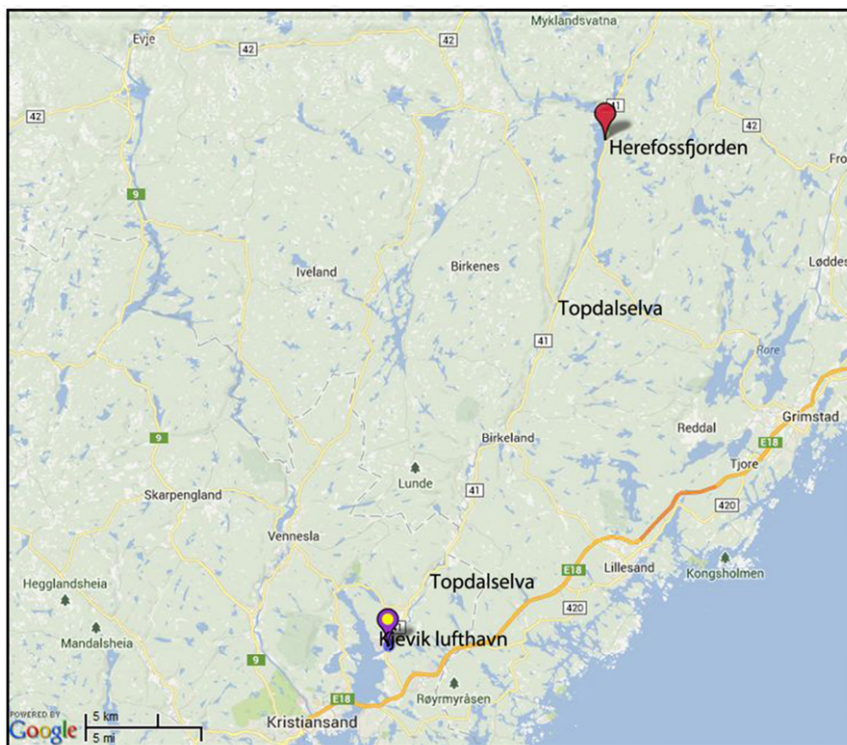
Innledende innsamling av dyr i april 2012 viste at tradisjonelle bunndyrgrupper som vårfluer, steinfluer, døgnfluer og fåbørstemark knapt fantes på lokaliteten i selve Topdalselva. Derimot ble det fanget småreker og strandlopper (amfipoder) og små skrubbe. Dette tyder på at lokaliteten er påvirket av saltvann. Dette kan også delvis forklare det lave innslaget av de vanlige bunndyrgruppene som normalt finnes i ferskvann.

Siden innsamlingen i 2012 foregikk før vekstsesongen hadde kommet i gang, ble det gjort en ny innsamling i juli 2013; i grøfta som blant annet drenerer området fra BØF 2, i selve Topdalselva og på en referansestasjon i Herefossfjorden ca. 4 mil oppe i vassdraget. Garn ble benyttet for å fange ørret på referansestasjonen i Herefossfjorden (Figur 6-17). Laksen kan vandre helt opp til Herefossen (Figur 6-19). Om sjørørreten gjør det samme er ikke kjent.

I juli 2013 ble det samlet inn 19 ørreter og 24 små skrubbe ved hjelp av elektrisk fiskeapparat fra grøfta som drenerer forurensset område nedenfor BØF 2 (Figur 6-18). De to største ørretene var henholdsvis 355 og 200 mm, mens de øvrige hadde en lengde på mellom 94 og 33 mm. Et viktig forhold var at 13 av ørretene ble fanget i grøfta første dag, og da ble det ikke påvist skrubbe der. Siden grøfta er smal og med lite vannføring er det lett å fange det meste av fisken som er der. Dagen etter ble området fisket på nytt. Da ble det fanget 1 trepigget stingsild, 24 små skubbeflyndrer og 6 ørretunger på mellom 82 og 33 mm. Ved bruk av el-apparat kan enkelte fisk som blir paralyisert være vanskelig å finne, så noen av de fiskene som ble fanget andre dag kan være individer som ble oversett første dag. Det er likevel lite trolig at så mange fisk i en så liten bekk ble oversett. Det er derfor god grunn til å regne med at mesteparten av skrubbene, og kanskje og noen av ørretene hadde vandret opp i grøfta i perioden mellom de to fiskeomgangene. Det var også meningen å samle inn sjørørret fra Topdalselva denne feltrunden. Sjørørret er viktig sportsfisk som benyttes til konsum. Fylkesmannens miljøvernaveiding ga ikke tillatelse til å benytte garn. Til fangst av sjørørret fra Topdalselva ble det i 2013 derfor benyttet stang. Lokale fiskere ble kontaktet og sa seg villig til å fange fisk på stang. På grunn av lav vannføring og vanskelige fangstforhold denne sensommeren, trakk dette arbeidet ut i tid. I alt ble det fanget 12 sjørørreter på stang i Topdalselva, den siste i oktober. Fangststedet for hver av de 10 fiskene som ble analysert er markert med tall i Figur 6-20. Størrelsen på ørreten varierte fra 28 til 49 cm.



Figur 6-16. Spor som viser hvor det er gjort søk etter dyr i april 2012 ved henholdsvis brannøvingsfeltet (BØF 1 og 2) og på referansestasjonen i Topdalselva og i Vesbekken som ligger ca. 400 m oppstrøms i Topdalselva. Kartkilde Google Maps.



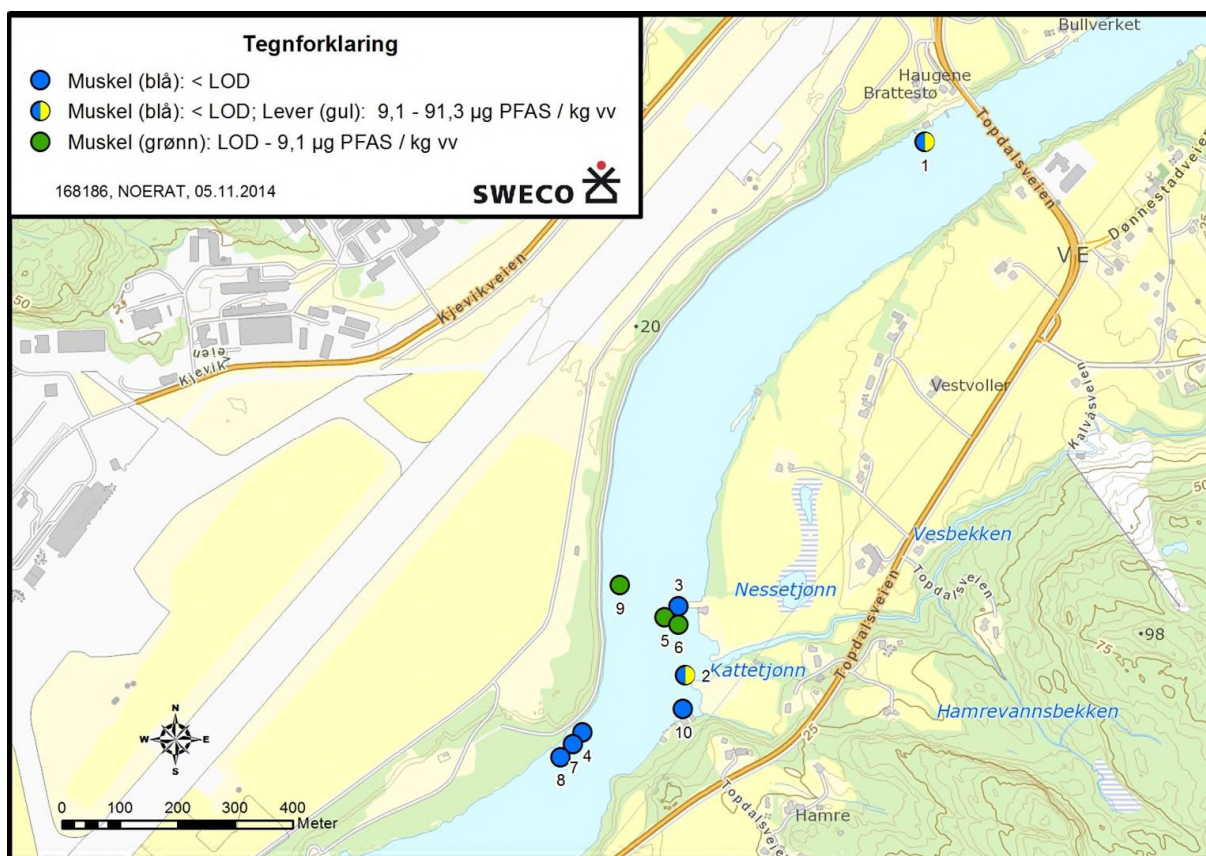
Figur 6-17. De to punktene i henholdsvis Topdalselva ved Kjevik flyplass og i Herefossfjorden viser hvor det ble samlet inn biota 2. og 3. juli 2013.



Figur 6-18. Drensgrøfta som munner ut i Topdalselva rett nedstrøms der det gamle øvingsområde for brannøvelser ligger. Bildet er tatt ved fjære sjø. Ved flo sjø kan vannivået i grøfta være høyere. Grøfta drenerer forurenset område. Personen på bildet er Vidar Rosseland AVINOR. Foto Finn Gravem.



Figur 6-19. Nedre del av Herefossen som ble sprengt ut på 1930-tallet. I bakgrunnen ses nordre del av Herefossfjorden. Foto Finn Gravem.



Figur 6-20. Kart over Kjevik lufthavn og nedre del av Topdalselva. Fangststedet for hver av de 10 sjørretene som ble fanget er markert med blå tall fra 1 – 10. Kartkilde: www.norgeskart.no/

Tabell 6-34. Oversikt over analyserte prøver av ulike arter samlet inn i ferskvann.

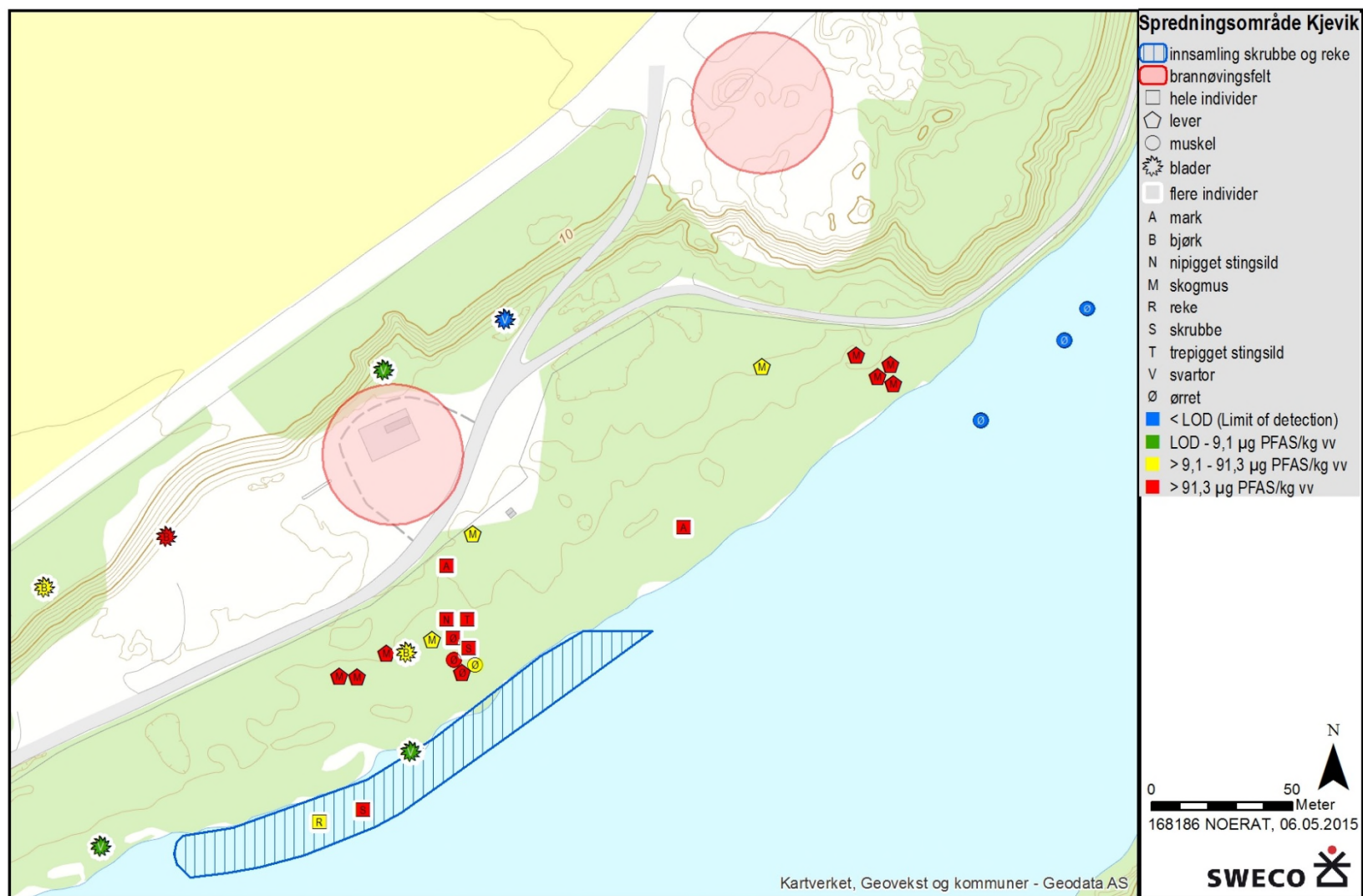
Innsamlet og analyser		Når?	Lokalitet	Prøvetype / nr.
Art	Antall			
Skrubbe	22	April 2012	Utenfor / nedstrøms liten drenggrøft ved BØF 1 og BØF 2	Blandprøve av hele individer (prøve nr. 204)
Nipigget stingsild	7	April 2012	I liten drenggrøft ved BØF 1 og BØF 2	Blandprøve av hele individer (prøve nr. 201)
Trepigget stingsild	4	April 2012	I liten drenggrøft ved BØF 1 og BØF 2	Blandprøve av hele individer (prøve nr. 202)
Reker	>50	April 2012	Utenfor / nedstrøms liten drenggrøft ved BØF 1 og BØF 2	Blandprøve av hele individer (prøve nr. 205)
Skrubbe	12	April 2012	Referanse, utenfor Vesbekken ca. 500 m oppstrøms brannøvingsfeltet	Blandprøve av hele individer (prøve nr. 206)
Reker	>50	April 2012	Referanse, utenfor Vesbekken ca. 500 m oppstrøms brannøvingsfeltet	Blandprøve av hele individer (prøve nr. 207)
Trepigget stingsild	12	April 2012	Referanse, utenfor Vesbekken ca. 500 m oppstrøms brannøvingsfeltet	Blandprøve av hele individer (prøve nr. 209)
Ørret	19	2. og 3. juli 2013	I liten drenggrøft ved BØF 1 og BØF 2	To individprøver muskel (prøve nr. 14 og 16), én individprøve lever (prøve nr. 15), 17 individer i blandprøve (prøve nr. 17)
Skrubbe	24	3. juli 2013	I liten drenggrøft ved BØF 1 og BØF 2	Blandprøve av hele individer (prøve nr. 29)
Sjørøret	12	August til oktober 2013	Topdalseva, noe oppstrøms brannøvingsfeltene	10 individprøver av muskel (prøve nr. 1,3, 5-12), 2 individprøver av lever (prøve nr.2 og 4), 8 leverprøver bland (prøve nr. 13)
Stasjonær ørret	20	3. juli 2013	Herefossfjorden (referansestasjon)	10 individprøver av muskel (prøve nr.18-27), én blandprøve av lever av de 10 individene (prøve nr.28)



Figur 6-21. Fangst av ørret den 2. juli 2013, i bekken som renner ut i Topdalselva nedstrøms brannøvingsfeltet øst for rullebanene på Kjevik lufthavn. Foto Finn R. Gravem

6.6.2.2 Presentasjon av data fra alle innsamlingsrunder

Resultatene av analysene i 2012 og 2013 vises i Figur 6-23, Tabell 6-35, Tabell 6-36, Tabell 6-37 og Figur 6-23, Figur 6-24 og Figur 6-25.



Figur 6-22. Biotaprer rundt BØF 1 og BØF 2 ved Kristiansand lufthavn, Kjevik.

Tabell 6-35. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i prøver samlet inn i april 2012 i hele individer av skrubbe, trepigget stingsild, nipigget stingsild og små reker samlet i grøfta som drenerer lufthavnområdet, og i Topdalselva nedstrøms denne grøfta, samt skrubbe, og små reker samlet inn på referansestasjonen i Topdalselva rett utenfor Vesbekken, og trepigget stingsild samlet inn i Vesbekken, som ligger ca. 400 m oppstrøms BØF 1 og 2. Nedre grensekonsentrasjon i µg/kg vv for analysene av de ulike kjemiske forbindelsene framkommer der det ikke ble gjort funn. Nedre deteksjonsgrense for PFOS er < 0,5 µg/kg. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg/kg)	Topdalselva ved BØF / drenggrøft ved BØF 2				Referansestasjon ferskvann - Topdalselva / Vesbekken		
	Nipigget stingsild, n=7 blandprøve nr 201 grøft	Trepigget stingsild n=4 blandprøve nr 202 grøft	Skrubbe n = 22 blandprøve Topdals-elva	Reke blandprøve nr 205 Topdals-elva	Skrubbe n = 12 blandprøve nr 206 Topdals-elva	Reke blandprøve nr 207 Topdals-elva	Trepigget stingsild, n = 12 blandprøve nr 209 Vesbekken
PFBA	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PFPeA	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
PFHxA	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
PFHpA	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
PFOA	7,1	5,7	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PFNA	9	12	8,6	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PFDA	1,3	1,6	2,3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PFBS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
PFHxS	72	150	30	1,7	<1,0	<1,0	<1,0
PFOS	1300	1700	1000	8,2	8,4	2,1	11
FTS-6:2	56	61	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
FTS-8:2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
SUM PFAS	1445,4	1930,3	1040,9	9,9	8,4	2,1	11,0

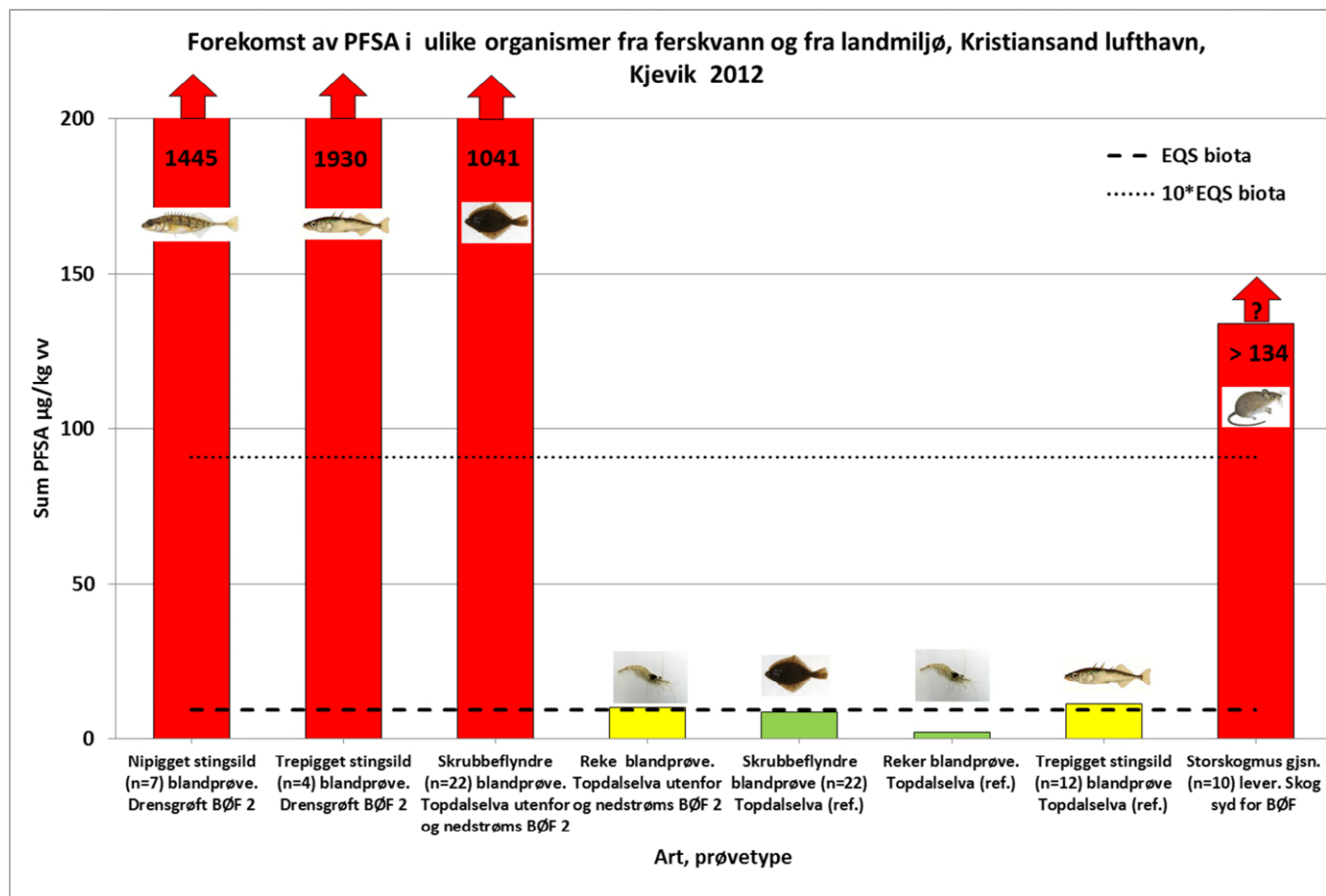
I Topdalselva, rett utenfor grøfta som drenerer deler av området nedstrøms BØF 2 og i selve grøfta, ble det påvist PFAS over EQS biota i alle analyserte prøver av fisk, som ble samlet inn i april 2012. I dreneringsgrøfta ble det fanget tre- og nipigget stingsild. I strandkanten av Topdalselva rett utenfor og nedstrøms utløpet av grøfta ble det fanget skrubbe og reker (Tabell 6-34). I alle prøvene dominerte PFOS, og i alle fiskeprøvene var konsentrasjonen langt over EQS biota (ca. 100-200 ganger høyere). I reker var konsentrasjonen av PFAS 8,2 µg/kg vv, rett under EQS biota på 9,1 µg/kg vv. Det ble i tillegg funnet konsentrasjoner av PFOA, PFNA, PFDA, under EQS biota med unntak av for trepigget stingsild hvor den var noe høyere. Videre ble det påvist høye konsentrasjoner av PFHxS i alle artene som ble undersøkt på hovedstasjonen i Topdalselva, med unntak av for reker der konsentrasjonen var lavere enn EQS biota. FTS-6:2 forekom i konsentrasjoner vel 6 ganger høyere enn EQS biota i tre- og nipigget stingsild (Tabell 6-35).

Det er verdt å merke seg at dette er unge individer og at prøvene er tatt om våren før produksjonsperioden starter. Funn i unge individer indikerer at opptaket skjer relativt raskt, selv på en tid av året når matinntaket er forventet å være lite og vanntemperaturen er lav.

På referansestasjon ved Vesbekken, som ligger på andre siden av Topdalselva ca. 500 m oppstrøms utløpet av drenggrøfta ved BØF 2, ble det fanget skrubbe og reker i utløpsområdet og stingsild i selve bekken. Her ble det også påvist PFAS (kun PFOS) over deteksjonsgrensen i blandprøver av både reke, skrubbe og trepigget stingsild (se Tabell

6-35). I skrubbe og rekene var det en moderat konsentrasjon av PFOS (hhv. 8,4 µg/kg og 2,1 µg/kg), mens i trepigget stingsild var konsentrasjonen (11,0 µg/kg) over følgelig over EQS biota (9,1 µg/kg).

Summen av den totale konsentrasjonen av PFAS som ble påvist i dyra fanget i ferskvann og i stor skogmus i april 2012 er vist i Figur 6-23. På grunn av de store forskjellene i konsentrasjoner som ble funnet er skalaen innskrenket.



Figur 6-23. Forekomst av PFAS funnet i ni- og trepigget stingsild, skrubbe og småreker samlet inn i og nedstrøms grøfta som drenerer lufthavnområdet nedstrøms BØF 1 og 2 og ut i Topdalselva, og i Vesbekken som ligger ca. 400 m oppstrøms for Kjevik lufthavn (referansestasjon), samt stor skogmus fanget i et skogsområde nær brannøvingfeltene BØF 1 og 2. Innsamlingen av biota ble gjennomført i april 2012. Legg merke til at Y-aksen ikke viser den faktiske høyden for prøver med høyest konsentrasjon. For storskogmus er konsentrasjonen av PFAS større enn 134 µg/kg vv fordi individer med påviste konsentrasjoner av PFOS større enn 100 µg/kg vv er kun oppgitt som >100 µg/kg vv. Den egentlige konsentrasjonen er derfor ukjent. Fargekoder ihht tabell 4.1.

Ørret og skrubbflyndre som ble fanget i juli i 2013, i grøfta som drenerer deler av området nedstrøms BØF 2, hadde også svært høye konsentrasjoner av PFAS. Høyest konsentrasjon (3671 µg PFAS/kg vv) ble funnet i blandprøven av de 24 hele individene av skrubbe (Tabell 6-36). Dette er mer enn 400 ganger EQS biota. PFOS var den forbindelsen som dominerte (3600 µg/kg) (98 %), men også PFHxS (27 µg/kg) og PFHUnDA (21 µg/kg) forekom med konsentrasjoner over to ganger EQS biota. I tillegg ble det påvist 6 andre PFAS med konsentrasjoner under EQS biota (Tabell 6-36).

I leveren til den største ørreten (355 mm og 530 g), som ble fanget i grøfta, ble det også påvist svært høye konsentrasjoner av PFAS (2070 µg/kg). Dette er 227 ganger EQS biota. I tillegg til PFOS ble det påvist 4 andre PFAS hvorav PFHxS (94 µg/kg), PFUnDA (53 µg/kg) og PFNA (10 µg/kg) forekom med konsentrasjoner høyere enn EQS biota (Tabell 6-36).

I muskelprøven fra den samme fisken ble det funnet 128,4 µg/kg vv av PFAS. Av disse utgjorde PFOS 120 µg/kg (93,5 %), mens PFHxS og PFUnDA forekom med konsentrasjoner lavere enn EQS biota. I muskelprøven av en noe mindre ørret (21,5 cm og 105 g) ble det også påvist relativt høy konsentrasjon av PFAS (51,7 µg/kg). Også her dominerte PFOS (46 µg/kg) (89 %) samtidig som det ble påvist PFHxS og PFUnDA med konsentrasjoner lavere enn EQS biota (Tabell 6-36).

I blandprøven av de 17 små individene av ørret, som også ble fanget i dreneringsgrøfta var det også svært høy konsentrasjon av PFAS (577,2 µg/kg vv) (Tabell 6-36), hvorav PFOS utgjorde 550 µg/kg vv (95,3 %). I tillegg ble det påvist ytterligere 4 forbindelser hvorav én, PFHxS forekom over EQS biota (17 µg/kg vv).

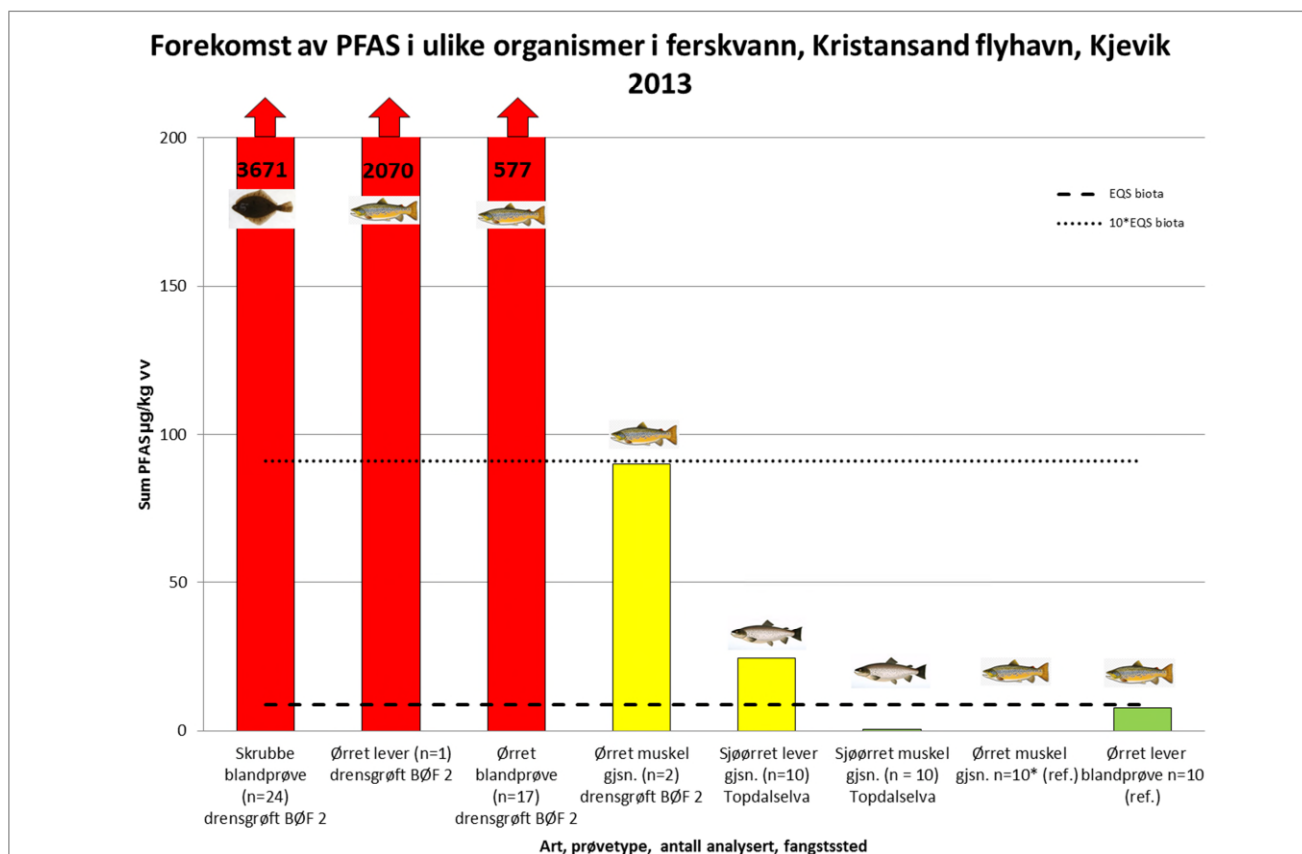
Tabell 6-36. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i skrubbe og ørret samlet inn i juli 2013, i grøfta som drenerer lufthavnområdet nedenfor BØF 1 og 2, men ligger nærmest BØF 2. Fargekoder ihht tabell 4.1.

Drenegrøft nedenfor BØF 2, juli 2013					
ELEMENT	Ørret (lengde 355 mm) muskel n=1 prøve nr 14	Ørret (lengde 355 mm) lever n=1 prøve nr 15	Ørret muskel (lengde 200 mm) n=1 prøve nr 16	Ørret homogenisert n=17 prøve nr 17	Skrubbe-flyndre homogenisert n=24 prøve nr 29
PFPeA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1,4
PFNA	<1.0	10	<1.0	2,1	8,1
PFDA	<1.0	4,5	<1.0	<1.0	1,8
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
PFHxS	4,8	94	3,1	17	27
PFOS	120	1900	46	550	3600
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	6,6
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2,2
PFDS	<1.0	5,5	<1.0	3,2	2,7
PFUnDA	3,6	53	2,6	4,9	21
PFDoDA	<2.0	2,9	<2.0	<2.0	<2.0
Sum PFAS	128,4	2069,9	51,7	577,2	3670,8

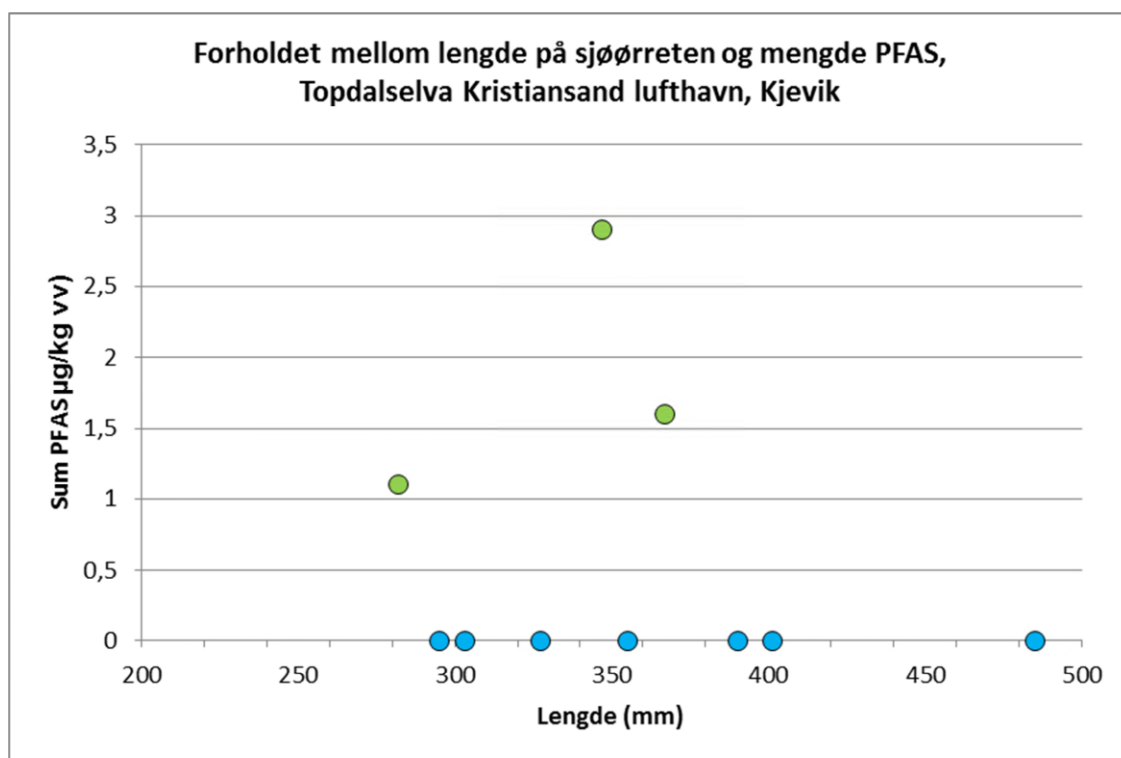
I muskel fra sjøørret fanget i nedre del av Topdalselva i perioden august til oktober 2013 ble det kun påvist PFOS i 3 av 10 prøver. Konsentrasjonen av PFOS i alle de tre prøvene lå under EQS biota. Basert på alle 10 fisk, er gjennomsnitts-, maksimums- og minimumskonsentrasjonen henholdsvis 0,6; 2,9 og <1,0 µg/kg vv (Tabell 6-37). Det ble ikke påvist noen sammenheng mellom fiskelengde og mengde PFOS i fiskekjøttet (Figur 6-25). I leveren av de to største individene (485 og 401 mm) og i en blandprøve av de øvrige 8 individene ble det påvist PFOS i alle prøvene, henholdsvis 17, 15 og 20 µg/kg vv (Tabell 6-37). Gjennomsnittskonsentrasjonen av PFAS var størst i blandprøven fra de 8 minste individene.

Tabell 6-37. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i sjørøret samlet inn i nedre del av Topdalselva i perioden august - oktober 2013, og av stasjonær ørret fanget på referansestasjonen i Herefossfjorden ca. 4 mil oppe i vassdraget. (**) Muskelp prøvene av de 10 ørretene som ble fanget i Herefossfjorden ble analysert individuelt, men siden det ikke ble gjort funn av PFAS er konsentrasjonen oppgitt som gjennomsnitt av de 10 enkeltresultatene. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg/kg våttvekt)	Topdalselva - sjørøret																				Herefossfj. ref. stasjonær ørret	
	Nr. 1 muskel	Nr. 2 muskel	Nr. 3 muskel	Nr. 4 muskel	Nr. 5 muskel	Nr. 6 muskel	Nr. 7 muskel	Nr. 8 muskel	Nr. 9 muskel	Nr. 10 muskel	muskel gjesn. n = 10	muskel maks. n=10	muskel min. n=10	muskel stdav. n=10	Nr. 1 lever n=1	Nr. 2 lever n=1	lever bland- prøve nr. 3 - n=10*	lever gjesn. n=10*	lever maks. n=10*	lever min. n=10*	muskel gjesn. n=10 **	lever bland- prøve n=10
	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFDA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.1	0.9	1.1	<1.0	<1.0	1.3
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	2	1.6	2	<1.0	<1.0	<1.0
PFOS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.6	2.9	<1.0	<1.0	1.1	<1.0	0.6	2.9	<1.0	1.0	17	15	20	19.2	20	15	<1.0	<1.0
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
PFDS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFUnDA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	3.3	0.3	3.3	<2.0	<2.0	4.2
PFDODA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2.3
Sum PFAS	ND	ND	ND	ND	1,6	2,9	ND	ND	1,1	ND	0,6	2,9	ND	1,0	17	15	26,4	24,3	26,4	15	ND	7,8



Figur 6-24. Forekomst av PFAS funnet i stasjonær ørret og skrubbe samlet inn i grøfta som drenerer lufthavnsområdet ut i Topdalselva, av sjørøret fanget i nedre del av Topdalselva samt stasjonær ørret fanget på en referansestasjon i Herefossfjorden ca. 4 mil oppe i vassdraget i perioden juli til oktober 2013. Legg merke til at Y-aksen ikke viser den faktiske høyden. Fargekoder ihht tabell 4.1. (*) ørret muskel fra ref. stasjonen der ingen individer fikk påvist PFAS.



Figur 6-25. Forholdet mellom lengde på sjørøreten som ble undersøkt og mengden PFAS (kun PFOS) som ble påvist i fiskekjøttet. Sjørøreten ble fanget i nedre del av Topdalselva i perioden august til oktober 2013. Grønne punkt angir funn under EQS biota, mens blå punkt angir ingen påvisning ($<0,1 \mu\text{g/kg}$). Fargekoder ihht tabell 4.1. Vurdering

I grøfta, som blant annet drenerer områdene der BØF 2 ligger, var konsentrasjonene av PFAS høye i de tre fiskeartene som ble analysert. Det var også høye konsentrasjoner i fisk fanget i strandkanten i Topdalselva straks nedstrøms utløpet av grøftevannet i elva.

Blandprøven av hele individer av stingsild og av nipigget stingsild som ble fanget i selve dreneringsgrøfta viser henholdsvis 1930,3 og 1445,4 $\mu\text{g PFAS/kg vv}$. Men også skrubbe som ble fanget i strandkanten i selve Topdalselva like utenfor grøfta og langs en strekning på ca. 150 m nedstrøms utløpet av grøfta viste blandprøven av fisk 1040,9 $\mu\text{g PFAS/kg vv}$.

At det ble påvist PFOS i organismene som ble fanget i Vesbekken, som ligger på østsiden av Topdalselva og 500 m oppstrøms grøfta som drenerer lufthavnsområdet, kan indikere at det også er andre kilder til PFAS i området, eller at tidevann som trenger seg opp i elva to ganger i døgnet kan medvirke til spredning av PFAS i nedre del av Topdalselva. Det er og mulig at fiskeartene vi fanget tidligere kan ha oppholdt seg i områder påvirket av PFAS, og så vandret til Vesbekken.

Av de artene som ble registrert, ble kun skubbeflyndre fanget både i april 2012 og i juli 2013. Tre- og nipigget stingsild ble bare fanget i 2012, og ørret ble kun fanget i 2013. Årsaken til at det ble gjort en ny innsamling i 2013 var at det var mistanke om at konsentrasjonen av PFAS kunne være høyere i vekstsesongen, når næringsopptaket er større, enn det er om våren når vanntemperaturen og omsetningen er lavere. Blandprøvene av skrubbe fanget i april 2012 i strandkanten av Topdalselva rett utenfor og et stykke nedstrøms der dreneringsgrøfta munner ut hadde en konsentrasjon av PFAS på 1041 $\mu\text{g/kg vv}$, mens tilsvarende prøve fanget i grøfta i 2013 hadde en konsentrasjon av PFAS på 3671 $\mu\text{g/kg vv}$, en økning på vel 350 %. Skrubbene oppholder seg ikke i bekken hele tiden og trolig skjer det en inn- og utvandring der fisken delvis bruker grøfta og delvis oppholder seg i Topdalselva. Om den

økte konsentrasjonen kan forklares med fangsttidspunktet, er vanskelig å si sikkert siden det bygger på én art og ett tilfelle.

Av de artene som ble fanget i Topdalselva er det bare ørret som benyttes til konsum. I den stasjonære ørreten, som ble fanget øverst i vassdraget i Herefossfjorden, ble det ikke påvist PFAS i fiskekjøttet. Det ble imidlertid påvist PFAS i blandprøven av lever (7,8 µg/kg vv) fra denne fisken. Dette viser at det finnes andre kilder for PFAS, selv så langt oppe i vassdraget. I sjøørreten som ble fanget i nedre del av Topdalselva, men oppstrøms der drenggrøfta fra BØF 2 munner ut, ble det påvist PFOS i fiskekjøttet i 30 % av individene og PFAS i leverprøvene. Gjennomsnittskonsentrasjonen av PFOS i muskelprøvene for de 10 individene som ble analysert var 0,6 µg/kg vv.

Den største ørreten (355 mm og 530 g), som ble fanget i dreneringsgrøfta hadde imidlertid en nokså høy konsentrasjon (128,4 µg/kg vv) av PFAS i muskelprøven. Utseende på denne fisken kunne tyde på at den var stasjonær, det vil si at den ikke hadde vært ute i sjøen. Det er derfor trolig at denne fisken har vært mer eksponert for PFAS enn sjøørreten, som oppholder seg i sjøen i den beste vekstsesongen når matinntaket er størst. Siden grøfta er så liten er det lite trolig at dette er et fast oppholdssted for større fisk. Imidlertid var konsentrasjonen av PFAS i potensielle byttedyr høy både i og utenfor grøfta, noe som kan forklare den relativt høye konsentrasjonen i den større ørreten. Det er også mulig at opptaket av PFAS kan skje raskt i fiskekroppen direkte fra det forurensede vannet i grøfta da den oppholdt seg der.

Hvor stor andel av bestanden som er stasjonær, og som i tillegg har høye konsentrasjoner av PFAS i fiskekjøttet er vanskelig å avgjøre. Trolig er antall stasjonære ørret som lever i denne delen av elva og som er tilknyttet utløpet av drenggrøfta svært lite. Konsentrasjonen av PFAS i denne fisken er neppe representativ for stasjonær ørret i elva generelt.

En forklaring på at blandprøvene av lever fra de minste individene av sjøørret i Topdalselva hadde den høyeste konsentrasjonen av PFOS, kan være at dette hovedsakelig er fisk som bare har gjennomført én tur i sjøen etter at de ble smolt. Påvirkningen fra ferskvannsfasen kan derfor være større hos den mindre fisken, som dessuten normalt har den korteste oppholdstiden i sjøen før den vandrer tilbake til elva. Førstegangsvandrere oppholder seg også gjerne nærmere elva enn eldre og større fisk, som har vært ute i sjøen flere år på rad. Materialet er imidlertid for begrenset til å trekke klare konklusjoner.

6.6.3 Marine arter

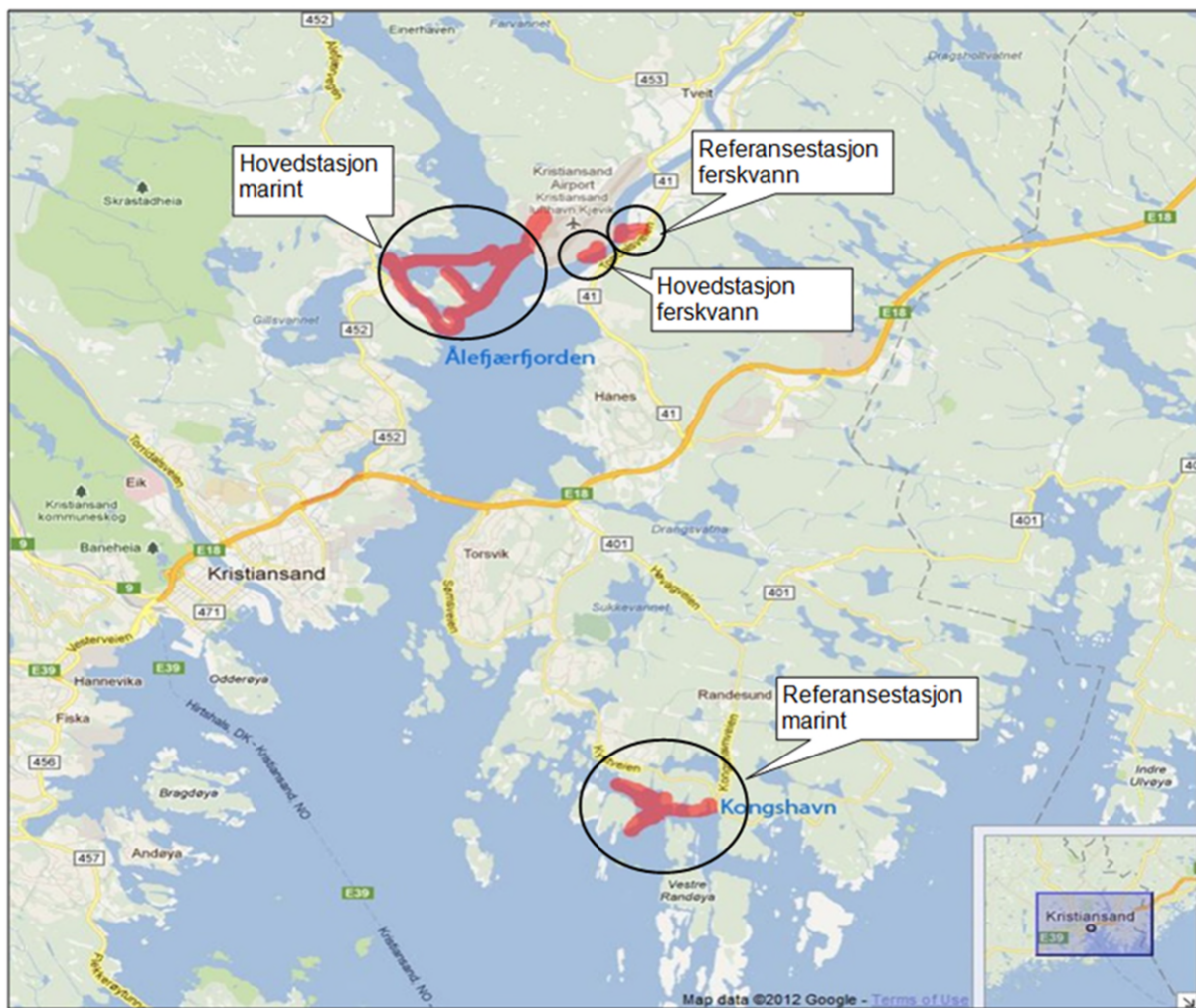
6.6.3.1 Metodikk og datainnsamling

Marine arter ble samlet inn i to omganger, første gang i april og andre gang i oktober 2012.

Hovedstasjon marint - Ålefjærfjorden

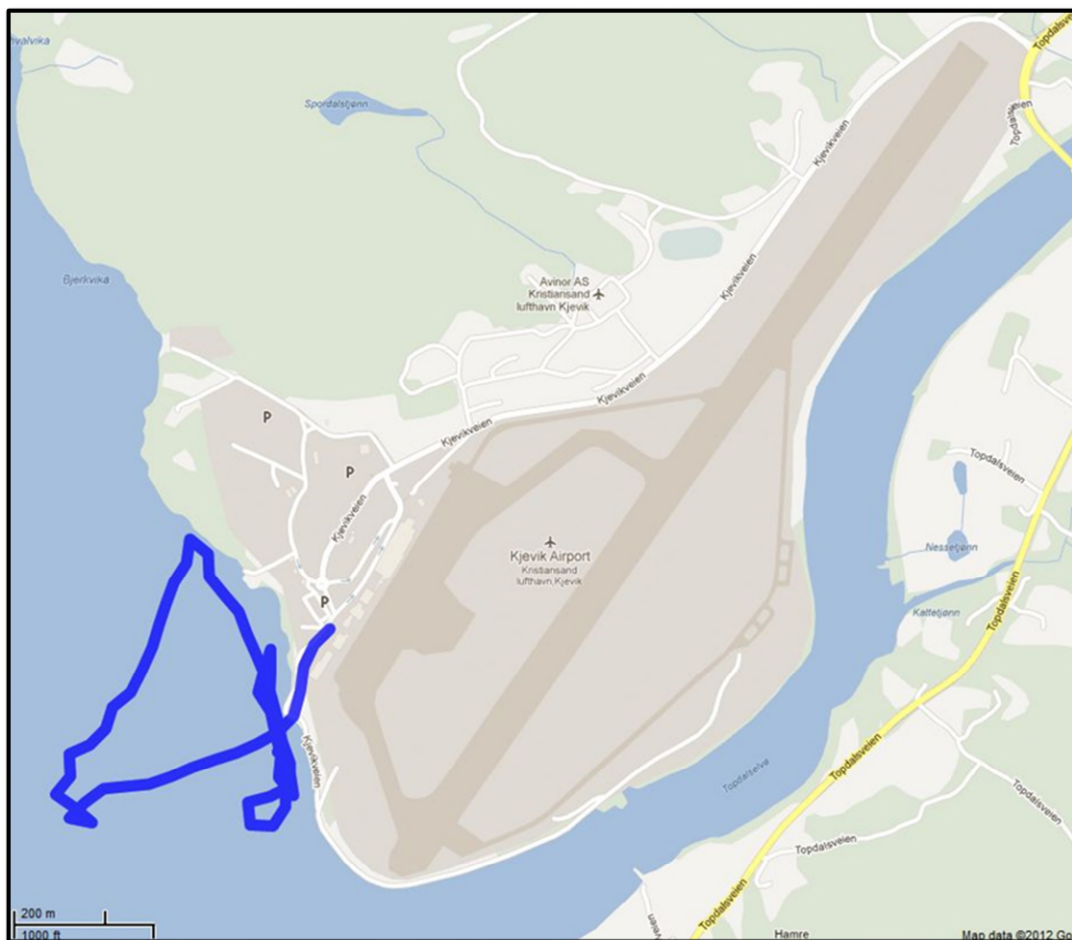
I april 2012 ble innsamling av prøver i tilknytning til Kristiansand lufthavn foretatt i sjøen rett sydvest for flyplassen, og på motsatt side av fjorden i området rundt Justnesøya og Kristofferholmen (Figur 6-26).

Det ble benyttet trollgarn og åluser til innsamlingen. Trollgarn (63 mm), hver 27 m x 2 m, ble satt i lenker på tre. All redskap ble satt om kvelden og trukket morgenen etter. Lokal fisker med egnet båt og utstyr ble leid inn. Dykking etter skjell foregikk i samme område. Det ble samlet én prøve av dyreplankton. Det ble benyttet en hov med diameter på 55 cm, lengde 2,5 m og en maskevidde på 0,18 mm. Hoven ble senket til ca. 40 m og hevet sakte til overflaten. Dyreplanktonet ble samlet opp fra en beholder nederst i hoven, og det ble gjennomført tre hovtrekk.



Figur 6-26. Oversiktskart over der det ble gjort innsamling i sjøen og i ferskvann i april 2012. De røde strekene i sjøen viser der båten gikk da garn og ruser ble trukket. De røde punktene i Topdalselva viser der det ble tatt prøver i ferskvann. Kartkilde: Google Maps.

I oktober 2012 ble innsamlingen foretatt på 20 – 40 meters dyp rett sydvest for flyplassen. Det ble benyttet 15 trollgarn og åleruser. Trollgarn (63 mm), hver 27 m x 2 m, ble satt i lenker på tre garn. All redskap ble satt om kvelden og trukket morgenen etter. Lokal fisker med egnet båt og utstyr ble leid inn som hjelp ved dette arbeidet. Området der båten gikk da garna ble trukket er vist i Figur 6-27. Det ble gjennomført tre trekk med planktonhov for å samle inn dyreplankton.



Figur 6-27. De blå strekene i sjøen viser der båten gikk da garn ble satt i oktober 2012.

Referansestasjon marint – Kongshavn

Området utenfor Kongshavn ble valgt som marin referansestasjon og prøvetatt i april 2012 (se Figur 6-26). Der ble det samlet én planktonprøve som besto av tre hovtrekk. Den viktigste planktongruppen i hovtrekkene var copepoder (hoppekreps).

På trollgarna, som ble satt utenfor Kongshavn, ble det fanget 12 torsk, 3 skrubbe, 6 lomrer, en steinbit, en sei, en berggyllt, en rødspette og mer enn 50 taskekrabber. Det ble tatt prøver av 10 torsk, 3 skrubbe, 1 steinbiten og 10 krabber. Det ble ikke funnet kuskjell på referansestasjonen (Tabell 6-38).

6.6.3.2 Presentasjon av prøver fra alle innsamlingsrunder

På hovedstasjonen utenfor flyplassen ble det i april 2012 fanget og tatt prøver av 13 skrubbe, 13 slettvar, 5 lomrer, 5 torsk, 1 steinbit, 1 knurr og 10 taskekrabber (Tabell 6-38). I tillegg ble det fanget 1 lyr som det ikke ble tatt prøver av, da denne arten vandrer en god del. Av fisken ble det tatt prøver av lever og muskler. Av taskekrabbene ble det tatt prøve av vevet som ligger opp mot skallet (krabbesmør).

Det ble tatt prøver av 20 kuskjell som ble funnet på 6,5-14 meters dyp, og av to østers. Prøvene av østers ble ikke analysert.

På trollgarna, som ble satt på referansestasjonene utenfor Kongshavn i april 2012, ble det fanget 12 torsk, 3 skrubbe, 6 lomrer, en steinbit, en sei, en berggyllt, en rødspette og mer enn 50 taskekrabber. Det ble tatt prøver av 10 torsk, 3 skrubbe, 1 steinbiten og 10 krabber. Det ble ikke funnet kuskjell på referansestasjonen (Tabell 6-38).

Tabell 6-38. Oversikt over arter og antall individer som er samlet inn i sjøen og antall som er analysert.

Innsamlet		Når?	Lokalitet	Analysert	Kommentar
Art	Antall			Antall	
Skrubbe	13	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	13	2 lever- og 13 muskelprøver
Slettvar	13	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	11	11 leverprøver, 3 muskelprøver
Lomre	5	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	5	5 muskelprøver
Torsk	5	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	5	5 muskelprøver og 5 leverprøver
Knurr	1	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	1	1 muskel og 1 leverprøve
Gråsteinbit	1	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	1	1 muskel og 1 leverprøve
Taskekrabber	9	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	9	Krabbesmør
Zooplankton	1	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	1	Bland
Kuskjell	20	April 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	10	Individprøver hele dyret uten skjell
Skrubbe	3	April 2012	Kongshavn – ref.	3	3 lever- og 3 muskelprøver
Torsk	10	April 2012	Kongshavn – ref.	10	10 lever- og 10 muskelprøver
Gråteinbit	1	April 2012	Kongshavn – ref.	1	1 muskel og 1 leverprøve
Taskekrabber	9	April 2012	Kongshavn – ref.	9	Krabbesmør
Zooplankton	1	April 2012	Kongshavn – ref.	1	Bland
Skrubbe	4	Okt. 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	4	Muskelprøver
Lomre	10	Okt. 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	5	Muskelprøver tatt av alle individene.
Torsk	5	Okt. 2012	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	5	Muskelprøver
Taskekrabber	5	Okt. 2013	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	5	Krabbesmør
Zooplankton	1	Okt. 2013	Hovedstasjon Ålefjærfjorden	1	Bland

I garna som ble satt i oktober 2012, ble det fanget 4 torsk, 4 hybrider mellom skrubbe og rødspette, 1 slettvar, 11 lomrer, 2 rødspetter, 1 hyse, 2 hvitting, 1 hummer og 6 krabber. I tillegg ble tatt opp 3 krabber og 2 torsk fra ruser disponert av AVINOR og fisker Kristoffer Pettersen. Av disse ble det tatt prøver av: 6 torsk, 4 skrubbe, 1 slettvar, 10 lomrer og 9 taskekrabber. Det ble tatt muskelprøver av all fisken (Tabell 6-38). Av all torsken, skrubbene (unntatt én) og slettvaren ble det i tillegg tatt leverprøver. Av taskekrabbene ble det tatt prøver av vevet som ligger krabbeskallets ytterkant (krabbesmør).

Det ble ikke samlet inn biota fra sjøen i 2013 og 2014.

6.6.3.3 Presentasjon av resultater fra alle innsamlingsrunder

Hovedstasjonen utenfor flyplassen - april 2012

Det er ikke kjent at det tidligere har vært samlet inn og analysert biotisk materiale for PFAS fra sjøen utenfor Kristiansand lufthavn, Kjevik. Analysene omfattet tre dyregrupper, muslinger (kuskjell), krepsdyr (copepoder og taskekrabber) og fisk (skrubbe, slettvar, lomre, torsk, knurr og steinbit).

Muslinger

Av 10 kuskjell (*Arctica islandica*) som ble analysert ble det påvist lave konsentrasjoner av PFOS (gjsn. $0,4 \pm 0,7$, maks. 1,5 og min. $<1,0$ $\mu\text{g/kg}$ vv) i 3 individer, alle konsentrasjoner under EQS biota på $9,1$ $\mu\text{g/kg}$. Det ble ikke påvist andre PFAS (Tabell 6-39).

Tabell 6-39. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i kuskjell samlet i sjøen rett utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Blå farge og hvite felt angir at den aktuelle kjemiske forbindelsen ikke ble påvist. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (μg PFAS / kg våtvekt)	143 - kuskjell dyr uten skjell	144 - kuskjell dyr uten skjell	145 - kuskjell dyr uten skjell	146 - kuskjell dyr uten skjell	147 - kuskjell dyr uten skjell	148 - kuskjell dyr uten skjell	149 - kuskjell dyr uten skjell	150 - kuskjell dyr uten skjell	151 - kuskjell dyr uten skjell	152 - kuskjell dyr uten skjell	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFOS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1,1	1,5	<1.0	1,4	<1.0	0,4	1,5	ND	0,7
PFPeA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFDA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
Sum PFAS	ND	ND	ND	ND	ND	1,1	1,5	ND	1,4	ND	0,4	1,5	ND	0,7

Krepsdyr

I zooplanktonprøven, som hovedsakelig besto av copepoder og som ble fanget i sjøen rett utenfor flyplassen i april 2012, ble det ikke påvist noen PFAS. I krabbesmør av taskekrabbe fanget i samme området og til samme tid som zooplanktonprøven, ble det imidlertid gjort funn av PFAS i alle de 9 individene som ble analysert (gjsn. $3,3 \pm 1,7$, maks. 7,1 og min. 1,1 $\mu\text{g/kg}$ vv). Også her var alle konsentrasjoner under EQS biota på $9,1$ $\mu\text{g/kg}$. I alt ble det påvist 4 forskjellige forbindelser. PFOS forekom med høyest konsentrasjon og ble funnet i alle individene, PFOA i 2 individer, PFNA i ett individ og PFDA i 3 individer (Tabell 6-40). Felles for alle disse forbindelsene er at de har forholdsvis mange C-atomer i kjeden (7 – 9).

Tabell 6-40. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i taskekrabber samlet i sjøen rett utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	1 - taske krabbe	2 - taske krabbe	3 - taske krabbe	4 - taske krabbe	5 - taske krabbe	6 - taske krabbe	7 - taske krabbe	8 - taske krabbe	9 - taske krabbe	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFBS	<2.0	<10	<2.0	<10	<10	<2.0	<5.0	<5.0	<5.0	<2.0	<5.0	<5.0	
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFOS	2,5	1,6	2	2,3	1,1	3,9	2	3,3	2,9	2,4	3,9	1,1	0,9
PFPeA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFOA	<1.0	1,1	<1.0	<1.0	<1.0	1,7	<1.0	<1.0	<1.0	0,3	1,7	<1.0	0,4
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1,5	<1.0	<1.0	<1.0	0,2	1,5	<1.0	
PFDA	1,2	<1.0	<1.0	1,3	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1,1	0,4	1,3	<1.0	0,1
Sum PFAS	3,7	2,7	2	3,6	1,1	7,1	2	3,3	4	3,3	7,1	1,1	1,7

Fisk

Hovedsakelig ble muskelprøver analysert for fisken som ble fanget. For et utvalg ble også leverprøver analysert, noe som delvis var avhengig av at leveren var stor nok til å gi nok vev til prøven (minimum 2 gram). For noen arter er kun PFOS og PFOA inkludert i analysene. I de tilfeller der det er gjort, er det ikke oppgitt grenseverdier i tabellene som vises.

Torsk (*Gadus morhua*)

Det ble kun fanget 5 torsk i sjøen utenfor flyplassen. Lengden på fisken varierte mellom 330 og 540 mm og gjennomsnittslengden var 414 ± 84 mm. I kun et av disse individene ble det påvist PFOS (1,5 µg/kg vv) og ingen andre forbindelser (Tabell 6-41). I leverprøvene fra de samme individene ble det påvist PFOS i alle prøvene (gjsn. $7,4 \pm 2,8$, maks. 11 og min. 3,5 µg/kg vv), men ingen andre forbindelser (Tabell 6-42).

Tabell 6-41. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra torsk samlet i sjøen rett utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	36 - torsk muskel m/skinn	91 - torsk muskel	94 - torsk muskel	96 - torsk muskel	101 - torsk muskel	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFOS	<1.0	<1.0	<1.0	1,5	<1.0	0,3	1,5	ND	0,7
PFPeA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFDA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
Sum PFAS	ND	ND	ND	1,5	ND	0,3	1,5	ND	0,7
Lengde (mm)	448	398	330	540	353	414	540	330	84

Tabell 6-42. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i leverprøver fra torsk samlet i sjøen rett utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	37 - torsk lever	95 - torsk lever	102 - torsk lever	92 - torsk lever	93 - torsk lever	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2									
FTS-8:2									
PFBS									
PFHxS									
PFOS	6,7	11	8,7	3,5	7	7,38	11	3,5	2,8
PFPeA									
PFHxA									
PFHpA									
PFOA	<1.0	<10	<5.0	<5.0	<3.0				
PFNA									
PFDA									
Sum PFAS	6,7	11	8,7	3,5	7	7,38	11	3,5	2,8
Lengde (mm)	448	540	353	398	330	413,8	540	330	83,8

Skrubbe (*Platichius flesus*)

Av i alt 13 individer av skrubbe ble det påvist PFAS i muskelprøver fra 12 fisk (Tabell 6-43). I ett av disse individene ble det påvist en konsentrasjon over EQS biota, mens i de øvrige lå konsentrasjonen lavere. Gjennomsnitts-, maksimums- og minimumskonsentrasjonen lå henholdsvis på $3,5 \pm 2,9$, 10 µg/kg vv og under deteksjonsgrensen. Som i de andre prøvene fra marin biota dominerte PFOS, som ble påvist i 11 av 13 individer (84,6 %). I tillegg ble det påvist PFNA i 3 og PFDA i 4 individer. Lengden på fisken varierte fra 281 mm til 376 mm med et gjennomsnitt på 317 ± 27 mm.

Tabell 6-43. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra skrubbe samlet i sjøen utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

Ålefjærfj.														Børresholmen (i Ålefjærfjorden)										Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	16 - skrubbe muskel m/skinn	19 - skrubbe muskel m/skinn	22 - skrubbe muskel m/skinn	25 - skrubbe muskel m/skinn	28 - skrubbe muskel m/skinn	31 - skrubbe muskel m/skinn	40 - skrubbe muskel m/skinn	85 - skrubbe muskel	86 - skrubbe muskel	87 - skrubbe muskel	88 - skrubbe muskel	89 - skrubbe muskel	90 - skrubbe muskel														
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0				<2.0	<2.0	<2.0											
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0				<2.0	<2.0	<2.0											
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0				<2.0	<2.0	<2.0											
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0				<1.0	<1.0	<1.0											
PFOS	7,6	<1.0	1	2,2	<1.0	2,3	5,9	2,6	2	2,4	2,8	1,9	3,4	2,6	7,6	<1.0	1,9										
PFPeA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0				<5.0	<5.0	<5.0											
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0				<2.0	<2.0	<2.0											
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0				<5.0	<5.0	<5.0											
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0											
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1,9	<1.0	1,7	1,3	<1.0	<1.0				0,38	1,9	<1.0											
PFDA	2,4	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1,3	1,2	1,3	<1.0	<1.0				0,48	2,4	<1.0											
Sum PFAS	10	ND	1	2,2	1,9	3,6	8,8	5,2	2	2,4	2,8	1,9	3,4	3,5	10	ND	2,9										
Lengde (mm)	355	295	300	298	305	281	310	376	305	348	322	319	309	317	376	281	27										

Det ble kun tatt leverprøve fra to individer av skrubbe fanget i Ålefjærfjorden (Tabell 6-44). I begge individene ble det påvist PFOS, der høyeste konsentrasjon var 130 og laveste 9,3 µg/kg vv.

Tabell 6-44. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i leverprøver fra skrubbe, muskel og leverprøve fra knurr og steinbit samlet i sjøen utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	84 - skrubbe lever	100 - skrubbe lever	34 - knurr lever	35 - knurr muskel m/skinn	38 - steinbit muskel	39 - steinbit lever
FTS-6:2					<2.0	<2.0
FTS-8:2					<2.0	<2.0
PFBS					<2.0	<2.0
PFHxS					<1.0	<1.0
PFOS	9,3	130	81	5,8	<1.0	2,3
PFPeA					<5.0	<5.0
PFHxA					<2.0	<2.0
PFHpA					<5.0	<5.0
PFOA	<1.0	<5.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFNA					<1.0	<1.0
PFDA					<1.0	<1.0
Sum PFAS	9,3	130	81	5,8	ND	2,3
Lengde (mm)	376	350	305	305	590	590

Knurr (*Eutrigla gurnardus*)

Det ble kun fanget én knurr i sjøen utenfor flyplassen. Muskel- og leverprøven ble bare analysert for PFOA og PFOS. Kun PFOS ble påvist, med 5,8 µg/kg vv i fiskekjøttet og 81 µg/kg vv i leveren (Tabell 6-44).

Gråsteinbit (*Anarhichas lupus*)

Det ble kun fanget én gråsteinbit i sjøen utenfor flyplassen. Kun PFOS ble påvist i leveren, 2,3 µg/kg vv (Tabell 6-44).

Slettvar (*Scophthalmus rhombus*)

Det ble tatt muskelprøver av tre og leverprøver av ti individer av slettvar fanget i sjøen utenfor flyplassen. Muskel- og leverprøvene ble bare analysert for PFOA og PFOS. Kun PFOS ble påvist, med en gjennomsnitts-, maksimums- og minimumskonsentrasjon på henholdsvis på $2,5 \pm 1,5$, 4,2 og 1,4 µg/kg vv i fiskekjøttet (Tabell 6-45), og $10,8 \pm 14,9$, 51 og 2,3 µg/kg vv i leveren (Tabell 6-46). En av prøvene ble analysert med en deteksjonsgrense på <20 µg/kg vv for PFOS, noe som er mer enn 2 * EQS biota. Siden alle de øvrige individene fikk påvist PFOS i leveren er det trolig at det også fantes PFOS i denne prøven.

Tabell 6-45. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra slettvar samlet i sjøen utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	44 - slettvar muskel	47 - slettvar muskel	54 - slettvar muskel	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2							
FTS-8:2							
PFBS							
PFHxS							
PFOS	2	1,4	4,2	2,5	4,2	1,4	1,5
PFPeA							
PFHxA							
PFHpA							
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFNA							
PFDA							
Sum PFAS	2	1,4	4,2	2,5	4,2	1,4	1,5
Lengde (mm)	510	483	420	471	510	420	46

Tabell 6-46. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i leverprøver fra slettvar, fanget i sjøen utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	43 - slettvar lever	46 - slettvar lever	51 - slettvar lever	53 - slettvar lever	56 - slettvar lever	60 - slettvar lever	65 - slettvar lever	68 - slettvar lever	73 - slettvar lever	81 - slettvar lever	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2														
FTS-8:2														
PFBS														
PFHxS														
PFOS	9,5	2,3	14	13	16	2,9	6	23	<20	51	10,8	51	2,3	14,9
PFPeA														
PFHxA														
PFHpA														
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<10	<2.0				
PFNA														
PFDA														
Sum PFAS	9,5	2,3	14	13	16	2,9	6	23	<20	51	10,8	51	2,3	14,9
Lengde (mm)	510	483	404	420	416	425	395	420	322	380	418	510	322	42

Lomre (*Microtomus kitt*)

Det ble tatt muskelprøver av fem individer av lomre fanget i sjøen utenfor flyplassen. Muskelprøvene ble bare analysert for PFOA og PFOS. Kun PFOS ble påvist, i fire av fem individer. Gjennomsnitts-, maksimums- og minimumskonsentrasjonen var på henholdsvis på $2,2 \pm 1,5$, 3,7 og $< 1,0$ µg/kg vv i fiskekjøttet (Tabell 6-47).

Tabell 6-47. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra lomre samlet i sjøen utenfor Kristiansand lufthavn i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	11 - lomre muskel m/skinn	12 - lomre muskel m/skinn	13 - lomre muskel m/skinn	14 - lomre muskel m/skinn	15 - lomre muskel m/skinn	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2									
FTS-8:2									
PFBS									
PFHxS									
PFOS	2,1	1,5	3,7	3,6	<1,0	2,2	3,7	ND	1,5
PFPeA									
PFHxA									
PFHpA									
PFOA	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0				
PFNA									
PFDA									
Sum PFAS	2,1	1,5	3,7	3,6	<1,0	2,2	3,7	ND	1,54
Lengde (mm)	310	340	325	310	330	323	340	310	13

Referansestasjonen i Kongsfjorden – april 2012

I Kongsfjorden ble det fanget og analysert to dyregrupper i april 2012; krepsdyr (copepoder og taskekrabber) og fisk (skrubbe og torsk).

Krepsdyr fra Kongsfjorden

I zooplanktonprøven fra Kongsfjorden ble det ikke påvist noen PFAS. I krabbesmør av taskekrabbe fanget i samme området og til samme tid som zooplanktonprøven, ble det imidlertid gjort funn av PFAS i alle de 9 individene som ble analysert (gjsn. 4,8 ± 4,1, maks. 13,7 og min. 1,3 µg/kg vv). I alt ble det påvist 4 forskjellige forbindelser. PFOS forekom med høyest konsentrasjon og ble funnet i alle individene, PFOA i 3 individer, PFNA i ett individ og PFDA i 1 individer (Tabell 6-48). Felles for alle de påviste forbindelsene er at de har forholdsvis mange C-atomer i kjeden (7 – 9).

Tabell 6-48. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i taskekrabber samlet i sjøen i Kongsfjorden april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	109 - taske- krabbe- krabbe- smør	110 - taske- krabbe- krabbe- smør	111 - taske- krabbe- krabbe- smør	126 - taske- krabbe- krabbe- smør	127 - taske- krabbe- krabbe- smør	128 - taske- krabbe- krabbe- smør	133 - taske- krabbe- krabbe- smør	134 - taske- krabbe- krabbe- smør	135 - taske- krabbe- krabbe- smør	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
FTS-8:2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
PFBS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<5,0	<2,0	<2,0	<5,0	<5,0	
PFHxS	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
PFOS	6,1	2,6	10	3,5	<1,0	7,4	2,4	1,6	2	4,5	10	1,6	3,0
PFPeA	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	
PFHxA	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
PFHpA	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	
PFOA	<1,0	<1,0	1,8	1,2	1,3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,4	1,8	<1,0	0,3
PFNA	<1,0	<1,0	1,9	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,9	1,9	<1,0	
PFDA	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,1	<1,0	<1,0	<1,0	1,1	1,1	<1,0	
Sum PFAS	6,1	2,6	13,7	4,7	1,3	8,5	2,4	1,6	2	4,8	13,7	1,3	4,1

Fisk fra Kongsfjorden

Torsk

Det ble fanget 10 torsk på referansestasjonen i Kongsfjorden i april 2012. Lengden på fisken varierte mellom 375 og 635 mm og gjennomsnittslengden var 517 ± 87 mm. Det ble påvist PFOS i 5 av individene. Gjennomsnittskonsentrasjonen for de 10 individene var $1,3 \pm 0,7$ µg/kg vv og maks. og min. var henholdsvis 1,7 og <0,7 µg/kg vv (Tabell 6-49). I leverprøvene fra de samme individene ble det påvist PFOS i syv prøver (gjsn. $4,0 \pm 1,8$, maks. 6,4 og min. 1,9 µg/kg vv). Standardavviket er kun beregnet for de individene som fikk påvist PFOS, fordi deteksjonsgrensen for prøvene der det ikke ble påvist noe, varierte mellom <2,0 og <10,0 og lå følgelig over <0,1 som er standard deteksjonsgrense (Tabell 6-50). Det kan derfor ikke utelukkes at det forekom forurensing i de tre individene hvor det ikke ble gjort funn.

Tabell 6-49. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra torsk samlet i sjøen på referansestasjonen i Kongsfjord i april 2012. Fargekoder iht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	104 - torsk muskel	106 - torsk muskel	108 - torsk muskel	112 - torsk muskel	115 - torsk muskel	117 - torsk muskel	118 - torsk muskel	120 - torsk muskel	122 - torsk muskel	139 - torsk muskel	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	3	<2.0	<2.0	<2.0	
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFOS	1,2	<1.0	<1.0	<1.0	1,7	1,3	<1.0	1,1	<1.0	1,3	0,7	1,7	<1.0	0,7
PFPeA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFDA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
Sum PFAS	1,2	ND	ND	ND	1,7	1,3	ND	1,1	ND	4,3	1,0	4,3	<1.0	1,0
Lengde (mm)	585	555	394	580	475	470	510	590	375	635	517	635	375	87

Tabell 6-50. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i leverprøver fra torsk samlet i sjøen på referansestasjonen i Kongsfjord i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1. Standardavviket er kun beregnet for de individene som fikk påvist PFOS, fordi deteksjonsgrensen for prøvene der det ikke ble påvist noe, varierte og lå over <1,0, µg / kg vv, som er standard deteksjonsgrense.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	103 - torsk lever	105 - torsk lever	107 - torsk lever	113 - torsk lever	114 - torsk lever	116 - torsk lever	119 - torsk lever	121 - torsk lever	123 - torsk lever	140 - lever torsk	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2														
FTS-8:2														
PFBS														
PFHxS														
PFOS	<2,0	1,9	<5,0	<10	5,1	6,4	2,2	3,9	5,9	2,8	4,0	6,4	1,9	1,8
PFPeA														
PFHxA														
PFHpA														
PFOA	<2,0	<3,0	<5,0	<10	<5,0	<2,0	<1,0	<1,0	<5,0	<2,0				
PFNA														
PFDA														
Sum PFAS	ND	1,9	ND	ND	5,1	6,4	2,2	3,9	5,9	2,8	4,0	6,4	1,9	1,8
Lengde (mm)	585	555	394	580	475	470	510	590	375	635	517	635	375	87

Skrubbe

Av i alt 3 individer av skrubbe i sjøen utenfor flyplassen i april 2012, ble det påvist PFOS i muskelprøver fra 2 fisk (Tabell 6-51). Gjennomsnitt-, maksimums- og minimumskonsentrasjonen lå henholdsvis på $1,1 \pm 1,0$, 1,9 og <0,1 µg/kg vv.

Tabell 6-51. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra skrubbe samlet i sjøen på referansestasjonen i Kongsfjord i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1. .

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	124 - skrubbe muskel	130 - skrubbe muskel	132 - skrubbe muskel	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
FTS-8:2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
PFBS	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
PFHxS	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
PFOS	<1,0	1,9	1,3	1,1	1,9	<1,0	1,0
PFPeA	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	
PFHxA	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
PFHpA	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	
PFOA	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
PFNA	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
PFDA	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
Sum PFAS	ND	1,9	1,3	1,1	1,9	ND	1,0
Lengde (mm)	300	358	340	333	358	340	30

I leverprøvene ble det påvist PFOS over EQS biota i alle de tre individene (gjsn. 12,7, maks. 13 og min. 12 µg/kg vv (Tabell 6-52).

Tabell 6-52. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i leverprøver fra skrubbe samlet i sjøen på referansestasjonen i Kongsfjord i april 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	125 - skrubbe lever	129 - skrubbe lever	131 - skrubbe lever	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2							
FTS-8:2							
PFBS							
PFHxS							
PFOS	13	12	13	12,7	13	12	0,6
PFPeA							
PFHxA							
PFHpA							
PFOA	<3.0	<5.0	<5.0				
PFNA							
PFDA							
Sum PFAS	13	12	13	12,7	13	12	0,6
Lengde (mm)	300	358	340	333	358	340	30

Gråsteinbit

Det ble kun fanget én gråsteinbit i sjøen på referansestasjonen i Kongsfjorden. Muskel- og leverprøven ble bare analysert for PFOA og PFOS. Kun PFOS ble påvist og kun i leveren; 1,8 µg/kg vv.

Hovedstasjonen utenfor flyplassen - oktober 2012

For å avklare om det kunne være forskjell på konsentrasjonen av PFAS i biota om våren og høsten ble det samlet inn nye prøver. April er en periode på året da vekstsesongen ikke er kommet helt i gang, mens oktober er på slutten av vekstsesongen.

Krepsdyr

I zooplanktonprøven som hovedsakelig besto av copepoder, og som ble fanget i sjøen rett ut for flyplassen i oktober 2012, ble det ikke påvist noen PFAS. Det ble det heller ikke i april samme år.

I krabbesmør av taskekrabbe fanget i samme området og til samme tid som zooplanktonprøven, ble det gjort funn av PFAS i tre av fem individer som ble analysert (gjsn. $2,9 \pm 4,7$, maks. 11,1 og min. $< 0,1$ µg/kg vv) (Tabell 6-53). Dette er noe lavere gjennomsnittskonsentrasjon enn det om ble funnet i april ($3,3 \pm 1,7$ µg/kg vv), men noe høyere maksimumskonsentrasjon (7,1 µg/kg vv). Foruten PFOS ble det påvist PFOA, PFNA og PFDA i ett av individene.

Tabell 6-53. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i taskekrabber samlet i sjøen i Ålefjærfjorden oktober 2012. Fargekoder ihht tabell 4.1. .

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	Taske-krabbe 1 krabbe-smør	Taske-krabbe 2 krabbe-smør	Taske-krabbe 3 krabbe-smør	Taske-krabbe 4 krabbe-smør	Taske-krabbe 5 krabbe-smør	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFBS	<2.0	9,8	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFOS	<1.0	2,2	1,4	4,6	<1.0	1,6	4,6	<1.0	1,9
PFPeA	<5.0	<10	<10	<20	<10	<5.0	<5.0	<5.0	
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	3,4	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	2	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFDA	<1.0	<1.0	<1.0	1,1	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
Sum PFAS	ND	2,2	1,4	11,1	ND	2,9	11,1	<1.0	4,7

Fisk

Torsk

Det ble fanget 6 torsk i sjøen utenfor flyplassen i oktober 2012, hvorav 5 ble analysert. Lengden på fisken som ble analysert varierte mellom 537 og 715 mm, og gjennomsnittslengden var 578 ± 77 mm. Det ble ikke påvist PFAS i noen av de 5 individene (Tabell 6-54). Leverprøver ble tatt, men er ikke analysert da det i samband med fisk var fokus på effekt for mennesker.

Tabell 6-54. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra torsk samlet i sjøen på hovedstasjonen utenfor flyplassen i oktober 2012.

ELEMENT (µg PFAS / kg våtvekt)	Torsk 1-M muskel	Torsk 2-M muskel	Torsk 3-M muskel	Torsk 4-M muskel	Torsk 5-M muskel	Gjsn.	Maks.	Min.
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFOS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFPeA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<15	<5.0	<5.0	<15
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
PFDA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Sum PFAS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lengde (mm)	715	543	537	542	553	578	715	537

Skrubbe

Det ble fanget 4 skrubbe i sjøen utenfor flyplassen i oktober 2012 og alle ble analysert. Lengden på fisken varierte mellom 237 og 347 mm, og gjennomsnittslengden var 297 ± 47 mm. Det ble påvist lave konsentrasjoner av PFOS i alle individene (Tabell 6-55) (gjsn. $1,3 \pm 0,14$, maks. 1,5 og min. 1,2 $\mu\text{g/kg}$ vv). Leverprøver ble tatt, men er ikke analysert.

Tabell 6-55. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra skrubbe samlet i sjøen på hovedstasjonen utenfor flyplassen i oktober 2012.

ELEMENT (μg PFAS / kg våtvekt)	Skrubbe 1-M muskel	Skrubbe 2-M muskel	Skrubbe 3-M muskel	Skrubbe 4-M muskel	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFOS	1,3	1,2	1,5	1,2	1,3	1,5	1,2	0,14
PFPeA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFDA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
Sum PFAS	1,3	1,2	1,5	1,2	1,3	1,5	1,2	0,14
Lengde (mm)	287	237	347	318	297	347	237	47

Lomre

Det ble tatt muskelprøver av 10 lomrer fanget i sjøen utenfor flyplassen i oktober 2012, hvorav 5 ble analysert. I fire av individene ble det ikke gjort funn. I ett individ ble det påvist $14,0 \mu\text{g}$ PFOS /kg vv (Tabell 6-56).

Tabell 6-56. Oversikt over kjemiske forbindelser av PFAS som er analysert, og funn av disse i muskelprøver fra lomre samlet i sjøen på hovedstasjonen utenfor flyplassen i oktober 2012.

ELEMENT (μg PFAS / kg våtvekt)	Lomre 1-M muskel	Lomre 2-M muskel	Lomre 3-M muskel	Lomre 4-M muskel	Lomre 5-M muskel	Gjsn.	Maks.	Min.	Stdav.
FTS-6:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
FTS-8:2	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFBS	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHxS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFOS	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	14,0	2,8	14,0	<1.0	
PFPeA	<5.0	<2.0	<5.0	<1.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFHxA	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	
PFHpA	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	
PFOA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFNA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
PFDA	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
Sum PFAS	ND	ND	ND	ND	14,0	2,8	14,0	<1.0	
Lengde (mm)	406	351	382	390	385	383	406	351	20

6.6.3.4 Vurdering av marin biota

I zooplankton som er det laveste trofiske nivået over primærprodusentene (planteplankton og alger) ble det ikke gjort funn av PFAS. Deteksjonsgrensene for de viktigste PFAS på 1 og 2 µg/kg vv som ALS opererer med i denne undersøkelsen er trolig for høyt når det gjelder så lavt nivå av næringskjeden i marin pelagisk sone. Andre undersøkelser viser også lave nivå i zooplankton (Xu et. Al 2014) og da med betydelig stigning i konsentrasjonene oppover i næringskjeden.

I kuskjell, som også representerer et lavt trofisk nivå, ble det kun funnet PFOS med en lav konsentrasjon på mellom 1,1 og 1,5 µg/kg vv i tre av ti individer. Kuskjell kan oppnå høy alder og det er samlet inn store gamle skjell (trolig mer enn 50år gamle), slik at disse organismene har stått i fjorden i hele perioden som PFAS har vært i bruk ved Kjevik lufthavn. Funnene så langt tyder på at kuskjell akkumulerer PFAS i liten grad, og at arten ikke egner seg som indikatorart for PFAS. Dette støttes gjennom tilsvarende analyser fra andre lufthavner. Andre arter av denne dyregruppen som for eksempel albuesnegl fra lufthavnene ved Florø, Kristiansund, Molde og Ålesund ble det imidlertid funnet høyere konsentrasjoner av PFAS (mellom 94 og 10,9 µg/kg vv), noe som tyder på at andre arter i bløtdyrgruppen tar opp disse forbindelsene. Marin strandson fauna ble ikke funnet ved Kjevik, noe som tilskrives et nokså tykt lag med ferskvann og dårlige levevilkår for marine arter.

I de ni individene som ble analysert av taskekrabbe fra Ålefjær-/Topdalsfjorden i april 2012 ble det gjort funn av PFAS (hovedsakelig PFOS) i lave konsentrasjoner i alle individene (maks. 7,1, min. 1,1, gjsn. 3,3 µg/kg vv). I prøvene fra oktober ble det funnet PFAS i tre individer av 5. Det var lavere gjennomsnittskonsentrasjon enn i april, men noe høyere maksimumskonsentrasjon og lavere funn frekvens. Materialet kan ikke brukes til å si om det er noen signifikant forskjell. Det ble også analysert 9 taskekrabbe fra referansestasjonen i Kongsfjorden. Dette materialet viser samme tendens som ved Kjevik; alle prøvene viste innhold av PFAS, med litt høyere gjennomsnittverdi enn ved Kjevik og med høyere maksverdi. Tendensen går i retning av mer forurensning av PFAS på referansestasjonen enn ved Kjevik. Dette viser at PFAS forurensing trolig kommer fra flere kilder og at lokaliteter som i liten grad kan være påvirket av forurensing fra Kjevik kan ha like mye eller mer innhold av PFAS i taskekrabbekrabbe. Taskekrabbe er konsumvare og kan være en aktuell indikatorart for PFAS forurensing.

I fisken som ble analysert ble det gjort funn av PFAS hos alle artene både i muskel- og leverprøver, unntatt i muskelprøvene fra torsken fanget i oktober ved Kjevik.

I muskel av torsk fra Kjevik ble det gjort funn av PFAS (kun PFOS 1,5 µg/kg vv) i ett individ av de fem som ble analysert i april 2012. Imidlertid ble det funnet PFOS i leverprøvene fra alle de samme individene. Konsentrasjonene i lever varierte fra 3,5 til 11 µg/kg vv med et gjennomsnitt på 7,4 µg/kg vv. I oktober ble det ikke gjort funn i muskelprøvene, og leveren ble ikke analysert. På referansestasjonen ble det analysert prøver av 10 torsk i april 2012. I muskel ble det funnet PFAS i 5 av 10 fisk. I lever ble det gjort funn i 7 av 10 fisk. Situasjonen er omtrent den samme som for taskekrabbe, - torsken viser høyere innhold av PFAS i kjøttet i Kongsfjorden enn ved Kjevik. For lever er det omvendt. Materialet er litt spinkelt så det kan ikke trekkes bastante konklusjoner, men det er grunn til å si at PFAS-forurensing som torsken tar opp med stor sannsynlighet kommer fra flere kilder og at nivåene ikke kan sies å være særlig høyere ved Kjevik enn på referansestasjonen. Det må tilføyes at torsk er en art som vandrer og den kan således komme i kontakt med forurensing fra ulike kilder som ligger geografisk spredd. Ved Harstad/Narvik og Ålesund lufthavn er det påvist konsentrasjoner i muskel hos torsk i kategori III moderat, maks. konsentrasjoner på henholdsvis 27,9 og 33

µg/kg vv, og med innhold i leverprøver fra torsk ved Evenes på opp i 140 µg/kg vv. Det er grunn til å regne med at innholdet av PFAS i torsken der har sammenheng med forurensing fra lufthavnene. Ved Kjevik lufthavn er situasjonen annerledes, da innhold av PFAS i torsk ligger tett opp mot konsentrasjonene fra referansestasjonen. Torsk er en populær matfisk og synes å egne seg som indikatorart for PFAS i marin matbiota.

Av i alt 13 individer av skrubbe fanget ved Kjevik i april 2012 ble det påvist PFAS i muskel hos 12 individer (gjsn. 3,5, max. 10,0 og min under 1 µg/kg vv). PFOS dominerte i muskelprøvene. Det ble kun analysert to leverprøver. I begge individene ble det påvist PFOS, der høyeste konsentrasjon var 130 og laveste 9,3 µg/kg vv. Denne arten viser en høyere konsentrasjon i leveren i forhold til konsentrasjonene i muskel enn hos torsk. I oktober ble det påvist PFOS i lave konsentrasjoner i alle de fire analyserte muskelprøvene fra skrubbe ved Kjevik lufthavn. Gjennomsnittskonsentrasjonen var 1,3 µg/kg vv. (± 0,14).

På referansestasjon ble det analysert muskel og lever av 3 skrubbe fanget i april 2012. Det ble funnet PFAS i muskelen hos to av tre fisk, og konsentrasjonene i muskel var lavere enn ved Kjevik. Resultatene viser at de tre individene hadde en gjennomsnittskonsentrasjon av PFAS på 1,1 µg/kg vv (stdav. ± 1,0). Leverprøvene viste moderat tilstand med gjsn 12,7 µg PFAS/kg vv som er betydelig lavere enn ved Kjevik. Disse funnene kan tyde på at skrubbe er en god indikatorart med adferd som gjør den mer lokal enn torsk, og således kan gi et brukbart bilde av den lokale situasjonen. Materialet er imidlertid spinkelt og det kan ikke dras konklusjoner av overordnet karakter. Skrubbe er også en art som opptre i ferskvann som ung fisk, og som er viktig mat for en rekke fiskespisende arter. Fordi det ble fanget og analysert så få individer er det vanskelig å si noe om årsvariasjonen i innhold av PFAS i muskelprøver og lever hos skrubbe.

Hos de andre artene som ble analysert fra Kjevik ble det også påvist høyere konsentrasjoner i lever enn i muskelprøver. Blant annet ble det analysert prøver av slettvar, som er en ettertraktet matfisk. Denne flyndrefisken viste innhold av PFAS i 9 av 10 fisker med nivå noe lavere enn hos skrubbe, men konsentrasjonene i muskelen var godt under EQS biota på 9,1 µg PFAS/kg vv. Det ble bare analysert på PFOS og PFOA slik at bildet er noe uklart. Det ble heller ikke fanget slettvar på referansestasjonen slik at sammenligningsgrunnlaget ikke er til stede.

Steinbit som ble fanget og analysert både ved Kjevik og på referansestasjonen viste lave konsentrasjoner begge steder med ikke påvist PFAS i muskel og omtrent samme konsentrasjon i lever.

Lomre er en flyndrefisk som bare ble fanget i fjorden utenfor Kjevik lufthavn. Det ble analysert 5 prøver av muskel fra april og 5 prøver fra oktober 2012. Prøvene fra april viste innhold i 4 av 5 fisk med lave nivåer godt under EQS biota på 9,1 µg PFAS/kg vv. Prøvene fra oktober viste PFAS innhold i 1 av 5 fisk, altså lavere frekvens om høsten. Den ene fisken hadde 14 µg PFOS/kg vv, andre PFAS var under deteksjonsgrensen.

Med utgangspunkt i de prøvene som er analysert ved Kjevik lufthavn og fra referansestasjonene synes det viktig å ha analyser fra hovedstasjonen og referansestasjoner som kan sammenlignes. Særlig er det verdifullt ved lokaliteter der det kan være flere kilder til den aktuelle forurensingen.

Totalt viser analysebildet at et bredt artsutvalg fra fiskesamfunnet i Ålefjærfjorden/Topdalsfjorden har innhold av PFAS. Det samme gjelder for referansestasjonen i Kongsfjorden, som trolig er påvirket av PFAS forbindelser fra andre kilder enn Kjevik lufthavn. Fordi flere av fiskeartene som er undersøkt kan forflytte seg over større områder er

det usikkert hva som har vært kilden. Noen av artene som ble undersøkt i begge lokalitetene hadde høyere innhold av PFAS i Topdalsfjorden, mens andre arter hadde høyere innhold av PFAS ved referansestasjonen i Kongsfjorden. Fiskeprøver fra Topdalselva oppstrøms Kjevik og likeledes en vegetasjonsprøve ovenfor påvirkningsområdet fra Kjevik lufthavn viser innhold av PFAS. Dette viser at det sannsynligvis er flere kilder til PFAS i Topdalsfjorden enn brannøvingsfeltene ved Kjevik lufthavn. Konsentrasjonen av PFAS i marine arter ved Kjevik er ikke høy i forhold til funn på referansestasjonen, og i marint miljø sammenlignet med andre lufthavner.

6.6.4 Vurdering datagrunnlag biota

Det er gjort forholdsvis omfattende undersøkelser av biota ved og rundt Kristiansand lufthavn, Kjevik, både i terrestrisk miljø, i ferskvann og i marint miljø. I terrestrisk miljø ble det funnet forholdsvis høy konsentrasjon av PFAS i blader fra bjørk, i meitemark og i storskogmus. Det er analysert på flere ulike fiskeslag fanget i ferskvann og i sjøen. Både muskel- og leverprøver og hel fisk (ferskvannsarter) er undersøkt.

Undersøkelsene er egnet til å beskrive forurensningssituasjonen i matfisk i området, og til å gi noe informasjon om tilstanden i lokal terrestrisk biota. Datagrunnlaget er spinkelt i forhold til å kunne trekke konklusjoner om konsekvenser for høyere nivå i næringskjeden. Det er hentet inn data fra to referansestasjoner i ferskvann, og én referansestasjon i marint miljø.

7 Spredningsvurdering

7.1 Innledning

Det er utført en spredningsvurdering for hvert av de to nedlagte brannøvingsfeltene på Kjevik lufthavn. Topografi, vannbalanse, grunnvannsforhold, menneskeskapte dreneringsveier og generelle grunnforhold vurderes for å finne dreneringsveiene fra kildeområdet (brannøvingsfeltet) til resipient. Disse dreneringsveiene kan være bekk, grunnvann, grøfter og lignende. Da det ikke er i bruk avløpsledninger fra disse feltene. Transportveiene fra kildeområde til resipient er definert som spredningsområdet.

Hensikten med spredningsvurderingen er å skaffe et godt grunnlag for å vurdere belastning av resipient og vil også kunne danne grunnlag for vurdering av eventuelle tiltak. Spredningsvurderingen søker å gi svar på omfanget av spredningsområdet, estimat av transportert mengde PFOS til resipient per år, estimat av restmengde PFOS på brannøvingsfeltene og et estimat på hvor lang tid det vil ta før all PFOS har drenert til resipient. I tillegg sammenlignes estimatet på restmengden av PFOS mot mengde PFOS totalt brukt på feltet gjennom årene.

Det er sannsynlig at grunnvannsig følger overflatetopografien i dette området. Midlere nedbør for Kjevik er 1299 mm/år. Ved å trekke fra evapotranspirasjonen beregnet etter Tamms formel, blir avrenningen 890 mm/år.

7.2 BØF-1 –eldste felt (1978 – 1985)

Det er gjort en spredningsvurdering av PFOS med overflatevann og grunnvann for BØF-1. Dette brannøvingsfeltet var aktivt frem til ca. 1985. PFOS ble startet brukt ca. 1978. I dette tidsrommet er det estimert at det ble brukt ca. 30 kg PFOS på BØF-1. Årlig skumforbruk er estimert til 95 liter. Totalt skumforbruk i perioden er estimert til ca. 670 liter.

Spredningsvurderingen omfatter et estimat av hvor lang tid det tar før all PFOS har lekket ut fra brannøvingsfeltet, basert på de målinger som er utført.

7.2.1 Terreng- og strømningsanalyse BØF-1

Brannøvingsfeltet ligger på nivå med dagens rullebane ca. 10-12 meter høyere enn Topdalselva, og 8-10 meter høyere enn terrenget ved BØF- 2. Det er ca. 130 meter fra brannøvingsfeltets senter til Topdalselva. Brønnene BR41 og BR42 ligger ca. 15 meter fra elva og har en grunnvannsstand på ca. 2,5 meter under terreng. Terrenget heller forholdsvis bratt ned mot Topdalselva. Målte grunnvannsnivåer i brønnene BR41 og BR42 gir ikke entydig svar om grunnvannets strømningsretning da nivået svinger mye sammen med Topdalselva på grunn av tidevann. Det er naturlig at grunnvannets strømningsretning går mot Topdalselva.

Punktet BR15 ligger ca. 80 meter fra Topdalselva. Det ble boret ned til 9 meter under terreng og boreloggen viste sandige masser og et leirelag ca. 6 meter under terreng. Det er sannsynlig at dette leirelaget ikke er sammenhengende. Det registreres ikke grunnvann i brønnen, og den er derfor ikke prøvetatt. Det reelle grunnvannsspeilet ligger derfor trolig dypt (under 9 meter) da det generelt er sandige masser her med god hydraulisk ledningsevne og mektighet på mange meter. Hydraulisk gradient på grunnvannsspeilet er ikke kjent, men retningen er trolig mot Topdalselva. Figur 7-1 viser et sannsynlig nedbørsfelt for grunnvannet som strømmer gjennom BØF-1. Nedbørsfeltet er beregnet ut fra topografi. Størrelsen på nedbørsfeltet er ca. 35 000 m².



Figur 7-1. Viser nedbørsfelt til BØF-1 markert med blått polygon.

I brønn BR42 er det 3 målinger av PFOS. Gjennomsnittskonsentrasjonen for målingene er 1470 ng/l. Brønn BR41 har betydelig lavere konsentrasjoner av PFOS. Det er trolig at grunnvannet fra BØF-1 i større grad drenerer mot BR42 enn mot BR41 (Figur 7-1).

De sandige massene i området fører trolig til at mesteparten av avrenningen i området infiltrerer bakken og transporteres mot Topdalselva som grunnvann. Den store mektigheten på umettet sone vil føre til at det tar lang tid for PFOS å nå grunnvannet og at det kan være en del PFOS igjen i umettet sone. Små forskjeller i overflatetopografi vil trolig ikke ha stor innvirkning på grunnvannets strømningsretning.



Figur 7-2. Oversikt over området med prøvepunkter for vann og grunnvann. Sirkel markert med kryss er brønner. Sirkel med loddrett strek er prøver av overflatevann. Venstre side av sirkel har fargekode for PFOS -klasse. Høyre side av sirkel har fargekode for PFAS-klasse. Klassene er basert på gjennomsnittskonsentrasjoner for målingene som er gjort i punktet. Prøvepunktet V2 er i selve Topdalselva.

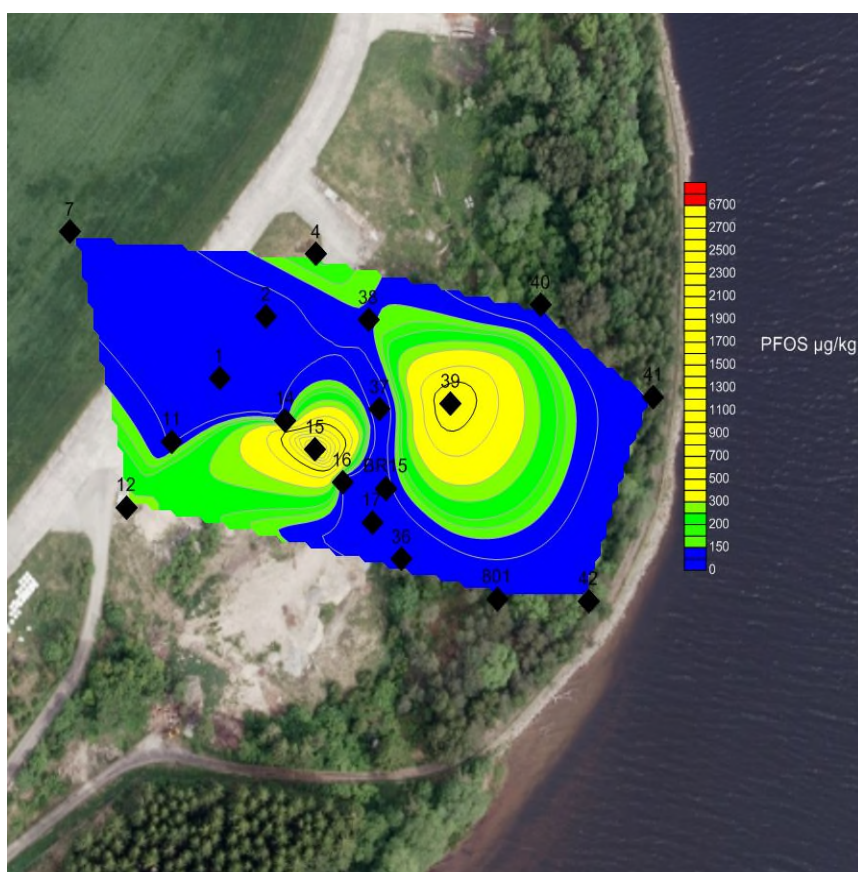
7.2.2 Beregning av mengde PFOS igjen i grunnen på BØF-1

Det er beregnet et estimat på mengde PFOS som er igjen i grunnen på BØF-1. Hvert prøvepunkt har fått beregnet en gjennomsnittskonsentrasjon ut fra PFOS konsentrasjonene målt i lag nedover i jordprofilen.

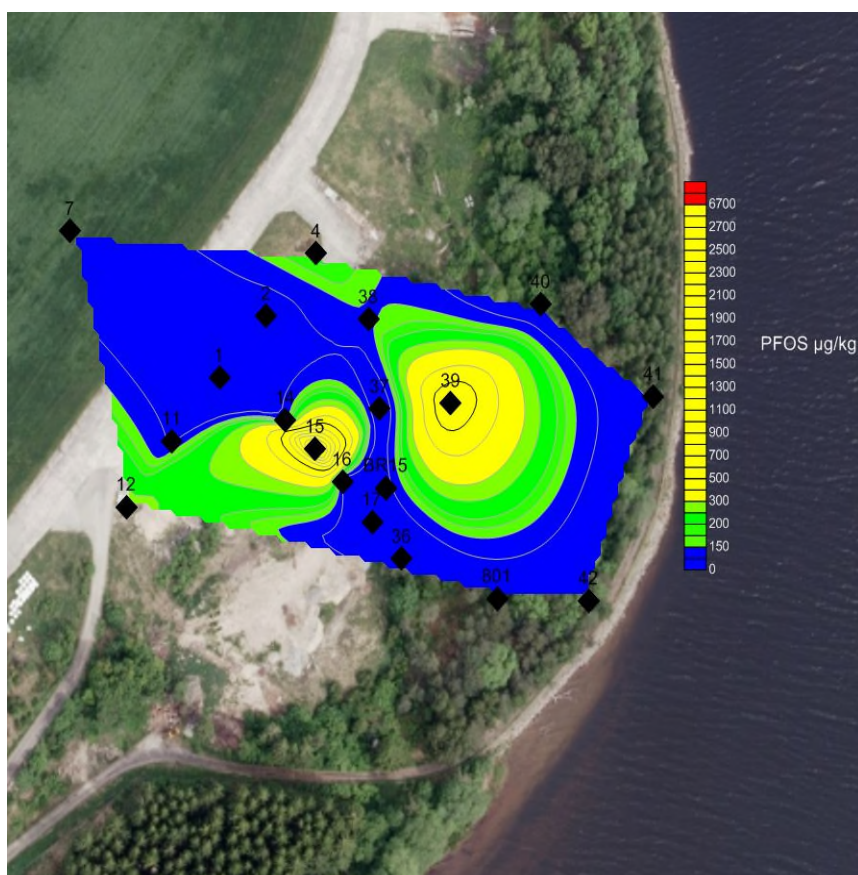
Det kan stedvis være hengende grunnvannsspeil på leirlag i dybde ca. 1,5 meter under terreng (registrert ved prøvepunkt BØF-1: 15). Det er sannsynlig at det observerte leirlaget ikke er sammenhengende (se prøvenes jordtyper i Tabell 6-1 og Tabell 6-3), og derfor er det også sannsynlig at det sentralt ved feltet er PFOS i hele den umettede sone. Ved brønn BR15 er umettet sone målt til minst 9 meter tykkelse (grunnvann ble ikke funnet i brønnen). Umettet sone blir tynnere jo nærmere Topdalselva en kommer på grunn av skrånende terreng.

Figur 7-3 viser en interpolering av PFOS-forurensning på BØF-1 sentralt for 0-2 meter under terreng. Kote terreng er ca. +12. Det er målt høyest PFOS-konsentrasjon i grunnen ved

BØF-1: 15 og BØF-1: 39 ($> 1000 \mu\text{g PFOS/kg}$). Prøvepunktene BØF-1:12 i sørvest og BØF-1:4 i nordøst har PFOS-konsentrasjoner over normverdi slik at forurensningen er ikke klart avgrenset av prøvetakingen i horisontal retning. Figur 7-4 viser en interpolering av PFOS-forurensning på BØF-1 for jordprøver tatt fra 0-2 meter og prøver tatt dypere enn 2,0 meter under terreng. Det er tatt for få prøver i nord for å få avgrenset forurensningen i dette dypet i horisontal retning. Allikevel er det sannsynlig at forurensningen i dette laget har ca. samme utstrekning som i laget over (Figur 7-3). Kun BR-15 og prøvepunkt 801 (se Tabell 6-3) har prøver fra dypere enn 3 meter under terreng. Dette betyr at det er usikkerhet i utstrekningen av PFOS-forurensningen nedover i dypet.

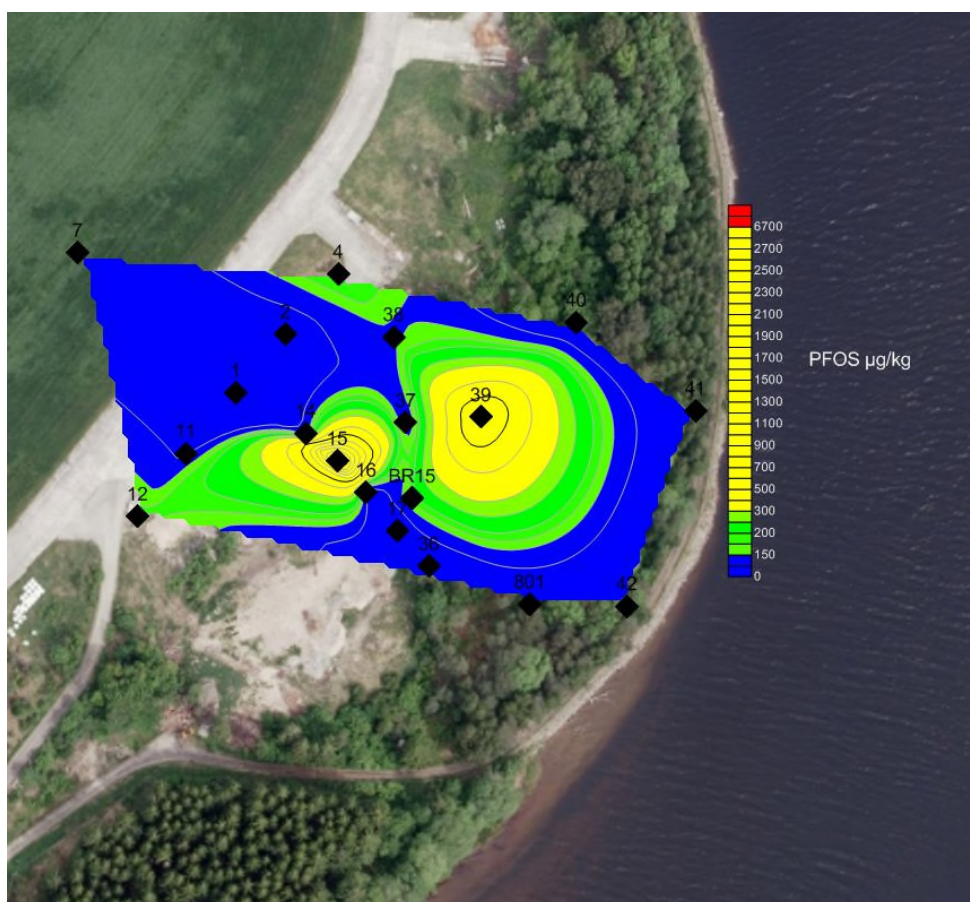


Figur 7-3. Viser interpolert PFOS-konsentrasjon i jord på og rundt BØF-1 for dybde 0-2 meter under terreng. Interpoleringen er gjort i programvaren Surfer og interpoleringsmetoden som er brukt er "natural neighbor". Fargene er basert på klassene i tabell 4-3. Punktene BØF-1: 42 og BØF-1:41 er på samme sted som brønnene BR42 og BR41.



Figur 7-4. Viser interpolert PFOS-konsentrasjon i jord på og rundt BØF-1 for dybde under 2,0 meter under terreng. Interpoleringen er gjort i programvaren Surfer og interpoleringsmetoden som er brukt er "natural neighbor". Fargene er basert på klassene i tabell 4-3. Punktene BØF-1: 42 og BØF-1:41 er på samme sted som brønnene BR42 og BR41.

Figur 7-5 viser interpolering av PFOS for hele jordprofilet (begge lag slått sammen). Interpoleringen er basert på gjennomsnittskonsentrasjoner i hvert prøvepunkt nedover i jordprofilet.



Figur 7-5. Viser interpolert PFOS-konsentrasjon i jord på og rundt BØF-1 basert på gjennomsnittlig PFOS-konsentrasjon i hvert prøvepunkt. Interpoleringen er gjort i programvaren Surfer og interpoleringsmetoden som er brukt er "natural neighbor".

Beregning av restmengde PFOS på BØF-1 er basert på i Figur 7-5. Lagene i Figur 7-3 og Figur 7-4 er slått sammen fordi det er enklere å beregne, og at usikkerhetene i en mer kompleks beregning basert på to lag er like stor som i denne beregningen, men mindre oversiktlig.

Det er målt høyest PFOS-konsentrasjon i grunnen ved BØF-1: 15 og BØF-1: 39. Området som har blitt interpolert strekker seg kun ut til punktene hvor det er registrert PFOS. Dette betyr at det er forventet å være noe PFOS lenger ut enn markert i Figur 7-5. Gjennomsnittskonsentrasjonen funnet i interpoleringen er $165 \mu\text{g/kg}$. Utstrekningen av forurensset område er estimert til $10\,000 \pm 4\,000 \text{ m}^2$. Dybden på forurensset område vil variere, men har blitt vurdert til 6 ± 3 meter som et gjennomsnitt for området. Tettheten til massene er vurdert til $1\,600 \pm 400 \text{ kg/m}^3$. Dette gir en rest av PFOS i grunnen på $15 \pm 10 \text{ kg}$ (se avsnitt 4.3.2 for metode for utregning). Det er store usikkerheter forbundet med dette estimatet. Mye av grunnen til dette er den store mektigheten på umettet sone og kun to prøvepunkt under 3 meter under terreng. Den store mektigheten på umettet sone og kun to prøvepunkter kan føre til en overestimering av restmengde PFOS.

7.2.3 Tidsestimat på utlekking av PFOS fra BØF-1

Viktige parametere for tidsestimatet er mengde PFOS i jord og vann.

I avsnitt 7.2.2 ble det estimert en rest av PFOS igjen i grunnen på og rundt BØF-1 i størrelsesorden 15 ± 10 kg.

Vannvolumet som drenerer gjennom området er basert på et estimert nedbørsfelt til området rundt BØF-1 på 35 000 m² (Figur 7-1) og en årlig infiltrasjon på 0,89 m/år. Basert på målinger i brønn BR42 og BR41 er det estimert at det lekker ut ca. 600 ng PFOS per liter vann som renner ut fra området. Med et estimert vannvolum som drenerer ut fra BØF-1 på $3.1 \cdot 10^7$ liter per år gir dette en utlekking av ca. 20 g PFOS per år. Med en rest av PFOS på 15 ± 10 kg vil det ta mellom 300 til 1 400 år før all PFOS har lekket ut fra BØF-1 (Tabell 7-1).

Dette estimatet har store usikkerheter, da det er basert på få målinger av PFOS i vann. Det er ikke mulig å estimere rest av PFOS på BØF helt nøyaktig. En annen feilkilde er at utlekkingen av PFOS per år vil minke etter hvert som det blir mindre PFOS igjen på BØF.

Tabell 7-1. Parametere for utlekking PFOS per år fra området ved og rundt BØF-1.

Vekt PFOS totalt	15 ± 10	Kg
Infiltrasjon	0,89	m/år
Areal nedbørsfelt til BØF	35 000	m ²
Volum vann i nedbørsfelt	31 200 000	l/år
Gjennomsnitt målt PFOS i grunnvann	600	ng/l
Utlekking PFOS fra BØF	20	g/år
Antall år til all PFOS har lekket ut	300-1 400	År

7.2.4 Konklusjon spredningsvurdering BØF-1

På bakgrunn av konsentrasjoner i jord er det estimert at det er 15 ± 10 kg PFOS igjen på BØF-1. Det er beregnet at det har totalt blitt brukt ca. 30 kg PFOS på BØF-1. Dette kan bety at restene i jord er overestimert. Det skyldes i tilfelle den store mektigheten på umettet sone (noen steder over 9 meter) og kun to prøvepunkter for dype masser. Imidlertid er det også usikkerheter i beregninger av hvor mye som er brukt av skum og dermed mengde PFAS sluppet ut, og det kan derfor være reelt. Det er likevel sannsynlig at mesteparten av brukt PFOS-mengde ligger fortsatt igjen ved BØF-1.

Stor mektighet på umettet sone fører også til relativt lave konsentrasjoner av PFOS målt i grunnvann i forhold til BØF-2. Gjennomsnittskonsentrasjonen i grunnvann er målt til 600 ng/l vann som drenerer fra BØF-1. Det er estimert at det lekker ut ca. 20 g PFOS per år fra området. Denne årlige utlekkingen vil gradvis reduseres etter hvert som det blir mindre PFOS igjen på feltet. Det vil trolig ta mellom 300-1400 år før all PFOS har drenert ut fra BØF-1 i sin helhet. Det er mulig at utlekkingen fra BØF-1 er underestimert da den er basert på kun 2 brønner som har veldig forskjellige PFOS-konsentrasjoner.

Det er registrert et hengende lokalt grunnvannsspeil ca. 1-2 meter under terreng ved BØF-1 i forbindelse med feltarbeid høsten 2011. Dette leirlaget kan redusere/forsinke mengden av PFOS som transporteres ned til grunnvannsspeilet. Analyser i jord fra brønn BR15 viser at det er PFOS i hele dybden av borhullet ned til 9 meter, høyeste målte konsentrasjon i punktet er 390 µg PFOS/kg (3-4 m dybde.) Grunnvannsspeil ble ikke registrert i brønnen, hvilket tyder på at leirlaget ikke er sammenhengende.

PFOS fra BØF-1 dreneres i hovedsak med grunnvann ned til Topdalselva. Grunnvannstransporten foregår i sandige lag. PFOS vil sannsynligvis transporteres ut av forurensede masser i størst grad i pulser ved høy nedbør og snøsmelting.

Det drenerer ca. 1 l/s med ca. 600 ng PFOS per liter ut i Topdalselva fra BØF-1 (basert på nedbør og størrelsen på nedbørsfeltet). Topdalselva har en midlere vannføring på 50 000 l/s. Lokalt betyr dette at det PFOS-forurensede grunnvannet vil tynnes ut mye.

7.3 BØF-2 –gammelt felt (1985 - 2008)

Det er også gjort en spredningsvurdering av PFOS med overflatevann og grunnvann for BØF-2. Dette brannøvingsfeltet var aktivt fra 1985 til 2008. Spredningsvurderingen omfatter et estimat av hvor lang tid det tar før all PFOS har lekket ut fra brannøvingsfeltet, basert på de målinger som er utført. I dette tidsrommet er det estimert at det ble brukt ca. 65 kg PFOS og 10 kg PFAS på BØF-2. Det er i samme tidsrom estimert et skumforbruk på ca. 1 500 liter.

7.3.1 Terreng- og strømningsanalyse BØF-2

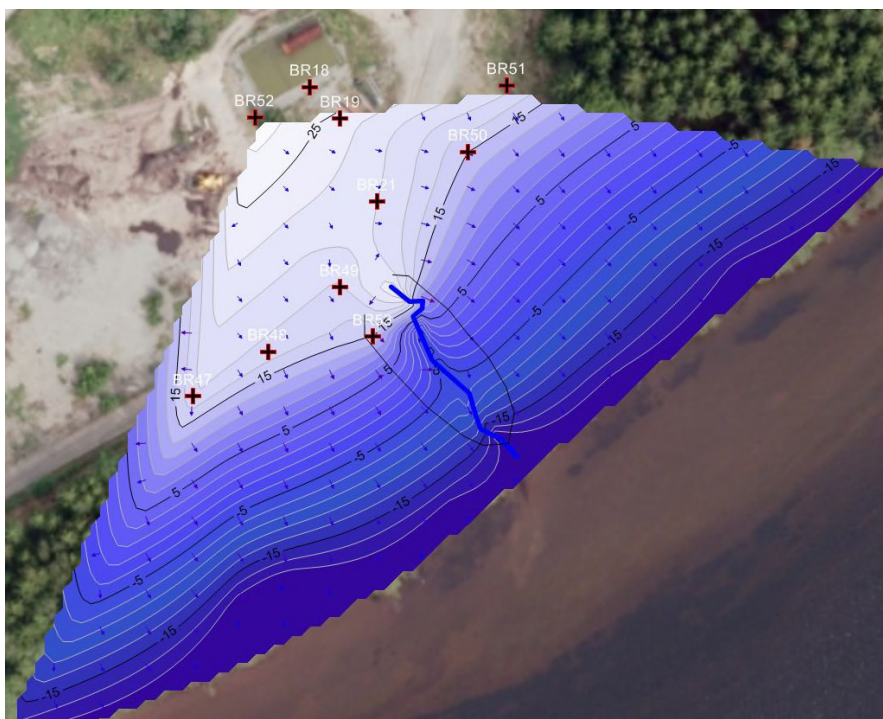
Brannøvingsfeltet ligger ca. 3 meter høyere enn Topdalselva. Det er ca. 100 meter fra brannøvingsfeltets senter til Topdalselva. Nivået til grunnvannet er ca. 2-2,5 meter under terreng ved plattformen. Grunnvannets strømningsretning er generelt mot Topdalselva, men vil i stor grad også strømme mot og ut i en mindre grøft/bekk i området. Tidevannet vil påvirke strømningsretningen. Logging av vann-speil i brønner, Topdalselva og bekk/grøft viser at ved høyvann vil strømningsretningen i stor grad gå mot bekk/grøft (kanskje så mye som 90 % av vannet fra BØF-2 går i bekk/grøft, se punkt V3 Bekk i Figur 7-7). Ved lavvann vil strømningsretningen i større grad gå direkte mot Topdalselva (trolig kun 10 % av vannet fra BØF-2 går i bekk/grøft). Størrelsen på nedbørsfeltet er estimert til ca. 26 000 m² (Figur 7-6) basert på terrenghøyder.



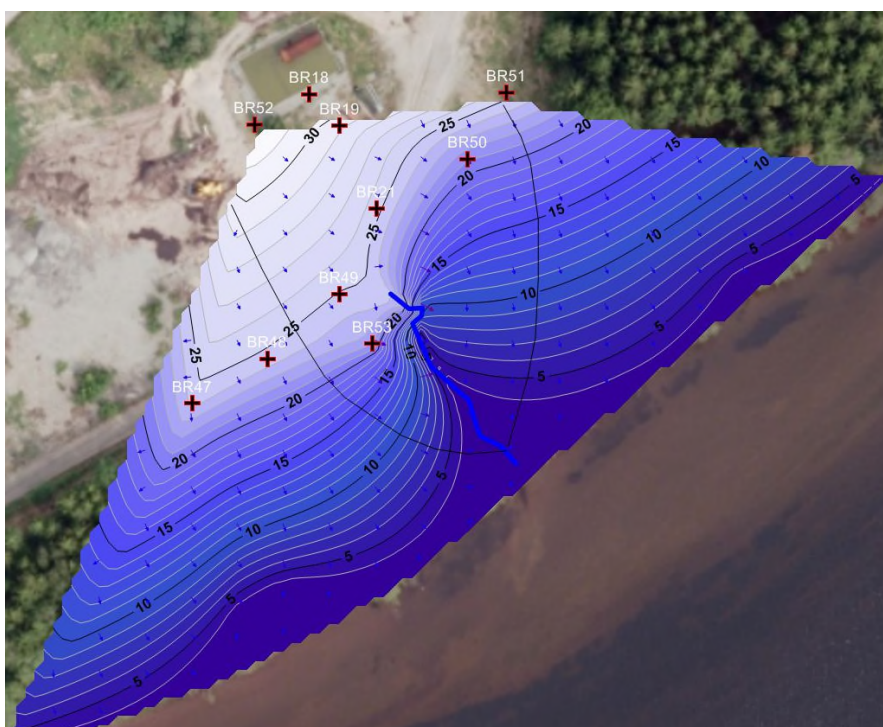
Figur 7-6. Viser nedbørsfelt til BØF-2 og brønnene på BØF-2 markert med blått polygon.

De sandige massene i området fører trolig til at mesteparten av avrenningen i området infiltrerer bakken og i første omgang transporteres mot Topdalselva som grunnvann.

Overvann fra lufthavnområdet renner ut i et dreneringsrør nedstrøms selve feltet. Dette vannet blir ført ut sammen med grunnvann bekk/grøft som renner ut i Topdalselva (se V3 bekk Figur 7-7).



Figur 7-8. Grunnvannsnivå ved middel lavvannssituasjon i måleperioden 2015-02-06 til 2015-04-08. Sorte linjer normalt på grunnvannskotene indikerer lokalt grunnvannsskille.

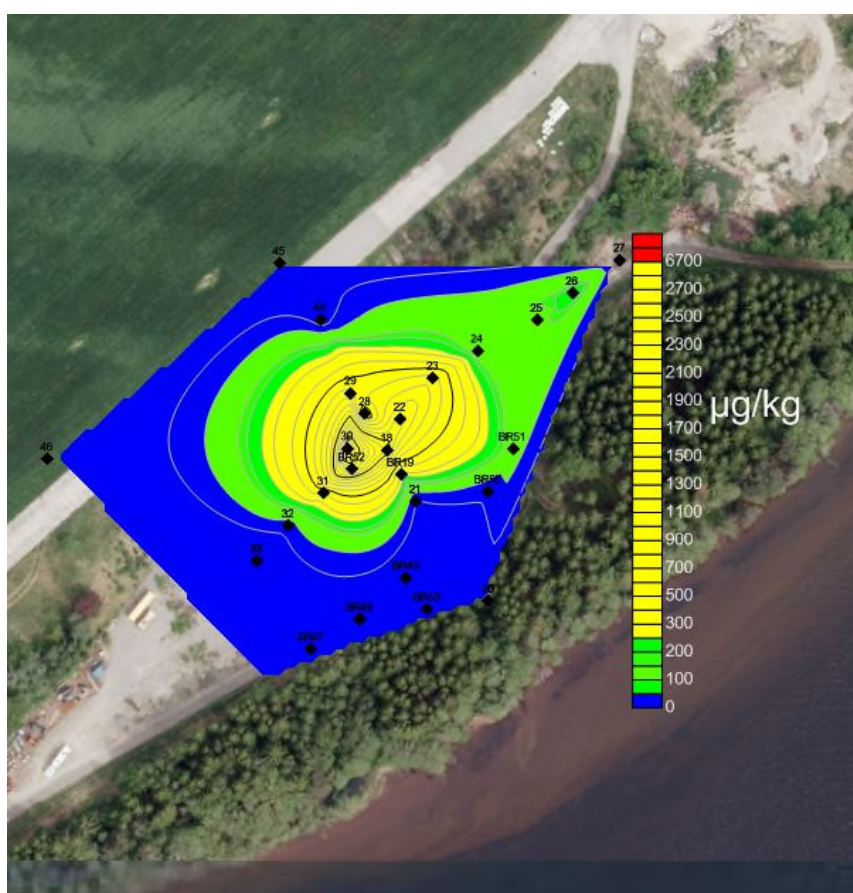


Figur 7-9. Grunnvannsnivå ved middel høyvannssituasjon i måleperioden 2015-02-06 til 2015-04-08. Sorte linjer normalt på grunnvannskotene indikerer lokalt grunnvannsskille.

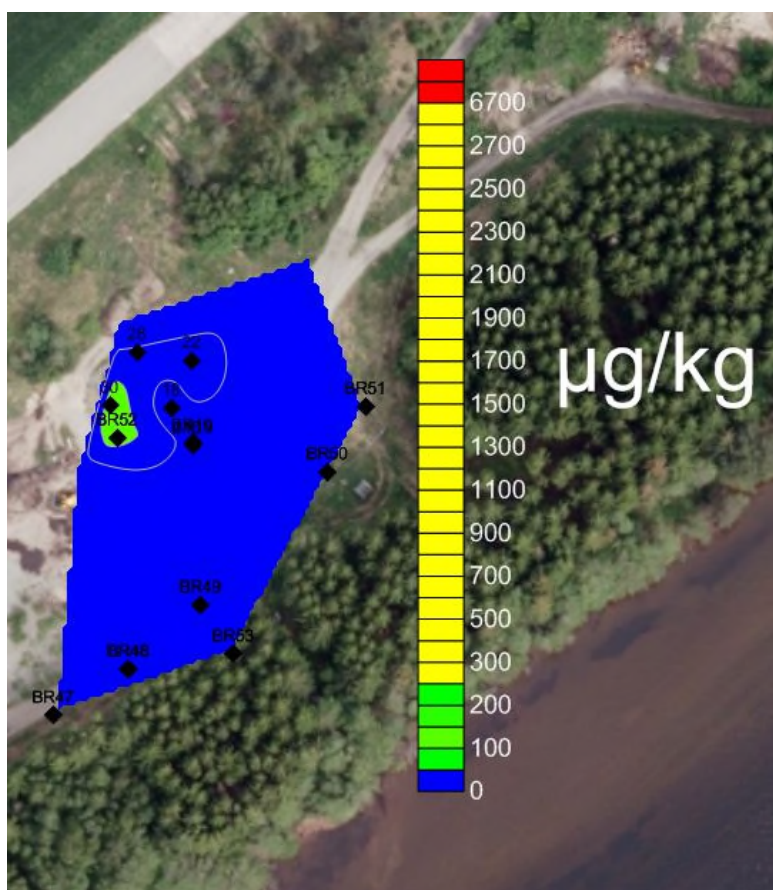
7.3.2 Beregning av mengde PFOS igjen i grunnen på BØF-2

I dette avsnittet er det estimert hvor mye PFOS det ligger igjen i grunnen på og rundt BØF-2. Hvert prøvepunkt har fått beregnet en gjennomsnittskonsentrasjon ut fra PFOS konsentrasjonene målt i lag nedover i jordprofilet.

Figur 7-10 viser en interpolering av PFOS-forurensning på BØF-2 for 0-2 meter under terreng. Det er målt høyest PFOS-konsentrasjon ved BØF-2:30 og BØF-2:22. I dette laget er PFOS-forurensningen ganske godt avgrenset. Gjennomsnittskonsentrasjon for laget 0-2 meter under terreng er på 170 µg/kg. Figur 7-11 viser en interpolering av PFOS-forurensning på BØF-2 for jordprøver tatt fra dypere enn 2,0 meter under terreng. Her er prøvedekningen noe dårligere enn i laget over. Det er kun ett prøvepunkt (BR52) som har påvist PFOS-forurensning over normverdinormverdi på 100 µg/kg på dybder > 2 meter.

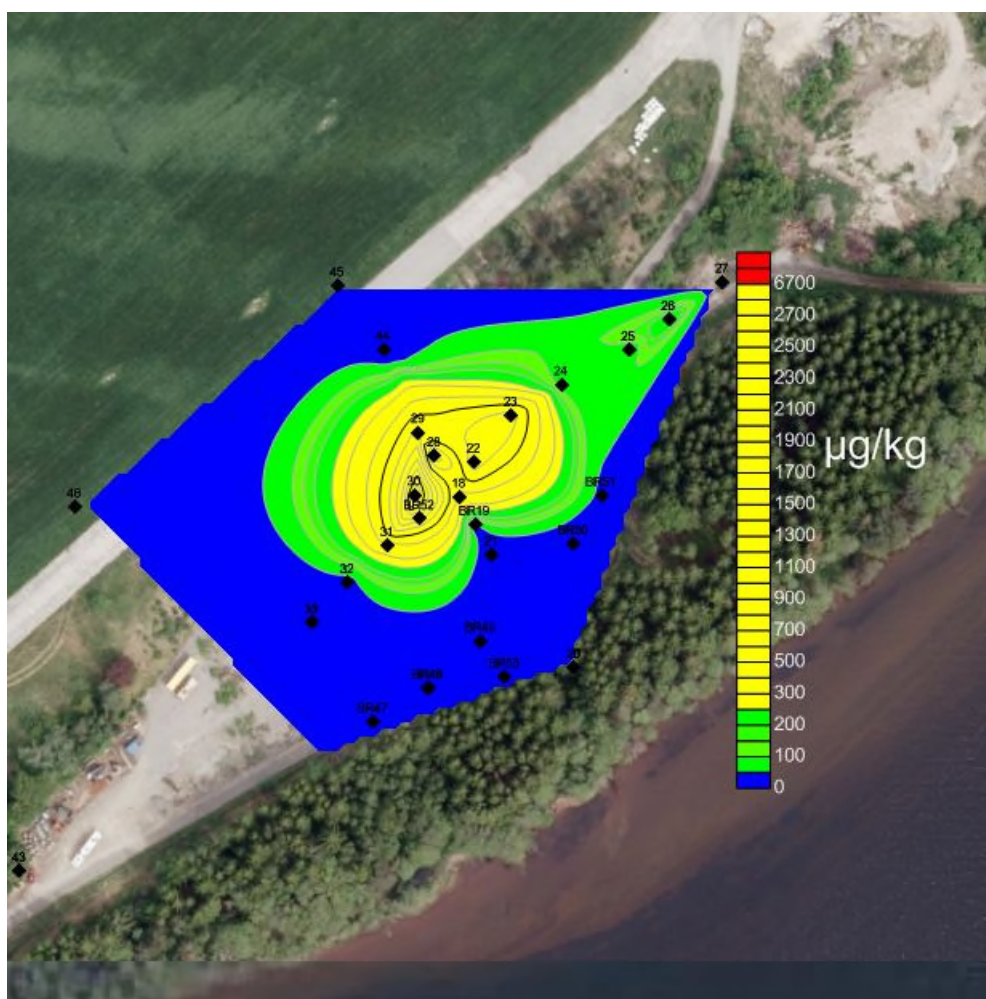


Figur 7-10. Viser interpolert PFOS-konsentrasjon i jord på og rundt BØF-2 for dybde 0-2 meter under terreng. Interpoleringen er gjort i programvaren Surfer og interpoleringsmetoden som er brukt er "natural neighbor". Fargene er basert på klassene i tabell 4-3.



Figur 7-11. Viser interpolert PFOS-konsentrasjon i jord på og rundt BØF-2 for dybde under 2,0 meter under terreng. Interpoleringen er gjort i programvaren Surfer og interpoleringsmetoden som er brukt er "natural neighbor". Fargene er basert på klassene i tabell 4-3.

Figur 7-12 viser interpolering av PFOS for hele jordprofilet (begge lag slått sammen). Interpoleringen er basert på gjennomsnittskonsentrasjoner i hvert prøvepunkt nedover i jordprofilet.



Figur 7-12. Viser interpolert PFOS-konsentrasjon i jord på og rundt BØF-2. Interpoleringen er gjort i programvaren Surfer og interpoleringsmetoden som er brukt er "natural neighbor".

Beregning av restmengde PFOS på BØF-2 er basert på denne interpoleringen i Figur 7-12. Årsaken til at lagene i Figur 7-10 og Figur 7-11 er slått sammen er at usikkerhetene i en mer kompleks beregning basert på to lag vil være like store som i denne beregningen og mindre oversiktlig.

Gjennomsnittskonsentrasjon av PFOS funnet i interpoleringen er $135 \mu\text{g/kg}$. Utstrekningen av forurensset område er estimert til $15\,000 \pm 4\,000 \text{ m}^2$. Dybden på forurensset område vil variere, men har blitt vurdert til $2,5 \pm 0,5$ meter som et gjennomsnitt for området. Tettheten til massene er vurdert til $1\,600 \pm 400 \text{ kg/m}^3$. Dette gir en rest av PFOS i grunnen på $8 \pm 3 \text{ kg}$ (se avsnitt 4.3.2 for metode for utregning).

7.3.3 Tidsestimat på utlekking av PFOS fra BØF-2

Viktige parametere for tidsestimatet er mengde PFOS i jord og vann.

I avsnitt 7.3.2 ble det estimert en rest av PFOS igjen i grunnen på og rundt BØF-2 på 8 ± 3 kg.

Vannvolumet som drenerer fra området er også en viktig parameter. Vannvolumet er basert på et estimert nedbørsfelt til området rundt BØF-2 på 26 000 m² (Figur 7-6) og en årlig infiltrasjon på 0,89 m/år.

Basert på målinger i brønnene BR21, BR47, BR48, BR49, BR50, BR51 og BR53 (Figur 7-7) er det estimert at det lekker ut ca. 10 000 ng PFOS per liter grunnvann som renner ut fra området. Brønnene nærmest feltet er ikke med i beregningen da de ikke er representative for konsentrasjonen som renner til Topdalselva. Med et estimert vannvolum som drenerer ut fra BØF-2 på $2.3 \cdot 10^7$ liter per år gir dette en utlekking av ca. 230 g PFOS per år. Vannvolumet er beregnet ut fra nedbør og størrelse på nedbørsfeltet. Dette tilsvarer ca. 0,7 l/s. Med en rest av PFOS mellom 8 ± 3 kg vil det ta mellom 20 til 50 år før all PFOS har lekket ut fra BØF-2 (Tabell 7-2). Årlig utlekkingen av PFOS vil minke etter hvert som det blir mindre PFOS igjen på BØF. Dette betyr at det kan være små mengder PFOS igjen i lenger tid enn 50 år.

Overvann fra andre deler av lufthavnen renner via et overvannsrør ut nedstrøms BØF-2 i nærheten av punktet V3/Bekk. Det, det betyr at konsentrasjonen i V3/bekk vil være direkte påvirket av hvor mye overvann som til enhver tid strømmer ut via røret. I vann fra røret (V3/rør) er det påvist konsentrasjoner av PFAS som ligger bare litt over deteksjonsgrensen (maksimalt måltkvantifiseringsnivå (maks 10,2 ng/l). Med bakgrunn i dette er det antatt at forurensset grunnvann i liten grad infiltrerer inn i røret, enten fordi røret er tett, eller fordi det i det meste av tiden ligger over grunnvannsnivå. Fra V3/bekk og ned til Topdalselva renner vannet som en liten bekk/grøft. Vannføringen i denne grøfta er ikke målt. Ved en befaring har vannføringen blitt anslått til 1 l/s, men området grøfta får vannet fra er så stort at vannføringen kan være betraktelig større. Topdalselva går et stykke opp i denne grøfta ved høyvann, og ved høyt høyvann når vann fra Topdalselva helt opp til der bekken starter (V3/bekk). PFOS-forurensset vann i grøfta vil sannsynligvis komme fra grunnvannet i området, og bidrag fra dette er derfor ivarettatt i beregningene over.

Logging av vannspeil i brønner, Topdalselva og bekk/grøft viser at ved høyvann går mye av det forurensede grunnvannet ut i bekk/grøft. Ved lavvann går en større andel av grunnvannet utenom bekk/grøft og mer i retning Topdalselva (se avsnitt 7.3.1).

Tabell 7-2. Parametere for utlekking PFOS per år fra området ved og rundt BØF-2.

Vekt PFOS totalt	8 ± 3	kg
Infiltrasjon	0,89	m/år
Areal nedbørsfelt til BØF	26 000	m ²
Volum vann i nedbørsfelt	$2.31E+07$	l/år
Gjennomsnitt målt PFOS i grunnvann	10000	ng/l
Utlekking PFOS fra BØF	230	g/år
Antall år til all PFOS har lekket ut	20-50	år

7.3.4 Konklusjon spredningsvurdering BØF-2

Det er estimert at det er 8 ± 3 kg PFOS igjen på BØF-2.

Det er estimert at det har blitt brukt ca. 65 kg PFOS og ca. 10 kg PFAS på BØF-2.

Gjennomsnittskonsentrasjonen i grunnvann som drenerer fra BØF-2 er målt til 10 000 ng/l. Det er estimert at det lekker ut ca. 230 g PFOS per år fra området.

Det er estimert at det vil ta mellom 20-50 år før mesteparten av PFOS har drenert ut fra BØF-2.

Den årlige utlekkingen vil gradvis reduseres etter hvert som det blir mindre PFOS igjen på feltet. Dette forholdet gjør at det er sannsynlig at den beregnede tiden på mellom 20-50 år før all PFOS har drenert vekk er for liten. Brønnene som har blitt brukt i beregningen ligger ca. 50 meter fra Topdalselva. Mye av grunnvannet herfra vil sannsynligvis dreie mot bekk/grøft for deretter raskt bli transportert til Topdalselva.

Grøfta vil bidra til at PFOS lekkes ut raskere enn kun med grunnvann. Grunnvannstransporten foregår i sandige lag. PFOS vil sannsynligvis transporteres ut fra de forurensede massene i størst grad i pulser ved høy nedbør og snøsmelting.

Det er en mye større beregnet mengde PFOS som transporteres ut fra BØF-2 (ca. 230 g/år) enn fra BØF-1 per år (ca. 20 g/år). Dette tyder på at forurensningene på BØF-2 i større grad er i kontakt med grunnvannet enn tilfellet er for BØF-1. Dette er naturlig da BØF-2 ligger lavere i terrenget og har kortere vei fra terreng til grunnvannsspeil enn BØF-1.

Det er en relativt liten restmengde PFOS igjen på feltet i forhold til total mengde brukt.

Mengden PFOS som er i mettet sone (grunnvann og jord) er blitt estimert til mellom 2,0-3,9 kg (Tabell 7-3). Dette er med en transportsone på 1,0 meter tykkelse. Arealet som er brukt er basert på hele området nedstrøms BØF-2 som kan ha forurenset grunnvann og strekker seg dermed noe lenger sørvest enn BR47 og en del lenger nordøst enn BR51. Estimater har relativt store usikkerheter i form av areal, målte grunnvannskonsentrasjoner (antatt at de er representative for et stort område) og ukjent mektighet på transportsonen av PFOS.

Tabell 7-3. Viser estimat av mengde PFOS i vann mettet sone og i jord mettet sone.

BØF-2		
mektighet transportsone	1.0	m
Areal	21 000	m ²
gjennomsnittskonsentrasjon PFOS i grunnvann (alle brønner)	20 196	ng/l
volum vann (porøsitet 0.3)	6 300 000	liter
PFOS i vann mettet sone	0.13	kg
Kd	15-30	
PFOS i jord i mettet sone	1.9-3.8	kg
PFOS i umettet sone	8 ± 3	kg
totalt brukt PFOS	65	kg

7.4 BØF-3 aktivt brannøvingsfelt (2008 -)

Her er det gjort et estimat av mengde PFOS og PFAS fra aktiv BØF gjennom oljeutskiller via kommunalt renseanlegg og ut i resipienten Kristiansandsfjorden.

Aktiv BØF på Kjevik brukes av flere aktører som benytter eget skum ved øvelser. Grunnen eies av Avinor, og har vært i bruk siden 2008. Feltet ble tidligere driftet av Sørlandets Sikkerhetssenter, men er nå overtatt av Falck Nutec. Det er funnet lite PFOS i grunnen rundt feltet. I ett av punktene er det påvist PFOS, men i konsentrasjoner under normverdien. I oljeutskiller som tar imot avløpsvannet fra selve plattformen er det funnet høye konsentrasjoner av PFAS, og det er fluortelomeren 6:2 FTS som dominerer prøvene, sammen med PFOS og 8:2 FTS. Avløpsvannet går ut i Kristiansandsfjorden via kommunalt nett og renseanlegg. Gjennomsnittskonsentrasjonen i oljeutskilleren er 2 070 ng/l for PFOS og 12 400 ng/l for PFAS. Størrelsen på brannøvingsplattformen er ca. 3 500 m² og avrenningen er gjennomsnittlig 0,89 m/år. Dette gir en avrenning fra nedbør på ca. 3100 m³/år. I tillegg er det estimert at Avinor bruker ca. 200 m³/år i vann til brannøvelser. Dette gir et totalt vannvolum som går gjennom oljeutskiller på 3 700 m³/år. Dette er kun Avinor sitt utslipp, de andre aktørene kommer i tillegg, men dette vannvolumet er ikke kjent. Det er sannsynligvis naturlig avrenning som bidrar til mesteparten av vannvolumet som går gjennom oljeutskilleren.

Disse tallene gir et estimat på PFOS utlekking via oljeutskiller på ca. 10 g/år og PFAS utlekking via oljeutskiller på ca. 30 g/år.

7.5 Konklusjon spredningskapittel

Øving med brannskum har ført til at det har blitt spredd totalt ca. 95 kg PFOS i perioden 1978 til 2001 og ca. 10 kg PFAS (med hovedvekt fluortelomerer) i perioden 2001 til 2012. En del av dette ligger i masser og grunnvann ved BØF 1 og BØF 2, men en del har også blitt transportert ut i Topdalselva og til Topdalsfjorden ved Kjevik lufthavn. På et tidligere tidspunkt er det også fjernet noe forurensede masser fra BØF 2 ved Kjevik. Basert på målinger i jord og vann er det beregnet at det ligger igjen 10-36 kg PFOS ved brannøvingsfeltene i dag. I tillegg transporteres det noe PFAS via avløpsnettet til Kristiansandsfjorden (ca. 30 gram /år).

Det årlige forbruket over en 30-årsperiode er beregnet til ca. 4 kg PFOS pr år som følge av øving med brannskum. Etter utfasingen av fluorholdig skum i 2012 viser målinger og beregninger at det fortsatt er aktiv spredning fra grunnforurensning ved brannøvingsfelt og andre kjente kilder i størrelsesorden 250-300 g PFOS pr år.

Det er sannsynlig at den årlige spredningsmengden er naturlig avtagende, men at det vil ta lang tid før spredningen opphører helt (flere hundre år).

8 Risikovurdering

8.1 Økosystem og risiko

Som nevnt i avsnitt 4.4 og 4.5 kan forurensingen fra et brannøvingsfelt i prinsippet spres både til luft, vann, jord og biota. Disse fire kategoriene er følgelig mottakere eller resipienter av forurensingen, og står i nær kontakt med hverandre. Fordamping av PFAS under normale naturlige forhold er lav og luftprøver er derfor ikke med i undersøkelsen. Et eksempel på videre spredning til økosystemet kan være at meitemark kan oppta forurensingen fra vann, jord og organisk materiale på den forurensede lokaliteten. Spredningen av forurensingen foregår i et tredimensjonalt rom, og forurensningen kan over tid helt eller delvis transporteres bort fra det opprinnelige kildeområdet.

Risiko for påvirkning av økosystem avhenger i stor grad av hvilke miljøkvaliteter som finnes i området utenfor der forurensingen ligger. Det gis derfor her en kort beskrivelse av disse kvalitetene. På land rundt selve lufthavna i sørvest, vest og nordvest finnes slåttemark med tørrenger og rikt insektliv. I sydøst, like utenfor gjerde av lufthavna finnes rik sump- og kildeskog som strekker seg ca. 450 meter langs elvebredden. Syd for Topdalselvas utløp ligger Fauløyna, en strandeng og strandsump av viktig verdi. Dette er et beiteområde for vade- og måkefugl. I sydøst grenser flyplassområdet til Topdalselva og Topdalselvas utløp som er deltaområde av viktig verdi. Topdalselvas utløp er sammen med Fauløyna-Hamresanden et viktig raste- og næringsområde for ande-, vade- og måkefugler. Ca. 170 arter er registrert i området i følge Artsobservasjoner. I Topdalsfjorden og rundt Justnessundet og i Jusvigbukta er det registrert ålegrassamfunn og undervannsenger. Fjorden er rik på marin fauna og blant annet finnes kysttorsk som gyter i dette fjordsystemet.

Dette er artsrike økosystemer med flere viktige biologiske funksjoner og økosystemtjenester. For videre områdebeskrivelse, se avsnitt 5.1 og 5.2.

Undersøkelsene av jord, vann og biota på og rundt flyplassen, viser at det har foregått en spredning av PFAS-forbindelser fra de opprinnelige kildeområdene ved brannøvingsfeltene. Utfordringen med å gi en vurdering av konsekvensene den aktuelle forurensingen kan ha på tilgrensende økosystem er blant annet knyttet til begrenset kunnskap om disse.

8.1.1 Terrestrisk miljø

Historisk har det vært sluppet ut PFOS og PFAS fra brannøvingsfeltene BØF 1, BØF 2, og BØF 3. Det er gjort en spredningsvurdering av PFOS med overflatevann og grunnvann for alle BØFene.

Det eldste brannøvingsfeltet (BØF 1) var i bruk fra 1978 til 1985. I denne perioden er det beregnet et forbruk av PFOS på ca. 30 kg. Spredningsvurderingen viser at sannsynlige restmengder av PFOS i grunnen er 15 ± 10 kg.

BØF 2 var i bruk fra 1985 til 2008. I denne perioden ble det brukt ca. 65 kg PFOS og ca. 10 kg PFAS på BØF-2. Restmengden av PFOS på dette brannøvingsfeltet er beregnet til 8 ± 3 kg.

BØF 3 ble tatt i bruk i 2008 og er fortsatt i bruk.

For å avklare om biota tilknyttet det terrestre miljøet blir påvirket av den forurensede grunnen ble det samlet inn prøver fra vegetasjon, meitemark og stor skogmus.

Analysene viste at PFAS i liten grad ble tatt opp i blader av svartor, mens konsentrasjonen i bjørkeblader generelt var høyere. Disse treslagene har ulikt behov for opptak av salter. Det er og mulig vokseplass kan ha en betydning for konsentrasjonen. Den høyeste

konsentrasjonen (181,8 µg/kg vv) ble påvist i blader av en bjørk som sto ca. 80 m fra sentrum av BØF 2. Det foreligger ikke noen jordprøve fra nettopp dette stedet, konsentrasjonen er høyere enn gjennomsnittskonsentrasjon som er estimert for dette brannøvingsfeltet (100 µg/kg). Det tyder derfor på at det skjer en biomagnifisering i vegetasjonen nærmest brannøvingsfeltet. Et viktig moment er at en god del av de påviste PFAS i løvet fra trærne, trolig er tatt opp via rotsystemet.

Det ble også samlet inn to prøver av meitemark i tilknytning til BØF 2, én prøve ca. 40 m fra sentrum av BØF 2 og én prøve ca. 105 m fra BØF 2. Prøven av mark som lå nærmest BØF 2 hadde en konsentrasjon av PFAS på 385 µg/kg vv, mens marken som ble samlet utenfor dette området hadde en konsentrasjon på 317,6 µg/kg vv. Det foreligger ikke jordprøver fra det området der marken ble samlet inn, slik at vi ikke med sikkerhet kan si om det har skjedd en biomagnifisering. De to nærmeste jordprøvene (BØF 2: 21 og BR50), har konsentrasjoner i øverste meter omkring 55-80 µg PFOS/kg, og lavere konsentrasjoner i dypere jord. Går vi ut fra disse jodkonsentrasjonene, betyr det en biomagnifiseringsfaktor på mellom 7 og 4,8. Ser vi på prøven av mark som ble tatt utenfor området med forurenset jord, er trolig biomagnifiseringsfaktoren høyere. Som nevnt innledningsvis kan det imidlertid tenkes at en del av PFAS som ble registrert i marken kan ha kommet fra jorda eller vannet i jorda der den lever. Om forutsetningene og antagelsene er riktige viser dette at det skjer en biomagnifisering i meitemarken, og at biota tar opp PFAS også utenfor det arealet som regnes som forurenset med hensyn til jord

En mulig feilkilde er at marken som ble analysert kan ha hatt tarminnhold. Analysen kan derfor omfatte jord og organisk materiale i markens tarm, i tillegg til selve kroppsvevet til marken. Gjennomsnittskonsentrasjonen av PFAS som ble funnet i jord, og den høyeste målte konsentrasjonen i blader fra bjørk fra området i nærheten, var imidlertid lavere enn det som ble funnet i de to blandprøvene av mark.

I et skogsområde som ligger mellom Topdalselva og BØF 1/BØF 2 ved Kjevik lufthavn ble det fanget storskogmus. Fangsområdet ligger hovedsakelig i områder med PFOS-konsentrasjoner under normverdi i jordprøver. Analyser av leveren til disse musene viste at 7 av 10 individer hadde konsentrasjoner av PFAS på 100 µg/kg vv eller mer. Disse konsentrasjonene representerer minimumsverdier på grunn av feil prosedyre ved analysene. Tilsvarende ble det også funnet konsentrasjoner høyere enn 91,3 µg/kg vv (klasse IV; *dårlig miljøtilstand*) i blader av bjørk, og i meitemark.

Oppsummert viser analysene av biota at det terrestre miljøet i området nedstrøms BØF 2 er påvirket i en slik grad at området gis kategorien *dårlig miljøtilstand*. Det ble og samlet to prøver av bjørk sørvest for BØF 2, og en prøve av meitemark og en av bjørk på en referansestasjon et stykke oppstrøms lufthavnen. Prøvene av bjørk i området ved BØF 2 viser konsentrasjoner av PFAS som tilsvarer *moderat miljøtilstand*. På referansestasjonen viste konsentrasjonen av PFAS i meitemark også verdier som tilsvarer *moderat miljøtilstand*, mens konsentrasjonen i bjørkebladene lå lavere og antyder *god miljøtilstand*.

PFAS i jord dekker et område som er litt større enn arealet av selve brannøvingsfeltene. Det er spredning til grunnvannet under og nedstrøms feltene, og det påvises PFAS i strandkanten i Topdalselva utenfor BØFene (se vedlegg 4). Området er likevel relativt lite og konsentrasjonene av PFAS synes å avta ganske fort når en kommer utenfor dette området.

Utover de organismene som ble undersøkt finnes trolig en rekke andre dyrearter i tilgrensende økosystem. Dette kan for eksempel være insekter, en rekke musearter og fuglearter, hare, rådyr og elg, oter og mink, som alle kan være mottakere av forurensingen via næringskjeden. Det er godt kjent at PFAS-forurensingene akkumuleres oppover i

næringskjeden. Konsentrasjonene som er påvist i biota innfor området med påvist forurenset jord og/eller vann er til dels høye. Men, om ny litteratur på dette feltet legges til grunn for vurdering av effekter på de individene som er involvert synes det ikke være grunnlag for å si at uheldige effekter kan forventes på bakgrunn av målte konsentrasjoner i biota (Loi *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2014). I studiene av meitemark (*Eisenia fetida*) der det ble påvist at PFOS og PFOA var skadelig for meitemarkens reproduksjonsevne skjedde dette når nivået i jorda oversteg henholdsvis 10 og 16 mg/kg (reduisert antall avkom, lav vekt på avkom) (Stubberud, 2006). Det viser at konsentrasjonen i jord må være svært mye høyere enn det som er observert i nærområdet til brannøvingsfeltene. Det er imidlertid ikke gjennomført langvarige studier av PFAS-virkninger på organismer, og således er det heller ikke grunnlag for å si at uheldige effekter ikke kan oppstå.

Et annet moment knyttet til at dette er et lite område, er at det er begrenset antall terrestriske arter og få individer til stede. I et økosystemperspektiv er det altså relativt få individer som kan påvirke tilgrensende økosystem. I forhold til gjeldende internasjonal kunnskap om toksiske effekter av PFAS på ulike organismer kan dette bety at effekten av spredning av PFAS via biota fra forurenset område ved BØF 1 og 2 ved Kristiansand lufthavn kan være av relativt beskjeden karakter, og at risiko for skade på tilgrensende terrestriske økosystem er lav.

8.1.2 Ferskvann

I Topdalselva finnes laks, sjørret (stasjonær og anadrom), ål, skrubbe, abbor, sik, lagesild, kanadisk bekkerøye, trepigget stingsild, nipigget stingsild, elve- og havniøye. Laksen kan vandre opp til Herefossfjorden. I deltaområdet finnes dessuten en rekke fuglearter hvorav for eksempel siland er fiskespiser.

Ved Kristiansand lufthavn ble det utført analyser av overflatevann og/eller grunnvann ved alle tre brannøvingsfelt i 2011 og 2012. Ved de gamle feltene, BØF 1 og 2, ble det påvist til dels høye konsentrasjoner av PFOS i grunnvannet (opp til 128000 ng/l), samt spredning til Topdalselva. I overflatevann fra grøfta, som til dels drenerer BØF 2 og renner ut i Topdalselva, ble det påvist forholdsvis høy konsentrasjon av PFOS (opp til 2852 ng/l). I overflatevann samlet inn fra elvekanten av Topdalselva rett nedstrøms drenggrøfta varierte konsentrasjonen mye (fra 14,1 – 6270 ng/l). Resultater fra dette prøvepunktet er trolig sterkt påvirket av avrenningen fra grøfta/forurenset grunnvann og effekten fra flo og fjære i sjøen. Fra utløpet av Topdalselva foreligger få prøver, og eneste målte konsentrasjon av PFAS i 2014 er 81,1 ng/l.

Ved det aktive brannøvingsfeltet, BØF 3, ble det i 2012 utført analyse av overvannet som renner til sjø fra områdene omkring feltet. Det ble påvist lave konsentrasjoner av PFOS og noe høyere konsentrasjoner av 6:2 FTS. Overvannet fra feltet samles opp og sendes inn på kommunalt nett.

Ved BØF 2 ble det, for å se om PFAS ble tatt opp i ferskvannsorganismer, samlet inn dyr som levde i grøfta og langs bredden av Topdalselva. Det ble fanget små reker, skubbe, tre- og nipigget stingsild og ørret. I Topdalselva ble det i tillegg fanget sjørret.

I smårekene som levde på grunt vann nær elvebredden fra utløpet av drenggrøfta og ca. 100 m nedover var konsentrasjonen av PFAS 9,9 µg/kg vv. I de små skrubbene, fanget på samme sted var imidlertid konsentrasjonen mye høyere (1041 µg PFAS/kg vv). Dette viser at PFAS spres fra brannøvingsfeltene og påvises i biota litt ut i Topdalselva og at miljøtilstanden der er dårlig. Det kan imidlertid ikke utelukkes at disse skrubbene hadde oppholdt seg i vannet i selve drenggrøfta en tid før de ble fanget, fordi der ser ut til at fisken

her kan vandre mellom Topdalelva og drenggrøfta. I selve drenggrøfta ble det fanget trepigget og nipigget stingsild. Konsentrasjonene av PFAS i blandprøver av hel fisk i disse artene var enda høyere i grøfta enn i strandkanten av Topdalselva, henholdsvis 1930 og 1445 µg PFAS/kg vv, noe som tilsier *dårlig miljøtilstand* der. Prøver som ble tatt av sedimenter i grøfta og i strandkanten ved BØF1 og BØF2 i 2012 viser lavt innhold av PFAS med verdier fra 5,5 µg PFAS/kg ved BØF2 og til 61,1 µg PFAS/kg nedstrøms utløpet fra grøfta som drenerer BØF2. Dette tilsier klasse III moderat miljøtilstand i strandsedimentene i elva. Sedimentene i grøfta viste 234 µg PFAS /kg som tilsvarer klasse IV *dårlig miljøtilstand*. Data er hentet fra miljøundersøkelsen ved Kristiansand lufthavn som ble gjennomført i 2012 (Sweco 2012).

I juli 2013 ble det gjort ytterligere en innsamling av fisk i drenggrøfta. Denne gangen ble det fanget ørret og skrubbe. I blandprøven av 24 skrubbeflyndrer ble det påvist hele 3670,8 µg PFAS/kg vv, mens det i en blandprøve av små ørret ble funnet 577,2 µg PFAS/kg vv. I tillegg ble det funnet høye konsentrasjoner i muskel og lever fra en forholdsvis stor stasjonær ørret, henholdsvis 128,4 og 2069,9 µg PFAS/kg vv. Ulike organismer i ferskvann ser dermed ut til å oppta forurensingen i ulik grad, trolig avhengig av hvor lenge de har oppholdt seg i eller nær vannet som renner ut av drenggrøfta og hvilken næring de tar til seg. Tid på året kan også være en medvirkende faktor.

Det ble gjort et forsøk på å samle inn næringsdyra som fisken spiser, men med unntak av småreker ble det ikke fanget tilstrekkelige mengder av andre byttedyr i ferskvann for å kunne gjøre analyser. Dette henger trolig sammen med at denne delen av elva jevnlig er påvirket av saltvann. Småreker spises trolig av ørret, men ikke nødvendigvis av de små skrubbene og tre- og nipigga stingsild. Den påviste konsentrasjonen av PFAS i smårekene, som i denne sammenheng befinner seg på det laveste trofiske nivået, kan imidlertid gi en pekepinn på hvilke konsentrasjoner av PFAS byttedyrene for fisken kan inneholde.

De høye konsentrasjonene av PFAS som ble påvist i fisk fanget i drenggrøfta og nær elvebredden i Topdalselva nedstrøms utløpet av grøfta, tyder på en betydelig biomagnifisering i fisken sammenlignet med konsentrasjonen i vannet den lever i, og nivået som ble påvist i de små rekene. I rekene, som befinner seg på et lavere trofisk nivå, er biomagnifiseringen betydelig lavere (jamfør tilsvarende resultater vist i Figur 4-4).

Videre er det også rimelig å anta at fugl og pattedyr som befinner seg på et høyere trofisk nivå, og som ernærer seg av fisk og bunndyr fra dette området, også kan inneholde høye konsentrasjoner av PFAS. Dette er imidlertid ikke undersøkt, og uten målte verdier er det ikke mulig å si om eventuelle dyr oppover i næringskjeden kan oppnå PFAS-konsentrasjoner i sine organer som kan gi uheldige virkninger.

Det vanndekkede arealet i drenggrøfta og i den smale sonen langs land i Topdalselva som har dårlig miljøtilstand på grunn av PFAS-forurensing er imidlertid svært lite i forhold til arealet i ferskvannsøkosystemet utenfor. Antall fisk og bunndyr som til en hver tid befinner seg i forurenset område sammenlignet med antall individer av de samme artene som lever i det tilgrensende økosystemet i Topdalselva er svært lavt. Et viktig moment er at årsmiddelvannføringen i Topdalelva er 65 m³/s, noe som medfører at forurensingen som spres fra brannøvingsfeltene blir sterkt fortynnet i elva. Strømforholdene i elva vil trolig dessuten bidra til at forurensingen i vannfasen holder seg nær elvebredden på fallende sjø mens den muligens kan transporteres innover elva når det flør. Det ble imidlertid ikke funnet høye konsentrasjoner av PFAS i sjøørret fanget ute i elva og heller ikke i reker og skrubbe fanget i og utenfor Vesbekken på motsatt side i Topdalselva og oppstrøms brannøvingsfeltene.

Riktignok ble det påvist 11,0 µg PFAS/kg vv i trepigga stingsild og 8,4 µg PFAS/kg vv i skrubbe fra Vesbekken. Om disse fiskene har vandret opp i elva via det forurensede området ved brannøvingsfeltene, for så å vandre over elva og opp til Vesbekken, eller om de har fått i seg forurensing fra andre kilder er ikke mulig å si noe om. Påvisningen av PFAS i bjørkeløv (9,01 µg PFAS/kg vv) hentet i referanseområdet 7,5 km oppstrøms lufthavna, viser at det trolig er flere kilder til PFAS – forurensing i området. Selv med flere kilder til PFAS og med eksisterende analyseresultater som grunnlag kan trolig det meste av Topdalselvas løp med unntak av området nedstrøms utløpet av drenggrøfta, nær land gis karakteristikken *god miljøtilstand*.

Siden dynamikken med spredning av PFAS fra forurensede områder på lufthavnen trolig også er en funksjon av flo og fjære, som det så langt er lite kunnskap om, og at det heller ikke er kjent hvordan ulike arter bruker det forurensede området, knytter det seg usikkerhet til hvordan PFAS spres til økosystemene utenfor forurenset området. Men, antallet fisk, reker og andre dyr som oppholder seg i forurenset område i grøfta og i berørt område av Topdalselva er lite i forhold til det en kan regne med av samlet bestand av disse artene i det tilgrensede økosystemet. Påvirkningen på økosystemet fra fisk, reker og andre næringsorganismer som bærere av PFAS synes derfor i utgangspunktet å være beskjeden. Konsentrasjonene av PFAS i individene som er analysert viser imidlertid verdier som trolig ikke er høye nok til å gi uheldige effekter på økosystemet, slik det er beskrevet i internasjonal litteratur (Loi *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2014).

8.1.3 Marint miljø

I sedimentprøvene tatt i marint miljø i 2012, både utenfor flyplassen på 10 m og 60 m dyp, og på en referansestasjon på 7 m dyp, ble det ikke påvist PFAS (SWECO 2012).

Som nevnt i områdebeskrivelsen er Ålefjærfjorden/Topdalsfjorden en terskelfjord der det tidvis utvikles såkalt «råttent bunnvann». Vest for utløpet av Topdalselva, på andre siden av fjorden, ligger Justnessundet og Justnesbukta som er påvirket av ferskvannsstrømmen fra elva. Området er viktig for knoppsvanebestanden i Kristiansand som raste-, myte- og til dels overvintringssted. Området er også viktig oppvekstområde for siland, og andre andefugler. I fjorden finnes også den svært viktige naturtypen ålegrassamfunn. Generelt er fjorden rikt på fiskearter, blant annet kysttorsk som gyter her (<http://www.miljodirektoratet.no/no/Tjenester-og-verktoy/Database/Naturbase/Biota>) ble samlet inn fra Topdalsfjorden/Ålefjærfjorden vest og sydvest for Kristiansand lufthavn. I tillegg ble det samlet inn prøver på en referansestasjon i Kongsfjorden, ca. 13 km ute i fjorden. Av organismer på lavt trofisk nivå ble det analysert på zooplankton (dyreplanton) og kuskjell. I zooplanktonprøven, som hovedsakelig besto av copepoder (hoppekreps), og som ble samlet inn i april og oktober 2012, ble det ikke påvist PFAS. Deteksjonsgrensen lå på < 1,0 og 2,0 µg PFAS/kg vv for de viktigste forbindelsene. For PFPeA lå deteksjonsgrensen på < 50 µg /kg vv for PFPeA. Med utgangspunkt i undersøkelser andre steder (Loi *et al.*, 2011), kan mangel på påvisning skyldes at deteksjonsgrensene lå for høyt. Siden zooplankton er en viktig næringskilde for mange fiskeslag, er det rimelig å anta at denne dyregruppen er en viktig inngangsport for spredning av PFAS inn i næringskjeden (Xu *et al.*, 2014).

I kuskjellene, som også befinner seg på et lavt trofisk nivå, ble det påvist lave konsentrasjoner av PFOS (gjsn. 0,4 ± 0,7, maks. 1,5 og min. <1,0 µg / kg vv) i 3 av 10 individer. Gråsteinbit er en av de få fiskeartene som spiser kuskjell. Det ble fanget og analysert to gråsteinbit, en utenfor lufthavnen og en på referansestasjonen i Kongshavn. Ingen fikk påvist PFAS i muskelprøvene, men begge hadde en lav konsentrasjon av PFOS i levera (2,3 og 1,8 µg/kg vv).

I taskekrabbe fanget i samme område i april 2012, ble det gjort funn av PFAS i alle de 9 individene som ble analysert (krabbesmør), men konsentrasjonene var lave (gjsn. $3,3 \pm 1,7$, maks. 7,1 og min. 1,1 $\mu\text{g/kg}$ vv). I oktober 2012 ble det også funnet lave konsentrasjoner av PFAS i tre av fem individer som ble analysert (gjsn. $2,9 \pm 4,7$, maks. 11,1 og min. $< 0,1$ $\mu\text{g/kg}$ vv). Matseddelen til taskekrabbe er meget variert, og de spiser både små og store krepsdyr, forskjellige snegler, børstemark, blåskjell og andre skjell, som de knuser med klørne. Sent på sommeren kommer krabbene ofte opp på grunt vann, og beiter på rur og andre organismer. Taskekrabben befinner seg derfor et stykke opp i næringskjeden. Selv om ikke så mange arter fra lavere trofisk nivå er analysert ser det ut som om organismer lavt i næringskjeden inneholder forholdsvis lave konsentrasjoner av PFAS.

Av marin fisk ble det analysert på torsk, skrubbe, lomre, slettvar, knurr og gråsteinbit. Med unntak av i en skrubbe og i ett individ av lomre, var alle konsentrasjonene av PFAS i muskelprøver lavere enn 9,1 μg PFAS /kg vv, både i april og oktober 2012.

I leverprøvene fra torsk, skrubbe, knurr og slettvar ble det imidlertid funnet høyere konsentrasjoner enn i muskelprøvene, den høyeste i skrubbe (130 μg PFAS/kg vv) og knurr (81 μg PFAS/kg vv).

Det foreligger ikke prøver av hel fisk fra området, og det er derfor vanskelig å si noe om hvor høye disse konsentrasjonene ville vært. I ørret fanget i ferskvann var det et forholdstall på ca. 20 mellom konsentrasjonene i muskel og lever og et forholdstall på 9,5 mellom muskel og hel fisk. I marin fisk ligger forholdstallet mellom muskel og lever lavere enn det vi finner hos ørret, som lever i ferskvann. Det kan derfor tenkes at forholdstallet mellom muskel og hel fisk i marint miljø også er lavere enn for ferskvannsfisk. Vi kan derfor bare konkludere på bakgrunn av konsentrasjonene i muskel og lever, som tilsier en overveiende *god miljøtilstand* i den marine resipienten utenfor Kristiansand lufthavn, men mange av prøvene viser resultater under deteksjonsgrensen som er klassifisert som bakgrunnsverdi og beste tilstandsklasse I. Det er også noen prøver, spesielt av lever hos fisk, som inneholder konsentrasjoner av PFAS tilsvarende tilstandsklasse III *moderat miljøtilstand*. Levera er imidlertid et organ som normalt samler opp og skiller ut disse stoffene, og kan ikke alene brukes som grunnlag for å klassifisere miljøkvaliteten. På referansestasjonen i Kongsfjorden var tilstanden for muskel også klasse II *god miljøtilstand*. Alle leverprøver av torsk, steinbit og skrubbe med unntak av to individer av skrubbe (III moderat miljøtilstand) hadde også konsentrasjoner som tilsvarte klasse II *god miljøtilstand*. Det er imidlertid verd å legge merke til at innholdet av PFAS i taskekrabbe og muskelvev hos torsk hadde høyere gjennomsnittsverdier her enn utenfor Kristiansand lufthavn. Med foreliggende konsentrasjonsnivå av PFAS, og med utgangspunkt i internasjonal litteratur er det ikke grunnlag for å fastslå at forurensingen av PFAS fra Kristiansand lufthavn gir uheldige økologiske konsekvenser i marint miljø. Konsentrasjonene av PFAS i marine organismer er på samme nivå ved Kristiansand lufthavn som på referansestasjonen i Kongsfjorden.

8.2 Matbiota og risiko

Området rundt de gamle brannøvingsfeltene på Kristiansand lufthavn er avstengt, og det er ikke kjent at noen foretar innsamling av vekster, bær eller sopp til konsum innenfor det avstengte området. Risikoen for at mennesker får i seg PFAS fra kilde- og spredningsområdet gjennom vekster er derfor svært liten. Det foregår imidlertid grasproduksjon inne på flyplassområdet, og det bør avklares om dette graset blir benyttet som fôr til husdyr. I følge de som arbeider på lufthavna finnes det rådyr og ulike jaktbare fuglearter i området. Om disse kan ha tatt opp PFAS gjennom beite er ukjent.

Av de artene som ble fanget i Topdalselva og i dreneringsgrøfta som renner ut nedenfor de eldste brannøvingsfeltene, er det kun ørret som benyttes til human konsum. Av de 10 individene av sjørret fra Topdalselva som ble analysert, ble det påvist lave konsentrasjoner av PFOS og ingen andre PFAS i 3 av 10 individer. Gjennomsnitt konsentrasjon av PFAS var 0,6 µg/kg vv, som er langt lavere enn grensen for god vannkvalitet (9,1 µg/kg vv) som settes av Miljødirektoratet og EU gjennom Vanndirektivet. 9,1 µg/kg vv er 10 % av tolerabelt daglig inntak av PFOS (TDI). Ørreten på ca. 0,5 kg som ble fanget i dreneringsgrøfta fra brannøvingsfeltet viste konsentrasjon i kjøttet på 128,4 µg/kg vv.

Den homogeniserte prøven av 17 små individer av ørret fanget i den samme dreneringsgrøfta hadde en konsentrasjon av PFAS på 577,2 µg/kg vv, noe som viser at ørret som oppholder seg i dette området kan få høye konsentrasjoner. De høye konsentrasjonene i forhold til i fiskekjøtt hos den større ørreten henger sammen med at lever, nyrer og andre blodrike vev inngår i de homogeniserte prøvene.

I sjøen utenfor Kristiansand lufthavn ble det påvist PFAS i ett eller flere individer i muskel eller leverprøver av alle de fiskeartene som ble analysert. Av disse artene benyttes følgende til human konsum: taskekrabbe, skrubbe, slettvar, lomre, torsk (muskel og lever), steinbit og muligens knurr. I tillegg er kuskjell tatt med i vurderingen. Gjennomsnittskonsentrasjonene og konsentrasjonen i enkeltindivider (gråsteinbit og knurr) er under EUs grense for god vannkvalitet på 9,1 µg PFAS/kg vv.

På referansestasjonen i marint miljø ble det også funnet konsentrasjoner av PFAS som lå i samme størrelsesorden som det som ble funnet i resipienten rundt lufthavna.

8.2.1 Mattrygghet

Avinor har anmodet Mattilsynet om vurdering av analyseresultatene presentert i denne rapporten opp mot mattrygghet. I 2013 har Mattilsynet gjennomført sine vurderinger for Kristiansand Lufthavn Kjevik basert på analyser av biota fra 2012. Resultatene fra innsamling av matbiota fra 2013 er ennå ikke vurdert. I hovedsak gjelder dette ett eksemplar av stasjonær ørret fanget i grøfta som drenerer BØF 1 og 2.

I 2013 skriver Mattilsynet blant annet om Kristiansand lufthavn (Mattilsynet 2013, vedlegg 6):

«Det er her de høyeste verdiene av PFOS er målt i 9-pigg stingsild, 3-pigg stingsild og skrubbe som er fangstet i en bekk som renner fra et gammelt brannøvingsfelt og videre ut i Topdalselva. På denne lokaliteten Hovedstasjon ferskvann —Topdalselva, viser analyser av 9-pigg stingsild 1300µg/kg, for 3-pigg stingsild 1700 µg/kg og av skrubbe (en blandingsprøve) 1000 µg/kg. Analyseverdiene for innhold av PFOS i reker utenfor/ved utløpet av Topdalselva er påvist, med kun analyseresultater på 8,2 µg/kg PFOS. Den forurensede lokaliteten her ligger inne på flyplassen ved det gamle brannøvingsfelt, og allmenheten har ikke adgang til fiske her. Betydelige verdier av PFOS er registrert umiddelbart ved bekkens utløp til Topdalselva, ellers er små mengder registrert i fisk og skalldyr, men heller ikke her har allmenheten adgang til fiske.»

På bakgrunn av de vurderte analyseresultatene konkluderer Mattilsynet om Kristiansand lufthavn som følger:

Det er **« ikke grunnlag for advarsel/kostholdsrad for filet av ferskvannsfisk eller sjømat på grunn av PFOS»**.

9 Oppsummering

Denne rapporten bygger på data fra tidligere undersøkelser ved Kristiansand lufthavn som omhandler registrering av PFAS forurensing i jord og vann. I tillegg er det presentert nye data fra 2013 til 2015, som består av biotaprøver fra terrestrisk område og fra ferskvann supplert med nye vannprøver og vurderinger av spredningsforløp og restmengder av PFAS.

9.1 Restmengder jord/spredning

Øving med brannskum har ført til at det har blitt spredd totalt ca. 95 kg PFOS i perioden 1978 til 2001 og ca. 10 kg PFAS (med hovedvekt fluortelomerer) i perioden 2001 til 2012. En del ligger i masser og grunnvann ved BØF 1 og BØF 2, men en del har også blitt transportert ut i Topdalselva og til Topdalsfjorden ved Kjevik lufthavn. På et tidligere tidspunkt er det også fjernet noe forurensede masser fra BØF 2 ved Kjevik. Basert på målinger i jord og vann er det beregnet at det ligger igjen 10-36 kg PFOS ved brannøvingsfeltene i dag. I tillegg transporteres det noe PFAS via avløpsnett til Kristiansandsfjorden (ca. 30 gram/år).

Det årlige forbruket over en 30-årsperiode er beregnet til ca. 4 kg PFOS pr år som følge av øving med brannskum. Etter utfasingen av fluorholdig skum i 2012 viser målinger og beregninger at det fortsatt er aktiv spredning fra grunnforurensning ved brannøvingsfelt og andre kjente kilder i størrelsesorden 250-300 g PFOS pr år.

Det er sannsynlig at den årlige spredningsmengden er naturlig avtagende, men at det vil ta lang tid før spredningen opphører helt (flere hundre år).

9.2 Mattrygghet

I 2013 gjennomførte Mattilsynet vurderinger for Kristiansand Lufthavn Kjevik basert på analyser av biota fra 2012. Resultatene fra innsamling av matbiota fra 2013 er ennå ikke vurdert. I hovedsak gjelder dette ett eksemplar av stasjonær ørret fanget i grøfta som drenerer BØF 2.

På bakgrunn av de vurderte analyseresultatene konkluderer Mattilsynet om Kristiansand lufthavn som følger:

Det er «ikke grunnlag for advarsel/kostholdsråd for filet av ferskvannsfisk eller sjømat på grunn av PFOS».

9.3 Vannkvalitet og vannforskriften

Vannforskriftens grenser for god vannkvalitet er beskrevet ved et maksimalt innhold på 9,1 µg PFOS/kg våtvekt i akvatisk matbiota (mat for både mennesker og dyr). Avinor setter denne grensen til 9,1 µg PFAS/kg våtvekt. Basert på det analyserte materialet, er begge disse kriteriene ivaretatt for sjørøret i Topdalselva og for marine arter i Topdalsfjorden/Ålefjærfjorden. Det er ikke ivaretatt for skrubbe og stasjonær ørret i grøft/bekk som renner fra BØF 2 og strandsonen rett utenfor. Skrubba som ble fanget og analysert var imidlertid for liten til å kunne brukes som mat for mennesker.

9.4 Risiko for økosystem

Analysene av biota i det terrestre miljøet nærmest brannøvingsfeltene og i det akvatiske miljøet i vannfylt grøft fra BØF 2 og strandsonen utenfor denne (vedlegg 5) er påvirket i en slik grad at området gis kategorien *dårlig miljøtilstand*. Konsentrasjonene av PFAS i individene som er analysert viser imidlertid verdier som ikke er høye nok til å gi uheldige effekter på individene slik det er beskrevet i internasjonal litteratur.

I noe lenger avstand fra brannøvingsfeltene, viser analyseresultatene konsentrasjoner av PFAS som tilsvarer moderat miljøtilstand. På to referansestasjoner viste konsentrasjonen av PFAS i biota verdier opp til moderat miljøtilstand. Dette indikerer at det også er andre kilder til PFAS oppover i vassdraget og ute i fjordsystemet.

Området som er påvirket av forurensningen fra brannøvingsfeltet er relativt lite og konsentrasjonene av PFAS synes å avta ganske fort utenfor dette området. Siden området er lite, er det et begrenset antall arter med få individer som er til stede. I et økosystemperspektiv er det altså relativt få individer som kan påvirke tilgrensende økosystem. I forhold til gjeldende internasjonal kunnskap om toksiske effekter av PFAS på ulike organismer kan dette tyde på at effekten av spredning av PFAS via biota fra forurenset område ved BØF 1 og 2 ved Kristiansand lufthavn kan være av relativt beskjeden karakter.

Det er konkludert med at den årlige spredningsmengden av PFAS er avtagende, og at det vil ta lang tid før spredningen opphører helt (flere hundre år). Med et slikt utgangspunkt, er det over tid grunn til å forvente avtagende innhold av PFAS i fisk og andre arter som tar opp disse forbindelsene.

I tillegg til PFAS som kommer fra aktivitet på lufthavnen, er det sannsynliggjort at det finnes andre kilder til PFAS i området. Kildene og omfanget av utslipp fra disse er ikke kjent.

Erfaring fra denne undersøkelsen viser at lokalt tilpassede biotaprøver synes egnet til å bidra i sporing av PFAS-forurensning, og likeså er de egnet til å dokumentere forurensningstilstand og utvikling i lokale økosystem over tid.

Med foreliggende relativt høye konsentrasjoner av PFAS målt i biota i nærområdet til forurensingen, og med utgangspunkt i at det ikke er gjennomført langvarige studier av konsekvenser på individnivå, kan en ikke se bort fra uheldige virkninger på individer. Men, med bakgrunn i gjeldende internasjonal kunnskap om toksiske effekter av PFAS på ulike organismer synes spredning av disse stoffene til tilgrensende økosystem å være beskjeden, og dermed synes risiko for skade på disse økosystemene som følge av PFAS fra Kjevik lufthavn å være lav.

10 Referanser

- Andersson, S., Persson, M., Moksnes, P O., Baden, S. (2009). The role of the amphipod *Gammarus locusta* as a grazer on macroalgae in Swedish seagrass meadows. *Mar Biol* (2009) 156:969–981.
- ATSDR (2009). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Draft toxicological profile for perfluoroalkyls. U.S. department of health and human services Public Health Service. Report 404 pp.
- Aquateam, 2011. Forslag til normverdier og helsebaserte tilstandsklasser for perfluorerte organiske forbindelser i forurenset grunn. Aquateam rapport 11-004.
- Beach SA, Newsted JL, Coady K, Giesy JP (2006). Ecotoxicological evaluation of perfluorooctanesulfonate (PFOS). *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 186: 133–174.
- Borg, D., and Håkansson, H. (2012). Environmental and health risk assessment of perfluoroalkylated and Polyfluoroalkylated Substances (PFASs) in Sweden. Naturvårdsverket Rapport 6513. ISBN 978-91-620-6513-3.
- Dr. Sthamer (2014), skriftlig korrespondanse, Hamburg (<http://www.sthamer.com>).
- EPA (2009). Provisional Health Advisories for Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). 5 p.
- European Food Safety Authority (2008). Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts, *The EFSA Journal* (2008). Journal number, 653, 1-131.
- European Food Safety Authority (2012). Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure. *EFSA Journal* 2012; 10(6):2743. [55 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2743.
- Giesy, JP, Kannan, K. (2001) Global Distribution of Perfluorooctane Sulfonate in Wildlife. *Environ. Sci. Technol.* 2001, **35**, 1339 – 1342.
- Glynn, A, Cantillana, T, Bjerme, H. (2013). Riskvurdering av perfluorerende alkylsyror i livsmedel och dricksvatten. Rapport 11-2013. Livsmedelsverket, Sverige. 73 s.
- Grandjean, P., Budtz-Jørgensen (2013). Immunotoxicity of perfluorinated alkylates: calculation of benchmark doses based on serum concentrati.
- Gravem, F.R. *et al.* (under utarbeidelse). Undersøkelser av PFAS i jord, vann og biota med risikovurdering. Fagernes lufthavn. Sweco/Norconsult.
- Harju, M., Herzke, D and Kaasa, H. (2013). Perfluorinated alkylated substances (PFAS), brominated flame retardants (BFR) and chlorinated paraffins (CP) in Norwegian Environment - Screening 2013. NILU / Miljødirektoratet Rapport 106 s. M 40-2013.
- Haug, L.S. (2012). Hvordan eksponeres vi for PFOS og PFOA og hva er mulig konsekvens/toleranse. Innlegg på fagtreff i Vannforeningen 29.10.2012.
- Haug, L.S., Salihovic S, Jogsten IE, Thomsen C, van Bavel B, Lindström G (2010). Levels in food and beverages and daily intake of perfluorinated compounds in Norway. *Chemosphere* 2010a; 80:1137–43.
- Haukås, M., Berger, U., Hop, H., Gulliksen, B, and Gabrielsen, G.W (2007). Bioaccumulation of per- and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) in selected species from the Barents Sea food web. 2007. *Environ Pollut.* 148(1):360-71.
- Hellstad, S., Holth, TF., Villanger, G.D., Johanson, S.M., Hylland, K. (2015). Bioconcentrations and effects on gene expression of per- and polyfluorinated compounds on brown trout (*Salmo trutta*). Poster. Dept. of Biosciences, University of Oslo. 1 p.

- Jeon J, Kannan K, Lim HK, Moon HB, Kim SD (2010). Bioconcentration of perfluorinated compounds in blackrock fish, *Sebastes schlegeli*, at different salinity levels. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol.29, issue 11. 2529-2535. November 2010.
- Johanson, S.M., Holth, T.F., Villanger, G.D., Hellstad, S., Hylland, K. (2015). Bioconcentration and effects of poly- and perfluorinated compounds in Brown Trout (*Salmo trutta*). Poster. Dept. of Biosciences, University of Oslo. 1 p.
- Kallenborn, R., Berger, U. and Järnberg, U. (2004). Perfluorinated alkylated substances (PFAS) in the Nordic environment. *Tema Nord* 552:107.
- Kannan K, Newsted J, Halbrook RS, Giesy JP. (2002). Perfluorooctanesulfonate and related fluorinated hydrocarbons in mink and river otters from the United States. *Environmental Science & Technology* 36:2566-2571.
- Kerstner-Wood C, Coward L, Gorman G. (2003). Protein Binding of perfluorobutane sulfonate, perfluorohexanesulfonate, perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate to plasma (human, rat, monkey), and various human derived plasma protein fractions. Southern Research Corporation, Study 9921.7. USEPA Administrative Record AR-226.
- KLIF (2012). Bakgrunnsdokument for utarbeidelse av miljøkvalitetsstandarder og klassifisering av miljøgifter i vann, sediment og biota. Rapport. TA-3001. 105 s.
- KLIF (2013). Miljøgifter i fisk og zooplankton i Mjøsa, 2012. TA 3028/2013.
- Lee, H, De Silva, AO, Mabury, SA. (2012). Dietary Bioaccumulation of Perfluorophosphonates and Perfluorophosphinates in Juvenile Rainbow Trout: Evidence of Metabolism of Perfluorophosphinates. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 3489 – 3497.
- Livsmedelsverket, 2014a. Intagsberäkningar som underlag för framtagande av hälsobaserad åtgärdsgräns för perfluorerade alkylsyror (PFAA) i dricksvatten. Vetenskapligt underlag. 2014-02-13. 12 s.
- Livsmedelsverket, 2014b. Risker vid förorening av dricksvatten med PFAA. Riskhanteringsrapport. 2014-03-12. 6s.
- Loi, E.I.H., Yeung, L.Y., Taniyasu, S., Lam, P. K. S., Kannan, K. and Yamashita, N. (2011). Trophic Magnification of Poly- and Perfluorinated Compounds in a Subtropical Food Web. *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 5506–5513
- Løland, B. (2014). Fate and Transport of PFCs in a Peat Bog Environment, Master Thesis, Department of Geosciences, University of Oslo
- Martin, J.W., Mabury, S.A., Solomon, K.R., and Muir, D.C.G. (2003). Bioconcentration and tissue distribution of perfluorinated acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environmental Toxicology and Chemistry*. 22: 196-204.
- Mattilsynet (2013). Referat fra arbeidsgruppemøte blant annet PFAS basert EFSA (2008) Scientific report on the perfluoro-alkylated substances (PFAS) in food: occurrence and dietary exposure.
- Miljødirektoratet (2014). <http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2014/Januar-2014/Reduserer-miljogift-utslipp-fra-avfallsbehandling/>
- NILU (2014). Undersøkelser av Avinor ansatte ved Harstad/Narvik lufthavn Evenes. Evaluering av resultater. 10 s.
- Noorlander, C. W., van Leeuwen, S. P. J., te Biesebeek, J. D., Mengelers, M. J. B., & Zeilmaker, M. J. (2011). Levels of perfluorinated compounds in food and dietary intake of PFOS and PFOA in The Netherlands. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), 7496–7505.

Norconsult (2013). Oslo Lufthavn risikoanalyse for PFOS-spredning. PFOS-Risikoanalyse – Utrekning av Kd.

Nordskog, A.M, 2012. Leaching of PFCs from soil polluted by firefighting activities. Master thesis, Department of Geosciences, UIO, Oslo, Norway.

Norström, K., Viktor, T., Cousins, A.P., Benil, C. (2013). Årsrapport 2012 för projektet RE-PATH. Mätningar av PFAS o närområdet til Göteborg Landvetter Airport och Stockholm Arlanda Airport.

Oug (2011). Guide to identification of Lumbrineridae (Polychaeta) in Norwegian and adjacent waters. Norwegian Polychaete Forum Guides. 22 p.

Pethon, P. (1985). Aschehougs store fiskebok. 447 s (ISBN 13 9788203110146).

Regjeringen (2007). Begrensningsdirektivet – PFOS.

<https://www.regjeringen.no/nb/dokumenter/begrensningsdirektivet---pfos/id523580/>

Rylander, C., Duong, T. P., Odland, J. O., and Sandanger, T. M. (2009). Perfluorinated compounds in delivering women from south central Vietnam. J. Environ. Monit. 11:2002–2008.

Schultz MM, Barofsky DF, Field JA. (2003). Fluorinated Alkyl Surfactants. Environmental Engineering Science 20(5):15.

SFT (1999). Veiledning 99:01. Risikovurdering av forurensset grunn. TA1629/99. 103 s.

Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., Huther, J., Failing, K., Georgii, S., and Brunn, H. (2009). Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from soil to plants. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 57:289–298.

Stubberud, H. (2006). Økotoksikologiske effekter av PFOS, PFOA og 6:2 FTS på meitemark (*Eisenia fetida*) (TA-2212/2006), SFT

Sweco (2012). Miljøprosjektet DP 2. Miljøtekniske grunnundersøkelser – Kristiansand lufthavn, Kjevik. Rapport 168180-480-1 rev 1.

van Asselt ED, Rietra RPJJ, Romkens PFAM, Fels-Klerx HJ (2011). Perfluorooctane sulphonate (PFOS) throughout the food production chain. Food Chem 128:1–6.

van Asselt ED, Kowalczyk J., van Eijkeren JCH, Zeilmaker MJ, Ehlers S., Fürst P., Lahrssen-Wiederholt M-, van der Fels-Klerx HJ. (2013). Transfer of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) from contaminated feed to dairy milk. Food Chemistry 141 (2013), 1489–1495.

Yolanda Picó, Y., Farré, M., Llorca, M. and Barceló, D. (2011). Perfluorinated Compounds in Food: A Global Perspective, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 51:7, 605-625, DOI: [10.1080/10408391003721727](https://doi.org/10.1080/10408391003721727)

Xu, J., Chang-Sheng, G., Zhang, Y. and Meng, W. (2014). Bioaccumulation and trophic transfer of perfluorinated compounds in a eutrophic freshwater food web. Environmental Pollution 184 (2014) 254e261

Internett

Livsmedelverket: www.slv.se

Miljøstatus: www.miljostatus.no/kart

Miljøstatus Vest-Agder: <http://fylker.miljostatus.no/Vest-Agder/Tema-A-A/Vann/Fjorder-og-kystomrader/Terskefjorder-og-biologisk-mangfold/>

Naturbase: <http://geocortex.dirnat.no/silverlightviewer/?Viewer=Naturbase>

Vedlegg 1 Undersøkte arter

Ved valg av arter, har det vært viktig å finne arter som dekker ulike trinn i næringskjeden, arter som har både kort og lang livssyklus, samt både stasjonære og vandrende arter. I valg av arter, har det også vært fokus på om disse er spiselige organismer for mennesker.

Fangsttinsatsen var avgrenset i tid, og det ble dermed behov for å gjøre tilpasninger i artsutvalget i forhold til fangstene som naturlig varierer med biotoper og årstider. Artsutvalget varierer således noe fra stasjon til stasjon, og en måtte gjøre et valg av arter i henhold til målet om å speile situasjonen i næringskjeden så godt som mulig, samtidig som en søkte å skaffe et grunnlag for å gjøre statistiske vurderinger av materialet i etterkant.

Artene det er hentet prøver fra er omtalt nedenfor.

Vanlig **Bjørk** (*Betula pubescens*) Bjørkeslekten har flere arter av løvtrær som inngår i bjørkefamilien. Det norske navnet har trolig sin opprinnelse i norrønt og betyr det lyse treet som viser til bjørkas karakteristiske hvite bark.

Bjørka forekommer over hele Norge, og danner skoggrense mot fjellet og den arktiske skoggrensa mot tundraen. Verdens nordligste forekomst av bjørk finnes i Oksvågdaalen i Lebesby kommune i Finnmark. Bjørk er en pionerart som trives med mye lys og lett fuktig jord.

Bjørk er godt egnet til å lage møbler, kjøkkeninnredninger og kjøkkenredskap, og i finér, panel og dører. Fordi bjørkevirke ikke framkaller allergi, egner det seg godt til framstilling av leketøy. Bjørk setter dessuten ikke smak, og brukes derfor til emballasje for matvarer, ispinner, tannstikkere og spatler. Fra gammelt av har bjørk vært brukt til tresko, øsekar, selepinner og rivetinder. Bjørkenever har vært brukt til taktekking (torvtak) og for å isolere mot fuktvandring i bygningskonstruksjoner og til innvendig isolasjon.

Også i mathusholdningen har bjørk vært viktig. Bjørkebark har vært brukt til garving og til barking av fiskegarn, mens bjørkeaske har vært brukt til å framstille lut til lutefisk. Mange legger bjørkepinner nederst i gryta når de dampkoker pinnekjøtt. Bjørkesaft brukes som råstoff for vinframstilling. Bjørka inneholder dessuten søtstoffet xylitol, som brukes i matvareindustrien som sukkererstatning.

Dyreplankton, eller zooplankton, er de heterotrofe (organismer som trenger organiske næringsstoffer) artene av plankton. De skiller seg fra gruppen av autotrofe (lever av uorganisk næring) planktoniske organismer (planteplankton). De fleste dyreplankton er eukaryote organismer som verken er flercellede dyr, flercellede sopper eller planter (protister). Det er imidlertid mange dyr som lever planktonisk hele (holoplankton) eller deler av livet (meroplankton). Bortsett fra noen unntak (f.eks. maneter og krill) er de som regel for små til å kunne sees med det blotte øye. De fleste arter av dyreplankton er filterspisere, men noen er også detrivore. Detrivore organismer livnærer seg av dødt organisk materiale i partikkelform. Føden består da av døde kroppar eller rester av organismer inkludert avføring.

Dyreplankton utgjør tre hovedgrupper:



Figur 1. Bjørk (kilde: www.wikipedia.no)

- Mikrozooplankton (0,01 mm), som i norske farvann er dominert av larvene til virvelløse bentiske dyr.
- Mesozooplankton (0,1–1 mm), som i norske farvann omfatter planteetende hoppekreps samt de beiteartene raudåte, feitåte og ishavsåte. I Nord-Atlanteren lever også åte-arten *Calanus helgolandicus* som lett forveksles med raudåte.
- Makrozooplankton (> 1 cm), som domineres av maneter og ulike arter av krill, samt dyreetende tanglopper, Medusae, planteetende svarte vingesnegler, dyreetende hvite vingesnegler, kamsnegler og ikke minst fiskelarver.

Dyreplankton følger vannmassenes bevegelser og mindre betydelig horisontal egenbevegelse. Noen grupper plankton har evnen til å stige eller synke i vannet.

Dyreplankton utgjør grunnpilaren for marint liv. Mye av grunnlaget blir også utnyttet kommersielt som råvarer til fiskeolje og fiskefor. Større makrozooplankton er en viktig matkilde for fisk og sjøfugl.



Figur 2. Dyreplankton. Kilde: www.ndla.no

Gråsteinbit (*Anarhichas lupus*)

Gråsteinbit finnes langs hele norskekysten. Den er kjennetegnet ved meget kraftige kjever, langstrakt kropp som er flatttrykt fra siden og er vanligvis gråblå med svarte tverrbånd (se Figur 3). Lengden kan bli opptil 150 cm, vekten opptil over 20 kg. Den lever på steinbunn hvor den særlig tar kråkebolle og krepsdyr. Gråsteinbiten gyter i november–februar. Hunnen legger eggene i en klase på bunnen og disse voktes av hannen.

Gråsteinbiten ble tidligere betraktet som «ufisk», men er nå akseptert som en utmerket matfisk. Den inneholder 2,5 vektprosent fett og regnes som en halvfet fisk. Fiske kommer kommersielt; 1000–3000 tonn årlig.



Figur 3. Gråsteinbit (*Anarhichas lupus*). Kilde <http://snl.no/gr%C3%A5steinbit>

Knurr (*Eutrigla gurnardus*). I Norge er knurren vanlig langs kysten nord til Trondheim, men finnes også videre nordover til Finnmark. Knurren kan bli inntil 60 cm lang og 1,2 kg. Hodet er høyt og kroppen smalner bakover mot halefinnen. Brystfinnene er kortere enn bukfinnene (se Figur 4).



Figur 4. Knurr (*Eutrigla gurnardus*)

Den har benknuter langs sidelinjen og ved basis av ryggfinnene. Fargen kan variere fra grå til brun, men buken er alltid lys. Knurren ligner på rødknurr, men kan skilles fra den på benknutene og de korte brystfinnene <http://no.wikipedia.org/wiki/Knurr>. Knurren er en bunnfisk som liker seg på sandbunn, men finnes også på steder med andre bunnforhold som mudder-

og steinbunn. Om natten kan knurren svømme pelagisk nær overflaten på jakt etter mat. Knurren lever av krepsdyr, mangebørstemark og småfisk. Man finner den vanligvis fra 10 – 150 meters dyp.

Knurren gyter i april – august, og hver hunn legger inntil 300 000 egg, som klekkes etter omtrent 5 døgn. Yngelen lever pelagisk til de er 3 cm lange og trekker mot bunnen.

I Norge foregår ikke nevneverdig kommersielt fiske etter knurr – den blir i hovedsak fisket som bifangst i trål eller på line.

Kuskjell (*Arctica islandica*). Vanlig langs Norskekysten. Kuskjellet (se Figur 5) graver i sand og mudder fra nederst i fjæra til dypere vann. Det lever vanligvis nedgravet i mudder og sand slik at bare de korte sifonene stikker opp (Wiborg og Bøhle 1968). Fødepartikler skilles fra vann strømmen, og faeces pumpes ut gjennom "ut"-siphonen (Mortensen, 1990). Muslingen forekommer fra tidevannssonen og nedover, vanligvis på 5 til 25 meters dyp (Campbell, 1977), og kan bli svært gammelt (over 400-500 år).



Figur 5. Kuskjell fanget i Bergen.
Foto: Finn R. Gravem

Lomre (*Microstomus kitt*). Lomre er en flyndrefisk (Figur 6) som er vanlig langs hele Norskekysten, men noe mindre vanlig i Nord-Norge. På vinteren spiser Lomra lite eller ingen føde, og sommeren og høsten er de viktigste beiteperiodene. Dietten består utelukkende av bunndyr, særlig børstemark, men også noe muslinger og krepsdyr. Lomra kan også ta en del slangestjerner og bløtdyr. Den trives best på fargerik stein- og berggrunn på dyp fra 10 m til 200 m, og kalles ofte bergflyndre. Den er stasjonær, men gjør små forflytninger på senvinteren i forbindelse med tiden før gyting. Etter 3 til 5 år er den kjønnsmoden og gytetiden er fra april til september. Eggene er pelagiske og gytes på 40 til 200 meter dyp. De pelagiske larvene bunnsår på dypt vann når de er rundt 3 cm store, og deretter vandrer yngelen inn mot kysten når de er 10 til 20 cm lange (Jonsson og Semb-Johansson, 1996a). Lomren kan bli over 20 år.



Figur 6. Lomre. Foto: www.fiskeri.no

Meitemark (*Lumbricidae*) tilhører klasse Fåbørstemark (*Oligochaeta*). Fåbørstemark kjennetegnes ved at de mangler gjeller og antenner forrest på kroppen. I motsetning til flerbørstemark, mangler de også børsteføtter. Fåbørstemark er hermafroditter, det vil si at et og samme individ er både hankjønn og hunkjønn. De fleste har et belte (clitellum) rundt den forreste del av kroppen. Det skiller ut slim som holder dyrene sammen under paringen, og danner eggkokonger.



Figur 7. Meitemark. Kilde: www.miljolare.no

Det er registrert 108 arter fåbørstemark i Norge. Flere av artene er marine. Forekomst av fåbørstemark i Norge er lite undersøkt.

Meitemark er overveiende terrestriske og ernærer seg på organisk materiale i jordsøylen og kan trekke ned lauv og annet organisk materiale fra jordoverflaten. De 19 norske artene varierer i lengde mellom 2-30 cm.

Meitemark er et ettertraktet næringsemne og har en særegen rolle som nedbryter. Mange små og store virveldyr livnærer seg hovedsakelig på meitemark i sommerhalvåret. Noen eksempler på dette er trostefugler, vadefugl og grevling.

Nipigget stingsild (*Pungitius pungitius*). I Norge er den 9-piggete stingsilda (Figur 8) en utpreget ferskvannsfisk, men den forekommer også i brakkvann. Den er en østlig innvandrer etter siste istid og er utbredt i Finnmark, under marin grense fra svenskegrensa i sør til Stavanger i vest, samt et område rundt Trondheim. Den finnes i bekker, tjern og vegetasjonsrike dammer. Den 9-piggete stingsilda spiser noe mer dyreplankton og mindre bunndyr enn 3-pigget stingsild. I tillegg består dietten av rogn, fiskeyngel, mygglarver og andre smådyr den kan få tak i. Gytetiden er fra mai til juni (Jonsson og Semb-Johansson, 1996a; Pethon, 1985), og den blir som regel 3 år gammel.



Figur 8. Nipigget stingsild

Reke (*Caridea*). Det finnes om lag 35 arter i Norge. De er utbredt i alle hav, pelagisk og som bunnformer, de fleste på dypere vann. Enkelte rekearter finnes også i ferskvann, og i Norge er det kun én art, *Palaemonetes varians*, som går i brakt eller nesten ferskt vann. Reker forekommer ofte mange sammen i stim (se Figur 9). Om dagen står de ved bunnen og hviler eller beiter. Den er en opportunist som primært lever av organisk sediment, små krepsdyr, mark osv.



Figur 9. Småreker fanget i Topdalselva.
Foto: Finn R. Gravem

Skrubbe (*Platichius flesus*). Skrubbe (se Figur 10) er vanlig langs hele kysten og om sommeren er unge individer ofte på næringssøk langt opp i elver. Den kan således påtreffes i innsjøer hvor det er fri vandringsvei til havet. Dietten består av bunndyr som tanglopper, børstemark, slangestjerner og muslinger samt småfisk som kutlinger. Dietten i ferskvann og brakkvann består for det meste av små krepsdyr og larver av dansemygg (Pethon, 1985). Man finner skrubbe for det meste på sand- og slambunn ned til 75 meters dyp. Sommer og høst er den på grunne områder, mens den på vinter og vår foretrekker dypere områder. Skrubba regnes allikevel som en stasjonær fisk. Den kjønnsmodner fra to til fem år og gyter en gang i mars til juni på 25 til 75 meters dyp.



Figur 10. Skrubbe fanget ved Kjevik.
Foto: Finn R. Gravem

Det pelagiske larvestadiet varer rundt to til tre måneder. Yngelen bunnsår på grunt vann ved ca. 1 cm lengde (Jonsson og Semb-Johansson, 1996a).

Slettvar (*Scophthalmus rhombus*). Slettvar (se Figur 11) finnes spredt langs kysten i Sør-Norge og nord til Trønderlag. De er mer vanlig langs sørlandskysten og sjelden nord for stad. Man finner den ofte på veldig grunt vann, men også ned til 75 meter. Den kan også forekomme i brakkvann. Næringen består for det meste av krepsdyr og fisk. Den tar krabber, sil, brisling, sild, øyepål og hyse. Voksne slettvar finnes ofte på bløtbunn med sand, men de kan også påtreffes på steinbunn. Slettvaren har lokale vandringer mellom grunt og dypere vann. Gytetiden er fra mai til juli, og både egg og yngel er pelagiske. Fiskelarvene bunnsår når de er ca. 2 cm lange (Jonsson og Semb-Johansson, 1996a).



Figur 11. Slettvar fanget ved Haugesund.
Foto: Finn R. Gravem

Svartor (*Alnus glutinosa*) vokser over nesten hele Europa. Det er bare lengst sør og lengst nord at den ikke finnes. I Norge vokser den langs kysten nord til Snåsa i Nord-Trøndelag, og på Østlandet nord til Åsnes. Den vokser langs vatn og elver, og på myr med høyt grunnvann. Svartor er en varmekjær og lyskrevende art. Svartor kan bli ganske stor, og under gunstige forhold kan de bli 25 - 30 meter høye. Stammediameteren kan bli 50 - 80 cm. Svartortrær blir sjelden gamle, og 100 år er en vanlig alder.



Figur 12. Svartor. Kilde: www.wikipedia.no

Orerøttene er nitrogenfikserende, det vil si at ved hjelp av bakterieknoller på røttene kan trærne ta opp fritt nitrogen fra lufta. Den gode tilgangen på nitrogen er trolig årsaken til at or kan felle løv mens de er grønne. Bruken av svartor som råvare har tradisjonelt vært allsidig på grunn av flere gode egenskaper. I senere tid har oreveden blitt brukt til blant annet møbler, panel, elektriske gitarer og kjøkkeninnredning. Or er dessuten lett å farge og blir brukt til å imitere andre treslag som mahogni og palisander. Oreveden egner seg også godt til kjørler for mat og drikke, ettersom den ikke setter smak på matvarer. Av samme grunn blir en også brukt i matboder og spiskammer.

Taskekrabbe (*Cancer pagurus*). Taskekrabbe er vanlig på hardbunn i Nordsjøen (Figur 13). Den er nattaktiv og ligger nedgravd i sedimenter om dagen. Dietten består av bentiske krepsdyr og bløtdyr. Krabben spiser det meste, men foretrekker muslinger og børstemark. Mye taskekrabbe holder til i tareskogen, der den beiter aktivt på en lang rekke dyr. Seint på sommeren vandrer mange krabber opp i flomålet langs kysten, spesielt om natten, og beiter på tilvekst av rur og andre organismer som er kommet til i løpet av sommeren (Havforskningsinstituttet, 2011).



Figur 13. Taskekrabbe.
Foto: Havforskningsinstituttet.

Taskekrabben blir vanligvis 25 til 30 år, men det er rapportert om individer på oppimot 100 år (Campbell, 1977).

Torsk (*Gadus morhua*). Vi har to typer torsk, der den ene kalles kysttorsk og den andre skrei (som gytemoden) og loddetorsk (som umoden). Torsk (se Figur 14) er vanlig utbredt i Norge langs hele kysten iberegnet alle fjordene. Dens leveområde er fra tangbeltet langs land til havområdene i Nordsjøen og Barentshavet ned til 600 meter. Kysttorsken er mer bundet til kystnære områder, mens den vandrende torsken vandrer over store områder på gytevandring og/eller næringsvandring etter for eksempel lodde. Den vandrende torsken oppholder seg for det meste av året ute i de store havområdene, mens den vandrer kystnært for å gyte hovedsakelig i Lofoten, Finnmark, Troms og på Nordvestlandet. Den kan bli mer enn 20 år gammel. Torsken er allsidig i matveien og spiser all slags fisk til og med sine egne artsfrender. Sild, lodde, uer, og øyepål er fiskearter den setter pris på, men den tar også krepsdyr. Som for eksempel reker, krill, og rauåte. Av bunndyr liker den børstemark, slangestjerner, og muslinger (Fjeldseth og Tørmoe, 1997; Jonsson og Semb-Johansson, 1996a; Pethon, 1985).



Figur 14. Torsk fanget i Kristiansand. Foto: Finn R. Gravem

Trepigget stingsild (*Gasterosteus aculeatus*). Finnes langs hele kysten i saltvann, men er også utbredt i ferskvann i lavlandet til litt over marin grense. Den 3-piggete stingsilda (se Figur 15) liker seg på grunt vann i vegetasjonen, men kan også forekomme som stimfisk i de frie vannmasser. Den spiser insektlarver, småkreps, mark, bløtdyr, fiske- og amfibieegg og larver.



Figur 15. Trepigget stingsild

Den 3-piggete stingsilda kjønnsmodnes som et år eller eldre, og de fleste gytefiskene dør etter gytesesongen. Gytetiden er fra mai til juni. Den kan ha vandringer mellom saltvann og ferskvann (Jonsson og Semb-Johansson, 1996a; Pethon, 1985). Både 9-pigget og 3-pigget stingsild er mat for andre fiskearter, for eksempel ørret. Den blir sjelden mer enn tre år gammel.

Ørret/sjørret (*Salmo trutta*) er vanlig i hele Norge. Arten finnes både som en stasjonær form der den tilbringer hele livet i ferskvann og en variant der en del av bestanden foretar årlige næringsvandring ut i sjøen (anadrom form eller sjørret). Om et individ skal bli stasjonær eller anadrom avhenger delvis av fiskens veksthastighet i ungestadiet, delvis av nedarvete forhold. I ferskvann finner den i nær sagt alle vassdrag og innsjøer i innlandet. Den viktigste næringen når den lever i ferskvann er insekter, bunndyr, dyreplankton og småfisk. Hvis den når en viss lengde kan den gå over på fiskediett.

Når den delen av bestanden som blir sjørret når en viss størrelse ved 1 – 7 års alder gjennomgår den en smoltifisering, som gjør det mulig for den å leve i sjøvann. Alderen for smoltifisering øker med økende breddegrad (Jonssen og Finstad 1995). Utvandringen fra ferskvann til sjøen foregår om våren, men foregår senere på våren i nord enn i sør. Sjørreten foretar sesongmessige vandring, ofte mindre enn 100 km fra utløpet av hjemelva. Om høsten returnerer som oftest en stor del av bestanden tilbake til hjemelva og tilbringer vinteren der, selv om den ikke skal gyte. Kjønnsmodning inntreffer som oftest etter to til tre sesongvandring i sjøen. I havet vokser den godt og ernærer seg hovedsakelig av fisk, krepsdyr og mangebørstemark. Alder ved kjønnsmodning varierer fra 2 til 10 år og den gyter for det meste på rennende vann om høsten.



Figur 16. Ørret (*Salmo trutta*) er vanlig i hele Norge, både i saltvann og i ferskvann.
Foto: Finn R. Gravem

Vedlegg 2 Bakgrunnsteori klasseinndeling PFAS

Teori bak PFOS-klasseinndeling

Teksten i dette avsnittet er i sin helhet hentet fra «Bakgrunnsdokument TA 3001/2012 til vannforskriftens veileder»

Bruk av EQS (miljøkvalitetsstandard) for akvatisk biota har tre hensikter:

1. Beskytte mennesker mot negative effekter ved inntak av kontaminert fisk, skalldyr og skjell.
2. Beskytte topp-predatorer, slik som fugler og pattedyr mot sekundær forgiftning ved inntak av giftige stoffer som finnes i maten de spiser.
3. Beskytte bunnlevende (bentiske) og pelagiske (lever i de frie vannmasser) predatorer (f.eks. fisk som spiser andre dyr) mot sekundær forgiftning.

For tiden antas det at pkt.2 også ivaretar pkt.3. Det er ennå ikke utarbeidet gode nok retningslinjer for å bestemme EQS for bentiske/pelagiske predatorer.

EQS-verdier for topp-predatorer er basert på studier med fugl eller pattedyr som utsettes for kronisk belastning av det aktuelle stoffet, inkludert vurdering av studienes robusthet (sikkerhetsfaktorer).

Grenseverdier for human risiko basert på inntak av fisk og sjømat er basert på TDI (TDI - livslangt tolererbart daglig inntak av stoffet). For PFOS og PFOA er følgende TDI beregnet: 0,15 µg PFOS/kg kroppsvekt/dag og 1,5 µg PFOA/kg kroppsvekt/dag. Der det finnes andre kilder til miljøgiften enn sjømat, benyttes 10 % av TDI i beregningene for human risiko ved inntak av akvatisk biota, mens der det ikke finnes andre kilder til inntak av stoffet enn sjømat, benyttes 100 % av TDI-verdien.

Kvalitetsstandard for biota, QS biota, med tanke på human helse, er i henhold til EU basert på 10 % av TDI-verdi, kroppsvekt 70 kg og inntak av 115 g sjømat pr dag gjennom hele livet ("normalt" inntak av sjømat pr. person pr. dag).

Maks tillatt inntak via sjømat (mg/kg biota):

QS biota = $(0,1 \cdot \text{TDI} \cdot 70) / 0,115$ (kvalitetsstandard for fisk og skalldyr = 10 % * tolererbart daglig inntak av sjømat * kroppsvekten (her 70 kg) / 0,115 kg sjømat)

Generelt gjelder det at for miljøgifter som påvirker det endokrine systemet¹ (f.eks. hormonhermende stoffer), er det kun benyttet klasse II og III. Enkelte PFAS er ansett som hormonhermere.

Grunnlag for klasseinndeling (klassifisering av risiko)

Klasse I: øvre grense = bakgrunnsnivåer som skal representere naturtilstand. Ofte vanskelig å finne. Deteksjonsgrenser ofte høyere enn dette.

Klasse II: som øvre grense benyttes AA-EQS (årlig gjennomsnitt).²

Klasse III: som øvre grense benyttes MAC-EQS (maksimal årlig konsentrasjon).³

Klasse IV: som øvre grense er det benyttet akutt giftighet uten sikkerhetsfaktor.

Klasse V: verdier høyere enn klasse IV.

¹ Styrer kroppens hormonproduksjon, og består blant annet av kjertler og vev i hjernen, skjoldbruskkjertelen, nyrer, bukspyttkjertel og eggstokker/testikler.

² AA – annual average

³ MAC – Maximal annual concentration. Bestemt ut fra akutt toksisitet, dvs. L(E)C₅₀-verdier for vannlevende organismer i kystvann og/eller ferskvann, eventuelt ved beregninger/statistisk analyse inkl. sikkerhetsfaktor.

Klassifiseringssystem som beskrevet i figuren under er benyttet. Dette er tilsvarende det som er benyttet i Klifs klassifiseringssystem for forurensede sedimenter (Bakke *et al.*, 2011, 2012).

Klasse I – Bakgrunn	Klasse II – God	Klasse III – Moderat	Klasse IV – Dårlig	Klasse V – Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids eksponering	Akutte toksiske effekter ved korttidseksponering	Omfattende toksiske effekter
Øvre grense bakgrunn	Øvre grense: AA-QS ⁴ , PNEC ⁵	Øvre grense: MAC-QS ⁶ , PNEC _{akutt}	Øvre grense: PNEC _{akutt} *AF ⁷	

Miljøklassifisering PFOS og PFOA ⁸

For ulike vanntyper og sedimenter er følgende øvre klassegrenser i de ulike klassene for hhv. PFOS og PFOA foreslått:

PFOS	Klasse I – Bakgrunnsdata	Klasse II – AA-EQS	Klasse III – MAC EQS	Klasse IV – Akutt tox	Klasse V – Omfattende akutt tox
Ferskvann, µg/L	0	0,00065 ⁹	0,23	36	>36
Kystvann, µg/L	0	0,00017	0,023	7,2	>7,2
Sedimenter, µg/kg TS	0	0,2 (fv: 1,7)	63	6300	>6300
PFOA	Klasse I – Bakgrunnsdata	Klasse II – AA-EQS	Klasse III – MAC EQS	Klasse IV – Akutt tox	Klasse V – Omfattende akutt tox
Ferskvann, µg/L	0	0,05 ¹	570	2400	>2400
Kystvann, µg/L	0	0,01 ¹	57	480	>480
Sedimenter, µg/kg TS	0	2,7 (fv: 14)	63	6300	>6300

For QS_{biota,hh} er følgende foreslått:

PFOS: $QS_{biota,hh} = (0,15 \cdot 0,1 \cdot 70) / 0,115 = 9,1 \text{ µg PFOS/kg biota}$ (kvalitetsstandard for PFOS i biota = TDI (her 0,15) * 10 % * kroppsvekten (her 70 kg) / 0,115 kg sjømat)

Bakgrunn for TDI-verdien er QS biota for sekundærforgiftning er 0,033 mg/kg biota (basert på forsøk med aper, over en tidsperiode på 6 måneder der effekten var hormonforstyrrelser).

Grenseverdier for PFOS i vann med tanke på overlevelse for art (økotoksisitet), er betydelig høyere enn grenseverdier med tanke på inntak av sjømat (human helse). PFOS har tidligere vært ansett som lite økotoksisk ut fra testresultater. Imidlertid har det vist seg at stoffet akkumuleres i høy grad i næringskjeden. PFOS kan derfor være meget skadelig for human helse ved inntak av sjømat som lever i vann der konsentrasjonen av stoffet er lav.

⁴ AA - Annual average – årlig gjennomsnitt

⁵ PNEC - Predicted No Effect Concentrations

⁶ MAC - maksimal årlig konsentrasjon

⁷ AF: sikkerhetsfaktor

⁸ Grenseverdier basert på ulike toksisitetstester. Se TA 3001/2012 for nærmere opplysninger.

⁹ Basert på inntak av fisk

Klassifisering for PFAS i denne rapporten

Som tidligere nevnt, er det i arbeidet med risikovurderingene valgt å benytte summen av de påviste PFAS, ikke kun konsentrasjonen av PFOS eller PFOA som i TA-3001.

Da nedre rapporteringsgrense ved kommersielle laboratorier for PFAS i ferskvann og kystvann er 2-5 ng/L (i praksis ofte 5-10 ng/L pga. matrikseffekter) og i sediment 2 µg/kg TS, betyr dette at man i praksis ikke kan kontrollere om vann og sediment i et område tilfredsstiller klasse II foreslått i TA-3001. Videre er bakgrunnsverdiene i vanndirektivet definert som 0 (sediment og vann). Dette betyr at det i kart ikke vil foreligge resultater for klasse I (bakgrunn) og II (god), mens laveste påviste konsentrasjoner vil kategoriseres etter påvist konsentrasjon. For å synliggjøre lave verdier er resultater under kvantifiseringsgrensen (<LOQ¹⁰) vist som klasse II – Under kvantifiseringsgrensen. For ytterligere bakgrunn og beregninger av klasseinndelingene, henvises til TA-3001 (KLIF, 2012).

Tabell 0-1. Grenseverdier for PFAS i vann (ng/L) og sedimenter (µg/kg TS) (basert på TA-3001).

	Klasse I – Bakgrunn	Klasse II – Under kvantifiserings- grense	Klasse III – Moderat	Klasse IV – Dårlig	Klasse V – Svært dårlig
Sjøvann, ng/L	0	< LOQ	LOQ – 23	23 – 7 200	> 7 200
Ferskvann, ng/L	0	< LOQ	LOQ – 230	230 – 36 000	> 36 000
Grunnvann, ng/L	0	< LOQ	LOQ – 230	230 – 36 000	> 36 000
Drikkevann, ng/L	0	< LOQ	LOQ – 90	90 – 350	> 350
Sediment kyst/ ferskvann, µg/kg TS	0	< LOQ	LOQ – 63	63 – 6 300	> 6 300

¹⁰ LOQ – kvantifiseringsgrense. LOQ = verdi for blankprøve + 10*std.avvik

Vedlegg 3 Ordliste

Forklaringsordliste:

AA – annual average (årlig gjennomsnitt)

Bioakkumulering – i denne rapporten benyttes følgende definisjon for bioakkumulering: Generell uttrykk som beskriver en prosess hvor kjemikalier blir tatt opp av en organisme enten direkte fra å være eksponert for et kontaminert medium, herunder luft/vann/jord, eller ved opptak gjennom mat som inneholder kjemikaliene.

LOD: Limit of Detection (deteksjonsgrense)

LOQ: Limit of Quantification (kvantifiseringsgrense)

MAC – Maximal annual concentration. Bestemt ut fra akutt toksisitet, dvs. L(E)C50-verdier for vannlevende organismer i kystvann og/eller ferskvann, eventuelt ved beregninger/statistisk analyse inkl. sikkerhetsfaktor.

ng/L: milliardtedels gram pr liter analysert prøve

Næringskjede: begrep for hvordan organismene lever av hverandre, og hvordan organisk stoff og energi passerer fra én organisme til en annen. Eksempelvis produserer planter organisk materiale ved hjelp av fotosyntese og opptak av vann, CO₂ og minerealer, som blir spist av planteetere som videre blir spist av kjøttetere. En næringskjede kan eksempelvis bestå av gran, granbarkbille, hakkespett og hønsehauk.

Næringsnett: begrep for hvordan ulike næringskjeder er vevd inn i hverandre. Arter spises ikke bare av én art høyere oppe i næringskjeden, men av flere arter.

PFAS: per- og polyfluorerte alkylsubstanser; fellesnevning for alle kjemiske forbindelser som presenteres.

TDI: livslangt tolererbart daglig inntak av et stoff

TMF – trophic magnification factor; brukes til å kvantifisere biomagnifisering, og representerer den gjennomsnittlige overføring av miljøgifter fra byttedyr til predator gjennom næringskjeder, i stedet for de enkelte arters biomagnifisering, hvor beregningene er svært variable fra en predator-byttedyr kombinasjon til en annen. TMF er beregnet ut fra stigningstallet av logaritmisk transformerte konsentrasjoner av miljøgifter versus trofisk nivå (TL) til organismer i næringskjeden.

Trofisk nivå: Et trofisk nivå er plasseringen en organisme har i en næringskjede, angitt som et tall (nivå). Eksempelvis ligger primærprodusentene, eller de grønne fotosyntetiserende organismene på 1. nivå, mens de ulike konsumentene tildeles tall (nivå) etter hvor mange ledd de er fra den fotosyntetiserende planten.

µg/kg våtvekt: milliontedels gram pr kg analysert prøve.

**Vedlegg 4 Oversiktskart jord og vann med prøvepunkter fra undersøkelser
2011-2012**

Kristiansand lufthavn Kjevik (ENCN)

Oversiktskart

Jord og sediment



Kristiansand lufthavn Kjevik (ENCN)

Brannøvingsfelt 1

Jord og sediment

PFOS/PFOA jord (ug/kg)*

- <100 (normverdi)
- 100-250
- 250-6700
- >6700
- Ikke analysert

PFOS sediment ferskvann (ug/kg)

- +
- <LOQ
- + LOQ-63
- + 63-6300
- + >6300
- Ikke analysert

Mrk. varierende skala for
x-aksen i diagrammene

* PFOS er dominerende parameter

LOQ = rapporteringsgrense
i.a. = ikke analysert

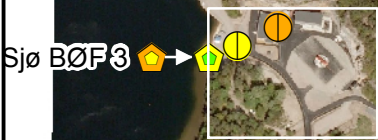


Jord og sediment



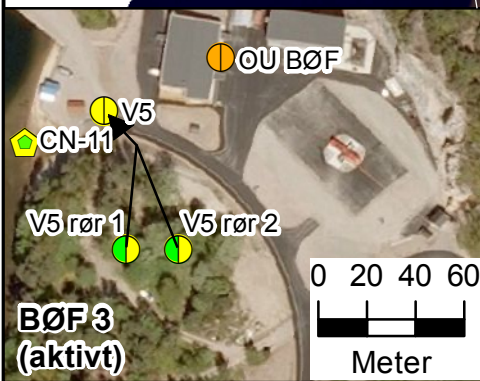
Ferskvann		2011-10-25	2012-04-17	2012-07-04	2013-07-03	2013-10-07	2013-11-08	2014-06-16	2014-07-21	2014-12-17	2014-12-18	2015-02-17	2015-03-20*	2015-03-20**
V1	PFOS	i.a.	8.3	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	26.5	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
V2	PFOS	i.a.	31.9	i.a.	48.3	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	692	22.4	38.3
	ΣPFAS	i.a.	31.9	i.a.	48.3	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	879	32.1	47.4
V3, kum	PFOS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	1.8	i.a.	i.a.
V3, rør	PFOS	i.a.	6.9	i.a.	10.2	<LOQ	i.a.	<LOQ	i.a.	5.4	i.a.	3.1	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	6.9	i.a.	10.2	<LOQ	i.a.	<LOQ	i.a.	5.4	i.a.	7.5	i.a.	i.a.
V3, bekk	PFOS	2800	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	744	i.a.	3.4	6	i.a.
	ΣPFAS	2852	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	864	i.a.	8.3	18.5	i.a.
3, bekk utløp	PFOS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	51.8	366	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	70.4	460	i.a.
V4	PFOS	i.a.	93.5	14.1	445	345	i.a.	4130	i.a.	i.a.	30	32.4	121	43.8
	ΣPFAS	i.a.	111.1	14.1	649	452	i.a.	6270	i.a.	i.a.	30	52.9	151	58.4
V5	PFOS	i.a.	5.1	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	231.4	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	21.5	i.a.	i.a.	i.a.
2	PFOS	i.a.	i.a.	i.a.	137	166	7.2	<LOQ	i.a.	222	i.a.	551	365	1500
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	i.a.	172	208	7.2	<LOQ	i.a.	277	i.a.	651	462	1760
4	PFOS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Ål1	PFOS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Top 1 v/bru	PFOS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	41	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	89	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Top, oppstrøms	PFOS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Top, nedstrøms	PFOS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	32.4	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	81.1	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Alle konsentrasjoner er gitt som ng/l														

Ferskvann		2014-12-18	2015-02-17	2015-03-20*	2015-03-20**
V5, rør 1	PFOS	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	21.5	i.a.	i.a.	i.a.
V5, rør 2	PFOS	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	53.3	i.a.	i.a.	i.a.
V6	PFOS	i.a.	493	10	218
	ΣPFAS	i.a.	660	21.4	265
V7	PFOS	i.a.	18.7	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	33.4	i.a.	i.a.
V8	PFOS	i.a.	4.8	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	7.1	i.a.	i.a.
V9	PFOS	i.a.	11.9	30	4.4
	ΣPFAS	i.a.	19.6	69.2	5.6
V10	PFOS	i.a.	9.5	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	13.1	i.a.	i.a.
V11	PFOS	i.a.	4	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	5.2	i.a.	i.a.
V12	PFOS	i.a.	2.3	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	3.5	i.a.	i.a.
Alle konsentrasjoner er gitt som ng/l					



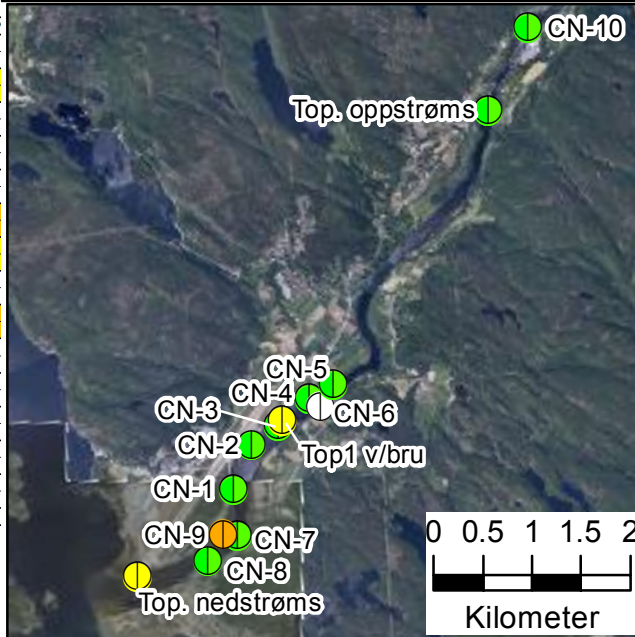
Ferskvann		2014-08-27
CN-1	PFOS	<LOQ
	ΣPFAS	<LOQ
CN-2	PFOS	<LOQ
	ΣPFAS	<LOQ
CN-3	PFOS	<LOQ
	ΣPFAS	<LOQ
CN-4	PFOS	<LOQ
	ΣPFAS	<LOQ
CN-5	PFOS	i.a.
	ΣPFAS	i.a.
CN-6	PFOS	<LOQ
	ΣPFAS	<LOQ
CN-7	PFOS	<LOQ
	ΣPFAS	<LOQ
CN-8	PFOS	<LOQ
	ΣPFAS	<LOQ
CN-10	PFOS	<LOQ
	ΣPFAS	<LOQ
Alle konsentrasjoner er gitt som ng/l		

Ferskvann		2014-08-27	2015-02-17	2015-03-20*	2015-03-20**
CN-9	PFOS	19.9	1330	183	102
	ΣPFAS	30	1610	261	135
Alle konsentrasjoner er gitt som ng/l					

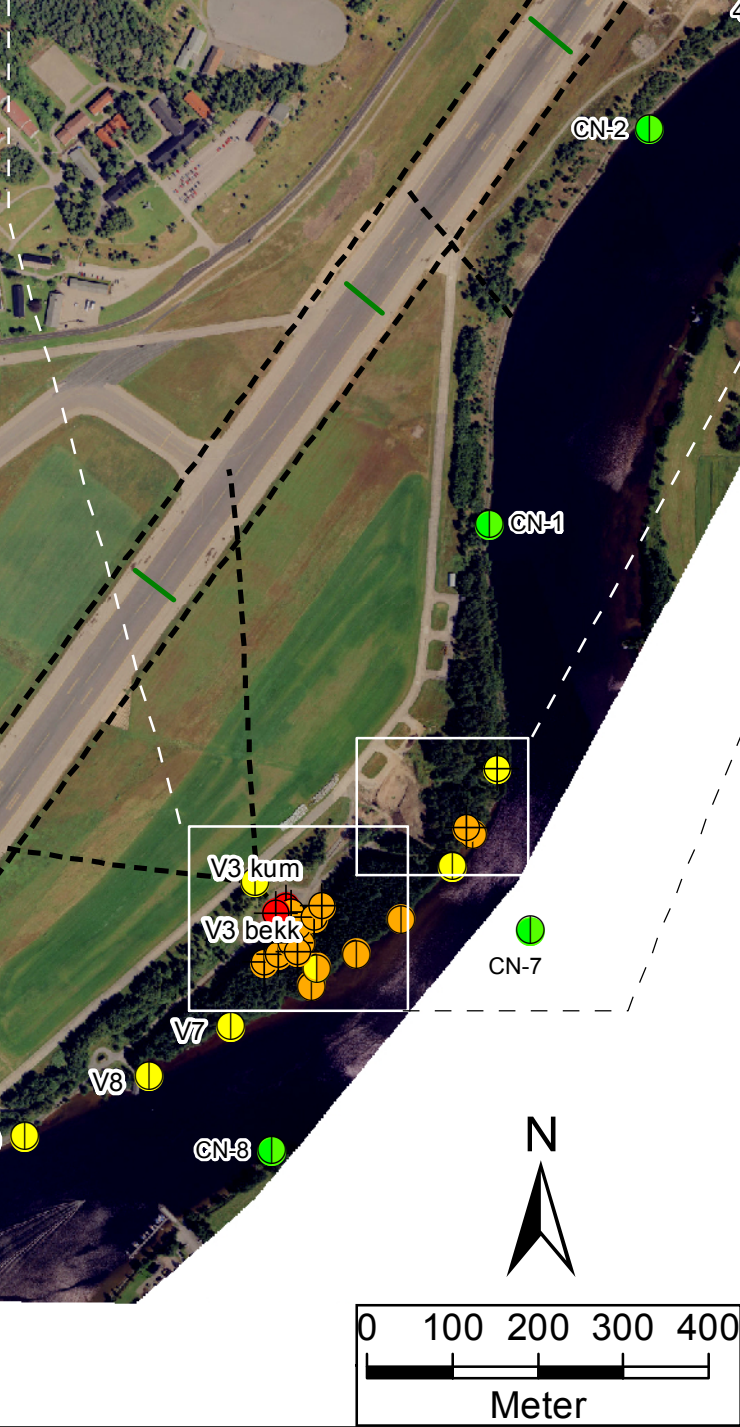


Ferskvann		2013-10-07	2013-11-08	2014-06-16	2014-07-21	2014-12-17
4	PFOS	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	<LOQ	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.
Ål1	PFOS	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Top 1 v/bru	PFOS	i.a.	<LOQ	41	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	<LOQ	89	i.a.	i.a.
Top, oppstrøms	PFOS	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	<LOQ
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Top, nedstrøms	PFOS	i.a.	i.a.	32.4	<LOQ	<LOQ
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	81.1	<LOQ	<LOQ
Alle konsentrasjoner er gitt som ng/l						

Sjøvann		2014-08-27	2014-12-18
Sjø BØF 3	PFOS		15
	ΣPFAS		82.2
CN-11	PFOS	<LOQ	i.a.
	ΣPFAS	16.3	i.a.
Alle konsentrasjoner er gitt som ng/l			

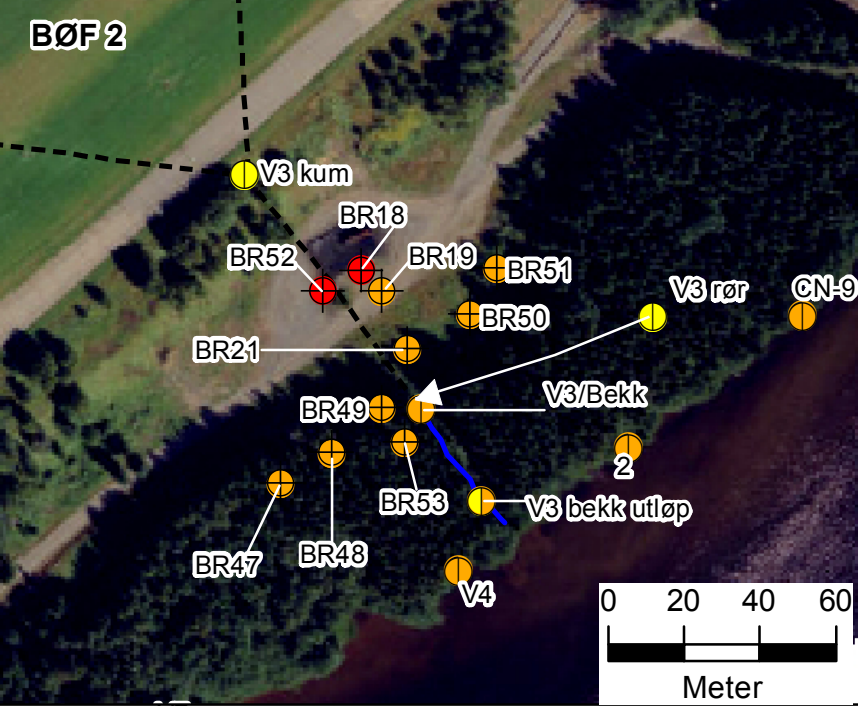
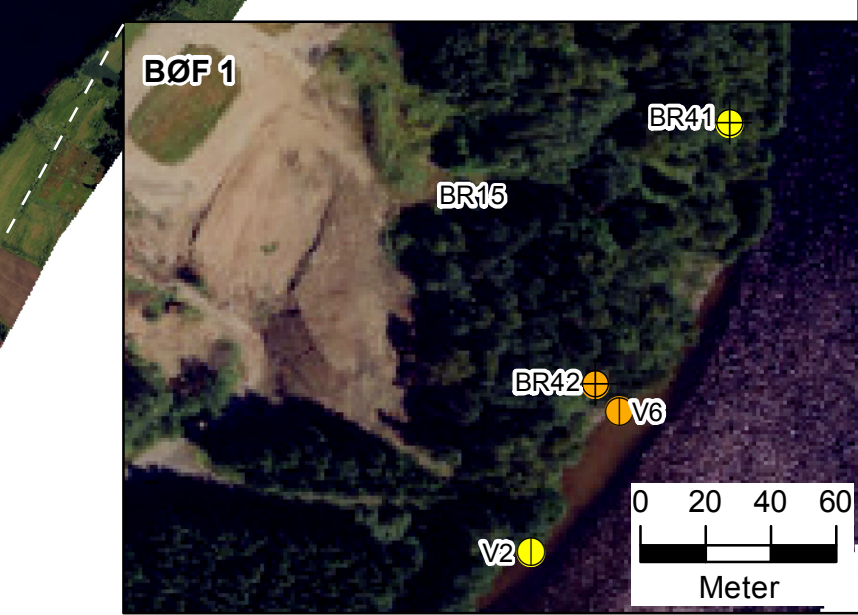


* prøve tatt på lavvann
** prøve tatt på høyvann



Grunnvannsbrønner		2011-10-25	2012-04-17	2012-06-19	2012-07-04	2013-07-03	2013-10-07	2014-06-16	2014-12-17	2015-03-20
BR18	PFOS	128000	37400	i.a.	i.a.	24900	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	45574	i.a.	i.a.	29800	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
BR19	PFOS	i.a.	i.a.	12900	28500	i.a.	13600	i.a.	20200	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	14700	36400	i.a.	21300	i.a.	24500	i.a.
BR21	PFOS	18600	23900	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	30181.5	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
BR41	PFOS	i.a.	7.9	i.a.	i.a.	6.3	<LOQ	25.4	52.8	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	243.7	i.a.	i.a.	118	37.8	291	250	i.a.
BR42	PFOS	2800	1040	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	579
	ΣPFAS	i.a.	2098.3	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	777
BR47	PFOS	i.a.	i.a.	1140	<LOQ	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	870
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	1430	734	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	1070
BR48	PFOS	i.a.	i.a.	863	1700	990	803	6340	270	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	1080	2370	1520	1070	7350	416	i.a.
BR49	PFOS	i.a.	i.a.	5130	2790	965	5040	3170	2350	2910
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	6930	3590	1460	5910	3720	2960	3340
BR50	PFOS	i.a.	i.a.	13000	9510	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	28900
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	20600	26400	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	32400
BR51	PFOS	i.a.	i.a.	18900	14700	37400	35000	27100	13000	12200
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	22800	18200	38900	37400	27600	13700	13000
BR52	PFOS	i.a.	i.a.	75100	i.a.	30600	21700	215000	28200	i.a.
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	87200	i.a.	40100	59500	228000	58900	i.a.
BR53	PFOS	i.a.	i.a.	718	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	9780
	ΣPFAS	i.a.	i.a.	1500	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	14700
Alle konsentrasjoner er gitt som ng/l										

Oljeutskiller		2013-06-13	2014-05-07	2014-09-23
OU BØF	PFOS	4390	124	1700
	ΣPFAS	15000	4630	17500
Alle konsentrasjoner er gitt som ng/l				



Kristiansand lufthavn Kjevik (ENCN)

Oversiktskart

Vann

PFOS / Σ PFAS grunnvannsbrønn (ng/l) *

- Ikke analysert
 - 0
 - <LOQ
 - LOQ-230
 - 230-36 000
 - >36 000
- * Venstre halvdel = PFOS
Høyre halvdel = PFAS

PFOS / Σ PFAS ferskvann (ng/l) *

- Ikke analysert
 - 0
 - <LOQ
 - LOQ-230
 - 230-36 000
 - >36 000
- * Venstre halvdel = PFOS
Høyre halvdel = PFAS

PFOS / Σ PFAS sjøvann (ng/l) **

- Ikke analysert
 - 0
 - <LOQ
 - LOQ-23
 - 23-7 200
 - >7 200
- ** Senter = PFOS
Ytre ramme = PFAS

- Avløp annet
- SpillVann
- Pumpespillvannsledning
- Overvann
- Glykolholdig spillvann
- Glykolholdig overvann
- Drensvann
- Avløp felles

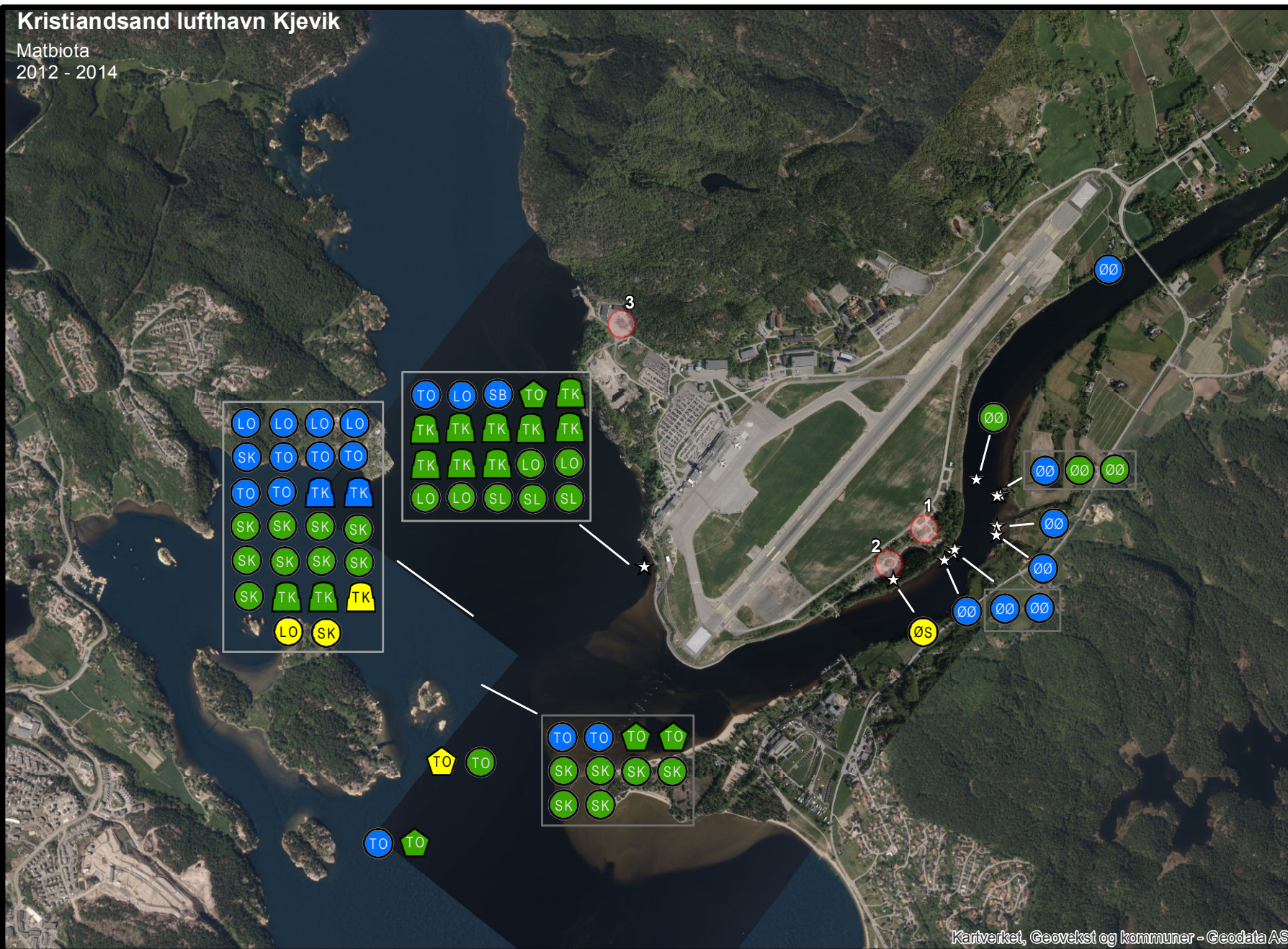
- ### Avrenning
- Deponi glykolforurensset snø
 - Overvannsledning
 - Avrenningsveg glykol
 - Bekkeresipient
 - Overvannssystem
 - Vannskille rullebane
 - Antatt avrenningsveg baneavising

i.a. = ikke analysert
LOQ = rapporteringsgrense
(tilsv. ikke påvist for ΣPFAS)

Vedlegg 5 Oversiktskart biota med prøvepunkter fra undersøkelser 2012 - 2014

Kristiansand lufthavn Kjevik

Matbiota
2012 - 2014



- ☆ prøvepunkt
- ▭ krabbesmør
- ◡ lever
- muskel
- flere individer
- LO lomre
- SL slettvar
- SB steinbit
- TK taskekrabbe
- SK skrubbe
- TO tors
- ØS ørret (stasjonær)
- ØØ ørret (sjø)
- PFAS/kg våtvekt**
- < LOD (Limit of detection)
- LOD - 9,1 µg
- > 9,1 - 91,3 µg
- > 91,3 µg
- brannøvingsfelt

0 500
Meter

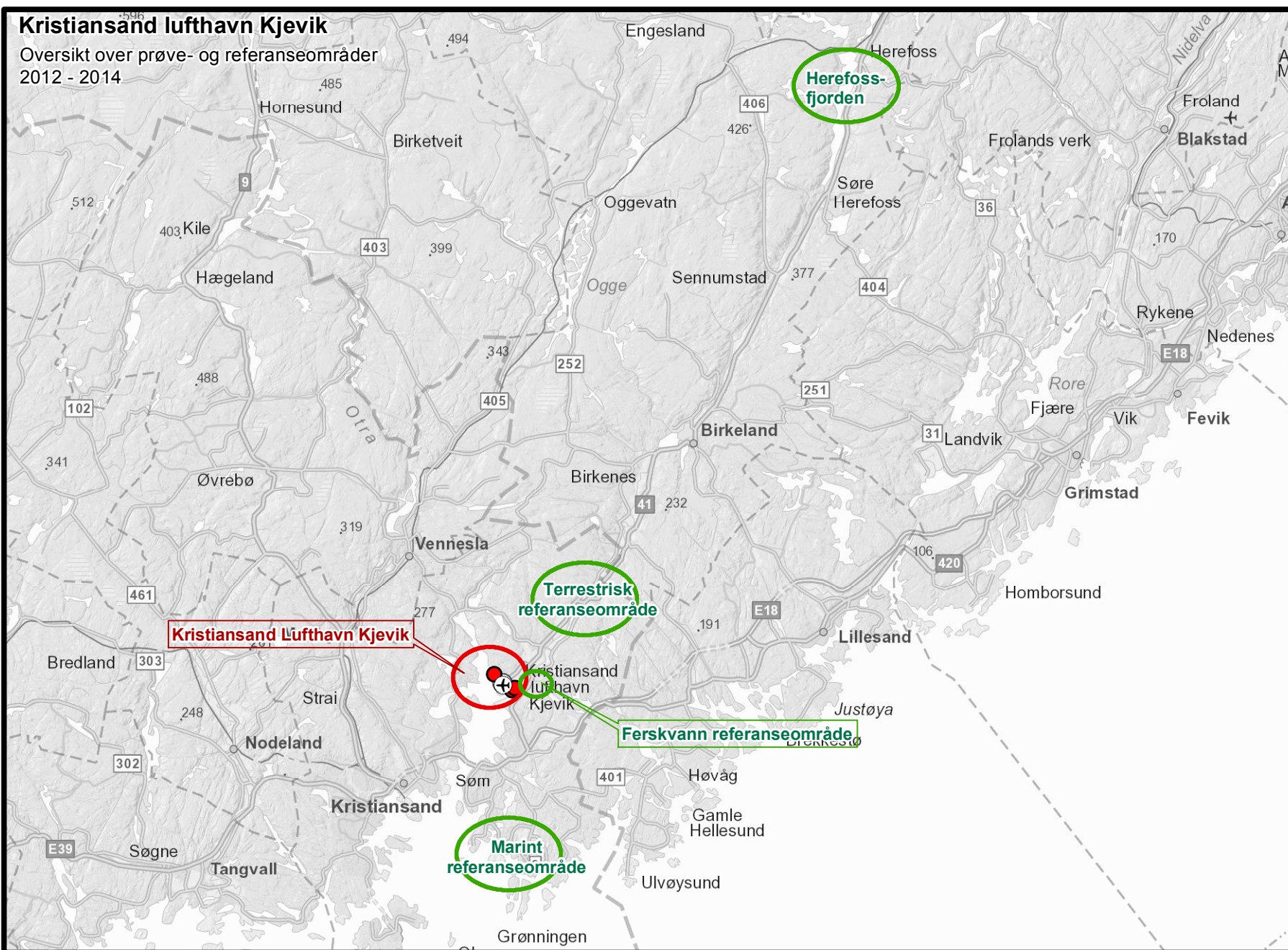
168186, NOERAT, 12.03.2015

SWECO

Kartverket, Geovekst og kommuner - Geodata AS

Kristiansand lufthavn Kjevik

Oversikt over prøve- og referanseområder
2012 - 2014



- prøveområde
- referanseområde
- ✈ flyplass
- brannøvingsfelt

0 5 000
Meter

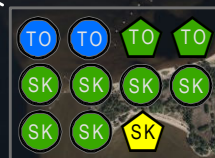
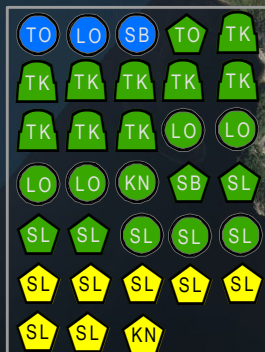
168186, NOERAT, 20.02.2015

SWECO



Kristiansand lufthavn Kjevik

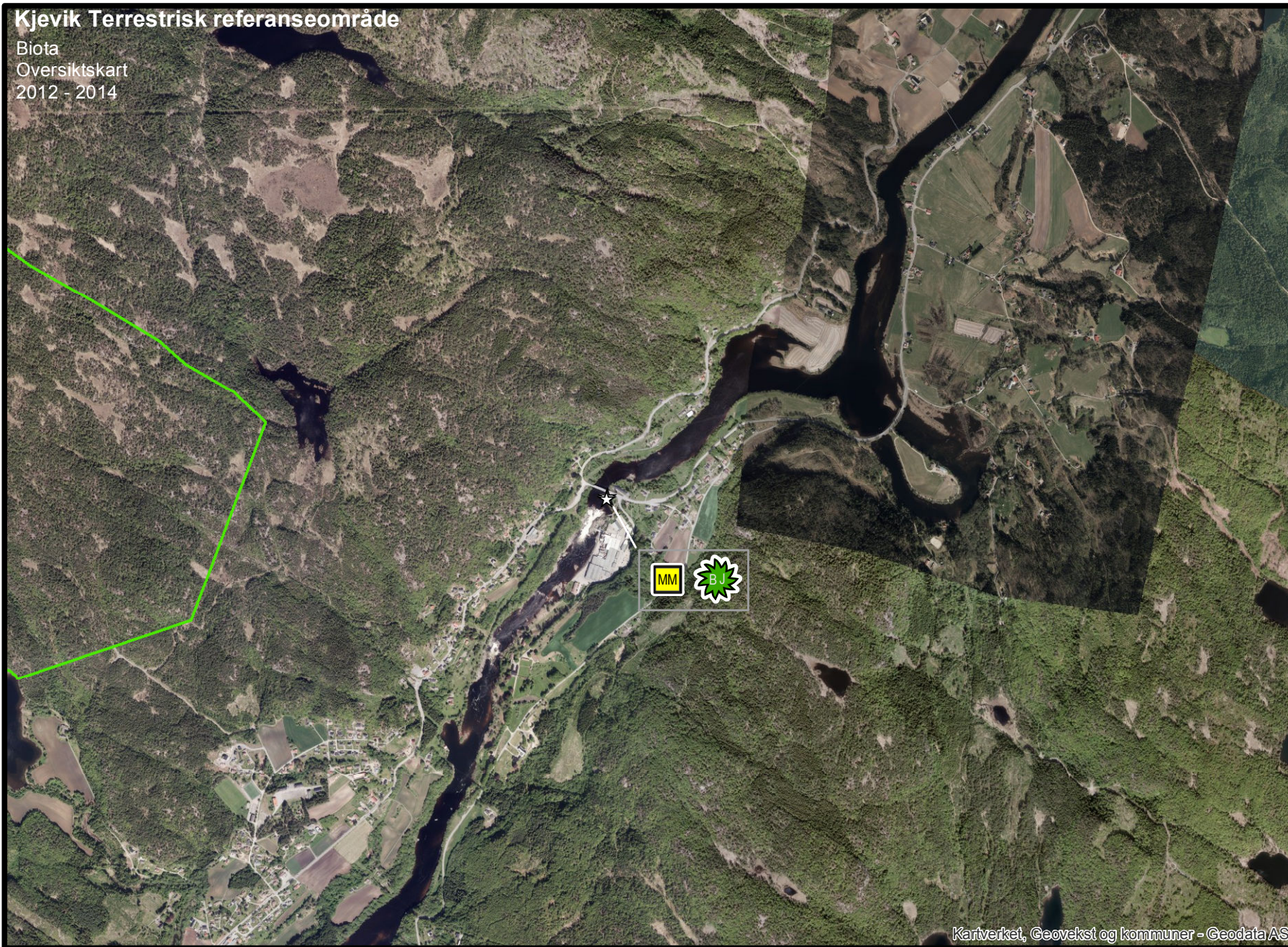
Biota
Oversiktskart
2012 - 2014



- ☆ prøvepunkt
- hele individer
- ◡ krabbesmør
- ◡ lever
- muskel
- ✱ blader
- flere individer
- BJ bjørk
- DP dyreplankton
- KN knurr
- KU kuskjell
- LO lomre
- MM mark
- MU skogmus
- NS nipigget stingsild
- SL slettvar
- SB steinbit
- RE reke
- TK taskekrabbe
- SK skrubbe
- SV svartor
- TO torsk
- TS trepigget stingsild
- ØS ørret (stasjonær)
- ØØ ørret (sjø)
- PFAS/kg våtvekt**
- < LOD (Limit of detection)
- LOD - 9,1 µg
- > 9,1 - 91,3 µg
- > 91,3 µg
- brannøvingsfelt

Kjevik Terrestrisk referanseområde

Biota
Oversiktskart
2012 - 2014



☆ prøvepunkt

□ hele individer

✱ blader

□ flere individer

BJ bjørk

MM meitemark

PFAS/kg våtvekt

□ < LOD (Limit of detection)

□ LOD - 9,1 µg

□ > 9,1 - 91,3 µg

□ > 91,3 µg

○ naturvernengrense

0 500
Meter

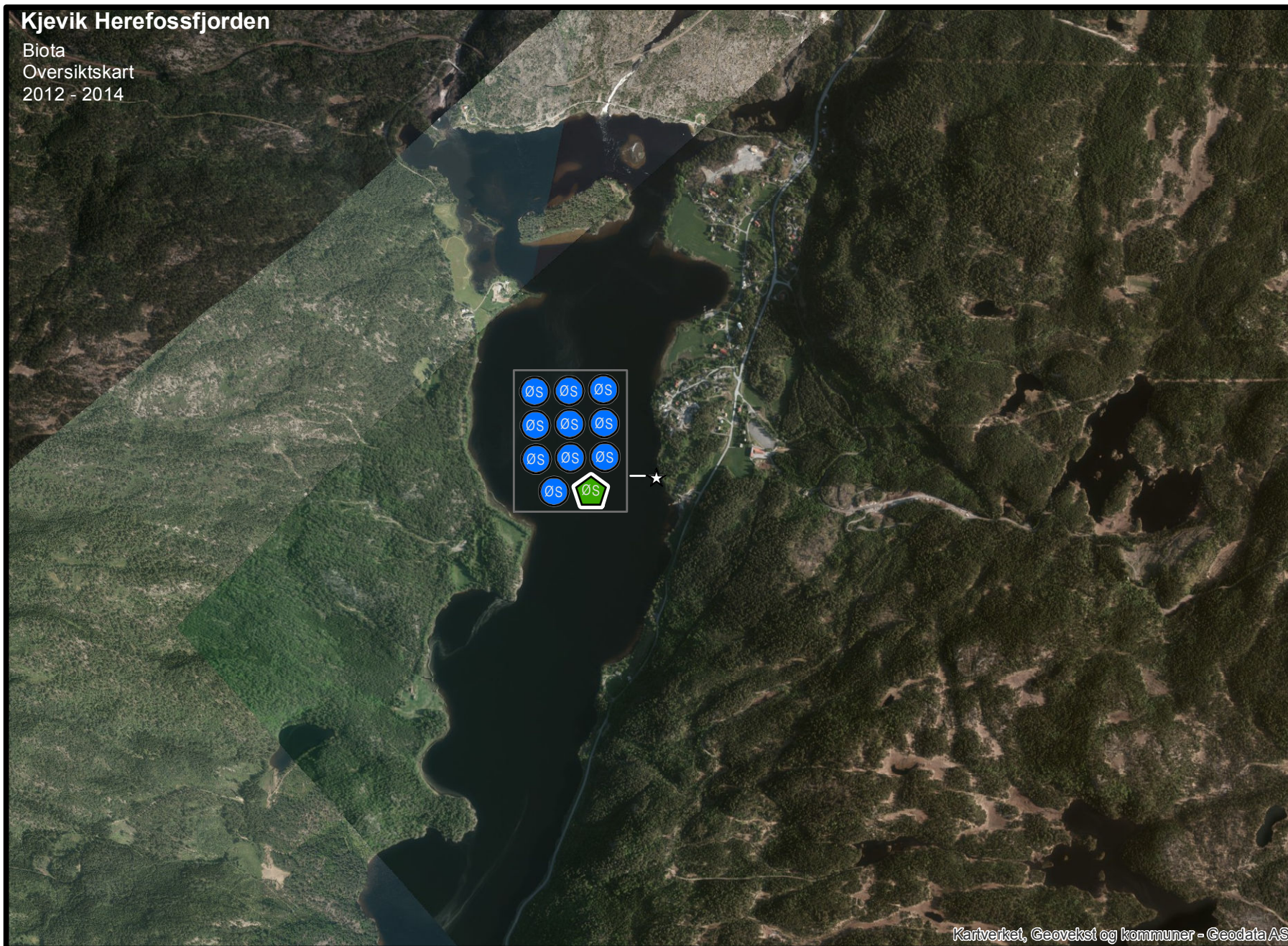
168186, NOERAT, 20.02.2015

Kartverket, Geovekst og kommuner - Geodata AS



Kjevik Herefossfjorden

Biota
Oversiktskart
2012 - 2014



☆ prøvepunkt

⬠ lever

○ muskel

□ flere individer

ØS ørret (stasjonær)

PFAS/kg våtvekt

■ < LOD (Limit of detection)

■ LOD - 9,1 µg

■ > 9,1 - 91,3 µg

■ > 91,3 µg

0 500
Meter

168186, NOERAT, 09.01.2015

Kartverket, Geovekst og kommuner - Geodata AS

Kjevik Marint referanseområde

Biota
Oversiktskart
2012 - 2014



- ☆ prøvepunkt
- hele individer
- ▢ krabbesmør
- ◡ lever
- muskel
- flere individer
- DP dyreplankton
- SB steinbit
- SK skrubbe
- TK taskekrabbe
- TO torsk
- PFAS/kg våtvekt**
- < LOD (Limit of detection)
- LOD - 9,1 µg
- > 9,1 - 91,3 µg
- > 91,3 µg
- naturvernengrense

0 500
Meter

168186, NOERAT, 20.02.2015

SWECO



Vedlegg 6 Brev Mattilsynet

AVINOR
v/Jarle Øvstedal
Postboks 150
2061 GARDERMOEN

Deres ref:
Vår ref: 2013/99423
Dato: 31.07.2013
Org.nr: 985 399 077

Statens tilsyn for planter, fisk, dyr og næringsmidler



VURDERING AV PFOS (PFC) I FISK OG VANN I NÆROMRÅDET TIL AVINORS FLYPLASSER

Mattilsynet er anmodet om å vurdere resultater fra en undersøkelse av polyfluorerte forbindelser (PFC) i biota for Harstad/Narvik lufthavn (Evenes). I tillegg ble analysene av PFC i biota rundt fire av de andre større flyplassene i landet, Kristiansand lufthavn (Kjevik), Haugesund lufthavn (Karmøy), Bergen lufthavn (Flesland) og Tromsø lufthavn (Langnes), inkludert i vurderingen. Resultatene fra undersøkelsene er utført av *Sweco Norge AS for Avinor finnes i rapporten: Evenes, 168183 av 22. februar 2013* og rapporten: *Resultatrapport PFC i biota – oppdragsnr. 168182 av 27. november 2012*, og begge tar for seg PFC i biota rundt de fem ovennevnte flyplasser. Undersøkelsene er av fisk, skalldyr, vannprøver og sediment, og påviser PFOS ved de fleste av flyplassenes nærområder, mens PFOA kun er påvist i liten grad.

Fra 2007 har det vært forbudt å produsere brannslukkingsskum /-kjemikalier som inneholder PFOS som igjen er en av de mest stabile av PFC-forbindelsene. Etter juli-2011 er det forbudt å benytte brannslukkingsskum /-kjemikalier som er produsert før 2007 og som inneholder PFOS. Påvisning av PFOS i miljøet rundt flyplassene skyldes antakelig utsig fra brannøvningsfeltene ved/på flyplassene. PFOS er en stabil forbindelse og utvaskingen fra grunnen er en svært sakte prosess som må forventes å vedvare i mange år framover.

Miljøet får likevel ny tilførsel av PFC-forbindelser selv etter forbudet for brannskum, fordi disse stoffene er å finne i svært mange produkter. Dette er funnet i bl.a. tekstiler, impregnering og rengjøringsmidler. I tillegg er kommunale avløp og deponier store kilder av PFC-forbindelser (også PFOS) ut til miljøet. PFOS og PFOA har negative helseeffekter i megadoser og det arbeides aktivt for å redusere utslippene av PFC-forbindelsene. Etterhvert erstattes disse kjemiske forbindelsene av andre og mindre skadelige komponenter, slik at tilførsel til miljøet begrenses.

Mattilsynets rolle

Mattilsynet kan gå ut med advarsel/kostholdsråd dersom innholdet av fremmedstoff/kontaminant i undersøkte matvarer overskrider de grenseverdier som er fastsatt for matvaren, eller som kan beregnes ut fra et fastsatt maksimalt inntaksnivå. Virksomheter har selv ansvar for at produktene deres er trygge, og Mattilsynets advarsel/kostholdsråd er for at fritidsfiskere skal unngå matvarer, også fisk og skalldyr, fra områder som er forurensset.

Mattilsynets grunnlag for vurderinger

Det er ikke fastsatt grenseverdier for fluorforbindelsene PFOS i mat, her i ferskvannsfisk og sjømat. EFSA (European Food Safety Authority) ga i 2008 ut en vitenskapelig vurdering av PFOS (og PFOA) – *Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts – Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain – The EFSA Journal (2008) 653, 1 – 131* av 21. februar 2008, der det ble etablert et tolerabelt daglig inntak (TDI) for PFOS på 0,15 µg/kg kroppsvekt (BW). For en person på 70 kg, blir det 73,5 µg PFOS per uke. Det normale inntaket (volum) av fisk og fiskeprodukter (inkludert skalldyr) per uke som undersøkelsen *Norkost 2010 – 2011* viser, gir et samlet inntak på 714 g (inkl. SD). Selv om hele inntaksvolumet av fisk og fiskeprodukter er fra de filetene med høyest innhold av PFOS (unntak nevnte lokasjon ved Kjevik lufthavn), vil TWI ikke overstiges. Det er også antatt at fisk og sjømat står for det alt vesentlige opptaket av PFOS til kroppen.

Inntak av fisk og skalldyr, særlig ferskvannsfisk og skalldyr, blir oftest noe sesongbetont. Om sommer og tidlig høst har de fleste et høyere inntak av fiskefilet og skalldyr enn resten av året, slik at et noe forhøyet inntak i den perioden jevner seg ut med et lavere inntak resten av året.

EFSA-rapporten har også undersøkt både drikkevann og overflatevann i Europa (og Asia). For drikkevann er de analyserte verdiene rapportert som svært lave eller under deteksjonsgrense. Drikkevann er estimert til å bidra med mindre enn 0,5 % av samlet eksponert mengde, og regnes derfor som neglisjerbar. Overflatevann kan inneholde noe eller lite PFC-forbindelser, men det er ikke rapportert om nevneverdige nivåer. Eksempler fra analyser av forskjellige matprodukt som f. eks. i Multi City Study (3M Company, 2001) som tar for seg ti landbruksprodukter (kjøtt, egg, vegetabler). Der ble det kun registrert lave verdier av PFOS i noen melkeprøver og en rå biff. Andre studier viser samme trend, med kun et fåtall prøver der det er registrert PFOS og da i helt små mengder. De fleste studiene er utført i tett befolkede områder i Europa, USA og Canada. Det er stort sett nær punktkilder / spesifikke utslipp at PFOS registreres i Norge, og vann i seg selv er ikke regnet som problemområde.

Mattilsynets vurderinger

Høyeste analyserte verdi av fiskefilet fra Lavangsvatnet ved Evenes viser 62 µg/kg PFOS, med en snittverdi for vannet på 37,2 µg/kg PFOS. Fra Langevatnet ved Flesland er høyeste verdi 59 µg/kg PFOS. I en liten bekk ved Kjevik er det målt i 9-pigg stingsild 1300 µg/kg, i 3-pigg stingsild 1700 µg/kg PFOS og i skrubbe 1000 µg/kg PFOS. Det er også målt høye verdier i lever fra røye og ørret ved flere flyplasser, men siden vi normalt ikke spiser innvoller fra selvfangst av disse artene er lever ikke vurdert. Mattilsynet har vurdert resultatene for fiskefilet, skalldyr og drikkevann med vekt på innhold av PFC-forbindelsen *perfluoroktylsulfonat (PFOS) (og perfluoroktylsyre (PFOA))*.

Tromsø lufthavn (Langnes)

Analysene av fisk og skjell viser ved Tromsø lufthavn ikke påvist kvantifiserbare mengder av PFC-forbindelsene. Her er det eneste miljøet rundt store flyplasser som ikke synes forurensset med PFOS eller de andre PFC-forbindelsene

Harstad/Narvik Lufthavn (Evenes)

Her er det påvist PFOS i filet og lever fra røye i Lavangsvatnet. Selv om leveranalysene påviser PFOS, er lever fra ferskvannsfisk ikke regnet som mat. Snittverdien av PFOS fra målingene i filet fra røye fra Lavangsvatnet er 37,2 µg/kg, som likevel vil gi et opptak som blir godt under TWI og kan tangere eller så vidt overskride TDI. Om en legger til grunn Norkost 3-undersøkelsens antatte inntaksvolum, overskrides ikke PFOS-verdiene TWI. Det er likevel svært tydelig at Lavangsvatnet spesielt tilføres PFC-forbindelser, og utsig fra grunnen fortsetter selv etter forbudet om bruk i brannskum. Ved en markert økning av nivået, kan kostholdsråd for Lavangsvatnet bli aktuelt. For Langevatnet ved samme lufthavn anses verdiene av PFOS som moderate til lave i mattrygghetssammenheng.

Bergen lufthavn (Flesland)

Analysene fra Langevatn (ferskvann) gir også her verdier av PFC-forbindelser, med opptil 59 µg/kg PFOS i filet fra ørret. Resultatet viser en tilførsel av PFOS som lekker ut i vannet. De målte verdiene fra fiskefilet ville gi et opptak som er under TWI, men vannet er inne på selve flyplassområdet og allmenheten har ingen adgang der. Det er ellers kun påvist forekomst av PFC-forbindelser i noen fisk- og skjellprøver fra sjøen i nærområdet til flyplassen.

Haugesund lufthavn (Karmøy)

Haugesund lufthavn har laveste påvisning av PFOS som er undersøkt i denne studien, og det er kun registrert lav påvisning av PFOS i lomre og skrubbe.

Kristiansand lufthavn (Kjevik)

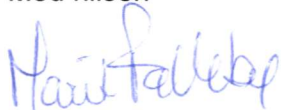
Det er her de høyeste verdiene av PFOS er målt i 9-pigg stingsild, 3-pigg stingsild og iskrubbe som er fangstet i en bekk som renner fra et gammelt brannøvingsfelt og videre ut i Topdalselva. På denne lokaliteten Hovedstasjon ferskvann – Topdalselva, viser analyser av 9-pigg stingsild 1300 µg/kg, for 3-pigg stingsild 1700 µg/kg og av skrubbe (en blandingsprøve) 1000 µg/kg. Analyseverdier for innhold av PFOS i reker utenfor/ved utløpet av Topdalselva er påvist, med kun analyseresultater på 8,2 µg/kg PFOS. Den forurensede lokaliteten her ligger inne på flyplassen ved det gamle brannøvingsfelt, og allmenheten har ikke adgang til fiske her. Betydelige verdier av PFOS er registrert umiddelbart ved bekkens utløp til Topdalselva, ellers er små mengder registrert i fisk og skalldyr, men heller ikke her har allmenheten adgang til fiske.

Mattilsynets konklusjon

På bakgrunn av ovennevnte rapporter og gjennomgang vurderer Mattilsynet at mattryggheten er ivaretatt, og derfor er det ikke grunnlag for advarsel/kostholdsrad for filet av ferskvannsfisk eller sjømat på grunn av PFOS det er analysert for i undersøkelsene. Lever fra disse fiskeslagene regnes ikke som menneskemat, og vurderes ikke selv om det er målt høye verdier.

Mattilsynet ser heller ikke behov for advarsler i forhold til PFOS i drikkevann og overflatevann i områdene rundt flyplassene som er undersøkt. Selv om det finnes tydelig forurensing i filet og lever fra røye og ørret av PFC-forbindelser på eller i umiddelbar nærhet av noen flyplasser, viser analyser av fisk og skalldyr stort sett lave verdier der allmenheten har adgang.

Med hilsen

for 
Lise Torkildsen
seksjonssjef

Kopi til:

Fiskeri- og kystdepartementet (e-post)
Klima- og forurensingsdirektoratet (e-post)