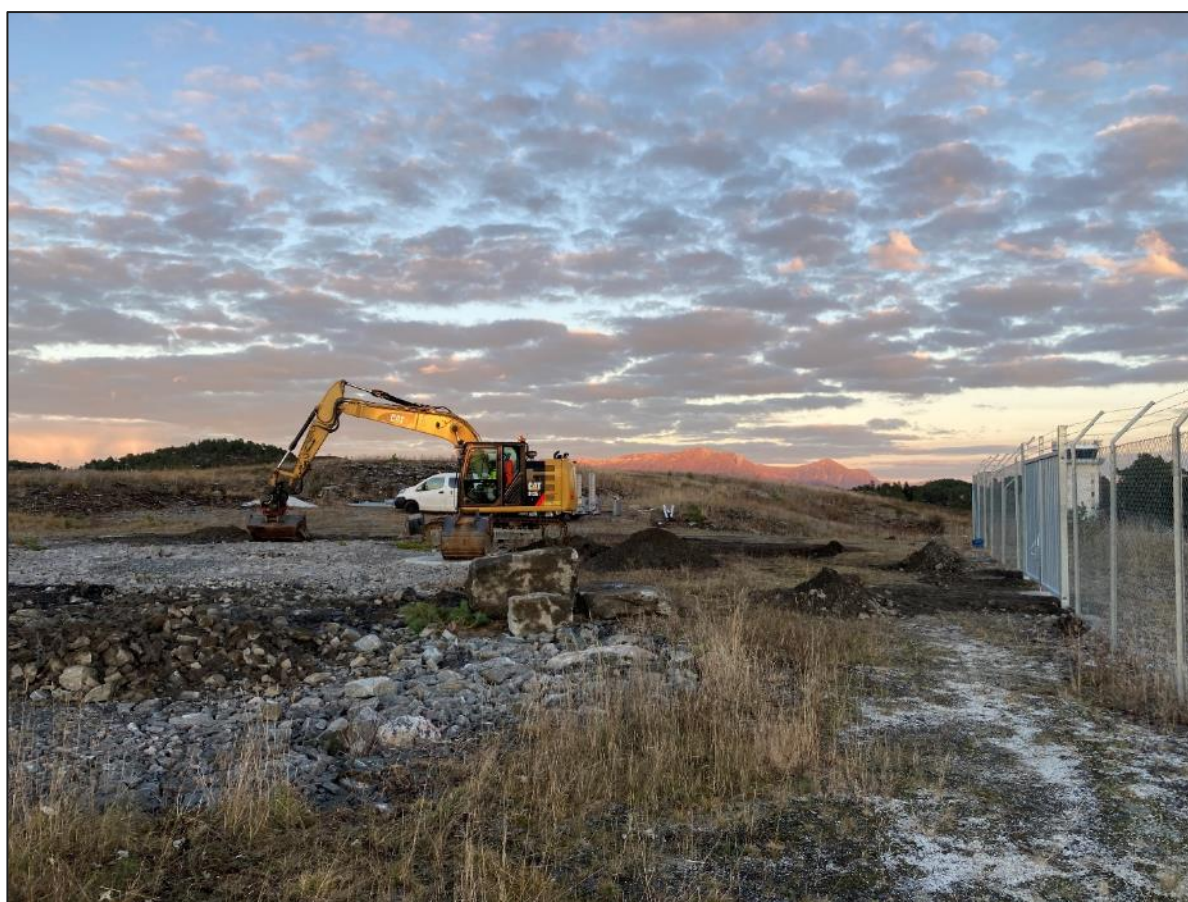


AVINOR

# TILTAKSPLAN FOR PFAS- FORURENSET GRUNN SOM FØLGE AV BRANNØVING

KRISTIANSUND LUFTHAVN KVERNBERGET



PROSJEKTNR.

A232698

DOKUMENTNR.

A232698-RAP013

VERSJON

01

UTGIVELSESDATO

28.04.2023

BESKRIVELSE

Tiltaksplan for PFAS-  
forurenset grunn

UTARBEIDET

Heidi Knutsen,  
Eirik Fjeld

KONTROLLERT

Arve Misund

GODKJENT

Stein B. Olsen

# INNHOOLD

Sammendrag	4
1 Innledning	7
1.1 Miljømål	8
1.2 Kort om PFAS-forbindelser	8
1.3 Klassifisering av PFAS og grenseverdier	9
1.4 Grunnlagsdokumenter	11
1.5 Aktuelle kildeområder og behov for supplerende undersøkelser <sup>12</sup>	
2 Områdebeskrivelse	14
2.1 Lokalisering	14
2.2 Historisk bruk av brannøvingsfelt	15
2.3 Grunnforhold	16
2.4 Avrenningsforhold og resipient	17
2.5 Naturverdier og friluftsområder	23
3 Tidligere utførte undersøkelser	27
4 Miljøtekniske undersøkelser 2021-2023	34
4.1 Feltarbeid	34
4.2 Kjemiske analyser	35
4.3 Jord	36
4.4 Kornfordelingsanalyser	65
4.5 Vann og sediment	69
4.6 Biota	89
5 Mengde PFAS i jord	95
5.1 Metode for mengdeberegning	96
5.2 Resultater for mengdeberegninger	97
6 Spredningsvurdering for BØFB	101
6.1 Beregningsverktøy	101
6.2 Spredningsveier	101
6.3 Input verdier	102
6.4 Spredningsmengder fra modell	104
6.5 Beregnet spredning via målt PFAS konsentrasjon i grunnvann og overflatevann	105
7 Risikovurdering dagens situasjon BØFB	106
7.1 Beregningsverktøy	107
7.2 Eksponeringsveier	107
7.3 Input verdier	108
7.4 Resultater basert på standardverdier	110
7.5 Resultater basert på aktuell arealbruk	111
7.6 Vurdering av risiko basert på dagens arealbruk	111

7.7	Risiko dagens situasjon BØFB skråning	114
8	Aktuelle tiltaksmetoder	117
8.1	Egnethetsvurdering av tiltaksmetoder	117
8.2	Oppgraving med ekstern deponering	120
8.3	Oppgraving med jordvasking	121
9	Kostnadsberegninger	122
9.1	Metode og forutsetninger	122
9.2	Kostnader	125
10	Foreslått tiltaksmetode og miljømål	126
10.1	Foreslått tiltak og akseptkriterier	126
10.2	Spesifikke miljømål	131
10.3	Gjennomføring av tiltak	132
10.4	Overordnet plan for massedisponering	134
11	Fremdrift	135
11.1	Planlagte bygge- og graveprosjekter	135
11.2	Fremdriftsplan	135
12	Overvåking og videre undersøkelser	135
12.1	Overvåking i anleggsfase	138
12.2	Prøvetaking for sluttokumentasjon	138
12.3	Overvåking etter anleggsfasen	139
13	Referanser	140

## VEDLEGG

Vedlegg A Løsmassebeskrivelser

Vedlegg B Andre stoffer

Vedlegg C Vertikal fordeling av sum PFAS BØFB

Vedlegg D Nedbørsfelt generert i Scalgo Live

Vedlegg E Etablering av grunnvannsbrønner

Vedlegg F Fremdriftsplan

Vedlegg G Berørte parter

Vedlegg H Leseliste

Vedlegg I Analyserapporter

# Sammendrag

## Bakgrunn

Miljødirektoratet har rettet pålegg til Avinor AS om å utføre supplerende undersøker av PFAS-forurensning ved Kristiansund lufthavn, Kvernberget, samt pålegg datert 16.09.22 om utarbeidelse av tiltaksplan for lufthavnen. På oppdrag fra Avinor har COWI AS gjennomført miljøundersøkelser på lufthavnen i 2021-2023, samt utarbeidet foreliggende tiltaksplan for PFAS-forurenset grunn basert på data fra tidligere og supplerende undersøkelser.

Formålet med den supplerende kartleggingen har vært å avgrense forurensningen av PFAS-forbindelser i grunnen rundt kildeområder, samt undersøke omfang av spredning i vann, sediment og biota.

Hovedkildeområdet er vurdert å være det nedlagte brannøvingsfeltet BØFB sørvest på Kristiansund lufthavn. Det er også gjort undersøkelser på andre potensielle kildeområder, hhv. det aktive brannøvingsfeltet (BØFA), terminalområdet (TERM) og vestlig ende av rullebanen (RULV). Det er i 2021-2023 samlet inn jordprøver fra totalt 140 prøvepunkter, hvorav hovedvekten av jordprøvene er innsamlet ved BØFB.

Tiltaksplanen er utarbeidet på skissenivå og fokuserer på hovedkildeområdet BØFB. Tiltaksplanen vil brukes som grunnlag for senere detaljering og gjennomføring av tiltak.

## Forurensningssituasjon

### BØFB

På BØFB er det påvist høye konsentrasjoner av sum PFAS i den sentrale delen av det tidligere brannøvingsfeltet (500 til >3000 µg/kg). Massene i den sentrale delen av feltet består i hovedsak av sprengsteinmasser, samt at det på deler av feltet mot øst og vest også er registrert naturlig jord/myrjordmasser. I punktene mot øst, vest og nord er det generelt påvist lavere PFAS-konsentrasjoner (<30 µg/kg for de fleste punktene). Basert på prøvegravinger er det relativt grunt til fjell i den sentrale delen av feltet (1-2 meter med sprengsteinmasser), og mot øst er det til dels fjell i dagen. Mot vest er det myr, og mot sør faller terrenget mot en bratt og skogkledd skråning som ligger ovenfor et boligfelt som ligger ca. 35 m lavere og i en avstand på ca. 100 m fra BØFB. Skråningen består av et tynt løsmassedekke over fjell (opp mot ca. 30 cm), med fjell i dagen flere steder.

I den øvre delen av skråningen er det påvist høye konsentrasjoner av sum PFAS (1000-4000 µg/kg). Konsentrasjonene er generelt lavere mot øst og vest (<150 µg/kg), men ikke tilstrekkelig avgrenset mot boligfeltet i sør. Det er derfor pågående arbeid med informasjon og forespørsel om prøvetaking på privat eiendom for å avgrense forurensningen og avdekke eventuell risiko og behov for tiltak. Resultatene fra dette arbeidet vil oversendes Miljødirektoratet som et tilleggsnotat til tiltaksplanen.

Det er for området «BØFB flaten» ved og rundt den sentrale delen av det tidligere brannøvingsfeltet beregnet en total mengde sum PFAS på 17 kg innenfor undersøkt areal på

ca. 21 000 m<sup>2</sup> og et totalt volum masser på ca. 40 000 m<sup>3</sup>. Analyseresultater fra grunnvannsbrønner i det sentrale brannøvingsområdet viser høye konsentrasjoner (1400-470 000 ng sum PFAS/l), noe som indikerer utlekking og spredning fra brannøvingsfeltet.

I «BØFB skråningen» like nedstrøms brannøvingsfeltet er det beregnet en relativt lav mengde sum PFAS på ca. 1,7 kg innenfor undersøkt areal på ca. 22000 m<sup>2</sup> og et totalt volum masser på ca. 3000 m<sup>3</sup>, hvilket skyldes liten mektighet av løsmasser over fjell (antatt i gjennomsnitt ca. 15 cm). Det er påvist høye konsentrasjoner av PFAS i prøvetatte bekker i skråningen (1900-24000 ng sum PFAS/l), som følge av avrenning fra BØFB flaten.

Hovedavrenningen fra brannøvingsfeltet ledes via skråningen til Byskogbekken og videre ut i sjøresipienten Omsundet. I Byskogbekken er det målt relativt lavere konsentrasjoner av sum PFAS enn i grunnvannet på BØFB og i bekkene i skråningen nedenfor, som følge av fortykning (110-160 ng/l, prøvepunkt). Det er beregnet en spredning på ca. 0,3 kg PFAS/år fra brannøvingsfeltet basert på målte konsentrasjoner i Byskogbekken og antatt avrenning og nedbørsfelt.

Resultater for biota (torsk og blåskjell), sjøvann og -sediment fra Omsundet tyder på at det er en lokal, men svak påvirkning av PFAS-forurensning i resipienten. Det er ikke påvist overskridelser av vannforskriftens EQS-verdi for PFOS i biota på 9,1 µg/kg, og nivåene var langt under  $Q_{sec,pois}$  på 33 µg/kg PFOS, som er grenseverdi for beskyttelse av predatorer mot sekundær forgiftning. En lokal påvirkning fra brannøvingsfeltet synes neglisjerbar basert på analyser av torsk.

#### BØFA

Ved BØFA er det utført supplerende jordprøvetaking til tidligere kartlegging for å gjøre en bedre avgrensning av det forurensede området. Resultater fra supplerende og tidligere undersøkelser ved BØFA viser både lave, moderate og delvis høye konsentrasjoner av PFAS i jord ved BØFA (fra <3 µg/kg til opptil 860 µg/kg). Massene består for det meste av sprengsteinsfylling. I den vestlige delen av brannøvingsfeltet er det basert på prøvegravinger ca. 1-2,4 m til fjell, og mot øst øker dybden til opp mot 7,5 m.

Det er for BØFA beregnet en total mengde sum PFAS på ca. 1,4 kg innenfor undersøkt areal på ca. 6300 m<sup>2</sup> og et totalt volum masser på ca. 19 000 m<sup>3</sup>. Estimater er beheftet med en viss usikkerhet ettersom det ikke er utført prøvetaking av masser under betongplaten sentralt på feltet. Analyseresultater fra grunnvannsbrønner på feltet viser konsentrasjoner av PFAS på nivå med hva som kan forventes basert på konsentrasjoner i jord på feltet (1400-12000 ng/l).

Avrenning fra overflaten på plattformen ved BØFA samles opp og ledes til oljeutskiller og videre til pumpekum, som pumper vannet på spillvannssystemet som fører det videre ut i det kommunale utløpet i Omsundet sør for lufthavnen (påvist 1600 ng sum PFAS/l i oljeutskilleren under prøvetaking november 2021). Grunnvann og overflateavrenning som ikke fanges opp av spillvannssystemet ved BØFA drenerer hovedsakelig østover, mot en fangdam i et søkk øst for brannøvingsfeltet. Vannet i fangdammen ledes videre i rør ut i sjøresipienten Gløsvågen, nord for lufthavnen. Fangdammen mottar også noe avrenning fra øst. Det er påvist noe PFAS i overflateavrenningen fra BØFA (97-520 ng/l), hvilket viser at det forekommer noe spredning fra brannøvingsfeltet og videre ut i Gløsvågen.

Det er beregnet en spredning på ca. 0,1 kg PFAS/år fra brannøvingsfeltet basert på målte konsentrasjoner i innløpet til Vågen mot Gløsvågen i fangdammen øst for BØFA, og anslått avrenning og nedbørsfelt. I tillegg er det beregnet et mindre utslipp på ca. 1 g/år via oljeutskilleren på brannøvingsfeltet.

I likhet med Omsundet tyder resultater for biota (torsk og blåskjell), sjøvann og -sediment fra Gløsvågen på at det er en lokal, men svak påvirkning av PFAS-forurensning i resipienten. Det er ikke påvist overskridelser av vannforskriftens EQS-verdi for PFOS i biota på 9,1 µg/kg, og nivåene var langt under  $Q_{sec,pois}$  på 33 µg/kg PFOS, som er grenseverdi for beskyttelse av predatorer mot sekundær forgiftning.

Beregnete mengder PFAS på BØFA er vurdert som så lave at de ikke gir selvstendig grunnlag for tiltak. Dette understøttes av resultatene fra biotaundersøkelsen i 2021 (se over).

#### TERM og RULV

Prøver fra terminalområdet (TERM og TERM øst) og vestlig del av rullebanen (RULV) viste generelt relativt lave konsentrasjoner av sum PFAS (<30 µg/kg), og områdene er ikke ansett som kildeområder for PFAS-forurensning av betydning.

#### **Foreslått tiltak**

##### BØFB

Basert på en gjennomgang av forurensningssituasjonen ved de undersøkte delområdene på Kristiansund lufthavn, er BØFB ansett som et betydelig kildeområde. Dette sammen med områdets nærhet til bebyggelsen i sør tilsier at det bør gjøres tiltak for dette området selv om det ikke er påvist store konsekvenser for resipienten. For de øvrige undersøkte områdene på lufthavnen vurderes det ikke å være behov for tiltak (eventuell risiko og behov for tiltak i skråningen nedenfor BØFB vil som nevnt ovenfor beskrives i tilleggsnotat til denne tiltaksplanen).

Med utgangspunkt i forurensningssituasjonen, aktuelle tiltaksmetoder og tilhørende kostnader, er det for gammelt brannøvingsfelt BØFB ved Kristiansund lufthavn foreslått et tiltak med oppgraving og deponering av masser med konsentrasjon av sum PFAS >150 µg/kg. Det foreslåtte tiltaket vil innebære at om lag 90 % av den kartlagte PFAS-forurensningen fjernes fra lokaliteten (ca. 15 av 17 kg PFAS). Basiskostnad for tiltaket er estimert til 34 MNOK eks. MVA, med en kost/effekt på 2,3 MNOK eks. MVA per kg PFAS.

Det foreslåtte tiltaket innebærer oppgraving av et totalt volum masser på ca. 15000 m<sup>3</sup>. For å minimere mengden masser til deponi, og samtidig stimulere til økt gjenbruk av masser, kan de oppgravde massene siktes gjennom et mobilt sikteverk slik at utsorterte, grovere masser uten synlig forurensning kan gjenbrukes på lokaliteten ved tilbakefylling til gravegrop. Dette er ansett som hensiktsmessig ettersom massene innenfor det mest forurensede området på BØFB består av en relativt stor andel grovere masser (sprengsteinsfylling) som kan siktes ut og gjenbrukes. Det forventes at spredningen via bekkene i skråningen til Byskogbekken nær opphører etter gravetiltak ved BØFB.

# 1 Innledning

Miljødirektoratet gav den 14. mai 2020 Avinor pålegg om å utføre miljøundersøkelser med sikte på å utarbeide tiltaksplan for flere av Avinors lufthavner, hvorav Kristiansund lufthavn, Kvernberget (ICAO kode: ENKB), var en av disse (Miljødirektoratet, 2020a). Av den grunn har COWI på oppdrag for Avinor utført miljøtekniske undersøkelser ved Kristiansund lufthavn gjennom flere prøvetakingsrunder i perioden 2021-2023. Videre mottok Avinor høsten 2022 et samlet pålegg om utarbeidelse av tiltaksplaner for fem lufthavner, der oversendelse av tiltaksplanen for PFAS-forurensede områder på Kristiansund lufthavn har frist for oversendelse til Miljødirektoratet 1. mai 2023. Pålegget inneholder konkrete vilkår til innholdet i tiltaksplanen, og disse kravene svares ut i denne tiltaksplanen. De miljøtekniske undersøkelsene fra 2021-2023 danner sammen med tidligere undersøkelser grunnlaget for tiltaksplanen.

Kristiansund lufthavn, og spesielt det nedlagte brannøvingsfeltet BØFB (se Figur 1), er forurenset av PFAS-forbindelser som følge av tidligere øvelser med PFAS-holdig brannsluknings-skum. Den dominerende PFAS-forurensningen er PFOS (perfluoroktylsulfonat), som tidligere ble anvendt i brannskum. Bruk av brannskum med PFOS som hovedkomponent ble faset ut av Avinor i 2001, og skum som inneholdt andre PFAS-forbindelser ble benyttet frem til 2011 (Avinor, 2022). Dette skummet kan også ha inneholdt mindre mengder PFOS.



Figur 1 Utklipp fra norgeskart.no som viser oversiktskart over Kristiansund lufthavn, Kvernberget (ICAO kode: ENKB). Omtrentlig plassering av det nedlagte brannøvingsfeltet, BØFB, og det aktive brannøvingsfeltet, BØFA, er vist med røde rektangler.

## 1.1 Miljømål

Miljødirektoratet har angitt følgende overordnede miljømål for Avinors lufthavner hvor det er påvist PFAS i grunnen (Miljødirektoratet, 2022a):

1. PFAS-forurensning ved og fra Avinors lufthavner skal ikke skade helse eller miljø. Herunder skal ikke forurensningen være til hinder for at vannforskriftens mål om god miljøtilstand i vannforekomster kan oppnås.
2. Utslipp og spredning av PFOS og andre PFAS fra lufthavnene skal stanses eller reduseres, med mål om at de samlede utslippene av PFAS fra Avinors lufthavner skal reduseres så langt det lar seg gjøre.

I tillegg er det gitt følgende tilleggskrav (Miljødirektoratet, 2022a):

3. Redegjøre for om dagens situasjon er i konflikt med de overordnede miljømålene.
4. Med utgangspunkt i de overordnede miljømålene og identifiserte konflikter med dem: foreslå flere stedsspesifikke miljømål for hele lufthavnens område.
5. Foreslå ytterligere stedsspesifikke miljømål knyttet til enkeltlokalteter/forurensede delområder eller vannforekomster inne på lufthavnsområdet.

Målet med de supplerende undersøkelsene i 2021-2023 har vært å avgrense forurensningen av PFAS-forbindelser ved lufthavnens brannøvingsfelt (spesielt BØFB), samt undersøke om det finnes ukjente «hot spots» på lufthavnen og eventuelt lokalisere disse. For øvrig har det vært et mål å undersøke spredning av PFAS til sjø, og om dagens spredning gir forhøyede konsentrasjoner i biota og derved uakseptabel risiko for mennesker og økologi lokalt.

## 1.2 Kort om PFAS-forbindelser

PFAS er en stor gruppe organiske forbindelser med vann- og fettavvisende egenskaper som har vært brukt i en rekke produkter siden 1950-tallet, deriblant i brannslukningsskum, impregneringsmidler, slippbelegg i kjeler og stekepanner (teflon), matvareemballasje, kosmetikk, skismøring m.m. (FHI, 2020a) PFAS-forbindelser består av en fullt fluorert (perfluorert) eller delvis fluorert (polyfluorert) karbonkjede koblet til en funksjonell gruppe. Karbon-fluor-bindingene er svært sterke, hvilket medfører at stoffene vanskelig brytes ned (Buck, 2011).

Den fluorinerte alkylkjeden er hydrofob, dvs. at den frastøtes og/eller løses dårlig i vann. Den funksjonelle gruppen i enden på PFAS-molekylet er vanligvis ladet eller ionisk, og har hydrofile egenskaper, dvs. at denne delen av PFAS molekylet tiltrekkes og/eller løses i vann. Dette gjør at PFAS-forbindelser danner en vann- og fettavstøtende overflate når de benyttes som overflatebehandling på forskjellige produkter.

Stoffgruppen består av over 6000 forbindelser, hvorav en rekke av dem er oppført på Miljødirektoratets prioritetsliste (Miljøstatus, 2022a): PFOS (2002), PFOA (2007), C9-PFCA – C14-PFCA (2014), PFHxS (2017), PFBS (2019), PFHxA (2020) og HFPO-DA (GenX, 2020). Prioritetslisten er en liste over miljøgifter som regnes for å utgjøre en alvorlig trussel mot helse og miljø, og med nasjonal målsetning om å stanse bruk og utslipp av stoffene (Miljøstatus, 2022b). Stoffene er generelt tungt nedbrytbare (persistente), oppkonsentreres i næringskjeden,



og kan være giftige for organismer (Miljøstatus, 2022a). Det er mange kilder til PFAS, noe som vises i diffuse bakgrunnskonsentrasjoner i de fleste områder nasjonalt og internasjonalt (Miljøstatus, 2023).

## 1.3 Klassifisering av PFAS og grenseverdier

### 1.3.1 Løsmasser

Miljødirektoratet har foreløpig ikke satt tilstandsklasser for sum PFAS i jord, og det er kun PFOS som har en normverdi (100 µg/kg). Denne normverdien er under utredning, og det forventes en ny og lavere normverdi. Verdien kan bli så lav som 2 µg/kg (Miljødirektoratet, 2020b). Grensen for når masser forurenset med PFOS/PFOA klassifiseres som farlig avfall er satt til 3000 mg/kg (NFFA, 2017). For PFOS gjelder imidlertid også grenseverdi på 50 mg/kg for det som må destrueres i henhold til produktforskriftens kapittel 4 (POPs forordningen).

Det er ikke satt generelle akseptkriterier for konsentrasjoner av sum PFAS i jord. En stedsspesifikk risikovurdering, kost/effekt og samlet miljønytte av tiltak vil være styrende for hvilken konsentrasjonsgrense akseptkriteriet ved en PFAS-forurenset lokalitet vil få.

I PFAS-prosjektet til Avinor har konsentrasjonsintervaller fulgt samme mal i rapporteringen. Det er brukt betegnelsen lave/moderate konsentrasjoner av sum PFAS for masser i intervallet mellom rapporteringsgrensen (LOQ) og 150 µg/kg. For konsentrasjonsinndeling er det benyttet de samme syv konsentrasjonsintervallene (µg/kg) som er gitt i Miljødirektoratets pålegg om samlet vurdering av PFOS-forurensning ved Avinors lufthavner (Miljødirektoratet, 2020a). Konsentrasjonsintervallene er vist med farger i Tabell 1. Det er benyttet den samme inndelingen for PFOS og for sum PFAS.

Tabell 1 Konsentrasjonsintervaller for innhold av PFOS og  $\Sigma$ PFAS i jord (µg/kg).

$\Sigma$ PFAS og PFOS i jord (µg/kg)
<3
3-30
30-150
150-500
500-1000
1000-3000
>3000

### 1.3.2 Vann og sediment

Miljøkvalitetsstandarder (EQS) i vann og sediment er kun satt for PFOS og dets derivater, og PFOA (Tabell 2). Med hensyn til kroniske effekter ved langtidseksponering, er miljøkvalitetsstandard AA-EQS (årlig gjennomsnittsverdi) for PFOS og dets derivater i ferskvann og kystvann satt relativt lavt. På bakgrunn av at PFOS er lite akutt toksisk er MAC-EQS (maksimal verdi) satt til en høyere verdi. For PFOA i vann og sediment er det kun gitt AA-EQS, og denne er lik for både ferskvann og kystvann (Miljødirektoratet, 2016), se Tabell 2.

Tabell 2 Miljøkvalitetsstandarder (EQS) for PFOS og PFOA i ferskvann og kystvann (Miljødirektoratet, 2020c).

Vann	AA-EQS ferskvann	MAC-EQS ferskvann	AA-EQS kystvann	MAC-EQS kystvann
PFOS	0,65 ng/l	36000 ng/l	0,13 ng/l	7200 ng/l
PFOA	9100 ng/l	-	9100 ng/l	-
Sediment	AA-EQS ferskvann	MAC-EQS ferskvann	AA-EQS kystvann	MAC-EQS kystvann
PFOS	2,3 µg/kg	360 µg/kg	0,23 µg/kg	72 µg/kg
PFOA	713 µg/kg	-	71 µg/kg	-

I denne rapporten er det for konsentrasjonsinndeling av innhold av sum PFAS i vann benyttet åtte konsentrasjonsintervaller (ng/l) som gitt med farger i Tabell 3. Nedre konsentrasjonsgrense tilsvarer AA-EQS for ferskvann, og øvre grense tilsvarer MAC-EQS for ferskvann.

Klassegrensene for vann er de samme som i tidligere utarbeidede rapporter i PFAS-prosjektet til Avinor (Norconsult, 2021b).

Tabell 3 Konsentrasjonsintervaller for innhold av PFOS og  $\Sigma$ PFAS i vann.

$\Sigma$ PFAS i vann (ng/l)
<0,65
0,65-30
30-300
300-1 000
1 000-3 000
3 000-10 000
10 000-36 000
>36000

### 1.3.3 Biota

Miljøkvalitetsstandard i organismer er satt for PFOS (og dets derivater) og PFOA i fisk. For PFOS er EQS-verdi i fisk satt til 9,1 µg/kg våtvekt (målt i muskel). Videre er EQS-verdien for PFOA er satt til 91 µg/kg (Miljødirektoratet, 2020c). Denne EQS-verdien er basert på 10 % av tålegrensen (TDI - tolererbart daglig inntak) for PFOS som av EFSA i 2018 ble satt til 150 ng/kg kroppsvekt /dag (EFSA, 2018a).

EFSA (den europeiske myndighet for næringsmiddeltrygghet) reviderte i 2020 sine anbefalinger om tolerabelt ukentlig inntak (TWI) av visse PFAS-forbindelser (EFSA, 2020). Summen av PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS bør ikke overskride 4,4 ng/g kroppsvekt per uke, eller et maksimalt daglig inntak på 0,63 ng/g kroppsvekt per dag (FHI, 2020b). Basert på disse grensene, og en vurdering av inntaket av PFAS fra andre kilder og næringsmidler, har Folkehelseinstituttet, FHI, kommet fram til norske retningslinjer for konsum av fisk. For befolkningens gjennomsnittlige ukentlige inntak av fisk på hhv. 553 og 392 g fisk per uke for

menn og kvinner, bør maksimalkonsentrasjonen i fisk ikke overskride 0,27 µg/kg for menn og 0,23 µg/kg for kvinner (FHI, 2020b). Dersom personen spiser 100 g fisk i uken, er det av FHI beregnet en maksimal konsentrasjon i fisk på være 1,5 µg/kg for menn og 0,90 for kvinner for ikke å overstige TWI (FHI, 2020b).

I denne rapporten er det for konsentrasjonsinndeling av sum PFAS i biota benyttet fire konsentrasjonsintervaller (µg/kg våtvekt). Det er satt to sett grenseverdier. Ett sett for biota som benyttes som matkonsum, og et annet sett grenseverdier for biota som ikke benyttes som mat, se Tabell 4. Dette er etter samme mal som de andre lufthavnene i PFAS-prosjektet (Norconsult, 2021b). Øvre konsentrasjonsgrense for sum PFAS i biota som kan benyttes til konsum tilsvarer EQS biota for PFOS og dets derivater (Direktoratsgruppen vanddirektivet, 2018).

Tabell 4 Konsentrasjonsintervaller for tolkning av innhold av  $\Sigma$ PFAS (µg/kg) i biota som kan benyttes i matkonsum, slik som for eksempel fiskefilet, samt for biota som ikke benyttes som matkonsum, eksempelvis børstemark.

Konsentrasjoner i biota (µg/kg) som benyttes i mat	Konsentrasjoner i biota (µg/kg) som ikke benyttes i mat
<LOQ	<9,1
LOQ - 5	9,1-33
5 - 9,1	33-500
>9,1*	>500

\*Tilsvare EQS biota for PFOS og dets derivater (Direktoratsgruppen vanddirektivet, 2018).

I desember 2020 advarte Mattilsynet mot å spise fisk og drikke vann fra ferskvann og vassdrag i nærheten av lufthavner. Bakgrunnen for advarselen er at ferskvannsresipienter og fisk i nærheten av lufthavner kan være forurenset av PFAS-forbindelser (Mattilsynet, 2020).

## 1.4 Grunnlagsdokumenter

I tabellen nedenfor følger det en liste over relevante grunnlagsdokumenter for tiltaksplanen.

Tabell 5 Oversikt over relevante grunnlagsdokumenter.

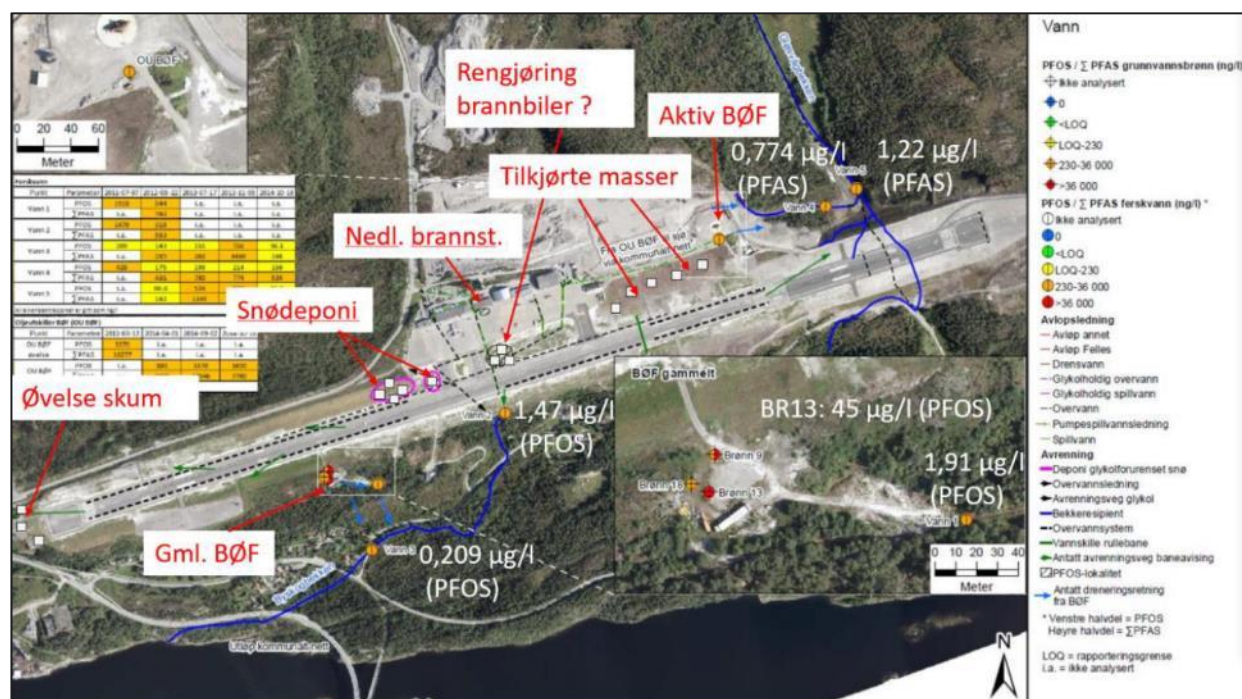
Tittel og dokumentnr.	Utarbeidet	Datert
Pålegg om å utarbeide tiltaksplaner for opprydning i PFAS-forurenset grunn ved Stavanger, Alta, Haugesund, Kristiansund og Kirkenes lufthavn. Ref. 2018/3153.	Miljødirektoratet	16.09.2022
Varsel om at vi vil pålegge Avinor å utarbeide tiltaksplaner for opprydning av PFAS-forurenset grunn ved Stavanger, Alta, Haugesund, Kristiansund og Kirkenes lufthavn. Ref. 2018/3153.	Miljødirektoratet	27.06.2022
Supplerende undersøkelser av PFAS-forurensning i jord og vann. Kristiansund lufthavn, aktivt brannøvingfelt (BØF A). Dokumentnr. RIM02-ENKB-A, versjon J03.	Norconsult	03.06.2021
Pålegg om undersøkelser av PFAS-forurenset grunnundersøkele av PFAS-forurenset grunn – Avinor. Ref. 2018/3153.	Miljødirektoratet	14.05.2020

Tittel og dokumentnr.	Utarbeidet	Datert
Rapportering for del 1 og del 2 av Miljødirektoratets pålegg: «Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Avinors lufthavner». Dokumentnr. Miljø-02, versjon J01.	Norconsult	22.08.2019
Rapportering for del 3 av Miljødirektoratets pålegg: «Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Avinors lufthavner». Vurdering av lokale effekter. Dokumentnr. Miljø-03, versjon J02.	Norconsult	29.08.2019
Kristiansund lufthavn, Kvernberget. Undersøkelser av PFAS i jord, vann og biota med risikovurdering.	Norconsult og Sweco	22.08.2016
Miljøprosjekt DP2. Miljøtekniske grunnundersøkelser Kristiansund lufthavn Kvernberget, Avinor. Rapportnr. 168180-140-1.	Sweco og COWI	01.10.2012

## 1.5 Aktuelle kildeområder og behov for supplerende undersøkelser

I henhold til pålegg fra Miljødirektoratet datert 14.05.2020, har det vært behov for supplerende undersøkelser for å kunne utarbeide tiltaksplan og fastsette lokal risiko og miljømål for lufthavnen. Det har også vært behov for å avgrense utbredelsen av forurensningen, for bedre å kunne anslå mengden av PFOS/sum PFAS som ligger på flyplassen.

Aktuelle kildeområder med PFAS-forurensset grunn ved Kristiansund lufthavn er vist i Figur 2. Kjente kildeområder er det nedlagte og aktive brannøvingsfeltet (hhv. BØFB og BØFA), samt at det tidligere var knyttet usikkerhet til et antatt øvingsområde på vestre rullebane, en nedlagt brannstasjon, områder for snødeponi og tilkjørte jordmasser (Norconsult, 2019a).



Figur 2 Aktuelle kildeområder med PFAS ved Kristiansund lufthavn, Kvernberget (Norconsult, 2019a).

Med utgangspunkt i de identifiserte kildeområdene i Figur 2, samt tidligere gjennomførte undersøkelser (kap. 2.5), utarbeidet COWI i 2021 et prøveprogram for supplerende undersøkelser som grunnlag til tiltaksplanen (COWI, 2021). I tabellen nedenfor er det gitt en kort beskrivelse av de ulike kildeområdene, gjennomførte undersøkelser og behov for supplerende undersøkelser per september 2021.

*Tabell 6 Oversikt over potensielle kildeområder for PFAS-forurensning på Kristiansund lufthavn, Kvernberget, samt behov for supplerende miljøtekniske grunnundersøkelser identifisert i prøvetakingsprogrammet fra 2021 (COWI, 2021).*

Område	Bakgrunn for mistanke om PFAS	Gjennomførte undersøkelser	Behov for supplerende undersøkelser
Nedlagt brannøvingsfelt BØFB	Tidligere bruk av PFAS-holdig brannskum	DP2-undersøkelse i 2011-2012.	Behov for jordprøver for å avgrense forurensningen i horisontal- og vertikalplanet.
Aktivt brannøvingsfelt BØFA		DP2-undersøkelse i 2011-2012, samt supplerende kartlegging i 2016 og 2021.	
Terminalområdet (TERM)	Rengjøring av brannbiler på grøntareal ved terminalbygget og foran driftsbygget, samt områder for snødeponi (se Figur 2).	Området er ikke tidligere kartlagt.	Behov for jordprøver på grøntareal foran tidligere brannstasjon og snødeponier.
Terminalområdet øst (TERM øst)	Påvist PFAS ved det gresskledde området i øst, samt opplysninger om at det er tilkjørt masser fra baneforlengelsen mot vest samt fra området ved ny brannstasjon.	Tidligere kartlagt helt i øst i DP2-undersøkelse i 2011-2012, samt supplerende kartlegging i 2021.	Behov for å undersøke det gresskledde området
Vestlig ende av rullebane (RULV)	Opplysninger om tidligere øvelser med bruk av skum.	Området er ikke tidligere kartlagt.	Behov for jordprøver på område hvor det kan ha vært øvelser med skum.

I tillegg til behov for supplerende jordprøvetaking (Tabell 6), ble det i prøvetakingsprogrammet anbefalt nedsetting og prøvetaking av nye grunnvannsbrønner ved BØFB og BØFA, prøvetaking av vann og sediment i overvannssystemet til lufthavnen, samt prøvetaking av vann og sjøsediment i resipient (ved utløpet til Byskogbekken i sør, samt utløpet til Gløsvågbekken i nord, i Vågen og Gløsvågleira). I tillegg ble det beskrevet prøvetaking av biota fra strandsonen og i sjø. Resultatene fra gjennomførte undersøkelser er beskrevet i kapittel 4.

## 2 Områdebeskrivelse

### 2.1 Lokalisering

Kristiansund lufthavn, Kvernberget, ligger på øya Nordlandet i Kristiansund kommune i Møre og Romsdal, ca. 7 km øst for Kristiansund sentrum. Flyplassen ble åpnet i 1970, og eies og driftes av Avinor. Lufthavnen har to terminaler: helikopterterminal i øst og flyterminal i vest. Det ligger to brannøvingsfelt på flyplassområdet, et gammelt felt sør for rullebanen i vest (BØFB) og et aktivt felt nord for rullebanens østre del (BØFA). Lokalisering fremgår av Figur 1-Figur 3.

Lufthavnen ligger på et platå som begrenses av en skråning ned mot Omsundet i sør, riksvegen i vest, en skråning opp mot Kvernberget i nord, og Gløsvågen (et dypt dalsøkk) i øst (se Figur 1 og Figur 3). Ved rullebaneenden i vest er høydeforskjellen ned til riksvegen ca. 20 m, mens bunnen av Gløsvågen i øst ligger ca. 40 m under banenivå.



Figur 3 Kristiansund lufthavn, Kvernberget (Sweco/COWI, 2012). Omtrentlig plassering av nytt brannøvingsfelt (BØFA) og gammelt brannøvingsfelt (BØFB) er vist med rød sirkler.

Området rundt lufthavnen er preget av kupert fjellterreng med større myrområder i nord. Lufthavnen er omkranset av handelsparken på Løkkemyra og Vestbase i vest og nordvest, fjellet Kvernberget mot nord, et større friområde mot øst og tettbebyggelse i Byskogen mot sør.

Grunnvannet ligger ca. 5 m under overflaten i øst (BØFA) og ca. 1 m under overflaten i vest (BØFB). Resipientene for overvann er Orvikabekken i sørvest, Byskogbekken i sør, og Gløsvågbekken i nordøst (Figur 3). De to førstnevnte drenerer mot Omsundet i sør, og Gløsvågbekken har utløp i Gløsvågen. Kristiansund lufthavn har én rullebane, ca. i retning øst-vest (se Figur 3), og dominerende vindretning er fra S-SV.

## 2.2 Historisk bruk av brannøvingsfelt

Det aktive brannøvingsfeltet BØFA sto ferdig ca. 2004, og har en sentral øvingsplattform med flybrannsimulator. Avinor gikk i 2001 over fra å benytte skum med PFOS som hovedsurfaktant til et slukkeskum som hadde andre PFASer som hovedsurfaktant. Siden 2012 har det vært benyttet slukkeskum som er fritt for perfluorerte forbindelser. Massene under og rundt brannøvingsfeltet er masseutskiftet med sprengstein (se Figur 4).

Øvingsplattformen er bygget opp av betong med dobbelarmert plate for å hindre sprekkdannelse, men det er uvisst hvorvidt det er etablert membran under plattformen (Norconsult, 2021a). Dersom det ikke er etablert membran under plattformen vil eventuelle lekkasjer kunne infiltrere i steinfyllingen under øvingsplattformen. Det er observert sprekker i betongdekket som kan medføre nedsving av væske (Norconsult, 2021a). Oppsamlet væske fra øvingsplattformen ledes til oljeutskiller og videre til pumpekum, som pumper vannet kommunalt spillvannssystem, som har utløp i sjø (Omsundet).

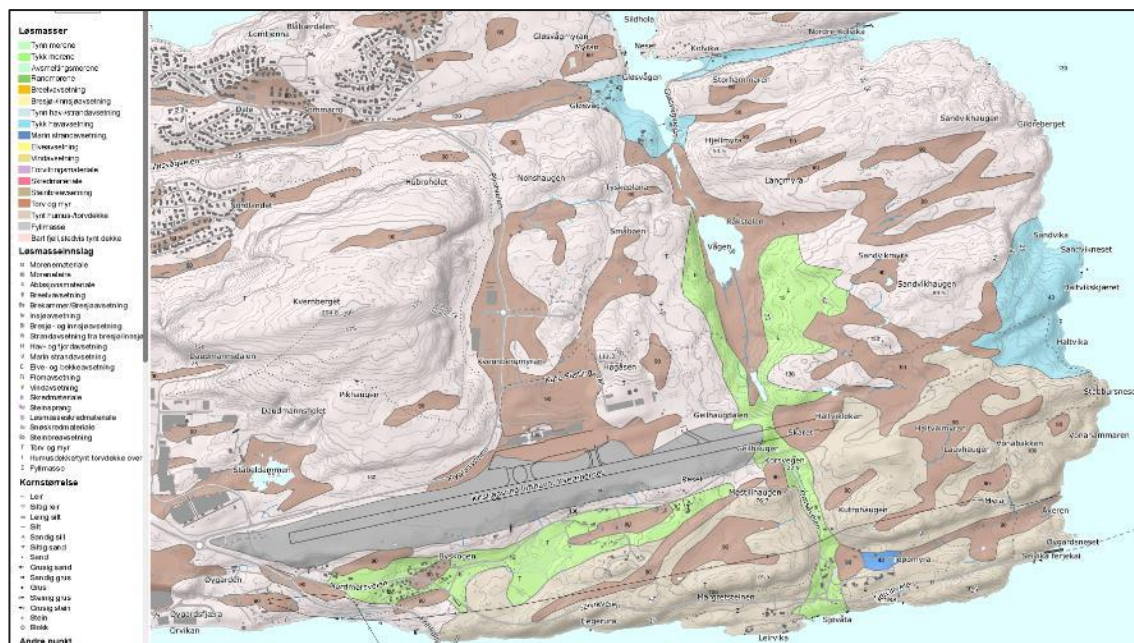


Figur 4 Fyllmasser under BØFA av stein, grus og sand (Sweco/COWI, 2012).

Det nedlagte brannøvingsfeltet BØFB ble tatt i bruk i 1978, og har trolig ikke være i bruk siden 2004. Det er oppgitt at ca. 500 m<sup>3</sup> jord og stein i den sentrale delen av feltet ble masseutskiftet med sprengsteinmasser i 2002. Det er fremdeles en del naturlig myrjord i den vestlige delen av BØFB (Figur 33). Området er inngjerdet, og er utilgjengelig for allmenn ferdsel. Ifølge driftsansvarlig for lufthavnen pågår det ikke noe aktivitet ved BØFB i dag, utover ukentlig passering av området i forbindelse med kontroll av gjerdegrasen. I tillegg vil det være noe opphold på feltet i forbindelse med prøvetaking av grunnvannsbrønnene som inngår i lufthavnens miljøovervåkingsprogram.

## 2.3 Grunnforhold

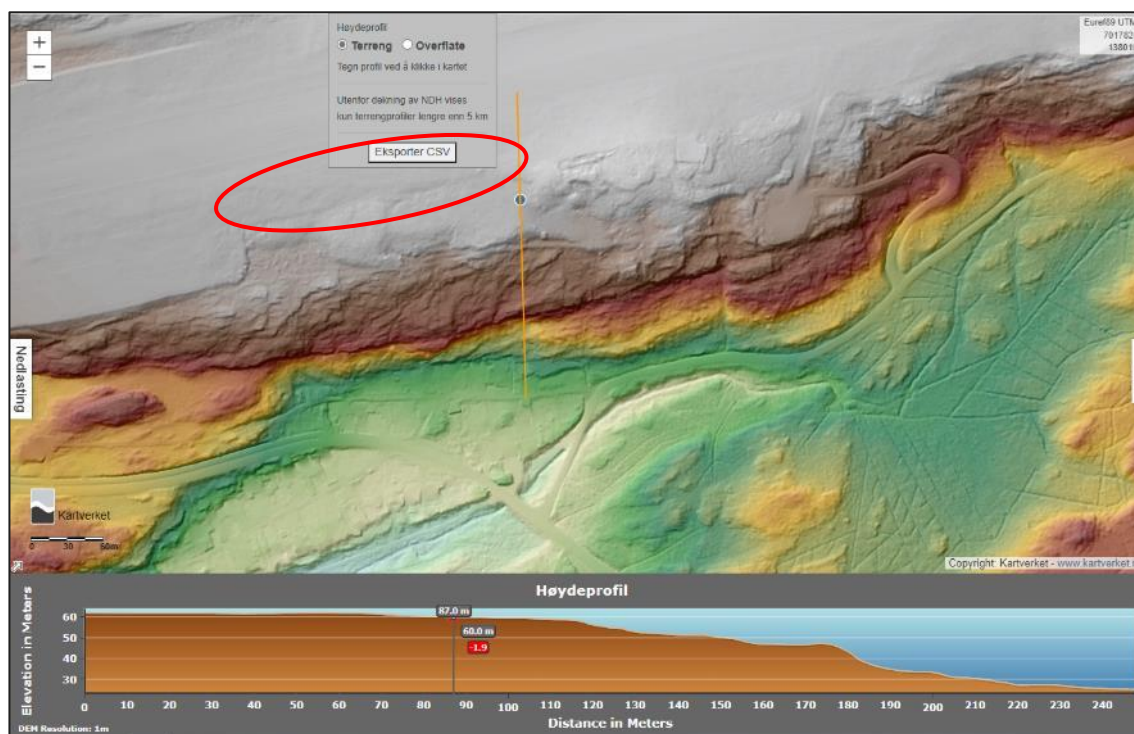
Løsmassekart for Kristiansund er vist Figur 5. Lufthavnen ligger hovedsakelig på fjell med tynt løsmassedekke og sprengsteinsfylling. I forbindelse med en rullebaneforlengelse i øst er det etablert en ca. 45 m høy sprengsteinsfylling.



Figur 5 Løsmassekart over Kristiansund lufthavn (NGU, 2022).

Som det fremgår av Figur 6 er det et svakt fall mot sør fra rullebanen som ligger ca. 62 moh. til BØFB som ligger ca. 60 moh. Videre sørover faller terrenget bratt ned til bebyggelsen på ca. 25 moh. I skråningen fra 60 til 25 moh. er det stort sett fjell med tynt løsmassedekke. Det er noen mindre bekker og vannsig i skråningen.





Figur 6 Tverrprofil fra BØFB til bebyggelsen i Byskogen. Omtrentlig plassering av det nedlagte brannøvingsfeltet, BØFB, er vist med rød sirkel.

## 2.4 Avrenningsforhold og resipient

I Figur 7 vises lufthavnens system for håndtering av drensvann og overvann. Det er overvannssystem på begge sider av rullebanen som fører vann til utslippspunkt rett sør for terminalområdet og rullebanen (prøvepunkt Vann2 i Figur 7). Vannet renner herfra til Byskogbekken med utløp i Omsundet, som grenser til Bolgsvaet i vest.

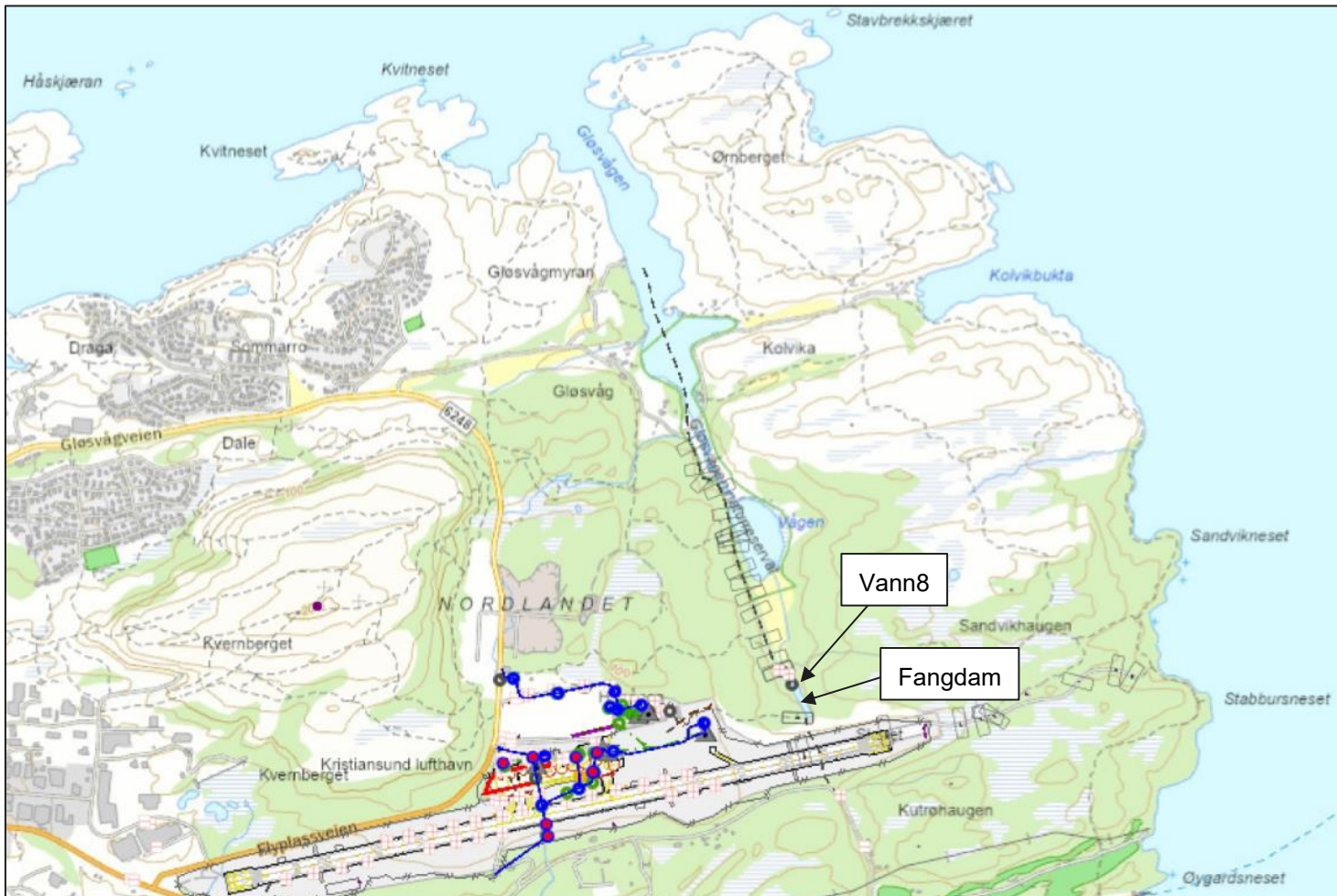
Avrenning fra overflaten på plattformen ved BØFA i øst samles opp og ledes til oljeutskiller og videre til pumpekum som pumper vannet på spillvannssystemet og føres videre ut i det kommunale utløpet i Omsundet sør for lufthavnen.

Dybden til grunnvann ved BØFA er målt til ca. 5 m fra brønntopp i to brønner plassert øst for øvingsplattformen (Figur 51). Grunnvann og overflateavrenning som ikke fanges opp av spillvannssystemet drenerer hovedsakelig østover, mot en grøft/bekk som leder til en fangdam (se Figur 8) i et søkk øst for brannøvingsfeltet. Vannet i fangdammen ledes videre i rør fra prøvepunkt Vann8 ved utløp av fangdammen, og videre nordover til Vågen før det strømmer ut i Gløsvågen, nord for lufthavnen. Fangdammen mottar også noe avrenning fra øst.

Ved BØFB ligger grunnvannet ca. 1-2 m fra brønntopp basert på målinger i brønner på feltet (Figur 51). Gjennomsnittlig dybde fra terrengnivå til grunnvann er ca. 1 m i det sentrale kildeområdet. Fra BØFB har grunnvann og overflatevann avrenning mot en liten vanddam/kulp ved prøvepunkt S3 (Figur 7 og Figur 10). Herfra går avrenningen mot sør via Byskogbekken til Omsundet. Det er også noen mindre bekkeløp vest for S3 som leder avrenning fra BØFB mot Byskogbekken via skråningen nedenfor brannøvingsfeltet. Resultater fra prøvetakingen er omtalt i kap. 4.

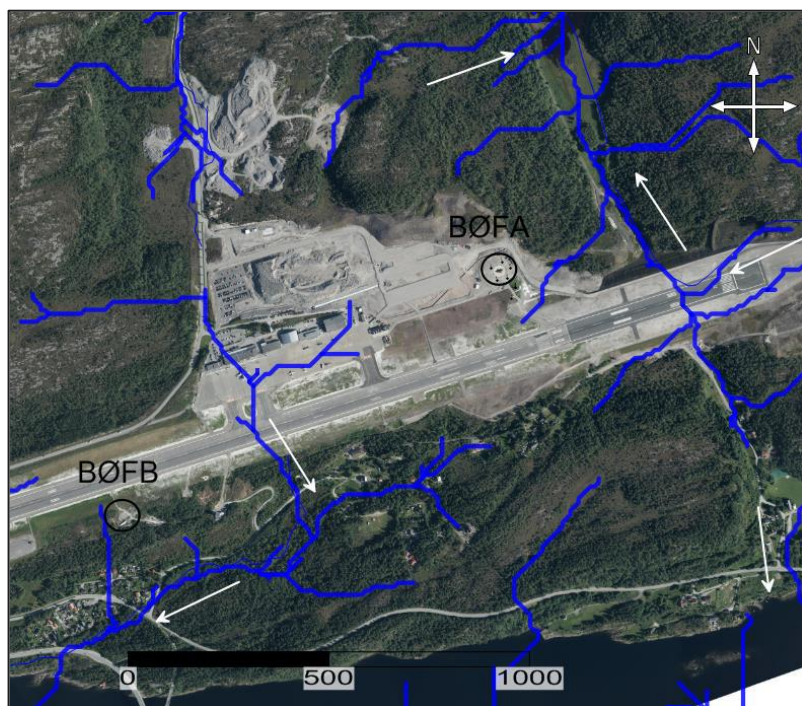


Figur 7 VA-system med sandfang, drensledning og overvannsledning. Prøvepunkt for vann og sedimentprøver i sandfang er merket i kartet. I tillegg er prøvepunkt Vann7 (bekk fra BØFA mot øst), S3 (kulp/vanndam sørøst for BØFB) og Vann2 (utslippspunkt fra overvannssystem) vist.



Figur 8 VA-system som viser plassering av rør fra fangdammen øst for BØFA ved prøvepunkt Vann8 til Gløsvågen (stiplet sort linje). Kart oversendt av Avinor.

I Figur 9 er sannsynlig dreneringsretning der det ikke er grøfter og overvannsledninger vist basert på terrengets gradient i og rundt Kristiansund lufthavn (Norconsult og Sweco, 2016). Det er sannsynlig at grunnvannsig følger overflatetopografien i området. Resipientene for overvann er Orvikabekken i vest, Byskogbekken i syd og Gløsvågbekken i øst. De to førstnevnte drenerer mot Omsundet i syd og den sistnevnte har utløp i Gløsvågen (se Figur 3).

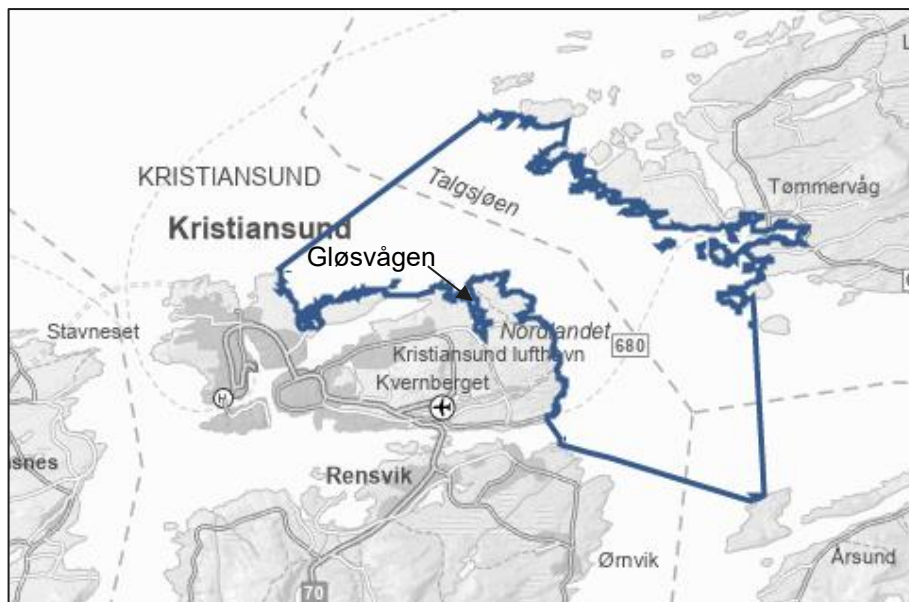


Figur 9 Dreneringskart for Kristiansund lufthavn, hentet fra (Norconsult og Sweco, 2016). Blå streker er generert i programvaren surfer og viser gradienten til terrenget. Hvite piler indikerer strømningsveier. Lufthavnens spillvannssystem vil avskjære drenering som går over flyplassen, og figuren tar ikke hensyn til dette eller andre dreneringssystemer.



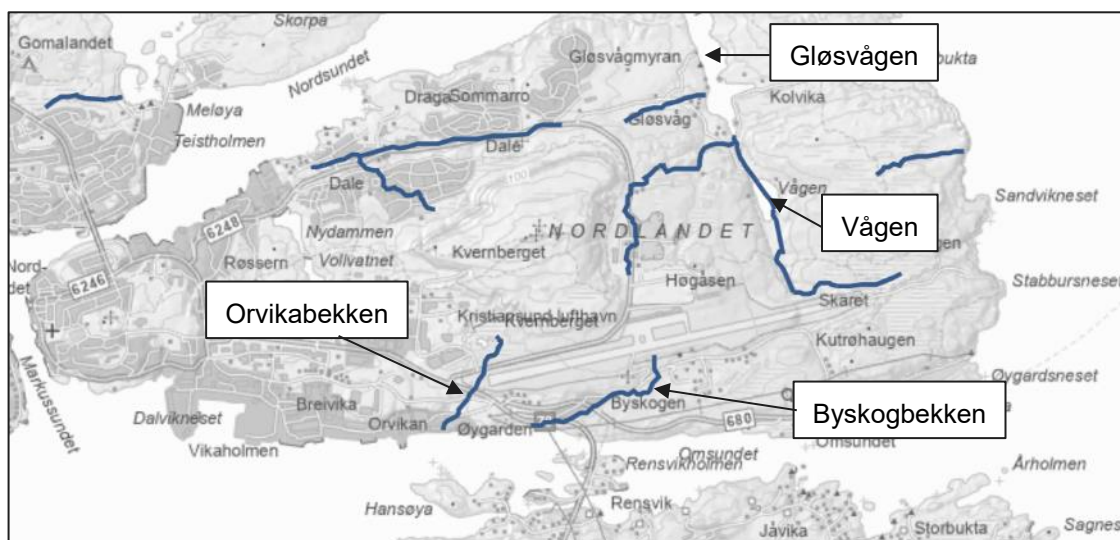
Figur 10 Kulp/vanndam ved prøvepunkt S3 som fanger opp avrenning fra brannøvingsfelt BØFB.

Gløsvågen er et naturreservat med våtmark og innsjø (se kap. 2.5), og er en del av vannforekomsten Talgsjøen med VannforekomstID 03003011100-C i portalen Vann-nett (Vann-nett, 2023a). Dette er en moderat eksponert kystvannforekomst på ca. 43,9 km<sup>2</sup> med god økologisk tilstand med høy presisjon og udefinert kjemisk tilstand. Den innerste delen av Gløsvågen grenser til Vågen som er en del av Nordlandet bekkefelt med VannforekomstID 110-65-R (Figur 12) (Vann-nett, 2023b).



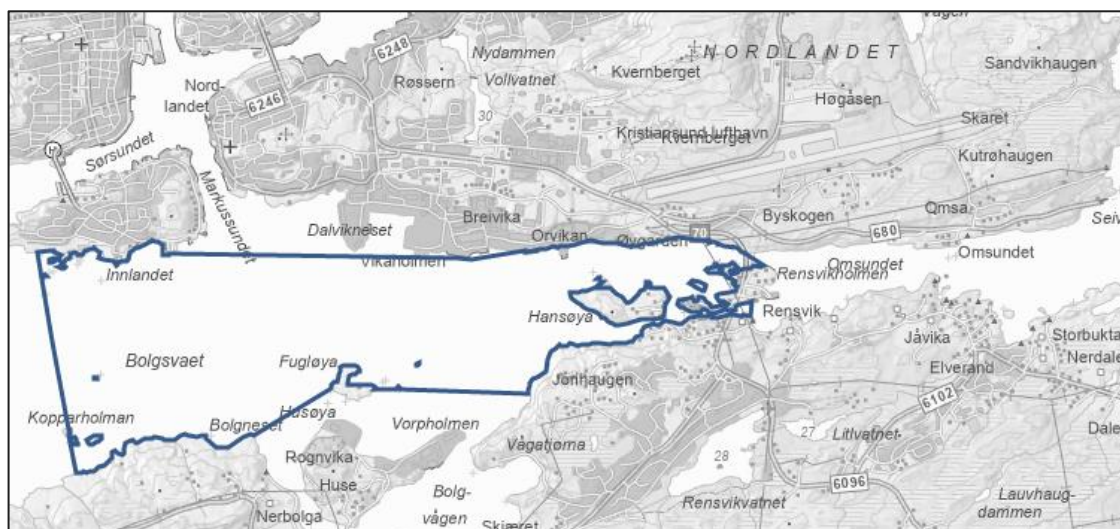
Figur 11 Avgrensning av vannforekomsten Talgsjøen, som Gløsvågen er en del av (vann-nett.no).

Vannforekomsten Nordlandet bekkefelt (Figur 12) er klassifisert med moderat økologisk tilstand med middels presisjon, og dårlig kjemisk tilstand med middels presisjon som følge av PFOS-forurensning (registrert gjennomsnittlig PFOS-konsentrasjon på 112 ng/l, med maksimumskonsentrasjon på 180 ng/l, (Vann-nett, 2023b)). Det presiseres at bekkefeltet inkluderer Byskogbekken, som mottar avrenning fra det nedlagte brannøvingsfeltet BØFB. Det er beskrevet at påvirkningen skyldes diffus avrenning fra byer/tettsteder, flytransport, jordbruk og avløpsvann, samt menneskelig påvirkning av annen årsak. Nye tiltak er ifølge Vann-nett nødvendige for å nå god miljøtilstand (Vann-nett, 2023b).



Figur 12 Avgrensning av vannforekomsten Nordlandet bekkfelt, som både Orvikabekken, Byskøgbekken og Vågen er en del av (Vann-nett, 2023b).

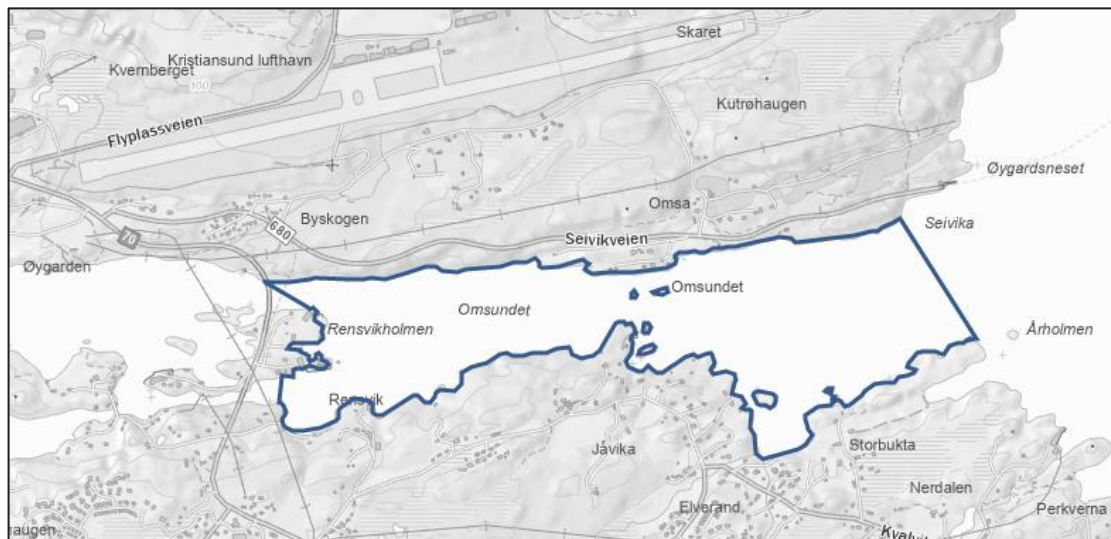
Omsundet er et sund som går mellom øyene Nordlandet og Frei. Over sundet går Omsundbrua. Den vestlige delen av Omsundet er en del av vannforekomsten Bolgsvaet med VannforekomstID 030030011202-6-C i portalen Vann-nett (Figur 13) (Vann-nett, 2023c). Dette er en euhalin, moderat eksponert kyst som er beskyttet fra bølgeeksponering. Forekomsten er registrert med moderat økologisk tilstand med høy presisjon, og dårlig kjemisk tilstand med middels presisjon grunnet PAH-forbindelser og kadmium (PFOS er registrert med udefinert påvirkningsgrad). Vannforekomsten er ifølge Vann-nett påvirket av diffus avrenning fra flytransport, og punktforurensning fra industri (IED og ikke-IED), samt fra renseanlegg (avløpsvann) (Vann-nett, 2023c).



Figur 13 Avgrensning av vannforekomsten Bolgsvaet (Vann-nett, 2023c).

Den østlige delen av Omsundet er en del av vannforekomsten Omsund-øst med VannforekomstID 0303011201-C i portalen Vann-nett (Figur 14) (Vann-nett, 2023d). Dette er

en euhalin, kyst/fjord som er beskyttet fra bølgeeksponering. Forekomsten er registrert med moderat økologisk tilstand med middels presisjon, og dårlig kjemisk tilstand med middels presisjon grunnet PAH-forbindelser, kvikksølv og nikkell. Vannforekomsten er ifølge Vann-nett påvirket i ukjent/liten grad av diffus forurensning fra flytransport, industri og avløpsvann (både diffus avrenning fra spredt bebyggelse og punktutslipp fra renseanlegg) (Vann-nett, 2023d).



Figur 14 Avgrensning av vannforekomsten Omsund-øst (Vann-nett, 2023d).

## 2.5 Naturverdier og friluftsområder

Gløsvågen er et naturreservat som ligger nordøst for flyplassen (Figur 15). Det ble vernet i 1988, og formålet med fredningen er å ta vare på et viktig våtmarksområde med tilhørende plantesamfunn, fugleliv og annet dyreliv. Verneområdet er hekke- og trekklokalitet for våtmarksfugl. Lokaliteten er næringsrik og har rik fuglefauna. Det omfatter et lite brakkvannstjern med omkringliggende strandenger og sumpmark. Det grenser til dyrket mark og beite, og en liten tidevannskanal nordover fører til en våg i sjøen med brede leirer og tidevannssoner med rike skjellbanker. Lokaliteten er kartlagt som naturtype brakkvannspoller (svært viktig). Området har særlig interesse som rasteplass under trekket for våtmarksfugler, men også som hekkelokalitet for enkelte, dels mer kravfulle arter. Arter som gråhegre, stokkand, vipe, krikkand, storspove, rødstilk er registrert. I milde vintre kan det òg overvintre en del fugl. Det er det viktigste våtmarksområdet i Kristiansund (Naturbase, 2022). Gløsvågen har også botanisk verdi (Norconsult og Sweco, 2016).

På Gløsvågens vestsida er det registrert en gammel boreal barskog med lokal verdi (Kvernberget øst, se Figur 15). Det er ikke angitt rødlistede arter knyttet til fauna fra dette området. Området består av en bratt li med middelaldret skog.

I Omsundet sør for flyplassen ligger Rensvikholmen, der det bl.a. er registrert fiskemåke, makrellterne og ærfugl (Figur 15).

Området rundt Gløsvågen naturreservat og flyplassen er et beiteområde for rådyr (hele året).



Figur 15 Områder med registrerte naturverdier rundt Kristiansund lufthavn, Kvernberget (Naturbase, 2022).

Det er kartlagt en rekke viktige og svært viktige friluftsområder rundt lufthavnen (se Figur 16). Blant annet er det sør- og øst for lufthavnen registrert et stort sammenhengende og svært viktig friområde med en rekke naturopplevelser som bading, fiske og fugletitting. Deler av området er et naturvernomsråde (se over). Sør for lufthavnen er det registrert flere viktige friluftsområder av typen strandsoner med tilhørende sjø og vassdrag med mulighet for fiske fra både land og båt, samt andre aktiviteter som nærturområder, mosjon, kajakk og bading (Naturbase, 2022).

Ifølge ansatte ved Kristiansund lufthavn er det en tursti langs sør- og østsiden av lufthavnen som er hyppig benyttet. Videre er det en badestrand i Kolvikbukta på nordøstsiden av lufthavnområdet (utenfor område som forventes påvirket av ev. utslipp av PFAS fra lufthavnen, se Figur 16), men ellers er det relativt værhardt, mye strøm og bratt terreng og dermed vanskelig tilkomst for bading de fleste steder på sør- og østsiden av lufthavnen. Områdene på både sør-, øst- og nordsiden av lufthavnen er imidlertid i relativt stor grad benyttet til fritidsfiske.





Figur 16 Kartlagte friluftsområder fra karttjenesten Naturbase kart. Mørkerød skravur = friluftsområder kategorisert som svært viktige, lysere rød skravur = viktige friluftsområder. Heltrukket, rød linje viser merket fortrute rundt Kristiansund lufthavn (Naturbase, 2022).

Ifølge Kulturminnesøk.no er det registrert noen kulturminner på den østre delen av lufthavnområdet (Figur 17). Disse er av kategorien «Arkeologisk minne» fra eldre steinalder/steinalder med opprinnelig funksjon som bolig, bosetning. Tilsvarende er det registrert arkeologiske kulturminner sør for den vestre delen av rullebanen (Figur 17). I dette området er det i tillegg registrert et kulturminne av kategorien «Bebyggelse-Infrastruktur», som er et privat familiegravsted (Kulturminnesøk, 2023).



Figur 17 Utklipp fra Kulturminnesøk (Kulturminnesøk, 2023). Øverst: registrerte kulturminner østre del av Kristiansund lufthavn; nederst: kulturminner (sør for) vestre del av lufthavnen.

## 3 Tidligere utførte undersøkelser

Det er utført flere miljøtekniske undersøkelser på Kristiansund lufthavn som tidligere er rapportert. Følgende undersøkelser er kort oppsummert i det etterfølgende:

- › 2011-12: DP2-prosjektet, kartlegging av PFAS (Sweco/COWI, 2012).
- › 2016: Undersøkelser av PFAS i jord, vann og biota med risikovurdering (Norconsult og Sweco, 2016).
- › 2021: Supplerende undersøkelser av PFAS-forurensning i jord og vann – BØFA (Norconsult, 2021a).
- › I tillegg er det gjennomført supplerende undersøkelser av jord, sediment, vann og biota i 2021-2022, som beskrevet i kapittel 4.

### 3.1.1 DP2-prosjektet, kartlegging av PFAS (2011-2012)

Som del av en landsomfattende undersøkelse ble det i 2011 gjennomført egne miljøtekniske grunnundersøkelser ved det aktive (BØFA) og nedlagte brannøvingsfeltet (BØFB) på lufthavnen for å avklare mengde og spredning av PFOS og andre PFAS-forbindelser (Sweco/COWI, 2012). Prøvepunkter fra disse undersøkelsene er vist i Figur 18 og Figur 19. Det ble i hovedsak analysert på PFOS og PFOA, men noen prøver ble også analysert på 6:2-FTS.

Det ble påvist relativt høye PFOS/PFOA-konsentrasjoner i jordprøver sentralt på BØFB, mens det ble funnet lavere konsentrasjoner av PFOS/PFOA på det aktive feltet BØFA (Sweco/COWI, 2012). Høyeste konsentrasjon ble påvist i sjakt 8-2 på BØFB (150 cm dyp) med 12 100 µg PFOS/kg (Figur 19). I sjakt 9 og 12 ble det også påvist >1000 µg PFOS/kg (Figur 19).

Med utgangspunkt i beregnede mengder forurensede masser og beregnet gjennomsnittskonsentrasjon på 144 µg PFOS/kg ble det estimert ca. 0,9 kg PFOS i grunnen på BØFA. Videre ble det basert på beregnet avrenning av grunnvann på 0,06 l/sek og beregnede gjennomsnittsverdier i grunnvann estimert en utslippsmengde på 1,1 g PFOS/år fra BØFA til Gløsvågen.

Basert på beregnede mengder forurensede masser i kildeområdet og beregnet gjennomsnittskonsentrasjon på 4700 µg PFOS/kg, ble det estimert ca. 27 kg PFOS i grunnen på BØFB. Basert på beregnet avrenning av grunnvann på 0,24 l/sek og gjennomsnittskonsentrasjoner i grunnvannet på 26,2 µg PFOS/l ble det beregnet årlig utslipp av ca. 196 g PFOS med grunnvannet. Videre ble det med utgangspunkt i målt avrenning (5 l/sek) og konsentrasjon av PFOS (0,22 µg/l) ved prøvetidspunktet i prøvepunkt Vann3 beregnet samlet årlig utslipp av PFOS fra overvann på ca. 34 g.

Risikovurderingene i 2012 konkluderte med at det med gjeldende bruk ikke utgjorde helserisiko ved å oppholde seg på brannøvingsfeltene.



Figur 18 Jordprøver ved BØFA kartlagt i 2011-2012 («DP2»), fargeklassifisert med fargekoder for sum PFAS per dybdenivå (kart utarbeidet av Avinor).



Figur 19 Prøvepunkter i jord ved BØFB kartlagt i 2011-2012 («DP2»). Prøvepunkt «Vann 1» tilsvarer dagens prøvepunkt S3 (kart utarbeidet av Avinor).

### 3.1.2 Undersøkelser i 2016 med risikovurdering

Norconsult og Sweco utarbeidet i 2016 en rapport med analyseresultater for PFAS-forurensning i jord, vann og strandbiota ved Kristiansund lufthavn fra perioden 2011-2014. Rapporten beregnet også restmengder av PFOS og gav vurderinger av spredningsforløp, risiko knyttet til human helse og økosystem som følge av PFAS-forurensningen (Norconsult og Sweco, 2016).

Interpolert konsentrasjon av PFOS på BØFA ble estimert til 62 µg/kg over et areal på ca. 8000 m<sup>2</sup>, og mengden PFOS ble beregnet til ca. 2,5 kg på BØFA. Beregnet spredning fra tette flater via oljeutskiller på BØFA til kommunalt utløp i Omsundet ble beregnet til ca. 7 g sum PFAS/år (gjennomsnittlig vannmengde gjennom oljeutskilleren på 670 m<sup>3</sup>/år).

Interpolert PFOS-konsentrasjon på BØFB ble estimert til 706 µg/kg, med en utstrekning på ca. 6000 m<sup>2</sup>. Dette medførte en beregnet mengde PFOS på ca. 15 kg. Med utgangspunkt i antatt nedbørsfelt og PFOS-målinger i tre grunnvannsbrønner og i en kulp øst-sørøst for feltet (Vann1, i dag omtalt som prøvepunkt S3), ble det estimert en utlekking på ca. 200 g PFOS per år fra feltet.

For beregning av mengde PFOS samlet ut fra lufthavnen ble det tatt utgangspunkt i målte PFOS-konsentrasjoner og anslått avrenning i Byskogbekken og Gløsvågbekken. Det ble beregnet en uttransport på hhv. ca. 200 og 140 g PFOS/år via Omsundet og Gløsvågen.

I marint miljø ble det analysert for PFAS i prøver på relativt lavt trofisk nivå. Lave til moderate konsentrasjoner av PFAS ble påvist i diverse strandbiota (ikke til humant konsum, Figur 20)<sup>1</sup>. Det ble ikke gjort registreringer i fisk eller fiskespisende fugl. Basert på disse resultatene ble miljøtilstanden i Omsundet vurdert til kategori III Moderat, mens i Gløsvågen var det God miljøtilstand. Risiko for skade på tilgrensende marine økosystem som følge av PFAS-forurensning fra Kristiansund lufthavn ble ansett som lav.

---

<sup>1</sup>Det ble analysert 10 biotaprøver (børstemark, strandkrabbe, strandsnegl, blåskjell, sjøsalat og tanglopper). Høyeste påviste konsentrasjon av PFOS var 17 µg/kg i en blandprøve av tanglopper. Høyeste påviste konsentrasjon av ΣPFAS var 22,6 µg/kg i en blandprøve av tanglopper. Ingen prøver av fiskefilet ble analysert.



Figur 20 Biotaprøvetaking ved Kristiansund lufthavn i perioden 2012-2014 (Norconsult og Sweco, 2016).

### 3.1.3 Supplerende undersøkelser BØFA 2021

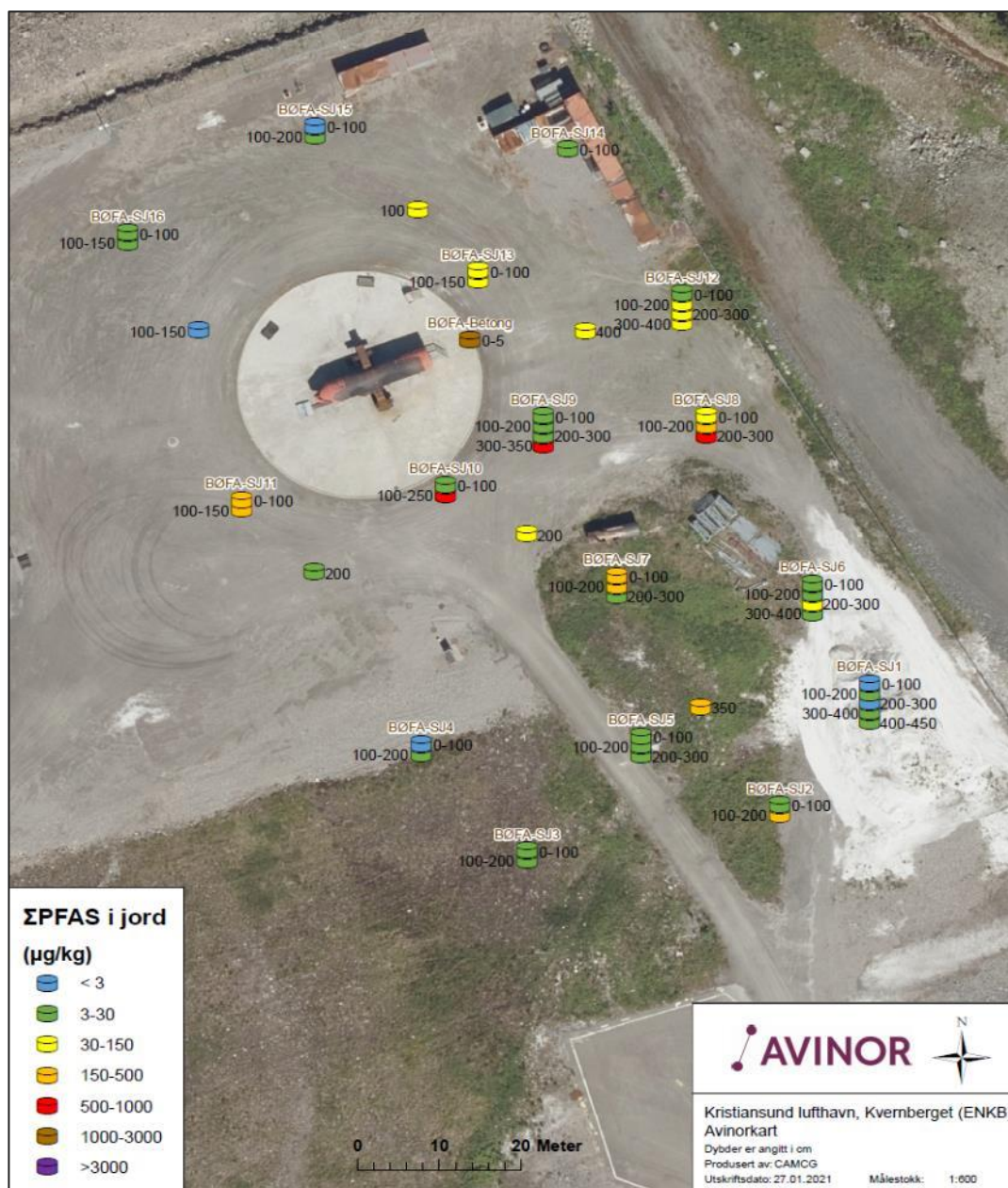
Norconsult utarbeidet i 2021 en rapport med beskrivelser av resultater fra supplerende undersøkelser ved det aktive brannøvingsfeltet BØFA i 2020 (Norconsult, 2021a). Det ble tatt prøver av jord (Figur 21) på brannøvingsfeltet og prøver av overflatevann (Figur 22) fra fangdam, grøft og bekk.

De supplerende undersøkelsene viste at massene rundt BØFA besto av gress-/grusdekke med grove fyllmasser av sand, stein og pukk over fjell. Noen punkter sør for BØFA mot rullebanen inneholdt jord og torv.

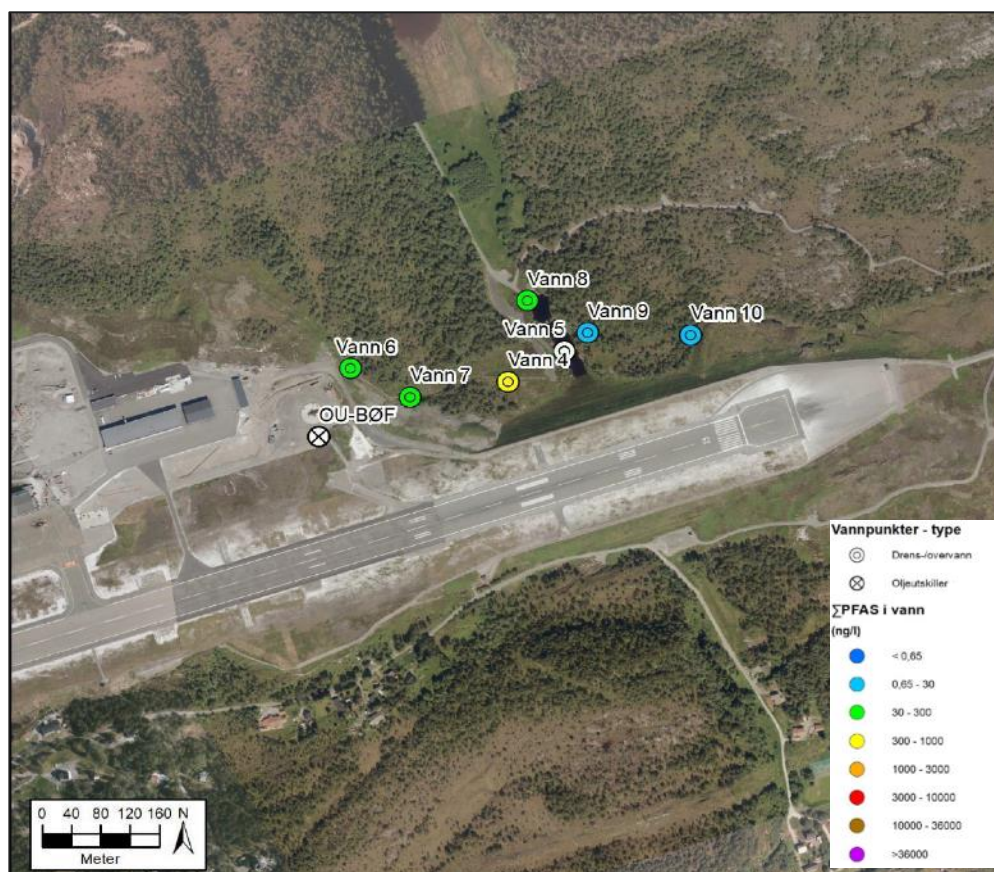
Det ble påvist generelt lave til moderate (<100 µg/kg) konsentrasjoner av sum PFAS i jord på BØFA. Basert på interpolert konsentrasjonsfordeling av sum PFAS ble det estimert en total mengde sum PFAS på 1,2 kg innenfor undersøkt areal på ca. 5040 m<sup>2</sup>. Forurensningen ble ansett som delvis avgrenset i dybde og arealmessig utbredelse.

Analyseresultater fra prøvetakingen av overflatevann viste en utlekking og spredning av PFAS fra BØFA, men indikerer også at det kan være ukjente kilder som bidrar til økte konsentrasjoner i grøft/bekk nedstrøms BØFA (Figur 22). Utløpet av fangdammen (Vann8) hadde en konsentrasjon på 180 ng sum PFAS/l. Vannet herfra ledes videre til Vågen og ut i Gløsvågen. Konsentrasjonene av PFAS i vann fra siltdeponiet i øst var lave (<16 ng/l).





Figur 21 Analyseresultater fra grunnundersøkelser fra år 2011-2020 ved aktivt (BØFA) brannøvingsfelt (Norconsult, 2021a).



Figur 22 Analyseresultater fra prøvetaking av vann ved aktivt brannøvingsfelt (BØFA) 05.11.2020 (Norconsult, 2021a).

## 4 Miljøtekniske undersøkelser 2021-2023

### 4.1 Feltarbeid

Miljøtekniske grunnundersøkelser ble utført i flere omganger ila. høsten 2021, samt sommeren 2022 og vinteren 2023. Det ble samlet inn prøvemateriale fra fem ulike delområder fra lufthavnen i tillegg til resipientundersøkelse i sjø og bekker nær lufthavnen. Dette er delvis områder hvor det tidligere er utført prøvetakning og der man har vurdert at det er behov for ytterligere datamateriale og avgrensning. De aktuelle områdene var:

- > Aktivt brannøvingsfelt (BØFA)
- > Terminalområdet øst (TERM øst)
- > Nedlagt brannøvingsfelt (BØFB)
- > Terminalområdet (TERM)
- > Rullebaneende i vest (RULV)

Tidsplan og aktiviteter for 2021-2023 er vist i Tabell 7.

Tabell 7 Gjennomførte miljøtekniske undersøkelser ved Kristiansund lufthavn, 2021-2023.

Tidspunkt	Aktivitet
3.-10. november 2021	Jordprøvetaking (sjaktgraving) ved BØFA, BØFB, RULV og TERM. Etablering av 5 miljøbrønner og rensepumping av disse. Vannprøvetaking overvann og resipient samt sedimentprøver i resipient.
23. november 2021	Jordprøvetaking TERM og prøvetaking av nye og gamle miljøbrønner og bekkevann.
14.-15. november 2021	Biotaprøvetaking.
8.-10. juni 2022	Supplerende prøvetaking av jord (håndholdt graving og sjaktgraving), grunnvann- og overflatevann ved BØFB.
21. februar 2023	Supplerende prøvetaking av jord (håndholdt graving) i skråning nedenfor BØFB.
23. mars 2023	Supplerende prøvetaking av jord (håndholdt graving) i skråning nedenfor BØFB. Prøvetaking utført av personell ved Kristiansund lufthavn etter instruksjoner fra COWI.

## 4.2 Kjemiske analyser

Prøvene ble sendt til Eurofins Environment Testing Norway AS (Eurofins) for kjemiske analyser. PFAS-analyser av jord og sediment utgjorde 30 forskjellige forbindelser:

- › 4:2 FTS, 6:2 FTS, 8:2 FTS, 7H-HPFHpA, PF-3,7-DMOA, PFDeA, PFBA, PFBS, PFDoA, PFTrA, PFDS, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxDA, PFHxS, PFNA, PFOA, PFOS, PFOSA, PFPeA, PFTA, PFUnA, EtFOSA, EtFOSAA, EtFOSE, MeFOSAA, MeFOSA, MeFOSE og FOSAA.

PFAS-analyser av vann utgjorde 33 forbindelser:

- › 4:2 FTS, 6:2 FTS, 8:2 FTS, 7H-HPFHpA, PF-3,7-DMOA, PFDeA, PFBA, PFBS, PFDoA, PFTrA, PFDS, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxDA, PFHxS, PFNA, PFOA, PFOS, PFOSA, PFPeA, PFTA, PFUnA, EtFOSA, EtFOSAA, EtFOSE, MeFOSAA, MeFOSA, MeFOSE, FOSAA, PFPeS, PFNS og PFDoS.

PFAS-analyser av biota utgjorde 22 forbindelser:

- › PFOS, PFOA, PFHxS, PFNA, PFBS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpS, PFHpA, PFOSA, PF-3,7-DMOA, PFDS, PFDeA, PFUnA, PFDoA, PFTrA, PFTA, HPFHpA, 4:2 FTS, 6:2 FTS og 8:2 FTS.

Støtteparametere som TOC (15 prøver) og kornfordeling (11 prøver for 10 fraksjoner fra < 2 µm til 20 mm) ble analysert i et utvalg av jordprøvene.

Én jordprøvene fra BØFB (SJ3) og fem grunnvannsprøver (BR01 til BR05) hvor det var mistanke om andre typer forurensinger ble i tillegg analysert for 8 metaller/metalloider (bly, kadmium, kobber, kvikksølv, nikkel, sink og arsen), 7 PCB-forbindelser og sum PCB-7, 16 PAH-forbindelser, bl.a. naftalen og benzo(a)pyren, samt sum PAH-16, mineralolje (C5-

C35) og aromaterne benzen, toluen, etylbenzen og xylener (BTEX). En oppsummering av analyseresultatene er gitt i vedlegg B.

Analyserapporter fra Eurofins er gitt i vedlegg I.

## 4.3 Jord

Det ble samlet inn jordprøver fra totalt 140 prøvepunkt i forbindelse med PFAS-kartleggingen. Hovedvekt av prøvene ble samlet inn ved BØFB (96 punkter, hvorav 56 av disse er prøvetatt i skråningen nedenfor brannøvingsfeltet). I tillegg ble det utført jordprøvetaking ved BØFA (12 punkter), TERM øst (7 punkter), TERM (17 punkter) og RULV (8 punkter).

Løsmassebeskrivelser er gitt i vedlegg A. Jordprøvene ble pakket i lufttette rilsanposer og oppbevart mørkt og kjølig fram til analyse.

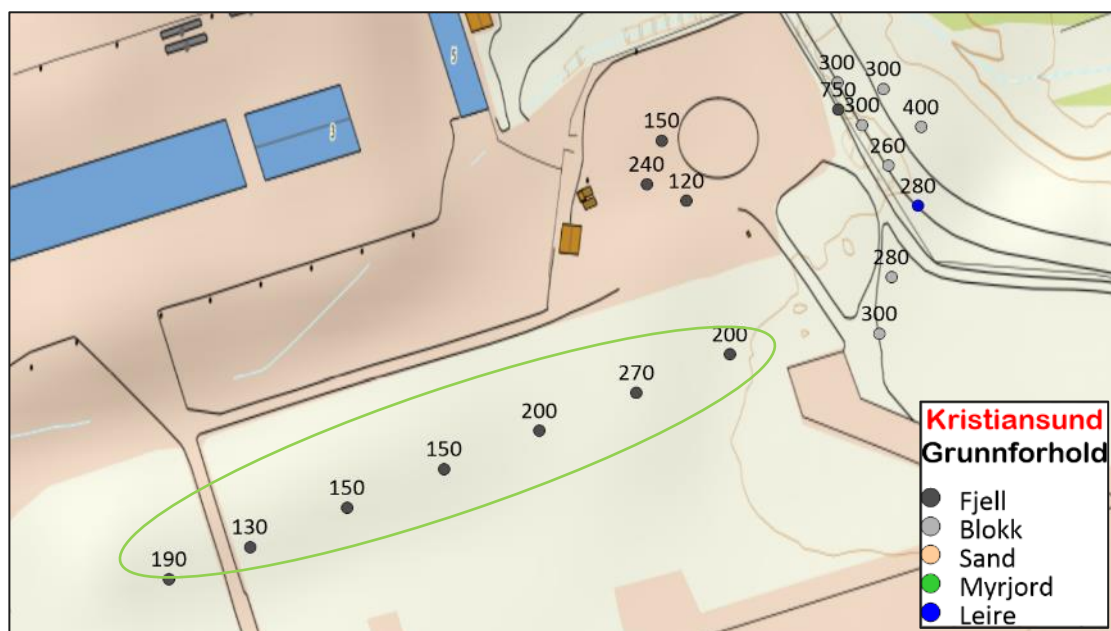
Gjennomføring av feltarbeid har tatt utgangspunkt i metodikk i NS-ISO 10381 (Norsk standard, 2005) og Miljødirektoratets veileder TA-2553/2009 (Miljødirektoratet, 2009).

### 4.3.1 BØFA

#### 4.3.1.1 Grunnforhold

Sjakter ble gravd ut med gravemaskin. Det var for det meste sprengsteinfylling, og de fleste prøvepunktene ved BØFA ble avsluttet i blokk uten å treffe fjell (Figur 23). Fyllingen var dominert av stor stein/blokk med noe grusig sand. På den vestlige delen av øvingsplattformen ble det brukt borerigg og ODEX-boring for uttak av jordprøver. I sprengsteinsfyllingen var det hovedsakelig sandfraksjonen som ble prøvetatt.

Basert på graveprofiler fra prøvetakingen, er det gjort en vurdering av tykkelsen på løsmassedekket over fjell, som vist i Figur 23. I den vestlige delen av brannøvingsfeltet var det 1,2-2,4 m til fjell, og mot øst økte dybden til fjell til opp mot 7,5 m ved brønn BR2 (Figur 23). Den østlige delen av området er fylt opp med sprengstein i forbindelse med en rullebaneforlengelse.



Figur 23 Grunnforhold ved BØFA og TERM øst (grønn sirkel) basert på prøvegraving høsten 2021. Prøvetakingspunktene er angitt med fargekoder for grunnforhold i bunn av prøvepunktene. Gravedybde oppgitt i cm.

#### 4.3.1.2 Konsentrasjonsnivå

Kart som viser prøvepunkter og konsentrasjoner av sum PFAS på BØFA og TERM øst basert på prøvetakingen i november 2021 er vist i Figur 24. Kartet viser konsentrasjonene på ulike dybdenivå som myntstabler, og er klassifisert iht. fastsatte klassegrenser (se kap. 1.3). Analyserapporter er gitt i vedlegg I, og resultatene for sum PFAS er vist for ulike dyp i prøvepunktene i Tabell 8, fargeklassifisert iht. konsentrasjonsintervaller i Tabell 1.

Med unntak av tre prøvepunkt, SJ23, BO02 og BO25 på BØFA, ble det i 2021 påvist lave konsentrasjoner (<30 µg/kg, se Tabell 8), med gjennomsnittlig sum PFAS-nivå på 23 µg/kg. Høyeste sum PFAS konsentrasjon ble målt til 130 µg/kg fra 3 til 6 m dyp i prøvepunkt BO02 øst for den sentrale øvingsplattformen; ved 6-7,5 m dybde ble det påvist 58 µg sum PFAS/kg, og fjell ble påtruffet ved 7,5 m dybde. Dette punktet er et brønnboringspunkt som ble prøvetatt i grunnvannssonen dypere enn 3 m. Punktet ligger imidlertid nært sjakt SJ12, som er antatt å være representativt for øvre 3 m (<150 µg/kg, se Figur 24).

Tabell 8 Analyseresultater for PFOS og sum PFAS i jordprøver (µg/kg) fra BØFA prøvetatt i 2021. Resultatene er fargekodet iht. konsentrasjonsintervaller gitt i Tabell 1.

Område	Prøvepunkt	Dyp (m)	PFOS	Sum PFAS	Maks gravedyp (m)	Grunn ved maks gravedyp
BØFA	SJ17	0-1	0,3	2,8	3	Blokk
		1-2	1,6	5,8		
		2-3	0,63	6,5		
	SJ18	2-3	5,7	21	3	Blokk
	SJ19	2-3	9	15	3	Blokk
SJ20	2-3	0,25	2,5	3	Blokk	

Område	Prøvepunkt	Dyp (m)	PFOS	Sum PFAS	Maks gravedyp (m)	Grunn ved maks gravedyp
		3-4	0,49	2,7	4	Blokk
	SJ21	2-2,6	1,6	8,5	2,6	Blokk
	SJ22	2-2,8	0,66	2,7	2,8	Leire
	SJ23	0-1	48	110	2,8	Blokk
		1-2	38	61		
		2-2,8	7	12		
	SJ24	0-1	2,5	7,7	3	Blokk
		1-2	1,7	3,5		
		2-3	5	8,8		
	BO02	3-6	120	130	7,5	Fjell
		6-7,5	53	58		
	BO25	0-1	43	46	1,2	Fjell
		1-1,2	19	21		
	BO26	0-1	2,5	4,4	2,4	Fjell
		1-2	0,56	2,5		
		2-2,4	0,9	2,8		
	BO27	0-1	0,55	2,9	1,5	Fjell
		1-1,5	0,17	2,1		



Figur 24 Kart over prøvepunkter for jordprøver ved BØFA og TERM øst (gul sirkel) ved Kristiansund lufthavn. Prøvepunkter er klassifisert iht. konsentrasjonsintervaller for sum PFAS (µg/kg). Kartet viser prøvepunkter fra 2011-2021 (TERM øst er kun prøvetatt i 2021).

#### 4.3.1.2 Sammenlikning med tidligere undersøkelser

Konsentrasjonsnivåene av sum PFAS på BØFA fra den supplerende undersøkelsen i 2021 var generelt lavere enn resultatene fra prøvene i det sentrale området av brannøvingsfeltet fra 2020 (Norconsult, 2021a). I 2020 ble det påvist moderate/høye konsentrasjoner av sum PFAS i seks sjakter (mellom 200-860 µg/kg for jordprøver, samt 1500 µg/kg for en betongprøve). Disse punktene var lokalisert sør for øvingsplattformen og i det gresskledde området mellom øvingsplattform og rullebane. De resterende sjaktene hadde i likhet med 2021-prøvene lave/moderate konsentrasjoner av sum PFAS i jord (<130 µg/kg).

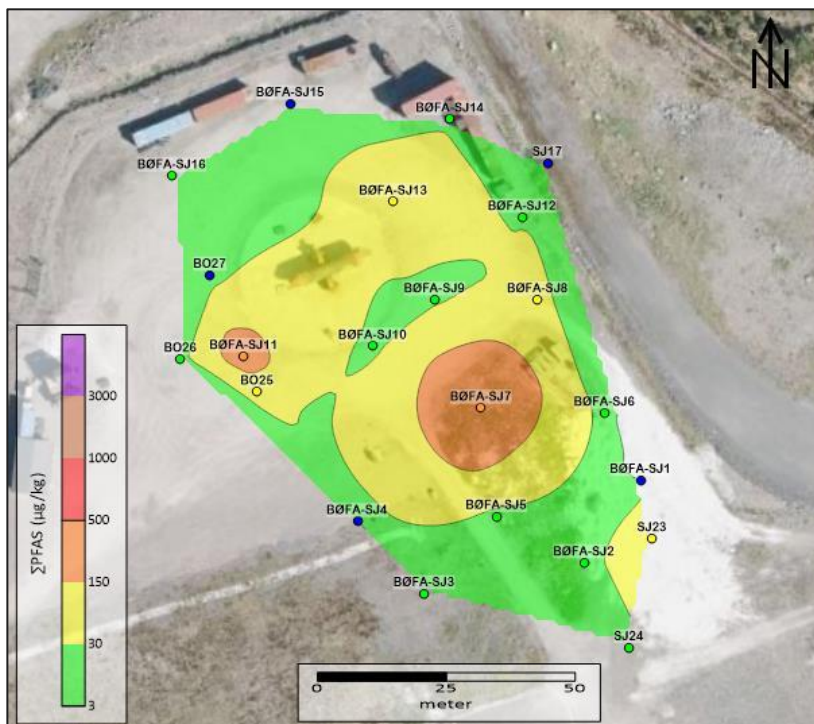
I 2020 ble det i tre prøvepunkter sørøst for øvingsplattformen (prøvepunkt SJ10, SJ9 og SJ8) påvist sum PFAS >500 µg/kg (Figur 21 og Figur 24). Forurensningen ble funnet på 1-3,5 m dyp, med høyest konsentrasjon (860 µg/kg) i SJ10 100-250 cm over fjell (Figur 21). Det meste av grunnen består av sprengsteinsfylling, men det er også noe organisk jord med relativt høye konsentrasjoner av PFAS.

#### 4.3.1.3 Horisontal avgrensning

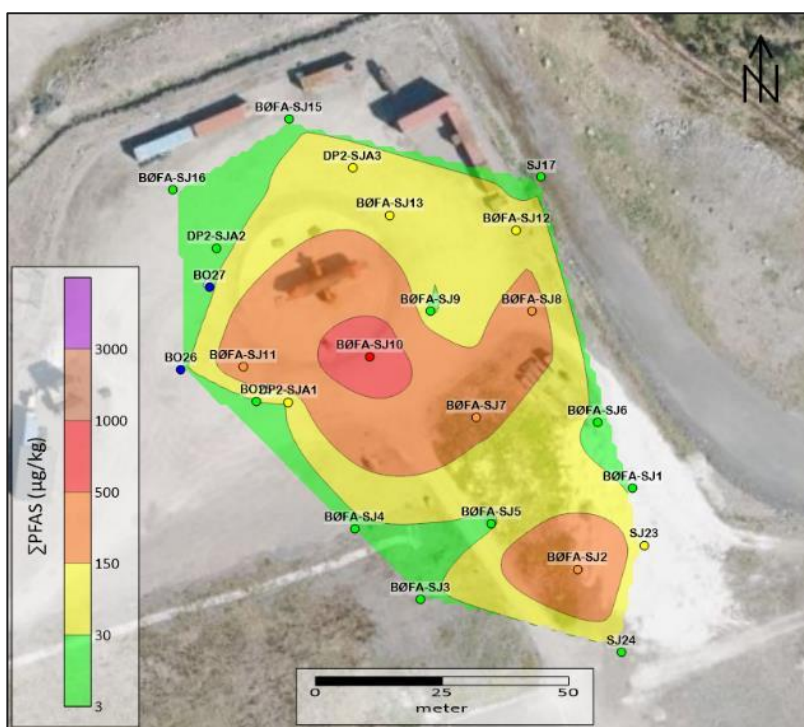
I Figur 25-Figur 27 vises interpolerte konsentrasjonsnivåer av sum PFAS generert i programvaren Surfer, basert på gjennomsnittsnivåer for alle dybder i hvert prøvepunkt, samt per meter ned til 3 m dybde. Figurene er basert på analyseresultater fra DP2-undersøkelsen i 2011, samt supplerende undersøkelser i 2020-2021. Det presiseres at sum PFAS-resultatene fra DP2-undersøkelsen er estimater basert på oppjusterte PFOS-nivåer, ettersom disse prøvene kun ble analysert for et utvalg PFAS-forbindelser (Sweco/COWI, 2012) sammenliknet med prøvene fra 2020-2021. Med utgangspunkt i analyseresultatene for jordprøvene fra BØFA fra 2020-2021 utgjorde PFOS ca. 54 % av sum PFAS. Sum PFAS-konsentrasjonene for DP2-prøvene fra BØFA som er inkludert i programvaren Surfer er dermed basert på målte PFOS-konsentrasjoner som er oppjustert med (100 % - 54 %) 46 %.

Som vist i Figur 25-Figur 27 har prøvepunktene lengst nord, øst, sør og vest for øvingsplattformen generelt lave nivåer av sum PFAS (<30 µg/kg), med unntak av enkelte prøvepunkter i sørøst med relativt høyere konsentrasjoner: toppjorden (0-1 m) i prøvepunkt SJ23 (110 µg/kg), samt dypere liggende jord fra 1 til 2 m i prøvepunkt SJ23 (61 µg/kg) og BØFA-SJ2 (470 µg/kg). Forurensningen i prøvepunkt SJ2 er imidlertid avgrenset mot sør av prøvepunkt SJ24 med sum PFAS-nivåer <30 µg/kg. For 0-2 m dybde er det imidlertid noe usikkerhet knyttet til den horisontale utstrekningen mot øst for den påviste forurensningen i prøvepunkt SJ23, men generelt er den horisontale utstrekningen av forurensningen på BØFA avgrenset.

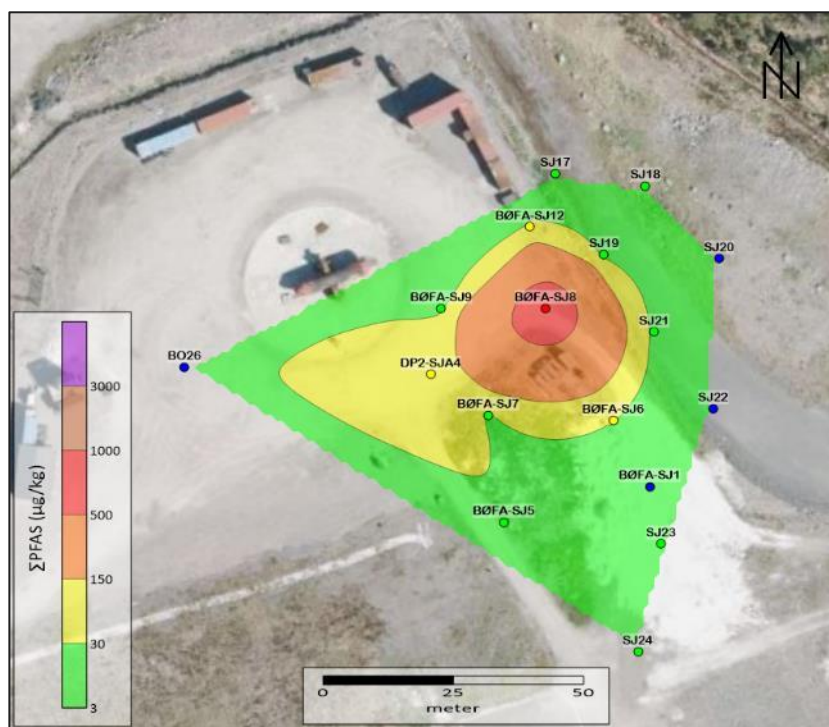




Figur 25 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS generert av programvaren Surfer basert på  $\Sigma$ PFAS-konsentrasjoner i 0-1 m dybde per prøvepunkt. Figuren inkluderer prøvetakingspunkter fra DP2-undersøkelsen i 2011, samt supplerende undersøkelser i 2020-2021.



Figur 26 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS generert av programvaren Surfer basert på  $\Sigma$ PFAS-konsentrasjoner i 1-2 m dybde per prøvepunkt. Figuren inkluderer prøvetakingspunkter fra DP2-undersøkelsen i 2011, samt supplerende undersøkelser i 2020-2021.



Figur 27 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS generert av programvaren Surfer basert på  $\Sigma$ PFAS-konsentrasjoner i 2-3 m dypde per prøvepunkt. Figuren inkluderer prøvetakingspunkter fra DP2-undersøkelsen i 2011, samt supplerende undersøkelser i 2020-2021.

#### 4.3.1.4 Avgrensning i dypet

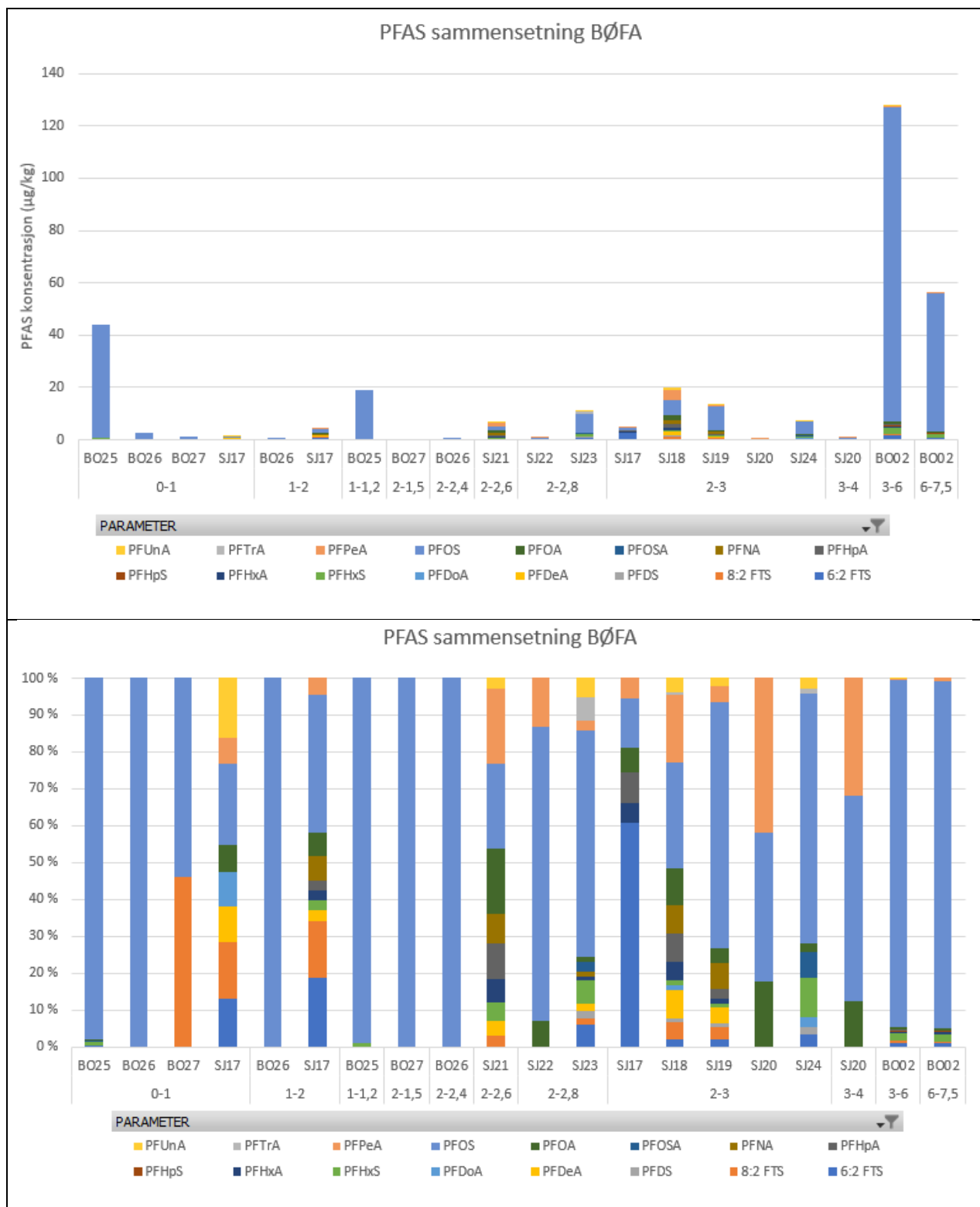
Forurensningen er generelt avgrenset mot dypet ved påtreff av fjell eller eventuelt konsentrasjonsnivåer lavere enn 30 µg/kg, som illustrert i Figur 25-Figur 27 og vist i Tabell 8. De høyeste PFAS-konsentrasjonene (>500 µg/kg) ble påvist i prøvepunkt BØFA-SJ10 og BØFA-SJ8 på hhv. 1-2 og 2-3 m dypde (se Figur 24). Forurensningen i disse punktene er imidlertid avgrenset mot dypet ved påtreff av fjell ved hhv. 2,5 og 3 m dypde (Norconsult, 2021a). Videre ble det i 2020 påvist en moderat til høy sum PFAS-konsentrasjon (690 µg/kg) ved 3-3,5 m dypde i prøvepunkt BØFA-SJ9, som ikke ble avgrenset i dypet grunnet ras i sjakt og vanskelige masser å grave i (Norconsult, 2021a). Med unntak av dette er forurensningen ansett som relativt godt avgrenset i dypet basert på de prøvetatte punktene.

#### 4.3.1.5 PFAS sammensetning

En oversikt over prosentvis sammensetning av PFAS-forbindelser i jordprøvene fra kildeområdet BØFA (prøver fra 2021) er vist i Figur 28. Resultatene viser at det var relativt stor variasjon i PFAS-sammensetning, men at prøvene med høyest nivå av sum PFAS generelt var dominert av PFOS. Eksempelvis utgjorde PFOS-konsentrasjonene for BØ25 0-1 m og 1-1,2 m, samt BØ02 3-6 m og 6-7,5 m i overkant av 90 % av sum PFAS. For prøvene med relativt lavere PFAS-nivåer var PFAS-sammensetningen mer heterogen (Figur 28). Gjennomsnittlig prosentandel PFOS av sum PFAS basert på samtlige prøver fra BØFA prøvetatt i 2021 var ca. 50 %, men det presiseres at det var stor variasjon i datasettet (fra 8 % PFOS i en prøve med 2,1 µg sum PFAS/kg, til 93 % i en prøve med 46 µg sum PFAS/kg).

I enkelte prøver utgjorde forbindelsene 6:2 FTS, 8:2 FTS, PFOA og PFPeA > 10 % av sum PFAS, men med unntak av PFOS utgjorde ingen av enkeltforbindelse i gjennomsnitt mer enn 4 % av sum PFAS.

I prøvene fra 2020 utgjorde PFOS mellom 24-100 % av sum PFAS i de analyserte prøvene (Norconsult, 2021a). Andre forbindelser som PFBA, 6:2 FTS og 8:2 FTS utgjorde også en betydelig andel av sum PFAS i flere prøver (opp mot 76 % for PFBA og opp mot 24 % for 6:2 FTS og 8:2 FTS) (Norconsult, 2021a).



Figur 28 PFAS-sammensetning i jordprøver fra BØFA prøvetatt i 2021. Det er kun parametere som er påvist i minst én av prøvene som er vist i figuren. Resultater er vist per dybdeintervall (m) og prøvepunkt. Øverst vises PFAS-nivåer som µg/kg, og nederst vises prosentvis konsentrasjonsfordeling av de ulike PFAS-forbindelsene per prøve.

## 4.3.2 TERM øst

### 4.3.2.1 Grunnforhold

Basert på graveprofiler fra prøvetakingen, er det gjort en vurdering av tykkelsen på løsmassedekket over fjell ved TERM øst, som vist i Figur 23. Det var generelt ca. 2 m til fjell basert på prøvegravingene (1,3-2,7 m, se Tabell 9).

### 4.3.2.2 Konsentrasjonsnivå

Nivåene av sum PFAS målt i prøvepunktene innenfor terminalområdet øst (TERM øst) var lave og varierte fra <2 til 7,9 µg/kg, med gjennomsnittsnivå på 3,2 µg/kg (Tabell 9). TERM øst er dermed ikke ansett som et kildeområde av betydning for PFAS-forurenset grunn på lufthavnen, og er av den grunn ikke omtalt videre i det etterfølgende.

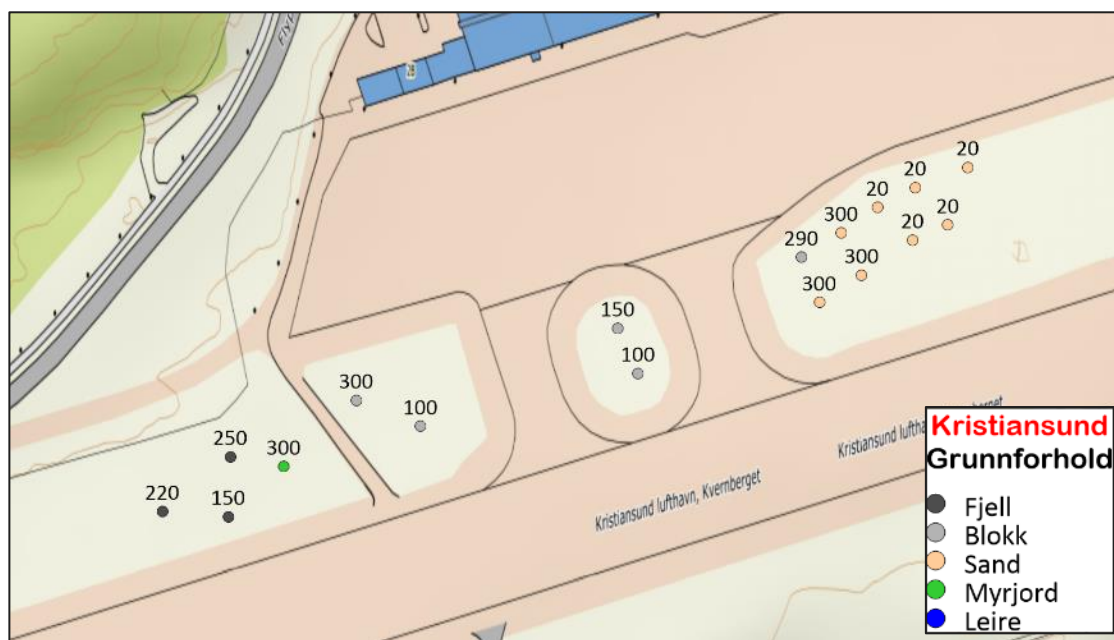
Tabell 9 Analyseresultater for PFOS og sum PFAS i jordprøver (µg/kg) fra TERM øst prøvetatt i 2021. Resultatene er fargekodet iht. konsentrasjonsintervaller gitt i Tabell 1.

Område	Prøvepunkt	Dyp (m)	PFOS	Sum PFAS	Maks gravedyp (m)	Grunn ved maks gravedyp
TERM øst	TERM-SJ13	0-1	0,073	2	1,9	Fjell
		1-1,9	0,26	<2		
	TERM-SJ14	0-1	1,2	2,2	1,3	Fjell
	TERM-SJ15	0-1	0,11	3,2	1,5	Fjell
	TERM-SJ16	0-1	0,77	2	1,5	Fjell
	TERM-SJ17	0-1	3,9	2,7	2	Fjell
	TERM-SJ18	0-1	0,073	7,9	2,7	Fjell
		1-2	0,75	2,9		
		2-2,7	0,44	2,4		
	TERM-SJ19	0-1	1,3	3,4	2	Fjell

## 4.3.3 TERM

### 4.3.3.1 Grunnforhold

Undersøkellesområdet ved TERM har ikke blitt prøvetatt tidligere. Sjakter ble gravd ut med gravemaskin, i hovedsak ned til fjell ved ca. 1,5-2,5 m dybde i den vestlige delen av området slik det er vist i Figur 29. I den midtre delen av TERM var det sprengsteinsfylling hvor det ikke har lyktes å grave til fjell, og lengst øst var det sandig jord til minimum 3 m dyp (se Figur 29-Figur 30).



Figur 29 Grunnforhold ved TERM (terminalområdet) i vest basert på prøvegraving høsten 2021. Prøvetakingspunktene er angitt med fargekoder for grunnforhold i bunn av prøvepunktene. Gravedybde oppgitt i cm.



Figur 30 Bilde fra prøvetakning av løsmasser i punkt TERM-SJ02 i november 2021. Vann renner ned i overgangen til finere masser.

## 4.3.3.2 Konsentrasjonsnivå

Resultater fra prøvetakingen av terminalområdet (TERM) er vist i Figur 31 og

Tabell 10. Prøvene som ble tatt i den midtre og vestlige delen av TERM (SJ5-SJ12) hadde lavt innhold av sum PFAS fra 3,7 til 15 µg/kg (gjennomsnitt: 9,0 µg/kg). I prøvepunktene lenger mot øst (SJ1-SJ4 og SJ20-SJ24) ble det imidlertid påvist noe høyere konsentrasjoner av sum PFAS, med nivåer fra 4,7 til 460 µg/kg (se Figur 31), med gjennomsnittsverdi på 128 µg/kg. Dette kan forklares med at det kan ha forekommet vasking og bruk av utstyr med brannskum i dette området, som nevnt i kap. 1.5. For dette området er det beregnet at det ligger ca. 0,3 kg sum PFAS. Beregningen er basert på undersøkt areal på ca. 1200 m<sup>2</sup> (areal fra programvaren Surfer, basert på interpolert utstrekning av PFAS-forurensning), antatt mektighet av forurensning på 2 m, og interpolert konsentrasjon av sum PFAS fra programvaren Surfer på 69 µg/kg for det undersøkte området (basert på gjennomsnittlig konsentrasjonsnivå for alle prøvetatte dybder per prøvepunkt).

Med utgangspunkt i relativt lave/moderate PFAS-konsentrasjoner, og lave beregnede mengder PFAS i området i øst hvor det er påvist >30 µg PFAS/kg, er området TERM ikke vurdert som et PFAS-kildeområde av betydning, og det er av den grunn ikke omtalt videre.

Tabell 10 Analyseresultater for PFOS og sum PFAS i jordprøver (µg/kg) fra TERM prøvetatt i 2021. Resultatene er fargekodet iht. konsentrasjonsintervaller gitt i Tabell 1.

Område	Prøvepunkt	Dyp (m)	PFOS	Sum PFAS	Maks gravedyp (m)	Grunn ved maks gravedyp
TERM	SJ1	0-1	360	460	3	Skjellsand
	SJ2	0-1	30	39	3	Skjellsand
	SJ3	0-1	370	420	2,9	Blokk
		1-2	130	250		
		2-2,9	6,9	11		
	SJ4	0-1	98	110	3	Skjellsand
	SJ5	0-1	11	14	3	Skjellsand
		1-1,5	4,3	6,2		
	SJ6	0-1	7,4	9,6	1,5	Blokk
	SJ7	0-1	0,17	2,4	1	Blokk
	SJ8	0-1	1,7	3,7	3	Blokk
	SJ9	0-1	2,4	10	3	Myrjord
		1-2	3,6	6,2		
		2-3	3,4	11		
	SJ10	0-1	3,8	6,3	1,5	Fjell
	SJ11	0-1	3,2	6,3	2,5	Fjell
	SJ12	0-1	4,0	6,2	2,2	Fjell
	SJ20	0-0,2	0,66	4,7	20	Sand
	SJ21	0-0,2	2,4	5,1	20	Sand
	SJ22	0-0,2	19	27	20	Sand
	SJ23	0-0,2	19	38	20	Sand
	SJ24	0-0,2	38	50	20	Sand



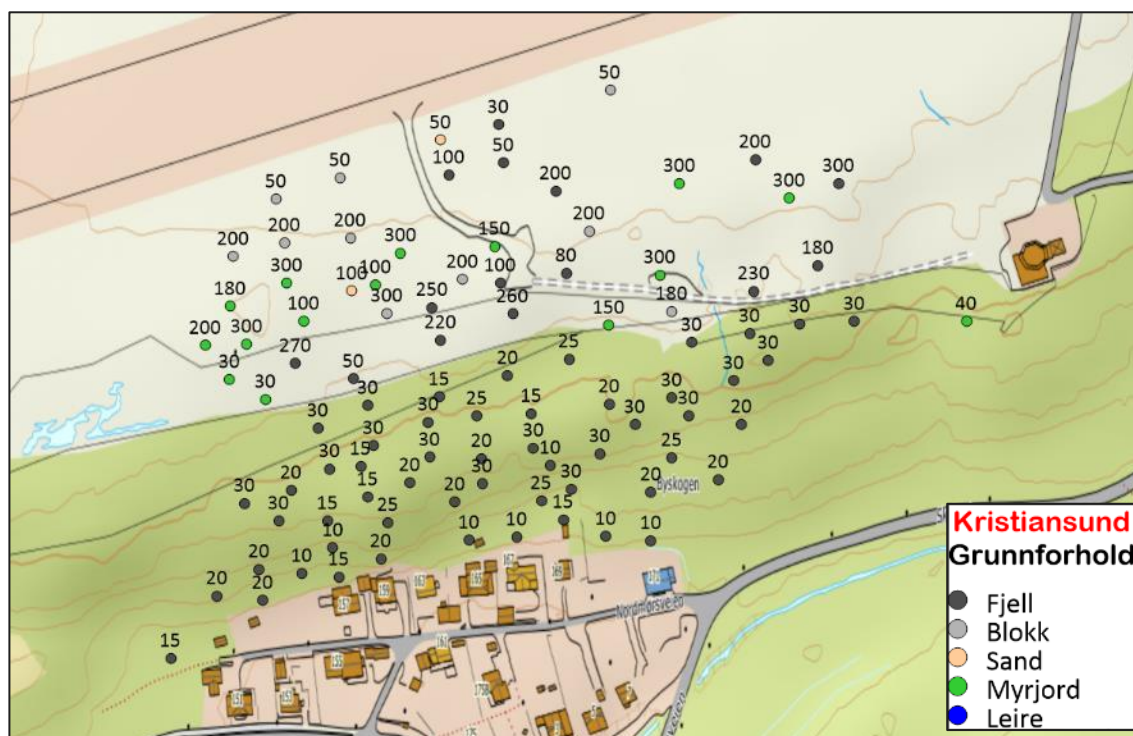
Figur 31 Kart over prøvepunkter ved terminalområdet TERM-vest på Kristiansund lufthavn. Prøvepunkter er klassifisert iht. konsentrasjonsintervaller for  $\Sigma$ PFAS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Kartet viser nye prøvepunkter fra 2021 (ikke prøvetatt tidligere).

#### 4.3.4 BØFB

##### 4.3.4.1 Grunnforhold

Under prøvegravingen i 2021-2022 ble det gravd ut sjakter på flaten ved BØFB med gravemaskin, slik det er vist i Figur 32. I likhet med tidligere undersøkelser (Norconsult og Sweco, 2016) var det relativt grunt til fjell i den sentrale delen av feltet (1-2 meter med sprengsteinmasser), og mot øst var det til dels fjell i dagen. Mot vest var det myr, og i skråningen nedenfor brannøvingsfeltet (prøvetatt med spade) mot sør var det til dels fjell i dagen og et tynt løsmassedecke av lyng over fjell, opp mot ca. 30 cm (Figur 32).





Figur 32 Grunnforhold ved BØFB basert på prøvetaking utført i 2021-2023. Prøvetakingpunktene er angitt med fargekoder for grunnforhold i bunn av prøvepunktene. Gravedybde oppgitt i cm.

Foto av sprengsteinfyllingen i den sentrale delen av BØFB er vist i Figur 33. Det er fremdeles en del naturlig myrjord i den vestlige delen av BØFB, samt noe i den østlige delen (Figur 33).



Figur 33 Prøvesjakter ved BØFB. Sjakt SJ02 (venstre) og SJ06 (høyre).

Jordprøver fra skråningen nedenfor BØFB var ikke mulig å prøveta ved bruk av gravemaskin ettersom området er skogkledd og stedvis svært kupert/bratt (se Figur 35). Disse prøvene ble av den grunn prøvetatt ved bruk av håndholdt spade, som vist av foto i Figur 34.

Det har vært flere runder med prøvetaking i skråningen, med mål om å avgrense PFAS-furensningen: november 2021, juni 2022, februar 2023 og mars 2023. Som beskrevet i det

etterfølgende er imidlertid ikke forurensningen tilstrekkelig avgrenset mot boligfeltet i sør, og det er derfor pågående arbeid med informasjon og forespørsel om prøvetaking på privat eiendom for å avgrense forurensningen og avdekke eventuell risiko og behov for tiltak. Resultatene fra dette arbeidet vil oversendes Miljødirektoratet som et tilleggsnotat til tiltaksplanen innen juli 2023.



*Figur 34 Foto som viser prøvetaking i skråningen sør for BØFB i februar 2023. T.v.: SJ81, t.h.: SJ72.*



*Figur 35 Foto fra befaring og prøvetaking i skråningen nedenfor BØFB februar 2023. Som vist av bildet er terrenget stedvis kupert og svært bratt, med fjell i dagen.*



*Figur 36 Foto fra befaring og prøvetaking i skråningen nedenfor BØFB februar 2023. Fotoet er tatt av et flatere parti fra den øvre delen av skråningen.*

#### 4.3.4.2 Konsentrasjonsnivå

Kart som viser prøvepunkter og konsentrasjoner av sum PFAS på BØFB basert på prøvetakingen i 2021-2023 er vist i Figur 38. Kartet viser konsentrasjonene på ulike dybdenivå som myntstabler, og er klassifisert iht. fastsatte klassegrenser (se kap. 1.3). Analyserapporter er gitt i vedlegg I, og resultatene for sum PFAS er vist for ulike dyp med angivelse av gravedyp og grunnforhold i bunn av sjaktene i prøvepunktene i Tabell 11 (dette er også fremstilt i vedlegg C).

Gjennomsnittlig sum PFAS konsentrasjon basert på prøvetakingen utført av COWI var 669 µg/kg på flaten ved brannøvingsfeltet (2,9-18000 µg/kg), og 403 µg/kg i skråningen nedenfor brannøvingsfeltet (5,8-4000 µg/kg). Den høyeste konsentrasjonen på 18000 µg/kg ble påvist i toppjorden fra prøvepunkt SJ9, som er lokalisert sentralt i kildeområdet (se Figur 38). I samme prøvepunkt sank konsentrasjonen av PFAS med økende dybde, og det ble påvist hhv. 9600 og 210 µg sum PFAS/kg i dybdeintervall 1-2 og 2-2,5 m. Det er ikke tatt videre prøve for analyse av masser i SJ9, da det ble påtruffet fjell i prøvepunktet ved 2,5 m.

Tabell 11 Analyseresultater for PFOS og  $\Sigma$ PFAS i jordprøver (µg/kg) fra 2021-2022, prøvetatt på flaten ved brannøvingsfelt BØFB. Resultatene er fargekodet iht. konsentrasjonsintervaller gitt i Tabell 1.

Prøvepunkt	PFOS (µg/kg)	Sum PFAS (µg/kg)	Dybde (m)	Maks gravedyp (m)	Grunn ved maks gravedyp
SJ1	270	2500	0-1	1	Fjell
SJ2	250	2100	0-1	1,5	Myrjord
	2000	3700	1-1,5		
SJ3	6,3	22	0-1	2	Blokk
	6000	8000	1-2		
SJ4	87	160	0-1	3	Myrjord
	3,2	21	1-2		
	140	21	1-2		
SJ5	31	220	2-3	2	Blokk
SJ6	17	32	0-1	1	Myrjord
SJ7	28	63	0-1	3	Blokk
	25	31	1-2		
	0,71	3,3	2-3		
SJ8	6,7	10	0-1	1	Sand
SJ9	12000	18000	0-1	2,5	Fjell
	6200	9600	1-2		
	17	210	2-2,5		
SJ10	27	40	0-1	2	Myrjord
	17	28	1-2		
SJ11	30	42	0-1	3	Myrjord
	30	56	1-2		
	36	52	2-3		
SJ12	9,3	13	0-1	1,8	Myrjord
SJ13	14	21	0-0,5	0,5	Blokk
SJ14	180	210	0-0,5	0,5	Blokk
SJ15	19	31	0-0,5	0,5	Blokk
SJ16	9,5	15	0-0,3	0,3	Fjell
SJ17	17	23	0-1	1	Fjell
SJ18	29	39	0-0,5	0,5	Fjell
SJ19	4,6	13	0-1	2	Fjell
	24	31	1-2		
SJ20	60	74	0-1	2	Blokk
	54	66	1-2		
SJ21	8,8	58	0-1	1,8	Blokk

Prøvepunkt	PFOS (µg/kg)	Sum PFAS (µg/kg)	Dybde (m)	Maks gravedyp (m)	Grunn ved maks gravedyp
	620	1700	1-1,8		
SJ22	270	400	0-1	1,5	Myrjord
	8,4	54	1-1,5		
SJ23	90	260	0-1	2,6	Fjell
	460	640	1-2		
SJ24	54	63	2-2,6	2,2	Fjell
	87	110	0-1		
SJ25	170	200	1-2,2	0,5	Fjell
	110	180	0-0,5		
SJ26	440	540	0-1	2,7	Fjell
	15	55	1-2		
SJ27	5,9	38	2-2,7	0,8	Fjell
	29	130	0-0,8		
SJ28	54	160	0-1	3	Myrjord
	190	220	1-2		
SJ29	130	160	2-3	2,3	Fjell
	120	150	0-1		
SJ30	2,2	6,4	1-2,3	1,8	Fjell
	6,1	14	0-1		
SJ31	1,2	5,7	1-1,8	3	Myrjord
	29	40	0-1		
SJ32	2,8	9,6	1-2	2	Fjell
	0,27	4	2-3		
SJ33	5,3	7,6	0-1	3	Myrjord
	0,12	2,9	1-2		
SJ34	11	14	0-1	0,5	Blokk
	6,8	17	1-2		
SJ44	19	26	2-3	2	Blokk
	4,6	7,2	0-0,5		
SJ45	9	14	0-1	2	Blokk
	0,59	4,2	1-2		
SJ46	1,9	5,7	0-1	2	Myrjord
	1	4,6	1-2		
SJ47	1,7	5,6	0-1	3	Myrjord
	0,21	3,8	1-2		
SJ48	2,7	6,8	0-1	0,30	Myrjord
	1,1	4,8	1-2		
SJ65	0,42	4,8	2-3	3	Fjell
	4,6	13	0-0,30		
SJ65	13	19	0-1	3	Fjell
	3,9	18	1-2		
	3,2	13	2-3		

Tabell 12 Analyseresultater for PFOS og  $\Sigma$ PFAS i jordprøver ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) fra 2021-2023, prøvetatt i skråningen nedenfor brannøvningsfelt BØFB. Resultatene er fargekodet iht. konsentrasjonsintervaller gitt i Tabell 1.

Prøvepunkt	PFOS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Sum PFAS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Dybde (m)	Maks gravedyp (m)	Grunn ved maks gravedyp
SJ35	3700	4000	0-0,25	0,25	Fjell
SJ36	1900	3300	0-0,20	0,20	Fjell
SJ37	92	170	0-0,15	0,15	Fjell
SJ38	1400	1500	0-0,25	0,25	Fjell
SJ39	470	660	0-0,15	0,15	Fjell
SJ40	240	320	0-0,20	0,20	Fjell
SJ41	42	63	0-0,20	0,20	Fjell
SJ42	3	8,2	0-0,30	0,30	Fjell
SJ43	15	20	0-0,40	0,40	Myrjord
SJ49	1,5	5,9	0-0,30	0,30	Myrjord
SJ50	9,9	15	0-0,30	0,30	Fjell
SJ51	900	990	0-0,30	0,30	Fjell
SJ52	1500	1700	0-0,30	0,30	Fjell
SJ53	960	1100	0-0,30	0,30	Fjell
SJ54	1100	1200	0-0,30	0,30	Fjell
SJ55	11	15	0-0,30	0,30	Fjell
SJ56	860	910	0-0,30	0,30	Fjell
SJ57	4,1	9	0-0,30	0,30	Fjell
SJ58	360	1000	0-0,30	0,30	Fjell
SJ59	27	78	0-0,30	0,30	Fjell
SJ60	19	27	0-0,30	0,30	Fjell
SJ61	5,2	9,6	0-0,30	0,30	Fjell
SJ62	5,7	13	0-0,30	0,30	Fjell
SJ63	2,4	6,4	0-0,30	0,30	Fjell
SJ64	11	17	0-0,30	0,30	Fjell
SJ66	19	23	0-0,15	0,15	Fjell
SJ67	30	37	0-0,20	0,20	Fjell
SJ68	89	130	0-0,30	0,30	Fjell
SJ69	20	27	0-0,15	0,15	Fjell
SJ70	89	110	0-0,20	0,20	Fjell
SJ71	86	120	0-0,25	0,25	Fjell
SJ72	91	110	0-0,15	0,15	Fjell
SJ73	3,3	5,8	0-0,20	0,20	Fjell
SJ74	14	32	0-0,30	0,30	Fjell
SJ75	15	24	0-0,30	0,30	Fjell
SJ76	820	960	0-0,10	0,10	Fjell
SJ77	96	150	0-0,10	0,10	Fjell
SJ78	50	62	0-0,25	0,25	Fjell
SJ79	8,8	16	0-0,10	0,10	Fjell
SJ80	54	63	0-0,30	0,30	Fjell
SJ81	430	490	0-0,25	0,25	Fjell
SJ82	52	200	0-0,30	0,30	Fjell
SJ83	5,9	11	0-0,20	0,20	Fjell
SJ84	16	29	0-0,20	0,20	Fjell
SJ85	17	31	0-0,20	0,20	Fjell
SJ86	66	150	0-0,10	0,10	Fjell
SJ87	39	53	0-0,10	0,10	Fjell
SJ88	160	220	0-0,15	0,15	Fjell
SJ89	610	960	0-0,10	0,10	Fjell
SJ91	41	57	0-0,20	0,20	Fjell
SJ92	27	35	0-0,15	0,15	Fjell
SJ93	170	270	0-0,10	0,10	Fjell
SJ94	670	800	0-0,20	0,20	Fjell
SJ95	38	49	0-0,20	0,20	Fjell
SJ96	110	170	0-0,20	0,20	Fjell
SJ97	13	19	0-0,15	0,15	Fjell

#### 4.3.4.3 Sammenlikning med tidligere undersøkelser

Det ble i likhet med DP2-undersøkelsen i 2011-2012 (Sweco/COWI, 2012) påvist høye konsentrasjoner av sum PFAS i den sentrale delen av det tidligere brannøvingsfeltet, med konsentrasjonsnivåer fra 500 til >3000 µg/kg (se Figur 38). Høyeste konsentrasjonsnivåer ble påvist i prøvepunkt SJ9 (0-1 m), SJ2 (1-2 m) og SJ3 (1-2 m) på hhv. 18000, 3700 og 8000 µg sum PFAS/kg (Tabell 11). I 2012 var høyeste påviste konsentrasjon i sjakt 8-2, hvor det ble påvist 12100 µg PFOS/kg (Sweco/COWI, 2012).

#### 4.3.4.4 Horisontal avgrensning

På flaten ved BØFB er det påvist høyest konsentrasjoner av sum PFAS (>1000 µg/kg) i den sentrale delen av feltet, og spesielt i punktene SJ1, SJ2, SJ3 og SJ9 (se Figur 38-Figur 42). I området hvor det nye flyplassgjerdet er plassert (se Figur 38) går det en fjellrygg (rett øst for porten er det fjell i dagen) som styrer avrenningen fra området mot øst mot kulpen ved prøvepunkt S3. De ytterste punktene mot øst og vest har generelt PFAS-nivåer <30 µg sum PFAS/kg.

I skråningen sør for brannøvingsfeltet er det påvist relativt høye konsentrasjoner i prøver av torvjord, med konsentrasjonsnivåer av sum PFAS >3000 µg/kg i prøvepunktene SJ35 (4000 µg/kg) og SJ36 (3300 µg/kg) nærmest brannøvingsfeltet/flaten. Til tross for at konsentrasjonene generelt avtar videre sørover, er det i enkelte prøvepunkter påvist moderate til høye konsentrasjoner av sum PFAS >150 µg/kg som ikke er tilstrekkelig avgrenset mot sør (SJ96, SJ93, SJ89 og SJ88 med hhv. 170, 270, 960 og 220 µg sum PFAS/kg) (se Tabell 12 og Figur 42). Som vist av foto i Figur 37 er flere av prøvepunktene prøvetatt like ovenfor bebyggelsen i sør. Etersom forurensningen ikke er tilstrekkelig avgrenset mot dette området, skal det utføres supplerende prøvetaking på privat eiendom for å avgrense forurensningen og avdekke eventuell risiko og behov for tiltak.



Figur 37 Foto som viser prøvetaking av prøvepunkter like ovenfor boligfelt. Prøvetaking utført av Kristiansund lufthavn 23.03.2023. T.v.: SJ96, t.h.: SJ89.

#### 4.3.4.5 Avgrensning i dypet

Undersøkelsen fra 2021-2023 representerer, i likhet med DP2-undersøkelsen fra 2011-2012, prøver fra sjiktet 0-3 meter. Den vertikale fordelingen av PFAS er generelt relativt godt avgrenset i dypet av i) fjell ved ca. 2-3 m dybde på flaten, ii) fjell ved opp mot 0,3 m dybde i skråningen, og/eller iii) konsentrasjonsnivåer av sum PFAS <30 µg/kg (se Tabell 11-Tabell 12 og Figur 38-Figur 42).

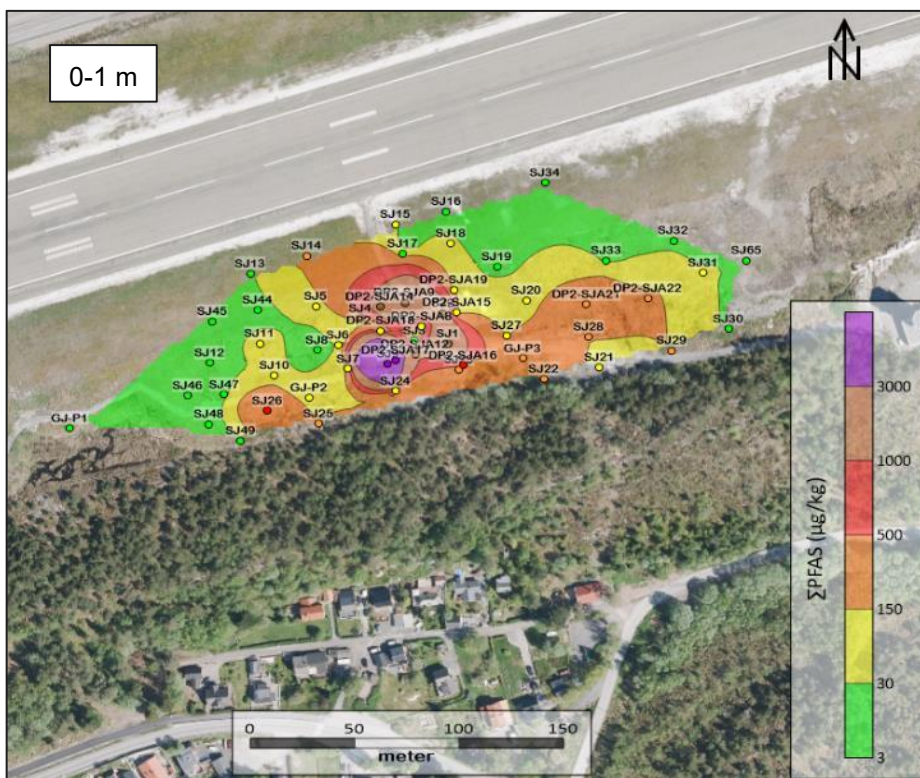
Det er imidlertid noen prøvepunkter på flaten som ikke er fullstendig avgrenset iht. kriteriene nevnt i foregående avsnitt. Av disse er det påvist spesielt høye konsentrasjoner av sum PFAS i følgende prøvepunkt:

- › SJ2 i den sentrale delen av BØFB (hotspot område): påvist 3700 µg/kg for 1-1,5 m dybde. I dette punktet var det masseutskiftet med sprengsteinmasser til ca. 1,5 m over underliggende opprinnelig myrjord. Ettersom grunnvann ble påvist ved ca. 1,7 m dybde ble det ikke utført prøvetaking av dypereliggende jord. Hvor godt PFAS bindes til ulike masser varierer stort – generelt bindes PFAS-forbindelser som PFOS sterkere til masser med høyt enn lavt innhold av organisk karbon (Liu, et al., 2020). Ettersom det ble påvist myrjord fra ca. 1,5 m dybde i prøvepunkt SJ2 forventes det dermed at forurensningen i prøvepunktet også kan være spredt dypere enn til den prøvetatte dybden på 1,5 m.
- › SJ3 i den sentrale delen av BØFB (hotspot område): påvist 8000 µg/kg for 1-2 m dybde. Stopp i stor stein/blokk ved 2 m dybde. Hotspot område, også påvist andre forurensningskomponenter, som olje (se vedlegg B).
- › SJ21 den sørøstlige delen av BØFB: påvist 1700 µg/kg for 1-2 m dybde. Stopp i stor stein/blokk ved 2 m dybde, 1-2 m: 1700 µg ΣPFAS/kg).

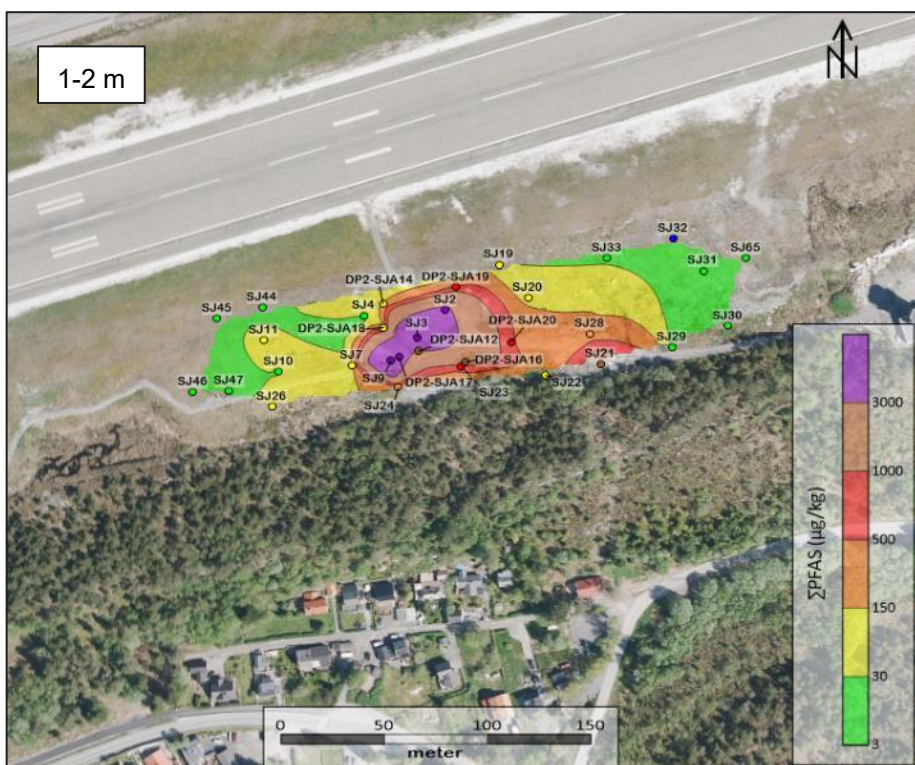




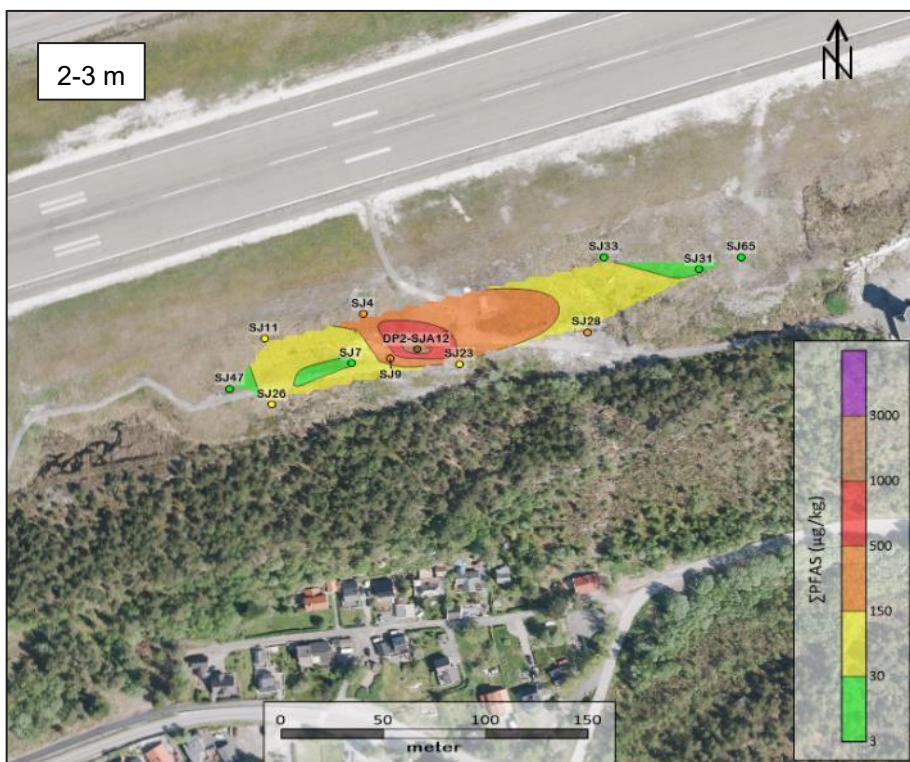
Figur 38 Kart over prøvepunkter fra 2011-2022 ved BØFB ved Kristiansund lufthavn. Prøvepunkter er klassifisert iht. konsentrasjonsintervaller for  $\Sigma$ PFAS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) jf. Tabell 1. Omtrentlig plassering av tidligere øvingsområde er vist med rød sirkel. Omtrentlig plassering av gjerdetrasé er vist med sorte, stiplede linjer.



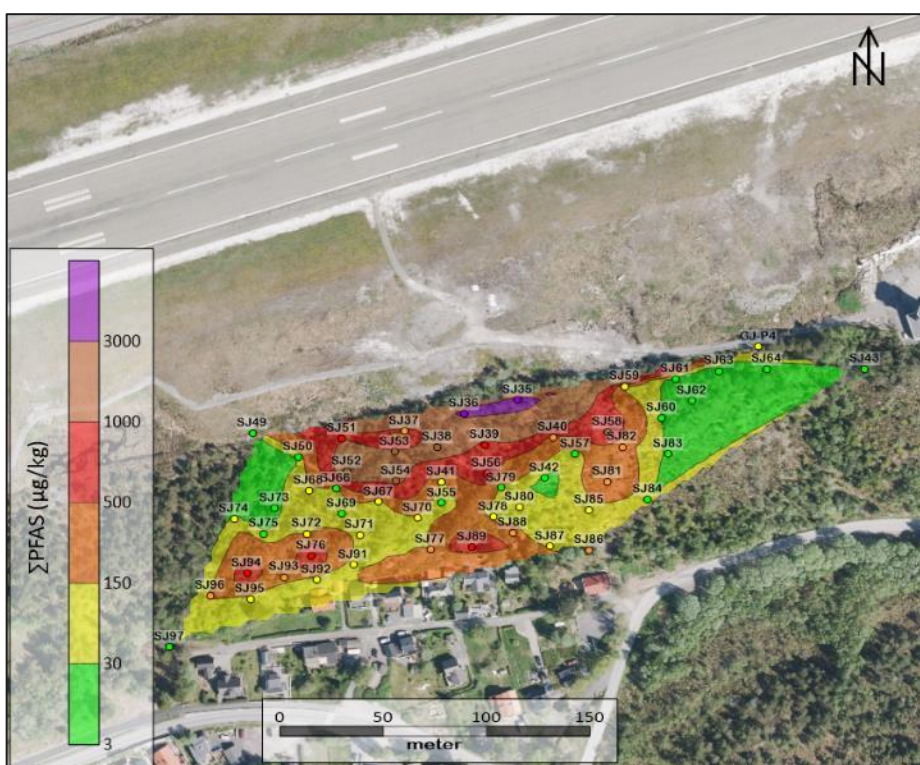
Figur 39 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS i jord ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) på BØFB flaten, basert på analyseresultater fra 2011-2022. Figuren er basert på prøver fra 0-1 m dyp.



Figur 40 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS i jord ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) på BØFB flaten, basert på analyseresultater fra 2011-2022. Figuren er basert på prøver fra 1-2 m dyp.



Figur 41 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS i jord ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) på BØFB flaten, basert på analyseresultater fra 2011-2022. Figuren er basert på prøver fra 2-3 m dyp.

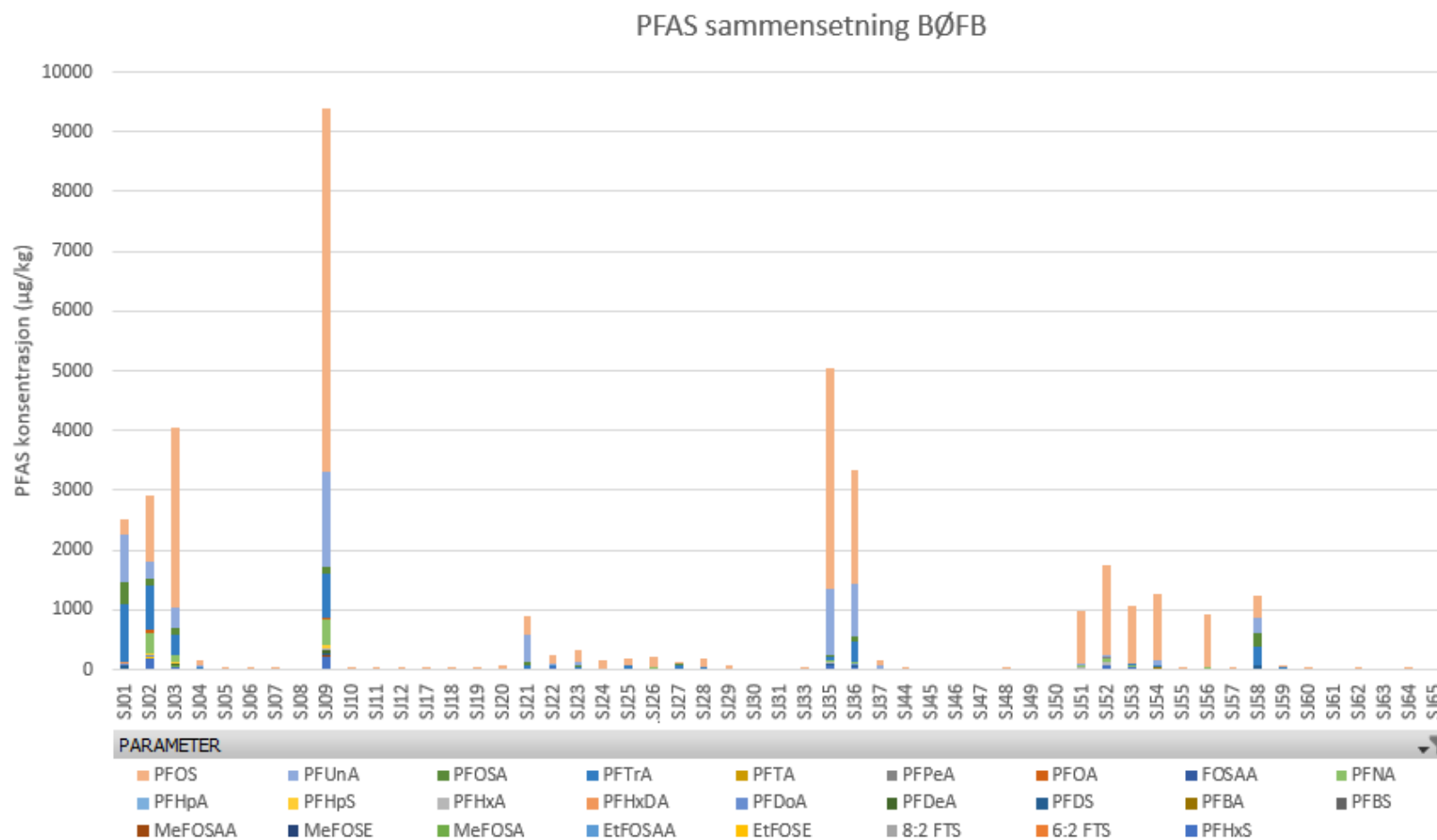


Figur 42 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS i jord ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) i skråningen nedenfor BØFB, basert på analyseresultater fra 2019-2023. Løsmassene i skråningen har en mektighet på opp mot 30 cm over fjell (gjennomsnitt ca. 15 cm over fjell).

#### 4.3.4.6 PFAS sammensetning

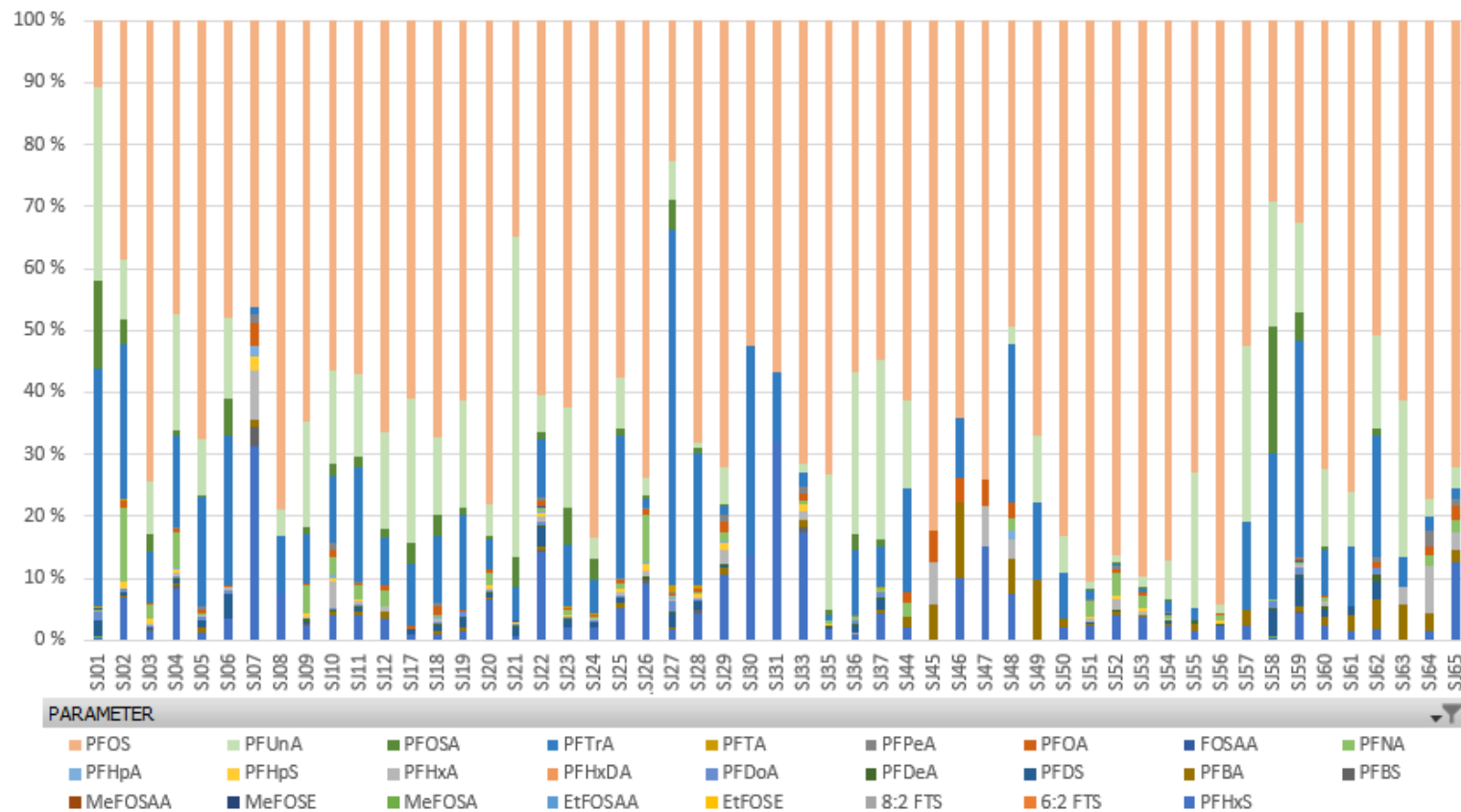
En oversikt over prosentvis sammensetning av PFAS-forbindelser i jordprøvene fra BØFB fra 2021-2022 er vist i Figur 43-Figur 44. Resultatene viser at det var relativt stor variasjon i PFAS-sammensetning, men at prøvene med høyest nivå av sum PFAS generelt var dominert av PFOS. I enkelte prøver med relativt høye gjennomsnittlige PFAS-nivåer (SJ01, SJ02, SJ09, SJ21 og SJ58) var det imidlertid også en betydelig andel av andre langkjedete PFAS-forbindelser som PFUnA, PFTrA, PFOSA og PFNA.

Gjennomsnittlig prosentandel PFOS av sum PFAS basert på samtlige prøver fra BØFB prøvetatt i 2021-2022 er beregnet til ca. 53 %, men det presiseres at det er stor variasjon i datasettet (6 til 95 %). Variasjonen var spesielt stor for prøvene med relativt lave sum PFAS-nivåer. Foruten PFOS utgjorde følgende forbindelser i gjennomsnitt mer enn 5 % av sum PFAS: de langkjedete karboksylsyrene PFTrA (12 %) og PFUnA (9 %), samt PFHxS (6 %) som har vært benyttet i brannskum. Sammenliknet med PFOS var de gjennomsnittlige bidragene fra andre PFAS-forbindelser relativt lave, og PFOS er derfor den forbindelsen som er brukt som styrende parameter mht. risikovurdering av spredning og helse.



Figur 43 PFAS-sammensetning i jordprøver fra BØFB, prøvetatt i 2021-2022. Det er kun parametere som er påvist i minst én av prøvene som er vist i figuren. Resultater er vist som gjennomsnitt (µg/kg) av alle dybder per prøvepunkt.

## PFAS sammensetning BØFB



Figur 44 PFAS-sammensetning i jordprøver fra BØFB, prøvetatt i 2021-2022. Det er kun parametere som er påvist i minst én av prøvene som er vist i figuren. Resultater er vist som gjennomsnittlig prosentvis konsentrasjonsfordeling av de ulike PFAS-forbindelsene per prøve.

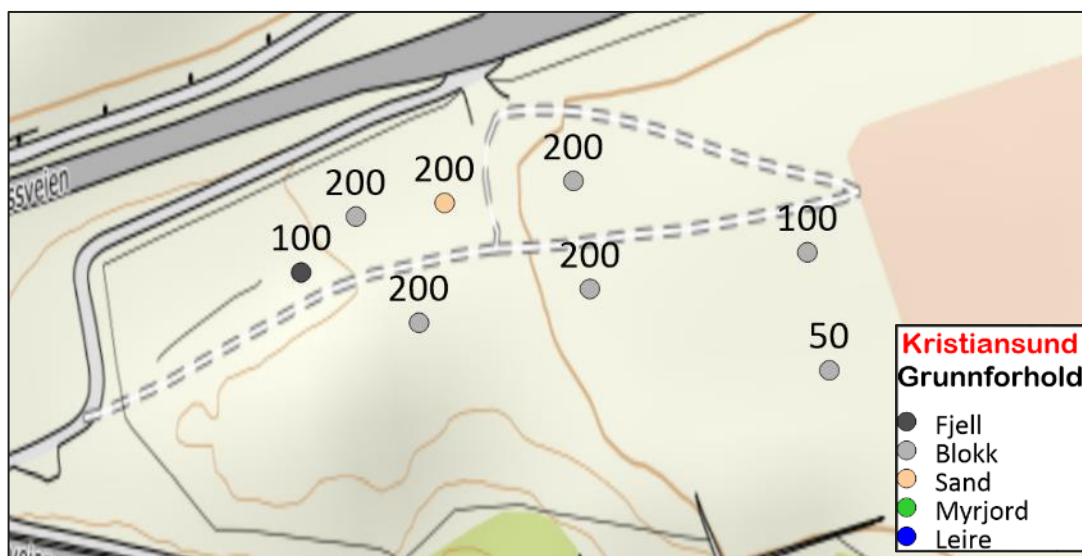
#### 4.3.4.7 Andre forurensningskomponenter

Det ble analysert for andre forurensninger enn PFAS i én jordprøve fra sjakt SJ3 på BØFB (sentralt i det tidligere øvingsområdet, se Figur 38), da det under feltarbeidet i november 2021 ble observert oljefilm i vannet i sjakten. Her var det derfor spesielt mistanke om forurensning av olje. Resultatene for analysene er klassifisert med fargekoder for helsebaserte tilstandsklasser iht. Miljødirektoratets veileder for forurenset grunn (Miljødirektoratet, 2022b) i vedlegg B. Det ble påvist overskridelser av normverdi for alifater (tilstandsklasse 5), bly (tilstandsklasse 2), sum PCB-7 (tilstandsklasse 2), benzo(a)pyren (tilstandsklasse 2) og sum PAH-16 (tilstandsklasse 3).

### 4.3.5 RULV

#### 4.3.5.1 Grunnforhold

Undersøkellesområdet ved RULV var ikke prøvetatt tidligere. Sjakter ble gravd ut med gravemaskin. Det ble gravd åtte sjakter fra 0,5-2 m dybde, der seks ble avsluttet i steinfylling, en i sandige masser og en i fjell på 1 m dybde. Bilder fra prøvetaking ved RULV er vist i Figur 46.



Figur 45 Grunnforhold ved RULV (vestlig del av rullebanen) basert på prøvegraving høsten 2021. Prøvetakingspunktene er angitt med fargekoder for grunnforhold i bunn av prøvepunktene. Gravedybde oppgitt i cm.



Figur 46 Bilde fra prøvetakning av løsmasser i punkt RULV-SJ05.

#### 4.3.5.2 Konsentrasjonsnivå

Kart som viser prøvepunkter og konsentrasjoner av sum PFAS på RULV (området vest for enden av rullebanen) er vist i Figur 47. Det kun påvist lave sum PFAS konsentrasjoner (<30 µg/kg, se Tabell 13). Gjennomsnittlig sum PFAS-konsentrasjon på RULV var 9,5 µg/kg (n=8). Resultatene fra denne undersøkelsen indikerer at det har vært lite eller ingen bruk av brannskum på den vestlige enden av rullebanen. Undersøkelsen viser at området ikke er en betydelig PFAS kilde.

Tabell 13 Analyseresultater for PFOS og sum PFAS i jordprøver (µg/kg) fra TERM øst prøvetatt i 2021. Resultatene er fargekodet iht. konsentrasjonsintervaller gitt i Tabell 1.

Område	Prøvepunkt	Dyp (m)	PFOS	Sum PFAS	Maks gravedyp (m)	Grunn ved maks gravedyp
RULV	SJ1	0-100	3,3	7	1	Blokk
	SJ2	0-100	20	24	0,5	Blokk
	SJ3	0-100	5,7	9,2	2	Blokk
	SJ4	0-100	8,1	13	2	Blokk
	SJ5	0-100	9,2	12	2	Sand
		100-200	6,2	8,3		
	SJ6	0-100	4,2	6,2	2	Blokk
		100-200	4,5	6,5		
SJ7	0-100	2,6	5,3	1	Fjell	
SJ8	0-100	1,2	3,4	2	Blokk	





Figur 47 Kart over prøvepunkter ved RULV (vest for rullebanen) på Kristiansund lufthavn. Prøvepunkter er klassifiser iht. konsentrasjonsintervaller for  $\Sigma$ PFAS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Kartet viser nye prøvepunkter fra 2021 (dette området er ikke prøvetatt tidligere).

## 4.4 Kornfordelingsanalyser

Det ble utført kornfordelingsanalyser av prøver tatt ved BØFB (9 stk) og TERM (2 stk) (Tabell 14). Det ble i hovedsak tatt prøver av grove masser av grusig sand. Prøvene ble plukket ut for å vurdere strømning i sand/grusmasser i det mest forurensede området.

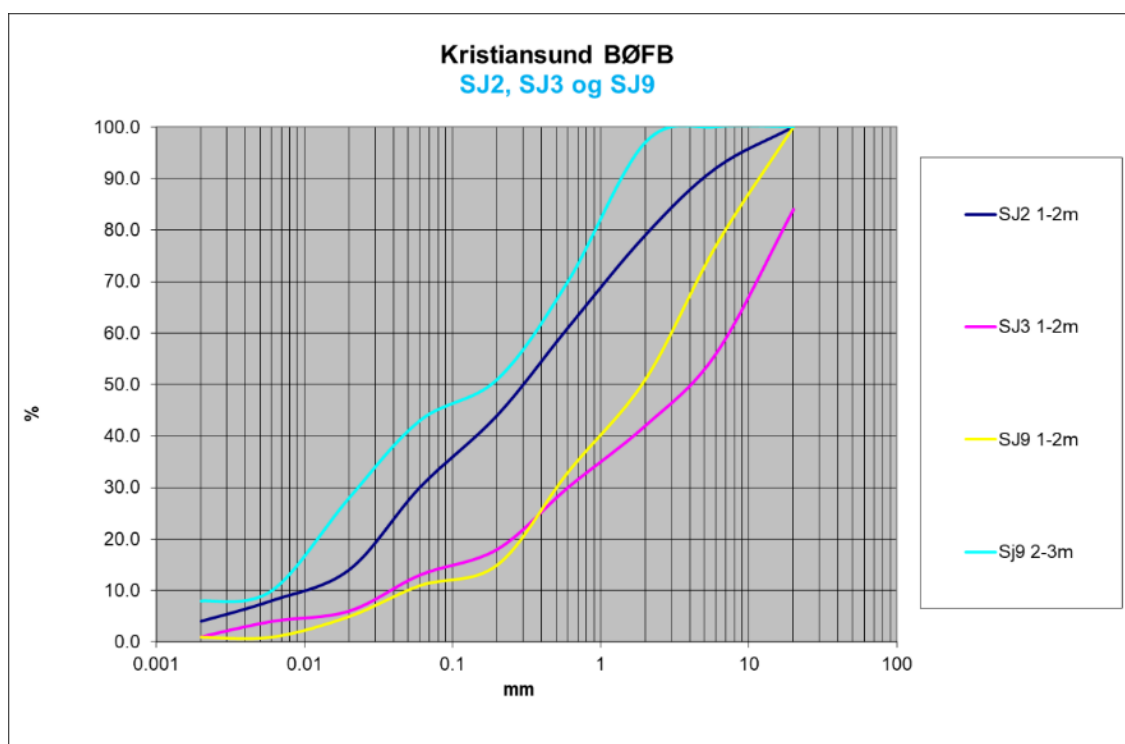
Tabell 14 Prøver hvor det er utført kornfordelingsanalyser – BØFB og TERM.

Område	Prøvepunkt	Dyp (m)	Type avsetning	Dominerende kornfraksjon
BØFB	SJ2	1-1,5	1-1,5m sprengsteinsfylling, >1.5m Myrjord	Grusig sand
	SJ3	1-2	Sprengsteinfylling	Grusig sand/stein
	SJ9	1-2	Sprengsteinfylling	Grusig sand/stein
		2-3	Sprengsteinfylling	Siltig sand
	SJ21	0-1	Sprengsteinfylling	Grusig sand
	SJ21	1-1,8	Sprengsteinfylling	Grusig sand
	SJ23	1-2	Sprengsteinfylling	Grusig sand
	SJ23	2-2,6	Sprengsteinfylling	Grusig sand
SJ24	1-2,2	Sprengsteinfylling	Grusig sand	

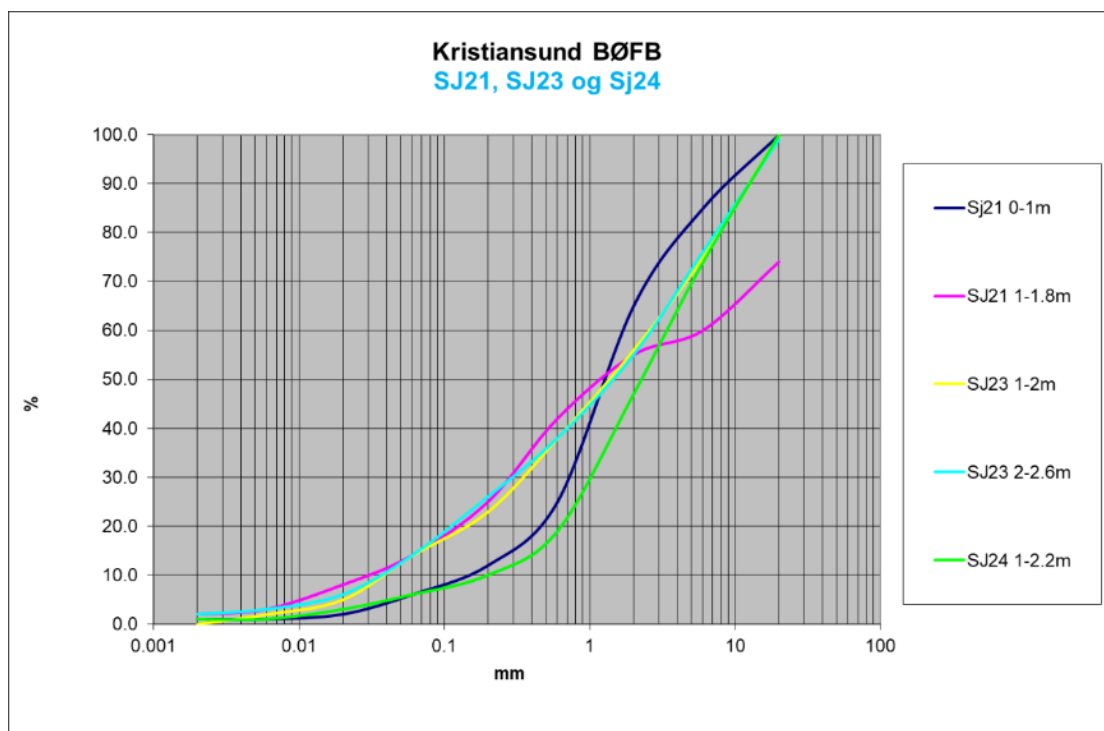
Område	Prøvepunkt	Dyp (m)	Type avsetning	Dominerende kornfraksjon
TERM	SJ2	2-3	Naturlig avsetning	Grusig sand
	SJ4	2-3	Naturlig avsetning	Grusig sand

Kornfordelingsdiagram for jordprøver fra BØFB er vist i Figur 48 og Figur 49. Prøvene fra sjakt SJ2 er tatt av naturlige masser, men viser dårlig sortering. De andre prøvene fra BØFB er representative for sprengsteinfylling. De flate kurvene viser at massene er dårligere sortert og dermed tettere mht. vanntransport. På grunn av store steiner som ligger med åpne rom mellom, så vil det likevel kunne strømme vann i det sentrale området ved BØFB.

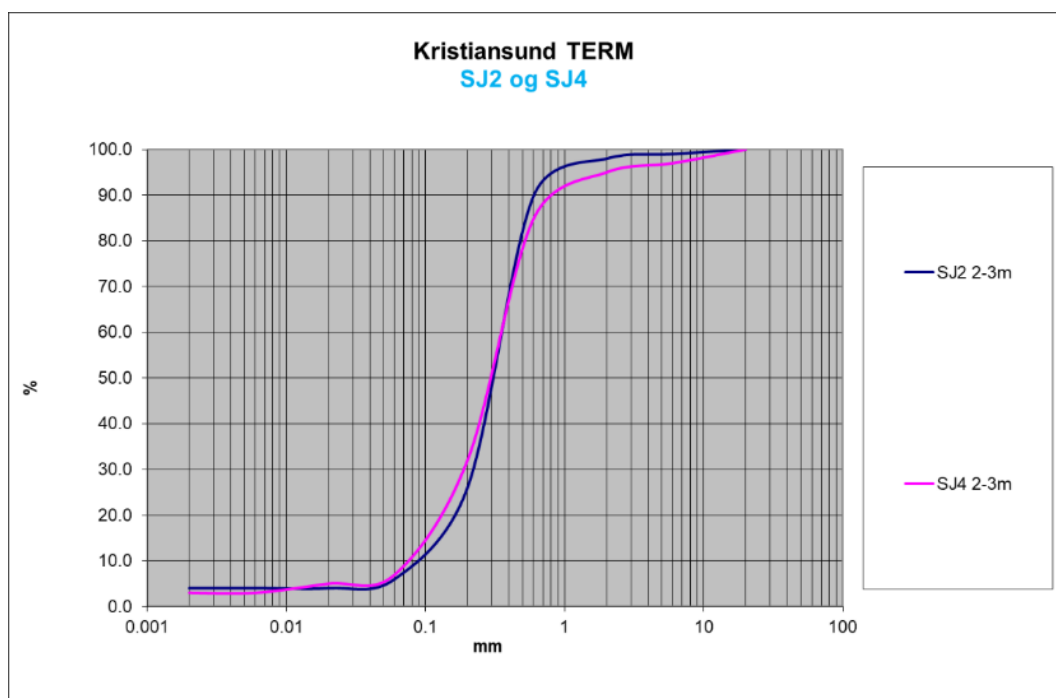
Kornfordelingsdiagram for masseprøver fra TERM er vist i Figur 50. Prøvene viser i hovedsak sortert sand.



Figur 48 Kornfordelingsanalyser fra BØFB i sjaktene BØFB-SJ02, BØFB-SJ03 og BØFB-SJ09.



Figur 49 Kornfordelingsanalyser fra BØFB i sjaktene BØFB-SJ21, BØFB-SJ23 og BØFB-SJ24.



Figur 50 Kornfordelingsanalyser fra område TERM, i sjaktene TERM-SJ02 og TERM-SJ04.

På grunnlag av kornfordelingskurvene kan det beregnes hydrauliske parametere som sorteringsgrad, hydraulisk konduktivitet og effektiv porøsitet (Tabell 15). Det er beregnet hydraulisk ledningsevne ved bruk av to forskjellige metoder, Beyer & Schweiger (Langguth & Voigt, 1980) og Gustafson (Andersson, A. C., Andersson, O. & Gustafson, G., 1984). Som det fremgår av Tabell 15 gir metodene omtrent samme resultat, særlig ved BØFB.

Ved BØFB er gjennomsnittlig hydraulisk konduktivitet beregnet til ca.  $6 \cdot 10^{-5}$  m/s og ved TERM  $8 \cdot 10^{-5}$  m/s. Beregningen for sprengsteinsfyllingen ved BØFB er mer usikker da den grovere grus- og steinfraksjonen ikke er med i analysen. I disse massene kan det forekomme hulrom hvor vannet potensielt kan spres raskere, men det bildet en har sett ved sjaktning er at sand og stein ligger tett pakket. Under fyllingen og i områdene som ikke er masseskiftet er det naturlige myrmasse som demmer opp slik at området ved BØFB fremdeles fremstår som betydelig forurenset.

Prøvene ved BØFB er generelt dårlig sortert ( $d_{60}/d_{10}$ ). For bruk av Hazens formel (Hazen, 1893) er det en forutsetning at sorteringsgraden (faktor  $u$ ) er  $<5$ , men som en ser av Tabell 15 er den i snitt 76 ved BØFB. I de naturlige massene ved TERM er  $u$  ca. 4. På grunn av den dårlige sorteringen ved BØFB er det også mer usikkerhet knyttet til de anvendte metodene selv om det er tatt hensyn til sorteringsgrad. Resultatene ved TERM er mer sikre.

Tabell 15 Beregning av hydrauliske parametere etter Beyer & Schweiger (B&S) (Langguth & Voigt, 1980) og Gustafson (GUST) (Andersson, A. C., Andersson, O. & Gustafson, G., 1984).  $K$  = hydraulisk konduktivitet,  $effn$  = effektiv porøsitet.

Område	Prøvepunkt	Dyp m	d10 mm	d60 mm	u d60/d10	B&S		GUST
						K m/s	effn %	K m/s
BØFB	SJ2	1-2	0,01	0,58	58	5,38E-07	6 %	3,20E-07
	SJ3	1-2	0,04	7,5	188	1,43E-05	18 %	2,55E-06
	SJ9	1-2	0,05	3	60	1,34E-05	18 %	7,83E-06
	SJ9	2-3	0,06	0,38	6	2,95E-05	23 %	4,43E-05
	SJ21	0-1	0,15	1,7	11	1,66E-04	25 %	2,00E-04
	SJ21	1-1,8	0,03	6	200	8,56E-06	16 %	1,38E-06
	Sj23	1-2	0,038	2,7	71	7,8E-06	16 %	4,08E-06
	SJ23	2-2,6	0,038	2,7	71	7,8E-06	16 %	4,08E-06
	SJ24	1-2,2	0,2	3,5	18	0,000269	25 %	2,71E-04
Gjennomsnitt					76	5,7E-05	18 %	5,9E-05
TERM	SJ2	2-3	0,09	0,35	4	7,28E-05	26 %	1,23E-0
	SJ4	2-3	0,075	0,35	5	4,88E-05	25 %	7,99E-05
	Gjennomsnitt					4	6,1E-05	26 %

## 4.5 Vann og sediment

For å kartlegge omfang av utlekking og spredning av PFAS fra lufthavnen ble det tatt vann- og sedimentprøver i bekker, sandfangskummer, oljeutskiller, grunnvann og i sjøresipient. Kart med lokalisering av vannprøvepunkter er vist i Figur 51.



Figur 51 Plassering av vannprøvepunkter (ferskvannsediment, ferskvannsresipient, grunnvann, oljeutskiller, sjøresipient, sjøsediment, utslippspunkt og VA-anlegg) på Kristiansund lufthavn, Kvernberget. Plassering av det nedlagte brannøvingsfeltet (BØFB) og det aktive brannøvingsfeltet (BØFA) er angitt (kart utarbeidet av Avinor, noe modifisert).

## 4.5.1 Grunnvann

### 4.5.3.1 Feltdata

Det ble i forbindelse med DP2-prosjektet i 2011-2012 etablert tre brønner i gravde sjakter ved BØFB (Sweco/COWI, 2012). Høsten 2021 ble det ved bruk av borerigg og ODEX-boring etablert ytterligere tre brønner ved BØFB (BR03-BR05) og to brønner ved BØFA (BR01 og BR02). Plassering av grunnvannsbrønner er vist i Figur 51. Beskrivelser fra brønnetablering er gitt i vedlegg E.

Ved BØFA lå grunnvannet ca. 5 m under brønntopp, mens det ved BØFB var ca. 1-2 m fra brønntopp til grunnvann. Grunnvannsbrønnene ble satt ned til fjell, og dybde på brønnene varierte fra 2,5 til 7,5 m.

### 4.5.3.2 Analyseresultater

Konsentrasjoner av sum PFAS i grunnvannsbrønner prøvetatt av COWI høsten 2021 (23.11.2021) og sommeren 2022 (09.06.2022) er vist i Tabell 16. I tabellen er også resultater oversendt av Avinor inkludert (22.05.2012, 25.04.2022 og 16.08.2022). Resultatene er klassifisert med fargekoder for konsentrasjonsintervallene i Tabell 3.

De høyeste konsentrasjonene ble påvist i grunnvann fra BØFB i BR03 og BR13, med henholdsvis 270 000 og 47 000 ng sum PFAS/l. Begge brønnene er plassert sentralt i det nedlagte brannøvingsfeltet (se Figur 51 og Figur 59). Med utgangspunkt i analyseresultatene fra 2012-2022, var gjennomsnittlig sum PFAS-konsentrasjon i grunnvannet ved BØFB ca. 76000 ng/l. Konsentrasjonsnivåene har vært relativt stabile gjennom de ulike prøvetakingsrundene, med unntak av en noe forhøyet måling av sum PFAS i BR03 den 25. april 2022 på 470 000 ng/l, sammenliknet med øvrige prøvetakingsrunder (90 000-270 000 ng/l, se Tabell 16).

I de to brønnene på BØFA ble det også påvist høye konsentrasjoner av PFAS, med høyest konsentrasjon i BR02 som ligger nærmest øvingsplattformen (6300 ng/l, se Tabell 16 og Figur 58). Gjennomsnittlig sum PFAS-konsentrasjon i grunnvannet ved BØFA var i underkant av 5000 ng/l.

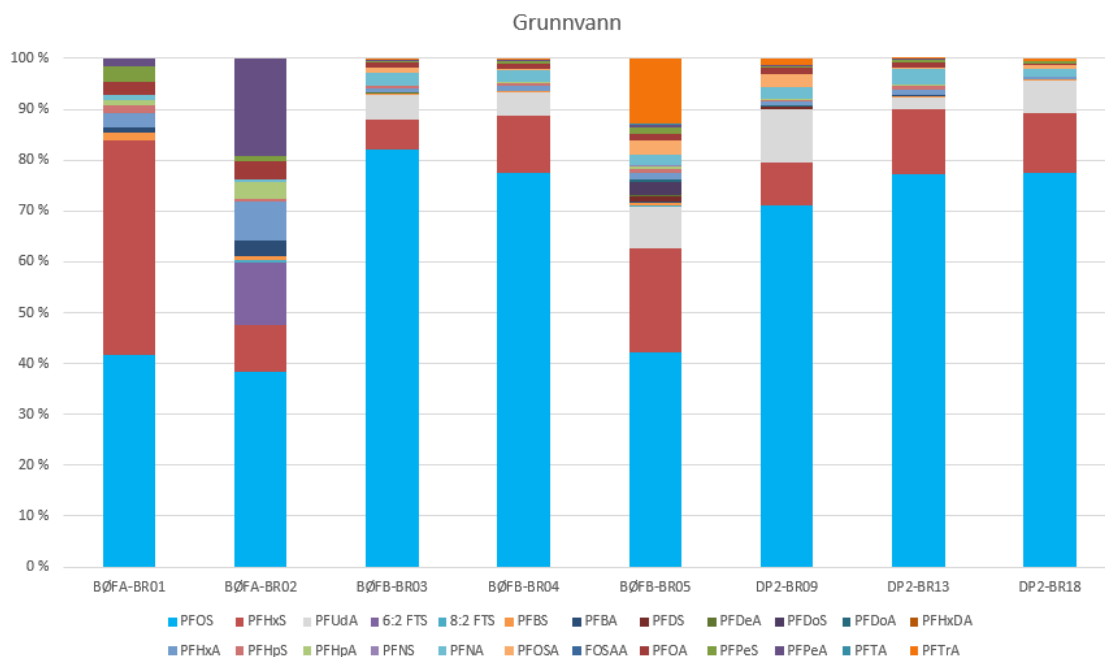
Tabell 16 Resultat av analyser av grunnvann prøvetatt av COWI 23.11.2021 og 09.06.2022. Resultatene er sammenstilt med analyseresultater for grunnvannsprøver oversendt av Avinor (22.05.2012, 25.04.2022 og 16.08.2022). Resultatene er klassifisert jf. konsentrasjonsintervallene i Tabell 3.

Område	Prøvepunkt	Dato	PFOA	PFOS	Sum PFAS
BØFA	BR01*	23.11.2021	37	660	1 600
		25.04.2022	24	780	1 400
		16.08.2022	29	800	1 600
	BR02*	23.11.2021	230	2 400	6 300
		25.04.2022	540	1 900	12 000
		16.08.2022	510	1 600	9 100
	Gjennomsnitt	-	228	1357	5333
BØFB	BR03*	23.11.2021	1100	72 000	90 000
		25.04.2022	3800	390 000	470 000
		09.06.2022	1900	220 000	270 000
		16.08.2022	1600	150 000	190 000
	BR04*	23.11.2021	66	7 200	9 400
		25.04.2022	130	5200	8300
		09.06.2022	70	5 600	7 100
		16.08.2022	98	5000	7000
	BR05*	23.11.2021	14	710	1 400
		09.06.2022	24	480	1 400
	DP2-BR09	22.05.2012	255	31700	45 000
		23.11.2021	270	15 000	21 000
	DP2-BR13	22.05.2012	225	40500	36 600
		23.11.2021	570	36 000	47 000
	DP2-BR18	22.05.2012	34	6470	7610
		23.11.2021	19	3100	4 000
	Gjennomsnitt	-	636	61 810	75 988

\*Etablert høsten 2021.

En oversikt over prosentfordelingen av de ulike enkeltforbindelsene påvist i grunnvannsprøvene prøvetatt av COWI er vist i Figur 52. Som vist av figuren var vannprøvene i hovedsak dominert av PFOS og PFHxS. Brønnene ved BØFB hadde størst andel av PFOS, mens de to brønnene ved BØFA også hadde en betydelig andel av PFHxS og PFPeA, noe som trolig skyldes forskjeller i PFAS-sammensetningen til brannskum som er brukt ved de to øvingsfeltene.





Figur 52 Gjennomsnittlig prosentvis konsentrasjonsfordeling av enkeltforbindelser av PFAS i grunnvann prøvetatt høsten 2021 og sommeren 2022. Det er kun forbindelser som er påvist over analysemetodens rapporteringsgrense i minst én av prøvene som er vist.

I tillegg til PFAS er det analysert for bl.a. tungmetaller i grunnvann fra BR01 og BR02 ved BØFA og BR03 til BR05 ved BØFB (vedlegg B). I brønn BR01 var det noe høyere verdier for nikkell og sink sammenliknet med øvrige grunnvannsprøver. Høyeste konsentrasjon av kobber ble målt i BR05 ved BØFB. Ingen konsentrasjonsnivåer av tungmetaller overskred drikkevannsforskriftens grenseverdier for drikkevann eller terskelverdier for god kjemisk tilstand. Det ble ikke funnet olje i BR02 eller BR03 selv om det var oljehinne på grunnvannet ved BØFB og det ble påvist alifater i sjakt SJ03 på BØFB.

## 4.5.2 Vann og sediment fra VA-nett

### 4.5.2.1 Felldata

De aktuelle sandfangene som utgjør knutepunkt i avrenningssystemet, ble inspisert og prøvetatt høsten 2021. I forbindelse med legging av ny asfalt på rullebanen sommeren 2021 ble samtlige sandfang tømt. Det var derfor lite sediment i de aktuelle sandfangkummene. Overvannssystemer finnes på begge sider av rullebanen og rundt driftsbygningene (se Figur 7). Det ble funnet vann i samtlige sandfangkummer som skulle prøvetas, med unntak av Vann13S-15S som var tørre (se Tabell 17). Slam ble funnet i alle kummer med unntak av Vann17. Prøvene ble tatt av de øvre 10 cm av slammene. Prøvestasjoner for vannprøvene er vist i Figur 51.

Tabell 17 Felldata fra prøvetaking av VA-nett på Kristiansund lufthavn, Kvernberget, utført av COWI i 2021-2022.

Punkt	Type punkt	Prøvetakingsdato
Vann13S	Sandfang, tørr, 10 cm sed	07.11.2021
Vann14S	Sandfang, tørr, 10 cm sed	07.11.2021
Vann15S	Sandfang, tørr, 10 cm sed	07.11.2021
Vann17	Sandfang, ikke vann fra Ø og V	07.11.2021
Vann2	Utløp avrenning overvannssystemet til lufthavnen.	09.06.2022
Vann18	Sandfang, 20 cm vanndyp, siltig sand	07.11.2021
Vann19	Sandfang, 40 cm vanndyp, strøsand	07.11.2021
Vann20	Sandfang, mye vann og slam	23.11.2021
OUBØF	Oljeutskiller på BØFA	07.11.2021

Bilde av utvalgte prøvepunkt er vist i Figur 53.



Figur 53 Bilde fra prøvetaking av Vann19 (venstre) og Vann17 (høyre) 09.11.2021.

#### 4.5.2.2 Analyseresultater

Konsentrasjoner av sum PFAS i vann fra sandfang og oljeutskiller er vist i Tabell 18. Plassering av prøvepunktene er vist i Figur 51.

I vann fra sandfangskummer ble det funnet opptil 220 ng sum PFAS/l i en samleikum ved terminalområdet som fører vann fra lufthavnen til Byskogbekken (Vann17). I de andre sandfangprøvene var det lave konsentrasjoner av sum PFAS (<2 ng/l). Vann17 ligger nært området hvor det er påvist relativt høye konsentrasjoner av sum PFAS i jord.

I en sandfangskum ble det funnet 220 ng sum PFAS/l (samleikum, Vann 17) ved terminalområdet som fører vann fra lufthavnen til Byskogbekken. I de andre sandfangprøvene var det lave konsentrasjoner av sum PFAS (<2 ng/l).

I vannprøven fra prøvepunkt Vann2, som representerer utløpet fra overvannssystemet som renner videre til Byskogbekken, ble det påvist 490 ng sum PFAS/l. Dette prøvepunktet representerer i likhet med prøvepunkt Vann17 overvann fra lufthavnen, bare fra motsatt side av rullebanen, og ble prøvetatt på et annet tidspunkt enn Vann17 (se Tabell 21).

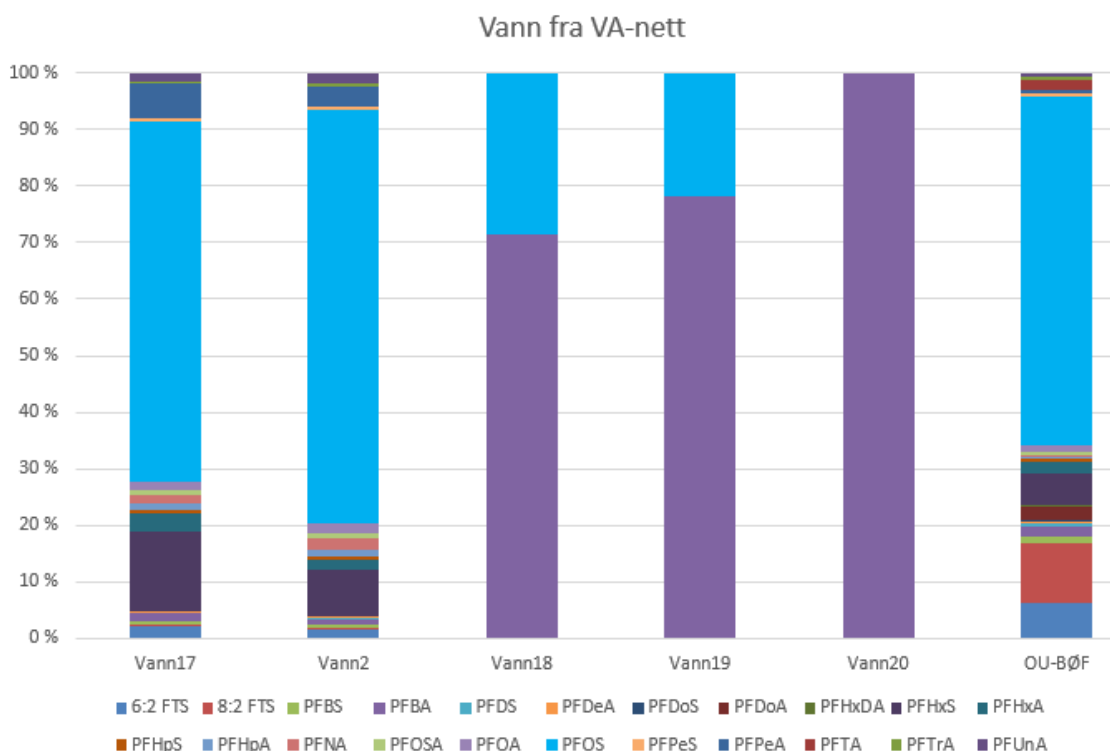
Videre ble det påvist PFAS i oljeutskilleren ved BØFA (sum PFAS: 1600 ng/l). Oljeutskilleren er tilkoblet pumpekum som pumper vannet videre til kommunalt spillvannnett med utløp i Omsundet.

Tabell 18 Resultat av PFOS og  $\Sigma$ PFAS i vann fra sandfang og oljeutskiller ved Kristiansund lufthavn, prøvetatt i 2021. PFOS og sum PFAS er fargeklassifisert iht. klasseinndelingen i Tabell 3.

Prøvepunkt	Type	Dato	PFOS	Sum PFAS
Vann17	Sandfang	09.11.2021	140	220
Vann2	Utløp overvannssystem	09.06.2022	360	490
Vann18	Sandfang	09.11.2021	0,44	1,5
Vann19	Sandfang	09.11.2021	0,28	1,3
Vann20	Sandfang	09.11.2021	<0,20	1,4
OU-BØF	Oljeutskiller	09.11.2021	990	1600

\*Lite vann, ikke mulig å prøveta 09.06.2022.

En oversikt over prosentfordelingen av de ulike PFAS-forbindelsene i vann fra lufthavnens dreneringssystem, samt oljeutskiller på BØFA er vist i Figur 54. Resultatene viser at vannprøvene fra Vann17 og Vann2 som forventet hadde relativt lik sammensetning (begge prøvene representerer som nevnt over overvann fra lufthavnen, og hadde størst andel PFOS). Vannprøven fra oljeutskilleren hadde tilsvarende størst andel PFOS, samt sulfonsyrene 8:2 FTS, 6:2 FTS og PFHxS. Vannprøvene fra prøvepunkt Vann18-Vann20 hadde en betydelig andel av den kortkjedete forbindelsen PFBA, men det gjøres oppmerksom på at disse vannprøvene hadde lave nivåer av PFAS (1,3-1,5 ng sum PFAS/l, se Tabell 18).



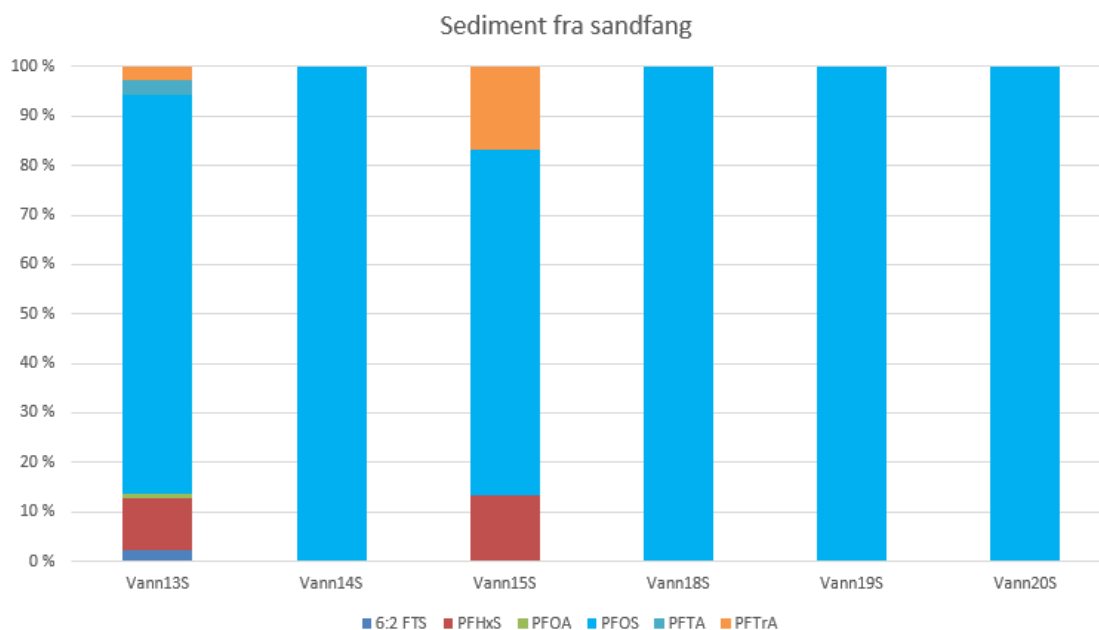
Figur 54 Prosentvis konsentrasjonsfordeling av enkeltforbindelser av PFAS i vann fra sandfang og oljeutskiller (OU-BØF) prøvetatt 2021-2022. Det er kun forbindelser som er påvist over analysemetodens rapporteringsgrense i minst én av prøvene som er vist.

Resultater for prøver av sediment i sandfangskummer er merket 13S til 20S og er vist i Tabell 19. Prøvepunktene er lokalisering er angitt i Figur 51. Konsentrasjonsnivåene var, i likhet med vannprøvene fra kummer, lave (<10 µg sum PFAS/kg).

Tabell 19 Resultat av PFOS, PFOA og  $\Sigma$ PFAS i sediment fra sandfangskummer høsten 2021. Resultatene er fargelagt med fargekoder iht. Miljødirektoratets klassifiseringssystem for PFOS og PFOA i ferskvannssediment (Miljødirektoratet, 2020c). Grønn = god miljøtilstand, gul = moderat tilstand.

Prøvepunkt	Prøvetype	PFOS	PFOA	Sum PFAS
		µg/kg TS		
Vann13S	Sandfang	6,5	0,071	9,7
Vann14S	Sandfang	0,065	<0,050	2
Vann15S	Sandfang	0,58	<0,050	2,7
Vann18S	Sandfang	0,18	<0,050	2,1
Vann19S	Sandfang	0,12	<0,050	2
Vann20S	Sandfang	0,078	<0,050	2

En oversikt over prosentvis sammensetning av PFAS-forbindelser i sedimentprøvene fra sandfang og bekkesediment er vist i Figur 55. Resultatene viser at sedimentprøvene i hovedsak var dominert av PFOS.



Figur 55 Prosentvis konsentrasjonsfordeling av enkeltforbindelser av PFAS i sandfangssediment prøvetatt høsten 2021. Det er kun forbindelser som er påvist over analysemetodens rapporteringsgrense i minst én av prøvene som er vist.

## 4.5.3 Vann og sediment fra overflatevann

### 4.5.1.1 Felldata

Det ble tatt vannprøver i 15 prøvepunkter av overflatevann fra bekk/kulp ila. 2021-2023 (Tabell 20), hvorav de fleste prøvene ble samlet inn 7.-9. november 2021. Prøvestasjoner for vannprøvene er vist i Figur 51. I tillegg til vannprøver ble det fra prøvepunkt Vann3, Vann4 og S3 også tatt sedimentprøver.

Tabell 20 Felldata fra prøvetaking av overflatevann på Kristiansund lufthavn, Kvernberget, utført av COWI i 2021-2023.

Punkt	Type punkt, feltobservasjoner	Prøvetakingsdato
S3	Bekk/kulp, avrenning BØFB øst.	07.11.2021
Vann3	Bekk, Byskogbekken, mye vann.	07.11.2021
Vann4	Bekk nedstrøm BØFA, anslått 3 l/s.	07.11.2021
Vann5	Dam 1. sed.basseng.	07.11.2021
Vann6	Bekk oppstrøms BØFA, anslått 1 l/s.	07.11.2021
Vann7	Bekk fra BØFA, anslått 0,5 l/s.	07.11.2021

Punkt	Type punkt, feltobservasjoner	Prøvetakingsdato
Vann8	Dam 3. sed.basseng.	07.11.2021
Vann9	Bekk, mot sed.basseng, anslått 0,2 l/s.	07.11.2021
Vann10	Dam, nedenfor siltdeponi.	07.11.2021
Vann21	Bekk nedstrøms BØFB vest, anslått 0,4 l/s.	09.06.2022, 21.02.2023
Vann22	Bekk nedstrøms BØFB, anslått 0,3-0,5 l/s. Lite vann (tørt 09.06.2022).	23.11.2021, 21.02.2023
Vann23	Bekk nedstrøms BØFB og Vann26, like oppstrøms Byskogbekken ved Nordmørsveien 171, anslått 0,5-1,5 l/s.	23.11.2021, 09.06.2022, 21.02.2023
Vann24	Bekk, Byskogbekken før veiundergang (siste prøvepunkt før utløp sjø), mye vann.	07.11.2021
Vann25	Byskogbekken, oppstrøms Vann24 og nedstrøms Vann3 og Vann23, mye vann.	21.02.2023
Vann26	Oppstrøms bekken ved Nordmørsveien 171 (Vann23), anslått 1 l/sek.	21.02.2023

Bilde av utvalgte prøvepunkt er vist i Figur 56-Figur 57.



Figur 56 Bilde fra prøvetaking av Vann22 (venstre) og Vann23 (høyre) 23.11.2021.



Figur 57 Bilde fra prøvetaking av Vann25 21.02.2023.

#### 4.5.1.2 Analyseresultater

Konsentrasjoner av sum PFAS i overflatevann fra bekker og dammer er vist i Tabell 21.

Plassering av prøvepunktene er vist i Figur 51. I Figur 58-Figur 59 er vannprøvepunktene ved BØFA og BØFB vist, med fargekoder for sum PFAS jf. Tabell 3.

I punktene i skråningen nedstrøms BØFB (Vann21, Vann22 (mindre bekk), Vann26 og Vann23) ble det målt relativt høye konsentrasjoner av sum PFAS (1900-24000 ng/l, se Tabell 21). Estimert vannføring i prøvepunktene ved prøvetaking var hhv. ca. 0,4, 0,3 og 0,5 l/sek for Vann21-Vann23 (Tabell 20). I prøvepunkt Vann24 i Byskogbekken var det mye vann, og det er som nevnt i kap. 6.5 estimert et årlig vannvolum gjennom nedbørsfeltet ved prøvepunktet på ca. 1 964 600 m<sup>3</sup>/år. Selv om det er liten vannføring i prøvepunktet Vann22 (ikke vann tilgjengelig for prøvetaking sommeren 2022), ble det målt sum PFAS på 16000 ng/l høsten 2021. Dette viser at det skjer en diffus spredning i fjellsiden fra BØFB mot boligområdet i tillegg til det som følger bekken ved S3 nedover mot prøvepunkt Vann23 og Byskogbekken (Vann3 og Vann24).

Prøvepunktene Vann3, Vann25 og Vann24 i Byskogbekken er lokalisert nedstrøms BØFB.

Her ble det påvist relativt lave nivåer av sum PFAS mellom 120 og 160 ng/l.

Konsentrasjonene av PFOS i Byskogbekken var over AA-EQS for ferskvann på 0,65 ng/l, men langt under MAC-EQS på 36000 ng/l (Tabell 2). Prøvepunkt Vann3 har blitt prøvetatt i regi av lufthavnen over flere år. Analyseresultater fra 2015-2020 har vist en gjennomsnittskonsentrasjon på 130 ng sum PFAS/l (data oversendt av Avinor), hvilket er i overensstemmelse med nivåene som ble målt i 2021 (120 ng/l).

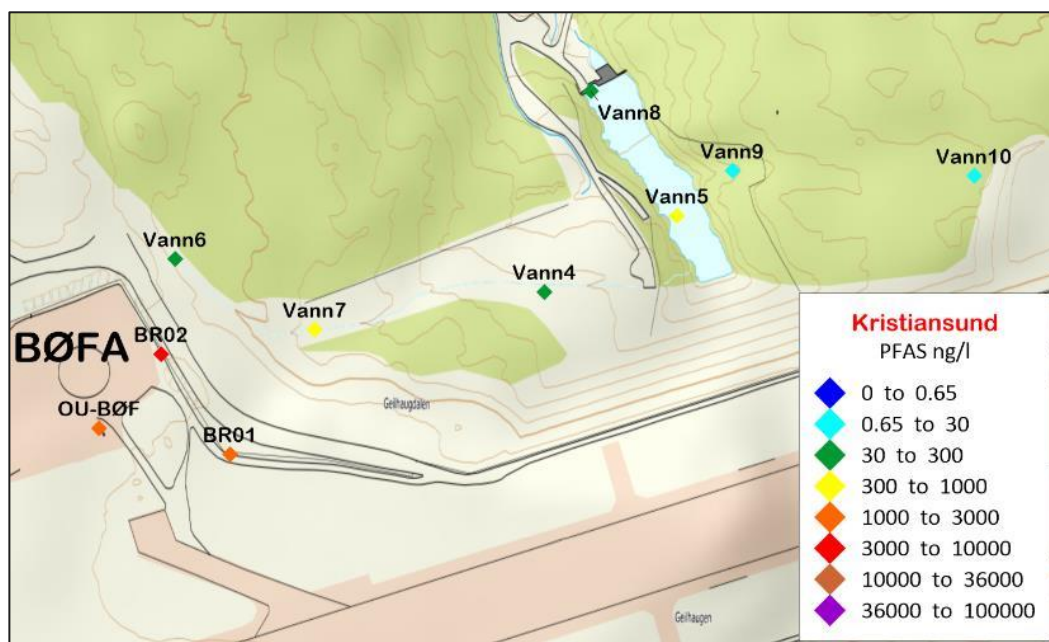
Nedstrøms det aktive brannøvingsfeltet, BØFA, er det flere målepunkter merket Vann4 til Vann10 (Figur 58). Høyest konsentrasjon av sum PFAS ble påvist i prøvepunkt Vann7 som er en grunnvannskilde som drenerer området ved BØFA (sum PFAS 520 ng/l, se Tabell 21). Dette prøvetakingspunktet ble også prøvetatt i 2020 og 2021 i regi av lufthavnen, og da ble det påvist noe lavere nivåer på hhv. 120 og 57 ng/l (data oversendt av Avinor). I prøve Vann6 som ligger "oppstrøms" BØFA ble sum PFAS målt til å være 97 ng/l i undersøkelsen i 2021 (Tabell 21), hvilket er noe høyere enn prøvetakingen av lufthavnen i 2020-2021 (12-49 ng/l). I punkt Vann8, som er utløpspunktet for siste sedimentasjonsdam, var sum PFAS-konsentrasjonen 120 ng/l, noe som viser at det er spredning av PFAS fra BØFA mot Gløsvågen. Dette er i samme størrelsesorden som analyseresultater fra 2020-2021 for prøver tatt i regi av lufthavnen (120-180 ng/l).

Tabell 21 Resultat av PFOS og  $\Sigma$ PFAS i overflatevann fra bekker og dammer nedstrøms brannøvingsfeltene ved Kristiansund lufthavn, prøvetatt 2021-2022. PFOS og sum PFAS er fargeklassifisert iht. klasseinndelingen i Tabell 3.

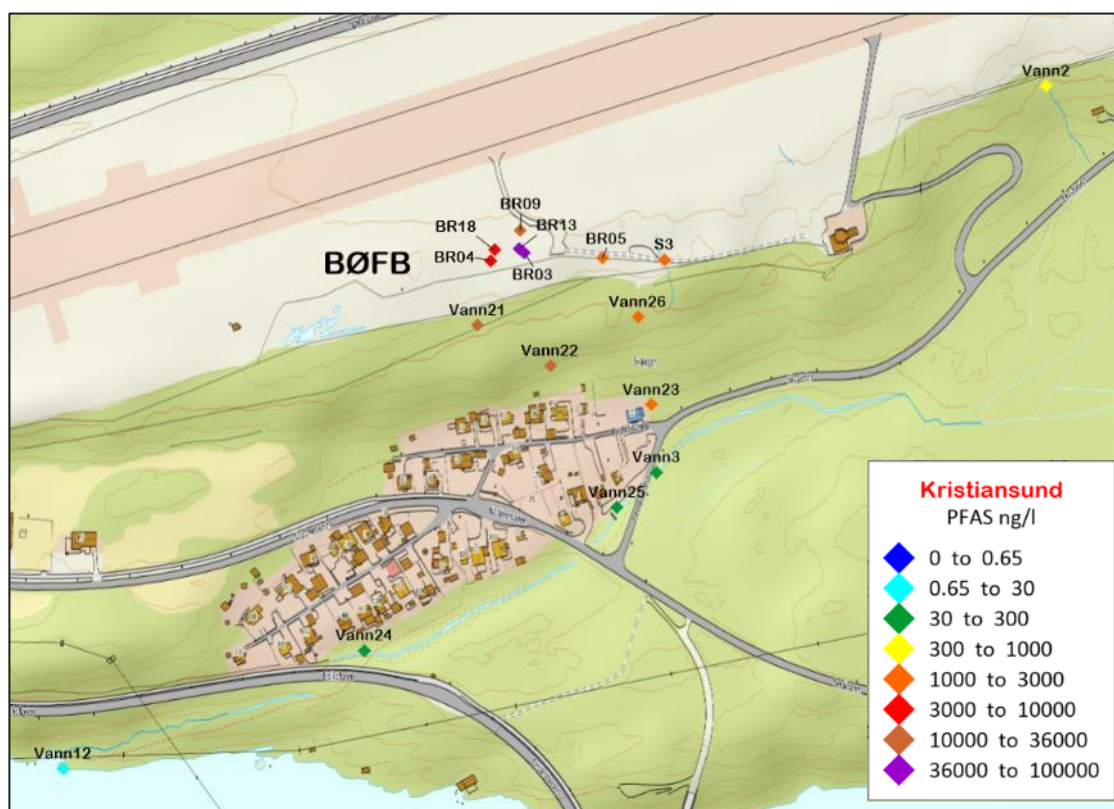
Prøvepunkt	Avrennings-område	Type	Dato	PFOS	Sum PFAS
Vann4	BØFA	Bekk	07.11.2021	59	130
Vann5		Dam	07.11.2021	130	330
Vann6		Bekk	07.11.2021	36	97
Vann7		Bekk	07.11.2021	200	520
Vann8		Dam	07.11.2021	55	120
Vann9		Bekk	07.11.2021	1,6	5,1
Vann10		Dam	07.11.2021	1,9	9,7
Vann3	BØFB	Bekk	07.11.2021	70	120
Vann21		Bekk	09.06.2022	12 000	17 000
			21.02.2023	19 000	24 000
Vann22		Bekk	23.11.2021*	13 000	16 000
			21.02.2023	5 300	7 400
Vann23		Bekk	23.11.2021	2 000	3 000
			09.06.2022	2 400	3 500
			21.02.2023	1 200	1 900
Vann24		Bekk	23.11.2021	100	160
Vann25		Bekk	21.02.2023	70	110
Vann26	Bekk	21.02.2023	1 600	2 400	
S3	Bekk/kulp	09.11.2021	610	1 100	

\*Lite vann, ikke mulig å prøveta 09.06.2022.



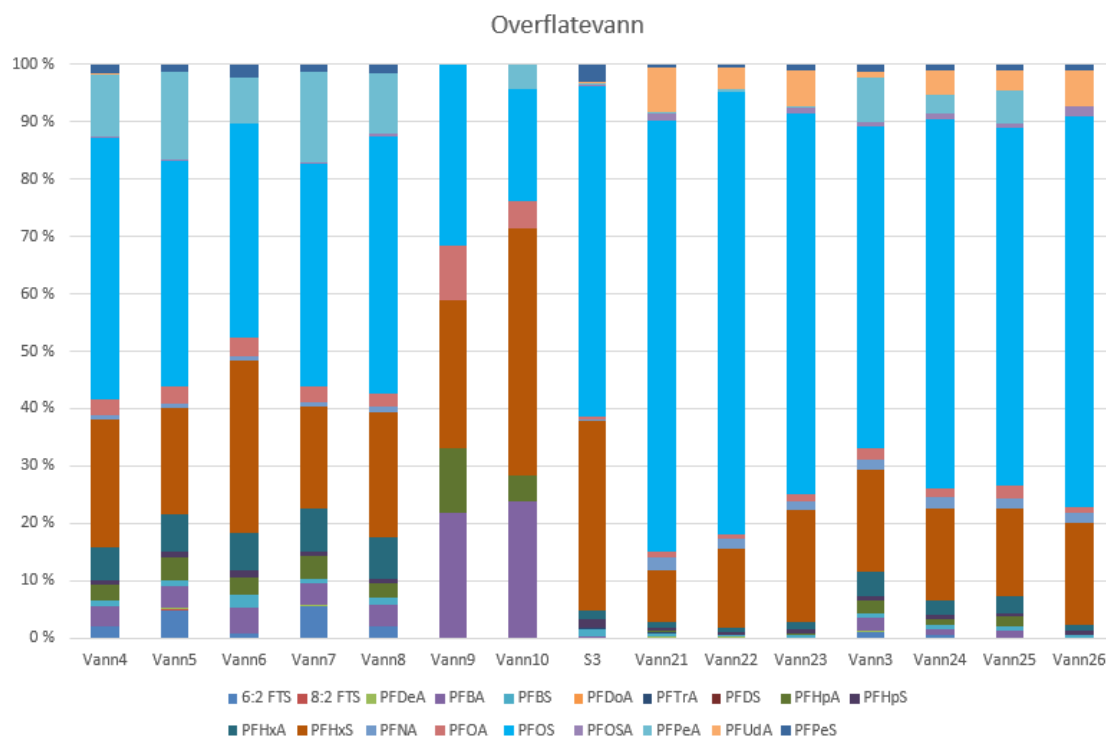


Figur 58 Plassering av grunnvannsbrønner (BR) og vannprøvepunkt (VannX) i øst ved BØFA. Resultater fra prøvetaking av overflatevann og grunnvann høsten 2021 er vist for  $\Sigma$ PFAS fargeklassifisert iht. klasseinndelingen i Tabell 3.



Figur 59 Plassering av grunnvannsbrønner (BR) og vannprøvepunkt (VannX) ved BØFB. Resultater fra prøvetaking av overflatevann og grunnvann utført av COWI 2021-2023 er vist som gjennomsnittsverdier for  $\Sigma$ PFAS fargeklassifisert iht. klasseinndelingen i Tabell 3.

En oversikt over prosentfordelingen av de ulike PFAS-forbindelsene i overflatevann er vist i Figur 60. Resultatene viser at vannprøvene i hovedsak var dominert av PFOS, samt de kortkjedete forbindelsene PFHxS, PFBA og PFPeA. Spesielt prøvepunktene nedstrøms BØFB besto av en betydelig andel PFOS. Kortkjedete PFAS-forbindelser er generelt mer mobile i vannfasen og har lavere bindingsevne til jord/sediment sammenliknet med langkjedete PFAS-forbindelser som PFOS, PFOA og PFUnA. Jordprøvene rundt BØFA og BØFB var imidlertid dominert av PFOS som følge av tidligere bruk av PFOS-holdig brannskum.



Figur 60 Prosentvis (gjennomsnittlig) konsentrasjonsfordeling av enkeltforbindelser av PFAS i overflatevann prøvetatt 2021-2023. Det er kun forbindelser som er påvist over analysemetodens rapporteringsgrense i minst én av prøvene som er vist. Vann4-Vann10 representerer avrenning mot Gløsvågen, og S3-Vann26 representerer avrenning mot Omsundet.

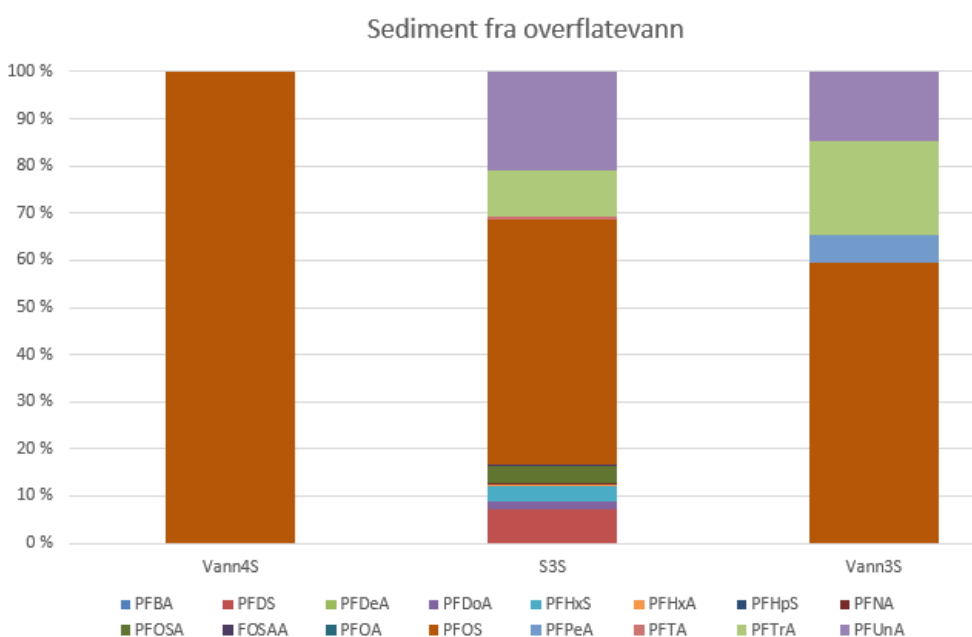
I tabellen nedenfor er resultatene for PFOS, PFOA og sum PFAS i bekkesediment vist. Som vist i tabellen ble det i sediment fra kulpen ved prøvepunkt S3Sfunnet en relativt høy verdi for sum PFAS på 680 µg/kg (Tabell 22). Dette er i et område like øst for det sentrale kildeområdet på BØFB (se Figur 51) hvor det også er påvist høye konsentrasjoner av PFAS i jord- og vannprøver. I sediment fra Byskobbekken ved vannprøvepunkt Vann3, ble det funnet lave konsentrasjoner av PFAS i punkt Vann3S (sum PFAS på 3,4 µg/kg).

I bekkesediment fra bekken som fanger opp avrenningen fra BØFA (Vann4S) ble det påvist lave konsentrasjoner av sum PFAS (2,5 µg/kg, se Tabell 22.), noe som stemmer bra med de relativt lavere konsentrasjonene i jordprøver fra BØFA sammenliknet med BØFB.

Tabell 22 Resultat av analyser av bekkesediment høsten 2021. Resultatene er fargelagt med fargekoder iht. Miljødirektoratets klassifiseringssystem for PFOS og PFOA i ferskvannssediment (Miljødirektoratet, 2020c). Grønn = god miljøtilstand, gul = moderat tilstand.

Prøvepunkt	Prøvetype	PFOS	PFOA	Sum PFAS
		µg/kg TS		
Vann4S	Bekk, avrenning fra BØFA	0,6	<0,050	2,5
S3S	Kulp/bekk ved BØFB	350	0,94	680
Vann3S	Bekk, Byskogbekken	1,1	<0,050	3,4

En oversikt over prosentvis sammensetning av PFAS-forbindelser i prøvene fra sediment av overflatevann er vist i Figur 61. Resultatene viser at sedimentprøvene fra overflatevann i likhet med sedimentprøver fra sandfang i hovedsak var dominert av PFOS og andre langkjedete PFAS-forbindelser som PFUnA og PFTrA.



Figur 61 Prosentvis konsentrasjonsfordeling av enkeltforbindelser av PFAS i sandfangssediment prøvetatt høsten 2021. Det er kun forbindelser som er påvist over analysemetodens rapporteringsgrense i minst én av prøvene som er vist. Vann4S: bekk, avrenning fra BØFA, S3S: kulp/bekk ved BØFB, Vann3S: Byskogbekken.

## 4.5.4 Sjøresipient

### 4.5.4.1 Felldata

Det ble tatt vannprøver i sjøresipient 07.11.2021 og 21.02.2023 (Tabell 23). Plassering av prøvepunktene er vist i Figur 65, og en beskrivelse av prøvepunktene er gitt i Tabell 23. Sjøvannprøvene som ble prøvetatt i november 2021 (Vann12 og Vann11) ble prøvetatt fra land, som vist av foto i Figur 62. Vannprøven Vann12 fra Omsundet kan ha vært påvirket av utstrømmende PFAS-holdig vann fra Byskogbekken, ettersom prøven ble tatt i nærheten av

utløpet til bekken. Vannprøven Vann11 fra Gløsvågen ble prøvetatt i den innerste delen av Gløsvågen. Dette ligger noe sør for GL-1, utslippspunktet til vannledningen fra fangdammen øst for BØFA som mottar grunnvann og overflateavrenning som ikke fanges opp av spillvannssystemet ved BØFA.



Figur 62 Bilde fra prøvetakning av Vann11-Gløsvågen (venstre) og Vann12-Omsundet (høyre).

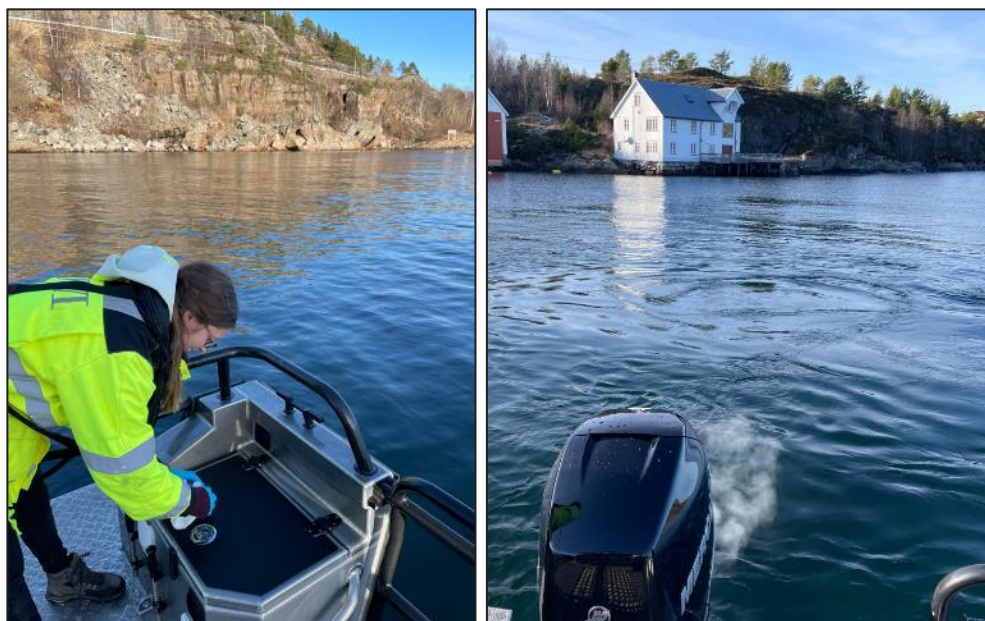
Videre ble det samlet inn seks sedimentprøver (0-5 cm) fra båt med mannskap fra Kristiansund brannvesen med (250 cm<sup>2</sup> Van Veen grabb) den 07.11.2021. Bilde av sedimentprøve fra S2 (Omsundet) og S6 (Gløsvågen) er vist i Figur 63.



Figur 63 T.v.: sedimentprøve S2-Omsundet, t.h.: S6-Gløsvågen.

Den 21.02.2023 ble det tatt supplerende sjøvannprøver fra båt med mannskap fra Kristiansund brannvesen. Prøvene ble tatt for hånd fra dekk (se Figur 64) ved bruk av 100 ml HDPE flasker for PFAS-analyse, og oppbevart mørkt og kjølig inntil analyse hos Eurofins. Det ble tatt to vannprøver fra Omsundet: OM-1 ca. 80 m fra utløp Byskogbekken (Figur 64) og OM-2 oppstrøms utløpet fra Byskogbekken, øst for Omsundbroen. I tillegg ble det tatt en referanseprøve fra antatt upåvirket område ved referansestasjonen Sandvika for biota (se kap. 4.6), samt at det ble tatt to sjøvannprøver fra Gløsvågen: GL-1 ble prøvetatt like over

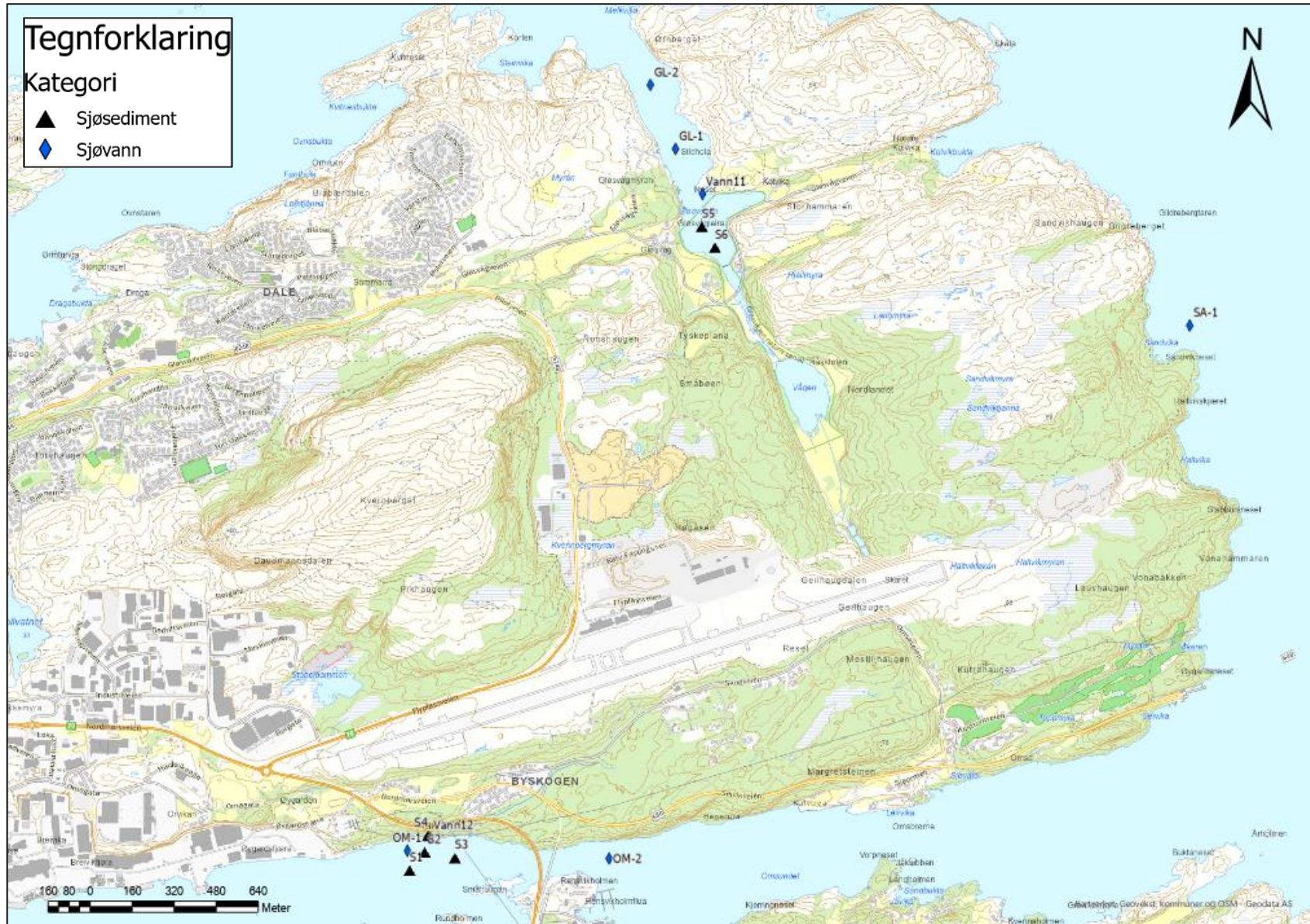
utslippspunktet til vannledningen som leder vann fra fangdammen øst for BØFA (Figur 64), og GL-2 ble prøvetatt ca. 250 m lenger nord i Gløsvågen (se Figur 65).



Figur 64 Foto fra prøvetaking av sjøresipient 21.02.2023. T.v.: prøvetaking fra dekk OM-1; t.h.: prøvepunkt GL-1, rett over utslippspunktet fra fangdammen øst for BØFA.

Tabell 23 Felldata fra prøvetakning av sjøvann og -sediment ved Kristiansund lufthavn den 07.11.2021 og 21.02.2023.

Punkt	Vanndyp (m)	Dato	Beskrivelse
Vann11	Overflate	07.11.2021	Sjøvann ved brygge i Gløsvågleira (innerste del av Gløsvågen).
GL-1	Overflate	21.02.2023	Sjøvann rett over utslippspunkt fra fangdammen øst for BØFA.
GL-2	Overflate	21.02.2023	Sjøvann lengre ut i Gløsvågen, nord for utslippspunktet ved GL-1.
Vann12	Overflate	07.11.2021	Sjøvann ved utløp Byskogbekken.
OM-1	Overflate	21.02.2023	Sjøvann ca. 80 m fra utløp Byskogbekken, strømningsretning mot byen.
OM-2	Overflate	21.02.2023	Sjøvann øst for Omsundbroen (oppstrøms utløp Byskogbekken).
SA-1	Overflate	21.02.2023	Sjøvann ved referansestasjon for biota i Sandvika.
S1	27	07.11.2021	Sedimentprøve, hard bunn med skjellsand.
S2	35	07.11.2021	Sedimentprøve, hard bunn med skjellsand.
S3	33	07.11.2021	Sedimentprøve, grov skjellsand.
S4	6-10	07.11.2021	Sedimentprøve, steinbunn med lommer av sand.
S5	2	07.11.2021	Sedimentprøve, skjellsand.
S6	1,5	07.11.2021	Sedimentprøve, skjellsand.



Figur 65 Figur som viser prøvepunkter for sjøvann og sjøsediment.

#### 4.5.4.2 Analyseresultater

Analyseresultatene for vann- og sjøsedimentene prøvetatt i Gløsvågen og Omsundet høsten 2021 og vinteren 2023 er vist i hhv. Tabell 24 og Tabell 25. Plassering av prøvepunktene er vist i Figur 65.

Konsentrasjonene av sum PFAS i sjøvannprøvene var lave (<5,4 ng/l, se Tabell 24). I Gløsvågen ble det påvist høyest konsentrasjonsnivå (5,4 ng sum PFAS/l) like ved utløpet av utslippsledningen fra fangdammen øst for BØFA (prøvepunkt GL-1). Det ble også påvist noe PFAS i prøvepunktene Vann11 og GL-2 fra Gløsvågen (hhv. 2,5 og 2,3 ng sum PFAS/l). Til tross for relativt lave PFAS-nivåer ble det påvist overskridelser av AA-EQS for PFOS i kystvann på 0,13 ng/l, men nivåene var langt under MAC-EQS på 7200 ng/l (Miljødirektoratet, 2020c). PFOS-nivåene i Gløsvågen tilsvarte dermed moderat tilstand iht. Miljødirektoratets tilstandsklasser for kystvann. Som nevnt i kapittel 2.4 er Gløsvågen en del av vannforekomsten Talgsjøen. Datagrunnlaget fra Gløsvågen er ikke ansett som tilstrekkelig for å vurdere den overordnede tilstanden til vannforekomsten Talgsjøen som helhet. Det antas at konsentrasjonene spres og fortynnes betydelig i vannmassene utenfor Gløsvågen; og ved referansepunktet i Sandvika, som også er en del av Talgsjøen, ble det ikke påvist PFAS over analysemetodens kvantifikasjonsgrense (<0,2 ng/l for PFOS).

I Omsundet ble det kun påvist PFAS i sjøvannprøven Vann12 som ble prøvetatt like utenfor utløpet til Byskogbekken (se Tabell 24). I dette prøvepunktet ble det påvist 0,21 ng PFOS/l, dvs. overskridelse av AA-EQS på 0,13 ng/l. I øvrige prøvepunkt mer representative for Omsundet som helhet (OM-1 og OM-2) ble det imidlertid påvist <0,20 ng PFOS/l. Det antas med utgangspunkt i halve deteksjonsgrensen på 0,10 ng/l at det i disse prøvepunktene ikke ble påvist overskridelser av AA-EQS for PFOS.

*Tabell 24 Konsentrasjon av PFOA, PFOS og  $\Sigma$ PFAS (ng/l) i sjøvann ved Kristiansund lufthavn. Konsentrasjonene er klassifisert med fargekoder jf. Tabell 3. Konsentrasjoner av PFOS over AA-EQS på hhv. 0,13 og 9100 ng/l for PFOS og PFOA er uthevet. i.p. = ikke påvist over analysemetodens rapporteringsgrense.*

Prøvepunkt	Sjøområde	Dato	PFOA	PFOS	Sum PFAS
			ng/l		
Vann11	Gløsvågen	07.11.2021	<0,30	<b>0,73</b>	2,5
GL-1		21.02.2023	<0,30	<b>3,2</b>	5,4
GL-2		21.02.2023	<0,30	<b>1,5</b>	2,3
Vann12	Omsundet	07.11.2021	<0,30	<b>0,21</b>	1,1
OM-1		21.02.2023	<0,30	<0,20	i.p.
OM-2		21.02.2023	<0,30	<0,20	i.p.
SA-1	Sandvika ref.	21.02.2023	<0,30	<0,20	i.p.

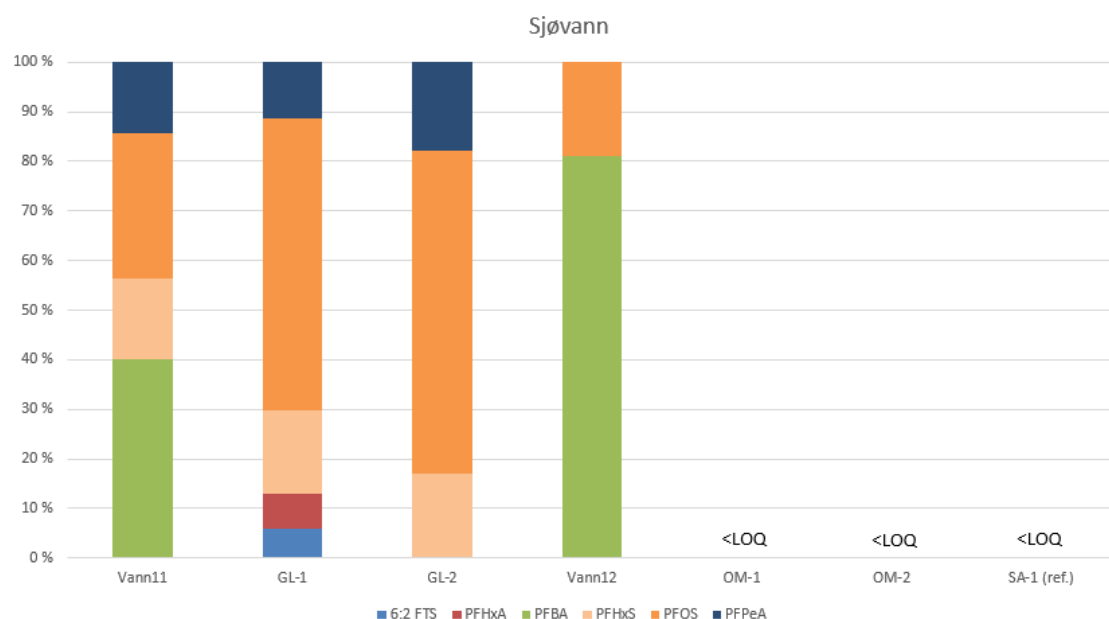
Konsentrasjonsnivåene av PFAS i sedimentprøvene viste i likhet med vannprøvene forholdsvis lave konsentrasjoner av PFAS (Tabell 25). Nivået av PFOS var likevel over AA-EQS på 0,23 µg/kg for marine sedimenter ved to av stasjonene i Omsundet (S3 og S4, se Tabell 25), men under MAC-EQS på 72 µg/kg (Miljødirektoratet, 2020c). Oppsummert tyder resultatene av sjøvann og sjøsediment på at det er en lokal, men relativt svak påvirkning ved Gløsvågen og Omsundet. I Omsundet synes påvirkningen å være neglisjerbar med

utgangspunkt i sjøvannprøvene, og de påviste PFAS-konsentrasjonene i vannprøvene fra Gløsvågen antas å spres og fortynnes hurtig i vannmassene utenfor. For ytterligere vurdering av forurensningssituasjonen vises det til resultater fra biotaundersøkelsen som er beskrevet i kapittel 4.6.

Tabell 25 Konsentrasjon av PFOA, PFOS og  $\Sigma$ PFAS i sjøsediment ved Kristiansund lufthavn. Konsentrasjoner over AA-EQS på hhv. 0,23 og 71  $\mu\text{g}/\text{kg}$  for PFOS og PFOA er uthevet. Resultatene er fargelagt med fargekoder iht. Miljødirektoratets klassifiseringssystem for PFOS og PFOA i kystvann (Miljødirektoratet, 2020c). Grønn = god miljøtilstand, gul = moderat tilstand.

Prøvepunkt	Sjøområde	PFOS	PFOA	Sum PFAS
		$\mu\text{g}/\text{kg}$ TS		
S-01	Omsundet	0,15	<0,050	0,15
S-02		0,12	<0,050	0,12
S-03		0,39	0,3	2,1
S-04		0,31	<0,050	0,31
S-05	Gløsvågen	0,075	<0,050	0,075
S-06		0,13	<0,050	0,13

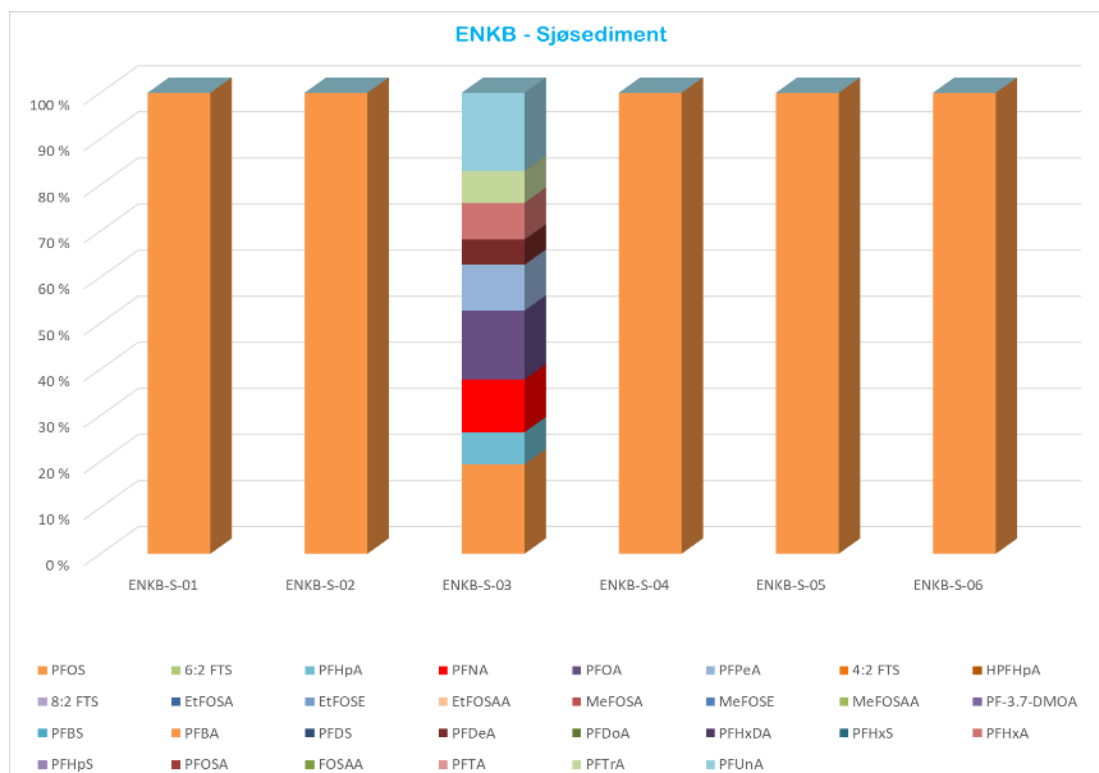
En oversikt over prosentfordelingen av de ulike PFAS-forbindelsene i sjøvannprøvene er vist i Figur 66. Resultatene viser at vannprøvene fra Gløsvågen (Vann11, GL-1 og GL-2) generelt besto av noen flere PFAS-forbindelser enn vannprøven ved utløpet av Byskøgbekken i Omsundet (Vann12), hvor det kun ble påvist PFBA og PFOS. Konsentrasjonsnivåene i sjøvannprøvene var imidlertid relativt lave (se over).



Figur 66 Prosentvis konsentrasjonsfordeling av enkeltforbindelser av PFAS i sjøvann prøvetatt i 2021-2023. Det er kun forbindelser som er påvist over analysemetodens rapporteringsgrense i minst én av prøvene som er vist. Vann11, GL-1 og GL-2: Gløsvågen; Vann12, OM-1 og OM-2: Omsundet; SA-1 (ref.): Sandvika referansestasjon. LOQ = analysemetodens kvantifiseringsgrense.



En oversikt over prosentfordelingen av de ulike enkeltforbindelsene i sjøsediment er vist i Figur 67. Som vist i figuren besto sedimentprøvene i hovedsak av PFOS, bortsett fra sedimentprøven fra prøvepunkt S-03 i Omsundet, med innhold av en rekke PFAS-forbindelser. Denne prøven hadde også noe høyere konsentrasjon av sum PFAS sammenliknet med øvrige prøvepunkt (Tabell 25). Det er ukjent hvorfor denne prøven skilte seg ut fra de øvrige sedimentprøvene.



Figur 67 Prosentvis konsentrasjonsfordeling av enkeltforbindelser av PFAS i sjøsediment prøvetatt høsten 2021.

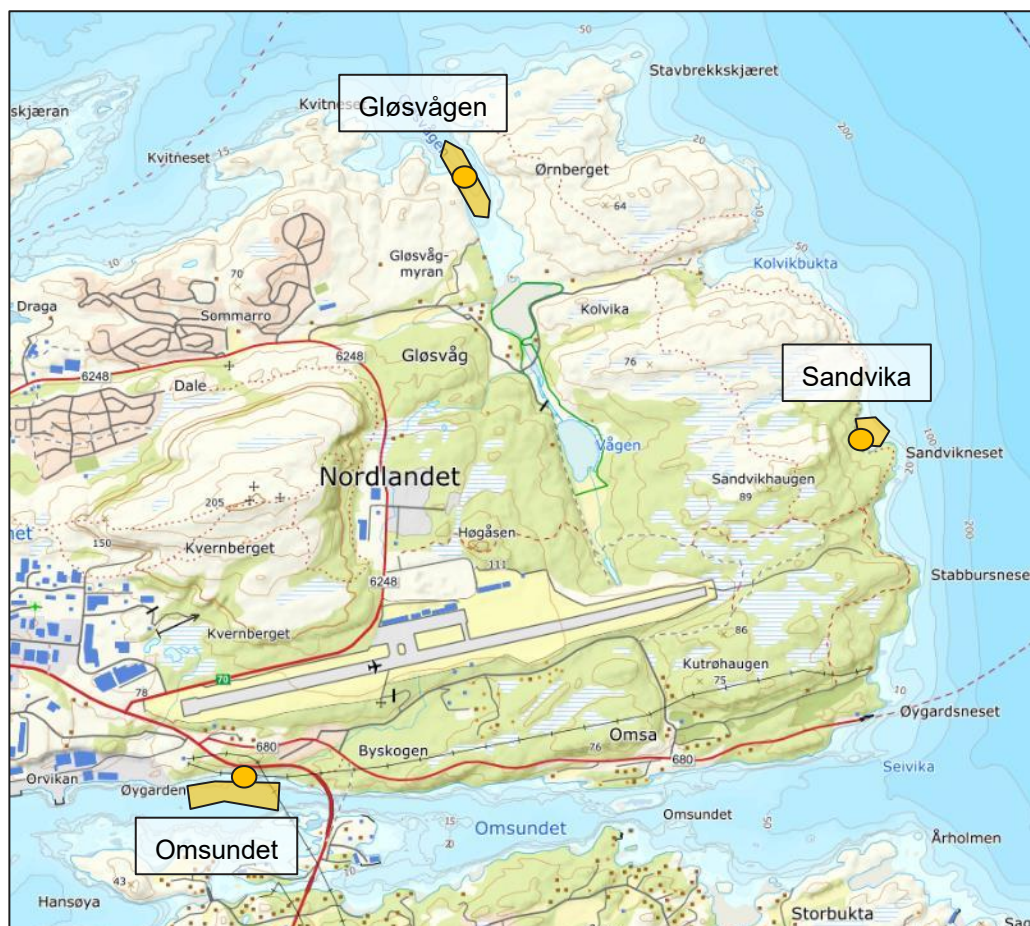
## 4.6 Biota

### 4.6.1 Felldata

Biota ble samlet inn i perioden 14.-15. november 2021 av underleverandør Fjeld og Vann AS. Det ble samlet inn fisk, blåskjell, albusnegl og taskekrabbe fra områder som skulle representere områder mulig påvirket av avrenning av miljøgifter fra lufthavnen (Omsundet og Gløsvågen) og et upåvirket referanseområde (Sandvika, se Figur 68). Lokalitetsangivelser for de enkelte fangststasjonene for biota ved Kristiansund lufthavn er vist i Tabell 26 og Figur 68.

Tabell 26 Lokalitetsangivelser for de enkelte fangststasjonene ved Kristiansund lufthavn, prøvetatt 14.11.21-15.11.21. Koordinater WGS 84 UTM sone 32N.

Område	Beskrivelse	Arter
Gløsvågen	Våg på rullebanens nordside.	Fisk, blåskjell, taskekrabber
Omsundet	Sund på rullebanens sørside.	Fisk, blåskjell, taskekrabber
Sandvika	Referansestasjon, vik øst på Nordlandet.	Fisk, albusnegl, Taskekrabber



Figur 68 Kart som viser de enkelte områdene (Gløsvågen, Omsundet og referansestasjonen Sandvika) for fangst av fisk og blåskjell ved Kristiansund lufthavn i november 2021. Områdene med garnfiske er markert med oransje polygoner.

Omsundet er et mulig eksponert område på sørsiden av rullebanen som mottar avrenning fra flyplassen, og spesielt det nedlagte brannøvingsfeltet BØFB. Det ble her samlet inn fisk, blåskjell og taskekrabbe fra et område vest for broen som krysser Omsundet og fram til utløpet av en bekk som drenerer området ved rullebanens vestlige ende. Garnfisket ble gjort i to omganger: nattstøtte garn fra 14.11.21-15.11.21, samt komplementerende innsamling på dagtid 15.11.21 Ved begge anledninger ble det fisket med fire flyndregarn (50 x 1,5 m, 70 mm maskevidde) og to trollgarn (27,5 x 2 m, 63 mm maskevidde), satt i lenker på to hver. Garn ble satt på tvers av land og ut mot dypet (dyp ca. 10–35 m) og med et mellomrom på om lag 50 m. Blåskjellene ble sanket fra en fortøyning som lå nær bekkens utløp.

Gløsvågen er et mulig eksponert område på nordsiden av rullebanen som mottar avrenning fra flyplassen, og spesielt det aktive brannøvingsfeltet BØFA. Det ble her samlet inn fisk, blåskjell og taskekrabber. Innsamlingen ble gjort med fire flyndregarn (50 x 1,5 m, 70 mm maskevidde) og to trollgarn (27,5 x 2 m, 63 mm maskevidde), satt i lenker på to hver. Garn ble satt på tvers av land og ut mot dypet (dyp ca. 10–35 m) og med et mellomrom på 50–100 m. Det ble fanget et betydelig antall taskekrabbe, noe som senket garnenes fangsteffektivitet og skapte problemer med predasjon. Blåskjell ble sanket fra en fortøyning som lå inne i Gløsvågen.

Referanseområdet Sandvika er en vik som ligger på østsiden av Nordlandet, ut mot Årsundfjorden. Det ble her samlet inn fisk, albuskjell og taskekrabber. Som for de andre lokalitetene ble det fisket med fire flyndregarn (50 x 1,5 m, 70 mm maskevidde) og to trollgarn (27,5 x 2 m, 63 mm maskevidde), satt i lenker på to hver. Garnene ble satt på tvers av land og ut mot dypet (dyp ca. 15–30 m) og med et mellomrom på 50–100 m. Det ble fanget et betydelig antall taskekrabbe, noe som senket garnenes fangsteffektivitet. Blåskjell ble ikke funnet, og det ble plukket albusnegl som erstatning for disse.

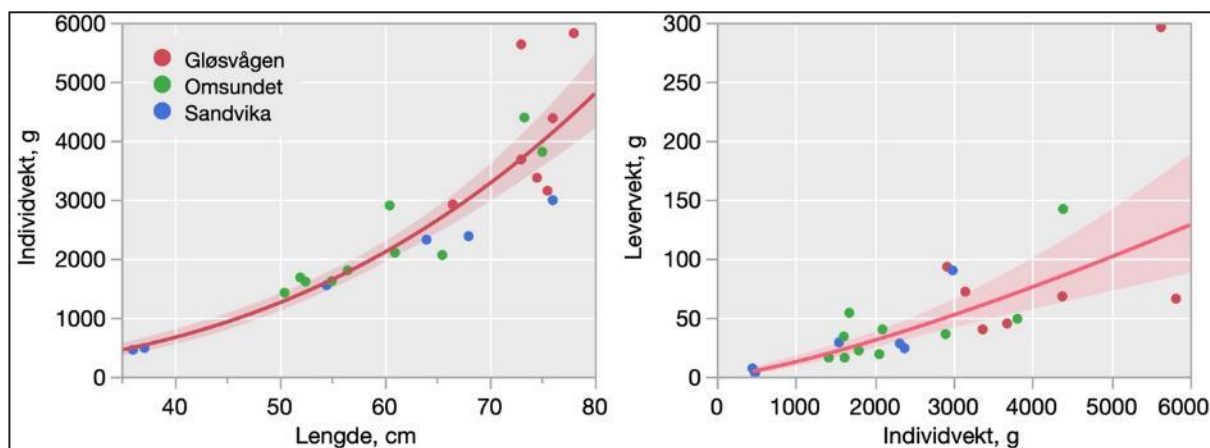
Det ble analysert i alt 43 prøver fra tre stasjoner (Gløsvågen, Omsundet og referansestasjonen Sandvika, se Figur 68): 23 muskelprøver (filet) av torsk, 5 blandprøver av fiskelever og 15 blandprøver av bløtvev (blåskjell og albusnegl, Tabell 27). Som nevnt ovenfor ble det ikke funnet blåskjell på referansestasjonen i Sandvika, så det ble her som erstatning sanket albusnegl fra svabergene. Blåskjell og albusnegl er begge primærkonsumenter i det marine næringsnett (samme trofiske nivå), men har ulike økologiske nisjer. Blåskjell filtrerer planktoniske alger, mens albusnegl beiter på bentiske påvekstlger.

Midlere vekt av fiskene som ble analysert er gitt i Tabell 27. I Figur 69 er forholdet mellom fiskevekt, levervekt og fiskelengde vist. Som vist av figuren var fiskeprøvene fra Gløsvågen generelt noe større enn dem fra Omsundet. For blåskjell og albusnegl var individvekten (bløtvev) ca. 2-4 g, og hver blandprøve inneholdt 80-90 g materiale.

Tabell 27 Prøvematerialet fra Kristiansund, innsamlet i 2021, gruppert etter art og fangststed. For fisken er midlere lengde og vekt med standard avvik gitt ( $\bar{x} \pm SD$ ).

Art	Stasjon	Lengde, cm		vekt, g		Antall prøver		
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	Muskel (individprøver)	Lever (blandprøver, n=antall individer per blandprøve)	Bløtvev (blandprøver)
Torsk	Gløsvågen	73,8	3,7	4 136	1 181	7	2 (n=4 og n=3)	-
	Omsundet	60,2	8,7	2 339	1 024	10	2 (n=5 og n=5)	-
	Sandvika	56,0	16,5	1 696	1 055	6	1 (n=6)	-
Blåskjell	Gløsvågen	-	-	-	-	-	-	5*
	Omsundet	-	-	-	-	-	-	5*
Albusnegl	Sandvika	-	-	-	-	-	-	5*

\*For blåskjell og albusnegl var individvekten (bløtvev) ca. 2-4 g, og hver blandprøve inneholdt ca. 80-90 g prøvemateriale. Dvs. midlere individvekt var ca. 3 g og hver blandprøve besto derfor av ca. 25-30 individer.



Figur 69 Spredningsplott og relasjonene mellom fiskelengde og individvekt (venstre panel) og individvekt og levervekt (høyre panel) for fisken analysert for PFAS, innsamlet i 2021. Sandvika: referansestasjon; Gløsvågen og Omsundet: mulig eksponerte stasjoner.

## 4.6.2 Analyseresultater

Av de 22 ulike PFAS-forbindelsene som ble analysert, ble det påvist kvantifiserbare konsentrasjoner av ni forbindelser (6:2 FTS, PFHxA, PFDFA, PFUnA, PFDoA, PFTrA, PF-3,7-DMOA, PFOS og PFOSA). For flere av disse forbindelsene (6:2 FTS, 8:2 FTS og PF-3,7-DMOA) var det imidlertid et fåtall prøver med kvantifiserbare konsentrasjoner – og disse konsentrasjonene var også relativt lave. Som forventet ble det generelt påvist flere PFAS i prøver av lever enn i bløtvev/fiskemuskel. PFOS ble påvist i flest prøver uavhengig av stasjon og prøvemateriale.

De enkelte analyseresultatene, samt gjennomsnittsverdier for PFOS og sum av PFAS er gitt i Tabell 28. Alle konsentrasjoner som omtales er oppgitt på våtvektbasis, og vurderinger av analyseresultatene er gjort av Fjeld og Vann AS.

Tabell 28 Analyseresultater for PFOS og  $\Sigma$ PFAS i biotaprøver innsamlet i november 2021 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  våtvekt). Resultatene for  $\Sigma$ PFAS er klassifisert med fargekoder iht. Tabell 4. Alle biotaprøvene, med unntak av albusnegl, er definert som biota som benyttes til matkonsum. i.p. = ikke påvist over analysemetodens rapporteringsgrense.

Prøvenavn	Stasjon	Art	Matriks	PFOS		Sum PFAS		
				PFOS	Gjennomsnitt	Sum PFAS	Gjennomsnitt	
SAN-AB1.1	Sandvika (referanse- stasjon)	Albusnegl	Bløtvev	0,123	0,045	0,123	0,045	
SAN-AB1.2				0,102		0,102		
SAN-AB1.3				<0,100		i.p.		
SAN-AB1.4				<0,100		i.p.		
SAN-AB1.5				<0,100		i.p.		
SAN-TM1.1		Torsk	Muskel	0,125	0,154	0,125	0,154	
SAN-TM1.2				0,103		0,103		
SAN-TM1.3				0,260		0,260		
SAN-TM1.4				0,182		0,182		
SAN-TM1.5				0,149		0,149		
SAN-TM1.6				0,104		0,104		
SAN-TL1.1*			Lever	7,01	7,01	23,7*	23,7*	
GLØ-BB1.1		Gløsvågen	Blåskjell	Bløtvev	0,218	0,282	0,218	0,282
GLØ-BB1.2	0,344				0,344			
GLØ-BB1.3	0,278				0,278			
GLØ-BB1.4	0,261				0,261			
GLØ-BB1.5	0,310				0,310			
GLØ-TM1.1	Torsk		Muskel	<0,200	0,066	i.p.	0,066	
GLØ-TM1.2				0,121		0,121		
GLØ-TM1.3				<0,100		i.p.		
GLØ-TM1.4				<0,100		i.p.		
GLØ-TM1.5				0,153		0,153		
GLØ-TM1.6				0,187		0,187		
GLØ-TM1.7				<0,100		i.p.		
GLØ-TL1.1			Lever	1,62	1,64	4,90	4,09	
GLØ-TL1.2	Lever		1,66	3,28				
OMS-BB1.1	Omsundet		Blåskjell	Bløtvev	<0,350	0,246	i.p.	0,497
OMS-BB1.2					0,273		0,579	
OMS-BB1.3					0,321		0,965	
OMS-BB1.4					0,350		0,657	
OMS-BB1.5					0,284		0,284	
OMS-TM1.1		Torsk	Muskel	<0,104	0,121	i.p.	0,711	
OMS-TM1.2				0,111		0,111		
OMS-TM1.3				0,207		4,57		
OMS-TM1.4				0,129		0,129		
OMS-TM1.5				0,210		0,210		
OMS-TM1.6				<0,150		i.p.		
OMS-TM1.7				0,132		0,132		
OMS-TM1.8				0,189		0,189		
OMS-TM1.9				0,105		1,64		
OMS-TM1.10				0,126		0,126		
OMS-TL1.1			Lever	1,63	1,80	2,80	3,48	
OMS-TL1.2		Lever	1,97	4,15				

\*Denne blandprøven av lever hadde avvikende høy konsentrasjon av PFOS i forhold til konsentrasjonen i muskel fra de samme individene den er basert på. Feilanalyse eller kontaminering kan ikke utelukkes.

Med unntak av leverprøven av torsk fra Sandvika, ble det som vist i Tabell 28 i all hovedsak påvist lave konsentrasjoner av PFAS i prøvene, og PFOS utgjorde for de fleste prøver størsteparten av sum PFAS.

I prøvene av bløtvev fra blåskjell og albusnegl dominerte PFOS, og utgjorde mellom 50-100 % av sum PFAS. Gjennomsnittlige PFOS-konsentrasjoner var imidlertid gjennomgående lave (0,045-0,28 µg/kg, se Tabell 28), og nær kvantifikasjonsgrensen (LOQ: 0,1 µg/kg). I blåskjell fra Omsundet ble det i noen få tilfeller påvist kvantifiserbare konsentrasjoner av PFUnA og PFOSA, hvilket gjør at prosentandelen av PFOS synker markert til 50 % av sum PFAS.

I muskelprøvene av torsk fra Gløsvågen og Sandvika dominerte også PFOS med gjennomsnittskonsentrasjoner på hhv. 0,066 og 0,154 µg/kg (se Tabell 28). For Omsundet ble det påvist kvantifiserbare konsentrasjoner av PFAS i 8 av 10 prøver, hvorav 6 av disse besto av opp mot 100 % PFOS. De to resterende prøvene (OMS-TM1.3 OMS-TM1.9) besto imidlertid av en relativt høy andel 6:2 FTS på hhv. 82 og 94 % av sum PFAS, og kun ca. 5 % PFOS (OMS-TM1.3 besto i tillegg av ca. 13 % PFHxA).

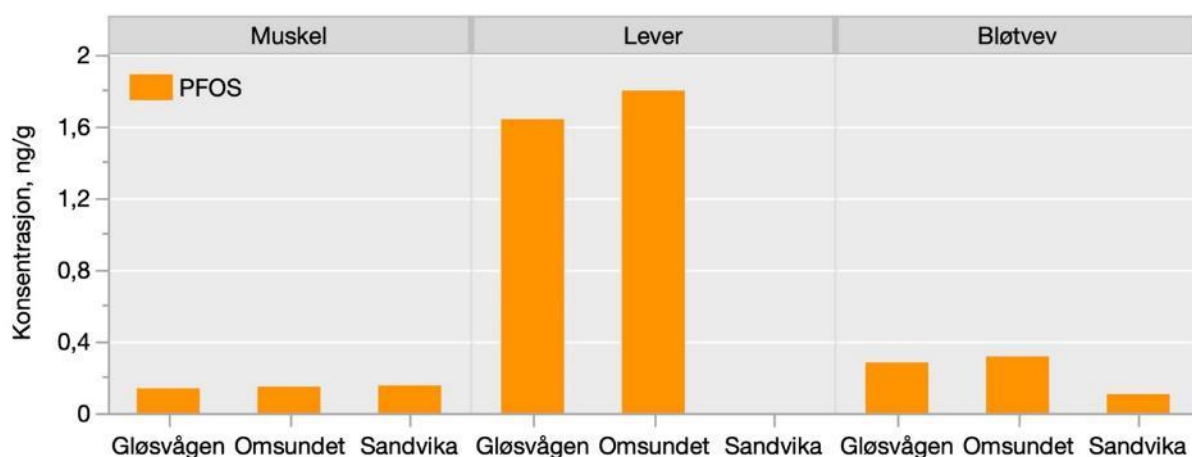
I leverprøvene av torsk fra Gløsvågen og Omsundet utgjorde PFOS 30-40 % av sum PFAS, og blant de andre kvantifiserbare PFAS-forbindelser var de viktigste (i synkende rekkefølge) PFOSA, PFTrA, PFUnA, PFDeA og PFDoA. Leverprøven fra Sandvika hadde en avvikende høy konsentrasjon av PFOS i forhold til konsentrasjonene i muskelprøvene. Forholdet mellom PFOS-konsentrasjonen i blandprøven av lever fra denne stasjonen og midlere konsentrasjon i muskelprøvene fra de samme individene var unormalt høyt med et forhold på 45:1. Vanligvis rapporteres det at konsentrasjonen av PFOS i lever på ulike arter fisk er 10-18 ganger høyere enn konsentrasjonene i muskel (Faxneld, S., Danielson, S. and Nyberg, E., 2014; Fjeld, 2017; Langberg, H.A. et al., 2019; Larsen, M.M. and Bossi, R., 2021). Det kan ikke utelukkes at de spesielt høye nivåene av PFOS (og 6:2 FTS) i denne prøven kan skyldes en feilanalyse eller kontaminering, og prøven er derfor ekskludert i de videre vurderingene av resultatene. For torsk fra de to andre stasjonene, Gløsvågen og Omsundet, var forholdet mellom PFOS i lever og muskel som forventet (12:1).

Ingen enkeltprøver overskred vannforskriftens EQS-verdi for PFOS på 9,1 µg/kg. Videre var gjennomsnittsverdien av PFOS i muskel av torsk fra Gløsvågen og Omsundet henholdsvis 0,066 og 0,121 µg/kg, dvs. noe lavere enn gjennomsnittsverdien for referansestasjonen i Sandvika på 0,154 µg/kg. Det var dermed ingen tydelige forskjeller i konsentrasjonsnivå i fisk mellom stasjonene. Videre var det ingen signifikant korrelasjon mellom PFOS-konsentrasjon og fiskelengde, så ulik fiskestørrelse ved stasjonene anses ikke å ha bidratt til å maskere eventuelle forskjeller i PFOS-konsentrasjonene (Figur 69).

Gjennomsnittlige konsentrasjoner av PFOS i lever av torsk fra Gløsvågen og Omsundet var begge lavere enn lever av torsk fra Sandvika referansestasjon (hhv. 1,64, 1,80 og 7,0 µg/kg for Gløsvågen, Omsundet og Sandvika, Figur 70). Det lave antallet prøver (to blandprøver fra Gløsvågen og Omsundet, samt én blandprøve fra Sandvika) gjør en videre statistisk sammenlikning lite hensiktsmessig. I en annen undersøkelse for Avinor, gjort på samme tidsrom, ble det vist at referanseprøvene ved Brønnøysund lufthavn hadde en middelkonsentrasjon på 2,12 µg/kg. Dette indikerer at konsentrasjonene av PFOS i leverprøvene fra Kristiansund ikke skiller seg i noen vesentlig grad fra andre

referanseområder. En lokal påvirkning fra BØFene synes derfor neglisjerbar basert på analyser av torsk.

I bløtvev av blåskjell fra stasjonene nær flyplassen var gjennomsnittsnivåene av PFOS hhv. 0,282 og 0,246 µg/kg ved Gløsvågen og Omsundet (Figur 70). Konsentrasjonsnivåene i albusnegl fra referansestasjonen i Sandvika var signifikant lavere (*post-hoc* test basert på middelveier:  $p < 0,0001$ ) med gjennomsnittlig PFOS-nivå på 0,045 µg/kg. Det presiseres imidlertid at det her sammenliknes ulike arter bløtdyr med forskjellig økologisk nisje og fysiologi, noe som kan bidra til ulik grad av akkumulering av PFOS. Data fra Miljødirektoratets program for kystovervåkning viser imidlertid at vanlig forekommende nivå av PFOS i blåskjell vanligvis er  $< 0,1$  µg/kg på stasjoner uten nærliggende utslippskilder (Green, N. et al. , 2020). Ut fra dette kan det virke som om blåskjell fra stasjonene i Gløsvågen og Omsundet er svakt påvirket av lokale utlipp. Det anses imidlertid ikke som nødvendig med avbøtende tiltak med tanke på konsentrasjonene i blåskjell, ettersom konsentrasjonene kun var marginalt høyere enn i albusnegl ved referansestasjonen, samt at konsentrasjonene ikke er ansett som vesentlig høyere enn vanlig forekommende bakgrunnsnivå i blåskjell på  $< 0,1$  µg/kg.



Figur 70 Midlere konsentrasjoner av PFOS i ulike prøvetyper fra de enkelte stasjonene ved Kristiansund, innsamlet i 2021. Muskel og lever er fra torsk. Bløtvev er fra blåskjell, med unntak av albusnegl fra Sandvika.

## 5 Mengde PFAS i jord

Formålet med beregningene av mengder PFAS i jord er å gi et grunnlag for vurdering av forurensingssituasjonen, og for beregning av kost/effekt av tiltak i forbindelse med utarbeidelse av tiltaksplan.

En sammenstilling av alle resultatene fra de ulike delområdene på lufthavnen viser at BØFB er det klart største kildeområdet for PFAS. Av den grunn er det utført mengdeberegninger for å estimere hvor stor mengde PFAS som ligger i grunnen på BØFB. I tillegg er det utført beregninger for skråningen nedenfor BØFB, og for det aktive brannøvingsfeltet BØFA, for å vurdere om det ligger signifikante mengder PFAS i grunnen også der. Det er ikke vurdert at de

øvrige undersøkte områdene på lufthavnen (TERM øst og TERM, samt RULV) utgjør kildeområder av betydning.

## 5.1 Metode for mengdeberegning

Metoden for mengdeberegning tar utgangspunkt i beskrivelsen som er gitt i Norconsult-rapport; *Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Avinors lufthavner* (Norconsult, 2019a).

Sum PFAS mengde er basert på interpolerte konsentrasjonsintervaller ved bruk av gjennomsnittskonsentrasjoner i prøver per meter i hvert prøvepunkt (0-1 m, 1-2 m osv., prøvedyp avhengig av aktuell prøvedybde i kildeområdet). Hvis det er flere målinger av samme punkt innenfor samme dybdeintervall (f.eks. 0-1 m), er gjennomsnittet av disse brukt. Dette er gjort for at det i vurdering av tiltaksmetoder enkelt skal kunne vurderes om tiltak er mest effektivt for toppjord (0-1 m) og/eller dypere liggende masser (> 1 m).

Analyseresultater fra 2011 til 2023 er inkludert i beregningene. I 2011-2012 (DP2-undersøkelsen) ble det kun analysert for et fåtall PFAS-forbindelser (PFOS og PFOA, samt noen flere forbindelser, som 6:2 FTS, i enkelte prøver), mens det i 2019-2023 ble analysert for 30 forskjellige forbindelser. Sum PFAS-konsentrasjonene for 2011-2012 er av den grunn estimert ut fra målte PFOS-nivåer, som er oppjustert ut fra forventet gjennomsnittlig prosentandel PFOS av sum PFAS. Med utgangspunkt i nyere resultater, er det for BØFB beregnet at PFOS i gjennomsnitt utgjør ca. 53 % av sum PFAS, og tilsvarende beregning for BØFA resulterte i en PFOS-andel på ca. 50 % av sum PFAS.

Basert på sum PFAS-konsentrasjoner i punktene interpoleres konsentrasjonsfordelingen for hele undersøkelsesarealet ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) med metoden «natural neighbour» i programvaren Surfer. Resulterende kart har konturer etter de syv konsentrasjonsklassene som er gitt i pålegget fra Miljødirektoratet: <3, 3-30, 30-150, 150-500, 500-1000, 1000-30000 og >3000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Ut fra konturlinjene for konsentrasjonsklassene kan konsentrasjoner av PFAS, samt forurensningens arealutbredelse hentes ut for mengdeberegningene ved å avgrense plottet iht. konturlinjene.

Deretter beregnes sum PFAS på følgende måte for hele det undersøkte volumet, og per dybdeintervall (per meter):

1. Beregne volum ( $\text{m}^3$ ) til massene ved å multiplisere det undersøkte arealet ( $\text{m}^2$ ) med mektigheten av de forurensede massene (m).
2. Beregne vekt (kg) til massene ved å multiplisere massenes volum ( $\text{m}^3$ ) med massenes tetthet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Massenes tetthet settes basert på feltobservasjoner, og er en skjønnsbasert vurdering.
3. Beregne vekt (kg) sum PFAS ved å multiplisere vekt (kg) forurensede masser med andel finstoff (<20 mm) og interpolert sum PFAS-konsentrasjon i massene ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Andel finstoff settes basert på observasjoner i felt.

Massene på både BØFB og BØFA besto i hovedsak av sprengsteinsmasser, samt noen områder med naturlige myrjordmasser. Følgende forutsetninger er lagt til grunn for beregningene:

- › Egenvekt masser:  $1800 \text{ kg}/\text{m}^3$ .



- › Andel finstoff (<20 mm):
  - › 40-60 % for BØFB (40 % for sprengsteinmasser og 60 % for kombinasjon av sprengsteinmasser og myrjord).
  - › 70 % i skråningen nedenfor BØFB (lyngjord).
  - › 40 % for BØFA (sprengsteinmasser).

For hver lokalitet er det beregnet kumulativ mengde sum PFAS (dvs. inkluderer alle konsentrasjoner over) for konsentrasjoner >3, >30, >150 og >500. Anvendt metodikk gir beregnet mengde for hele det undersøkte volumet.

Det undersøkte arealet er definert av de ytterste prøvepunktene. Mangelfull avgrensning i datagrunnlaget gir usikkerhet i beregningene. For ytterligere beskrivelse av usikkerhet knyttet til beregningsmetoden vises det til rapport utarbeidet av Norconsult (Norconsult, 2019a).

## 5.2 Resultater for mengdeberegninger

### 5.2.1 BØFA

Polygonene som er generert i Surfer basert på konsentrasjoner per meter ned til 3 m dybde for BØFA er vist i Figur 25-Figur 27. Resultater fra mengdeberegningene er gitt i Tabell 29. Det gjøres oppmerksom på at volumberegningene er usikre i områder hvor det ikke har vært mulig å grave ned til fjell, samt at det ikke har blitt tatt prøver sentralt under betongplaten med øvingsobjektet.

Tabell 29 Beregnede mengder  $\Sigma$ PFAS (kg) og volum masser ( $m^3$ ) på BØFA på Kristiansund lufthavn, for områder med konsentrasjoner  $>3$ ,  $>30$ ,  $>150$ ,  $>500 \mu\text{g/kg}$  på 0-3 m dyp.

Område	Dybde	Areal	Volum	Fraksjon <20 mm	Vekt fraksjon <20 mm	$\Sigma$ PFAS (snitt)	$\Sigma$ PFAS	$\Sigma$ PFAS tot	Fordeling i dypet	Mengde/ totalt volum
		( $m^2$ )	( $m^3$ )	(%)	(tonn)	$\mu\text{g/kg}$	(kg)	(kg)	(%)	( $\text{g/m}^3$ )
<b>&gt; 3 <math>\mu\text{g/kg}</math></b>										
BØFA	0-1 m	6303	6303	40	4538	52	0,24	1,4	20	0,04
	1-2 m	6201	6201	40	4465	145	0,65		56	0,10
	2-3 m	4999	4999	40	3599	75	0,27		23	0,05
	3-4 m	1860	1860	40	1339	172	0,23		20	0,12
<b>&gt; 30 <math>\mu\text{g/kg}</math></b>										
BØFA	0-1 m	3337	3337	40	2403	83	0,20	1,3	19	0,06
	1-2 m	4971	4971	40	3579	175	0,63		59	0,13
	2-3 m	1932	1932	40	1391	172	0,24		22	0,12
	3-4 m	1462	1462	40	1053	213	0,22		21	0,15
<b>&gt; 150 <math>\mu\text{g/kg}</math></b>										
BØFA	0-1 m	477	477	40	343	208	0,07	0,88	10	0,15
	1-2 m	2131	2131	40	1534	295	0,45		65	0,21
	2-3 m	718	718	40	517	338	0,17		25	0,24
	3-4 m	788	788	40	567	312	0,18		25	0,22
<b>&gt; 500 <math>\mu\text{g/kg}</math></b>										
BØFA	0-1 m	N/A	N/A	40	N/A	N/A	N/A	0,16	N/A	N/A
	1-2 m	201	201	40	145	604	0,087		67	0,43
	2-3 m	100	100	40	72	590	0,042		33	0,42
	3-4 m	66	66	40	47,52	555	0,026		20	0,40

Som vist i Tabell 29 er det beregnet en total mengde sum PFAS ( $>3 \mu\text{g/kg}$ ) på ca. **1,4 kg** ved BØFA, fordelt på et volum løsmasser på ca. 19300  $m^3$ . Dette er betydelig lavere enn beregningene for BØFB (se kap. 5.2.2). Videre er forurensningen ved BØFA relativt jevnt fordelt i dypet, med noe større mengder fra 1-2 m sammenliknet med 0-1, 2-3 og 3-4 m for (hvh. ca. 56 % for 1-2 m og ca. 20 % for de øvrige dybdene for grensen  $>3 \mu\text{g/kg}$ ).

Til sammenlikning ble det av Norconsult i 2021 estimert ca. 1,2 kg sum PFAS på BØFA (Norconsult, 2021a). Dette i samme størrelsesorden som resultatene i denne rapporten.

En tiltaksgrense på 150  $\mu\text{g/kg}$  ville resultert i en reduksjon på ca. 60 % PFAS (fjerning av ca. 0,88 av 1,4 kg sum PFAS). En tiltaksgrense på 30  $\mu\text{g/kg}$  ville ifølge beregningene resultert i at ca. 93 % av forurensningen fjernes. Imidlertid vurderes mengdene PFAS på BØFA som så lave at de ikke gir selvstendig grunnlag for tiltak. Dette understøttes av resultatene fra biotaundersøkelsen i 2021. Som beskrevet i kapittel 4.6 overskred ingen enkeltprøver vannforskriftens EQS-verdi for PFOS på 9,1  $\mu\text{g/kg}$ , og resultatene fra analyse av PFAS i torsk fra Gløsvågen (og Omsundet) viste ikke tegn til lokal påvirkning. Blåskjell fra stasjonen(e) i Gløsvågen (og Omsundet) var imidlertid svakt påvirket av lokale utslipp, men med hensyn til

de påviste konsentrasjonsnivåene ble det av Fjeld og Vann AS ikke ansett som nødvendig med avbøtende tiltak. Med utgangspunkt i dette er det i det etterfølgende fokusert på kildeområdet BØFB, da det er antatt at BØFB gir høyest risiko for lokal påvirkning med utgangspunkt i større mengder av PFAS på feltet, høye konsentrasjoner av PFAS i jord og grunnvann på brannøvingsfeltet, samt i jord og bekker i skråningen nedenfor brannøvingsfeltet.

### 5.2.2 BØFB

Polygonene som er generert i Surfer basert på interpolerte konsentrasjonsnivåer av sum PFAS er vist i Figur 39-Figur 41 for brannøvingsfeltet «BØFB flate», samt i Figur 42 for området «BØFB skråning» nedenfor brannøvingsfeltet. Resultater fra mengdeberegningene for de to delområdene er gitt i Tabell 30. Det gjøres oppmerksom på at volumberegningene er usikre i områder hvor det ikke har vært mulig å grave ned til fjell.

Tabell 30 Beregnede mengder  $\Sigma$ PFAS (kg) og volum masser ( $m^3$ ) på BØFB på Kristiansund lufthavn, for områder med konsentrasjoner  $>3$ ,  $>30$ ,  $>150$ ,  $>500 \mu\text{g/kg}$  på 0-3 m dyp.

Område	Dybde	Areal	Volum	Fraksjon <20 mm	Vekt fraksjon <20 mm	$\Sigma$ PFAS (snitt)	$\Sigma$ PFAS	$\Sigma$ PFAS tot	Fordeling i dypet	Mengde /totalt volum
		( $m^2$ )	( $m^3$ )	(%)	(tonn)	$\mu\text{g/kg}$	(kg)	(kg)	(%)	( $\text{g/m}^3$ )
<b><math>&gt; 3 \mu\text{g/kg}</math></b>										
Flate	0-1 m	20814	20814	60	22479	346	7,8	17	46	0,37
	1-2 m	12372	12372	60	13362	596	8,0		47	0,64
	2-3 m	6209	6209	60	6706	191	1,28		8	0,21
Skråning	0-0,15 m	21565	3235	70	4076	429	1,75	1,7	100	0,54
<b><math>&gt; 30 \mu\text{g/kg}</math></b>										
Flate	0-1 m	13307	13307	60	14372	514	7,4	16	45	0,56
	1-2 m	8375	8375	60	9045	838	7,6		47	0,91
	2-3 m	5750	5750	60	6210	205	1,27		8	0,22
Skråning	0-0,15 m	15786	2368	70	2984	542	1,62	1,6	100	0,68
<b><math>&gt; 150 \mu\text{g/kg}</math></b>										
Flate	0-1 m	7288	7288	60	7871	841	6,6	15	45	0,91
	1-2 m	4975	4975	60	5373	1377	7,4		50	1,49
	2-3 m	2624	2624	40	1889	356	0,67		5	0,26
Skråning	0-0,15 m	9338	1401	70	1765	800	1,41	1,4	100	1,01
<b><math>&gt; 500 \mu\text{g/kg}</math></b>										
Flate	0-1 m	2611	2611	40	1880	1887	3,5	8,1	44	1,36
	1-2 m	2779	2779	40	2001	2164	4,3		53	1,56
	2-3 m	479	479	40	345	754	0,26		3	0,54
Skråning	0-0,15 m	4680	702	70	885	1294	1,14	1,1	100	1,63

Som vist i Tabell 30 er det for BØFB flaten beregnet en total mengde sum PFAS ( $>3 \mu\text{g/kg}$ ) på **17 kg**, fordelt på et volum løsmasser på ca. 39000  $m^3$ . Mesteparten, ca. 16 kg er lokalisert fra 0-2 m dybde, og litt i overkant av 1 kg fra 2-3 m dybde. Videre er det i skråningen nedenfor brannøvingsfeltet beregnet ca. **1,7 kg** sum PFAS ( $>3 \mu\text{g/kg}$ ), fordelt på et volum løsmasser på ca. 3200  $m^3$ . Som beskrevet i kap. 4 og illustrert i Figur 42, ble det påvist relativt høye konsentrasjoner i skråningen nedenfor BØFB, spesielt i den øverste delen av området, samt at det ble påvist moderat/høye konsentrasjoner også lengst sør. Liten mektighet av løsmassene på ca. 15 cm i gjennomsnitt over fjell medfører imidlertid relativt små mengder PFAS i skråningen sammenliknet med flaten på BØFB. Som tidligere nevnt er imidlertid ikke forurensningen tilstrekkelig avgrenset mot boligfeltet i sør, og det skal derfor utføres supplerende prøvetaking på privat eiendom for å avgrense forurensningen og avdekke eventuell risiko og behov for tiltak. I denne forbindelse vil mengdeberegningene for skråningen oppdateres.

Til sammenlikning ble det i samlerrapporten fra 2019 av Norconsult beregnet ca. 14 kg PFOS på BØFB (Norconsult, 2019a). Tilsvarende ble det i 2016 estimert ca. 15 kg PFOS på BØFB (Norconsult og Sweco, 2016).

## 6 Spredningsvurdering for BØFB

### 6.1 Beregningsverktøy

Miljødirektoratet arbeider p.t. med å oppdatere veiledningsmateriale for forurenset grunn i Norge. Som en del av dette arbeidet har Miljødirektoratet, med bistand fra Norges Geotekniske Institutt (NGI) utviklet et nytt beregningsverktøy for å vurdere spredning fra forurenset grunn (Miljødirektoratet, 2022c).

I Miljødirektoratets beregningsverktøy for spredning skilles det mellom jordforurensing i umettet og mettet sone, og det beregnes avrenning og belastning på resipient som kan være grunnvann og/eller overflatevann (NGI, 2021a). Verktøyet er basert på en boksmoell som består av tre bokser:

1. Umettet sone der forurensningen ligger
2. Mettet sone der grunnvannet transporterer forurensningen til resipienten
3. Resipienten som får tilført forurensningen

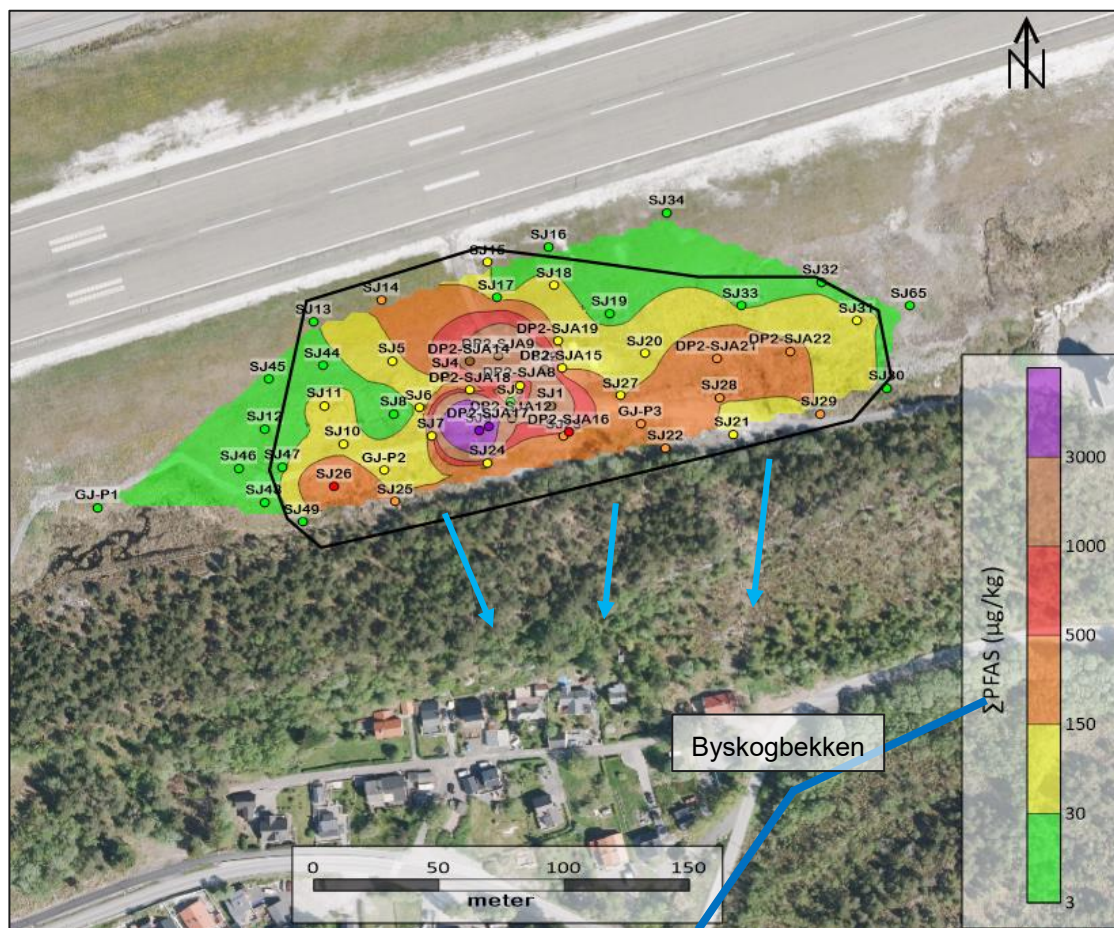
For detaljer knyttet til metodebeskrivelse og vurdering av usikkert knyttet til beregningsverktøyet, vises det til NGIs bakgrunnsrapport (NGI, 2021a).

### 6.2 Spredningsveier

Ved BØFB ligger grunnvannet relativt høyt, og det er basert på observasjoner i felt tatt utgangspunkt i en gjennomsnittlig grunnvannsstand på ca. 1 m under terreng. Videre ligger grunnvannet i kildeområdet ned mot underliggende fjell, og det er som nevnt i kap. 4.2 relativt grunt til fjell i den sentrale delen av feltet (1-2 m), og mot øst er det til dels fjell i dagen. Mot vest og øst er det myr, og i sør er det en bratt skråning med tynt løsmassedekke over fjell (maks ca. 30 cm).

Terrenget tilsier at dreneringsretningen til grunnvann og overflatevann på BØFB drenerer rett sørover, men den lave hydrauliske konduktiviteten i myrmassene vil kunne bidra til å begrense dreneringen. I området hvor det nye flyplassgjerdet er plassert (se Figur 38) går det en fjellrygg (rett øst for porten er det fjell i dagen) som styrer avrenningen fra området mot øst mot kulpen ved prøvepunkt S3. Funn av PFAS i kulpen øst for brannøvingsfeltet (prøvepunkt S3) indikerer at det forekommer en strømning i øst-sørøstlig retning og deretter sydover mot Byskogbekken. Det foregår også noe diffus spredning via mindre bekker i fjellsiden fra BØFB nedover skråningen i vest mot prøvepunkt Vann21, samt mot boligområdet i sør, og videre nedover mot resipienten Omsundet (i vedlegg D er bekkeløp og genererte nedbørsfelt fra programvaren Scalgo Live vist).

De høyere liggende områdene nord for rullebanen er avskåret av overvannsledningen, og vil ikke påvirke vannmengder ved BØFB. I Figur 71 er det definert et antatt nedbørsfelt for BØFB flaten på ca. 20000 m<sup>2</sup>, basert på utstrekningen av kildeområdet og høydekart for området. Videre har gjennomsnittlig avrenning ifølge xgeo.no vært 1786 mm/år for de siste fem år. Med utgangspunkt i dette er det estimert et vannvolum som drenerer gjennom nedbørsfeltet på ca. 35700 m<sup>3</sup>/år.



Figur 71 Antatt nedbørsfelt til BØFB er angitt med sort linje. De blå pilene viser omtrentlig strømningsretning for bekker i skråningen. Blå linje viser omtrentlig plassering av Byskogbekken. I figuren er også prøvepunkter fra BØFB flaten med interpolert konsentrasjonsnivå av sum PFAS for 0-1 m vist.

### 6.3 Input verdier

For beregning av spredning for dagens situasjon ved bruk av Miljødirektoratets beregningsverktøy, er det tatt utgangspunkt i resultater for sum PFAS i jordprøver fra 2011 til 2022, selv om det i beregningsverktøyet kun er PFOS som er den eneste PFAS-forbindelsen som ligger inne i modellens liste over stoffer. Dette er anvendt som et 'worst case scenario' for vurdering av spredningsrisiko. I stedet for å legge inn enkeltverdier i beregningsverktøyet, er

det tatt utgangspunkt i interpolert gjennomsnittskonsentrasjon for sum PFAS. De vektete konsentrasjonene er vurdert å være mer representative for utlekkingspotensialet fra lokaliteten, og høye enkeltverdier vil på denne måten ikke tillegges uforholdsmessig stor betydning i beregningene.

Beregninger i modellverktøyet er utført uten å legge inn målte konsentrasjoner i grunnvann og resipient. Målte konsentrasjoner er i stedet brukt som en kontroll, for å kunne se om modellen gir beregnede verdier på nivå med det som faktisk er målt. Dersom modellen gir beregnede verdier på nivå med faktiske målinger, vil den også kunne brukes til å beregne forventede effekter av ulike tiltaksomfang.

I tabellen nedenfor er det gitt en oversikt over input verdier benyttet for vurdering av dagens spredning av PFAS forurensning fra det nedlagte brannøvingsfeltet, BØFB. Som input til modellen er det gjort stedsspesifikke vurderinger av forhold knyttet til hhv. umettet sone, mettet sone og hydrogeologiske forhold, og resipienten.

Tabell 31 Input parametere benyttet for vurdering av spredning av sum PFAS forurensning fra BØFB ved bruk av Miljødirektoratets beregningsverktøy for spredning.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
<b>Umettet sone generelle parametere</b>			
Grunnleggende jord parametere			
Fraksjon organisk karbon $f_{oc}$ (-)	0,01	0,02	Justert opp noe pga. noe myrholdige masser (hovedsakelig sprengstein).
Bulkdensitet jord, $\rho_{jord}$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	1,7	1,8	Justert for innhold av grus og stein.
Effektiv porøsitet, $\epsilon$	0,4	0,18	Basert på kornfordelingsanalyser i 2021 for BØFB
Vannfylt porevolum i umettet sone (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0,2	0,2	-
Generelle områdeparametere			
Lengde forurensingsoverflate i grunnvannsretning (m)	50	95	Målt lengde fra nord mot sør basert på areal for interpolert konsentrasjonsfordeling >3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (20814 m <sup>2</sup> ).
Bredde forurensingsoverflate på tvers av grunnvannsretning (m)	50	219	Basert på areal for interpolert konsentrasjonsfordeling >3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (20814 m <sup>2</sup> ).
Dybde til grunnvann (m) = mektighet av forurensning iht. kap. 4.3 i grunnlagsrapport	4	1	Målt grunnvannsstand i brønner på BØFB.
Nedbør (mm/år)	1500	1243	Gjennomsnittlig nedbør de fem siste år: 1243 mm/år basert på målinger ved Kristiansund Elverk (stasjon SN64320, seklima.met.no).
Fraksjon av nedbør som infiltrerer	0,8	0,8	-
<b>Mettet sone generelle parametere</b>			

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
<b>Generelle områdeparametere grunnvann</b>			
Hydraulisk konduktivitet k (m/s)	1,00E-04	6,0*10 <sup>-5</sup>	Basert på kornfordelingsanalyser for BØFB i 2021.
Gradient dh/dl (m/m)	0,03	0,03	Oppgitt ca. 0,03 i DP2 undersøkelsen.
Blandingsdybde (m)	5	2	Observasjoner i felt.
Lengde akvifer = lengde forurenset areal + avstand til resipient (m)	50	95	Lengden fra nord mot sør basert på surfer areal.
<b>Resipient generelle parametere</b>			
Årsvolum i resipient (m <sup>3</sup> )	5000000	100*10 <sup>6</sup>	Vannutskiftningen er ikke beregnet, men i DP2 undersøkelsen ble det antatt minimum 100 mill m <sup>3</sup> /år i Omsundet (Sweco/COWI, 2012).
Oppholdstid i resipient (år)	1,00	1,00	-
<b>Konsentrasjonsnivåer av sum PFAS i jord (umettet og mettet sone)</b>			
Umettet jord (mg/kg t.v.)	-	0,346	Interpolert gjennomsnittskonsentrasjon for 0-1 m dybde for BØFB flaten, med utstrekning 20814 m <sup>2</sup> (se kap. 5)
Mettet jord (mg/kg t.v.)	-	0,538	Interpolert gjennomsnittskonsentrasjon for 1-3 m dybde for BØFB flaten, med utstrekning 12372 m <sup>2</sup> .

## 6.4 Spredningsmengder fra modell

Under de gitte forutsetningene gir spredningsmodellen en beregnet konsentrasjon for sum PFAS i utstrømmende grunnvann til resipient på omkring 269 000 ng/l. Dette er omtrent 3,5 ganger høyere enn gjennomsnittlig målt sum PFAS konsentrasjon på ca. 76 000 ng/l i grunnvannsbrønnene (se kap. 4.5.1).

Videre gir modellen et beregnet volum forurenset grunnvann på ca. 42 000 m<sup>3</sup>/år, hvilket er i samme størrelsesorden som estimert vannvolum gjennom nedbørsfeltet beregnet i kap. 6.2 (35 700 m<sup>3</sup>/år). Med utgangspunkt i dette beregner modellen en årlig spredningsmengde på 11 kg sum PFAS fra kildeområdet med grunnvannet. Dette er langt høyere enn beregnet utlekking basert på målte konsentrasjoner i grunnvannet og estimert vannvolum gjennom nedbørsfeltet (se kap. 6.5).

Videre beregner spredningsmodellen betydelig høyere mengder sum PFAS i løsmassene på BØFB ettersom spredningsmodellen er basert på forenklete beregninger basert på areal, dyp og konsentrasjon, mens mengdeberegningene i foregående kapittel baseres på interpolerte konsentrasjonsnivåer opp mot dybde og areal, og sistnevnte er ansett som mest presise beregninger. I spredningsmodellen er det beregnet ca. 13 kg sum PFAS i umettet sone (0-1 m), og 52 kg i mettet sone (1-3 m). Totalt er det dermed beregnet ca. 65 kg sum PFAS i jorden på BØFB ved bruk av beregningsverktøyet. Dette er opp mot fire ganger så høyt som beregnet mengde sum PFAS i kap. 5.2 på ca. 17 kg totalt.



Som vist ovenfor er det en utfordring ved bruk av beregningsverktøyet på Kristiansund lufthavn. Det er vanskelig å simulere at Omsundet er resipienten ettersom grunnvannet dreneres til mindre bekker som renner ut i Byskogbekken og videre til sjøresipienten Omsundet.

Som vist over er det dårlig samsvar mellom målte konsentrasjoner av reelle prøver, og beregnede konsentrasjoner i modellverktøyet. Det er derfor utfordrende å beregne spredningsmengder ved bruk av beregningsverktøyet. Under gis dermed beregnet spredning basert på målte PFAS-nivåer i både grunnvann og overflatevann/avrenning.

## 6.5 Beregnet spredning via målt PFAS konsentrasjon i grunnvann og overflatevann

Som beskrevet i kap. 6.2. er det estimert et vannvolum som drenerer gjennom nedbørsfeltet på ca. 35 700 m<sup>3</sup>/år. Videre er det basert på seks grunnvannsbrønner (BR03, BR04, BR05, BR09, BR13 og BR18) målt en gjennomsnittlig sum PFAS-konsentrasjon på ca. 76 000 ng/l (kap. 4.5.1) i grunnvannet i kildeområdet. Med utgangspunkt i dette er det beregnet en årlig utlekking på ca. 2,7 kg sum PFAS med grunnvannet. Det presiseres imidlertid at dette estimatet etter all sannsynlighet er overestimert ettersom PFAS-konsentrasjonen i grunnvannet innenfor nedbørsfeltet i Figur 71 trolig er lavere enn hva som kommer frem av gjennomsnittsnivået basert på målingene i grunnvannsbrønnene, da de fleste av disse er plassert midt i det sentrale kildeområdet, og derav har svært høye PFAS-nivåer.

Av den grunn er spredningen fra BØFB også beregnet vha. målte konsentrasjoner i avrenning/bekkeløp i skråningen nedenfor brannøvingsfeltet. Basert på gjennomsnittlig avrenning på ca. 1,79 m/år basert på data fra xGeo, målte PFAS-konsentrasjoner i mindre bekkeløp i skråningen nedenfor BØFB (prøvepunkt Vann21-Vann23), og nedbørsfelt generert i Scalgo Live (se vedlegg D), er det beregnet en årlig spredningsmengde på ca. 0,61 kg sum PFAS fra BØFB mot Byskogbekken og Omsundet i sør. Det er imidlertid en relativt stor grad av usikkerhet knyttet til nedbørsfeltene generert i Scalgo, samt at prøvepunktene i skråningen kun har blitt prøvetatt et begrenset antall ganger (2-3 prøverunder per punkt, se kap. 4.5.3), og det er noe usikkerhet knyttet til om alle relevante bekkesig er blitt prøvetatt.

Nedenfor er den årlige spredningen fra BØFB til sjøresipienten Omsundet beregnet til **0,31 kg sum PFAS** ved bruk av målte konsentrasjoner av PFAS i Byskogbekken og nedbørsfelt generert i Scalgo Live. Dette representerer i all hovedsak avrenning fra BØFB, samt noe bidrag oppstrøms BØFB (ettersom det er påvist PFAS i prøvepunkt Vann2, oppstrøms). Det er antatt at dette er det mest korrekte estimatet for beregnede spredningsmengder fra BØFB, ettersom det forventes å være bedre kontroll på hva som forventes å være reell vannføring i punktet sammenliknet med punktene i skråningen, samt at det er utført flere runder med PFAS-prøvetaking av Byskogbekken (se nedenfor).

For beregning av mengde sum PFAS samlet ut fra lufthavnen til resipientene Omsundet og Gløsvågen kan det tas utgangspunkt i målte konsentrasjoner av PFAS i vannprøver av hhv. Byskogbekken og innløp til Vågen, samt anslått avrenning:

- › Byskogbekken: målt sum PFAS-konsentrasjon på 160 ng/l i prøvepunkt Vann24 i november 2021. Med utgangspunkt i en årlig avrenning på ca. 1,8 m/år (kap. 6.2) og et

anslått nedbørsfelt på ca. 1 100 000 m<sup>2</sup>, er det estimert et vannvolum som drenerer gjennom nedbørsfeltet på ca. 1 964 600 m<sup>3</sup>/år. Dette gir en forventet uttransport av sum PFAS til Omsundet på ca. 0,31 kg per år.

- › Det presiseres at det er usikkerhet forbundet med estimatet ettersom vannprøven fra prøvepunkt Vann24 kun representerer et øyeblikksbilde, samt at det ikke er gjort målinger av vannføring i Byskogbekken. Til sammenlikning er det imidlertid i prøvepunkt Vann3, noe lenger oppe i Byskogbekken påvist relativt stabile PFAS-nivåer rundt 230 ng/l fra 2015 til 2021 (min-maks: 131-324 ng sum PFAS/l basert på analyseresultater oversendt av Avinor, og prøvetakingen utført av COWI i 2021). Prøvepunkt Vann24 er benyttet til fordel for Vann3 i beregningene, ettersom prøvepunkt Vann24 også fanger opp avrenning fra bekken nedover skråningen ved prøvepunkt Vann23 (se prøvepunktene lokaliserings i Figur 59).
- › Spredningsmengden på ca. 0,31 kg per år er i samme størrelsesorden som tidligere undersøkelser (estimert ca. 200 g PFOS med Byskogbekken i 2016, (Norconsult og Sweco, 2016)).
- › Innløp til Vågen mot Gløsvågen: målt sum PFAS konsentrasjon på 120 ng/l i prøvepunkt Vann8 i november 2021 (målt hhv. 120-180 ng/l i to prøver tatt av lufthavnen i 2020-2021), som er utløpspunktet før siste sedimentasjonsdam (Figur 58). Med utgangspunkt i en årlig avrenning på ca. 1,8 m<sup>3</sup>/år (kap. 6.2) og et anslått nedbørsfelt på ca. 520 000 m<sup>2</sup> (generert i programvaren Scalgo live), er det estimert et vannvolum som drenerer gjennom nedbørsfeltet på ca. 928 720 m<sup>3</sup>/år. Dette gir en forventet uttransport av sum PFAS til Gløsvågen på ca. 0,11 kg per år. Det presiseres at det er usikkerhet forbundet med estimatet ettersom vannprøven fra prøvepunkt Vann8 kun representerer et øyeblikksbilde, samt at det ikke er gjort målinger av vannføring i prøvepunktet. Spredningsmengden er i samme størrelsesorden som beregnet spredning på ca. 140 g PFOS/år i 2016 (Norconsult og Sweco, 2016).

I tillegg til spredning via Byskogbekken og Gløsvågbekken, er det som tidligere nevnt spredning av PFAS via oljeutskilleren på BØFA til kommunalt nett og videre til Omsundet. I 2016 ble det estimert en avrenning gjennom oljeutskilleren på 670 m<sup>3</sup>/år (Norconsult og Sweco, 2016). Med utgangspunkt i dette og målt sum PFAS konsentrasjon på 1600 ng/l i 2021 er det beregnet en spredning på ca. 1 g/år, hvilket er i overensstemmelse med tidligere beregninger (Norconsult og Sweco, 2016), og er ansett som et ubetydelig utslipp sammenliknet med utslipp fra Byskogbekken og Gløsvågbekken.

Totalt kan beregningene tyde på at total utlekking fra Kristiansund lufthavn til Gløsvågen og Omsundet er i størrelsesorden 0,42-0,72 kg sum PFAS per år, med størst bidrag fra Byskogbekken til Omsundet (ca. 0,31-0,61 kg/år).

## 7 Risikovurdering dagens situasjon BØFB

Konsentrasjonene av PFAS i grunnen på BØFB tilsier at det er nødvendig med en utvidet risikovurdering, trinn 2 og 3, hvor risiko for menneskers helse, spredning til resipient og terrestrisk økosystem blir vurdert. Stedsspesifikke undersøkelser av grunnvann, resipientvann og sjømat er benyttet som kontroll på beregnede verdier.

## 7.1 Beregningsverktøy

Miljødirektoratet, med bistand fra Norges Geotekniske Institutt (NGI), har utviklet et nytt beregningsverktøy for å vurdere risiko for menneskers helse på lokaliteter med forurenset grunn (NGI, 2021b).

## 7.2 Eksponeringsveier

Risikoen for menneskers helse er knyttet til bruken av området. Følgende eksponeringsveier vurderes av beregningsverktøyet når det gjelder risiko for human helse knyttet til spredning av forurensning:

- › Oralt inntak av jord eller støv
- › Hudkontakt med jord eller støv
- › Innånding av støv eller gass
- › Inntak av drikkevann
- › Inntak av grønnsaker, frukt, bær og andre spiselige planter
- › Inntak av fisk eller annen næring påvirket av grunnforurensningen

### 7.2.1 Opphold på lokaliteten

BØFB ligger innenfor sikringsgjerdet ved lufthavnen og i et område som blir lite brukt og hvor det ikke er gjennomgangstrafikk. Oppholdstiden på lokaliteten er derfor svært begrenset, og ikke tilgjengelig for allmenn ferdsel. Dvs. at barn ikke har tilgang til området. Ifølge driftsansvarlig for lufthavnen pågår det ikke noe aktivitet ved BØFB i dag, utover ukentlig passering av området i forbindelse med kontroll av gjerdetraseen. I tillegg utføres det årlig to runder med prøvetaking av grunnvannsbrønnene på feltet i henhold til lufthavnens overvåkingsprogram.

### 7.2.2 Drikkevann

Det er ifølge den nasjonale grunnvannsdatenbanken GRANADA ikke registrert husstander med uttak av drikkevann fra kilder nedstrøms BØFB (NGU, 2023). Videre har COWI i 2022 gjort en kartlegging av om det i nærheten av lufthavnen ligger private og/eller kommunale drikkevannskilder som kan være påvirket av PFAS-forurensning som følge av avrenning fra BØFB (og/eller BØFA) (COWI, 2022). Basert på den innhentede informasjonen er alle boliger innenfor området tilkoblet det kommunale vannledningsnett som henter vann fra en overvannskilde i god avstand fra lufthavnen, og det ble dermed ikke ansett som nødvendig å utarbeide prøvetakingsprogram for kontroll av PFAS i drikkevannet.

### 7.2.3 Badeplasser og fritidsfiske

Som beskrevet i kap. 2.5, er det registrert både badeplasser og fiskeplasser i resipienten nedstrøms BØFB (og lufthavnen for øvrig). Ifølge lokalkjente benyttes Omsundet i relativt stor grad til fritidsfiske fra båt, og i mindre grad til bading ettersom det er relativt bratt terreng flere steder ned mot resipienten.

## 7.2.4 Dyrking/konsum av grønnsaker/gress

Det er ikke dyrking av grønnsaker på brannøvingsfeltet, og størsteparten av arealbruken rundt lufthavnområdet består av bebyggelse og samferdsel, samt skogsområde. Det er imidlertid noen innmarksbeiter lokalisert sørøst for BØFB (Figur 72). Innmarksbeitene er ikke kartlagt, men det nærmeste beitet ligger relativt langt mot vest (se Figur 72) og er sannsynligvis utenfor påvirket område.



Figur 72 Arealressurskart fra karttjenesten Naturbase kart, der omtrentlig plassering av BØFB er angitt med rød sirkel. Rød skravur = bebyggd og samferdsel, grønn = skog og gul = innmarksbeiter.

## 7.3 Input verdier

I likhet med spredningsvurderingene (kap. 5.2.2), er det tatt utgangspunkt i resultater for sum PFAS i jordprøvene, selv om det i beregningsverktøyet kun er PFOS av PFAS-forbindelsen som ligger inne i modellens liste over stoffer. Dette er en konservativ tilnærming, da beregningene vil representere en total eksponering for summen av alle PFAS-forbindelser, vurdert opp mot grenseverdien MTDI (maksimalt tolerabelt daglig inntak) på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag som gjelder for summen av fire enkeltforbindelser (PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS).

I stedet for å legge inn enkeltverdier i beregningsverktøyet, er det tatt utgangspunkt i interpolert gjennomsnittskonsentrasjon for sum PFAS basert på beregningene i kapittel 5 for øvre 0-1 m dybde for vurdering av eksponering på lokaliteten. Resultatene for toppjorden (0-1 m) er benyttet til fordel for alle prøvedyp, ettersom aktuelle eksponeringsveier som hudkontakt og oralt jordinntak ikke vil være relevant for dypere liggende masser (Miljødirektoratet, 2022d). For målte konsentrasjoner i jord er det da benyttet en vektet gjennomsnittskonsentrasjon for sum PFAS i toppjorden for hele det undersøkte arealet på 346 µg/kg for 0-1 m dybde (jf. Tabell 30).

Beregninger i modellverktøyet er utført uten å legge inn målte konsentrasjoner i andre medier som grunnvann og fisk. Målte konsentrasjoner er i stedet brukt som en kontroll, for å kunne se om modellen gir beregnede verdier på nivå med det som faktisk er målt. Dersom modellen gir beregnede verdier i overensstemmelse med målte verdier, kan modellen brukes til å beregne forventede effekter av ulike tiltaksomfang. Input verdier er vist i etterfølgende tabeller.

Tabell 32 Input verdier benyttet i Miljødirektoratets beregningsverktøy for risikovurdering av helse.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
<b>Transport og spredningsprosesser</b>			
Jordspesifikke data			
Vanninnhold i jord (l vann/l jord)	0,2	0,2	-
Luftinnhold i jord (l luft/l jord)	0,2	0,2	-
Jordas tetthet (kg/dm <sup>3</sup> )	1,7	1,8	Justert for innhold av grus og stein.
Fraksjon organisk karbon i jord (%)	1	2	Noe myrjord (hovedsakelig sprengstein).
Effektiv porøsitet, $\epsilon$ (%)	40	18	Basert på kornfordelingsanalyser i 2021 for BØFB.
<b>Data brukt til beregning av konsentrasjon i grunnvann</b>			
Jordas hydrauliske konduktivitet (m/s)	0,0001	$6 \cdot 10^{-5}$	Beregnet ved BØFB fra kornfordelingsanalyser i 2021-2022.
Avstand til brønn (m)	0	0	-
Lengden av det forurensende området i grunnvannsstrømmens retning (m)	50	95	Målt lengde fra nord mot sør basert på surfer areal for 0-1 m (20814 m <sup>2</sup> ).
Fraksjon som infiltrerer	0,5	0,8	Sand og grusavsetning.
Gjennomsnittlig årlig nedbørmengde (mm/år)	1500	1243	Gjennomsnitt for de 5 siste år (seklima.met.no).
Infiltrasjonsmengde (meter vann/år)	0,750	0,994	Beregnet ( $P \times FI/1000$ ).
Hydraulisk gradient (m/m)	0,03	0,03	Oppgitt ca. 0,03 i DP2 undersøkelse.
Tykkelsen av akviferen (m)	5	2	Basert på observasjoner i felt.
Tykkelsen av blandingssonen i akviferen (m)	5	2	Basert på observasjoner i felt.
<b>Data brukt til beregning av konsentrasjon i overflatevann</b>			
Vannføring i overflatevann (m <sup>3</sup> /år)	5000000	10000000	Vannutskiftningen er ikke beregnet, men i DP2 undersøkelsen ble det antatt minimum 100 mill m <sup>3</sup> /år i Omsundet (Sweco/COWI, 2012).
Bredden av det forurensede området vinkelrett på retningen av grunnvannsstrømmen (m)	50	219	Basert på surfer areal for 0-1 m.
Beregnet hastighet på grunnvannstrøm (m <sup>3</sup> /år)	23652	24863	Beregnet ( $k \cdot i \cdot dmix \cdot LSW$ ).

For aktuelle eksponeringsveier er det benyttet to ulike tilnærminger:

- › Beregning basert på standardverdier for eksponeringsveier og eksponeringstid for industriareal (hentet fra Tabell 3 i bakgrunnsrapport for beregningsverktøyet, vist i Tabell 33). Denne tilnærmingen gir en beregning av risiko for human helse basert på

standardverdier for opphold innendørs og utendørs som er satt til 240 dager per år og 2 timer per dag for både barn og voksne. Det er i denne tilnærmingen lagt til grunn at det ikke er noe uttak av grunnvann til drikkevann fra lokalitetene, og heller ikke konsum av grønnsaker dyrket på arealet eller inntak av fisk fra nærliggende resipient (satt til 0% i beregningene).

- › Beregning basert på aktuelle eksponeringsveier og eksponeringstid slik lokaliteten oppgis benyttet i dag. Det er i denne tilnærmingen benyttet inngangsverdier som vist i Tabell 33. Inngangsverdier er satt basert på kjennskap til forholdene ved lokaliteten. Det er tatt utgangspunkt i en oppholdstid på ca. 5 min. i uken for ansatte ved lufthavnen i forbindelse med ukentlig gjerdeinspeksjon, samt at det årlig utføres to runder med grunnvannsprøvetaking på brannøvingsfeltet. Det er lagt til grunn at barn ikke har tilgang til lokaliteten.

Tabell 33 Eksponeringsveier og eksponeringstid for ulike arealbruk.

Eksponeringsveier og eksponeringstid for ulike typer arealbruk			
Parameter	Standardverdi industriområde	Aktuell arealbruk	Begrunnelse
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (barn)	240 d/år 2 t/dag	0	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (voksne)	240 d/år 2 t/dag	54 d/år 0,034 t/dag	Ukentlig gjerdeinspeksjon på ca. 5 min. per uke, samt årlig prøvetaking av grunnvann på ca. 8 t per år.
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (barn)	240 d/år 2 t/dag	0	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (voksne)	240 d/år 2 t/dag	54 d/år 0,034 t/dag	Ukentlig gjerdeinspeksjon på ca. 5 min. per uke, samt årlig prøvetaking av grunnvann på ca. 8 t per år.
Oppholdstid utendørs (barn)	240 d/år 2 t/dag	0	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten
Oppholdstid utendørs (voksne)	240 d/år 2 t/dag	54 d/år 0,034 t/dag	Ukentlig gjerdeinspeksjon på ca. 5 min. per uke, samt årlig prøvetaking av grunnvann på ca. 8 t per år.
Oppholdstid innendørs (barn)	240 d/år 2 t/dag	0	Ingen bygning på brannøvingsfeltet
Oppholdstid innendørs (voksne)	240 d/år 8 t/dag	0	
Fraksjon av grunnvann fra lokaliteten brukt som drikkevann	0 %	0 %	Ingen drikkevannsbrønner i området.
Fraksjon av inntak av grønnsaker dyrket på lokaliteten	0 %	0 %	Ingen dyrkning på brannøvingsfeltet
Fraksjon av inntak av fisk fra nærliggende resipient	0 %	50 %	Omsundet er et viktig rekreasjonsområde og benyttes til fiske.

## 7.4 Resultater basert på standardverdier

Basert på standardverdier for arealbruken industri er det i modellen beregnet en total eksponering ( $E_{he}$ ) på 0,57 ng/kg kroppsvekt/dag for barn og 0,041 ng/kg kroppsvekt/dag for voksne. Dette er basert på vektet gjennomsnittskonsentrasjon av sum PFAS i jord på 346 µg/kg (for 0-1 m dybde med ΣPFAS >3 µg/kg), og gir en akseptabel helseserisiko for både barn

og voksne ved opphold på BØFB før tiltak, ettersom MTDI på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag ikke er overskredet. Legger man inn maksimumkonsentrasjonen registrert fra 0-1 m til grunn (18000 µg/kg i prøvepunkt SJ09 i det sentrale kildeområdet) er det beregnet en total eksponering på 30 ng/kg kroppsvekt/dag for barn og 2,1 ng/kg kroppsvekt/dag for voksne. Dette gir en overskridelse av MTDI (0,63 ng/kg kroppsvekt/dag) for både barn og voksne.

Det presiseres her at beregningene representerer risiko ved eksponering i henhold til gitte standardverdier for opphold på industriareal, som er satt til 240 dager per år og 2 timer per dag (innendørs og utendørs) for både barn og voksne. Beregnet eksponering er dermed ikke knyttet til faktisk opphold på lokaliteten slik den benyttes i dag. Som tidligere nevnt er det ikke hus på området, og barn har ikke tilgang. For både barn og voksne er det oralt jordinntak som i all hovedsak bidrar til den beregnede totaleksponeringen.

## 7.5 Resultater basert på aktuell arealbruk

Basert på målte konsentrasjoner i jord (vektet gjennomsnittskonsentrasjon av ΣPFAS i jord på 346 µg/kg for 0-1 m dybde med ΣPFAS >3 µg/kg) og input parametere for dagens situasjon uten tiltak (se Tabell 33), er det vha. modellverktøyet beregnet at opp mot 100 % av eksponeringen for både voksne og barn skyldes inntak av fisk. Videre beregner modellen en konsentrasjon i fiskemuskel på 5,5 µg PFOS/kg. Dette er imidlertid ca. 45 ganger høyere enn gjennomsnittlig påvist PFOS-konsentrasjon på 0,121 µg PFOS/kg (min-maks: <0,1-0,21 µg/kg) i torskemuskel fra Omsundet (se Tabell 28). Beregnet eksponering basert på inntak av fisk er dermed ikke sammenliknet med MTDI for vurdering av helserisiko ettersom de beregnede konsentrasjonene i fisk er betydelig høyere enn det som faktisk påvises i fiskefilet.

Dersom man legger inn gjennomsnittsverdien for målt sum PFAS i torskemuskel fra Omsundet i verktøyet (0,711 µg/kg – medianverdien for sum PFAS er imidlertid lavere og beregnet til 0,131 µg/kg) beregnes det en total eksponering på hhv. 1,66 og 0,71 ng/kg kroppsvekt/dag for barn og voksne. Dvs. overskridelser av MTDI på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag. Legger man inn målt gjennomsnittsverdi for PFOS i torskemuskel fra Omsundet (0,121 µg/kg), beregner verktøyet en total eksponering på hhv. 0,28 og 0,12 ng/kg kroppsvekt/dag for barn og voksne. Dette er under MTDI på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag, hvilket tilsier akseptabel helserisiko.

I tillegg til eksponering som følge av inntak av fisk, beregner modellen eksponering basert på opphold på lokaliteten (oralt jordinntak, hudkontakt og inhalering av støv) til å være 0,00016 ng/kg kroppsvekt/dag for voksne (ikke aktuelt for barn, ettersom det ikke er opphold av barn på lokaliteten). Det vil si at det er ansett som akseptabel helserisiko knyttet til opphold på lokaliteten basert på dagens arealbruk, om en sammenlikner med MTDI på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag.

## 7.6 Vurdering av risiko basert på dagens arealbruk

Under dagens situasjon er det ikke opphold av barn på lokaliteten, og helserisikoen knyttet til opphold for voksne basert på dagens arealbruk er som beskrevet i kap. 7.5 vurdert som akseptabel.

Videre er det ikke inntak av fisk fra primærresipienten Byskogbekken, og modellverktøyet er lite egnet for å beregne konsentrasjoner og eksponering som følge av inntak av fisk fra sekundærresipienten Omsundet. Helseisiko knyttet til badeplasser og fritidsfiske i Omsundet er av den grunn omtalt videre i det etterfølgende.

### 7.6.1 Badeplasser og fritidsfiske

Det er som tidligere nevnt registrert flere viktige friluftsområder av typen strandsone med tilhørende sjø og vassdrag med mulighet for bading i Omsundet. Det er imidlertid funnet relativt lave konsentrasjoner av sum PFAS i sjøvann fra Omsundet like ved utløpet til Byskogbekken (1,1 ng/l i prøvepunkt Vann12, samt ikke påvist i sjøvannprøver lenger ute i Omsundet, se kap. 4.5.4).

Det er foreløpig ingen etablerte grenseverdier for PFAS i badevann i norsk regelverk, men det kan være relevant å se til grenseverdier for drikkevann. Ifølge EUs drikkevannsdirektiv er det satt en grenseverdi på 100 ng/l for summen av 20 PFAS-forbindelser. Dette er betydelig høyere enn påvist PFAS-konsentrasjon i sjøresipienten.

Videre gjorde FHI i 2021 en vurdering av risiko ved å bade og dusje i vann som inneholder PFAS (FHI, 2021). I denne vurderingen ble det beregnet makskonsentrasjoner for summen av 4 PFAS (PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS) som kan være i vannet uten at opptak gjennom hud fra karbad eller dusj utgjør mer enn 1 % av EFSA sin tålegrense. Beregnede makskonsentrasjoner for nyfødte var hhv. 422 og 472 ng/l for karbad og dusj. For voksne ble det beregnet makskonsentrasjoner av PFAS i vann på hhv. 1231 og 1745 ng/l for kvinner og menn.

Med utgangspunkt i dette anses det ikke å være risiko for human helse som følge av eksponering for PFAS ved bading i Omsundet (eller i Gløsvågen, hvor det er påvist fra 2,3 til 5,4 ng sum PFAS/l i sjøvannprøver, se kap. 4.5.4).

Som beskrevet i kapittel 1.3.3 har FHI på etterspørsel fra Mattilsynet og Miljødirektoratet beregnet makskonsentrasjoner for summen av PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS ( $\sum_4$ PFAS) i fisk uten at TWI (tolerabelt ukentlig inntak) overskrides. For voksne kvinner og menn er det beregnet makskonsentrasjoner på hhv. 0,23 og 0,27  $\mu\text{g}/\text{kg}$  fisk dersom personen spiser en gjennomsnittlig mengde fisk per uke basert på data fra norske kostholdsundersøkelser (FHI, 2020b). Makskonsentrasjoner er ikke beregnet for barn ettersom TWI ifølge beregningene er overskredet allerede når konsum av fisk eller drikkevann er utelatt fra kostholdet (FHI, 2020b).

I tabellen nedenfor er det oppgitt estimater for summen av de overnevnte PFAS-forbindelsene i fisk basert på prøvetakingen i 2021. Det er oppgitt et lavt estimat hvor alle analyseverdier under kvantifikasjonsgrensene (LOQ) er satt lik 0, og et høyt estimat hvor de samme verdiene er satt lik halve kvantifiseringsgrensen.



Tabell 34 Beregnede verdier av sum PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS ( $\sum$ PFAS<sub>4</sub> i muskelprøver av torsk fra tre stasjoner ved Kristiansund, fanget i 2021. Resultatene er gitt som gjennomsnittsverdier med standard avvik ( $\bar{x} \pm SD$ ). Lavt estimat: verdier under kvantifikasjonsgrensen (LOQ) satt lik 0. Høyt estimat: verdier under kvantifikasjonsgrensen satt lik halve kvantifikasjonsgrensen.

Sum av PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS, $\sum$ PFAS <sub>4</sub> , µg/kg	Gløsvågen (n = 7)		Omsundet (n= 10)		Sandvika (n= 6)	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Høyt estimat (<LOQ satt lik halve LOQ)	0,45	0,055	0,48	0,054	0,50	0,060
Lavt estimat (<LOQ satt lik 0)	0,066	0,084	0,12	0,074	0,15	0,060

Basert på gjennomsnittsverdiene i tabellen over er det ikke påvist overskridelser av maksimal konsentrasjon i fisk på hhv. 1,5 og 0,90 µg/kg for hhv. menn og kvinner, forutsatt et ukentlig inntak på 100 g (se kap. 1.3.3). Dersom en ser på høyt estimat for  $\sum$ PFAS<sub>4</sub> i tabellen over, er det imidlertid påvist overskridelser av maksimal konsentrasjon i fisk på 0,27 og 0,23 µg/kg for et gjennomsnittskonsum for hhv. menn og kvinner basert på data fra norske kostholdsundersøkelser (hhv. 553 og 392 g fisk for menn for kvinner, (FHI, 2020b)). For lavt estimat for  $\sum$ PFAS<sub>4</sub> (<LOQ satt lik 0) er det ikke påvist overskridelser av maksimal konsentrasjon i fisk.

Mattilsynet har gått ut med en generell advarsel mot å spise fisk fra ferskvann og vassdrag nær alle flyplasser (Mattilsynet, 2020). Det foreligger foreløpig ikke tilsvarende vurdering for sjøresipient. Med utgangspunkt i målte gjennomsnittsnivåer av PFAS i fiskemuskel vurderes risikoen for human helse som følge av inntak av fisk fra Omsundet som lav dersom en ikke spiser mer enn 100 g fisk i uken, men det kan basert på høyt estimat for  $\sum$ PFAS<sub>4</sub> (<LOQ satt lik halve LOQ) være noe risiko knyttet til større inntak av fisk fra resipienten. Det påpekes imidlertid at påviste verdier i fiskemuskel fra Omsundet (og Gløsvågen) var på nivå med referansestasjonen Sandvika som er et antatt upåvirket område (se kapittel 4.6).

## 7.6.2 Økologisk risiko

Det er påvist spredning av PFAS via bekkevann til sjøresipient. Nivåene av PFOS og andre PFAS-forbindelser var imidlertid generelt lave i prøver av både fisk og skjell, og det ble ikke påvist overskridelser av vannforskriftens EQS-verdi for PFOS i biota (i hverken lever- eller muskelprøver) på 9,1 µg/kg, og nivåene var langt under  $Q_{sec,pois}$  på 33 µg/kg PFOS, som er grenseverdi for beskyttelse av predatorer mot sekundær forgiftning.

Til tross for lave PFAS-nivåer ble det som beskrevet i kap. 4.5 påvist overskridelser av AA-EQS for PFOS ett av tre prøvepunkter fra Omsundet (Vann12, 0,21 ng PFOS/l). Resterende sjøvannprøver fra Omsundet hadde ikke kvantifiserbare PFAS-nivåer. Videre ble det påvist PFOS-nivåer tilsvarende moderat tilstand i sjøsediment ved to av de fire stasjonene i Omsundet (én av disse stasjonene var lokalisert like ved utløpet til Byskogbekken). Med utgangspunkt i målte nivåer i biota antas det imidlertid at eksponeringen utgjør en liten økologisk risiko.

Det er ikke tatt prøver av terrestrisk flora/fauna i tilknytning til Kristiansund lufthavn. Norconsult og Sweco gjorde imidlertid en risikovurdering av terrestrisk miljø basert på undersøkelser fra

andre lufthavner i 2016 (Norconsult og Sweco, 2016). Med forbehold om usikkerhet tilknyttet avgrensningen av forurensningen, ble det konkludert med at det var grunn til å anta at området der forurensningen ligger på BØFB er forholdsvis begrenset, og at konsentrasjonene av PFAS avtar når en kommer utenfor dette området. Av den grunn ble det beskrevet at det er et begrenset antall terrestriske arter og relativt få individer tilstede som kan påvirke tilgrensende økosystem. Det er derimot registrert en del sårbare og sterkt truede fuglearter i området som lever i tilknytning til våtmarksområdet ved Gløsvågen, noe som øker konsekvensen av en eventuell påvirkning. Med bakgrunn i gjeldene internasjonale kunnskaper om toksiske effekter av PFAS på ulike organismer ble det vurdert at effekten av spredning av PFAS via biota fra forurenset område ved både aktivt (BØFA) og nedlagt brannøvingsfelt (BØFB) er av relativt beskjeden karakter, noe som tilsier at risikoen for skade på tilgrensende terrestriske økosystem ble vurdert som lav (Norconsult og Sweco, 2016).

Det kan imidlertid forventes opptak av PFAS i vegetasjon i skråningen nedstrøms brannøvingsfeltet (hvor det under prøvetakingen av COWI i 2021 ble registrert brunstgroper trolig fra hjort), som følge av spredning av PFAS via diffus spredning av grunnvann som munner ut i mindre bekker, med videre potensiale for opptak og akkumulering i den terrestriske næringskjeden. Nedstrøms skråningen er det som tidligere nevnt også et boligområde som kan være utsatt for spredning av PFAS fra brannøvingsfeltet. Som tidligere nevnt pågår det arbeid med prøvetaking av private eiendommer i området for å avgrense forurensningen og vurdere eventuell risiko og behov for tiltak.

## 7.7 Risiko dagens situasjon BØFB skråning

I tillegg til risikovurderingen for helse knyttet til opphold på kildeområdet brannøvingsfeltet (BØFB flaten), som omtalt ovenfor, er det i dette delkapitlet gjort en overordnet risikovurdering for helse knyttet til opphold i skråningen nedenfor BØFB, basert på foreliggende analyseresultater. Dette er utført ettersom det stedvis er påvist høye PFAS-konsentrasjoner i jord og bekker i området (kap. 4). Det presiseres imidlertid at forurensningen i skråningen ikke er tilstrekkelig avgrenset p.t., og det er dermed planlagt at risikovurderingen skal oppdateres etter supplerende prøvetaking i den vestlige delen av skråningen, og i boligfeltet like nedenfor. Resultatene fra supplerende prøvetaking med tilhørende risikovurdering og tiltaksvurdering vil ettersendes Miljødirektoratet som et tilleggsnotat til denne tiltaksplanen.

### 7.7.1 Input verdier

I likhet med risikovurdering for BØFB flaten, er det for skråningen nedenfor tatt utgangspunkt i resultater for sum PFAS i stedet for PFOS i jordprøvene, som en konservativ tilnærming. Det er tatt utgangspunkt i interpolert gjennomsnittskonsentrasjon for sum PFAS på 429 µg/kg innenfor hele det undersøkte arealet på ca. 21 600 m<sup>2</sup> i skråningen (se Tabell 30).

I Tabell 35-Tabell 36 er input verdiene til risikovurderingen av skråningen gitt.

Tabell 35 Input verdier benyttet i Miljødirektoratets beregningsverktøy for risikovurdering av helse for skråningen nedenfor BØFB.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
<b>Transport og spredningsprosesser</b>			
Jordspesifikke data			
Vanninnhold i jord (l vann/l jord)	0,2	0,2	-
Luftinnhold i jord (l luft/l jord)	0,2	0,2	-
Jordas tetthet (kg/dm <sup>3</sup> )	1,7	1,7	-
Fraksjon organisk karbon i jord (%)	1	3	Lyng/myrjord.
Effektiv porøsitet, $\epsilon$ (%)	40	40	-
<b>Data brukt til beregning av konsentrasjon i grunnvann</b>			
Jordas hydrauliske konduktivitet (m/s)	0,0001	0,0001	-
Avstand til brønn (m)	0	0	-
Lengden av det forurensende området i grunnvannsstrømmens retning (m)	50	80	Omtrentlig avstand nord-sør i skråningen.
Fraksjon som infiltrerer	0,5	0,5	-
Gjennomsnittlig årlig nedbørmengde (mm/år)	1500	1243	Gjennomsnitt for de 5 siste år (seklima.met.no).
Infiltrasjonsmengde (meter vann/år)	0,750	0,622	Beregnet ( $P \times FI/1000$ ).
Hydraulisk gradient (m/m)	0,03	0,13	Antatt basert på høydeforskjell og avstand nord-sør
Tykkelsen av akviferen (m)	5	0,5	Antatt blandingszone i fjell
Tykkelsen av blandingssonen i akviferen (m)	5	0,5	Antatt blandingszone i fjell
<b>Data brukt til beregning av konsentrasjon i overflatevann</b>			
Vannføring i overflatevann (m <sup>3</sup> /år)	5000000	1 964 600	Anslått i Byskogbekken, basert på nedbørsfelt ved Vann24 generert i Surfer.
Bredden av det forurensede området vinkelrett på retningen av grunnvannsstrømmen (m)	50	200	Omtrentlig lengde øst-vest > 30 $\mu\text{g}$ sum PFAS/kg.
Beregnet hastighet på grunnvannstrøm (m <sup>3</sup> /år)	23652	39420	Beregnet ( $k \cdot i \cdot \text{dmix} \cdot \text{LSW}$ ).

Ifølge ansatte ved Kristiansund lufthavn er ikke skråningen nedenfor BØFB et kjent område for rekreasjon/turmuligheter, og det er ikke merket tursti gjennom området. Videre er deler av området som tidligere nevnt utilgjengelig for allmenn ferdsel, ettersom terrenget er bratt og kupert. Det kan imidlertid ikke utelukkes at området benyttes i noen grad, eksempelvis av turgåere eller barn som leker i området. For aktuelle eksponeringsveier er det tatt utgangspunkt i antatt arealbruk med oppholdstid på ca. 3 dager i uken á 1 time per dag for både voksne og barn. Det er for denne tilnærmingen benyttet inngangsverdier som vist i Tabell 36.

Tabell 36 Eksponeringsveier og eksponeringstid benyttet som inngangsverdier for risikovurdering av skråningen nedenfor BØFB.

Parameter	Aktuell arealbruk	Begrunnelse
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (barn)	156 d/år 1 t/d	Antar opphold 3 dager i uken, 1 time per dag.
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (voksne)	156 d/år 1 t/d	Antar opphold 3 dager i uken, 1 time per dag.
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (barn)	156 d/år 1 t/d	Antar opphold 3 dager i uken, 1 time per dag.
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (voksne)	156 d/år 1 t/d	Antar opphold 3 dager i uken, 1 time per dag.
Oppholdstid utendørs (barn)	156 d/år 1 t/d	Antar opphold 3 dager i uken, 1 time per dag.
Oppholdstid utendørs (voksne)	156 d/år 1 t/d	Antar opphold 3 dager i uken, 1 time per dag.
Oppholdstid innendørs (barn)	0	Ikke boliger innenfor undersøkt område.
Oppholdstid innendørs (voksne)	0	Ikke boliger innenfor undersøkt område.
Fraksjon av grunnvann fra lokaliteten brukt som drikkevann	0	Ikke aktuelt for vurdering av risiko knyttet til opphold i skråningen.
Fraksjon av inntak av grønnsaker dyrket på lokaliteten	0	Ikke aktuelt for vurdering av risiko knyttet til opphold i skråningen.
Fraksjon av inntak av fisk fra nærliggende resipient	0	Ikke aktuelt for vurdering av risiko knyttet til opphold i skråningen.

## 7.7.2 Vurdering av resultater

Basert på vektet gjennomsnittskonsentrasjon av sum PFAS i jord på 429 µg/kg, og input parameterne i Tabell 35-Tabell 36, er det vha. modellverktøyet beregnet at opp mot 100 % av eksponeringen for både voksne og barn skyldes oralt jordinntak. Videre er det beregnet en total eksponering på hhv. 0,23 og 0,016 ng/kg kroppsvekt/dag for barn og voksne. Det vil si at det er ansett som akseptabel helseisiko knyttet til opphold i skråningen, om en sammenlikner med MTDI på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag.

Med utgangspunkt i forutsetningene som nevnt i foregående delkapittel, er det med risikovurderingsverktøyet beregnet et akseptkriterium i jord på 1180 µg sum PFAS/kg for lokaliteten. Deler av skråningen i området nærmest BØFB har konsentrasjoner som overskrider dette (Figur 42). Som nevnt skal det tas supplerende prøver av jord i den sørvestre delen av skråningen, samt i boligfeltet nedenfor for ytterligere å kunne vurdere eventuell risiko og tiltak for dette området.

Videre presiseres det at det er beregnet relativt lave mengder sum PFAS i skråningen (ca. 1,7 kg, kap. 5) sammenliknet med kildeområdet BØFB flaten (ca. 17 kg). Det anbefales derfor å prioritere tiltak på BØFB flaten, som omtalt i videre kapitler, hvilket vil redusere tilførselen av PFAS-forurensning med bekkevann til skråningen betydelig.

## 8 Aktuelle tiltaksmetoder

Kartlagt område ved det nedlagte brannøvingsfeltet BØFB består av selve brannøvingsfeltet på «BØFB flaten», samt «BØFB skråning» nedenfor brannøvingsfeltet. Disse delområdene er separert på grunn av den fysiske utformingen av området. «BØFB flaten» består av et relativt flatt og delvis masseutskiftet område med grunnvannsstand ca. 1 m under terreng, mens «BØFB skråning» er et skogkledd og kupert naturområde nedstrøms flaten, med relativt bratt helning (ca. 30 m høydeforskjell) ned mot et boligområde ca. 100 m sør for brannøvingsfeltet. Fra BØFB flaten har grunnvann og overflatevann avrenning mot sør via Byskogbekken til Omsundet. Det er også noen mindre bekkeløp nedover skråningen som leder avrenning fra BØFB sørover mot Omsundet.

Grunnet betydelige mengder PFAS i jord og grunnvann på BØFB flaten, samt utlekking og spredning til skråningen og boligområdet sør for brannøvingsfeltet, er det gjort tiltaksvurdering med gjennomgang av aktuelle tiltaksmetoder for opprydning av PFAS-forurenset grunn på flaten ved det nedlagte brannøvingsfeltet. Det vil også kunne være aktuelt med tiltak i skråningen/boligområdet nedenfor brannøvingsfeltet. Behovet for tiltak i dette området vil avklares etter gjennomført supplerende prøvetaking i boligområdet, hvilket er under arbeid. Med utgangspunkt i supplerende undersøkelser vil det utarbeides et tilleggsnotat til tiltaksplanen, med tiltaksvurdering for skråningen, som planlegges oversendt til Miljødirektoratet innen juli 2023.

### 8.1 Egnethetsvurdering av tiltaksmetoder

Følgende tiltaksmetoder er vurdert nærmere som tiltak for flaten ved BØFB på Kristiansund lufthavn:

- › Oppgraving med ekstern deponering
- › Vasking av gravemasser
- › Tildekking av forurenset område
- › Rensing av grunnvann («pump and treat»)
- › Stabilisering i kildeområdet («trap and treat»)
- › Aktive barrierer i grunnvannet
- › Vannrenseanlegg

I tabellen nedenfor er det gitt en sammenstilling av de ulike tiltaksmetodene, der egnethet for ulike tiltak er vurdert.

Tabell 37 Vurdering av stedsspesifikk egnethet for aktuelle tiltaksmetoder ved det nedlagte brannøvingsfeltet (BØFB) på Kristiansund lufthavn.

Beskrivelse	Fordeler og ulemper	Stedsspesifikk egnethet
Oppgraving med ekstern deponering		
Fjerning av forurensede masser med ekstern deponering på godkjent deponi. Kan omfatte masser i umettet og mettete sone.	<p>Permanent tiltak der potensiale for spredning opphører/reduseres betydelig.</p> <p>Lokaliteten består av en relativt stor andel grove masser som kan siktes for gjenbruk, hvilket reduserer mengden som må transporteres til deponi.</p> <p>Finnes kun et fåtall deponier med tillatelse til mottak av PFAS-forurensede masser, og flere av disse ligger i lang avstand til lokaliteten.</p> <p>Oppgraving i mettete sone krever rensing av anleggsvann/grunnvann.</p>	<p>Relativt avgrenset forurensning og grunt til fjell (hovedsak 1-3 m) i kildeområdet, og lett tilgjengelig for oppgraving.</p> <p>Relativt stor andel grove masser (sprengsteinsfylling) som kan siktes ut og gjenbrukes ved tilbakefylling =&gt; reduserer volum finfraksjon til godkjent mottak.</p> <p>Grunnvann på ca. 1 m medfører graving også i mettete sone. Egnete metode, men anleggsvann/grunnvann må håndteres forsvarlig for å hindre spredning.</p>
Oppgraving med jordvasking		
Vasking av forurensede gravemasser i mobilt vaskeanlegg, med tilbakelegging av vaskede masser til gravegrop. Filterkake (finpartikulær rest) må leveres til godkjent deponi.	<p>Behandling på stedet.</p> <p>Permanent tiltak der potensiale for spredning opphører/reduseres betydelig.</p> <p>Kan være krevende å oppnå lave konsentrasjoner da bl.a. organisk innhold påvirker rensegraden.</p> <p>Gir restkonsentrasjon av PFAS i massene ved tilbakelegging.</p> <p>Få mottak som tar imot forurenset finfraksjon. Kan være utfordrende å behandle vaskevann.</p>	<p>Deler av tiltaksområdet består av myrjord, og metoden er lite egnete for denne massetypen. Metoden kan være egnete for oppgraving, utsorterte gravemasser med relativt lavt organisk innhold.</p> <p>Grunnvann på ca. 1 m medfører graving også i mettete sone. Egnete metode, men anleggsvann/grunnvann/vaskevann må håndteres forsvarlig for å hindre spredning.</p>
Tildekking av forurenset område		
Tildekking av forurensede masser for å hindre/ redusere infiltrasjon og spredning med grunnvann.	Relativt enkelt gjennomførbart tiltak for å hindre infiltrasjon og videre spredning med grunnvann.	Forurensingen ligger til dels under grunnvannsnivå.

Beskrivelse	Fordeler og ulemper	Stedsspesifikk egnethet
	<p>Fjerner ikke PFAS.</p> <p>Kan kreve oppfølging i lang tid etter tiltaksgjennomføring.</p> <p>Der forurensning er påvist i masser under grunnvannsnivå, vil spredning fortsette etter tiltak er gjennomført og inntil forurensningen er vasket ut av mettet sone. Restriksjoner på etterbruk.</p>	<p>Betydelig risiko for fortsatt utlekking etter tiltak. Gir begrensninger på etterbruk av området. Krever betydelig overvåking etter tiltak. Ikke ansett som relevant tiltak.</p>
<b>Rensing av grunnvann («pump and treat»)</b>		
<p>Pumping av grunnvann med påfølgende vannresing ved bruk av f.eks. aktivt kullfilter, etterfulgt av reinfiltrasjon.</p>	<p>Reduserer spredning av PFAS med grunnvann betydelig.</p> <p>Vil kunne ta lang tid å fjerne betydelige mengder PFAS. Avhenger av stedsspesifikke forhold og konsentrasjoner.</p> <p>Er ofte et kostbart tiltak, med lang gjennomføringsperiode.</p> <p>Krever betydelig overvåking gjennom tiltaksperioden.</p>	<p>Usikkerhet knyttet til topografiske forhold og grunnvannsstrømning. Massene på lokaliteten er bare delvis egnet for etablering av grunnvannsbrønner for pumping av vann til renseanlegg. Aktuelt for rensing av vann fra byggegrop.</p>
<b>Stabilisering («trap and treat»)</b>		
<p>Injeksjon av partikulært karbon i mettet sone for å redusere spredning med grunnvann.</p>	<p>Forutsetter homogen fordeling av partikulært karbon i masser i mettet sone.</p> <p>Mindre effektivt for kortkjedete PFAS-er.</p> <p>Må ved behov tilføre mer sorbentmateriale.</p>	<p>Lite egnet for grove masser, slik store deler av BØFB består av (sprengsteinsfylling).</p>
<b>Aktive barrierer i grunnvannet</b>		
<p>Etablering av barrierer i grunnvannssone/grøft for å redusere spredning med grunnvann. Eks.: adsorpsjon, utfelling eller fysisk/kjemisk nedbrytning av forurensning.</p>	<p>Langtidseffekt ikke dokumentert.</p> <p>Kan kreve oppfølging i lang tid etter tiltaksgjennomføring samt ev. behov for å skifte ut eller forsterke barriere.</p>	<p>Kan plasseres barriere på sørøstsiden av flaten (oversiden av skråningen nedstrøms BØFB) for å redusere avrenning, men vil ikke fjerne forurensningen permanent, og effekten av tiltaket er usikker. Ikke egnet som primærtiltak.</p>

Beskrivelse	Fordeler og ulemper	Stedsspesifikk egnethet
	Potensielt restriksjoner på etterbruk.	
Vannrensing via grøfting		
Det gjøres fysiske tilpasninger på lokaliteten (f.eks. grøfting) for å lede forurenset vann til renseanlegg. Det finnes flere metoder for vannrensing, e.g. GAC (granulert aktivert karbon), ionebytter, andre sorbenter, utfelling og sedimentering, revers osmose, kjemisk oksidasjon/reduksjon m.m.	<p>Det finnes flere filtermaterialer med dokumentert effekt for rensing av PFAS-forurenset vann. Ulike filtermaterialer har ulik egnethet for rensing av kortkjededede PFAS-forbindelser.</p> <p>Variierende effekt avhengig av PFAS-sammensetning i vannet. Partikler, organisk materiale, mineraler og konsentrasjonsnivåer vil påvirke renseeffekt, men kan ofte løses ved forrensettrinn.</p> <p>Tiltaket har lang gjennomføringsperiode. Krever betydelig overvåking gjennom tiltaksperioden.</p>	<p>Usikkerhet knyttet til topografiske forhold som gjør etablering av grøfter for å samle vannet svært utfordrende.</p> <p>Eventuelt aktuelt som tiltak i anleggsfasen, i sammenheng med oppgraving.</p>

Av de aktuelle tiltaksmetodene er følgende tiltaksmetoder ansett å være best egnet for tiltaksområdet på flaten ved BØFB: i) oppgraving med ekstern deponering, og/eller ii) oppgraving med jordvasking.

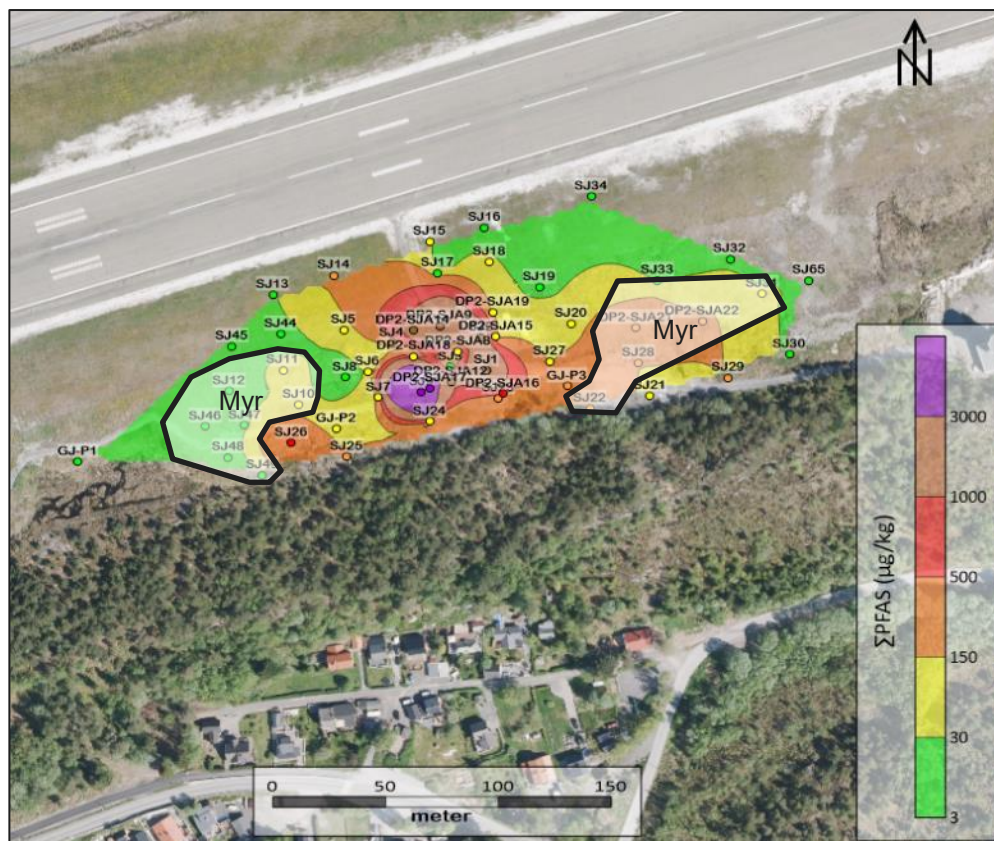
## 8.2 Oppgraving med ekstern deponering

Et tiltak med oppgraving og ekstern deponering innebærer oppgraving av forurenset masse med konsentrasjon av sum PFAS over en gitt konsentrasjonsgrense. Tiltaksmetoden innebærer at en betydelig andel av kjent forurensning fjernes fra lokaliteten og fraktes til et deponi med kontrollert avrenning og rensing av sigevann. I forbindelse med tiltaket vil det være behov for håndtering av anleggsvann/grunnvann for å redusere spredning fra kildeområdet.

For å minimere mengden masse til deponi, og samtidig stimulere til økt gjenbruk av masse, kan de oppgravde massene siktes gjennom et mobilt sikteverk. Finfraksjonen kan deretter mellomlagres på ikke-utgravde arealer med masse som har lik eller høyere grad av forurensning inne på tiltaksområdet, alternativt på tett dekke med oppsamling av avrenning i påvente av transport til deponi. Utsorterte, grovere masse uten synlig forurensning gjenbrukes på lokaliteten ved tilbakefylling til gravegrop. Dette er ansett som hensiktsmessig ettersom massene innenfor det mest forurensete området på BØFB består av en relativt stor andel grovere masse (sprengsteinsfylling) som kan siktes ut og gjenbrukes.



For sprengsteinsfyllingen er det anslått at omkring 60 % av massene er >20 mm og kan gjenbrukes ved tilbakefylling. Oppgravde myrjordmasser med PFAS-konsentrasjoner over tiltaksgrensen bør sorteres for seg og leveres direkte til deponi uten sikting. Med utgangspunkt i feltobservasjoner (Figur 32), er antatt utstrekning av myrjordmasser vist i Figur 73.



Figur 73 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) i overflatejord (0-1 m) på BØFB flaten, basert på analyseresultater fra 2011-2022. Med utgangspunkt i feltobservasjoner (Figur 32), er antatt utstrekning av myrjordmasser vist.

Utgraving av PFAS-forurensede masser krever levering til godkjent deponi. Det er et fåtall slike deponier i Norge, og en forutsetning for tiltaksgjennomføring med graving og deponering er at det finnes deponier med tilgjengelig kapasitet i tiltaksperioden. Masser kan transporteres med bil på landevei eller sjøveien med større bulkbåter.

### 8.3 Oppgraving med jordvasking

Et tiltak med vasking av gravemassene innebærer oppgraving av masser med konsentrasjon av sum PFAS over en gitt konsentrasjonsgrense, hvorav massene deretter vaskes i mobilt vaskeanlegg etter utsortering av grovfraksjon (>20 mm). I forbindelse med vaskeprosessen dannes en finpartikulær rest (filterkake <0,06 mm) som må leveres til godkjent deponi. Det er antatt at filterkaken utgjør i størrelsesorden 10 % av volumet masser som vaskes. Med unntak av myrjordmassene, er denne metoden vurdert egnet for massene på BØFB etter sortering med sikteverk.

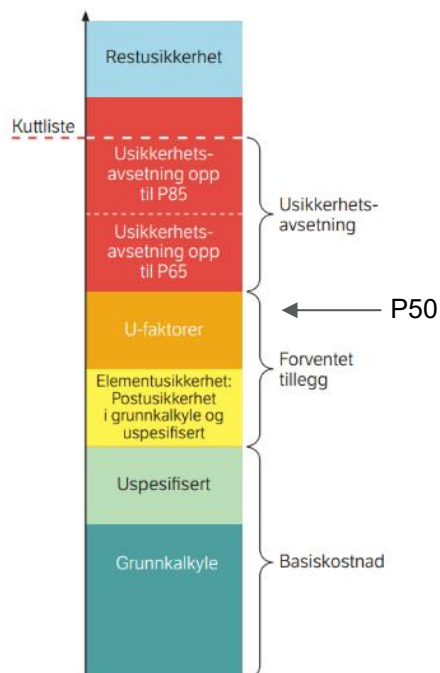
Vasking av masser vil gi en restkonsentrasjon av PFAS i massene som tilbakeføres på lokaliteten, og effekten av tiltaket i form av mengde PFAS fjernet vil derfor være noe lavere sammenliknet med tiltak med deponering av alle masser. Det forutsettes at masser som tilbakelegges etter vasking har en restkonsentrasjon på  $<30 \mu\text{g}$  sum PFAS/kg. Videre er det større usikkerhet knyttet til denne tiltaksmetoden sammenliknet med tiltak med oppgraving og ekstern deponering. Labtester av masser fra Stavanger lufthavn (sandige masser med lavt organisk innhold) har vist relativt god effekt med fjerning av 99 % av PFAS (DEME, 2022). Tester fra Kristiansand lufthavn har imidlertid vist noe lavere effekt (DEME, Lab-scale Soil Washing Feasibility Trials PFAS Contaminated Soils Kristiansand. Date 15/01/2023, 2023). Dersom jordvasking etter kostnadsberegning vurderes som relevant for Kristiansund lufthavn, må konkret egnethet for massene på lokaliteten testes før gjennomføring.

## 9 Kostnadsberegninger

### 9.1 Metode og forutsetninger

Hensikten med å beregne kostnader for tiltak er å kunne vurdere kost/effekt ved opprydding på lokaliteten, samt å få en oversikt over totale kostnader for tiltak. Beregnede kostnader for tiltak ved BØFB flaten er vist i Tabell 38.

For kostnadsberegningene er verktøyet og prinsippene for kostnadsoverslag etter Anslagsmetoden til Statens vegvesen benyttet (Statens vegvesen, 2021). Det er ikke gjennomført en anslagssamling. Kostnadsoverslag etter Anslagsmetoden er oppbygd som vist i Figur 74, hvorav foreliggende tiltaksplan beregner basiskostnader, som Avinor benytter videre i sine beregninger. Kostnadsberegningene er ikke utført på detaljnivå. Systematikk og beskrivelse av metode er hentet fra Norconsult sine tiltaksplaner for Stavanger (Norconsult, 2023), Rørvik (Norconsult, 2021b) og Bergen lufthavn (Norconsult, 2021c).



Figur 74 Skisse over kostnadsoverslag basert på anslagsmetoden (Statens vegvesen, 2021).

Kostnadsoverslaget er bygget opp etter en kalkylestruktur med følgende hovedposter:

- › Masseutskiftning eller vasking av masser
- › Tekniske installasjoner
- › Byggherrekostnader
- › Uspesifisert

Uspesifiserte kostnader er inkludert i beregningene, da dette omfatter kostnader som er forventet, men som ikke er tilstrekkelig kartlagt eller utredet på grunn av manglende detaljeringsgrad. Denne kostnaden er angitt som et prosentanslag på 20 %. Merverdiavgift er ikke inkludert i basiskalkylen.

Basiskalkylen legges til grunn for usikkerhetsanalyse som gjennomføres i regi av Avinor. Usikkerhetsanalysen ender opp med usikkerhetselementer som legges til basiskalkylen, og som da gir en forventet total kostnad (P50) og kostnadsramme (P85) for foreslått tiltaksalternativ.

Følgende overordnede forutsetninger er lagt til grunn for kostnadsberegningene:

- › Prisnivå 2022/2023
- › Plannivå: skisseprosjekt
- › Kalkylemessig plassering og behandling av:
  - › Entreprenørens rigg og drift - egen post
  - › Byggeledelse og byggherrens rigg - egen post
  - › Prosjekterings- og undersøkelseskostnader - egen post
- › Byggherre: Avinor
- › Finansieringsform: Bevilgning
- › Utlysning/konkurransform: Utførelsesentreprise
- › Antatt anleggsstart: Uavklart, men antatt ila. 2024
- › Forventet anleggsperiode: Uavklart, men antatt ca. 3-4 måneder

Hvordan den faktiske anleggsgjennomføringen vil foregå bestemmes i detaljeringsfasen, og vil dermed være gjenstand for endringer. Det er lagt til grunn følgende anleggsgjennomføring i kostnadsoverslaget for graving med ekstern deponering eller vasking:

- › Masser med konsentrasjonsnivå over akseptgrensen for tiltaksområdet graves ut etappevis og mellomlagres ved behov på avsatt område ved BØFB. Myrjordmasser sorteres for seg og mellomlagres i påvente av transport til godkjent mottak.
  - › Det er basert på feltobservasjoner og interpolerte konsentrasjonsnivåer av sum PFAS lagt til grunn at om lag 30 % av massene med sum PFAS >30 µg/kg består av myrjord. Videre er det forutsatt at myrjord utgjør ca. 20 % av massene med sum PFAS >150 µg/kg, og ca. 5 % av massene med sum PFAS >500 µg/kg.
- › I kostnadsberegningene er det lagt til grunn at forurensede masser mellomlagres på tett dekke med oppsamling av vann til renseanlegg (kontainerbasert). Som et alternativ til

- dette kan forurensede masser lagres innenfor tiltaksområdet på arealer som har lik eller høyere grad av forurensning, eller lastes direkte opp på bil for bortkjøring.
- › Et mobilt sikteverk benyttes for å sikte ut grovere masser som gjenbrukes ved tilbakefylling til gravegrop. I kostnadsberegningene er det lagt til grunn at totalt ca. 60 % av sprengsteinmassene består av grove masser (>20 mm) som kan sorteres og gjenbrukes på lokaliteten.
  - › Avhengig av tiltaksmetode lastes forurensede masser (<20 mm) opp på biler for transport til havn og opplasting til båt for videre transport sjøvegen med levering til mottak, eller vaskes i mobilt vaskeanlegg på BØFB. Forurenset filterkake (rest av finstoff fra vaskeprosessen, ca. 10 %) transporteres til havn og videre til godkjent mottak via båt. Vaskede masser med konsentrasjoner <30 µg sum PFAS/kg gjenbrukes ved tilbakefylling til gravegrop. Det presiseres at selv om det i kostnadsberegningene er lagt til grunn transport av masser til deponi via båt, kan senere prosjektering vise at transport med bil er mer hensiktsmessig.
  - › Det tilstrebes kortest mulig oppgravingstid, særlig i områder med graving under grunnvannsstand.
  - › For kostnadsestimatet er det estimert kostnader for at vann fra gravegrop renses med et mobilt (containerbasert) renselanlegg før utslipp til Omsundet via Byskøbekken.
  - › Gravegropen fylles igjen med mellomlagrede masser (masser med PFAS-konsentrasjoner under akseptgrensen for tiltaksområdet, samt utsorterte grove masser >20 mm), og rene masser (pukk) fra et lokalt grustak. Deretter planeres og komprimeres området.
  - › Det er forutsatt god koordinering av oppgraving, opplasting og transport som fører til at graveentreprenør og transportør vil kunne jobbe relativt jevnt og uten mye ventetid.
  - › Det forutsettes at rene masser for tilbakefylling er tilgjengelig lokalt og/eller at slike masser kan mellomlagres på/nær lokaliteten frem til anvendelse.
  - › Tiltaksområdet ligger fra ca. 45 til 130 m fra senter rullebane. Sikkerhetsavstanden ved lufthavnen er 80 m ut fra senterlinjen. Det betyr at det ved gjennomføring av anleggsarbeid på tiltaksområdet må tas hensyn til drift på lufthavnen og flysikkerhet. I kostnadsberegningene er det ikke tatt høyde for forsinkelser i arbeidet eller eventuelt behov for nattarbeid.

Det er utført kostnadsberegninger for opprydding til forskjellige akseptkriterier.

Akseptkriteriene som er vurdert er konsentrasjoner av sum PFAS i jord >30 µg/kg, >150 µg/kg og >500 µg/kg.

De tre akseptkriteriene er valgt blant annet på bakgrunn av resultater fra kostnadsberegninger og kost/effekt vurderinger i forbindelse med pålegg om samlet vurdering av PFAS ved Avinors lufthavner i 2019 (Norconsult, 2019a). Det ble i 2019 utført kostnadsberegninger og kost/effekt vurderinger for oppryddingstiltak ved 32 PFAS-forurensede lokaliteter. Basert på kost/effekt ble det satt akseptkriterier (stedsspesifikke tiltaksgrenser) for PFOS/ΣPFAS for hver lokalitet. For de fleste lokalitetene ble 150 µg/kg den konsentrasjonsgrensen hvor mengden PFOS/ΣPFAS fjernet ble betydelig redusert, og/eller kostnaden for opprydding til konsentrasjoner >3 µg/kg ved de fleste lufthavner medførte betydelig høyere kostnader per kg ΣPFAS fjernet, og høye totalkostnader for tiltak.

Basert på opplysninger fra ulike aktører, og erfaringstall fra Avinor er det satt priser som antas å være realistiske og som kan brukes i en overordnet vurdering av kostnader.

Eksempler på forhold som bør detaljutredes før tiltak er følgende (listen er ikke uttømmende):

- › Omfang av installasjoner i grunnen eller annen infrastruktur i anleggsområdet.
- › Omfang av midlertidige anleggsveier, mellomagringsområder, eller omlegging av interne veier.
- › Omfang av miljøteknisk bistand, og omfang av geoteknisk bistand i forbindelse med stabilitetsvurderinger av masser og utgraving nær rullebane, etablering av mellomlager, internveier etc.

## 9.2 Kostnader

Beregnete basiskostnader for tiltaksalternativene i) oppgraving med ekstern deponering, og ii) vasking av gravemasser er vist i Tabell 38. I tabellen vises også andel av total mengde PFAS fjernet (%), tiltakseffekt i form av g PFAS fjernet per kubikk jord, samt kostnad per kg PFAS fjernet for ulike konsentrasjonsgrenser (30, 150 og 500 µg/kg). Ved vasking av masser legges vaskede masser med konsentrasjoner <30 µg sum PFAS/kg tilbake i tiltaksområdet, og mengden PFAS som fjernes blir dermed noe lavere (estimert ca. 0,10-0,37 kg sum PFAS) sammenliknet med oppgraving med ekstern deponering.

Tabell 38 Beregnede basiskostnader for oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser med konsentrasjonsgrense 30, 150 og 500 µg sum PFAS/kg. For alle foreslåtte tiltaksgrenser viser tabellen også forskjellen i kostnader og effekt for graving 0-2 m dybde og 0-3 m dybde.

Oppgraving med ekstern deponering						
Tiltaksgrense ΣPFAS(µg/kg)	Dybde (m)	Basiskostnader MNOK eks. MVA	Totalt volum masser (m <sup>3</sup> )	Mengde PFAS (kg)	Tiltakseffekt (g PFAS/m <sup>3</sup> )	Kost/effekt (MNOK eks. MVA/kg PFAS)
>30	0-2	48	21682	15	0,69	3,19
	0-3	59	27432	16	0,59	3,61
>150	0-2	30	12263	14	1,14	2,15
	0-3	34	14887	15	0,99	2,30
>500	0-2	17	5390	7,9	1,46	2,13
	0-3	17	5869	8,1	1,39	2,14
Oppgraving med jordvasking						
Tiltaksgrense ΣPFAS(µg/kg)	Dybde (m)	Basiskostnader MNOK eks. MVA	Totalt volum masser (m <sup>3</sup> )	Mengde PFAS (kg)	Tiltakseffekt (g PFAS/m <sup>3</sup> )	Kost/effekt (MNOK eks. MVA/kg PFAS)
>30	0-2	47	21682	15	0,68	3,17
	0-3	55	27432	16	0,58	3,48
>150	0-2	32	12263	14	1,13	2,33
	0-3	34	14887	14	0,97	2,38
>500	0-2	21	5390	7,8	1,44	2,73
	0-3	22	5869	8,0	1,37	2,69

For tiltaket oppgraving med ekstern deponering fører forskjellen i volum masser som må fjernes ved de ulike konsentrasjonsgrensene til forskjeller i basiskostnadene. Det er beregnet

kostnader for to ulike dybdenivåer, 0-2 m og 0-3 m dyp. Beregningene viser at basiskostnadene ved de gitte konsentrasjonsgrensene varierer fra totalt ca. 17 til 59 MNOK. Kost/effekt ligger mellom 2,1 og 3,6 MNOK per kg fjernet PFAS.

Kostnadene for oppgraving med jordvasking avhenger av tiltaksgrense og volumet som skal behandles. Basiskostnaden for denne tiltaksmetoden er beregnet til å ligge mellom 21 og 55 MNOK med gitte konsentrasjonsgrenser. Kost/effekt ligger mellom 2,3 og 3,5 MNOK per kg fjernet PFAS. Kostnadene for oppgraving med jordvasking er generelt i samme størrelsesorden som oppgraving og deponering. Tiltakseffekten i form av g PFAS fjernet per m<sup>3</sup> gravemasser er tilsvarende for graving med jordvasking som med ekstern deponering.

Det presiseres at resultatene er basert på prøvetatte jordprøver, og at det er noe usikkerhet tilknyttet spredningen i dypet der det ikke har lyktes å grave ned til fjell i det sentrale området.

## 10 Foreslått tiltaksmetode og miljømål

### 10.1 Foreslått tiltak og akseptkriterier

Med utgangspunkt i beregnede PFAS-mengder vil en kunne fjerne ca. 90 % av forurensningen, dvs. 15 av 17 kg ved en tiltaksgrense på 150 µg/kg (se Tabell 39). Omtrent samme effekt (16 kg, ca. 94 %, Tabell 39) oppnås ved en tiltaksgrense på 30 µg/kg. Det er dermed begrenset forskjell på mengde PFAS som fjernes med tiltaksgrense 30 vs. 150 µg/kg, men volumet masser som må fjernes er betydelig større med tiltaksgrense 30 sammenliknet med 150 µg/kg (hhv. ca. 27000 og 15000 m<sup>3</sup> ved utgraving ned til 3 m dybde, se Tabell 39). Tilsvarende er totalkostnadene for begge tiltaksalternativer (oppgraving med ekstern deponering og oppgraving med jordvasking) ved tiltaksgrense 30 µg/kg betydelig høyere enn ved 150 µg/kg. En høyere tiltaksgrense på 500 µg/kg ville medført at en betydelig lavere andel PFAS fjernes fra lokaliteten (i underkant av 50 %, 8,1 kg, se Tabell 39).

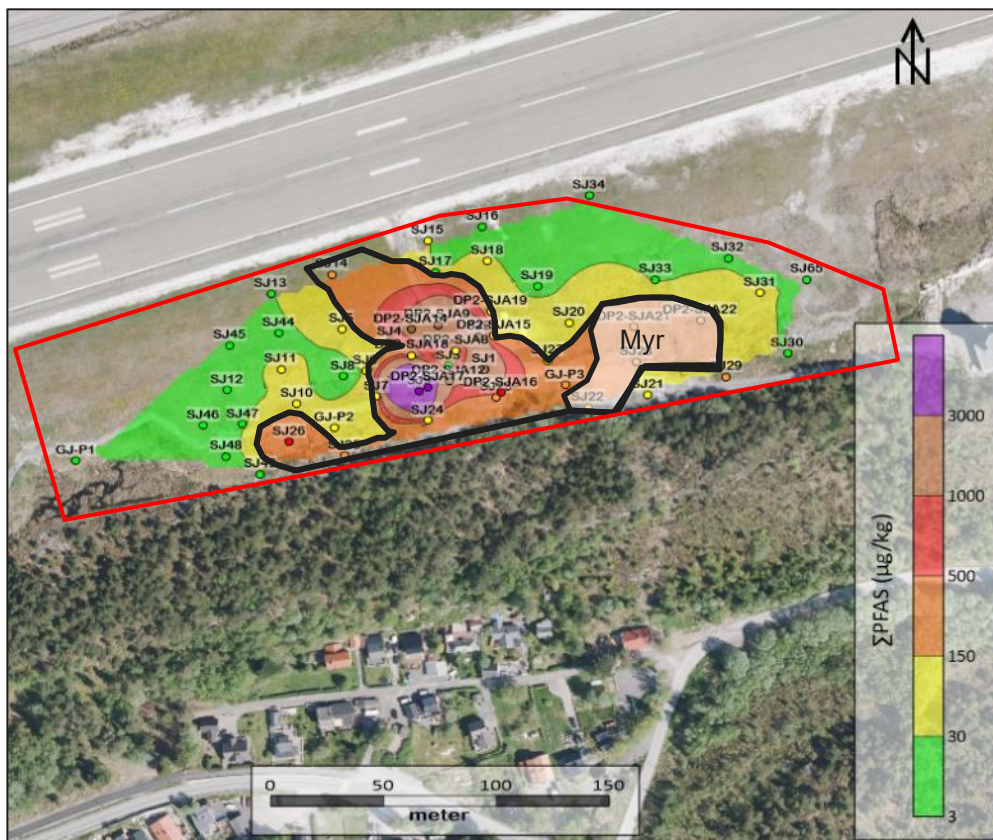
Videre er mesteparten av forurensningen innenfor hver av tiltaksgrensene konsentrert til de øverste 2 meterne (>90 %). For 0-2 m er det også beregnet størst mengde PFAS fjernet per gravevolum (Tabell 39). Forskjellen i kost/effekt er imidlertid ikke utslagsgivende for 0-2 vs. 0-3 m dybde (Tabell 38).

Tabell 39 Oppsummering av beregnede mengder sum PFAS (kg) og volum masser (m<sup>3</sup>) på BØFB flaten, samt estimert prosentandel PFAS fjernet ved ulike tiltaksgrenser >3, >30, >150 og 500 µg/kg.

Dybde (m)	Sum PFAS (kg)	Andel sum PFAS fjernet av total (17 kg)		Volum masser (m <sup>3</sup> )	
<b>&gt;3 µg/kg</b>					
0-1	7,8	17	46 %	100 %	20814
1-2	8,0		47 %		12372
2-3	1,3		8 %		6209
<b>&gt;30 µg/kg</b>					
0-1	7,4	16	44 %	94 %	13307
1-2	7,6		45 %		8375
2-3	1,3		8 %		5750
<b>&gt;150 µg/kg, foreslått tiltaksgrense</b>					
0-1	6,6	15	39 %	88 %	7288
1-2	7,4		44 %		4975
2-3	0,67		4 %		2624
<b>&gt;500 µg/kg</b>					
0-1	3,5	8,1	21 %	48 %	2611
1-2	4,3		25 %		2779
2-3	0,26		2 %		479

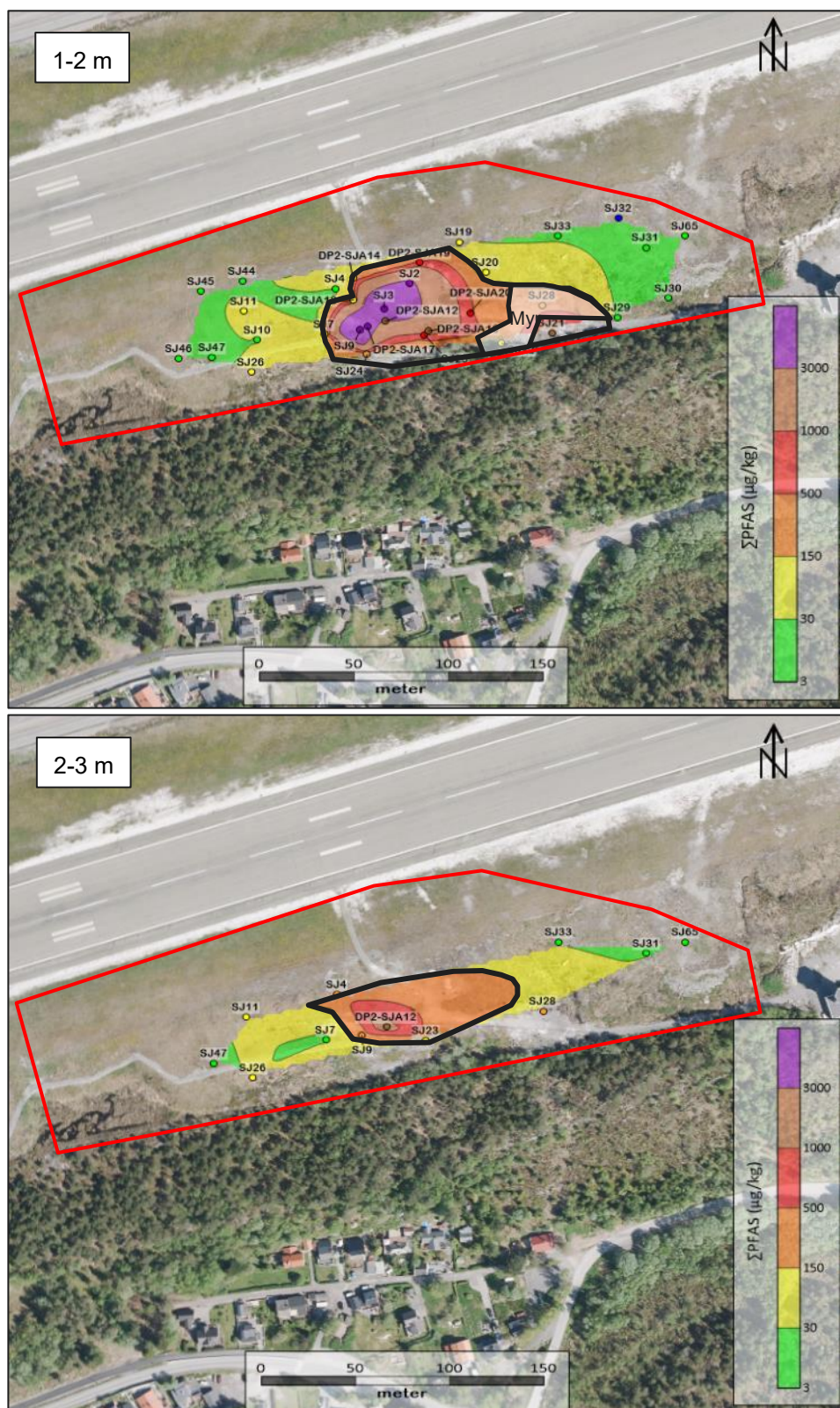
Med utgangspunkt i basiskostnader og forventet effekt av tiltak, er det ansett som hensiktsmessig med en **tiltaksgrense på 150 µg/kg** for BØFB, hvilket gir et graveområde med utstrekning som vist i Figur 75 for 0-1 m dybde. Selve tiltaksområdet er imidlertid gjort noe større enn graveområdet for å sikre areal til mellomlager/sikteverk og vannrensing (se rødt omriss i Figur 75). For å sikre best mulig effekt av tiltaket, foreslås det for denne tiltaksgrensen å grave ned til ca. 3 m dybde der det er mulig (noen steder påtreffes fjell på 1-2 m dyp). Dette vil gi en reduksjon på opp mot 90 % PFAS, og en gjenværende mengde PFAS på ca. 2 kg i grunnen etter tiltak (Tabell 39). Dette er ansett som hensiktsmessig ettersom volumet gravemasser >150 µg sum PFAS/kg for 2-3 m dybde ikke utgjør mer enn ca. 2600 m<sup>3</sup>, sammenliknet med ca. 12000 m<sup>3</sup> for 0-2 m dybde, samt at kostnadene knyttet til utgraving til 3 m dybde er i samme størrelsesorden som til 2 m dybde (uavhengig av tiltaksmetode, se Tabell 38). Omtrentlig utstrekning av graveområdet for hhv. 1-2 m og 2-3 m dybder er vist i Figur 76.

Det presiseres at den foreslåtte tiltaksgrensen gjelder for sum PFAS (dvs. sum 30 PFAS iht. analysemetoden som er benyttet for jordprøvene, se kap. 4.2). Dette er ansett som et konservativt utgangspunkt, til fordel for å vurdere enkelte PFAS-forbindelser hver for seg. Tilsvarende er det som nevnt tatt utgangspunkt i sum PFAS for sprednings- og risikovurderingene i kap. 6-7.



Figur 75 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) i overflatejord (0-1 m) på BØFB flaten, basert på analyseresultater fra 2011-2022. Foreslått graveområde med tiltaksgrense  $>150 \mu\text{g}/\text{kg}$  er vist med sort linje, og antatt utstrekning av myrjordmasser innenfor foreslått tiltaksgrense er vist. Omtrentlig plassering av tiltaksområdet er vist med rødt omriss.

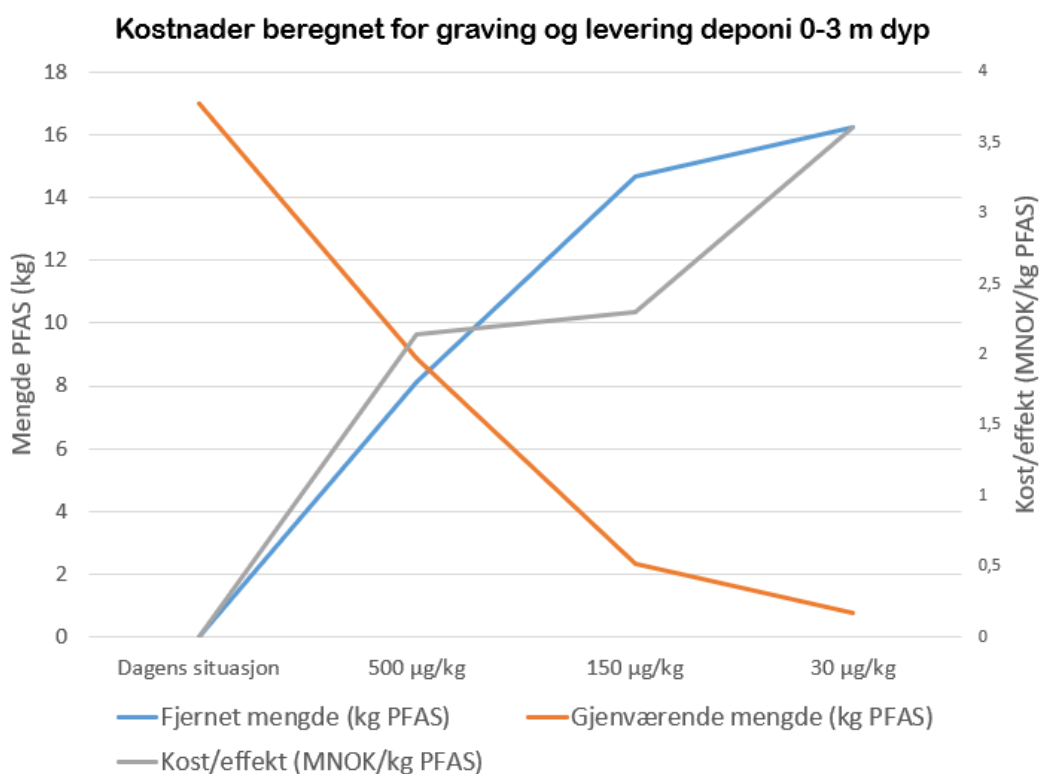




Figur 76 Interpolert konsentrasjonsfordeling av  $\Sigma$ PFAS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) for 1-2 m (øverst) og 2-3 m (nederst) dybde på BØFB flaten, basert på analyseresultater fra 2011-2022. Foreslått graveområde med tiltaksgrense  $>150 \mu\text{g}/\text{kg}$  er vist med sort linje, og antatt utstrekning av myrjordmasser innenfor foreslått tiltaksgrense er vist. Omtrentlig plassering av tiltaksområdet er vist med rødt omriss.

Kostnadene ved anbefalt tiltaksomfang er som nevnt tilsvarende for begge kostnadsberegnete metoder - graving og ekstern deponering av masser, og graving med jordvasking (Tabell 38). Usikkerheten knyttet til effekten av tiltaket er imidlertid større for jordvasking som tiltaksmetode, sammenliknet med graving og deponering. Dette skyldes at det ikke er gjennomført labtester av masser fra Kristiansund, i tillegg til at labtester utført for andre lufthavner har vist best resultat for sandige sorterte masser. Dette, i tillegg til at det er relativt få leverandører i markedet som kan tilby mobilt vaskeanlegg for PFAS-masser, gjør at **oppgraving med ekstern deponering** foreslås som tiltaksalternativ for BØFB. Det er også en usikkerhet knyttet til i hvilken grad aktuelle leverandører vil være villige til å garantere for en effekt i form av restkonsentrasjonen av PFAS i massene etter vasking.

I figuren nedenfor er det gitt en sammenstilling av kostnader beregnet for det foreslåtte tiltaket med graving og levering til deponi for 0-3 m gravedybde. Det foreslåtte tiltaket innebærer fjerning av en betydelig mengde PFAS fra lokaliteten (beregnet 15 av 17 kg), og tiltaket er ansett som svært viktig for å hindre/reducere spredning til skråningen og boligfeltet nedstrøms BØFB. I tillegg forventes det at den reduserte spredningen vil bidra til en forbedret tilstand i resipienten Omsundet. Dette vil igjen gi redusert risiko som følge av oppkonsentrering av PFAS i den akvatiske næringskjeden.



Figur 77 Sammenstilling av mengde sum PFAS fjernet, gjenværende mengde, samt kost/effekt for fjerning av sum PFAS ved ulike tiltaksgrenser med oppgraving og levering til deponi.

Det foreslåtte tiltaket vil ikke komme i berøring med registrerte viktige naturverdier eller kulturminner. Utførte vurderinger av risiko for human helse tilsier at det ikke vil være risiko for

human helse ved opphold på lokaliteten etter gjennomføring av tiltak, dersom det legges til grunn at lokaliteten benyttes som den gjør i dag, eller ved annen fremtidig bruk som industriareal.

## 10.2 Spesifikke miljømål

Det vises til innledende kapittel i tiltaksplanen hvor de overordnede miljømålene er beskrevet. Nedenfor følger en redegjørelse for om dagens situasjon er i konflikt med de overordnede miljømålene:

- › BØFB utgjør hovedkildeområdet til PFAS-forurensning på Kristiansund lufthavn, med beregnet mengde sum PFAS i grunnen på ca. 17 kg.
- › PFAS-forurensningen som er kartlagt på BØFB og Kristiansund lufthavn er ifølge Miljødirektoratets risikoberegningsverktøy ikke til skade for menneskers helse ved opphold på lokaliteten slik den benyttes i dag eller ved fremtidig bruk til industriformål.
- › Beboere i området har offentlig innlagt vann, og dermed er ikke PFAS forurensningen i grunnvann en risiko med hensyn til inntak av drikkevann. I skråningen nedenfor BØFB er det med utgangspunkt i kartlagt forurensning estimert relativt lave mengder PFAS på 1,7 kg. Med utgangspunkt i interpolert gjennomsnittskonsentrasjon og antatt bruk av naturområdet i skråningen nedenfor BØFB (begrenset bruk som rekreasjonsområde grunnet terrengets utforming, og antatt at bekkene ikke benyttes til drikkevann), er det beregnet akseptabel risiko i forhold til opphold for både barn og voksne i området. I den øverste delen av skråningen, like nedstrøms BØFB, er det imidlertid påvist noen PFAS-konsentrasjoner over beregnet akseptkriterium på 1180 µg sum PFAS/kg for området. I tillegg er det i flere bekkesig i skråningen påvist betydelige PFAS-konsentrasjoner (1900-24000 ng/l) på grunn av grunnvann fra BØFB som munner ut i mindre bekker i skråningen. Ettersom det kan være risiko for opptak og akkumulering i den terrestriske næringskjeden, samt at det er et boligområde like nedenfor skråningen, er det behov for tiltak på BØFB for å redusere spredning til skråningen og boligområdet. Det presiseres at det skal utføres supplerende prøvetaking i skråningen og boligområdet nedstrøms. Resultater av dette arbeidet med tilhørende risiko- og tiltaksvurderinger vil oversendes Miljødirektoratet innen sommeren 2023.
- › Det er beregnet utslipp via grunnvann til mindre bekkeløp i skråningen nedenfor BØFB og videre til Omsundet på ca. 0,31-0,61 kg PFAS/år. Totalt kan beregningene tyde på at total utlekking fra Kristiansund lufthavn til Omsundet og Gløsvågen er i størrelsesorden 0,42-0,72 kg sum PFAS/år, med størst bidrag fra BØFB via Byskogbekken til Omsundet.
- › Med utgangspunkt i påviste konsentrasjoner av  $\sum_4$ PFAS i filet av torsk fra Omsundet (n=10), Gløsvågen (n=7) og referansestasjonen Sandvika (n=6), er det ikke påvist overskridelser av maks-konsentrasjoner i fisk på hhv. 0,27 og 0,23 µg/kg for et gjennomsnittskonsum for hhv. menn og kvinner (FHI, 2020b).
- › Det er ikke ansett å være risiko forbundet med bading i det undersøkte området rundt lufthavnen.
- › Det er ikke påvist overskridelser av vannforskriftens EQS-verdi for PFOS i biota (i hverken lever- eller muskelprøver) på 9,1 µg/kg, og nivåene var langt under  $Q_{sec,pois}$  på 33 µg/kg PFOS, som er grenseverdi for beskyttelse av predatorer mot sekundær forgiftning. Det antas derved ikke å være økologisk risiko for toppredatorer.
- › I Omsundet ble det kun påvist PFAS i sjøvannprøven som ble prøvetatt like ved utløpet til Byskogbekken (1,1 ng sum PFAS/kg). I dette prøvepunktet ble det påvist 0,21 ng PFOS/l,

dvs. noe overskridelse av AA-EQS på 0,13 ng/l. Videre ble det ikke påvist PFAS ved referansestasjonen Sandvika. Det er imidlertid påvist noe høyere konsentrasjoner av PFAS i sjøvannprøvene fra Gløsvågen (n=3, 2,3-5,4 ng sum PFAS/l) med overskridelser av AA-EQS for PFOS i kystvann på 0,13 ng/l (0,73-3,2 ng/l). Datagrunnlaget fra Gløsvågen er ikke ansett som tilstrekkelig for å vurdere den overordnede tilstanden til vannforekomsten Talgsjøen som helhet. Det antas at konsentrasjonene spres og fortynnes hurtig i vannmassene utenfor Gløsvågen. Ved referansepunktet i Sandvika, som også er en del av Talgsjøen, ble det som nevnt ikke påvist PFAS over analysemetodens kvantifikasjonsgrense. Konsentrasjonsnivåene av PFAS i sedimentprøvene (n=6) viste i likhet med vannprøvene forholdsvis lave konsentrasjoner av PFAS (0,075-2,1 ng sum PFAS/l). Det ble imidlertid påvist overskridelser av AA-EQS for PFOS i to av fire sedimentprøver fra Omsundet (0,31-0,39 ng PFOS/l). Antallet prøvepunkter er imidlertid ikke ansett som tilstrekkelig for å vurdere miljøtilstanden for hele vannforekomsten. I Gløsvågen (n=2) ble det ikke påvist overskridelser av AA-EQS.

- › Oppsummert tyder resultatene på at det er en lokal, men svak påvirkning av PFAS-forurensning i sjøresipientene. For å oppnå god miljøtilstand i resipientene vil det være behov for å redusere utslippene fra det PFAS-forurensede området. Et beregnet utslipp av PFAS på ca. 0,5 kg per år via Byskogbekken (se over), sammen med et betydelig kildeområde ved BØFB tilsier at det bør gjøres tiltak selv om det ikke er påvist store konsekvenser for resipienten.
- › Med utgangspunkt i de overordnede miljømålene og kartlagt forurensning, foreslås følgende stedsspesifikke miljømål for lufthavnen:
  - › Mengden PFAS i jord på BØFB flaten skal reduseres med minst 80 %. Som beskrevet i kap. 10.1, er det beregnet omkring 88 % reduksjon av PFAS ved graving til 3 m dybde innenfor arealer med interpolerte gjennomsnittskonsentrasjoner over foreslått tiltaksgrense på 150 µg sum PFAS/kg.
  - › Utslipp av PFAS fra BØFB skal reduseres slik at det ikke er risiko for terrestriske økosystemer i skråningen nedenfor brannøvingsfeltet. Det forventes at spredningen via bekkene i skråningen til Byskogbekken (som er beregnet til 0,31-0,61 kg/år) nær opphører etter gravetiltak ved BØFB.

### 10.3 Gjennomføring av tiltak

Anleggsgjennomføringen må som nevnt i kap. 9.2 bestemmes i detaljeringsfasen og vil dermed være gjenstand for endringer.

Det foreslåtte tiltaket med oppgraving med tiltaksgrense 150 µg sum PFAS/kg, innebærer oppgraving av om lag 15000 m<sup>3</sup> masser. Tiltaket planlegges gjennomført med graving ned til fjell for arealer innenfor tiltaksgrensen på 150 µg sum PFAS/kg (se Figur 75-Figur 76 for omtrentlig utstrekning av graveområder ned til 3 m dybde). Gravedybden antas generelt å være maks 3 m, men kan være noe dypere i det sentrale kildeområdet hvor det er påvist PFAS >150 µg/kg ned til prøvetatt 3 m dybde (Figur 76).

Foreslått tiltaksomfang ligger delvis under grunnvannsnivå, og det forventes å være behov for håndtering av anleggsvann/grunnvann under tiltaket. Dette beskrives nærmere i kap. 10.3.1.

Masser med konsentrasjonsnivå over akseptgrensen for tiltaksområdet graves ut etappevis og mellomlagres ved behov på avsatt område ved BØFB i påvente av sikting gjennom mobil

sikteverk på stedet. Myrjordmasser siktes ikke, men sorteres for seg og mellomlagres i påvente av transport til godkjent mottak, eller lastes direkte på bil for uttransport. Det forutsettes at forurensede masser mellomlagres på tett dekke med oppsamling av vann til renseanlegg (kontainerbasert), ev. mellomlagres innenfor områder med masser med lik eller høyere grad av PFAS-forurensning. Det tilstrebes kortest mulig oppgravingstid, særlig i områder med graving under grunnvannsstand.

Et mobilt sikteverk benyttes for å sikte ut grovere masser (>20 mm) som gjenbrukes ved tilbakefylling til gravegrop. Finstoff <20 mm transporteres videre til godkjent mottak via båt eller lastebil.

Gravegropen fylles igjen med mellomlagrede masser (utsorterte grove masser >20 mm uten synlig forurensning), og rene masser (pukk) fra et lokalt pukkverk. Deretter skal området som minimum planeres og komprimeres. I detaljprosjekteringen bør det vurderes om det er spesielle tiltak som trengs for å ferdigstille området, også mht. vegetering etter tiltak.

Tiltaksperioden har en forventet varighet på 3-4 måneder. Det er forutsatt god koordinering av oppgraving, opplasting og transport som fører til at graveentreprenør og transportør vil kunne jobbe relativt jevnt og uten mye ventetid. Det forventes at tiltaket kan gjennomføres innen regulær arbeidstid, uten stopp i arbeidene som skyldes hensynet til lufthavndriften, men det legges opp til at egen risikoanalyse for lufthavndrift gjennomføres som en del av detaljprosjekteringen. Det kan eksempelvis være behov for nattarbeid for deler av arbeidene nærmest rullebanen. Noe av tiltaksområdet ligger innenfor sikkerhetsavstand og må klareres med tårn og flytrafikk. Dette må planlegges godt for å unngå forsinkelser.

For beskrivelse av gjennomføring av tiltak vises det også til overordnede forutsetninger som er lagt til grunn for kostnadsberegningene i kap. 9.1. Disse vil måtte gjennomgås og detaljeres nærmere i en videre prosjektering av tiltaket.

### 10.3.1 Risiko for spredning og avbøtende tiltak

Gjennomføringen av gravetiltaket vil medføre risiko for spredning av PFAS-forurensning under anleggsarbeidene. Dette kan være knyttet til massehåndtering (e.g. spredning under transport, støvflukt, feildisponering) eller utilstrekkelig vannhåndtering (e.g. ukontrollert avrenning fra graveområde og mellomlager). Som en del av detaljprosjekteringen vil det utarbeides risikovurdering for ytre miljø, plan for avbøtende tiltak og program for overvåking under og eventuelt etter tiltaksfasen. I samarbeid med valgt entreprenør vil det også bli utarbeidet beredskapsplan i tilfelle uønskede og uforutsette hendelser.

Avbøtende tiltak for å begrense risiko for spredning i anleggsfasen kan være:

- › Mellomlagring av masser på areal med masser med samme eller høyere grad av forurensning, ev. på tett dekke med oppsamling av avrenning til midlertidig renseanlegg.
- › Krav om biler med tette lasteplan.
- › Etablering av midlertidig renseanlegg for vann fra gravegrop og mellomlager.

### 10.3.2 Håndtering av anleggsvann

Det vil oppstå vann i gravegropen som følge av innsig av grunnvann og overflatevann, samt direkte tilførsel ved nedbør. Grunnvannet er målt til ca. 1 m under terreng. Eksakte vannvolum som må håndteres er usikre, men det forventes i hovedsak behov for håndtering av grunnvann. Med utgangspunkt i et graveareal på ca. 7300 m<sup>2</sup> (tiltaksgrense 150 µg/kg), en antatt gjennomsnittlig mektighet av grunnvann på 1,5 m og en porøsitet på 25 %, er det beregnet at det totalt er ca. 2700 m<sup>3</sup> grunnvann innenfor graveområdet. Dette vannvolumet er trolig for høyt, da det er et område med kort avstand til fjell. Forventede mengder anleggsvann som må håndteres under utgraving vil vurderes nærmere i den videre detaljeringsfasen.

Grunnvannet har basert på tidligere prøvetaking høyt innhold av PFAS, spesielt i den sentrale delen av brannøvingsfeltet (målt fra 1400 til 470 000 ng sum PFAS/l i grunnvannsbrønner i området, se kap. 4.5.1). Det forventes også relativt høyt innhold av suspendert stoff (SS), og det kan være innhold av olje i vannet ved graving på de sentrale delene av feltet.

Med bakgrunn i ovenstående anbefales det at det etableres et midlertidig renseanlegg for vann fra tiltaksområdet. Gravingen forventes å gjennomføres i etapper. Arealet av gravegropen vil variere gjennom anleggsfasen, og gravedybder er forventet å være mellom ca. 1-3 meter, avhengig av dyp til fjell. Det forventes tidvis mye vann som må håndteres under tiltaksgjennomføringen, og vannmengdene kan forventes å variere. Nødvendig kapasitet og utforming av vannrenseanlegget vil vurderes nærmere i den videre detaljeringsfasen.

Varigheten av anleggsperioden er usikker, men anslås til ca. 3-4 måneder. Utslipp av rensset anleggsvann planlegges ledet til resipienten Omsundet via Byskogbekken. Dette er ansett som miljømessig forsvarlig, ettersom det ved dagens situasjon (der PFAS-forurenset grunnvann fra BØFB strømmer ut i bekkesig i skråningen og videre til Byskogbekken og Omsundet) ikke er påvist store konsekvenser for resipienten Omsundet (se kap. 4.5.4, 4.6, 7 og 10.2). Faktisk plassering av utslippspunkt vil måtte vurderes nærmere i en videre detaljeringsfase. Plasseringen må hensynta episoder som ekstremnedbør, som kan medføre at noe vil kunne måtte gå urensset i overløp til Byskogbekken.

### 10.4 Overordnet plan for massedisponering

Masser med konsentrasjonsnivå over akseptkriteriet på 150 µg sum PFAS/kg leveres til godkjent deponi. Mineralske masser siktes, og fraksjon >20 mm sorteres ut for gjenbruk ved tilbakefylling i tiltaksområdet. Det anses ikke som hensiktsmessig å sikte myrjordmasser, og disse massene planlegges derfor levert til deponi. Eventuell stein og blokker (>20 mm) kan evt. sorteres ut manuelt og gjenbrukes på samme måte som annet grovt materiale. Masser mellomlagres innenfor tiltaksområdet på arealer med tilsvarende forurensningsgrad. Ved behov for større kapasitet, vil mellomlager etableres med tett dekke, og slik at spredning fra massene forhindres.

Tabellen nedenfor viser hvordan massene på BØFB er planlagt disponert.

Tabell 40 Overordnet plan for massedisponering.

Type oppgravde masser innenfor >150 µg sum PFAS/kg	Midlertidig disponering/mellomlager	Sluttdisponering
Toppdekke/vegetasjon	Forventes ikke	Leveres til godkjent deponi
Organisk rik jord/myrmasser	Kan bli behov	Leveres til godkjent deponi
Fyllmasser med innhold av sprengstein	Kan bli behov, planlegges sortert med sikteverk	Finfraksjon til deponi, grovfraksjon kan gjenbrukes
Ev. avfalls- eller oljeholdige masser	Kan bli behov, men forventes ikke	Leveres til godkjent deponi

## 11 Fremdrift

### 11.1 Planlagte bygge- og graveprosjekter

Det er til COWIs kjennskap ikke planlagt andre bygge- og graveprosjekter på Kristiansund lufthavn som kan samkjøres med opprydningen i PFAS-forurensset grunn. Utover opprydningstiltak for PFAS er det ikke planer om fremtidige tiltak på eller nært de aktuelle områdene for brannøvingsfeltene.

### 11.2 Fremdriftsplan

Avinors foreslåtte fremdriftsplan for gjennomføring av tiltak ved Kristiansund lufthavn er gitt i vedlegg F.

En liste over berørte parter er gitt i vedlegg G.

## 12 Overvåking og videre undersøkelser

Kristiansund lufthavn har et eget overvåkingsprogram der avrenning fra både gammelt (BØFB) og aktivt brannøvingsfelt (BØFA) overvåkes. I overvåkingsprogrammet er det jevnlig prøvetaking av grunnvann og overvann, samt fra oljeutskillere. Dette skal følges videre, i tillegg til at det vil bli behov for ytterligere overvåking for å sikre at gitte utslippskrav overholdes under anleggsgjennomføringen. Det skal videre gjennomføres overvåking etter tiltak for å dokumentere effekter over tid.

Plan for overvåking og avbøtende tiltak vil detaljeres nærmere i senere faser av prosjekteringen, men overordnede prinsipper er kort beskrevet under.

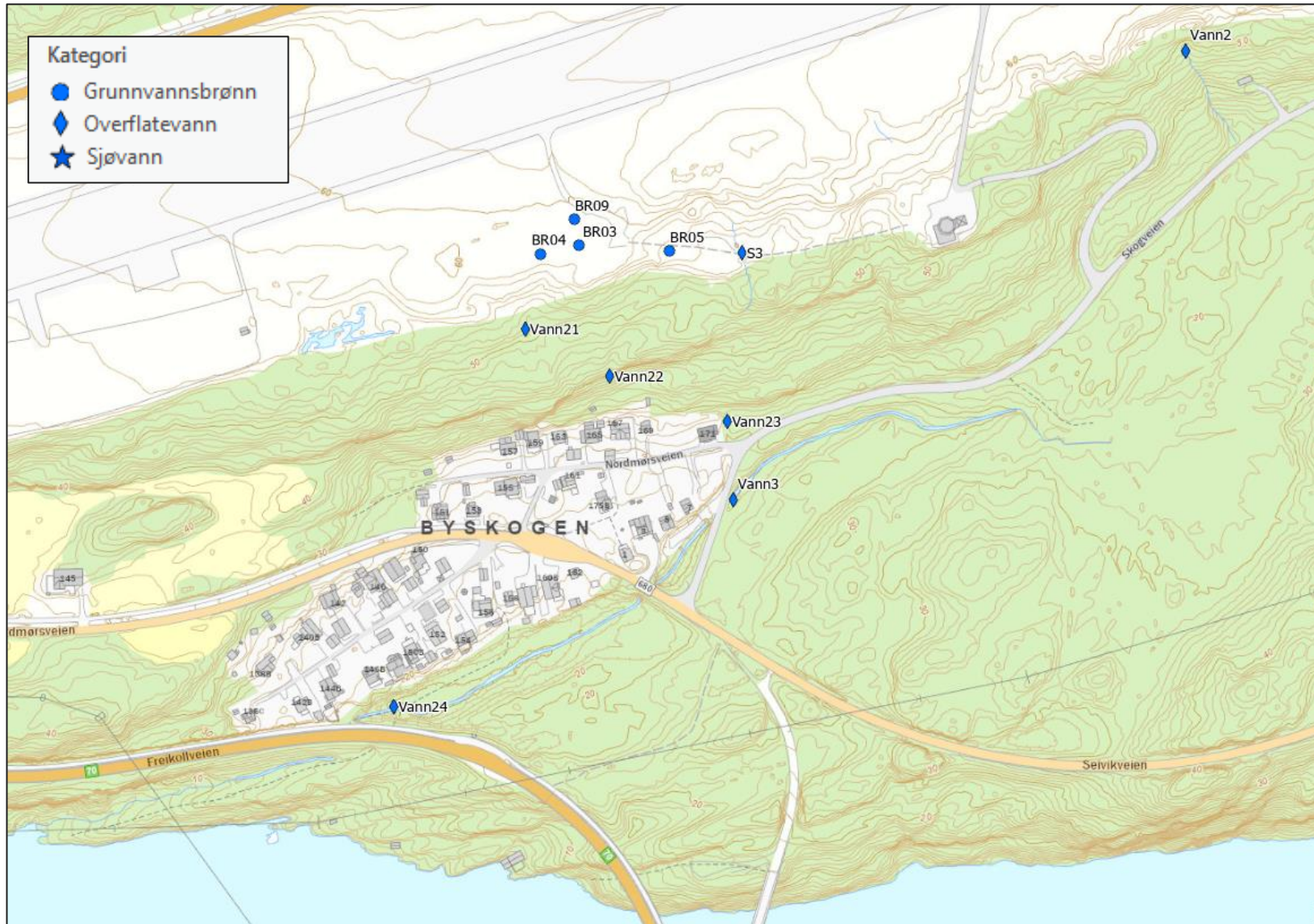
Sentrale prøvepunkter tilgjengelig for overvåking av spredning/utslipp fra BØFB før, under og etter anleggsfasen er vist i Figur 78 og inkluderer grunnvannsbrønner på brannøvingsfeltet (BR03, BR04, BR05 og BR09), Vann2 oppstrøms BØFB, bekk/kulp S3 sørøst for feltet, Vann21, Vann22 og Vann23 i skråningen nedenfor BØFB, samt Vann3 og Vann24 i Byskogbekken. Prøvepunkt Vann24 kan benyttes til å estimere spredningsmengder via Byskogbekken til Omsundet. I tillegg er det relevant med prøvetakingspunkter i resipienten

Omsundet. Under anleggsfasen er det også behov for prøvetaking av rensed anleggsvann (se neste delkapittel).

Vannprøver for overvåking av grunnvann, overflatevann/bekker og sjøvann foreslås tatt fire ganger i året før og etter tiltak, og hyppigere gjennom tiltaksfasen. Prøvetakingspunkter og prøvetakingsfrekvens vil detaljeres i senere faser av prosjekteringen. For PFAS skal det som minimum analyseres for de samme PFAS-forbindelsene som listet i kapittel 4.2. (dvs. 33 PFAS-forbindelser for vannprøvene).

For å ha kontroll på utslippsmengdene fra renseanlegget i anleggsfasen anbefales det å etablere vannføringsmåler i utslippet fra renseanlegget.





Figur 78 Forslag til vannprøvepunkter for overvåking før, under og etter anleggsfasen.

## 12.1 Overvåking i anleggsfase

Grunnvann/anleggsvann fra gravegrop skal renses i et midlertidig renseanlegg før utslipp til Byskogbekken og Omsundet. I tabellen nedenfor er det kun foreslått grenseverdier for suspendert stoff (SS) og olje. Forslag til grenseverdi for PFAS vil utarbeides som del av den videre detaljprosjekteringen. Dette da denne vil avhenge av forventede totale vannmengder til utslipp og fordelingen av disse over tid, samt forventede konsentrasjoner av PFAS i anleggsvann. Grenseverdiene foreslås å gjelde som ukentlige gjennomsnittskonsentrasjoner, med unntak for særskilte hendelser (eks. ekstremnedbør).

Tabell 41 Forslag til grenseverdier for utslipp av vann fra renseanlegg.

Parameter	Foreslått grenseverdi
Suspendert stoff (SS)	50 mg/l
Olje	5 mg/l
PFAS*	-

\*Forslag til grenseverdi utarbeides i senere faser av prosjekteringen.

Tilgjengelige grunnvannsbrønner på brannøvingsfeltet, bekker i skråningen nedenfor, samt Byskogbekken og Omsundet foreslås overvåket gjennom anleggsperioden. Det anbefales intensivt overvåking i anleggsperioden, med ukentlig stikkprøvetaking i aktuelle prøvepunktet. Relevante analyseparametere i overvåkingsperioden inkluderer:

- › PFAS
- › Suspendert stoff
- › Olje
- › Benzen, toluen, etylbenzen og xylener (BTEX)
- › Metaller
- › Polyaromatiske hydrokarboner (PAH<sub>16</sub>)

## 12.2 Prøvetaking for sluttokumentasjon

Basert på resultater fra utført prøvetaking på BØFB anses forurensningen som tilstrekkelig avgrenset horisontalt. I dypet er tilsvarende forurensningen i de fleste punkter avgrenset enten ved påtreff av relativt lavere PFAS-konsentrasjoner eller fjell. I enkelte prøvepunkter i det sentrale kildeområdet er forurensningen imidlertid ikke tilstrekkelig avgrenset i dypet. Dette området er imidlertid innenfor foreslått graveområde for 2-3 m dybde med tiltaksgrense 150 µg/kg som vist i Figur 76. Som tidligere nevnt er det planlagt å grave til fjell innenfor dette området for å sikre at forurensningen er tilstrekkelig avgrenset. Basert på dette er det ikke behov for prøvetaking i bunn av gravegrop for dokumentasjon på at dypereliggende masser tilfredsstillende akseptkriteriet etter utgraving.

## 12.3 Overvåking etter anleggsfasen

Det skal gjennomføres oppfølgende overvåking etter tiltak for å dokumentere effekt av tiltaket over tid. Overvåkingsplanen detaljeres nærmere i senere faser av prosjekteringen, men det foreslås at overvåkingen i de første par år etter gjennomførte tiltak i hovedsak rettes mot å dokumentere effekter av tiltaket i form av redusert utlekking og spredning fra brannøvingsfeltet. Dette overvåkes ved prøvetaking av grunnvann og avrenning fra BØFB.

Resultater fra overvåkingen vurderes løpende, hvor nødvendig prøvetakingsfrekvens og varighet for overvåkingen vurderes basert på foreliggende resultater.

Oppfølgende prøvetaking av sediment, biota og sjøvann fra Omsundet vil først være aktuelt etter at man har dokumentert en redusert utlekking og spredning av PFAS som følge av gjennomførte tiltak. Det forventes å ta noe tid før man får målbare effekter av tiltaket i resipienten.

Overvåkingen vil avsluttes når resultater tilsier at effekter av tiltaket er tilstrekkelig dokumentert, og det ikke foreligger målinger som tilsier at det fortsatt er vesentlige kilder til utlekking og spredning av PFAS fra tiltaksområdet.

## 13 Referanser

- Andersson, A. C., Andersson, O. & Gustafson, G. (1984). *Brunnar. Undersøking - dimensjonering - borning – drift. Rapport R42:1984. Stockholm: Byggforskningsrådet.*
- Avinor. (2022, 11 23). *PFOS i fokus*. Hentet fra <https://avinor.no/konsern/miljo-og-samfunn/pfos-i-fokus/pfos-i-fokus>
- Buck, R. C. (2011). *Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins.*
- COWI. (2021). *Prøveprogram Kristiansund lufthavn Kvernberget. A232698 dokumentnr. 4, datert 30.09.2021.*
- COWI. (2022). *Kartlegging av private drikkevannsbrønner og kommunal vannforsyning med fokus på PFAS - Fase 1. Kristiansund lufthavn, Kvernberget. Rapportnr. RAP\_232698\_013, datert 05.01.2022.*
- DEME. (2022). *Lab-scale Soil Washing Feasibility Trials PFAS Contaminated Soil Stavanger Airport. 19.09.2022.*
- DEME. (2023). *Lab-scale Soil Washing Feasibility Trials PFAS Contaminated Soils Kristiansand. Date 15/01/2023.*
- Direktoratsgruppen vanddirektivet. (2018). *Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Revidert 2020.*
- EFSA. (2018a). *European Food Safety Authority. [https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/181213.](https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/181213)*
- EFSA. (2020). *European Food Safety Authority. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food.*
- Faxneld, S., Danielson, S. and Nyberg, E. . (2014). *Distribution of PFAS in liver and muscle of herring, perch, cod, eelpout, arctic char, and pike from limnic marine environments in Sweden. Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Report 9:2014. 32 pp.*
- FHI. (2020a, 09 17). *Faktaark - Fakta om PFAS. Oppdatert 17.09.2020. Hentet fra <https://www.fhi.no/ml/miljo/miljogifter/fakta/fakta-om-pfos-og-pfoa/>*
- FHI. (2020b). *Forvaltningsstøtte til Mattilsynet og Miljødirektoratet - Vurdering av PFAS. 25.09.2020. Hentet fra [https://www.matportalen.no/matvaregrupper/tema/fisk\\_og\\_skalldyr/article57860.ece/BINARY/Folkehelseinstituttet%20-%20vurdering%20PFAS%2025.09.2020](https://www.matportalen.no/matvaregrupper/tema/fisk_og_skalldyr/article57860.ece/BINARY/Folkehelseinstituttet%20-%20vurdering%20PFAS%2025.09.2020)*
- FHI. (2021). *Svar på henvendelse om vurdering av PFOS i vann til bading/dusjing. Brev fra FHI til Bergen kommune datert 14. januar 2021.*
- Fjeld, E. e. (2017). *Miljøgifter i store norske innsjøer, 2016. Norwegian Institute for Water Research (NIVA) Report, 7184-2017. 88 pp.*
- Green, N. et al. . (2020). *Contaminants in coastal waters of Norway 2019. Miljøgifter i norske kystområder 2019. Norwegian Institute for Water Research (NIVA) Report, 7565-2020. 195 pp + appendices.*
- Hazen. (1893). *Some Physical Properties of Sand and Gravels, with Special Reference to Their Use in Filtration. I: Annual report of the State Board of Health of Massachusetts, 24. utgave, s. 539-556.*
- Kulturminnesøk. (2023). Hentet fra <https://www.kulturminnesok.no/kart/>

- Langberg, H.A. et al. (2019). *Bioaccumulation of Fluorotelomer Sulfonates and Perfluoroalkyl Acids in Marine Organisms Living in Aqueous Film-Forming Foam Impacted Waters. Environmental science & technology*, 53(18). 10951–10960.
- Langguth & Voigt. (1980). *Hydrogeologische Methoden*. Springer Verlag, 486 s.
- Larsen, M.M. and Bossi, R. (2021). *Omregning af indhold af PFAS mellem muskel og lever i fisk*. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Teknisk rapport nr. 199. 44 pp.
- Liu, Y., Qi, F., Fang, C., Naidu, R., Duan, L., Dharmarajan, R., & Annamalai, P. (2020). The effects of soil properties and co-contaminants on sorption of perfluorooctane sulfonate (PFOS) in contrasting soils. *Environmental Technology & Innovation*, Volume 19.
- Mattilsynet. (2020, 12 02). *Mattilsynet advarer mot å spise fisk og drikke vann fra ferskvann nær flyplasser*. Hentet fra <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemedling/mattilsynet-advarer-mot-a-spise-fisk-og-drikke-vann-fra-ferskvann-naer-flyplasser?publisherId=10773547&releaselD=17896845>
- Miljødirektoratet. (2009). *Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn. Rapport Statens forurensingstilsyn (Miljødirektoratet). Veileder TA 2553/2009*.
- Miljødirektoratet. (2016). *Veileder: Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. MDir rapport M-608/2016*.
- Miljødirektoratet. (2020a). *Pålegg om undersøkelser av PFAS-forurenset grunn – Avinor. 2018/3153*.
- Miljødirektoratet. (2020b). *"Forslag om endring av normverdi for PFOS i vedlegg 1 i forurensningsforskriften kapittel 2," 27.04.2020*.
- Miljødirektoratet. (2020c). *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota - revidert 30.10.2020*.
- Miljødirektoratet. (2022a). *Pålegg om å utarbeide tiltaksplaner for opprydning i PFAS-forurenset grunn ved Stavanger, Alta, Haugesund, Kristiansund og Kirkenes lufthavn. Referanse: 2018/3153*.
- Miljødirektoratet. (2022b). *Veileder Forurenset grunn - Hvordan kartlegge, vurdere risiko og gjennomføre tiltak i forurenset grunn*. Hentet fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/forurenset-grunn/for-naringsliv/forurenset-grunn---kartlegge-risikovurdere-og-gjore-tiltak/>
- Miljødirektoratet. (2022c). *Risikovurdering av forurenset grunn*. Hentet fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/forurenset-grunn/for-naringsliv/forurenset-grunn---kartlegge-risikovurdere-og-gjore-tiltak/risikovurdering-av-forurenset-grunn/>
- Miljødirektoratet. (2022d). *Verktøy for å vurdere risiko for menneskers helse fra forurenset grunn*. [www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/forurenset-grunn/for-naringsliv/forurenset-grunn---kartlegge-risikovurdere-og-gjore-tiltak/risikovurdering-av-forurenset-grunn/](http://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/forurenset-grunn/for-naringsliv/forurenset-grunn---kartlegge-risikovurdere-og-gjore-tiltak/risikovurdering-av-forurenset-grunn/). Miljødirektoratet M-2171/2021.
- Miljøstatus. (2022a, 07 27). *Perfluorerte stoffer (PFOS, PFOA og andre PFAS-er)*. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/perfluorerte-stoffer-pfos-pfoa-og-andre-pfas-er/>
- Miljøstatus. (2022b, 03 07). *Den norske prioritetslista*. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/om-prioriterte-miljogifter/>
- Miljøstatus. (2023). *Perfluorerte stoffer (PFOS, PFOA og andre PFAS-er)*. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/perfluorerte-stoffer-pfos-pfoa-og-andre-pfas-er/>

- Naturbase. (2022). <https://geocortex01.miljodirektoratet.no/Html5Viewer/?viewer=naturbase>.
- NFFA. (2017). Vedlegg 2 (versjon 1 -24.4.2017) i NFFA veileder "Hva gjør farlig avfall.
- NGI. (2021a). Grunnlagsrapport - Verktøy for å beregne spredning fra forurenset grunn. Rapport M-2172/2021. Dokumentnr. 20200490-03-R, rev. nr. 0, datert 10.12.2021.
- NGI. (2021b). Grunnlagsrapport - Verktøy for å vurdere risiko for menneskers helse fra forurenset grunn. Dokumentnr. 20200490-02-R, rev.nr. 0, datert 10.12.2021.
- NGU. (2022). Løsmassekart [https://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/).
- NGU. (2023). GRANADA - Nasjonal grunnvannsdatabase. Hentet fra [https://geo.ngu.no/kart/granada\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/)
- Norconsult. (2019a). Rapportering for del 1 og del 2 av Miljødirektoratets pålegg: «samlet vurdering av PFAS-forurensing ved Avinors lufthavner». Oppdrags nr. 5185352 .
- Norconsult. (2021a). Supplerende undersøkelser av PFAS-forurensning i jord og vann. Kristiansund lufthavn, aktivt brannøvingsfelt (BØFA).
- Norconsult. (2021b). Tiltaksplan for PFAS-forurenset grunn som følge av brannøving. Rørvik lufthavn. Avinor AS, O5205614.
- Norconsult. (2021c). Tiltaksplan for PFAS-forurenset grunn som følge av brannøving. Bergen lufthavn Flesland - sist nedlagte (BØF1) og gammelt (BØF2) brannøvingsfelt. Dokumentnr. RIM-04-ENBR, versjon E05 datert 2021-12-21.
- Norconsult. (2023). Tiltaksplan for PFAS-forurenset grunn som følge av brannøving. Stavanger lufthavn Sola. Dokumentnr. RIM-05-ENZV, versjon E03 datert 2023-01-15.
- Norconsult og Sweco. (2016). Kristiansund lufthavn Kvernberget. Undersøkelser av PFAS i jord, vann og biota med risikovurdering.
- Norsk standard. (2005). NS-ISO 10381-5, Jordkvalitet - Prøvetaking - Del 5: Veiledning for fremgangsmåte for undersøkelse av grunnforurensning på urbane og industrielle lokaliteter.
- Statens vegvesen. (2021). Anslagsmetoden, Håndbok R764.
- Sweco/COWI. (2012). Miljøprosjekt DP2. Miljøtekniske grunnundersøkelser Kristiansund lufthavn Kvernberget. Avinor.
- Vann-nett. (2023a). Talgsjøen - VannforekomstID 0303011100-C. Hentet fra <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/0303011100-C>
- Vann-nett. (2023b). Nordlandet bekkefelt, VannforekomstID 110-65-R. Hentet fra <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/110-65-R>
- Vann-nett. (2023c). Bolgsvaet - VannforekomstID 0303011202-6-C. Hentet fra <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/0303011202-6-C>
- Vann-nett. (2023d). Omsund-øst - VannforekomstID 0303011201-C. Hentet fra <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/0303011201-C>