

Avinor AS

► Tiltaksplan for PFAS-forurensset grunn som følge av brannøving

Bergen lufthavn Flesland

Sist nedlagte (BØF1) og gammelt (BØF2) brannøvingsfelt

Oppdragsnr.: 5205614 Dokumentnr.: RIM-04-ENBR Versjon: E05 Dato: 2021-12-21



Oppdragsgiver: Avinor AS

Oppdragsgivers kontaktperson: Asbjørn Rasdal

Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika

Oppdragsleder: Aina Marie Nordskog

Fagansvarlig: Lars Været og Annelene Pengerud

Andre nøkkelpersoner: Øistein Preus Hveding, Ingvild Schmidt, Audun Søyland Teie, Florian Wagner, Audun Kvelstad

E05	2021-12-21	For godkjenning hos myndigheter	Annelene Pengerud Lars Været	Lars Været Aina Marie Nordskog	Aina Marie Nordskog
B04	2021-11-01	For gjennomgang hos Avinor	Annelene Pengerud Lars Været	Lars Været Aina Marie Nordskog	Aina Marie Nordskog
B03	2021-10-27	Revidert etter supplerende undersøkelser	Annelene Pengerud Lars Været	Lars Været Aina Marie Nordskog	Aina Marie Nordskog
B02	2021-09-07	For kommentar	Annelene Pengerud Lars Været	Lars Været Aina Marie Nordskog	Aina Marie Nordskog
A01	2021-09-07	For fagkontroll	Annelene Pengerud Lars Været	Lars Været Aina Marie Nordskog	Aina Marie Nordskog
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammen drag

Miljødirektoratet har i pålegg datert 20. oktober 2021 pålagt Avinor å utarbeide tiltaksplan for opprydding i grunn som er forurensset av per- og polyfluorete forbindelser (PFAS) ved Bergen lufthavn. Miljødirektoratet pålegger Avinor å utarbeide en tiltaksplan som minimum tar for seg de to meste forurensede områdene ved lufthavnen, herunder sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) og gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Det skal videre utarbeides en plan for videre kartlegging av PFAS-forurensning på lufthavnen og overvåkning av planlagte tiltak. På bakgrunn av dette pålegget og tidligere pålegg er det utarbeidet en tiltaksplan for brannøvingsfeltene ved Bergen lufthavn. Denne tiltaksplanen vil brukes som grunnlag for senere detaljering og gjennomføring av tiltak.

Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

Det sist nedlagte brannøvingsfeltet (BØF1) ved Bergen lufthavn ligger øst på lufthavnområdet, på delvis utsprengt fjell sør for en skogkledd kulle. Feltet ble etablert i 1995 og var i drift frem til 2018.

Resultater fra utførte undersøkelser ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) viser generelt høyeste konsentrasjoner av Σ PFAS i fyllmasser sentralt på feltet, i området ved øvingsplattform/betongplate. Det er påvist særlig høye konsentrasjoner i fyllmasser like nord for betongplate (opptil 35 000 $\mu\text{g/kg}$), og ved containere/øvingsobjekter sørøst for betongplaten (3700 $\mu\text{g/kg}$). Selv om det i enkelte prøvepunkt er påvist svært høye konsentrasjoner i hele den undersøkte dybden, vurderes allikevel forurensningen i all hovedsak å være avgrenset av underliggende fjell på sentrale deler av feltet. Det er også påvist høye konsentrasjoner av Σ PFAS i flere prøvepunkter i skogdekt område nord for feltet. Høyeste konsentrasjoner er påvist like nord for øvingsfeltet (800-8300 $\mu\text{g/kg}$), med avtakende konsentrasjoner i prøvepunkter lenger nord.

Langavatn er resipient for avrenning fra sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Resultater fra undersøkelser utført i perioden 2009-2021 viser høye konsentrasjoner i vann, sediment og biota i Langavatn. Det er utført undersøkelser av biota (ørret) i Langavatnet i 2012, 2017, 2019 og 2020, hvor alle resultater viser betydelige overskridelser av gjeldende miljøkvalitetsstandard (EQS_{biota}) på 9,1 $\mu\text{g/kg}$.

Det er for sentrale deler av brannøvingsfeltet og skogsområde nord for feltet beregnet at det ligger om lag 15,3 kg PFAS i jord før tiltak, og at forurensningen i all hovedsak er knyttet til områder med konsentrasjoner av Σ PFAS >150 $\mu\text{g/kg}$ (15,1 kg). Basert på gjennomgang av alternative oppryddingstiltak og beregninger av kost/effekt vurderes oppgraving med ekstern deponering som det mest aktuelle tiltaket for opprydding i PFAS-forurensning ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Dette fordi kartlagt forurensning i all hovedsak befinner seg i umettet sone, over et område med relativt begrenset mektighet av løsmasser over fjell, noe som gir en høy tiltakseffekt (g PFAS/ m^3 masse) ved et gravetiltak. Alternativt kan man gå for et tiltak med vasking av masser, dersom man i videre vurderinger fremskaffer dokumentasjon som viser at dette er egnet for massene på lokaliteten.

Det er foreslått et tiltak med oppgraving og ekstern deponering av alle masser innenfor sentrale deler av brannøvingsfeltet med konsentrasjon av Σ PFAS >150 $\mu\text{g/kg}$ og med konsentrasjon av Σ PFAS >500 $\mu\text{g/kg}$ i skogsområde nord for feltet. Det er for foreslåtte tiltaksgrenser beregnet en betydelig mengde PFAS (14,8 kg) innenfor et relativt begrenset volum masser, noe som gir en kost/effekt for tiltaket på 2,3 MNOK/kg PFAS. Basiskostnad (grunnkalkyle + uspesifisert) for tiltaket er estimert til 34,1 MNOK. Det foreslåtte tiltaket vil gi en beregnet reduksjon i spredningsmengde fra feltet på >90% sammenliknet med dagens situasjon.

Selv om tiltaket innebærer at en betydelig mengde PFAS fjernes fra systemet, og gir en beregnet reduksjon i årlig spredningsmengde fra brannøvingsfeltet til resipient Langavatn fra dagens 140 g/år til <10 g/år, vil det allikevel forventes at konsentrasjonsnivåer i Langavatn vil holde seg høye i lang tid. Dette som følge av blant

annet andre kilder som bidrar med avrenning av PFAS til Langavatnet, samt høye konsentrasjoner av PFAS i sediment i Langavatnet. Dette gjør også at det vil kunne ta lang tid før konsentrasjonsnivåer i biota reduseres etter gjennomført tiltak.

Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

Gammelt brannøvingsfelt (BØF2) ligger nord på lufthavnområdet og var i bruk i perioden 1957 til 1993. Grunnforholdene er karakterisert av kupert berggrunn under stedefgen torv og grove, tilførte fyllmasser av varierende mektighet.

Resultater fra utførte undersøkelser ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2) viser dels stor variasjon i konsentrasjoner av Σ PFAS i jord, med enkelte høye konsentrasjoner i punkter sentralt og i sørlig del av feltet (opptil 2600 $\mu\text{g/kg}$), og lavere konsentrasjoner i nordlig del ($<30 \mu\text{g/kg}$). De høyeste konsentrasjonene av Σ PFAS er påvist sentralt og i sørlig del av feltet, i sjakter med liten mektighet av grove fyllmasser over fjell (0,3 – 0,7 m). I resterende punkter er det påvist konsentrasjoner $<100 \mu\text{g/kg}$ i hele den undersøkte dybden, med unntak av enkelte punkter hvor det er påvist høyere konsentrasjoner i dypere prøver.

Komplekse og varierende grunnforhold, sammen med enkelte påvisninger av høye konsentrasjoner i dybden, medfører usikkerhet knyttet til fordeling av løsmasser i dypet og vertikal utbredelse av forurensningen. Det ble under supplerende undersøkelser i 2020-2021 påtruffet fjell i totalt 13 prøvepunkt, mens det i resterende 15 prøvepunkt ble gravd inntil utrasing av masser eller vanninnslag la begrensninger for ytterligere graving.

Lindevikabekken er resipient for det meste av avrenningen fra gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Resultater fra prøvetaking i Lindevikabekken i perioden 2014-2021 viser konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 800-2800 ng/l, med unntak av en særlig høy konsentrasjon i prøve tatt i juli 2020 på hele 12 000 ng/l. Det er for Lindevikabekken estimert en spredningsmengde på 280 g Σ PFAS/år. Det er ikke utført prøvetaking av biota i Lindevikabekken, men resultater fra prøvetaking av albusnegl i Lindevika, ved utløpet av Lindevikabekken, viser svært høye konsentrasjoner av Σ PFAS (opptil 222 $\mu\text{g/kg}$ våtvekt).

Det er for gammelt brannøvingsfelt (BØF2) beregnet en total mengde Σ PFAS i fyllmasser på 4,3 kg innenfor et areal på om lag 24 800 m², hvor den største mengden ligger i områder med konsentrasjoner av Σ PFAS $>150 \mu\text{g/kg}$ (3,6 kg). Basert på gjennomgang av alternative oppryddingstiltak vurderes oppgraving med ekstern deponering som det mest aktuelle tiltaket for å fjerne kjent PFAS-forurensning ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Moderate konsentrasjoner og relativt lave beregnede mengder innenfor et stort volum masser (grunnet lav finstoffandel) gir imidlertid relativt høy totalkostnad og lav tiltakseffekt ved gravetiltak sammenliknet med tilsvarende tiltak ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1).

Et gravetiltak vil bidra til å fjerne kjent PFAS-forurensning ved BØF2 og derigjennom redusere spredning fra kartlagt område ved BØF2 til Lindevikabekken. Det er imidlertid usikkert hvor mye avrenningen fra dette området bidrar til total spredningsmengde via Lindevikabekken. Det er derfor også gjort vurderinger av et mulig vannrensetiltak i Lindevikabekken, da dette vil være et tiltak som bidrar til å redusere kjent spredning uavhengig av hvilke kilder som bidrar.

Det er for vannrensetiltak i Lindevikabekken vurdert to ulike alternative løsninger:

1. Prosessanlegg, kapasitet 10 l/s
2. Gravitasjonsløsning, kapasitet 5 l/s

Dette er løsninger som med de gitte kapasiteter på 10 l/s og 5 l/s vil kunne håndtere henholdsvis om lag 70% og 50% av total vannmengde i Lindevikabekken. Annen dimensjonering vil være mulig, men dimensjonering for økt kapasitet vil medføre økte kostnader for et slikt tiltak. Foreliggende varighetskurve for vannføring i Lindevikabekken tilsier betydelig variasjon i vannføring i bekken, og dimensjonering for å fange

100% av vannet til enhver tid vil derfor medføre betydelige kostnader og et anlegg som er overdimensjonert det meste av tiden. Det er i vurderingene og kostnadsberegningene lagt til grunn rensing av vann gjennom aktivt kull som filtermedium, da dette er en velutprøvd og veldokumentert teknologi. Bruk av annen teknologi og andre filtermedier vil imidlertid være aktuelt dersom disse viser seg å være mer egnet og gi bedre kostnadseffektivitet for vannrensing ved lokaliteten.

Alle vurderte tiltaksalternativer ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2) kommer ut med en relativt høy kostnad per kg PFAS fjernet gjennom tiltaket. Som nevnt er det også usikkerheter knyttet til kilder innenfor nedbørfeltet med avrenning til Lindevikabekken, og hvilke kilder som er av størst betydning for konsentrasjonene som påvises i Lindevikabekken. Dette gjør det vanskelig å målrette tiltak der de gir best effekt, og medfører samtidig en betydelig risiko for at man ved en eventuell gjennomføring av tiltak ikke oppnår tilstrekkelig og dokumenterbar effekt.

Samlet medfører disse usikkerhetene at det på nåværende tidspunkt ikke foreslås tiltak på gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Det vurderes som mer hensiktsmessig at det utføres ytterligere kartlegging og undersøkelser på feltet i løpet av 2022, for å bedre kunne målrette et eventuelt senere tiltak, samt redusere usikkerheter knyttet til forventede effekter av tiltakene. Det bemerkes at kostnadsbildet for de vurderte tiltaksalternativene ikke forventes vesentlig endret som følge av undersøkelsene, men at supplerende undersøkelser vil kunne gi et langt bedre grunnlag for å treffe riktig tiltak.

Selv om det ikke foreslås tiltak ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2), så vil det allikevel forventes en betydelig reduksjon i de samlede utslippene av PFAS fra lufthavnen som følge av foreslått tiltak på sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Det foreslåtte tiltaket ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) vil medføre at om lag 15 kg PFAS fjernes fra lufthavnen, og man vil gjennom dette få en betydelig reduksjon i samlet potensiale for fremtidig spredning av PFAS dersom man ser hele lufthavnen under ett.

► Innhold

1	Innledning	10
1.1	Bakgrunn	10
1.2	Per- og polyfluorerte forbindelser (PFAS)	10
1.2.1	<i>Generelt</i>	10
1.2.2	<i>Klassifisering og grenseverdier</i>	11
2	Bergen lufthavn Flesland	14
2.1	Lokalisering	14
2.2	Grunnforhold	15
2.3	Avrenningsforhold	16
2.4	Historikk for området	17
2.5	Mulig PFAS-forurensede lokaliteter	20
2.5.1	<i>Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)</i>	22
2.5.2	<i>Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)</i>	24
2.5.3	<i>Avfallsfylling nord</i>	26
2.5.4	<i>Område under fylling RWY nord</i>	26
2.5.5	<i>Område for masselagring i nordøst</i>	26
2.5.6	<i>Område ved tidligere Lønningstjern</i>	29
2.6	Resipienter	30
2.6.1	<i>Berørte vassdrag</i>	30
2.6.2	<i>Registrerte vannforekomster</i>	30
2.7	Naturmangfold	33
2.7.1	<i>Terrestriske naturverdier</i>	33
2.7.2	<i>Marine naturverdier</i>	35
2.8	Kulturminner	37
3	Utførte undersøkelser	38
3.1	Tidligere utførte undersøkelser	38
3.1.1	<i>Delprosjekt 2 og risikovurdering</i>	38
3.1.2	<i>Miljøovervåkning 2010-2021</i>	38
3.2	Supplerende undersøkelser 2020-2021	39
3.3	Oppsummering av resultater	40
3.3.1	<i>Hele lufthavnen</i>	40
3.3.2	<i>Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)</i>	42
3.3.3	<i>Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)</i>	46
3.3.4	<i>Resipienter</i>	49
3.3.5	<i>Drikkevann</i>	51
4	Mengder i jord	53

4.1	Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)	53
4.2	Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)	57
5	Spredningsmengder	59
5.1	Beregningsverktøy	59
5.2	Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)	59
5.2.1	Avrenningsforhold	59
5.2.2	Utlekking	60
5.2.3	Spredningsmengder	61
5.3	Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)	63
5.3.1	Avrenningsforhold	63
5.3.2	Utlekking	64
5.3.3	Spredningsmengder	65
6	Risikovurdering av dagens forurensningssituasjon	67
6.1	Risiko for human helse	67
6.1.1	Kunnskapsgrunnlag	67
6.1.2	Aktuell eksponering	68
6.1.3	Beregningsverktøy	71
6.1.4	Beregning basert på standardverdier	73
6.1.5	Beregning basert på aktuell eksponering	73
6.2	Økologisk risiko	74
6.2.1	Ferskvannssystem	74
6.2.2	Marint økosystem	75
6.2.3	Terrestrisk økosystem	75
7	Tiltaksmetoder	76
7.1	Aktuelle tiltaksmetoder	76
7.2	Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)	77
7.2.1	Utførte tiltak	77
7.2.2	Vurdering av stedsspesifikk egnethet	78
7.3	Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)	81
7.3.1	Utførte tiltak	81
7.3.2	Vurdering av stedsspesifikk egnethet	82
8	Kostnadsberegninger	84
8.1	Metodikk og forutsetninger	84
8.1.1	Oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser	84
8.1.2	Vannrensetiltak Lindevikabekken	87
8.2	Kostnader	89
8.2.1	Oppgraving med ekstern deponering	89
8.2.2	Vasking av masser	89
8.2.3	Vannrensetiltak Lindevikabekken	90

9	Foreslått tiltaksalternativ	92
9.1	Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)	92
9.1.1	<i>Gjenstående PFAS-forurensning ved ulike tiltaksalternativer</i>	92
9.1.2	<i>Miljømål og akseptkriterier</i>	93
9.1.3	<i>Foreslått tiltak</i>	94
9.1.4	<i>Gjennomføring av tiltak</i>	95
9.2	Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)	97
9.2.1	<i>Gjenstående PFAS-forurensning ved ulike tiltaksalternativer</i>	97
9.2.2	<i>Miljømål og akseptkriterier</i>	99
9.2.3	<i>Foreslått tiltak</i>	99
9.2.4	<i>Videre undersøkelser</i>	100
10	Fremdrift	103
10.1	Planlagte bygge- og graveprosjekter	103
10.2	Fremdriftsplan	103
11	Overvåkning under og etter tiltak	104
11.1	Overvåkning i anleggsfase	104
11.2	Oppfølgende overvåkning	104
12	Referanser	105
13	Vedlegg	109
	Vedlegg A	Resultatrapport supplerende undersøkelser BØF1
	Vedlegg B	Resultatrapport supplerende undersøkelser BØF2
	Vedlegg C	Aktuelle tiltaksmetoder
	Vedlegg D	Dimensjoneringsgrunnlag og prosessbeskrivelse vannrensetiltak Lindevikabekken
	Vedlegg E	Fremdriftsplan tiltaksgjennomføring
	Vedlegg F	Berørte parter

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Miljødirektoratet har den 14. mai 2020 pålagt Avinor å gjennomføre supplerende undersøkelser av forurensning av per- og polyfluorerte forbindelser (PFAS) ved de ti lufthavnene Rørvik, Tromsø, Ålesund, Stavanger, Bergen, Alta, Haugesund, Kristiansund, Kirkenes og Brønnøysund [1].

I nevnte pålegg og brev av 26. februar 2020 har Miljødirektoratet skissert at Avinor skal utarbeide tiltaksplaner ved disse ti lufthavnene med frist i 2021 og 2022 [2]. Lufthavnene er valgt ut på bakgrunn av Avinors prioriteringsrekkefølge for opprydding av PFAS-forurensning basert på kost/effekt, og risikovurderinger med hensyn på lokale effekter [3] [4].

Den 20. oktober 2021 rettet Miljødirektoratet et pålegg til Avinor om utarbeidelse av tiltaksplan for opprydding i grunn som er forurensset av PFAS ved Bergen lufthavn [5]. Miljødirektoratet pålegger Avinor å utarbeide en tiltaksplan som minimum tar for seg de to meste forurensede områdene ved lufthavnen, herunder sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) og gammelt brannøvingsfelt (BØF2) med frist 1. november 2021, senere endret til 31. desember 2021. Det skal videre utarbeides en plan for videre kartlegging av PFAS-forurensning på lufthavnen og overvåkning av planlagte tiltak med frist 1. mars 2022.

På bakgrunn av dette pålegget og tidligere pålegg er det utarbeidet en tiltaksplan for brannøvingsfeltene ved Bergen lufthavn. Denne tiltaksplanen vil brukes som grunnlag for senere detaljering og gjennomføring av tiltak.

1.2 Per- og polyfluorerte forbindelser (PFAS)

1.2.1 Generelt

Per- og polyfluorerte stoffer, PFAS, er en stor gruppe organiske forbindelser med vann- og fettavvisende egenskaper. PFAS har vært benyttet blant annet i brannslukningsskum, og benyttes i impregnering av tekstiler, skismøring, matemballasje mfl. Stoffgruppen inneholder blant andre forbindelsene PFOS, PFOA, langkjedete perfluorerte syrer (C9-PFCA – C14 PFCA), PFHxS, PFBS, PFHxA og HFPO-DA (GenX) som er på Miljødirektoratets prioritetsliste. 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. Stoffene er tungt nedbrytbare, hopper seg opp i næringskjeden, og kan være giftige for organismer [6].

Forbindelsene PFOS og PFOA er i dag strengt regulert gjennom europeisk regelverk (EUs POPs-forordning og Reach), og det er internasjonale forbud mot bruk av disse [6] [7]. Det er imidlertid for både PFOS og PFOA noen unntak fra forbudene, og det er satt en grense for hvilket innhold det kan være av stoffene uten at de omfattes av forbudene (produktforskriften) [7]. Det er foreslått forbud mot forbindelsene PFHxS og PFHxA er i Reach regelverket, og Miljødirektoratet med flere har tatt initiativ til et generelt forbud mot PFAS-forbindelser [6].

European Food Safety Authority (EFSA) fastsatte i en risikovurdering som kom i desember 2018 nye midlertidige tålegrenser for stoffene PFOA og PFOS. For PFOS og for PFOA var midlertidig tålegrense (gitt som TWI - tolererbart ukentlig inntak) satt til henholdsvis 13 og 6 ng/kg kroppsvekt per uke (omregnet til TDI PFOS $13/7 = 1,86$ ng/kg kroppsvekt /dag PFOA $6/7 = 0,86$). Tålegrensene var midlertidige på bakgrunn av spørsmål i vurderingen som var uavklarte, og at det skulle gjøres en vurdering om å innføre samlede tålegrenser for flere PFAS-forbindelser [8] [9].

I september 2020 fastsatte EFSA ny TWI for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS på 4,4 ng/kg kroppsvekt per uke ($4,4/7 = 0,63$ ng/kg kroppsvekt per dag) [10]. Basert på den nye tålegrensen

utførte Folkehelseinstituttet (FHI) en vurdering av hvilke nivåer av PFAS i fisk og drikkevann som utgjør en økt helserisiko [11]. Vurderingen angir makskonsentrasjoner for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS i fisk og drikkevann uten at TWI overskrides. Inntak fra øvrig kosthold og andre eksponeringskilder for forbindelsene er tatt med i vurderingen. For kvinner og barn overskrides TWI for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS fra øvrig kosthold, og det er derfor ikke beregnet makskonsentrasjoner i fisk eller drikkevann.

I desember 2020 vedtok EU et nytt drikkevannsdirektiv og grenseverdien for PFAS der er satt til 100 ng/l [12]. I desember 2020 advarte videre 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 forurensset av PFAS-forbindelser [13].

1.2.2 Klassifisering og grenseverdier

1.2.2.1 Jord

Normverdier, tilstandsklasser og akseptkriterier

Miljødirektoratet har ikke satt tilstandsklasser for Σ PFAS i jord, og det er kun PFOS som har en normverdi. Normverdien for PFOS er 100 $\mu\text{g/kg}$ [14]. Denne normverdien er under utredning, og det forventes en ny og lavere normverdi. Verdien kan bli så lav som 2 $\mu\text{g/kg}$ [15].

Grensen for når masser forurensset med PFOS/PFOA klassifiseres som farlig avfall er satt til 3000 mg/kg [16].

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

Konsentrasjonsintervaller

I denne rapporten er det brukt betegnelsen lave/moderate konsentrasjoner av Σ PFAS for masser som har innhold over rapporteringsgrensen (LOQ) og under 150 $\mu\text{g/kg}$. For konsentrasjonsinndeling er det benyttet de samme syv konsentrasjonsintervallene ($\mu\text{g/kg}$) som er gitt i Miljødirektoratets pålegg om samlet vurdering av PFOS-forurensning ved Avinors lufthavner [17]. Konsentrasjonsintervallene er vist med farger i Tabell 1-1. Det er benyttet den samme inndelingen for PFOS og for Σ PFAS.

Tabell 1-1: Konsentrasjonsintervaller for innhold av PFOS og Σ PFAS i jord.

Konsentrasjoner i jord ($\mu\text{g/kg}$)
<3
3-30
30-150
150-500
500-1 000
1 000-3 000
>3 000

1.2.2.2 Vann og sediment

Miljøkvalitetsstandarder

Miljøkvalitetsstandarder i vann og sediment er kun satt for PFOS og dets derivater og PFOA (Tabell 1-2). Med hensyn på kroniske effekter ved langtidseksposering, er miljøkvalitetsstandard AA-EQS (årlig gjennomsnittsverdi) for PFOS og dets derivater i ferskvann og kystvann satt lavt. På bakgrunn av at PFOS er lite akutt toksisk er MAC-EQS (maksimal verdi) satt til en mye høyere verdi. For PFOA i vann og sediment er det kun gitt AA-EQS, denne er for vann lik for ferskvann og kystvann [18].

Tabell 1-2: Miljøkvalitetsstandarder for PFOS og PFOA i ferskvann og kystvann [18].

Vann	AA-EQS ferskvann	MAC-EQS ferskvann	AA-EQS kystvann	MAC-EQS kystvann
PFOS	0,65 ng/l	36 000 ng/l	0,13 ng/l	7 200 ng/l
PFOA	9 100 ng/l	-	9 100 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	-

Konsentrasjonsintervaller

I denne rapporten er det for konsentrasjonsinndeling av innhold av Σ PFAS i vann benyttet åtte konsentrasjonsintervaller (ng/l) som gitt med farger i Tabell 1-3. Nedre konsentrasjonsgrense tilsvarer AA-EQS for ferskvann, og øvre grense tilsvarer MAC-EQS for ferskvann (Tabell 1-2).

Tabell 1-3: Konsentrasjonsintervaller for innhold av PFOS og Σ PFAS i vann.

Konsentrasjoner 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
>36 000

1.2.2.3 Biota

Miljøkvalitetsstandarder

Miljøkvalitetsstandard i organismer er kun satt for PFOS (og dets derivater) i fisk. For PFOS er EQS-verdi i fisk satt til 9,1 µg/kg våtvekt (målt i muskel). Denne EQS verdien er basert på 10 % av tålegrensen (TDI - tolererbart daglig inntak) for PFOS som av EFSA i 2008 ble satt til 150 ng/kg kroppsvekt /dag [19].

I en risikovurdering som kom i 2018 fastsatte EFSA nye midlertidige tålegrenser for stoffene PFOA og PFOS. Midlertidig tålegrense (gitt som TWI - tolerabelt ukentlig inntak) for PFOS er 13, og for PFOA 6 ng/kg kroppsvekt per uke (omregnet til TDI: PFOS (13/7 =) 1,86 ng/kg og PFOA (6/7 =) 0,86 ng/kg kroppsvekt per dag). Tålegrensene var midlertidige på bakgrunn av at det er spørsmål i vurderingen som var uavklarte, og at det skulle gjøres en vurdering om å innføre samlede tålegrenser for flere PFAS-forbindelser [20] [9].

I 2020 fastsatte EFSA ny TWI for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS på 4,4 ng/kg kroppsvekt per uke (4,4/7= 0,63 ng/kg kroppsvekt per dag) [10].

Nye TWI/TDI verdier kan ha innvirkning på eller føre til endring av EQS-verdier. Resipienter og biota som til nå ikke har blitt regnet som betydelig påvirket av PFAS-forurensning kan derfor få endret status.

Konsentrasjonsintervaller

I denne rapporten er det for konsentrasjonsinndeling av ΣPFAS i biota benyttet fire konsentrasjonsintervaller (µg/kg våtvekt) som gitt med farger i Tabell 1-4. Øvre konsentrasjonsgrense tilsvarer EQS biota.

Tabell 1-4: Konsentrasjonsintervaller for innhold av ΣPFAS i biota.

Konsentrasjoner i biota (µg/kg)
<LOQ
LOQ-5
5-9,1
>9,1

2 Bergen lufthavn Flesland

2.1 Lokalisering

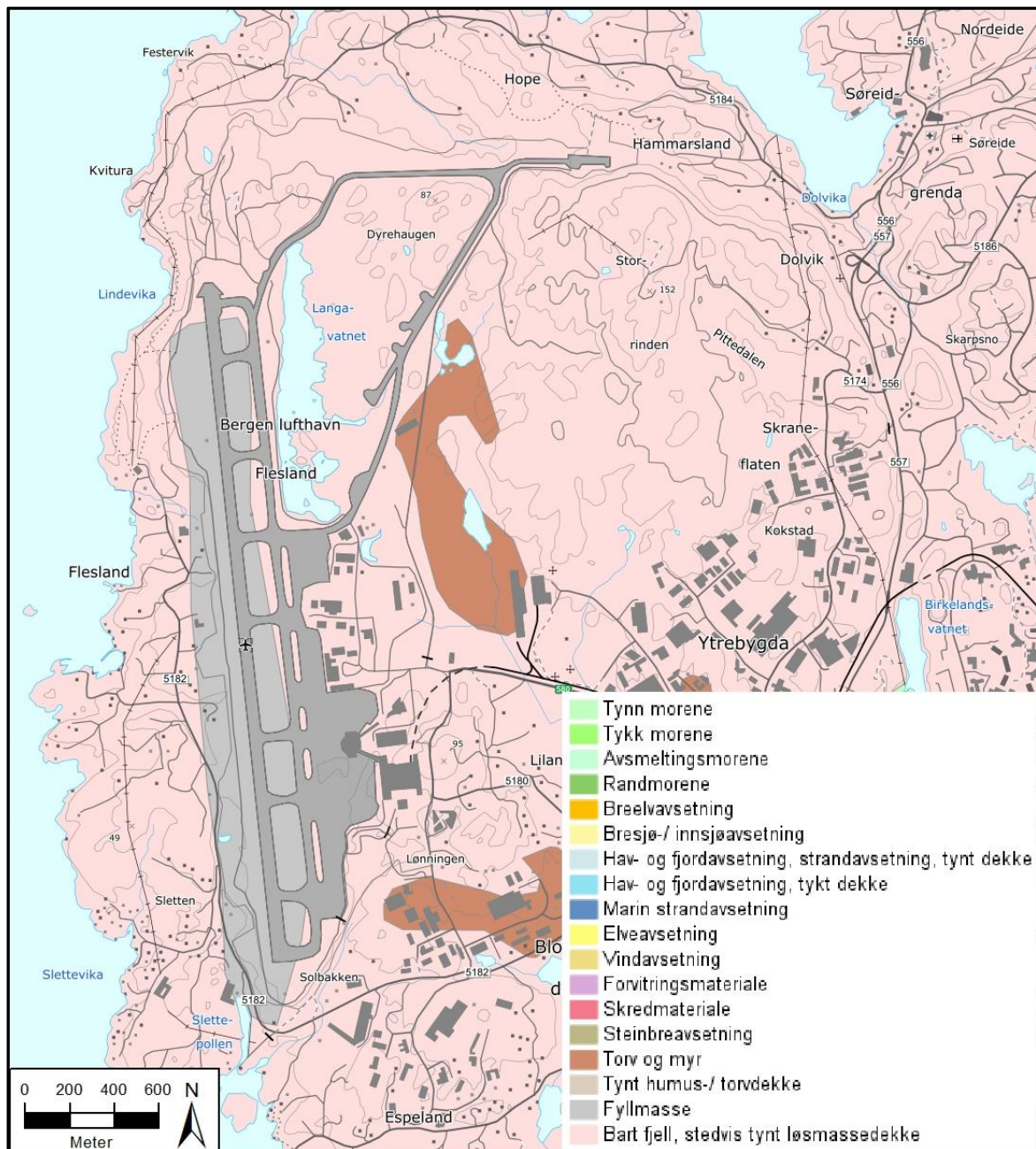
Bergen lufthavn er lokalisert på Flesland, om lag 20 km sør for Bergen sentrum i Vestland fylke (Figur 2-1). Lufthavnen ligger avgrenset av Raunefjorden i vest, Grimstadfjorden i nord og Fanafjorden i sør.



Figur 2-1: Lokalisering av Bergen lufthavn Flesland.

2.2 Grunnforhold

Berggrunnen ved Bergen lufthavn er dominert av harde og omdannede bergarter, hovedsakelig diorittisk til granittisk gneis og migmatitt. Området er generelt karakterisert av tynt løsmassedekke over fjell, med unntak av områder hvor det er tilført sprengsteinsmasser for å heve terrenget eller forsenkninger med torv av varierende mektighet [21].



Figur 2-2: Løsmasser ved Bergen lufthavn [22].

2.3 Avrenningsforhold

Avrenningen fra lufthavnen går i all hovedsak via grunn og overvannssystem til Langvatn, Fleslandselven, Lønningsbekken og Gåstjørnsbekken før vannet renner ut i Raunefjorden [23]. Avrenningsretninger og infrastruktur er vist i Figur 2-3.

Overvann fra apron nord (oransje område i Figur 2-3) samles opp og går i overvannssystem til Langvatn. Overvann fra apron sør samles opp, måles og kan enten slippes på kommunalt nett eller føres til Lønningsbekken gjennom innstilling av ventil. Lønningsbekken kan motta avrenning også fra sørlig del av rullebane, parkeringsområder og vegbaner ved ny terminal [23].



Figur 2-3: Prinsippskisse for avrenning ved Bergen lufthavn (grov inndeling) vist med piler. Beige skravur indikerer områder med direkte avrenning til Raunefjorden. Plassering av avisingsområde og brannøvingsfelt er også vist. Figur hentet fra [23], tillegg piler for avrenning mot nord.

2.4 Historikk for området

Bergen kommune eksproprieterte deler av gården Flesland i 1937 som del av planlegging for ny lufthavn, og lufthavnen ble bygget i perioden 1953-1955. Lufthavnen har siden 1955 vært i bruk som sivil og militær flyplass [24].

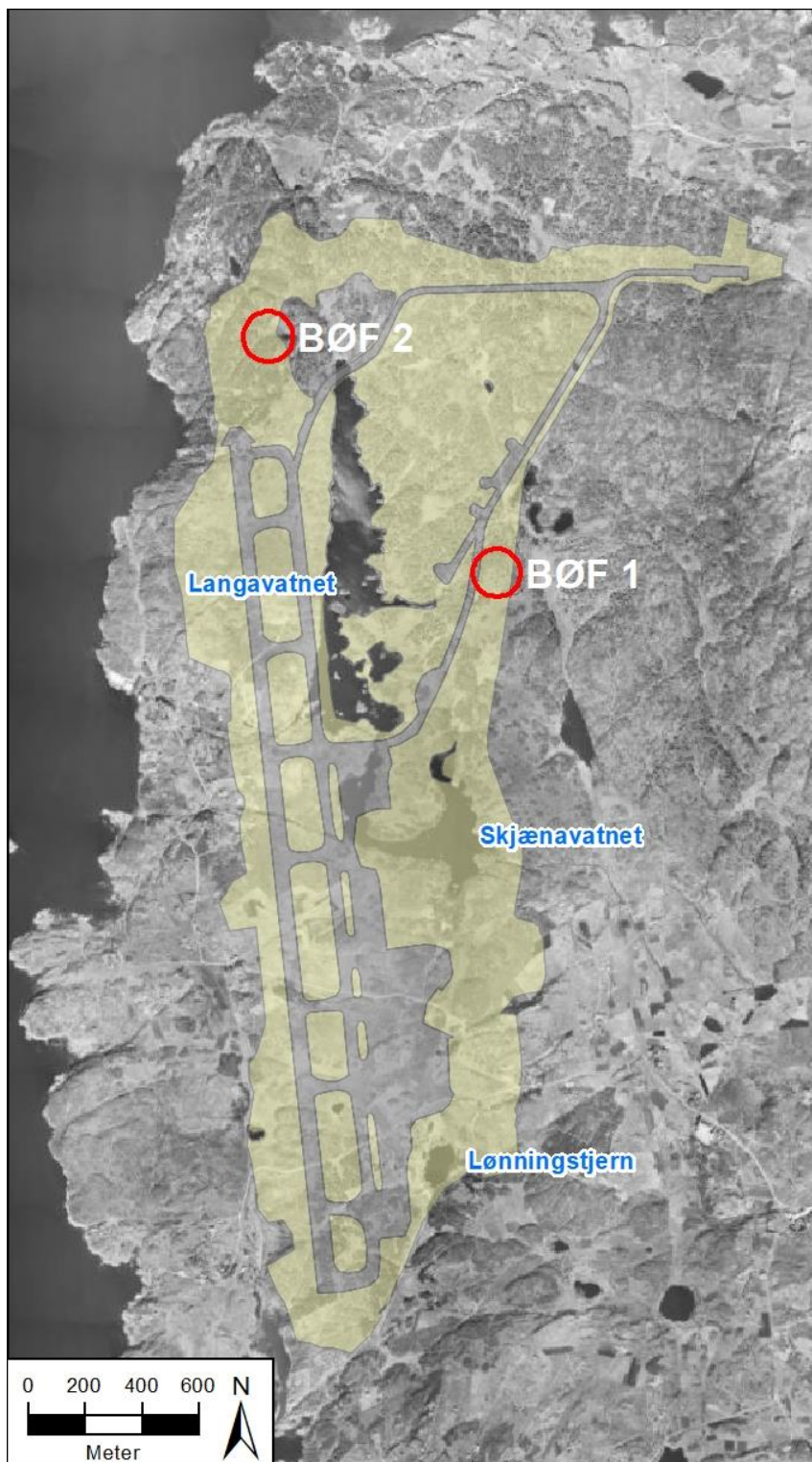
Det har siden lufthavnen ble tatt i bruk vært en rekke utvidelser og andre tiltak som har medført omdisponering og forflytning av masser. Flere områder på lufthavnen er tilført masser for utfylling i ulike tidsperioder, hvor blant annet et større område sør for Langavatnet ble delvis utfylt mellom 1970 og 1980, og deretter helt utfylt fra 2004 (Figur 2-4). Deler av dette utfylte området var opprinnelig et vann (Skjenavatn) [24]. Tidligere Lønningstjern ble utfylt i perioden 2013-2014. Dokumentasjon på denne utfyllingen og andre tilsvarende tiltak er imidlertid mangelfull.

Ved område for gammelt brannøvingsfelt (BØF2) nord for rullebanen er det i tidligere rapporter beskrevet at det er foretatt tiltak i form av utskifting av oljeforurensede (antatt også PFAS-holdige) masser. Disse massene skal være deponert innenfor lufthavnområdet, men det foreligger ikke dokumentasjon på hvor mye masser som ble fjernet, hvor disse ble deponert eller hvem som utførte tiltakene [24].

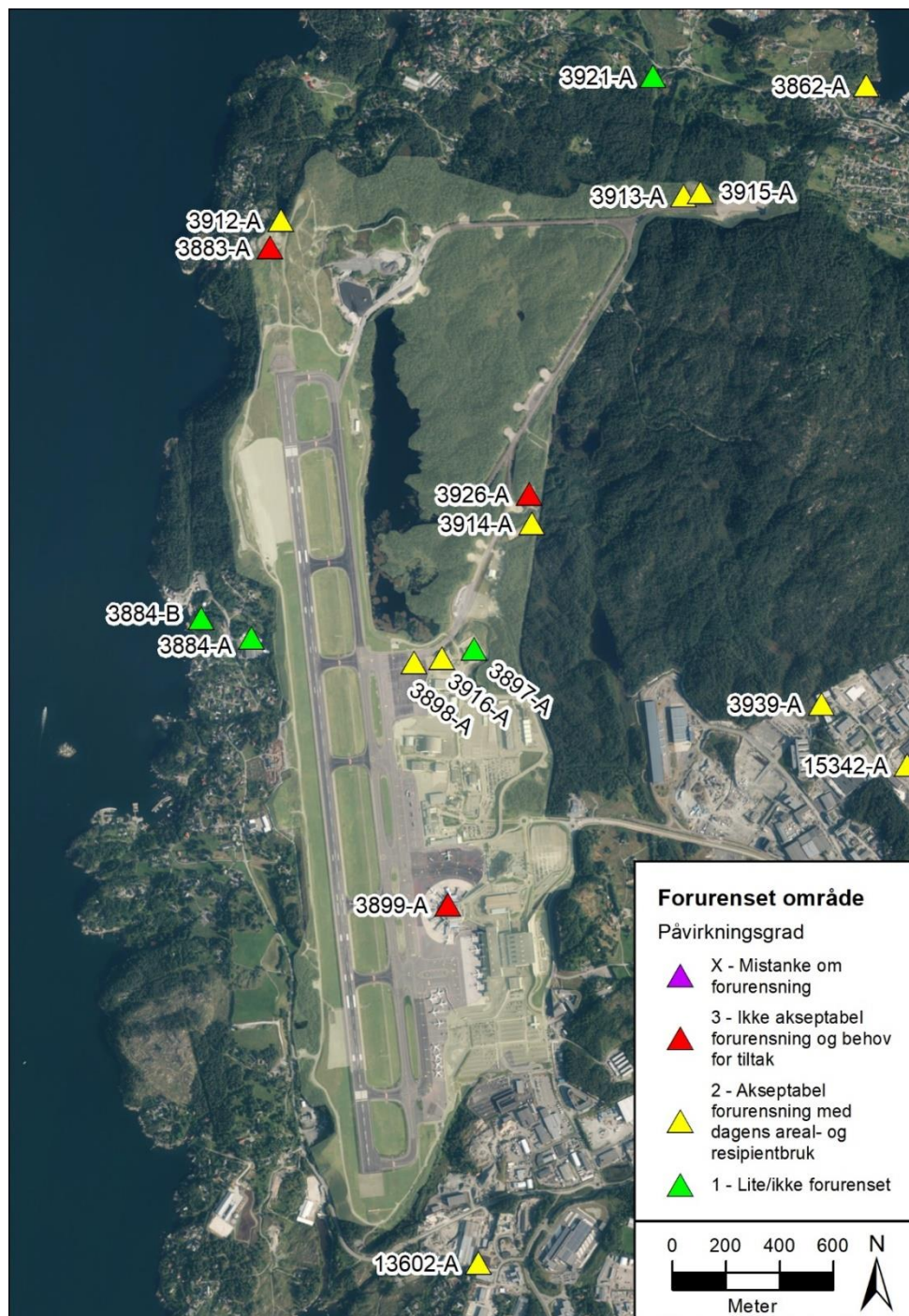
I Miljødirektoratets database Grunnforurensning (<https://grunnforurensning.miljodirektoratet.no/>) er det totalt registrert 12 lokaliteter med forurensset grunn på Bergen lufthavn Flesland (Figur 2-5). Tre av lokalitetene er registrert med påvirkningsgrad 3, som angir at forurensningsgrad er uakseptabel og at det er behov for tiltak (markert rødt i Figur 2-5). Disse omfatter sist nedlagte (3926-A) og gammelt (3883-A) brannøvingsfelt ved lufthavnen, samt lokalitet Kisteveita (3899-A) ved overvannsutløp i sørøst, hvor sistnevnte er registrert som forurensset av oljerelaterte forbindelser (THC).

Andre registrerte lokaliteter omfatter avfallsfylling i nord (3912-A), utløp i grunnen fra verksted (3915-A) og fylling ved transportbygg (3913-A) i nordøst, utløp fra COB-verksted i øst (3914-A), område ved hangar (3916-A), vaskeplass for helikopter (3898-A). Alle disse er registrert med påvirkningsgrad 2, som angir at forurensningen er akseptabel med dagens areal- og resipientbruk.

Tre lokaliteter, herunder to tankanlegg i vest (3884-A og 3884-B) og tankstasjon for diesel i øst (3897-A) er registrert som lite eller ikke forurensset (påvirkningsgrad 1).



Figur 2-4: Flyfoto av område ved Flesland fra 1951. Dagens lufthavnsområde er vist med transparent polygon. Bildet viser vanndekt areal mellom Langavatn og Skjænavatn som i dag er gjenfylt. Lønningstjern er i dag gjenfylt i sin helhet.



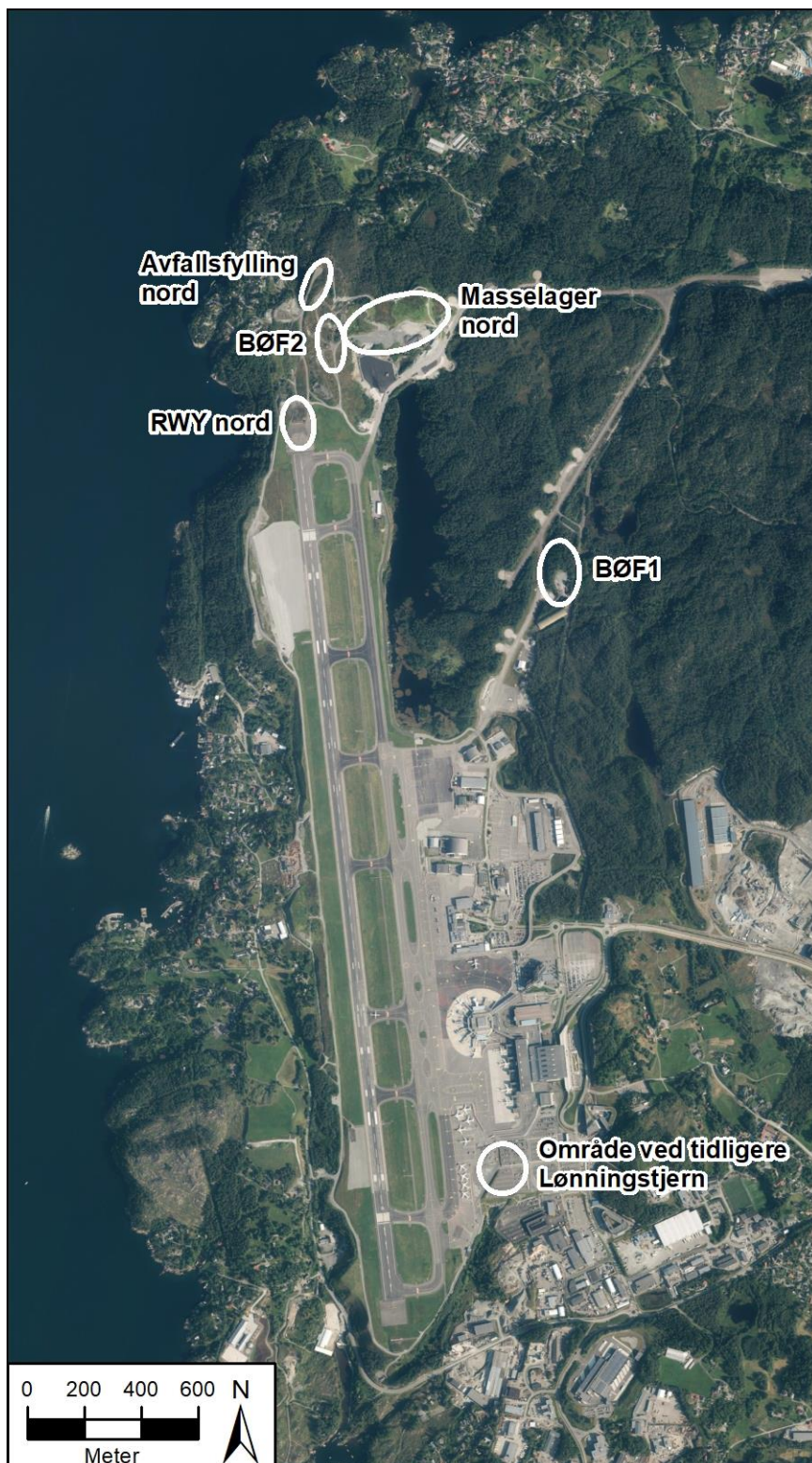
Figur 2-5: Registrerte lokaliteter med forurensset grunn ved Bergen lufthavn Flesland. Punktplassering, symbolikk og punkt-ID er hentet fra Miljødirektoratets database Grunnforurensning (<https://grunnforurensning.miljodirektoratet.no/>).

2.5 Mulig PFAS-forurensede lokaliteter

Kjente PFAS-forurensede lokaliteter ved lufthavnen omfatter begge de nedlagte brannøvingsfeltene, der det i periodene feltene var i bruk ble benyttet PFAS-holdig brannskum. I tillegg er det rapportert at område under fylling for rullebane (RWY) i nord ble benyttet til brannøvelser i perioden 1970-tallet til tidlig 1990-tallet [21], og det antas derfor at dette området og kan være forurensede av PFAS.

Andre mulig PFAS-forurensede lokaliteter omfatter avfallsfylling ved Steinfjelltjern i nord og område for masselagring i nordøst.

Det er også rapportert om at område langs vei sørvest for sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) skal ha blitt benyttet til testing av siktebildet på skumkanoner. Det skal kun ha blitt benyttet vann til testingen, men det kan ha forekommet rester av skum i systemene (tanker, slanger, mm.) på bilene. Brannbilene skal ha blitt rengjort på tett dekke på avisingsplattform sentralt på lufthavnområdet [21].



Figur 2-6: Kjente og mulig PFAS-forurensede lokaliteter basert på kjennskap til historisk bruk av brannskum og masselagring på lufthavnen.

2.5.1 Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

Det sist nedlagte brannøvingsfeltet (BØF1) ligger på delvis utsprengt fjell sør for en skogkledd kulle. På den skogdekte delen av kollen er det kun tynt lag med organiske masser over fjell [21].

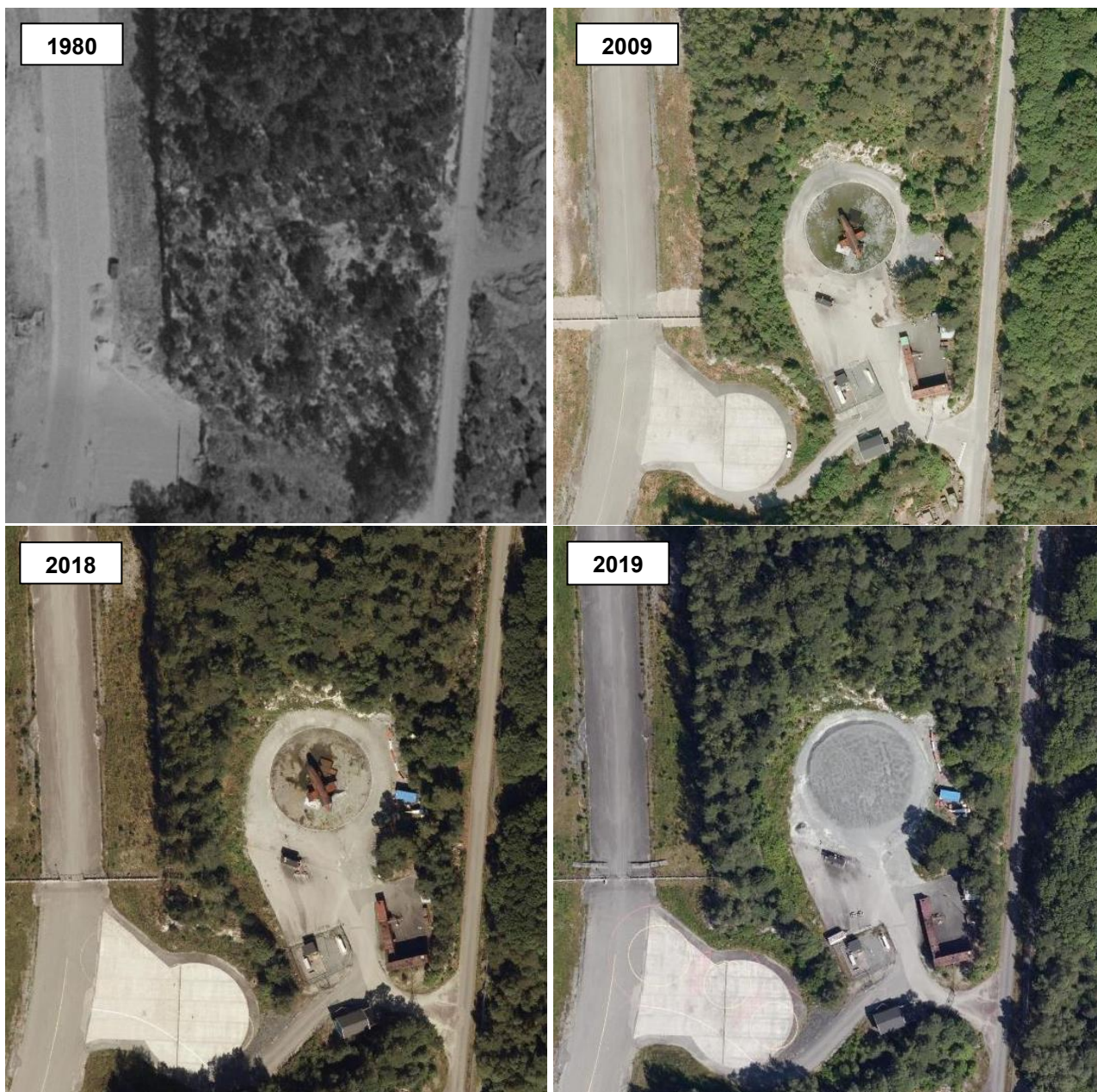
Brannøvingsfeltet (BØF1) er etablert med en sentral betongplate, hvor det sto utplassert et øvingsobjekt (flysimulator) den gang feltet var i bruk (se Figur 2-8). Avrenningsvann fra betongplaten ble ledet til oljeutskiller og videre til kommunalt nett med utløp i Raunefjorden. I overløpssituasjoner ble avrenningen ledet til Langavatnet [21].

Det sist nedlagte brannøvingsfeltet (BØF1) ved Bergen lufthavn ble etablert i 1995 og var i drift frem til 2018 (Figur 2-8). I forbindelse med risikovurdering utført i 2016, ble det estimert at det hadde blitt benyttet om lag 580 kg PFOS på feltet i perioden 1995-2001, og videre 430 kg PFAS etter utfasing av PFOS i 2001. Totalt årlig skumforbruk ble estimert til 2 300 liter [21].

Det ble i 2019 gjennomført et midlertidig tildekkingstiltak for å begrense utlekking og spredning av forurensning fra sentrale deler av brannøvingsfeltet. Tiltaket omfattet overdekning av betongplate, overliggende grus og gjenværende vannbeholder av stål med rene masser (0-4 mm) og fiberduk (Drefon 500S), og deretter påsveiset tett duk (MAPEPLAN) (Figur 2-7). Det ble deretter lagt ren sand/grus over tett duk for å sikre at duken blir liggende fast mot grunnen [25].



Figur 2-7: Tildekking av betongplate sentralt på feltet i 2019. Bilde hentet fra [25].



Figur 2-8: Historiske flyfoto som viser sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) før etablering av feltet (1980), etter etablering av feltet (2008 og 2018), og etter tildekking av betongplate sentralt på feltet (2019) (flyfoto fra kart.finn.no).

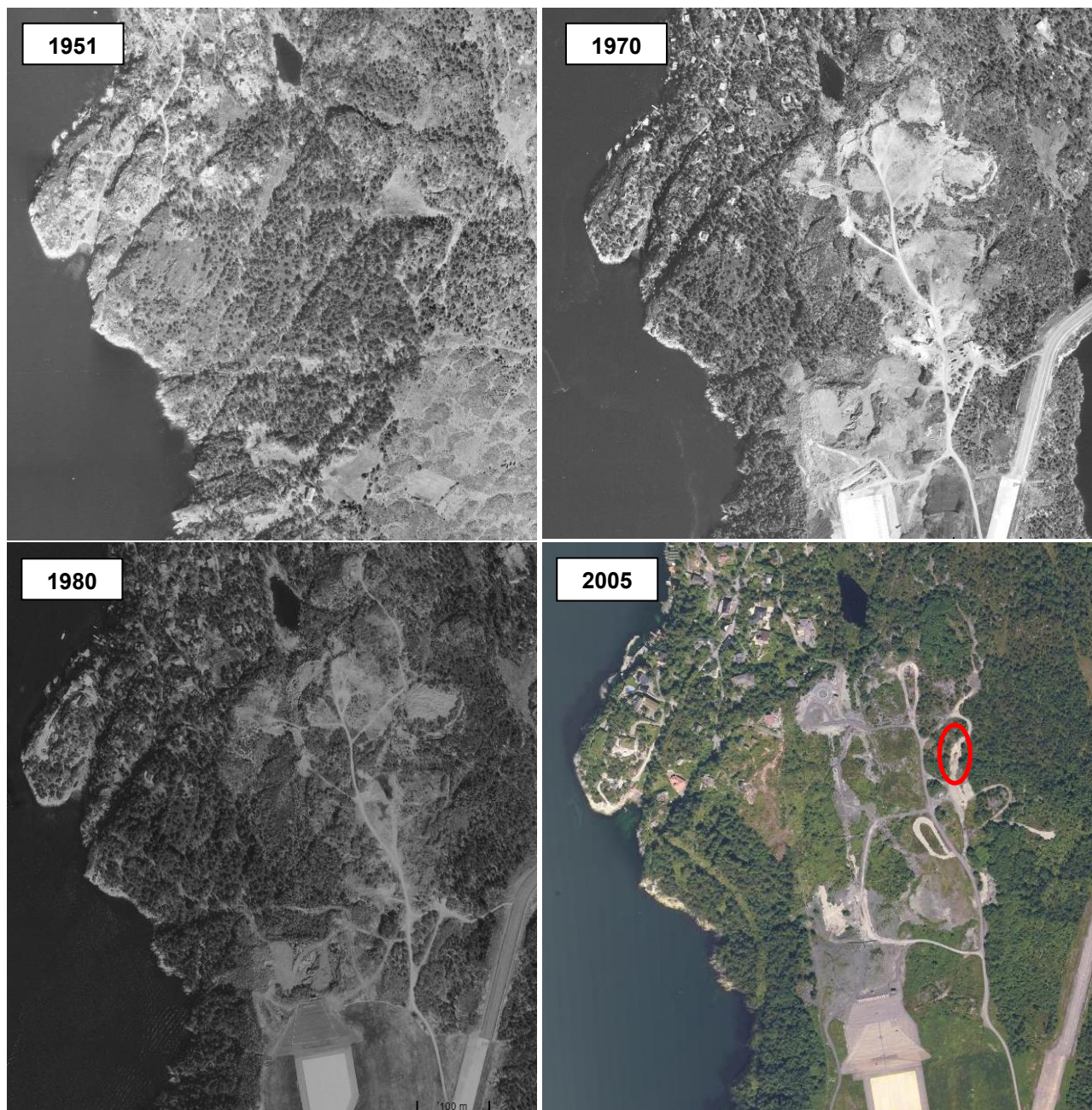
2.5.2 Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

Gammelt brannøvingsfelt (BØF2) ligger om lag 55 m o.h. nord på lufthavnområdet. Grunnforholdene er karakterisert av kupert berggrunn under stedegen torv og grove, tilførte fyllmasser av varierende mektighet. Mektighet av fyllmasser varierer mellom <0,5 m til >4 m, og det er i forsenkninger dels stor mektighet av organiske masser (torv) under tilført lag av fyllmasser.

Gammelt brannøvingsfelt (BØF2) ved Bergen lufthavn var i bruk i perioden 1957 til 1993 (Figur 2-9 og Figur 2-10). Feltet ble benyttet til øvingsaktivitet av Avinor, Forsvaret og kommunalt brannvesen. I forbindelse med risikovurdering utført i 2016, ble det estimert at det hadde blitt benyttet om lag 1450 kg PFOS på feltet i løpet av den perioden feltet var i bruk. Totalt årlig skumforbruk ble estimert til 2 300 liter [21]. Det var ingen system for oppsamling av vann, kjemikalier og skum på feltet [26].



Figur 2-9: Brannøvelse på 1950-tallet. Bilde fra Avinors bildearkiv (hentet fra [26]).



Figur 2-10: Historiske flyfoto som viser område for gammelt brannøvingsfelt (BØF2) før etablering av feltet (1951), i perioden feltet var i bruk (1970 og 1980), og etter at feltet ble tatt ut av bruk (2005) (flyfoto fra kart.finn.no). Rød sirkel markerer simulator for øvingsaktivitet (utplassert på 1980-tallet).

2.5.3 Avfallsfylling nord

Avfallsfylling nord er etablert i en ravinedal rett ved Steinfjelltjern nord på lufthavnen. Det er i tidligere rapporter beskrevet at farlig avfall, så som spillolje, maling, lim og lakkrester ble deponert her. Fyllingen ble etablert i 1957 og nedlagt i 1986. Det er etter nedleggelse av fyllingen ikke utført andre tiltak enn naturlig revegetering, og det er vurdert som sannsynlig at fyllingen fortsatt inneholder farlig avfall [24].

Gjennom område for avfallsfylling ble det i 2012 etablert en ny vei, utrykningsvei nord, med snuplass øst for Steinfjelltjern. Området ble undersøkt av Multiconsult, og det ble ved undersøkelse påvist forurensning av PAH, tungmetaller og olje i tilstandsklasse 2, i tillegg ble det også påvist PFOS i massene (<20 µg/kg). Masser (750 m³) ble fjernet fra området på grunn av veien og håndtert etter godkjent tiltaksplan, hvilket innebar å flytte disse massene til område for gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Dette grunnet kjent PFAS-forurensning ved brannøvingsfeltet, og et ønske om å ikke blande PFAS-holdige masser med andre masser [26].

Resultater fra miljøovervåkingen viser konsentrasjoner av ΣPFAS opp mot 300 ng/l i avrenning mot Steinfjelltjern (ENBR-filter-inn) og opp til 140 ng/l i selve Steinfjelltjern (ENBR-STF; 2014-2020; data mottatt fra Avinor). Om dette skyldes avrenning fra avfallsfylling nord eller andre kilder er uvisst, mulig en kombinasjon av bidrag fra flere kilder.

2.5.4 Område under fylling RWY nord

Det kommer frem i tidligere rapporter opplysninger om at område under fylling for rullebane (RWY) i nord ble benyttet til brannøvelser i perioden 1970-tallet til tidlig 1990-tallet [21]. Dette området har avrenning til Lindevikabekken. Området er ikke undersøkt med tanke på mulig PFAS-forurensning, da de antatt forurensede massene ligger under fylling for rullebaneforlengelse i nord, og dermed ikke er tilgjengelige for prøvetaking.

2.5.5 Område for masselagring i nordøst

Nordøst for det gamle brannøvingsfeltet (BØF2) ligger det et område for masselagring. Multiconsult utarbeidet i 2015 en statusrapport for dette området per september 2015 [27]. Etterfølgende informasjon er hentet fra denne rapporten, hvor området er omtalt som «Deponi Nord».

Området er et deponi for håndtering av masser fra flyplassområdet og prosjekter knyttet til aktiviteten på lufthavnen. Deponiet ble besluttet bygd fordi miljøgeologiske grunnundersøkelser hadde vist at det stedvis var løsmasser som var forurensset, men som ikke var mer forurensset enn at massene kunne omdisponeres inne på flyplassens område. I tillegg var det behov for en plass til å mellomlagre og sortere masser. Deponiområdet er også benyttet til behandling av masser i form av utsortering av stein.

Det vises til Multiconsults rapport for detaljer omkring søknader, tillatelser og retningslinjer, men det nevnes spesielt at det for PFOS-forurensede masser er laget egne kriterier:

Masser med PFOS-forurensning skal fortrinnsvis ikke legges i deponiet, selv om påviste PFOS-konsentrasjoner er under normverdier. Dette er for øvrig ikke et krav fra forurensningsmyndighetene, men et ønske fra oppdragsgiver.

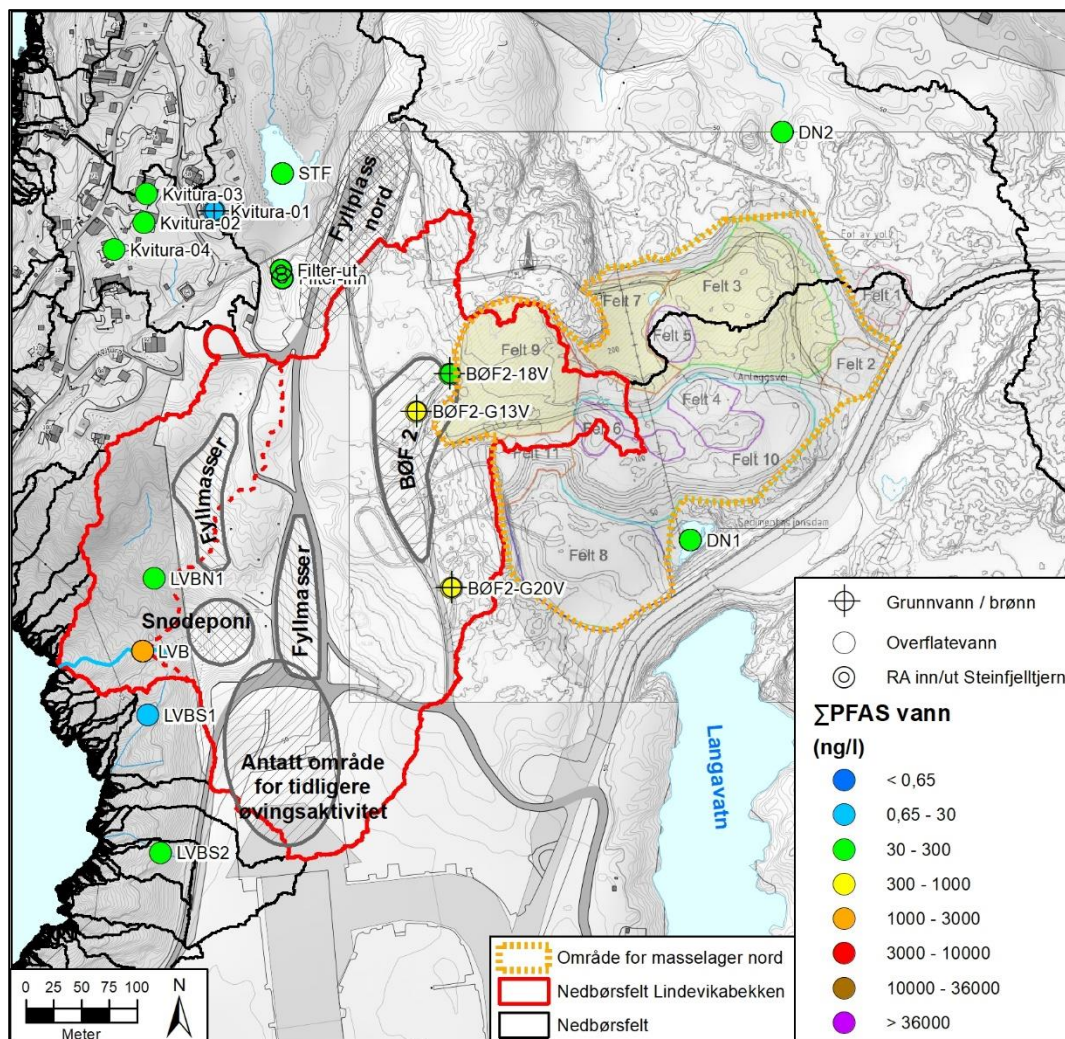
Deponering av masser ble påstartet tidlig 2010, og en rekke prosjekter har benyttet massedeponiet i perioden 2010-2015. Områder hvorfra masser er fraktet til Deponi Nord er vist i Figur 2-11. Det henvises til Multiconsults statusrapport for nærmere informasjon omkring masser fra de ulike prosjektene, men det påpekes at det ifølge rapporten er påvist PFOS i masser rundt Lønningstjern, både i gjenværende masser (to av fire prøver) og i masser lagt på deponiet (en av fem prøver; Felt 3 i Figur 2-12). Det ble ikke påvist konsentrasjoner over gjeldende normverdi (100 µg/kg) i noen av prøvene.

I tillegg til masser fra område ved tidligere Lønningstjern er det lagret sedimenter fra Langavatnet og Skjenavatnet som mulig kan inneholde PFAS [21]. Disse massene skal være lagt i Felt 7 i Figur 2-12 [27].

Avrenning fra masselagringsområdet går i hovedsak sørover mot Langavatnet, og nordover mot Grimstadfjorden (Figur 2-12). Resultater fra miljøovervåkingen viser konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 50-200 ng/l i avrenning sørover mot Langavatnet (ENBR-DN1; 2014-2021) og 100-500 ng/l i avrenning nordover mot Grimstadfjorden (ENBR-DN2; 2015-2021; data mottatt fra Avinor).



Figur 2-11: Oversikt over områder hvorfra masser er fraktet til område for masselagring i nord i perioden 2010-2015. Figur hentet fra [27].



Figur 2-12: Masselager nord med angivelse av felter for massedisponering. Masser fra området ved Lønningstjern med påvist PFOS (<100 µg/kg) ligger i Felt 3 [27], mens sedimenter fra Langavatn og Skjenavatn med mulig PFAS ligger i Felt 7 [27]. Begge felt ligger innenfor topografisk nedbørsfelt som drenerer mot nord.

2.5.6 Område ved tidligere Lønningstjern

Område ved tidligere Lønningstjern omfatter område ved sørlig del av rullebane, og inkluderer blant annet parkeringsområder og vegbaner ved ny terminal. Det er også nært tilgrensende næringsarealer utenfor selve lufthavnområdet.

Lønningstjern ble utfyllt i perioden 2013-2014, og det var i forbindelse med dette omfattende anleggsaktivitet og masseforflytning i området. Det er ikke kjent at det skal ha forekommet øvingsaktivitet med bruk av brannskum i dette området. Påvisning av PFAS i vann og biota i Lønningsbekken (se nærmere omtale i kap. 3.3.4.4) tilsier imidlertid at det kan være ikke-kartlagte kilder som bidrar til utlekking og spredning av PFAS fra dette området. Det er påvist PFAS (PFOS) i gjenværende masser på berg, samt i masser fra område ved Lønningstjern deponert på masselager nord (<100 µg/kg) [27].

2.6 Resipienter

2.6.1 Berørte vassdrag

Fleslandsvassdraget og Lønningsvassdraget er de to hovedvassdragene som er direkte berørt av Bergen lufthavn. Fleslandsvassdraget dekker sentrale deler av lufthavnområdet, mens Lønningsvassdraget ligger i sørlig del. Nedbørfeltene til begge vassdragene er sterkt endret i sørlige og vestlige deler som følge av utbygging av flyplassen [28]. Området på lufthavnens nordlige del har i hovedsak avrenning vestover til Lindevikabekken med utløp i Lindevika og Raunefjorden. Enkelte deler av området i nord har også avrenning nordover mot Steinfjelltjern, Kvernabekken og Grimstadfjorden, og sørover mot Langavatnet [21].

Fleslandsvassdraget omfatter flere mindre tjern og innsjøer. Lengst øst i vassdraget ligger Auretjern og Træsvatn. Auretjern har avrenning til Langavatn via lukket kulvert. Træsvatnet drenerer til Skjenavatnet (delvis utfyllt) og videre til Langavatnet. Langavatnet drenerer ut i Fleslandselven som har utløp i marin resipient Raunefjorden. Nedbørfeltet til Fleslandsvassdraget er 4,7 km², og har en spesifikk middelavrenning på 58 l/s/km², noe som gir en middelvannføring på om lag 270 l/s. nedbørfeltet består av 50% skog, 10% myr, 10% urbane flater, 6% dyrket mark og 6% innsjøareal [28].

Lønningsvassdraget omfatter tidligere Lønningstjern (nå utfyllt) og Lønningsbekken, med utløp i Raunefjorden. Lønningsvassdraget er sterkt forandret som følge av utbygging av flyplassen og tilgrensende næringsarealer. Det opprinnelige nedbørfeltet var på om lag 1 km², men er nå redusert til om lag 0,4 km² grunnet fraføring av overvann på større deler av arealet. Nedbørfeltet har en spesifikk middelavrenning på 57 l/s/km², noe som gir en middelvannføring på om lag 20 l/s [28].

2.6.2 Registrerte vannforekomster

Følgende vannforekomster er registrert i den nasjonale databasen Vannmiljø og portalen Vann-nett (se Figur 2-13 for lokalisering):

Træsvatnet (056-144376-L) er en liten innsjø like øst for lufthavnen. Økologisk tilstand er *moderat*, grunnet forhøyede nivåer av de vannregionspesifikke stoffene arsen, kobber og sink (data fra 2016-2020). Kjemisk tilstand er klassifisert til dårlig grunnet forhøyede konsentrasjoner av de prioriterte stoffene bly og nikkel. Registrerte målinger av PFOS viser lave konsentrasjoner (gjennomsnittskonsentrasjon 0,6 ng/l) [29]. Træsvatn er omgitt av furuskog og myr, og ligger skjermet fra mye av menneskelig aktivitet, inkludert påvirkning fra lufthavnen. Den er derfor benyttet som referanse på innsjø som i liten grad er påvirket av lufthavnaktivitet. Forhøyede konsentrasjoner av enkelte tungmetaller antas å ha sammenheng med leirdueskyting i området. Etablering av bybanens verkstedområde kan også ha medført økt påvirkning på vannet [30]. Træsvatnet er registrert med vanntype liten, kalkfattig og humøs [29].

Tverråna (056-185-R) er definert som egen vannforekomst og omfatter elver og bekker i Fleslandsvassdraget. Tverråna er klassifisert med antatt *god* økologisk tilstand, men med lav presisjon grunnet manglende datagrunnlag. Kjemisk tilstand er ikke satt grunnet manglende datagrunnlag for prioriterte miljøgifter. Tverråna er registrert med vanntype liten, kalkrik og klar [29].

Langavatnet (056-26819-L) er definert som en sterkt modifisert vannforekomst (SMVF) grunnet hydromorfologiske endringer som følge av dumping og fylling av masser. Vannforekomsten har derfor miljømål om *godt økologisk potensial*, heller enn *god økologisk tilstand*. Konkret for vannforekomsten er miljømålet at den skal være et fungerende akvatisk økosystem, noe som vil kunne oppnås dersom man fjerner eller åpner fylling [29]. Langavatnet er i Vann-nett registrert med *moderat* økologisk potensial, grunnet *moderat* tilstand for planteplankton (klorofyll a) (data fra 2012). Det er også registrert høye nivåer for de vannregionspesifikke stoffene kobber (Cu) og sink (Zn) (data fra 2014-2020). Kjemisk tilstand er klassifisert

til *dårlig*, grunnet høye nivåer av PFOS (data fra 2014-2020). Langvatnet er registrert med vanntype liten, kalkfattig og klar [29].

Lønningsbekken (056-86-R) er en bekk som går ut i Raunefjorden sør på lufthvanområdet.

Lønningsbekken er definert som en sterkt modifisert vannforekomst (SMVF) grunnet hydromorfologiske endringer som følge av dumping og fylling av masser (gjenfylling av tidligere Lønningstjern).

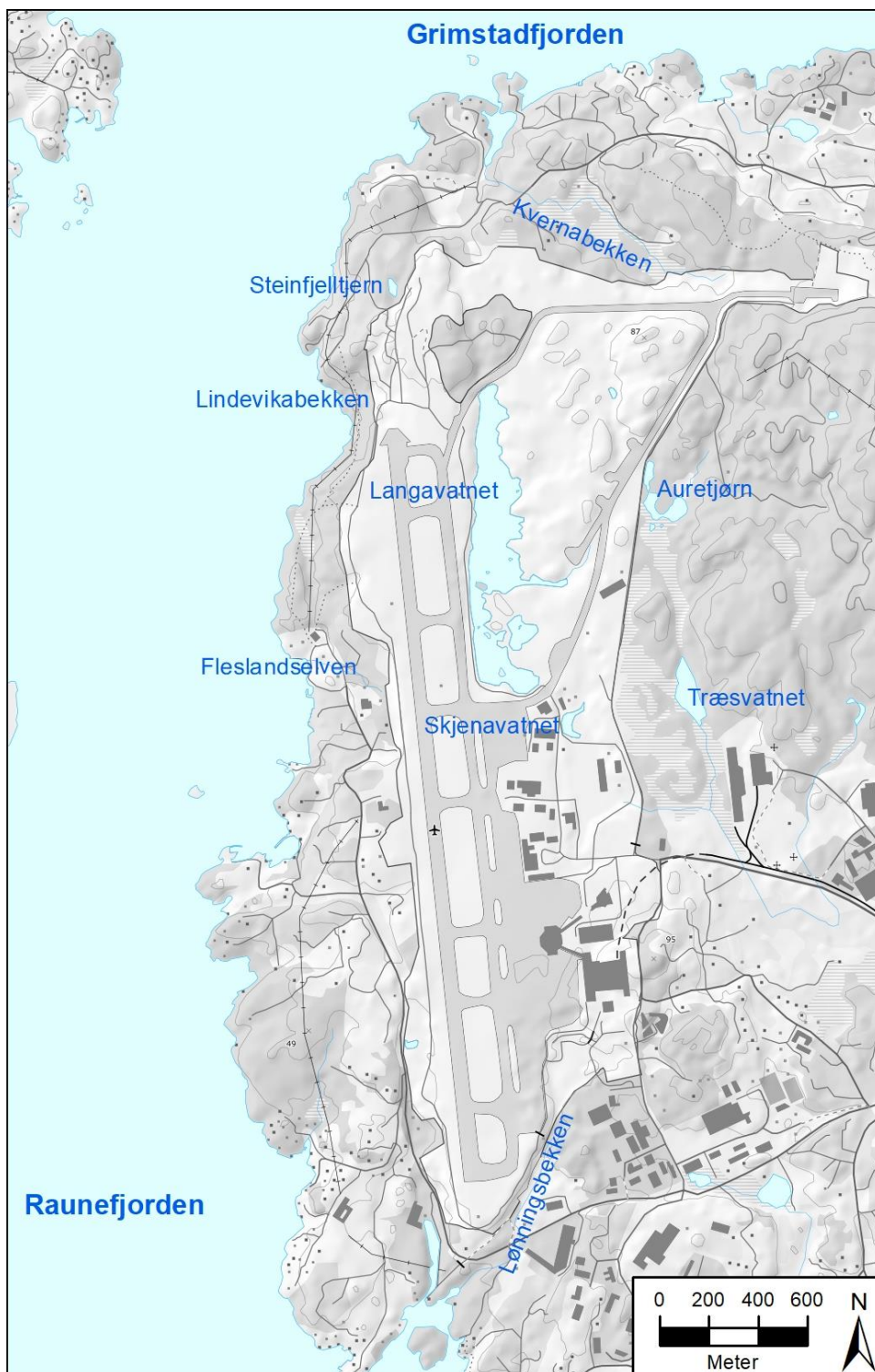
Lønningsbekken er klassifisert med *dårlig* økologisk potensial, grunnet dårlig tilstand for bunnfauna (ASPT) og svært dårlig tilstand for fisk. Det er også registrert forhøyede nivåer for det vannregionspesifikke stoffet kobber (Cu). Kjemisk tilstand er klassifisert til *dårlig* grunnet forhøyede nivåer av PFOS [29].

Kvernabekken (056-179-R) er en bekk nord for lufthavnen. Kvernabekken er klassifisert med *moderat* økologisk tilstand, grunnet moderat tilstand for de biologiske kvalitetselementene bunnfauna (ASPT) og fisk. Det er også registrert forhøyede nivåer for de vannregionspesifikke stoffene pyren og kobber (Cu). Kjemisk tilstand er klassifisert til *god*, men dette er basert på et svært begrenset datagrunnlag for prioriterte miljøgifter. Det er ikke registrert målinger av PFOS eller andre PFAS-forbindelser. Kvernabekken er registrert med vanntype liten, kalkrik og klar [29].

Bekkefelt Nordåsvannet (056-141-R) består av flere mindre bekkestrenger fordelt over et større område norøst for lufthavnen. Bekkefeltet omfatter også en mindre bekkestreng like vest for lufthavnen. Bekkefeltet er registrert med *moderat* økologisk tilstand grunnet moderat tilstand for bunnfauna (faglig vurdert) og hydromorfologiske endringer som følge av bekkelukkinger (rør). Kjemisk tilstand er klassifisert til *god* basert på et svært begrenset datagrunnlag (lav presisjon). Det er ikke registrert målinger av PFOS eller andre PFAS-forbindelser [29].

Kobbaleia (0261010600-C) er en beskyttet kyst/fjord. Kobbaleia er registrert med *moderat* økologisk tilstand grunnet forhøyede nivåer av de vannregionspesifikke stoffene pyren og benzo(a)antracen (målt i bunnsediment; data fra 2018). Kjemisk tilstand er *dårlig*, grunnet forhøyede nivåer av antracen og indeno(1,2,3-cd)pyren (målt i bunnsediment; data fra 2018). Det er ikke registrert målinger av PFAS i vannforekomsten. Vannforekomsten var tidligere registrert med stor grad av påvirkning fra industri, men dette er endret til liten grad av påvirkning da undersøkelser viser forbedret tilstand senere år [29].

Raunefjorden (0261010500-2-C) er en beskyttet kyst/fjord, med moderat vannutskifting (moderat oppholdstid for bunnvann). Vannforekomsten er i Vann-nett klassifisert til *god* økologisk tilstand basert på biologiske klassifiseringsdata. Kjemisk tilstand er ikke satt grunnet manglende datagrunnlag for prioriterte miljøgifter. Vannforekomsten er registrert som middels påvirket av punktutslipp fra industri [29].



Figur 2-13: Oversiktskart over resipienter ved Bergen lufthavn.

2.7 Naturmangfold

2.7.1 Terrestriske naturverdier

Naturverdier innenfor og i nærområdet til Bergen lufthavn Flesland består av flere mindre områder med relativt lite berørte skog- og myrområder nært innsjøer, samt to vassdrag, tjern og bekker som i varierende grad er påvirket av utfylling og avrenning fra flyplassutbyggingen.

2.7.1.1 Naturtyper

Det ble i 2011 kartlagt naturtypelokaliteter innenfor og ved lufthavnen. Disse lokalitetene omfatter følgende typer: *kystfuruskog*, *naturbeitemark*, *store gamle trær*, *rik edellauvskog* og *rik kulturlandskapssjø* [31]. Registreringer fra denne kartleggingen, samt registreringer i den nasjonale kartdatabasen Naturbase [32] er vist i Figur 2-14. En lokalitet med kystfuruskog øst for Langavatnet ble verdisatt som *viktig* (B), og de de fire andre lokalitetene ble verdisatt som *lokalt viktige* (C). Tre av lokalitetene ble kartlagt på Lilandshaugen, som ligger utenfor lufthavna, men er Avinors eiendom. To viltområder er tidligere registrert, Langavatnet og Skjenavatnet. Begge er vurdert som *viktige* (B) områder, men Skjenavatnet er i dag borte. Langavatnet er viktig som trekk- og rastelokalitet for en rekke våtmarksfugler som blant annet skjeand, knekkand og dvergdykker. Omkring 20 rødlistede fuglearter er registrert i området, men de aller fleste er registrert i forbindelse med trekk eller på vinterstid. Etter naturtypekartleggingen i 2011 har ytterligere arbeider ved lufthavnen ført til at en naturtypelokalitet (Lønnestjørna) og et viltområde (Skjenavatnet) er ødelagt ved utfyllinger. Lønningstjern (blå skravrur) var et næringsrikt tjern som fungerte som habitat for en rekke plantearter, ørret, ål samt enkelte mindre vannorganismer (verdi C). Lønningstjern ble fylt ut i 2013 som del av prosjekt for ny terminal. Lønningsbekken er bevart som avrenningsvei fra lufthavnen.

I tillegg er en naturtypelokalitet omtrent halvert i areal (Lilandshaugen). Det er registrert få rødlistede karplanter i forbindelse med naturtypelokalitetene. Ask (VU) og alm (VU) er registrert i rik edellauvskog. Et eldre funn av kystmarikåpe (EN) er gjort på vestsiden av rullebanen. Sølvbunke-eng (oransje skravrur) av verdi C ligger utenfor lufthavnens inngjerdede område, men er eid av Avinor.

Store deler av arealene mellom rullebanene og sidearealene inne på lufthavnsområdet består ellers hovedsakelig av triviell engvegetasjon som blir slått regelmessig.

2.7.1.2 Vassdrag og innsjøer

I Langavatnet finnes en stor populasjon med innlandsørret (*Salmo trutta*), og i Fleslandselven som renner ut fra Langavatnet, finnes sjørørret, ål (*Anguilla anguilla*) og stingsild (*Gasterosteidae*). Tettheten av fisk i Fleslandselven er imidlertid svært lav. Øverst i elva ved utløpet fra Langavatnet er det etablert en kulvert med fisketrapp, men en rekke vandringshinder nedstrøms skaper fortsatt i dag barrierer for oppvandring av sjørørret i Fleslandselven. Tilstand for fisk i Fleslandselva har også tidligere vært vurdert som svært dårlig, da sjørørrepopulasjonen i elva er redusert med 90% i henhold til opprinnelig estimert populasjonsstørrelse [33]. Årsakene til dette er som nevnt vandringsbarrierer nedstrøms, men trolig også redusert habitatkvalitet (mangel på gytegrus, mindre skjul, forurensset avrenning, samt redusert elveareal (fylling og etablering av kulverter).



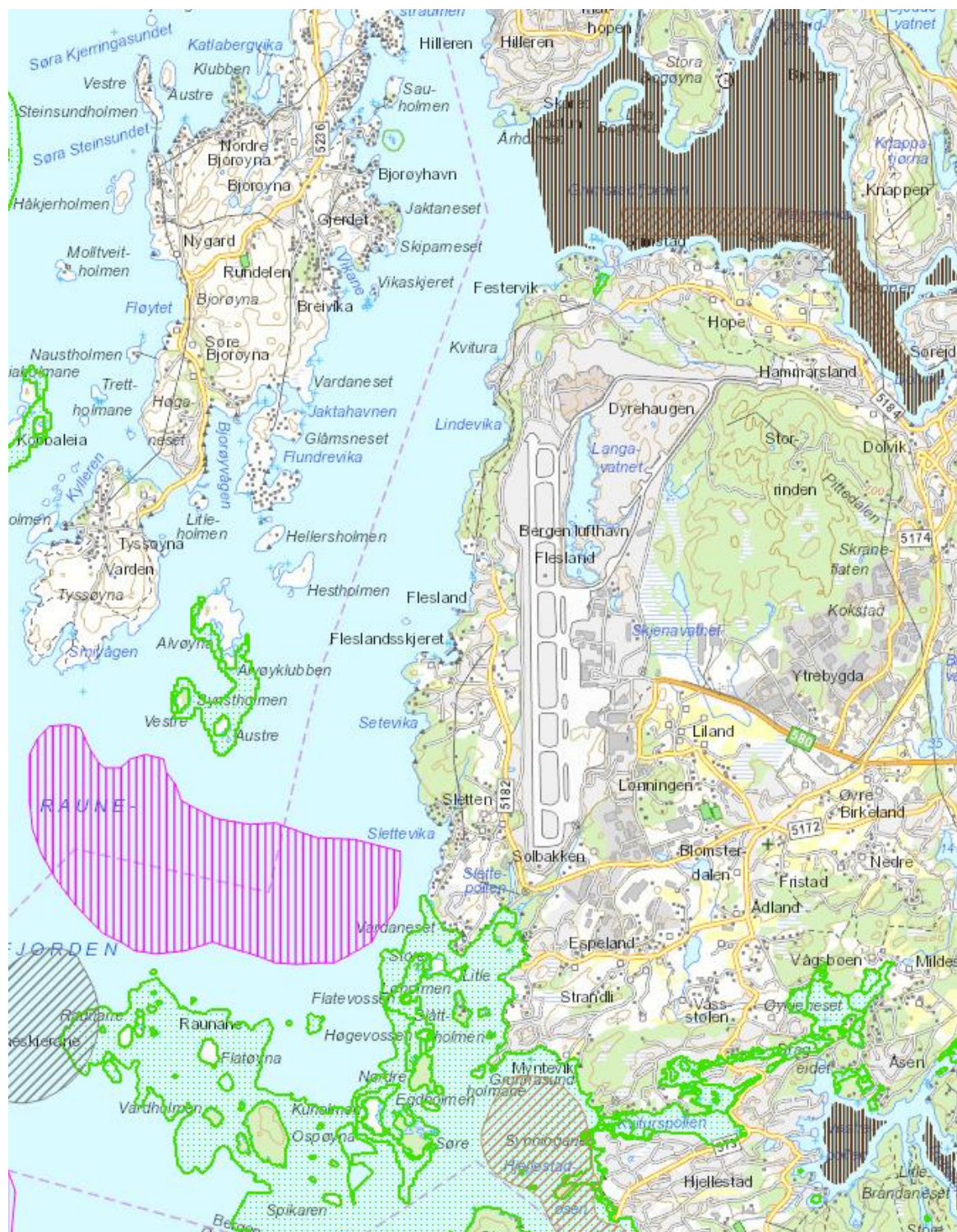
1. Kystfuruskog (B)
2. Naturbeite, sølbunkeeng (C)
3. Store gamle trær (C)
4. Rik edelløskog (C). Til stor del fjernet ifm. ny terminal, kun østlige deler gjenstår
5. Rik kulturlandskapssjø, Lønningtjern (C). Fylt ut i 2013.
6. Viktig viltområde, Langavatn (B)
7. Viktig viltområde, Skjenavatnet (B). Til stor del fylt ut, kun nordre del gjenstår

Figur 2-14: Områder med registrerte, viktige naturtyper ved Bergen lufthavn (skravur). Figur hentet fra [23].

2.7.2 *Marine naturverdier*

Rett vest for lufthavnen ligger Raunefjorden. Avstanden fra utløpet av kulvert under rullebanen i Fleslandselven og ned til fjorden i Kvernavika, er kun 300 m. Raunefjorden er en fjord mellom Sotra og Bergen, som strekker seg cirka 15 km nordover fra Korsfjorden i sør til Byfjorden og Hjeltefjorden i nord. Raunefjorden har en sidefjord, Grimstadfjorden, som ligger nord for Flesland.

Området nedstrøms rullebanen består av tre viker. Disse omfatter Lindevika, Setevika og Slettevika, og er alle delvis utbygget med boliger og fritidseiendommer. Området innehar sammenhengende strandlinjer med strand og berg med stedvis innslag av brygger og båtplasser. Det er ingen registrerte naturtyper direkte i og utenfor strandsonen rett nedstrøms lufthavnen. Det finnes imidlertid flere større marine naturtyper av stor verdi lenger ut i fjorden (Figur 2-15), og i strandsonen fra Lindevika til Slettevika, er det registrert en rekke observasjoner av sårbare sjøfugler som ærfugl (*Somateria mollissima*) og fiskemåke (*Larus canus*). Et stykke ut i fjorden, ca. 2 km rett vest for lufthavnsområde ligger Alvøyna, som er registrert som en *viktig* (B) naturtype, *større taeskogforekomster* (id: BM00077308). Nord for lufthavnen finnes Nordåsvatnet, som er Hordalands største gytefelt for torsk, og er vurdert som et nasjonalt viktig (A) gytefelt for kysttorsk. Nordåsvatnet er til tross for navnet en fjordarm på ca. 5 km² og to mil strandlinje i bydelene Fana, Fyllingsdalen og Ytrebygda i Bergen kommune, forbundet med Grimstadfjorden og videre til Raunefjorden. Omtrent 1,4 km sør for sørenden av lufthavnen ligger et svært viktig (A) naturområde *Stor Sotra* (id: BM00111879). Dette området innehar en rekke *større kamskjellforekomster*, og området er et arkipel som består samlet av flere øyer og holmer innenfor kommunene Bergen, Øygarden og Askøy. Utenfor Hjeltestad, fra strandsonen og nesten ut til øya Storakinna, har også Bergen Fiskarlag registrert et mindre uspesifisert gytefelt for saltvannsfisk.



Figur 2-15: Marine naturtyper ved Bergen lufthavn. Grønn skravering angir marine naturtyper. Brune/svarte skraveringer angir gyteområder. Lilla skravering angir rekefelt. Kartutsnitt fra Naturbase [32].

2.8 Kulturminner

Et søk i Kulturminnesøk (<https://www.kulturminnesok.no/>) viser flere registrerte kulturminner utenfor lufthavnområdet (Figur 2-16).

Det er ikke registrert kulturminner inne på selve lufthavnområdet. Tiltak for å rydde opp PFAS-forurensning ved lufthavnen vil ikke komme i konflikt med registrerte kulturminner.



Figur 2-16: Kartutsnitt fra Kulturminnesøk som viser lokalisering av registrerte kulturminner ved Bergen lufthavn.

3 Utførte undersøkelser

3.1 Tidligere utførte undersøkelser

3.1.1 *Delprosjekt 2 og risikovurdering*

De første undersøkelsene ved Avinors brannøvingsfelt ble utført i forbindelse med Avinors miljøprosjekt (DP2) i perioden 2010-2015. I perioden 2011-2012 gjennomførte Sweco og Cowi en innledende kartlegging av både gamle og aktive brannøvingsfelt med hovedfokus på PFOS i jord, og prøver av vann og biota ved noen av feltene. Det ble i denne forbindelse utført risikovurderinger av spredning av PFOS fra brannøvingsfeltene basert på Miljødirektoratets veileder 99:01 [34]. De innledende kartleggingene og risikovurderingene ble rapportert i en hovedrapport og egne DP2-rapporter for hver lufthavn [35] [36].

På bakgrunn av at det ble påvist PFOS ved nesten alle brannøvingsfeltene, ble det gjennomført en klassifisering av sannsynlig miljørisiko og sårbarhet ved lufthavnene med hensyn til konsekvens for nærmiljøet og lokale resipienter [36]. Klassifiseringen resulterte i at 18 lufthavner ble vurdert til usikkert risikonivå, eller tilsynelatende uakseptabel risiko. Ved disse 18 lufthavnene ble det av Sweco og Norconsult i 2012-2014 flere steder tatt prøver av biota, og enkelte steder supplerende prøver av jord og vann. Basert på resultatene fra alle undersøkelsene utførte Sweco og Norconsult i 2015-2016 en utvidet risikovurdering av lokale forhold for de 18 lufthavnene som ble rapportert i egne rapporter for hver lufthavn [21].

I DP2-undersøkelsen ble det tatt ut jordprøver i 11 prøvepunkter i området rundt sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Alle prøvene ble tatt som overflateprøver (0-20 cm). Det ble ikke prøvetatt masser sentralt på feltet grunnet manglende kabelpåvisning. Totalt 11 jordprøver ble analysert. Analyseresultatene viste høyeste konsentrasjon av PFOS i skogsjord om lag 10 m nord for øvingsplattformen (8250 µg/kg) (se Figur 3-4). Det ble også tatt vannprøver i kum, grunnvannsbrønn og bekk som mottar avrenning fra brannøvingsfeltet [35].

Ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2) ble det tatt ut jordprøver i 20 sjakter, samt enkelte overflateprøver av jord. Totalt 20 jordprøver ble analysert. Det ble også satt ned tre grunnvannsbrønner i sjakter på feltet. Resultater fra undersøkelsene viste generelt lave/moderate konsentrasjoner av PFOS i jord (<100 µg/kg), med unntak for høyere konsentrasjoner i enkelte punkter (opp til 875 µg/kg i prøvepunkt G4) (se Figur 3-8). Det ble også tatt vannprøver i grunnvannsbrønner, diffuse vannsig og bekk som mottar avrenning fra brannøvingsfeltet [35].

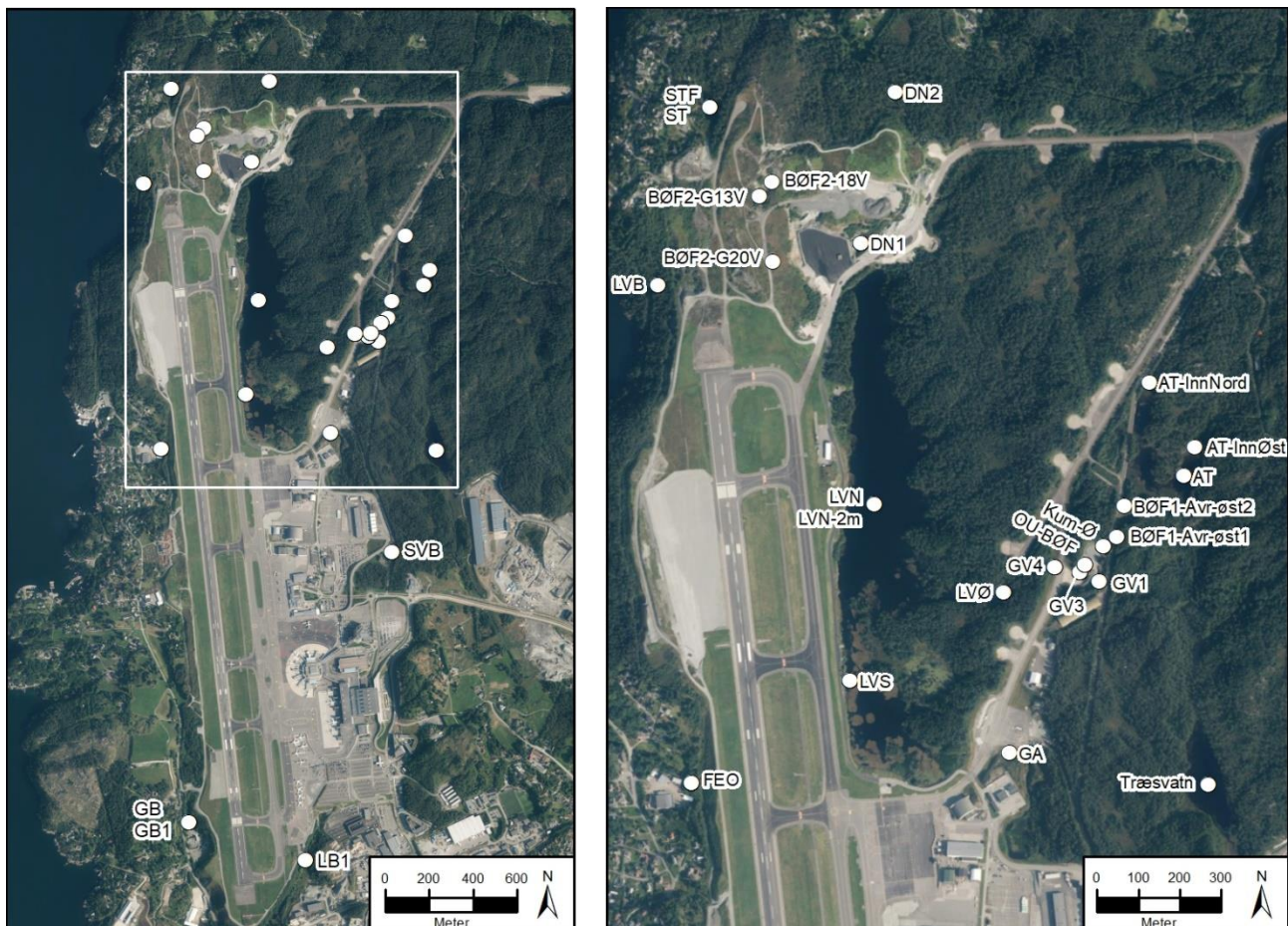
Den utvidede lokale risikovurderingen for Bergen lufthavn ble utført i 2015/2016. Det ble da utført en vurdering av risiko knyttet til menneskelig helse, og risiko knyttet til økosystem som følge av PFAS-forurensningen ved brannøvingsfeltene på Bergen lufthavn. Risiko ble vurdert ut ifra undersøkelsene gjort i forbindelse med DP2-prosjektet, i tillegg til supplerende prøver av vann i relevante spredningsveier og biota (ørret) i resipient Langavatnet. Det ble også utført supplerende analyser av jordprøver som var lagret fra DP2-undersøkelsene.

3.1.2 *Miljøovervåkning 2010-2021*

Bergen lufthavn er pålagt å utføre overvåkning av utslipp til vann, grunnvann og sjø gjennom sin utslippstillatelse. I tillegg er det stilt krav om resipientundersøkelser [23].

Resultater fra miljøovervåkingen ved lufthavnen for perioden 2010-2019 er sammenstilt av NORCE (tidligere Uni Research Miljø) på oppdrag for Avinor. Det er som del av miljøovervåkingen også utført biologiske undersøkelser i berørte resipienter [30] [37] [33] [38].

En oversikt over prøvepunkter som overvåkes for PFAS som del av lufthavnens miljøovervåkningsprogram (MOV) er vist i Figur 3-1.



Figur 3-1: Oversikt over prøvepunkter som overvåkes for PFAS som del av lufthavnens miljøovervåkningsprogram (MOV). I figuren vises også prøvepunkter som er prøvetatt som del av supplerende undersøkelser 2020-2021.

3.2 Supplerende undersøkelser 2020-2021

Det ble i 2020-2021 utført omfattende supplerende undersøkelser ved begge brannøvingfeltene på lufthavnen. Det ble utført kartlegging av PFAS i jord for bedre å kunne vurdere utbredelse og konsentrasjonsfordeling av forurensningen, og foreta beregning av mengder Σ PFAS i jord som grunnlag for beregning av kost/effekt av tiltak. Det ble også utført supplerende prøvetaking av vann for å kartlegge omfang av utlekking og spredning av PFAS fra brannøvingfeltene, samt prøvetaking av biota (ørret) i ferskvannsresipient Langavatnet.

De supplerende undersøkelsene i jord hadde som formål å avgrense PFAS-forurensningens utbredelse med hensyn på tiltaksbehov. For å vurdere om PFAS-forurensning ved en lokalitet kan anses avgrenset for tiltak vurderes om ett eller flere av følgende kriterier er gjeldende:

1. Om det er avdekket en definert «hot spot» i jord med konsentrasjoner $>30 \mu\text{g/kg}$ innenfor et areal hvor flere prøvepunkter utenfor viser lavere konsentrasjoner

2. Om konsentrasjoner i dybden er avgrenset til $<30 \mu\text{g/kg}$ i de dypeste prøvene
3. Topografisk avgrensning (fjell, sjø ol.)
4. Avgrensning ved målinger i brønner

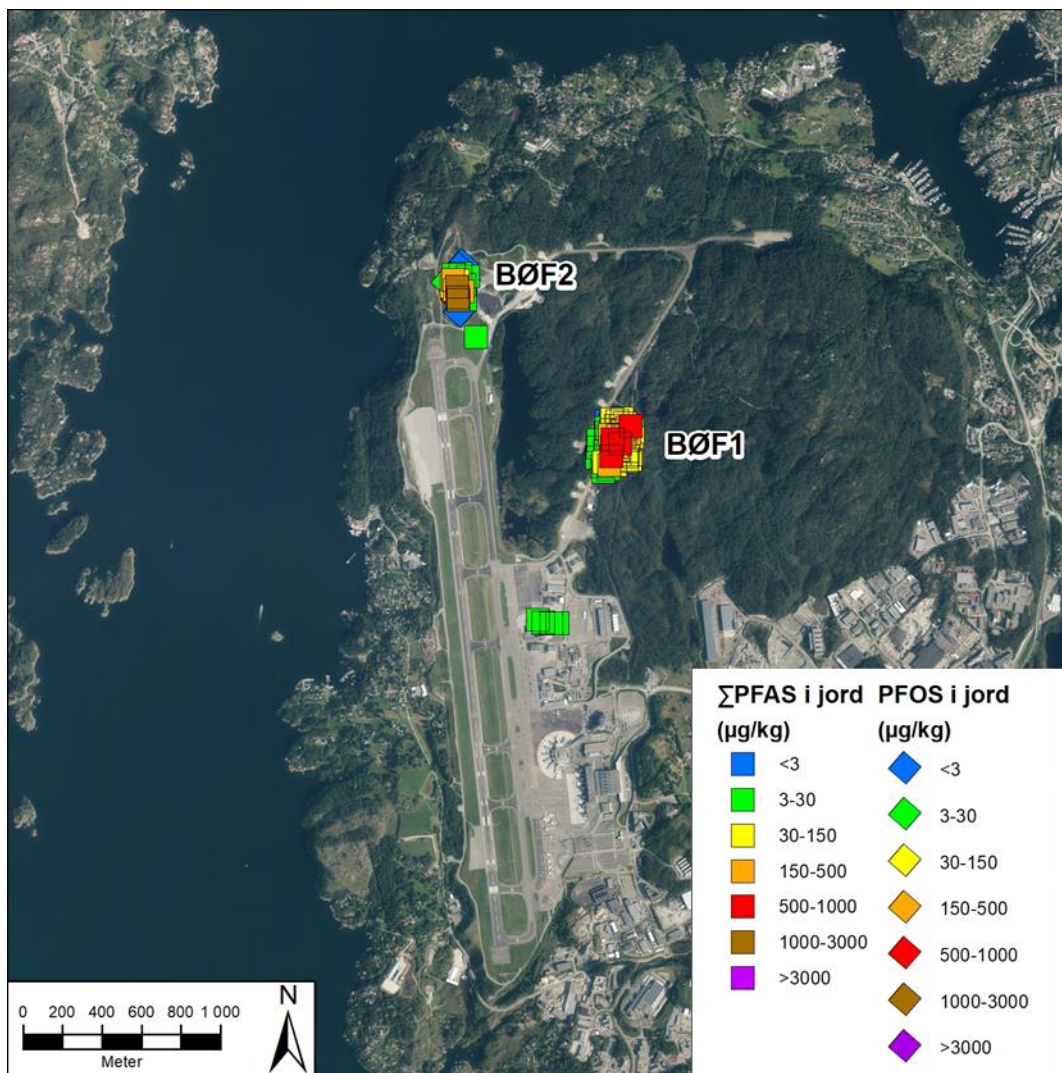
Resultater fra supplerende undersøkelser ved brannøvingsfeltene er kort oppsummert under og mer utfyllende beskrevet i egne resultatrapporter gitt i Vedlegg A og B.

3.3 Oppsummering av resultater

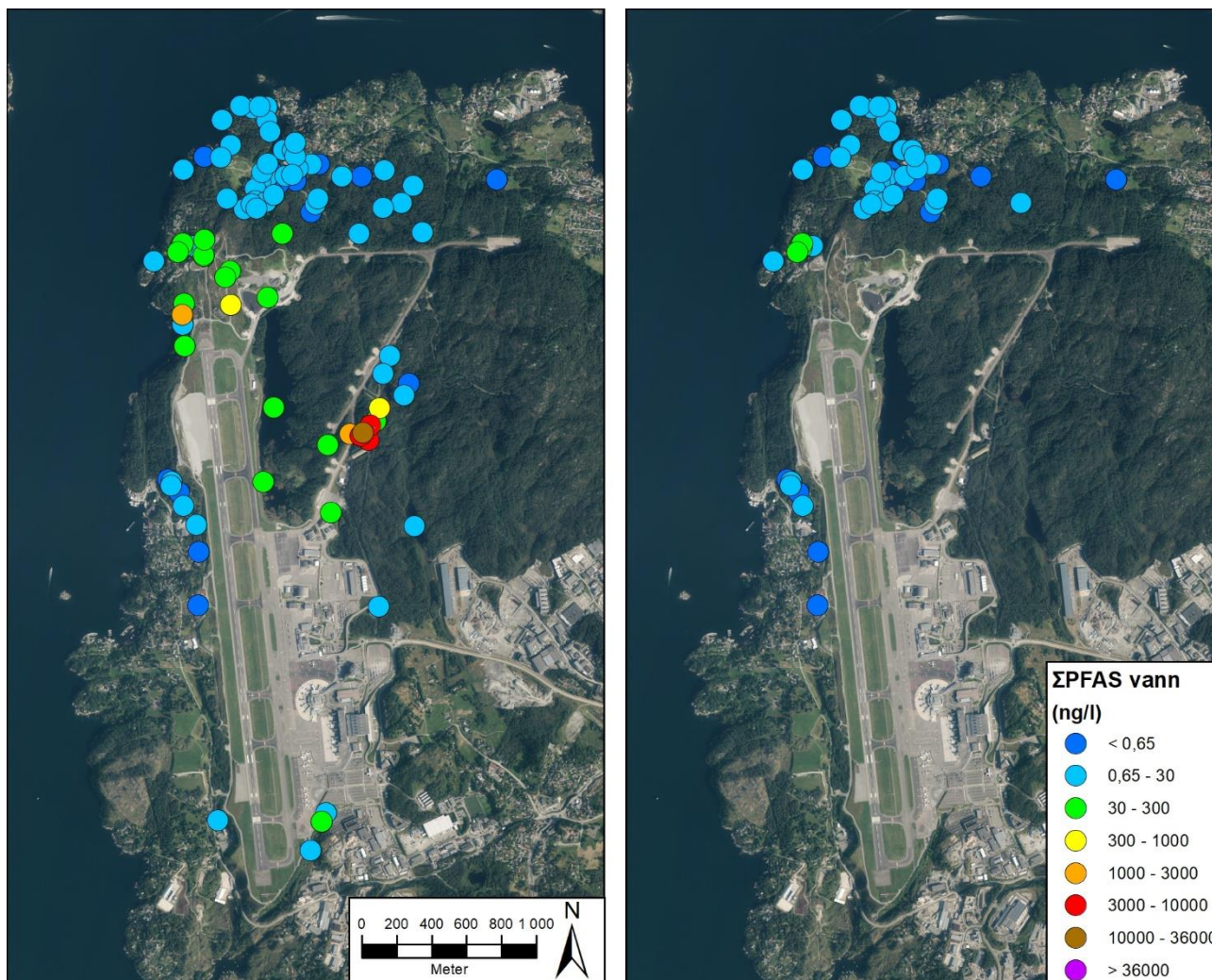
3.3.1 *Hele lufthavnen*

En sammenstilling av resultater fra utførte undersøkelser av PFAS i jord og vann for hele lufthavnen er vist i Figur 3-2 og Figur 3-3. Utført kartlegging av PFAS i jord er i all hovedsak rettet mot områdene ved brannøvingsfeltene, med unntak av prøver fra et enkelte prøvepunkt ved terminalområdet som også er analysert for PFAS. Det er i prøvene fra terminalområdet påvist lave konsentrasjoner av ΣPFAS ($<30 \mu\text{g/kg}$) (Figur 3-2).

Resultater fra utført prøvetaking av vann viser at det påvises PFAS i prøvepunkter over det meste av lufthavnområdet, men med klart høyeste konsentrasjoner i vannprøver tatt ved brannøvingsfeltene og i aktuelle spredningsveier fra disse. Det er for område i nordlig del av lufthavnen påvist PFAS i avrenningsvann og grunnvann over et større område, også utover det som skyldes avrenning fra brannøvingsfeltet (BØF2) (Figur 3-3).



Figur 3-2: Resultater fra undersøkelser av PFAS i jord for hele lufthavnområdet.



Figur 3-3: Resultater fra undersøkelser av PFAS i vann for hele lufthavnområdet (median for alle prøver i prøvepunktet). Utsnitt til venstre viser alle prøvepunkt, mens utsnitt til høyre viser kun drikkevannsforsyninger.

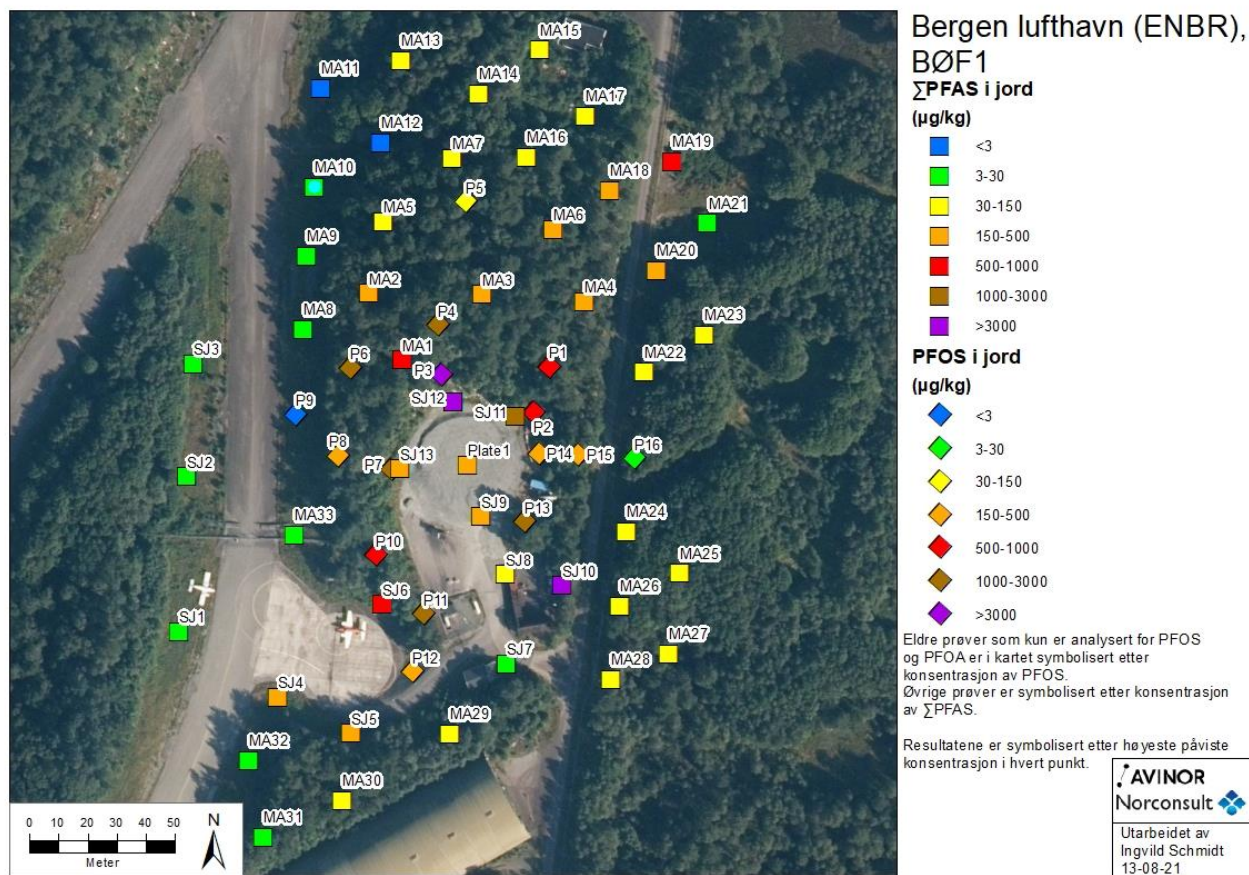
3.3.2 Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

Resultater fra utførte undersøkelser ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) viser generelt høyeste konsentrasjoner av ΣPFAS i fyllmasser sentralt på feltet, i området ved øvingsplattform/betongplate (Figur 3-4). Det er påvist særlig høye konsentrasjoner i fyllmasser i prøvepunkt SJ12 like nord for betongplate (opptil 35 000 µg/kg), og i prøvepunkt SJ10 ved containere/øvingsobjekter sørøst for betongplaten (3700 µg/kg). Selv om det i enkelte prøvepunkt er påvist svært høye konsentrasjoner i hele den undersøkte dybden, vurderes allikevel forurensningen i all hovedsak å være avgrenset av underliggende fjell på sentrale deler av feltet.

Det er påvist høye konsentrasjoner av ΣPFAS i flere prøvepunkter i skogdekt område like nord for feltet, med høyeste konsentrasjoner i prøvepunkt nærmest øvingsfeltet (800-8300 µg/kg), og avtakende konsentrasjoner i prøvepunkter lenger nord. Forurensningen er i dette området avgrenset til <100 µg/kg i nordlig del, og av underliggende fjell i dybden. Det er mangelfull avgrensning mot nordøst.

Analyseresultatene viser generelt lavere konsentrasjoner av Σ PFAS vest ($<10 \mu\text{g/kg}$) og sør (opptil $30 \mu\text{g/kg}$) for feltet.

Det er påvist noe høyere konsentrasjoner øst for feltet (opptil $3700 \mu\text{g/kg}$), og forurensningen er dels mangelfullt avgrenset i østlig retning. Området øst for brannøvingsfeltet er dominert av noe utsprengt fjell i dagen (langs veitrase), og områder utfyllt med grove sprengsteinsmasser antatt over stedegne løsmasser. De prøvetatte massene representerer i hovedsak tynt organisk løsmassedecke over grovere fyllmasser. Dypere liggende stedegne masser er ikke prøvetatt.



Figur 3-4: Resultater fra tidligere og supplerende miljøtekniske grunnundersøkelser ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1).

Massene sentralt på feltet er generelt dominert av grove fyllmasser i varierende mektighet over fjell ($1,1 - >1,7 \text{ m}$). I skogdekt område nord for feltet er det tynt løsmassedecke over fjell (organisk jord $0,2-0,4 \text{ m}$ mektighet, med varierende innblanding av mineraljord i dybden) (Figur 3-5). Masser i områdene sør, øst og vest for brannøvingsfeltet er i stor grad karakterisert av tynt organisk løsmassedecke over utfylte masser (sprengstein). Det ble under supplerende undersøkelser ikke påtruffet grunnvann i noen av prøvepunktene.

PFOS utgjør mellom 2-100% av Σ PFAS i de analyserte prøvene. I masser sentralt på feltet, der hvor konsentrasjonene er høyest, utgjør PFOS $>60\%$ av Σ PFAS i de fleste prøvene. Andre forbindelser som bidrar til totalkonsentrasjonen er blant annet 6:2 FTS, 8:2 FTS, PFDS, PFHxS og PFOSA.

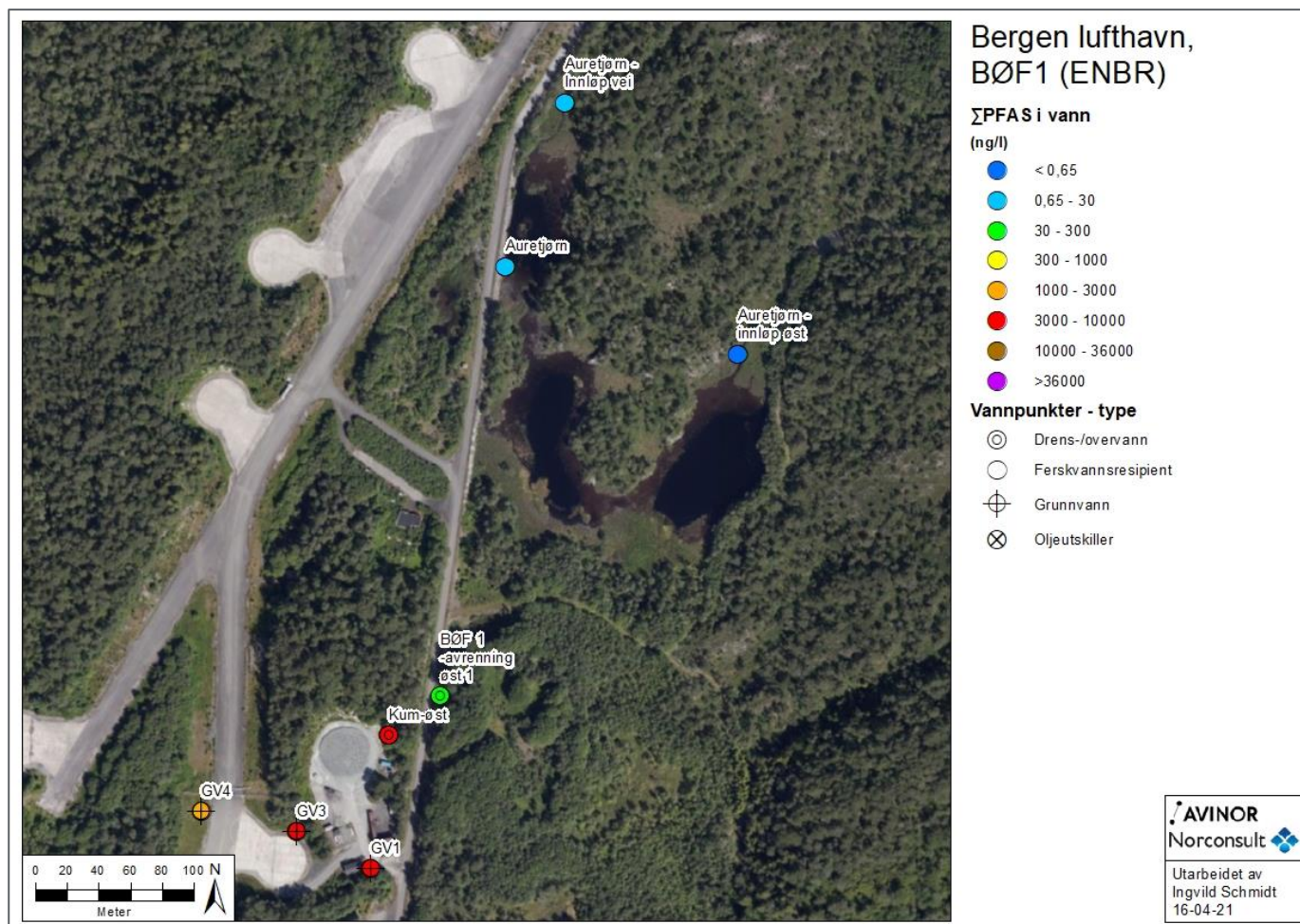


Figur 3-5: Massene sentralt på nylig nedlagt brannøvingsfelt (BØF1) er generelt karakterisert av grove fyllmasser i varierende mektighet (1,1 – >1,7 m) over fjell (venstre bilde). I skogsområde nord for feltet er massene karakterisert av tynt skogsjorddekke (0,2-0,4 m mektighet) over fjell (høyre bilde).

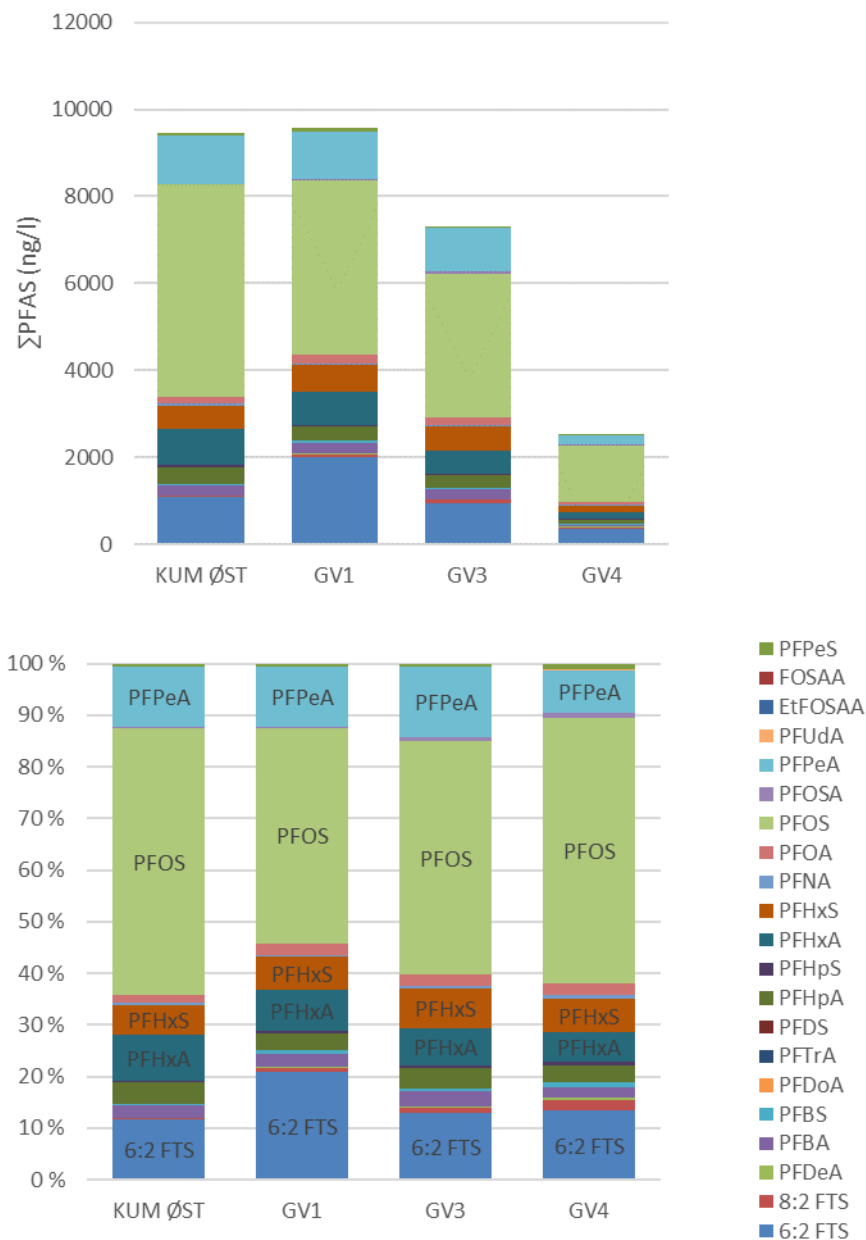
Resultater fra utført prøvetaking viser høye konsentrasjoner av Σ PFAS i grunnvann som følge av spredning fra brannøvingsfeltet (BØF1). Det er påvist spredning både vestover mot Langavatnet og nordover mot Auretjørn.

Analyseresultatene fra prøvetakingen av grunnvannsbrønner 7. september 2020 viser høye konsentrasjoner av Σ PFAS i GV1 og KUM-Ø øst for feltet, henholdsvis 9600 ng/l i GV1 og 9500 ng/l i KUM-Ø. Tilsvarende er det påvist 7300 ng/l i GV3 like sørvest for feltet, og noe lavere konsentrasjon i GV4 lenger vest (2500 ng/l) i spredningsretning mot Langavatnet (Figur 3-7 og Figur 3-6).

PFOS utgjør klart størst andel av Σ PFAS i alle grunnvannsprøvene. Andre forbindelser som påvises i brønnene er blant annet 6:2 FTS, PFHxS, PFHxA, og PFPeA. Det ble også påvist lave konsentrasjoner av forløperforbindelsene EtFOSAA og FOSAA i GV4. Det er basert på dette forventet at forløperforbindelser forekommer i grunnvannet, men disse er ikke påvist i de andre grunnvannsbrønnene, antatt grunnet forhøyede kvantifiseringsgrenser for disse forbindelsene som følge av høye nivåer av PFAS i prøver fra disse brønnene.



Figur 3-6: Analyseresultater fra prøvetaking av grunnvann ved brannøvingsfeltet (7. september 2020) og overflatevann (12. og 14. oktober 2020) ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1).



Figur 3-7: Konsentrasjoner (ng/l) og fordeling (%) av enkeltforbindelser av PFAS i grunnvannsbrønner og kum ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) ved prøvetaking 7. september 2020.

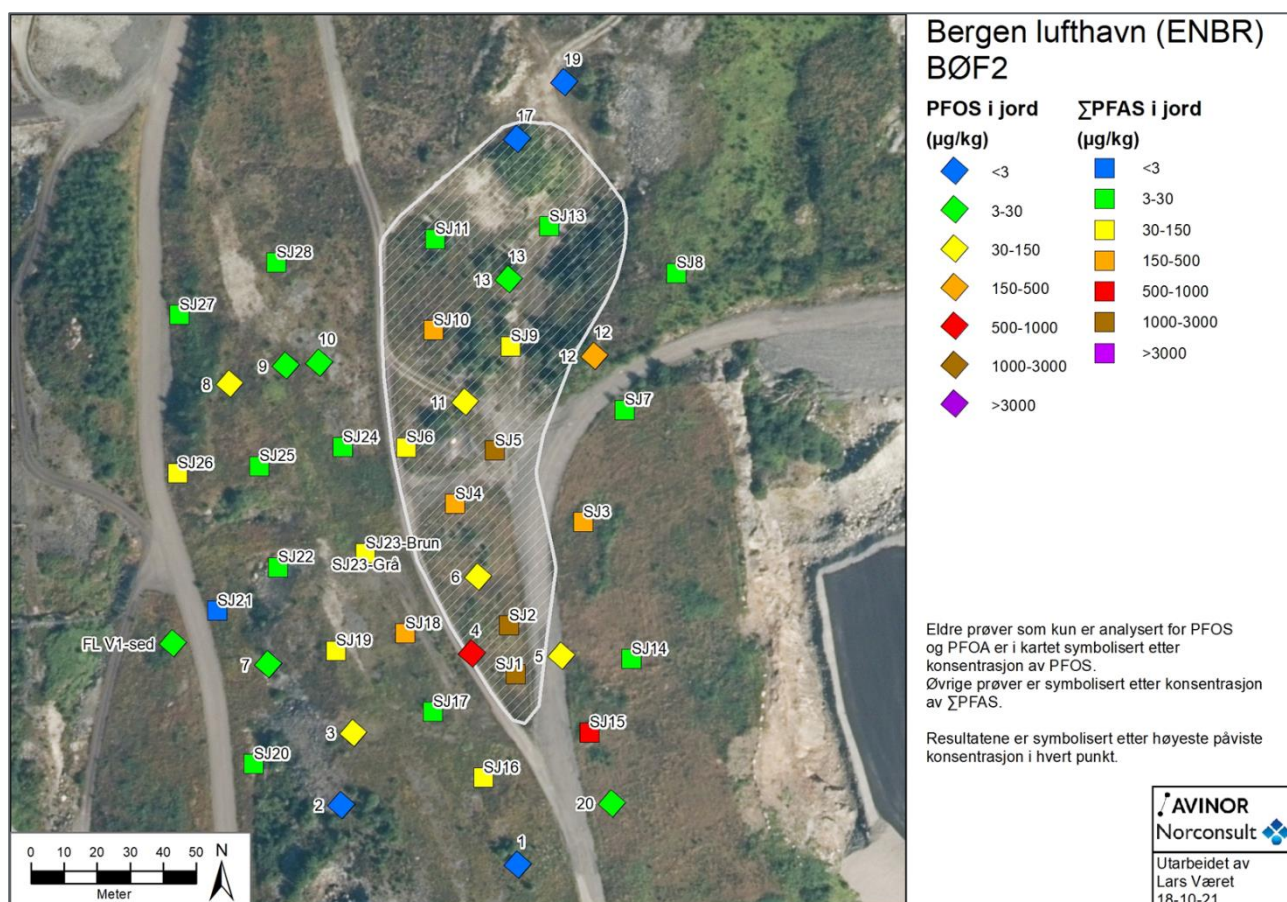
3.3.3 Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

Resultatene fra utført prøvetaking av jord viser dels stor variasjon i konsentrasjoner av ΣPFAS i jord, med enkelte høye konsentrasjoner i punkter sentralt og i sørlig del av feltet (opptil 2600 µg/kg), og lavere konsentrasjoner i nordlig del (<30 µg/kg) (Figur 3-8). Dette er dokumentert gjennom undersøkelser utført som del av Avinors miljøprosjekt (DP2) i 2011-2012 [35], samt ytterligere dokumentert gjennom supplerende undersøkelser utført av Norconsult i 2020 og 2021.

De høyeste konsentrasjonene av Σ PFAS er påvist sentralt og i sørlig del av feltet, i sjakter med liten mektighet av grove fyllmasser over fjell (0,3 – 0,7 m; SJ1, SJ2, SJ4 og SJ5). I resterende punkter er det påvist konsentrasjoner <100 $\mu\text{g/kg}$ i hele den undersøkte dybden, med unntak av SJ3, SJ10 og SJ15 hvor det er påvist høyere konsentrasjoner i dypere prøver. Det ble i SJ3 påvist 310 $\mu\text{g/kg}$ i prøve av fyllmasser fra 1,5-1,9 m dybde, mens det i SJ15 ble påvist 540 $\mu\text{g/kg}$ i prøve fra 2 – 2,1 m dybde. I SJ10 ble det påvist 310 $\mu\text{g/kg}$ i prøve av dypereliggende torv fra 2,8 – 2,9 m dybde. Det foreligger ikke dypere prøver for vertikal avgrensning av forurensningen i noen av disse punktene, men i SJ15 er forurensningen avgrenset av fjell ved 2,1 m dybde.

Komplekse og varierende grunnforhold, sammen med enkelte påvisninger av høye konsentrasjoner i dybden, medfører usikkerhet knyttet til fordeling av løsmasser i dypet og vertikal utbredelse av forurensningen. Det ble under supplerende undersøkelser påtruffet fjell i totalt 13 prøvepunkt, mens det i resterende 15 prøvepunkt ble gravd inntil utrasing av masser eller vanninnslag la begrensninger for ytterligere graving.

PFOS utgjør mellom 0,1 - 80% av Σ PFAS i de analyserte prøvene. I prøvene med høyeste konsentrasjoner er andelen PFOS relativt lav (0,1 - 30%), hvor andre forbindelser så som PFTra, PFOSA og PFUnA utgjør en betydelig andel av Σ PFAS.



Figur 3-8: Resultater fra tidligere og supplerende miljøtekniske grunnundersøkelser ved gammelt brannøvingfelt (BØF2). Hvitt stiplet område angir område for tidligere brannøvingfelt.



Figur 3-9: Massene på gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er generelt karakterisert av grove fyllmasser i varierende mektighet (<0,5 - >4 m) over fjell eller underliggende torv (venstre bilde). Det ble under supplerende undersøkelser påtruffet dypere liggende torv i tre av sjaktene. Denne var svært komprimert og middels omdannet, med noe fibrig struktur og synlige planterester (høyre bilde).

Resultatene fra prøvetaking av grunnvannsbrønner viser konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 100 - 600 ng/l. Til sammenlikning viser resultater fra prøvetaking i Lindevikabekken i perioden 2014-2021 konsentrasjoner mellom 800-2800 ng/l, med unntak av en særlig høy konsentrasjon i prøve tatt i juli 2020 på hele 12 000 ng/l (se kap. 3.3.4.2. Alle brønnene er imidlertid plassert i østlig yttergrense av brannøvingsfeltet, og resultatene fra prøvetaking av brønnene representerer derfor i liten grad utlekking og spredning fra brannøvingsfeltet vestover mot Lindevikabekken.

Det ble forsøkt etablert brønner ved sjaktning på feltet under prøvetaking i oktober 2021, men dette lot seg ikke gjøre grunnet betydelig utrasing av masser i dypere sjakter.

3.3.4 Resipienter

3.3.4.1 Langavatnet

Resultater fra miljøovervåkingen ved lufthavnen viser gjennomgående høye konsentrasjoner av PFAS i Langavatnet som mottar avrenning fra både sist nedlagte (BØF1) og gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Det er for prøvepunkt sentralt i innsjøen (ENBR-LVN) påvist konsentrasjoner i vann mellom 100-200 ng/l, hvor PFOS utgjør mellom 30-50% av Σ PFAS (målinger fra 2016-2020). Konsentrasjoner i oppstrøms referansepunkt i innsjøen Træsvatn har variert mellom 0,3-3 ng/l (2019-2020; datagrunnlag mottatt fra Avinor).

Det ble som del av kartlegging i regi av Klima og forurensningsdirektoratet (KLIF) i 2009 utført prøvetaking av sediment og biota (ørret, lever) i Langavatn for analyse av 15 ulike PFAS-forbindelser. Sedimentprøvene ble tatt ved tre ulike stasjoner i Langavatnet på 2-4 m dybde. Påviste konsentrasjoner av PFOS varierte mellom 35-88 µg/kg, og det ble også påvist en rekke andre PFAS-forbindelser. Påviste konsentrasjoner av PFOS i fiskelever varierte mellom 2082-2532 µg/kg vv [39].

Det er videre utført undersøkelser av biota (ørret) i Langavatnet i 2012, 2017, 2019 og 2020. Resultater fra prøvetaking utført som del av DP2-undersøkelsene i 2012 viste svært høye konsentrasjoner av PFAS (hovedsakelig PFOS) i muskelprøver av ørret fra Langavatnet (gjennomsnittskonsentrasjon 62,4 µg/kg våtvekt (vv), makskonsentrasjon 105,7 µg/kg vv), noe som er en betydelig overskridelse av miljøkvalitetsstandard (EQS_{biota}) på 9,1 µg/kg [21].

Det ble i undersøkelser utført i 2017 og 2019 (utført av NORCE på oppdrag for Avinor) påvist konsentrasjoner av Σ PFAS på henholdsvis 131 µg/kg vv og 183 µg/kg vv i prøver av ungfisk av ørret (hel fisk, blandprøve av 7 individer). PFOS utgjorde opp mot 80% av Σ PFAS i de analyserte prøvene. Andre forbindelser som ble påvist var blant annet 8:2 FTS, PFHxS, PFOSA, PFTrA og PFUnA [40].

Analyseresultater fra prøvetaking av biota (muskelprøver ørret) i Langavatnet utført som del av supplerende undersøkelser i 2020 viser også betydelige overskridelser av miljøkvalitetsstandard (EQS_{biota}) på 9,1 µg/kg. Det ble påvist overskridelser av EQS_{biota} i alle individene som ble analysert, med en høyeste påviste konsentrasjon på 77,1 µg/kg vv. PFOS utgjorde mellom 70-90% av Σ PFAS i alle individene som ble analysert. Andre forbindelser som ble påvist var blant annet PFHxS, PFOSA, PFTrA og PFUnA.

3.3.4.2 Fleslandselven

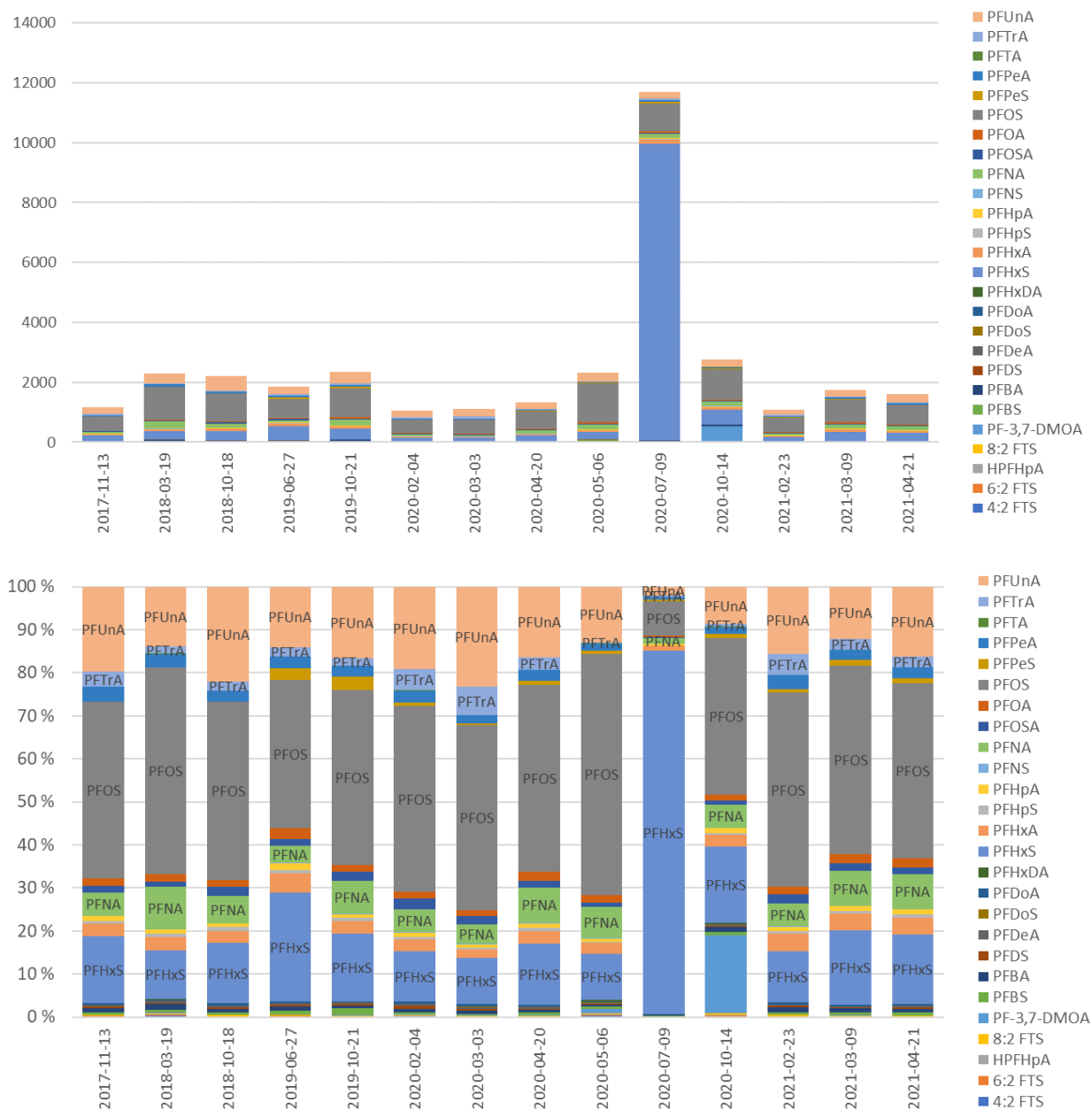
Langavatnet har utløp til Raunefjorden via Fleslandselven. Det ble i undersøkelser utført i 2012 påvist høye konsentrasjoner av PFAS i muskelprøver av ørret (gjennomsnittskonsentrasjon 70 µg/kg vv) og ål (243 µg/kg vv) fra Fleslandselven [21].

Det ble også utført prøvetaking av ørret ved to stasjoner i Fleslandselven i 2015. Prøver ble analysert som hele fileter med skinn, og det ble ved de to stasjonene påvist gjennomsnittskonsentrasjoner på henholdsvis 49 µg/kg vv (stasjon FE; n=4) og 52 µg/kg vv (Øvre FE; n=3). PFOS var klart dominerende i alle prøvene, men også andre forbindelser så som PFOSA, PFTrA og PFUnA utgjorde en betydelig andel [28].

3.3.4.3 Lindevikabekken

Resultater fra prøvetaking i Lindevikabekken i perioden 2014-2021 viser konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 800-2800 ng/l, med unntak av en særlig høy konsentrasjon i prøve tatt i juli 2020 på hele 12 000 ng/l. PFOS utgjør om lag 50% av Σ PFAS i de fleste prøvene. Andre forbindelser som utgjør en større andel er blant annet PFHxS, PFHxA, PFNA, PFPeA, PFTrA og PFUnA (Figur 3-10).

Det er ikke utført biologiske undersøkelser eller prøvetaking av biota for analyse av PFAS i Lindevikabekken. Bekken har jevnt svak vannføring og er for bratt for oppvanding av sjørret.



Figur 3-10: Konsentrasjoner (ng/l) og fordeling (%) av enkeltforbindelser av PFAS i Lindevikabekken i perioden 2017-2021.

3.3.4.4 Lønningsbekken

Resultater fra utført prøvetaking av vann i Lønningsbekken viser konsentrasjoner av ΣPFAS mellom 10-100 ng/l (ENBR-LB1; 2014-2020).

Det ble som del av undersøkelser utført av LFI i 2012 utført prøvetaking av ørret i Lønningsbekken for analyse av PFAS. Det ble analysert en individprøve av stor ørret (16 cm, muskel) og to blandprøver av 8 mindre individer i hver prøve (7-9 cm, muskel/skinn/bein). Analyseresultatene viste konsentrasjoner av ΣPFAS på 366 µg/kg vv i individprøve og 164 µg/kg vv i gjennomsnitt for de to blandprøvene som ble analysert. PFOS utgjorde klart største andel av sumkonsentrasjonen, og det ble i individprøven også påvist et betydelig bidrag fra PFHxS [41].

3.3.4.5 Raunefjorden

Det ble som del av undersøkelser i regi av KLIF i 2009 utført prøvetaking av blåskjell og krabber i Raunefjorden, like ved utløpet av Fleslandselven. I blåskjell ble det kun påvist PFTTrDA (gjennomsnitt 0,41 µg/kg vv) mens det i krabber ble påvist PFDS (0,13 – 0,56 µg/kg vv), PFOS (0,8 – 4,9 µg/kg vv) og PFHxS (0,12 – 0,46 µg/kg vv) [39].

Resultater fra prøvetaking av marin biota utenfor utløpet av Fleslandselven utført i 2012 (torsk (blandprøve 3 individ), lyr (10 individ), dyreplankton (1 blandprøve) og kuskjell (10 individ)) viste lave konsentrasjoner av PFAS, i de fleste prøver under kvantifiseringsgrense (LOQ), antatt grunnet stor fortynning og vannutskifting i marin resipient Raunefjorden [21].

Det ble i undersøkelser utført i 2012, 2017 og 2019 (utført av NORCE på oppdrag for Avinor) prøvetatt albusnegl for analyse av 22 ulike PFAS-forbindelser på tre stasjoner i Raunefjorden, henholdsvis Lindevika ved utløpet av Lindevikabekken (LVA2), en stasjon på svaberg vest for rullebanen (FLE2), og en stasjon i Kvernavika like ved utløpet av Fleslandselven (KVA1). Det ble i disse undersøkelsene påvist klart høyeste konsentrasjoner i prøver tatt i Lindevika ved utløpet av Lindevikabekken (opptil 222 µg/kg vv i prøver tatt i 2017, blandprøve av >20 individer), hvor de langkjedete forbindelsene PFTTrA og PFUnA utgjorde en betydelig andel. Til sammenlikning er det påvist opptil 0,8 µg/kg vv ved stasjon FLE2 og 5,1 µg/kg vv ved stasjon KVA1 [40].

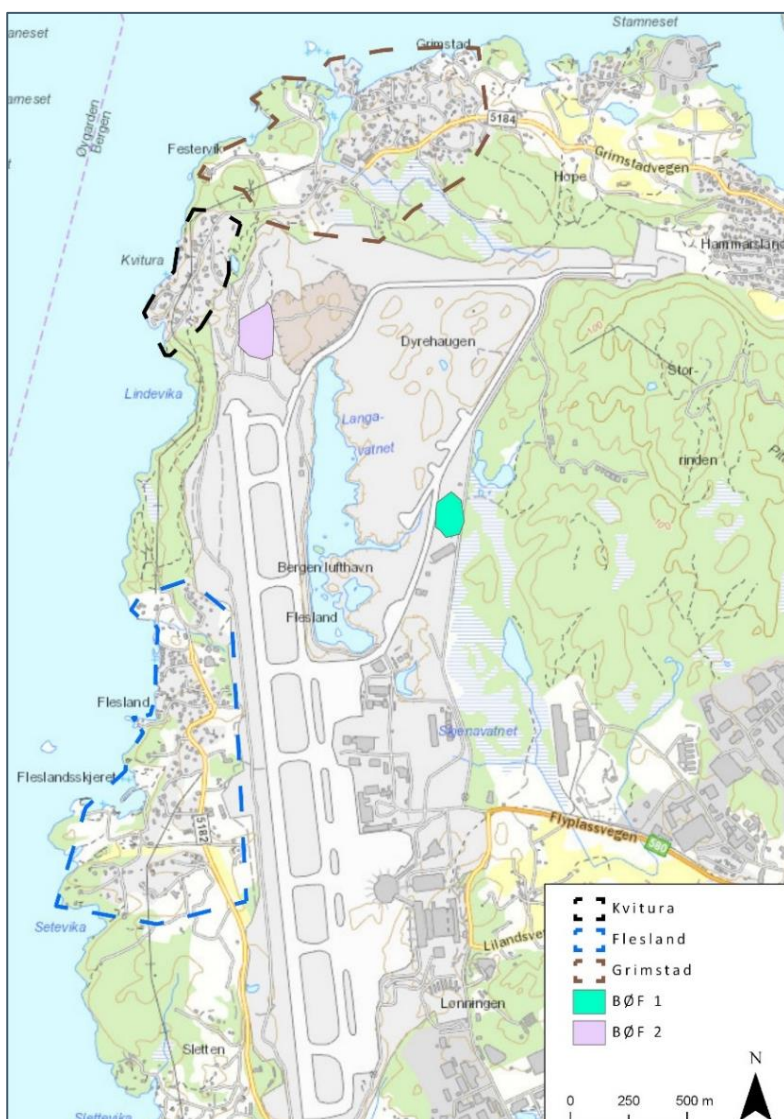
3.3.5 Drikkevann

Det er gjennomført omfattende undersøkelser av PFAS i drikkevann ved Bergen lufthavn. Disse undersøkelsene er utført med bakgrunn i vurderinger gitt i samlerapport fra 2019 [4], og pålegg fra Miljødirektoratet i 2020 [1]. Undersøkelsene er utført av COWI på oppdrag for Avinor, og resultater er sammenstilt i egne rapporter [42] [43] [44] [45]. Undersøkelsene har omfattet prøvetaking av private drikkevannsforsyninger i boligområdene Flesland, Kvitura og Grimstad som ligger vest og nord for lufthavnen (Figur 3-11).

Det ble i tidligere undersøkelser utført i 2011 påvist PFAS i private drikkevannsforsyninger i boligområdet Kvitura, både i gravde løsmassebrønner og i fjellbrønner. Flere av eiendommene her ble som følge av dette tilkoblet offentlig vannforsyning. I 2020/2021 er det gjennomført prøvetaking i private drikkevannsforsyninger som ikke er tilkoblet offentlig vann i Kvitura (nord for området som ble prøvetatt i 2011/12), Grimstad og Flesland. Avinor har tilbudt alle husstander hvor det er påvist PFAS i drikkevann gratis flaskevann fra lokalbutikken. Ved Flesland er de fleste eiendommene tilkoblet offentlig vann, med unntak av enkelte eiendommer nær Kvernavika. I boligområdet Grimstad lengst i nord har alle eiendommene privat vannforsyning.

I undersøkelsene utført i Kvitura i 2011 ble det påvist konsentrasjoner av PFOS < 50 ng/l. Prøvene ble kun analysert for PFOS og PFOA. I nye undersøkelser i 2014 ble det påvist konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 7– 80 ng/l. Det er siden 2011 etablert offentlig vannforsyning til Kvitura, men ikke alle husstander var påkoblet dette i 2019 [4]. Det ble som del av oppfølgende undersøkelser i 2020-2021 utført prøvetaking i to omganger i totalt 5 private vannforsyninger ved Flesland, og 21 vannforsyninger ved Grimstad/Kvitura. Det ble påvist PFAS over rapporteringsgrensen (LOQ) i 3 av 5 vannforsyninger ved Flesland (0,7 – 3,7 ng/l), og 20 av 21 vannforsyninger ved Grimstad/Kvitura (0,2 – 46 ng/l).

Det er usikkert om påvisningene av PFAS over et såpass stort område nord for lufthavnen skyldes avrenning fra Avinor sitt område eller et mulig bidrag fra andre kilder. Det pågår p.t et arbeid for å utrede dette ytterligere. Dette utføres av COWI på oppdrag for Avinor.



Figur 3-11: Oversikt over boligområder, Flesland, Kvitura og Grimstad, hvor det er utført undersøkelser av PFAS i drikkevann. Figur hentet fra [45].

4 Mengder i jord

Resultater fra utført kartlegging av PFAS i jord og vann ved Bergen lufthavn viser klart høyeste konsentrasjonsnivåer i områdene ved sist nedlagte (BØF1) og gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Disse er også forventet å være hovedkildene til utlekking og spredning av PFAS fra lufthavnområdet.

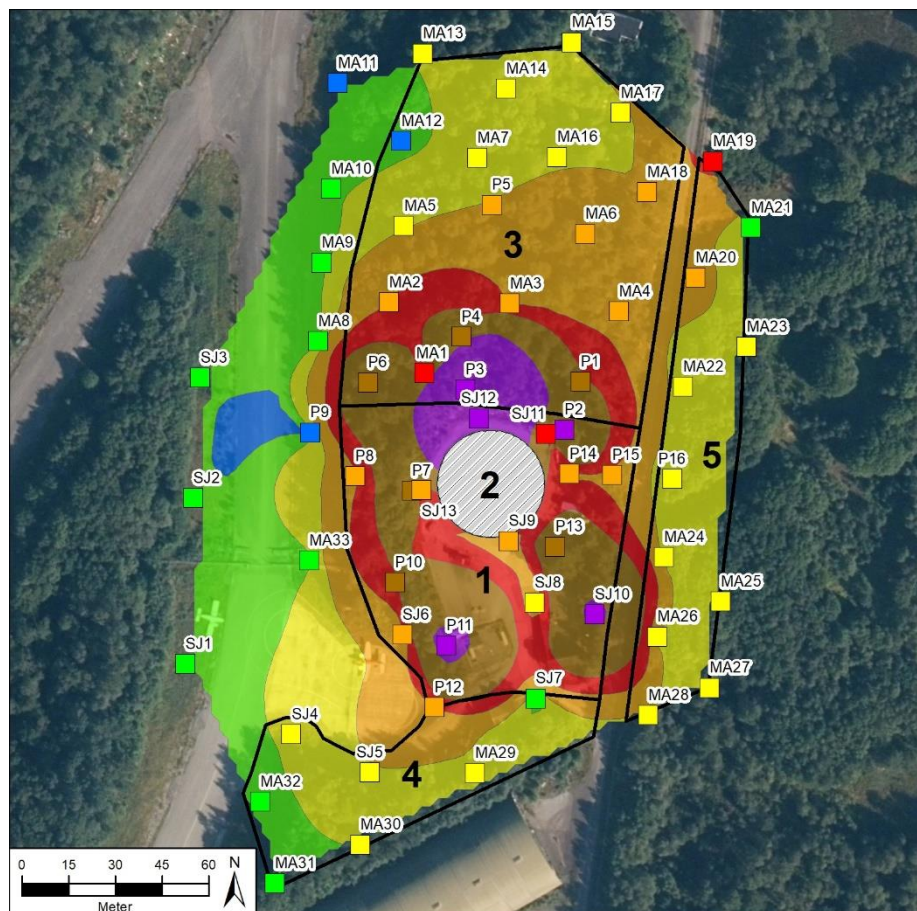
4.1 Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

Det er for sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) beregnet mengder for fem ulike delområder som angitt med sort polygon i Figur 4-1. Bakgrunnen for inndeling i delområder er i hovedsak stor variasjon i grunnforhold, massetyper og mektighet av løsmasser mellom delområder (Tabell 4-1).

Delområder for utførte mengdeberegninger omfatter:

- (1) Brannøvingsfeltet og nært tilgrensende areal (ekskl. tildekket betongplate sentralt på feltet)
- (2) Tildekket område sentralt på brannøvingsfeltet
- (3) Skogsområde nord for feltet
- (4) Delområde sør for feltet
- (5) Delområde øst for feltet

Metodikk og forutsetninger for utførte mengdeberegninger er nærmere beskrevet i resultatrapport fra supplerende undersøkelser i Vedlegg A. Det er ikke utført mengdeberegning for område under nord-sørgående veg vest og øst for feltet, da det ikke er utført prøvetaking av masser under veg.



Bergen lufthavn (ENBR), BØF1

ΣPFAS i jord
(µg/kg)

- <3
- 3-30
- 30-150
- 150-500
- 500-1000
- 1000-3000
- >3000

Punktet er symbolisert etter vektet gjennomsnittskonsentrasjon av alle prøver i punktet. Eldre prøver fra DP2, som i hovedsak er analysert for PFOS og PFOA, er vist som ΣPFAS etter korreksjon for forholdet PFOS/ΣPFAS i øvrige prøver.

Polygoner er interpolert konsentrasjonsfordeling basert på vektet gjennomsnittskonsentrasjon for ΣPFAS i alle punkter.

AVINOR
Norconsult
Utarbeidet av
Ingvild Schmidt
10-08-21

Figur 4-1: Interpolert konsentrasjonsfordeling (µg/kg) for undersøkt areal ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Interpolering er utført ved bruk av metoden "natural neighbour" i programvaren Surfer. Sort polygon markerer delområder for utførte mengdeberegninger.

Tabell 4-1: Forutsetninger for beregninger av mengde ΣPFAS (kg) og volum masser (m³) for hvert delområde 1-5.

	Massetype	Egenvekt masser (kg/m ³)	Andel finstoff (%)	Mektighet (m)
Delområde 1	Fyllmasser	1800	60	1,3
Delområde 2	Grus	1800	100	0,2
Delområde 3	Org. jord	1000	100	0,3
Delområde 4	Fyllmasser/org. jord	1400	80	0,8
Delområde 5	Org. jord	1000	100	0,5

Det er totalt for alle delområder beregnet en mengde ΣPFAS på 15,7 kg fordelt på totalt volum masser på 13 850 m³ (Tabell 4-2).

Størst mengde er beregnet for delområde 1 som omfatter selve brannøvingsfeltet og nært tilgrensende areal. Det er for dette delområdet beregnet en mengde ΣPFAS på 12,8 kg, hvorav hele mengden ligger i område

med påviste konsentrasjoner $>150 \mu\text{g/kg}$. Estimert volum masser med konsentrasjon $>150 \mu\text{g/kg}$ er 7180 m^3 .

For skogsområde nord for feltet (delområde 3) er det beregnet en mengde ΣPFAS på om lag $2,4 \text{ kg}$ fordelt på totalt volum masser på 2970 m^3 , hvorav tilnærmet hele mengden ligger i område med påviste konsentrasjoner $>30 \mu\text{g/kg}$.

Tilsvarende beregnede mengder og volumer for andre delområder er vist i Tabell 4-2.

Det forventes også at tildekket betongplate sentralt på feltet i delområde 2 inneholder PFAS, men betongen er ikke prøvetatt og konsentrasjoner og mengder er derfor ikke kjent. Resultater fra utført prøvetaking av betongplate på nedlagte brannøvingsfelt ved Stavanger og Tromsø lufthavn, viste konsentrasjoner av ΣPFAS mellom $400\text{--}1700 \mu\text{g/kg}$. Dersom det legges til grunn en konsentrasjon på $1000 \mu\text{g/kg}$, egenvekt 2400 kg/m^3 , diameter 30 m og $0,2 \text{ m}$ tykkelse, gir dette en grovt estimert mengde på om lag $0,1 \text{ kg}$ PFAS i betongplaten.

Tabell 4-2: Beregnede mengder Σ PFAS (kg) og volum masser (m^3) for konsentrasjonsgrense >3, >30, >150, >500, >1000 og >3000 $\mu g/kg$ for hvert delområde 1-5.

Konsentrasjonsgrense Σ PFAS ($\mu g/kg$)	Σ PFAS _{gj.snitt} ($\mu g/kg$)	Areal (m^2)	Volum masser (m^3)	Mengde PFAS (kg)	Mengde/volum (g/m^3)
<i>Delområde 1</i>					
>3	1650	5520	7180	12,8	1,8
>30	1650	5520	7180	12,8	1,8
>150	1650	5520	7180	12,8	1,8
>500	1800	4800	6240	12,1	1,9
>1000	2350	2910	3780	9,6	2,5
>3000	5710	360	470	2,9	6,2
<i>Delområde 2</i>					
>3	190	960	190	0,1	0,5
>30	190	960	190	0,1	0,5
>150	190	960	190	0,1	0,5
>500	-	-	-	-	-
>1000	-	-	-	-	-
>3000	-	-	-	-	-
<i>Delområde 3</i>					
>3	800	9890	2970	2,4	0,8
>30	820	9650	2900	2,4	0,8
>150	1150	6510	1950	2,2	1,1
>500	2210	2800	840	1,9	2,3
>1000	3180	1590	480	1,5	3,1
>3000	5860	520	160	0,9	5,8
<i>Delområde 4</i>					
>3	80	2440	1950	0,2	0,1
>30	100	1800	1460	0,2	0,1
>150	320	100	80	<0,1	-
>500	650	10	<10	<0,1	-
>1000	-	-	-	-	-
>3000	-	-	-	-	-
<i>Delområde 5</i>					
>3	130	3120	1560	0,2	0,1
>30	130	3120	1560	0,2	0,1
>150	560	330	170	0,1	0,6
>500	710	10	<10	<0,1	-
>1000	1040	10	<10	<0,1	-
>3000	-	-	-	-	-

Tabell 5.1 (forts)

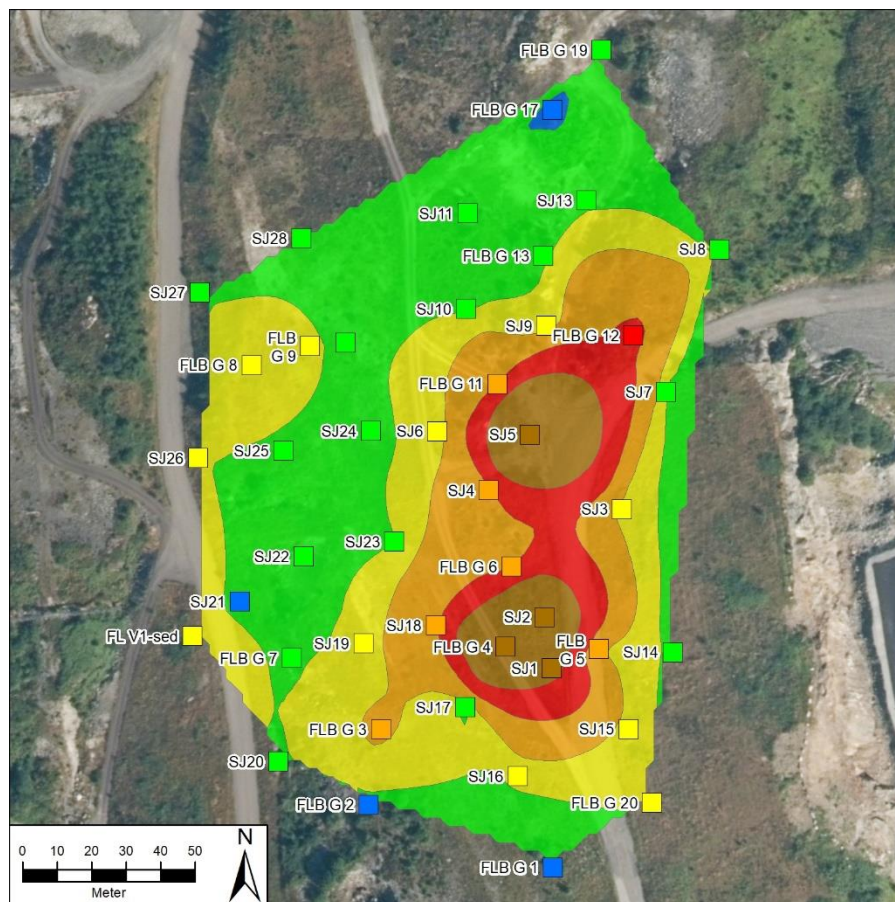
Totalt alle delområder		
>3	13850	15,7
>30	13270	15,7
>150	9560	15,2
>500	7100	14,0
>1000	4260	11,1
>3000	620	3,8

4.2 Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

Det er for gammelt brannøvingsfelt (BØF2) beregnet en total mengde Σ PFAS i fyllmasser på 4,3 kg innenfor et areal på 24 820 m². Estimert volum masser med konsentrasjon >3 µg/kg er 24 820 m³ (Figur 4-2 og Tabell 4-3). Beregnede mengder og volumer for andre konsentrasjonsgrenser er vist i Tabell 4-3.

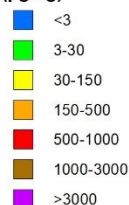
Det er i beregningene lagt til grunn en gjennomsnittlig mektighet av fyllmasser på 1,0 m (undersøkt volum), egenvekt av fyllmasser på 1800 kg/m³ og en finstoffandel i massene på 40%. Det er ikke beregnet mengder Σ PFAS i dypereleggende stedegen torv, da denne kun er påtruffet i et fåtalls punkter.

Metodikk og forutsetninger for utførte mengdeberegninger er nærmere beskrevet i resultatrapport fra supplerende undersøkelser i Vedlegg B.



Bergen lufthavn (ENBR) BØF 2

ΣPFAS i jord (µg/kg)



Punkter er symbolisert etter vektet gjennomsnittskonsentrasjon av alle prøver i punktet. Eldre prøver fra DP2, som i hovedsak er analysert for PFOS og PFOA, er vist som ΣPFAS etter korreksjon for forholdet PFOS/ΣPFAS i øvrige prøver.

Polygoner viser interpolert konsentrasjonsfordeling basert på vektet gjennomsnittskonsentrasjon for ΣPFAS i alle punkter.

AVINOR
Norconsult
Utarbeidet av
Lars Været
18-10-2021

Figur 4-2: Interpolert konsentrasjonsfordeling (µg/kg) for undersøkt areal ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Interpolering er utført ved bruk av metoden "natural neighbour" i programvaren Surfer.

Tabell 4-3: Beregnede mengder ΣPFAS (kg) og volum masser (m³) for konsentrasjonsgrense >3, >30, >150, >500, >1000 og >3000 µg/kg for gammelt brannøvingsfelt (BØF2).

Konsentrasjonsgrense ΣPFAS (µg/kg)	ΣPFAS _{gj.snitt} (µg/kg)	Areal (m ²)	Volum masser (m ³)	Mengde PFAS (kg)	Mengde/volum (g/m ³)
>3	240	24 820	24 820	4,3	0,2
>30	380	14 550	14 550	4,0	0,3
>150	670	7480	7480	3,6	0,5
>500	1070	3500	3500	2,7	0,8
>1000	1530	1480	1480	1,6	1,1
>3000	-	-	-	-	-

5 Spredningsmengder

Resultater fra utførte undersøkelser viser avrenning og spredning av PFAS i varierende konsentrasjonsnivåer over store deler av lufthavnområdet. Klart høyeste konsentrasjonsnivåer er imidlertid påvist i områdene ved brannøvingsfeltene og i resipienter for avrenning fra disse. Disse områdene er også kartlagt med tanke på forurensningssituasjonen i jord, og dette er benyttet som grunnlag for teoretiske beregninger av utlekking og spredningsmengder fra brannøvingsfeltene.

5.1 Beregningsverktøy

Miljødirektoratet, med bistand fra Norges Geotekniske Institutt (NGI), har utviklet nytt beregningsverktøy for å vurdere spredning fra forurensset grunn. Betaversjon av verktøyet med tilhørende bakgrunnsrapport er anvendt for beregning av spredningsmengder [46]. Den versjonen av verktøyet som er benyttet ble mottatt på e-post fra NGI 21. oktober 2021. Verktøyet er basert på en boksmode ll som består av tre bokser:

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

Det vises til NGIs bakgrunnsrapport for detaljert metodebeskrivelse og vurdering av usikkerheter knyttet til beregningsverktøyet [46].

For beregning av dagens spredning er det tatt utgangspunkt i resultatene fra utførte undersøkelser (kap. 3) og utførte beregninger av mengder i jord (kap. 4), samt vurdering av stedsspesifikke forhold knyttet til hhv. umettet sone, mettet sone og hydrogeologiske forhold, og resipienten – som input til modellen.

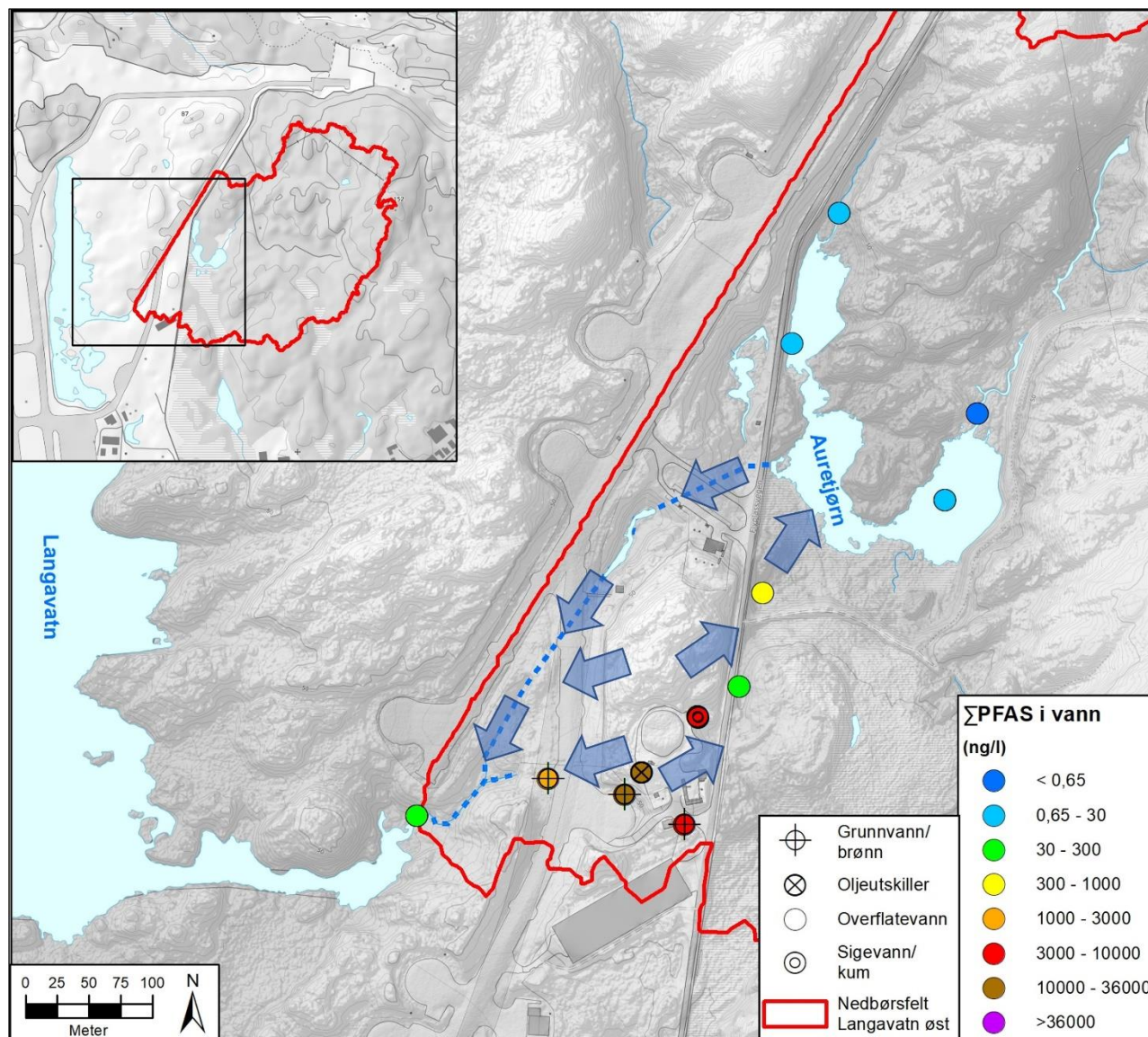
I beregningene er det målte konsentrasjoner av Σ PFAS i jord som er lagt til grunn, selv om PFOS er eneste PFAS som ligger inne i modellens liste over stoffer. Fremfor å legge inn målte konsentrasjoner for alle enkeltprøver i jord for beregning av gjennomsnittskonsentrasjon og mengde PFAS i umettet sone, er det benyttet gjennomsnittskonsentrasjon for Σ PFAS > 3 µg/kg hentet direkte fra interpolering og mengdeberegninger omtalt i kap. 4. Denne vil representere en vektet gjennomsnittskonsentrasjon for hele det forurensede arealet, og anses i så måte å være mest representativ for utlekkingspotensialet for området som helhet. Dette gjør også at enkeltprøver med svært høye eller lave konsentrasjoner ikke tillegges uforholdsmessig stor vekt i beregningene.

Beregninger i modellverktøyet er utført uten å legge inn målte konsentrasjoner i porevann, mettet sone (jord), 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. Ved en slik tilnærming vil modellen også kunne brukes til å beregne forventede effekter av ulike tiltaksomfang.

5.2 Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

5.2.1 Avrenningsforhold

Det sist nedlagte brannøvingsfeltet (BØF1) ligger på delvis utsprengt fjell sør for en skogkledd kulle. Det er topografisk fall både mot øst og vest fra det sentrale øvingsområdet. Fra den skogkledd kullen nord for det sentrale øvingsområdet er det fall i alle retninger. Avrenning mot øst antas å dreie diffust nordover til Auretjørn, før det ledes til østlige deler av Langavatn dels via kulvert langs opprinnelige bekkeløp. Avrenning mot vest antas styrt av fall mot bekkeløpet, videre mot Langavatn. Det forventes derfor at all avrenning fra kartlagte forurensede områder ved BØF1 vil gå til Langavatn, dels som overflateavrenning, dels som grunnvann, frem til utløp av kulvert ved punktet Langavatn øst. Nedbørfelt for bekkens innløp til Langavatn, samt forventet avrenningsmønster ved kartlagt område ved BØF1, er skissert i Figur 5-1.



Figur 5-1: Nedbørsfelt og forventet avrenningsmønster fra brannøvingsfeltet (BØF1) mot innløp øst i Langavatnet. Blå stiplet linje angir nedbørfelt som nå dels er lagt i rør. Prøvepunkt er gitt farge etter median for alle prøver i prøvepunktet.

5.2.2 Utlekking

Det er utført beregninger av teoretiske porevannskonsentrasjoner og utlekking av ΣPFAS fra forurensede fyllmasser sentralt på brannøvingsfeltet (delområde 1) og organisk rik skogsjord i område nord for brannøvingsfeltet (delområde 3). Beregningene er basert på vektete gjennomsnittskonsentrasjoner av ΣPFAS i jord for ulike konsentrasjonsintervaller innenfor de to delområdene.

Det er i beregningene benyttet en fordelingskoeffisient, K_{oc} , for PFOS på 1000 l/kg basert på Zareitalabad m.fl. (2013) [47], noe som tilsvarer en K_d på 100 l/kg for fyllmasser med moderat organisk innhold (10% TOC) og 200 l/kg for organisk rik skogsjord (20% TOC). Dette er en grov forenkling, da K_d varierer betydelig mellom ulike PFAS-forbindelser, og særlig kortkjedete forbindelser vil ha en høyere løselighet og lavere K_d .

sammenliknet med PFOS [47], men vil allikevel kunne gi et mål på forventede konsentrasjonsnivåer av Σ PFAS i utlekking fra forurensede masser i de ulike delområdene. Det er tidligere utført labforsøk for å bestemme stedsspesifikk K_d for organisk rik skogsjord (10-40% TOC) i ytterkanter av nylig nedlagt brannøvingsfelt (BØF1). Resultater fra dette forsøket viste fordelingskoeffisient, K_d , mellom 150-330 l/kg for PFOS, og K_d mellom 10-60 l/kg for kortkjedete forbindelser (C4-C6) [48]. Teoretiske beregnede porevannskonsentrasjoner for delområde 1 og 3 er vist i Tabell 5-1.

Det er for sentrale deler av brannøvingsfeltet (delområde 1) beregnet en teoretisk porevannskonsentrasjon på 16 500 ng/l (middel porevannskonsentrasjon for alle masser med konsentrasjon av Σ PFAS >3 $\mu\text{g/kg}$). Dette er på nivå med målinger i grunnvannsbrønner (GV1 og GV3) og kum (Kum-øst), som alle er plassert i ytterkant av brannøvingsfeltet (se Figur 3-6), hvor det er påvist konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 2000 – 20 000 ng/l (median 10 000 ng/l; 2014-2020).

For skogsområde nord for feltet (delområde 3) er det beregnet en teoretisk porevannskonsentrasjon på 4000 ng/l i middel for alle masser med konsentrasjon >3 $\mu\text{g/kg}$. Det foreligger ikke målinger fra grunnvannsbrønner som dokumenterer faktisk utlekking fra dette delområdet.

Tabell 5-1: Teoretisk beregnede porevannskonsentrasjoner for Σ PFAS (ng/l) basert på vektete gjennomsnittskonsentrasjoner av Σ PFAS i jord for delområde 1 og 3.

Konsentrasjonsgrense Σ PFAS ($\mu\text{g/kg}$)	Σ PFAS _{gj.snitt} ($\mu\text{g/kg}$)	Σ PFAS _{porevann} (ng/l)
Delområde 1		
>3	1650	16 500
Delområde 3		
>3	800	4000

5.2.3 Spredningsmengder

For sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF2) er det tatt utgangspunkt i interpolert gjennomsnittskonsentrasjon for jord >3 $\mu\text{g/kg}$ innenfor sort heltrukket polygon for delområde 1 og 3 vist i Figur 4-1 (hhv. 1650 og 800 $\mu\text{g/kg}$), fordelingskoeffisient (K_d) som gitt i kap. 5.2.2, samt øvrige inngangsparametere som gitt i Tabell 5-2 og Tabell 5-3. Inndelingen i delområder skyldes svært ulike grunnforhold, sammensetning og mektighet av løsmasser i de ulike delområdene.

For delområde 1 gir verktøyet, under de gitte forutsetningene, en beregnet konsentrasjon for Σ PFAS i utstrømmende grunnvann til resipient på omkring 3500 ng/l. Med et beregnet volum forurensset grunnvann tilsvarende ca. 28 400 m³/år gir dette en årlig beregnet spredningsmengde på ca. 100 g/år. For det skogkledte området nord for selve øvingsfeltet (delområde 3) gir tilsvarende beregninger en spredningsmengde på omkring 40 g/år. Mediankonsentrasjon basert på vannprøver fra innløp til Langavatn øst (108 ng/l) sammen med estimert årlig avrenning gir en årlig spredningsmengde tilsvarende ca. 180 g/år. Spredningsberegningene antyder at hovedandelen av spredningen til Langavatn øst kommer fra delområde 1 og 2 ved BØF1 (ca. 140 g/år), mens noe bidrag må kunne forventes fra områder utenfor selve brannøvingsfeltet.

Tabell 5-2: Inngangsparametere for beregning av spredning fra sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1), sentral del (delområde 1 i Figur 4-1).

UMETTET SONE GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
f_{oc} (-)	0,01	0,10	Målt i felt gj.snitt 10 % i fyllmasser
Bulkdensitet jord, ρ_{jord} [kg/dm ³]	1,7	1,08	Justert ned for å ta hensyn til 60 % finstoffandel (1,8*0,6)
Effektiv porøsitet, ϵ	0,4	0,4	Øvre grense for sand / grus masser
Vannfylt porevolum i umettet sone (m ³ /m ³)	0,2	0,2	Halvparten av porevolumet konservativt høy
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Lengde forurensingsoverflate i grunnvannsretning (m)	50	61	Basert på areal for interpolert konsentrasjonsfordeling > 3ug/kg
Bredde forurensingsoverflate på tvers av grunnvannsretning (m)	50	90	Basert på areal for interpolert konsentrasjonsfordeling > 3ug/kg
Dybde til grunnvann (m)	4	1,3	
Nedbør (mm/år)	1500	2030	Årsmiddel for Flesland (Yr.no)
Fraksjon av nedbør som infiltrerer	0,8	0,3	Store arealer med asfalt

METTET SONE GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
f_{oc} (-)	0,001	0,010	TOC-innhold: 1%
Bulkdensitet til løsmasser, ρ_{jord} [kg/l]	1,7	1,8	Vanlig bulk tetthet for fyllmasser
Effektiv Porøsitet, ϵ	0,40	0,40	Øvre grense for sand / grus masser
Generelle områdeparametere grunnvann	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Hydraulisk konduktivitet k (m/s)	1,00E-03	2,00E-04	Sand, fyllmasser mm.
Gradient dh/dl (m/m)	0,03	0,05	Delta h = 55-40=15 m, Delta L = 240 m
Strømningshastighet (m/år)	2365	788,40	Basert på Darcy's lov omregnet til porevannshastighet i meter pr. år
Blandingsdybde (m)	5	1	
Lengde akvifer = lengde forurensset areal + avstand til resipient (m)	50	240	

RESIPIENT GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Q total i resipient (m ³ /år)	5000000	1689865,93	Middel vannføring (NVE Atlas)
Oppholdstid i resipient (år)	1,00	1,00	Sjablong for elv/bekk
Påvirket vannvolum i resipient (m ³ /år)	5000000	1689866	Q total i resipient / Oppholdstid i resipient

Tabell 5-3: Inngangsparametere for beregning av spredning fra sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1), skogkledt område nord for øvingsfeltet (delområde 3 i Figur 4-1).

UMETTET SONE GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablone-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
f_{oc} (-)	0,01	0,20	Målt i felt gj.snitt 20 % i organisk skogsjord
Bulkdensitet jord, ρ_{jord} [kg/dm ³]	1,7	1	
Effektiv porøsitet, ϵ	0,4	0,4	Øvre grense for sand / grus masser
Vannfylt porevolum i umettet sone (m ³ /m ³)	0,2	0,2	Halvparten av porevolumet konservativt høy
Generelle områdeparametere	Sjablone-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Lengde forurensingsoverflate i grunnvannsretning (m)	50	76	Basert på areal for interpolert konsentrasjonsfordeling > 3ug/kg
Bredde forurensingsoverflate på tvers av grunnvannsretning (m)	50	130	Basert på areal for interpolert konsentrasjonsfordeling > 3ug/kg
Dybde til grunnvann (m)	4	0,3	
Nedbør (mm/år)	1500	2030	Årsmiddel for Flesland (Yr.no)
Fraksjon av nedbør som infiltrerer	0,8	0,5	Skogsjord

METTET SONE GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablone-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
f_{oc} (-)	0,001	0,010	TOC-innhold: 1%
Bulkdensitet til løsmasser, ρ_{jord} [kg/l]	1,7	1,8	
Effektiv Porøsitet, ϵ	0,40	0,40	Øvre grense for sand / grus masser
Generelle områdeparametere grunnvann	Sjablone-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Hydraulisk konduktivitet k (m/s)	1,00E-03	2,00E-04	Antatt stor variasjon fra skogsjord til sand til fyllmasser
Gradient dh/dl (m/m)	0,03	0,06	Delta h = 60-40=20 m, Delta L = 240 m
Strømningshastighet (m/år)	2365	946,08	Basert på Darcy's lov omregnet til porevannshastighet i meter pr. år
Blandingsdybde (m)	5	1	
Lengde akvifer = lengde forurensset areal + avstand til resipient (m)	50	315	

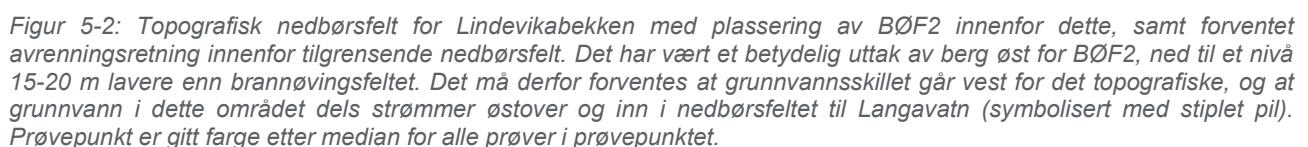
RESIPIENT GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablone-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Q total i resipient (m ³ /år)	5000000	1689865,93	Middelvannføring (NVE Atlas)
Oppholdstid i resipient (år)	1,00	1,00	Sjablone for elv/bekk
Påvirket vannvolum i resipient (m ³ /år)	5000000	1689866	Q total i resipient / Oppholdstid i resipient

5.3 Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

5.3.1 Avrenningsforhold

Gammelt brannøvingsfelt (BØF2), slik det er angitt i tidligere rapporter, ligger i sin helhet innenfor det topografiske nedbørfeltet til Lindevikabekken (Figur 5-2). Området domineres av grove fyllmasser (sand, grus, stein og blokk) og det forventes derfor høy infiltrasjonsfaktor med et betydelig grunnvannsbidrag til vannføringen i Lindevikabekken, både i løsmasser og via sprekker i berg. Det er sprengt ut et betydelig område øst for BØF2, ned til 15-20 m under nivå for brannøvingsfeltet. Det må derfor forventes at grunnvannskillet ligger noe vest for det topografiske i dette området, og at grunnvann dels strømmer inn i nedbørfeltet til Langavatn. Avrenningsforholdene og dermed potensiell spredning av forurensing fra området nord og øst for BØF2 er dels uoversiktlige grunnet utsprenging og senere utfylling i store deler av området.



Det er tilsvarende som for nylig nedlagt brannøvingsfelt (kap. 5.3.2) utført beregninger av teoretiske porevannskonsentrasjoner og utlekking av ΣPFAS fra forurensede fyllmasser på gammelt brannøvingsfelt (BØF2).

Teoretiske beregnet porevannskonsentrasjon for gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er vist i Tabell 5-4. Beregningene er basert på vektet gjennomsnittskonsentrasjon av Σ PFAS i jord for hele det undersøkte området, og det er i beregningene benyttet en Kd for PFOS på 10 l/kg for fyllmasser med lavt organisk innhold (1% TOC).

Det er beregnet en teoretisk porevannskonsentrasjon på 24 000 ng/l i middel for alle masser med konsentrasjon av Σ PFAS >3 µg/kg (Tabell 5-4). Resultater fra prøvetaking av grunnvannsbrønner viser utlekking av PFAS fra forurensede masser på feltet (100-600 ng/l; se kap. 3.3.3). Alle brønnene er imidlertid plassert i østlig yttergrense av brannøvingsfeltet, og representerer derfor i liten grad utlekking fra de mest forurensede massene sentralt på feltet. Det foreligger ikke målinger fra grunnvannsbrønner som dokumenterer faktisk utlekking fra de mest forurensede massene sentralt på feltet.

Tabell 5-4: Teoretisk beregnede porevannskonsentrasjoner for Σ PFAS (ng/l) basert på vektete gjennomsnittskonsentrasjoner av Σ PFAS i jord for gammelt brannøvingsfelt (BØF2).

Konsentrasjonsgrense Σ PFAS (µg/kg)	Σ PFAS _{gj.snitt} (µg/kg)	Σ PFAS _{porevann} (ng/l)
>3	240	24 000

5.3.3 Spredningsmengder

For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er det tatt utgangspunkt i interpolert gjennomsnittskonsentrasjon for jord >3 µg/kg vist i Figur 4-2 (ca. 240 µg/kg), fordelingskoeffisient (Kd) som gitt i kap. 5.3.2, samt øvrige inngangsparametere som gitt i Tabell 5-5. Under de gitte forutsetningene gir verktøyet en beregnet konsentrasjon for Σ PFAS i utstrømmende grunnvann til resipient på om lag 2900 ng/l. Med et beregnet volum forurensset grunnvann tilsvarende ca. 65 900 m³/år gir dette en årlig beregnet spredningsmengde på ca. 190 g/år.

Resultater fra prøvetaking av grunnvannsbrønner som ble etablert ved feltet i forbindelse med DP2-undersøkelsene viser konsentrasjoner mellom 80-600 ng/l for Σ PFAS (representerer kun én prøvetaking utført i september 2020). Brønnene er etablert innenfor det topografiske nedbørfeltet til Lindevikabekken, men det foreligger ikke datagrunnlag for å bestemme lokalisering av grunnvannskillet og dermed strømningsretning for grunnvann i dette området. Som følge av utsprengt område ned til et betydelig lavere nivå øst for feltet er det rimelig å anta at brønnene kan representere grunnvannsstrøm mot øst, ikke mot Lindevikabekken.

Samtidig viser resultater fra prøvetaking i Lindevikabekken i perioden 2014-2021 konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 800-2800 ng/l, med unntak av en særlig høy konsentrasjon i prøve tatt i juli 2020 på hele 12 000 ng/l (data mottatt fra Avinor). Mediankonsentrasjon på omkring 2000 ng/l gir en estimert årlig spredning via Lindevikabekken på omkring 280 g/år. Beregnet spredning fra kartlagt område ved BØF2, under forutsetningene gitt over, representerer i så måte om lag 60-70 % av den totale beregnede spredningen via Lindevikabekken. Det må derfor forventes bidrag fra andre kilder, enten fra ikke-kartlagte områder ved BØF2 eller fra én eller flere andre lokaliteter innenfor nedbørfeltet til Lindevikabekken.

Tabell 5-5: Inngangsparametere for beregning av spredning fra gammelt brannøvingsfelt (BØF2).

UMETTET SONE GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
f_{oc} (-)	0,01	0,01	Målt i felt gj.snitt 1 % i fyllmasser
Bulkdensitet jord, ρ_{jord} [kg/dm ³]	1,7	0,72	Justert ned for å ta hensyn til finstoffandel (40 %), $1,8 \cdot 0,4 = 0,72$
Effektiv porøsitet, ϵ	0,4	0,4	Øvre grense for sand / grus masser
Vannfylt porevolum i umettet sone (m ³ /m ³)	0,2	0,2	Halvparten av porevolumet konservativt høy
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Lengde forurensingsoverflate i grunnvannsretning (m)	50	130	Basert på areal >3ug/kg
Bredde forurensingsoverflate på tvers av grunnvannsretning (m)	50	190	Basert på areal >3ug/kg
Dybde til grunnvann (m)	4	1	Antatt grunt
Nedbør (mm/år)	1500	2030	Yr.no
Fraksjon av nedbør som infiltrerer	0,8	0,8	Maksimumverdi for grus uten evapotranspirasjon

METTET SONE GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
f_{oc} (-)	0,001	0,010	TOC-innhold: 1% Overgang fyllmasser / underliggende torv
Bulkdensitet til løsmasser, ρ_{jord} [kg/l]	1,7	1,8	Vanlig bulketthet for fyllmasser
Effektiv Porøsitet, ϵ	0,40	0,40	Øvre grense for sand / grus masser
Generelle områdeparametere grunnvann	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Hydraulisk konduktivitet k (m/s)	1,00E-03	1,00E-04	Sand, grus, fyllm, torv - stor variasjon
Gradient dh/dl (m/m)	0,03	0,11	Delta h = 60-23=37 m, Delta L = 340 m (til målepunkt/RA)
Strømningshastighet (m/år)	2365	867,24	Basert på Darcy's lov omregnet til porevannshastighet i meter pr. år
Blandingsdybde (m)	5	1	Grunt til berg, antatt dels over berg, dels i sprekker i berg
Lengde akvifer = lengde forurensset areal + avstand til resipient (m)	50	340	

RESIPIENT GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende jord parametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Q total i resipient (m ³ /år)	5000000	140000	Oppholdstid elv/bekk - sjablongverdi
Oppholdstid i resipient (år)	1,00	1,00	Oppholdstid fjord (Klif, 2011)
Påvirket vannvolum i resipient (m ³ /år)	5000000	140000	Q total i resipient / Oppholdstid i resipient

6 Risikovurdering av dagens forurensningssituasjon

Risikovurdering av dagens forurensningssituasjon er basert på resultater fra utførte undersøkelser i perioden 2009-2021, samt tidligere utført risikovurdering for Bergen lufthavn [21]. Kunnskapsnivå og vurderingsgrunnlag knyttet til ulike PFAS-forbindelser har endret seg betydelig de senere år, og det er også et utvidet analyseomfang som dekker flere enkeltforbindelser for senere undersøkelser sammenliknet med de første undersøkelser som ble gjennomført. Resultater fra senere år er derfor tillagt mest vekt i vurderingen, da disse gir et mest dekkende bilde av forurensningssituasjon med tanke på PFAS, samt at disse anses som mest representative for dagens forurensningssituasjon.

6.1 Risiko for human helse

6.1.1 Kunnskapsgrunnlag

I september 2020 fastsatte EFSA ny TWI (*tolerabelt ukentlig inntak*) for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS på 4,4 ng/kg kroppsvekt per uke, noe som gir en grenseverdi for *maksimalt tolerabelt daglig inntak* (MTDI) på 0,63 ng/kg kroppsvekt per dag [10]. Basert på den nye tålegrensen utførte Folkehelseinstituttet (FHI) en vurdering av hvilke nivåer av PFAS i fisk og drikkevann som utgjør en økt helserisiko [11]. Vurderingen angir makskonsentrasjoner for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS i fisk og drikkevann uten at TWI overskrides. Inntak fra øvrig kosthold og andre eksponeringskilder for forbindelsene er tatt med i vurderingen. For barn overskrides TWI for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS fra øvrig kosthold, og det er derfor ikke beregnet makskonsentrasjoner i fisk eller drikkevann. Resultatene fra vurderingen er oppsummert i Tabell 6-1.

For et gjennomsnittlig inntak av fisk per uke er det beregnet en makskonsentrasjon av summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS 0,23 ng/g fisk for voksne kvinner, og 0,27 ng/g fisk for voksne menn. Det er beregnet en noe høyere makskonsentrasjon av summen av forbindelsene i fisk dersom personen spiser en porsjon mager fisk sammenliknet med en porsjon fet fisk per uke. Makskonsentrasjonen i fisk for voksne kvinner er 0,45 ng/g fisk ved inntak av mager fisk, og 0,60 ng/g fisk ved inntak av fet fisk. For voksne menn er de beregnede makskonsentrasjonene noe høyere.

For voksne kvinner kunne det ikke beregnes makskonsentrasjoner i drikkevann ettersom TWI for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS overskrides fra øvrig kosthold og andre eksponeringskilder. For voksne menn er makskonsentrasjonen i drikkevann 2,6 ng/l dersom personen drikker en gjennomsnittlig mengde vann basert på data fra norske kostholdsundersøkelser.

Tabell 6-1: Beregnede makskonsentrasjoner av summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS i fisk uten at TWI overskrides ved ulike scenarioer for humant inntak [11].

Inntak av fisk	Makskonsentrasjon kvinner (ng/g fisk)	Makskonsentrasjon menn (ng/g fisk)
Dersom personen spiser en gjennomsnittlig mengde fisk per uke basert på data fra norske kostholdsundersøkelser	0,23	0,27
Dersom personen spiser en porsjon mager per fisk uke	0,45	0,75
Dersom personen spiser en porsjon fet fisk per uke	0,60	1,0
Dersom personen spiser 100 g fisk per uke	0,90	1,5

6.1.2 *Aktuell eksponering*

Når det gjelder risiko for human helse knyttet til spredning av PFAS fra Bergen lufthavn, er følgende i lufthavnens nærområde vurdert:

- Mulig risiko knyttet til drikkevannskilder nær lufthavnen
- Lokale badeplasser og aktivitetsområder for barn og unge
- Kjente plasser for fritidsfiske, inkludert konsum av fisk og skalldyr
- Akvakultur/oppdrettsanlegg og/eller havbruksvirksomhet i lufthavnens nærområde
- Jordbruksproduksjon

Mattilsynet ga i desember 2020 en generell advarsel 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 forurensset av PFAS-forbindelser [13].

6.1.2.1 *Drikkevann*

Som beskrevet i kap. 3.3.5 er det gjennomført omfattende undersøkelser av PFAS i drikkevann ved Bergen lufthavn, og det er påvist PFAS i private drikkevannsforsyninger i de nærliggende boligområdene Kvitura, Flesland og Grimstad. I undersøkelsene utført i Kvitura i 2011 ble det påvist konsentrasjoner av PFOS < 50 ng/l. Prøvene ble kun analysert for PFOS og PFOA. I nye undersøkelser i 2014 ble det påvist konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 7–80 ng/l. Det er siden 2011 etablert offentlig vannforsyning til Kvitura. Alle berørte beboere fikk utbetalt en engangsstøtte som tilskudd for å koble seg på kommunalt nett, men ikke alle husstander er tilkoblet dette. I undersøkelsene utført på Grimstad og Flesland i 2020 og 2021 er konsentrasjoner av Σ PFAS < LOQ – 21 ng/l, med unntak av en enkeltstående høyere konsentrasjon på 46 ng/l.

I EUs drikkevannsdirektiv er grenseverdien for summen av 20 PFAS i drikkevann satt til 100 ng/l. Det er foreløpig ikke satt en grenseverdi for PFAS i drikkevann i norsk regelverk, men denne forventes å bli lik grenseverdien i EUs drikkevannsdirektiv [12]. Denne grenseverdien er betydelig høyere enn anbefalt TWI for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS som omtalt i kap. 6.1.1. For voksne kvinner kan det basert på denne ikke beregnes makskonsentrasjoner i drikkevann ettersom TWI for summen av forbindelsene PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS overskrides fra øvrig kosthold og andre eksponeringskilder. For voksne menn er makskonsentrasjonen i drikkevann 2,6 ng/l dersom personen drikker en gjennomsnittlig mengde vann basert på data fra norske kostholdsundersøkelser. Disse makskonsentrasjonene overskrides i flere av de private drikkevannsforsyningene i boligområdene ved Bergen lufthavn, men ligger samtidig klart under EUs foreslåtte grenseverdi.

I tillegg til brannøving ved de to brannøvingsfeltene har det har historisk vært flere ulike aktiviteter som kan ha ført til mulig PFAS-forurensede lokaliteter på nordlig del av Bergen lufthavn (eks. omdisponering og forflytning av masser, avfallsfylling, masselagring, jfr. kap. 2.4 og 2.5). Det pågår nå undersøkelser for å vurdere mulige kilder til påvist PFAS i drikkevannet i boligfeltene nord for lufthavna [45].

Det er påvist PFAS i varierende konsentrasjoner i grunnvann ved begge brannøvingsfelter, og i resipienter med avrenning nordover og vestover fra lufthavnen (Langavatn, Lindevikabekken, Fleslandselva, Steinfjelltjern og Kvernabekken). Dette, og erfaring fra andre lufthavner, tilsier at det kan forventes et «bakgrunnsnivå» av PFAS i grunnvann på lufthavner med betydelige kilder til spredning av PFAS. Da det er flere mulige kilder til PFAS i grunnvann som tidligere har vært benyttet til drikkevann nær lufthavnen, er det stor usikkerhet knyttet til om gjennomføring av tiltak ved brannøvingsfeltene vil redusere konsentrasjonene i grunnvannet, samt hvilken reduksjon som ev. kan forventes og tiden det tar. Dersom det forekommer diffus

spredning fra flere kilder via grunnvann i løsmasser og/eller sprekker i fjell vil et «bakgrunnsnivå» i grunnvann forventes også i fremtiden, selv etter gjennomføring av tiltak ved brannøvingsfeltene.

6.1.2.2 *Badeplasser*

Boligområdene Kvitura, Flesland og Vardaneset ligger helt i strandsonen nordvest, vest og sørvest for lufthavnen. Det er private brygger i disse boligområdene som med stor sannsynlighet brukes til bading. I Lønningshavn ved utløpet av Lønningsbekken er det på Bergen kommune sine nettsider registrert en badeplass [49]. Resultater fra utført prøvetaking av vann i Lønningsbekken viser konsentrasjoner av Σ PFAS mellom 10-100 ng/l (ENBR-LB1; 2014-2020). I Lindevikabekken er det ikke boliger, hytter eller strender, og det forventes ikke at området benyttes til badeaktivitet.

For PFAS-forurensset badevann konkluderer vurderingen til FHI fra 2020 med at bading ikke fører til en overskridelse av TWI så lenge vannet ikke har høyere konsentrasjoner av PFAS enn at det kan benyttes til drikkevann. Vurderingen har videre konkludert med at det er lite sannsynlig at oppvask i PFAS-forurensset vann fører til overskridelse av TWI [11]. I en nyere vurdering fra FHI (2021) av PFAS i vann til bading og dusjing konkluderes det med at bading (karbad/dusjing) ikke utgjør noen økt helserisiko knyttet til PFAS-eksponering for de vurderte aldersgruppene (nyfødt-voksen) ved konsentrasjoner av Σ PFAS under ca. 400 ng/l [50].

6.1.2.3 *Fritidsfiske*

Resultater av utført prøvetaking av fisk i resipienter ved Bergen lufthavn er oppsummert i kap. 3.3.4.

Langavatnet

I Langavatnet er det tatt prøver av fisk over flere år siden 2009. Det er analysert individ av ørret, både muskel og leverprøver, samt blandprøver av ungfisk av ørret. Resultatene viser gjennomgående høye konsentrasjoner, og overskridelse av EQS_{biota}. Langavatn er ikke offentlig tilgjengelig, og benyttes ikke til fritidsfiske eller fiske til humant konsum.

Fleslandselven

I Fleslandselven er det tatt biotaprøver i 2012 og 2015. Det er tatt prøver av fisk (ørret, muskelprøver og hele fileter med skinn) og ål. Resultatene viser høye konsentrasjoner, og overskridelse av EQS_{biota}. Det er ikke kjent om Fleslandsbekken i dag benyttes til fritidsfiske, men det er antatt at dette er lite sannsynlig på bakgrunn av elvens størrelse og lokalisering.

Lindevikabekken

Det er ikke utført prøvetaking av fisk for analyse av PFAS i Lindevikabekken. Bekken har jevnt lav vannføring og er for bratt for oppvandring av sjøørret, og det er derfor heller ikke en bekk som benyttes til fritidsfiske.

Lønningsbekken

I Lønningsbekken er det tatt 3 prøver av fisk i 2012 (1 individprøve og 2 blandprøver) Resultatene viser høye konsentrasjoner, og overskridelse av EQS_{biota}. Det er ansett som lite sannsynlig at Lønningsbekken benyttes til fritidsfiske på bakgrunn av elvens størrelse og lokalisering.

Raunefjorden

I Raunefjorden er det tatt prøver av fisk ved utløpet av Fleslandselven. Det er tatt prøver av torsk (1 blandprøve av muskel fra 3 individer) og lyr (10 individprøver av muskel), som viste lave konsentrasjoner av PFAS (<LOQ – 1,8 µg/kg). Det er i Vann-nett registrert at det er to punktutslipp fra renseanlegg til

Raunefjorden (kommunalt renseanlegg Flesland, og kommunalt renseanlegg Fjell VAR), samt et punktutslipp fra et nedlagt deponi inne i fjell. Det kan derfor være flere kilder til PFAS i fjorden. Fjorden er forventet å ha stor fortynningskapasitet og høy vannutskifting.

Det antas at området i Raunefjorden, Kobbaleia og Grimstadjorden vest og nord for lufthavna benyttes til fritidsfiske. Det er i Fiskeridirektoratets karttjeneste Yggdrasil registrert at det foregår rekefiske med reketrål i sjøen rett vest for lufthavna, ca. 2,3 km fra rullebanen (målt fra utløpet av kulvert under rullebanen fra Langavatnet til Fleslandsbekken). Registreringen av feltet er imidlertid fra 2007, og ifølge informasjonen i kartet ikke oppdatert [51].

EFSA har anbefalt at ukentlig inntak av PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS (summen av disse) over tid ikke bør overskride 4,4 ng/kg kroppsvekt [10]. Konsum av fisk med konsentrasjoner av disse forbindelsene i muskelvev over 1,5 ng/g, vil gi overskridelser av TWI for både kvinner og menn ved alle scenarier for ukentlig inntak (jfr. Tabell 6-1).

Av de prøver som er tatt av fisk i Raunefjorden er det kun én prøve som viser overskridelse av anbefalt grenseverdi på 1,5 ng/g. Grunnlaget for vurdering av risiko for human helse ved inntak av fisk fra Raunefjorden er imidlertid svært begrenset, og det er derfor ikke mulig å konkludere med tanke på risiko for human helse ved inntak av fisk fra Raunefjorden.

6.1.2.4 *Akvakultur/oppdrettsanlegg*

Det er registrert 4 lokaliteter for akvakultur i Raunefjorden. De to nærmeste registrerte lokalitetene er på Hestholmen (lokalitetsnummer 23635) og på Trettholmane (lokalitetsnummer 45097). Lokaliteten på Hestholmen er i luftlinje ca. 1,7 km vest for rullebanen, og lokaliteten på Trettholmane er ca. 3,5 km vest for rullebanen. Begge lokalitetene har samme innehaver (Hotate AS) og benyttes til kommersiell høsting av kamskjell. Lokalitetene Skjerholmen (lokalitetsnummer 20115) og Skaganeset (lokalitetsnummer 20515) er 5-7 km vest/sørvest for rullebanen. Ved disse lokalitetene er det kommersiell produksjon av matfisk som laks, torsk, regnbueørret og ørret i merder. Innehavere er hhv. Sjøtroll havbruk AS og Sekkingstad AS [32].

Basert på avstand til kilde og fortynning i sjø, er det vurdert som lite sannsynlig at forurensning fra lufthavnen påvirker noen av akvakulturanleggene. Det er ikke kjent om det er tatt prøver for analyse av PFAS i kamskjell eller fisk fra noen av anleggene.

6.1.2.5 *Jordbruksproduksjon*

Det er ingen jordbruksproduksjon i umiddelbar nærhet til lufthavnen.

6.1.3 Beregningsverktøy

Miljødirektoratet, med bistand fra Norges Geotekniske Institutt (NGI), har utviklet et nytt beregningsverktøy for risikovurdering av human helse på lokaliteter med forurensset grunn [52]. Testversjon av dette verktøyet og tilhørende bakgrunnsrapport ligger tilgjengelig på Miljødirektoratets hjemmesider, og dette er benyttet for beregninger av risiko for human helse som følge av eksponering for forurensningen ved brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2) ved Bergen lufthavn.

Inputparametere til modellen omfatter:

1. Transport- og spredningsprosesser (eks. jordspesifikke egenskaper, hydrogeologiske forhold, mm.)
2. Eksponeringsveier ved aktuell arealbruk (eks. oppholdstid på lokaliteten, grunnvann benyttet som drikkevann, inntak av fisk fra nærliggende resipient, mm.)
3. Målte konsentrasjoner i ulike medier (eks. jord, grunnvann, inneluft, fisk, mm.)

I beregningene er det for transport- og spredningsprosesser benyttet tilsvarende inngangsverdier som benyttet for spredningsberegninger (se kap. 5.2.3 og 5.3.3). For aktuelle eksponeringsveier er det benyttet to ulike tilnærminger:

1. Beregning basert på standardverdier for eksponeringsveier og eksponeringstid for aktuell arealbruk (industriareal) (hentet fra Tabell 3 i bakgrunnsrapport for beregningsverktøyet [52]). Denne tilnærmingen gir en beregning av risiko for human helse dersom man hadde hatt et opphold av barn og voksne på lokaliteten, hvor standardverdier for opphold innendørs og utendørs 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).
2. Beregning basert på aktuelle eksponeringsveier og eksponeringstid slik lokalitetene benyttes i dag. Det er i denne tilnærmingen benyttet inngangsverdier som vist i Tabell 6-2 og Tabell 6-3. Inngangsverdier er satt basert på kjennskap til forholdene ved lokaliteten (jfr. beskrivelse i kap. 6.1.2).

For sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) er det kun utført beregning for sentrale deler av brannøvingsfeltet (delområde 1).

For målte konsentrasjoner i jord er det benyttet en vektet gjennomsnittskonsentrasjon for Σ PFAS for hele det undersøkte arealet/volumet, heller enn å legge inn alle målte enkeltkonsentrasjoner i jord. Dette samsvarer med hva som er gjort for spredningsberegninger, hvor en vektet gjennomsnittskonsentrasjon anses å være mest representativ for utlekkingspotensialet for området som helhet. Dette gjør også at enkeltprøver med svært høye eller lave konsentrasjoner ikke tillegges uforholdsmessig stor vekt i beregningene.

Beregninger i modellverktøyet er utført uten å legge inn målte konsentrasjoner i andre medier, så som eksempelvis 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. Ved en slik tilnærming vil modellen også kunne brukes til å beregne forventede effekter av ulike tiltaksomfang.

Som input til beregningene er det som nevnt benyttet en vektet gjennomsnittskonsentrasjon for Σ PFAS. Dette selv om PFOS er eneste enkeltforbindelse av PFAS som ligger inne i modellens liste over stoffer. Dette betyr at det er stoffspesifikke egenskaper for PFOS som legges til grunn i beregningene for alle enkeltforbindelser som inngår i Σ PFAS, og vil følgelig være en usikkerhet gitt at ulike PFAS har svært ulike stoffspesifikke egenskaper. Å benytte Σ PFAS som grunnlag for beregningene vil også være en svært

konservativ tilnærming, da beregningene i et slikt tilfelle vil representere en total eksponering for summen av alle PFAS-forbindelser, vurdert opp mot en grenseverdi (MTDI) som gjelder for summen av fire enkeltforbindelser (PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS).

Tabell 6-2: Aktuelle eksponeringsveier og inngangsverdier benyttet i beregningsverktøy for BØF1 (delområde 1).

Eksponeringsveier ved aktuell arealbruk. (Kun verdier i gull felt kan endres. Endringer skal begrunnes.)				
Parametre	Standard verdi	Anvendt verdi	Enhet	Begrunnelse (Gule celler må fylles)
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (barn)	365 8	0 8	UAKTUELL	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten.
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (voksne)	365 8	10 1	dager/år timer/dag	Antar begrenset opphold for voksne på lokaliteten.
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (barn)	80 8	0 8	UAKTUELL	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten.
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (voksne)	45 8	0 8	UAKTUELL	Antar ingen direkte hudkontakt. Høy andel tette flater.
Oppholdstid utendørs (barn)	365 24	0 24	UAKTUELL	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten.
Oppholdstid utendørs (voksne)	365 24	10 1	dager/år timer/dag	Antar begrenset opphold for voksne på lokaliteten.
Oppholdstid innendørs (barn)	365 24	0 24	UAKTUELL	Ingen bygninger i bruk på lokaliteten.
Oppholdstid innendørs (voksne)	365 24	0 24	UAKTUELL	Ingen bygninger i bruk på lokaliteten.
Fraksjon av grunnvann fra lokaliteten brukt som drikkevann	100 %	0 %	UAKTUELL	Grunnvann på lokaliteten ikke benyttet som drikkevann.
Fraksjon av inntak av grønnsaker dyrket på lokaliteten	30 %	0 %	UAKTUELL	Ingen produksjon av grønnsaker på lokaliteten.
Fraksjon av inntak av fisk fra nærliggende resipient	100 %	0 %	UAKTUELL	Ikke fritidsfiske i Langavatnet.*

* Det er ikke fritidsfiske eller inntak av fisk fra primærresipient Langavatnet. Beregningsverktøyet er i liten grad egnet for å beregne risiko knyttet til inntak av fisk fra sekundærresipient Raunefjorden, da det er flere ulike kilder som bidrar med avrenning av PFAS til Raunefjorden.

Tabell 6-3: Aktuelle eksponeringsveier og inngangsverdier benyttet i beregningsverktøy for BØF2.

Eksponeringsveier ved aktuell arealbruk. (Kun verdier i gull felt kan endres. Endringer skal begrunnes.)				
Parametre	Standard verdi	Anvendt verdi	Enhet	Begrunnelse (Gule celler må fylles)
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (barn)	365 8	0 8	UAKTUELL	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten.
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (voksne)	365 8	0 1	UAKTUELL	Ingen voksne oppholder seg på lokaliteten.
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (barn)	80 8	0 8	UAKTUELL	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten.
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (voksne)	45 8	0 8	UAKTUELL	Ingen voksne oppholder seg på lokaliteten.
Oppholdstid utendørs (barn)	365 24	0 24	UAKTUELL	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten.
Oppholdstid utendørs (voksne)	365 24	0 1	UAKTUELL	Ingen voksne oppholder seg på lokaliteten.
Oppholdstid innendørs (barn)	365 24	0 24	UAKTUELL	Ingen bygninger på lokaliteten.
Oppholdstid innendørs (voksne)	365 24	0 24	UAKTUELL	Ingen bygninger på lokaliteten.
Fraksjon av grunnvann fra lokaliteten brukt som drikkevann	100 %	0 %	UAKTUELL	Grunnvann på lokaliteten ikke benyttet som drikkevann.*
Fraksjon av inntak av grønnsaker dyrket på lokaliteten	30 %	0 %	UAKTUELL	Ingen produksjon av grønnsaker på lokaliteten.
Fraksjon av inntak av fisk fra nærliggende resipient	100 %	20 %		Antar begrenset omfang av fritidsfiske i Lindevika.

* Det er ikke drikkevannsforsyninger med uttak av grunnvann på selve lokaliteten. Beregningsverktøyet er i liten grad egnet for å beregne risiko knyttet til grunnvann benyttet som drikkevann i boligområdene nord for BØF2, da det er stor usikkerhet knyttet til hvor stor andel av den totale avrenningen fra BØF2 som går mot nord (antatt hovedspredningsretning mot Lindevika i vest).

6.1.4 **Beregning basert på standardverdier**

Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

Basert på standardverdier for arealbruk industri er det for sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) beregnet en total eksponering (E_{he}) på 2,7 ng/kg kroppsvekt/dag for barn og 0,2 ng/kg kroppsvekt/dag for voksne, noe som gir overskridelser av MTDI (0,63 ng/kg kroppsvekt/dag) for barn, men ikke for voksne. For både barn og voksne er det oralt jordinntak som i all hovedsak bidrar til totaleksponeringen. Det presiseres her at dette representerer risiko ved en potensiell eksponering, da det under dagens situasjon ikke er opphold av verken barn eller voksne på lokaliteten. Det er også slik at hovedandelen av forurensede masser ligger under tett dekke (asfalterte områder og tildekket område sentralt på feltet), slik at mulighet for oralt jordinntak vil være begrenset.

Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

Basert på standardverdier for arealbruk industri er det for gammelt brannøvingsfelt (BØF2) beregnet en total eksponering (E_{he}) på 0,4 ng/kg kroppsvekt/dag for barn og 0,03 ng/kg kroppsvekt/dag for voksne, noe som ikke gir overskridelser av MTDI (0,63 ng/kg kroppsvekt/dag) for verken barn eller voksne. For både barn og voksne er det oralt jordinntak som i all hovedsak bidrar til totaleksponeringen.

6.1.5 **Beregning basert på aktuell eksponering**

Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

Basert på gitte inngangsverdier for aktuell eksponering er det for forurensningen ved BØF1 (delområde 1) beregnet en total eksponering (E_{he}) på <0,001 ng/kg kroppsvekt/dag for voksne, som følge av mulig inhalering av støv ved opphold på lokaliteten. Beregnet eksponering ligger klart under MTDI på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag. Det er ikke identifisert relevante eksponeringsveier for barn.

Det presiseres her at beregningene er utført med tanke på Langavatnet som primærresipient, og human risiko som følge av inntak av fisk er da ikke en aktuell eksponeringsvei, da det ikke forekommer fiske for humant konsum i Langavatnet (satt til 0% i beregningene). Beregningene omfatter da ikke eksponering knyttet til eventuelt inntak av fisk fra sekundærresipient Raunefjorden. Beregningsverktøyet er heller ikke egnet til å beregne risiko der hvor det er flere ulike kilder som bidrar med avrenning av PFAS til en samme resipient.

Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

Basert på gitte inngangsverdier for aktuell eksponering er det for forurensningen ved BØF2 beregnet en total eksponering (E_{he}) på 3,0 ng/kg kroppsvekt/dag for barn og 1,3 ng/kg kroppsvekt/dag for voksne, noe som gir overskridelser av MTDI på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag for både barn og voksne. For både barn og voksne er det antatt inntak av fisk (20% av totalt inntak) som i all hovedsak bidrar til totaleksponeringen. Beregningene viser i så måte at inntak av fisk som oppholder seg lokalt i Lindevika kan utgjøre en risiko for human helse for både barn og voksne.

Det er ikke drikkevannsforsyninger med uttak av grunnvann på selve lokaliteten og fraksjon grunnvann benyttet til drikkevann er derfor satt til 0% i beregningene. Beregningsverktøyet er i liten grad egnet for å beregne risiko knyttet til grunnvann benyttet som drikkevann i boligområdene nord for BØF2, da det er stor usikkerhet knyttet til hvor stor andel av den totale avrenningen fra BØF2 som går mot nord (antatt hovedspredningsretning mot Lindevika i vest). Beregningsverktøyet gir en teoretisk beregnet konsentrasjon i fisk i resipient Lindevika på om lag 3,2 µg/kg. Denne er basert på beregnet utlekking og spredning fra forurensset område, og en antatt biokonsentrasjonsfaktor (BCF_{fisk}) for PFOS på 2796 [53]. Det er ikke utført fiske lokalt i Lindevika som dokumenterer faktiske konsentrasjonsnivåer.

6.2 Økologisk risiko

6.2.1 Ferskvannøkosystem

Resultater fra utførte undersøkelser viser høye konsentrasjoner av PFAS i vann og biota i berørte ferskvannsresipienter som følge av spredning fra brannøvingsfeltene.

Langavatn er primærresipient for det meste av avrenningen og spredning av PFAS fra sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Det er gjennomgående påvist høye konsentrasjoner i vann (100-200 ng/l) og svært høye konsentrasjoner i biota (ørret, hovedsakelig muskelprøver), med betydelige overskridelser av miljøkvalitetsstandard EQS_{biota} på 9,1 µg/kg og QS_{sec pois} på 33 µg/kg (grenseverdi for beskyttelse av predatorer mot sekundær forgiftning). Resultater fra utført prøvetaking av biota (ørret) viser ingen tegn til nedadgående konsentrasjonsnivåer i muskelvev, hvor konsentrasjonsnivåer påvist i 2021 er på nivå med det som ble påvist i de første undersøkelsene i 2012. Det er også påvist høye konsentrasjoner i ørret og ål i **Fleslandselven**, som er utløpselv fra Langavatn til Raunefjorden. Dette, sammen med en høye gjenværende mengder i jord ved sist nedlagt brannøvingsfelt (BØF1) og høy beregnet spredningsmengde, tilsier en betydelig påvirkning på Langavatnet og tilhørende økosystem som følge av spredning fra brannøvingsfeltet.

Langavatnet er klassifisert som en sterkt modifisert vannforekomst, og har derfor miljømål om *godt økologisk potensial* heller enn *god økologisk tilstand*. For kjemisk tilstand er fortsatt miljømålet *god kjemisk tilstand*. Av PFAS-forbindelser inngår PFOS under EUs prioriterte stoffer, og denne inngår derfor ved klassifisering av kjemisk tilstand. PFOA inngår under vannregionspesifikke stoffer, og benyttes derfor som støtteparameter ved klassifisering av økologisk tilstand [18]. Påviste konsentrasjonsnivåer av PFOS i vann og biota tilsier en betydelig påvirkning relatert til miljøgifter, og en *dårlig* kjemisk tilstand i Langavatnet. Konsentrasjoner av PFOA i vann er gjennomgående under miljøkvalitetsstandard AA-EQS for PFOA i ferskvann på 9,1 µg/l. Det ble heller ikke påvist PFOA i muskelprøver av ørret ved undersøkelser i 2020.

Ungfisk av ørret er vurdert som godt egnet for biologisk overvåkning av eksponering for PFAS over tid. Ungfisk av ørret holder seg lokalt i Langavatnet, og nivåene i fisken vil derfor representere eksponering for PFAS fra Langavatnet og nærliggende bekker. PFAS binder seg til proteinrikt vev som blod og lever, og til rogn i kjønnsmodne individer. Fordelen med å benytte ungfisk er derfor stedfasthet og at de ikke gyter [40]. Den viktigste næringen til ørret i ferskvann er insekter, bunndyr, dyreplankton og småfisk. Hvis den når en viss lengde kan den gå over på fiskediett og bli en mer uttalt rovfisk i næringsnett. Ørret er derfor godt egnet til å påvise bioakkumulering i næringskjeden i Langvatnet.

Lindevikabekken er primærresipient for avrenning fra gammelt brannøvingsfelt (BØF2), og utførte spredningsberegninger tilsier at kartlagt forurensning ved brannøvingsfeltet kan forklare om lag 60-70% av estimert spredningsmengde via Lindevikabekken. Sammensetning av PFAS-forbindelser i jord på brannøvingsfeltet, vann i Lindevikabekken og biota (albusnegl) i Lindevika, tyder også på at kartlagt område ved brannøvingsfeltet er kilde til avrenning av PFAS til Lindevika. Nedbørfeltet til Lindevikabekken dekker imidlertid et større område nord på lufthavnområdet, med mulige andre kilder som kan bidra med avrenning av PFAS til Lindevikabekken. Det er kjent at det har forekommet øvingsaktivitet i område i nordenden av rullebanen (under fylling for dagens rullebaneforlengelse). Dette området er ikke kartlagt med tanke på PFAS-forurensning, og omfang og utbredelse av PFAS-forurensning i dette området er derfor ikke kjent.

Lindevikabekken er ikke fiskeførende, og påvirkning på biologiske verdier i Lindevikabekken vurderes derfor som liten. Resultater fra utført prøvetaking av albusnegl i Lindevika, ved utløpet av Lindevikabekken, viser imidlertid klare overskridelser av miljøkvalitetsstandard EQS_{biota} på 9,1 µg/kg, noe som tilsier en betydelig påvirkning lokalt i marin resipient Lindevika. Albusnegl er også vist å være en god og følsom indikator for

utslipp av PFAS over tid, den akkumulerer mange ulike PFAS-forbindelser, er vanlig forekommende langs kysten, og lett å samle inn [40].

Samlet viser resultater fra utførte undersøkelser av jord, vann, sediment og biota ved brannøvingsfeltene og i nærliggende resipienter et klart dominerende bidrag fra PFOS (C8) og mer langkjedete forbindelser (>C8; eks. PFTrA, PFUnA). Disse har lavere løselighet og er mindre mobile sammenliknet med mer kortkjedete forbindelser, og vil ofte gjenfinnes på lokaliteter i lang tid etter at forurensningen oppsto. Disse forbindelsene har også et stort potensiale for opptak i organismer og videre akkumulering i næringskjeden [54].

6.2.2 Marint økosystem

Avrenningen fra store deler av lufthavnområdet ender i marin resipient, Raunefjorden. Langavatn, som mottar det meste av avrenning og spredning av PFAS fra sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1), har utløp i Raunefjorden via Fleslandselven. Lindevikabekken, som mottar avrenning fra et større område nord for rullebanen, inkludert gammelt brannøvingsfelt (BØF2), har avrenning til Lindevika og Raunefjorden.

Med unntak av forhøyede konsentrasjoner i biota lokalt ved utløpene fra lufthavnen, og da særlig i Lindevika ved utløp av Lindevikabekken, viser resultater fra utførte undersøkelser generelt lave konsentrasjoner i biota i Raunefjorden. Det er samlet utført prøvetaking av biota på ulike trofiske nivå (eks. dyreplankton, muslinger og fisk), hvor resultatene ikke viser tegn til en betydelig akkumulering oppover i næringskjeden [21]. Dette antas å skyldes betydelig fortynning og god vannutskiftning i Raunefjorden, og tilsier en lav-moderat risiko for det marine økosystemet i Raunefjorden som følge av spredning av PFAS fra lufthavnområdet.

6.2.3 Terrestrisk økosystem

Det ble i 2021 tatt en blandprøve av markjordbær i område nordøst for sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) for analyse av 31 enkeltforbindelser av PFAS. Det ble samlet inn om lag 100 ml bær innenfor et areal på 400 m². Det ble ikke påvist PFAS over gjeldende kvantifiseringsgrenser i denne prøven.

Det er utover dette ikke utført undersøkelser av PFAS i terrestrisk biota ved Bergen lufthavn, og det foreligger derfor begrenset grunnlag for risikovurdering knyttet til det terrestriske økosystem. Basert på den totale forurensningssituasjonen og påviste konsentrasjoner i jord ved brannøvingsfeltene, er det imidlertid forventet et opptak av PFAS i jordlevende organismer og vegetasjon, med potensiale for videre opptak i den terrestriske næringskjeden.

7 Tiltaksmetoder

7.1 Aktuelle tiltaksmetoder

En oversikt over aktuelle tiltaksmetoder for opprydding i PFAS-forurensset grunn er gitt i Vedlegg C. De ulike metodene omfatter *in situ* og *ex situ* metoder, hvor flere av metodene er i et relativt tidlig utviklingsstadium, og lite dokumentert med tanke på egnethet og langtidseffekt. Metodene er klassifisert etter utviklingsnivå (lab, pilot, i bruk), hvor kun metoder som er *i bruk med dokumentert langtidseffekt* tas med i videre vurdering av stedsspesifikk egnethet. Metodene er vurdert basert på gjennomgang av eksisterende litteratur, samt dialog og innhenting av informasjon fra aktuelle leverandører.

Miljødirektoratet har i dialogmøter tydelig signalisert at det for de lufthavnene som er høyest prioritert med tanke på opprydding, grunnet betydelige mengder PFAS i jord og/eller høy utlekking/spredning, fortrinnsvis bør utføres gravetiltak som primærtiltak. Et slikt tiltak innebærer at en større andel av forurensningen fjernes fra lokaliteten, og man vil være sikret en langtidseffekt av oppryddingen. Dersom det skal benyttes alternative tiltak, vil det stilles strenge krav til kontroll og oppfølging av tiltaket for å sikre en tilsvarende langtidseffekt av oppryddingen.

Følgende tiltaksmetoder vurderes nærmere med tanke på stedsspesifikk egnethet:

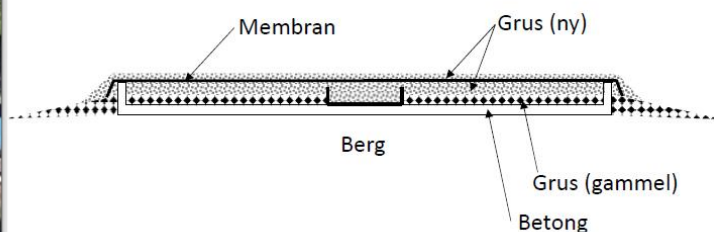
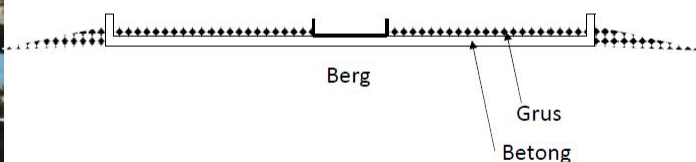
- Oppgraving m/ekstern deponering
- Oppgraving m/forbrenning
- Tildekking
- Innkapsling
- Vasking av masser (*in situ* eller *ex situ*)
- Rensing av grunnvann («pump and treat»)

I tillegg til tiltaksmetodene listet over, er det også gjort en vurdering av vannrensetiltak i Lindevikabekken som et eget tiltak. Dette vil være et tiltak som vil bidra til å redusere spredning fra forurensset område ved gammelt brannøvingfelt (BØF2), samt eventuelle andre kilder som bidrar med avrenning av PFAS til Lindevikabekken. En nærmere beskrivelse av dimensjoneringsgrunnlag og prosessbeskrivelse for ulike alternative vannrensetiltak er gitt i Vedlegg D.

7.2 Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

7.2.1 Utførte tiltak

Det ble i 2019 gjennomført en tildekking av betongplate sentralt på sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) som beskrevet i kap. 2.5.1. Prinsippskisse for utført tildekkingstiltak er vist i Figur 7-1.



Figur 7-1: Prinsippskisse for utført tildekkingstiltak på sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1).

7.2.2 Vurdering av stedsspesifikk egnethet

En vurdering av stedsspesifikk egnethet for aktuelle tiltaksmetoder ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) er sammenstilt i Tabell 7-1. Det er gjort vurderinger av stedsspesifikk egnethet for delområde 1-3. Delområde 4 er vurdert som lite aktuelt for tiltak grunnet lave konsentrasjoner og mengder i jord, samt betydelig konflikt med infrastruktur i grunnen ved gjennomføring av et eventuelt oppryddingstiltak (eks. høyspent). Det er heller ikke utført tiltaksvurderinger for delområde 5, da foreløpige beregninger tilsier lave mengder i dette delområdet, samt at dette delområdet ikke anses tilstrekkelig kartlagt for vurderinger av tiltaksbehov og eventuell gjennomføring av et oppryddingstiltak.

Basert på gjennomgangen vurderes oppgraving med ekstern deponering som det mest aktuelle tiltaket for opprydding i PFAS-forurensning ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Dette fordi kartlagt forurensning i all hovedsak befinner seg i umettet sone, over et område med relativt begrenset mektighet av løsmasser over fjell. Det er beregnet betydelige mengder PFAS i masser innenfor det aktuelle området (delområde 1-3), noe som gir en høy tiltakseffekt (g PFAS/m³ masse) ved et gravetiltak. Det vurderes som hensiktsmessig at tildekket betongplate sentralt på feltet (delområde 2) fjernes samtidig med utgraving av masser i delområde 1 og 3.

Vasking av masser kan også være et aktuelt tiltak for fyllmasser sentralt på feltet (delområde 1). Dette tiltaket innebærer at masser i fraksjon 0,06-50 mm (dvs. sand, grus og grovere fraksjoner) vaskes i et mobilt (*in situ*) eller stasjonært (*ex situ*) vaskeanlegg, og tilbakeføres på lokaliteten etter vasking. Finere fraksjoner (silt og leire <0,06 mm) og organisk materiale vil separeres ut i vaskeprosessen og leveres på eksternt deponi. Vasking av masser vil gi en restkonsentrasjon av PFAS i de massene som tilbakeføres på lokaliteten. Det er for videre vurderinger lagt til grunn at restkonsentrasjon i alle masser som tilbakeføres er <30 µg/kg. Hvilken konsentrasjon man faktisk klarer å oppnå gjennom vasking vil avhenge av massetype og utgangskonsentrasjoner, og det vil måtte gjøres egne laboratorieforsøk med stedegne masser for nærmere vurderinger av dette i en eventuell senere detaljeringsfase for tiltaket.

Vasking av masser er vurdert som lite egnet for organiske masser i skogsområde nord for feltet (delområde 3) grunnet moderat/høyt organisk innhold i massene og forventet betydelig innslag av vegetasjon og røtter i utgravde masser. Massene i dette delområdet er karakterisert som organisk rik skogsjord, med en varierende grad av mineraljordinnblanding i dybden. Leverandør av vaskeanlegg påpeker at man eventuelt kan gjennomføre testforsøk (lab) for å se i hvilken grad man eventuelt klarer å separere ut mineraljordfraksjonen fra disse massene, men usikkerhetene vurderes som for store til at man kan anbefale en slik løsning på nåværende tidspunkt. Om man skulle klare å separere ut en viss andel av mineralsk materiale, så forventes det allikevel at en større andel av massene fra dette delområdet vil måtte håndteres som finstoff/organisk materiale og leveres til deponi. Vasking av masser vurderes også som lite egnet for grusholdige masser over betongplate sentralt på feltet (delområde 2) grunnet oljeforurensning i disse massene.

For skogsområde nord for brannøvingsfeltet (delområde 3) har Avinor også ønsket en vurdering av mulighet for stabilisering/immobilisering, selv om dette er en tiltaksmetode som er lite dokumentert med tanke på langtidseffekt. Denne metoden er vurdert å være lite egnet for området i nord. Det for dette delområdet påvist dels høye konsentrasjoner i masser nærmest brannøvingsfeltet, men beregnet utlekking og spredning er imidlertid lav som følge av massenes karakter (høy bindingsevne for PFAS). Det er i så måte ikke spredningsmengden, men heller konsentrasjonsnivåer, som primært er styrende for at man her skal gjøre tiltak. For dette delområdet kan det forventes at PFAS er sterkt bundet i massene, og at massene ligger relativt uforstyrret med liten grad av erosjon/utvasking som følge av et godt beskyttende vegetasjonsdekke. Enhver form for fysisk forstyrrelse (eks. fjerning av vegetasjonsdekke, oppgraving for innblanding av sorbent) vil kunne medføre fysisk destabilisering av massene, som igjen kan medføre utvasking av masser og spredning av partikkelbundet PFAS.

Tabell 7-1: Vurdering av stedsspesifikk egnethet for aktuelle tiltaksmetoder for delområde 1-3 ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1).

Tiltaksmetode	Stedsspesifikk egnethet
Delområde 1	
Oppgraving m/ekstern deponering	Forurensning i hovedsak i umettet sone. Høye konsentrasjoner og store beregnede mengder innenfor et begrenset areal/volum gir høy tiltakseffekt ved gravetiltak. Mulig konflikt med infrastruktur i grunnen på feltet ved oppgraving.
Oppgraving m/forbrenning	Forurensning i hovedsak i umettet sone. Høye konsentrasjoner og store beregnede mengder innenfor et begrenset areal/volum gir høy tiltakseffekt ved gravetiltak. Mulig konflikt med infrastruktur i grunnen på feltet ved oppgraving. Høy kostnad for forbrenning gjør tiltaket lite aktuelt.
Tildekking	Sammensatte spredningsveier og diffus spredning i grunnen gir begrensede muligheter for tilstrekkelig kontroll og overvåkning etter tiltak. Gir begrensninger på etterbruk av området.
Innkapsling	Sammensatte spredningsveier og diffus spredning i grunnen gir begrensede muligheter for tilstrekkelig kontroll og overvåkning etter tiltak. Gir begrensninger på etterbruk av området.
Vasking av masser (<i>in situ</i> eller <i>ex situ</i>)	Antatt egnet for fyllmasser innenfor delområde 1. Usikkerhet knyttet til restkonsentrasjon av PFAS i massene ved tilbakelegging, og andel finstoff (silt/leire) og organisk material som vil måtte leveres til deponi.
Rensing av grunnvann ("pump and treat")	Ikke aktuelt. Grunnvann hovedsakelig i berg. Strømningsveier for grunnvann i berg er ikke kartlagt.
Delområde 2	
Oppgraving m/ekstern deponering	Vurderes som hensiktsmessig å utføre sammen med oppgraving av masser i delområde 1.
Oppgraving m/forbrenning	Ikke aktuelt. Høy kostnad for forbrenning.
Tildekking	Tildekkingstiltak er allerede utført (2019). Ikke utført oppfølgende kontroll og overvåkning av tildekkingstiltaket.
Innkapsling	Ikke egnet grunnet betongplate støpt på fjell.
Vasking av masser (<i>in situ</i> eller <i>ex situ</i>)	Lite egnet for grusholdige masser over betongplate grunnet oljeforurensning i massene. Ikke aktuelt for betongplate.
Rensing av grunnvann ("pump and treat")	Ikke aktuelt. Grunnvann hovedsakelig i berg.

Tabell 7-1 (forts)

Delområde 3

Oppgraving m/ekstern deponering	Forurensning i hovedsak i umettet sone. Høye konsentrasjoner og store beregnede mengder innenfor et begrenset areal/volum gir høy tiltakseffekt ved gravetiltak. Mulig konflikt med infrastruktur i grunnen på feltet ved oppgraving.
Oppgraving m/forbrenning	Forurensning i hovedsak i umettet sone. Høye konsentrasjoner og store beregnede mengder innenfor et begrenset areal/volum gir høy tiltakseffekt ved gravetiltak. Mulig konflikt med infrastruktur i grunnen på feltet ved oppgraving. Høy kostnad for forbrenning gjør tiltaket lite aktuelt.
Tildekking	Lite egnet grunnet kompleks topografi. Sammensatte spredningsveier og diffus spredning i grunnen gir begrensede muligheter for tilstrekkelig kontroll og overvåkning etter tiltak. Gir begrensninger på etterbruk av området.
Innkapsling	Lite egnet grunnet kompleks topografi. Sammensatte spredningsveier og diffus spredning i grunnen gir begrensede muligheter for tilstrekkelig kontroll og overvåkning etter tiltak. Gir begrensninger på etterbruk av området.
Vasking av masser (<i>in situ</i> eller <i>ex situ</i>)	Lite egnet for masser med moderat/høyt organisk innhold. Det forventes betydelige innslag av vegetasjon og røtter i oppgravde masser.
Rensing av grunnvann ("pump and treat")	Ikke aktuelt. Grunnvann hovedsakelig i berg. Strømningsveier for grunnvann i berg er ikke kartlagt.

7.3 Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

7.3.1 Utførte tiltak

Avinor etablerte i 2012 et rensetiltak for avrenning mot Steinfjelltjern (Figur 7-2). Dette som følge av påvisninger av PFAS i Steinfjelltjern, som den gang var drikkevannskilde til boligområde i Kvitura. Eventuell spredning fra BØF2 mot Steinfjelltjern forventes begrenset da den kartlagte forurensningen i jord på feltet ligger utenfor det topografiske nedbørsfeltet til tjernet. Det kan imidlertid ikke utelukkes noe spredning med grunnvann fra BØF2 via sprekker i berg til Steinfjelltjern.

Det etablerte tiltaket er basert på en løsning som samler vann fra et grunnvannsutsig i fjell, og leder dette gjennom to seriekoblede filtre (organoclay). Tiltaket har ifølge opplysninger fra Avinor gitt en reduksjon i konsentrasjoner av PFAS i avrenningsvann mot Steinfjelltjern, men det foreligger begrenset dokumentasjon på vannmengder som passerer filterløsningen og rensegrad (%) for PFAS.



Figur 7-2: Etablert rensetiltak for avrenning mot Steinfjelltjern.

7.3.2 Vurdering av stedsspesifikk egnethet

En vurdering av stedsspesifikk egnethet for aktuelle tiltaksmetoder ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er sammenstilt i Tabell 7-2. Vurderingen av egnethet er utført med tanke på opprydding av kartlagt forurensning i jord ved brannøvingsfeltet. Det er også gjort vurderinger av mulighet for etablering av vannrensetiltak i Lindevikabekken for å redusere spredning av PFAS fra området som helhet.

Basert på gjennomgangen vurderes oppgraving med ekstern deponering som det mest aktuelle tiltaket *for å fjerne kjent PFAS-forurensning* ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Moderate konsentrasjoner og relativt lave beregnede mengder innenfor et stort volum masser (grunnet lav finstoffandel) gir imidlertid relativt lav tiltakseffekt (g/m^3) ved gravetiltak sammenliknet med tilsvarende tiltak ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1).

Vasking av masser kan også være et aktuelt tiltak på gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Dette tiltaket innebærer at masser i fraksjon 0,06-50 mm (dvs. sand, grus og grovere fraksjoner) vaskes i et mobilt (*in situ*) eller stasjonært (*ex situ*) vaskeanlegg, og tilbakeføres på lokaliteten etter vasking. Finere fraksjoner (silt og leire $<0,06$ mm) og organisk materiale vil separeres ut i vaskeprosessen og leveres på eksternt deponi. Vasking av masser vil gi en restkonsentrasjon av PFAS i de massene som tilbakeføres på lokaliteten. Det er for videre vurderinger lagt til grunn at restkonsentrasjon i alle masser som tilbakeføres er <30 $\mu\text{g/kg}$. Hvilken konsentrasjon man faktisk klarer å oppnå gjennom vasking vil avhenge av massetype og utgangskonsentrasjoner, og det vil måtte gjøres egne laboratorieforsøk med stedegne masser for nærmere vurderinger av dette i en eventuell senere detaljeringsfase for tiltaket.

Andre tiltaksalternativer, så som eksempelvis tildekking eller rensing av grunnvann («pump and treat») vurderes som lite aktuelle grunnet komplekse grunnforhold og lite kartlagte spredningsveier i grunnen.

Et gravetiltak vil bidra til å fjerne kjent PFAS-forurensning ved BØF2 og derigjennom redusere spredning fra kartlagt område ved BØF2 til Lindevikabekken. Som tidligere beskrevet er det usikkerheter knyttet til vertikal utbredelse av forurensningen, og dette medfører usikkerhet knyttet til hvor mye avrenningen fra dette området bidrar til total spredningsmengde i Lindevikabekken. Det er imidlertid anslått at BØF2 (kartlagt område) forklarer 60-70% av spredningen via Lindevikabekken. I videre vurderinger av kostnader og effekter, vurderes derfor dette tiltaket opp mot et mulig vannrensetiltak i Lindevikabekken, da dette vil være et tiltak som bidrar til å redusere kjent spredning uavhengig av hvilke kilder som bidrar.

Det er for vannrensetiltak i Lindevikabekken vurdert to ulike alternative løsninger (se nærmere beskrivelse i Vedlegg D):

1. Prosessanlegg, kapasitet 10 l/s
2. Gravitasjonsløsning, kapasitet 5 l/s

Dette er løsninger som med de gitte kapasiteter på 10 l/s og 5 l/s vil kunne håndtere henholdsvis om lag 70% og 50% av total vannmengde i Lindevikabekken (basert på foreliggende varighetskurve; jfr. beskrivelse i Vedlegg D). Annen dimensjonering vil være mulig, men dimensjonering for økt kapasitet vil medføre økte kostnader for et slikt tiltak. Foreliggende varighetskurve for vannføring i Lindevikabekken tilsier betydelig variasjon i vannføring i bekken, og dimensjonering for å fange 100% av vannet til enhver tid vil derfor medføre betydelige kostnader og et anlegg som er overdimensjonert det meste av tiden.

Det er i vurderingene og kostnadsberegningene lagt til grunn rensing av vann gjennom aktivt kull som filtermedium, da dette er en velutprøvd og veldokumentert teknologi. Bruk av annen teknologi og andre filtermedier vil imidlertid være aktuelt dersom disse viser seg å være mer egnet og gi bedre kostnadseffektivitet for vannrensing ved lokaliteten.

Tabell 7-2: Vurdering av stedsspesifikk egnethet for aktuelle tiltaksmetoder ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2).

Tiltaksmetode	Stedsspesifikk egnethet
Oppgraving m/ekstern deponering	Kartlagt forurensning ligger i hovedsak i umettet sone. Moderate konsentrasjoner og relativt lave beregnede mengder innenfor et stort volum gir lav tiltakseffekt ved gravetiltak. Mulig konflikt med driftsmessige forhold (høyderestriksjoner innflyvning) ved gjennomføring av gravetiltak.
Oppgraving m/forbrenning	Kartlagt forurensning ligger i hovedsak i umettet sone. Moderate konsentrasjoner og relativt lave beregnede mengder innenfor et stort volum gir lav tiltakseffekt ved gravetiltak. Mulig konflikt med driftsmessige forhold (høyderestriksjoner innflyvning) ved gjennomføring av gravetiltak. Høy kostnad for forbrenning gjør tiltaket lite aktuelt.
Tildekking	Lite egnet grunnet komplekse grunnforhold. Sammensatte spredningsveier og diffus spredning i grunnen gir begrensede muligheter for tilstrekkelig kontroll og overvåkning etter tiltak. Gir begrensninger på etterbruk av området.
Innkapsling	Lite egnet grunnet komplekse grunnforhold. Sammensatte spredningsveier og diffus spredning i grunnen gir begrensede muligheter for tilstrekkelig kontroll og overvåkning etter tiltak. Gir begrensninger på etterbruk av området.
Vasking av masser (<i>in situ</i> eller <i>ex situ</i>)	Antatt egnet for fyllmasser ved BØF2. Usikkerhet knyttet til restkonsentrasjon av PFAS i massene ved tilbakelegging, og andel finstoff (silt/leire) og organisk material som vil måtte leveres til deponi.
Rensing av grunnvann ("pump and treat")	Ikke aktuelt. Kartlagt forurensning i hovedsak i umettet sone. Forurensning i mettet sone er i liten grad kartlagt. Komplekse grunnforhold og sammensatte spredningsveier i grunnen, gjør et rensetiltak for grunnvann lite aktuelt.

8 Kostnadsberegninger

Hensikten med å beregne kostnader for tiltak er å kunne vurdere kost/effekt ved opprydding på lokalitetene, samt å få en oversikt over totale kostnader for tiltak. Kostnadsberegningene er utført på skissenivå, og det er ikke utført detaljutfordringer for hver lokalitet. Oppstart av detaljutfordringer er planlagt 1. kvartal 2022 (se kap. 10 for fremdriftsplan).

Det er beregnet kostnader og kost/effekt for tiltaksmetoder som er vurdert som aktuelle for de enkelte lokalitetene (jfr. vurderinger av stedsspesifikk egnethet i kap. 7.2.2 og 7.3.2). Dette betyr at det for begge brannøvingsfeltene er beregnet kostnader for tiltaksalternativene (1) oppgraving med ekstern deponering, og (2) vasking av masser. I tillegg er det for gammelt brannøvingsfelt (BØF2) beregnet kostnader for ulike alternative vannrensetiltak i Lindevikabekken.

For å estimere mest mulig realistiske kostnader for tiltak er det innhentet priser fra entreprenører, deponier og leverandører av ulike tiltaksløsninger, samt erfaringstall fra Avinor fra tidligere gjennomførte oppryddingstiltak. Basert på opplysninger fra ulike aktører er det satt priser som antas å være realistiske for hver lokalitet, og som kan brukes i en overordnet vurdering av kostnader. En slik innhenting av priser, hvor man ikke er i reell anskaffelse og konkurransesituasjon, vil imidlertid medføre at kostnadene som legges til grunn innehar en betydelig usikkerhet. Prisene vil også speile markedet slik det er i dag, med mulighet for at disse kan endre seg fram mot en fremtidig gjennomføring av tiltak. Dette gjelder særlig dersom konkurransesituasjonen i markedet endres som følge av det kommer flere aktuelle aktører inn i markedet.

8.1 Metodikk og forutsetninger

Kostnadsestimater for de ulike alternative tiltakene er presentert som basiskostnad (grunnkalkyle + 20% uspesifisert; jfr. Figur 8-1), og det er denne som er lagt til grunn ved beregning av kost/effekt for de ulike tiltakene som presentert i kap. 8.2.

I henhold til pålegget om utarbeidelse av tiltaksplan for Bergen lufthavn er det utført kostnadsberegninger for opprydding til tre ulike tiltaksgrenser [5]. De tre tiltaksgrensene som er vurdert er konsentrasjoner av Σ PFAS i jord $>30 \mu\text{g/kg}$, $>150 \mu\text{g/kg}$ og $>500 \mu\text{g/kg}$. De tre tiltaksgrensene er valgt blant annet på bakgrunn av resultater fra kostnadsberegninger (grunnkalkyle) og vurderinger av kost/effekt i forbindelse med pålegg om samlet vurdering av PFAS ved Avinors lufthavner i 2019 [3].

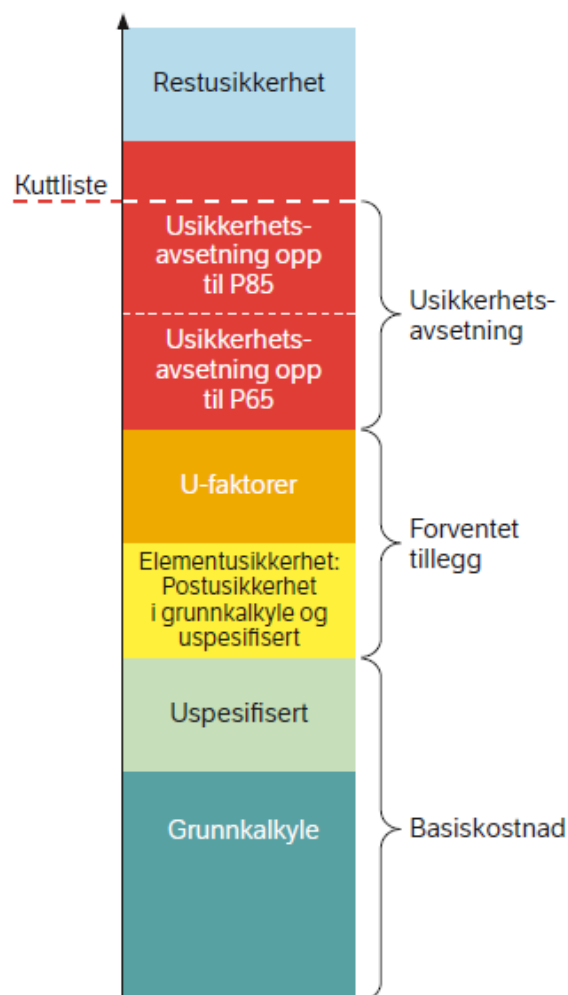
8.1.1 Oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser

For kostnadsberegningene av oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser er det benyttet verktøyet og prinsippene for kostnadsoverslag etter Anslagsmetoden til Statens vegvesen [55]. Kostnadsoverslag etter Anslagsmetoden er oppbygd som vist i Figur 8-1.

Kostnadsoverslaget (basiskalkyle) er bygget opp etter en kalkylestruktur med følgende hovedposter:

- Masseutskifting/vasking av masser
- Tekniske installasjoner
- Byggherrekostnader
- Uspesifisert

Uspesifiserte kostnader er inkludert i beregningene (basiskalkyle), 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 (mva) er ikke inkludert i basiskalkylen.



Figur 8-1: Skisse som viser hvordan et kostnadsoverslag etter Anslagsmetoden bygges opp [55].

Følgende overordnede forutsetninger er lagt til grunn for kostnadsberegningene for oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser:

- Prisnivå 2021
- 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/konkurranseform: Utførelsesentreprise
- Antatt byggestart: 2022
- Forventet anleggsperiode: 2 mnd.

Hvordan den faktiske anleggsgjennomføringen vil foregå bestemmes i detaljeringsfasen, og vil derfor være gjenstand for endringer. For kostnadsoverslaget er det lagt til grunn følgende gjennomføring:

- Sorteringsskuff brukes til å ta ut større steiner som legges til side, mens finere fraksjoner lastes på bil og kjøres bort eller vaskes.
- Ved behov mellomlagres massene på tett dekke med oppsamling av vann til vannrenseanlegg
- Gropa fylles igjen med utsortert grovfraksjon og rene masser. Området planeres og komprimeres (ingen tilbakefylling for BØF1 delområde 3).
- Forurensede masser og/eller filterkake (forurensset rest av finstoff fra vaskeprosessen) kjøres til havn og lastes over på båt for videre transport sjøvegen med levering til mottak direkte fra båt.
- Det er forutsatt en koordinering av oppgraving, opplasting og transport som fører til at graveentreprenør og transportører vil kunne jobbe relativt jevnt uten mye ventetid
- Det forutsettes at rene masser for tilbakefylling i byggegrop er tilgjengelig lokalt og/eller at slike masser kan mellomlagres på/nær lufthavnen frem til anvendelse

I kostnadsberegningene er det for sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) lagt til grunn at ca. 40% av massene i delområde 1 er grove masser som kan sorteres ut ved bruk av sorteringsskuff. For skogsområde nord for feltet (delområde 3) er det ikke lagt til grunn utsortering av grovere fraksjoner, da det antas at tilnærmet 100% av massene består av finere fraksjoner som må antas å være forurensset. For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er det lagt til grunn at 60% av massene består av grovere fraksjoner som kan sorteres ut..

For BØF 1 forventes det ikke at tiltaksgjennomføringen påvirkes av hensynet til flysikkerhet og drift ved lufthavnen. For BØF 2 som er lokalisert i innflygningssonen til lufthavnen vil tiltaksgjennomføringen påvirkes av hensynet til flysikkerhet og drift ved lufthavnen, med behov for tilpasninger som kan påvirke fremdrift. Disse forholdene vil måtte detaljeres ytterligere i senere fase, og det er derfor i kostnadsberegningene tillagt en ekstrakostnad på kostnader for anleggsarbeidene ved BØF2.

Det er usikkert i hvilken grad det vil bli behov for håndtering av anleggsvann, men det er for kostnadsberegningen estimert kostnader for at vannet i gravegropa renses med et mobilt (kontainerbasert) renseanlegg.

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

- Omfang av midlertidige anleggsveier, mellomlagringsområder, eller omlegging av interne veier
- Omfang av installasjoner i grunnen, asfalt eller annen infrastruktur i anleggsområdet

- Omfang av miljøteknisk bistand, og omfang av geoteknisk bistand i forbindelse med stabilitetsvurderinger av masser, etablering av mellomlager, internveier etc.

8.1.2 Vannrensetiltak Lindevikabekken

Det er for vannrensetiltak i Lindevikabekken vurdert to ulike alternative løsninger (se nærmere beskrivelse i Vedlegg D):

1. Prosessanlegg, kapasitet 10 l/s
2. Gravitasjonsløsning, kapasitet 5 l/s

Følgende overordnede forutsetninger er lagt til grunn for kostnadsberegningene:

- Prisenivå 2021
- Plannivå: Skisseprosjekt
- Byggherre: Avinor
- Utlysning/konkurranseform: Totalentreprise for renseteknisk utstyr (inkl. serviceavtale, utførelsesentreprise for øvrige arbeider)
- Kalkulasjonsrente 3,0 %

Investeringskostnader for vannrensetiltakene er i hovedsak beregnet ut fra enhetspriser for identifiserte anleggselementer og for enkelte elementer beregnet som prosentandel av øvrige kostnader basert på erfaringstall. Merverdiavgift (mva) er ikke inkludert i basiskalkylen.

Vannrensetiltakene skiller seg fra øvrige tiltak ved at en betydelig del av totalkostnadene vil bestå av løpende driftskostnader. Jo lenger varighet av tiltaket, jo større andel av totalkostnaden utgjøres av driftskostnadene. Det er lagt til grunn en kalkulasjonsrente på 3,0 % for beregning av nåverdi av driftskostnadene.

Investeringskostnader – Prosessanlegget

Kostnader for maskin og prosess er kalkulert på komponentnivå. Det er benyttet erfaringstall for komponentkostnader basert på tilsvarende utstyrsleveranser i andre prosjekter (ikke for rensing av PFAS, men samme type komponenter til andre formål).

For elektro og automatisering tilknyttet prosessanlegget er det brukt en kostnad på 25% av totalkostnaden for maskininstallasjoner basert på erfaringstall.

Det er ikke endelig avklart hvor strømforsyning til prosessanlegget kan hentes. I kalkylen er det lagt inn en trafostasjon med anleggsbidrag 500 000,- og en overføringsavstand på 500 m fra tilknytningspunkt til renseanlegget.

For VVS er det estimert en rundsum for ventilasjon og oppvarming.

For bygg og utomhusarbeider er det benyttet mengdeanslag og enhetspriser fra erfaringstall eller Norsk Prisbok.

Alle kostnader er lagt til uspesifisert +20% som skal ivareta forventede kostnader som ikke er tatt med som følge av lav detaljeringsgrad på nåværende tidspunkt. Videre er det lagt på +20% rigg og drift for arbeider utført i utførelsesentreprise, og +25% generalomkostninger for arbeid utført i totalentreprise.

Det er videre lagt til byggherrekostnader på 10% som dekker prosjektering, oppfølging og byggeledelse.

Investeringskostnader – Gravitasjonsløsningen

Gravitasjonsløsningen er beregnet tilsvarende som prosessanlegget. Det er ingen kostnader for VVS da dette er en utomhusinstallasjon, og det er ikke kostnader for ekstern strømforsyning.

Driftskostnader

En vesentlig usikkerhet er knyttet til utskiftningsfrekvensen for aktivt kull. Her vil adsorpsjonskapasiteten ikke bare forbrukes av PFAS, men også av naturlig organisk materiale og andre forbindelser i bekkevannet.

Som grunn for beregning av driftskostnader er det for prosessanlegget lagt til grunn en utskiftningsfrekvens én gang i året, dvs. innkjøp av 8000 kg kull og avhending av tilsvarende mengde vannmettet kull (16 tonn). For gravitasjonsløsningen er det antatt en noe lavere mengde iht. lavere kullmengde og adsorbert mengde PFAS, som gir 5 895 kg aktivt kull/år.

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

For prosessanlegget

- Utførelse av damkonstruksjon i Lindevikabekken. Vil ikke kunne avklares endelig før tenkt plassering frigraves og avstand til berg avdekkes. Lite gunstige forhold vil medføre merkostnader.
- Adgangskontroll i byggefasen. Det må utføres arbeider på utsiden av flyplassgjerdet og dette må fjernes for transport. Kostnader knyttet til adgangskontroll i byggefasen er ikke tatt med.
- Anleggsplassering. Anleggsplassering er foreslått som vist i Vedlegg D. Plasseringen er valgt som følge av at anlegget blir liggende relativt lavt, med kort føringsvei for pumpeledning og utslippsledning. Plasseringen er ikke diskutert nærmere med flyplassen.
- Strømtilførsel til anlegget. Det er ikke avklart hvor strøm til anlegget kan hentes fra.
- Ledningstraseer mellom pumpestasjon i Lindevikabekken og renseanlegget.

For gravitasjonsløsningen

- Utførelse av damkonstruksjon i Lindevikabekken. Vil ikke kunne avklares endelig før tenkt plassering frigraves og avstand til berg avdekkes. Lite gunstige forhold vil medføre merkostnader.
- Adgangskontroll i byggefasen. Det må utføres arbeider på utsiden av flyplassgjerdet og dette må fjernes for transport. Kostnader knyttet til adgangskontroll i byggefasen er ikke tatt med.

8.2 Kostnader

8.2.1 Oppgraving med ekstern deponering

Beregnet basiskostnad for tiltak med oppgraving og ekstern deponering ved sist nedlagte (BØF1) og gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er vist i Tabell 8-1. I tabellen vises også kostnad per mengde PFAS fjernet (kr/kg PFAS) for ulike tiltaksgrenser (30, 150, 150/500 og 500 µg/kg).

For sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) representerer kostnaden en samlet kostnad for oppgraving og ekstern deponering av masser innenfor delområde 1-3. Kost/effekt for oppgraving av alle masser >30 µg/kg er beregnet til 2,8 MNOK per kg PFAS fjernet, og tilsvarende 2,5 MNOK/kg PFAS ved oppgraving av alle masser >150 µg/kg.

For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er det beregnet en betydelig høyere kost/effekt for gravetiltak uavhengig av tiltaksgrense. Beregnet kost/effekt varierer mellom 5,9 MNOK/kg PFAS for tiltaksgrense 500 µg/kg til 8,9 MNOK/kg PFAS for tiltaksgrense 30 µg/kg. Høyere kost/effekt for gravetiltak på dette feltet forklares i stor grad av en begrenset mengde PFAS innenfor et stort volum masser.

Tabell 8-1: Beregnet basiskostnad og kost/effekt for oppgraving med ekstern deponering ved tiltaksgrense 30, 150, 150/500 og 500 µg/kg.

	Tiltaksgrense	Basiskostnad (NOK)	Volum masser (m ³)	Effekt (kg PFAS)	Kost/effekt (kr/kg PFAS)
BØF1	30 µg/kg	kr 42 400 000	10260	15,3	kr 2 800 000
	150 µg/kg	kr 38 500 000	9320	15,1	kr 2 500 000
	150/500 µg/kg*	kr 34 100 000	8320	14,8	kr 2 300 000
	500 µg/kg	kr 31 400 000	7270	14,3	kr 2 200 000
BØF2	30 µg/kg	kr 35 500 000	14 550	4,0	kr 8 900 000
	150 µg/kg	kr 22 700 000	7480	3,6	kr 6 300 000
	500 µg/kg	kr 15 800 000	3500	2,7	kr 5 900 000

* Tiltaksgrense 150 µg/kg for delområde 1-2 og 500 µg/kg for delområde 3.

8.2.2 Vasking av masser

Beregnet basiskostnad for tiltak med vasking av masser ved sist nedlagte (BØF1) og gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er vist i Tabell 8-2. I tabellen vises også kostnad per mengde PFAS fjernet (kr/kg PFAS) for ulike tiltaksgrenser (30, 150, 150/500 og 500 µg/kg).

For sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) representerer kostnaden en samlet kostnad for oppgraving og ekstern deponering av masser innenfor delområde 2-3 og vasking av masser i delområde 1. Kost/effekt for tiltaksgrense 30 µg/kg er beregnet til 2,7 MNOK per kg PFAS fjernet, og tilsvarende 2,5 MNOK/kg PFAS ved tiltaksgrense 150 µg/kg.

For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er det beregnet en noe høyere kost/effekt uavhengig av tiltaksgrense. Beregnet kost/effekt varierer mellom 4,8 MNOK/kg PFAS for tiltaksgrense 500 µg/kg til 5,8 MNOK/kg PFAS for tiltaksgrense 30 µg/kg. Noe lavere beregnet kost/effekt for tiltak med vasking av masser sammenliknet med tiltak med oppgraving og ekstern deponering kan i stor grad forklares av at kostnad for mobilisering og tilrigging av mobilt vannrenseanlegg er inkludert i basiskostnad for tiltak med vasking av masser ved BØF1.

Tabell 8-2: Beregnet basiskostnad og kost/effekt for vasking av masser ved tiltaksgrense 30, 150, 150/500 og 500 µg/kg.

	Tiltaksgrense	Basiskostnad (NOK)**	Volum masser (m ³)	Effekt (kg PFAS)***	Kost/effekt (kr/kg PFAS)
BØF1	30 µg/kg	kr 41 000 000	10260	15,1	kr 2 700 000
	150 µg/kg	kr 37 100 000	9320	14,9	kr 2 500 000
	150/500 µg/kg*	kr 32 700 000	8320	14,6	kr 2 200 000
	500 µg/kg	kr 31 500 000	7270	14,1	kr 2 200 000
BØF2	30 µg/kg	kr 21 500 000	14 550	3,7	kr 5 800 000
	150 µg/kg	kr 15 500 000	7480	3,5	kr 4 400 000
	500 µg/kg	kr 12 400 000	3500	2,6	kr 4 800 000

* Tiltaksgrense 150 µg/kg for delområde 1-2 og 500 µg/kg for delområde 3.

** Kostnad for mobilisering og tilrigging av mobilt vannrenseanlegg er inkludert i basiskostnad for BØF1.

*** Forutsetter at masser som vaskes og tilbakelegges har konsentrasjon av ΣPFAS <30 µg/kg.

8.2.3 Vannrensetiltak Lindevikabekken

Kostnader for vannrensetiltak med prosessanlegg (10 l/s) er vist i Tabell 8-3. Det er skilt mellom kostnader for selve renseanlegget og utomhuskostnader. Det er ikke endelig bestemt hvor et renseanlegg eventuelt kan lokaliseres, men det er som grunnlag for kostnadsberegningene antatt en plassering ca. 80 m oppstrøms pumpestasjon i bekken, nedenfor snødeponiet.

Vannrenseanleggets kostnader består av både investeringskostnader og driftskostnader. Beregnet basiskostnad for prosessanlegg som nåverdi er gitt i Tabell 8-3, mens beregnet kost/effekt er gitt i Tabell 8-4.

Det er knyttet betydelig usikkerhet til driftskostnadene og da spesielt avhending av slam og aktivt kull, inkl. innkjøp av nytt aktivt kull.

Det er i kostnadsberegningene lagt til grunn rensing av vann gjennom aktivt kull som filtermedium, da dette er en velutprøvd og veldokumentert teknologi. Bruk av annen teknologi og andre filtermedier vil imidlertid være aktuelt dersom disse viser seg å være mer egnet og gi bedre kostnadseffektivitet for vannrensing ved lokaliteten.

Tabell 8-3: Beregnet basiskostnad som nåverdi for vannrensetiltak Lindevikabekken, alternativ med prosessanlegg. Kostnader i NOK.

Antall år/Avskrivningstid	10	20	30
Kalkulasjonsrente	3,0 %	3,0 %	3,0 %
Investeringskostnader	19 200 000	19 200 000	19 200 000
Annuitetsfaktor	12 %	7 %	5 %
Driftskostnader	1 260 000	1 260 000	1 260 000
Nåverdi driftskostnader	10 700 000	18 700 000	24 700 000
Nåverdi	29 900 000	37 900 000	43 900 000

Det er beregnet en årlig fjernet mengde PFAS på om lag 190 g/år. I Tabell 8-4 vises kost/effekt for tiltaket som følge av anleggets levetid.

Tabell 8-4: Beregnet kost/effekt for vannrensetiltak Lindevikabekken, alternativ med prosessanlegg.

Levetid (år)	Basiskostnad (NOK)	Effekt (kg PFAS)	Kost/effekt (kr/kg PFAS)
10	29 900 000	1,9	15 900 000
20	37 900 000	3,8	10 100 000
30	43 900 000	5,7	7 800 000

For gravitasjonsløsningen er det beregnet kostnader som vist i Tabell 8-5.

Tabell 8-5: Beregnet basiskostnad som nåverdi for vannrensetiltak Lindevikabekken, alternativ med gravitasjonsløsning. Kostnader i NOK.

Antall år/Avskrivningstid	10	20	30
Kalkulasjonsrente	3,0 %	3,0 %	3,0 %
Investering inkl. mva	6 900 000	6 900 000	6 900 000
Annuitetsfaktor	12 %	7 %	5 %
Driftskostnader	700 000	700 000	700 000
Nåverdi driftskostnader	5 900 000	10 300 000	13 500 000
Nåverdi	12 800 000	17 200 000	20 400 000

Det er beregnet en årlig fjernet mengde PFAS på om lag 130 g/år. I Tabell 8-6 vises kost/effekt for tiltaket som følge av anleggets levetid.

Tabell 8-6: Beregnet kost/effekt for vannrensetiltak Lindevikabekken, alternativ med gravitasjonsløsning.

Levetid (år)	Basiskostnad (NOK)	Effekt (kg PFAS)	Kost/effekt (kr/kg PFAS)
10	12 800 000	1,3	9 500 000
20	17 200 000	2,6	6 400 000
30	20 400 000	3,9	5 100 000

9 Foreslått tiltaksalternativ

9.1 Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1)

9.1.1 Gjenværende PFAS-forurensning ved ulike tiltaksalternativer

Beregnet PFAS-forurensning i jord for ulike konsentrasjonsintervaller før tiltak er omtalt og vist i kap. 4, mens spredning for dagens situasjon uten tiltak er beregnet og vist i kap. 5. Tilsvarende metodikk og beregninger er lagt til grunn for beregninger av gjenværende PFAS-forurensning og spredning ved ulike tiltaksgrenser for de aktuelle tiltakene med oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser.

For sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) er det beregnet at det ligger om lag 15,3 kg PFAS i jord før tiltak (totalt for delområde 1-3), og at forurensningen i all hovedsak er knyttet til områder med konsentrasjoner av Σ PFAS >150 µg/kg (15,1 kg). Oppgraving og ekstern deponering av alle masser med konsentrasjon >150 µg/kg vil i så måte fjerne nær all kjent forurensning i jord ved brannøvingsfeltet, og gi en reduksjon i beregnet spredningsmengde fra det aktuelle tiltaksområdet på >90% sammenliknet med dagens situasjon. Tilnærmet tilsvarende effekt er beregnet for et tiltak med oppgraving og ekstern deponering av alle masser med konsentrasjon >150 µg/kg for delområde 1-2 og >500 µg/kg for delområde 3.

Det forventes også at et tiltak med vasking av masser vil kunne gi en tilsvarende reduksjon i mengder i jord og spredningsmengde, dersom man gjennom vasking kommer tilstrekkelig langt ned i konsentrasjonsnivå i masser som tilbakelegges på lokaliteten (<30 µg/kg) (Tabell 9-1).

Vurderinger av alternative tiltaksomfang og gjenværende forurensning etter tiltak er utført basert på kartlagte mengder PFAS i jord og teoretisk beregnet spredningsmengde for sentrale deler av brannøvingsfeltet (delområde 1 og 2) og skogsområde like nord for feltet (delområde 3). Resultater fra utførte undersøkelser viser imidlertid påvisning av PFAS i områder utenfor dette, og dette vil da være forurensning som ikke vil bli berørt av et tiltak på brannøvingsfeltet. Resultater fra utførte undersøkelser og mengdeberegninger tilsier imidlertid lave konsentrasjoner og mengder i disse områdene. Samtidig viser utførte beregninger av spredningsmengder at en betydelig andel av dagens spredning til resipient Langavatnet kan forklares av bidraget fra sentrale deler av brannøvingsfeltet. Dette tilsier at total spredningsmengde til resipient vil bli betydelig redusert som følge av et tiltak på sentrale deler av feltet, selv om man fortsatt vil ha noe bidrag fra omkringliggende områder som ikke berøres av tiltak.

Alle de vurderte tiltaksalternativene innebærer at tilnærmet all kjent forurensning fjernes fra sentrale deler av brannøvingsfeltet (delområde 1). Dette betyr at det ikke vil være risiko for human helse som følge av opphold på lokaliteten etter gjennomføring av tiltak.

Tabell 9-1: Beregnede gjenværende mengder i jord og spredningsmengder ved ulike tiltaksomfang for tiltak med oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1), totalt for delområde 1-3.

Tiltaksgrense	Gjenværende mengde jord (kg)	Beregnet spredning (g/år)	Beregnet reduksjon i spredning*** (%)
Ingen tiltak	15,2	142	0
<i>Oppgraving med ekstern deponering</i>			
500 µg/kg	1,2	14	90
150/500 µg/kg*	0,5	9	94
150 µg/kg	0,2	4	97
30 µg/kg	<0,1	<1	>99
<i>Vasking av masser**</i>			
500 µg/kg	1,4	16	89
150/500 µg/kg*	0,7	10	93
150 µg/kg	0,4	5	97
30 µg/kg	<0,3	<2	>99

* Tiltaksgrense 150 µg/kg for delområde 1-2 og 500 µg/kg for delområde 3.

** Vasking av fyllmasser i delområde 1 og ekstern deponering av masser i delområde 2-3.

*** Beregnet reduksjon i % i forhold til teoretisk beregnet spredning fra de aktuelle delområdene 1-3.

9.1.2 Miljømål og akseptkriterier

Basert på vurderingene av ulike tiltaksalternativer foreslås følgende miljømål for tiltaket ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1):

- Mer enn 90 % reduksjon i mengde PFAS i jord
- Mer enn 90 % reduksjon i spredning av PFAS

Begge de vurderte tiltaksalternativene, herunder oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser, vil medføre at om lag 15 kg PFAS fjernes fra lokaliteten, noe som betydelig reduserer potensialet for fremtidig spredning og belastning på nærliggende resipienter. Det er for begge tiltaksalternativene estimert en reduksjon i årlig spredningsmengde fra brannøvingsfeltet på >90% sammenliknet med dagens situasjon.

Selv om tiltakene medfører at en betydelig mengde PFAS fjernes fra lokaliteten, og gir en beregnet reduksjon i årlig spredningsmengde til resipient Langvatn fra dagens 140 g/år til <20 g/år (jfr. Tabell 9-1), vil det allikevel forventes at konsentrasjonsnivåer i Langvatn vil holde seg høye i lang tid. Dette som følge av PFAS i grunn og grunnvann utenfor det aktuelle tiltaksområdet, andre kilder som bidrar med avrenning av PFAS til Langvatnet, samt høye konsentrasjoner av PFAS i sediment i Langvatnet. Dette gjør også at det vil kunne ta lang tid før konsentrasjonsnivåer i biota reduseres etter gjennomført tiltak, og det vurderes derfor som lite hensiktsmessig å definere akseptkriterier i form av konsentrasjoner i resipient (vann eller biota) for å dokumentere kortsiktige effekter av tiltaket.

Selv om det forventes å ta tid før konsentrasjonsnivåer reduseres i Langvatnet, vil det forventes en mer umiddelbar reduksjon i utlekking fra forurensede masser på feltet som følge av at tilnærmet all kjent PFAS-

forurensning fjernes gjennom tiltaket. Det kan følgelig forventes en betydelig reduksjon i konsentrasjonsnivåer i grunnvannsbrønner som er etablert i ytterkanter av feltet.

9.1.3 Foreslått tiltak

For sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) anbefales oppgraving med ekstern deponering av alle masser innenfor delområde 1-2 med konsentrasjon av Σ PFAS $>150 \mu\text{g/kg}$ og delområde 3 med konsentrasjon av Σ PFAS $>500 \mu\text{g/kg}$. Det er for foreslåtte tiltaksgrenser beregnet en betydelig mengde PFAS (14,8 kg) innenfor et relativt begrenset volum masser, noe som gir en kost/effekt for tiltaket på 2,3 MNOK/kg PFAS (jfr. Tabell 8-1). Basiskostnad (grunnkalkyle + uspesifisert) for tiltaket er estimert til 34,1 MNOK. Det foreslåtte tiltaket vil også gi en beregnet reduksjon i spredningsmengde fra feltet på $>90\%$ sammenliknet med dagens situasjon.

Alternativt kan man gå for et tiltak med vasking av masser. Dette tiltaket vil da innebære oppgraving og vasking av fyllmasser innenfor delområde 1, i kombinasjon med oppgraving med ekstern deponering av masser innenfor delområde 2-3, da masser i disse delområdene er vurdert som mindre egnet for vasking. Det er også for dette tiltaksalternativet foreslått en tiltaksgrense på $150 \mu\text{g/kg}$ for delområde 1-2 og $500 \mu\text{g/kg}$ for delområde 3, hvilket innebærer at alle masser med høyere konsentrasjoner innenfor tiltaksområdet graves opp og enten vaskes eller deponeres eksternt. Det er for foreslått tiltaksgrense beregnet en kost/effekt på 2,2 MNOK/kg PFAS (jfr. Tabell 8-1). Basiskostnad (grunnkalkyle + uspesifisert) for tiltaket er estimert til 32,7 MNOK. Det foreslåtte tiltaket vil også gi en beregnet reduksjon i spredningsmengde fra feltet på $>90\%$ sammenliknet med dagens situasjon.

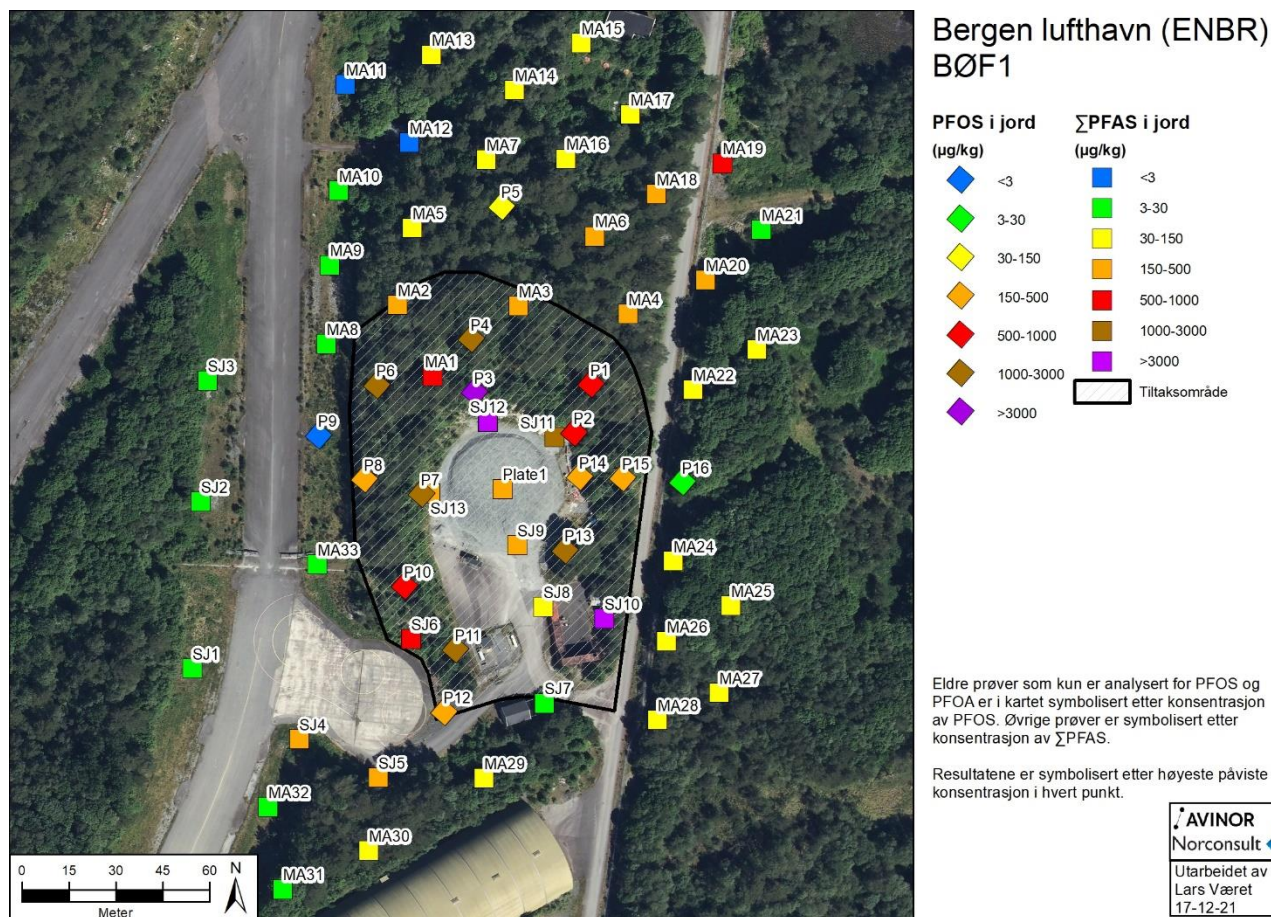
Det bemerkes at det for alternativ med vasking av masser er en betydelig større usikkerhet både til effekt av tiltaket og tilhørende kostnader. Det er i utførte beregninger lagt til grunn at fyllmasser vaskes ned til en konsentrasjon av Σ PFAS $<30 \mu\text{g/kg}$ før tilbakelegging på lokaliteten, men før man har gjennomført nærmere laboratorieforsøk med masser fra lokaliteten vil det være usikkert om man faktisk klarer å oppnå dette. Det er for et tiltak med vasking av masser også betydelig usikkerhet knyttet til fordeling mellom finere og grovere fraksjoner, og følgelig da også usikkerhet knyttet til faktisk andel av masser som kan tilbakelegges og andel finfraksjon ($<0,06 \text{ mm}$) som må til deponi. Alle disse usikkerhetene vil kunne ha stor innvirkning på faktiske kostnader og effekt for tiltaket samlet sett.

Et tiltak med vasking av masser har fordeler med at det kan redusere den totale mengden masser som må til deponi, samt et mulig redusert transportbehov dersom man har et vaskeanlegg tilgjengelig innenfor kortere avstand.

En tiltaksgrense på $30 \mu\text{g/kg}$ vil for begge tiltaksalternativer gi en merkostnad på om lag 8 MNOK, med en begrenset tilleggseffekt i form av mengde PFAS fjernet (0,5 kg). Beregninger viser også en marginal tilleggseffekt i form av spredningsreduksjon ved tiltaksgrense $30 \mu\text{g/kg}$ sammenliknet med tiltaksgrense 150/500 $\mu\text{g/kg}$.

Resultater fra utførte undersøkelser viser høye konsentrasjoner over hele det aktuelle tiltaksområdet. Vurdering av horisontal avgrensning er derfor i stor grad basert på kjennskap til grunnforhold og infrastruktur i grunnen som bidrar til en fysisk avgrensning av forurensset område. Det vil imidlertid være slik at man vil kunne påtreffe enkeltpunkter med konsentrasjoner $>150/500 \mu\text{g/kg}$ utenfor avgrensningen av foreslått tiltaksområde (jfr. Figur 9-1), men basert på kjennskap til grunnforholdene forventes det allikevel ikke å finne større mengder PFAS i grunnen utenfor dette området (mulig unntak for delområde 5 i øst, da dette er lite kartlagt).

De foreslåtte tiltaksalternativene vil ikke komme i berøring med registrerte viktige naturtyper ved lufthavnen. Det er heller ikke registrerte kulturminner innenfor lufthavnområdet som vil berøres av tiltaket.



Figur 9-1: Foreslått tiltaksområde for gravetiltak ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). I figuren vises også resultater fra utførte undersøkelser, hvor prøvepunkter er gitt farge i henhold til høyeste påviste konsentrasjon av PFOS/ΣPFAS i punktet.

9.1.4 Gjennomføring av tiltak

Skogkledt område nord for øvingsfeltet (delområde 3) ryddes for vegetasjon før masser graves ut og leveres godkjent mottak. Betongplate (delområde 2) fjernes og transporteres til godkjent mottak. Øvrige masser på selve brannøvingsfeltet (delområde 1) sorteres ved bruk av sorteringsskuff eller sikteverk, dersom det er hensiktsmessig. Grovfraksjon anses rene og legges til side for gjenbruk på stedet, mens forurensset finfraksjon transporteres til godkjent mottak. Forurensning av PFAS antas å være knyttet til finfraksjon (<20 mm), men av praktiske hensyn kan det være behov for sikting på en grovere fraksjon (eks. <50 mm). Dette må vurderes nærmere i en detaljeringsfase. Ved behov legges masser og ev. annet påtruffet avfall på mellomager før transport på bil og/eller båt til mottak. Det legges opp til at utgravde masser innenfor delområde 1 erstattes med rene masser, slik at de sammen med tilbakelegging av utsortert grovfraksjon gir opprinnelig terrengutforming og grunnforhold i tråd med ønsket arealbruk.

Vegetasjon i skogsområde nord for feltet og betongplate prøvetas for analyse av PFAS for å sikre korrekt avhending.

Det legges opp til at egen risikoanalyse for lufthavndrift gjennomføres som del av senere for-/detaljprosjektering, men det foreligger ikke opplysninger p.t. som medfører en forventning om at tiltaksgjennomføringen skal komme i konflikt med regulær lufthavndrift. Dette fordi tiltaksområdet og planlagt internttransport ligger i god avstand til område for flytrafikk. Det forventes derfor at tiltaket kan gjennomføres innenfor regulær arbeidstid, uten stopp i arbeidene som skyldes hensynet til lufthavndriften. Det forutsettes at internvei har kvalitet og kapasitet til å håndtere nødvendig transport inn/ut av lufthavnen, og at nødvendig adgangskontroll etableres.

9.1.4.1 Risiko for spredning og avbøtende tiltak

Oppgraving og håndtering av masser vil medføre risiko for spredning av forurensning under anleggsarbeidene. Dette kan bl.a. være tilknyttet massehåndtering (feildisponering, søl under transport, støvflukt mm.) eller manglende/utilstrekkelig vannhåndtering (ukontrollert avrenning av forurensset vann fra graveområde og/eller mellomlager, overløpshendelser mm.). Det vil som del av videre prosjektering utarbeides risikovurdering for ytre miljø, plan for avbøtende tiltak, samt program for overvåkning under og etter tiltaksfasen, inkl. plan for sluttkontroll. Videre vil det i samarbeid med valgt entreprenør bli utarbeidet beredskapsplan i tilfelle uønskede og uforutsette hendelser.

Avbøtende tiltak for å begrense risiko for spredning av forurensning som følge av tiltaksarbeidene kan være:

- Ved behov for mellomlagring av masser kan dette etableres på tett dekke med kontrollert avrenning og oppsamling av vann til midlertidig renseanlegg.
- Etablering av midlertidig renseanlegg for vann fra gravegrop og mellomlager (se forslag til grenseverdier for utslipp i kap. 11.1).

9.1.4.2 Vann i gravegrop under anleggsarbeider

Det vil etableres en renseløsning for vann ved tiltaksområdet som kan benyttes dersom det blir behov. Varighet av anleggsperioden er usikker, men anslås til ca. 2 måneder. Det kan oppstå vann i gravegropa fra direkte nedbør, innsig av overflatevann eller grunnvann. Ved undersøkelser i september 2020 ble det ikke påtruffet vann i noen av sjaktene. Vannvolum som potensielt må håndteres er usikre, men det forventes i all hovedsak kun behov for håndtering av direkte nedbør og overflatevann.

9.1.4.3 Overordnet plan for massedisponering

For et tiltak med oppgraving og ekstern deponering vil alle oppgravde masser innenfor tiltaksområdet leveres til godkjent deponi. Ev. utsorterte grovfraksjoner kan gjenbrukes. Det kan bli behov for mellomlager, dette etableres på tett dekke med kontrollert avrenning og oppsamling av vann til midlertidig renseanlegg.

Tabell 9-2: Planlagt disponering av masser for tiltak med oppgraving og ekstern deponering.

Massetype	Midlertidig disponering/ mellomlager	Sluttdisponering
Vegetasjonsdekke	Kan bli behov, men forventes ikke	Leveres til godkjent deponi
Organisk rik jord	Kan bli behov, men forventes ikke	Leveres til godkjent deponi
Fyllmasser/sprengstein og pukk/grus	Kan bli behov	Finfraksjon leveres til godkjent deponi
	Kan bli behov	Grovfraksjon kan gjenbrukes
Ev. avfalls- eller oljeholdige masser	Kan bli behov, men forventes ikke	Leveres til godkjent deponi

9.2 Gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

9.2.1 Gjenværende PFAS-forurensning ved ulike tiltaksalternativer

9.2.1.1 Oppgraving med ekstern deponering og vasking av masser

Beregnet PFAS-forurensning i jord for ulike konsentrasjonsintervaller før tiltak er omtalt og vist i kap. 4, mens spredning for dagens situasjon uten tiltak er beregnet og vist i kap. 5. Tilsvarende metodikk og beregninger er lagt til grunn for beregninger av gjenværende PFAS-forurensning og spredning ved ulike tiltaksgrenser/omfang av gravetiltak ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2).

For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er det beregnet at det ligger om lag 4,3 kg PFAS i jord før tiltak, med en teoretisk beregnet spredningsmengde fra kartlagt forurensning på feltet på 190 g/år. Til sammenlikning er total spredningsmengde via Lindevikabekken estimert til om lag 280 g/år (jfr. kap. 5.3.3), noe som tilsier at andre kilder bidrar til spredning via Lindevikabekken utover kartlagt område ved BØF2.

Oppgraving av alle masser med konsentrasjon av Σ PFAS >150 µg/kg vil medføre at en betydelig andel av total kartlagt mengde fjernes fra lokaliteten (3,6 kg), med en reduksjon i teoretisk beregnet spredningsmengde fra lokaliteten på 84% sammenliknet med dagens situasjon. Dette tilsvarer at det totale bidraget til spredning via Lindevikabekken reduseres fra dagens 190 g/år til 30 g/år. Det forventes også at et tiltak med vasking av masser vil kunne gi en tilsvarende reduksjon i mengder i jord og spredningsmengde, dersom man gjennom vasking kommer tilstrekkelig langt ned i konsentrasjonsnivå i masser som tilbakelegges på lokaliteten (<30 µg/kg) (Tabell 9-3).

Beregnete gjenværende mengder i jord, spredningsmengder og reduksjon i spredning ved andre tiltaksgrenser/omfang er vist i Tabell 9-3.

Tabell 9-3: Beregnede gjenværende mengder i jord og spredningsmengder ved ulike tiltaksomfang for gravetiltak ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2).

	Gjenværende mengde jord	Beregnet spredning	Beregnet reduksjon i spredning*
Tiltaksgrense	(kg)	(g/år)	(%)
Ingen tiltak	4,3	191	0
<i>Oppgraving med ekstern deponering</i>			
500 µg/kg	1,6	57	70
150 µg/kg	0,7	20	89
30 µg/kg	0,3	4	98
<i>Vasking av masser</i>			
500 µg/kg	1,7	58	69
150 µg/kg	0,8	23	88
30 µg/kg	0,6	9	95

* Beregnet reduksjon i % i forhold til teoretisk beregnet spredning fra kartlagt område ved BØF2.

9.2.1.2 Vannrensetiltak Lindevikabekken

Med referanse til dimensjoneringsforutsetningene for et renseanlegg i Lindevikabekken (jfr. beskrivelse i Vedlegg D) vil et renseanlegg med kapasitet 10 l/s og 95 % rensegrad for vannet som passerer anlegget, fjerne om lag 190 g PFAS per år. Tilsvarende vil en gravitasjonsløsning med kapasitet 5 l/s fjerne om lag 130 g/år. Akkumulert fjernet mengde for ulik varighet er oppsummert i Tabell 9-4.

Det vil ved begge alternative vannrensetiltak være en viss vannmengde som passerer uten å gå gjennom renseanlegget. For prosessanlegg (10 l/s) vil denne mengden være om lag 30% av total vannmengde i Lindevikabekken, noe som gir en grovt estimert spredningsmengde for ΣPFAS på 90 g/år. Tilsvarende vil det for gravitasjonsløsning (5 l/s) være om lag 50% av total vannmengde som ikke går gjennom renseanlegget, noe som gir en fortsatt spredningsmengde via Lindevikabekken på 150 g/år.

Tabell 9-4: Akkumulert mengde PFAS fjernet for ulike alternative vannrensetiltak i Lindevikabekken.

Tiltakets varighet (år)	Akkumulert effekt (kg)*	
	Prosessanlegg (10 l/s)	Gravitasjonsløsning (5 l/s)
10	1,9	1,3
20	3,8	2,6
30	5,7	3,9

* Beregningene av akkumulert effekt tar ikke høyde for at total spredningsmengde vil avta over tid.

9.2.2 Miljøsmål og akseptkriterier

Vurderingen av ulike tiltaksalternativer viser at det er store usikkerheter knyttet til det relative bidraget fra kartlagt forurensning ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2) og det relative bidraget denne har til dagens spredning via Lindevikabekken. Det er også usikkert i hvilken grad spredning av PFAS fra brannøvingsfeltet bidrar til påviste konsentrasjonsnivåer i drikkevannsforsyninger nord for lufthavnen. Usikkerhetene er på nåværende tidspunkt for store til at det kan defineres konkrete miljøsmål og akseptkriterier for et tiltak på brannøvingsfeltet. Miljøsmål og tilhørende akseptkriterier for et eventuelt fremtidig oppryddingstiltak kan først konkretiseres etter supplerende undersøkelser og ny tiltaksvurdering basert på resultater fra disse undersøkelsene.

9.2.3 Foreslått tiltak

Alle vurderte tiltaksalternativer ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2) kommer ut med en relativt høy kostnad per kg PFAS fjernet gjennom tiltaket (Tabell 9-5). Som nevnt er det også usikkerheter knyttet til kilder innenfor nedbørfeltet med avrenning til Lindevikabekken, og hvilke kilder som er av størst betydning for konsentrasjonene som påvises i Lindevikabekken. Dette gjør det vanskelig å målrette tiltak der de gir best effekt, og medfører samtidig en betydelig risiko for at man ved en eventuell gjennomføring av tiltak ikke oppnår tilstrekkelig og dokumenterbar effekt.

Tabell 9-5: Sammenlikning av kostnader, kost/effekt og reduksjon i spredning ved ulike tiltaksalternativer (tiltaksgrense >150 µg/kg) ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2). For vannrensetiltak er det lagt til grunn 20 års varighet av tiltaket.

Tiltaksalternativ	Basiskostnad (NOK)	Effekt (kg PFAS)	Kost/effekt (kr/kg PFAS)	Reduksjon i spredning (g/år)
<i>Tiltak BØF2 (>150 µg/kg)</i>				
Oppgraving m/ekstern deponering	kr 22 700 000	3,6	kr 6 300 000	170
Vasking av masser*	kr 15 500 000	3,5	kr 4 400 000	170
<i>Vannrensetiltak Lindevikabekken</i>				
Prosessanlegg (10 l/s, 20 år)	kr 37 900 000	3,8	kr 10 100 000	190
Gravitasjonsløsning (5 l/s, 20 år)	kr 17 800 000	2,6	kr 6 600 000	130

* Kostnad for mobilisering og tilrigging av mobilt vannrenseanlegg er inkludert i basiskostnad for BØF1.

Utførte kostnadsberegninger viser en relativt høy kostnad per mengde PFAS fjernet for alle vurderte tiltaksalternativer og tiltaksgrenser (4,4 - 8,9 MNOK/kg PFAS; jfr. Tabell 8-1 og Tabell 8-2), som følge av en begrenset mengde PFAS innenfor et stort volum masser. Forurensningen er også dels mangelfullt avgrenset vertikalt, da utrasing av masser har gitt begrensninger i gravedybde og undersøkt dyp i flere punkter. Usikkerhet knyttet til vertikal avgrensning medfører usikkerhet i faktisk volum masser som vil bli omfattet av utgraving ved ulike tiltaksgrenser. Samtidig er det også stor usikkerhet knyttet til utførte spredningsberegninger, og bidraget fra kartlagt forurensning ved BØF2 til målt spredning via Lindevikabekken. Dette medfører at beregnede kostnader og tiltakseffekter for gravetiltak ved BØF2 innehar betydelig usikkerhet. Et gravetiltak ved BØF2 vil gi en begrenset reduksjon i total spredningsmengde via Lindevikabekken dersom det skulle vise seg at bidraget fra andre kilder er betydelig.

Også de vurderte alternative løsningene for vannrensetiltak kommer ut med en relativt høy kostnad, både i form av investeringskostnad og driftskostnad gjennom tiltakets varighet. Samtidig gir et vannrensetiltak,

uavhengig av dimensjonering/kapasitet, en relativt begrenset effekt per tid (begrenset oppad til 280 g/år dersom tiltaket ble dimensjonert for å rense alt vann i Lindevikabekken). Et slikt anlegg ville gitt en betydelig merkostnad sammenliknet med de løsningene som hittil er vurdert. Ved dimensjonering for henholdsvis 10 l/s og 5 l/s vil det fortsatt være en betydelig spredning via Lindevikabekken (90-150 g/år). Varighet av et vannrensetiltak er også svært usikker, all den tid alle kilder som bidrar til avrenning av PFAS til Lindevikabekken ikke er kartlagt.

Samlet medfører disse usikkerhetene at det ikke foreslås tiltak på gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Det vurderes som mer hensiktsmessig at det utføres ytterligere kartlegging og undersøkelser på feltet, for å bedre kunne målrette et eventuelt fremtidig oppryddingstiltak, samt redusere usikkerheter knyttet til forventede effekter av tiltakene. Forslag til videre undersøkelser er nærmere omtalt i kap. 9.2.4.

Selv om det ikke foreslås tiltak ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2), så vil det allikevel forventes en betydelig reduksjon i de samlede utslippene av PFAS fra lufthavnen som følge av foreslått tiltak på sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Det foreslåtte tiltaket ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) vil medføre at om lag 15 kg PFAS fjernes fra lufthavnen, og man vil gjennom dette få en betydelig reduksjon i samlet potensiale for fremtidig spredning av PFAS dersom man ser hele lufthavnen under ett.

9.2.4 Videre undersøkelser

I pålegg om utarbeidelse av tiltaksplan har Miljødirektoratet gitt begrunnelse for utvalgte krav i pålegget. Et av disse kravene gjelder plan for videre oppfølging, kartlegging og overvåkning hvor det bl.a. heter at «(...) Avinor må finne ut hvordan kilder som tilfører PFAS til Lindevikabekken skal identifiseres og kvantifiseres».

Med bakgrunn i dette kravet, samt usikkerhetene beskrevet under kap. 9.2.3, vil det for gammelt brannøvingsfelt (BØF2) bli gjennomført ytterligere kartlegging og undersøkelser for å bedre kunne målrette et eventuelt fremtidig oppryddingstiltak, samt redusere usikkerheter knyttet til forventede effekter av tiltakene.

Dette innebærer undersøkelser som gir grunnlag for å identifisere spredningsveier og kvantifisere spredningsmengder fra BØF2 mot Lindevikabekken med større sikkerhet enn i dag, samt bidraget fra eventuelle andre kilder. Per i dag er ikke spredningsveier verifisert, og spredningsmengder er kun teoretisk beregnet med bakgrunn i kartlagte mengder i jord, uten tilstrekkelig datagrunnlag for å kunne kalibrere spredningsmodellen og verifisere resultater fra denne.

Det legges derfor opp til etablering av grunnvannsbrønner innenfor det topografiske nedbørfeltet til Lindevikabekken, hovedsakelig i løsmasser, men supplert med borebrønner i berg der dette anses hensiktsmessig for å avdekke spredningsveier via sprekker i berg. Foreløpig forslag til plassering er vist i Figur 9-2, men endelig plassering og utførelse vil måtte detaljeres nærmere. Foreløpig omfang og plassering er foreslått med tanke på at prøvetaking og nivåmålinger skal kunne:

- Identifisere og kvantifisere diffus spredning fra kartlagt område på brannøvingsfeltet mot Lindevikabekken (brønnrekke normalt på antatt strømningsretning).
- Identifisere mulig preferert strømning og spredning langs Lindevikabekkens historiske løp som er fylt over i flere omganger etter 1970, og langs andre tidligere forsøkninger tilknyttet antatte svakhetssoner i berg (brønnrekke langs tidligere bekkeløp og andre antatte svakhetssoner).
- Verifisere strømningsretning for grunnvann generelt, samt avdekke grunnvannsskilte Ø-V ved brannøvingsfeltet gjennom målinger av grunnvannstand i eksisterende og supplerende brønner (brønnrekke tilnærmet Ø-V gjennom brannøvingsfeltet mot bruddkant i øst).

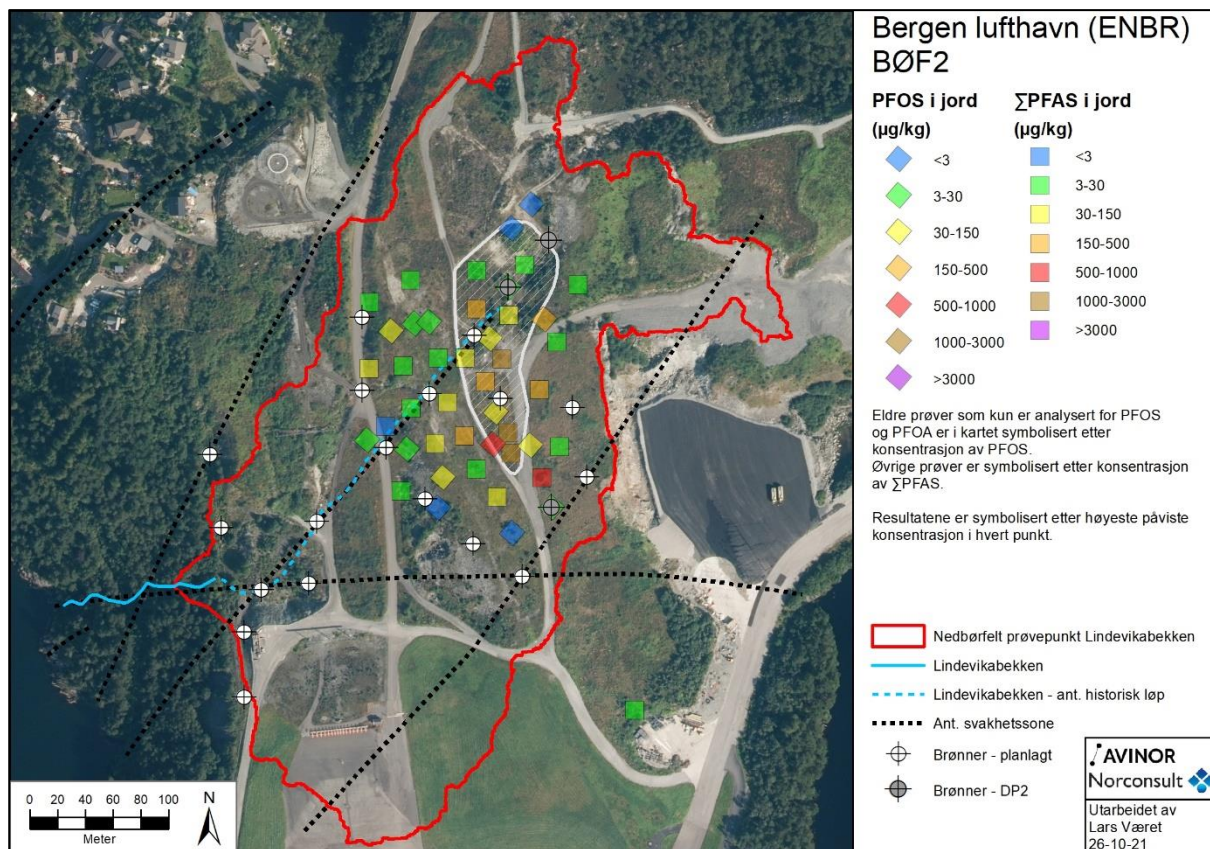
- Mulighet for å avdekke spredning via sprekker i berg (målrettet etablering av brønner i berg der slik spredning anses sannsynlig).
- Sannsynliggjøre/avdekke andre kilder mellom kartlagt område på BØF2 og Lindevikabekken.
- Avdekke mektighet for umettet og mettet sone over berg på feltet, og i området for spredning.
- Kildesporing målrettet mot mulig kildeområde under nordre rullebaneforlengelse (brønnrekke ved fyllingsfot).

Ved etablering legges det opp til prøvetaking av jord under boring (prøvetaking avhenger av boremetode) der dette er hensiktsmessig/mulig. Samtlige brønner måles inn og det etableres program for nivåmåling og prøvetaking av grunnvann.

Samlet anses disse undersøkelsene, sammen med fortsatt prøvetaking og vannføringsmålinger i Lindevikabekken, å gi et langt bedre grunnlag for å kunne avdekke og kvantifisere spredning fra BØF2, samt identifisere og kvantifisere andre kilder til avrenning av PFAS til Lindevikabekken.

Det bemerkes at kostnadsbildet for de vurderte tiltaksalternativene ikke forventes vesentlig endret som følge av undersøkelsene, men at supplerende undersøkelser vil kunne gi et langt bedre grunnlag for å treffe riktig tiltak. Det vil være uheldig å legge store ressurser i et lite kostnadseffektivt gravetiltak på BØF2, gitt den ikke ubetydelige usikkerheten knyttet til andre mulige kilder til spredning via Lindevikabekken. For at undersøkelsene skal kunne gi en vesentlig bedre forståelse av kilder og spredning bør plassering og utforming av brønner innenfor Lindevikabekkens nedbørfelt optimaliseres med dette for øyet. Dette vil være et viktig fokus i detaljplanleggingen av undersøkelsene, hvor blant annet behov for eventuelle forundersøkelser før brønnetablering vil bli vurdert. Det bemerkes likevel at komplekse grunnforhold og strømningsmønster innenfor Lindevikabekkens nedbørfelt vil kunne gi utfordringer knyttet til etablering av brønner og utforming av disse.

Endelig omfang og utforming må detaljeres ytterligere før gjennomføring. Dette vil gjøres som del av plan for videre kartlegging og overvåking som oversendes Miljødirektoratet innen 1. mars 2022.



Figur 9-2: Foreslåtte supplerende undersøkelser ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2) og Lindevikabekken.

10 Fremdrift

10.1 Planlagte bygge- og graveprosjekter

I henhold til Masterplan for Bergen lufthavn (2020-2050) er det ikke planlagt andre bygge- eller gravearbeider som kan samkjøres med gjennomføring av tiltak på sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). Masterplan viser mulig etablering av ny rullebane ved BØF1, men dette ligger lengre fram i tid (2035-2050) og det er også svært usikkert når det eventuelt blir bygget.

10.2 Fremdriftsplan

Avinors foreslåtte fremdriftsplan for gjennomføring av tiltak ved Bergen lufthavn er gitt i Vedlegg E.

11 Overvåkning under og etter tiltak

Det skal ved gjennomføring av tiltak ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) gjennomføres kontroll og overvåkning for å sikre at det ikke skjer en uakseptabel spredning av forurensning til omgivelsene. Overvåkningen skal også sikre at gitte utslippskrav overholdes under anleggsgjennomføringen. Det skal videre gjennomføres oppfølgende overvåkning etter tiltak for å dokumentere effekter over tid.

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

11.1 Overvåkning i anleggsfase

Anleggsvann skal renses i midlertidig renseanlegg. Foreslåtte grenseverdier for utslipp av vann fra renseanlegg er gitt i Tabell 11-1. Grenseverdiene foreslås å gjelde som ukentlige gjennomsnittskonsentrasjoner, med unntak for særskilte hendelser (eks. ekstremnedbør).

Tabell 11-1: Forslag til grenseverdier for utslipp av vann fra renseanlegg.

Parameter	Suspendert stoff (SS) (mg/l)
Foreslått grenseverdi	50

Det er kun foreslått grenseverdi for suspendert stoff (SS). Dette da utgraving av masser i all hovedsak vil skje over grunnvannsnivå, hvor vann i gravegrop vil være i form av nedbør. Det forventes derfor at største andel av PFAS i vann fra gravegrop vil være knyttet til partikler, og at en renseløsning som reduserer partikkelkonsentrasjonen i utslippsvannet også vil gi en tilstrekkelig reduksjon i konsentrasjon av PFAS. Det forventes lave totale vannmengder til utslipp for anleggsperioden (noe avhengig av nedbørforhold), og følgelig også lave totale mengder PFAS i utslippsvann.

Resipienter for avrenning fra brannøvingsfeltet overvåkes som del av lufthavnens miljøovervåkningsprogram (MOV) [23]. Det anbefales intensivert overvåkning av disse gjennom anleggsperioden, med ukentlig stikkprøvetaking i aktuelle prøvepunkter.

Relevante analyseparametere for overvåkning i anleggsperioden vil være:

- PFAS
- Suspendert stoff (SS)
- Olje
- BTEX
- Polyaromatiske hydrokarboner (PAH16)

11.2 Oppfølgende overvåkning

Det anbefales månedlig stikkprøvetaking i resipienter for analyse av PFAS det første året etter gjennomførte tiltak, deretter kvartalsvis prøvetaking i etterfølgende år.

Det foreslås også oppfølgende prøvetaking av biota (ørret) i Langavatnet henholdsvis 3, 6 og 9 år etter gjennomførte tiltak.

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

12 Referanser

- [1] Miljødirektoratet, «Pålegg om undersøkelser av PFAS-forurensset grunn - Avinor,» 2020a.
- [2] Miljødirektoratet, «Vurdering av PFAS-forurensningen ved Avinors flyplasser samt videre oppfølging,» 2020b.
- [3] Norconsult, «Rapportering for del 1 og del 2 av Miljødirektoratets pålegg: "Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Avinors lufthavner" - Rapportnr.: 5185352-Miljø-03-J02,» Avinor, 2019a.
- [4] Norconsult, «Rapportering for del 3 av Miljødirektoratets pålegg: "Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Avinors lufthavner" - 5185352-Miljø-02-J01,» 2019b.
- [5] Miljødirektoratet, «Pålegg om å utarbeide en tiltaksplan for Bergen lufthavn, Flesland - Avinor AS,» 2021.
- [6] Miljødirektoratet, «Perfluorerte stoffer (PFOS, PFOA og andre PFAS-er),» 2020. [Internett]. Available: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/perfluorerte-stoffer-pfos-pfoa-og-andre-pfas-er/>.
- [7] Folkehelseinstituttet, «Fakta om PFAS,» 2020. [Internett]. Available: <https://www.fhi.no/ml/miljo/miljogifter/fakta/fakta-om-pfos-og-pfoa/>.
- [8] EFSA, «European Food Safety Authority,» 13 Desember 2018a. [Internett]. Available: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5194>.
- [9] EFSA, «European Food Safety Authority - Contaminants update: first of two opinions on PFAS in food,» 2018b. [Internett]. Available: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/181213>.
- [10] EFSA, «Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food,» EFSA, 2020.
- [11] Folkehelseinstituttet, «Forvaltningsstøtte til Mattilsynet og Miljødirektoratet - Vurdering av PFAS,» 2020.
- [12] Mattilsynet, «PFAS i drikkevann,» 24 03 2021. [Internett]. Available: https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/beredskap_for_drikkevann/pfas_i_drikkevann.42576. [Funnet 27 10 2021].
- [13] Mattilsynet, «Mattilsynet advarer mot å spise fisk og drikke vann fra ferskvann nær flyplasser,» 02 12 2020. [Internett]. Available: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/mattilsynet-advarer-mot-a-spise-fisk-og-drikke-vann-fra-ferskvann-naer-flyplasser?publisherId=10773547&releaseId=17896845>. [Funnet 02 16 2021].
- [14] Miljødirektoratet, «Helsebaserte tilstandsklasser for forurensset grunn - TA-2553/2009,» Miljødirektoratet, 2009.
- [15] Miljødirektoratet, «Forslag om endring av normverdi for PFOS i vedlegg 1 i forurensningsforskriften kapittel 2,» 27 04 2020. [Internett]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/hoeringer/2020/april-2020/forslag-om-endring-av-normverdi-for-pfos-i-vedlegg-1-i-forurensningsforskriften-kapittel-2-/>.

- [16] NFFA, «Vedlegg 2 (versjon 1 - 24.4.2017) i NFFA veileder "Hva gjør farlig avfall"».
- [17] Miljødirektoratet, «Pålegg om samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Avinors lufthavner,» Miljødirektoratet, 2018.
- [18] Direktoratgruppen vanndirektivet, «Veileder 02:2018, Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjø og elver,» Direktoratgruppen for gjennomføring av vannforskriften, 2018.
- [19] NIBIO, «Metodeutvikling for bruk av biota i risikovurdering av PFAS forurensede lokaliteter,» i *PFAS-forurensning i grunnen - Oppsummering fra workshop 26.11.15*, 2015.
- [20] EFSA, «European Food Safety Authority,» 13 Desember 2018a. [Internett]. Available: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5194>.
- [21] Sweco og Norconsult, «Bergen lufthavn - Flesland. Undersøkelser av PFAS i jord, vann og biota med risikovurdering. Versjon J8,» 2016.
- [22] NGU, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/. [Funnet 07 09 2021].
- [23] Avinor, «Ytre miljø - miljøforvaltning - miljøovervåkningsprogram - Bergen lufthavn,» Avinor, 2019.
- [24] Forsvarsbygg, «Flesland flystasjon - overføring sivil drift - miljøvurdering av luftfartskritisk areal (LFKA) arealer,» 2017.
- [25] Avinor, «Overdekning av brannøvingsfelt i øst (1995-2018),» Avinor notat, datert 20.05.2020, 2020.
- [26] Avinor, «Tiltaksplan for håndtering av forurensede masser ved nedlagt brannøvingsfelt i nord. Bergen lufthavn - Flesland.»
- [27] Multiconsult, «Deponi Nord. Statusrapport september 2015,» 2015.
- [28] Velle, G., Haave, M., Olsen, E., Pulg, U. og Stranzl, S., «Biologiske og kjemiske undersøkelser i vassdragene ved Bergen lufthavn høsten 2015,» Uni Research Miljø, LFI-rapport 263, 2016.
- [29] NVE, «Vann-nett portal,» August 2021. [Internett]. Available: <http://www.vann-nett.no/portal/>.
- [30] Haave, M. og Velle, G., «Gjennomgang av kjemiske målinger i vann fra 2010 til 2016 ved Bergen lufthavn,» Uni Research Miljø, ISSN-1890-5153, 2016.
- [31] O. Wold, «Biologisk mangfold på Bergen lufthavn, Flesland, Bergen kommune, Hordaland,» Avinor BM-rapport nr. 2-2014 (revidert utgave av BM-rapport 2-2011), 53 s., 2017.
- [32] Miljødirektoratet, «Naturbase,» [Internett]. Available: <https://geocortex01.miljodirektoratet.no/Html5Viewer/?viewer=naturbase>. [Funnet 25 10 2021].
- [33] Birkeland, I.B., Velle, G., Espedal, E., Haave, M., Postler, C., Pulg, U. og Stöger, E., «Biologiske og kjemiske undersøkelser i vassdragene ved Bergen lufthavn 2018,» NORCE Norwegian Research Centre AS, 2019.

- [34] Miljødirektoratet, «Veiledning om risikovurdering av forurensset grunn,» Miljødirektoratet, 1999.
- [35] Sweco og Cowi, «Miljøprosjektet DP2. Miljøtekniske grunnundersøkelser - Bergen lufthavn, Flesland.,» Rapport 168180-150-1, rev.1., 2012.
- [36] Sweco og Cowi, «Miljøprosjektet - DP2, Miljøtekniske grunnundersøkelser ved Avinors lufthavner - Rapport nr 168180-1,» Avinor, 2012.
- [37] Haave, M., «Oppsummering av kjemiske målinger i vann ved Bergen lufthavn Flesland 2016,» Uni Research Miljø, ISSN-1890-5153, 2017.
- [38] Haave, M. og Velle, G., «Perfluorerte forbindelser ved Bergen lufthavn Flesland 2019,» NORCE rapport 7-2019, 2019.
- [39] KLIF, «Environmental screening of selected "new" brominated flame retardants and selected polyfluorinated compounds 2009, TA2625/2010,» Klima og forurensningsdirektoratet, rapportnr. 1067/2010, 2010.
- [40] Haave, M. og Velle, G., «Perfluorerte forbindelser ved Bergen lufthavn Flesland 2019. Resultater fra pågående overvåkning av PFAS i ørret og albusnegl.,» NORCE rapport 7-2019, 2019.
- [41] Velle, G., Pulg, U., Andersen, G.L., Haave, M. og Schneider, S., «Biologiske og kjemiske undersøkelser i vassdrag ved Bergen lufthavn Flesland,» LFI Uni Miljø, rapport nr. 212, 2013.
- [42] COWI, «Fase 1 PFAS kartlegging Flesland,» 2020.
- [43] COWI, «Fase 2 - PFAS i drikkevann i Bergen - prøvetakingsprogram,» 2020.
- [44] COWI, «Fase 3 - PFAS i drikkevann ved Bergen lufthavn - prøvetaking og analyse».
- [45] COWI, «Avinor - Foreløpig oppsummering av arbeidet knyttet til kartlegging av PFAS i drikkevann ved Bergen lufthavn,» 2021.
- [46] Miljødirektoratet, «Spredningsveileder for forurensset grunn. Forslag til ny spredningsmodell - grunnlagsrapport til Miljødirektoratet. Rev.nr. 1/2020-03-31,» 2021.
- [47] Zareitalabad, P., Siemens, J., Hamer, M. og Amelung, W., «Perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in surface waters, sediments, soils and wastewater - A review on concentrations and distribution coefficients,» *Chemosphere*, vol. 91, pp. 725-732, 2013.
- [48] Nordskog, A.M., «Leaching of PFCs from soil polluted by firefighting activities,» Mastergradsoppgave, Universitetet i Oslo, 2012.
- [49] Bergen kommune, «Badevann,» 18 08 2021. [Internett]. [Funnet 27 10 2021].
- [50] Folkehelseinstituttet, «Svar på henvendelse om vurdering av PFOS i vann til bading/dusjing,» Folkehelseinstituttet, 2021.

- [51] Fiskeridirektoratet, «Yggdrasil,» [Internett]. Available:
<https://portal.fiskeridir.no/portal/apps/webappviewer/index.html?id=9aeb8c0425c3478ea021771a22d43476>.
[Funnet 26 10 2021].
- [52] NGI, «Utvikling av nytt verktøy for risikovurdering av human helse på forurensset grunn i Norge,» Norges geotekniske institutt (NGI), 2020.
- [53] NGI, «Oppdatering av stoffdata for forbindelser i forurensset grunn,» Norges geotekniske institutt (NGI), 2017, rev. 2020.
- [54] KEMI, «Kunskapssammanställning om PFAS,» Kemikalieinspektionen.se, 2020.
- [55] Statens vegvesen, «Anslagsmetoden, Håndbok R764,» 2021.

13 Vedlegg

Vedlegg A	Resultatrapport supplerende undersøkelser BØF1
Vedlegg B	Resultatrapport supplerende undersøkelser BØF2
Vedlegg C	Aktuelle tiltaksmetoder
Vedlegg D	Dimensjoneringsgrunnlag og prosessbeskrivelse vannrensetiltak Lindevikabekken
Vedlegg E	Fremdriftsplan tiltaksgjennomføring
Vedlegg F	Berørte parter