

AVINOR 2023

ADRESSE COWI AS
Inger Bang Lunds vei 4
5059 Bergen

TLF +47 02694

WWW cowi.no

DEPONI NORD, FLESLAND

UTREDNINGER OG TILTAKSFORSLAG FOR RETTING AV AVVIK



PROSJEKT NR.

A254306

DOKUMENT NR.

001

VERSJON

001

UTGIVELSESDATO

30.11.2023

BESKRIVELSE

Utredninger og tiltaksforslag
for retting av avvik på Deponi
Nord

FORBEREDT

RAKJ, ARMI,
HIKN, KRHD,
KEBL, AUHD, INGJ

KONTROLLERT

ARMJ

GODKJENT

RAKJ

INNHOOLD

1	Innledning	3
2	Deponi Nord	5
2.1	Bakgrunn for etablering av deponiet	5
2.2	Organisering av masser i deponiet	7
2.3	Oppbygging av deponiet	8
3	Avvik fra Miljødirektoratet	9
3.1	Avfallforskriften §9-7 krav om tillatelse	9
4	Forurensningssituasjonen pr. 2023	10
4.1	Bakgrunn	10
4.2	Strømningsveier	12
4.3	Forurensede masser	19
4.4	Forurensset grunnvann og overflatevann	23
4.5	Kjemisk fingeravtrykkanalyse av PFAS i vannprøver	33
4.6	Gassmålinger	36
4.7	Risikovurdering human helse	43
4.8	Økologisk risiko	46
4.9	Allerede iverksatte tiltak mot PFAS-spredning fra Bergen lufthavn	47
4.10	Vurdering av forurensningssituasjonen og spredning	52
5	Naturmangfoldloven	55
6	Nullalternativet – konsekvenser av deponiet uten tiltak	56
6.1	Spredning av og konsekvenser av forurensning	56
7	Alternative tiltak og konsekvenser av disse	58
7.1	Oppgraving og deponering	58
7.2	Tildekking	62
7.3	Delvis tildekking	67
7.4	Renseløsning nord for deponiet	71
7.5	Oppsummering av tiltakseffekter	78
8	Anbefalt tiltak	79
8.1	Avviket og deponiforskriften	79
8.2	Løsningsforslag	80
9	Referanser	83
10	Vedlegg	85

1 Innledning

"Deponi Nord" på Flesland ble etablert i 2010 som et masselager for å håndtere overskuddsmasser fra flyplassområdet og prosjekter knyttet til aktiviteten på flyplassen. En rekke prosjekter har benyttet masselageret i perioden 2010-2018. Deler av massene som er lagret i dag er lettere forurensset. I henhold til Miljødirektoratets veileder for forurensset grunn er det på flyplasser akseptabelt med tilstandsklasse 1-3 i toppjord og dypereliggende jord. Tilstandsklasse 4 er akseptabelt dersom risikovurdering for spredning konkluderer med at det er akseptabelt både i toppjord og dypereliggende jord, og tilstandsklasse 5 er akseptabelt i dypereliggende jord dersom risikovurdering for helse og spredning konkluderer med at det er akseptabelt. Deponiet er bygget som prosjektert og i henhold til tillatelser gitt av Bergen kommune (Multiconsult, 2015). Det er ikke prosjektert iht. deponiforskriften.

Miljødirektoratet var på tilsyn ved Flesland i 2022 og tilsynsrapporten avdekket ett avvik om at Avinor har deponert forurensede jordmasser uten tillatelse (Miljødirektoratet, 2022b). Avviket er knyttet opp mot avfallsforskriften §9-7 krav om tillatelse, jf. § 9-2 Virkeområde. Begrunnelse for avviket er at deponiet ligger i opprinnelige rene områder ved nordenden av rullebanen, som ikke kan anses å være en del av samme tiltaksområde som massene var gravd opp fra, da området for Deponi Nord ligger adskilt fra områdene for gravetiltakene, og ved tiden for tiltak, lokalisert på annet gårds- og bruksnummer. De er heller ikke en del av samme bygge-gravetiltak eller kommer til nytte der de ligger. Unntaket i §9-2 for redeponering og isolering på samme lokalitet som løsmassene er gravd opp fra gjelder derfor ikke. Avinor har en godkjent tiltaksplan fra Bergen kommune, men har ikke tillatelse fra Statsforvalteren, som er riktig myndighet, til å etablere et deponi for ordinært avfall. Statsforvalteren i Vestland er ansvarlig for oppfølging av avviket.

I svaret på tilsynsrapporten presenterte Avinor en plan for ny kartlegging av massene deponert på de delfeltene hvor det er registrert lagret forurensede masser, i tillegg til en plan for prøvetaking av grunnvann og overflatevann for å kartlegge pågående spredning av PFAS fra masselageret. Norconsult gjennomførte undersøkelsene, og rapport for de nye miljøtekniske grunnundersøkelsene ble oversendt Statsforvalteren våren 2023 (Norconsult, 2023b).

Norconsult gjennomførte uttak av løsmasseprøver i totalt 29 prøvepunkt (142 løsmasseprøver) for kjemisk analyse av PFAS og andre miljøgifter. Det ble påvist lave konsentrasjoner av Σ PFAS ($<30 \mu\text{g/kg}$) i de fleste analyserte løsmasseprøvene fra masselageret, og konsentrasjoner i alle prøver er under dagens normverdi for PFOS på $100 \mu\text{g/kg}$. Det ligger totalt ca. $300\,000 \text{ m}^3$ masser på deponiet og analyseresultater for andre miljøgifter viser at hovedparten av massene har konsentrasjoner under normverdi, men enkelte prøver har tungmetaller, olje og PAH i tilstandsklasse 2 og 3. I én prøve fra Felt 9 ble det påvist alifater i tilstandsklasse 4 (10,5-12 m). Undersøkelsene viser høy grad av heterogenitet i lagrede masser, både vertikalt og horisontalt, og massene forventes å ha stor variasjon i infiltrasjonskapasitet, permeabilitet og organisk innhold. Lokaliteten er derfor i liten grad egnet for teoretiske beregninger av spredning ved bruk av eksempelvis Miljødirektoratets beregningsverktøy (M-2173/2021).

Norconsult estimerte en total mengde PFAS på 1,9 kg i de forurensede feltene på deponiet, med en betydelig usikkerhet. Beregningene tilsier likevel at det er lave totale mengder PFAS i løsmassene på Deponi Nord. Dette skyldes i hovedsak en kombinasjon av lave konsentrasjoner i massene, samt at finstoff med potensiale for binding av forurensning utgjør en relativt liten andel av det totale massevolumet (særlig i felt 3 og 9). Det forventes lave totale mengder for andre miljøgifter basert på påviste konsentrasjoner, men det er ikke utført mengdeberegninger på disse.

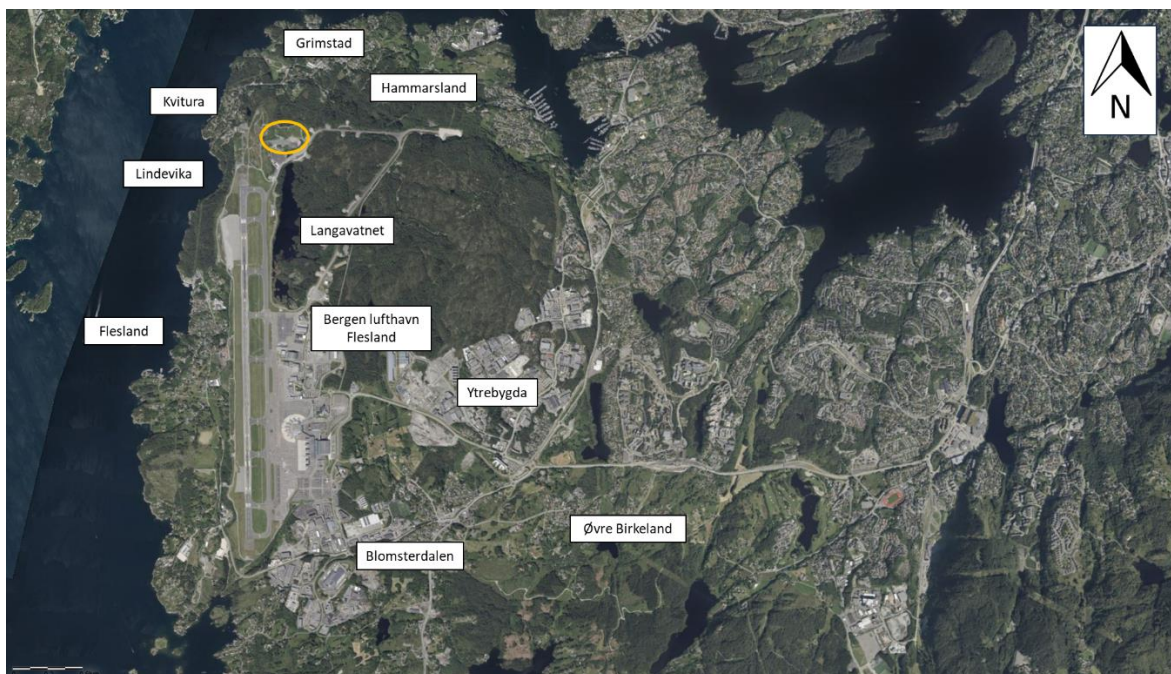
Det ble etablert 11 løsmassebrønner og 10 fjellbrønner på deponiet i antatte spredningsretninger fra deponiet, samt utført to runder med prøvetaking av grunnvann (brønner) og overflatevann. Brønnene ble ikke pumpet iht. standard i forkant av prøvetaking og representativiteten av analyseresultatene er derfor uviss. Avinor har gått til innkjøp av en pumpe for å få mer representative prøver. Analyseresultater fra nye vannprøver er beskrevet i denne rapporten (kap. 4.4).

Estimert spredning av PFAS mot nord via overflatevannpunkter basert på avrenning fra topografisk nedbørfelt og målt konsentrasjon av PFAS i punktene viser en spredning på 7 g/år via DN2 og 1 g/år via DN3 (Norconsult, 2023b).

Avinor skulle utarbeide en handlingsplan for å løse avviket på Deponi Nord, men før en handlingsplan utarbeides skal virksomheten kartlegge og identifisere hvilke farer og problemer som eksisterer. Følgende rapport oppsummerer situasjonen på deponiet, inkludert supplerende undersøkelser og vurderinger, samt utredning av ulike tiltak for å rette opp avviket. Etter møte med Statsforvalteren i Vestland (SFVL) den 22. juni 2023 ble det enighet om at følgende rapport vil brukes som grunnlag for å vurdere de juridiske sidene og hva som kan aksepteres for å løse avviket på best mulig måte. En handlingsplan vil derfor komme senere.

2 Deponi Nord

Deponi Nord på Flesland ble etablert i 2010 for å håndtere overskuddsmasser fra flyplassområdet og prosjekter knyttet til aktiviteten på flyplassen. Deponiet ligger nordøst for nordenden av rullebanen på Flesland lufthavn i Bergen (Figur 1).



Figur 1 Lokalisering av Deponi Nord på Flesland (gul sirkel). Kartutklipp modifisert fra norgebilder.no.

Multiconsult utarbeidet en statusrapport i 2015 som beskriver bakgrunn for deponiet, saksgang, oppbygging av deponiet, organisering av masser, oversikt over masser, forurensningsgrad og avrenning fra deponiet (Multiconsult, 2015). Ifølge denne ble deponiet etablert fordi tiltak ved noen områder på flyplassen genererte forurensede løsmasser, men massene var ikke mer forurenset enn at de kunne omdisponeres inne på flyplassens område iht. tillatelse fra Bergen kommune. I tillegg var det behov for en plass til å mellomlagre og sortere masser. Deponiområdet har også blitt benyttet til behandling av masser i form av utsortering av stein.

Følgende delkapitler sammenstiller hovedpunkter fra statusrapporten, og for nærmere beskrivelser henvises det til rapporten (Multiconsult, 2015).

2.1 Bakgrunn for etablering av deponiet

I forbindelse med planlagte grunntiltak på flyplassen i 2009 ble det gjennomført miljøgeologiske grunnundersøkelser for å avklare forurensningssituasjonen (Norconsult, 2009). Det ble påvist forurensning i et par mindre områder og utarbeidet en tiltaksplan for forurenset grunn som skulle gjelde for tiltakene (Multiconsult, 2009). Tiltaksplanen med risikovurdering viste at påvist forurensning ikke oversteg akseptkriterier for å benytte massene innenfor flyplassområdet gitt at det ble satt i verk enkelte tiltak. I tiltaksplanen ble det derfor også beskrevet et område for håndtering og mellomlagring av forurensede masser. Tiltaksplanen ble godkjent av Bergen kommune i brev datert 5. oktober 2009 (Bergen kommune, 2009).

Området i nord ble valgt ut for å lagre og eventuelt mellomlagre forurensede masser som ikke var geoteknisk egnet til bruk i byggeprosjekter. Tiltak mot forurensningsspredning fra deponiet ble beskrevet i godkjent tiltaksplan.

Det ble utarbeidet tegninger som viste omfang av deponiet og søkt om rammetillatelse i søknad datert 7. januar 2010 (Norconsult, 2010). Rammetillatelse til massedeponiet ble gitt 11. mars 2010 (Bergen kommune, 2010). Etter igangsettingstillatelse i 2010 ble det videre søkt om tillatelse til å utvide masseuttak i tilknytning til massedeponiet med utvidelse i søndre del av deponiet og oppdatering av tegninger. Endringen ble godkjent av Bergen kommune 7. januar 2011. I forbindelse med utbyggingen av Bergen lufthavn utarbeidet Multiconsult i 2012 en generell tiltaksplan som skulle gjelde for hele flyplassområdet (Multiconsult, 2012). Denne ble godkjent på vilkår av Bergen kommune i brev datert 23 august 2012 (Bergen kommune, 2012).

Fase 1 av deponiet ble fylt opp først og var prosjektert i plan og høyde. Omfang i plan av Fase 2 var vist med tegninger, men ikke laget som snitt-tegninger. Byggeledelsen bestemte at høyden på deponiet ikke skulle overstige den høyeste naturlige terrengkoten i nærliggende områder. Tillatelsen fra kommunen er basert på tegningene.

I tiltaksplanen fra 2012 ble det satt som vilkår at masser med forurensning inntil tilstandsklasse 2 kunne benyttes og gjenbrukes innenfor flyplassområdet, men at det ikke skulle tilføres høyere forurensningsgrad eller ny type forurensning til noen områder. Ved gravearbeider ble det instruert om at det skulle utføres miljøgeologiske grunnundersøkelser og tiltak for graveinstrukser basert på dette. Masser med forurensningsgrad innenfor tilstandsklasse 4 kunne plasseres i Deponi Nord, men det skulle ikke etableres nye deponier/massetipper uten spesifikk tillatelse fra Bergen kommune.

For PFOS-forurensede masser var det laget egne kriterier. Masser med PFOS-forurensning skulle fortrinnsvis ikke legges i deponiet, selv om påviste PFOS-konsentrasjoner var under normverdier. Dette var ikke et krav fra kommunen, men et ønske fra Avinor.

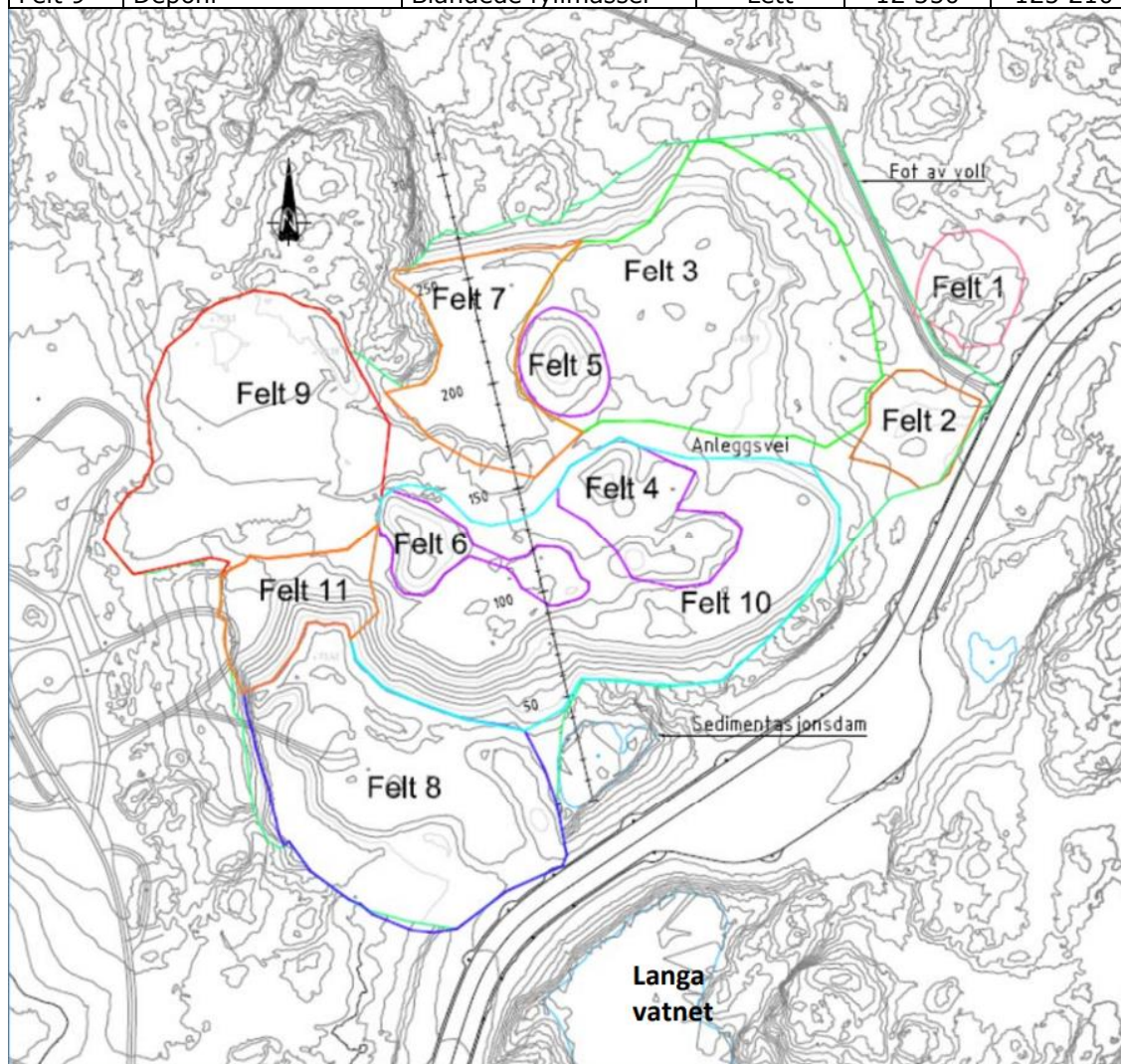
I tiltaksplanen av 2009 (Multiconsult, 2009) og rammetillatelsen fra 2010 (Bergen kommune, 2010) ble det gitt føringer på at det skulle være kontroll på avrenning fra deponiet for å hindre tilsig til omkringliggende bebyggelse, og at vassdrag nordover ikke skulle påføres forurensning. Aktuelle tiltak for å ivareta dette var å plassere forurensede masser i deponiet over grunnvannsstanden, eventuelt på fiberduk, samt dekke til med rene masser. Forurensede masser skulle fortrinnsvis ikke blandes med rene masser.

2.2 Organisering av masser i deponiet

Kartet i Figur 2 viser en oversikt for organiseringen av ulike typer masser på området, hvor felt 3, 7 og 9 er deponimasser (lett forurenset), og Tabell 1 viser en sammenstilling av disse feltene på deponiet pr. september 2015. I felt 5 som lå innenfor felt 3 var det et mellomlager for blandede rene masser. Disse ble senere sortert og fordelt på andre felt. I beregninger senere i rapporten er volum og areal av felt 5 inkludert i felt 3 for estimat av forurensningsmengder ettersom prøver fra felt 3 er tatt innenfor dette arealet. Retningslinjer for entreprenør var at masser som ikke var så forurenset at de måtte kjøres ut av flyplassområdet skulle plasseres i deponiet, og deponiet ble inndelt i ulike felt for ulike typer masser. Det henvises til Multiconsult (2015) for detaljerte beskrivelser og hovedresultater fra miljøtekniske grunnundersøkelser av massene som er lagt på deponiet.

Tabell 1 Informasjon om felt 3, 7 og 9 på deponiet (Multiconsult, 2015).

Område	Bruk	Type masser	Forurenset	Areal (m ²)	Volum (m ³)
Felt 3	Deponi	I hovedsak torvmasser	Lett	14 800	109 620
Felt 5	Tidligere mellomlager	Blandede rene masser	Nei	1 550	7 440
Felt 7	Bløtdeponi	Sedimenter	Lett	5 430	58 460
Felt 9	Deponi	Blandede fyllmasser	Lett	12 350	125 210



Figur 2 Oversiktskart for ulike delfelt på masselageret pr. september 2015 (Multiconsult, 2015).

Ved etablering av deponiet ble stedegne masser først gravd av til fast grunn. Rundt deler av deponiet ble det bygget steinvoller som skulle avgrense deponiet og hindre spredning av massene som skulle plasseres der. Deler av deponiområdet ble også sprengt ned, og sprengstein herfra ble benyttet i vollen sammen med stein fra masseutskiftning i forbindelse med flytting av en taksebane.

The map is a topographic representation of the Langavatnet area. It features contour lines indicating elevation. A north arrow is located in the upper left corner. The map is divided into several zones by colored lines and hatching. A large red hatched area in the center is labeled 'Deponi for bløte masser' (deposit for soft masses). To the right of this area, a blue hatched area is labeled 'Sedimentasjonsdam' (sedimentation dam). The 'Langavatnet' lake is shown on the right side. The 'Steinbrudd' (rockfall) area is indicated by a black hatched area at the bottom. The 'Steinvoll' area is labeled on the left. Various other labels in Norwegian are present, such as 'AKKUMULASJONSDEPONI', 'GRUNNSTRØM AV SPISNØTTE', and 'BETONNDEKKE'. The map also shows a road and a railway line.

Felt 7 av deponiet ble etablert og utformet som et deponi for bløte masser med høyt vanninnhold. Bunnen ble dekket med fiberduk og området ble avgrenset med fiberdukkledd steinvoller.

Helt vest i deponiområdet ble det etablert et steinbrudd pga. behov for stein i utbyggingsprosjektene på flyplassen. Det ble tatt ut ca. 560 000 m³ fra steinbruddet. Nordre del av bruddet er siden brukt som deponi (felt 9), avgrenset av fjell mot nord, vest og øst. I sør er feltet avgrenset av en voll (Felt 11). Søndre del av steinbruddet er åpent, men etablert slik at drenering fra hele steinbruddet (også fra felt 9) skal gå mot sedimentasjonsdammen.

Felt 9 ble dekket med rene masser og avsluttet i juli 2014. Masser med høyt innhold av røtter og lignende renskemateriale er lagt i felt 9 i tillegg til jord, stein og sand.

Deponiet ble målt inn i mars/april 2015. Det lå fremdeles noe betong og asfalt i avgrensede deler av deponiet (Felt 4 og 6). Betongen skulle håndteres for videre bruk. Asfalt skulle knuses opp/bearbeides for gjenvinning. I felt 5 ble det mellomlagret noe masser som i etterkant av oppmålingen er blitt sortert. Det ble benyttet rene masser for terrengarrondering i deler av deponiet. Sammenlignet med tegninger som lå til grunn for tillatelsen er det ikke store endringer i arealet av deponiet i plan.

Basert på innmålingene ble det beregnet areal og volum av deponiet fra 2015. Arealet mellom felt 10, 7 og 3 er ikke med i arealberegningen. Området har i hele perioden til 2015 blitt benyttet til anleggsvei. Arealet av hele masselageret er ca. 67 665 m² (ikke inkludert felt 8 som skulle bli nytt brannøvingsfelt). Totalt volum av masser er ca. 661 180 m³, hvorav 293 290 m³ var beskrevet som lettere forurensede masser.

I 2018 ble felt 3 overdekket med tett subbus og ren jord/sedimenter fra Lønningtjern som et avslutningstiltak (se bilder i vedlegg 1), iht. notat fra 2017 (Norconsult, 2017).

3 Avvik fra Miljødirektoratet

Den 10. mai 2022 ble det gjennomført tilsyn hos Avinor AS avd. Bergen lufthavn. Det ble avdekket ett avvik på at virksomheten har deponert forurensede jordmasser uten tillatelse. Avviket er manglende etterlevelse av krav fastsatt i eller i medhold av lov. Avinor har hatt tillatelse fra Bergen kommune til å etablere deponiet, men dette er ikke riktig myndighet iht. avfallsforskriften og deponiet er ikke utformet iht. loven.

3.1 Avfallsforskriften §9-7 krav om tillatelse

Avviket går ut på at virksomheten har deponert forurensede jordmasser uten tillatelse fra rett myndighet. Avviket er fra følgende krav gitt i regelverket for avfallsforskriften § 9-7 krav om tillatelse, jf. §9-2 Virkeområde.

Bestemmelsene i avfallsforskriften gjelder for alle deponi, herunder interne deponi hvor en avfallsprodusent selv står for avfallsdisponeringen på produksjonsstedet. Bestemmelsene i forskriften gjelder også for lagerplasser for avfall dersom lagringstiden er mer enn ett år før avfallet går til sluttbehandling, eller mer enn tre år før avfallet går til gjenvinning eller behandling. I tredje ledd er det angitt at forskriften ikke gjelder for redeponering og isolering av forurenset jord på samme lokalitet som den er grad opp fra.

I følge § 9-7 må den som skal drive deponi for avfall ha tillatelse etter forurensningsloven. Tillatelse til deponering skal ikke gis med mindre deponiet kan tilfredsstille alle relevante krav i kapittel 9 av avfallsforskriften med vedlegg.

Løsmassene i felt 3, 7 og 9 på deponiet inneholder lettere forurensede masser. Ifølge tilsynsrapporten ligger deponiet i opprinnelige rene områder ved nordenden av rullebanen, som ikke kan anses å være en del av samme tiltaksområde som massene var gravd opp fra, da området for Deponi Nord ligger adskilt fra områdene for gravetiltakene, og lokalisert på annet gårds- og bruksnummer. De er heller ikke del i samme bygge- og gravetiltak, eller kommer til nytte der de ligger. Unntaket i § 9-2 for redeponering og isolering på samme lokalitet som løsmassene er gravd opp fra gjelder derfor ikke.

4 Forurensningssituasjonen pr. 2023

4.1 Bakgrunn

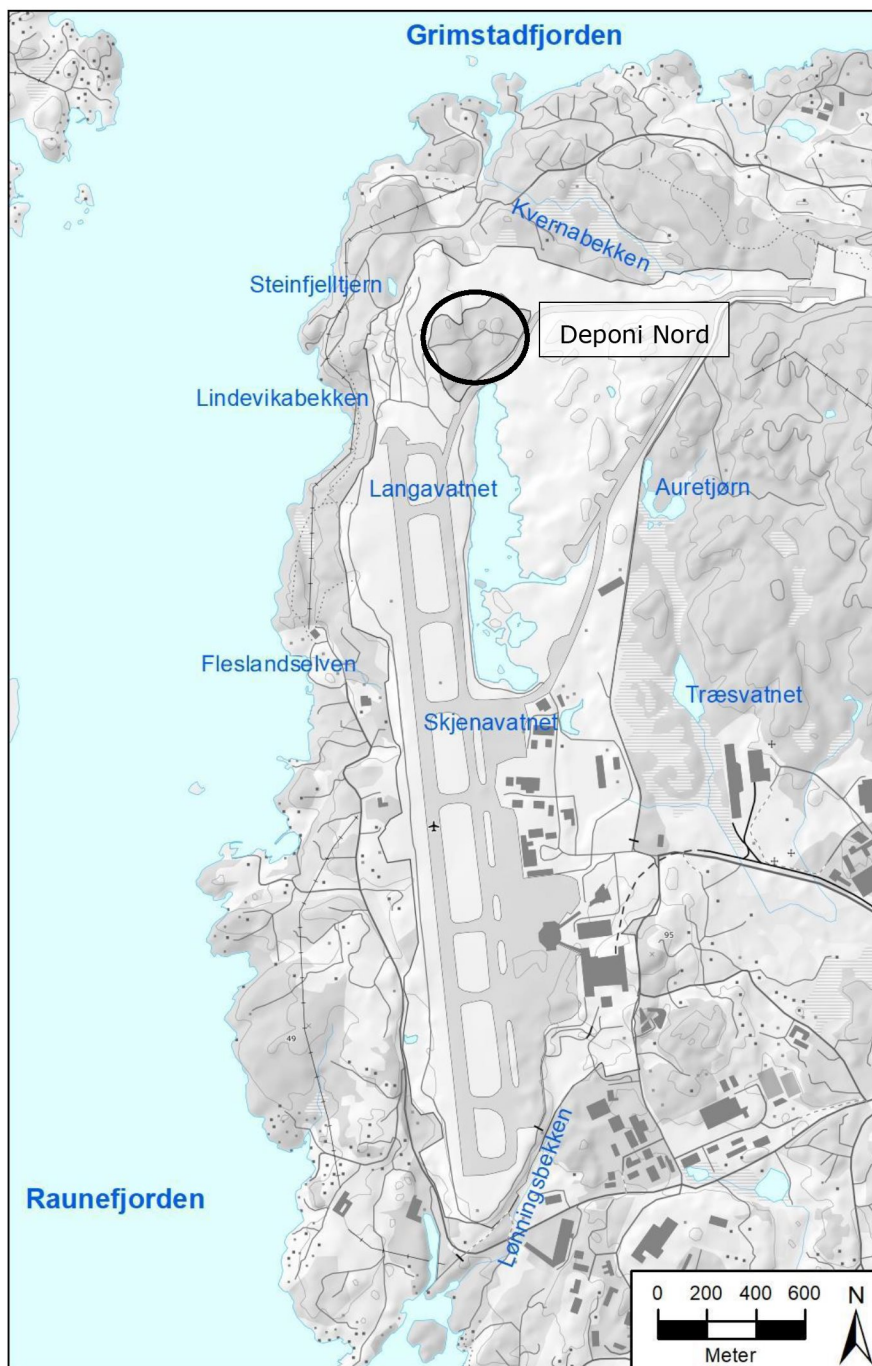
På bakgrunn av pålegg fra Miljødirektoratet datert 20. oktober 2021 utarbeidet Norconsult en tiltaksplan for opprydning i PFAS-forurensset grunn ved brannøvingsfeltene BØF1 (sist nedlagt brannøvingsfelt) og BØF2 (gammelt brannøvingsfelt, se Figur 4) på Bergen lufthavn (Norconsult, 2021). Som en del av Miljødirektoratets pålegg om gjennomføring av tiltak på brannøvingsfeltene av 30. mai 2022, ble det stilt krav om en mer omfattende kartlegging ved området Deponi Nord (se Figur 4). Med utgangspunkt i pålegget fra Miljødirektoratet, med ytterligere krav fra Statsforvalteren i Vestland, er det gjennomført en kartlegging av forurensningssituasjonen ved delfelt 3, 7 og 9 på Deponi Nord. Det er satt ned brønner i løsmasser og fjell, og analysert jord- og vannprøver. Resultatene er beskrevet i sluttrapport for miljøtekniske grunnundersøkelser (Norconsult, 2023b), og kort oppsummert i det etterfølgende for vurdering av dagens forurensningssituasjon. Det er i tillegg gjennomført supplerende analyser av grunnvann og overflatevann, samt nye vurderinger av strømningsveier og gassmålinger.



Figur 4 Flyfoto fra norgeskart.no med angivelse av omtrentlig plassering av brannøvingsfelt og Deponi Nord.

4.2 Strømningsveier

Resipienter for avrenning fra Deponi Nord omfatter Langavatnet like sør for deponiet, som går ut i sekundærresipienten Raunefjorden, og Kvernabekken og sjøresipient Grimstadfjorden i nord, se Figur 5.



Figur 5 Oversiktskart over resipienter ved Bergen lufthavn (Norconsult, 2023b) og omtrentlig lokalisering av Deponi Nord.

4.2.1 Avrenning fra deponiområdet iht. Multiconsult, 2015

Deponiet ble opprinnelig utformet slik at avrenning fra deponiet skulle gå mot Langavatnet via et lite tjern som fungerer som en sedimentasjonsdam (Figur 3). Prøvepunkt DN1 som siden er brukt til overvåking ligger i denne dammen. Avrenningsgrøftene i bunn av deponiet skal lede vann fra felt 7 mot dammen. Bunnen av steinbruddet (felt 8, felt 9 og felt 11) er etablert slik at avrenningen herfra også skal ledes til dammen. Dette området er avgrenset av berg mot nord, vest og i nordøstre deler. Det er etablert voller rundt deponiet. Vollen og bunnen av bløtdeponiet (felt 7) er kledd med fiberduk og bygget slik at vann fra denne delen skal gå mot sedimentasjonsdammen i sør. Mot vest er deponiet avgrenset av berg. Vollen i nordøstre og østre deler er ikke tettet med duk. Bunnen og terrengoverflaten under i denne delen er ikke kjent. Det var dermed usikkert hvor stor andel av deponiet som drenerer mot nordøst og hvor mye som drenerer mot sør. Det ble antatt at det kun var en mindre del av felt 3 som eventuelt drenerte mot nord.

4.2.2 Nye avrenningsvurderinger

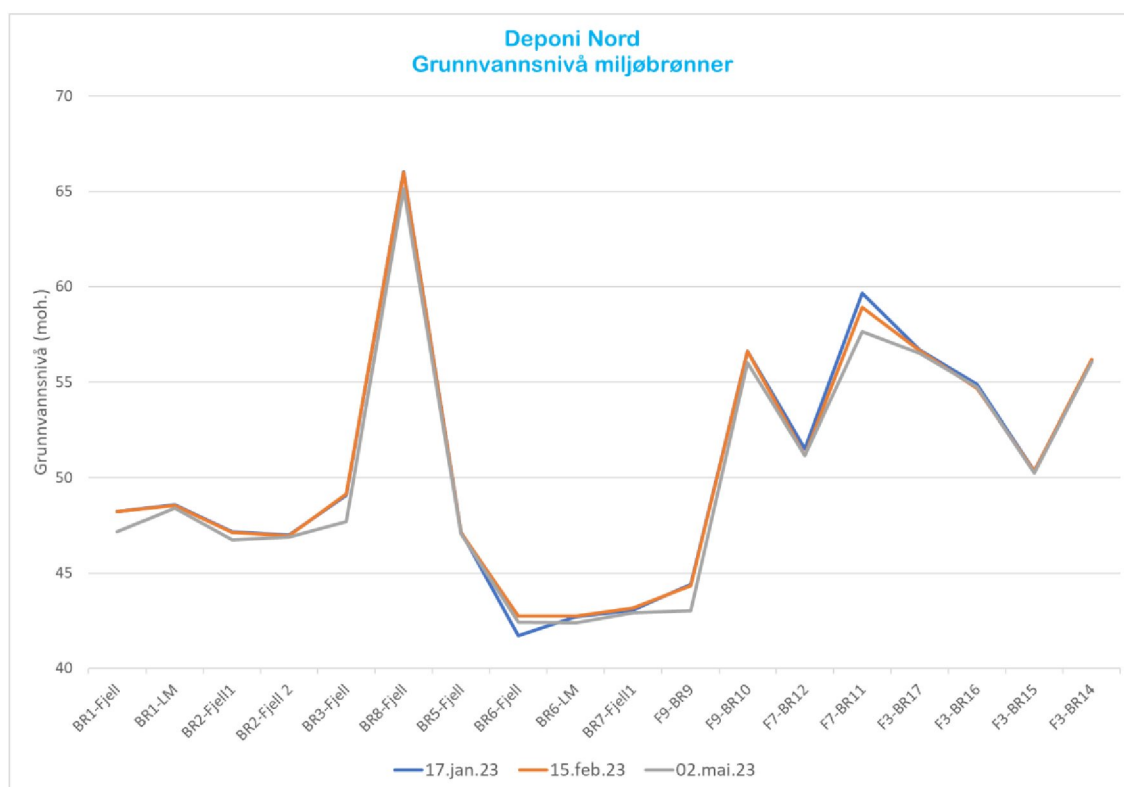
Grunnvannstrømning basert på målinger

Ved Deponi Nord er det etablert ca. 20 brønner i fjell og løsmasser hvor det er tatt ut vannprøver og målt dyp til grunnvannsnivå. I Tabell 2 er det presentert grunnvannsnivå målt vinter og vår 2023. Som det fremgår av Figur 6 er det på måletidspunktet lite variasjon i grunnvannsnivå i de enkelte brønnene. I Figur 7 er det presentert daglig nedbør ved Flesland hvor tidspunktet for måling av grunnvannsnivået er markert. Det var mye nedbør i perioden for målingene i januar og februar, men relativt lite nedbør i forkant av målingen i mai.

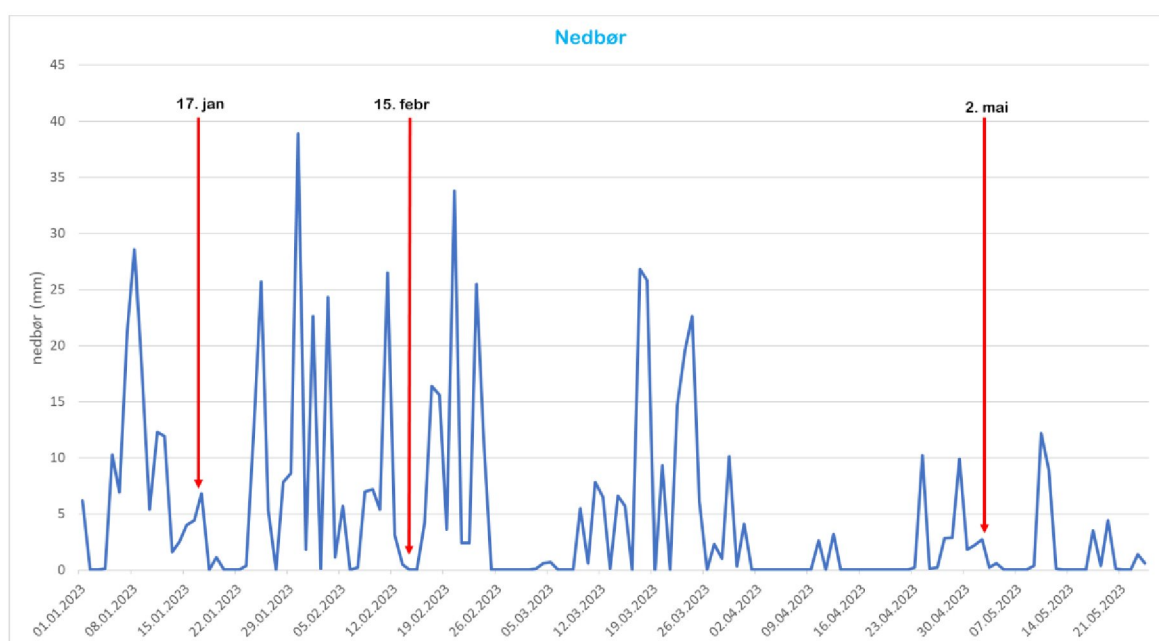
For å studere sammenhengen mellom grunnvannsnivå og nedbør mer detaljert ble det i et utvalg av brønnene satt ned trykksensorer som måler grunnvannsnivå hver time. Som det fremgår av Figur 8 er det for bl.a. miljøbrønnene BR9 og Br1-LM påvist sammenheng mellom nedbørsmengde og endringer i grunnvannsnivå.

Tabell 2 Manuelle målinger av grunnvannsnivå utført 17. januar, 15. februar og 2. mai 2023.

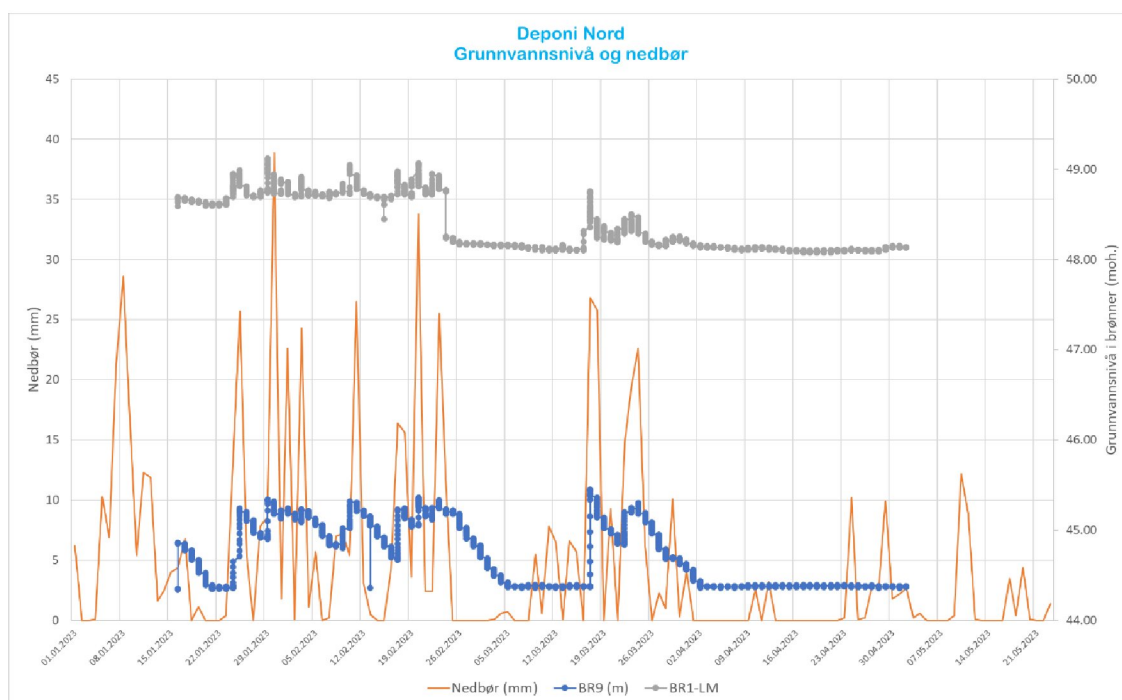
X	Y	17.jan.23	15.feb.23	02.mai.23	Brønn-ID
291314	6692141	48.24	48.23	47.18	BR1-Fjell
291315	6692140	48.59	48.56	48.42	BR1-LM
291251	6692197	47.15	47.13	46.75	BR2-Fjell 1
291253	6692196	47	46.94	46.88	BR2-Fjell 2
291150	6692205	49.07	49.14	47.69	BR3-Fjell
290985	6692290	40.99	47.81		BR4-Fjell
290992	6692100	66.03	65.98	65.15	BR8-Fjell
291304	6691924	47.17	47.12	47.05	BR5-Fjell
291140	6691894	41.7	42.75	42.44	BR6-Fjell
291148	6691894	42.72	42.75	42.4	BR6-LM
291052	6691905	43.05	43.15	42.91	BR7-Fjell 1
291081	6692011	44.39	44.34	43.04	F9-BR9
291042	6692034	56.62	56.61	56	F9-BR10
291135	6692070	51.52	51.16	51.18	F7-BR12
291155	6692035	59.65	58.93	57.65	F7-BR11
291334	6692073	56.68	56.64	56.51	F3-BR17
291331	6692090	54.88	54.66	54.74	F3-BR16
291263	6692129	50.34	50.35	50.24	F3-BR15
291202	6692088	56.17	56.19	56.04	F3-BR14



Figur 6 Manuelle målinger av grunnvannsnivå i miljøbrønner i perioden januar til mai 2023.

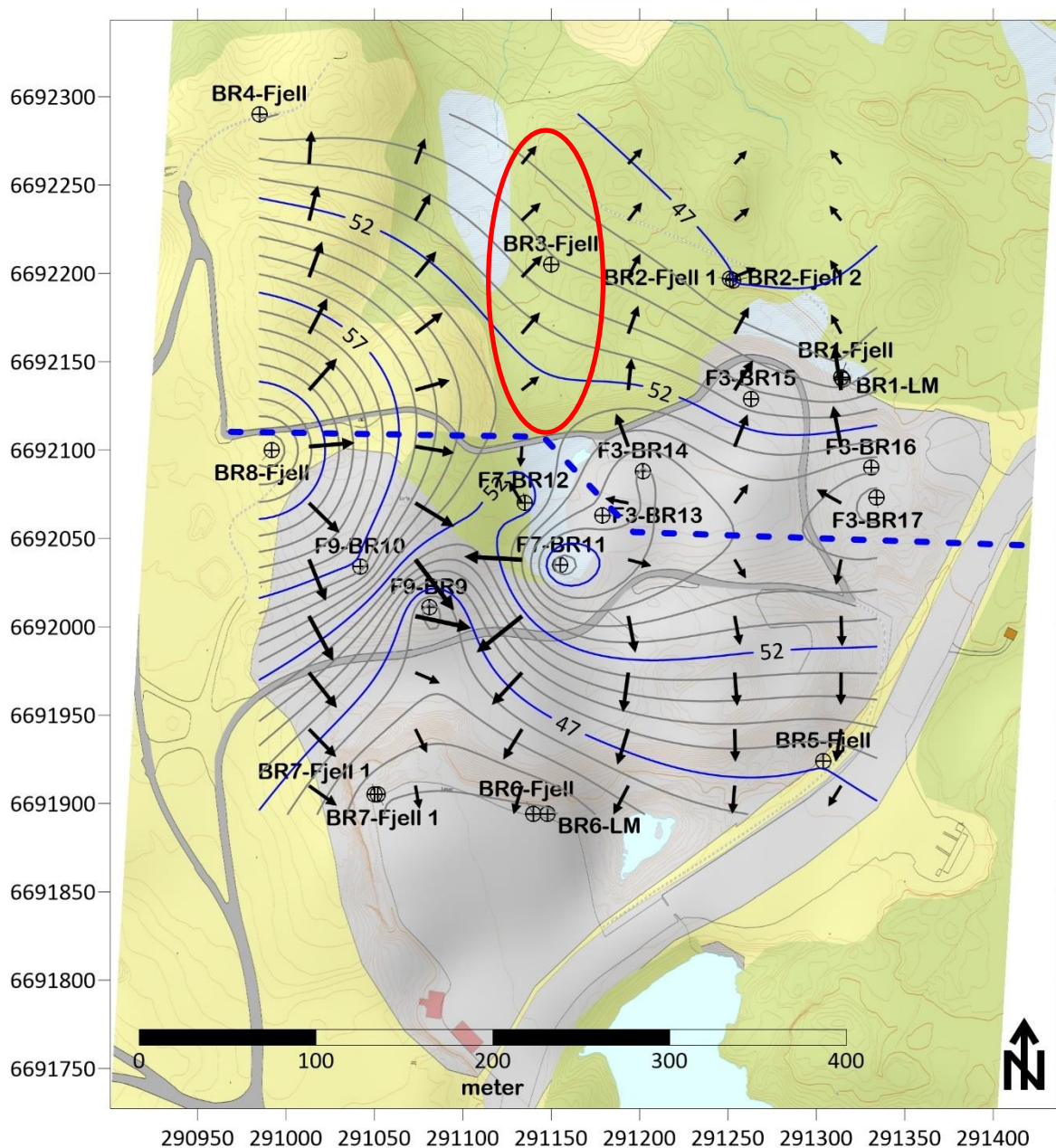


Figur 7 Daglig nedbør ved Flesland 2023. Markert dato for avlesning av grunnvannsnivå.



Figur 8 *Daglig nedbør ved Flesland 2023 vist sammen med endringer i grunnvannsnivå ved miljøbrønnene BR9 (felt 9) og BR1 i løsmasser (felt 3).*

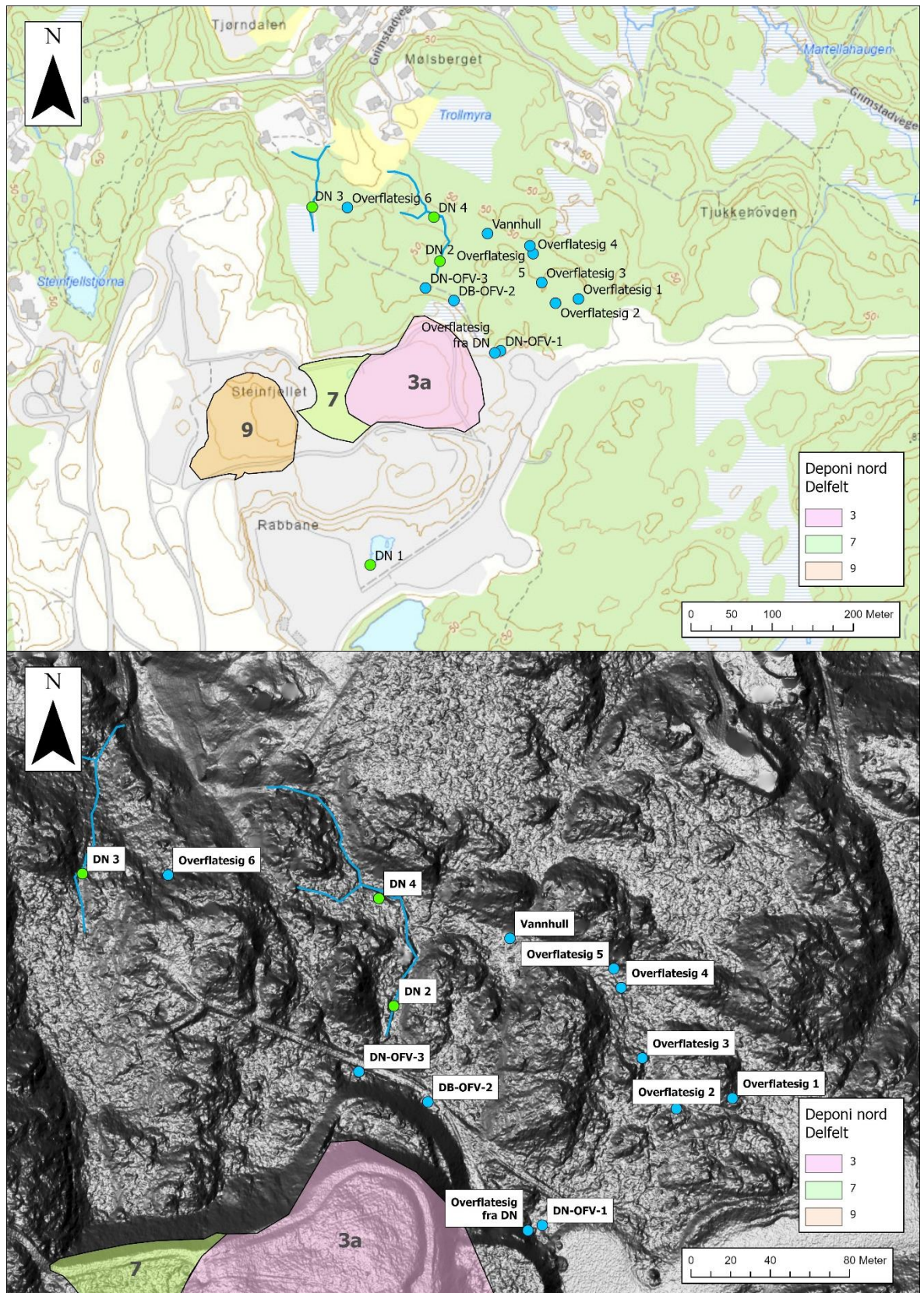
Basert på de manuelle målingene har COWI laget grunnvannstrømningsskart for deponiområdet. I Figur 9 er det presentert grunnvannskotekart for 15. februar, hvor det er markert strømningsretning for grunnvannet. Det er også markert mest sannsynlig plassering av vannskillet mellom grunnvann som strømmer nordover og sørover (stiplet blå linje). Basert på utformingen av Felt 9 med fjellbarriere vest, nord og øst skulle vannet fra dette feltet renne sørover. Figuren med strømningsretning bekrefter dette. For Felt 7 og 3 var det vurdert at kun en liten del av felt 3 ville drenere mot nord og resten mot sør, men kartet viser at vannskillet går omtrent midt over deponiet, slik at omtrent halvparten av vannet strømmer nordover og andre halvparten sørover. Strømningsspilene i kartet over og under BR3-Fjell vil sannsynligvis gå mot vest og ikke øst på grunn av fjellformasjoner som ikke er lagt inn i modelleringsgrunnlaget.



Figur 9 Grunnvannsstrømningskart 15. februar 2023, Deponi Nord, Flesland. Vannskillet markert med stiplet blå linje. Strømningspilene i kartet over og under BR3-Fjell (markert rødt) vil sannsynligvis gå mot vest og ikke øst på grunn av fjellformasjoner som ikke er lagt inn i modelleringsgrunnlaget.

Befaring 12. oktober 2023

Den 12. oktober gjennomførte hydrogeolog Arve Misund og miljørådgiver Ragnhild Austbø Kjønssøy (COWI), samt Peter Holmkvist (Avinor) en befaring av deponiet og myrområdet nedstrøms for å undersøke om det var flere uoppdagede strømningsveier for sigevannet mot boligområdet nord for deponiet. Forholdene for å observere vannstrømmer var svært gode ettersom det hadde regnet mye dagene i forkant. Under befaringen ble det tatt supplerende vannprøver av bekkeløp nord for deponiet og i sedimentasjonsdam på sørsiden, samt målt konduktivitet i overflatevann for å undersøke om det var noe som tydet på at vannet kan ha opphav i eller være påvirket av sigevann (Figur 10). Målt konduktivitet og konsentrasjon av sum PFAS og PFOS i de ulike punktene er gitt i Tabell 3.



Figur 10 Øverst: oversiktskart med observerte vannforekomster og bekker rundt deponiet. Nederst: nærbilde av deponiets nordside med multiskyggerelieff som bakgrunn.

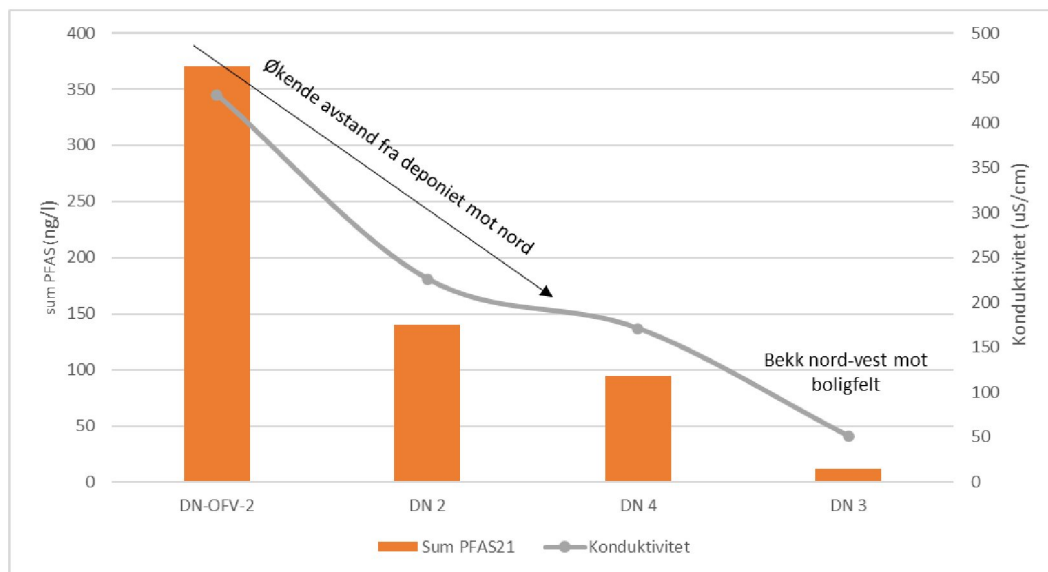
Tabell 3 Målt konduktivitet ved lokaliteter med vannsig fra Deponi Nord 12. oktober (Figur 10).

Prøvelokalitet	Konduktivitet ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sum PFAS (ng/l)	PFOS	Andel PFOS av sum PFAS (%)
DN1 (Sedimentasjonsdam)	210	180	31	17,2
DN2 (Bekkeløp)	226	140	16	11,4
DN 4 (Bekkeløp)	171	94	11	11,7
DN 3 (Bekkeløp)	51	12	5,2	43,3
Overflatesig fra DN	374	-	-	-
DN-OFV-1	82	-	-	-
DN-OFV-2	205	-	-	-
DN-OFV3	431	370	41	11,1
Overflatesig 1	45	-	-	-
Overflatesig 2	64	-	-	-
Overflatesig 3	60	-	-	-
Overflatesig 4	59	-	-	-
Overflatesig 5	56	-	-	-
Overflatesig 6	63	-	-	-
Vannhull	88	-	-	-

Grunnvannsstrømningskartet (Figur 9) tyder på at hovedstrømningsveien på nordsiden av deponiet går i en nedsenkning rett nord for Felt 3 (Figur 10). Dette ble bekreftet på befaringen med observasjon av bekken med prøvepunkt DN2 og et nytt prøvepunkt lengre nede hvor bekken har sterkere vannstrømning (DN4). Konduktivitetmålinger i felt, samt konsentrasjon av sum PFAS tyder også på at bekken er påvirket av sigevann med en fortykning i økende avstand fra deponiet (Figur 11). Andelen PFOS var ca. 11% i alle prøvepunktene fra denne strømmen, mens DN3 var 43%, og tyder på en annen sammensetning. Sedimentasjonsdammen (DN1) hadde 17,2% PFOS. Nærmere vurderinger av PFAS-sammensetning er gjort i kap. 4.4.

Oppbyggingen av Felt 9 er utformet slik at all avrenning fra massene går mot sør, med fjell som avgrenser vest, nord og øst. Konduktivitet av bekken med prøvepunktet DN3 tyder også på at det er lite sigevannspåvirkning i dette området, i tillegg til at konsentrasjoner av PFAS som er prøvetatt i DN3 er lave. Fjellforhøyningene vil også lede vann fra ren oppside her mot DN3-punktet og hindre avrenning fra deponiområdet. Dette tyder videre på at risikoen for eventuell påvirkning av miljøgifter fra Felt 9 mot boligområdet er minimal.

Under befaringen ble ingen andre tydelige vannstrømmer observert med unntak av overflateoppsamlinger av vann. Disse hadde relativt naturlig bakgrunnsverdi av konduktivitet på 45-64 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figur 11 Konsentrasjon av sum PFAS og konduktivitet i mulige avrenningsløp nord for deponiet.

Vurdering av sigevannsavrenning fra Deponi Nord

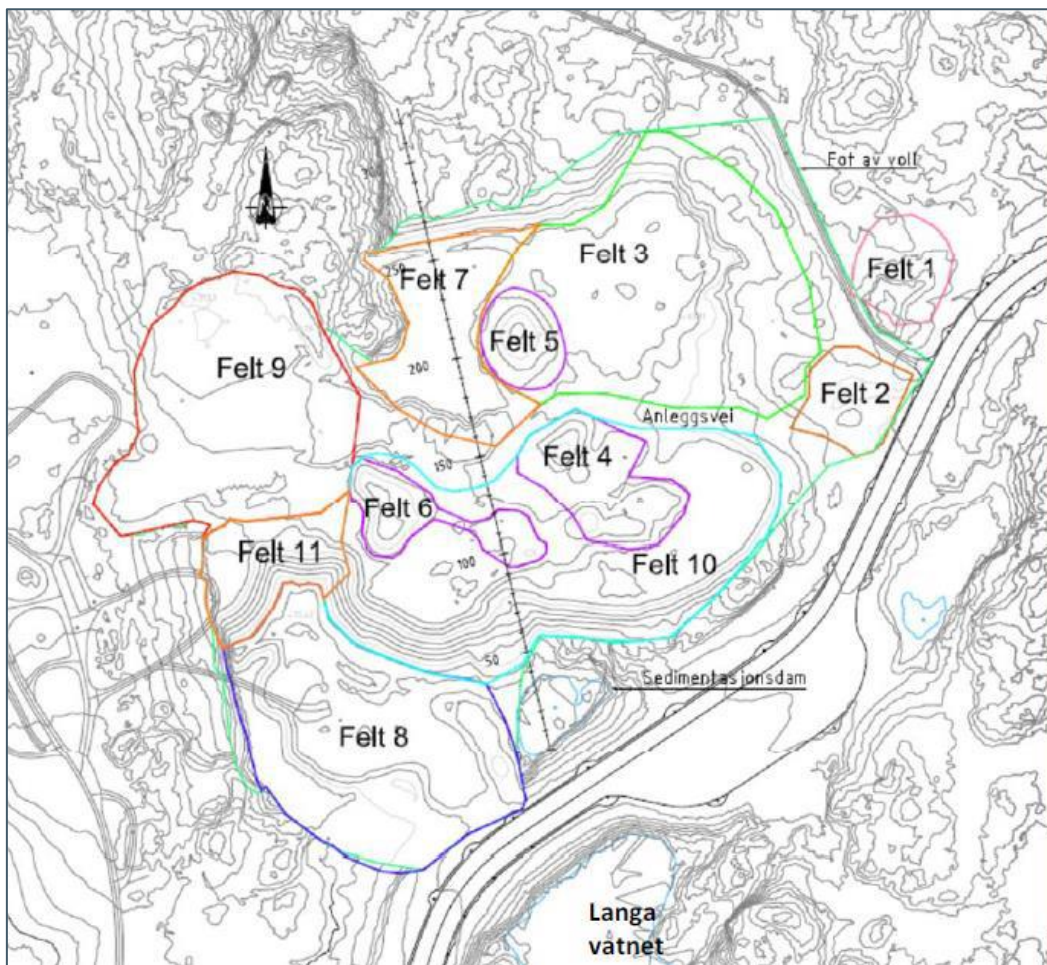
Basert på grunnlagsrapporter, grunnvannsstrømningskart og observasjoner på befaring vurderer COWI at det ikke er stor risiko for spredning av PFAS fra Felt 9 på deponiet mot nord. Dette baseres på utformingen med fjell rundt vest, nord og sør, grunnvannskotekart som viser at vannet strømmer mot sør, samt måling av konduktivitet og observasjon og bekkeløp i myrområdet nord for deponiet. Bekkeløpet med DN3 har lavere konduktivitet og lav konsentrasjon av PFAS sammenlignet med DN1, DN2 og DN4.

Strømningskartet viser at vannskillet går omtrent i midten av felt 3 og 7 slik at halvparten av grunnvannet fra disse delene av deponiet vil renne mot boligfeltene i nord, og halvparten mot Langavatnet via DN 1. Under befaringen viste det meste av overflatevannet i myrområdet omtrentlig naturlig bakgrunnskonduktivitet, mens bekken med prøvepunkt DN2 og DN4 var betydelig høyere. Konduktivitet og konsentrasjon av PFAS avtar i avstand fra deponiet, og det er sannsynlig at dette er hovedveien for sigevann fra deponiet i tillegg til vannet som samles i sedimentasjonsdammen (DN1).

4.3 Forurensede masser

Deponi Nord ble, som tidligere nevnt, etablert for håndtering og lagring av rene og lettere forurensede overskuddsmasser fra prosjekter knyttet til aktiviteten på lufthavnen. Deponering av masser har foregått i perioden 2010-2018 (Norconsult, 2023b).

Deponiområdet/masselageret består av 11 delfelt (Figur 12), hvorav felt 3, 7 og 9 består av lett forurensede masser, mens de resterende delfeltene er beskrevet å bestå av rene masser (Norconsult, 2023b). COWI oppsummerer i det etterfølgende forurensningssituasjonen i løsmasser ved delfelt 3, 7 og 9.

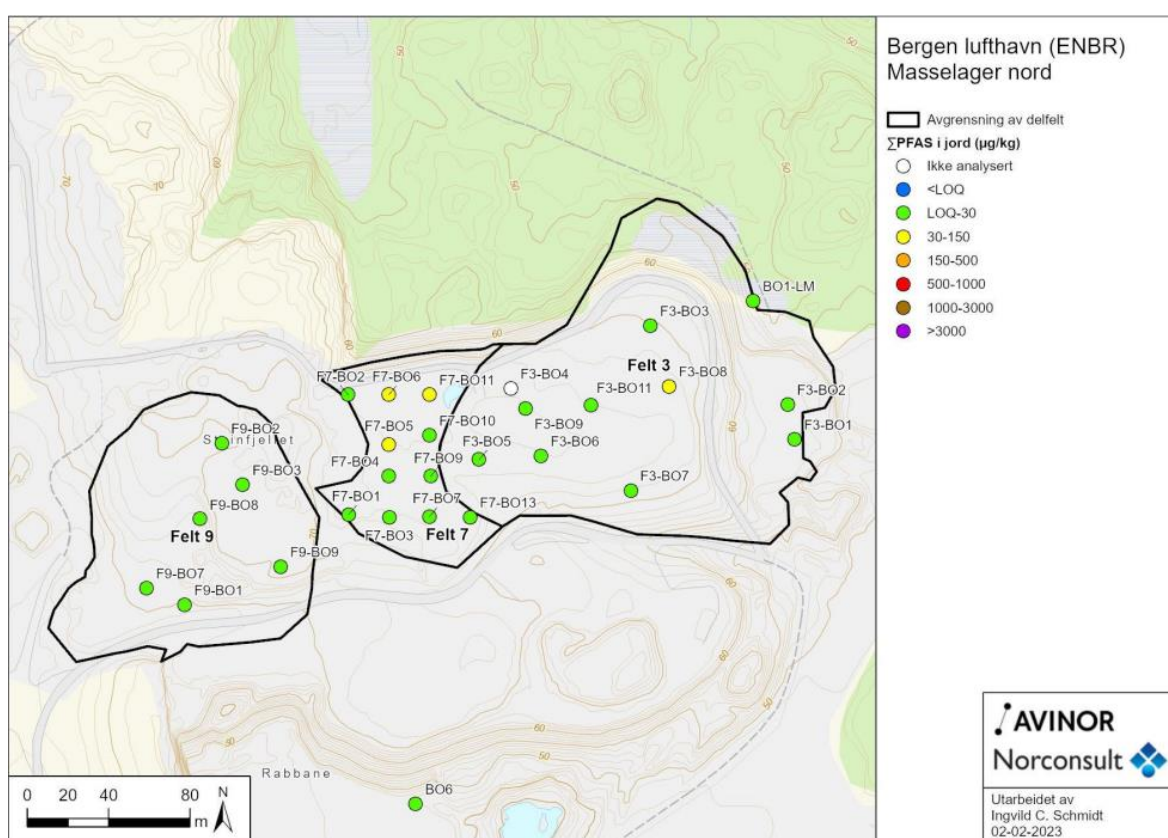


Figur 12 Oversiktskart over ulike delfelt i Deponi Nord pr. september 2015 (Multiconsult, 2015).

I 2023 ble det utført prøvetaking av løsmasser med borerigg i totalt 27 punkter, hvorav 10 var i felt 3, 11 i felt 7 og 6 i felt 9. Antallet prøvepunkter ble redusert sammenliknet med opprinnelig prøveplan grunnet utfordringer med boring og varierende kvalitet på prøvematerialet, som beskrevet i Norconsults sluttrapport (Norconsult, 2023b).

PFAS

Oppsummert viser analyseresultater for PFOS og sum PFAS i løsmasseprøver relativt lave konsentrasjoner (<30 µg sum PFAS/kg) i de aller fleste prøvene, og det er ikke påvist overskridelser av dagens normverdi på 100 µg/kg for PFOS. Figur 13 viser høyeste påviste konsentrasjon i hvert prøvepunkt uavhengig av dyp. Av de fire prøvepunktene hvor det var detektert PFAS over 30 µg/kg er det i F7-BO5 kun overskridelse i 2 av 6 prøvedyp, på 4 – 9 m dyp. I F7-BO6 er 2 av 11 prøvedyp overskredet på 6-9 m dyp, i F7-BO11 er to av syv prøvedyp overskredet på 6-9 m dyp og i F3-BO8 er ett av tre prøvedyp overskredet på 4,5-6 m dyp. I felt 7 som har flest punkter med høyere PFAS-konsentrasjoner ligger det sediment fra Langavatnet, Skjenavatnet og deponi B. Grunnen til at massene her har høyere konsentrasjoner av PFAS enn de andre feltene kommer sannsynligvis av at vannene har vært resipienter for flyplassaktivitet som tidligere brannøving og andre diffuse kilder.

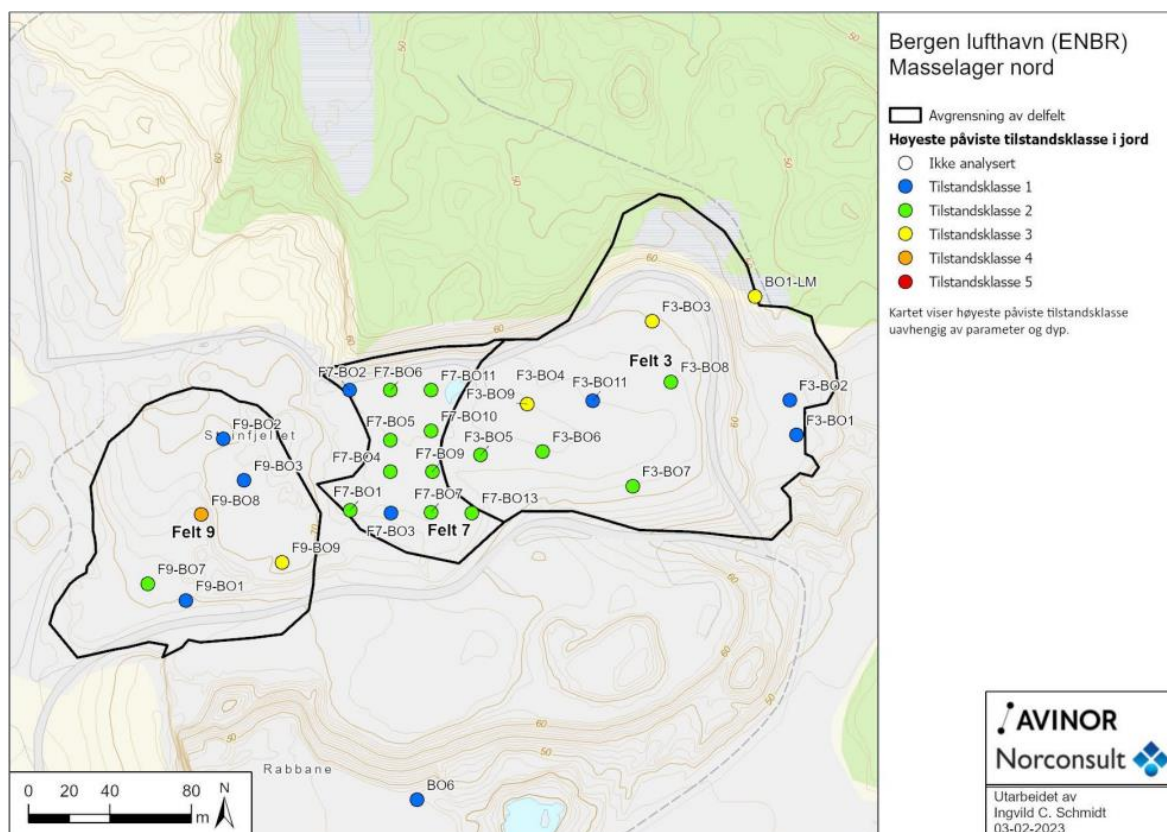


Figur 13 Konsentrasjoner av sum PFAS inkl. ½ LOQ (ug/kg) i løsmasseprøver. Resultater er symbolisert etter høyeste påviste konsentrasjon i hvert prøvepunkt uavhengig av dyp (Norconsult, 2023b).

Andre miljøgifter

Basert på undersøkelsen fra 2022 er det påvist andre miljøgifter over normverdi i 31 av 40 prøver fra felt 3, 14 av 55 prøver fra felt 7 og 7 av 37 prøver fra felt 9. Resultatene indikerer at over halvparten av massene er rene iht. de andre miljøgiftene utenom PFAS. Totalt viser analyseresultatene at 80 av 132 prøver fra ulike punkter og prøvedyp har alle analyserte parametere under normverdi, og i de tilfellene prøver har konsentrasjoner over normverdi er det hovedsakelig ett til få parametere som ligger i tilstandsklasse (TK) 2 med unntak av fem punkter. Dette gjelder 1 av 7 prøvedyp i BO1-LM som ligger helt i ytterkant av felt 3, hvor det er alifater >C12-C35 i TK 3 (2-3 m). I F9-BO9 har 1 av 17 prøvedyp kobber i TK 3 (17,5-18,5

m), 2 av 11 prøvedyp i F9-BO8 med henholdsvis ett åravedyp med bly i TK 3 (16,5-18 m) og ett prøvedyp >C12-C35 i TK 4 (10,5-12 m). I F3-BO9 har 2 av 5 prøvedyp henholdsvis kadmium i TK 3 (1,5-3 m) og BaP og sum PAH16 i TK 3 (3-4,5 m). I F3-BO3 har 1 av 8 prøvedyp BaP i TK 3 (9-10,5). Det henvises til vedlegg D i Norconsults sluttrapport for en visuell fremstilling av tilstandsklassifisering.



Figur 14 Høyeste påviste tilstandsklasse for andre miljøgifter i hvert prøvepunkt uavhengig av dyp. Resultatene er fargekodet i henhold til tilstandsklasser satt i Miljødirektoratets veileder for forurenset grunn (Norconsult, 2023b).

TOC

Videre er det påvist varierende nivåer av totalt organisk karbon (TOC) i løsmassene, fra <0,1 til 49 % ifølge analyserapportene til sluttrapporten fra Norconsult (Norconsult, 2023b). I gjennomsnitt er TOC-nivået i felt 3, felt 7 og felt 9 på henholdsvis 9%, 23% og 5%. TOC-nivåer kan være av relativt stor betydning mht. miljøgifters spredningspotensiale. Generelt vil organiske miljøgifter og PFAS-forbindelser som PFOS bindes sterkere til TOC-holdig jord, hvilket medfører redusert risiko for spredning og eksponering (Higgins & Luthy, 2006).

Omfang av forurensning i løsmasser

Massene i Felt 3, 7 og 9 har varierende opphav og dekker store areal med høy mektighet. Analyseresultatene og boreloggene viser at de lagrede massene i felt 3, 7 og 9 har høy grad av heterogenitet, både vertikalt og horisontalt. Massene forventes dermed å ha stor variasjon i infiltrasjonskapasitet, permeabilitet og organisk innhold. Det er ingen naturlig fordeling av hverken massetyper eller forurensningskonsentrasjon i massene, og dette gjør det vanskelig å skille mer og mindre forurensete områder fra hverandre. Massene vurderes å generelt være lite forurenset. Basert på resultatene fra undersøkelsene har Norconsult beregnet et grovt estimat

for mengde PFAS på totalt 1,9 kg for felt 3, 7 og 9 som utgjør 32 580 m² (Norconsult, 2023b). Til sammenligning var det ved BØF 2 rett vest for deponiet konsentrasjoner av sum PFAS opptil 2600 µg/kg, og mengdeberegninger av masser herfra ble estimert til 4,3 kg innenfor et areal på om lag 24 800 m² (Norconsult, 2021). Det er i sluttrapporten til Norconsult ikke utført mengdeberegninger for andre aktuelle miljøgifter, men det er beskrevet at det basert på påviste konsentrasjoner tilsvarende som for PFAS forventes lave totale mengder også for andre miljøgifter (Norconsult, 2023b).

4.4 Forurensset grunnvann og overflatevann

4.4.1 Deponi Nord

I prøvene som ble tatt i forbindelse med undersøkelsen fra 2022-2023 ble grunnvannsbrønnene prøvetatt med bailer, uten lensing i forkant. Dette medførte et høyt partikkelinnhold i flere av prøvene, og det er derfor usikkerhet knyttet til representativiteten av påviste konsentrasjoner for den andel som foreligger på løst form og som spres via grunnvannet (Norconsult, 2023b). På grunnlag av dette har Avinor gått til innkjøp av en ny pumpe for å ta grunnvannsprøver med vannutskiftning før prøvetaking. Nye prøver har blitt tatt av alle brønner med unntak av F3-BR13, og F7-BR12. Disse brønnene kunne ikke pumpes grunnet gjørme og leir.

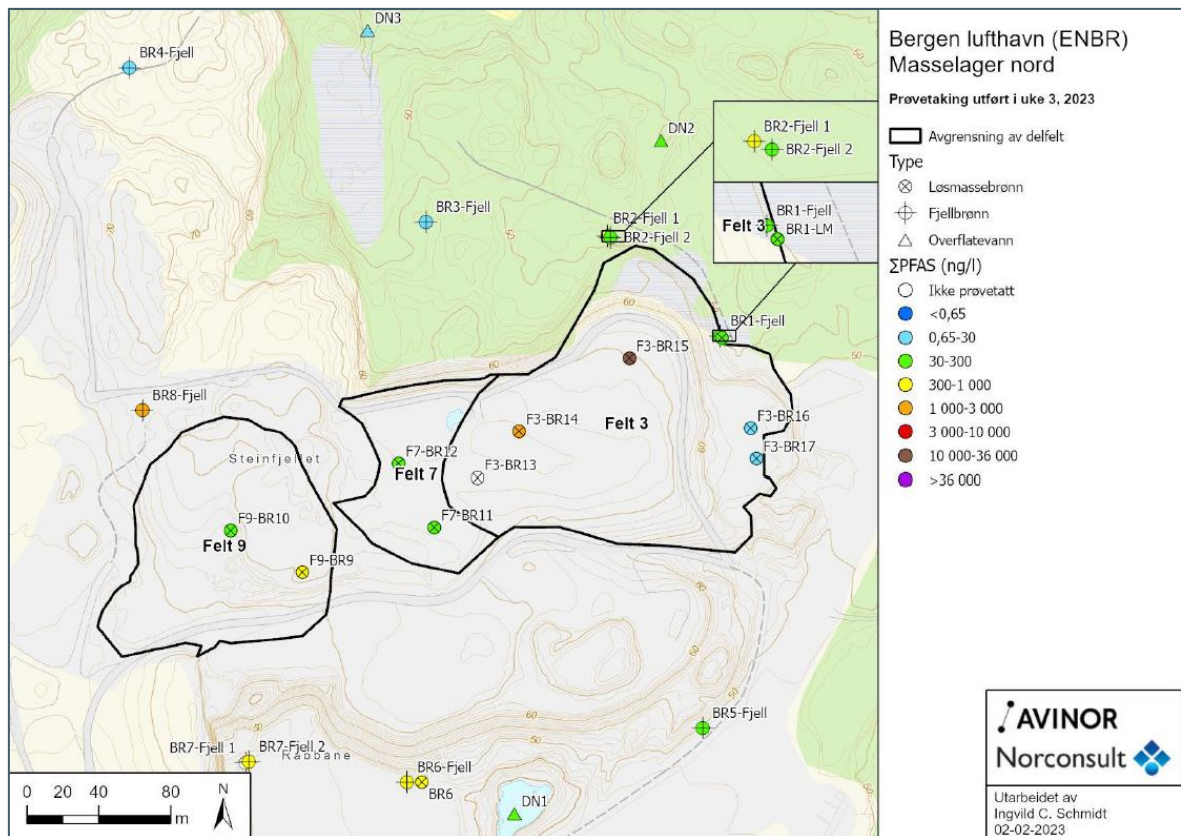
Per- og polyfluorerte forbindelser (PFAS)

Tabell 4 viser forskjell i konsentrasjon av PFOS og sum PFAS21 mellom prøvene tatt med bailer, og prøvene tatt med pumping på forhånd. De første prøvene ble tatt i uke 3 og 7 2023, og gjennomsnittet er presentert for disse. Som det kommer frem av tabellen er det for PFOS omtrent samme klassifisering i alle brønnene, BR3-Fjell hadde en lavere tilstandsklasse i de nye prøvene, mens F7-BR11 og F9-BR9 hadde en høyere. For sum PFAS21 var det noe større forskjeller hvor noen var lavere og noen høyere. F3-BR14 og F3-BR15 som hadde de høyeste konsentrasjonene var noe lavere i de nye prøvene (en tilstandsklasse). Det var fremdeles noe høy konsentrasjon av suspendert stoff etter pumping.

Klassifiserte analyseresultater fra prøvetaking av PFAS i grunnvann og overflatevann fra uke 3 i 2023 er present i kart i Figur 15. Som beskrevet i sluttrapporten til Norconsult (Norconsult, 2023b) ble det påvist relativt høye konsentrasjoner av sum PFAS i to av løsmassebrønnene i felt 3 (F3-BR14 og F3-BR15, 1100-11000 ng/l), samt i fjellbrønn BR8-Fjell like nord for felt 9 og BØF2 (1100-1200 ng/l). I de resterende brønnene var det påvist lavere konsentrasjoner (<1000 ng/l).

Tabell 4 Konsentrasjoner av PFOS og sum PFAS21 tatt av Norconsult i 2023 uten lensing i forkant, sammenstilt med nye prøver tatt av Avinor med pumping i forkant.

Brønn	Norconsult (2023)	Avinor 2023	Norconsult (2023)	Avinor 2023
	PFOS		Sum PFAS21	
	ng/l			
BR1-Fjell	3,55	2,3	355	87
BR1-LM	6,85	7,3	67,5	52
BR2- Fjell 1	7,4	11	270	160
BR2- Fjell 2	6,6	20	190	440
BR3-Fjell	0,96	0,47	12,4	3,2
BR4-Fjell	2,8	2,4	9,25	6,8
BR5-Fjell	15,5	24	131	120
BR6	15,15	25	280	490
BR6-Fjell	22	28	385	560
BR7-Fjell 2	62	41	470	220
BR8-Fjell	515	460	1150	1400
F3-BR13	37		280	
F3-BR14	255	140	1100	720
F3-BR15	63	90	10050	8200
F3-BR16	3,1	3	22,5	24
F3-BR17	3,65	3,2	26,5	28
F7-BR11	12,7	56	44,5	130
F7-BR12	0,68		30	
F9-BR10	21,95	15	111	750
F9-BR9	14,5	55	655	280



Figur 15 Konsentrasjoner av sum PFAS (ng/l) i overflate- og grunnvannsprøver fra uke 3, 2023 (Norconsult, 2023b).

Det er også påvist noe PFAS i overflatevann som mottar avrenning fra Deponi Nord. Det er påvist 52-180 ng/l i prøvepunkt DN1 i sedimentasjonsdammen sør for deponiet, samt at det i prøvepunkt DN2 som representerer et diffust vannsig i myrområdet nord for deponiet er påvist 140-170 ng/l. Lengre ned i samme bekk er det påvist 94 ng/l. I noe lenger avstand nord-vest ligger DN3 hvor det er påvist lavere konsentrasjoner (7-12 ng/l). Se kart og beskrivelser i kap. 4.2.2.

Andre miljøgifter

I sluttrapporten for utførte undersøkelser på Deponi Nord (Norconsult, 2023b) har Norconsult klassifisert andre miljøgifter i grunnvannsprøver og overflateprøver i henhold til nederlandske grenseverdier, ettersom norsk veiledningsmaterieell er mangelfullt for flere parametere som er relevante for å vurdere forurensning av grunnvann i og rundt deponiet. Alle prøver er klassifisert iht. vendepunktverdier for grunnvann.

Det ble generelt påvist lave konsentrasjoner av analyserte miljøgifter i de fleste vannprøvene. I brønn BR6-LM, BR6-Fjell, F3-BR14 og F3-BR15 var terskelverdien for ulike PAH-forbindelser oversteget. I 11 brønner var vendepunktverdien oversteget for PAH-forbindelser, tungmetaller og/eller BTEX. Det ble også påvist enkeltforbindelser av PAH i flere av brønnene nord for deponiet. Det ble ikke påvist enkeltforbindelser av PAH i prøver av overflatevann (diffuse vannsig og dam) like nord og sør for deponiet (prøvepunkt DN1-DN3), noe som tilsier lav spredning av PAH fra deponiet.

De nye prøvene tatt av Avinor i 2023, med pumping i forkant, understreker at de første prøvene ikke var representative, spesielt for PAH-forbindelser, men også delvis metaller (Tabell 5). I 10 av 16 brønner ble ikke PAH detektert, og i de 6 brønnene hvor det ble påvist, var det kun 4 av brønnene som viste konsentrasjoner over vendepunktstverdi, og ingen oversteg terskelverdi (rød). Tre av prøvene fra uke 3 og fire av prøvene fra uke 7 som ble tatt i forbindelse med undersøkelsesrapporten viste PAH-forbindelser over terskelverdi (Norconsult, 2023b).

Suspendert stoff var relativt høyt også for de nye prøvene, men prøvetaking etter lensepumping antyder at konsentrasjonene i strømmende grunnvann er lavere enn det de første prøvene tilsier. Med enda færre partikler i vannet ville sannsynligvis konsentrasjonene vært enda lavere.

Tabell 5 Analyseresultater for tungmetaller og PAH-forbindelser i grunnvann fra prøvetaking utført av Avinor med ny pumpe høsten 2023. Aktuelle forurensningsparametere er klassifisert iht. nederlandske grenseverdier, hvor blå = under vendepunktverdi, gul = overskrider vendepunktverdi og rød = overskrider terskelverdi.

Parameter	Enhet	BR1-LM ENBR-BR1	BR1-Fjell ENBR-BR1 F	BR2- Fjell 1 ENBR-BR2 F1	BR2- Fjell 2 ENBR-BR2 F2	BR3-Fjell ENBR-BR3 F	BR4-Fjell ENBR-BR4 Fjell	BR5-Fjell ENBR-BR5	BR6 ENBR-BR6
Suspendert stoff	mg/l	80	75	140	65	730	24	36	24
Arsen (As), filtrert	µg/l	0,75	0,078	0,44	0,37	0,54	1,2	0,2	0,49
Bly (Pb), filtrert	µg/l	0,95	< 0,010	0,016	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Kadmium (Cd), filtrert	µg/l	0,012	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	0,008	0,005
Kobber (Cu), filtrert	µg/l	1,7	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,12	0,23	1,8	1,2
Krom (Cr), filtrert	µg/l	2,4	0,075	0,093	< 0,050	< 0,050	0,15	0,093	0,38
Kvikksølv (Hg), filtrert	µg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Nikkel (Ni), filtrert	µg/l	2,6	0,37	1,1	0,54	1,6	13	2	1,5
Sink (Zn), filtrert	µg/l	5,6	0,37	< 0,20	< 0,20	0,21	0,37	1,1	2,1
Naftalen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Acenafitylen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Acenaften	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,021
Fluoren	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,032
Fenantren	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antracen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranten	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,041
Pyren	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,024
Benzo[a]antracen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Krysen/Trifenylen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,012
Benzo[b]fluoranten	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,013
Benzo[k]fluoranten	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pyren	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Indeno[1,2,3-cd]pyren	µg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0058
Dibenzo[a,h]antracen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[ghi]perylene	µg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0055
Sum PAH(16) EPA	µg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,17
Parameter	Enhet	BR6-Fjell ENBR-BR6 F	BR7-Fjell 2 ENBR - BR7 Fjell 2	F7-BR11 ENBR-BR11	BR8-Fjell ENBR-BR 8	F9-BR10? ENBR-BR10	F9-BR9? ENBR-BR10	F3-BR14 ENBR-BR14	F3-BR15 ENBR-BR15
Suspendert stoff	mg/l	37	31				280	12	7
Arsen (As), filtrert	µg/l	0,16	21	0,12	0,074	0,12	0,13	0,24	0,28
Bly (Pb), filtrert	µg/l	< 0,010	< 0,010	0,015	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,12	0,015
Kadmium (Cd), filtrert	µg/l	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	0,008	0,025
Kobber (Cu), filtrert	µg/l	0,35	2,5	0,17	0,27	0,088	< 0,050	1,9	6,4
Krom (Cr), filtrert	µg/l	0,26	0,79	0,83	< 0,050	0,16	0,72	1,7	0,4
Kvikksølv (Hg), filtrert	µg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Nikkel (Ni), filtrert	µg/l	0,76	6,2	6,7	0,73	0,59	4,5	2,7	11
Sink (Zn), filtrert	µg/l	2,5	0,55	44	0,38	2	5,6	4,1	3,9
Naftalen	µg/l	<0,01	<0,01	0,078	<0,01	0,019	0,000029	<0,01	<0,01
Acenafitylen	µg/l	<0,01	<0,01	0,015	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Acenaften	µg/l	0,031	<0,01	0,012	<0,01	0,083	0,00003	0,000027	<0,01
Fluoren	µg/l	0,053	<0,01	0,013	<0,01	0,044	0,000034	0,000025	<0,01
Fenantren	µg/l	<0,01	<0,01	0,032	<0,01	<0,01	0,00012	<0,01	<0,01
Antracen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranten	µg/l	0,045	<0,01	0,018	<0,01	<0,01	0,00012	0,000016	<0,01
Pyren	µg/l	0,02	<0,01	0,011	<0,01	<0,01	0,000077	0,000011	<0,01
Benzo[a]antracen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,000034	<0,01	<0,01
Krysen/Trifenylen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,000043	<0,01	<0,01
Benzo[b]fluoranten	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,000047	<0,01	<0,01
Benzo[k]fluoranten	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[a]pyren	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,000038	<0,01	<0,01
Indeno[1,2,3-cd]pyren	µg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,00002	0,0000025	<0,002
Dibenzo[a,h]antracen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo[ghi]perylene	µg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,00002	0,0000027	<0,002
Sum PAH(16) EPA	µg/l	0,15	ND	0,18	ND	0,15	0,00061	0,000084	ND

I Tabell 6 er prøvene Norconsult tok av overflateprøver i 2023 klassifisert konservativt for ferskvann iht. veileder M-608 (Miljødirektoratet, 2020). Andre miljøgifter som PAH, BTEX og olje i vann er ikke påvist over deteksjonsgrense. Klassifiseringen viser at alle metaller ligger i tilstandsklasse (TK) I og II (bakgrunnsverdi og god tilstand). PFOS ligger i TK III og PFOA i TK II. Vannet som renner ut til resipient vil også fortynnes, og basert på dette indikerer resultatene at avrenning fra deponiet ikke medfører risiko for sekundærresipienter, spesielt av hensyn til metaller.

Tabell 6 *Prøver av overflatevann (DN1, DN2, DN3) med avrenning fra deponiet tatt i 2023 (Norconsult, 2023b) klassifisert iht. veileder M-608 (Miljødirektoratet, 2020). Andre miljøgifter er ikke påvist over deteksjonsgrense.*

Parameter	Enhet	Uke 3 2023	Uke 7 2023	Uke 3 2023	Uke 7 2023	Uke 3 2023	Uke 7 2023
		DN1		DN2		DN3	
pH		7,5	7,3	7,5	7,4	6,5	6,3
Konduktivitet	mS/ m	13,3	29,3	20,4	24,6	5,53	6,76
Suspendert stoff	mg/l	<2,0	<2,0	<2,0	5	<2,0	4,1
Løst organisk karbon		2,6	7,7	7,8	8,1	5,7	4,9
Metaller, filtrert							
Arsen (As)	µg/l	0,17	0,16	0,16	0,18	0,15	0,16
Bly (Pb)		0,011	0,013	0,051	0,031	0,21	0,17
Kadmium (Cd)		0,008	0,008	0,006	0,007	0,011	0,017
Kobber (Cu)		2,2	7,5	1,9	2	0,45	0,28
Krom (Cr)		0,31	0,4	0,25	0,23	0,19	0,16
Kvikksølv (Hg)		<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Nikkel (Ni)		0,62	1,8	0,74	0,86	0,39	0,39
Sink (Zn)		0,56	1,2	1,2	1,2	2,5	3,2
PFAS							
PFOS	ng/l	16	30	20	16	3,8	3,6
PFOA		1,9	5,8	4,7	5	0,37	0,41

4.4.2 BØF 2

Ifølge tiltaksplanen for brannøvingsfeltene på Bergen lufthavn (Norconsult, 2021), viser resultatene fra prøvetaking av grunnvannsbrønner konsentrasjoner av sum PFAS mellom 100-600 ng/l. Alle brønnene var imidlertid plassert i østlig yttergrense av brannøvingsfeltet, og resultatene fra prøvetakingen representerer derfor i liten grad utlekking og spredning fra BØF2 vestover mot Lindevikabekken (i Lindevikabekken er det påvist 800-2800 ng/l i perioden 2014-2021, med unntak av en særlig høy konsentrasjon i juli 2020 på 12 000 ng/l). I oktober 2021 ble det forsøkt etablert brønner ved sjakting på feltet, men dette lot seg ikke gjøre grunnet betydelig utrasing av masser i dypere sjakter (Norconsult, 2021). I etterkant er det etablert fire brønner på vestsiden. Resultatene fra brønnprøvene er inkludert i kap. 4.4.4.

4.4.3 Drikkevannsbrønner

Det ble i tidligere undersøkelser fra 2011 påvist PFAS i private drikkevannsforsyninger på Kvitura, hvilket medførte tilkobling til offentlig vannforsyning. COWI har på oppdrag for Avinor gjennomført oppfølgende undersøkelser av PFAS i drikkevann fra private drikkevannsforsyninger i boligområdene Flesland, Kvitura og Grimstad som ligger vest og nord for lufthavnen i 2020 (COWI, 2020) og 2021 (COWI, 2021), se prøvepunkter i Figur 16. I boligområdet Grimstad lengst i nord har alle eiendommene tidligere hatt privat vannforsyning, men det pågår nå arbeid med etablering av offentlig vann- og avløp som eiendommene i området kan koble seg på (omtalt ytterligere i kap. 4.9.2).

I den første prøvetakingsrunden ble det påvist PFAS over rapporteringsgrensen i 20 av 21 vannforsyninger ved Grimstad/Kvitura. Den høyeste PFAS-verdien som ble målt hadde en verdi på 46 ng sum PFAS/l (Norconsult, 2021; COWI, 2020). For denne husstanden er det tatt to oppfølgende prøver som viste sum PFAS på hhv. 2,8 og 1,2 ng/l (COWI, 2021). Resterende

prøver fra den første prøvetakingsrunden i 2020 hadde sum PFAS verdier mellom 0,2-4,4 ng/l. I neste prøvetakingsrunde varierte PFAS-verdiene mellom 0,3-21 ng/l. Det var flere høye verdier enn i den første prøverunden selv om etappe 2 befant seg i lengre avstand fra lufthavnsområdet (COWI, 2021). Dette kan indikere at lufttransportert PFAS er av betydning.

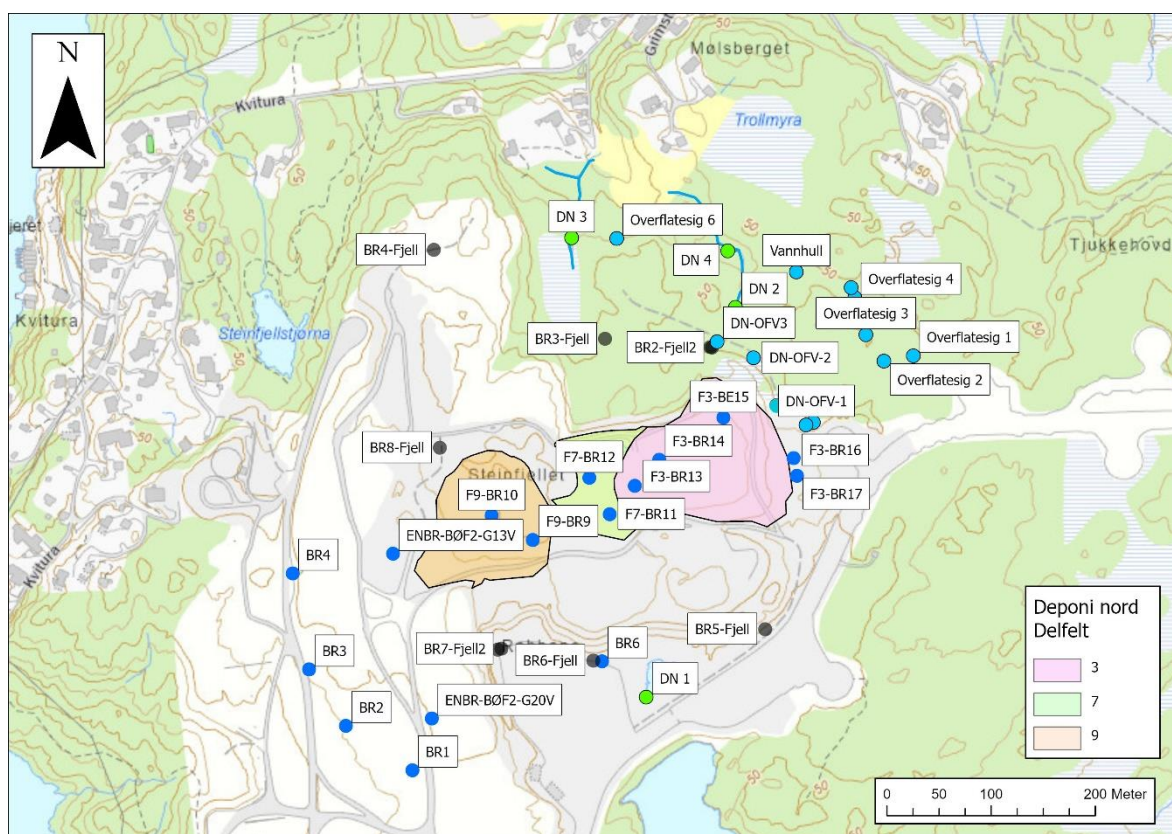
Drikkevannsprøvene bestod i hovedsak av PFBS, PFBA, PFHxS, PFHxA, PFHpA, PFOA og PFOS, og i noen prøver (<5) også PFNA, PFOSA og PFPeA. Basert på medianverdier for samtlige drikkevannsprøver fra Grimstadsområdet ble det i hovedsak påvist PFOS, PFHxS og PFOA (hhv. 29, 14 og 14 % av sum PFAS). Det presiseres at de fleste verdiene av sum PFAS var relativt lave (gjennomsnitt ca. 4 ng sum PFAS/l), hvilket medfører at flere av PFAS-forbindelsene ble påvist rundt analysemetodens rapporteringsgrense, som videre medfører større usikkerhet knyttet til den relative PFAS-sammensetningen sammenliknet med prøver med relativt høyere PFAS-nivå.



Figur 16 Oversiktskart oversendt av Avinor som viser prøvetakingspunkter på nordlig del av lufthavnen, samt boligområdene Grimstad/Kvitura.

4.4.4 Sammenligning PFAS-sammensetning

Med utgangspunkt i resultater oversendt av Avinor er det laget et stolpediagram som viser prosentvis fordeling av PFAS-forbindelser (Figur 18). I denne er det inkludert analyseresultater fra brønner ved BØF2, bekk nord for deponiet (DN1), brønner utenfor nord, nord-øst, og sørside av deponiet, brønner på felt 3, 7 og 9, samt prøver fra punkter med sigevannsavrenning nord og sør (bekken med DN2 og DN4 i nord, og sedimentasjonsdammen DN1 i sør). Se prøvepunkt i figur Figur 17.



Figur 17 Kartet viser prøvepunkt som inngår i Figur 18.

Fordelingen i brønnene fra deponiet viser en noe variert sammensetning. Brønnene sør og nord-øst for deponiet ligner mer på sammensetningen av brønnene fra deponiet, selv om de også har en noe variert sammensetning. PFPeA er generelt det dominerende, mens PFOS og PFHxS utgjør en større sammensetning i enkelte brønner.

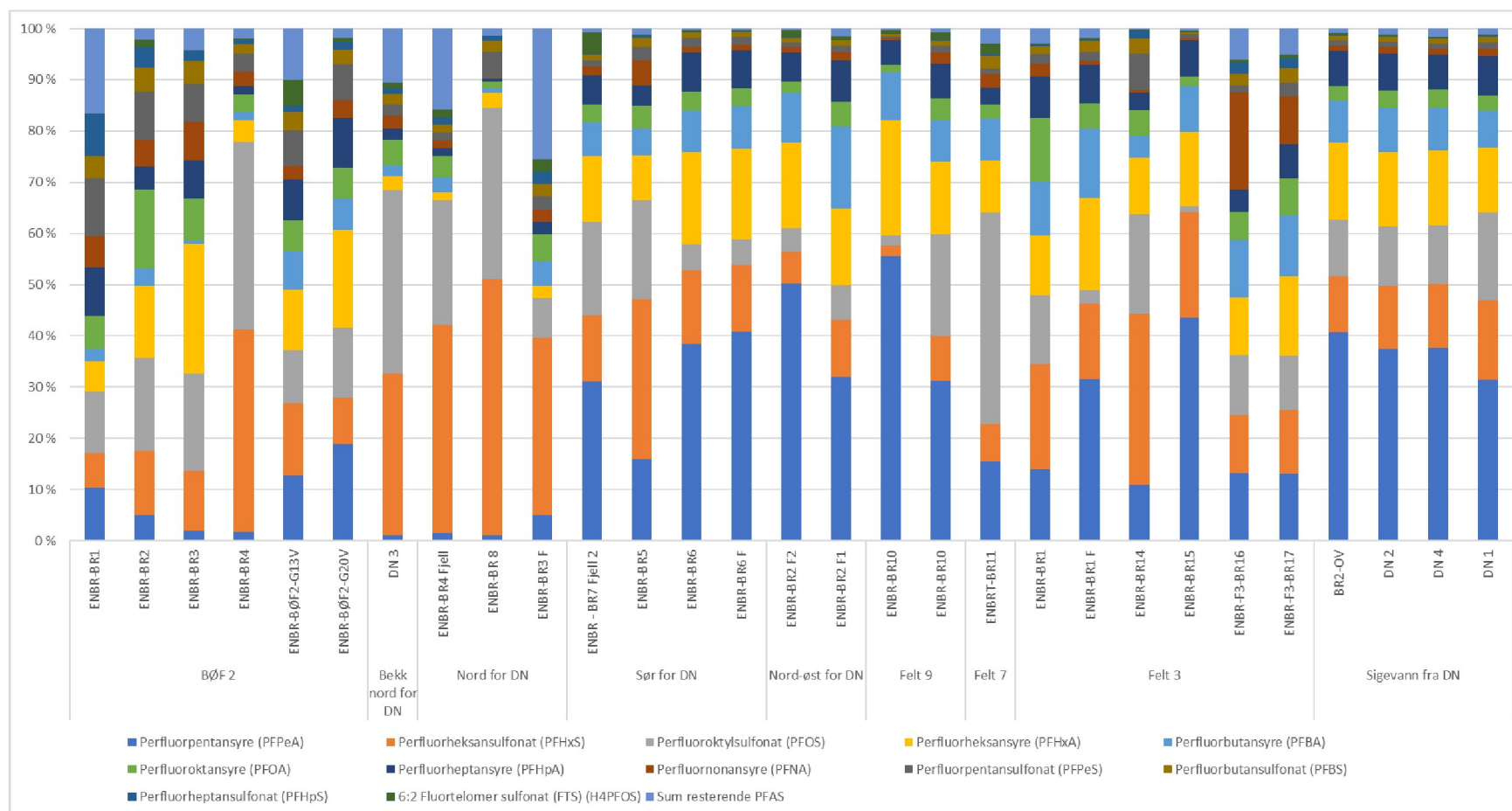
Sammensetningen til DN 3 er svært lik brønnene som ligger nord for deponiet, spesielt BR-4 og BR-8 og disse består hovedsakelig av PFHxS og PFOS. BR3 har også en stor andel PFHxS, men en mindre andel PFOS, og større andel PFPeA og andre PFAS-forbindelser.

Den prosentvise sammensetningen er omtrent lik i alle punktene BR2-OV, DN 2, DN4 og DN1. Det er noe høyere mengde PFPeA i BR2-OV som er overflatevann som ligger helt inntil deponiet ved BR-2, mens DN2 og DN4 som er to prøvepunkt fra samme bekk viser omtrent helt lik fordeling. DN 1 viser noe lavere mengder PFPeA og noe høyere av PFOS, og indikerer en liten endring i sammensetningen.

For brønnene BR 1-4 viser sammensetningen generelt lite PFPeA som man finner igjen i større grad i deponibrønnene. De viser også generelt en mer balansert fordeling av andre PFAS-forbindelser. Brønnene BØF2-G13-V og -G20V på østsiden av BØF2 har noe høyere prosentvis andel av PFPeA.

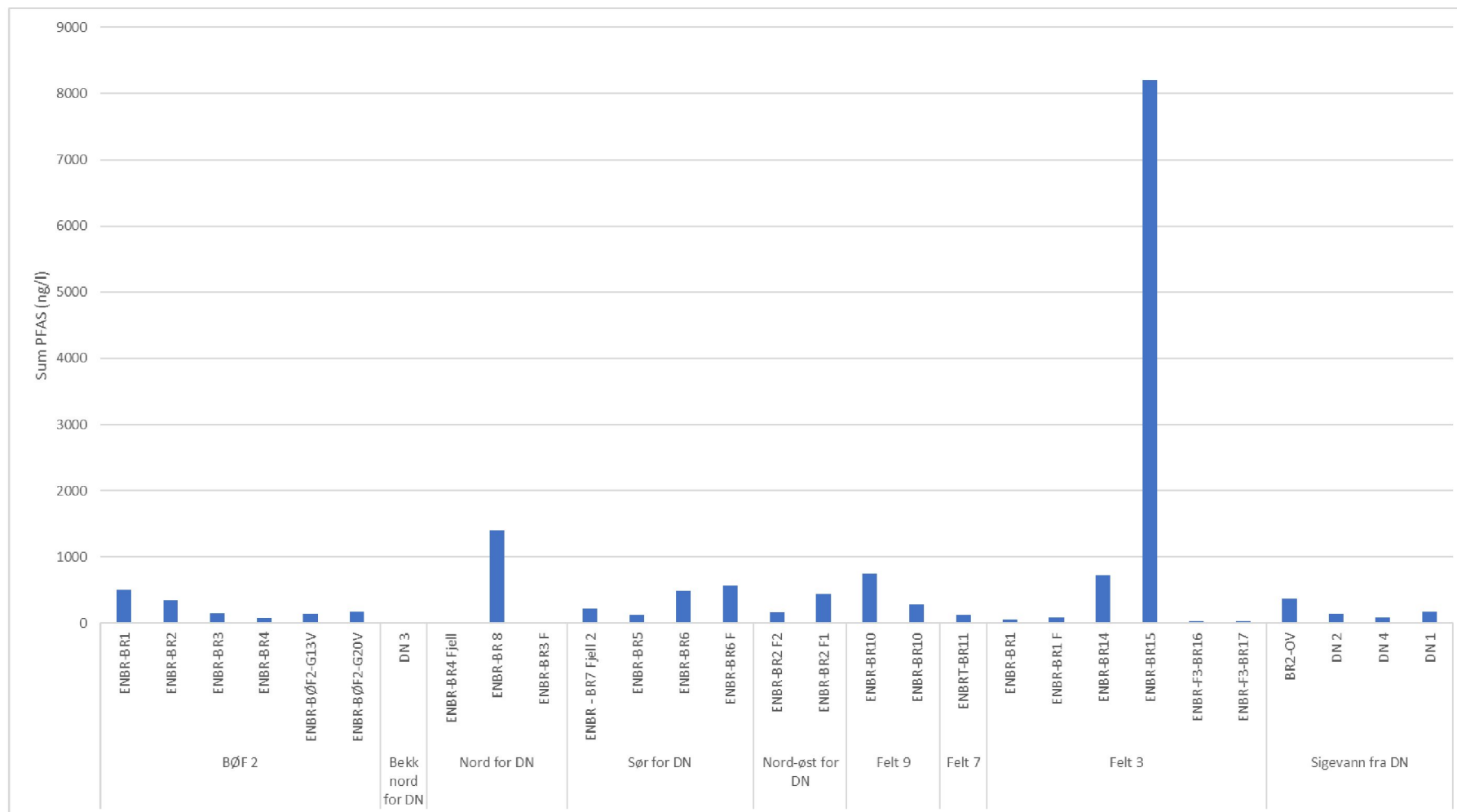
Sammensetningene indikerer at sigevannspunktene og brønnene sør og nord-øst for deponiet ligner mer på sammensetningen i deponibrønnene enn det brønnene og bekken nord for deponiet gjør. Dette kan videre indikere at disse punktene er mindre til lite påvirket av avrenning fra deponiet. Dette stemmer overens med de nye avrenningsvurderingene i kap. 4.2.2.

Konsentrasjonen av sum PFAS for samme punkter er gitt i Figur 19 og viser at konsentrasjonene er svært varierte. De høyeste konsentrasjonene er påvist i brønn 15 på felt 3, etterfulgt av brønn 8 som, basert på avrenningsvurderinger, ikke skal være påvirket av sigevann fra deponiet. Dette indikerer at det muligens er en hotspot i felt 3. Sammensetningen i brønn 8 indikerer videre at denne ikke er påvirket av deponimassene, og den er svært lik ENBR-BR4 som sannsynligvis er påvirket av BØF2. Sammensetningen er også nokså lik DN 3 som igjen tyder på påvirkning fra BØF2, selv om konsentrasjonene i dette punktet er lave.



Figur 18

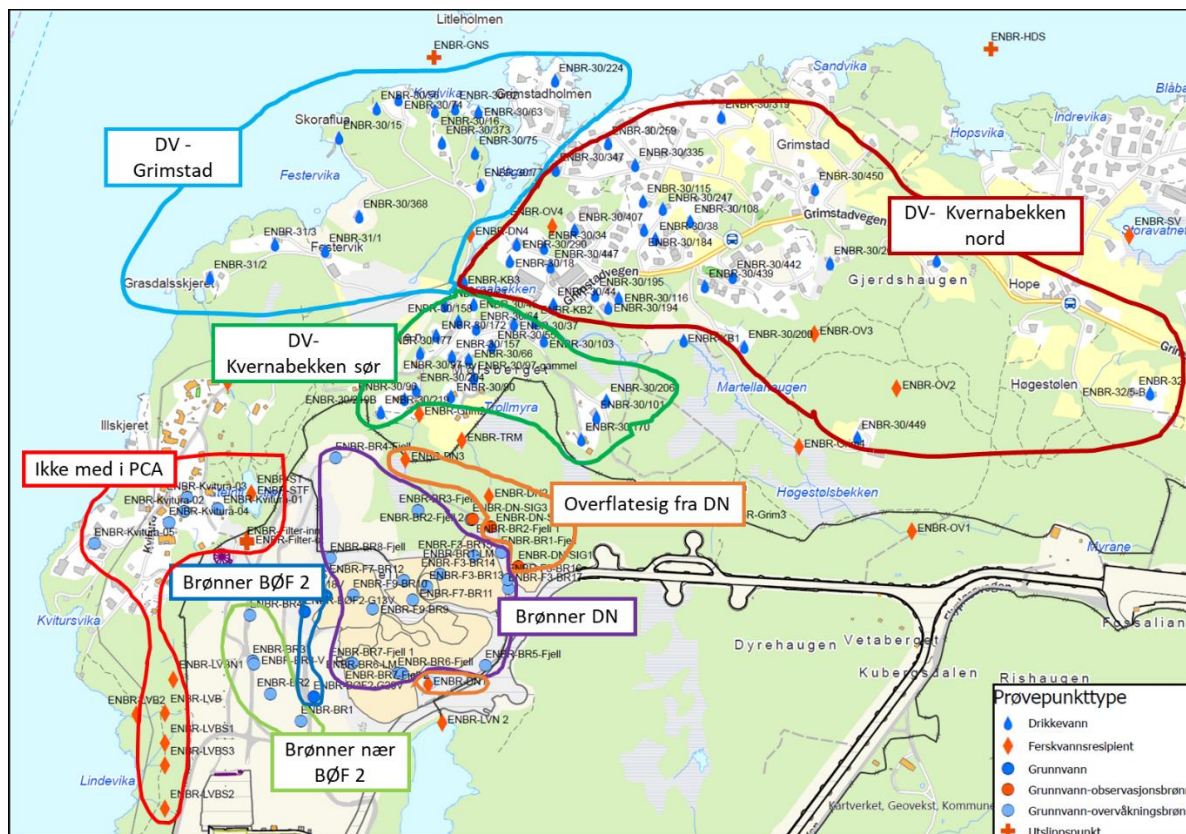
Gjennomsnittlig PFAS-sammensetning i prøver fra brønner bed BØF2, Deponi Nord, sigevann og overflatevann fra deponiet. Figuren er laget basert på resultater oversendt av Avinor. Det er kun parametere som er påvist over analysemetodens rapporteringsgrense i minst én av prøvene som er vist og halv LOQ er brukt for resterende.



Figur 19 Sum PFAS (ng/l) i prøvepunktene fra Figur 18.

4.5 Kjemisk fingeravtrykkanalyse av PFAS i vannprøver

For å få en tydeligere oversikt over sammensetning av PFAS i vannprøver tatt i ulike brønner nær brannøvingsfeltet (BØF 2), Deponi Nord og i områdene rundt (Figur 20) er det utført en principal komponent analyse (PCA) ved bruk av statistikkprogrammet JMP versjon 17.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989–2023). Analysen ble utført for å kunne vurdere om det er spredning av PFAS fra deponiområdet til omkringliggende områder.



Figur 20

Kartet viser gruppering av prøvestasjonen ved Flesland som benyttes i principalkomponentanalysen (PCA). Tre prøver fra Kvernabekken og ferskvannsprøver på sørsiden av Kvernabekken er ikke definert med polygoner. Prøvene som ikke er inkludert i PCA (rødt polygon) er boligene ved Kvittura som er tilkoblet kommunal vannledning, og prøver sørvest for Deponi Nord som sannsynligvis ikke er påvirket av avrenning fra deponiet.

Tabell 7 Gruppering av prøver til PCA-analyse.

Gruppering	Beskrivelse
DV-Grimstadholmen	Drikkevannsprøver ved Grimstadholmen
DV-Kvernabekken sør	Drikkevannsprøver sør for Kvernabekken
DV - Kvernabekken nord	Drikkevannsprøver nord for Kvernabekken
Overflatesig fra DN	Mulig overflatesig fra Deponi Nord
Brønner DN (DN Q1 og DN Q3)	Brønnprøver fra Deponi Nord. DN Q1 er prøvene tatt av norconsult og DN Q3 er prøver tatt av Avinor i høst
Brønner nær BØF 2	Brønner vest og nedstrøms for BØF 2
BØF 2	Brønner på BØF 2. På østsiden
FV - Kvernabekken sør	Ferskvannsprøver tatt sør for Kvernabekken
Kvernabekken	Tre prøver tatt i Kvernabekken
OV - nord for DN	Overvannsprøver nord for deponiet

Datasettet er basert på vannprøver fra 2020, 2021 og 2023, analysert for et varierende antall PFAS-forbindelser. Prøver fra spesifikke områder ble gruppert (Tabell 7). For å få et godt sammenligningsgrunnlag ble dataene filtrert, i den betydning at kun prøver som var analysert for de samme PFAS-forbindelsene ble benyttet i PCA. For å få flest mulige prøver med i analysen ble derfor en del PFAS-forbindelser valgt vekk. Datasettet som ble benyttet i PCA besto av 139 prøver hvor PFBA, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFOA, PFOS og PFPeA var påvist i alle prøvene. Analysene er utført på relativ fordeling av de ulike PFAS-forbindelsene for å eliminere betydningen av konsentrasjonsforskjeller.

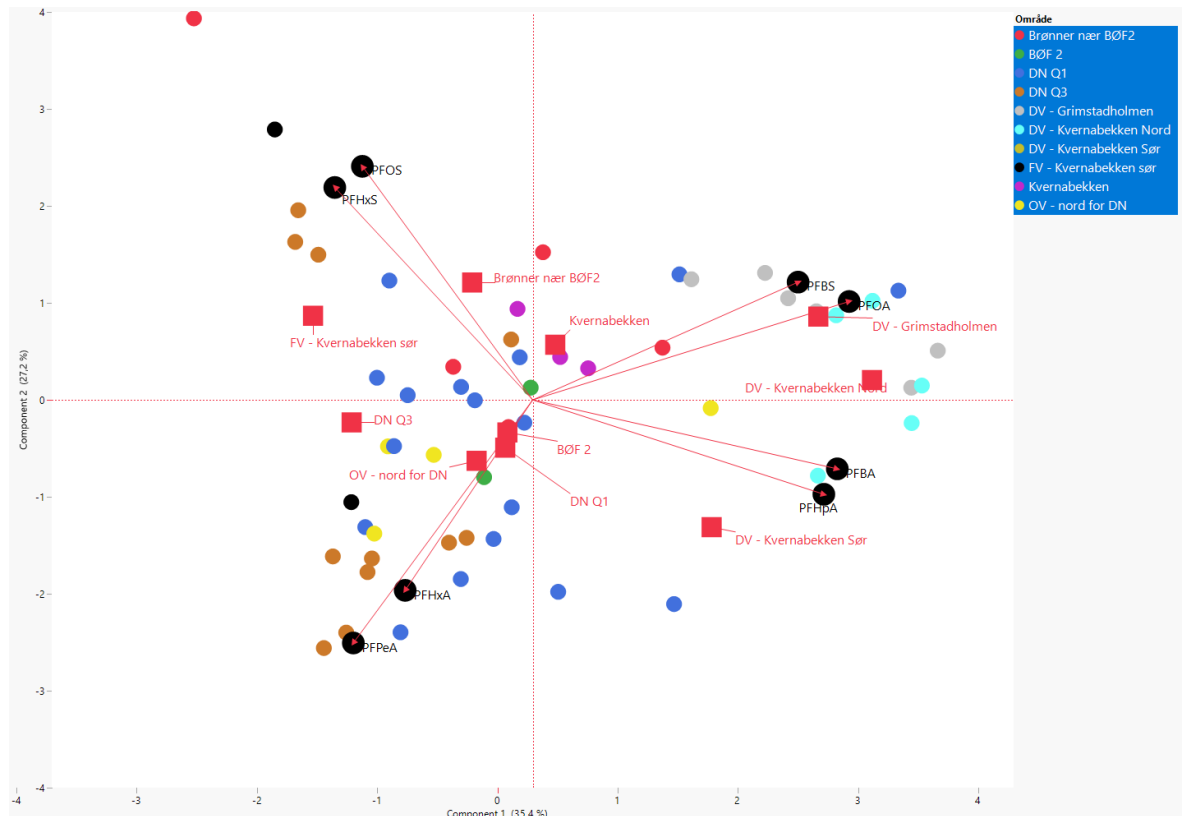
I PCA er dataene projisert fra det originale multidimensjonale rom til en todimensjonal fordeling (biplot i Figur 21). I en PCA er de originale dataene transformert ved en lineær kombinasjon av de originale variablene til et nytt sett av dimensjoner eller principalkomponenter (Component 1 og 2 i Figur 21). Denne transformasjonen er definert på en slik måte at den første komponenten har den største mulige variansen, og hver påfølgende komponent har etter tur den høyeste mulig variansen under begrensningen av at den ikke korrelerer med den foregående komponenten. På denne måten uttrykker et fåtall komponenter det meste av variansen og den interne strukturen i datasettet.

Figur 21 viser den romlige fordelingen av PFAS i vannprøver fra Fleslandområdet. Den første og andre komponenten i plottet uttrykker henholdsvis 35,4 og 27,2 % av den totale variansen i datasettet, samlet 62,6 %.

De fleste prøvene fra området rundt BØF 2, Deponi Nord, overvann nord for deponiet og ferskvannsprøver sør for Kvernabekken grupperer sammen i 1. og 4. kvadrant. Prøvene karakteriseres av PFOS, PFHxS, PFHxA og PFPeA, hvor prøver fra ferskvann sør for Kvernabekken og brønner nær BØF2 har en relativt høyere andel PFOS og PFHxS enn prøver fra de øvrige områdene.

Drikkevannsprøvene fra Grimstadholmen og nord for Kvernabekken skiller seg fra gruppen nevnt over, og er karakterisert av PFBS og PFOA. Drikkevannsprøver sør for Kvernabekken er representert med kun 1 prøve, som er dominert av PFBA og PFHpA. Vannprøver fra selve Kvernabekken ligger imellom disse to gruppene.

Ettersom drikkevannsprøvene skiller seg fra de andre områdene i PCA-analysen er det ingen tydelige tegn på at drikkevannet som er prøvetatt er utsatt for en dominert spredning av hverken Deponi Nord eller BØF 2.



Figur 21 Principalkomponentanalyse (PCA) biplott.

4.6 Gassmålinger

I deponier hvor det er deponert biologisk nedbrytbart avfall (husholdningsavfall eller annet biologisk nedbrytbart avfall som kan gjennomgå anaerob eller aerob nedbrytning, som mat- og hageavfall, papir, kartong, trevirke, gips og naturstoffer (ull og bomull)), vil det være fare for at det dannes deponigass på deponiet. De viktigste komponentene i deponigass er metan (CH_4), karbondioksid (CO_2), oksygen (O_2) og hydrogensulfid (H_2S). På Deponi Nord er det lagt torvmasser i felt 3, sedimenter i felt 7 og blandede fyllmasser i felt 9. Det er ikke umiddelbar mistanke om gassemisjon på deponioverflaten, men det er gjennomført innledende feltarbeid med gassmålinger for å få oversikt på eventuell gassemisjon.

4.6.1 Metode

Måleprinsipp og instrumenter

Metan (CH_4), karbondioksid (CO_2) og hydrogensulfid (H_2S) måles. For å beregne oksidasjonseffekten, dvs. mengde metan som oksiderer på overflaten, måles metan og CO_2 samtidig i samme punkt og forholdet mellom dem beregnes. Forholdet er vanligvis 3:2, som tilsvarer 60% metan og 40% CO_2 . Bakgrunnskonsentrasjon av CO_2 måles jevnlig, og CO_2 -verdier gjengis som verdi over bakgrunnsverdi. H_2S registreres omtrent hvert tiende målepunkt.

For måling av CO_2 benyttes en Kimo H1 210 klimalogger med et måleintervall på 0-5000 ppm, og en måleoppløsning på 1 ppm. For måling av metan (CH_4) og hydrogensulfid (H_2S) benyttes et GMI GT-43-instrument (Figur 22). Denne har svært høy sensitivitet, og måler metankonsentrasjoner mellom 0-10 000 ppm og H_2S i intervallet 0-100 ppm, med en måleoppløsning på 1 ppm.



Figur 22 Foto av måleinstrumenter og fluksboks ved måling i felt.

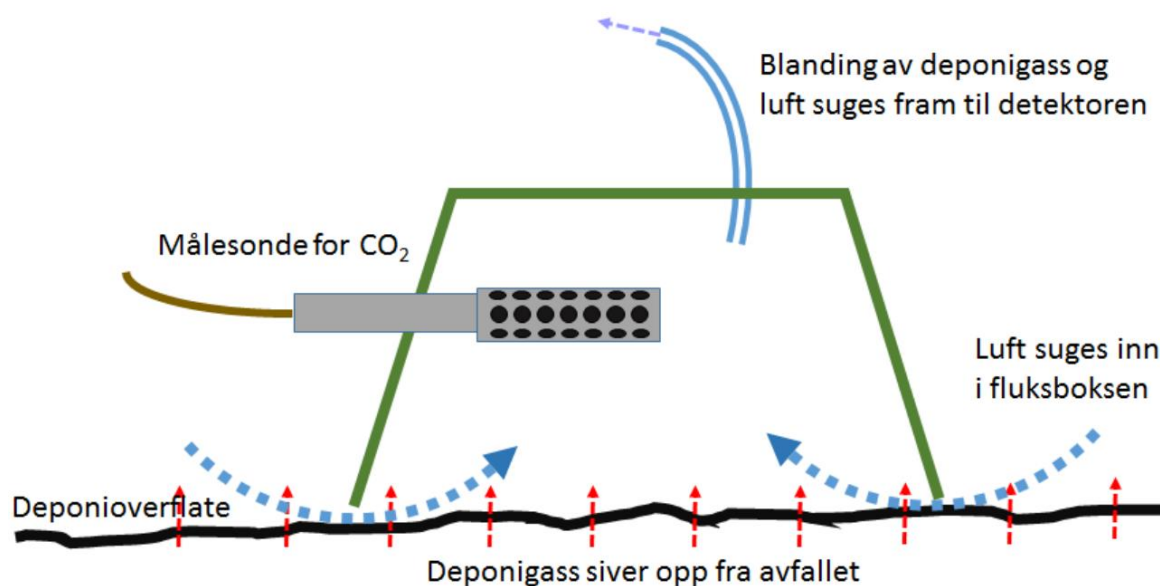
Emisjonsmålinger

Emisjon av metan og CO_2 måles samtidig ved hjelp av en fluksboks (Figur 22 og Figur 23). Boksen plasseres på bakken, slik at gass siver inn i boksen. Etter et par minutter har

instrumentene stabilisert seg, og man kan lese av konsentrasjonen av både metan og CO₂. Mengde gass som siver ut av deponiet beregnes med følgende formel:

$$\frac{Luftstrøm_{instrument}}{Areal_{fluksboks}} = \frac{21,5 \text{ l/time}}{0,031 \text{ m}^2} = 694 \frac{\text{l}}{\text{time}/\text{m}^2}$$

1 ppm metan eller karbondioksid i gassen tilsvarer dermed $0,000694 \frac{\text{l}}{\text{time}/\text{m}^2}$ fyllingsoverflate.



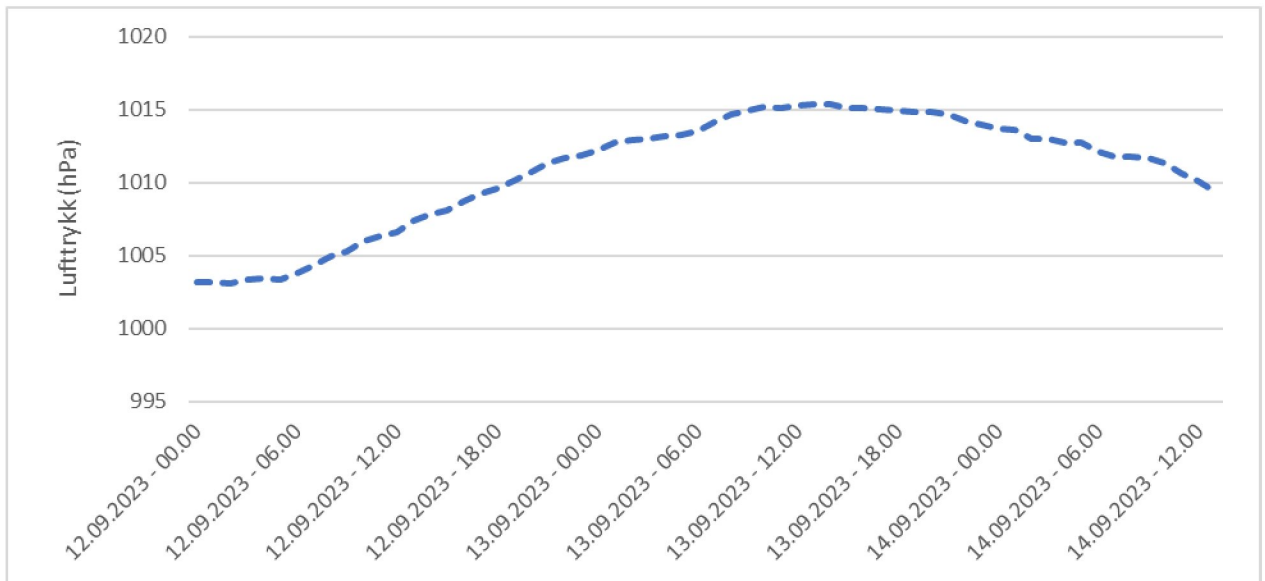
Figur 23 Prinsipp for emisjonsmåling med fluksboks.

ArcGIS Field maps brukes til GPS-registreringer av målepunkt i felt, med forhåndsinnlagt kart og rutenett (28x28 m) for relativt presis navigasjon i felt. Plassering av hvert målepunkt tilpasses noe i felt pga. terrengforhold eller utilgjengelighet. Gassmålinger noteres fortløpende i appen, og bearbeides i etterkant.

Værforhold og lufttrykk

Gassemisjonen fra deponioverflaten vil være avhengig av endringer i lufttrykket. Emisjonen er størst ved fallende trykk, og lavest ved stigende trykk. Ved stabilt trykk kan man måle gjennomsnittlig diffust utslipp av gass. Trykket er ansett som stabilt når variasjonen er på maksimalt ±6 nbar de siste 6 timene før måling, og under selve målingen. Nedbør kan påvirke målingene ved at porene i overflaten blir fylt med vann. Det bør derfor ikke være nedbør under eller like før målingene.

Målingene ble utført den 13. september 2023 av Ingeborg Solvang fra COWI. Det var ingen nedbør i perioden før eller under måling, og trykket var stabilt (Figur 24). Trykkforhold ble overvåket på Xgeo, hvor trykkforhold logges hver time ved Flesland målestasjon. Det var sol, stort sett lite vind, og temperaturen varierte mellom 11 og 14 °C. Bakken var litt fuktig av morgentåke, og det var mye vegetasjon i området.



Figur 24 Trykkforhold ved Flesland målestasjon i tiden før og under emisjonsmåling.

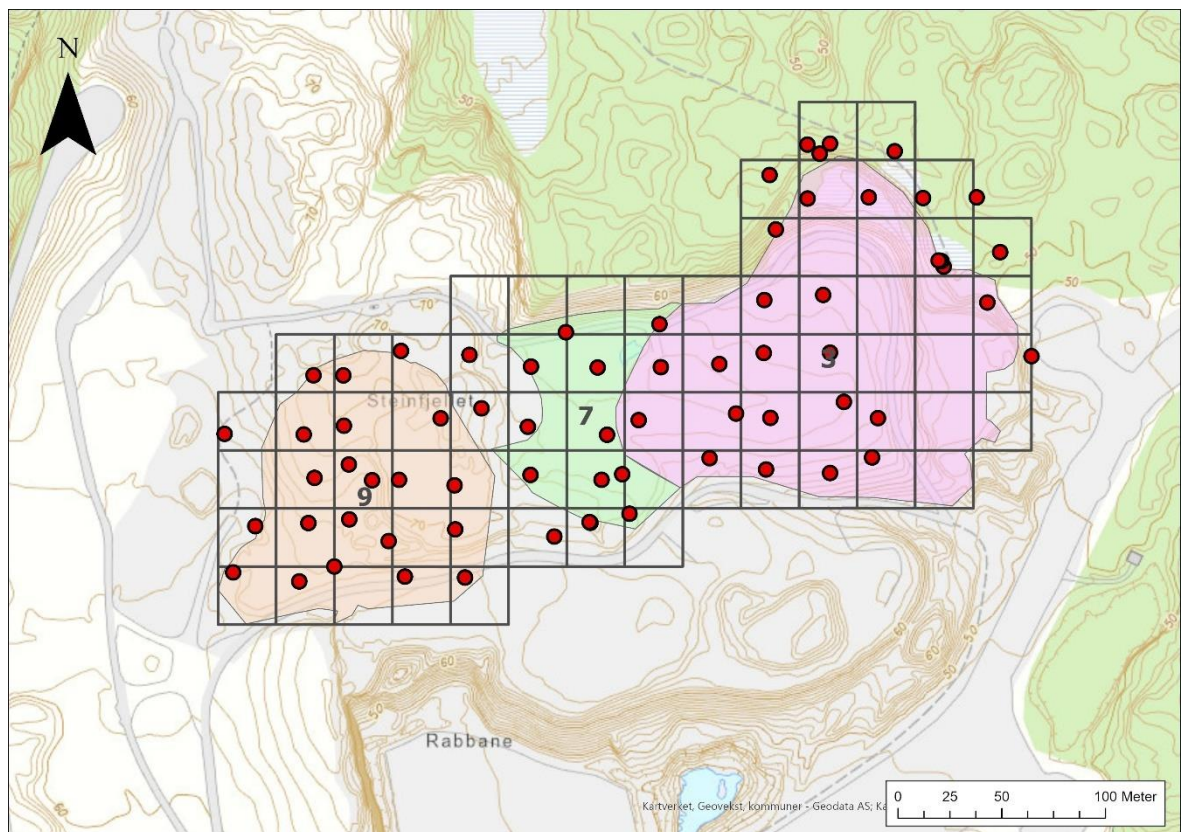
4.6.2 Resultater

I det følgende presenteres resultatene fra fluksmålingene. Målepunkter for gassemissjon er vist i Figur 25 og data for hvert av punktene er vist i kart i Figur 26 og Figur 27.

Tabell 8 viser en oppsummering av målte verdier for deponiet.

Tabell 8 Beregning av emisjon fra hele deponiet

Parameter	CH ₄	CO ₂	CH ₄ + CO ₂	CH ₄ /CO ₂
Gjennomsnittlige konsentrasjoner (ppm) og forhold	4,85	36,45	41,31	0,133
Maksimum konsentrasjon (ppm)	20	447	467	0,045
Middels emisjon pr. m ² deponioverflate (l/t)	0,003	0,03	0,03	
Emisjon i m ³ /time fra hele deponioverflaten	0,13	0,97	1,10	

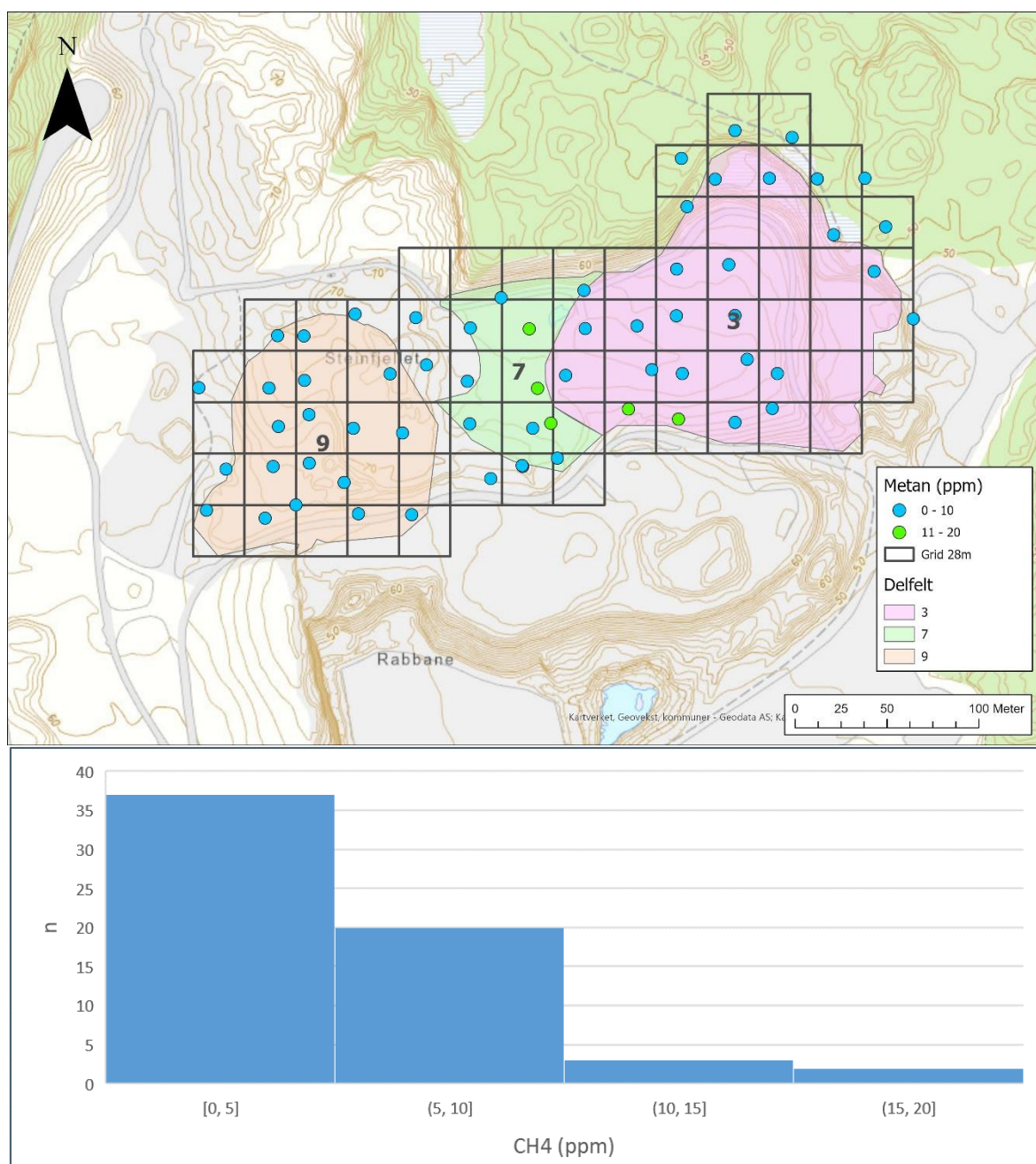


Figur 25 Målepunkter for gasemisjon på og ved deponiet.

CH₄-fluksmålinger

Gjennomsnittlige metan-konsentrasjoner (CH₄) i emisjonsmålingene er på 20 ppm, mens maksimumsverdi er 480 ppm. Et histogram og en kartfremstilling over målte verdier er gitt i Figur 26, og viser at overvekten av målingene (37 av 62) ligger under 5 ppm, og den høyeste påviste konsentrasjonen er 20 ppm. Dette tilsvarer en middelverdi for emisjon av CH₄ fra hele deponiarealet på 0,13 m³/time (Tabell 8).

Målingene er svært lave, og alle emisjonsmålinger av CH₄ ligger langt under grensen på 0,5 prosent (5 000 ppm) metan, som definerer "område uten særlig risiko" jfr. risikoklassifiseringssystemet til DMR som går på utfordringer med bygging på nedlagte deponier (DMR, 2019).

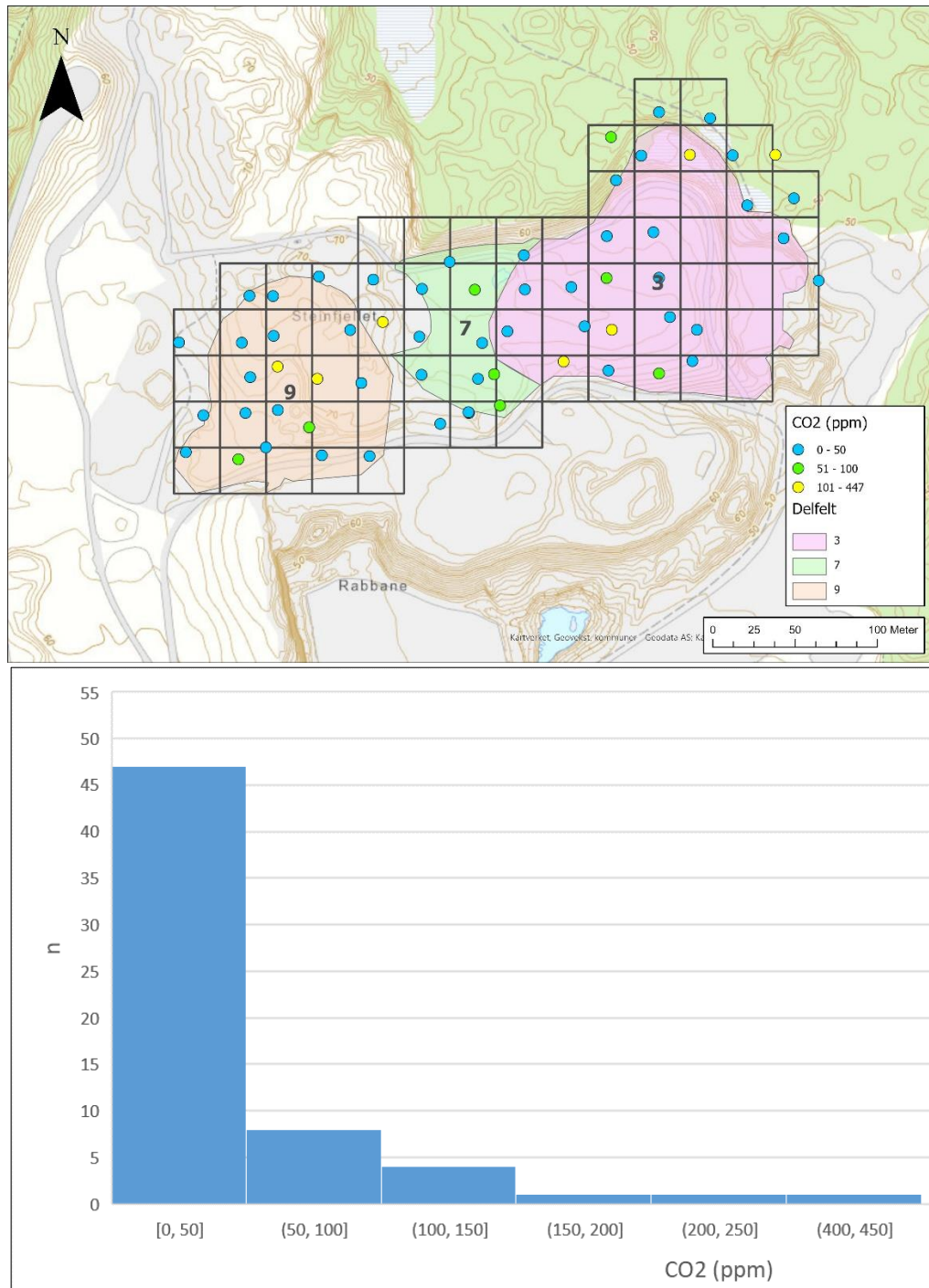


Figur 26 Kart og histogram av metan (CH₄)-emisjonsmålinger fra hele deponiet. Histogrammet viser antall (n) målinger i ulike klasser av emisjon CH₄ (ppm). Totalt er det gjort 62 emisjonsmålinger med fluksboks på deponioverflaten og i randsonen.

CO₂-fluksmålinger

Bakgrunnskonsentrasjonen av CO₂ i luft ved bakkenivå ble målt ved oppstart og flere ganger i løpet av feltundersøkelsen. Totalt ble det målt CO₂ ved 68 punkter og bakgrunnsmålinger ved 7 av disse. Det er vanlig at det er lokale variasjoner i CO₂-konsentrasjon, og for punkter den korrigerte CO₂-konsentrasjonen blir negativ er denne satt til null. Gjennomsnittsverdi for bakgrunnsnivået for CO₂ lå i løpet av måleperioden på 353 ppm.

Gjennomsnittlig emisjon av CO₂ for deponiet er 36,45 ppm, mens maksimumsverdi ble målt til 447 ppm. Dette tilsvarer en middelværdi for emisjon av CO₂ fra hele deponiarealet på 0,97 m³/time (Tabell 8). Figur 27 viser histogram og en kartfremstilling av målte emisjonsverdier av CO₂ i hele deponiområdet etter justering for bakgrunnskonsentrasjon. 12 målinger har emisjonsverdi 0, som vil si at emisjonsverdien ikke overstiger bakgrunnskonsentrasjonen i luften. Kun en måling overstiger 300 ppm.



Figur 27 Kart og histogram av CO₂-emisjonsmålinger fra hele deponiet. Histogrammet viser antall (n) målinger i ulike klasser av emisjon CO₂ (ppm). Totalt er det gjort 68 emisjonsmålinger med fluksboks på deponioverflaten og i randsonen.

Forholdet CH₄/CO₂ i fluksmålinger

Deponigass inneholder normalt ca. 60% CH₄ og 40% CO₂ når den produseres ved anaerob nedbrytning. Ren deponigass har derfor et forholdstall på 3:2 eller 1,5 mellom CH₄ og CO₂. Et lavere forholdstall vil tyde på at det foregår oksidasjon i overflaten ($\text{CH}_4 + 2 \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$) eller at det trenger ned luft som gir aerob oksidasjon av det organiske avfallet (forenklet reaksjon: $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$). Et høyere tall tyder på at det forholdsmessig er mer CH₄ enn CO₂ til stede, og det kan videre tyde på at det er forbindelser i overflaten som binder CO₂. Dersom det er svært liten gassproduksjon og høy vannstand i deponiet, kan også mye av CO₂-mengden løses i vann, mens metan er langt mindre løselig og unnslipper som gass.

Gjennomsnittlig CH₄/CO₂ for deponiet som helhet er beregnet til 0,133 (Tabell 8), som er godt under 1,5. Det er to enkeltpunkter har et forhold på over 1,5 det er målt CH₄/CO₂, punkt 66 og 22, men disse områdene har svært lave emisjonsmålinger av både CH₄ og CO₂.

H₂S-fluksmålinger

Hydrogensulfid (H₂S) ble målt ved hvert 10. punkt. Det var ingen utslag ved noen av målingene. H₂S har en luktdeteksjongrense på 0,2-200 µg/m³ avhengig av gassens renhet, og danner ubehagelig lukt i konsentrasjoner langt under de som forårsaker helseskadelige effekter (FHI, 2018). Anvendt måleinstrument måler ikke så lave konsentrasjoner. Det er derfor ingen grunn til å anta at det er konsentrasjoner av H₂S som kan gi helseskadelige effekter ved Deponi Nord.

4.6.3 Vurdering av gassmålinger

Gjennomsnittsverdien av emisjonsmålingene på Deponi Nord tilsvarer en emisjon på 0,13 for metan og 0,97 for CO₂, totalt ca. 1,1 m³/time (Tabell 8).

Forholdet CH₄/CO₂ ligger i gjennomsnitt under 60/40 (1,5), og indikerer anaerob nedbrytning, og eller aerob nedbrytning ved innblanding av luft i deponiet. Forholdstall over 1,5 overstiges kun i to punkter med tilnærmet ingen emisjon.

Det er ikke målt hydrogensulfid i noen av punktene.

Fluksmålingene på Deponi Nord viser lav emisjon på hele deponioverflaten, og tilsier ikke at det er behov for å gjøre tiltak mot gass eller at gassemisjon utgjør et problem på deponiet.

4.7 Risikovurdering human helse

I det etterfølgende er det gjort en overordnet risikovurdering ved bruk av Miljødirektoratets beregningsverktøy (NGI, 2021) for å vurdere risiko for menneskers helse knyttet til bruken av området mht. PFAS-eksponering. Det er imidlertid høy grad av heterogenitet i de lagrede massene i felt 3, 7 og 9, både vertikalt og horisontalt, og løsmassene forventes å ha stor variasjon av infiltrasjonskapasitet, permeabilitet og organisk innhold (Norconsult, 2023b). Lokaliteten er derfor i liten grad egnet for teoretiske beregninger av spredning og risiko for menneskers helse ved bruk av eksempelvis Miljødirektoratets beregningsverktøy. Helserisiko knyttet til f.eks. opphold, bading/fritidsfiske i nærområdet bør av den grunn heller vurderes basert på reelle målinger i aktuelle medier enn basert på modellresultater fra teoretiske beregninger. Modellverktøyet er imidlertid benyttet for å gjøre en overordnet vurdering av helserisiko knyttet til PFAS-eksponering som følge av opphold på deponiområdet slik det benyttes i dag.

4.7.1 Eksponeringsveier

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

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

4.7.2 Opphold på lokaliteten

Deponi Nord ligger innenfor sikringsgjerdet ved lufthavnen og i et område som blir lite brukt. Oppholdstiden på lokaliteten er derfor svært begrenset, og ikke tilgjengelig for allmenn ferdsel. Dvs. at barn ikke har tilgang til området. Utover ukentlig passering av området i forbindelse med kontroll av gjerdetraseen foregår det ikke noe spesiell aktivitet i området. I tillegg utføres det årlig to runder med prøvetaking av grunnvannsbrønner på lokaliteten i henhold til lufthavnens overvåkingsprogram.

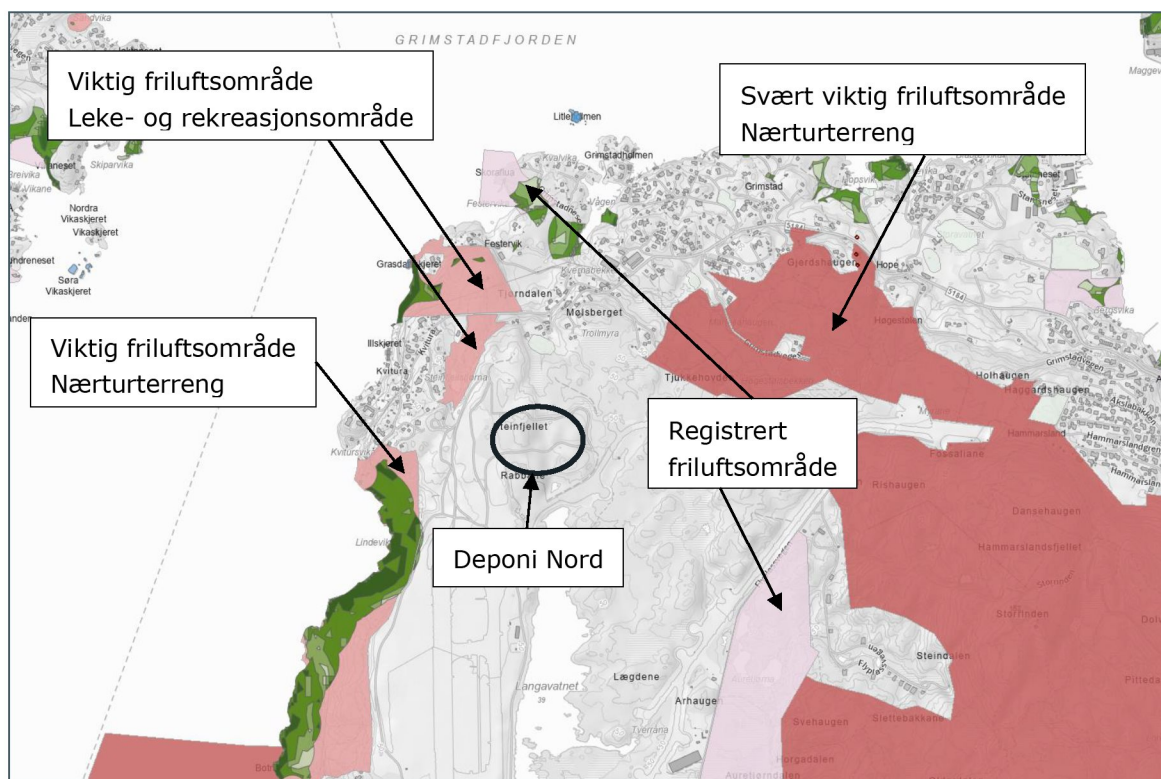
4.7.3 Drikkevann

Det er i beregningsverktøyet forutsatt at grunnvann fra kildeområdet ikke benyttes til drikkevann. Som beskrevet i kap. 4.9.2 foregår det arbeid med tilknytning av eiendommer nord for lufthavnen til kommunal vannforsyning, som er under utbygging.

4.7.4 Badeplasser og fritidsfiske

Det er registrert viktige/svært viktige friluftsområder i området rundt Bergen lufthavn (Figur 28). I tillegg er det tilgjengelige strandsoner i tilknytning til sjøresipienten Grimstadfjorden (Figur 28). Det foregår ikke fritidsfiske i ferskvannsresipienten Langavatnet, ettersom denne er lokalisert innenfor sikringsgjerdet ved lufthavnen. Det pågår imidlertid fritidsfiske i

sekundærresipientene Grimstadjorden og Raunefjorden, men dette er ikke aktuelt for vurdering av helserisiko knyttet til opphold på selve deponiområdet.



Figur 28 Kartlagte friluftsområder (rosa/røde omriss) og strandsoner (grønne omriss) (kilde: Naturbase kart, naturbase.no).

4.7.5 Dyrking/konsum av grønnsaker/gress

Det er ikke dyrking av grønnsaker på selve deponiområdet, men arealbruken rundt den nordlige delen av lufthavnen består av boligbebyggelse og skogsområder/nærturterreng. Det er ikke foretatt prøvetaking av bær og lignende på deponiområdet eller i umiddelbar nærhet.

4.7.6 Input verdier

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

I stedet for å legge inn enkeltverdier i beregningsverktøyet, er det tatt utgangspunkt i gjennomsnittskonsentrasjonen for sum PFAS innenfor hvert av delfeltene på deponiområdet, dvs. hhv. 9, 17 og 6 µg/kg inkl. ½ LOQ for delfelt 3, 7 og 9 (Norconsult, 2023b). Disse verdiene er oppgitt i sluttrapporten utarbeidet av Norconsult, og også benyttet for mengdeberegninger for PFAS (Norconsult, 2023b). I forbindelse med de overordnede risikovurderingene for de ulike delfeltene er det i all hovedsak benyttet sjablongverdier, bortsett fra at det er lagt inn stedsspesifikke verdier for gjennomsnittlig PFAS konsentrasjon i jord, jordens tetthet, TOC,

gjennomsnittlig årlig nedbørmengde, samt eksponeringsveier ved aktuell arealbruk (se etterfølgende tabeller).

Tabell 9 Input verdier benyttet i Miljødirektoratets beregningsverktøy for risikovurdering av helse.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Transport og spredningsprosesser			
Jordspesifikke data			
Vanninnhold i jord (l vann/l jord)	0,2	0,2	-
Luftinnhold i jord (l luft/l jord)	0,2	0,2	-
Jordas tetthet (kg/dm ³)	1,7	Felt 3, 7 og 9: 1,5, 1,0 og 1,3	Grovt anslått basert på borelogger (Norconsult, 2023b)
Fraksjon organisk karbon i jord (%)	1	Felt 3, 7 og 9: 9, 23 og 5	Gjennomsnitt fra analyseresultater
Effektiv porøsitet, ϵ (%)	40	40	-
Data brukt til beregning av konsentrasjon i grunnvann			
Jordas hydrauliske konduktivitet (m/s)	0,0001	0,0001	-
Avstand til brønn (m)	0	0	-
Lengden av det forurensende området i grunnvannsstrømmens retning (m)	50	50	-
Fraksjon som infiltrerer	0,5	0,5	-
Gjennomsnittlig årlig nedbørmengde (mm/år)	1500	1970	Gjennomsnitt ved Flesland målestasjon for de 5 siste år (seklima.met.no).
Infiltrasjonsmengde (meter vann/år)	0,750	0,985	Beregnet ($P \times FI/1000$).
Hydraulisk gradient (m/m)	0,03	0,03	-
Tykkelsen av akviferen (m)	5	5	-
Tykkelsen av blandingssonen i akviferen (m)	5	5	-
Data brukt til beregning av konsentrasjon i overflatevann			
Vannføring i overflatevann (m ³ /år)	5000000	5000000	-
Bredden av det forurensede området vinkelrett på retningen av grunnvannsstrømmen (m)	50	50	-
Beregnet hastighet på grunnvannstrøm (m ³ /år)	23652	23652	Beregnet ($k \cdot i \cdot dmix \cdot LSW$).

Tabell 10 Eksponeringsveier og eksponeringstid for ulike arealbruk.

Eksponeringsveier og eksponeringstid for ulike typer arealbruk			
Parameter	Standardverdi	Aktuell arealbruk	Begrunnelse
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (barn)	365 d/år 8 t/dag	0	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten
Eksponeringstid for oralt inntak av jord (voksne)	365 d/år 8 t/dag	54 d/år 1 t/dag	Ukentlig gjerdeinspeksjon og prøvetaking av grunnvann 2 ganger årlig. Konservativt anslag på 1 t/dag i gjennomsnitt.
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (barn)	80 d/år 8 t/dag	0	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten
Eksponeringstid for hudkontakt med jord (voksne)	45 d/år 8 t/dag	54 d/år 0,034 t/dag	Ukentlig gjerdeinspeksjon og prøvetaking av grunnvann 2 ganger årlig. Konservativt anslag på 1 t/dag i gjennomsnitt.

Oppholdstid utendørs (barn)	365 d/år 24 t/dag	0	Ingen barn oppholder seg på lokaliteten
Oppholdstid utendørs (voksne)	365 d/år 24 t/dag	54 d/år 0,034 t/dag	Ukentlig gjerdeinspeksjon og prøvetaking av grunnvann 2 ganger årlig. Konservativt anslag på 1 t/dag i gjennomsnitt.
Oppholdstid innendørs (barn)	365 d/år 24 t/dag	0	Ingen bygninger på Deponi Nord.
Oppholdstid innendørs (voksne)	365 d/år 24 t/dag	0	
Fraksjon av grunnvann fra lokaliteten brukt som drikkevann	100 %	0 %	Ingen drikkevannsbrønner i deponiområdet.
Fraksjon av inntak av grønnsaker dyrket på lokaliteten	30 %	0 %	Ingen dyrkning på deponiområdet.
Fraksjon av inntak av fisk fra nærliggende resipient	100 %	0 %	Ingen inntak av fisk fra nærmeste resipient Langavatnet. Det kan være inntak av fisk fra sjøresipient Grimstadfjorden, men ikke aktuelt for vurdering av helserisiko knyttet til opphold på selve deponiområdet.

4.7.7 Vurdering av risiko basert på dagens arealbruk

Basert på målte konsentrasjoner i jord (gjennomsnittskonsentrasjoner fra (Norconsult, 2023b)) og input parametere for dagens situasjon uten tiltak, er det vha. modellverktøyet beregnet at opp mot 100 % av eksponeringen for voksne skyldes oralt jordinntak. Beregnet eksponering som følge av opphold på lokaliteten er beregnet til å være hhv. 0,00012, 0,00023 og 0,000080 ng/kg kroppsvekt/dag for voksne basert på gjennomsnittlig PFAS-konsentrasjon for delfelt 3, 7 og 9 (ikke aktuelt for barn, ettersom det ikke er opphold av barn på lokaliteten). Det vil si at det er ansett som akseptabel helserisiko knyttet til opphold på Deponi Nord for voksne basert på dagens arealbruk, om en sammenlikner med MTDI på 0,63 ng/kg kroppsvekt/dag.

4.8 Økologisk risiko

4.8.1 Ferskvannøkosystem

Langavatn er primærresipient for omtrent halvparten av avrenningen og spredning av PFAS fra Deponi Nord, i tillegg til å være resipient for avrenning fra områdene med tidligere brannøvingsfelt BØF1 og BØF2. Vannet er klassifisert som en sterkt modifisert vannforekomst, og har miljømål om *godt økologisk potensial* og *god kjemisk tilstand*. Pr. i dag har Langavatn dårlig kjemisk tilstand.

Det er påvist høye konsentrasjoner av PFAS i vann (100-200 ng/l) og svært høye konsentrasjoner i biota. Miljøkvalitetsstandard EQS_{biota} og QS_{sec pois} overskrides (grenseverdi for beskyttelse av predatorer mot sekundær forgiftning) (Norconsult, 2021). Prøvetaking fra 2012 til 2021 viser ingen tegn til reduserte konsentrasjonsnivåer i muskelvev på fisk. Ørret og ål i Fleslandelven (utløpselv fra Langavatn til Raunefjorden) viser også høye konsentrasjoner. Norconsult skrev i tiltaksplanen for brannøvingsfeltene at PFAS-mengdene i jord og høy spredningsmengde tilsier en betydelig påvirkning på Langavatnet og tilhørende økosystem som følge av spredningen (Norconsult, 2021). Deponi Nord er sannsynligvis også en kilde til noe spredning av PFAS, men i mye mindre grad enn de andre omkringliggende kildene.

Kvernabekken er sannsynligvis resipient for grunnvannsstrømning fra Deponi Nord på nordsiden og går videre ut i Grimstadjorden. Elven har mål om god økologisk og kjemisk tilstand innen 2027, men tiltak er nødvendig for å nå god miljøtilstand (vann-nett.no). Økologisk tilstand er satt til moderat med høy presisjon, og kjemisk tilstand er satt til god med middels presisjon. Sum PFAS fra tre punkter i bekken viser konsentrasjoner på 6,5-7,8 ng/l som er relativt lavt.

4.8.2 Marint økosystem

Den marine resipienten Raunefjorden som tilgrenser Grimstadjorden mottar avrenning fra store deler av lufthavnen. En av primæresipientene for spredning av PFAS fra brannøvingsfelt og Deponi Nord, Langvatn, har utløp i Raunefjorden via Fleslandselven. Lindavikbekken, som mottar avrenning fra et større område nord for rullebanen, inkludert BØF2, har avrenning til Lindevika og Raunefjorden (Norconsult, 2021). Denne mottar sannsynligvis ikke avrenning fra Deponi Nord.

Resultater fra utførte undersøkelser viser generelt lave konsentrasjoner i biota, med unntak av forhøyede konsentrasjoner lokalt ved utløpene fra lufthavnen (Norconsult, 2021). Resultater av dyreplankton, muslinger, fisk, o.l. i Raunefjorden viser ikke tegn til betydelig akkumulering oppover i næringskilden (Sweco og Norconsult, 2016). Dette skyldes sannsynligvis fortynning og god vannutskiftning i fjorden, og tilsier en lav-moderat risiko for det marine økosystemet i Raunefjorden som følge av PFAS-spredning fra lufthavnsområdet (Norconsult, 2021).

Grimstadjorden ligger relativt åpent til og er kun svakt tersklet mot Vattlestraumen i vest. En sedimentprøve fra St. 7 i byfjordundersøkelsen, nærmest utløpet av Kvernabekken, viste sum PFAS på 9,53 µg/kg. PFOA var klassifisert i tilstandsklasse to, og PFOS i tilstandsklasse 3 (Rådgivende Biologer, 2022). Det er noe forhøyede konsentrasjoner av PAH-forbindelser og sum PCB 7. Stasjon 7 ligger ved utgangen av Grimstadjorden i den dypere delen (ytte del). Vannkvaliteten for 2021-2022 hadde generelt lave konsentrasjoner av næringssalt i sommer- og vintersesongen med tilstandsklasse en og to. Klorofyllkonsentrasjon var generelt i svært god tilstand. Oksygeninnholdet i bunnvannet var høyt og lå i beste tilstand ved målinger i desember 2021, april og desember 2022.

4.8.3 Terrestrisk økosystem

Det er ikke gjennomført undersøkelser av PFAS i terrestrisk biologisk materiale ved Deponi Nord eller andre deler av Bergen lufthavn med unntak av BØF 1. I et område nordøst for feltet ble det i 2021 tatt en blandprøve av markjordbær for analyse av PFAS. Det ble ikke påvist forbindelser over gjeldende kvantifiseringsgrenser (Norconsult, 2021). Det er derimot sannsynlig at det kan forekomme opptak av PFAS i jordlevende organismer og vegetasjon på bakgrunn av forurensningssituasjonen ved deler av lufthavnen, som ved brannøvingsfeltene.

4.9 Allerede iverksatte tiltak mot PFAS-spredning fra Bergen lufthavn

Avinor har gjennomført flere tiltak på og ved flyplassen for å redusere spredning av PFAS de siste årene.

4.9.1 Sanering av tidligere brannøvingsfelt

Avinor fikk i 2022 pålegg fra Miljødirektoratet om å gjennomføre tiltak for å rydde opp i PFAS-forurensset grunn på Bergen lufthavn (Miljødirektoratet, 2022a). Pålegget gjaldt tiltak ved begge de tidligere brannøvingsfeltene (BØF 1 og BØF 2), og skulle gjennomføres som beskrevet i utarbeidet tiltaksplan, inkludert endringer som fulgte av Miljødirektoratets krav. Fristen for gjennomføring av BØF 1 var 1. januar 2023 og for BØF 2 1. juli 2023. Akseptkriterium i gjennliggende jord var 150 µg PFAS/kg ved BØF 1, og 500 µg PFAS/kg i skogsområdet nord for brannøvingsfeltet. Akseptkriterium ved BØF 2 var 150 µg PFAS/kg. Se lokasjoner i Figur 29.



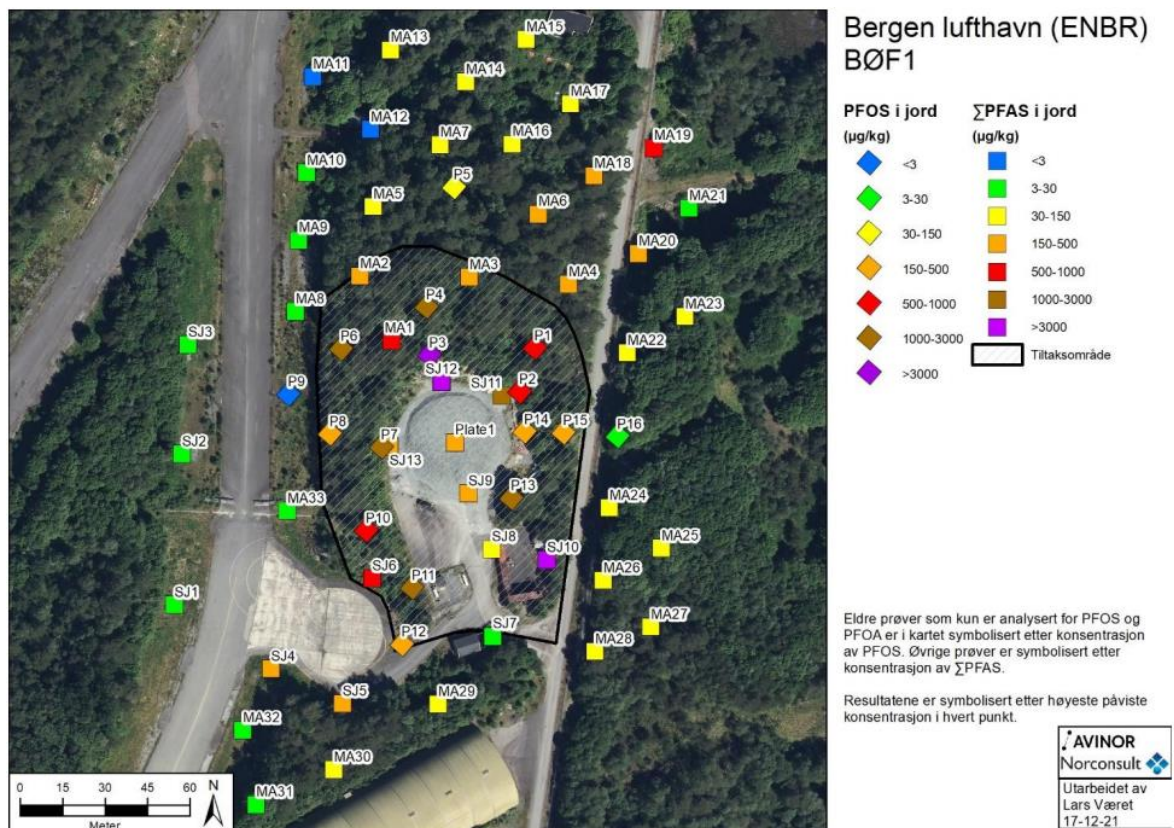
Figur 29 Lokasjon av de tidligere brannøvingsfeltene BØF1 og BØF2 på Flesland. BØF2 ligger rett ved Deponi Nord.

BØF 1

Tiltak ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1) ble gjennomført i perioden november 2022 til januar 2023, og sluttrapport for tiltaket ble ferdigstilt 2. juli 2023 (Norconsult, 2023a). Tiltaket ble gjennomført iht. tiltaksplan og krav i pålegget om gjennomføring av tiltak fra Miljødirektoratet. BØF 1 var oppdelt i fem delområder, hvor utgraving ble gjennomført i tre av disse (10 600 m²). Det ble levert totalt 16,1 kg PFAS som forurensede masser (eksl. betong), noe som er 1,4 kg mer enn beregnet i tiltaksplanen (14,7 kg). Dette ga en tiltakskostnad på 1,45 MNOK pr. kg PFAS fjernet. PFOS utgjorde gjennomsnittlig 60% av sum PFAS. Akseptkriteriet for gjenværende masser ble i pålegget satt til maksimalt 150 µg sum PFAS/kg

for sentrale deler av brannøvingsfeltet, og 500 µg/kg PFAS for skogsområdet nord for feltet. Som en del av tiltaket ble det gravd ut masser ned til underliggende berg innenfor hele det aktuelle tiltaksområdet, og det er derfor ikke tatt nye prøver for dokumentasjon av gjenliggende masser etter utgraving. Figur 30 viser tiltaksområde for gravetiltak ved BØF1 med konsentrasjoner av PFAS.

Det var totalt for alle delområder beregnet en mengde sum PFAS på 15,7 kg fordelt på totalt volum masser på 13 850 m³. Delområde 4 og 5 som ikke ble gravd opp utgjorde estimert 0,4 kg PFAS som fremdeles ligger igjen. I tillegg viser Figur 30 gjenværende punkter med høyere PFAS-konsentrasjoner utenfor tiltaksområdet. Estimert spredning av PFAS fra BØF1 ble redusert til <20 g/år.

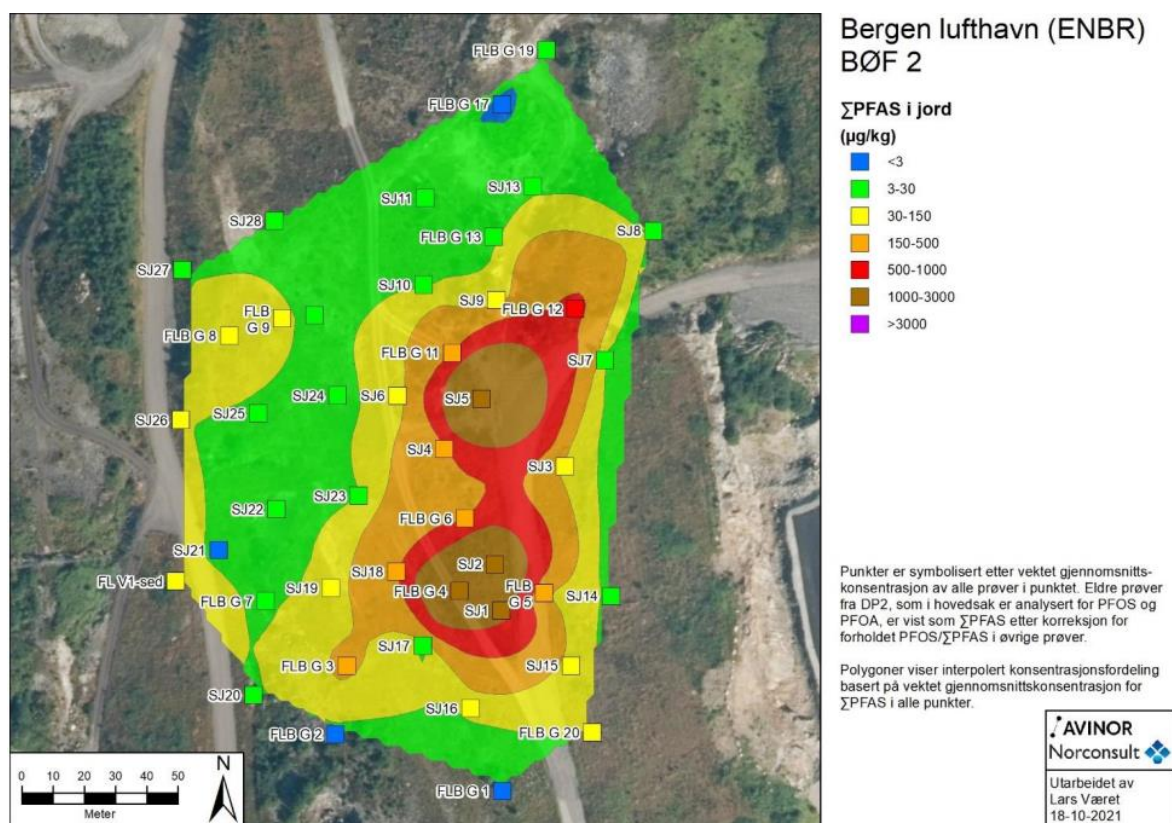


Figur 30 Tiltaksområde for gravetiltak ved sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1). I figuren vises også resultater fra utførte undersøkelser, hvor prøvepunkt er fargelagt etter høyeste påviste konsentrasjon PFOS/sum PFAS i punktet (Norconsult, 2023a).

BØF2

Tiltak ved BØF 2, som tilgrenser Deponi Nord på vestsiden, ble ferdigstilt innen fristen, men sluttrapporten er ikke klar enda.

På BØF2 ble det beregnet en total mengde sum PFAS i fyllmasser på 4,3 kg innenfor et areal på 24 820 m². Estimert volum masser med konsentrasjon over 3 µg/kg var 24 820 m³. I tiltaksplanen ble det anbefalt å fjerne masser tilsvarende 3,6 kg, og at det er akseptabelt at masser med 0,7 kg ligger igjen. Dette reduserer spredningen av PFAS fra BØF2 til 30 g/år. Avrenning fra BØF2 går hovedsakelig mot vest (til Lindevikabekken og videre til Raunefjorden) og mot øst (mot Langvatnet, slik store deler av avrenningen fra Deponi Nord gjør).



Figur 31 Interpolert konsentrasjonsfordeling ($\mu\text{g/kg}$) for undersøkt areal ved BØF2 (Norconsult, 2021).

Overvåkingsprogram

Det er utarbeidet et program for oppfølgende overvåking etter de gjennomførte tiltakene på brannøvingsfeltene (Norconsult, 2023c). Hensikten med den videre overvåkingen er å dokumentere effekter av det gjennomførte tiltaket over tid.

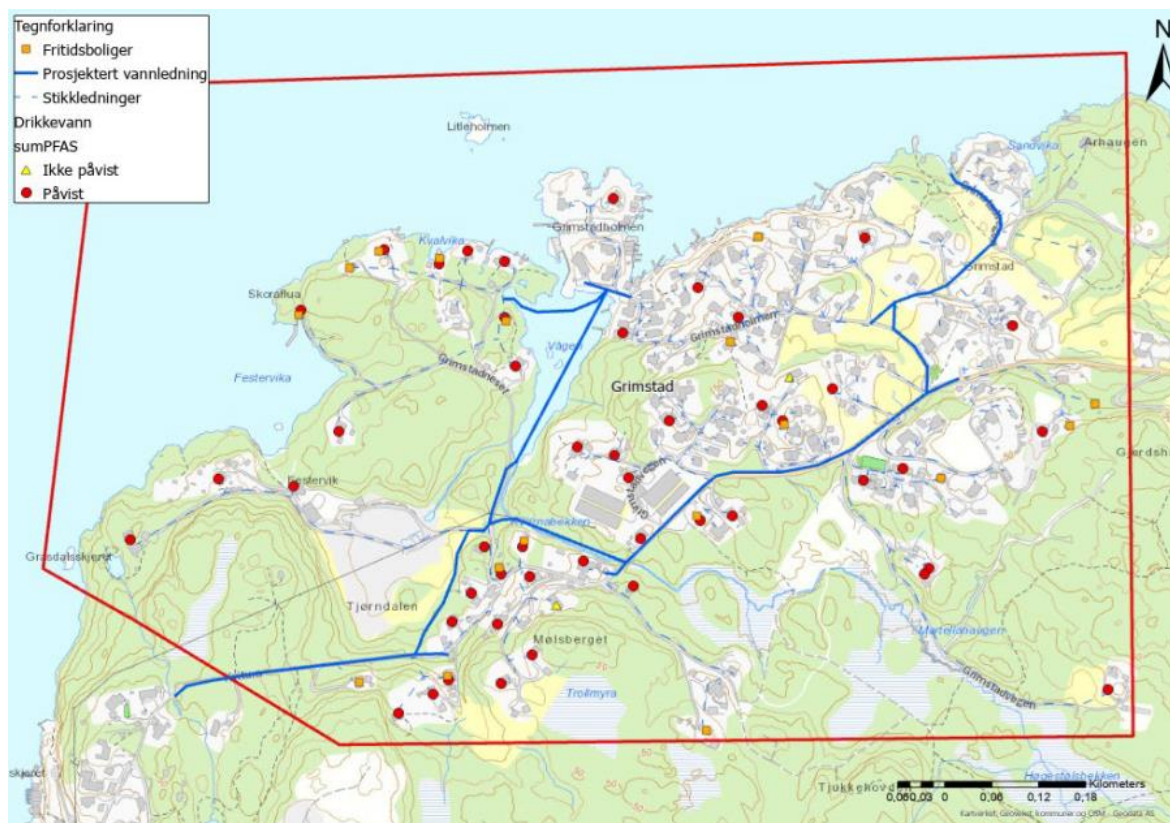
Det ble estimert en samlet spredning av PFAS fra lufthavnen på omtrent 0,7 kg/år, hvor BØF1 og BØF 2 bidro med hhv. 0,2 kg/år og 0,3 kg/år. 0,2 kg/år kommer dermed fra andre kilder. I tillegg er det gjenliggende mengder med PFAS på begge lokalitetene som vil bidra til at PFAS fortsatt spres fra lokalitetene. På bakgrunn av dette forventes det at det vil ta tid før man kan dokumentere effekter av tiltakene i berørte resipienter. Det må bemerkes at resipientene, som eksempelvis Langavatn, er tilført mye PFAS over tid, slik at vannene i seg selv vil kunne være en kilde til videre spredning og opptak av PFAS i organismer i det tilhørende økosystemet (Norconsult, 2023c).

Overvåkingsprogrammet innebærer prøvetaking av vann (grunnvannsbrønner, kum, utløp av kulvert, Langavatnet, Lindevikabekken), sediment (Langavatn) og biota (ørret i Langavatn og albueskjell i Lindevikabekken). Rapporter vil utarbeides fra overvåkingen hvert 3. år. De første par år rettes overvåkingen i hovedsak mot å dokumentere effekter av tiltaket i form av redusert utlekking og spredning fra brannøvingsfeltene. Oppfølgende prøvetaking av sediment og biota i resipienter vil i utgangspunktet først være aktuelt etter at man har dokumentert en redusert utlekking og spredning av PFAS. Det forventes at det vil kunne ta lang tid før man ser målbare effekter av tiltakene i berørte resipienter ettersom det er gjenliggende masser med PFAS på brannøvingsfeltene, i tillegg til andre kilder for PFAS på lufthavnen.

4.9.2 Påkobling kommunalt drikkevann

Som følge av prøvetaking av PFAS i private drikkevannsforsyninger i boligområdene Flesland, Kvitura og Grimstad som ligger vest og nord for lufthavnen (kap. 4.4.3) har Avinor tilbudt berørte boliger refusjon for tilknytning til kommunal vannledning. Bergen kommune ved Bergen vann har ferdigstilt den kommunale vannledningen (Figur 32) og det er opp til hver enkelt grunneier å koble seg på. Pr. i dag har omtrent 90% av berørte eiendommer nord for Flesland og Deponi Nord akseptert avtale om refusjon for tilknytning. Resterende 10% har ikke svart, men ut fra befaringer virker det som at deler av eiendommene er ubrukt eller brukes som verksted eller annen virksomhet.

Eiendommer ved Kvitura ble påkoblet for flere år siden, og etter tilkoblingen som nå er i gang vil mesteparten av eiendommer som har hatt drikkevannsbrønner som kan være påvirket av PFAS-spredning fra Flesland fått rent drikkevann. Risikoen for skade på human helse av PFAS-spredningen fra Flesland blir derfor betraktelig redusert.



Figur 32 Blå linje viser prosjektert kommunal vannledning som grunneiere vil knytte seg opp mot for å bli tilkoblet rent drikkevann.

4.10 Vurdering av forurensningssituasjonen og spredning

Deponi Nord har eksistert i 13 år (siden 2010). Massene i Felt 3, Felt 7 og Felt 9 utgjør et stort volum, hvor en stor andel av massene ikke er forurensset over normverdi for standard miljøgifter, og resterende har lav til moderat forurensningsgrad. Massene har også et relativt høyt TOC-nivå som binder forurensning (hhv. 9%, 23% og 5% i gjennomsnitt). Påviste metaller i overflatevann overskrider ikke tilstandsklasse 2, og de organiske miljøgiftene med unntak av PFAS detekteres ikke. Dette indikerer at forurensningen som ligger på deponiet i stor grad holdes tilbake på grunn av høyt organisk innhold. PFAS-konsentrasjonene i massene er også generelt lave, med et gjennomsnitt på hhv. 8,6 µg/kg, 17 µg/kg og 6 µg/kg. Den høyeste PFAS-konsentrasjonen som ble påvist var på 93 µg sum PFAS/kg i en organisk rik løsmasseprøve fra felt 7 (F7-BO11 6-7,5 m), men både over- og underliggende prøver fra samme prøvepunkt hadde PFAS-konsentrasjoner mellom 1-29 µg sum PFAS/kg. Dagens normverdi er på 100 µg/kg, og massene overstiger altså ikke denne grensen. Gjennomført risikovurdering tilsier ikke at det er noen risiko med å oppholde seg på lokaliteten ved dagens arealbruk, og gjennomførte fluksmålinger tilsier at gassemisjon fra deponioverflaten ikke utgjør et problem.

Det er påvist relativt høye PFAS-nivåer i enkelte av grunnvannsbrønnene på deponiområdet, særlig ved felt 3 og 9. Det er påvist PFAS i grunnvannsbrønner og diffuse vannsig nord for deponiet, med avtakende konsentrasjoner i økende avstand fra deponiet. Basert på ovenstående kapitler er det kun spredning av PFAS som vurderes å kunne utgjøre en spredningsrisiko for miljøet rundt Deponi Nord.

Nye avrenningsvurderinger og sammensetning av PFAS-forbindelser tilsier at spredning fra Felt 9 i all hovedsak går mot sør og ikke påvirker området nord for deponiet. For Felt 3 og Felt 7 viser grunnvannstrømningkart at omtrent halvparten av spredningen går mot nord og halvparten mot sør og ferskvannsresipienten Langavatnet. Observasjoner fra befaring, samt konduktivitetsmålinger og analyser av PFAS i vann ved nordlig deponiskråning og myrområder indikerer at hovedvannveien for sigevann nord for deponiet går i bekken med prøvepunkt DN2 og DN4. Bekken med prøvepunkt DN3 virker å være svært lite påvirket av sigevann basert på PFAS-sammensetning og konsentrasjoner. Dette støttes også av at massene ved Felt 9 har avrenning mot sør og ikke mot nord.

Hovedparten av PFAS-spredning fra deponiet renner dermed mot resipienten Langavatnet, mens de nordlige delene av Felt 3 og Felt 7 renner mot nord via bekken med DN2 og DN4, og ender videre i sekundærresipient Raunefjorden og/eller Grimstadfjorden.

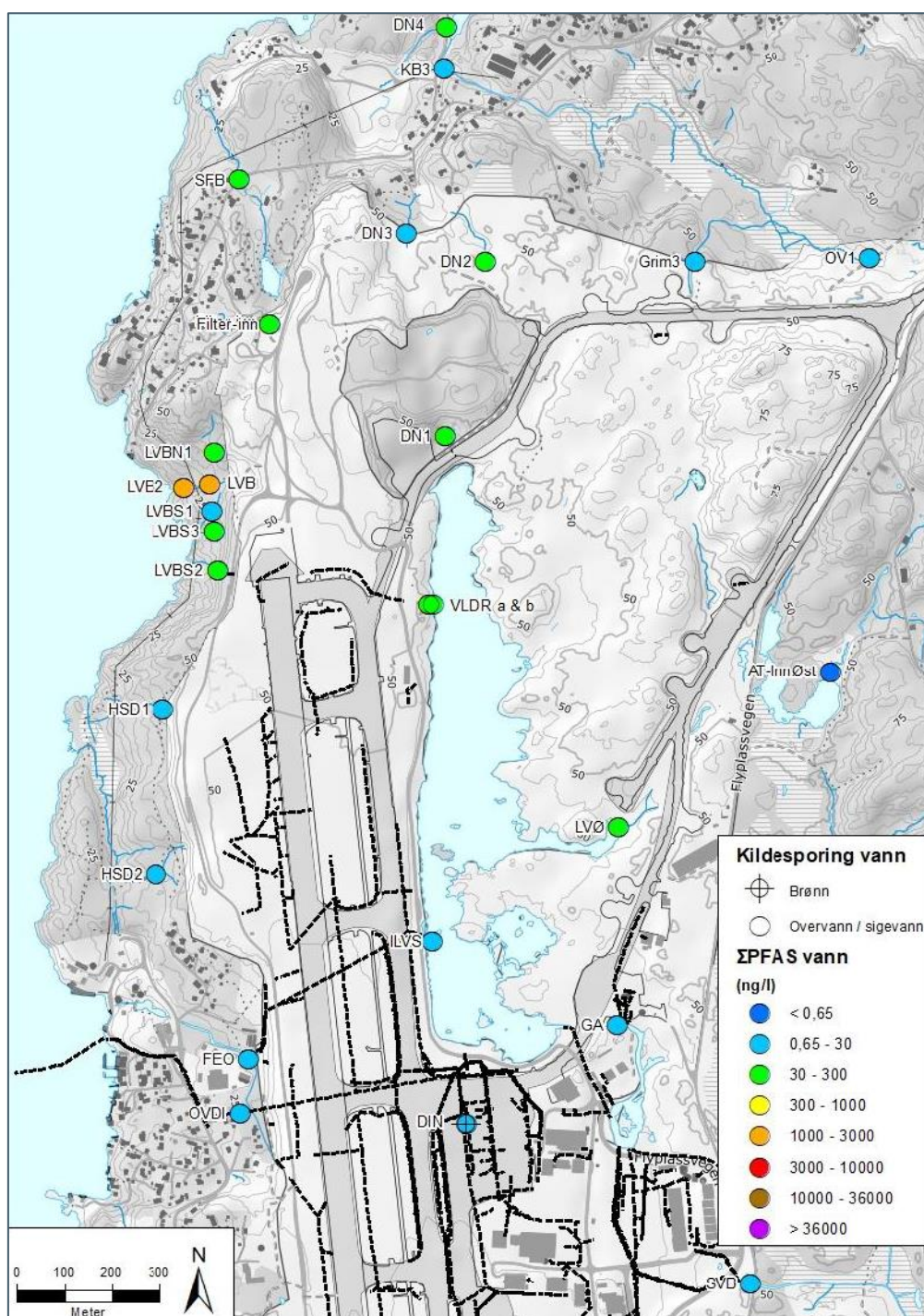
I 2022 utførte Norconsult en kildesporing ved stikkprøvetaking av overflatevann i totalt 33 prøvepunkter. Prøvepunktene representerte bekker/diffuse vannsig, samt enkelte referansepunkter av vann som strømmer inn på lufthavnsområdet, samt utstrømmende vann fra ulike deler av lufthavnen (Norconsult, 2022). Resultatene viste at det er en spredning av PFAS fra det meste av lufthavnen, og det er også tilførsler av PFAS fra oppstrøms arealer inn mot lufthavnen. Med unntak av brannøvingfeltene BØF1 og BØF2, gav ikke resultater fra kildesporingen i 2022 grunnlag til å identifisere større kildeområder av betydning mht. utlekking og spredning av PFAS fra Bergen lufthavn (Norconsult, 2022).

Basert på kildesporingen ble det estimert en samlet spredning av PFAS fra lufthavnen på om lag 700 g/år, hvorav BØF1 og BØF2 ble ansett som de største kildene til spredning av PFAS. Det ble estimert en årlig spredning på hhv. 186 og 338 g/år fra hhv. BØF1 og BØF2 (Norconsult, 2022). Til sammenlikning er det estimert spredning av PFAS fra deponiområdet mot nord via overflatevannpunktet DN2 ca. 8 g/år (Norconsult, 2023b). Spredning via DN3 utgjør ca. 1 g/år,

men vurderes ikke å være påvirket av deponiet i særlig grad. Spredningen mot sør og Langavatnet er ikke beregnet, men ligger trolig i omtrent samme størrelsesorden.

Ifølge kildesporingsrapporten (Norconsult, 2022) utgjorde PFOS en betydelig andel av sum PFAS i de fleste vannprøvene på sentralområdet og den nordlige delen av lufthavnen, sammen med forbindelser som PFBA, PFHxA, PFHxS og PFPeA. Prøvene fra Lindevikabekken i vest, som mottar avrenning fra BØF2, skilte seg ut med et betydelig bidrag av de langkjedete forbindelsene PFTra og PFUnDa (det ble også påvist en relativt høy andel av PFUnDa i utløp for overvann fra deice-området sentralt på lufthavnen, se Figur 33. Tilsvarende viste resultater fra prinsipalkomponentanalyse (PCA) en klar gruppering av prøvepunktene i Lindevikabekken, hvilket er beskrevet å skyldes spredning av PFAS fra BØF2 (Norconsult, 2022). Resultatene fra utført PCA gav imidlertid ikke grunnlag for å identifisere andre grupperinger av prøvepunkter.

Som beskrevet ovenfor er det påvist spredning av PFAS fra Deponi Nord, og det er identifisert to tydelige sigevannsveier nord og sør for deponiet. Spredningen av PFAS fra Deponi Nord mot Langavatnet vurderes ikke å utgjøre en stor del sammenlignet med avrenning fra det som ligger igjen i brannøvingsfeltene og eventuelt andre kilder/lufttransportert PFAS (beskrevet ytterligere i kap. 4.9.1). Det ble blant annet også detektert 0,26 ng/l sum PFAS i regnvann fra flyplassen i oktober 2023, og dette er en generell og diffus spredning som gjerne har opphav i globalt bruk av PFAS. Det vil ta flere år før man vil kunne se en effekt av saneringen av brannøvingsfeltene når det gjelder økologisk og kjemisk tilstand i Langavatn, og det er utarbeidet et overvåkingsprogram for dette. Det vurderes ikke som at spredningen fra Deponi Nord vil påvirke marine sekundærresipienter i merkbar grad med fortykning og god vannutskiftning. Spredningen mot nord kan ha påvirket private drikkevannsforsyninger i Grimstadorrådet, men i hvor stor grad er uvisst med de andre kildene som eksisterer. PCA-analysen indikerer ikke at deponiet er en tydelig kilde til PFAS-forurensningen i drikkevannsprøvene. Tiltaket med oppkobling til kommunalt drikkevann fjerner risikoen for human helse med inntak av drikkevann som kan være påvirket av deponiet. Folkehelseinstituttet har også vurdert at det er trygt å dusje og bade i vann med konsentrasjoner langt over det som er påvist i de private brønnene.



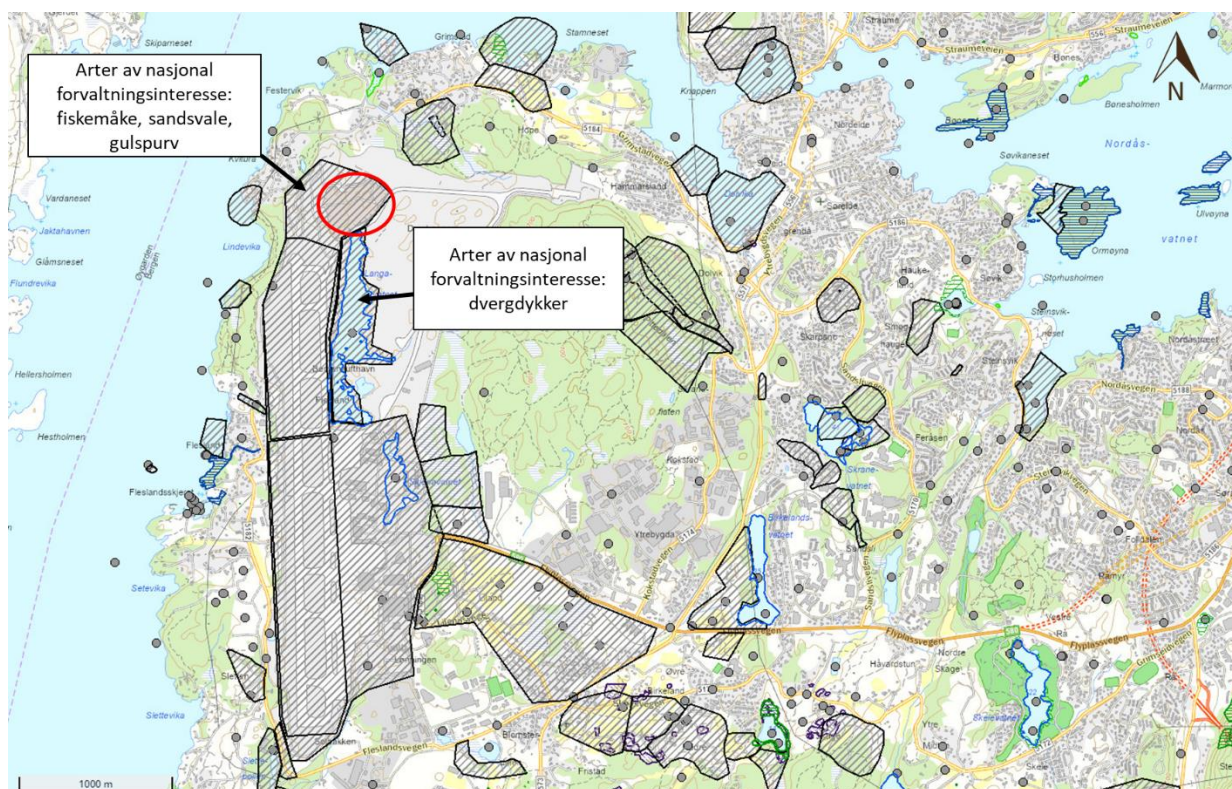
Figur 33 Konsentrasjoner av sum PFAS (ng/l) i vannprøver fra kildesporing av sentralområde og nordlig del av Bergen lufthavn (Norconsult, 2022). DN4 helt oppe i nord er ikke samme DN4 som er omtalt i kap. 4.2.

5 Naturmangfoldloven

Offentlige beslutninger som berører naturmangfoldet skal så langt det er rimelig bygge på vitenskapelig kunnskap om arters bestandssituasjon, naturtypers utbredelse og økologiske tilstand, samt effekten av påvirkninger. Kravet til kunnskapsgrunnlaget skal stå i et rimelig forhold til sakens karakter og risiko for skade på naturmangfoldet.

Søk i databaser viser ingen registrerte naturtyper ved området for masselageret. Det er imidlertid registrert arter av nasjonal forvaltningsinteresse (fiskemåke, sandsvale, gulspurv) innenfor masselagerområdet. I Langavatnet sør for deponiet er det registrert dvergdykker, se Figur 34.

Det er ikke registrert noen arter av forvaltningsinteresse som vil bli påvirket i negativ grad som en konsekvens av eventuelle tiltak.



Figur 34 Kart som viser arter av nasjonal forvaltningsinteresse ved Flesland og masselager nord. Kartutsknitt hentet og modifisert fra kystinfo.no.

6 Nullalternativet – konsekvenser av deponiet uten tiltak

I nullalternativet legger vi til grunn at det ikke utføres noen tiltak i eller omkring deponiet og vurderer hvilke konsekvenser dette vil kunne få.

6.1 Spredning av og konsekvenser av forurensning

Stoffgruppen PFAS består av over 10 000 forbindelser, hvorav en rekke av dem er oppført på Miljødirektoratets prioritetsliste (Miljøstatus, 2022a): PFOS (2002), PFOA (2007), C9-PFCA – C14-PFCA (2014), PFHxS (2017), PFBS (2019), PFHxA (2020) og HFPO-DA (GenX, 2020). Prioritetslisten er en liste over miljøgifter som regnes for å utgjøre en alvorlig trussel mot helse og miljø, og med nasjonal målsetning om å stanse bruk og utslipp av stoffene (Miljøstatus, 2022b). Stoffene er generelt tungt nedbrytbare (persistente), oppkonsentreres i næringskjeden, og kan være giftige for organismer (Miljøstatus, 2022a). Noen PFAS-er er svært mobile i vann, og kan forurense drikkevann og transporteres langt med luft- og havstrømmer. Det ble blant annet detektert 0,26 ng/l sum PFAS i regnvann på flyplassen i oktober 2023. Det er mange kilder til PFAS, noe som vises i diffuse bakgrunnskonsentrasjoner i de fleste områder nasjonalt og internasjonalt (Miljøstatus, 2023). Norge har sammen med flere land levert et forslag om å forby hele gruppen med PFAS-er samlet i EU/EØS.

Det er påvist relativt lave PFAS-nivåer (hovedsakelig <30 µg/kg og maksimalt 93 µg sum PFAS/kg i én prøve) i løsmassene fra felt 3, 7 og 9. Til sammenlikning hadde pålegget fra Miljødirektoratet om opprydning av PFAS-forurensset grunn et akseptkriterium på 150 µg/kg for det nedlagte brannøvingsfeltet BØF2 som grenser til felt 9 i Deponi Nord.

Estimert total mengde PFAS på deponiet er omtrent 1,9 kg. Fra Deponi Nord er beregnet spredning 8 g/år via DN2 mot nord (og 1 g/år via DN3 som trolig ikke er påvirket av deponiet). Mot sør er det ikke regnet ut, men estimert til å være omtrent likt. Dersom man tenker føre-var kan man estimere totalspredning av 16 g PFAS/år fra deponiet. Til sammenlikning lå det 15,2 kg PFAS på BØF 1 og 4,3 kg på BØF 2, med en samlet spredning på 500g/år, av totalt 700g/år fra flyplassområdet (Norconsult, 2022). Tiltakene som er gjort på brannøvingsfeltene har en estimert restspreddning på 30 g/år (BØF2) og <20 g/år (BØF1). I tillegg utgjør andre diffuse kilder på flyplassområdet en spredning på omtrent 200 g/år. Spredningen fra Deponi Nord er lav i sammenlikning.

Vurderingene i overstående kapitler antyder at deponiet i svært liten grad er en kilde til utslipp av andre miljøgifter enn PFAS. PFAS spres fra deponiet i retningen mot boligfeltene i nord og mot Langavatnet i sør. Det er derimot usikkert i hvor stor grad bidraget fra Deponi Nord har medført forhøyede PFAS-nivåer i private drikkevannsbrønner i området rundt Flesland, og PCA-analyse viser ingen tydelige tegn på at sammensetningen korrelerer med PFAS på deponiet.

Som nevnt i kap. 4.9.2 har pr. i dag omtrent 90% av tilbudte eiendommer nord for Flesland og Deponi Nord akseptert avtale om refusjon for tilknytning til offentlig vannledning. Resterende 10% har ikke svart, men ut fra befaringer virker det som at flere av disse eiendommene står ubrukt eller brukes som verksted eller annen virksomhet. På Kvitura og i boligområdene Flesland vest og sør, er flertallet av boligene tilkoblet kommunal vannledning. Enkelte boliger er imidlertid lokalisert så langt unna det nye ledningsnett at de ikke har fått varsel om pålegg, da påkobling for disse eiendommene er forbundet med uforholdsmessig store kostnader. Ifølge Bergen Vann er det på Grimstad (minst) 22 eiendommer som ikke har fått pålegg om å koble seg på kommunalt avløpsnett grunnet lange avstander og forventet høye kostnader (COWI, 2022a).

Grunnet de relativt lave konsentrasjonene som er målt i og omkring deponiet er det lite sannsynlig at deponiet er en vesentlig årsak til PFAS-forurensning i drikkevannskilder i området. PCA-analysen indikerer heller ingen klar sammenheng av PFAS-sammensetning i grunnvann på deponiet og brønnprøvene (kap. 4.5). Det kan likevel ikke utelukkes at deponiet er en medvirkende årsak, om enn i liten grad. Det er identifisert en hovedvannvei for sigevann fra deponiet med avtakende PFAS-konsentrasjoner i bekken mot boligområdene (kap. 4.2.2). Samtidig er det som nevnt allerede satt i gang tiltak som gjør at drikkevannsproblematikken i området håndteres uavhengig av eventuelle tiltak ved Deponi Nord.

Selv om PFAS-avrenning fra deponiet antakelig ikke påvirker drikkevannskilder i området eller resipienter i særlig grad, vil utslippene likevel bidra til de samlede utslippene av PFAS til naturen. Ettersom de langsiktige konsekvensene av PFAS er usikre, og Norge har et mål om å redusere utslippene mest mulig kan det være grunn til å vurdere tiltak for å redusere utslipp av PFAS fra deponiet.

7 Alternative tiltak og konsekvenser av disse

Det er gjort utredninger for fire ulike tiltak for å redusere PFAS-utslippene i et kost-nytte-perspektiv. Disse fire er oppgraving og bortkjøring av massene, tildekking av hele deponiet, tildekking av deler av deponiet og renseløsning nord for deponiet. Kostnadsestimatene er tidligfasevurderinger og usikkerheten er vesentlig. Priser er i hovedsak basert på Avinors og COWIs erfaringstall fra tilsvarende prosjekter. Disse ansees som gode og representative, men kostnadene er vurdert på et overordnet nivå og det er for eksempel ikke gjort spesifikke vurderinger av anleggsgjennomføringen.

I vurderingene i dette kapitlet er det ikke tatt stilling til selve avviket, men konsekvensene av de ulike tiltakene. En anbefaling og vurdering opp mot avviket er gitt i kapittel 8.

7.1 Oppgraving og deponering

Tiltaket består av oppgraving, mellomlagring, og sortering av forurensede masser, samt tilbakeføring av rene masser, transport og deponering av forurensede masser på godkjent deponi.

Tabell 11 oppsummerer de viktigste forutsetningene for beregningene av tiltakets effekter.

Tabell 11 Forutsetninger for tiltaket.

Antakelser	Felt 3	Felt 7	Felt 9
Areal (m²)	14 800	5 430	12 350
Tetthet (kg/m³)	1 500	1 300	1 700
Volum faste masser (m³)	109 620	58 460	125 210
Volum løse masser (m³)	126 063	67 229	225 378
Tonn masser (tonn)	164 430	75 998	212 857
Anleggsmaskiner, masser ut	Gravemaskin, hjullaster	Gravemaskin, hjullaster	Gravemaskin, hjullaster
Anleggsmaskiner masser inn,	Gravemaskin, hjullaster	Gravemaskin, hjullaster	Gravemaskin, hjullaster
Andel gjenbrukte masser	0%	0%	50%

7.1.1 Tiltakskostnader

Kostnadene for tiltaket består av oppgraving, sortering, internttransport og mellomlagring, tilbakeføring av rene masser og transport av forurensede masser til deponi. For oppgraving og bortkjøring er det lagt til grunn at alle massene fra felt 3 og felt 7 blir transportert til deponi. Masser fra felt 9 er forventet å kunne gjenbrukes etter behandling, og det er antatt at 50% av massene må kjøres bort til deponi.

En oppsummering av pris- og mengdeforutsetninger og resultater av beregningen av tiltakskostnader er gjengitt i Tabell 12. Alle massevolumer som oppgis er løse masser. Prisforutsetningene er basert på erfaringspriser fra COWI og Avinor fra tilsvarende prosjekter.

Tabell 12 Tiltakskostnader ved oppgraving, sortering, tilbakeføring og bortkjøring.

Kostnadselementer	Pris		Mengde		Kostnad (kr)
Graving	70	kr/m ³	418 670	m ³	29 306 900
Internttransport av masser til mellomlager	92	kr/m ³	418 670	m ³	38 517 640
Sortering av masser	60	kr/m ³	225 378	m ³	13 522 680
Tilbakeføring av masser	162	kr/m ³	112 689	m ³	18 255 618
Transport fra Flesland til kai (Straume)	58	kr/m ³	305 981	m ³	17 818 161
Vannrenseanlegg	1,8	mill. kr	1	stk	1 800 000
Båttransport og deponeringsavgift	1000	kr/tonn	331 279	tonn	331 279 045
Sum produksjonskostnader					450 500 043
Tillegg for uspesifiserte kostnader*	10 %				11 922 100
Tillegg for rigg/drift*	10 %				17 883 150
Prosjekteringskostnader					10 000 000
Sum basiskostnad					490 305 293

*båttransport og deponiavgift inngår ikke i grunnlaget

Samlet kostnad er på omkring 490 mill. kroner, og den største andelen av kostnaden er transport og deponering av massene.

7.1.2 Klimagassutslipp

For å vurdere klimagassutslippene av tiltaket er det gjort beregninger for å estimere potensielle utslipp av CO₂-ekvivalenter. For klimagassutslippene brukes moduler fra et livssyklusperspektiv. For tiltakene i dette prosjektet er klimagassutslippene fra materialproduksjon (A1-A3), transport til anleggsplass (A4) og anleggsarbeid (A5) beregnet. For alternativet med oppgraving og bortkjøring er det lagt til grunn at alle massene fra felt 3 og felt 7 blir transportert til deponi. Masser fra felt 9 er forventet å kunne gjenbrukes etter behandling, og det er antatt at 50% av massene må kjøres bort til deponi. Antakelsene i forbindelse med oppgraving og bortkjøring er vist i Tabell 11.

Det er brukt generiske utslippsfaktorer basert på veg LCA (Statens Vegvesen, 2022) når det kommer til anleggsarbeid og materialtransport, se Tabell 13.

Tabell 13 *Utslippsfaktorer for anleggsarbeid og materialtransport*

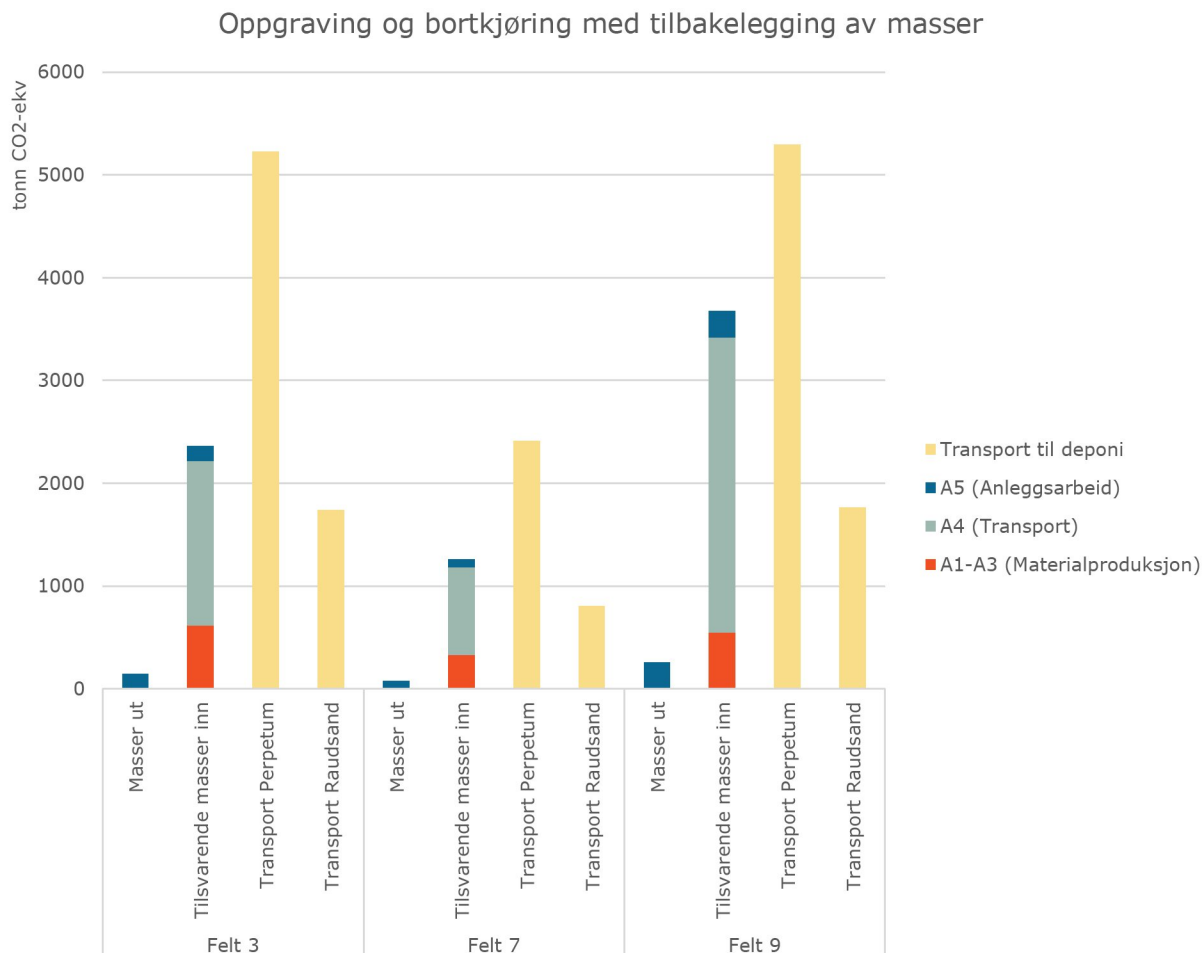
	Enhet
Gravemaskin	0,26 liter diesel/m ³
Hjullaster	0,09 liter diesel/m ³
Utgraving og planering av steinmasser	1,1 Liter diesel/m ³
Anleggsdiesel	3,24 kg co ₂ /liter diesel
Materialtransport	0,164 kg co ₂ /tkm
Transport lekter	0,0184 kg co ₂ /tkm

For å estimere utslippene knyttet til transport av masse fra deponiet er det tatt utgangspunkt i to deponier som kan ta imot PFAS. Det er Perpetuum og Raudsand. Avstand fra anleggsplass til disse er vist i Tabell 14.

Tabell 14 *Avstander fra anleggsområdet*

Fra anleggsområde til:	Avstand (km)
Masselager	50
Pukkverk	50
Perpetuum	1500
Raudsand	500

Det er gjort to utregninger med ulike volumberegninger for å vise spennet i beregningene ved bruk av prosjekterte faste m³ og utført løse m³. For å se resultatene for faste masser se Vedlegg 2. Resultatene for løse masser er vist i Figur 35.



Figur 35 Resultater klimagassutslipp oppgraving og bortkjøring med tilbakelegging av masser.

Resultatene viser at transport til deponi er den største bidragsyteren til klimagassutslippene ved oppgraving og bortkjøring. Etter dette er det prosessen ved å transportere masser inn som har høyest klimagassutslipp. Samlet klimagassutslipp for alle feltene, inkludert utslippene til transport er massene til deponi og erstatter dem med nye masser, er ca. 21 000 tonn CO₂-ekv dersom massene transporteres til Perpetuum og ca. 12 000 CO₂-ekv for transport til Raudsand.

7.1.3 Andre ulemper

Deponering av denne graden forurensning fører til unødvendig bruk av deponiceller. Forurensningsgraden i massene ligger generelt under grensen på hva man ville vurdert tiltak for dersom massedeponeringen ikke hadde vært et regelbrudd (avviket). Det er heller ikke sikkert at deponiene har plass til å motta alle massene. Perpetuum har for eks. tillatelse til å ta imot inntil 400 000 tonn PFAS-forurensede masser frem til 1. desember 2026. Massene her utgjør ca. 330 000 tonn. Fjerning av massene kan også føre til ugunstige vindforhold på rullebanen slik at

flere masser må fylles på. Effekten er derimot uvisst, og må utredes dersom dette tiltaket skulle blitt valgt.

7.1.4 Nytte

Tiltaket vil fjerne alle forurensede masser i deponiet. Siden vi generelt forventer begrensede negative konsekvenser knyttet til forurensning fra deponiet i nullalternativet, kan vi heller ikke forvente vesentlige positive konsekvenser ved tiltaket. Hovedsakelig gir dette den positive effekten av at PFAS-forbindelsene i deponiet blir fjernet, dvs. ca. 1,9 kg PFAS. Dette vil muligens bidra til noe reduserte utslipp av PFAS til enkelte drikkevannsbrønner, men disse kobles nå til kommunal vannledning og vil derfor ikke være særlig relevant. Hovednyttens vil være at det bidrar til å redusere de samlede utslippene av PFAS til naturen, og dermed støtte opp under de nasjonale mål om å redusere utslippene av PFAS mest mulig. Tiltaket vil kunne bidra til redusert bekymring blant befolkningen i nærområdet, og sørge for at Avinor unngår omdømmetap.

7.1.5 Samlet vurdering

Tiltakskostnaden er estimert til ca. 490 mill. kroner. Tiltaket bidrar til å fjerne 1,9 kg PFAS av omløp som kan gi noe, om enn begrensete, nytteeffekter. Dette gir en kostnadseffektivitet på omkring 258 mill. kroner per kg PFAS fjernet fra omløp. Tiltaket vil også gi store klimagassutslipp knyttet til transport av massene og eventuell kjøring av masser som skal tilbakeføres. Man bruker også opp verdifull plass på deponi.

Gitt disse vurderingene av kostnader og nytte av tiltaket virker det svært lite sannsynlig at tiltaket vil være samfunnsøkonomisk lønnsomt.

7.2 Tildekking

De tre feltene 3, 7 og 9 har overflateareal på henholdsvis 16350 m² (inkl. tidligere felt 5), 5430 m² og 12350 m² (Norconsult, 2023). Dette gir et samlet areal på ca. 34 130 m². Det vil være vanskelig å tildekke de bratte skråningene på deponiet på samme måte som den arronderte flaten på toppen. Volum av masser i skråningene som ikke blir tildekket med like tett dekke utgjør mye mindre volum enn det som blir tildekket og forhindret vanngjennomtrengning på toppen. I skråningene kan man benytte relativt tett rent subbusmateriale som er lagret på deponiområdet og vegetasjon for å redusere infiltrasjon av vann og utvasking av eventuell PFAS i disse områdene.

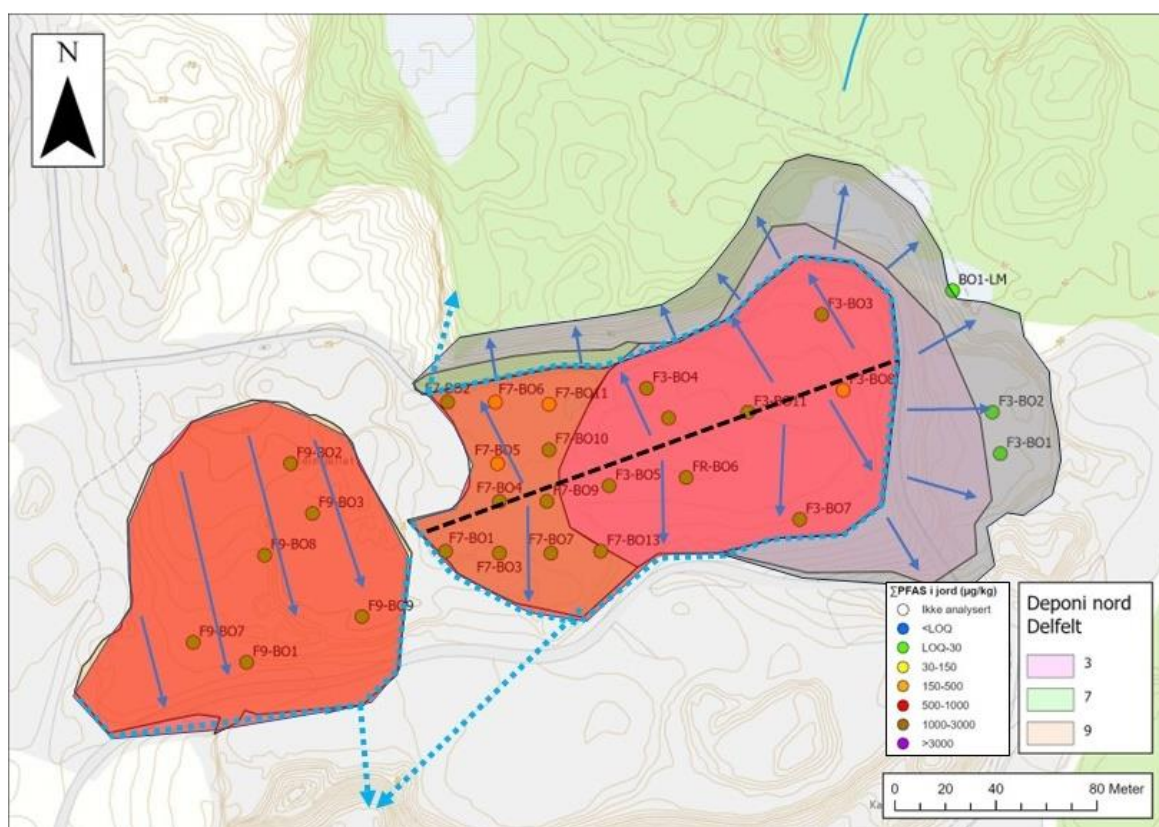
Basert på grunnvannskotekart, høydedata og bordata er det gjennomført et grovt estimat på andelen masser med PFAS-innhold som ligger i mettet sone, se Tabell 15 og vedlegg 3 for beregninger. Massene i umettet sone vil ha mest effekt av tildekking ved forhindring av nedbørsgjennomtrengning. Basert på estimatet vil tildekking av felt 3 gi 98%, felt 7 88% og felt 9 87% effekt.

Tabell 15 Estimerte mengder PFAS i mettet sone.

Mengder PFAS	Enhet	Felt 3	Felt 7	Felt 9
Volum PFAS mettet sone	m ³	1500	6975	14950
Andel PFAS mettet sone	%	2	12	13
Andel PFAS umettet sone	%	98	88	87

Tildekkingen gjennomføres ved at området som skal tildekkes først arronderes til en jevn flate med høybrekk på midten og fall mot nord og sør (Figur 36). Hele arealet bør ha et generelt fall mot vest. Over det avrettede laget legges det et 20 cm tykt beskyttelseslag av 0/4 mm masser. Over dette legges først en bentonittmembran og så en 1,5 mm tykk HDPE-membran. Deretter kommer et nytt beskyttelseslag av 0/4 mm masser. Øverst legges det et dreislav av grusmasser på 30 cm. Det rene overflatevannet som renner av mot nord og sør samles i rentvannsgrøfter og ledes vekk fra det forurensede området.

Ved sigevannsavrenningen i myrområdet nord for deponiet kan det etableres en demning med rensetiltak for eventuell restspredning. En måte å gjøre dette på er å etablere en aktiv barriere som består av sand iblandet kolloidalt aktivt kull. Kullet har evne til å holde tilbake organisk forurensning, bl.a. PFAS-forbindelser.



Figur 36 Tildekking av felt 3, 7 og 9. Stiplet svart linje viser høybrekket på tildekkingslaget med avrenning mot nord og sør vist med blå piler. Mot nord og øst dekkes skråningene til med subbus (0-4mm masser) og tilsås for å redusere infiltrasjon i skråning. Rent vann fra toppflaten samles opp og ledes vekk fra deponi.

7.2.1 Tiltakskostnader

Tabell 16 oppsummerer pris- og mengdeforutsetninger og estimerte kostnader per kostnadselement for tiltaket. Prisene er basert på erfaringspriser fra COWI og Avinor for tilsvarende prosjekter.

Tabell 16 Tiltakskostnader ved tildekking.

Kostnadselementer	Pris	enhet	Mengde	enhet	Kostnad (kr)
Toppdekke	132	kr/m ²	31 580	m ²	4 152 986
Beskyttelse	55	kr/m ²	31 580	m ²	1 730 411
HDPE-membran	66	kr/m ²	31 580	m ²	2 076 493
Bentonittmembran	66	kr/m ²	31 580	m ²	2 076 493
Beskyttelse	55	kr/m ²	31 580	m ²	1 730 411
Avretting	27	kr/m ²	31 580	m ²	865 205
Tildekking i skråninger	162	kr/m ²	1000	m ³	162 000
Overvannshåndtering av rent vann	1000	kr/m	700	m	700 000
Sum produksjonskostnader					13 494 000
Tillegg for uspesifiserte kostnader	30 %				4 048 200
Tillegg for rigg/drift	10 %				2 024 100
Prosjektering og byggeledelse					5 000 000
Sum basiskostnad					24 566 300

Tillegget for uspesifisert er satt til 30 % og skal blant annet fange opp tilleggskostnader for avretting av felt 7. Massene ved felt 7 er bløtere enn de i felt 3. Dette kan føre til økte kostnader i forbindelse med tilrettelegging for tildekking i dette området i form av geotekniske vurderinger og eventuelle stabiliseringstiltak.

Tiltaket er estimert til en samlet kostnad på i underkant av 25 mill. Kroner.

7.2.2 Klimagassutslipp

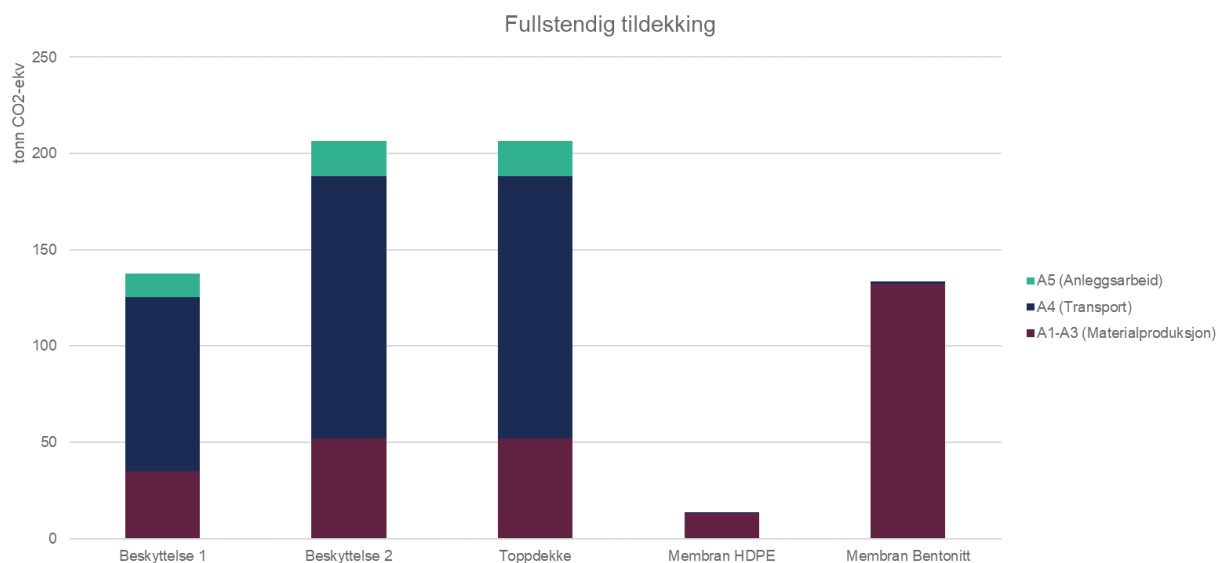
For å vurdere klimakonsekvensene av tiltaket er det gjort beregninger for å estimere potensielle utslipp av CO₂-ekvivalenter. For klimagassutslippene brukes moduler fra et livssyklusperspektiv. For tiltakene i dette prosjektet er klimagassutslippene fra materialproduksjon (A1-A3), transport (A4) og anleggsarbeid (A5) beregnet. For alternativet med tildekking er det lagt til grunn at alle massene i felt 3 og felt 7 blir tildekket ved hjelp av samme metode. Antakelsene i forbindelse med tildekking er vist i Tabell 17. Utslippsfaktorer og beregningsfaktorer er vist i Tabell 18.

Tabell 17 Antakelser tildekking.

	Tykkelse (m)	Areal (m ²)	Volum (m ³)
Beskyttelseslag 1	0,2	31 000	6 200
Beskyttelseslag 2	0,3	31 000	9 300
Toppdekke	0,3	31 000	9 300
Membran HDPE	0,0015	31 000	47

Tabell 18 Utslipps - og beregningsfaktorer for tildekking.

		enhet	Forklaring
Grus/pukk	0,00315	kg CO ₂ /kg	Utslippsfaktor
Grus/pukk	1500	kg/m ³	Beregningsfaktor
Membran HDPE	0,60736362	kg CO ₂ /kg	Utslippsfaktor
Membran HDPE	0,7	kg/m ²	Beregningsfaktor
Membran Bentonitt	5,25	kg/m ²	Beregningsfaktor
Membran Bentonitt	4,27	kgCO ₂ /m ²	Utslippsfaktor
Planering	1,1	liter diesel/m ³	Beregningsfaktor
Diesel	3,24	kg CO ₂ /liter diesel	Utslippsfaktor
Materialtransport	0,164	kg CO ₂ /tkm	Utslippsfaktor



Figur 37 Resultater klimagassutslipp ved tildekking

Resultatene er vist i Figur 37. For tildekking er det transport av tildekkingsmasser til anleggsområdet som bidrar mest til klimagassutslippene. Deretter er det klimagassutslipp knyttet til produksjon av disse materialene. Samlet for tildekking av alle feltene er det estimert et klimagassutslipp på 698 tonn CO₂.ekv.

7.2.3 Nytte

Tiltaket vil stanse vanninntrenging gjennom deponiet og utvasking av PFAS (og andre miljøgifter). Siden vi generelt forventer begrensede negative konsekvenser knyttet til forurensning fra deponiet i nullalternativet, kan vi heller ikke forvente vesentlige positive konsekvenser ved tiltaket. Hovedsakelig er nytten av tiltaket at man unngår utvasking av PFAS-forbindelser i deponiet og dermed potensielt unngår utslipp av ca. 1,9 kg PFAS. Dette vil muligens bidra til noe reduserte utslipp av PFAS til enkelte drikkevannsbrønner, men disse kobles nå til kommunal vannledning og vil derfor ikke være særlig relevant. Hovednyttene vil være at det bidrar til å redusere de samlede utslippene av PFAS til naturen, og dermed støtte opp under de nasjonale mål om å redusere utslippene av PFAS mest mulig. Tiltaket vil kunne bidra til redusert bekymring blant befolkningen i nærområdet, og sørge for at Avinor unngår omdømmetap.

7.2.4 Samlet vurdering

Tiltakskostnaden er estimert til ca. 24,5 mill. kroner. Tiltaket bidrar til å fjerne omtrent 1,9 kg PFAS av omløp som kan gi noe, om enn begrensede, nytteeffekter. Dette gir en kostnadseffektivitet på omkring ca. 13 mill. kroner pr. kg PFAS fjernet fra omløp. Tiltaket gir økte klimagassutslipp ift. nullalternativet.

Gitt begrenset nyttevirksomhet, virker det lite sannsynlig at tiltaket vil være samfunnsøkonomisk lønnsomt, men det er et vesentlig mer kostnadseffektivt tiltak enn oppgraving og deponering.

7.3 Delvis tildekking

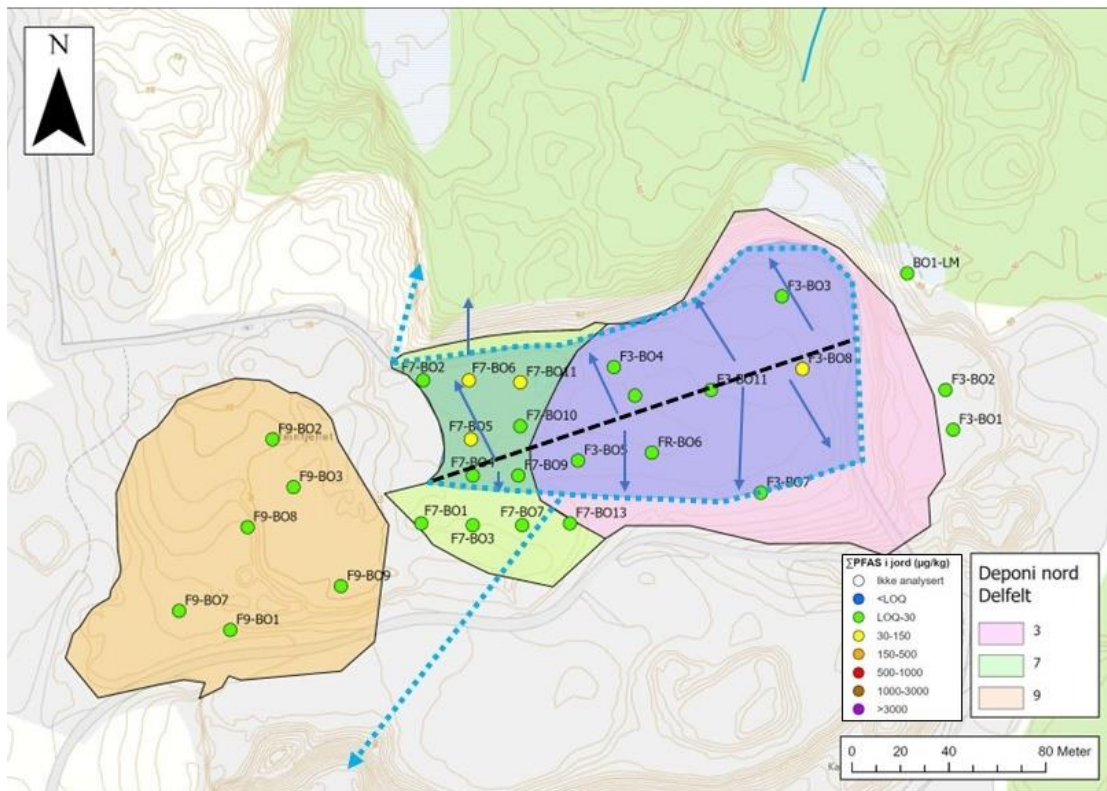
De tre feltene 3, 7 og 9 har overflateareal på henholdsvis 16350 m² (inkl. tidligere felt 5), 5430 m² og 12350 m² (Norconsult, 2023). Dette gir et samlet areal på ca. 34 080 m². Delvis tildekking vil ha som mål å isolere PFAS-spredningen som foregår mot nord, mens spredningen mot sør blir mindre påvirket. De høyeste konsentrasjonene av PFAS ligger også i områdene som drenerer mot nord. Delvis tildekking vil derfor berøre deler av felt 7 og 3 (men ikke felt 9) og føre til en estimert isolering av ca. 1,2 kg av totalt 1,9 kg PFAS (Se Tabell 19). Merk at beregningen av volum og derav mengde PFAS er gjort på gjennomsnittlige dybder fra tegninger og borelogger innenfor arealet som tildekkes, og at estimatet dermed er svært grovt.

Tabell 19 Mengdeberegning av PFAS som blir isolert ved delvis tildekking.

Parameter	Enhet	Felt3	Felt 7	Felt 9
Volum	m ³	110000	38640	0
Egenvekt	kg/m ³	1500	1000	1300
Anel finstoff	%	40	80	50
Gj. PFAS inkl 1/2 LOQ	ug/kg	8,87	20,67	6,18
Mengde PFAS	kg	0,585	0,639	0
Mengde PFAS	g/m ³	0,005	0,017	0
Sum mengde PFAS	kg	1,2		

Tildekkingen gjennomføres ved at området (hele felt 3 og 7) først arronderes til en jevn flate med høybrekk på midten og fall mot nord og sør. Over det avrettede laget skjer den delvise tildekkingen, hvor det først legges et 20 cm tykt beskyttelseslag av 0/4 mm masser. Over dette legges først en bentonittmembran og så en 1,5 mm tykk HDPE-membran. Deretter kommer et nytt beskyttelseslag av 0/4 mm masser. Øverst legges det et dre slag av grusmasser på 30 cm. Det rene overflatevannet som renner av mot nord og sør samles i rentvannsgrøfter og ledes vekk fra det forurensede området.

Ved sigevannsavrenningen i myrområdet nord for deponiet kan det etableres en demning med rensetiltak for eventuell restspreddning. En måte å gjøre dette på er å etablere en aktiv barriere som består av sand iblandet kolloidalt aktivt kull. Kullet har evne til å holde tilbake organisk forurensning, bl.a. PFAS-forbindelser.



Figur 38 Delvis tildekking av felt 3 og 7. Stiplet svart linje viser høybrekket på tildekkingslaget med avrenning mot nord og sør vist med blå piler. Mot nord og øst dekkes skråningene til med subbus (0-4mm masser) og tilsås for å redusere infiltrasjon i skråning. Rent vann fra toppflaten samles opp og ledes vekk fra deponi.

7.3.1 Tiltakskostnader

Tabell 17 oppsummerer pris- og mengdeforutsetninger samt de estimerte kostnader for tiltaket. Prisene er basert på erfaringspriser fra COWI og Avinor for tilsvarende prosjekter.

Tabell 20 Tiltakskostnader ved delvis tildekking

Kostnadselementer	Pris	enhet	Mengde	enhet	Kostnad (kr)
Toppdekke	132	kr/m ²	14 000	m ²	1 841 096
Beskyttelse	55	kr/m ²	14 000	m ²	767 123
HDPE-membran	66	kr/m ²	14 000	m ²	920 548
Bentonittmembran	66	kr/m ²	14 000	m ²	920 548
Beskyttelse	55	kr/m ²	14 000	m ²	767 123
Avretting	27	kr/m ²	19 000	m ²	520 548
Tildekking i skråninger	800	kr/m ²		m ³	-

Overvannshåndtering av rent vann	1000	kr/m	624	m	624 000
Sum produksjonskostnader					6 360 986
Tillegg for uspesifiserte kostnader	10 %				1 908 296
Tillegg for rigg/drift	10 %				954 148
Prosjektering og byggeledelse					5 000 000
Sum basiskostnad					14 223 430

Tillegget for uspesifisert er satt til 30 % og skal blant annet fange opp tilleggskostnader for avretting av felt 7. Massene ved felt 7 er bløtere enn de i felt 3. Dette kan føre til økte kostnader i forbindelse med tilrettelegging for tildekking i dette området i form av geotekniske vurderinger og eventuelle stabiliseringstiltak.

Vi ser at tiltaket er estimert til en samlet kostnad på i overkant av 14 mill. kroner.

7.3.2 Klimagassutslipp

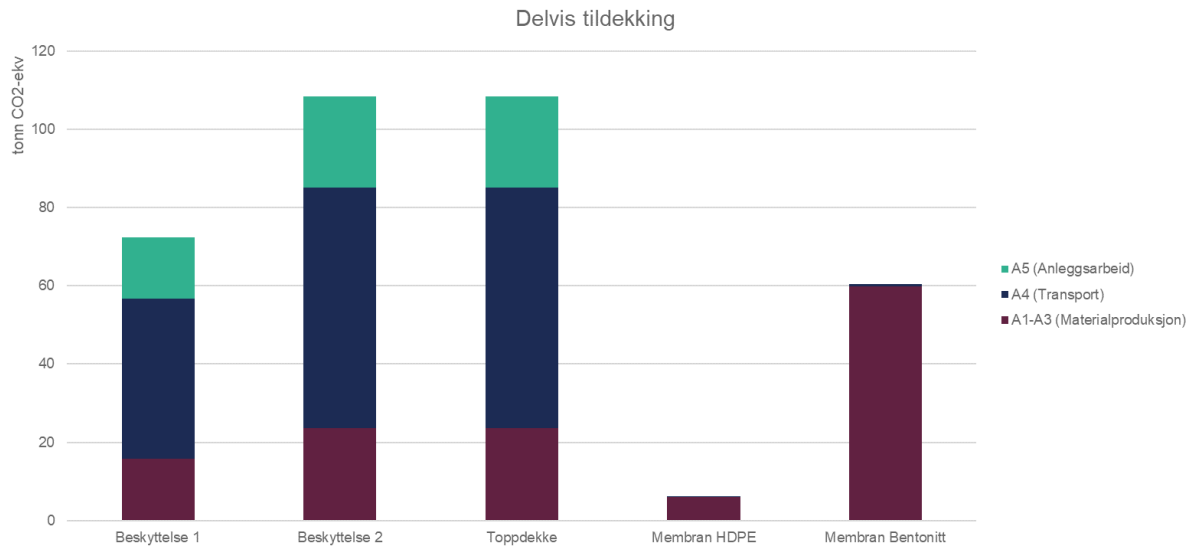
For å vurdere klimakonsekvensene av tiltaket er det gjort beregninger for å estimere potensielle utslipp av CO₂-ekvivalenter. For alternativet med delvis tildekking er det lagt til grunn at alle massene i felt 3 og felt 7 blir delvis tildekket ved hjelp av samme metode. Antakelsene i forbindelse med tildekking er vist i Tabell 17. Utslippsfaktorer og beregningsfaktorer er vist i Tabell 18.

Tabell 21 Antakelser tildekking

	Tykkelse (m)	Areal (m ²)	Volum (m ³)
Beskyttelseslag 1	0,2	14 000	28 000
Beskyttelseslag 2	0,3	14 000	4 200
Toppdekke	0,3	14 000	4 200
Membran HDPE	0,0015	14 000	21

Tabell 22 Utslipps - og beregningsfaktorer for tildekking

		enhet	Forklaring
Grus/pukk	0,00315	kg CO ₂ /kg	Utslippsfaktor
Grus/pukk	1500	kg/m ³	Beregningsfaktor
Membran HDPE	0,60736362	kg CO ₂ /kg	Utslippsfaktor
Membran HDPE	0,7	kg/m ²	Beregningsfaktor
Membran Bentonitt	5,25	kg/m ²	Beregningsfaktor
Membran Bentonitt	4,27	kgCO ₂ /m ²	Utslippsfaktor
Planering	1,1	liter diesel/m ³	Beregningsfaktor
Diesel	3,24	kg CO ₂ /liter diesel	Utslippsfaktor
Materialtransport	0,164	kg CO ₂ /tkm	Utslippsfaktor



Figur 39 Resultater klimagassutslipp ved delvis tildekking

Resultatene er vist i Figur 39. For delvis tildekking er det transport av tildekkingsmasser til anleggsområdet som bidrar mest til klimagassutslippene. Deretter er det klimagassutslipp knyttet til produksjon av disse materialene. Samlet for tildekking av alle feltene er det estimert et klimagassutslipp på 356 tonn CO₂-ekv.

7.3.3 Nytte

Tiltaket vil stanse vanninntrenging gjennom deponiet og utvasking av PFAS (og andre miljøgifter). Siden vi generelt forventer begrensede negative konsekvenser knyttet til forurensning fra deponiet i nullalternativet, kan vi heller ikke forvente vesentlige positive konsekvenser ved tiltaket. Hovedsakelig er nytten av tiltaket at man unngår utvasking av PFAS-forbindelser i deponiet og dermed potensielt unngår utslipp av ca. 1,2 kg PFAS. Dette vil muligens bidra til noe reduserte utslipp av PFAS til enkelte drikkevannsbrønner, men disse kobles nå til kommunal vannledning og vil derfor ikke være særlig relevant. Hovednyttens vil være at tiltaket i noen grad bidrar til å redusere de samlede utslippene av PFAS til naturen, og dermed støtte opp under de nasjonale mål om å redusere utslippene av PFAS mest mulig. Tiltaket vil kunne bidra til redusert bekymring blant befolkningen i nærområdet, og sørge for at Avinor unngår omdømmetap.

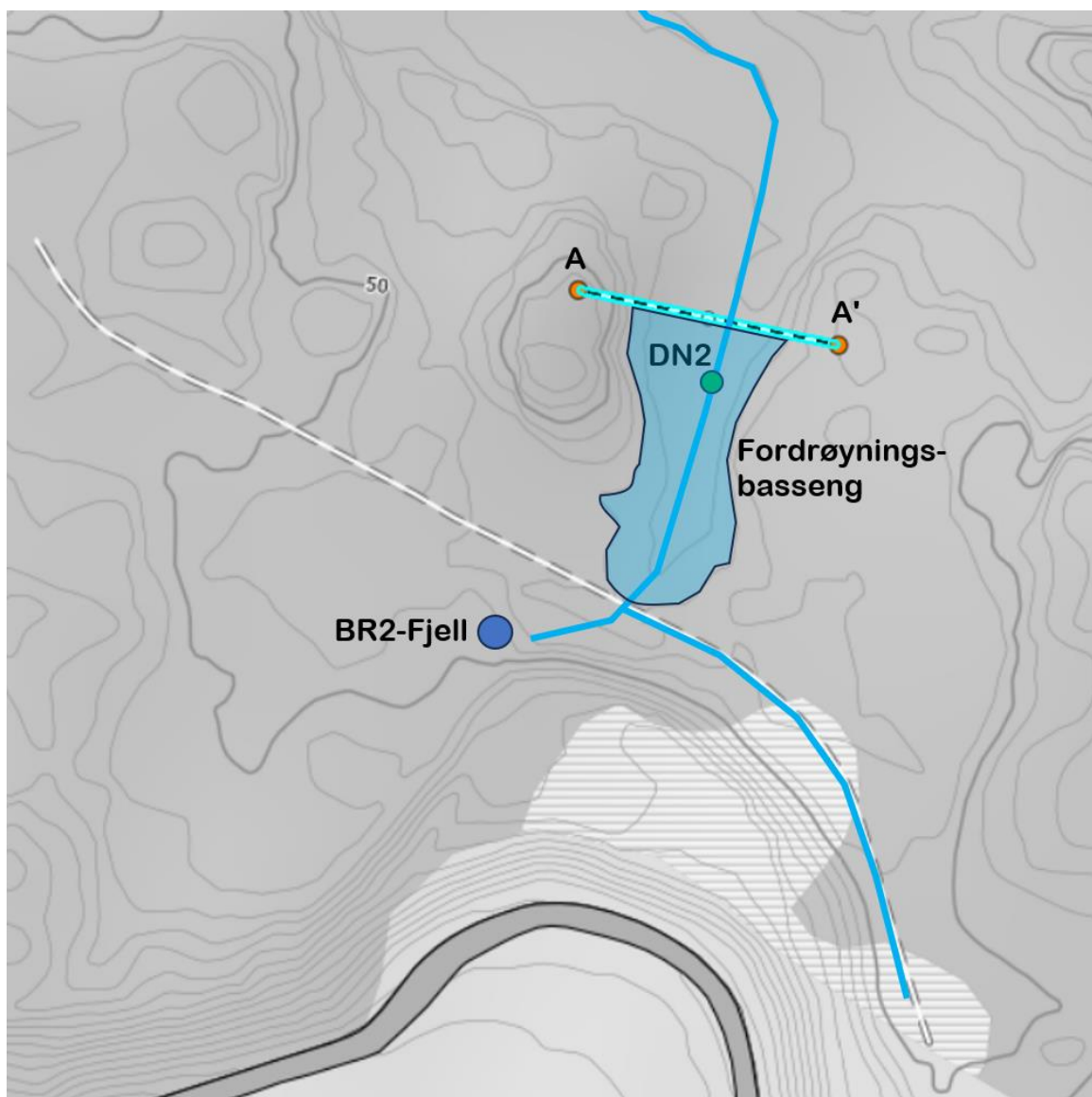
7.3.4 Samlet vurdering

Tiltakskostnaden er estimert til ca. 14,2 mill. kroner og det vil også gi økte klimagassutslipp ift. nullalternativet. Tiltaket bidrar til å fjerne 1,2 kg PFAS av omløp som kan gi noe, om enn begrensede, nytteeffekter. Dette gir en kostnadseffektivitet på omkring ca. 12 mill. kroner per kg PFAS fjernet fra omløp. Tiltaket gir noe økte klimagassutslipp sammenliknet med nullalternativet.

Gitt disse vurderingene av kostnad og nytte, virker det lite sannsynlig at tiltaket vil være samfunnsøkonomisk lønnsomt. Tiltaket er likevel vesentlig mer kostnadseffektivt enn oppgraving og deponering, og noe mer kostnadseffektivt enn en full tildekking.

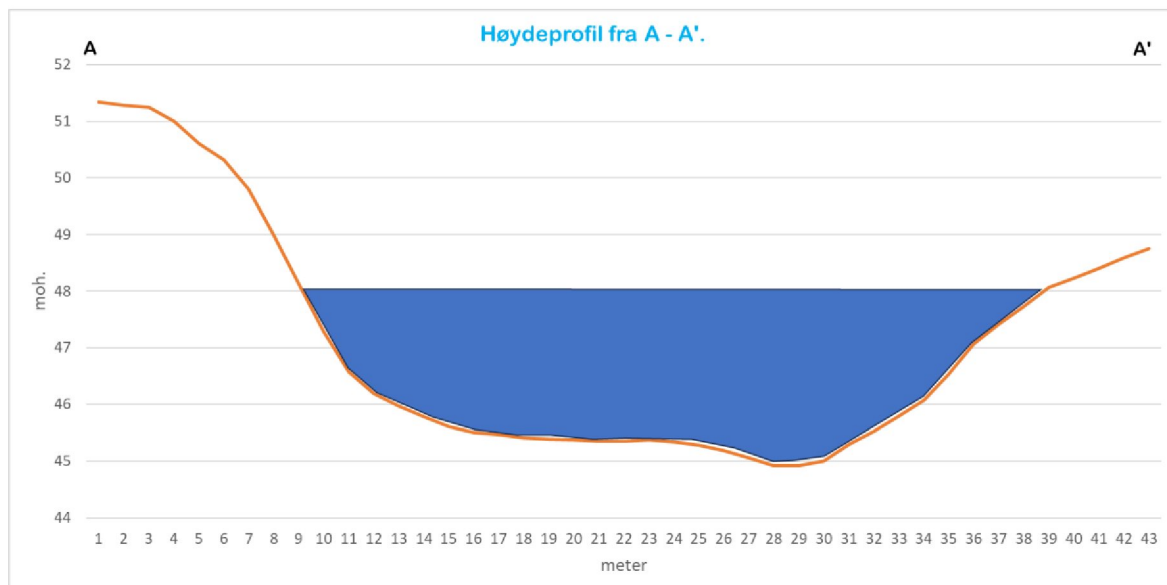
7.4 Renseløsning nord for deponiet

I den nordlige delen av Felt 3 ved BR2 er det et kildeutslag med PFAS-forurensset vann som renner nordover. Det kommer også en vannstrøm langs veien fra øst som blandes med kildevannet og danner en bekk som renner nordover mot prøvepunkt DN2 som vist i Figur 40.



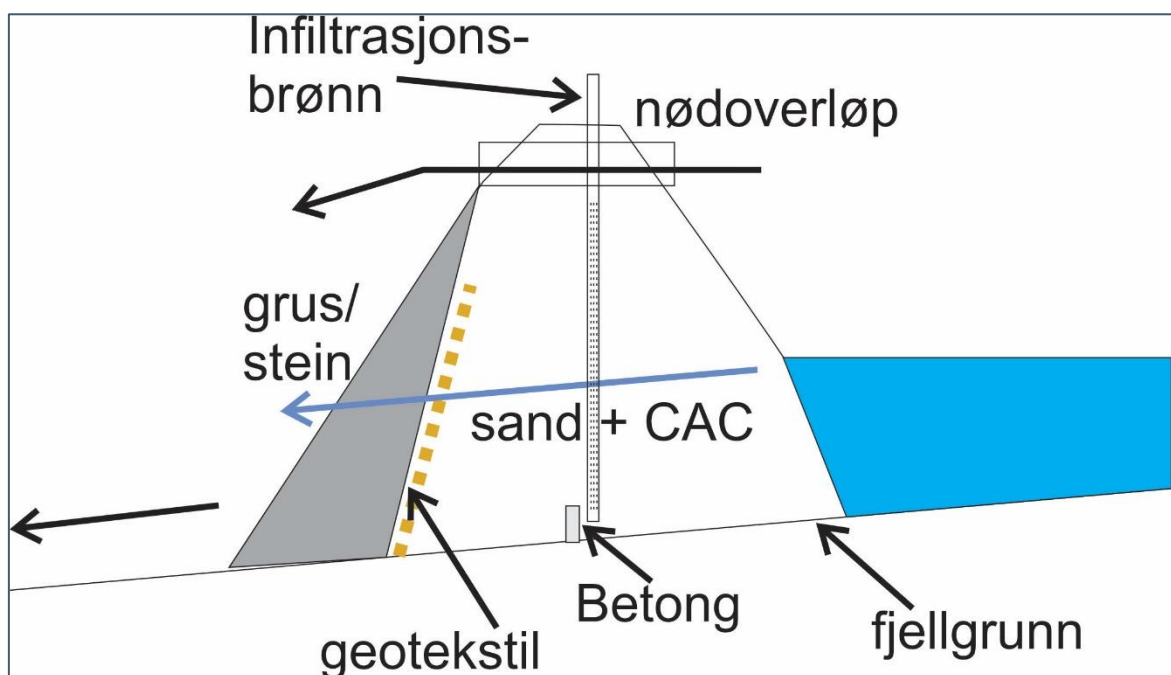
Figur 40 Grunnvann og bekkesig mot nord fra felt 3. Foreslått plassering av barriereløsning vist (A – A'). Fordrøyningsbassenget er vist med lyseblå farge.

Som en del av tiltaket anbefales det å etablere en aktiv barriere i området ved A – A' i Figur 40. Plasseringen er valgt slik at det kan være plass til et fordrøyningsbasseng oppstrøms barrieren for å håndtere vannmengden i perioder med mye nedbør. Barrieren skal bestå av kolloidalt aktivt kull (CAC) og finsand, slik at PFAS-forurensning i vannsaget fra deponiområdet fester seg til CAC i barrieren og dermed holdes tilbake. Dette vil sørge for at spredning av forurensning langs bekkeløpet mot nord holdes på et minimum. Barrieren legges som en demning som sperrer av den smale bekkedalen som vist i Figur 41.



Figur 41 Profillinje fra A – A' i Figur 40. Størrelsen på den reaktive barrieren er vist med blått. Tverrsnitt av barrierens oppbygging er vist i Figur 42.

Før barrieren etableres renskes vegetasjonen vekk i en bredde på ca. 5 m slik at det er bart fjell. Dette for å unngå at det vil være kanaler under barrieren som vannet kan strømme urensset gjennom. For å ytterligere sikre at det ikke er kortslutning under barrieren støpes det opp en betongkant på 25 cm midt i barrieren i profilretningen (Figur 42). Barrieren bygges som vist i Figur 42. CAC blandes med fin sand og tilsettes CaCl_2 . Fin sand brukes for at vannet skal bruke lang nok tid på å passere gjennom barrieren til at PFAS-forbindelsene kan absorberes på CAC. Barrieren er planlagt å være om lag 2 meter bred i toppen og 4 m i bunnen, med en lengde på ca. 30 m. I toppen av barrieren etableres det nødoverløp for å hindre at barrieren eroderes bort i perioder med ekstremt mye nedbør. I toppen av barrieren etableres det 6 infiltrasjonsbrønner slik at det er mulig å tilføre mer aktivt kull dersom en erfarer at renseeffekten avtar. Barrieren dimensjoneres slik at det er rensekapasitet for ca. 15 år. Den naturlige forsenkningen i bekkeløpet oppstrøms barrieren utgjør et fordrøyningsbasseng. Dette området bevares mest mulig som naturområde slik det er i dag.



Figur 42 Tverrsnitt av den reaktive barrieren med anbefalt oppbygging.

7.4.1 Tiltakskostnader

Det er gjort et estimat av kostnadene for en renseløsning slik den er beskrevet i ovenstående kapittel. Det er tatt utgangspunkt i erfaringspriser fra Haugesund flyplass der tilsvarende tiltak allerede er gjennomført, med nødvendige tilpasninger for å bedre kunne reflektere forventet kostnad ved Deponi Nord ved Flesland.

Priser, mengder og estimerte kostnader pr. kostnadselement er oppsummert i tabellen under.

Tabell 23 Tiltakskostnader ved renseløsning

Kostnadselementer	Pris	enhet	Mengde	Enhet	Kostnad (kr)
Aktivt kull og veiledning	245	kr/liter	6 480	liter	1 587 000
Finsand	519	kr/m ³	180	m ³	93 402
Rensk til fjell langs profillengden og etablering av barrieren	100 000	RS	1	stk	100 000
Injeksjonsbrønner for påfylling av aktivt kull	10 000	kr/stk	6	stk	60 000

Refylling av aktivt kull etter 15 år	245 kr/liter	6480 liter	881 205 ¹
Sum produksjonskostnader			2 721 607
Tillegg for uspesifiserte kostnader	15 %		408 241
Tillegg for rigg/drift	15 %		408 241
Tillegg for prosjektering og byggeledelse	15 %		408 241
Sum			3 946 330

I uspesifiserttillegget på 15 % inngår blant annet en betongkant på ca. 25 cm midt i barrieren i profilretningen.

Estimert samlet kostnad for renseløsningen blir ca. 4 mill. kroner. Dette inkluderer også refylling av aktivt kull etter 15 år slik at kostnaden blir mer sammenliknbar med de andre tiltakene som har lengre levetid.

7.4.2 Klimagassutslipp

For å vurdere klimakonsekvensene av tiltaket er det gjort beregninger for å estimere potensielle utslipp av CO₂-ekvivalenter. Som en del av tiltaket anbefales det å etablere en aktiv barriere i området ved A – A' i Figur 40. Barrieren skal bestå av kolloidalt aktivt kull (CAC) og finsand, slik at PFAS-forurensning i vannsiget fra deponiområdet fester seg til CAC i barrieren og slik holdes tilbake. Vi har ikke funnet en utslippsfaktor for kolloidalt aktivt kull, så dette er ikke inkludert i beregningene.

Antakelsene i forbindelse med renseløsningen er vist i Tabell 24. Utslippsfaktorer og beregningsfaktorer er vist i Tabell 25.

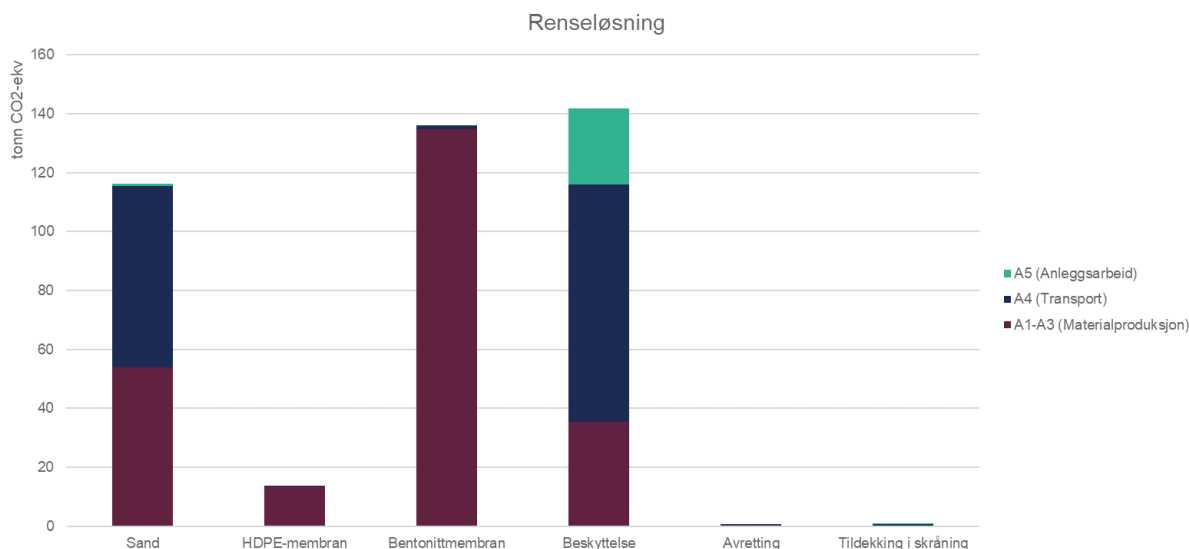
¹ Diskontert kostnad. Antatt utført etter 15 år, 4 % kalkulasjonsrente.

Tabell 24 Antakelser renseløsning

	Tykkelse (m)	Areal (m ²)	Volum (m ³)
Sand			180
Beskyttelse	0,2	31 580	6316
Avretting/betong			1,05
Membran HDPE	0,0015	31 580	47
Tildekking i skråning			30

Tabell 25 Utslipps - og beregningsfaktorer for renseløsning

		enhet	Forklaring
Grus/pukk	0,00315	kg CO ₂ /kg	Utslippsfaktor
Grus/pukk	1500	kg/m ³	Beregningsfaktor
Membran HDPE	0,60736362	kg CO ₂ /kg	Utslippsfaktor
Membran HDPE	0,7	kg/m ²	Beregningsfaktor
Membran Bentonitt	5,25	kg/m ²	Beregningsfaktor
Membran Bentonitt	4,27	kgCO ₂ /m ²	Utslippsfaktor
Planering	1,1	liter diesel/m ³	Beregningsfaktor
Diesel	3,24	kg CO ₂ /liter diesel	Utslippsfaktor
Materialtransport	0,164	kg CO ₂ /tkm	Utslippsfaktor
Sand	187,5	Kg CO ₂ e/tonn	Utslippsfaktor
Sand tetthet	1,6	tonn/m ³	Beregningsfaktor
Betong B35 Bransjereferanse	347	kg CO ₂ e/m ³	Utslippsfaktor
Betong tetthet	2400	kg/m ³	Beregningsfaktor



Figur 43 Resultat klimagassberegning ved renseløsning

Resultatene er vist i Figur 43. For renseløsningen er det materialproduksjon av bentonittmembran og sand som bidrar mest til klimagassutslippene. Deretter er det klimagassutslipp knyttet til transport av sand og beskyttelseslag. Samlet for renseløsningen er det estimert et klimagassutslipp på 409 tonn CO₂-ekv.

7.4.3 Nytte

Tiltaket medfører at PFAS-forurensning i vannsigtet fra deponiområdet holdes tilbake og slik reduserer spredning av forurensning langs bekkeløpet mot nord til et minimum.

Tiltaket reduserer spredning av ca. 0,5 kg PFAS. Dette vil muligens bidra til noe redusert PFAS-forurensning i enkelte drikkevannsbrønner, men disse kobles nå til kommunal vannledning og vil derfor ikke være særlig relevant. Hovednyttens vil være at tiltaket i noen grad bidrar til å redusere de samlede utslippene av PFAS til naturen, og dermed støtte opp under de nasjonale mål om å redusere utslippene av PFAS mest mulig. Tiltaket vil kunne bidra til redusert bekymring blant befolkningen i nærområdet, og sørge for at Avinor unngår omdømmetap.

7.4.4 Samlet vurdering

Tiltakskostnaden er estimert til ca. 4 mill. kroner. Tiltaket bidrar til å fjerne ca. 0,5 kg PFAS av omløp som kan gi noe, om enn begrensede, nytteeffekter. Dette gir en kostnadseffektivitet på omkring 7,9 mill. kroner per kg PFAS fjernet fra omløp. Tiltaket gir noe økte klimagassutslipp sammenliknet med nullalternativet.

Gitt vurderingene av kostnad og nytte, virker det lite sannsynlig at tiltaket vil være samfunnsøkonomisk lønnsomt. Tiltaket er likevel det mest kostnadseffektive av tiltakene vi har vurdert.

7.5 Oppsummering av tiltakseffekter

Tabell 26 oppsummerer resultatene av tiltaksvurderingene. Ingen av tiltakene forventes å være samfunnsøkonomiske lønnsomme, gitt den lave mengden PFAS fjernet fra omløp. Vi ser at oppgravingstiltaket er vesentlig dyrere og har høyere klimagassutslipp, uten at nytteeffekten er særlig mye større enn full tildekking. Kostnadseffektiviteten er vesentlig bedre ved tildekkingstiltakene. Mest kostnadseffektivt er renseløsningen med bruk av aktivt kull, selv om dette også er tiltaket som fjerner minst PFAS fra omløp. På grunnlag av den lave PFAS-konsentrasjonen i deponiet, er kostnadseffektiviteten også for dette tiltaket dårligere enn sammenliknbare PFAS-tiltak ved andre lokasjoner. Eksempelvis ble kostnadseffektiviteten for tiltak ved brannøvingsfelt 1 (BØF1) ved Flesland estimert til 1,45 mill. kroner pr. kg. PFAS fjernet.

Tabell 26 Oppsummering tiltaksvurderinger

Tiltak	Basiskostnad (mill. kr.)	PFAS fjernet fra omløp (kg)	Kostnaseffektivitet (mill. kr/kg PFAS)	Økte klimagassutslipp (tonn CO ₂ -ekv.)
Oppgraving med tilbakeføring av masser	490	1,9	257,9	12 929
Tildekking	24,6	1,9	12,9	698
Delvis tildekking	14,2	1,2	11,9	356
Renseløsning	3,9	0,5	7,9	409

8 Anbefalt tiltak

Risikoen ved å unngå tiltak på Deponi Nord vurderes ikke å være vesentlig sammenlignet med PFAS-spredning fra resten av flyplassområdet. Det er likevel lagt lett forurensede masser i et område som opprinnelig var rent, og det er påvist at det foregår en viss spredning fra massene (av PFAS). Ettersom dette er et brudd på lovverket må det vurderes tiltak for å rette opp i avviket.

8.1 Avviket og deponiforskriften

Deponiforskriften definerer et deponi slik:

"Et permanent disponeringssted for avfall ved deponering av avfallet på eller under bakken"

Avviket på Deponi Nord er at Avinor har deponert forurensede jordmasser uten tillatelse. Dette er knyttet opp mot avfallsforskriften § 9-7 krav om tillatelse, jf. § 9-2 Virkeområde. I følge § 9-7 må den som skal drive deponi for avfall ha tillatelse etter forurensningsloven. Tillatelse til deponering skal ikke gis med mindre deponiet kan tilfredsstille alle relevante krav i kapittel 9 av avfallsforskriften med vedlegg. En tillatelse etter forurensningsloven kan heller ikke komme i etterkant, og man må derfor finne akseptable tiltak for å løse avviket på Deponi Nord.

Avfallsforskriften kapittel 9 trådte i kraft i 2002 og stiller blant annet krav om at det skal treffes tiltak for å ha kontroll med opphopning og utlekking av deponigass. Ved avslutning av et deponi kan forurensningsmyndigheten stille krav om topptetting dersom det anses som nødvendig for å forebygge sigevannsdannelse og redusere utslipp av deponigass. Basert på utførte undersøkelser er det ikke risiko for utslipp av deponigass fra området, men sigevannsdannelse er påvist.

Avfallsforskriften kapittel 9 stiller også krav om dobbel bunn- og sidetetting for deponier for ordinært og farlig avfall. Dette innebærer at sigevann fra deponiene skal samles opp og ledes kontrollert ut. Dersom det er behov for det skal sigevannet renses.

Det skal utarbeides en plan for avslutning og etterdrift av deponi, og denne skal inneholde endelige kotehøyder for alle deler av deponiet, forventet avslutningstidspunkt, opplysninger om overdekning og sikring av områder, topptetting og eventuelle andre tiltak for reduksjon av nedbørsavhengig infiltrasjon, sikring av tekniske installasjoner for drift, kontroll- og overvåking i etterdriftsfasen, beskrivelse av deponiets landskapsmessige utforming ved avslutning og kostnadsdekning for avslutningstiltakene. Driftsansvarlig har plikt til å sørge for vedlikehold, overvåking og kontroll av deponiet, samt drift av forurensningsreduserende installasjoner etter avslutning så lenge forurensningsmyndigheten mener at det er nødvendig for å hindre forurensning fra deponiet.

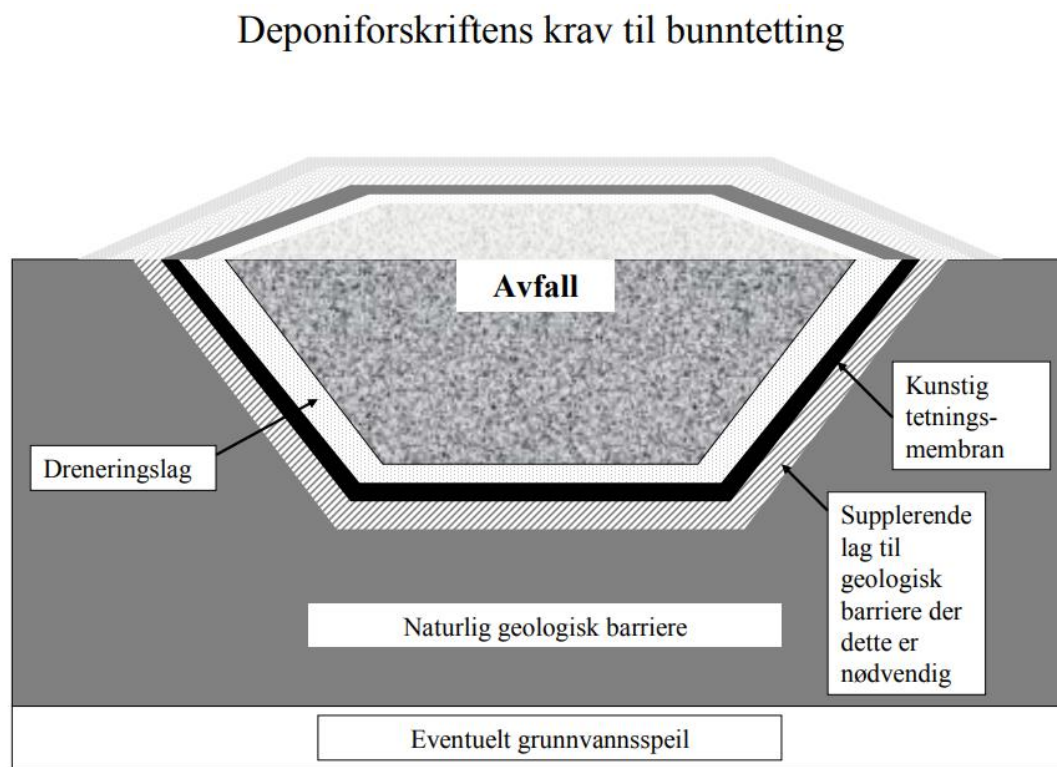
Sigevannshåndtering

Avfall i et deponi skal ikke tilføres mer vann enn høyst nødvendig, dvs. kun det som stammer fra nedbør på deponioverflaten mens deponiet er i drift. Vann fra områder rundt må derfor avskjæres og ledes utenom deponiområdet. Dette gjelder både overflatevann og grunnvann.

Topptetting ved avslutning av deponi

Ved avslutning av et deponi kan forurensningsmyndigheten stille krav om topptetting dersom det anses som nødvendig for å forebygge sigevannsdannelse og redusere utslipp av deponigass.

For deponi for ordinært avfall er det anbefalt med et toppdekke > 1 m, dreneringslag > 0,5 m, impermeabelt minerallag og gassdreneringslag (se Figur 44).



Figur 44 Deponiforskriftens krav til bunntetting (SFT, 2003)

Ettersom Deponi Nord ikke har tillatelse med vilkår, er det heller ikke utformet iht. deponiforskriften med inkluderende overvåking og plan for avslutning.

8.2 Løsningsforslag

Bunntetting- og sidetetting av deponiet er ikke utformet iht. deponiforskriften, men deponiet er lagt på en naturlig geologisk barriere av fjell, med avgrensninger i deler av feltene, og da spesielt Felt 9 med fjellavgrensning mot nord, vest og øst (se kap. 2.3 og 4.2). Vann fra områder rundt trenger i liten grad inn i massene, og det er hovedsakelig nedbør som infiltreres og vasker ut forurensning. Basert på utredninger og vurderinger har man identifisert to hovedløp for sigevann fra deponiet. Dette er gjennom en bekk mot nord og gjennom sedimentasjonsdammen i sør. Det kan ikke utelukkes at det finnes mindre uoppdagede veier for sigevann, men disse vurderes å være hovedløpene. Det vil si at man har en viss kontroll på hvor sigevannet samles opp og ledes ut.

Alle PFAS-konsentrasjoner i jord ligger under dagens normverdi på 100 µg/kg, men det er påvist noen høye PFAS-konsentrasjoner i grunnvannsbrønner på deponiet. Det er også påvist at det foregår noe spredning av PFAS fra deponiet. Av analyserte miljøgifter er det kun PFAS-spredning fra deponiet som vurderes å kunne påvirke miljøet i negativ grad, men dette utgjør

trolig et lite bidrag i det store bildet. Det vil også være andre klare og diffuse kilder som bidrar til forhøyede PFAS-konsentrasjoner i resipienter. Se kap. 4 for nærmere vurderinger.

På Flesland var det estimert en samlet spredning av PFAS på omtrent 700 g/år, der brannøvingsfeltene utgjorde den desidert største kilden. Etter sanering av brannøvingsfeltene ligger det fremdeles jordmasser med PFAS på begge lokalitetene som vil bidra til at PFAS fortsatt spres fra lokalitetene, men spredningen er estimert til å reduseres til hhv. <20 g/år og 30 g/år fra henholdsvis BØF1 og BØF2 (se kap. 4.9.1). Fra Deponi Nord er det beregnet en spredning på 8 g/år via bekk som fører sigevann mot nord. Det er ikke beregnet spredning mot sør, men det kan antas at denne er i omtrent samme størrelsesorden. Bidraget av PFAS-spredning fra Deponi Nord sammenlignet med det som ligger igjen etter oppryddingen av brannøvingsfeltene og andre diffuse kilder er dermed liten.

Sammenlignet med gjenværende PFAS-spredning fra omgivelsene rundt og de sanerte brannøvingsfeltene vurderes deponiets bidrag mot sør mot Langavatnet å være liten og utgjøre mindre risiko. PFAS-forurensning fra deponiet vurderes heller ikke i betydelig grad å påvirke sekundærresipientene Grimstadvfjorden og Raunefjorden. Det ligger boligfelt rett nord for deponiet hvor sigevannet på nordsiden ledes før det ender i Kvernabekken. De fleste boligene som kan påvirkes blir nå tilkoblet kommunal vannledning, og dette fjerner risikoen for inntak av PFAS gjennom drikkevann fra brønner. Dusjing og bading i vannet fra de private brønnene er ikke vurdert å utgjøre en fare, men faren for inntak ved konsum av grønnsaker fra boligområder er ikke utredet.

Oppgraving og bortkjøring vurderes å ha uforholdsmessig høye kostnader og negative klimakonsekvenser sammenliknet med nytteeffekten. I henhold til deponiforskriften kan forurensningsmyndigheten stille krav om topptetting dersom det anses som nødvendig for å forebygge sigevannsdannelse og redusere utslipp av deponigass. Det er ikke behov for å redusere utslipp av deponigass fra Deponi Nord (kap. 4.6), men det er påvist sigevannsdannelse med PFAS. Risikoen utslippene medfører er derimot minimale sammenlignet med andre områder på flyplassen og nytteeffekten av tildekkingstiltakene vurderes å være liten selv om de vil bidra med å isolere PFAS-forurensning fra deponiet.

Det er risikoen for PFAS-spredningen mot boligfeltene som vurderes å være størst, selv om PCA-analyser ikke indikerer at PFAS-sammensetningen ved boligfeltene stammer fra deponiet. Det er likevel påvist en sikker sigevannsvei fra deponiet mot nord. Det vurderes at sigevannsavrenningen på sørsiden mot Langavatnet ikke medfører behov for tiltak sammenlignet med områdene rundt.

Basert på foreliggende vurderinger av hvor mye bidrag massene på Deponi Nord har å si for miljøet rundt vurderes det at trinnvise tiltak vil være den beste måten å løse avviket på, også i en kostnads- og ressursammenheng. Det anbefales derfor at man etablerer en renseløsning i sigevannsbekken på nordsiden (kap. 7.4). Dette vil redusere PFAS-spredning som kommer fra deponiet med avrenning mot nord. Kostnads- og klimamessig er dette også det mest fornuftige av de utredede tiltakene. Rensesystemet vil ha lang levetid og kan fylles på med filtermasser når man ser en reduksjon i effekten.

Dersom man etablerer en renseløsning nord for deponiet må det utarbeides et overvåkingsprogram for å overvåke effekten. Vannprøver kan tas direkte i vannstrømmen før og etter barrieren, og man kan regne ut rensesystemets effekt. Det vil derfor være enkelt å se om denne blir redusert over tid og når vedlikehold blir nødvendig. Det anbefales at det holdes en løpende

dialog med SFVL om tiltaket og at resultatene rapporteres årlig i starten. Dersom man i ettertid ser at dette tiltaket ikke er tilstrekkelig kan man vurdere flere trinn som for eksempel en form for renseløsning på sørsiden, eller eventuelt tildekking.

9 Referanser

- Bergen kommune. (2009). *Brev fra Bergen kommune til Norconsult, datert 05.10.2009. Godkjenning av tiltaksplan. Ref. 200701345/9 KRHA.*
- Bergen kommune. (2010). *Brev fra Bergen kommune til Norconsult, datert 11.03.2010. Rammetillatelse. Gnr 30 Bnr 27. Etablering av massedeponi. Ref. 201000876/5 HAUG.*
- Bergen kommune. (2012). *Brev fra Bergen kommune til Multiconsult, datert 23.08.2012. Godkjenning av tiltaksplan på vilkår. Gnr 109 Bnr 14 m. fl. Bergen lufthavn Flesland. Ref. 201205096/2 KRHA.*
- COWI. (2020). *Fase 3 - PFAS i drikkevann ved Bergen lufthavn - prøvetaking og analyse. Dokumentnr. A129334_1 versjon 01.*
- COWI. (2021). *Avinor - Foreløpig oppsummering av arbeidet knyttet til kartlegging av PFAS i drikkevann ved Bergen lufthavn. Dokumentnr. A129334_1, versjon 1.*
- COWI. (2022a). *Estimerte kostnader for påkobling til offentlig vann for Grimstad/Kvitura boligområde. Dokumentnr. A129334 versjon 02 datert 22.09.2022.*
- COWI. (2022b). *Kartlegging av private drikkevannsbrønner og kommunal vannforsyning med fokus på PFAS - Fase 1. Kristiansund lufthavn, Kvernberget. Rapportnr. RAP_232698_013, datert 05.01.2022.*
- DMR. (2019). *Grunnlagsrapport for videre veiledning - utfordringer ved bygging på nedlagte deponier.*
- FHI. (2018). *FHI. Hentet fra Bygging på gamle avfallsdeponier.*
- FHI. (2020). *Forvaltningsstøtte til Mattilsynet og Miljødirektoratet - Vurdering av PFAS. 25.09.2020. Hentet fra https://www.matportalen.no/matvaregrupper/tema/fisk_og_skalldyr/article57860.ece/BINARY/Folkehelseinstituttet%20-%20vurdering%20PFAS%2025.09.2020*
- FHI. (2021). *Svar på henvendelse om vurdering av PFOS i vann til bading/dusjing. Brev fra FHI til Bergen kommune datert 14. januar 2021.*
- Higgins, C., & Luthy, R. (2006). Sorption of perfluorinated surfactants on sediments. DOI: 10.1021/es061000n. *Environ Sci Technol.*
- Mattilsynet. (2020, 12 02). *Mattilsynet advarer mot å spise fisk og drikke vann fra ferskvann nær flyplasser. Hentet fra <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/mattilsynet-advarer-mot-a-spise-fisk-og-drikke-vann-fra-ferskvann-naer-flyplasser?publisherId=10773547&releaseId=17896845>*
- Miljødirektoratet. (2020). *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota - revidert 30.10.2020.*
- Miljødirektoratet. (2022a). *Pålegg om å gjennomføre tiltak for å rydde opp i PFAS-forurensset grunn på Bergen lufthavn, Flesland, Bergen kommune. Ref.nr. 2021/11501.*
- Miljødirektoratet. (2022b). *Rapport etter tilsyn 10. mai 2022. Referanse 2021/11501 - 2022.0328.miljodir.*
- Miljødirektoratet. (2022c). *Verktøy for å vurdere risiko for menneskers helse fra forurensset grunn. www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/forurensset-grunn/for-naringsliv/forurensset-grunn---kartlegge-risikovurdere-og-gjore-tiltak/risikovurdering-av-forurensset-grunn/. Miljødirektoratet M-2171/2021.*
- Miljøstatus. (2022a, 07 27). *Perfluorerte stoffer (PFOS, PFOA og andre PFAS-er). Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/perfluorerte-stoffer-pfos-pfoa-og-andre-pfas-er/>*
- Miljøstatus. (2022b, 03 07). *Den norske prioritetslista. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/om-prioriterte-miljogifter/>*

- Miljøstatus. (2023). *Perfluorerte stoffer (PFOS, PFOA og andre PFAS-er)*. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/perfluorerte-stoffer-pfos-pfoa-og-andre-pfas-er/>
- Multiconsult. (2009). *Parallellforskyvning av taksebane Yankee, etablering av ny taksebane Whisky og ny avisningsplattform på Bergen lufthavn Flesland. Håndtering av forurenset grunn. Tiltaksplan. Brev til Bergen kommune.* .
- Multiconsult. (2012). *Avinor. Bergen Lufthavn Flesland. Generell tiltaksplan for forurenset grunn. Rapport nr. 613866-1.*
- Multiconsult. (2015). *Bergen lufthavn Flesland. Deponi Nord. Statusrapport september 2015. Dokumentnr. 613005-RIGm-RAP-002.*
- NGI. (2021). *Grunnlagsrapport - Verktøy for å vurdere risiko for menneskers helse fra forurenset grunn. Dokumentnr. 20200490-02-R, rev.nr. 0, datert 10.12.2021.*
- NGU. (2023). *GRANADA - Nasjonal grunnvannsdatabase*. Hentet fra https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/
- Norconsult. (2009). *Flytting av taksebane (yankee) og etablering av ny taksebane (whisky) på Bergen lufthavn. Miljøtekniske grunnundersøkelser. Rapport nr. 5008652-BR-R001-Miljøteknisk rapport.*
- Norconsult. (2010). *Brev fra Norconsult til Bergen kommune, datert 07.01.2010. Søknad om rammetillatelse for massedeponi - Bergen lufthavn Flesland. Rammetillatelse. Gnr 30 Bnr 25. Etablering av massedeponi. Ref. 201000876/5 HAUG.*
- Norconsult. (2017). *"Deponi Nord" - Nordlige del.*
- Norconsult. (2021). *Tiltaksplan for PFAS-forurenset grunn som følge av brannøving - Bergen lufthavn Flesland, Sist nedlagte (BØF1) og gammelt (BØF2) brannøvingsfelt. Dokumentnr. RIM-04-ENBR versjon 05, datert 2021-12-21.*
- Norconsult. (2022). *Kildesporing av per- og polyfluorerte forbindelser (PFAS) - Bergen lufthavn Flesland. Dokumentnr. RIM09-ENBR versjon E03 datert 2022-12-03.*
- Norconsult. (2023a). *Sluttrapport etter opprydding av PFAS-forurenset grunn. Sist nedlagte brannøvingsfelt (BØF1), Bergen lufthavn. Dok.nr. RIM17-ENBR. Versjon E02.*
- Norconsult. (2023b). *Miljøtekniske grunnundersøkelser masselager nord - Sluttrapport fra utførte undersøkelser Bergen lufthavn Flesland. Dokumentnr. RIM12-ENBR-MLN versjon E06, datert 2023-09-14.*
- Norconsult. (2023c). *Overvåkingsprogram etter tiltak med opprydding av PFAS-forurenset grunn. Sist nedlagte (BØF1) og gammelt (BØF2) brannøvingsfelt, Bergen lufthavn. Dok.nr. RIM18-ENBR-1-2.*
- Norconsult og Sweco. (2016). *Kristiansund lufthavn Kvernberget. Undersøkelser av PFAS i jord, vann og biota med risikovurdering.*
- Rådgivende Biologer. (2022). *Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2021-2024. Årsrapport 2022.*
- SFT. (2003). *Veileder til deponiforskriften. TA-1951/2003.*
- Statens Vegvesen. (2022). *VegLCA v5.11B.*
- Sweco og Norconsult. (2016). *Bergen lufthavn - Flesland. Undersøkelser av PFAS i jord, vann og biota med risikovurdering. Versjon J8.*
- Sweco/COWI. (2012). *Miljøprosjekt DP2. Miljøtekniske grunnundersøkelser Kristiansund lufthavn Kvernberget. Avinor.*

10 Vedlegg

1 Foto utlegging subbus 2018

2 Klimagassberegninger

3 Beregning PFAS i umettet sone

Vedlegg 1

Foto fra utlegging av subbus i 2018

















Vedlegg 2

Klimagassberegninger

Antatt volum for løse masser					ransport (tonn CO ₂)	
Oppgraving med tilbakeføring av masser	A1	A3	A4	A5	Perpetuum	Raudsand
Felt 3						
Masser ut	kg CO ₂	kg CO ₂	kg CO ₂		5223	1741
Tilsvarende masser inn	615503	1604995	142955			
Felt 7						
Masser ut				76238	2414	805
Tilsvarende masser inn	328246	855939	76238			
Felt 9						
Masser ut				255579	5292	1764
Tilsvarende masser inn	550204	2869443	255579			
Totalt tonn CO ₂	1494	5330	950			
Samlet A1-A5 (tonn CO ₂)		7774				
Transport Perpetuum	12929				20703	
Transport Raudsand	4310				12084	

kun 50%

Antatt volum for løse masser og uten tilbakelegging					ransport (tonn CO ₂)	
Oppgraving uten tilbakeføring av masser	A1	A3	A4	A5	Perpetuum	Raudsand
Felt 3						
Masser ut	kg CO ₂	kg CO ₂	kg CO ₂		5223	1741
Tilsvarende masser inn			142955			
Felt 7						
Masser ut				76238	2414	805
Tilsvarende masser inn						
Felt 9						
Masser ut				255579	5292	1764
Tilsvarende masser inn						
Totalt tonn CO ₂	0	0	475			
Samlet A1-A5 (tonn CO ₂)		475				
Transport Perpetuum	12929				13404	
Transport Raudsand	4310				4784	

Fullstendig tildekking	A1-A3	A4	A5
Felt 3 (Felt 5), Felt 7 og Felt 9	kg CO ₂	kg CO ₂	kg CO ₂
Beskyttelse 1	34812	90777	2132
Beskyttelse 2	52218	136165	18198
Topplekke	52218	136165	18198
Membran HDPE	13180	178	
Membran Bentonitt	132370	1337	
Totalt tonn CO ₂	284,8	364,6	48,5
Samlet A1-A5 (tonn CO ₂) bransjestandard	698		

Delvis Tildekking	A1-A3	A4	A5
Felt 3 (Felt 5), Felt 7 og Felt 9	kg CO ₂	kg CO ₂	kg CO ₂
Beskyttelse 1	15722	40996	15575
Beskyttelse 2	23582	61494	23362
Topplekke	23582	61494	23362
Membran HDPE	5952	80	
Membran Bentonitt	59780	604	
Totalt tonn CO ₂ (bransjereferanse betong	128,6	164,7	62,3
Samlet A1-A5 (tonn CO ₂) bransjestandard	356		

Renseløsning	A1-A3	A4	A5
Felt 3 (Felt 5), Felt 7 og Felt 9	kg CO ₂	kg CO ₂	kg CO ₂
Aktivt kull			
Sand	54000	61494	738
HDPE-membran	13426	182	
Bentonittmembran	134847	1362	
Beskyttelse	35464	80413	25887
Avretting	365	21	
Tildekking i skråning	168	382	123
Totalt tonn CO ₂ (bransjereferanse betong	238,3	143,9	26,7
Samlet A1-A5 (tonn CO ₂) bransjestandard	409		

Forutsetninger deponi

	Tetthet (kg/r pam ³)	ulm ³	pfm ³	Volum (m ³) faste masser	Volum løse masser (m ³)	Areal (m ²)	Tonn
Felt 3 (Felt 5)	1500	0,95	1,15	1,0	109 620	126 063	14 800
Felt 7	1300	0,95	1,15	1,0	58 460	67 229	5 430
Felt 9	1700	0,67	1,8	1,0	125 210	225 378	12 350
Sum					293 290	418 670	32 580

Forutsetninger anleggsarbeid	enhet	
Gravemaskin	0,26	ldiesel/m ³
Hjullaster	0,09	ldiesel/m ³
Utgraving og planering av steinmasser	1,1	liter diesel/lm ³
Anleggsdiesel	3,24	kg CO ₂ /diesel

Forutsetninger transport	enhet	
Transport leker	0,01841514	kg CO ₂ /tkm
Materialtransport	0,1642799	kg CO ₂ /tkm
Massetransport (diesel for veitransport)	0,05280012	kg CO ₂ /tkm
Perpetuum	1500	km
Raudsand	500	km
Masselager	50	km
Pukkverk	50	km

Forutsetninger materialer	enhet	
Grus/pukk	0,00315	kg CO ₂ /kg
Grus/pukk	1550	kg/m ³
Membran HDPE	0,60736362	kg CO ₂ /kg
Membran HDPE	0,038	kg CO ₂ /tkm
Membran HDPE	0,7	kg/m ²
Membran Bentonitt	5,25	kg/m ²
Membran Bentonitt	4,27	kg CO ₂ /m ²
Tetthet betong	2400	kg/m ³
Sand	187,5	kg CO ₂ /tonn

[Bentomat bentonittmembran \(tyvqros.com\)](#)
[sod-bentomat.pdf \(tyvqros.com\)](#)

Forutsetninger tildekking	Tykkelse (m)	
Topplekke	0,3	
Beskyttelse	0,3	
HDPE-membran	0,0015	
Beskyttelse	0,2	
Areal sprøytebetong	0	m ²
Massetransport (diesel for veitransport)	0,05280012	
Areal tildekking	31000	m ²

Forutsetninger delvis tildekking	Tykkelse (m)	
Topplekke	0,3	
Beskyttelse	0,3	
HDPE-membran	0,0015	
Beskyttelse	0,2	
Tykkelse betong	0,5	
Massetransport (diesel for veitransport)	0,05280012	kg CO ₂ /tkm
Sprøytebetong, B35, Bransjereferanse	330	kg CO ₂ /m ³
Sprøytebetong, B35, Lavkarbon	280	kg CO ₂ /m ³
Sprøytebetong, B35, Bransjereferanse, med tilsetning	347,32	kg CO ₂ /m ³
Sprøytebetong, B35, Lavkarbon, med tilsetning av st	297,32	kg CO ₂ /m ³
Utsprøyting av sprøytebetong	5,645	liter diesel/m ³

Tabel 5-1: Mengdeberegninger for PFAS i Felt 3, 7 og 9 i Masselager nord

Parameter	Enhet	Felt 3	Felt 7	Felt 9	Kommentar
Volum	m ³	108020	88460	125210	Oppgitt i rapport utarbeidet av Mulikonsult «Deponi Nord. Statusrapport september 2015» [9]
Antall prøver		40	55	37	Analysert prøver som ligger til grunn for beregning av gjennomsnittskonentrasjon
Andel finstoff (<20 mm)	%	40	80	50	Gjort anslått basert på beregninger
Gjennomsnittskonentrasjon (PFAS inkl. % LOQ *)	µg/kg	9	17	6	Basert på analyserte løsningsprøver
Eigenvekt	kg/m ³	1500	1000	1300	Gjort anslått basert på beregninger
Mengde PFAS	kg	0,8	0,8	0,5	

* Beregnet gjennomsnittskonentrasjon av PFAS inkl. % LOQ (µg/kg) for alle de analyserte løsningsprøvene fra hvert dekket.

Areal delvis tildekking	14 000	m ²
Areal som må planeres	19 000	m ²

Forutsetninger renseløsning	tykkelse	m ²	m ³	tonn			
Aktivt kull			180		Sand	EPDnr	A1-A3
Sand			180	288	Tørresand 0,0-6,0 mm, Se NEPD-3143-1787-NO		Enhet
HDPE-membran	0,0015	31580	47,37		Vasket sand og grus, pro NEPD-5114-4	1,5E-01	kg CO ₂ /tonn
Bentonittmembran		31580			Sand- og grusmasser, pr NEPD-5112-4	2,3E-01	kg CO ₂ /tonn
Beskyttelse	0,2		6316				
Avretting			1,05		Gjennomsnitt	1,9E-01	kg CO ₂ /tonn
Tildekking i skråning			30				

	g/m ²	ulm ³	pm ³
Tunnellvask og ferskingsvask	0,67	1,22	1,02
Drivspenningsvask	0,71	1,14	1,02
Morske sand grus	0,91	1,05	1,02
I alle alt	0,95 (1,02)	1,12	1,02

	g/m ²	ulm ³	pm ³
Tunnellvask og ferskingsvask	1,03	1,80	1,50
Utdrag og pumpevask	1,03	1,80	1,50
Morske sand grus	1,03	1,25	1,10
I alle alt	1,03	1,15	1,25 (1,20)

Vedlegg 3

Beregning av PFAS i umettet sone

							Sum PFAS inkl. 1/2 LOG							
							Sum PFAS inkl. 1/2 LOG							
Prøve F7	Kommentar	Grunnvann	Grunnvann m. oh.	Høyde m. oh.	Prøvermerking	Prøvermerking 2	µg/kg TS	Gj.snitt PFAS	Areal mettet sone	Høyde mettet sone	Volum mettet sone	kg PFAS mettet sone	Prosent av total PFAS i felt	
BO1	Stein/mineralsk på 9 m. Antatt fjell på 11,5 m.	15,6	51	66,6	ENBR-F7-BO1	1:0-150	9	organiske m	0	0	0	0	0	
					ENBR-F7-BO1	2:150-300	7,4							
					ENBR-F7-BO1	3:600-750	18							
					ENBR-F7-BO1	4:750-825	11							
					ENBR-F7-BO1	5:825-900	3,7							
BO10	Antatt fjell på 11 m.	12,5	53,5	66	ENBR-F7-BO10	2:150-300	10		0	0	0	0	0	
					ENBR-F7-BO10	4:450-550	11							
					ENBR-F7-BO10	6:750-900	8							
					ENBR-F7-BO10	8:1050-1100	11							
					ENBR-F7-BO11	1:0-150	15							
BO11	Antatt sprensteinsvoll over fjell på 13,5 m.	13	53	66	ENBR-F7-BO11	2:150-300	10		0	0	0	0	0	
					ENBR-F7-BO11	3:300-450	14							
					ENBR-F7-BO11	4:450-600	12							
					ENBR-F7-BO11	5:600-750	100							
					ENBR-F7-BO11	6:750-900	37							
					ENBR-F7-BO11	7:900-1050	29							
					ENBR-F7-BO13	2:150-300	14							
BO13	Stein eller fjell på 10,5 m.	10	57	67	ENBR-F7-BO13	5:600-750	12	13	400	0,5	200	0,00208	0,260425	
					ENBR-F7-BO13	7:900-1050	13							
					ENBR-F7-BO2	1:0-150	12							
BO2	Antatt steinvoll på 6-6,5 m.	14	53	67	ENBR-F7-BO2	2:150-300	12		0	0	0	0	0	
					ENBR-F7-BO2	4:450-600	15							
					ENBR-F7-BO3	1:0-150	8,7							
BO3	Tom bor på 6 m.	14	54	68	ENBR-F7-BO3	2:150-300	4,9		0	0	0	0	0	
					ENBR-F7-BO3	4:450-600	7							
					ENBR-F7-BO4	2:150-300	9,1							
BO4	Stein og organiske masser med PFAS <11 fra 12 m. Antatt fjell på 17 m.	14	53	67	ENBR-F7-BO4	4:450-600	18		0	0	0	0	0	
					ENBR-F7-BO4	6:750-900	11							
					ENBR-F7-BO4	8:1050-1200	16							
					ENBR-F7-BO4	10:1350-1500	11							
					ENBR-F7-BO5	2:150-300	14							
BO5 (F7-BR12)	Sprengstein på 15 m og antatt fjell på 16 m.	10,5	55,5	66	ENBR-F7-BO5	3:300-450	38		550	5,5	3025	0,02904	3,635938	
					ENBR-F7-BO5	4:450-600	41							
					ENBR-F7-BO5	6:750-900	12							
					ENBR-F7-BO5	10:1350-1500	12							
					ENBR-F7-BO6	1:0-150	19							
BO6	Organiske masser ned til 18 + m.	13,1	52,5	65,6	ENBR-F7-BO6	2:150-300	11		550	5	2750	0,0308	3,856298	
					ENBR-F7-BO6	3:300-450	9,9							
					ENBR-F7-BO6	4:450-600	13							
					ENBR-F7-BO6	5:600-750	43							
					ENBR-F7-BO6	6:750-900	52							
					ENBR-F7-BO6	7:900-1050	19							
					ENBR-F7-BO6	8:1050-1200	17							
					ENBR-F7-BO6	9:1200-1350	18							
					ENBR-F7-BO6	10:1350-1500	14							
					ENBR-F7-BO6	11:1500-1650	14							
BO7 (F7-BR11)	Antatt fjell på 12,5 m.	10	57	67	ENBR-F7-BO7	1:0-150	3,6	14	400	2,5	1000	0,03392	4,246936	
					ENBR-F7-BO7	3:300-450	7,8							
					ENBR-F7-BO7	5:600-750	21							
					ENBR-F7-BO7	7:900-1050	21							
					ENBR-F7-BO7	8:1050-1200	20							
BO9	Antatt fjell på 7,2 m.	12	55	67	ENBR-F7-BO7	9:1200-1240	4,2		0	0	0	0	0	
					ENBR-F7-BO9	1:0-150	13							
					ENBR-F7-BO9	3:300-450	19							
					ENBR-F7-BO9	4:600-730	7,9							

						Sum PFAS inkl. ½ LOQ							
						Sum PFAS inkl. ½ LOQ							
Prøve F3	Kommentar	Grunnvann	Grunnvann m. oh.	Høyde m. oh.	Prøvemerkning	Prøvemerkning 2	µg/kg TS	Gj.snitt PFAS	Areal mettet sone	Høyde mettet sone	Volum mettet sone	kg PFAS mettet sone	Prosent av total PFAS i felt
BO3 (F3-BR15)	Mineralske masser på 16 m.	15	50	65	ENBR-F3-BO3	1:0-60	7,4		1500	1	1500	0,010043	1,996296
					ENBR-F3-BO3	2:60-110	3,7						
					ENBR-F3-BO3	3:300-450	3,9						
					ENBR-F3-BO3	3:450-600	27						
					ENBR-F3-BO3	4:900-1050	6,6						
					ENBR-F3-BO3	5:1350-1500	6,2						
					ENBR-F3-BO3	6:1500-1550	17	10,3					
					ENBR-F3-BO3	7:1550-1580	3,6						
BO5	Antatt fjell på 13,5 m.	11,5	55,5	67	ENBR-F3-BO5	1:0-50	7,1		0	0	0	0	0
					ENBR-F3-BO5	2:50-150	3,6						
					ENBR-F3-BO5	3:150-300	3,7						
					ENBR-F3-BO5	4:600-750	6,5						
					ENBR-F3-BO5	5:750-900	6,5						
BO6	Antatt fjell på 11 m.	12	56	68	ENBR-MLF3-BO6	1: 0-100	5,6		0	0	0	0	0
					ENBR-MLF3-BO6	2:300-450	4,1						
					ENBR-MLF3-BO6	3:450-560	24						
					ENBR-F3-BO6	4:600-660	4,3						
					ENBR-F3-BO6	5:900-1050	7						
BO7	Antatt gjell på 3,5 m.	11	55	66	ENBR-F3-BO6	6:1050-1120	15		0	0	0	0	0
					ENBR-F3-BO7	1:0-150	4,4						
BO8	Antatt fjell på 12,5 m.	13	53	66	ENBR-F3-BO7	2:320-345	3,6		0	0	0	0	0
					ENBR-F3-BO8	1:0-150	5,7						
					ENBR-F3-BO8	2:450-600	36						
BO9	Antatt fjell på 14 m. Sprengstein uten finstoff fra 10,5 m.	13	55	68	ENBR-F3-BO8	3:600-750	10		0	0	0	0	0
					ENBR-F3-BO9	1:0-80	5,8						
					ENBR-F3-BO9	2:150-300	3,6						
					ENBR-F3-BO9	3:300-450	3,9						
					ENBR-F3-BO9	5:600-750	9,4						
BO11	Antatt fjell på 6 m.	12,5	54,5	67	ENBR-F3-BO9	6:900-1050	3,6		0	0	0	0	0
					ENBR-MLF3-BO11	1:0-50	15						
					ENBR-MLF3-BO11	2:50-100	3,6						
					ENBR-MLF3-BO11	5: 450-550	6,6						