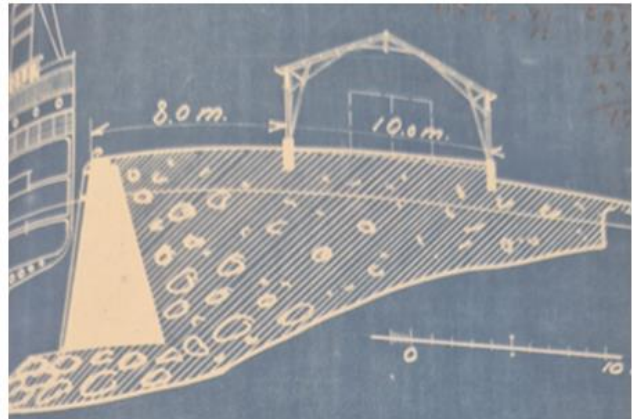


BERGEN KOMMUNE

# TILTAKSPLAN FOR FORURENSET SJØBUNN I VÅGEN, BERGEN

VERSJON REV03, DESEMBER 2025





## Dokumentinformasjon

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                  |                     |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Tittel:                          | Tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Vågen, Bergen<br>Versjon rev03, desember 2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                  |                     |
| COWI-kontor:                     | Bergen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                  |                     |
| Oppdrag nr.:                     | A243166                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Rapportnummer                    | A243166-2025-12     |
| Utgivelsesdato:                  | 8.12.25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Antall sider:                    | 125                 |
| Tilgjengelighet:                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Antall vedlegg:                  | 1                   |
| Utarbeidet:                      | AVSU, AMG, EIST,<br>GEDM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                  |                     |
| Kontrollert:                     | ARMI, BCKV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                  |                     |
| Godkjent:                        | BCKV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                  |                     |
| Oppdragsgiver:                   | Bergen kommune                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Oppdragsgivers<br>kontaktperson: | Anne Christine Knag |
| Stikkord:                        | Miljøgifter, tiltaksplan, mudring, tildekking, miljømål, kontroll- og<br>overvåkning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                  |                     |
| Forsidefoto                      | COWI AS og Bergen Havn AS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                  |                     |
| Versjon rev01<br>(oktober 2023)  | Tiltaksplanen er oppdatert med avsnitt 3.1.7 som beskriver undersøkelsen<br>foran kaifronter i Vågen gjennomført i 2023.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                  |                     |
| Versjon rev02<br>(desember 2024) | Hele tiltaksplanen er revidert for å reflektere status for tiltaksplanleggingen per<br>desember 2024. Størst endring er gjort i avsnitt 3.1 Miljøgifter i sediment, 3.6<br>Risikovurdering, 4.5 Mengde miljøgifter, 5.4 Anbefalt tiltaksløsning, 5.5<br>Klimagassbudsjett, 5.7.5 Nærliggende forurensete sjøområder, 6.1 Marine<br>kulturminner, 6.5 Geoteknisk stabilitet, 6.9 Plan for info og medvirkning og 8<br>Budsjett og fremdriftsplan. |                                  |                     |
| Versjon rev03<br>(desember 2025) | Hele tiltaksplanen er revidert for å reflektere status for tiltaksplanleggingen per<br>desember 2025. Størst endring er gjort i avsnitt 3.1.2 Kjerneprøver, 3.1.8 Farlig<br>avfall, kapittel 5 Tiltaksvurdering og 6 Tiltaksrettede undersøkelser, avsnitt 7.4<br>Miljøriskovurdering og 8.2 Fremdriftsplan.                                                                                                                                     |                                  |                     |

# INNHOOLD

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Sammendrag                                                     | 4  |
| 1 Bakgrunn for tiltaksplanen                                   | 5  |
| 2 Områdebeskrivelse                                            | 6  |
| 2.1 Tiltaksområdet                                             | 6  |
| 2.2 Topografi og bunnforhold                                   | 7  |
| 2.3 Forurensningskilder                                        | 9  |
| 2.4 Områdets bruksverdi                                        | 11 |
| 2.5 Kaier og kaifronter                                        | 11 |
| 2.6 Kommunedelplan/reguleringsplan                             | 13 |
| 2.7 Naturmangfold                                              | 13 |
| 2.8 Vannforekomst                                              | 15 |
| 2.9 Advarsel mot inntak av sjømat                              | 17 |
| 2.10 Kulturminner i sjø                                        | 17 |
| 3 Forurensningstilstand                                        | 20 |
| 3.1 Miljøgifter i sediment                                     | 20 |
| 3.2 Toksisitet                                                 | 49 |
| 3.3 Redoks (Eh)                                                | 50 |
| 3.4 Metallsulfider (SEM/AVS)                                   | 51 |
| 3.5 Bioakkumulasjon                                            | 53 |
| 3.6 Risikovurdering                                            | 54 |
| 4 Miljømål                                                     | 56 |
| 4.1 Overordnet miljømål for Bergen havn                        | 56 |
| 4.2 Miljømål for tiltak i Vågen                                | 56 |
| 4.3 Tiltaksmål for tiltak i Vågen                              | 57 |
| 4.4 Bruk og tilstand etter tiltak                              | 57 |
| 4.5 Mengde miljøgifter som håndteres og fjernes fra omløp      | 57 |
| 5 Tiltaksvurdering                                             | 59 |
| 5.1 Null-alternativet                                          | 59 |
| 5.2 Mudring                                                    | 60 |
| 5.3 Tildekking                                                 | 60 |
| 5.4 Anbefalt tiltaksløsning                                    | 78 |
| 5.5 Disponeringsløsning mudringsmasser                         | 81 |
| 5.6 Klimagassbudsjett                                          | 81 |
| 5.7 Vurdering av avbøtende tiltak for å verne om naturmangfold | 82 |
| 5.8 Risiko for rekontaminering etter tiltak                    | 82 |
| 6 Tiltaksrettede undersøkelser                                 | 91 |
| 6.1 Marine kulturminner                                        | 91 |
| 6.2 Ledninger                                                  | 94 |
| 6.3 Kabler                                                     | 98 |
| 6.4 Dybdekartlegging                                           | 99 |

|      |                                                       |     |
|------|-------------------------------------------------------|-----|
| 6.5  | Kartlegging av sjøbunnen ved Ballastbryggen           | 100 |
| 6.6  | Kartlegging av skrot                                  | 102 |
| 6.7  | Geoteknisk stabilitet                                 | 103 |
| 6.8  | Tildekkingsmasser                                     | 104 |
| 6.9  | Sannsynlighet for å finne eksplosiver (UXO)           | 104 |
| 6.10 | Filming av før-situasjonen på sjøbunnen               | 105 |
| 6.11 | Plan for informasjon og medvirkning for interessenter | 106 |
| 6.12 | Havnedrift i anleggsfasen                             | 107 |
| 6.13 | Riggområde                                            | 109 |
| 7    | Kontroll og overvåkning                               | 110 |
| 7.1  | Miljøeffekt ved tiltak på kort og lang sikt           | 110 |
| 7.2  | Kartlegging av før-tilstanden                         | 111 |
| 7.3  | Miljøriskovurdering for anleggsfasen                  | 113 |
| 7.4  | Overvåking av tiltak, beredskap og avbøtende tiltak   | 114 |
| 7.5  | Sluttkontroll og rapportering av tiltaket             | 116 |
| 7.6  | Overvåking etter tiltak                               | 116 |
| 8    | Budsjett og fremdriftsplan                            | 117 |
| 8.1  | Budsjett for tiltaket                                 | 117 |
| 8.2  | Fremdriftsplan                                        | 118 |
| 9    | Konklusjon og anbefaling                              | 118 |
| 10   | Referanser                                            | 120 |
| 11   | Vedlegg                                               | 125 |

## Sammendrag

Bergen havn er et av 17 kyst- og fjordområder i Norge som er prioritert med tanke på opprydding i forurensset sjøbunn. Som del av prosjektet "Renere Havn Bergen" i regi av Bergen kommune, er det utført kartlegginger som har påvist at sjøbunnen i Vågen er sterkt forurensset av tungmetaller og organiske miljøgifter. En risikovurdering konkluderte med at det er en uakseptabel risiko for spredning av miljøgifter og negative effekter på økologi og human helse ved dagens miljøtilstand.

Denne rapporten beskriver en plan for tiltak mot forurensset sjøbunn i Vågen. Tiltaksområdet utgjør ca. 275 000 m<sup>2</sup>. På bakgrunn av tiltaksvurderingen foreslås det følgende valg av metode for opprydding av forurensset sjøbunn i Vågen. Tiltaksløsningen må detaljeres nærmere i detaljprosjekteringsfasen.

- › Skrotrydding i hele tiltaksområdet (ca. 275 000 m<sup>2</sup>)
- › Mudring (fjerning) av forurensede sedimenter for å beholde dagens seilingsdyp i et areal på ca. 12 000 m<sup>2</sup>. Mengde mudringsmasse er estimert til ca. 8 500 m<sup>3</sup>.
- › Tildekking av forurensede sedimenter i et areal på ca. 245 000 m<sup>2</sup> med 40 cm TBM-masser eller velgradert 0-32 eller 0-64 mm masser. Mengde tildekkingsmasse er estimert til ca. 95 000 m<sup>3</sup>.
- › Erosjonssikring i et areal på ca. 188 000 m<sup>2</sup> med 20-120 og 50-200 mm masse. Total mengde erosjonssikringsmasse er estimert til ca. 40 000 m<sup>3</sup>. I tillegg anbefales betongmadrasser som erosjonssikring foran noen få kaier.

Tiltaket mot forurensset sjøbunn i Vågen er et av flere tiltak som skal bidra til at vannforekomsten "Byfjorden indre del" skal oppnå Vannforskriftens generelle miljømål om minst "god" økologisk og kjemisk tilstand.

I henhold til veileder M-350/2015 vil man etter tiltak kunne akseptere konsentrasjoner av miljøgifter tilsvarende tilstandsklasse III for områder hvor landbaserte forurensningskilder ikke er stoppet, noe som er tilfelle for Vågen. Det er imidlertid et overordnet mål for Renere Havn Bergen å redusere ny tilførsel av forurensning i størst mulig grad.

En beregning ved bruk av veileder M-831/2017 viser at tildekkingen i Vågen vil fjerne totalt 15 423 kg bly, 180 kg kvikksølv, 1 865 kg PAH-16 og 7 kg PCB fra omløp i miljøet. I tillegg kommer forurensningen som fjernes ved mudring.

Før oppstart av tiltaket må det gjennomføres en marinarkeologisk undersøkelse i henhold til vilkår for dispensasjon fra kulturminneloven. Det må også gjøres enkelte tiltaksforberedende undersøkelser/vurderinger som for eksempel kartlegging av skrot.

Det er planlagt en rekke aktiviteter for å sikre tilstrekkelig informasjon til alle interessenter, og planleggingsarbeidet foregår i tett dialog med Bergen Havn for å sikre tilstrekkelig seilingsdyp etter tiltak og en smidig anleggsgjennomføring.

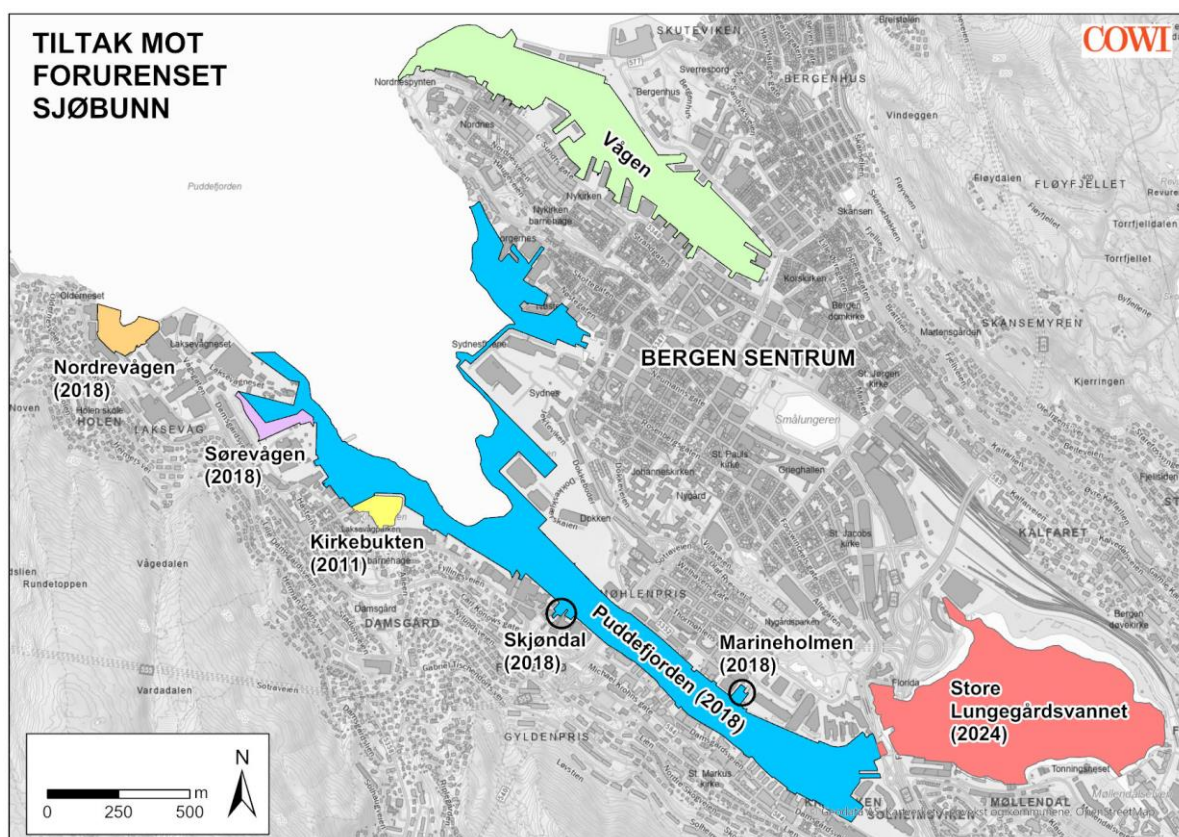
Finansieringen av tiltaket er ikke avklart, og tidspunkt for gjennomføring av tiltaket er dermed ikke fastlagt. Det planlegges for oppstart av den marinarkeologiske undersøkelsen i 2026 og estimeres at selve miljøtiltaket tidligst kan starte i 2027.

# 1 Bakgrunn for tiltaksplanen

Bergen havn er et av 17 kyst- og fjordområder i Norge som er prioritert med tanke på opprydding i forurenset sjøbunn (Stortingsmelding nr. 14, 2006-2007). Som del av prosjektet "Renere Havn Bergen" i regi av Bergen kommune er det blitt utført kartlegginger av forurensningssituasjonen i Bergen havn. Kartleggingene viste svært høye nivåer av tungmetaller og organiske miljøgifter både i Vågen, Puddefjorden og Store Lungegårdsvannet, og risikovurderinger av alle områdene påviste risiko for spredning av miljøgifter og negative effekter på økologi og human helse (COWI, 2014a; COWI, 2015a; COWI, 2016a). På bakgrunn av dette vedtok Bergen bystyre å gjennomføre tiltak mot forurenset sjøbunn i havneområdet (Bergen kommune, Bystyre saksnr. 53-13, 2013).

Tiltak mot forurenset sjøbunn i delområdene Puddefjorden og Store Lungegårdsvannet ble ferdigstilt i henholdsvis 2018 og 2024 (Figur 1). Det er også gjennomført tiltak mot forurenset sjøbunn i Nordrevågen og Søreivågen i regi av henholdsvis Forsvarsbygg og Marin eiendomsutvikling AS. Kirkebukten ble tildekket i 2011 i regi av Renere Havn Bergen som del av et pilotforsøk med uttesting av ulike tildekkingsmasser.

Denne rapporten beskriver de planlagte oppryddingstiltakene i Vågen og utgjør en del av søknad etter Forurensningsloven til Statsforvalteren om tillatelse til tiltak mot forurenset sjøbunn i dette området. Tiltaksplanen er utarbeidet i henhold til retningslinjer gitt i Miljødirektoratets M-325/2015 (Miljødirektoratet, 2015a). Denne reviderte versjonen av tiltaksplanen reflekterer status for tiltaksplanleggingen per desember 2025.



Figur 1 Oversikt over tiltaksområder i Bergen havn. Tiltak mot forurenset sjøbunn er gjennomført i Kirkebukten, Puddefjorden, Nordrevågen, Søreivågen og Store Lungegårdsvannet.

## 2 Områdebeskrivelse

### 2.1 Tiltaksområdet

Vågen ligger i Bergen sentrum og er omkranset av bybebyggelse og kaier (Figur 1 og Figur 2). Tiltaksområdet har et areal på ca. 275 000 m<sup>2</sup> og er avgrenset av 20 m dybdekoten i den ytre delen av Vågen. Sjøarealet rundt en badeplass ytterst på Nordnes i nordvest er også inkludert i tiltaksområdet. Vågen er en travel havn og et viktig element i bybildet.



Figur 2 Oversiktskart Vågen (foto: [www.brann.no](http://www.brann.no), [www.panoramico.com](http://www.panoramico.com)).

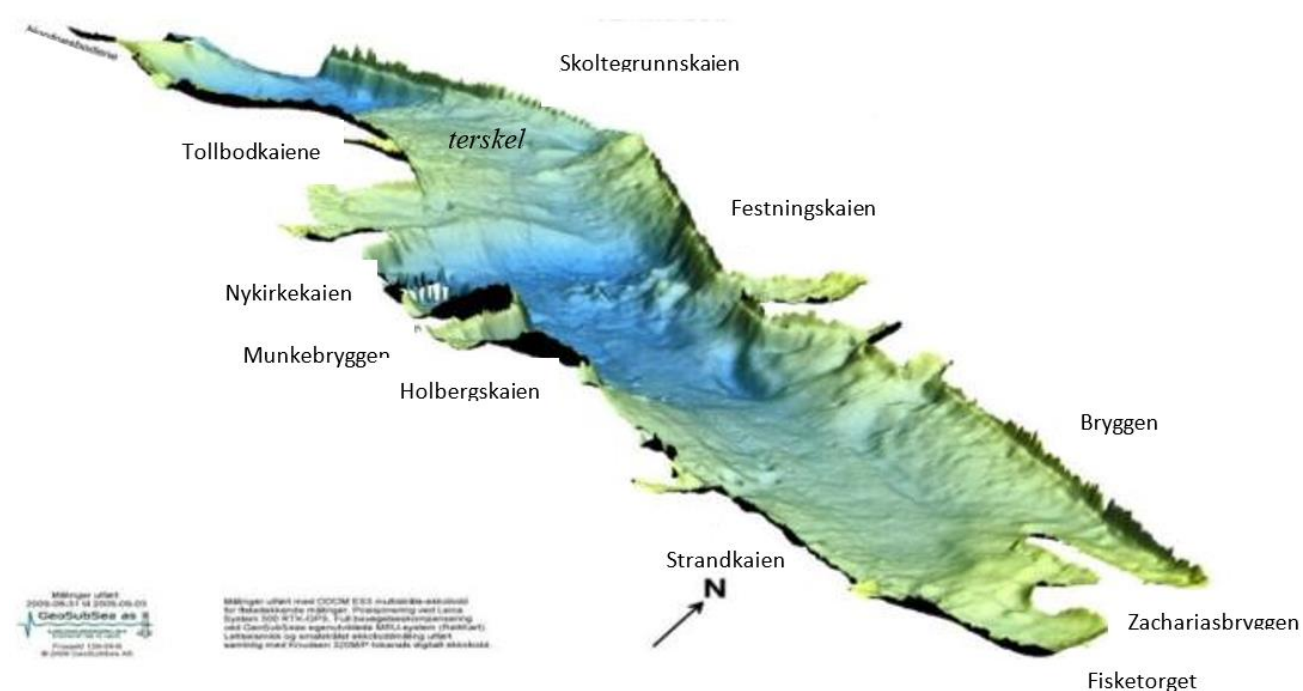
## 2.2 Topografi og bunnforhold

Vågen er en 1,3 km lang terskelfjord. En terskel med ca. 9 m dybde skiller det indre fjordbassenget fra de ytre delene av Vågen. En 3-D modell av bunntopografien i Vågen er vist i Figur 3. Dybdene varierer mellom 3 meter ved de grunneste kaifrontene til ca. 17 meter i det dypeste bassenget rett innenfor terskelen.

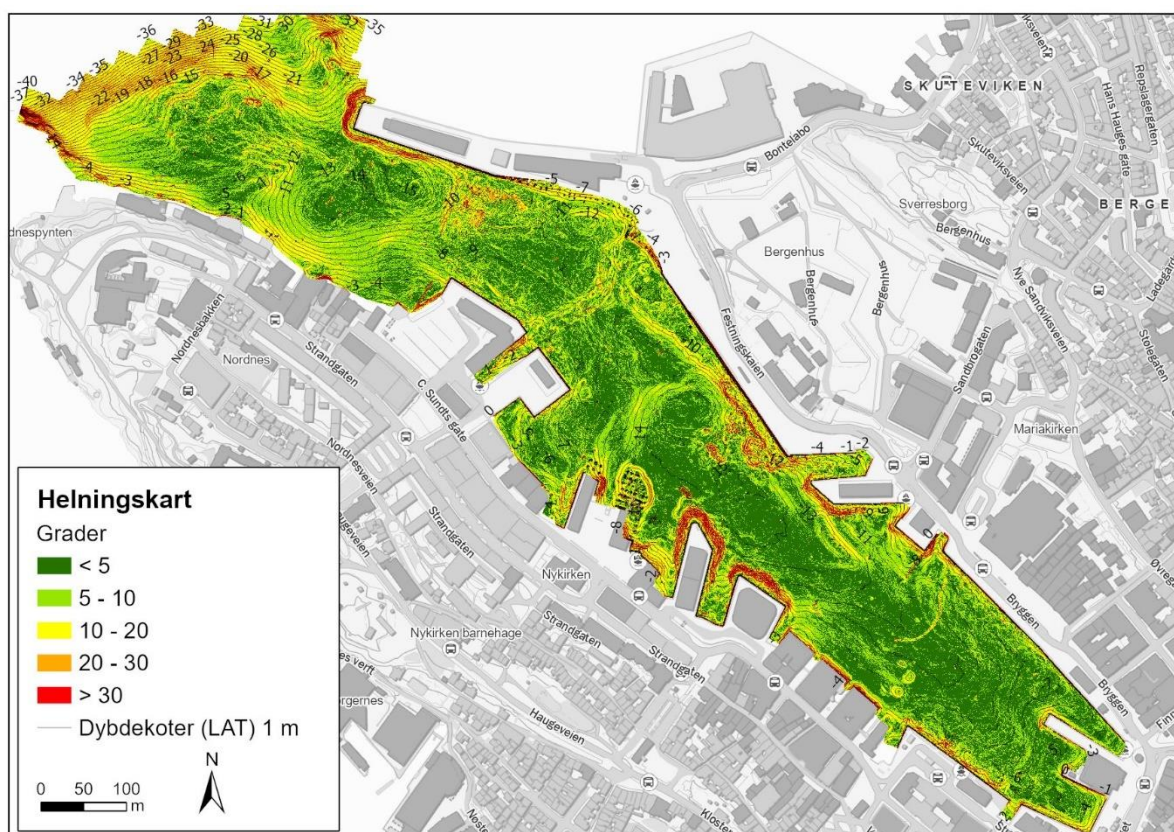
Størstedelen av sjøbunnen i Vågen har helning under 5 grader (Figur 4). Skråningene opp mot terskelen har hovedsakelig helning mellom 5 og 10 grader, med enkelte mindre områder med helning opp til 15 grader. Skråninger brattere enn 15 grader finnes i områdene langs flere kaifronter og særlig utenfor Holbergskaien, Munkebryggen og Skoltegrunnskaie.

Figur 5 viser en oversikt over relativ hardhet av sjøbunnen i Vågen. Figuren viser at størstedelen av det indre fjordbassenget har relativt bløt sjøbunn med mye finstoff. Også i deler av området rett utenfor terskelen har sjøbunnen et høyt innhold av finstoff. På terskelen og langs de fleste kaiene er sjøbunnen hardere med mer sandige og grove sedimenter.

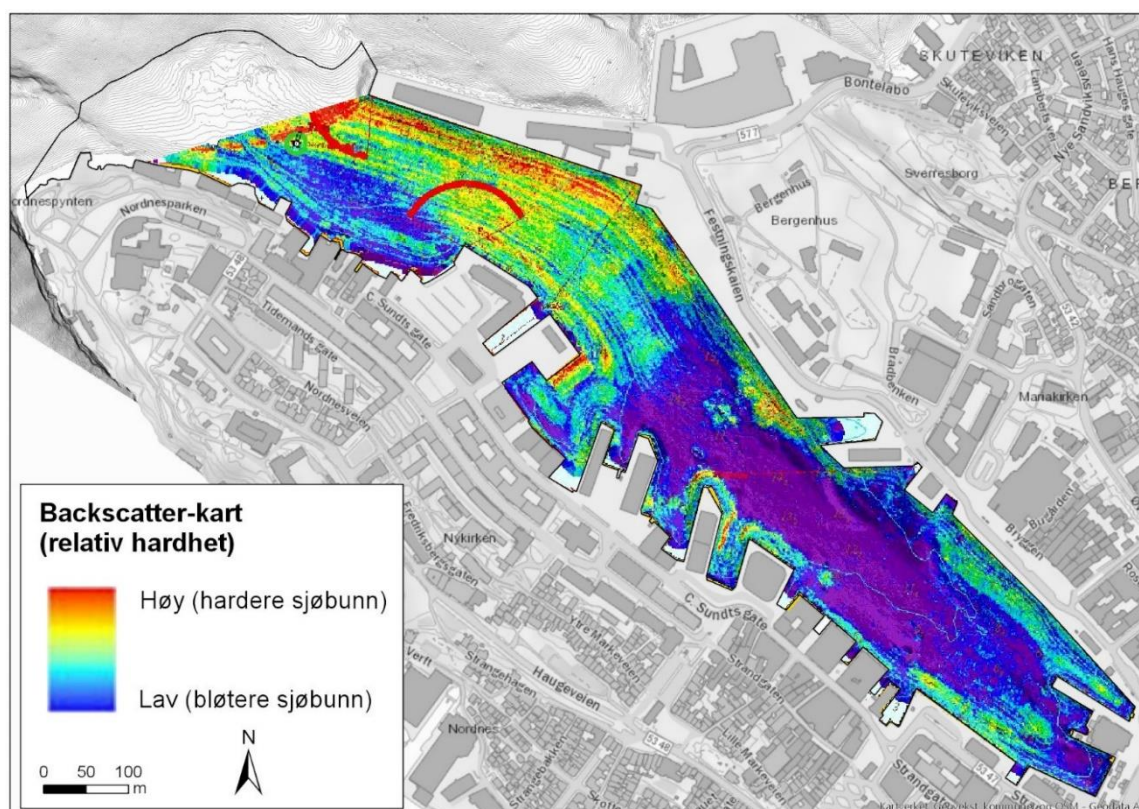
Ingen elver eller bekker av betydning har utløp til Vågen.



Figur 3 3-D modell som viser bunntopografien i Vågen (GeoSubSea AS, 2009). Blå farge markerer de dypeste områdene på begge sider av terskelen.



Figur 4 Kart som viser helningen på sjøbunnen i tiltaksområdet (Nearshore Survey AS, 2025).



Figur 5 Backscatter-kart som viser relativ hardhet av sjøbunnen i Vågen (Argus Survey AS, 2010) (de to røde halvsirkelene i den ytre delen av området og den røde stripen i den midtre delen av området er ikke reelle og kan sees bort i fra).

## 2.3 Forurensningskilder

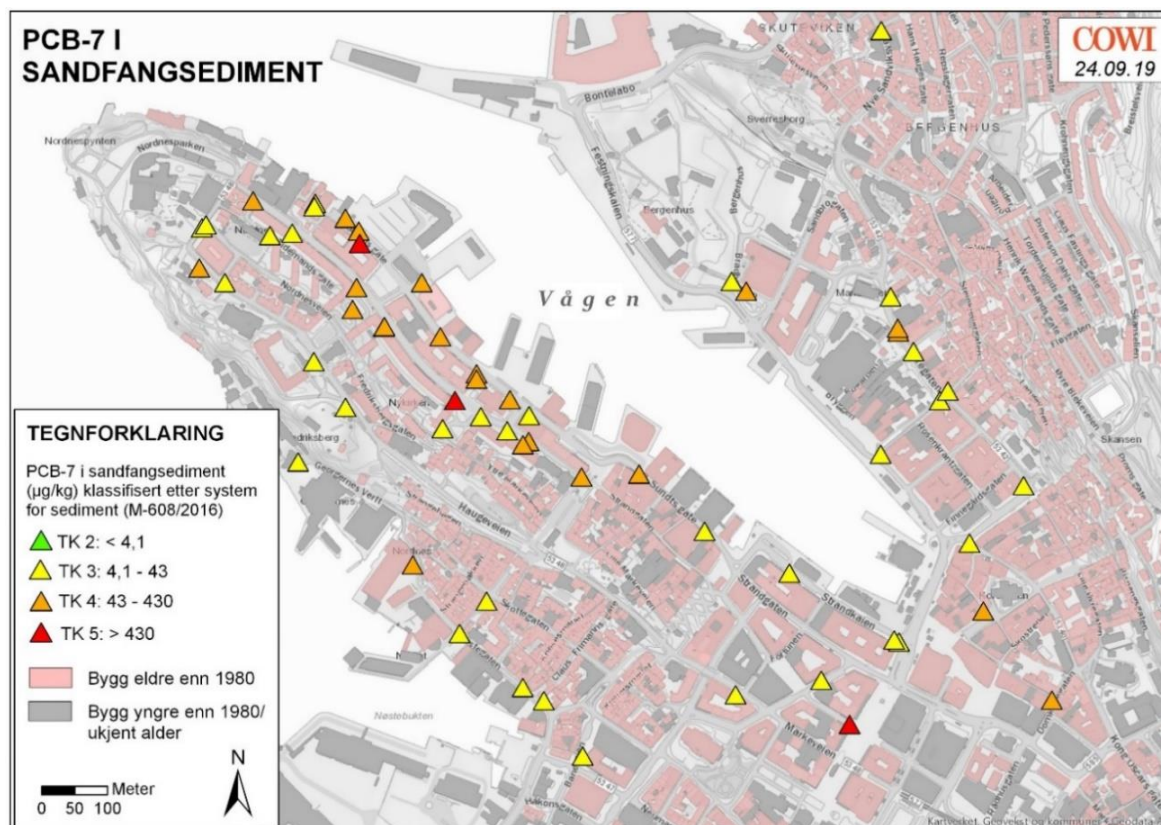
Vågen har i århundrer vært preget av småindustri, handel, havnedrift og trafikk. Landbasert næringsvirksomhet har stått for de største bidragene til forurensningen i sjøsedimentene (COWI et al., 2005). Forurensningen er et resultat av utviklingen av byen, og utslipp har pågått over lang tid. Mange av kildene er gamle, komplekse, dels ukjente og diffuse. I dag er det ingen småindustri igjen i nedslagsfeltet til Vågen, og området er dominert av næringsbygg, boliger, veier og kaianlegg.

Undersøkelser av overvann og sedimenter i sandfangskummer både rundt Vågen og andre deler av Bergen havn viser at overvann samler opp og transporterer forurensning til sjø (NGU, 2005; 2010; COWI, 2013; 2014b, 2015b; 2019). Miljøgifter bygges opp som avsetninger på flater i tørrvær og transporteres videre med regnvann. En av kildene til denne forurensningen er slitasje fra kjøretøy og veidekker og avgasser fra kjøretøy og maskiner. Avrenning fra særlig de mest trafikkerte veiene over Torget (ÅrsDøgnTrafikk (ÅDT)=14300) og langs Bryggen (ÅDT=9100) er en sannsynlig pågående kilde til forurensning av sjøsedimentene i Vågen. Veiavrenning kan inneholde en rekke miljøgifter som PAH og PCB og tungmetaller som bly, kobber og sink.

Bygningsmaterialer som maling, puss og betong er også en potensiell kilde til PCB og tungmetaller i overvann (NGU, 2002; COWI, 2015b). Både når fasadene forvitrer naturlig og ved vedlikehold/rivning kan dette materialet spres lett med overvann over tette flater, spesielt under kraftig regnvær. Området rundt Vågen har mange bygninger som er bygget eller rehabilitert i perioden 1940-1980 da PCB ble brukt i maling og andre bygningsmaterialer. En sammenstilling av resultater fra flere kartlegginger av maling/puss fra bygg i nedslagsfeltet til Vågen som ble oppført eller som kan ha blitt rehabilitert i PCB-perioden 1940-1980, viser at 42 % av prøvene var forurenset av PCB. Flere av fasadeprøvene var også forurenset av bly, kobber, kvikksølv, sink og TBT (NGU, 2002; 2010; COWI, 2015b). I sandfangsedimentene i nedslagsfeltet til Vågen er det generelt påvist PCB-konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse III-V i henholdt til klassifiseringssystem for sedimenter gitt i veileder M-608/2020 (Miljødirektoratet, 2020) (Figur 6).

I nedslagsfeltet til Vågen er det i dag hovedsakelig fellessystem for avløp, det vil si at spillvann (kloakk) og overvann samles og transporteres ut av området i et felles ledningsnett. Tidligere utslipp av spillvann til Vågen er sanert, og avløpet ledes i dag til Ytre Sandviken renseanlegg nord for sentrum. Fellessystemet har flere overløpsutløp i Vågen, og ved kraftig nedbør overskrides fellessystemets kapasitet. Spillvann, som inneholder mindre mengder miljøgifter (Aquateam, 2008), går da i overløp til Vågen.

En annen potensiell kilde til spredning av forurensning til sjø er båttrafikk/havnevirksomhet. Vågen er en travel havn for cruiseskip, regional passasjertrafikk og gjestehavn for private småbåter samtidig som den trafikkeres av supply-, gods- og fangstfartøy. Vågen har kaianlegg langs hele sjøfronten. Skoltegrunnskaia ytterst i Vågen er cruisekai, og ytre del av Vågen har også svært mange anløp av andre store skip. Strandkaietterminalen og Zachariasbryggen innerst i Vågen har helårsdrift med anløp av hurtigbåter mot nord og sør, samt pendlertrafikk fra nærområdet. Bryggen er en populær gjestehavn for småbåter. Ifølge Bergen Havn sin anløpsstatistikk er det årlig ca. 14.000 skipsanløp i Vågen.



Figur 6 Resultater fra målinger av PCB-7 i sandfangsediment fra sandfangskummer i nedslagsfeltet til Vågen klassifisert etter klassifiseringssystem for sediment i Miljødirektoratets veileder M-608/2020 (Miljødirektoratet, 2020).

Det er påvist forurensset sjøbunn i Sandviken nord for Vågen, og en risikovurdering viser store overskridelser av akseptabel spredning av forurensning i dette området (COWI, 2024c). Området ved Skuteviken (Skoltegrunnskaiaen – Kristiansholm) ligger nærmest Vågen og kan utgjøre en risiko for spredning av ny forurensning til Vågen etter opprydding.

Atmosfærisk nedfall bidrar til en diffus tilførsel av miljøgifter til tiltaksområdet. I tillegg til fyring og forbrenning, var trolig Bergen gassverk som ble nedlagt i 1985 etter 129 års drift en stor kilde til atmosfærisk nedfall i Bergensområdet. Gassverket brukte mellom 30 000 og 40 000 tonn kull per år for produksjon av bl.a. gass og koks. Kull kan inneholde betydelige mengder arsen, kadmium, kvikksølv, bly og PAH-forbindelser. Gjennom mange års produksjon har Bergen Gassverk sannsynligvis sluppet ut atskillige mengder av disse stoffene som blant annet har bidratt til forurensning av sjøsedimentene i havneområdet.

Byjord i seg selv må også regnes som en potensiell kilde til miljøgifter som kan transporteres til det marine miljøet. NGU har utført undersøkelser av byjord i Bergen som viser et høyt innhold av PCB (Ottesen og Volden, 1999; Andersson et al., 2002). Byjorden akkumulerer miljøgifter fra forskjellige kilder som blant annet atmosfærisk nedfall, og miljøgiftene kan spres videre med overvann ved kraftig regnvær.

I henhold til Miljødirektoratets Grunnforurensningsdatabase er det registrert 6 lokaliteter med kjent forurensset grunn i nedslagsfeltet til Vågen (søk utført 03.11.25): Lokalitet ID 3917, 3888, 20934 og 19242 er registrert med påvirkningsgrad 2 "Akseptabel forurensning med dagens areal- og resipientbruk", og lokalitet ID 14726 er registrert med påvirkningsgrad 1 "Lite/ikke forurensset" (se også

avsnitt 5.8.2). I tillegg er det registrert en lokalitet med ID 3955 der det er mistanke om forurensning. Det finnes ingen kjente deponier i nedslagsfeltet til Vågen.

## 2.4 Områdets bruksverdi

Tiltaksområdet blir i dag benyttet til havnedrift med anløp av cruiseskip, regional passasjertrafikk, supply-, gods- og fangstfartøy, samt private småbåter (Figur 2). Bergen Havn AS har ansvar for forvaltning og utvikling av havneområdene. Tiltaksområdet har kaianlegg langs hele strandlinjen. Bruken av kaiene varierer primært etter dybdeforholdene, med anløp av de største båtene ved Skolten, Nykirkekaien og Festningskaien der det er dypest.

På vestsiden av den ytre delen av Vågen er det tilrettelagt for bading ved Ballastbryggen (Figur 7). Ballastbryggen er et rehabilitert kaianlegg som er bygd opp igjen av steiner fra den opprinnelige ballastkaien fra 1800-tallet. Anlegget er tilrettelagt med trapper ned mot sjøen, benker og tilkomst for rullestol. Der er også en liten badevik rett øst for Ballastbryggen.

## 2.5 Kaier og kaifronter

De aller fleste kaianleggene i Vågen tilhører Bergen Havn, mens enkelte mindre kaier på vestsiden av Vågen tilhører borettslag, hoteller og ulike firmaer/forskningsinstitutt. Dette gjelder området nordvest for Tollbodkai, området mellom Tollbodkai og Nykirkekai og området mellom Holbergskai og Strandkaien (Figur 7).

Enkelte kaier i Vågen står helt eller delvis på peler. Dette gjelder primært Nykirkekai sør, deler av Nykirkekai nord, området mellom Nykirkekaiene, Skolten syd 3, deler av Skolten syd 2, deler av Zachariasbryggen, samt kaien til Havforskningsinstituttet ytterst i Vågen (Figur 7 og Figur 8). I tillegg står enkelte bygninger langs vestsiden av Vågen delvis på peler. I områdene under disse kaiene og byggene er det påvist/kan det finnes sediment som potensielt er forurensset. ROV-undersøkelser har blant annet påvist mye finstoff under Nykirkekaiene og kaien til Havforskningsinstituttet (nordvest for Tollbodkaien), og disse områdene må inkluderes i tiltaksvurderingen. Under enkelte andre kaier eller bygg er det usikkert hvor langt inn finstoffet strekker seg. Det er valgt å inkludere et areal på ca. 5000 m<sup>2</sup> i det totale tiltaksarealet i Vågen på 275 000 m<sup>2</sup> for å ta høyde for områder der det finnes finstoff under kaier/bygg. Kaier og bygninger som ikke står på peler har murt front (Figur 8 og Figur 9).

Figur 8 Type kai/bygg-fronter rundt Vågen. Stiplet linje viser omtrentlig hvor langt inn under kai/bygg sjøbunnen når (estimert fra ROV sonar), men det er ikke nødvendigvis finstoff helt inn til denne linjen.



Figur 9 Nykirkekai står på peler (venstre) mens Tollbodkai har murt front (høyre) (kilde: ROV-undersøkelse utført av Bergen Havn, januar 2021).

## 2.6 Kommunedelplan/reguleringsplan

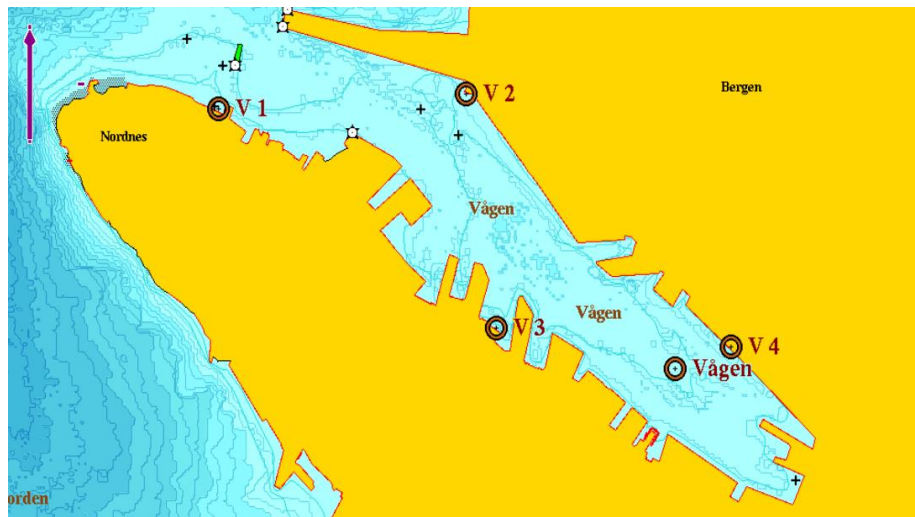
Vågen omfattes av kommunedelplan Bergen Indre Havn (Plan ID 18740000) (Bergen kommune, 2012). Kommunedelplanen gir rammer for fremtidig bruk av havnearealene og tilstøtende sjøområder i perioden fram til år 2025 og avklarer forholdet mellom havneaktiviteten og andre byfunksjoner. Av betydning for Vågen fastslås det at Skolten og Festningskaaien videreutvikles til cruisehavn med kobling mot kultur og turisme. Det foreligger godkjent reguleringsplan for fremtidig utvidelse og utretting av den nordlige siden på Skoltegrunnskaaien (Plan ID 15430000). Vågen beholdes som havn for regional båttrafikk, gjestehavn og avlastningskaier. Sjøflaten skal i hovedsak bevares og farleder skal sikres. Alle tiltak og planformål skal ivareta gode miljøløsninger. Kommunedelplanen stiller krav om at det skal utarbeides ROS-analyser i forbindelse med alle planer og tiltak som skal gjennomføres.

Indre del av Vågen er omfattet av reguleringsplan Bergenhus Vågen, kaiene og Bryggen (planID 1604000) fra 2006 (Bergen kommune, 2006). Planen skal primært ivareta behovet for en buffersone rundt verdensarvstedet Bryggen og gi nødvendig vern, sikring og presentasjon av dette. Planen følger opp overordnede omlegginger av havnefunksjonene og trafikksystemet i sentrum.

## 2.7 Naturmangfold

Strandsonen i Vågen er generelt preget av sprengsteinsfyllinger og kaier. I 2015 ble det gjennomført en marinbiologisk kartlegging av naturtyper i Vågen i forbindelse med planleggingen av tiltak mot forurenset sediment i Vågen (UniResearch, 2015). Alger og dyr ble registrert med kamera ved 4 lokaliteter i strandsonen (V1-V4 i Figur 10). Basert på undersøkelsen ble området kategorisert som en

sterkt modifisert vannforekomst med lite naturlig substrat i fjæresonen, samt sterkt forurenset bunnsediment bestående av mudder og sandbunn. Området ble satt til liten verdi med tanke på naturtypekartlegging. Artsmangfoldet i området ble også satt til liten verdi.



Figur 10 Kart over lokalitetene V1-V4 fra kartleggingen av naturtyper i Vågen i 2015, samt stasjonen til Byfjordsundersøkelsen i den indre delen av Vågen (fra UniResearch, 2015).

Byfjordsundersøkelsen er et resipientovervåkingsprogram som regelmessig undersøker forholdene i fjordsystemet rundt Bergen. Hensikten med overvåkingsprogrammet er å dokumentere miljøtilstanden i fjordsystemene og å påvise grad av påvirkning av utslipp fra avløp og annen menneskelig aktivitet. Overvåkingsprogrammet inkluderer parametere som blant annet oksygeninnhold, næringsstoffer, klorofyll, bakterier, bunndyrdiversitet og miljøkjemi. Alle parametere blir imidlertid ikke målt ved alle stasjoner, og alle stasjoner er ikke inkludert i alle prøvetakingsrunder. Programmet har en prøvestasjon i den indre delen av Vågen på 11 meter dyp (kalt Vågen i Figur 10).

Resultater av vannprøver fra Byfjordsundersøkelsens stasjon i Vågen i perioden 1992-2013 har vist et oksygeninnhold på 4,4-6 mg/l ved 11 meters dyp (UniResearch, 2014) (ingen vannprøver fra stasjonen etter 2013). Dette tilsvarer tilstandsklasse 1 (meget god) sammenliknet med tilstandsklasser for oksygeninnhold i bunnvann. De hydrografiske forholdene i Vågen tilsvarer for det meste forholdene i Byfjorden med et til dels ferskere overflatelag i perioden mai-juli. Vannutvekslingen mellom Vågen og videre ut mot Byfjorden er god og styres primært av tidevannet da det er ingen terskler av betydning som hindrer vannutvekslingen. Følgelig er næringssaltkonsentrasjonene i Vågen lik de som befinner seg lenger ute i Byfjorden, som stort sett viser lave konsentrasjoner.

Bunndyrdiversiteten ved stasjonen i Vågen har i perioden 1990-2023 variert mellom 1,3 og 2,7 i Shannon Wiener diversitetsindeksverdi (UniResearch, 2014; Rådgivende Biologer, 2023). Dette tilsvarer tilstandsklasse III (moderat) og IV (dårlig). I 2023 var diversitetsindeksen på 2,2 (klasse III). Det ble påvist en overvekt av børstemark fra slekten *Chaetozone*. Indeksen NQ11, som beskriver artsmangfold og ømfintlighet, plasserte stasjonen i tilstandsklasse III (moderat). Den store overvekten av slekten *Chaetozone* trakk indeksverdiene ned. Det er registrert en nedgang i individantall og en økning i artsantall siden 2013, men miljøtilstanden var den samme i 2013 og 2023 (Rådgivende Biologer, 2023).

Bunnsedimentene er sterkt forurensset. Finstoffinnholdet er størst i de dypere områdene innenfor terskelen, mens massene på terskelen er mer grovkornet. Med unntak av sedimentet i den ytre delen av Vågen (utenfor terskelen), tilsier en samlet vurdering av toksisitetsundersøkelsene utført i forbindelse med den oppdaterte risikovurderingen av området at sedimentet i tiltaksområdet er toksisk for sedimentlevende organismer i større eller mindre grad (COWI, 2024b).

Det er gjort registreringer av rødlisteartene lomvi og hettemåke (CR), ærfugl, hønehawk, gråmåke og fiskemåke (VU), stær, tjeld, storskarv, tårnseiler og gråspurv (NT) i tiltaksområdet i henhold til søk i Artsdatabanken 04.11.25. Av fremmede arter er det registrert mink (SE).

I databasen Naturbase er det registrert følgende arter av særlig stor forvaltningsinteresse i tiltaksområdet i henhold til søk utført 04.11.25: hettemåke, lomvi, ærfugl, praktærfugl, fiskemåke, vandrefalk og stær (Figur 11). Det er ikke registrert mudderbukter eller ålegressenger i eller i nærheten av tiltaksområdet.



Figur 11 Kartutsnitt fra Naturbase med registreringene i tiltaksområdet (iht. søk utført 04.11.25).

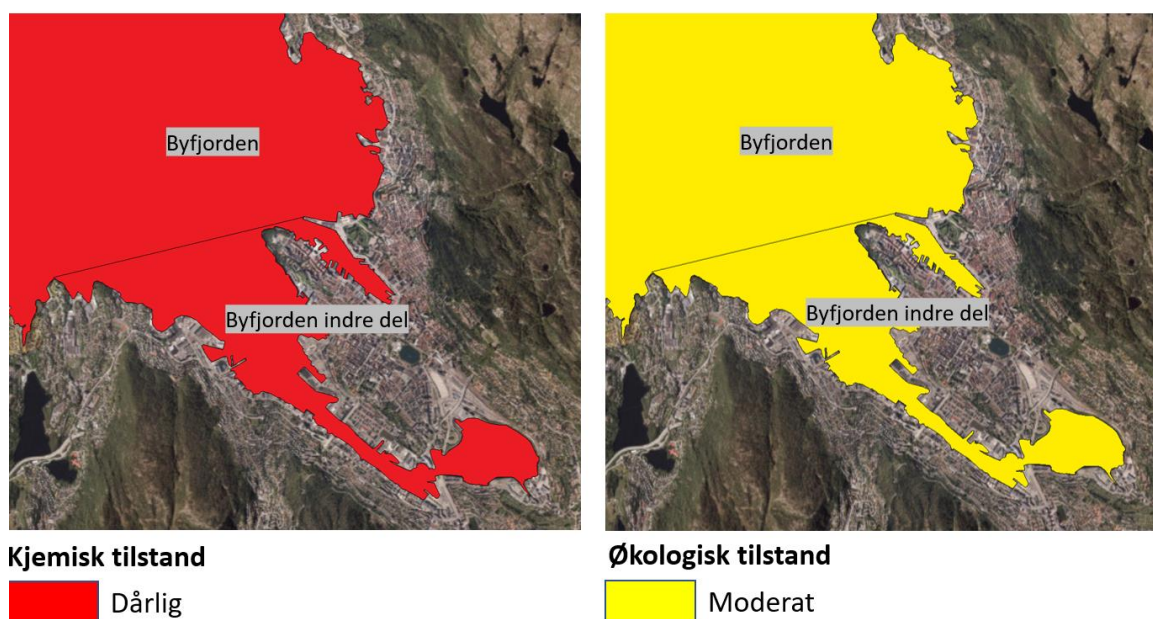
## 2.8 Vannforekomst

Vågen tilhører vannforekomst "Byfjorden indre del" med vannforekomst ID 0261010800-4-C. Vannforekomsten omfatter også Puddefjorden og Store Lungegårdsvannet.

### 2.8.1 Miljøtilstand

I henhold til Vann-nett (søk utført 04.11.25) har vannforekomst "Byfjorden indre del" "kjemisk tilstand "dårlig" og økologisk tilstand "moderat" (Figur 12).

Figur 12 viser også deler av den utenforliggende vannforekomsten "Byfjorden" med vannforekomst ID 0261010800-9-C. Denne vannforekomsten er også registrert med "kjemisk tilstand "dårlig" og økologisk tilstand "moderat".



Figur 12 Kartene viser vannforekomstene "Byfjorden indre del" (som Vågen er en del av) og Byfjorden. Kartet til venstre viser kjemisk tilstand og kartet til høyre viser økologisk tilstand.

### 2.8.2 Vannforskriftens miljømål

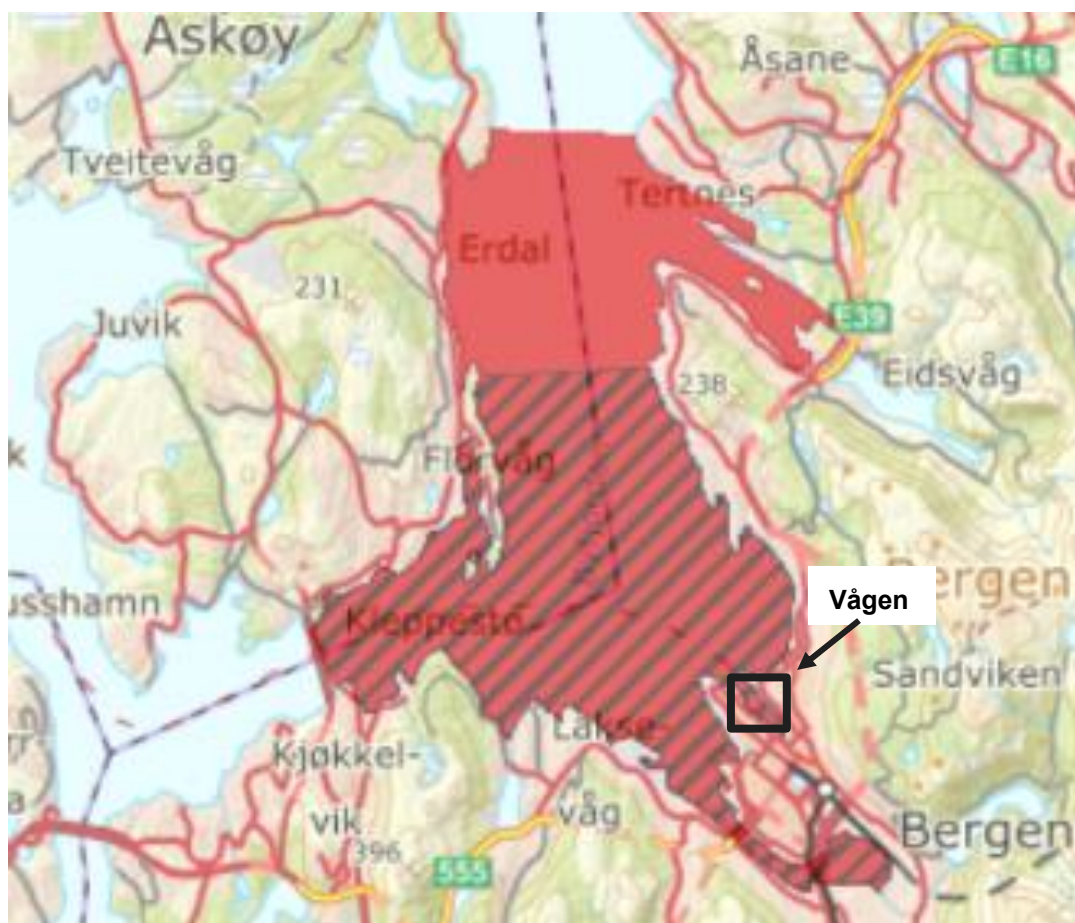
Vannforskriftens generelle miljømål for alle naturlige vannforekomster, inkludert kystvann, er at alle vannforekomster skal ha *minst "god" økologisk og kjemisk tilstand* vurdert ut fra et nasjonalt klassifiseringssystem. I tillegg til vannforskriftens hovedmål om godt vannmiljø kan det være vannforekomster der det er fastsatt strengere krav, utslippsgrenser, utfasingsmål, mål for å beskytte eller lignende i annet regelverk.

I arbeidet med vannforvaltning hører tiltaksområdet Vågen inn under Vannområde Vest i Vannregion Vestland (tidligere Vannregion Hordaland). I vannforvaltningsplanen og tiltaksprogrammet for Vannregion Vestland 2022-2027, er tiltak i Vågen et av de prioriterte tiltakene mot forurenset sjøbunn (Vestland fylkeskommune, 2021; 2022).

Miljømålet for vannforekomst "Byfjorden indre del", er å oppnå god økologisk og kjemisk tilstand i perioden 2027-2033. Tiltak mot forurenset sjøbunn i Vågen er et av flere tiltak som skal bidra til at vannforekomsten når miljømålene.

## 2.9 Advarsel mot inntak av sjømat

Mattilsynet gir advarsler om å begrense eller ikke spise visse typer sjømat fra enkelte forurensede havner og fjorder. Nasjonalt Institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES) har gjennomført flere undersøkelser av fisk og sjømat fanget i Byfjorden. Resultatene viser høye forekomster av miljøgiftene kvikksølv, PCB og dioksinliknende PCB (Måge og Franzen, 2007; 2009a; 2009b). Mattilsynet har derfor gitt kostadvarsel for dette fjordområdet og fraråder inntak av dypvannsfisk som brosme og lange, samt brunmat i krabbe som er fisket i Byfjorden. Gravide og ammende bør heller ikke spise torsk fisket i Byfjorden. Advarslene ble sist vurdert i 2010 (Mattilsynet, 2023). Området som er omfattet av advarsel mot inntak av visse typer sjømat er vist i Figur 13, og Vågen ligger innenfor dette området.



**Figur 13** Rødfargede områder og områder farget med rød/svart skravur er omfattet av advarsel mot inntak av visse typer sjømat. Vågen (merket med svart firkant) ligger innenfor området som er omfattet av advarsler fra Mattilsynet.

## 2.10 Kulturminner i sjø

Kulturminner i Vågen har et sterkt vern gjennom Lov av 9. juni 1978 nr. 50 om kulturminner (kulturminneloven). Vågen inngår i det automatisk fredete kulturminnet Middelalderbyen Bergen som er fredet etter kulturminnelovens § 4: "Ingen må – uten at det er lovlig etter § 8 – sette i gang tiltak som er egnet til å skade, ødelegge, grave ut, flytte, forandre, tildekke, skjule eller på annen måte utilbørlig skjemme automatisk fredet kulturminne eller fremkalle fare for at dette kan skje". Videre verner lovens

§ 14 om skipsvrak og skipslaster eldre enn 100 år, og gir Staten forvaltningsrett over disse. Området ved Bryggen er oppført på UNESCOs Verdensarvliste.

I 2009-2010 gjennomførte Bergens Sjøfartsmuseum en omfattende marinarkeologisk forundersøkelse i Vågen (Nøttveit og Wammer, 2010). Forundersøkelsen er hjemlet i kulturminnelovens § 9 om undersøkelsesplikt. Formålet med undersøkelsen var å danne et kunnskapsgrunnlag om kulturminneomfanget gjennom kartlegging av funnpotensialet for kulturminner i ulike delområder. Forundersøkelsen utgjør ikke en fullstendig arkeologisk registrering, men den gir et beslutningsgrunnlag for videre tiltak i Vågen.

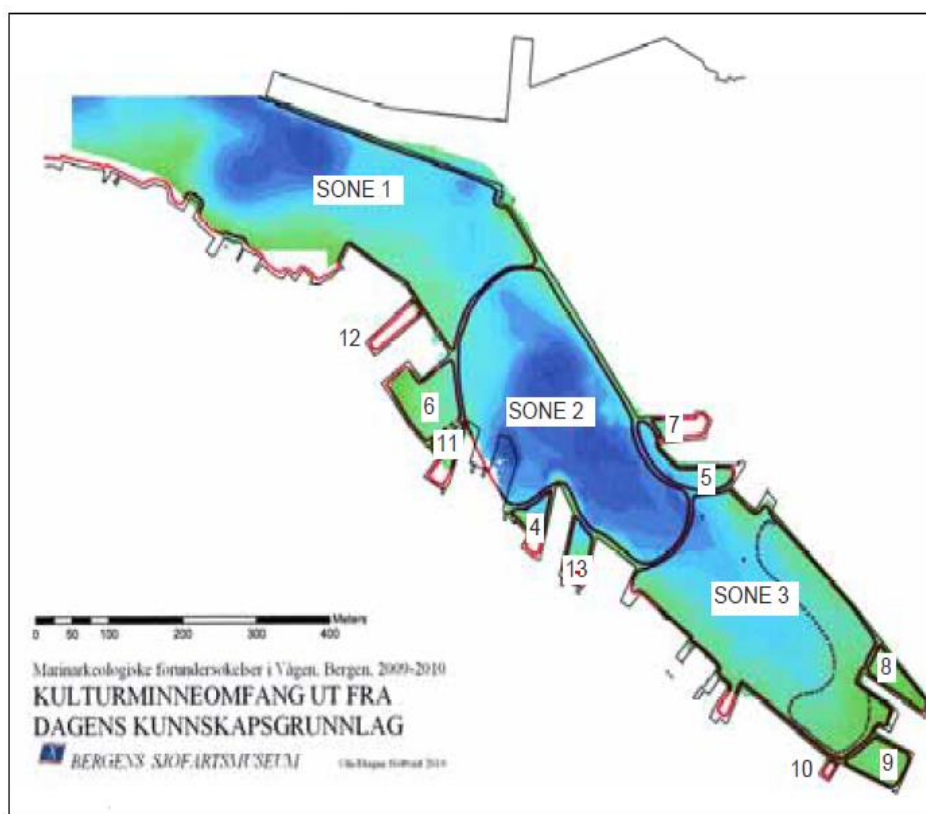
Forundersøkelsen ble gjennomført med teknologiske metoder som multistråle-ekkolodd, lett-seismikk og filming av sjøbunn med ROV (fjernstyrt undervannsfartøy), samt uttak av 51 sedimentkjerner fra sjøbunnen, undervannsarkeologisk registrering og graving av 14 prøvesjakter (Nøttveit og Wammer, 2010). Det var ikke et formål å samle gjenstander gjennom undersøkelsen. Tvert imot var det et ønske å begrense antall funn og la det kulturhistoriske materialet bli liggende. En del funn ble likevel innhentet fra prøvesjaktene som ble gravd ut. Gjenstandsmateriale ble også samlet inn fra bunnoverflaten innen et område på 10 x 20 m utenfor Bryggen og fra borekjerner. Et lite antall bunnoverflatefunn ble også samlet inn.

Forundersøkelsen viste at hele Vågen har potensial for funn av kulturminner, men med forskjeller mellom de ulike delområdene (Nøttveit og Wammer, 2010). Den indre delen av Vågen har et svært høyt kulturminneomfang. I området utenfor Bryggen estimeres antall keramikkskår i bunnmassene til mange hundretalls tusen. De deponerte gjenstandene opptre i avsatte sedimenter av en slik beskaffenhet at de må karakteriseres som kulturlag, med spor av menneskelig aktivitet i form av matrester, hoggeflis og annet avfall. Denne deponeringen er påvist fra tidlig middelalder og fremover i indre del av Vågen.

Midtre del av Vågen danner et mer uklart bilde, med enkelte områder med funn og gode bevaringsforhold, mens andre områder er mudret. De tykke sedimentene i dette området danner et uklart stratigrafisk bilde, men potensial for funn av eldre skipsvrak i disse massene kan ikke utelukkes. Det ble gjort funn av tre skipsvrak i den midtre delen av Vågen, men alle disse er trolig yngre enn 100 år.

Ytre del av Vågen har langt mindre sedimentering enn de andre områdene. Det er påvist flere spor av ballast i området, sammen med vannrullet keramikk. Disse materialgruppene kan nok finnes i store mengder i dette området, men i mindre antall og ikke i kontekst som i de andre delene av Vågen.

Basert på resultatene av den marinarkeologiske forundersøkelsen, ble Vågen delt inn i 3 hovedsoner og 10 mindre områder som vist i Figur 14. Beskrivelsen av funnpotensialet for kulturminner i de ulike delområdene gitt under er hentet fra Nøttveit og Wammer (2010).



Figur 14 Kulturminnesoner i Vågen (fra Nøttveit og Wammer, 2010).

**Sone 1 – Ytre del av Vågen:** Potensiale for løsfunn av ballast og for løsfunn av gjenstander. Begrensede muligheter for kulturlag.

**Sone 2 – Midtre del av Vågen:** Potensiale for gjenstandsfunn, skipsvrak og kulturlag. Tykke sedimentlag som gir gode bevaringsforhold. Noe forstyrret (eksplosjon 1944).

**Sone 3 – Indre del av Vågen:** Høyt potensiale for funn av kulturminner og gjenstander tilbake til middelalderen, slutten av vikingtiden kan ikke utelukkes. Innenfor stiplet linje er potensialet svært høyt. Gode bevaringsforhold.

**Sone 4 – Mellom Nykirkekai/Munkebryggen:** Høyt potensial for funn av kulturlag og gjenstander, trolig tilbake til middelalder. Gode bevaringsforhold.

**Sone 5 – Bradbenken/området rundt Veisans utløp:** Høyt potensial for funn minst tilbake til 1600-tallet. Høyt potensial for avsetninger fra Veisan.

**Sone 6 – Sør for Tollbodskai:** Område med løsfunn av ballast på overflate. Det antas at området tilsvarer sone 1, men med større muligheter for bevarte kulturlag.

**Sone 7-12 – Hoper, Blomstertorget, Bryggesporen:** Områdene er mudret og har derfor lavt potensial for funn av kulturlag og kulturminner. Det er imidlertid gjort enkelte løsfunn av gjenstander i hopene.

**Sone 13 – mellom Munkebrygge/Holbergskai:** Området er dekket av fyllmasse og savner indikasjoner på overflaten. Uvisst hva som befinner seg under fyllmassene.

### 3 Forurensningstilstand

Det er utført en rekke miljøundersøkelser i Vågen i perioden 1992-2024 (COWI et al., 2005 (med vedlegg); COWI, 2012; Rådgivende Biologer, 2012; COWI, 2014a). En oppsummering av miljøtilstanden i de undersøkte sjøarealene er gitt i dette kapittelet.

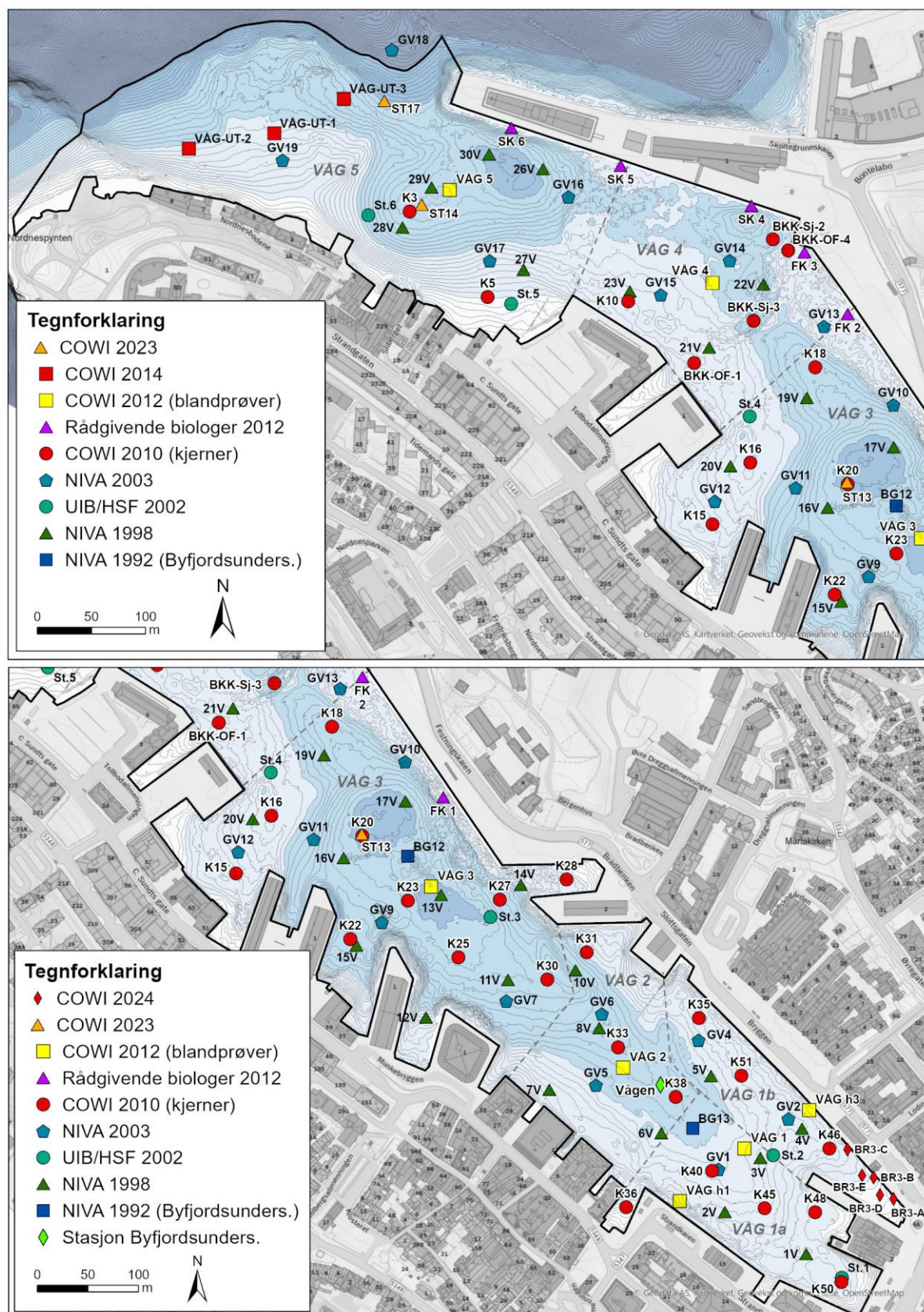
#### 3.1 Miljøgifter i sediment

I perioden 1992-2024 ble det gjennomført flere runder med sedimentprøvetaking i Vågen. Undersøkelsene er utført av NIVA (1992, 1998 og 2003), UIB/HSF (2002), Rådgivende Biologer (2023) og COWI (2010, 2012, 2014, 2023 og 2024). En oversikt over prøvelokaliteter, årstall og ansvarlig utførende er vist i Figur 15. I 2023 og 2024 gjennomførte COWI undersøkelser av sjøbunnen foran kaier i Vågen, og disse undersøkelsene, inkludert prøvelokalitetskart, er beskrevet i avsnitt 3.1.7.

I tidligere rapporter er resultatene klassifisert etter dagjeldende klassifiseringssystemer. I denne tiltaksplanen er klassifiseringen av alle analyseresultatene oppdatert i henhold til klassifiseringssystemet gitt i den reviderte utgaven av veileder M-608 fra 2020 (Tabell 1) (Miljødirektoratet, 2020). I klassifiseringssystemet for sedimenter representerer klassegrensene en økende grad av skade på *organismesamfunnet i sedimentene* fra tilstandsklasse I (bakgrunnsnivå) til tilstandsklasse V (svært dårlig miljøtilstand).

Tabell 1 Klassifiseringssystem for vann og sediment fra M-608/2020 (Miljødirektoratet, 2020).  
AF=sikkerhetsfaktor

| I<br>Bakgrunn         | II<br>God                | III<br>Moderat                             | IV<br>Dårlig                                          | V<br>Svært dårlig            |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------|
| Bakgrunnsnivå         | Ingen toksiske effekter  | Kroniske effekter ved langtids-eksponering | Akutt toksiske effekter ved kort-tidseksponering      | Omfattende toksiske effekter |
| Øvre grense: bakgrunn | Øvre grense: AA-QS, PNEC | Øvre grense: MAC-QS, PNEC <sub>akutt</sub> | Øvre grense: PNEC <sub>akutt</sub> * AF <sup>1)</sup> |                              |



Figur 15

Sedimentprøvelokaliteter i Vågen. Røde sirkler indikerer kjerneprøvelokaliteter. Gule firkanter markert Våg 1 – Våg 5 representerer blandprøver bestående av flere delprøver fra hvert delfelt (se avsnitt 3.1.3 for mer detaljer om delfeltene). Stiplet linje viser delområdene brukt i den oppdaterte risikovurderingen (avsnitt 3.6).

### 3.1.1 Eldre prøver (1992-2003)

I perioden 1992 – 2003 ble det gjennomført flere runder med sedimentprøvetaking i Vågen i forbindelse med Byfjordsundersøkelsen og utarbeidelsen av tiltaksplan for Bergen havn fase 1 og 2 (COWI et al., 2005 (med vedlegg)). Prøvetakingen ble gjennomført av NIVA (1992, 1998 og 2003) og UIB/HSF (2002). Figur 15 viser en oversikt over prøvelokalitetene.

Prøvene fra denne perioden ble analysert for et begrenset og varierende antall miljøgifter, og prøvene ble tatt fra forskjellige dybdeintervaller. En oversikt over analyseresultatene klassifisert etter veileder M-608/2020 er gitt i Tabell 2 - Tabell 5.

**Tabell 2** Analyseresultater fra prøver innhentet av NIVA i 1992 i forbindelse med Byfjordsundersøkelsen. Resultatene er klassifisert etter veileder M-608/2020. Se Figur 15 for prøvelokaliteter.

|                     |          | <b>BG12</b> | <b>BG13</b> |
|---------------------|----------|-------------|-------------|
| Dybdeintervall (cm) |          | 0-2         | 0-2         |
| Bly, Pb             | mg/kg TS | 425         | 505         |
| Kadmium, Cd         | mg/kg TS | 1,7         | 2,6         |
| Kobber, Cu          | mg/kg TS | 304         | 361         |
| Kvikksølv, Hg       | mg/kg TS | 5,6         | 8,63        |
| Sum PAH-16          | mg/kg TS | 31,35       | 38,52       |
| PCB 28              | µg/kg TS | 1,6         | 3,5         |
| PCB 52              | µg/kg TS | 6,3         | 11,6        |
| PCB 101             | µg/kg TS | 12,2        | 20,2        |
| PCB 118             | µg/kg TS | 7,3         | 10,7        |
| PCB 138             | µg/kg TS | 13,1        | 20,2        |
| PCB 153             | µg/kg TS | 10          | 14,6        |
| PCB 180             | µg/kg TS | 4,5         | 6,9         |
| Sum PCB-7           | µg/kg TS | 54,95       | 87,65       |
| TOC                 | %        | 6,07        | 9,88        |

**Tabell 3** Analyseresultater fra prøver innhentet av NIVA i 1998 klassifisert etter veileder M-608/2020. Se Figur 15 for prøvelokaliteter.

|                     |          | <b>1-V</b> | <b>2-V</b> | <b>3-V</b> | <b>4-V</b> | <b>5-V</b> | <b>6-V</b> | <b>7-V</b> | <b>8-V</b> | <b>10-V</b> | <b>11-V</b> | <b>12-V</b> | <b>13-V</b> | <b>14-V</b> |
|---------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Dybdeintervall (cm) |          | 0-2        | 0-2        | 0-2        | 0-2        | 0-2        | 0-2        | 0-2        | 0-2        | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         |
| Arsen, As           | mg/kg TS | <0,5       | 4          | <0,5       | <0,5       | <0,5       | <0,5       | 7          | <0,5       | <0,5        | 11          | <0,5        | <0,5        | <0,5        |
| Bly, Pb             | mg/kg TS | 649        | 1680       | 556        | 399        | 477        | 583        | 659        | 639        | 337         | 617         | 470         | 303         | 926         |
| Kadmium, Cd         | mg/kg TS | 4          | 2          | 3          | 2          | 3          | 4          | 4          | 5          | 3           | 4           | 3           | 2           | 2           |
| Kobber, Cu          | mg/kg TS | 373        | 371        | 351        | 285        | 301        | 484        | 573        | 606        | 289         | 511         | 365         | 240         | 1090        |
| Krom, Cr            | mg/kg TS | 72         | 64         | 57         | 40         | 68         | 62         | 78         | 71         | 73          | 99          | 113         | 36          | 63          |
| Kvikksølv, Hg       | mg/kg TS | 10,26      | 10,21      | 29,87      | 5,41       | 8,84       | 11,94      | 17,49      | 19,07      | 9,69        | 13,94       | 10,7        | 7,49        | 3,73        |
| Nikkel, Ni          | mg/kg TS | 41         | 66         | 33         | 26         | 33         | 42         | 82         | 65         | 37          | 47          | 56          | 30          | 71          |
| Sink, Zn            | mg/kg TS | 1290       | 1500       | 1620       | 1520       | 991        | 1180       | 1230       | 1530       | 746         | 1350        | 983         | 641         | 1390        |

|                     |          | <b>15-V</b> | <b>16-V</b> | <b>17-V</b> | <b>19-V</b> | <b>20-V</b> | <b>21-V</b> | <b>22-V</b> | <b>23-V</b> | <b>26-V</b> | <b>27-V</b> | <b>28-V</b> | <b>29-V</b> | <b>30-V</b> |
|---------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Dybdeintervall (cm) |          | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         | 0-2         |
| Arsen, As           | mg/kg TS | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        | <0,5        |
| Bly, Pb             | mg/kg TS | 802         | 218         | 354         | 210         | 179         | 247         | 117         | 91          | 640         | 91          | 292         | 198         | 234         |
| Kadmium, Cd         | mg/kg TS | 5           | 2           | 2           | 1           | <0,013      | <0,013      | <0,013      | <0,013      | 3           | <0,013      | 1           | <0,013      | 2           |
| Kobber, Cu          | mg/kg TS | 410         | 133         | 183         | 117         | 78          | 86,4        | 58,9        | 99,5        | 261         | 52,6        | 192         | 124         | 114         |
| Krom, Cr            | mg/kg TS | 122         | 57          | 62          | 51          | 29          | 35          | 34          | 29          | 69          | 30          | 88          | 50          | 48          |
| Kvikksølv, Hg       | mg/kg TS | 8,95        | 3,64        | 3,87        | 2,44        | 3,33        | 0,868       | 1,44        | 0,379       | 10,97       | 0,949       | 3,03        | 1,75        | 1,27        |
| Nikkel, Ni          | mg/kg TS | 49          | 26          | 25          | 20          | 16          | 16          | 14          | 21          | 62          | 15          | 28          | 27          | 42          |
| Sink, Zn            | mg/kg TS | 1710        | 384         | 498         | 384         | 194         | 346         | 152         | 137         | 1030        | 163         | 463         | 231         | 600         |

**Tabell 4** Analyseresultater fra prøver innhentet av UIB/HSF i 2002 klassifisert etter veileder M-608/2020. Ved stasjon 3 og 5 ble det tatt kjerneprøver og gjennomført analyser i flere dybdeintervaller. Se Figur 15 for prøvelokaliteter.

|                     |          | St. 1 | St. 1 | St. 2 | St. 3 | St. 3 | St. 3 | St. 3 | St. 3 | St. 3 | St. 3 | St. 3 |
|---------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dybdeintervall (cm) |          | 0-2   | 0-10  | 0-2   | 0-2   | 2-4   | 4-6   | 6-8   | 8-10  | 10-12 | 12-14 | 14-16 |
| Arsen, As           | mg/kg TS | 31    | 30    | 25    | 28    | 19    | 21    | 27    | 23    | 21    | 21    | 18    |
| Bly, Pb             | mg/kg TS | 570   | 570   | 508   | 396   | 389   | 527   | 549   | 609   | 581   | 685   | 604   |
| Kadmium, Cd         | mg/kg TS | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 3     |
| Kobber, Cu          | mg/kg TS | 390   | 392   | 343   | 393   | 344   | 415   | 461   | 415   | 439   | 421   | 313   |
| Krom, Cr            | mg/kg TS | 74    | 72    | 114   | 86    | 94    | 117   | 116   | 117   | 113   | 103   | 67    |
| Kvikksølv, Hg       | mg/kg TS | 9,13  | 9,54  | 15,3  | 11,63 | 12,18 | 11,55 | 19,54 | 11,52 | 12,04 | 9,8   | 10,48 |
| Nikkel, Ni          | mg/kg TS | 35    | 36    | 39    | 32    | 35    | 37    | 38    | 36    | 39    | 41    | 37    |
| Sink, Zn            | mg/kg TS | 908   | 940   | 954   | 819   | 796   | 1120  | 1160  | 1100  | 1140  | 1010  | 752   |
| PCB 28              | µg/kg TS | 1     |       | 1,1   | 3,8   | 6,9   |       |       |       | 19    | 11    |       |
| PCB 52              | µg/kg TS | 3,9   |       | 4     | 15    | 19    |       |       |       | 45    | 22    |       |
| PCB 101             | µg/kg TS | 15    |       | 11    | 37    | 47    |       |       |       | 98    | 64    |       |
| PCB 118             | µg/kg TS | 12    |       | 9     | 31    | 39    |       |       |       | 73    | 49    |       |
| PCB 138             | µg/kg TS | 25    |       | 14    | 54    | 69    |       |       |       | 130   | 93    |       |
| PCB 153             | µg/kg TS | 22    |       | 12    | 43    | 57    |       |       |       | 110   | 80    |       |
| PCB 180             | µg/kg TS | 12    |       | 7,1   | 24    | 32    |       |       |       | 70    | 56    |       |
| Sum PCB-7           | µg/kg TS | 90,9  |       | 58,2  | 207,8 | 244   |       |       |       | 481   | 342   |       |
| Tørrestoff          | %        | 32,2  |       | 38,2  | 32    | 35,8  |       |       |       | 39,9  | 35,9  |       |

|                     |          | St. 4 | St. 5  | St. 5  | St. 5<br>dupl. | St. 5  | St. 5  | St. 5 | St. 5 | St. 5  | St. 6  |
|---------------------|----------|-------|--------|--------|----------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| Dybdeintervall (cm) |          | 0-2   | 0-2    | 2-4    | 2-4            | 4-6    | 6-8    | 8-10  | 10-12 | 12-14  | 0-2    |
| Arsen, As           | mg/kg TS | 13    | 7      | 6      | 7              | 8      | 8      | 10    | 11    | 8      | 13     |
| Bly, Pb             | mg/kg TS | 372   | 190    | 126    | 121            | 202    | 147    | 370   | 317   | 222    | 170    |
| Kadmium, Cd         | mg/kg TS | 1     | <0,013 | <0,013 | <0,013         | <0,013 | <0,013 | 1     | 4     | <0,013 | <0,013 |
| Kobber, Cu          | mg/kg TS | 170   | 107    | 125    | 120            | 155    | 202    | 138   | 178   | 102    | 121    |
| Krom, Cr            | mg/kg TS | 58    | 42     | 41     | 39             | 52     | 44     | 50    | 57    | 49     | 64     |
| Kvikksølv, Hg       | mg/kg TS | 3,47  | 1,46   | 1,64   | 1,59           | 1,85   | 2,01   | 2,23  | 4,72  | 1,58   | 3,24   |
| Nikkel, Ni          | mg/kg TS | 21    | 19     | 18     | 17             | 20     | 18     | 21    | 24    | 21     | 23     |
| Sink, Zn            | mg/kg TS | 429   | 269    | 294    | 282            | 302    | 410    | 506   | 698   | 420    | 259    |
| PCB 28              | µg/kg TS | 2,6   | 1,1    | 2,7    |                |        |        |       | 1,8   | 1,5    | 1,7    |
| PCB 52              | µg/kg TS | 7,4   | 6,9    | 10     |                |        |        |       | 37    | 8,6    | 4,6    |
| PCB 101             | µg/kg TS | 16    | 31     | 25     |                |        |        |       | 100   | 17     | 14     |
| PCB 118             | µg/kg TS | 12    | 13     | 20     |                |        |        |       | 80    | 13     | 13     |
| PCB 138             | µg/kg TS | 27    | 59     | 35     |                |        |        |       | 110   | 25     | 32     |
| PCB 153             | µg/kg TS | 22    | 54     | 30     |                |        |        |       | 86    | 20     | 26     |
| PCB 180             | µg/kg TS | 13    | 38     | 18     |                |        |        |       | 37    | 9,8    | 16     |
| Sum PCB-7           | µg/kg TS | 100   | 203    | 128    |                |        |        |       | 413   | 84,8   | 107,3  |
| Tørrstoff           | %        | 57,4  | 73,1   | 72,2   |                |        |        |       | 72,4  | 73,8   | 54,3   |

**Tabell 5** Analyseresultater fra prøver innhentet av NIVA i 2003 klassifisert etter veileder M-608/2020. Prøvene ble bare analysert for et fåtall miljøgifter. Se Figur 15 for prøvelokaliteter.

|                     |          | GV1   | GV2  | GV4   | GV5  | GV6   | GV7   | GV9   | GV10  | GV11  | GV12  | GV13  | GV14 | GV15 | GV16  | GV17  | GV18 | GV19  |
|---------------------|----------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| Dybdeintervall (cm) |          | 0-10  | 0-10 | 0-10  | 0-10 | 0-10  | 0-10  | 0-10  | 0-10  | 0-10  | 0-10  | 0-10  | 0-10 | 0-10 | 0-10  | 0-10  |      | 0-10  |
| Bly, Pb             | mg/kg TS |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       | 73,3 |      | 55,3  | 81    |      |       |
| Kvikksølv, Hg       | mg/kg TS |       |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       | 0,5  |      | 0,53  | 0,78  |      |       |
| PCB 28              | µg/kg TS | 0,28  | 1,9  | 0,61  | 2    | 4,8   | 4,4   | 2,9   | 1,5   | 2     | 2     | 0,32  | 0,3  | 0,2  | 0,2   | 0,87  |      | 0,25  |
| PCB 52              | µg/kg TS | 3,8   | 8,4  | 3,6   | 5    | 15    | 15    | 12    | 8,2   | 9,2   | 8,4   | 1,7   | 1,6  | 0,48 | 0,69  | 2,5   |      | 1,1   |
| PCB 101             | µg/kg TS | 13    | 14   | 14    | 14   | 55    | 51    | 35    | 18    | 21    | 19    | 4,6   | 3,3  | 1,2  | 5,3   | 8,3   |      | 1,8   |
| PCB 118             | µg/kg TS | 7,6   | 12   | 9,6   | 10   | 45    | 43    | 30    | 12    | 20    | 17    | 3,9   | 2,9  | 1,1  | 1,9   | 7,5   |      | 1,8   |
| PCB 138             | µg/kg TS | 28    | 22   | 26    | 23   | 72    | 67    | 47    | 26    | 27    | 24    | 6,8   | 3,5  | 1,7  | 18    | 12    |      | 2,5   |
| PCB 153             | µg/kg TS | 36    | 27   | 32    | 27   | 84    | 80    | 58    | 29    | 34    | 30    | 19    | 4,6  | 2    | 19    | 17    |      | 3     |
| PCB 180             | µg/kg TS | 25    | 14   | 16    | 16   | 44    | 38    | 27    | 14    | 13    | 12    | 3,1   | 1,7  | 1,1  | 15    | 6,2   |      | 1,5   |
| Sum PCB-7           | µg/kg TS | 113,7 | 99,3 | 101,8 | 97   | 319,8 | 298,4 | 211,9 | 108,7 | 126,2 | 112,4 | 39,42 | 17,9 | 7,58 | 59,89 | 54,37 | 15,5 | 11,95 |
| Tørrestoff          | %        | 53,9  | 44,3 | 42,7  | 31,7 | 36,4  | 31,7  | 31,6  | 55    | 41,7  | 50,3  | 69,6  | 73,1 | 77,3 | 86,3  | 70,4  | 57,5 | 70,5  |

Analyseresultatene viser generelt høye konsentrasjoner av kvikksølv, kobber og PAH-16 tilsvarende tilstandsklasse V i henhold til veileder M-608/2020 i de fleste prøvene. PCB-7 og sink er generelt påvist i tilstandsklasse IV eller III. Delområde Våg 4 (terskelen) skiller seg ut med gjennomgående lavere konsentrasjoner av miljøgifter. Også delområde Våg 5 (det ytterste delområdet) har generelt lavere konsentrasjoner av miljøgifter enn i de tre indre delområdene.

### 3.1.2 Kjerneprøver fra 2010

I 2010 ble det gjennomført arkeologiske undersøkelser i Vågen i Bergen med innsamling av 45 sedimentkjerner. Kjernene ble tatt ved hjelp av stempelkjernetaker fra flåte. For å øke prøvetettheten og avklare mektigheten av de forurensede sedimentene i ulike deler av tiltaksområdet, ble 24 av sedimentkjernene analysert for miljøgifter (COWI, 2012). Det ble lagt vekt på at de utvalgte kjernene skulle gi et representativt bilde av miljøforholdene i Vågen og fortette informasjon fra tidligere undersøkelser. Figur 15 viser en oversikt over kjerneprøvelokalitetene.

Det ble det tatt prøver fra 0-10 cm i alle de utvalgte kjernene, samt fra ulike dybdeintervaller ned til 240 cm dyp, totalt 72 prøver (COWI, 2012). Alle prøvene ble analysert for metaller (As, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni og Zn), PCB-7, PAH-16, totalt organisk karbon (TOC), vanninnhold (TS%), silt (<63 µm) og leire (<2 µm). I tillegg ble et utvalg av prøver analysert for TBT.

Analyseresultatene for miljøgiftene i forskjellige dybdeintervaller er vist i Tabell 6. Analyseresultatene viser sterk forurensning av kobber, kvikksølv, PAH-16 og TBT tilsvarende tilstandsklasse V i de fleste prøvene. PCB-7 og sink er påvist i litt lavere konsentrasjoner med en overvekt av konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse IV og III. Bly er generelt påvist i tilstandsklasse III.

Sedimentet i Vågen har relativt høyt innhold av organisk materiale (TOC) (Tabell 6). TOC innholdet i prøvene varierer mellom 0,25 og 18 % med et gjennomsnitt på rundt 9 %.

Tabell 6 viser også mengde finstoff i sedimentkjernene. De analyserte kjerneprøvene har gjennomsnittlig 27 % av materialet i fraksjonen leire og silt (<63 µm). Maksimum og minimum innhold av silt og leire i prøvene er henholdsvis 44 % og 3,3 %. Generelt har sjøbunnen i de dypeste områdene innenfor terskelen mest finstoff, mens grunnere partier og områder utenfor kaifronter har mindre finstoff.

**Tabell 6**      **Analyseresultater for prøver fra kjernene innhentet i 2010 klassifisert i henhold til veileder M-608/2020. Se Figur 15 for lokalitetsoversikt.**

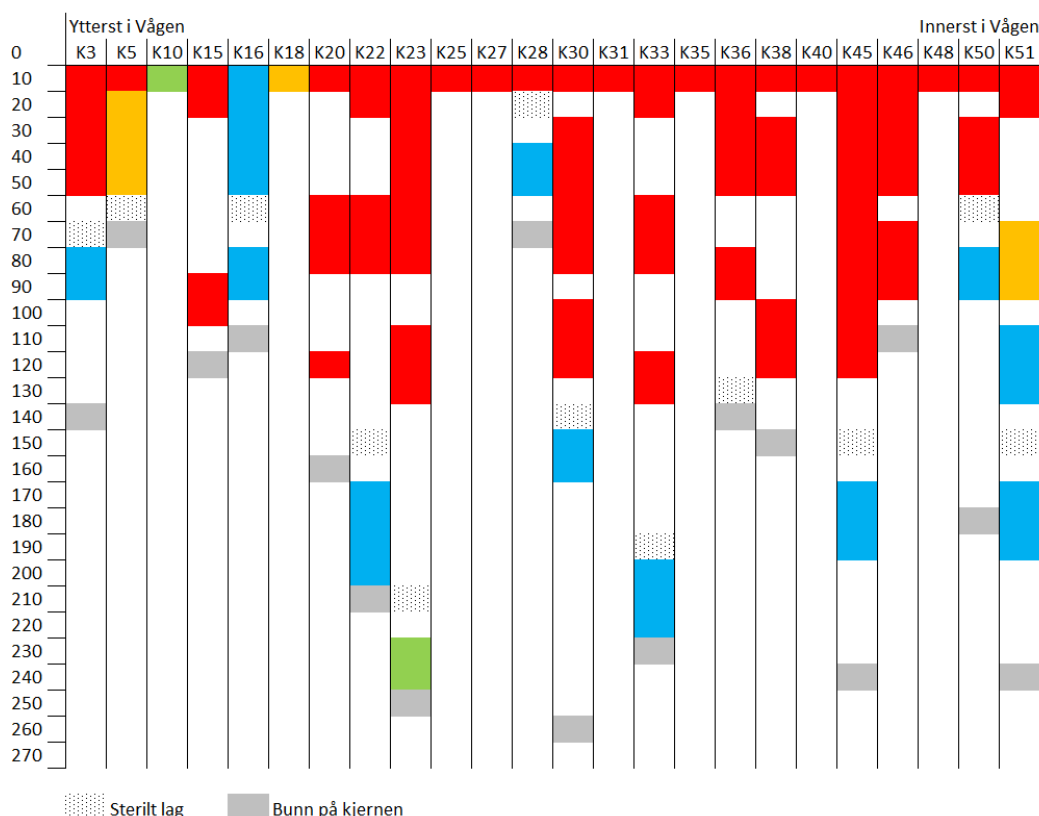
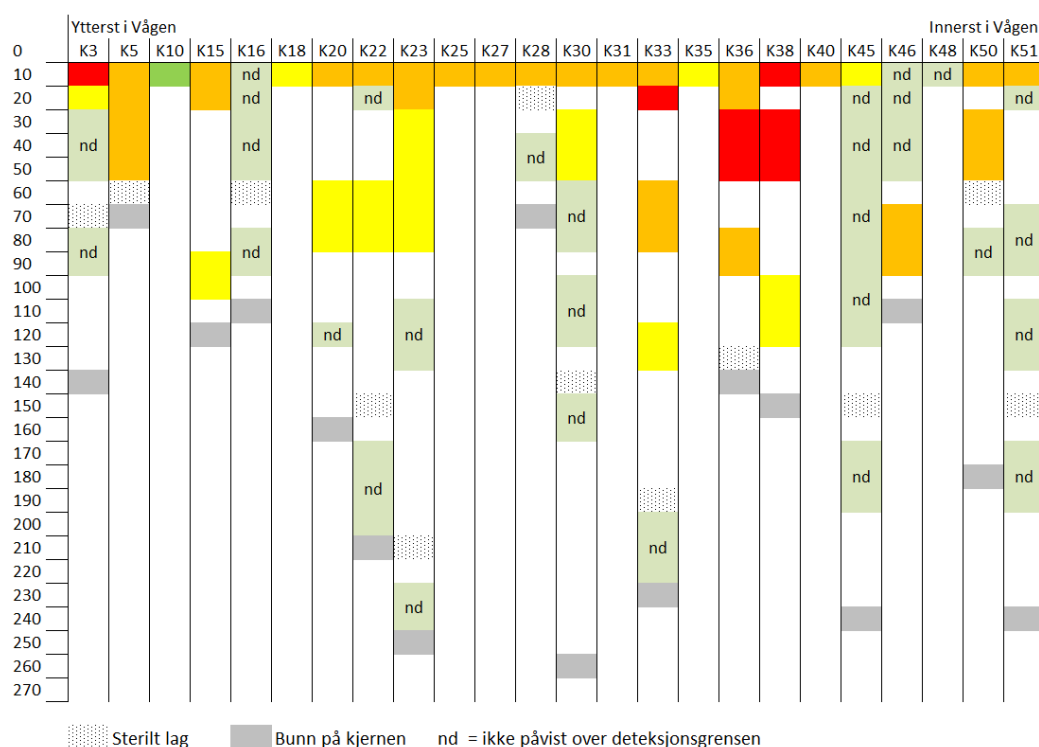
| Prøve    | Dyp     | TOC   | Kornfordeling |                  |                 | TS  | Arsen | Bly | Kobber | Krom   | Kvikksølv | Nikkel | Sink  | Kadmium | PCB7  | PAH16 | TBT |
|----------|---------|-------|---------------|------------------|-----------------|-----|-------|-----|--------|--------|-----------|--------|-------|---------|-------|-------|-----|
|          |         |       | %             | < 63 µm (%) (v/) | < 2 µm (%) (v/) |     |       |     |        |        |           |        |       |         |       |       |     |
| mg/kg TS |         |       |               |                  |                 |     |       |     |        |        |           |        |       |         |       |       |     |
| K3       | 0-10    | 7,40  | 26,80         | 5,50             | 45,00           | 28  | 830   | 270 | 97     | 5,33   | 25        | 730    | 1,3   | 0,56    | 55    | 640   |     |
| K3       | 10-20   | 14,00 | 25,20         | 3,70             | 49,00           | 20  | 430   | 140 | 28     | 4,46   | 22        | 570    | 0,98  | 0,034   | 39    |       |     |
| K3       | 20-50   | 4,10  | 17,30         | 4,60             | 71,00           | 5,7 | 55    | 21  | 9,5    | 4,58   | 9,7       | 60     | 0,13  | 0,003   | 4,7   | <1    |     |
| K3       | 70-90   | 0,50  | 30,40         | 1,40             | 77,00           | 3,3 | 3,2   | 4,3 | 7,3    | 0,017  | 4,7       | 19     | 0,043 | 0,003   | 0,049 |       |     |
| K5       | 0-10    | 6,60  | 8,20          | 1,90             | 71,00           | 7,1 | 120   | 86  | 16     | 2,32   | 9         | 350    | 0,55  | 0,063   | 21    |       |     |
| K5       | 10-20   | 2,00  | 8,70          | 0,50             | 70,00           | 9,4 | 360   | 63  | 20     | 1,08   | 8,4       | 330    | 0,58  | 0,062   | 64    |       |     |
| K5       | 20-50   | 9,00  | 7,40          | 2,10             | 58,00           | 9,2 | 230   | 85  | 15     | 1,13   | 8         | 420    | 0,8   | 0,053   | 78    |       |     |
| K10      | 0-10    | 0,68  | 10,90         | 3,50             | 79,00           | 3,9 | 37    | 21  | 11     | 0,185  | 6,9       | 50     | 0,077 | 0,0035  | 1,4   |       |     |
| K15      | 0-10    | 13,00 | 21,50         | 3,90             | 50,00           | 30  | 640   | 540 | 41     | 13,9   | 19        | 950    | 2,1   | 0,4     | 120   |       |     |
| K15      | 10-20   | 7,90  | 21,20         | 3,20             | 49,00           | 22  | 440   | 450 | 50     | 3,95   | 22        | 1200   | 2,2   | 0,2     | 110   |       |     |
| K15      | 80-100  | 10,00 | 27,30         | 3,60             | 44,00           | 39  | 3 600 | 410 | 32     | 12,2   | 27        | 1500   | 2,4   | 0,014   | 240   |       |     |
| K16      | 0-10    | 8,80  | 27,10         | 0,50             | 83,00           | 3   | 2,4   | 4,1 | 9,5    | 0,003  | 6,7       | 23     | 0,044 | 0,003   | 0,1   | <1    |     |
| K16      | 10-20   | 0,00  |               |                  | 84,00           | 4,2 | 2,4   | 6,2 | 10     | 0,003  | 7,1       | 23     | 0,033 | 0,003   | 0,1   |       |     |
| K16      | 20-50   | 0,25  | 35,40         | 2,50             | 85,00           | 2,6 | 2,3   | 6   | 10     | 0,003  | 7,7       | 27     | 0,025 | 0,003   | 0,1   | <1    |     |
| K16      | 70-90   | 0,25  | 36,70         | 2,30             | 88,00           | 2,1 | 2,7   | 7,4 | 9,9    | 0,002  | 7         | 25     | 0,027 | 0,003   | 0,1   |       |     |
| K18      | 0-10    | 9,00  | 3,30          | 1,00             | 73,00           | 5,6 | 84    | 47  | 12     | 0,961  | 5,8       | 110    | 0,15  | 0,039   | 23    |       |     |
| K20      | 0-10    | 12,00 | 22,70         | 4,20             | 49,00           | 15  | 380   | 250 | 60     | 4,65   | 16        | 650    | 1,8   | 0,32    | 41    |       |     |
| K20      | 50-80   | 10,00 | 36,40         | 6,40             | 41,00           | 31  | 1 000 | 320 | 43     | 10,2   | 26        | 1300   | 3     | 0,0076  | 64    |       |     |
| K20      | 110-120 | 13,00 | 29,90         | 5,50             | 37,00           | 11  | 360   | 200 | 31     | 3,5    | 19        | 230    | 1     | 0,003   | 4     |       |     |
| K22      | 0-10    | 14,00 | 28,30         | 4,90             | 43,00           | 41  | 780   | 340 | 43     | 14     | 27        | 2500   | 4,5   | 0,069   | 77    |       |     |
| K22      | 10-20   | 11,00 | 32,40         | 5,70             | 42,00           | 59  | 4 800 | 470 | 48     | 13,3   | 42        | 7600   | 11    | 0,003   | 83    |       |     |
| K22      | 50-80   | 6,60  | 30,00         | 4,10             | 49,00           | 36  | 4 900 | 440 | 28     | 6,44   | 45        | 4700   | 3,4   | 0,014   | 54    |       |     |
| K22      | 160-195 | 3,10  | 36,80         | 1,50             | 75,00           | 5,2 | 4,5   | 5,9 | 10     | 0,015  | 6,6       | 27     | 0,075 | 0,003   | 0,1   |       |     |
| K23      | 0-10    | 5,90  | 28,60         | 3,70             | 47,00           | 19  | 390   | 280 | 60     | 10,6   | 17        | 700    | 1,7   | 0,25    | 26    | 1300  |     |
| K23      | 10-20   | 7,30  | 19,60         | 4,70             | 52,00           | 19  | 430   | 210 | 48     | 4,66   | 19        | 700    | 1,7   | 0,14    | 32    |       |     |
| K23      | 20-50   | 10,00 | 28,20         | 3,80             | 45,00           | 24  | 660   | 210 | 35     | 7,48   | 26        | 860    | 1,9   | 0,026   | 85    | 130   |     |
| K23      | 50-80   | 14,00 | 33,80         | 5,00             | 36,00           | 21  | 980   | 280 | 43     | 22,1   | 26        | 730    | 2,3   | 0,022   | 42    | 42    |     |
| K23      | 100-130 | 14,00 | 29,10         | 4,10             | 33,00           | 17  | 660   | 220 | 38     | 4,89   | 23        | 350    | 1,8   | 0,003   | 24    |       |     |
| K23      | 220-240 | 0,75  | 44,00         | 1,10             | 76,00           | 5,6 | 28    | 16  | 12     | 0,272  | 7,5       | 44     | 0,19  | 0,003   | 0,37  |       |     |
| K25      | 0-10    | 18,00 | 32,90         | 5,30             | 43,00           | 23  | 620   | 390 | 90     | 9,203  | 25        | 1100   | 3,1   | 0,39    | 38    |       |     |
| K27      | 0-10    | 10,00 | 29,50         | 4,30             | 47,00           | 24  | 380   | 280 | 52     | 7,39   | 17        | 750    | 1,6   | 0,24    | 31    |       |     |
| K28      | 0-10    | 2,50  | 27,20         | 5,20             | 79,00           | 8,9 | 360   | 130 | 59     | 2,73   | 13        | 650    | 0,5   | 0,053   | 21    |       |     |
| K28      | 30-50   | 0,25  |               |                  | 93,00           | 1,2 | 4,9   | 17  | 15     | 0,004  | 13        | 42     | 0,027 | 0,003   | 0,07  |       |     |
| K30      | 0-10    | 6,80  | 25,20         | 3,70             | 59,00           | 18  | 330   | 830 | 50     | 18,7   | 18        | 960    | 3,7   | 0,24    | 18    | 630   |     |
| K30      | 20-50   | 12,00 | 28,50         | 5,00             | 37,00           | 32  | 4 200 | 310 | 44     | 15     | 26        | 930    | 3,2   | 0,0058  | 57    | <1    |     |
| K30      | 50-80   | 8,70  | 33,50         | 5,70             | 36,00           | 12  | 210   | 160 | 31     | 4,89   | 18        | 160    | 0,73  | 0,003   | 11    | <1    |     |
| K30      | 90-120  | 9,60  | 37,20         | 3,60             | 40,00           | 11  | 180   | 150 | 29     | 4,18   | 19        | 150    | 0,79  | 0,003   | 3,9   |       |     |
| K30      | 140-160 | 0,25  | 35,20         | 1,30             | 76,00           | 6,5 | 3,3   | 5,3 | 8,7    | 0,024  | 5,6       | 20     | 0,065 | 0,003   | 0,024 |       |     |
| K31      | 0-10    | 10,00 | 25,20         | 3,50             | 41,00           | 33  | 570   | 410 | 60     | 10,5   | 29        | 2000   | 3,9   | 0,19    | 580   |       |     |
| K33      | 0-10    | 9,70  | 30,70         | 4,20             | 38,00           | 22  | 620   | 460 | 81     | 18,9   | 23        | 1100   | 6     | 0,42    | 42    |       |     |
| K33      | 10-20   | 13,00 | 35,10         | 4,70             | 39,00           | 22  | 700   | 510 | 110    | 17,9   | 27        | 1300   | 3,8   | 1,1     | 45    |       |     |
| K33      | 50-80   | 13,00 | 30,40         | 4,20             | 41,00           | 28  | 660   | 350 | 48     | 19,4   | 26        | 1600   | 3,5   | 0,13    | 89    |       |     |
| K33      | 110-130 | 11,00 | 20,90         | 4,10             | 52,00           | 16  | 480   | 140 | 27     | 7,89   | 17        | 380    | 0,81  | 0,01    | 32    |       |     |
| K33      | 190-220 | 1,80  | 36,00         | 1,90             | 81,00           | 4,5 | 3     | 4,8 | 9,7    | 0,014  | 6,8       | 26     | 0,039 | 0,003   | 0,046 |       |     |
| K35      | 0-10    | 9,40  | 31,50         | 2,70             | 41,00           | 8,5 | 350   | 120 | 18     | 4,02   | 13        | 230    | 0,84  | 0,01    | 19    |       |     |
| K36      | 0-10    | 9,50  | 33,40         | 4,20             | 46,00           | 17  | 620   | 340 | 77     | 4,096  | 24        | 880    | 0,77  | 0,051   | 21    |       |     |
| K36      | 10-20   | 15,00 | 35,90         | 6,60             | 43,00           | 20  | 620   | 370 | 56     | 5,23   | 28        | 1100   | 1,3   | 0,093   | 25    |       |     |
| K36      | 20-50   | 11,00 | 22,20         | 2,50             | 39,00           | 20  | 470   | 360 | 67     | 6,12   | 20        | 1100   | 2,5   | 1,2     | 56    |       |     |
| K36      | 70-90   | 6,20  | 17,60         | 1,60             | 48,00           | 8,1 | 98    | 110 | 24     | 1,73   | 11        | 250    | 0,52  | 0,07    | 8,3   |       |     |
| K38      | 0-10    | 12,00 | 42,00         | 11,60            | 36,00           | 30  | 740   | 520 | 95     | 11,6   | 31        | 2200   | 3,8   | 0,76    | 50    | 1100  |     |
| K38      | 20-50   | 13,00 | 38,90         | 6,10             | 39,00           | 35  | 850   | 480 | 89     | 11,5   | 34        | 2200   | 4,1   | 0,56    | 58    | 42    |     |
| K38      | 90-120  | 12,00 | 25,90         | 5,10             | 42,00           | 15  | 490   | 200 | 29     | 4,97   | 17        | 390    | 1,2   | 0,018   | 28    |       |     |
| K40      | 0-10    | 13,00 | 24,00         | 4,20             | 37,00           | 39  | 810   | 580 | 60     | 13,9   | 28        | 2100   | 4,4   | 0,28    | 77    |       |     |
| K45      | 0-10    | 10,00 | 38,30         | 4,90             | 41,00           | 27  | 650   | 290 | 45     | 17     | 25        | 1800   | 2,5   | 0,01    | 57    | 670   |     |
| K45      | 10-20   | 14,00 | 30,20         | 2,60             | 36,00           | 26  | 970   | 350 | 47     | 9,85   | 30        | 2100   | 2,8   | 0,003   | 72    |       |     |
| K45      | 20-50   | 11,00 | 34,60         | 6,50             | 34,00           | 24  | 940   | 260 | 32     | 6,8    | 20        | 520    | 1,3   | 0,003   | 48    | <1    |     |
| K45      | 50-80   | 16,00 | 37,00         | 5,10             | 29,00           | 17  | 290   | 250 | 36     | 4,41   | 21        | 310    | 1,6   | 0,003   | 7     |       |     |
| K45      | 80-120  | 17,00 | 31,70         | 4,90             | 28,00           | 12  | 190   | 220 | 33     | 2,58   | 22        | 220    | 1,1   | 0,003   | 2,9   |       |     |
| K45      | 160-190 | 1,80  | 21,50         | 1,70             | 76,00           | 6,2 | 1,3   | 3,1 | 9,6    | 0,0005 | 6         | 17     | 0,084 | 0,003   | 0,038 |       |     |
| K46      | 0-10    | 12,00 | 22,20         | 2,20             | 33,00           | 4,9 | 210   | 160 | 27     | 2,03   | 16        | 280    | 0,78  | 0,003   | 14    |       |     |
| K46      | 10-20   | 18,00 | 25,40         | 5,70             | 31,00           | 5,8 | 220   | 170 | 28     | 3,12   | 17        | 270    | 0,9   | 0,003   | 12    |       |     |
| K46      | 20-50   | 13,00 | 18,90         | 2,50             | 33,00           | 5,1 | 150   | 110 | 22     | 1,82   | 13        | 180    | 0,49  | 0,003   | 13    |       |     |
| K46      | 60-90   | 9,30  | 13,90         | 2,40             | 39,00           | 7,6 | 180   | 130 | 19     | 1,56   | 12        | 260    | 0,57  | 0,06    | 21    |       |     |
| K48      | 0-10    | 4,50  | 13,90         | 1,90             | 44,00           | 5,5 | 440   | 110 | 20     | 4,04   | 14        | 150    | 0,44  | 0,003   | 9,1   |       |     |
| K50      | 0-10    | 13,00 | 31,50         | 2,40             | 35,00           | 20  | 460   | 290 | 43     | 6,17   | 16        | 550    | 1,3   | 0,2     | 54    |       |     |
| K50      | 20-50   | 5,40  | 20,50         | 3,30             | 48,00           | 16  | 280   | 200 | 42     | 3,22   | 18        | 790    | 1,6   | 0,26    | 25    |       |     |
| K50      | 70-90   | 8,60  | 13,40         | 0,50             | 81,00           | 3,6 | 1,9   | 3,1 | 7,9    | 0,007  | 4,5       | 20     | 0,043 | 0,003   | 0,3   |       |     |
| K51      | 0-10    | 15,00 | 22,40         | 4,30             | 39,00           | 11  | 340   | 140 | 19     | 3,72   | 10        | 210    | 0,69  | 0,046   | 17    |       |     |
| K51      | 10-20   | 12,00 | 19,90         | 3,80             | 39,00           | 9,3 | 1 200 | 120 | 20     | 2,54   | 12        | 230    | 1,2   | 0,003   | 12    |       |     |
| K51      | 60-90   | 9,40  | 25,60         | 3,10             | 37,00           | 5,4 | 78    | 150 | 28     | 1,12   | 16        | 100    | 0,55  | 0,003   | 1,4   |       |     |
| K51      | 100-130 | 0,88  | 23,80         | 1,10             | 72,00           | 4,8 | 5,9   | 10  | 9,4    | 0,033  | 5,9       | 22     | 0,093 | 0,003   | 0,1   |       |     |
| K51      | 160-190 | 3,60  | 23,60         | 1,20             | 81,00           | 2,4 | 1,9   | 4,2 | 8,1    | 0,001  | 5,3       | 19     | 0,032 | 0,003   | 0,1   |       |     |

Figur 16 viser konsentrasjonen av kvikksølv og PCB-7 i alle de analyserte kjerneprøvene klassifisert i henhold til tilstandsklasser gitt i M-608/2020. Bunnen på hver av kjernene er vist med grått lag, og prikket lag viser dybden til sterilt lag (uttrykk brukt i marinarkeologi om marine avsetning uten spor av menneskelig aktivitet).

Når det gjelder kvikksølv, så varierer tykkelsen på det forurensede laget generelt med dybden til det tette morenelaget. I de fleste av de undersøkte kjernene er sedimentet forurensset med kvikksølv i tilstandsklasse V ned til sterilt lag. Med unntak av kjerne K23, er det ikke påvist kvikksølv-forurensning i prøvene under sterilt lag. Det er påvist kvikksølv i tilstandsklasse V ned til dybde 130 cm (K23 og K33). Disse kjernene er tatt fra den dypeste delen av Vågen i området innenfor terskelen (Figur 15).

Det er påvist konsentrasjoner av PCB-7 tilsvarende tilstandsklasse IV ned til 90 cm (K36 og K46) og konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse III ned til 130 cm (K33). Ved enkelte lokaliteter er det påvist PCB-forurensning ned til sterilt lag (K5, K28, K36, K38, K50), mens det ved andre lokaliteter er registrert lag over sterilt lag uten påvist PCB-7 (K3, K16, K20, K23, K30, K51). PCB-forurensningen stikker dermed generelt ikke så dypt som kvikksølv-forurensningen.

Når det gjelder de andre miljøgiftene, er det kobber og PAH-16 som skiller seg ut med de høyeste konsentrasjonene i de dypere liggende lag. Forurensningsmektigheten til kobber, bly og PAH-16 følger generelt det samme mønsteret som kvikksølv, og tilførselen av disse miljøgiftene ser dermed ut til å ha pågått lengst i området.

**Kvikksølv (Hg)****PCB-7****Figur 16**

Analyseresultater av kjerneprøver fra 2010 klassifisert etter M-608/2020. NB! Det finnes ikke tilstandsklasse I for PCB i henhold til M-608/2020. Prøver som ikke har fått påvist PCB over deteksjonsgrensen er farget med lys grønn farge. Sterilt lag = uttrykk brukt i marin arkeologi om marine avsetning uten spor av menneskelig aktivitet. Se Figur 15 for lokalitetsoversikt.

Tabell 7 viser analyseresultater fra prøver innhentet i 2010 fra 4 lokaliteter i delområde Våg 4 i forbindelse med etablering av en BKK kabelgrøft tvers over terskelen fra Tollbodkaien til Skolten. Ved lokalitet BKK-OF-1 og BKK-OF-4 er det kun tatt prøve av 0-10 intervallet, mens det ved lokalitet BKK-Sj-2 og BKK-Sj-3 er det tatt prøver ned til henholdsvis 60 og 90 cm under sjøbunnsoverflaten.

Resultatene viser generelt lave metallkonsentrasjoner, med unntak av prøve BKK-Sj-3B der kvikksølv og sink er påvist i henholdsvis tilstandsklasse IV og III. De organiske miljøgiftene er påvist i konsentrasjoner tilsvarende III-V i 0-10 cm intervallet, samt i 20-30 cm intervallet ved lokalitet BKK-Sj-3. Prøvene fra dypere liggende nivåer har generelt lave miljøgiftkonsentrasjoner.

**Tabell 7**      *Prøver fra 2010 tatt i forbindelse med etablering av BKK kabelgrøft. Prøvene er klassifisert i henhold til veileder M-608/2020. Se Figur 15 for lokalitetsoversikt.*

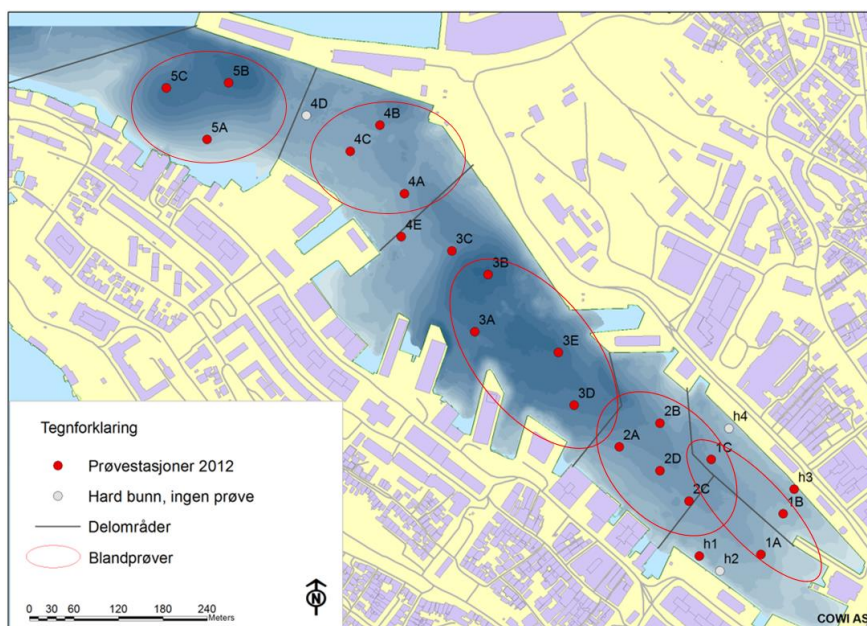
|                      | Enhhet   | BKK-OF-1 | BKK-SJ-2A | BKK-SJ-2B | BKK-SJ-3A | BKK-SJ-3B | BKK-SJ-3C | BKK-SJ-3D | BKK-OF-4 |
|----------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Dybdeintervall (cm)  |          | 0-10     | 20-25     | 50-60     | 0-10      | 20-30     | 60-70     | 80-90     | 0-10     |
| Arsen                | mg/kg TS | 5,7      | 6,8       | 3,2       | 2,9       | 5,5       | 5,9       | 3,6       | 3        |
| Bly                  | mg/kg TS | 50       | 10        | 3,2       | 130       | 120       | 22        | 1,1       | 27       |
| Kadmium              | mg/kg TS | 0,14     | 0,1       | 0,065     | 0,085     | 0,46      | 0,096     | 0,067     | 0,08     |
| Kobber               | mg/kg TS | 44       | 20        | 8,6       | 28        | 67        | 24        | 4,6       | 14       |
| Krom                 | mg/kg TS | 12       | 9,7       | 7,7       | 25        | 19        | 7,4       | 7         | 17       |
| Kvikksølv            | mg/kg TS | 0,407    | 0,13      | 0,037     | 0,307     | 1,06      | 0,161     | 0,009     | 0,153    |
| Nikkel               | mg/kg TS | 7        | 7,7       | 5,9       | 6,6       | 7,1       | 5,7       | 5         | 8        |
| Sink                 | mg/kg TS | 100      | 28        | 20        | 85        | 180       | 30        | 16        | 61       |
| Naftalen             | mg/kg TS | 0,013    | <0,01     | <0,01     | 0,072     | 0,064     | <0,01     | <0,01     | 0,053    |
| Acenafitylen         | mg/kg TS | 0,005    | <0,01     | <0,01     | 0,029     | 0,045     | <0,01     | <0,01     | 0,052    |
| Acenafiten           | mg/kg TS | 0,015    | <0,01     | <0,01     | 0,12      | 0,11      | <0,01     | <0,01     | 0,061    |
| Fluoren              | mg/kg TS | 0,02     | <0,01     | <0,01     | 0,15      | 0,19      | <0,01     | <0,01     | 0,074    |
| Fenantren            | mg/kg TS | 0,14     | <0,01     | <0,01     | 1,1       | 1,7       | 0,048     | <0,01     | 0,46     |
| Antracen             | mg/kg TS | 0,063    | <0,01     | <0,01     | 0,35      | 0,63      | 0,021     | <0,01     | 0,27     |
| Fluoranten           | mg/kg TS | 0,37     | 0,011     | <0,01     | 2,3       | 3,2       | 0,1       | <0,01     | 1,5      |
| Pyren                | mg/kg TS | 0,33     | 0,014     | <0,01     | 2         | 2,8       | 0,12      | <0,01     | 2        |
| Benzo(a)antracen     | mg/kg TS | 0,29     | 0,011     | <0,01     | 1,9       | 3         | 0,092     | <0,01     | 1,6      |
| Krysen               | mg/kg TS | 0,29     | 0,011     | <0,01     | 2         | 3         | 0,083     | <0,01     | 1,3      |
| Benzo(b)fluoranten   | mg/kg TS | 0,23     | 0,012     | <0,01     | 1,2       | 1,9       | 0,083     | <0,01     | 1,1      |
| Benzo(k)fluoranten   | mg/kg TS | 0,2      | 0,013     | <0,01     | 1,1       | 1,8       | 0,078     | <0,01     | 0,92     |
| Benzo(a)pyren        | mg/kg TS | 0,22     | 0,01      | <0,01     | 1,1       | 1,8       | 0,074     | <0,01     | 1        |
| Indeno[1,2,3cd]pyren | mg/kg TS | 0,12     | <0,01     | <0,01     | 0,42      | 0,69      | 0,032     | <0,01     | 0,42     |
| Dibenzo(a,h)antracen | mg/kg TS | 0,024    | <0,01     | <0,01     | 0,08      | 0,15      | <0,01     | <0,01     | 0,093    |
| Benzo(g,h,i)perylene | mg/kg TS | 0,11     | <0,01     | <0,01     | 0,35      | 0,59      | 0,034     | <0,01     | 0,36     |
| PAH-16               | mg/kg TS | 2,44     |           | nd        | 14,27     |           |           | nd        | 11,26    |
| PCB 28               | µg/kg TS | 0,25     | <0,5      | <0,5      | 0,74      | <0,5      | <0,5      | <0,5      | <0,5     |
| PCB 52               | µg/kg TS | 3,3      | <0,5      | <0,5      | 4,2       | 29        | <0,5      | <0,5      | 3        |
| PCB 101              | µg/kg TS | 3,3      | <0,5      | <0,5      | 3,3       | 20        | <0,5      | <0,5      | 1,9      |
| PCB 118              | µg/kg TS | 2        | <0,5      | <0,5      | 2,3       | 15        | <0,5      | <0,5      | 1,1      |
| PCB 138              | µg/kg TS | 4,3      | <0,5      | <0,5      | 4,1       | 29        | <0,5      | <0,5      | 2,4      |
| PCB 153              | µg/kg TS | 3        | <0,5      | <0,5      | 3         | 21        | <0,5      | <0,5      | 1,9      |
| PCB 180              | µg/kg TS | 1,7      | <0,5      | <0,5      | 1,5       | 12        | <0,5      | <0,5      | 1,1      |
| Sum PCB-7            | µg/kg TS | 17,85    | nd        | nd        | 19,14     | 126,25    | nd        | nd        | 11,65    |
| TBT                  | µg/kg TS | 98       | <1        | <1        | 220       | 390       | <1        | <1        | 15       |

### 3.1.3 Blandprøver fra 2012

For å supplere tidligere datagrunnlag og se nærmere på forurensningens tilgjengelighet for opptak i organismer, ble det i 2012 gjennomført en utvidet sedimentundersøkelse i Vågen (COWI, 2014a). I den forbindelse ble det samlet inn sedimentprøver med grabb fra intervallet 0-10 cm fra 21 prøvelokaliteter. Prøvelokalitetene er vist i Figur 17, og en beskrivelse av prøvene er gitt i Tabell 8.

Vågen ble inndelt i 5 delområder, og prøver som var typisk for hvert delområde ble samlet til en blandprøve for hvert av delområdene (Våg 1-5 i Figur 17 og Tabell 8). I tillegg til sedimentprøvene som inngikk i blandprøvene, ble det tatt enkeltprøver fra to områder nær kaier der bunnen er påvirket av propellersosjon (Våg h1 og Våg h3). De 5 blandprøvene og 2 enkeltprøvene ble analysert for 8 metaller, PCB-7, PAH-16, TBT, TOC og kornstørrelse (COWI, 2014a).

Utypiske prøver fra overgangssoner mellom delområdene ble ikke tatt med i blandprøvene (3C og 4E i Figur 17), og de ble heller ikke analysert separat.



**Figur 17** Delprøvelokaliteter fra undersøkelsen i 2012 (COWI, 2014a). Delprøvene innenfor hver av de røde sirklene ble slått sammen til en blandprøve merket Våg 1-5. I tillegg ble det tatt en separat sedimentprøve fra hver av lokalitetene h1 og h3. Materiale fra lokalitet 3C og 4E representerer en overgangssone og ble ikke inkludert i blandprøvene/ikke analysert.

**Tabell 8** Beskrivelse av sedimentprøver fra Vågen, 2012. Se Figur 17 for alle delprøvelokalitetene.

| Delområde | Prøve til analyse     | Delprøver i blandprøven | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VÅG 1     | Blandprøve VÅG 1      | VÅG 1A, 1B, 1C          | 1-2 mm gråbrunt topplag over svart sediment. Mye finstoff og organisk materiale, noe større partikler. Lukter H <sub>2</sub> S. Noen skjellfragmenter. Registrert fåtall snegl, sjøstjerne, eremittkreps. Noe skrot/søppel. Lite mark. Mer grovt materiale inn mot kaifronter                                |
|           | VÅG h1 (Strandkaaien) | VÅG h1                  | h1: Hard bunn. Sand, grus og stein. Lite finstoff. Mye skjellrester og tang.<br>h2: Ingen prøve på grunn av hard bunn                                                                                                                                                                                        |
|           | VÅG h3 (Bryggen)      | VÅG h3                  | h3: Hard bunn. Sand, grus og stein. Litt finstoff. Mye skjellrester og tang. Skrot/søppel (glass, plast).<br>h4: Ingen prøve på grunn av hard bunn.                                                                                                                                                          |
| VÅG 2     | Blandprøve VÅG 2      | VÅG 2A, 2B, 2C, 2D      | 1-2 mm brunt topplag med noen planterester over svart, homogent, bløtt men relativt plastisk sediment. Rikt på finstoff og organisk materiale. Lukter H <sub>2</sub> S. Mark særlig ved 5 cm. Registrert fåtall snegl og eremittkreps. Ikke skjellfragment.                                                  |
| VÅG 3     | Blandprøve VÅG 3      | VÅG 3A, 3B, 3D, 3E      | 3-5 mm mørk brunt fluffy topplag over svart, homogent, fast og plastisk sediment. Rikt på finstoff og organisk materiale. Lukter H <sub>2</sub> S. Ikke/lite skjellfragmenter. Mye mark. Registrert et helt skjell, litt tang. 3C: Tatt fra overgangssone til VÅG 4, grovere, utypisk, ikke med i blandprøve |
| VÅG 4     | Blandprøve VÅG 4      | VÅG 4A, B, C            | Hard bunn. 1-2 cm brunt sandig topplag over mørkere sandig sediment. Noe stein og tang, mye skjellrester. Ikke lukt. Litt mark. Registrert sjøstjerner, krabbe, eremittkreps.<br>4D: Ingen prøve på grunn av hard bunn<br>4E: På grense til VÅG 3, bløtere sediment, utypisk, ikke med i blandprøven.        |
| VÅG 5     | Blandprøve VÅG 5      | VÅG 5A, 5B, 5C          | 1-4 cm brungrått sandig topplag med skjellfragmenter og tang. Noe skrot/søppel (glass). Mørkere sediment med mer finstoff og organisk materiale under. Fast og litt plastisk. Svak oljelukt av en delprøve. Noe mark. Registrert sjøstjerner og eremittkreps                                                 |

Resultatene av sedimentanalysene klassifisert etter veileder M-608/2020 er presentert i Tabell 9. Fargekoder er gitt i Tabell 1. Analysene ble utført hos ALS Laboratory Group. I forbindelse med bioakkumuleringstestene ble duplikater av blandprøvene analysert av Eurofins AS på oppdrag av NIVA. Disse prøveresultatene er også inkludert i Tabell 9 (merket "dupl").

Analyseresultatene viser at sjøbunnen er særlig forurensset av kvikksølv, kobber, PAH-forbindelser og TBT tilsvarende tilstandsklasse V i de fleste prøvene (Tabell 9). PCB ble også påvist i høye konsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse IV og V. Delområde Våg 4 (terskelen) skiller seg ut med gjennomgående lavere konsentrasjoner av alle miljøgifter. Også delområde Våg 5 (det ytterste delområdet) har generelt lavere konsentrasjoner av miljøgifter enn i de tre indre delområdene. Avsnitt 3.1.9 viser kartfremstillinger av analyseresultatene fra 2012 sammen med resultatene fra andre undersøkelser.

**Tabell 9**      *Analyseresultatene av sedimentprøvene fra 2012 klassifisert etter veileder M-608/2020. Se Figur 17 for prøvelokaliteter.*

|                       |          | VAG h1 | VAG h3 | VAG 1 | VAG 1<br>dupl | VAG 2 | VAG 2<br>dupl | VAG 3 | VAG 3<br>dupl | VAG 4 | VAG 4<br>dupl | VAG 5 | VAG 5<br>dupl |
|-----------------------|----------|--------|--------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|
| Laboratorium          |          | ALS    | ALS    | ALS   | EUR           | ALS   | EUR           | ALS   | EUR           | ALS   | EUR           | ALS   | EUR           |
| Arsen, As             | mg/kg TS | 24     | 19     | 25    | 15            | 29    | 18            | 24    | 17            | 5,2   | 3,2           | 17    | 9,9           |
| Bly, Pb               | mg/kg TS | 544    | 247    | 509   | 290           | 678   | 330           | 413   | 290           | 120   | 48            | 208   | 240           |
| Kadmium, Cd           | mg/kg TS | 1,7    | 1,2    | 1,6   | 0,81          | 2,4   | 2             | 1,9   | 1,4           | 0,24  | 0,11          | 2,1   | 0,43          |
| Kobber, Cu            | mg/kg TS | 358    | 368    | 282   | 180           | 389   | 270           | 274   | 220           | 40    | 25            | 129   | 170           |
| Krom, Cr              | mg/kg TS | 49     | 40     | 53    | 28            | 79    | 47            | 73    | 46            | 18    | 8,4           | 33    | 22            |
| Kvikksølv, Hg         | mg/kg TS | 3,4    | 2      | 6,1   | 4,49          | 9,3   | 7,12          | 6,5   | 6,97          | 1,2   | 0,399         | 2,9   | 1,32          |
| Nikkel, Ni            | mg/kg TS | 27     | 16     | 25    | 12            | 28    | 15            | 24    | 13            | 8,3   | 4,3           | 16    | 6,9           |
| Sink, Zn              | mg/kg TS | 756    | 1060   | 782   | 450           | 975   | 660           | 668   | 540           | 183   | 190           | 1480  | 250           |
| Naftalen              | mg/kg TS | 0,38   | 0,33   | 0,85  | 0,23          | 0,83  | 0,14          | 0,79  | 0,12          | 0,088 | 0,15          | 0,27  | 0,12          |
| Acenaftylen           | mg/kg TS | 0,52   | 0,14   | 0,5   | 0,092         | 0,6   | 0,069         | 0,41  | 0,077         | 0,041 | 0,053         | 0,14  | 0,06          |
| Acenaften             | mg/kg TS | 0,23   | 0,15   | 0,69  | 0,33          | 0,55  | 0,21          | 0,48  | 0,31          | 0,025 | 0,045         | 0,071 | 0,23          |
| Fluoren               | mg/kg TS | 0,51   | 0,36   | 1,1   | 0,51          | 0,89  | 0,32          | 0,67  | 0,4           | 0,095 | 0,098         | 0,15  | 0,36          |
| Fenantren             | mg/kg TS | 8,6    | 4,1    | 9,4   | 3,7           | 9,2   | 2,6           | 6,5   | 3,1           | 1,1   | 0,67          | 2,3   | 3             |
| Antracen              | mg/kg TS | 1,4    | 0,59   | 2,8   | 1,3           | 3,2   | 0,8           | 1,8   | 1,1           | 0,17  | 0,34          | 0,55  | 0,99          |
| Fluoranten            | mg/kg TS | 17     | 6,3    | 17    | 5,8           | 18    | 5,3           | 12    | 5,9           | 1,9   | 1,4           | 6,1   | 5             |
| Pyren                 | mg/kg TS | 14     | 5,3    | 16    | 5,7           | 17    | 5,6           | 12    | 6,2           | 1,5   | 1,8           | 5,8   | 4,6           |
| Benzo(a)antracen      | mg/kg TS | 7,2    | 2,5    | 8,3   | 6,5           | 8,3   | 5,6           | 6,2   | 6,8           | 0,83  | 2,2           | 3,4   | 5,2           |
| Krysen                | mg/kg TS | 6,3    | 2,2    | 6,2   | 6,3           | 6,6   | 5,7           | 5     | 6,5           | 0,76  | 2             | 3,1   | 5,2           |
| Benzo(b)fluoranten    | mg/kg TS | 11     | 3,9    | 14    | 3,3           | 14    | 3,4           | 11    | 3,3           | 0,88  | 0,84          | 6,3   |               |
| Benzo(k)fluoranten    | mg/kg TS | 4,6    | 1,5    | 5     | 3             | 5,7   | 3             | 4,6   | 3,1           | 0,45  | 0,85          | 2,4   | 2             |
| Benzo(a)pyren         | mg/kg TS | 11     | 3,6    | 13    | 2,6           | 14    | 2,6           | 11    | 2,6           | 0,84  | 0,84          | 5,8   | 1,9           |
| Indeno(1,2,3,cd)pyren | mg/kg TS | 6,1    | 2,2    | 6,4   | 0,66          | 8,3   | 0,75          | 5,5   | 0,86          | 0,64  | 0,24          | 3,9   | 0,6           |
| Dibenzo(a,h)antracen  | mg/kg TS | 1,5    | 0,52   | 1,6   | 0,2           | 1,9   | 0,21          | 1,3   | 0,23          | 0,15  | 0,054         | 0,92  | 0,14          |
| Benzo(g,h,i)perylene  | mg/kg TS | 5,7    | 2      | 6,7   | 0,65          | 8     | 0,69          | 5,8   | 0,8           | 0,53  | 0,22          | 3,7   | 0,57          |
| Sum PAH-16            | mg/kg TS | 96     | 35,7   | 110   | 40,88         | 117   | 36,99         | 85,1  | 41,4          | 9,97  | 11,8          | 44,9  | 29,97         |
| PCB 28                | µg/kg TS | <0,5   | <0,5   | <0,5  | <0,5          | <0,5  | <0,5          | <0,5  | <0,5          | 2     | <0,5          | <0,5  | <0,5          |
| PCB 52                | µg/kg TS | 2,3    | 4,4    | 12    | 16            | 37    | 40            | 43    | 29            | 2,2   | 3             | 4     | 17            |
| PCB 101               | µg/kg TS | 8,3    | 11     | 37    | 19            | 120   | 49            | 110   | 36            | 3,6   | 6,4           | 15    | 26            |
| PCB 118               | µg/kg TS | 6,9    | 9,7    | 30    | 23            | 98    | 53            | 100   | 55            | 3,8   | 9,2           | 19    | 31            |
| PCB 138               | µg/kg TS | 14     | 11     | 53    | 51            | 180   | 110           | 130   | 100           | 3,7   | 17            | 31    | 55            |
| PCB 153               | µg/kg TS | 17     | 12     | 62    | 45            | 200   | 84            | 140   | 78            | 4,1   | 11            | 29    | 40            |
| PCB 180               | µg/kg TS | 13     | 6,1    | 39    | 22            | 130   | 46            | 83    | 36            | 2     | 6,4           | 19    | 17            |
| Sum PCB-7             | µg/kg TS | 61,5   | 54,2   | 233   | 176           | 765   | 382           | 605   | 334           | 21,4  | 53            | 117   | 186           |
| TBT                   | µg/kg TS |        |        | 440   | 942           | 540   | 1420          | 700   | 1310          | 97    | 376           | 300   | 351           |
| kornstørrelse <63µm   | %        | 16,4   | 5,9    | 41    |               | 70,9  |               | 60,8  |               | 4,2   |               | 22,4  |               |
| kornstørrelse <2µm    | %        |        |        | 8,1   |               | 7,4   |               | 6     |               |       |               | 2,3   |               |
| TOC                   | %        | 6,2    | 2,7    | 13    |               | 11    |               | 7,6   |               | 0,63  |               | 5,7   |               |

Analyseresultatene for kornfordeling og innhold av organisk stoff bekreftet resultatene fra tidligere undersøkelser som viste at sjøbunnen innenfor terskelen har høyest innhold av finstoff og organisk materiale. Fraksjonene silt og leire utgjorde 41% av prøven fra VÅG 1 og 61-71 % av sedimentprøvene fra VÅG 2 og 3 (Tabell 9). På terskelen (Våg 4) er sedimentet grovt med kun 4 % silt og leire og lite organisk stoff, mens i delområdet utenfor terskelen (Våg 5) er andel silt og leire 22 % og mengde organisk stoff noe høyere enn på terskelen.

### 3.1.4 Sedimentprøver foran kaier fra 2012

I forbindelse med planlagt mudring langs enkelte kaier i Vågen, ble det samlet inn sedimentprøver fra områdene ved Festningskaaien (FK) og Skoltegrunnskaaien (SK) i 2012 (Rådgivende Biologer, 2012). Undersøkelsen ble gjennomført av Rådgivende Biologer på oppdrag fra Havnevesenet.

Det ble forsøkt benyttet en 0,1 m<sup>2</sup> stor van Veen-grabb til prøvetaking, men sedimentet var så grovt, med store stein, at det ikke var mulig å få opp prøver av sedimentet for analyse (Rådgivende Biologer, 2012). Istedenfor ble det benyttet dykker som ryddet vekk steinene og tok opp prøver av det finstoffet som var mulig å få tak. Prøvene ble analysert for 8 metaller, PAH-16, PCB-7, TBT, kornfordeling, TOC og tørrstoffinnhold. Tabell 10 viser analyseresultatene for de 6 prøvene som ble tatt innenfor tiltaksområdet til Vågen. Resultatene er klassifisert i henhold til veileder M-608/2020.

Analyseresultatene viser generelt lavere konsentrasjoner av alle miljøgifter i de 6 prøvene fra Festningskaaien og Skoltegrunnskaaien sammenlignet med prøvene tatt fra de mer sentrale delene av Vågen (avsnitt 3.1.2 og 3.1.3). Med unntak av blykonsentrasjonen ved Festningskai 2, tilsvarer alle metallkonsentrasjonene tilstandsklasse II eller I. PAH-16 ble påvist i tilstandsklasse III eller lavere, mens PCB-7 ble påvist i tilstandsklasse IV eller lavere. Konsentrasjonen av TBT i prøven fra Skoltegrunnskaaien 6 tilsvarer tilstandsklasse V, mens TBT ble påvist i tilstandsklasse IV eller lavere i de andre prøvene.

**Tabell 10** Analyseresultater for prøvene tatt ved Festningskaiaen og Skoltegrunnskaiaen i Vågen klassifisert etter M-608/2020. Se Figur 15 for prøvelokaliteter.

|                       | Enhet    | Festnings-<br>kaiaen (FK) 1 | Festnings-<br>kaiaen (FK) 2 | Festnings-<br>kaiaen (FK) 3 | Skoltegrunns-<br>kaiaen (SK) 4 | Skoltegrunns-<br>kaiaen (SK) 5 | Skoltegrunns-<br>kaiaen (SK) 6 |
|-----------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Arsen, As             | mg/kg TS | 1,5                         | 2,5                         | 2,8                         | 0,98                           | 2,5                            | 7,8                            |
| Bly, Pb               | mg/kg TS | 27                          | 370                         | 74                          | 7,1                            | 19                             | 58                             |
| Kadmium, Cd           | mg/kg TS | 0,021                       | 0,071                       | 0,077                       | <0,013                         | 0,014                          | 0,03                           |
| Kobber, Cu            | mg/kg TS | 28                          | 23                          | 25                          | 5,3                            | 16                             | 21                             |
| Krom, Cr              | mg/kg TS | 13                          | 13                          | 13                          | 2,2                            | 13                             | 9,2                            |
| Kvikksølv, Hg         | mg/kg TS | 0,036                       | 0,256                       | 0,173                       | 0,31                           | 0,021                          | 0,129                          |
| Nikkel, Ni            | mg/kg TS | 5,7                         | 9,3                         | 6,3                         | 1,4                            | 6,7                            | 4,1                            |
| Sink, Zn              | mg/kg TS | 50                          | 68                          | 86                          | 17                             | 43                             | 88                             |
| Naftalen              | mg/kg TS | 0,0151                      | 0,00814                     | 0,0233                      | 0,0218                         | 0,0219                         | 0,022                          |
| Acenaftilen           | mg/kg TS | 0,00842                     | 0,00251                     | 0,00345                     | 0,0051                         | 0,00692                        | 0,0183                         |
| Acenaften             | mg/kg TS | 0,00925                     | 0,00269                     | 0,0192                      | 0,00903                        | 0,0152                         | 0,0182                         |
| Fluoren               | mg/kg TS | 0,0171                      | 0,00467                     | 0,0201                      | 0,0114                         | 0,0265                         | 0,0261                         |
| Fenantren             | mg/kg TS | 0,109                       | 0,0378                      | 0,122                       | 0,0819                         | 0,245                          | 0,279                          |
| Antracen              | mg/kg TS | 0,0362                      | 0,0106                      | 0,0311                      | 0,0236                         | 0,0481                         | 0,0681                         |
| Fluoranten            | mg/kg TS | 0,382                       | 0,107                       | 0,297                       | 0,189                          | 0,376                          | 0,672                          |
| Pyren                 | mg/kg TS | 0,364                       | 0,108                       | 0,253                       | 0,193                          | 0,338                          | 0,657                          |
| Benzo(a)antracen      | mg/kg TS | 0,213                       | 0,06                        | 0,115                       | 0,091                          | 0,151                          | 0,403                          |
| Krysen                | mg/kg TS | 0,184                       | 0,049                       | 0,109                       | 0,099                          | 0,136                          | 0,335                          |
| Benso(b)fluoranten    | mg/kg TS | 0,22                        | 0,0651                      | 0,121                       | 0,109                          | 0,141                          | 0,406                          |
| Benzo(k)fluoranten    | mg/kg TS | 0,105                       | 0,0318                      | 0,0518                      | 0,0559                         | 0,0667                         | 0,188                          |
| Benzo(a)pyren         | mg/kg TS | 0,237                       | 0,0746                      | 0,121                       | 0,0911                         | 0,15                           | 0,46                           |
| Indeno(1,2,3,cd)pyren | mg/kg TS | 0,159                       | 0,05                        | 0,0893                      | 0,0727                         | 0,0956                         | 0,302                          |
| Dibenzo(a,h)antracen  | mg/kg TS | 0,0297                      | 0,00845                     | 0,0159                      | 0,0143                         | 0,0172                         | 0,0498                         |
| Benzo(g,h,i)perylene  | mg/kg TS | 0,159                       | 0,045                       | 0,11                        | 0,089                          | 0,0963                         | 0,279                          |
| Sum PAH-16            | mg/kg TS | 2,25                        | 0,666                       | 1,5                         | 1,16                           | 1,93                           | 4,18                           |
| PCB 28                | µg/kg TS | 1,04                        | 2,37                        | 0,48                        | <0,5                           | 0,4                            | 0,18                           |
| PCB 52                | µg/kg TS | 5,68                        | 6,24                        | 2,25                        | <0,5                           | 1,13                           | 3,26                           |
| PCB 101               | µg/kg TS | 32,8                        | 5,79                        | 4,55                        | <0,5                           | 2,2                            | 9                              |
| PCB 118               | µg/kg TS | 10,1                        | 3,54                        | 6,75                        | <0,5                           | 1,13                           | 7,17                           |
| PCB 138               | µg/kg TS | 65,5                        | 3,58                        | 6,89                        | <0,5                           | 3,63                           | 12,5                           |
| PCB 153               | µg/kg TS | 76,6                        | 4,01                        | 4,3                         | <0,5                           | 4,35                           | 11,7                           |
| PCB 180               | µg/kg TS | 53                          | 1,39                        | 1,46                        | <0,5                           | 2,47                           | 4,56                           |
| Sum PCB-7             | µg/kg TS | 244                         | 26,9                        | 23,6                        | nd                             | 15,3                           | 48,4                           |
| TBT                   | µg/kg TS | 88                          | 91                          | 100                         | 12                             | 33                             | 140                            |
| Kornstørrelse <63µm   | %        | 9,1                         | 4,4                         | 1,6                         | 5,5                            | 33,2                           |                                |
| TOC                   | %        | 0,42                        | 0,27                        | 0,84                        | 0,21                           | 0,34                           | 1,2                            |
| Tørrestoff            | %        | 93,3                        | 93,8                        | 81,4                        | 87,3                           | 92,2                           | 75                             |

### 3.1.5 Sedimentprøver ved innløpet til Vågen fra 2014

I tiltaksområdet er det valgt å inkludere et areal ved innløpet til Vågen mellom kote -20 m og delområde Våg 5 (Figur 15). I dette området ble det i 2014 samlet inn sedimentprøver med grabb fra intervallet 0-10 cm ved 3 lokaliteter. Prøvelokalitetene er vist i Figur 15. Prøvetakingen ble utført av COWI samtidig med supplerende prøvetaking i forbindelse med utarbeidelse av risikovurdering av forurenset sediment i Puddefjorden (COWI, 2015a).

Prøveresultatene er vist i Tabell 11. Resultatene viser noe varierende forurensningsnivå med relativt lave miljøgiftkonsentrasjoner i prøve VÅG-UT-3 og høye konsentrasjoner av kvikksølv, PAH-forbindelser og TBT i prøve VÅG-UT-1 og VÅG-UT-2.

**Tabell 11**      *Analyseresultater for prøvene tatt ved innløpet til Vågen klassifisert etter M-608/2020. Se Figur 15 for prøvelokaliteter. n.d.= ikke påvist. Lysgrønn farge indikerer at rapporteringsgrensen ligger innenfor TK II og at det ikke kan avgjøres om resultatet tilsvarer TK I eller II.*

| Stoff                 | Enhet    | VÅG-UT-1 | VÅG-UT-2 | VÅG-UT-3 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| Arsen, As             | mg/kg TS | 6,1      | 9,6      | 4,7      |
| Bly, Pb               | mg/kg TS | 96       | 191      | 30       |
| Kadmium, Cd           | mg/kg TS | <0,10    | 0,27     | <0,10    |
| Kobber, Cu            | mg/kg TS | 49       | 71       | 21       |
| Krom, Cr              | mg/kg TS | 15,5     | 29,1     | 11,3     |
| Kvikksølv, Hg         | mg/kg TS | 1,2      | 1,62     | 0,3      |
| Nikkel, Ni            | mg/kg TS | 6,3      | 8,6      | 6,8      |
| Sink, Zn              | mg/kg TS | 91       | 162      | 54       |
| Naftalen              | mg/kg TS | 0,010    | 0,063    | <0,010   |
| Acenaftilen           | mg/kg TS | 0,015    | 0,080    | <0,010   |
| Acenaften             | mg/kg TS | 0,017    | 0,102    | <0,010   |
| Fluoren               | mg/kg TS | 0,028    | 0,196    | <0,010   |
| Fenantren             | mg/kg TS | 0,308    | 1,710    | 0,038    |
| Antracen              | mg/kg TS | 0,082    | 0,551    | 0,013    |
| Fluoranten            | mg/kg TS | 0,569    | 2,920    | 0,074    |
| Pyren                 | mg/kg TS | 0,484    | 2,360    | 0,059    |
| Benzo(a)antracen      | mg/kg TS | 0,234    | 1,260    | 0,030    |
| Krysen                | mg/kg TS | 0,180    | 1,060    | 0,023    |
| Benzo(b)fluoranten    | mg/kg TS | 0,303    | 2,010    | 0,038    |
| Benzo(k)fluoranten    | mg/kg TS | 0,176    | 1,120    | 0,023    |
| Benzo(a)pyren         | mg/kg TS | 0,283    | 1,590    | 0,031    |
| Indeno(1,2,3,cd)pyren | mg/kg TS | 0,222    | 1,090    | 0,020    |
| Dibenzo(a,h)antracen  | mg/kg TS | 0,032    | 0,196    | <0,010   |
| Benzo(g,h,i)perylene  | mg/kg TS | 0,182    | 0,843    | 0,015    |
| Sum PAH-16            | mg/kg TS | 3,13     | 17,2     | 0,364    |
| PCB 28                | µg/kg TS | <0,70    | <0,70    | <0,70    |
| PCB 52                | µg/kg TS | 2,28     | 6,77     | <0,70    |
| PCB 101               | µg/kg TS | 2,69     | 6,02     | <0,70    |
| PCB 118               | µg/kg TS | 2,72     | 7,56     | <0,70    |
| PCB 138               | µg/kg TS | 4,29     | 8,75     | <0,70    |
| PCB 153               | µg/kg TS | 3,49     | 6,80     | <0,70    |
| PCB 180               | µg/kg TS | 1,80     | 3,96     | <0,70    |
| Sum PCB-7             | µg/kg TS | 17,3     | 39,9     | n.d.     |
| TBT                   | µg/kg TS | 115      | 63       | 4        |
| TOC                   | %        | 4,7      | 4,4      | 0,9      |
| Tørrestoff            | %        | 72,7     | 68,6     | 85,8     |

### 3.1.6 Førmålingsprogram 2023

I forbindelse med forberedelse til tiltak gjennomførte Renere Havn Bergen i 2023 et omfattende førmålingsprogram med hensyn til spredning av forurensning i og ut av tiltaksområdet (COWI, 2023c). Resultatene skal benyttes som referansedata underveis i anleggsfasen og ved vurdering av måloppnåelse etter tiltak og miljøeffekt over tid. Undersøkelsene ble utført ved et nettverk av målestasjoner i Vågen, og ved disse stasjonene ble det også tatt sedimentprøver for analyse av miljøgiftkonsentrasjoner. Prøvene ble tatt som blandprøve av fire grabbhugg for hver stasjon i dybdeintervallet 0-10 cm.

Prøveresultatene er gitt i Tabell 12. Prøvelokalitetene er vist i Figur 15. Resultatene viser at prøve ST 13 og ST 14 er sterkt forurensset av metaller og organiske miljøgifter, likt nivået tidligere prøver fra de samme områdene. Prøve ST 17 fra den ytre delen av Vågen er litt mindre forurensset enn de andre prøvene med metaller og PCB i TK I og II og sum PAH-16 i TK III.

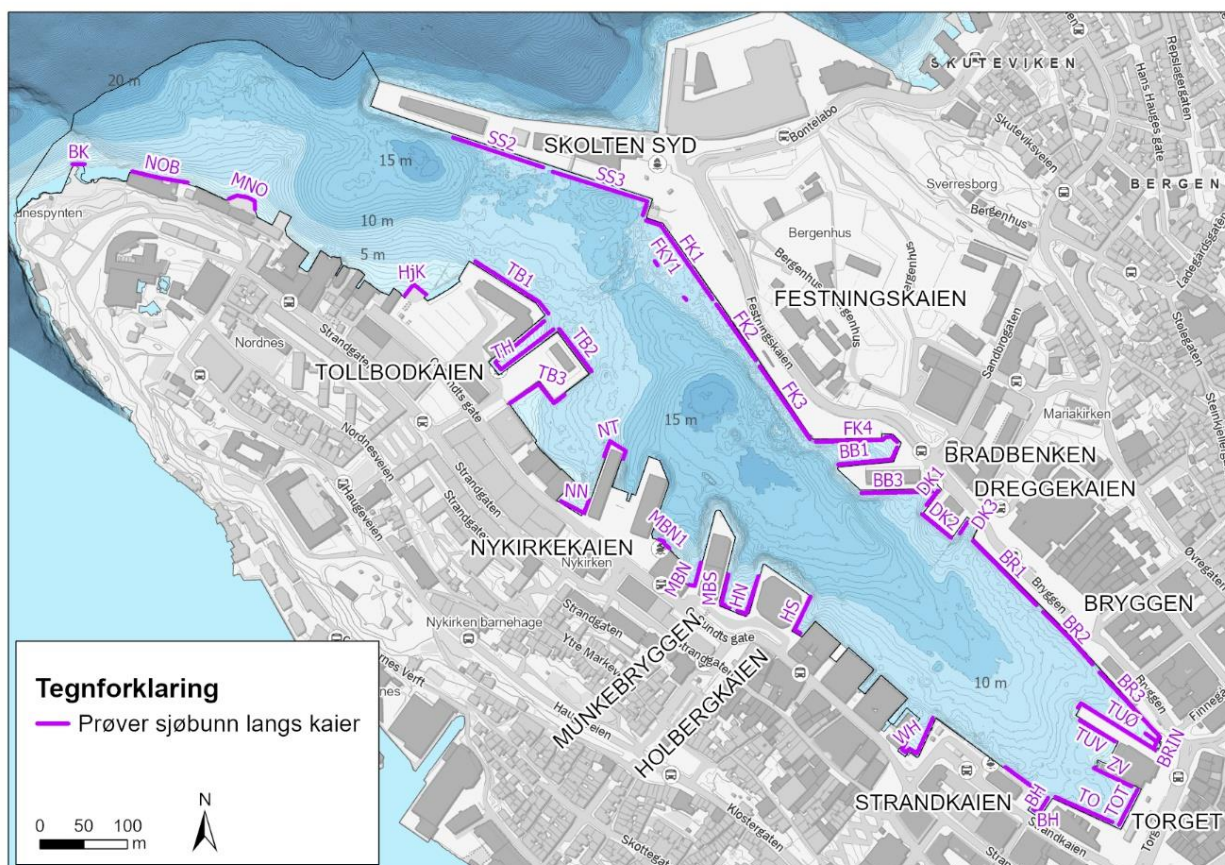
**Tabell 12** Analyseresultater for prøvene tatt ved stasjon 13, 14 og 17 i Vågen i 2023 klassifisert etter M-608/2020 (fra COWI, 2023c). Se Figur 15 for prøvelokaliteter.

| Parameter             | Enhet    | ST 13 | ST 14 | ST 17 |
|-----------------------|----------|-------|-------|-------|
| Arsen                 | mg/kg TS | 16    | 11    | 9,7   |
| Bly                   | mg/kg TS | 270   | 160   | 56    |
| Kadmium               | mg/kg TS | 0,56  | 0,27  | 0,12  |
| Kobber                | mg/kg TS | 170   | 110   | 31    |
| Krom                  | mg/kg TS | 40    | 30    | 11    |
| Kvikksølv             | mg/kg TS | 3     | 2     | 0,22  |
| Nikkel                | mg/kg TS | 14    | 12    | 8,4   |
| Sink                  | mg/kg TS | 330   | 200   | 94    |
| Naftalen              | mg/kg TS | 0,17  | 0,3   | 0,1   |
| Acenafylen            | mg/kg TS | 0,092 | 0,11  | <0,01 |
| Acenaften             | mg/kg TS | 0,18  | 0,22  | 0,081 |
| Fluoren               | mg/kg TS | 0,25  | 0,27  | 0,036 |
| Fenantren             | mg/kg TS | 2,1   | 2,6   | 0,78  |
| Antracen              | mg/kg TS | 0,68  | 0,78  | 0,22  |
| Fluoranten            | mg/kg TS | 4     | 5     | 0,98  |
| Pyren                 | mg/kg TS | 3,3   | 3,9   | 0,78  |
| Benzo[a]antracen      | mg/kg TS | 1,6   | 2     | 0,41  |
| Krysen/Trifenylen     | mg/kg TS | 1,3   | 1,5   | 0,32  |
| Benzo[b]fluoranten    | mg/kg TS | 2,7   | 3     | 0,52  |
| Benzo[k]fluoranten    | mg/kg TS | 0,92  | 1,1   | 0,19  |
| Benzo[a]pyren         | mg/kg TS | 2,1   | 2,3   | 0,41  |
| Indeno[1,2,3-cd]pyren | mg/kg TS | 1,6   | 1,4   | 0,26  |
| Dibenzo[a,h]antracen  | mg/kg TS | 0,29  | 0,3   | 0,049 |
| Benzo[ghi]perylen     | mg/kg TS | 1,2   | 1,2   | 0,24  |
| PAH-16                | mg/kg TS | 22    | 26    | 5,4   |
| PCB 28                | µg/kg TS | <0,50 | <0,50 | <0,50 |
| PCB 52                | µg/kg TS | 8,1   | 4,6   | <0,50 |
| PCB 101               | µg/kg TS | 20    | 15    | <0,50 |
| PCB 118               | µg/kg TS | 17    | 15    | <0,50 |
| PCB 153               | µg/kg TS | 34    | 26    | 1,1   |
| PCB 138               | µg/kg TS | 24    | 20    | 1,1   |
| PCB 180               | µg/kg TS | 15    | 10    | 0,77  |
| PCB-7                 | µg/kg TS | 120   | 91    | 3     |
| Tributyltinn          | µg/kg TS | 270   | 180   | 230   |
| Tørrestoff            | %        | 50,4  | 43,3  | 74    |

### 3.1.7 Undersøkelser foran kaier i 2023 og 2024

Områdene rett foran kaier i en aktiv havn som Vågen er utfordrende med tanke på tiltak mot forurenset sjøbunn. Foran de fleste kaier i Vågen er det behov for å beholde dagens seilingsdybde dersom dagens havneaktivitet skal opprettholdes. Mudring foran gamle steinkaier kan imidlertid føre til stabilitetsproblemer og kaiutrasning. Det er også i områdene foran kaier det er størst risiko for propellerrosjon i tildekkingsmasser og dermed størst behov for erosjonssikring av et tildekkingslag. Det er derfor svært viktig å ha et godt datagrunnlag for kaiområdene til videre bruk i detaljprosjekteringen av tiltaket. I 2023 og 2024 ble det derfor gjennomført undersøkelser av sjøbunnen foran kaier i Vågen med hovedformål å avklare om det finnes finkornede sedimenter i et ca. 10 m belte foran kaifrontene, og i så fall, kartlegge forurensningsnivået i sedimentene gjennom prøvetaking.

Undersøkelsene ble gjennomført med dykker som svømte langs hver kai og filmet og gav en beskrivelse av sjøbunnen og sedimentene med tanke på kornstørrelse, mengde finstoff, etc. Dykkeren benyttet også boniteringsstang som del av undersøkelsen for å avdekke sedimenttykkelse av finkornede masser. Der det fantes masser som var egnet til prøvetaking, ble det tatt en blandprøve fra hver kaistrekning bestående av 5-8 delprøver tatt spredt utover hele strekningen. Prøvene representerer de øverste ca. 5 cm av sjøbunnen. En oversikt over strekningene som ble undersøkt er vist i Figur 18.



Figur 18 Oversikt over strekningene foran kaier i Vågen som ble undersøkt i 2023 og 2024. Se Tabell 13 for fullt navn på de undersøkte kaistrekningene.

Tabell 13 gir en oppsummerende beskrivelse av sjøbunnen og sedimentene foran kaiene som ble undersøkt. Det ble funnet nok finkornede sedimenter til prøvetaking langs alle de undersøkte kaistrekningene. Mengden av finkornede sedimenter foran kaiene varierte imidlertid fra kun noen små lommer blant svært grovkornede masser langs enkelte kaier, til større områder med kun finkornede sedimenter i overflaten langs andre kaier. I Tabell 13 er de finkornede fraksjonene som forurensning kan binde seg til (sand, silt og leire) for enkelhetens skyld omtalt samlet som «finstoff».

**Tabell 13**      *Beskrivelse av sjøbunn og sediment foran kaifronter basert på undersøkelsen utført i 2023 og 2024. Se Figur 18 for oversikt over lokaliseringen av kaiene.*

| Kainavn                        | Kort navn | Beskrivelse sjøbunn/sediment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tollbodkai 1                   | TB1       | Liten voll 3-4 m utenfor kaifronten, forsenkning inne ved kaien. Noen områder med finstoff. Andre områder har kun grus og stein, særlig i den nordlige enden av kaistrekningen. En god del alger og tare langs hele det undersøkte området.                                                                                                                              |
| Tollbodkai 2                   | TB2       | Litt mindre voll enn utenfor Tollbodkai 1. Generelt en del finstoff langs hele kaistrekningen, både inne ved kaien og lenger ute. Overgang til sprengsteinsområde helt i den sørlige enden av kaien. Mye alger og tare langs hele strekningen.                                                                                                                           |
| Tollbodkai 3                   | TB3       | Relativt flatt område med mye finstoff innerst i den vestlige delen av strekningen. Noe stein i overflaten enkelte steder, men finstoff under. Boniteringsstangen gikk opptil 45 cm ned i massene. Tydelig overgang til sprengsteinssmasser i den østlige enden av strekningen. En god del tare og alger i hele området.                                                 |
| Nykirkekai Nord (innerst)      | NN        | Noe stein og en del finstoff i østre ende av strekningen. Mer finstoff innover i hjørnet i den vestre delen av strekningen. Mye tare og alger. Mye skjell i overflaten i vestre del. Boniteringsstang nådde fra 40–60 cm ned langs strekningen.                                                                                                                          |
| Nykirkekai Tverrende           | NT        | Den ytterste delen av kaien står på peler (se Figur 8). Generelt mer finstoff enn ved Tollbodkaiene. Små steiner og skjell i overflaten her og der. Relativt homogen sjøbunn i hele strekningen. Mye finstoff rundt pelene og også under kaien så langt dykkeren kunne nå.                                                                                               |
| Munkebryggen Nord (ved Beffen) | MBN1      | Kort strekning langs kaien til Beffen (liten passasjerbåt som går i rute tvers over Vågen). En god del finstoff inne ved kaien. Litt mer steiner 6-7 m utenfor kaien. En del skjell i overflaten og mye tare. Tydelig overgang til sprengsteinsområde i den nordlige enden av strekningen.                                                                               |
| Munkebryggen Nord (innerst)    | MBN       | Den innerste delen av Munkebryggen Nord. Noe stein innerst. En del finstoff langs strekningen. En del tare. Tydelig overgang til sprengsteinsskråning i den nordlige enden.                                                                                                                                                                                              |
| Munkebryggen Sør (innerst)     | MBS       | Den innerste delen av Munkebryggen Sør. Finstoff langs hele strekningen, både inne langs kaien og lenger ute. Innerst i kroken er sjøbunnen svært hard. Ikke stein, trolig hardpakket leire (eller Bergensmorene) som var umulig å ta prøve av og stikke stangen ned i. Generelt mye tare og alger. Tydelig overgang til blokkområde i den østlige delen av strekningen. |
| Holbergkai Nord (innerst)      | HN        | Den innerste delen av Holbergkai Nord. En god del finstoff og skjell langs strekningen, noe stein innerst ved kaien. Relativt hard bunn innerst i kroken (ikke stein). Boniteringsstang nådde fra 10 – 100 cm ned langs strekningen. Mye tare og alger. Tydelig overgang til blokkområde i den østlige delen av strekningen.                                             |
| Holbergkai Sør                 | HS        | Finstoff langs hele strekningen. Litt mer stein ytterst, og deretter overgang til steinfylling mot tverrenden. Boniteringsstangen nådde mellom 20 og 90 cm ned langs strekningen. En del tare og alger.                                                                                                                                                                  |
| Strandkaien Sør                | SKS       | Mye finstoff i den sørlige enden av kaistrekningen. Noen steiner innimellom. Overgang til mer stein og blokkrikt område i den nordlige enden av strekningen. Lite finstoff å ta prøve av i denne nordlige delen av strekningen. En god del tare og alger.                                                                                                                |
| Torget                         | TO        | Et parti med mye steiner inne langs kaien omtrent midt på kaistrekningen. Ellers en god del finstoff både i sørøstre og nordvestre ende av strekningen, men litt mer innslag av stein i nordvestre ende. Relativt hardpakket finstoff i sørøstre ende. Mye tare og alger.                                                                                                |
| Torget Tverrende               | TOT       | Relativt flat sjøbunn. Generelt mye finstoff med skjell og alger. Mindre tare enn langs mange andre kaier. Noen hardere parti med kompakt finstoff, særlig i hjørnet mot Zachariasbryggen. Boniteringsstang nådde fra 30 – 115 cm ned langs strekningen.                                                                                                                 |
| Zachariasbryggen Vest          | ZV        | En god del finstoff i indre, sørvestre ende av strekningen. Lenger utover langs kaistrekningen er det mer steinete. I ytre halvdel er det store stein i de 2-3 m første m fra kaifronten. Lenger ute er det relativt flat sjøbunn med en god del finstoff. Mye tare.                                                                                                     |
| Torgutstikkeren Vest           | TUV       | Relativt flat sjøbunn med en god del finstoff i indre, sørøstre del av strekningen. Sjøbunnen her er relativt kompakt. Litt varierende i resten av strekningen med noen parti med blokker med litt finstoff innimellom, og andre parti med hovedsakelig finstoff. Mest blokker helt ytterst i den nordvestre enden av strekningen. Mye tare.                             |
| Torgutstikkeren Øst            | TUØ       | Relativt flat sjøbunnen i indre halvdel med mye finstoff. Lenger ute er det parti med mer stein med finstoff innimellom. En del tare. Boniteringsstang nådde 20-30 cm ned i den ytre delen av strekningen og 40-100 cm lenger inne langs strekningen.                                                                                                                    |

|                     |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bryggen Indre       | BRIN | Strekning innerst ved kaien til Beffen, samt 8-10 m utover midt mellom Bryggen og Torgutstikkeren. Flat sjøbunn med mye finstoff. Noen få steiner her og der. Noe skrot. Mye alger, lite tare. Boniteringsstangen nådde fra 20-80 cm ned.                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Bryggen 3           | BR3  | Relativt flat sjøbunn med mye finstoff innerst i sørøstre enden av strekningen. Noen få steiner, noe tare. Relativt lik sjøbunn fra kaifront og 10 m ut fra kai. Flere steinpartier omtrent midt på strekningen. Dykker trodde også det kunne være et område med eksponert fjell. Vekslede mellom steinbunn og parti med finstoff i ytre halvdel av strekningen. En god del tare. Boniteringsstangen nådde fra 20-80 cm ned langs kaistrekningen.                                                                               |
| Bryggen 2           | BR2  | Vekslede sjøbunn langs strekningen, mange steinparti og noe finstoff i enkelte områder. Sjøbunnen skråner litt nedover ut fra kaifronten. Generelt mest steiner helt inne ved kaien, mer finstoff lenger ut fra kai. En god del tare. Boniteringsstangen nådde fra 30-100 cm ned.                                                                                                                                                                                                                                               |
| Bryggen 1           | BR1  | Vekslede sjøbunn langs strekningen, mange steinparti og noe finstoff i enkelte områder. Generelt mer steiner enn langs BR2. Steinparti omtrent midt på strekningen. Sjøbunnen skråner litt nedover fra 2-3 m utenfor kaifronten. Noen hauger. Litt mer finstoff helt i den nordvestlige enden av strekningen. Boniteringsstangen nådde fra 10-80 cm ned.                                                                                                                                                                        |
| Dreggekai 3         | DK3  | Mye stein i den ytre delen av kaistrekningen. Inne i hopen er det relativt flatt med mye finstoff. Mye begroing med tang og alger i hele kaistrekningen. Prøvematerialet ble tatt fra den indre delen av kaistrekningen (hopen).                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Dreggekai 2         | DK2  | Sprengsteinsskråning langs hele kaistrekningen. Vanskelig å finne finstoff å ta prøver av. Det ble vurdert å la være å ta prøve, men det ble valgt å skrape sammen noe materiale til en prøve. Mye tare og alger i hele kaistrekningen.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Dreggekai 1         | DK1  | Flat sjøbunn innerst ved kaien til Beffen. En god del finstoff i den indre delen av strekningen. Lenger utover langs strekningen blir det mer steinete med mindre lommer med finstoff. Mest stein ytterst på hjørnet av kaien mot Dreggekai 2.                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Bradbenken 1        | BB1  | Relativt flat sjøbunn med en god del finstoff innerst i hopen. Spredte steinblokker. Mer steinete ytterst i den vestlege enden av strekningen. Mye tare i hele området. Boniteringsstangen nådde fra 10-90 cm ned langs kaistrekningen.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Bradbenken 3        | BB3  | Mye finstoff og skjellrester i den indre delen. Sprengsteinsfylling i den ytre, vestre delen. En del taurester og skrot. Tang og tare.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Festningskai 4      | FK4  | Murkai med kort spunt i bunn i de ytterste 10 m mot Festningskai 3, deretter kun murkai. Blokkområde på hjørnet mot Festningskai 3. Vekslede sjøbunn med stein, grus og lommer med finstoff i ytre, vestre del av kaistrekningen. Sjøbunnen skråner slakt nedover fra kaifronten. Flatere sjøbunn og mer finstoff innover i hopen. Boniteringsstangen nådde ned til ca. 50 cm i dette området.                                                                                                                                  |
| Festningskai 3      | FK3  | Murkai med kort spunt i bunn langs hele kaien. Hovedsakelig grus og stein i den nordvestre delen av strekningen. Lenger sørvestover danner det seg to rygger med stein og blokker; en ca. 7-8 m ut fra kai og en 10-20 m fra kai. Generelt lite finstoff, men noen felter innimellom var egnet for prøvetaking. Blokker, stein og grus uten finstoff på hjørnet mot Festningskai 4.                                                                                                                                             |
| Festningskai 2      | FK2  | Murkai med kort spunt i bunn langs hele kaien. Relativt flatt og en del finstoff inne ved kaien i nordvestre enden av strekningen. Deretter liten voll ca. 5 m ut fra spunkai lenger mot sørøst. I den sørøstre delen av kaistrekningen er det mer stein både inne ved kai og særlig i et område 10-20 m fra kai der det finnes rygger og hauger med steinblokker. Lite finstoff å ta prøve av i den sørøstre enden av strekningen.                                                                                             |
| Festningskai 1      | FK1  | Høy spunt foran murkai. Finstoff, skjell og noe stein i overflaten i den nordvestre enden av kaistrekningen. Boniteringsstangen når 40-60 cm ned i dette området. I knekken på kaien ligger det en steinrøys. Fra kaifronten går det slakt nedover før det flater ut. Noe finstoff i dette området. Fra spunt og 1-1,5 m utover ligger det noe som kan være støpestøv/betong i flere partier. I nordøstre halvdel av strekningen observeres noen groper. Noe finstoff å ta prøve av innimellom, men mye grovkornede sedimenter. |
| Festningskai Ytre 1 | FKY1 | Kort strekning omtrent 30 m utenfor Festningskai 1 i område der det trolig er deponert mudringsmasser fra tidligere mudring inne ved Festningskaien. Generelt en del finstoff (sandbunn), litt tare. Småkupert med en del groper, høydeforskjell på ca. 1 m. Mer grovkornede masser av grus og stein i noen av forsenkningene. Ingen tydelige erosjonsspor fra propeller, men gropene kan være tegn på at masser forflytter seg. Boniteringsstangen nådde fra 20-80 cm ned langs kaistrekningen.                                |
| Festningskai Ytre 2 | FKY2 | Kort strekning omtrent 30 m fra Festningskai 1 i område der det trolig er deponert mudringsmasser fra tidligere mudring inne ved Festningskaien. Noe finstoff (sand), men                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                      |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      |     | generelt mer grovkornet overflate sammenlignet med FKY1. Småkupert med en del groper. Boniteringsstangen nådde ca. 20 cm ned.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Skolten Syd 3        | SS3 | Mest grus og småstein i enden mot Festningskaien. Det virvler opp litt finstoff ved stikking i sjøbunnen. Litt finstoff (sandige masser) innover mot kroken og under kaien (SS3 og deler av SS2 står på peler, se Figur 8). Primært består overflaten av sjøbunnen av skjellrester, stein og grus med litt finstoff (sand) under. Topplaget blir enda mer grovkornet 8-10 m ut fra kai. Boniteringsstangen nådde fra 5-40 cm ned langs kaistrekningen.                                                                                                                        |
| Skolten Syd 2        | SS2 | Generelt består overflaten av grus, stein og skjell med noe finstoff (sand) under og innimellom. Topplaget blir mer grovkornet ca. 10 m ut fra kai. Et parti med større steiner og potensielt en fjellknaus omtrent 10-15 m fra kai. En del tare i dette området. Mye stein i området rundt pelene. Relativt hard sjøbunn. Mindre finstoff å ta prøve av i den ytre, nordvestre delen av kaistrekningen. Mye stein og skjellrester og lite finstoff. Tydelig overgang mot blokkområde i nordvestre ende av strekningen.                                                       |
| Børshopen            | BH  | Relativ lik sjøbunn i hele hopen med mye finstoff og lite grovere masser. Noe stein i en skråning i den ytterste, sørlige enden av hopen. Mest av de aller fineste kornstørrelsene innerst i hopen (silt). Boniteringsstangen nådde ned til 80-100 cm de fleste steder. En god del begroing av alger.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Wahlendalshopen      | WH  | Relativt homogen sjøbunn. Generelt litt mer grovkornede masser enn i Børshopen, men likevel mye finstoff. Mest finstoff i indre del av hopen. Boniteringsstangen nådde mange steder kun 20-50 cm ned, trolig en del stein under topplaget, også innerst. Innimellom nådde stangen over en meter ned. Bakteriematter i det innerste nordlige hjørnet. I det innerste sørlige hjørnet ble det observert små kulverter (rørutløp?). Noe boss. Tare og algevekst.                                                                                                                 |
| Tollbodhopen         | TH  | Mye finstoff og mye knust skjell på toppen. Noe stein innimellom. Noen steder treffer boniteringsstangen stein 20 cm under overflaten, og andre steder når den 80-120 cm ned. BKK kulverten midt i hopen er synlig, pukkmasser oppå kulverten. Mye begroing. Generelt flatt, untatt brattere skråning mot det ytre, nordlige hjørnet.                                                                                                                                                                                                                                         |
| Hjelle kjemi         | HjK | Hard, kompakt, steinete bunn med lite finstoff i ca. 2 m belte foran nordøstvendt kai og 5-6 m belte foran nordvestvendt kai. Ikke nok finstoff til å ta prøver i dette beltet. Mindre stein og mer finstoff (sandig) lenger ute. En kabel går inn i kaien. Observasjoner av takstein, glass, porselensfat, annet boss. Mye tang og tare.                                                                                                                                                                                                                                     |
| Murkai Nordnesbodene | MNO | Mye stein i sørlig ende, fjell innerst i kroken. Et ca. 4 m bredt belte av stein utenfor tverrenden av kaien. Utenfor steinbeltet er der finstoff med skjell. Boniteringstangen når typisk 20-40 cm ned. Observasjon av takstein. Mye tang og tare.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Nordnesbodene        | NOB | Utenfor kaien er det et steinbelte i 6-7 m bredde som skråner nedover. Gradvis overgang til mindre stein og grus og deretter sandig, flater sjøbunn lenger utover. Boniteringsstangen når typisk 20-40 m ned i sandbunnen. Ved start av boder er det litt mindre steinstørrelse inne ved land og litt skjellsand innimellom, men ren steinfylling ca. innerst 4 m. I nordlig ende tynnes beltet av ren stein ut til ca. 1,5 m, men fortsatt hard, kompakt sjøbunn ut til ca. 10 m før overgang til sandbunn lenger ute. Mye stål- og jernskrot, en propell. Mye tang og tare. |
| Ballastbryggen       | BK  | Steinet sjøbunn nesten uten finstoff i 6-7 m bredt belte utenfor kaien. Mer sandig sjøbunn ca. 10 m fra kai, og større innslag av finstoff utover. Prøvematerialet ble hovedsakelig tatt fra området 10-15 m ut fra kaien. Observasjoner av takstein og keramikk. Mye tang og tare.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Tabell 14 viser analyseresultatene av alle sedimentprøvene tatt langs kaistrekningene listet i Tabell 13 og vist i Figur 18. Prøveresultatene viser at sedimentene langs kaifrontene i Vågen generelt er sterkt forurensset av metaller og organiske miljøgifter, likt nivået i sjøbunnen ellers i Vågen. Sjøbunnen utenfor Festningskaien, Skolten Syd, Tollbodkai 2 og Ballastkaien skiller seg ut med noe lavere forurensningsnivå i sedimentene sammenlignet med resten av de prøvetatte kaiområdene.

Tabell 14

Analyseresultater av sedimentprøvene tatt langs kaistrekningene vist i Figur 18 klassifisert etter veileder M-608/2020. Prøvene er tatt fra de øverste ca. 5 cm. Fullt navn på kaiene er gitt i Tabell 13. Lysgrønn farge indikerer at rapporteringsgrensen ligger innenfor TK II og at det ikke kan avgjøres om resultatet tilsvarer TK I eller II.

| Parameter              | Enhhet   | TB1   | TB2   | TB3   | NN    | NT    | MBN1  | MBN   | MBS   | HN    | HS    | TO    | TOT   | ZV    | SKS     | DK1   | DK2   |
|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| Arsen (As)             | mg/kg TS | 25    | 4,9   | 15    | 12    | 13    | 11    | 15    | 8,1   | 13    | 27    | 15    | 7     | 17    | 13      | 5,5   | 12    |
| Bly (Pb)               | mg/kg TS | 75    | 63    | 330   | 200   | 410   | 160   | 310   | 140   | 300   | 250   | 510   | 120   | 340   | 240     | 92    | 270   |
| Kadmium (Cd)           | mg/kg TS | 0,12  | 0,055 | 0,72  | 0,26  | 0,46  | 0,49  | 0,43  | 0,4   | 0,38  | 6     | 0,39  | 0,45  | 0,47  | < 0,015 | 0,15  | 0,32  |
| Kobber (Cu)            | mg/kg TS | 210   | 45    | 230   | 150   | 160   | 110   | 140   | 160   | 150   | 180   | 160   | 120   | 230   | 110     | 86    | 260   |
| Krom (Cr)              | mg/kg TS | 17    | 15    | 28    | 26    | 36    | 22    | 25    | 19    | 23    | 37    | 29    | 20    | 37    | 12      | 15    | 19    |
| Kvikksølv (Hg)         | mg/kg TS | 0,35  | 0,32  | 1,7   | 2,2   | 2,3   | 2,8   | 1,7   | 2,1   | 1,7   | 2,8   | 2,6   | 1,3   | 4,2   | 0,93    | 1     | 2,4   |
| Nikkel (Ni)            | mg/kg TS | 13    | 8,9   | 15    | 15    | 13    | 9,9   | 13    | 14    | 14    | 85    | 17    | 10    | 14    | 11      | 8,1   | 12    |
| Sink (Zn)              | mg/kg TS | 150   | 76    | 1100  | 260   | 350   | 420   | 370   | 320   | 520   | 570   | 350   | 250   | 360   | 270     | 210   | 330   |
| Naftalen               | mg/kg TS | 0,11  | 0,034 | 0,19  | 0,22  | 0,22  | 0,085 | 0,087 | 0,049 | 1,9   | 0,088 | 0,086 | 0,042 | 0,17  | 2,2     | 0,041 | 1,3   |
| Acenaftalen            | mg/kg TS | 0,037 | 0,048 | 0,2   | 0,12  | 0,2   | 0,065 | 0,079 | 0,045 | 2,4   | 0,073 | 0,11  | 0,052 | 0,19  | 0,87    | 0,05  | 2,6   |
| Acenaften              | mg/kg TS | 0,16  | 0,047 | 0,3   | 0,34  | 0,39  | 0,14  | 0,2   | 0,055 | 2,3   | 0,071 | 0,064 | 0,044 | 0,21  | 1,4     | 0,037 | 1,9   |
| Fluoren                | mg/kg TS | 0,2   | 0,069 | 0,45  | 0,45  | 0,56  | 0,17  | 0,25  | 0,066 | 7,4   | 0,084 | 0,11  | 0,058 | 0,33  | 2,5     | 0,063 | 6,5   |
| Fenanten               | mg/kg TS | 1,4   | 0,4   | 3,5   | 3,8   | 4,5   | 1,4   | 2,1   | 0,57  | 52    | 0,58  | 0,84  | 0,49  | 2,9   | 13      | 0,45  | 42    |
| Antracen               | mg/kg TS | 0,77  | 0,13  | 1,1   | 1,1   | 1,3   | 0,46  | 0,71  | 0,19  | 15    | 0,21  | 0,36  | 0,2   | 0,96  | 5,7     | 0,2   | 16    |
| Fluoranten             | mg/kg TS | 1,9   | 0,68  | 4,5   | 5     | 6     | 2,2   | 3,1   | 1,1   | 50    | 1,2   | 1,7   | 0,98  | 4,7   | 13      | 1     | 51    |
| Pyren                  | mg/kg TS | 1,5   | 0,58  | 3,7   | 4,1   | 5     | 1,9   | 2,8   | 0,93  | 39    | 1,2   | 1,6   | 0,91  | 3,9   | 9,3     | 0,92  | 39    |
| Benzo[a]antracen       | mg/kg TS | 0,75  | 0,32  | 1,6   | 1,8   | 2,4   | 0,93  | 1,3   | 0,43  | 13    | 0,55  | 0,77  | 0,43  | 2,1   | 4,5     | 0,45  | 16    |
| Krysen/Trifenylen      | mg/kg TS | 0,59  | 0,27  | 1,3   | 1,5   | 1,9   | 0,77  | 1,1   | 0,35  | 11    | 0,46  | 0,64  | 0,35  | 1,8   | 3,7     | 0,39  | 13    |
| Benzo[b]fluoranten     | mg/kg TS | 0,93  | 0,45  | 2,6   | 2,8   | 3,9   | 1,5   | 2,2   | 0,74  | 19    | 1,2   | 1,4   | 0,73  | 3,4   | 6,2     | 0,78  | 17    |
| Benzo[k]fluoranten     | mg/kg TS | 0,35  | 0,17  | 0,96  | 1     | 1,3   | 0,54  | 0,84  | 0,23  | 5,5   | 0,39  | 0,51  | 0,27  | 1,3   | 2,4     | 0,29  | 6,4   |
| Benzo[a]pyren          | mg/kg TS | 0,81  | 0,37  | 2     | 2,3   | 3     | 1,2   | 1,7   | 0,55  | 13    | 0,87  | 1,1   | 0,6   | 2,6   | 5,5     | 0,57  | 14    |
| Indeno[1,2,3-cd]pyren  | mg/kg TS | 0,46  | 0,24  | 1,3   | 1,5   | 2,1   | 0,83  | 1,2   | 0,39  | 5,7   | 0,69  | 0,77  | 0,46  | 1,7   | 3,4     | 0,39  | 5,6   |
| Dibenzo[a,h]antracen   | mg/kg TS | 0,097 | 0,051 | 0,29  | 0,29  | 0,44  | 0,17  | 0,27  | 0,095 | 2,3   | 0,14  | 0,17  | 0,091 | 0,39  | 0,65    | 0,08  | 2     |
| Benzo[ghi]perylene     | mg/kg TS | 0,44  | 0,24  | 1,1   | 1,3   | 1,7   | 0,71  | 1,1   | 0,38  | 5,5   | 0,65  | 0,77  | 0,47  | 1,6   | 2,9     | 0,4   | 5,1   |
| Sum PAH(16) EPA        | mg/kg TS | 11    | 4,1   | 25    | 28    | 35    | 13    | 19    | 6,2   | 250   | 8,5   | 11    | 6,2   | 28    | 77      | 6,1   | 240   |
| PCB 28                 | µg/kg TS | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,51 | <0,50   | <0,50 | <0,50 |
| PCB 52                 | µg/kg TS | <0,50 | 15    | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,51 | <0,50   | <0,50 | <0,50 |
| PCB 101                | µg/kg TS | 2,5   | 37    | 19    | 15    | 19    | 6,1   | 10    | 34    | 8,8   | 18    | 4     | 3,6   | 4,3   | 7,9     | 2,7   | 7,2   |
| PCB 118                | µg/kg TS | 2,9   | 32    | 13    | 12    | 15    | 4,3   | 5,5   | 28    | 5,5   | 8,5   | 1,5   | 3     | 2,6   | 9,4     | 2     | 4,6   |
| PCB 153                | µg/kg TS | 3,1   | 23    | 20    | 19    | 20    | 11    | 18    | 25    | 12    | 31    | 6,9   | 7,4   | 11    | 5,2     | 4,7   | 11    |
| PCB 138                | µg/kg TS | 2,9   | 26    | 20    | 19    | 21    | 10    | 17    | 26    | 11    | 23    | 6,5   | 6,4   | 9,2   | 6,2     | 4,6   | 9,5   |
| PCB 180                | µg/kg TS | 1,4   | 5,2   | 10    | 11    | 9     | 6,4   | 12    | 8,3   | 6,7   | 21    | 3,7   | 4,8   | 6,6   | 2       | 3     | 7,6   |
| Sum 7 PCB              | µg/kg TS | 13    | 140   | 82    | 76    | 84    | 38    | 63    | 120   | 44    | 100   | 23    | 25    | 34    | 31      | 17    | 40    |
| Tributyltinn (TBT)     | µg/kg tv | 50    | 44    | 470   | 170   | 150   | 130   | 160   | 800   | 830   | 1200  | 210   | 470   | 260   | 520     | 170   | 780   |
| Totalt organisk karbon | % C      | 0,69  | 0,81  | 4,01  | 3,82  | 3,17  | 5,07  | 5,46  | 4,79  | 5,7   | 7,15  | 6,38  | 5,89  | 7,88  | 4,56    | 4,15  | 5,39  |
| Kornstørrelse <2 µm    | % TS     | 1,8   | 8,2   | 1,1   | 2,3   | 1,9   | 3     | 2,4   | 4     | 5,5   | 3,7   | 2,5   | 3,6   | 3     | 4,4     | 5,1   | 3,3   |
| Kornstørrelse < 63 µm  | %        | 20,2  | 88,3  | 14,8  | 36,1  | 27,7  | 39,1  | 36,4  | 47,6  | 47,7  | 53,2  | 42,3  | 50,5  | 44,6  | 46,9    | 51,1  | 43,7  |
| Tørrestoff             | %        | 80,7  | 76,3  | 66,2  | 54,3  | 52,1  | 46,3  | 61,3  | 67,5  | 54,5  | 55,6  | 61,6  | 52,5  | 38,8  | 63,2    | 47    | 43,8  |

|                        |          | DK3   | TUV   | TUØ   | BRIN  | BR3   | BR2   | BR1   | SS3    | SS2    | FKY1    | FKY2  | FK1   | FK2    | FK3   | FK4   | BB1   |
|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Arsen (As)             | mg/kg TS | 12    | 7,7   | 16    | 11    | 67    | 11    | 18    | 3,8    | 8,9    | 2,4     | 4,9   | 4,1   | 5,1    | 7,4   | 16    | 17    |
| Bly (Pb)               | mg/kg TS | 210   | 130   | 350   | 280   | 1300  | 210   | 370   | 61     | 730    | 660     | 47    | 89    | 100    | 99    | 440   | 490   |
| Kadmium (Cd)           | mg/kg TS | 0,48  | 0,21  | 0,55  | 0,57  | 1,9   | 0,33  | 1     | 0,11   | 0,059  | < 0,011 | 0,15  | 0,13  | 0,17   | 0,067 | 0,86  | 1,3   |
| Kobber (Cu)            | mg/kg TS | 190   | 98    | 270   | 200   | 1200  | 320   | 360   | 47     | 100    | 15      | 30    | 43    | 49     | 110   | 510   | 240   |
| Krom (Cr)              | mg/kg TS | 27    | 16    | 33    | 34    | 160   | 27    | 43    | 16     | 60     | 13      | 18    | 18    | 22     | 350   | 46    | 43    |
| Kvikksølv (Hg)         | mg/kg TS | 4,5   | 1,4   | 3,7   | 3,4   | 16    | 2,1   | 4,2   | 0,62   | 0,22   | 0,062   | 0,28  | 0,86  | 0,33   | 0,53  | 4,6   | 4,7   |
| Nikkel (Ni)            | mg/kg TS | 12    | 7     | 15    | 18    | 73    | 8,7   | 15    | 11     | 34     | 8,3     | 12    | 13    | 12     | 250   | 20    | 23    |
| Sink (Zn)              | mg/kg TS | 400   | 170   | 460   | 390   | 1400  | 270   | 810   | 150    | 160    | 63      | 86    | 120   | 150    | 280   | 670   | 810   |
| Naftalen               | mg/kg TS | 0,15  | 0,15  | 0,24  | 0,12  | 0,3   | 0,12  | 0,24  | 0,013  | 0,046  | < 0,01  | 0,018 | 0,094 | 0,047  | 0,083 | 0,16  | 0,051 |
| Acenaftalen            | mg/kg TS | 0,1   | 0,15  | 0,11  | 0,056 | 0,32  | 0,068 | 0,11  | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01  | 0,01  | 0,2   | < 0,01 | 0,04  | 0,11  | 0,091 |
| Acenaften              | mg/kg TS | 0,12  | 0,18  | 0,3   | 0,18  | 0,51  | 0,11  | 0,17  | 0,034  | 0,074  | < 0,01  | 0,08  | 0,1   | 0,021  | 0,12  | 0,3   | 0,13  |
| Fluoren                | mg/kg TS | 0,17  | 0,38  | 1     | 0,22  | 0,69  | 0,15  | 0,32  | 0,028  | 0,039  | < 0,01  | 0,083 | 0,47  | 0,018  | 0,16  | 0,51  | 0,24  |
| Fenanten               | mg/kg TS | 1,6   | 2,5   | 5,6   | 1,6   | 6     | 1,2   | 2,5   | 0,21   | 0,25   | 0,024   | 0,71  | 2,1   | 0,11   | 1,5   | 3,5   | 1,3   |
| Antracen               | mg/kg TS | 0,43  | 0,82  | 3,1   | 0,47  | 2,2   | 0,4   | 0,66  | 0,064  | 0,1    | 0,0053  | 0,2   | 0,76  | 0,028  | 0,55  | 1,3   | 0,55  |
| Fluoranten             | mg/kg TS | 2,6   | 3     | 7     | 3,3   | 13    | 2,6   | 4,4   | 0,36   | 1,5    | 0,054   | 0,92  | 2,6   | 0,22   | 2,3   | 6,4   | 2,8   |
| Pyren                  | mg/kg TS | 2,3   | 2,4   | 5,2   | 2,7   | 12    | 2,1   | 3,6   | 0,35   | 1,3    | 0,066   | 0,71  | 2     | 0,23   | 1,8   | 5,3   | 2,4   |
| Benzo[a]antracen       | mg/kg TS | 1,1   | 1,1   | 2,9   | 1,6   | 6,6   | 1,1   | 1,9   | 0,18   | 1,8    | 0,042   | 0,35  | 1,4   | 0,11   | 1,1   | 3,4   | 1,6   |
| Krysen/Trifenylen      | mg/kg TS | 1     | 0,95  | 2     | 1,2   | 4,9   | 0,73  | 1,4   | 0,13   | 1,8    | 0,029   | 0,27  | 0,94  | 0,099  | 0,76  | 2,4   | 1,2   |
| Benzo[b]fluoranten     | mg/kg TS | 1,9   | 1,6   | 3,4   | 2,3   | 10    | 1,7   | 2,6   | 0,28   | 2      | 0,069   | 0,43  | 1,3   | 0,23   | 1,3   | 3,9   | 2,1   |
| Benzo[k]fluoranten     | mg/kg TS | 0,73  | 0,6   | 1,3   | 0,84  | 3,8   | 0,6   | 0,95  | 0,1    | 0,71   | 0,028   | 0,16  | 0,5   | 0,087  | 0,48  | 1,4   | 0,74  |
| Benzo[a]pyren          | mg/kg TS | 1,5   | 1,3   | 2,9   | 1,9   | 8,5   | 1,4   | 2,2   | 0,23   | 1,6    | 0,06    | 0,34  | 1,1   | 0,18   | 1,1   | 3,3   | 1,7   |
| Indeno[1,2,3-cd]pyren  | mg/kg TS | 1     | 0,87  | 1,7   | 1,5   | 7     | 1,4   | 1,6   | 0,19   | 1      | 0,046   | 0,24  | 0,81  | 0,19   | 0,79  | 2,8   | 1,4   |
| Dibenzo[a,h]antracen   | mg/kg TS | 0,22  | 0,17  | 0,4   | 0,31  | 1,4   | 0,23  | 0,35  | 0,039  | 0,26   |         | 0,052 | 0,18  | 0,031  | 0,17  | 0,53  | 0,33  |
| Benzo[ghi]perylene     | mg/kg TS | 1     | 0,79  | 1,5   | 1,3   | 5,9   | 0,99  | 1,4   | 0,18   | 0,72   | 0,041   | 0,2   | 0,59  | 0,14   | 0,65  | 1,8   | 1,2   |
| Sum PAH(16) EPA        | mg/kg TS | 16    | 17    | 39    | 20    | 83    | 15    | 24    | 2,4    | 13     | 0,46    | 4,8   | 15    | 1,7    | 13    | 37    | 18    |
| PCB 28                 | µg/kg TS | <0,50 | <0,50 | 73    | <0,50 | <0,91 | <0,50 | <0,50 | <0,50  | <0,50  | <0,50   | <0,50 | 1,4   | 5,3    | <0,50 | <0,50 | <0,50 |
| PCB 52                 | µg/kg TS | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,50 | <0,91 | 4,8   | <0,50 | 3,5    | 1,7    | <0,50   | 6,6   | 4,7   | 3,3    | <0,50 | 7     | 12    |
| PCB 101                | µg/kg TS | 7     | 4,3   | 7,7   | 6,5   | 36    | 33    | 7,8   | 10     | 1,8    | <0,50   | 5,1   | 5,6   | 2,5    | 3,8   | 21    | 27    |
| PCB 118                | µg/kg TS | 3,9   | 3     | 5,9   | 5     | 31    | 8,5   | 5,6   | 7,2    | 1,7    | <0,50   | 5     | 5     | 2,4    | 2,6   | 18    | 22    |
| PCB 153                | µg/kg TS | 13    | 5,3   | 13    | 11    | 66    | 65    | 16    | 20     | 1,8    | <0,50   | 3,5   | 4,3   | 1,9    | 6     | 32    | 32    |
| PCB 138                | µg/kg TS | 12    | 5,1   | 13    | 11    | 62    | 59    | 15    | 18     | 1,9    | <0,50   | 3,3   | 4     | 1,9    | 5,5   | 27    | 35    |
| PCB 180                | µg/kg TS | 10    | 2,4   | 8,4   | 8,9   | 53    | 58    | 10    | 11     | 0,69   | <0,50   | 1,4   | 1,3   | 0,99   | 4,1   | 17    | 23    |
| Sum 7 PCB              | µg/kg TS | 46    | 20    | 120   | 42    | 250   | 230   | 54    | 70     | 9,6    | nd      | 25    | 26    | 18     | 22    | 120   | 150   |
| Tributyltinn (TBT)     | µg/kg tv | 200   | 220   | 620   | 410   | 5100  | 410   | 520   | 210    | 140    | 27      | 58    | 120   | 190    | 570   | 1200  | 740   |
| Totalt organisk karbon | % C      | 6,4   | 5,99  | 6,03  | 5,93  | 7,71  | 5,22  | 5,72  | 1,17   | 1,52   | < 0,50  | 1,57  | 0,87  | 1,67   | 1,47  | 4,98  | 5,7   |
| Kornstørrelse <2 µm    | % TS     | 3     | 2,6   | 2,9   | 3,2   | 2,8   | 1,9   | 2,1   | 1,5    | 1,8    | < 1,0   | 1,9   | 8,3   | 1,5    | 1,9   | 2,3   | 4,5   |
| Kornstørrelse < 63 µm  | %        | 46,6  | 38,5  | 41,4  | 46,1  | 48,1  | 36,4  | 37,2  | 20,2   | 21,1   | 8,7     | 34,1  | 65,9  | 19,8   | 24,8  | 35,5  | 52,1  |
| Tørrestoff             | %        | 51    | 58,5  | 44,9  | 48,2  | 11    | 64,3  | 47,2  | 81,6   | 68,5   | 84,7    | 68,8  | 74,8  | 76,5   | 77,9  | 55,7  | 46,8  |

Tabell 15 forts.

|                        |          | BB3   | BH    | WH    | TH    | HJK   | MNO   | NOB   | BK    |
|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Arsen (As)             | mg/kg TS | 13    | 13    | 21    | 11    | 6,9   | 6,1   | 8,5   | 14    |
| Bly (Pb)               | mg/kg TS | 290   | 360   | 310   | 170   | 98    | 68    | 89    | 460   |
| Kadmium (Cd)           | mg/kg TS | 0,37  | 0,38  | 0,46  | 0,25  | 0,25  | 0,091 | 0,13  | 0,064 |
| Kobber (Cu)            | mg/kg TS | 99    | 180   | 220   | 100   | 91    | 31    | 69    | 28    |
| Krom (Cr)              | mg/kg TS | 28    | 26    | 32    | 35    | 13    | 11    | 13    | 7,3   |
| Kvikksølv (Hg)         | mg/kg TS | 1,4   | 2,8   | 2,3   | 0,88  | 1,5   | 0,26  | 0,24  | 0,5   |
| Nikkel (Ni)            | mg/kg TS | 16    | 18    | 25    | 13    | 8,4   | 8,6   | 8,1   | 6,6   |
| Sink (Zn)              | mg/kg TS | 280   | 530   | 470   | 260   | 200   | 310   | 370   | 120   |
| Naftalen               | mg/kg TS | 0,11  | 0,11  | 0,097 | 0,15  | 0,054 | 0,088 | 0,08  | 0,047 |
| Acenaftylen            | mg/kg TS | 0,13  | 0,12  | 0,068 | 0,059 | 0,042 | 0,057 | 0,1   | 0,057 |
| Acenaften              | mg/kg TS | 0,12  | 0,13  | 0,084 | 0,19  | 0,055 | 0,088 | 0,054 | 0,091 |
| Fluoren                | mg/kg TS | 0,26  | 0,43  | 0,16  | 0,2   | 0,11  | 0,088 | 0,15  | 0,19  |
| Fenantren              | mg/kg TS | 1,5   | 2,5   | 1,2   | 1,9   | 0,87  | 1,1   | 1,7   | 1,5   |
| Antracen               | mg/kg TS | 0,78  | 0,98  | 0,42  | 0,58  | 0,29  | 0,23  | 0,24  | 0,41  |
| Fluoranten             | mg/kg TS | 3,2   | 4,2   | 2,4   | 3,9   | 1,8   | 2,9   | 2,8   | 2,9   |
| Pyren                  | mg/kg TS | 2,6   | 3,7   | 2,5   | 3,3   | 1,5   | 2,3   | 2,1   | 2,3   |
| Benzo[a]antracen       | mg/kg TS | 1,4   | 2,1   | 1,3   | 1,7   | 0,85  | 1,2   | 0,9   | 1,1   |
| Krysen/Trifenylen      | mg/kg TS | 1,2   | 1,6   | 1,2   | 1,4   | 0,71  | 1,1   | 0,91  | 1,1   |
| Benzo[b]fluoranten     | mg/kg TS | 2,7   | 2,8   | 2,2   | 2,8   | 1,2   | 1,8   | 1,6   | 1,5   |
| Benzo[k]fluoranten     | mg/kg TS | <0,01 | 0,92  | 0,87  | 1     | 0,4   | 0,69  | 0,52  | 0,61  |
| Benzo[a]pyren          | mg/kg TS | 1,7   | 2,6   | 1,9   | 2,1   | 1,1   | 1,7   | 1,2   | 1,5   |
| Indeno[1,2,3-cd]pyren  | mg/kg TS | 1,1   | 1,8   | 1,9   | 1,6   | 0,54  | 0,93  | 0,65  | 0,91  |
| Dibenzo[a,h]antracen   | mg/kg TS | 0,27  | 0,37  | 0,34  | 0,35  | 0,12  | 0,17  | 0,14  | 0,13  |
| Benzo[ghi]perylen      | mg/kg TS | 1     | 1,6   | 1,8   | 1,6   | 0,55  | 0,84  | 0,68  | 0,78  |
| Sum PAH(16) EPA        | mg/kg TS | 18    | 26    | 18    | 23    | 10    | 15    | 14    | 15    |
| PCB 28                 | µg/kg TS | <0,50 | <0,50 | <0,50 | 2,7   | 1,6   | 0,67  | 1,8   | <0,50 |
| PCB 52                 | µg/kg TS | 0,8   | 0,92  | 6     | 7,8   | 9,3   | 4,3   | 29    | <0,50 |
| PCB 101                | µg/kg TS | 3,6   | 5,5   | 15    | 23    | 22    | 23    | 46    | 0,53  |
| PCB 118                | µg/kg TS | 2,9   | 3,3   | 12    | 17    | 20    | 17    | 41    | 0,81  |
| PCB 153                | µg/kg TS | 7,4   | 11    | 24    | 26    | 23    | 36    | 28    | 1,2   |
| PCB 138                | µg/kg TS | 6,8   | 10    | 24    | 34    | 25    | 50    | 31    | 0,69  |
| PCB 180                | µg/kg TS | 4,8   | 7     | 18    | 18    | 14    | 31    | 6     | <0,50 |
| Sum 7 PCB              | µg/kg TS | 26    | 38    | 99    | 130   | 110   | 160   | 180   | 3,2   |
| Tributyltinn (TBT)     | µg/kg tv | 970   | 230   | 650   | 180   | 140   | 250   | 320   | 3,8   |
| Totalt organisk karbon | % C      | 5,9   | 5,01  | 6,77  | 2,73  | 1,47  | 0,95  | 1,17  | 1,15  |
| Kornstørrelse <2 µm    | % TS     | 8     | 3,5   | 4,7   | 3     | 3     | 4,9   | 3,1   | 5,4   |
| Kornstørrelse < 63 µm  | %        | 54,4  | 61,5  | 60,4  | 36,2  | 24,9  | 36,8  | 26,3  | 37,2  |
| Tørrestoff             | %        | 39,8  | 47,8  | 48,4  | 55,4  | 65,1  | 64    | 64,8  | 62,3  |

Ved prøvetaking foran Bryggen 3 i 2023 ble det påvist svært høye verdier av flere metaller, blant annet konsentrasjoner av sink og bly over 1000 mg/kg (prøve BR3 i Tabell 14). Kombinasjonen av så høye verdier av sink og bly medfører at prøven blir klassifisert som farlig avfall i henhold til avfallsforskriften. Siden det er aktuelt å mudre foran Bryggen 3 og potensielt levere massene til deponi, ble det tatt supplerende prøver foran denne kaien i 2024 for å avklare om miljøgiftnivåene i prøve BR3 fra 2023 er representative for sjøbunnen i området.

Prøvelokalitetene BR3-A, BR3-B, BR3-C, BR3-D og BR3-E er vist i Figur 15. Prøvene ble tatt som kjerneprøver av dykker. Det ble tatt to kjerneprøver fra hver lokalitet som ble slått sammen for analyse. Ved tre av lokalitetene var det mulig å nå 15-20 cm ned i sjøbunnen, og fra disse lokalitetene ble det analysert en prøve fra 0-10 cm intervallet og en prøve av materialet >10 cm. Ved to av lokalitetene var det kun mulig å prøveta 0-10 cm på grunn av grovere, underliggende masser.

Analyseresultatene er gitt i Tabell 15. Prøvene viser høye nivåer av metaller og organiske miljøgifter likt nivået i sjøbunnen ellers i den indre delen av Vågen, men kombinasjonen av sink og bly over 1000 mg/kg som ble påvist i prøve BR3 fra 2023 ble ikke gjenfunnet. Det ble heller ikke påvist konsentrasjoner av andre miljøgifter som medfører at grensene for farlig avfall overskrides (se avsnitt 3.1.8 for nærmere vurderinger av miljøgiftnivå i henhold til avfallsforskriften).

**Tabell 15** Analyseresultater av sedimentprøvene tatt langs Bryggen 3 i 2024 klassifisert etter veileder M-608/2020. Se Figur 15 for lokalitetsoversikt. Prøvedybde er angitt i tabellen.

|                        |          | BR3-A1  | BR3-A2   | BR3-B1  | BR3-B2   | BR3-C1  | BR3-C2   | BR3-D   | BR3-E   |
|------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|---------|
|                        |          | 0-10 cm | 10-17 cm | 0-10 cm | 10-20 cm | 0-10 cm | 10-15 cm | 0-10 cm | 0-10 cm |
| Arsen (As)             | mg/kg TS | 16      | 18       | 20      | 18       | 21      | 11       | 13      | 12      |
| Bly (Pb)               | mg/kg TS | 280     | 390      | 390     | 380      | 790     | 390      | 380     | 320     |
| Kadmium (Cd)           | mg/kg TS | 0,6     | 1,1      | 0,59    | 1,3      | 0,55    | 0,4      | 0,48    | 1       |
| Kobber (Cu)            | mg/kg TS | 260     | 510      | 290     | 310      | 250     | 230      | 260     | 190     |
| Krom (Cr)              | mg/kg TS | 38      | 40       | 47      | 37       | 51      | 18       | 33      | 32      |
| Kvikksølv (Hg)         | mg/kg TS | 3,5     | 4,2      | 4,6     | 39       | 4,8     | 1,9      | 7,8     | 3,7     |
| Nikkel (Ni)            | mg/kg TS | 17      | 17       | 15      | 16       | 20      | 13       | 10      | 12      |
| Sink (Zn)              | mg/kg TS | 400     | 1200     | 390     | 1000     | 530     | 460      | 380     | 410     |
| Naftalen               | mg/kg TS | 0,055   | 0,096    | 0,1     | 0,11     | 0,08    | 0,085    | 0,15    | 0,1     |
| Acenaftylen            | mg/kg TS | 0,056   | 0,068    | 0,11    | 0,12     | 0,073   | 0,18     | 0,37    | 0,093   |
| Acenaften              | mg/kg TS | 0,081   | 0,18     | 0,19    | 0,12     | 0,098   | 0,17     | 0,41    | 0,16    |
| Fluoren                | mg/kg TS | 0,12    | 0,26     | 0,26    | 0,27     | 0,15    | 0,57     | 1,2     | 0,23    |
| Fenantren              | mg/kg TS | 0,98    | 2,3      | 2,2     | 2,1      | 1,2     | 3,4      | 7       | 1,8     |
| Antracen               | mg/kg TS | 0,37    | 0,81     | 0,78    | 1,1      | 0,48    | 1,3      | 2,6     | 0,68    |
| Fluoranten             | mg/kg TS | 2,4     | 3,9      | 4,1     | 4,1      | 2,6     | 4,8      | 7       | 3,2     |
| Pyren                  | mg/kg TS | 2,2     | 3,6      | 3,7     | 3,7      | 2,5     | 4,2      | 7,1     | 2,8     |
| Benzo[a]antracen       | mg/kg TS | 1,1     | 1,5      | 1,8     | 1,9      | 1,2     | 1,9      | 3       | 1,4     |
| Krysen/Trifenylen      | mg/kg TS | 0,91    | 1,3      | 1,6     | 1,5      | 0,98    | 1,9      | 2,4     | 1,1     |
| Benzo[b]fluoranten     | mg/kg TS | 2,4     | 3,7      | 4,3     | 4,1      | 2,9     | 4,1      | 5,3     | 3,2     |
| Benzo[k]fluoranten     | mg/kg TS | <0,01   | <0,01    | <0,01   | <0,01    | <0,01   | <0,01    | <0,01   | <0,01   |
| Benzo[a]pyren          | mg/kg TS | 1,4     | 2,3      | 2,5     | 2,5      | 1,7     | 2,5      | 3,7     | 2       |
| Indeno[1,2,3-cd]pyren  | mg/kg TS | 1,1     | 1,7      | 2       | 1,8      | 1,4     | 1,7      | 2       | 1,4     |
| Dibenzo[a,h]antracen   | mg/kg TS | 0,21    | 0,34     | 0,42    | 0,44     | 0,27    | 0,37     | 0,46    | 0,28    |
| Benzo[ghi]perylene     | mg/kg TS | 1       | 1,5      | 1,8     | 1,8      | 1,2     | 1,3      | 1,8     | 1,2     |
| Sum PAH(16) EPA        | mg/kg TS | 14      | 24       | 26      | 26       | 17      | 28       | 44      | 20      |
| PCB 28                 | µg/kg TS | <0,50   | <0,50    | <0,50   | <0,50    | <0,50   | <0,50    | <0,50   | <0,50   |
| PCB 52                 | µg/kg TS | <0,50   | 5,1      | 2       | 2,7      | 2,6     | 3,9      | 2,1     | 1,4     |
| PCB 101                | µg/kg TS | 7,7     | 14       | 10      | 11       | 10      | 8,3      | 9,1     | 7,8     |
| PCB 118                | µg/kg TS | 5       | 9,8      | 6,6     | 7        | 6,3     | 5,8      | 6,8     | 5,1     |
| PCB 153                | µg/kg TS | 17      | 26       | 24      | 21       | 19      | 15       | 19      | 18      |
| PCB 138                | µg/kg TS | 13      | 25       | 20      | 19       | 17      | 11       | 17      | 13      |
| PCB 180                | µg/kg TS | 29      | 18       | 16      | 14       | 12      | 23       | 11      | 11      |
| Sum 7 PCB              | µg/kg TS | 72      | 98       | 79      | 75       | 67      | 67       | 65      | 56      |
| Tributyltinn (TBT)     | µg/kg tv | 2700    | 3000     | 820     | 2200     | 3200    | 39000    | 1400    | 880     |
| Totalt organisk karbon | % C      | 8,74    | 11,7     | 11      | 9,19     | 8,35    | 5,95     | 8,73    | 7,1     |
| Kornstørrelse <2 µm    | % TS     | 3,9     | 3,9      | 1,1     | 5,9      | 4,1     | 9,1      | 4,6     | 2,4     |
| Kornstørrelse < 63 µm  | %        | 44,8    | 41,1     | 20,5    | 58       | 49,4    | 57       | 51,2    | 40,4    |
| Tørrestoff             | %        | 38,1    | 52,9     | 32,4    | 44,2     | 44      | 60,1     | 45,7    | 49,5    |

### 3.1.8 Vurdering av miljøgiftnivå etter avfallsforskriften

Det er gjennomført en vurdering av alle prøveresultatene fra Vågen (avsnitt 3.1.1 - 3.1.7) for å avklare om miljøgiftkonsentrasjonene tilsvarer ordinært avfall eller farlig avfall i henhold til avfallsforskriften kap. 9 «Deponering av avfall». Klassifisering etter avfallsforskriften er relevant i tilfelle deler av sjøbunnen skal mudres og massene leveres til deponi.

Gjennomgangen viser at sju sedimentprøver fra Vågen overskrider grenseverdiene for farlig avfall gitt i vedlegg 2 til avfallsforskriften kapittel 11:

- › 2-V (Tabell 3): Grunnet summering av sink og bly innhold = 3180 mg/kg

| PrøveID: 2-V      |                      |                |             |           |           |               |        |
|-------------------|----------------------|----------------|-------------|-----------|-----------|---------------|--------|
| Aktuell fasetning | Terskelverdi (mg/kg) | Grense (mg/kg) | Metode      | Bly       | Sink      | Verdi (mg/kg) | Status |
|                   |                      |                | CAS-nr.     | 7439-92-1 | 7440-66-6 |               |        |
| H360FD (R1A)      | -                    | 3 000          | Hvert stoff | 1680      |           | 1680          | Under  |
| H400              | 1 000                | 250 000        | Sum         | 1680      | 1500      | 3 180         | Under  |
| H410              | 1 000                | 250 000        | Spes.sum*   | 1680      | 1500      | 318 000       | Over   |
| H411              | 10 000               | 250 000        |             |           |           | 3 180         |        |
| H412              | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |        |
| H413              | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |        |

- › BR3 (Tabell 14): Grunnet summering av sink og bly innhold = 2700 mg/kg

| PrøveID: BR3      |                      |                |             |           |           |               |        |
|-------------------|----------------------|----------------|-------------|-----------|-----------|---------------|--------|
| Aktuell fasetning | Terskelverdi (mg/kg) | Grense (mg/kg) | Metode      | Bly       | Sink      | Verdi (mg/kg) | Status |
|                   |                      |                | CAS-nr.     | 7439-92-1 | 7440-66-6 |               |        |
| H360FD (R1A)      | -                    | 3 000          | Hvert stoff | 1300      |           | 1300          | Under  |
| H400              | 1 000                | 250 000        | Sum         | 1300      | 1400      | 2 700         | Under  |
| H410              | 1 000                | 250 000        | Spes.sum*   | 1300      | 1400      | 270 000       | Over   |
| H411              | 10 000               | 250 000        |             |           |           | 2 700         |        |
| H412              | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |        |
| H413              | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |        |

- › K15 (80-100 intervall) (Tabell 6): Grunnet summering av sink og bly innhold = 5100 mg/kg

| PrøveID: 80-100 K15 |                      |                |             |           |           |               |        |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------|-----------|-----------|---------------|--------|
| Aktuell fasetning   | Terskelverdi (mg/kg) | Grense (mg/kg) | Metode      | Bly       | Sink      | Verdi (mg/kg) | Status |
|                     |                      |                | CAS-nr.     | 7439-92-1 | 7440-66-6 |               |        |
| H360FD (R1A)        | -                    | 3 000          | Hvert stoff | 3600      |           | 3600          | Over   |
| H400                | 1 000                | 250 000        | Sum         | 3600      | 1500      | 5 100         | Under  |
| H410                | 1 000                | 250 000        | Spes.sum*   | 3600      | 1500      | 510 000       | Over   |
| H411                | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |        |
| H412                | 10 000               | 250 000        |             |           |           | 5 100         |        |
| H413                | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |        |

- › K22 (0-10 intervall) (Tabell 6): Grunnet sink innhold på 2500 mg/kg (akkurat på grensen for farlig avfall)

| PrøveID: 0-10 K22      |                         |                   |           |           |               |        |
|------------------------|-------------------------|-------------------|-----------|-----------|---------------|--------|
| Aktuell<br>faresetning | Terskelverdi<br>(mg/kg) | Grense<br>(mg/kg) | Metode    | Sink      | Verdi (mg/kg) | Status |
|                        |                         |                   | CAS-nr.   | 7440-66-6 |               |        |
| H400                   | 1 000                   | 250 000           | Sum       | 2500      | 2 500         | Under  |
| H410                   | 1 000                   | 250 000           | Spes.sum* | 2500      | 250 000       | Over   |
| H411                   | 10 000                  | 250 000           |           |           |               |        |
| H412                   | 10 000                  | 250 000           |           |           | 2 500         |        |
| H413                   | 10 000                  | 250 000           |           |           |               |        |

- › K22 (10-20 intervall) (Tabell 6): Grunnet sink innhold på 7600 mg/kg og bly innhold på 4800 mg/kg

| PrøveID: 10-20 K22  |                      |                |             |           |           |               |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------|-----------|-----------|---------------|
| Aktuell faresetning | Terskelverdi (mg/kg) | Grense (mg/kg) | Metode      | Bly       | Sink      | Verdi (mg/kg) |
|                     |                      |                | CAS-nr.     | 7439-92-1 | 7440-66-6 |               |
| H360FD (R1A)        | -                    | 3 000          | Hvert stoff | 4800      |           | 4800          |
| H400                | 1 000                | 250 000        | Sum         | 4800      | 7600      | 12 400        |
| H410                | 1 000                | 250 000        | Spes.sum*   | 4800      | 7600      | 1 240 000     |
| H411                | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |
| H412                | 10 000               | 250 000        |             |           |           | 12 400        |
| H413                | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |

- › K22 (50-80 intervall) (Tabell 6): Grunnet sink innhold på 4700 mg/kg og bly innhold på 4900 mg/kg

| PrøveID: 50-80 K22  |                      |                |             |           |           |               |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------|-----------|-----------|---------------|
| Aktuell faresetning | Terskelverdi (mg/kg) | Grense (mg/kg) | Metode      | Bly       | Sink      | Verdi (mg/kg) |
|                     |                      |                | CAS-nr.     | 7439-92-1 | 7440-66-6 |               |
| H360FD (R1A)        | -                    | 3 000          | Hvert stoff | 4900      |           | 4900          |
| H400                | 1 000                | 250 000        | Sum         | 4900      | 4700      | 9 600         |
| H410                | 1 000                | 250 000        | Spes.sum*   | 4900      | 4700      | 960 000       |
| H411                | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |
| H412                | 10 000               | 250 000        |             |           |           | 9 600         |
| H413                | 10 000               | 250 000        |             |           |           |               |

- › K30 (20-50 intervall) (Tabell 6): Grunnet bly innhold på 4200 mg/kg

| PrøveID: 20-50 K30 |                      |                |             |           |               |        |
|--------------------|----------------------|----------------|-------------|-----------|---------------|--------|
| Aktuell fasetning  | Terskelverdi (mg/kg) | Grense (mg/kg) | Metode      | Bly       | Verdi (mg/kg) | Status |
| CAS-nr.            |                      |                |             | 7439-92-1 |               |        |
| H360FD (R1A)       | -                    | 3 000          | Hvert stoff | 4200      | 4200          | Over   |
| H400               | 1 000                | 250 000        | Sum         | 4200      | 4 200         | Under  |
| H410               | 1 000                | 250 000        | Spes.sum*   | 4200      | 420 000       | Over   |
| H411               | 10 000               | 250 000        |             |           |               |        |
| H412               | 10 000               | 250 000        |             |           | 4 200         |        |
| H413               | 10 000               | 250 000        |             |           |               |        |

\*Spesiell summeringsregel:  $[100 \cdot \Sigma c(H410) + 10 \cdot \Sigma c(H411) + \Sigma c(H412)]$  og  $[\Sigma c(H410) + \Sigma c(H411) + \Sigma c(H412) + \Sigma c(H413)]$  begge utregningene gjelder, og strengeste utfall benyttes (begge med en grenseverdi for sum på 250 000)

De resterende prøvene overskrider ikke grenseverdiene for farlig avfall og klassifiseres som ordinært avfall.

Prøve BR3, som overskrider grenseverdiene for farlig avfall, ble tatt som en blandprøve fra flere lokaliteter langs kaistrekningen Bryggen 3. Supplerende prøvetaking med totalt 8 prøver fra 5 lokaliteter langs den samme kaistrekningen viste ingen overskridelse av grenseverdiene (avsnitt 3.1.7). Basert på en totalvurdering av resultatene fra sjøbunnen foran Bryggen 3 vurderes det til at sedimentene langs denne kaistrekningen kan klassifiseres som ordinært avfall.

### 3.1.9 Oppsummering miljøgifter i overflatesediment i Vågen

Tabell 16 viser snittverdiene for miljøgiftkonsentrasjonene innenfor hvert av delområdene Våg 1 – Våg 5. Det er her valgt å inkludere prøver som er tatt i dybdeintervallene 0-10 cm og 0-5 cm som er fra perioden 2010-2024. De eldre prøvene fra perioden 1992-2003 er ikke inkludert. For områder som er overrepresentert med mange prøver fra et lite areal, for eksempel foran enkelte kaier, er gjennomsnittet av to eller flere prøver brukt ved videre beregning av gjennomsnitt for hele delområdet. Dette er gjort for å få en mest mulig representativ gjennomsnittsverdi.

Det samme datasettet som er benyttet til gjennomsnittsberegninger er benyttet i oppdatert risikovurdering (kap. 3.6) og ved beregning av mengde miljøgifter som håndteres og fjernes fra omløp (kap. 4.5).

Kartene i Figur 19 - Figur 24 viser en oversikt over resultatene for miljøgiftene bly, kobber, kvikksølv, sink, sum PCB-7 og sum PAH-16 for alle prøvene tatt i dybdeintervallet 0-10 og 0-5 cm som er fra 2010-2024. Kartene illustrerer lokale variasjoner i forurensningsgrad internt i delområdene.

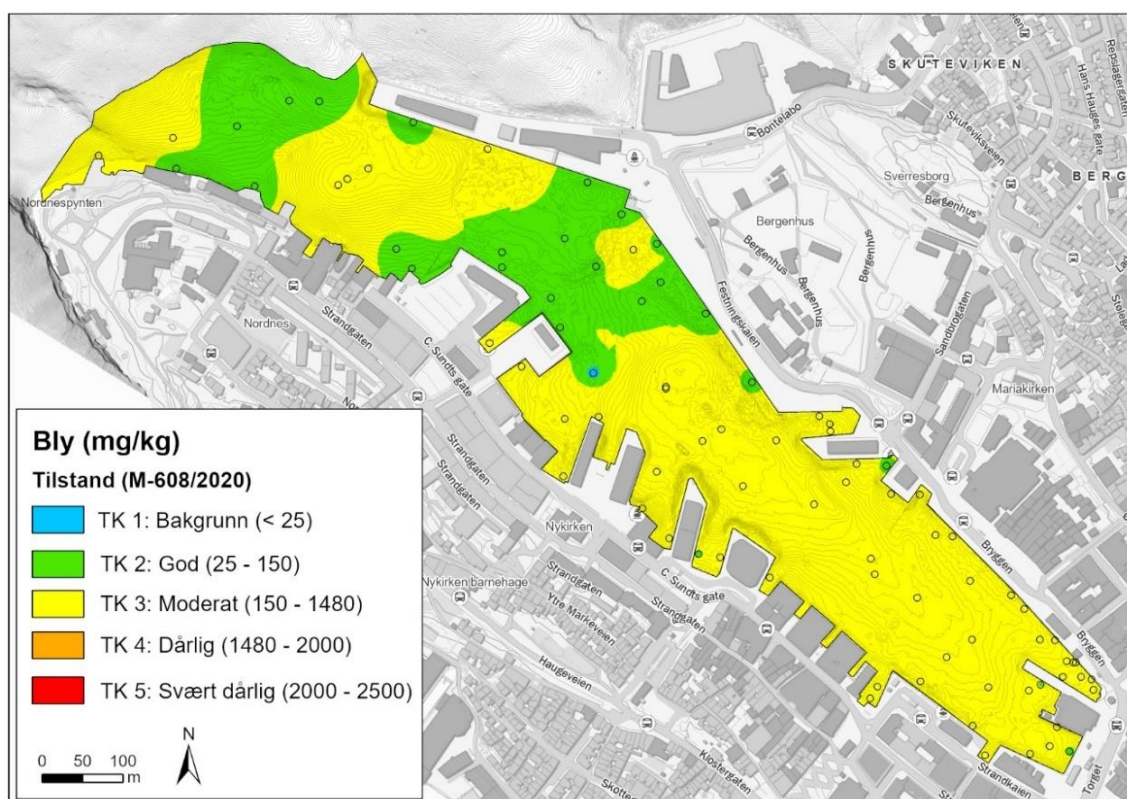
Både snittverdiene for delområdene i Tabell 16 og kartoversiktene viser tydelig at forurensningsgraden i sedimentet er høyest innenfor terskelen. Sedimentet i den indre delen av Vågen (Våg1-3) er forurensset med kobber, kvikksølv, PAH og TBT i tilstandsklasse V, PCB i klasse IV samt sink og bly i klasse IV og III. Sjøbunnen her har høyt innhold av organisk materiale (TOC ca. 9 %).

Terskelen (Våg 4) skiller seg ut med generelt lavere konsentrasjoner av miljøgifter enn i de andre delområdene. På terskelen er sjøbunnen mer grovkornig og har lavt innhold av organisk materiale (TOC ca. 1,5 %). Sedimentet på terskelen er forurensset med TBT i klasse V, PAH i klasse IV og PCB i klasse III.

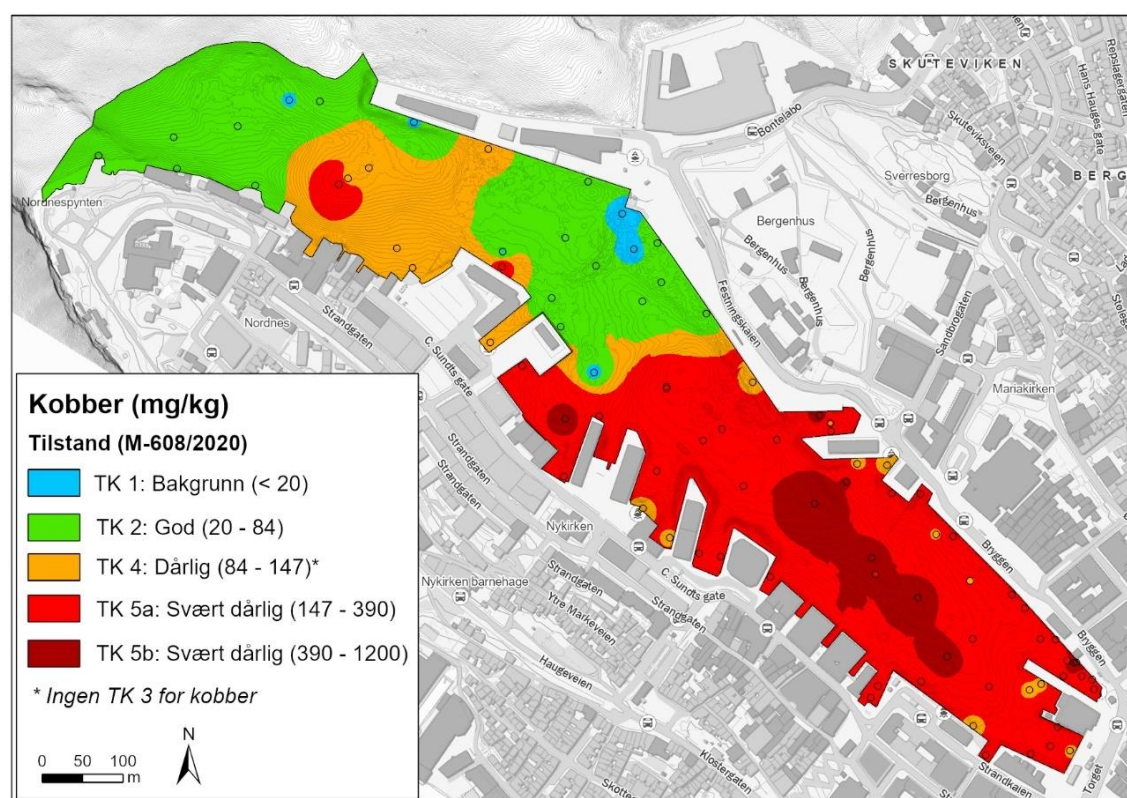
Også den ytre delen av Vågen har generelt noe lavere konsentrasjoner av miljøgifter og organiske materiale enn i de tre indre delområdene. Sjøbunnen er her forurensset med TBT i klasse V, PAH, PCB og kvikksølv i klasse IV, samt bly og sink i klasse III. TOC er ca. 3%.

**Tabell 16** Snittverdier for miljøgiftkonsentrasjonene innenfor hvert av delområdene Våg 1 – Våg 5 basert på analyseresultatene fra prøver tatt i dybdeintervallene 0-10 cm og 0-5 cm og i perioden 2010-2024, klassifisert etter M-608/2020. Snittverdien for PAH-forbindelsene i Våg 2 er sterkt påvirket av en PAH-hotspot ved lokalitet K31. Se Figur 15 for kartoversikt over delområdene.

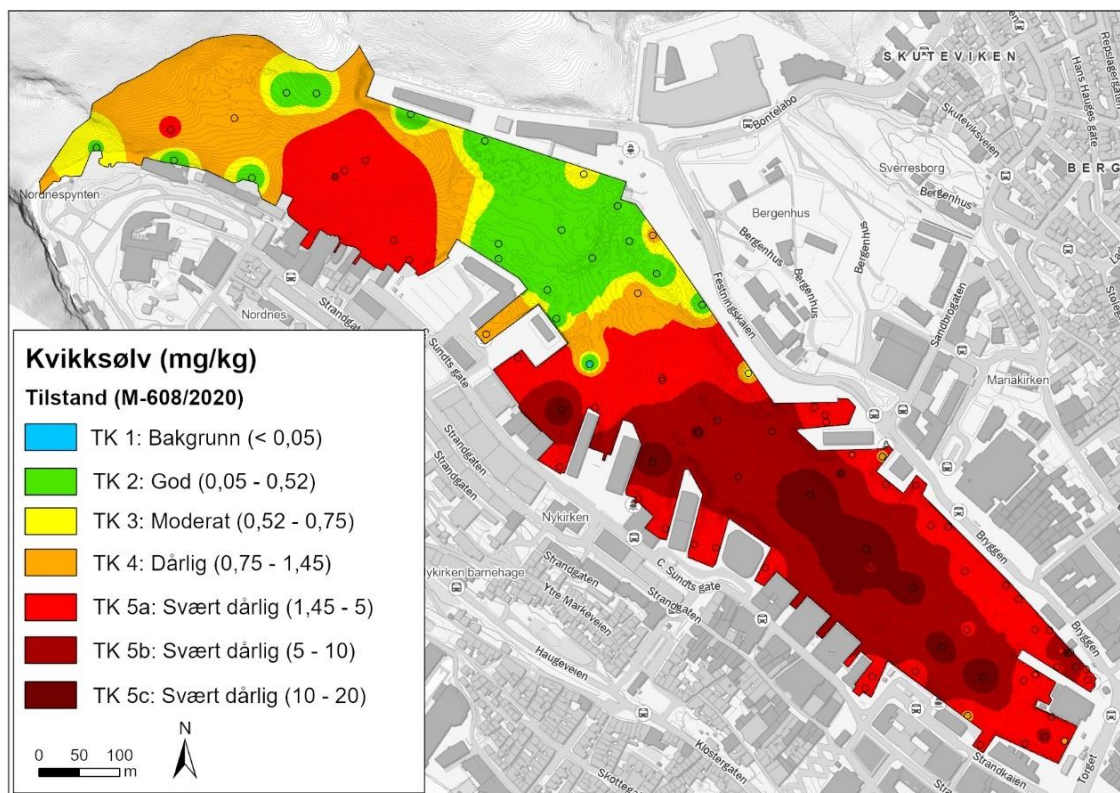
| Parameter              | Enhet | Snitt Våg 1a | Snitt Våg 1b | Snitt Våg 2 | Snitt Våg 3 | Snitt Våg 4 | Snitt Våg 5 |
|------------------------|-------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Arsen                  | mg/kg | 18,9         | 14,6         | 21,9        | 16,3        | 5,9         | 10,3        |
| Bly                    | mg/kg | 449          | 329          | 486         | 323         | 96          | 229         |
| Kadmium                | mg/kg | 1,2          | 0,9          | 2,7         | 1,4         | 0,1         | 0,4         |
| Kobber                 | mg/kg | 255          | 246          | 343         | 234         | 49          | 85          |
| Krom                   | mg/kg | 39,2         | 33,4         | 57,5        | 54,7        | 15,7        | 25,2        |
| Kvikksølv              | mg/kg | 5,6          | 3,9          | 8,7         | 5,1         | 0,5         | 1,33        |
| Nikkel                 | mg/kg | 19,3         | 15,2         | 21,4        | 28,9        | 8,8         | 11,3        |
| Sink                   | mg/kg | 736          | 492          | 1073        | 629         | 113         | 311         |
| Naftalen               | mg/kg | 0,3          | 0,2          | 3,81        | 0,23        | 0,06        | 0,10        |
| Acenaftylen            | mg/kg | 0,2          | 0,1          | 0,75        | 0,15        | 0,04        | 0,06        |
| Acenaften              | mg/kg | 0,3          | 0,2          | 1,67        | 0,38        | 0,06        | 0,12        |
| Fluoren                | mg/kg | 0,6          | 0,4          | 4,69        | 0,54        | 0,12        | 0,16        |
| Fenantren              | mg/kg | 4,3          | 3,0          | 24,58       | 4,14        | 0,74        | 1,58        |
| Antracen               | mg/kg | 1,4          | 0,9          | 8,14        | 1,31        | 0,28        | 0,47        |
| Fluoranten             | mg/kg | 7,3          | 5,4          | 25,74       | 6,06        | 1,25        | 3,06        |
| Pyren                  | mg/kg | 6,7          | 4,9          | 21,92       | 5,47        | 1,15        | 2,60        |
| Benzo(a)antracen       | mg/kg | 4,3          | 3,0          | 11,56       | 2,85        | 0,89        | 1,66        |
| Krysen                 | mg/kg | 3,8          | 2,6          | 10,20       | 2,58        | 0,78        | 1,58        |
| Benzo(b)fluoranten     | mg/kg | 4,8          | 3,7          | 9,92        | 3,91        | 0,69        | 2,13        |
| Benzo(k)fluoranten     | mg/kg | 2,6          | 1,7          | 7,46        | 1,66        | 0,43        | 0,88        |
| Benzo(a)pyren          | mg/kg | 4,4          | 3,3          | 10,66       | 3,12        | 0,62        | 1,74        |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren  | mg/kg | 2,8          | 1,9          | 5,34        | 1,91        | 0,34        | 1,06        |
| Dibenzo(a,h)antracen   | mg/kg | 0,7          | 0,4          | 1,46        | 0,49        | 0,08        | 0,24        |
| Benzo(ghi)perylene     | mg/kg | 2,8          | 1,8          | 5,71        | 1,93        | 0,29        | 1,01        |
| PAH16                  | mg/kg | 47,3         | 33,7         | 153,6       | 36,7        | 7,8         | 18,45       |
| PCB 28                 | µg/kg | 0,93         | 1,7          | 0,91        | 4,50        | 0,56        | 0,76        |
| PCB 52                 | µg/kg | 14,38        | 4,5          | 29,68       | 11,45       | 3,89        | 8,18        |
| PCB 101                | µg/kg | 11,81        | 13,8         | 50,91       | 27,96       | 6,99        | 17,24       |
| PCB 118                | µg/kg | 10,46        | 10,1         | 48,01       | 26,05       | 6,26        | 16,77       |
| PCB 138                | µg/kg | 24,93        | 25,3         | 101,60      | 41,01       | 7,73        | 26,86       |
| PCB 153                | µg/kg | 23,94        | 26,1         | 88,44       | 36,41       | 6,92        | 24,35       |
| PCB 180                | µg/kg | 13,48        | 18,0         | 51,21       | 19,81       | 3,00        | 13,31       |
| PCB7                   | µg/kg | 99           | 99           | 368         | 167         | 35          | 106         |
| Tributyltinn (TBT-ion) | µg/kg | 516          | 809          | 882         | 605         | 127         | 205         |
| TOC                    | %     | 8,7          | 8,9          | 8,62        | 6,83        | 1,70        | 3,09        |
| kornstørrelse <2µm     | %     | 4,0          | 3,6          | 6,61        | 3,33        | 4,08        | 3,04        |
| kornstørrelse <63µm    | %     | 37,0         | 30,5         | 44,65       | 31,08       | 33,01       | 24,33       |



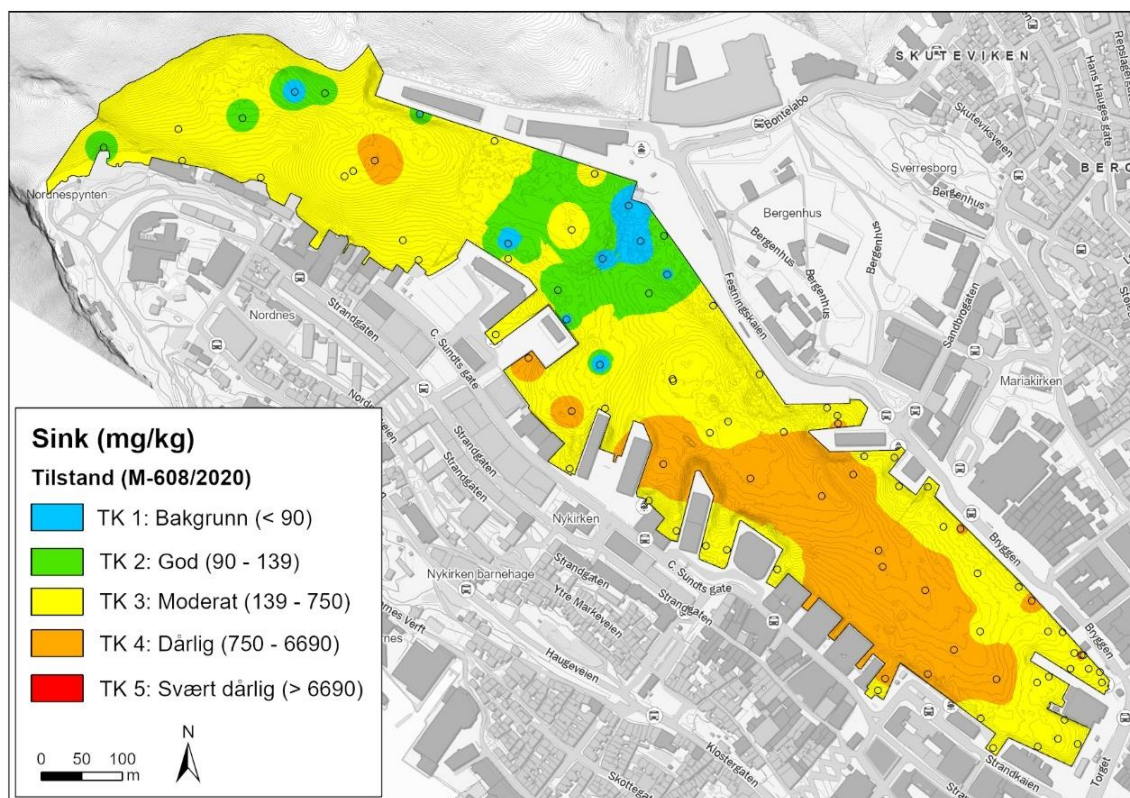
Figur 19 Konsentrasjoner av bly i sedimentprøver fra perioden 2010-2024 fargelagt i henhold til klassifiseringssystemet gitt i veileder M-608/2020.



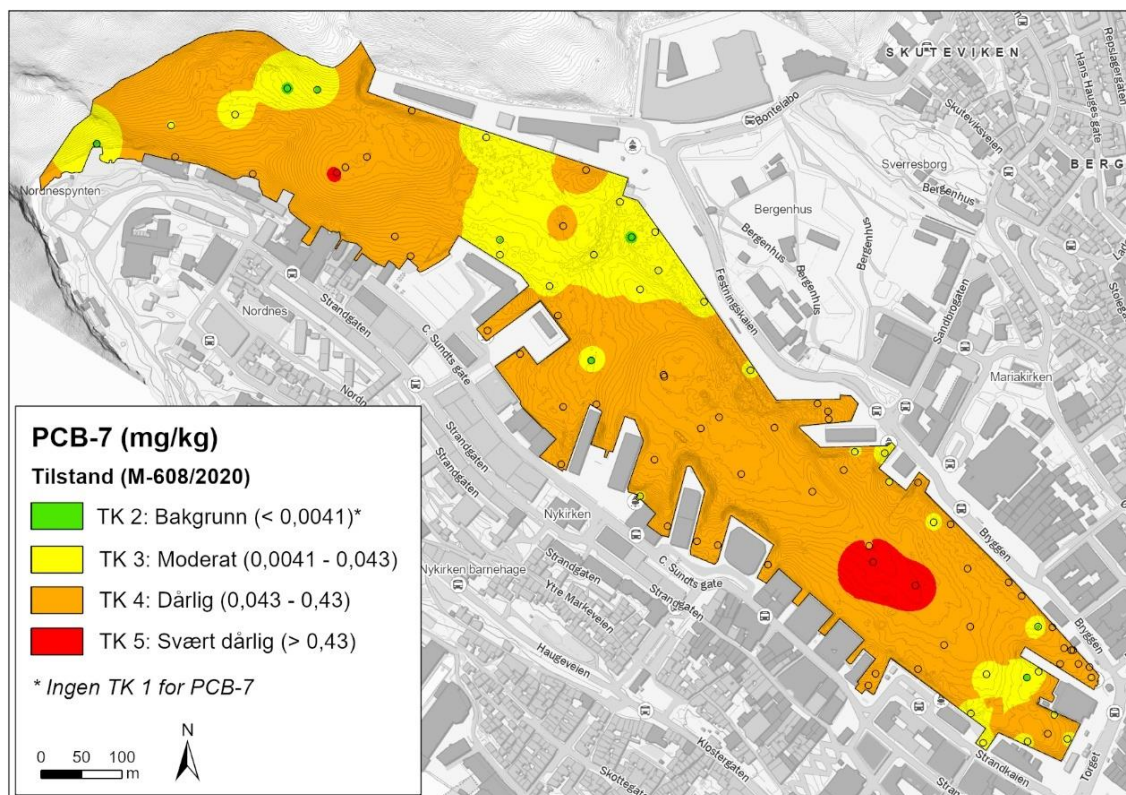
Figur 20 Konsentrasjoner av kobber i sedimentprøver fra perioden 2010-2024 fargelagt i henhold til klassifiseringssystemet gitt i veileder M-608/2020.



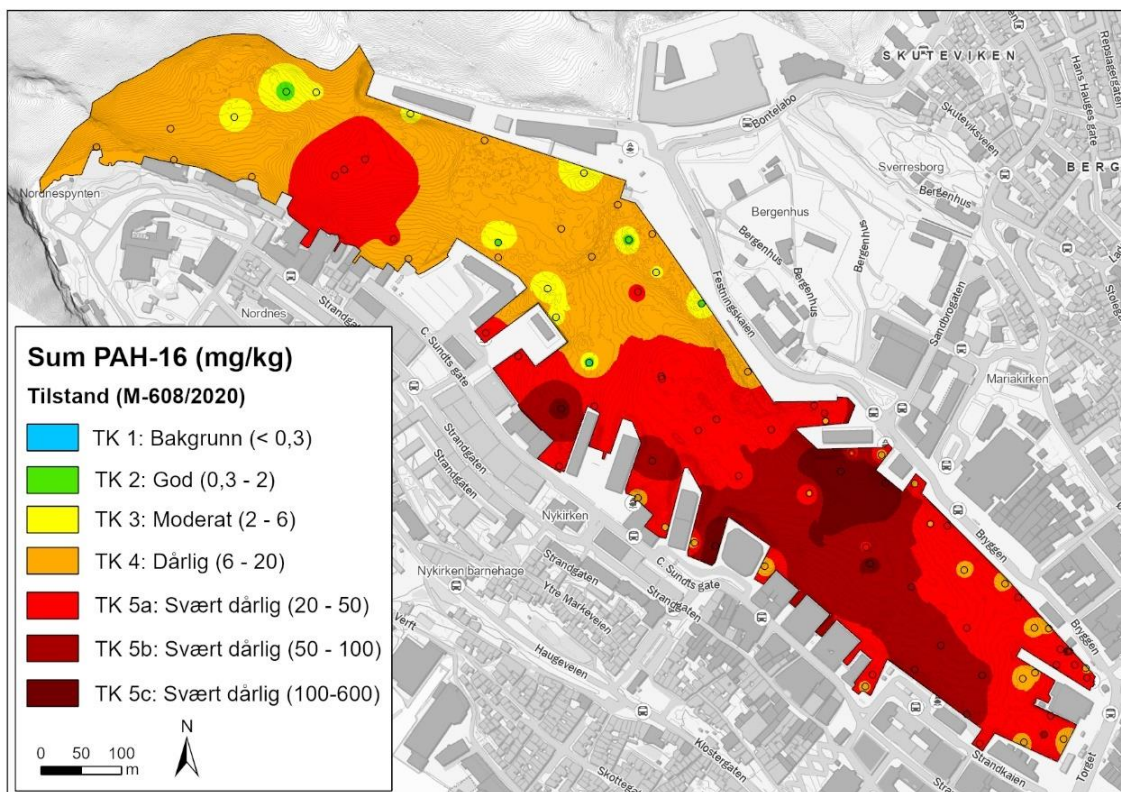
Figur 21 Konsentrasjoner av kvikksølv i sedimentprøver fra perioden 2010-2024 fargelagt i henhold til klassifiseringssystemet gitt i veileder M-608/2020.



Figur 22 Konsentrasjoner av sink i sedimentprøver fra perioden 2010-2024 fargelagt i henhold til klassifiseringssystemet gitt i veileder M-608/2020.



Figur 23 Konsentrasjoner av sum PCB-7 i sedimentprøver fra perioden 2010-2024 fargelagt i henhold til klassifiseringssystemet gitt i veileder M-608/2020.



Figur 24 Konsentrasjoner av sum PAH-16 i sedimentprøver fra perioden 2010-2024 fargelagt i henhold til klassifiseringssystemet gitt i veileder M-608/2020.

## 3.2 Toksisitet

De ble utført fire toksisitetstester på sedimentblandprøvene fra Vågen i 2012 for å vurdere risiko for effekter på økosystemet (COWI, 2014a). Resultatene er vist i Tabell 17. Valg av tester var basert på da gjeldende veileder TA-2230/2007 (SFT, 2007). Anbefalte toksisitetstester er senere korrigert ved revisjon av veilederen. I någjeldende veileder M-409/2015 (Miljødirektoratet, 2015b) er test med algen *Skeletonema* i organisk ekstrakt tatt ut, og toksisitetstest med hoppekrepsen *Tisbe* og østerslarven *Crassostrea* i porevann er tatt inn som nye måleparametere.

I *Skeletonema*-testene podes porevann og organisk ekstrakt fra sedimentet med algen *Skeletonema costatum*. Toksisitet beregnes som veksthemming ved å sammenlikne veksthastighet i prøven med veksthastighet i en kontrollkultur. Resultatene oppgis som TU (toxic unit). I gjeldende veileder for risikovurdering inngår bare *Skeletonema* i porevann. Resultatene er tilfredsstillende sammenliknet med grenseverdi. Resultatene for *Skeletonema* i organisk ekstrakt overskrider grenseverdiene i TA-2230/2007 for området innenfor terskelen (Våg 1, 2 og 3).

Det ble utført helsedimenttester med fjæremarken *Arenicola marina*. I denne testen måles adferd og overlevelse av testorganisme i direkte kontakt med det aktuelle sedimentet sammenliknet med overlevelse i et rent kontrollsediment. Dødelighet over 20 % regnes som signifikant. Det ble sendt blandprøver fra alle fem delområdene i Vågen. I Våg 4 ble det målt 80 % dødelighet, mens tilsvarende for Våg 5 var 10 %. For prøvene fra Våg 1, 2 og 3 rapporterte laboratoriet at prøven var for flytende og ikke hadde en egnet struktur for helsedimenttest. Dette skyldes trolig homogenisering av prøvene før analyse. Det ble observert mark i sedimentet fra disse områdene under prøvetaking.

DR-CALUX-testen måler effekten av dioksiner og dioksinliknende PCB i sedimentet ved hjelp av en rapport-gen test. Metoden kan i risikoformål erstatte kjemisk analyse av dioksiner og dioksinliknende PCB i sedimentene. Resultatet oppgis som toksisitetsekvivalenter til dioksin (TEQ ng/kg). Resultatene overskrider grenseverdien for alle prøvene med unntak av VÅG 5 (utenfor terskelen). Det er ikke sammenheng mellom konsentrasjon av PCB i sedimentet og resultater for DR-CALUX.

Tabell 17 Resultat av toksisitetstester av sedimentprøver fra Vågen, 2012 (COWI, 2014a).

| Parameter                                    | Enhet                   | Grense-verdi i TA-2802/2011 | BL.VÅG 1 | BL.VÅG 2 | BL.VÅG 3 | BL.VÅG 4      | BL.VÅG 5   |
|----------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------|------------|
| <i>Skeletonema</i> org.ekstraksjon           | TU                      | (1*)                        | 1.4      | 2        | 1        | 0.15          | 0.83       |
| <i>Skeletonema</i> i porevann                | TU                      | 1                           | <1       | <1       | <1       | <1            | <1         |
| Helsediment-test ( <i>Arenicola marina</i> ) | % dødelighet (kontroll) | 20 %                        | **       | **       | **       | 80***<br>(30) | 10<br>(30) |
| Dr Calux                                     | ng TEQ/kg TS            | 50                          | 300      | 740      | 840      | 240           | <0,6       |

\* Grenseverdi fra tidligere risikoveileder. Testen er ikke med i revidert veileder M-409/2015.

\*\* Laboratoriet rapporterte at sedimentprøvene ikke var egnet til analyse på grunn av konsistens

\*\*\* Blandprøve VÅG 4A+B (ikke nok materiale fra 4C)

### 3.3 Redoks (Eh)

Måling av redoks (Eh) og pH ble utført med feltinstrumentet Eijkelkamp Multimeter 18.50.01 direkte i glasskrukker med uforstyrrede sedimentprøver (COWI, 2014a). Det ble laget et hull i sedimentet til ønsket dyp. Redoks-elektroden av platina ble umiddelbart ført ned i prøvegropen og multimeteret ble avlest etter at redoks-potensialet var stabilt. Deretter ble pH-proben ført ned i samme prøvegrop og avlest etter at pH-verdi var stabil. Den samme prosedyren ble gjentatt på flere dyp i samme prøve. Målingene er korrigert med et tillegg basert på KCl-konsentrasjon i elektrolytten og temperaturen i sedimentene.

Det ble målt generelt lave redoks-verdier ( $Eh < 0$  mV) i 12 av 15 sedimentprøver. Redoks-verdien falt med økt måledyp i sedimentet (Tabell 18 og Figur 25). Laveste redoks-verdier ved 3 cm dyp ( $Eh < -100$  mV) ble målt i prøver fra de dypeste delene i indre Vågen (VÅG 2 og VÅG 3) og i prøver fra VÅG 5 utenfor terskelen.

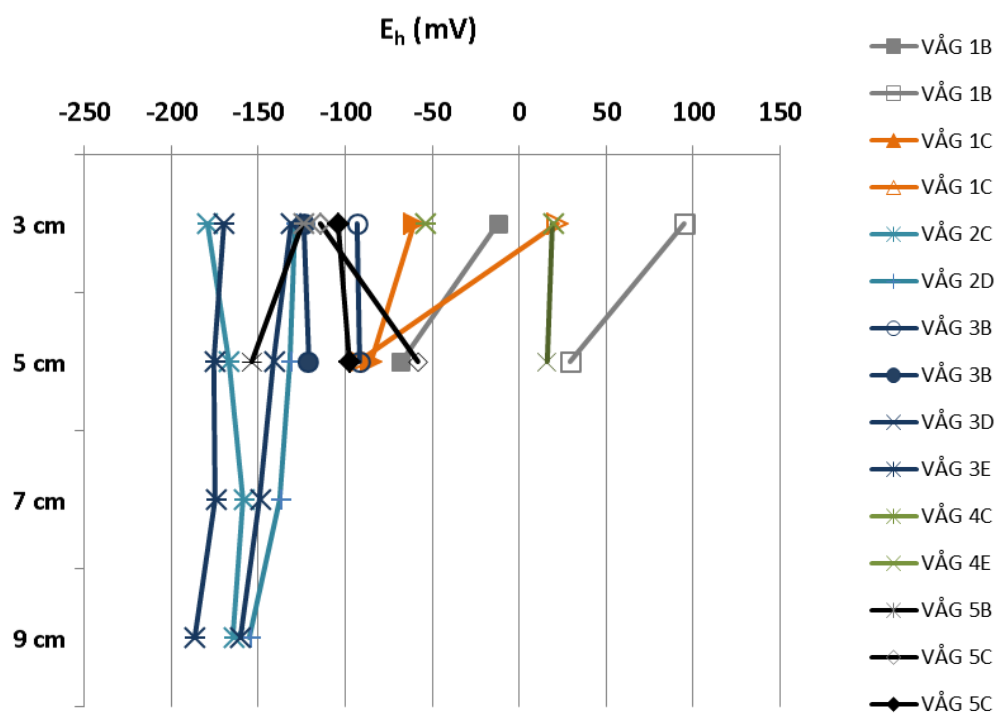
Prosedyren for måling av redoks tar ikke sikte på et presisjonsnivå tilsvarende det som kan oppnås under ideelle forhold på laboratoriet, men gir en indikasjon på forholdene. Nedbrytning av organisk stoff under oppbevaring av prøvene før måling har trolig i mindre grad redusert redoks-potensialet. På den andre side kan eksponering av sedimentet for oksygen under prøvetaking ha bidratt til å øke redoks-potensialet i prøven slik at målt Eh kan være høyere enn den virkelige situasjonen. For prøvepunktene 1B, 1C, 3B og 5C ble det tatt parallelle prøver. Variasjonen i resultatene for prøver fra 1B og 1C skyldes trolig påvirkning fra oksygen under prøvetaking.

Sedimentet fra Vågen består av et brunt topplag over svart sediment. I de innerste delområdene (VÅG 1, 2 og 3) er topplaget kun noen millimeter og sedimentet lukter  $H_2S$ . I de ytre deler av Vågen (VÅG 4 og 5) er topplaget inn til noen cm tykt. Kombinasjonen av observasjoner og redoks-målinger indikerer at sedimentet er anoksisk tett opp mot overflaten, særlig innerst i Vågen.

Surhetsgraden varierte mellom 7,24 og 7,93 i de ulike sedimentprøvene.

Tabell 18 Redoks-potensiale Eh (mV) ved ulike dyp i sedimentprøver fra Vågen (COWI, 2014a)

| Prøve    | VÅG<br>1B | VÅG<br>1B<br>dupl | VÅG<br>1C | VÅG<br>1C<br>dupl | VÅG<br>2C | VÅG<br>2D | VÅG<br>3B | VÅG<br>3B<br>dupl | VÅG<br>3D | VÅG<br>3E | VÅG<br>4C | VÅG<br>4E | VÅG<br>5B | VÅG<br>5C | VÅG<br>5C<br>dupl |
|----------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| 3 cm dyp | -11.9     | 95.3              | -60.5     | 22.1              | -179.3    | -128.5    | -92.8     | -123.6            | -131.0    | -169.9    | -53.9     | 19.4      | -124.3    | -114.3    | -104.0            |
| 5 cm dyp | -67.7     | 29.5              | -85.2     | -92.1             | -166.8    | -131.6    | -91.4     | -120.8            | -141.1    | -175.1    |           | 16.0      | -153.5    | -57.9     | -97.7             |
| 7 cm dyp |           |                   |           |                   | -158.3    | -137.4    |           |                   | -149.1    | -174.4    |           |           |           |           |                   |
| 9 cm dyp |           |                   |           |                   | -164.2    | -154.9    |           |                   | -160.2    | -186.4    |           |           |           |           |                   |



Figur 25 Redoks (mV) ved ulike dyp i sedimentprøver fra Vågen

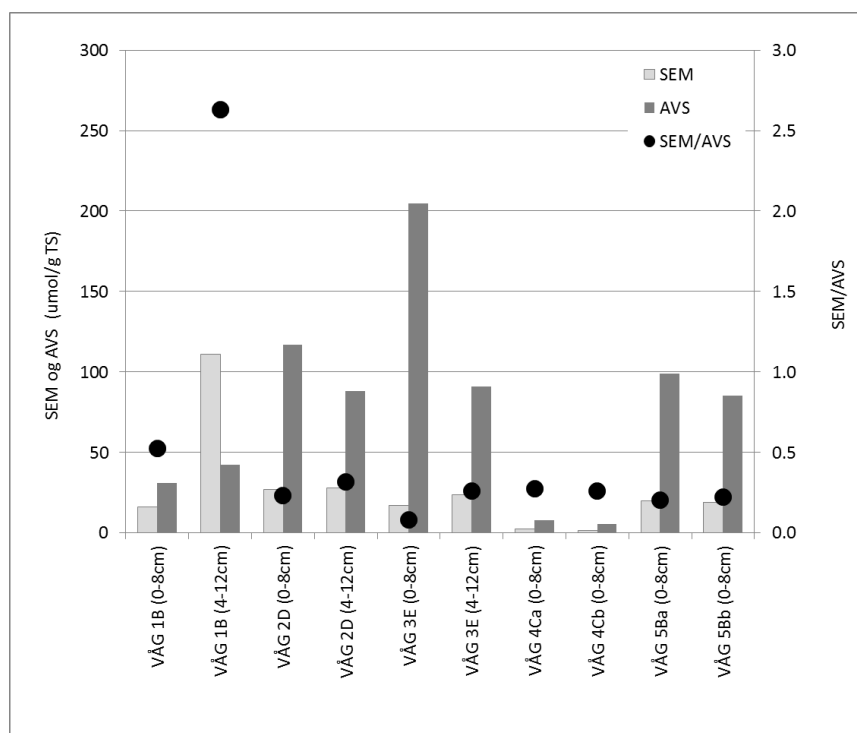
### 3.4 Metallsulfider (SEM/AVS)

Metaller i sediment kan under anoksiske forhold være bundet som tungtløselige metallsulfider. SEM/AVS er en metode for å måle mengde sulfider målt som AVS (acid- volatile sulfides) og tungmetaller målt som SEM (samtidige ekstraherbare metaller). SEM beregnes som summen av de fem metallene kadmium, kobber, nikkel, bly og sink. Dersom forholdet SEM/AVS (molbasert) er lavere enn 1 angir dette et overskudd av sulfider i forhold til metaller, og indikerer at metallene i sedimentet i hovedsak er bundet som tungtløselige metallsulfider og er mindre biotilgjengelige enn om SEM/AVS var større enn 1 (Eek et al., 2007).

Måling av SEM og AVS viser at det er mest sulfid og metaller i indre del av Vågen (Våg 2 og 3) og i området utenfor terskelen (Våg 5) (Tabell 19 og Figur 26) (COWI, 2014a). Mengde sulfid og metaller var lavest på terskelen (Våg 4).

Tabell 19 AVS og SEM sedimentprøver fra Vågen,  $\mu\text{mol/g TS}$  (COWI, 2014a).

| Prøve   | Dyp (cm) | Cd     | Cu     | Ni     | Pb     | Zn     | Hg     | Sum SEM (Cd,Cu,Ni,Pb,Zn,Hg) | AVS    | SEM/AVS |
|---------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|---------|
| VÅG 1B  | 0-8      | 0.0168 | 3.4677 | 0.1350 | 1.8769 | 10.62  | 0.0006 | 16.12                       | 30.86  | 0.52    |
| VÅG 1B  | 4-12     | 0.0315 | 0.6987 | 0.1128 | 3.6390 | 106.43 | 0.0009 | 110.92                      | 42.19  | 2.63    |
| VÅG 2D  | 0-8      | 0.0232 | 4.3480 | 0.2000 | 2.9974 | 19.32  | 0.0017 | 26.89                       | 117.09 | 0.23    |
| VÅG 2D  | 4-12     | 0.0346 | 5.0783 | 0.1894 | 2.7641 | 19.92  | 0.0018 | 27.98                       | 87.98  | 0.32    |
| VÅG 3E  | 0-8      | 0.0129 | 4.8518 | 0.1732 | 2.4533 | 9.35   | 0.0014 | 16.84                       | 204.8  | 0.08    |
| VÅG 3E  | 4-12     | 0.0290 | 5.6255 | 0.2313 | 2.3005 | 15.65  | 0.0024 | 23.84                       | 90.95  | 0.26    |
| VÅG 4Ca | 0-8      | 0.0006 | 0.2372 | 0.0529 | 0.6419 | 1.26   | 0.0004 | 2.19                        | 8.01   | 0.27    |
| VÅG 4Cb | 0-8      | 0.0006 | 0.2344 | 0.0418 | 0.4351 | 0.77   | 0.0002 | 1.48                        | 5.68   | 0.26    |
| VÅG 5Ba | 0-8      | 0.0218 | 2.4788 | 0.1403 | 2.5342 | 14.84  | 0.0016 | 20.02                       | 98.74  | 0.20    |
| VÅG 5Bb | 0-8      | 0.0225 | 2.0407 | 0.1077 | 3.1101 | 13.78  | 0.0015 | 19.07                       | 85.06  | 0.22    |



Figur 26 SEM, AVS og forholdet SEM/AVS i sedimentprøver fra Vågen (COWI, 2014a).

Mengdeforholdet SEM/AVS var  $< 1$  og viser et overskudd av sulfid i alle sedimentprøvene med unntak av en (Våg 1B, 4-12 cm). Høye metallkonsentrasjoner (SEM) i denne prøven skyldes høy konsentrasjon av sink i sedimentet (Tabell 19).

### 3.5 Bioakkumulasjon

Sedimentlevende evertebrater er den viktigste næringskilden til mange bunnlevende fisk og vil derfor kunne bidra til transport av enkelte miljøgifter oppover i næringskilden. I 2012 ble det utført bioakkumulasjonstester for å undersøke biotilgjengeligheten av miljøgifter i sedimentblandprøver fra Vågen (COWI, 2014a). Undersøkelsen ble gjennomført av NIVA.

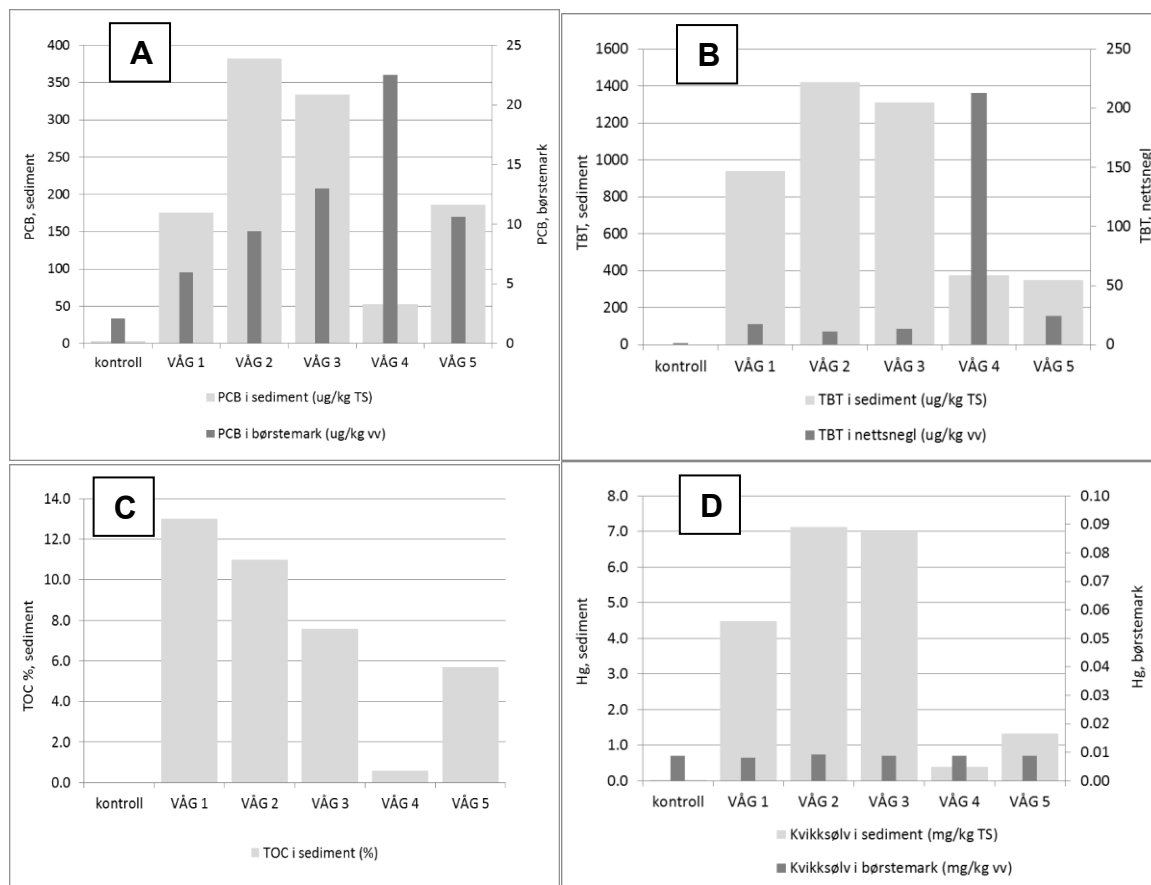
Tabell 20 viser gjennomsnittlig målt opptak av metaller og PCB i børstemark *Hediste diversicolor* og TBT i nettsnegl *Hinia reticulata* eksponert for sediment fra Vågen og sammenliknet med rent kontrollsediment. Resultatene viser at PCB i sedimentet bioakkumuleres i børstemark, og at TBT i sedimentet bioakkumuleres i nettsnegl. Opptaket av PCB i børstemark var 3-11 ganger høyere i sediment fra Vågen enn fra rent kontrollsediment. Opptak av TBT i nettsnegl var 8-152 ganger høyere i sediment fra Vågen enn fra rent kontrollsedimentet.

Det ble målt høyest opptak av PCB og TBT i henholdsvis børstemark og nettsnegl som var eksponert for sediment fra det nest ytterste området i Vågen (terskelen, Våg 4). Dette til tross for at det er lavest konsentrasjon av miljøgifter i sedimentet i dette området (Tabell 20, Figur 27 A og B). Årsaken til dette er trolig at PCB og TBT i de andre områdene er sterkere bundet til partikler enn i område Våg 4 og dermed mindre biotilgjengelig. Det lavere innholdet av TOC i sedimentet i Våg 4 kan være en forklaring på den observerte forskjellen i biotilgjengelighet (Figur 27 C).

Det var ikke signifikant bioakkumulering av kvikksølv eller andre tungmetaller fra noen av sedimentprøvene. Det var stor variasjon, og i enkelte prøver svært høy konsentrasjon av kvikksølv i sedimentet (Figur 27 D).

**Tabell 20** Målt opptak av metaller og PCB i børstemark og TBT i nettsnegl eksponert for sediment fra Vågen sammenliknet med rent kontrollsediment. Gjennomsnittsverdier for 3 parallelle prøver for metaller og PCB. Resultatene er oppgitt pr. kg våtvekt. Gj.snittlig tørrstoffinnhold i børstemark var 10,3 %. For nettsnegl ble det antatt et tørrstoffinnhold på ca. 20 %.

| Parameter     | Enhet    | BL VÅG 1 | BL VÅG 2 | BL VÅG 3 | BL VÅG 4 | BL VÅG 5 | Kontroll |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Arsen, AS     | mg/kg vv | 1.1      | 1.1      | 1.0      | 1.1      | 1.1      | 1.1      |
| Bly, Pb       | mg/kg vv | 0.12     | 0.17     | 0.10     | 0.11     | 0.13     | 0.10     |
| Kadmium, Cd   | mg/kg vv | <0.01    | <0.01    | <0.01    | <0.01    | <0.01    | <0.01    |
| Kobber, Cu    | mg/kg vv | 0.60     | 0.67     | 0.57     | 0.77     | 0.67     | 0.60     |
| Krom, Cr      | mg/kg vv | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | <0.1     | 0.233    |
| Kvikksølv, Hg | mg/kg vv | 0.008    | 0.009    | 0.009    | 0.009    | 0.009    | 0.009    |
| Nikkel, Ni    | mg/kg vv | <0.1     | <0.1     | <0.1     | 0.07     | <0.1     | 0.20     |
| Sink, Zn      | mg/kg vv | 8.4      | 9.1      | 7.7      | 9.3      | 9.4      | 7.5      |
| PCB28         | mg/kg vv | 0.00040  | 0.00084  | 0.00127  | 0.00123  | 0.00062  | 0.00020  |
| PCB52         | mg/kg vv | 0.00017  | 0.00022  | 0.00082  | 0.00150  | 0.00039  | 0.00029  |
| PCB101        | mg/kg vv | 0.00027  | 0.00049  | 0.00077  | 0.00105  | 0.00044  | 0.00003  |
| PCB118        | mg/kg vv | 0.00094  | 0.00160  | 0.00217  | 0.00583  | 0.00167  | 0.00039  |
| PCB138        | mg/kg vv | 0.00173  | 0.00267  | 0.00343  | 0.00613  | 0.00313  | 0.00047  |
| PCB153        | mg/kg vv | 0.00217  | 0.00317  | 0.00403  | 0.00607  | 0.00387  | 0.00063  |
| PCB180        | mg/kg vv | 0.00029  | 0.00041  | 0.00048  | 0.00071  | 0.00049  | 0.00010  |
| Sum PCB-7     | mg/kg vv | 0.00597  | 0.00940  | 0.01298  | 0.02252  | 0.01060  | 0.00208  |
| TBT           | µg/kg vv | 17,6     | 11,1     | 13,5     | 213,0    | 24,0     | 1,4      |



Figur 27 A) PCB i børstemark og sediment fra bioakkumuleringstest, B) TBT i nettsnegl og sediment fra bioakkumuleringstest, C) Totalt organisk karbon (TOC) i sediment fra bioakkumuleringstest, D) Kvikksølv i børstemark og sediment fra bioakkumuleringstest.

### 3.6 Risikovurdering

Vurdering av risiko for miljøskade og spredning av forurensning fra sedimentene er en viktig del av grunnlaget for beslutning om miljøtiltak og utarbeiding av konkrete planer for opprydding. Risikovurdering av forurenset sjøbunn i Vågen er gjennomført flere ganger med dagjeldende risikovurderingsverktøy. Verktøyet har vært utviklet over tid, fra første versjon i 2004 til gjeldende versjon fra 2016 (Miljødirektoratet, 2016). I risikovurdering trinn 2 og 3 vurderes det hvilken risiko forurensningen utgjør for økologisk skade, human helse og spredning av miljøgifter i miljøet.

I forbindelse med Bergen havn Tiltaksplan fase II gjennomførte Norges Geotekniske Institutt (NGI) en risikovurdering av forurensningen i sedimentene i Vågen, Puddefjorden og Store Lungegårdsvannet (Kibsgaard og Oen, 2004; COWI et al., 2005). Formålet var å kunne gjøre en prioritering av delområder. Resultatene viste at miljøgiftene i Vågen utgjorde en stor og uakseptabel risiko for human helse og spredning av miljøgifter. Vågen ble prioritert som første delområde for gjennomføring av tiltak. Av ulike årsaker har det blitt gjort tiltak i Puddefjorden og Store Lungegårdsvannet først, og Vågen har blitt utsatt.

Risikovurderingen for Vågen ble oppdatert i 2014 for å samle ny kunnskap om risikoforhold og spredningsmekanismer. Datagrunnlaget fra 2004 ble supplert med nye og flere typer målinger for å øke sikkerheten i resultatene og gjøre vurderingene mer stedsspesifikke. Vurderingene ble basert på

dagjeldende havneaktivitet og en utvidet undersøkelse av miljøtilstand og opptak i organismer. Risikovurderingen fra 2014 ble utført basert på risikovurderingsveileder TA-2802/2011 (Klif, 2011) og grenseverdier i veileder TA-2229/2007. Resultatene er brukt som grunnlag for utforming av miljømål og tiltaksløsninger (COWI, 2014a).

I 2024 ble det på nytt gjennomført en oppdatering av risikovurderingen for Vågen basert på någjeldende versjon av veileder for risikovurdering av forurenset sediment M-409 (Miljødirektoratet, 2016), grenseverdier i veileder M-608 (Miljødirektoratet, 2020) samt oppdatert datagrunnlag og tiltaksareal i Vågen (COWI, 2024).

Risikovurderingen er basert på et større datagrunnlag enn det som var tilgjengelig ved risikovurderingene i 2014 og 2004. Det nasjonale risikoverktøyet er forbedret, og det er gjort relativt store endringer i sjablongverdier og grenseverdier. Sammenliknet med datagrunnlaget som ble benyttet ved risikovurderingen i 2014 er nye sedimentprøver fra Vågen inkludert (kap. 3.1.9), og de eldste sedimentprøvene er utelatt. En ny undersøkelse av miljøgifter i fisk og krabbe fra området ved Bontelabo er inkludert (Havforskningsinstituttet, 2023), og det samme gjelder målinger av opptak av miljøgifter i blåskjell som har vært eksponert i Vågen (COWI, 2023c). Data fra eldre kostholdsrådsundersøkelser er utelatt. Resultatene fra risikoberegningene er også vurdert opp mot nye undersøkelser av strøm og erosjonsforhold, samt resultater fra en undersøkelse av vannkvalitet, spredning av partikkelbundet forurensning og fluks fra sediment til vann i Vågen (COWI, 2023c).

Risikovurderingen gir et forenklet bilde av forholdene og sannsynliggjør hvilken risiko sedimentene utgjør for helse og miljø. På samme måte som i 2014, viser resultatene fra denne oppdaterte risikovurderingen trinn 1-3 at sedimentet i hele Vågen utgjør en vesentlig risiko for negativ økologisk effekt, human helse og spredning av miljøgifter. Størst risiko er knyttet til de organiske miljøgiftene PCB, PAH og TBT. Av metallene er det kvikksølv som utgjør den største risikoen.

Grenseverdier for negativ økologisk effekt overskrides for alle stoffgrupper i sedimentet og for enkelte parametere i beregnet porevann og i målt og beregnet sjøvann. Forurensningen utgjør en risiko for human helse ved langvarig og høyt inntak av lokal fanget fisk og sjømat. PCB viser høye overskridelser av grenseverdi for 10 % MTR/TDI (maksimalt tolerabel risiko/tolerabelt daglig inntak), men også andre miljøgifter kan utgjøre en risiko. Resultatene sammenfaller med at Mattilsynet har gitt kostadvarsler knyttet til inntak av noen typer sjømat fra dette området.

Hele Vågen er påvirket av skipstrafikk, og miljøgifter i sedimentene spres i miljøet som følge av propelloppvirvling i tillegg til spredning ved diffusjon og opptak i organismer. Spredning av forurensning fra Vågen til Byfjorden ansees som den største risikoen og bidrar trolig til økt risiko for human helse gjennom opptak i sjømat.

Sammenliknet med miljømålene er den beregnede risikoen ikke akseptabel, og det er behov for gjennomføring av tiltak for å oppnå tiltaks mål og bidra til måloppnåelse for vannforekomsten *Byfjorden indre del*.

## 4 Miljømål

Miljømål for oppryddingsprosjektet i Bergen havn skal ivareta nasjonale mål og lokale forhold. Den langsiktige visjonen for Byfjorden og Bergen havn er oppheving av lokalt kostholdsråd. Et viktig bidrag vil være tiltak mot spredning av forurensning fra sjøbunnen. Fastsetting av realistisk ambisjonsnivå, reelle muligheter og konkret målsetting har vært en pågående prosess i flere faser av prosjektet.

Våren 2014 ble etablering av miljømål og samordning med forvaltningsplan for vannområdet diskutert i møter med interessenter, fagmiljø og viktige forvaltningsenheter. Følgende etater og institusjoner har deltatt i arbeidet: Bergen Havn AS, Bergen kommune, Prosjektleder Vannområde Vest, Fylkesmannens miljøvernnavdeling, Havforskningsinstituttet, Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES) (NIFES og Havforskningsinstituttet fusjonerte i 2018), Mattilsynet, Forsvarsbygg og Bergens Sjøfartsmuseum.

Bergen bystyre fattet vedtak om overordnet miljømål for Bergen havn og miljømål for tiltak i Vågen i møte 28.05.15 sak 131 -15 (Bergen bystyre, 2015).

### 4.1 Overordnet miljømål for Bergen havn

Følgende overordnet miljømål for tiltaksområde Bergen havn er vedtatt av Bergen bystyre (Bergen bystyre, bystyresak 131-15, 2015):

- › Tilstanden i sedimentene skal ikke være til hinder for bruk av sjø- og havneområdene til nærings- og fritidsaktiviteter.
- › Tiltak skal bidra til å redusere innholdet av miljøgifter i fisk og sjømat fra Byfjorden.

### 4.2 Miljømål for tiltak i Vågen

Følgende miljømål for tiltak i Vågen er vedtatt av Bergen bystyre (Bergen bystyre, bystyresak 131-15, 2015):

- › Spredning av miljøgifter fra sedimentene i Vågen skal reduseres med 80 %.
- › Ny tilførsel av miljøgifter fra land skal minimaliseres.
- › Tiltak skal utføres skånsomt for å bidra til bevarelse av kulturminner i området.
- › Tiltak skal planlegges og gjennomføres på en måte som er minst mulig til hinder for daglig havnedrift og til minst mulig sjenanse for nærmiljøet.

Ved målkonflikter skal miljø prioriteres foran marin arkeologi og havnedrift (Bergen bystyre, bystyresak 131-15, 2015).

Tiltaket mot forurenset sjøbunn i Vågen er et av flere tiltak som skal bidra til at vannforekomsten "Byfjorden indre del" skal oppnå Vannforskriftens generelle miljømål om minst "god" økologisk og kjemisk tilstand (Vestland fylkeskommune, 2022).

Partikkelbundet spredning av miljøgifter er den viktigste spredningsprosessen i Vågen, og målinger med sedimentfeller før og etter tiltak benyttes for vurdering av måloppnåelse. I tillegg benyttes vannprøver og flukskammer som måler vannløst forurensning i vurderingene.

I henhold til veileder M-350/2025 vil man etter tiltak kunne akseptere konsentrasjoner av miljøgifter tilsvarende tilstandsklasse III for områder hvor landbaserte forurensningskilder ikke er stoppet, noe som er tilfelle for Vågen. Det er imidlertid et overordnet mål for Renere Havn Bergen å redusere ny tilførsel av forurensning i størst mulig grad.

### 4.3 Tiltaksmål for tiltak i Vågen

I "Veileder for håndtering av sediment" M-350/2015 (Miljødirektoratet, 2015c) gis følgende definisjon av tiltaksmål:

"Et tiltaksmål er en konkret målsetting for gjennomføringen av et tiltak og må oppfylles ved gjennomføring av det tiltaket det er satt for. Tiltaksmålene må være i tråd med lokale forvaltningsmål (langsiktige miljømål) for området. Tiltaksmålene er rettet mot utførende entreprenør og danner grunnlag for kontroll med tiltaksgjennomføringen (sluttkontroll)".

På bakgrunn av denne informasjonen foreslås følgende tiltaksmål for Vågen:

- › I inntil fire uker etter at tiltaket er gjennomført skal innholdet av PAH-16 (både sum PAH-16 og enkeltforbindelser), PCB-7 og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen være i tilstandsklasse II eller lavere i henhold til veileder M-608/2020.
- › Tiltaket skal ikke medføre uakseptabel spredning av forurensede partikler til Byfjorden/Puddefjorden

### 4.4 Bruk og tilstand etter tiltak

Tiltaksområdet blir i dag benyttet til havnedrift med anløp av cruiseskip, regional passasjertrafikk, supply-, gods- og fangstfartøy, samt private småbåter. I tillegg finnes det en badeplass ved Ballastbryggen ytterst i Vågen. Per i dag er det ikke planlagt vesentlige endringer i bruken av området. Dersom det dokumenteres at tiltaksmålene for Vågen er oppnådd med en forbedret miljøtilstand som resultat, vil tiltaket bidra til å redusere oppvirling og spredning av forurensning ut av Vågen. Ved etablering/reetablering av ny bunnfauna vil innholdet av miljøgifter i fisk og bunndyr i Vågen også reduseres.

### 4.5 Mengde miljøgifter som håndteres og fjernes fra omløp

En nasjonal nøkkelindikator for oppnådde resultater av opprydding i forurenset sjøbunn er mengde utvalgte helse- og miljøfarlige stoffer som håndteres ved mudring eller tildekking slik at de ikke lenger utgjør kilde til alvorlige forurensningsproblemer. Etter tiltak skal indikatoren for hvert utvalgt prioritert stoff inngå i sluttrapporteringen til Miljødirektoratet (Miljødirektoratet, 2017). Indikatorrapporteringen omfatter de prioriterte stoffene bly, kadmium, kvikksølv, PAH, PCB og TBT, men indikatoren kan også beregnes for andre stoffer i de tilfellene der slike er styrende for tiltaket.

Det er gjennomført en beregning av forventet mengde miljøgifter som vil bli fjernet fra omløp ved gjennomføring av tiltak i Vågen. Beregningen er utført i henhold til Miljødirektoratets veileder "Nøkkelindikator for det nasjonale arbeidet med forurensset sjøbunn" M-831/2017 og ved hjelp av tilhørende regnearkbasert beregningsverktøy (m831\_beregningsverktoy.xlsm) (Miljødirektoratet, 2017).

Mengden miljøgifter som håndteres av tiltaket er beregnet for hvert stoff med utgangspunkt i følgende formel:

$$\text{Mengde stoff fjernet (kg)} = C_n * A * d * (\rho / (1 + w/100)) * k$$

$C_n$  = Konsentrasjon av den aktuelle miljøgiften i sedimentprøver fra 0-0,1 m (mg /kg TS).

$A$  = Areal av tiltaksområdet ( $m^2$ ).

$d$  = Tiltaksdybde (m).

$\rho$  = Våt densitet ( $kg/m^3$ )

$w$  = Naturlig vanninnhold (%) (vekt vann/vekt faststoff) \*100%.

$k$  = korreksjonsfaktor for å få rett benevning (0,000001 kg/mg).

Det er det øverste laget av sedimenter som i størst grad bidrar til spredning av forurensning. Ved tildekking som tiltaksmetode er det dette laget som blir håndtert ved at tildekking med rene masser hindrer erosjon, utlekking og kontakt mellom forurensning og biota. I beregningene for Vågen er det forutsatt tildekking med rene masser i planlagt tiltaksareal ( $A$ ), og det er benyttet standard *tiltaksdybde* ved tildekking som er 0,2 m ( $d$ ). Det kan bli aktuelt å gjennomføre mudring i enkelte områder før tildekking. Hvor store mengder forurensning som eventuelt vil bli fysisk fjernet ved mudring kan estimeres etter at mudringsareal og dybde er fastsatt. Faktisk mudret volum vil være kjent når tiltaket skal sluttrapporteres til Miljødirektoratet.

Konsentrasjon av miljøgifter ( $C_n$ ) i sedimentet er hentet fra et representativt utvalg av prøver fra Vågen som er analyser for både metaller og organiske miljøgifter. Det er benyttet samme datagrunnlag for konsentrasjon av miljøgifter i sediment som i den oppdaterte risikovurderingen (se avsnitt 3.6). Totalt er det inkludert 75 prøver fra intervallet 0-10 og 0-5 cm i beregningsverktøyet. Det er benyttet erfaringsdata for våt densitet i sand og silt fra M-831/2017 på  $\rho = 1750 \text{ kg/m}^3$ .

Beregningene er forbundet med noe usikkerhet og må ansees som et estimat. Naturlig vanninnhold er beregnet ut fra gjennomsnittlig tørrstoff i analyserte sedimentprøver. Tørrstoffet er nødvendigvis ikke målt på vannmettede prøver, og dette kan bidra til usikkerhet i resultatet. En annen usikkerhetsfaktor er noe inhomogenitet i bunnforholdene. Det er også noe mindre prøvetetthet på de dypeste områdene og inhomogenitet i forurensningsgrad for enkelte stoffer. Det er høyere forurensningsgrad og høyere vanninnhold i prøver fra indre del av Vågen sammenliknet med ytre del. Beregningene er derfor utført for området innenfor og utenfor terskelen hver for seg og deretter summert.

Resultatene i Tabell 21 synliggjør miljøgevinsten som forventes av tiltaket. Beregnet mengde som tas ut av sirkulasjon ved gjennomføring av tildekkingen for de prioriterte stoffene bly, kadmium, kvikksølv, PAH-16, PCB og TBT er henholdsvis 15 423, 48, 180, 1 865, 7 og 23 kg. Området er også sterkt forurensset av kobber og sink, og de tilsvarende tallene for disse stoffene er 9 115 og 25 750 kg.

Mengde forurensning som fjernes ved mudring vil komme i tillegg til den beregnede miljøgevinsten, og dersom det i detaljering av tiltaket blir valgt å ikke gjøre tiltak i enkelte mindre områder vil dette

komme til fratrekk. Endelig mengde miljøgifter som håndteres ved gjennomføring av tiltak i Vågen skal beregnes etter at tiltaket er gjennomført og rapporteres i tiltakets sluttrapport.

*Tabell 21 Beregnet mengde miljøgifter som håndteres ved gjennomføring av tiltak i Vågen. Beregningene er utført i beregningsverktøyet til M-831/2017 (Miljødirektoratet, 2017). De prioriterte nøkkelindikatorene er merket med grått.*

| Stoff                  | Beregnet mengde som isoleres/fjernes (kg) |
|------------------------|-------------------------------------------|
| Arsen                  | 727                                       |
| Bly                    | 15 423                                    |
| Kadmium                | 48                                        |
| Kobber                 | 9 115                                     |
| Krom totalt (III + VI) | 1 948                                     |
| Kvikksølv              | 180                                       |
| Nikkel                 | 946                                       |
| Sink                   | 25 750                                    |
| Sum PAH-16             | 1 865                                     |
| Sum PCB-7              | 7                                         |
| Tributyltinn (TBT-ion) | 23                                        |

## 5 Tiltaksvurdering

Alternativene for tiltak i forurensede sedimenter kan inndeles i to hovedkategorier: 1) **Mudring** for å fjerne de forurensede sedimentene og 2) **tildekking** av sedimentene for å isolere dem på stedet (Miljødirektoratet, 2015a). I enkelte tilfeller vil et tiltak bestå av en kombinasjon av mudring og tildekking. Mudring kan for eksempel være nødvendig å gjennomføre i enkelte soner i forkant av en tildekking for å opprettholde dagens seilingsdyp. Tildekking kan utføres ved bruk av flere ulike typer masser som kan ha forskjellige egenskaper og tykkelse. Ved alle metoder fins det fordeler og ulemper som blant annet avhenger av eksisterende og planlagt arealbruk, miljømål og sjøbunnens stabilitet og bæreevne.

I dette kapittelet blir det gjort en vurdering av hvilke tiltaksløsninger som anbefales for Vågen.

### 5.1 Null-alternativet

Null-alternativet innebærer at det ikke utføres noen inngrep i sedimentene på sjøbunnen for å bedre miljøtilstanden. Et null-alternativ kan være akseptabelt dersom for eksempel en naturlig forbedring av forurensningstilstanden skjer gjennom tilførsel av rene sedimenter. Det er også mulig å iverksette tiltak på land for å bedre kontrollen på landkildene eller minske oppvirvling av sedimenter ved å endre arealbruken i området, for eksempel ved å legge restriksjoner på båttrafikk.

Selv om industrinedleggelser i området rundt Vågen har ført til mindre tilførsel av forurensning til sjøområdene, viser analyser av sedimentfellemateriale fra Vågen i 2020 høye konsentrasjoner av kobber, kvikksølv og flere PAH-forbindelser tilsvarende tilstandsklasse V (svært dårlig miljøtilstand). Propell-erosjon og strøm fører til oppvirvling av forurensede partikler fra sjøbunnen til vannsøylen.

Planer om fortsatt havnedrift i Vågen gjør det ikke ønskelig å legge restriksjoner på båttrafikken i området. Politiske beslutninger om opprydding og foreslåtte miljømål gir heller ikke rom for null-alternativet. Null-alternativet ansees derfor ikke som et akseptabelt alternativ for Vågen.

## 5.2 Mudring

Mudring er først og fremst en tiltaksløsning for å opprettholde seilingsdyp eller for å fjerne lokale "hot-spots" med særlig høy forurensning (Miljødirektoratet, 2015c). I havneområder kan det i enkelte tilfeller bli for grunt dersom man ønsker å tildekke forurensede sedimenter, og i slike tilfeller må man mudre i forkant av tildekkingen for å opprettholde ønsket dybde eller eventuelt mudre ned til rene masser.

Kostnadene relatert til mudring er generelt høyere enn kostnader ved tildekking. I utgangspunktet er det derfor ønskelig å isolere forurensningen på stedet gjennom tildekking i så stor del av tiltaksområdet som mulig. For å identifisere soner der det er nødvendig å gjennomføre mudring for å opprettholde seilingsdyp, har Renere Havn Bergen prosjektet hatt en dialog mot Bergen Havn AS angående deres behov for seilingsdyp i Vågen. Basert på deres innspill, er det identifisert soner der det høyst sannsynlig er nødvendig å gjennomføre mudring.

Områdene der det bør mudres er vist i kartet over anbefalt tiltaksløsning for Vågen gitt i Figur 39 i avsnitt 5.4. Bergen Havns utgangspunkt er at de ønsker å opprettholde dagens bruk av kaianleggene i Vågen. Dette innebærer blant annet at dagens minimumsdybde på 8,9 m over terskelen må opprettholdes slik at båttrafikken over terskelen kan fortsette som i dag. Det er vurdert at nødvendig tykkelse på et tildekkingslag bestående av passive materialer vil ligge i området 40 - 60 cm i Vågen (se avsnitt 5.3). Med utgangspunkt i dette, må det mudres i et belte på begge sidene av farleden over terskelen før tildekking for å opprettholde seilingsdypet i området. Siden kjerneprøver fra Vågen viser at forurensningen strekker seg over 1 m ned i sedimentene (Figur 16 og avsnitt 3.1.2), bør områdene som er mudret i utgangspunktet også tildekkes i etterkant. Det finnes imidlertid begrenset med informasjon om forurensningsnivået i dypere liggende lag innenfor de sonene der det er planlagt å mudre. Det bør derfor innhentes mer detaljert informasjon om forurensningsnivået innenfor mudringsområdene for å avgrense disse og avklare om man kan mudre ned til rene masser slik at re-tildekking ikke er nødvendig.

Ytterligere vurderinger av behov for mudring i Vågen og mer detaljering av mudringsarealene gjennomføres i detaljprosjekteringsfasen.

## 5.3 Tildekking

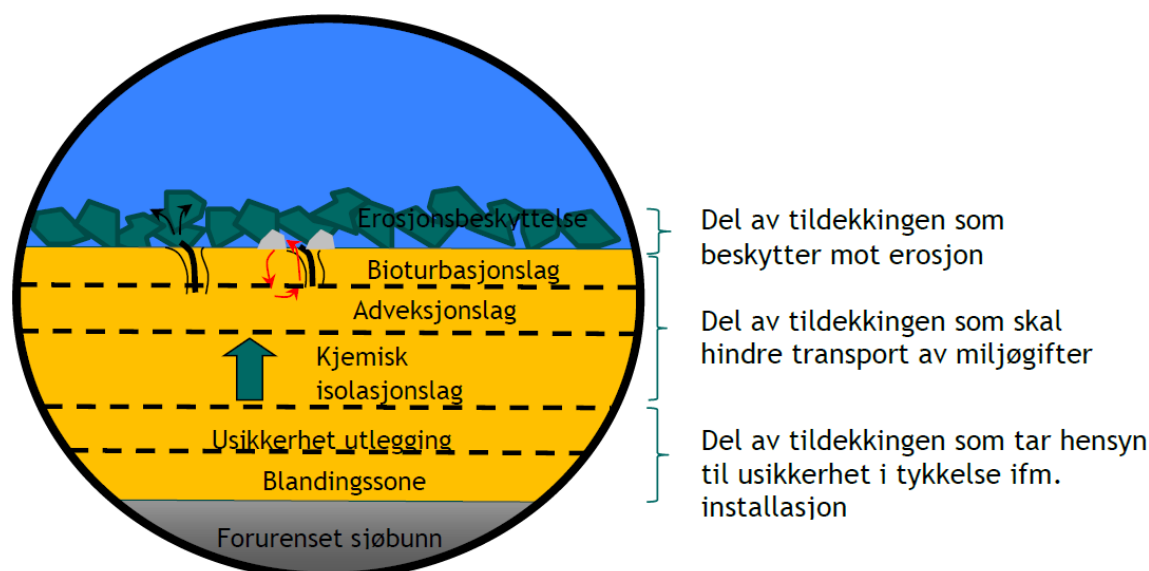
Tildekking av forurensede sedimenter er en tiltaksløsning der rene masser legges ut på sjøbunnen for å isolere forurensningen i den opprinnelige sjøbunnen og dermed hindre spredning av forurensning fra sedimentene (Miljødirektoratet, 2016a). Tykkelsen på tildekkingslagene kan variere avhengig av faktorer som forurensningsnivå i sjøbunnen, forurensningens utlekkingspotensial, type tildekkingsmasser og potensialet for erosjon i tildekkingslaget. Det er viktig å dimensjonere tildekkingslaget slik at det isolerer forurensningen og hindrer spredning av forurensning til utenforliggende områder i lang tid fremover. I dette kapittelet blir det gjort en vurdering av hvordan tildekkingslaget bør dimensjoneres for å oppnå tiltaks- og miljømålene for området.

### 5.3.1 Generell oppbygging av tildekkingslag

Formålet med et tildekkingslag er at det skal hindre:

- › Diffusjon av forurensning gjennom tildekkingen
- › Partikulær transport av forurensning gjennom tildekkingslaget
- › Oppvirvling av forurenset sediment og av tildekkingsmasse
- › Kontakt med gravende organismer og spredning til næringskjeden

Figur 28 viser en generell oppbygging av et tildekkingsdesign med tanke på å hindre transport gjennom tildekkingen og å bevare tildekkingens fysiske integritet (Miljødirektoratet, 2016a). Den øverste delen av tildekkingen (erosjonsbeskyttelsen) er ment å skulle hindre skader som følge av erosjon. Lagene under dette (bioturbasjonslaget, adveksjonslaget og det kjemiske isolasjonslaget) er ment å skulle hindre spredning av forurensning gjennom tildekkingen, mens de nederste lagene vist i figuren er inkludert i designet for å ta hensyn til usikkerheter knyttet til utlegging av tildekkingsmasser.



Figur 28 Illustrasjon av tildekkingslaget (Miljødirektoratet, 2016a)

Flere prosesser kan styre transporten av stoffer i porevannet i sedimentene. De styrende prosessene er diffusjon, adveksjon og bioturbasjon. Diffusjon styres av konsentrasjonsforskjeller i porevannet. Stoffet vil bevege seg mot områder der det er mindre konsentrasjon. Diffusjonsraten styres av stoffets diffusjonskoeffisient og konsentrasjonsforskjeller. Bølger og strøm over ujevnheter på sjøbunnen og tidevann kan skape trykkforskjeller inne i tildekkingsmassene og dermed adveksjon. Vannstrømningen som fører til vannbevegelse ut og inn av tildekkingen vil øke transport av stoffer i porevannet relativt til ren diffusjonstransport. Med bioturbasjon menes dyp i sedimentene hvor organismer har spist seg igjennom eller rørt rundt i sedimentene. Dybden til hvor bioturbasjon opphører varierer etter type sediment.

Valg av tildekkingsmaterialer avhenger av faktorer som sjøbunnens egenskaper og potensialet for erosjon, og vanligvis består tildekkingslaget av mineralske masser (ofte nedknust stein i sand/grus fraksjoner) eller aktivt materiale (f.eks. aktivt kull) (Miljødirektoratet, 2015c). For tildekking av relativt finkornige sedimenter (silt/leire), bør tildekkingsmassene ha noe høyere permeabilitet enn de forurensede sedimentene for å redusere økningen i poretrykk som vil oppstå ved sammenpressing av

disse sedimentene (Tabell 22). Samtidig må tildekkingsmassene ikke være så grovkornede at en risikerer utvasking av finstoff fra de forurensede sedimentene gjennom tildekkingen. Generelt er det anbefalt at tildekkingsmassene bør være  $>2 \times d_{15\text{sediment}}$  (sikrer tilstrekkelig permeabilitet) og  $<5 \times d_{85\text{sediment}}$  (hindrer utvasking av finstoff) (Miljødirektoratet, 2015c).

I Vågen viser undersøkelsene at bunnsedimentene har størst innhold av silt og leire i de dypere områdene innenfor terskelen og i hopene, samt i deler av de dypere områdene utenfor terskelen. På terskelen og langs de fleste kaiene er sjøbunnen hardere med mer sandige og grove sedimenter.

Tildekkingslag med tykkelser under ca. 10 cm blir referert til som *tynnsjiktstildekking*.

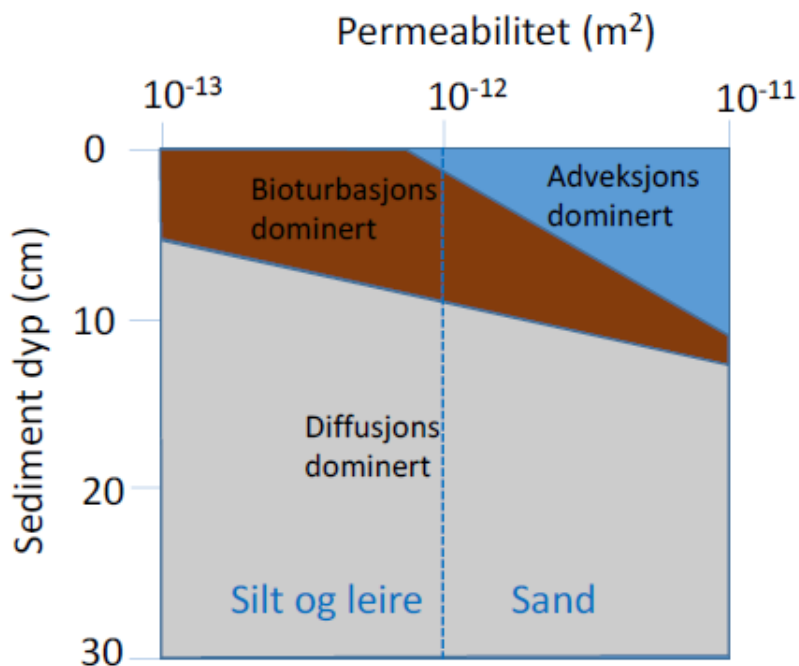
Tabell 22 Typiske kornstørrelser for aktuelle materialer i forbindelse med tildekking av forurenset sediment (fra veileder M-411/2015).

| Forurenset sediment |                               |                           |                               | Egnet tildekkingsmateriale    |                                                      |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|
| Forurenset sediment | Kornstørrelse $d_{15}$ , (mm) | Permeabilitet $k$ , (m/s) | Kornstørrelse $d_{85}$ , (mm) | Kornstørrelse $d_{15}$ , (mm) | Beskrivelse, i tilfelle bruk av ensgradert materiale |
| Siltig leire        | $< 0.002$                     | $10^{-8} - 10^{-11}$      | 0.006                         | $< 0.004 - 0.03$              | Middels til grov silt                                |
| Ensgradert silt     | 0.004                         | Ca. $10^{-7}$             | 0.02                          | 0.008 - 0.1                   | Middels silt til fin sand                            |
| Velgradert silt     | 0.006                         | Ca. $10^{-6}$             | 0.1                           | 0.012 - 0.5                   | Grov silt til middels sand                           |
| Ensgradert sand     | 0.08                          | Ca. $10^{-5}$             | 0.2                           | 0.08 - 1                      | Middels til grov sand                                |
| Velgradert sand     | 0.08                          | Ca. $10^{-5}$             | 6                             | 0.08 - 30                     | Middels sand til grov grus                           |

### 5.3.2 Tykkelse av bioturbasjonslag og adveksjonslag

Figur 29 viser en illustrasjon av styrende transportprosesser i sediment og i hvilken dybde prosessene forventes. Som vist i figuren er det primært de øverste 10 cm som påvirkes av adveksjon og bioturbasjon (Huettel og Webster, 2001), men enkelte studier har sett effekt av adveksjon ned til 25 cm (Rutger van der Loeff, 1980).

<sup>1</sup>  $d_x$  sediment gir % av massen som har gått gjennom en sikt med en viss åpning.  $d_{15\text{sediment}}$  viser kornstørrelsen hvor 15 % av massen gikk gjennom sikten.



Figur 29 Illustrasjon av prosesser som påvirker transport i sediment som funksjon av permeabilitet og sedimentdybde (Huettel og Webster, 2001).

For et tildekkingslag i Vågen antas det et bioturbasjonslag på 10 cm som normalt er dybden som benyttes i risikovurdering av forurenset sjøbunn (Miljødirektoratet, 2015b). 10 cm bioturbasjonsdybde ble benyttet i risikovurderingen av forurenset sjøbunn i Vågen (COWI, 2014a).

Funksjonen til adveksjonslaget er at adveksjon forårsaket av bølger og strømning i vannet over tildekkingen skal skje i den øverste delen av tildekkingslaget slik at molekylære diffusjon er den dominerende transportmekanismen i det kjemiske isolasjonslaget under. Siden studier har vist at det primært er de øverste 10 cm som påvirkes av adveksjon, samt at det i store deler av Vågen vil være nødvendig med et erosjonslag på toppen av tildekkingslaget, er det valgt å sette tykkelsen på adveksjonslaget i Vågen til 10 cm. Adveksjonslaget bør bestå av masser som inneholder en del finstoff.

### 5.3.3 Modellering av kjemisk isolasjonslag med mineralsk masse

For modellering av nødvendig tykkelse på det kjemiske isolasjonslaget som del av en tildekking i Vågen er programvaren CapSim 3.8 benyttet (<https://www.depts.ttu.edu/ceweb/groups/reiblesgroup/CapSim.html>). Programvaren er utviklet av Reile Research Group ved Texas Tech University i USA. CapSim er en numerisk modell brukt til simulering av utlekking gjennom forskjellige materialer (CapSim manual, 2018). I modellen legges det inn ulike variabler som er viktig for utlekking av miljøgifter gjennom sedimenter. CapSim inneholder en database der parameterverdier er definert. Visse parameterverdier for de modellerte forbindelsene er her blitt endret etter Miljødirektoratets veileder for risikovurdering av forurenset sediment (Miljødirektoratet, 2015b). Modelleringen er gjennomført med sand som tildekkingsmateriale.

Det styrende for tykkelsen på det kjemiske isolasjonslaget vil være at transporten av forurensning gjennom tildekkingslaget ikke skal være større enn at nivåene av miljøgifter i de øverste 10 cm av tildekkingslaget holder seg innenfor tilstandsklasse II (M-608/2020). Økt transport i bioturbasjonslaget

(de øverste 10 cm) gjør at konsentrasjonsgradienten i dette laget som regel er lineær og at gjennomsnittskonsentrasjonen i dette laget er den samme som konsentrasjonen på 5 cm dyp. Kravet vil derfor være oppnådd dersom konsentrasjonen ved 5 cm dyp er lik eller lavere enn grenseverdien for tilstandsklasse II for de ulike miljøgiftene (CapSim manual, 2018).

Det er valgt å se på oppnåelse av grenseverdiene innenfor en tidsramme på 1000 år. Etter så lang tid vil nytilført sediment dominere, og transporten gjennom tildekkingen vil derfor være neglisjerbar.

### Modell input

Et viktig input parameter i modellen er fordelingskoeffisienten ( $K_d$ ) mellom porevann og sediment. Denne variabelen er et uttrykk for transport av miljøgifter fra sediment til vann og andre deler av økosystemet.  $K_d$ -verdien blir beregnet ut ifra konsentrasjonen av miljøgifter i sedimenter og porevann. Lavere  $K_d$  gir høyere grad av utlekking. Dersom man ikke har gjennomført målinger av porevannskonsentrasjoner, kan porevannskonsentrasjonen (og dermed  $K_d$ -verdien) beregnes basert på sedimentkonsentrasjonen og andel organisk materiale i sedimentet ved hjelp av risikoberegningsverktøyet M-409/2015 (Miljødirektoratet, 2015b).

I forbindelse med risikovurderingen for Vågen fra 2014 ble det gjennomført målinger av metaller og organiske miljøgifter i porevann (COWI, 2014a). Porevannsmålinger kan være praktisk vanskelig å gjennomføre siden det kreves relativt store mengder sediment for å oppnå tilstrekkelig prøvevolum av porevann og lave deteksjonsgrenser for organiske miljøgifter. Når det gjelder metaller kreves det et lite prøvevolum, men variasjonen i  $K_d$ -verdier er forårsaket av sedimentets egenskaper, pH og redoksforholdene. Det er derfor vanskelig å måle porevannskonsentrasjonen av metaller uten å endre de naturlige sedimentforholdene. Prøveresultatene fra Vågen viste svært høye konsentrasjoner av metaller og en utypisk fordeling av de ulike PAH-forbindelsene. I ettertid viste det seg at laboratoriet ikke hadde filtrert porevannet før analyse. Sedimentpartikler kan ha gitt overestimerte konsentrasjoner av enkelte stoff og påvirket forholdet mellom stoffene. Redoksforholdene i prøvematerialet kan ha blitt endret ved eksponering for oksygen under prøvetaking og ved prøvebearbeiding på laboratoriet slik at innholdet av metaller i porevannet er påvirket. Porevannsresultatene ble av den grunn ikke benyttet i risikovurderingen (COWI, 2014a), og som input til CapSim modellen er det derfor valgt å benytte beregnede porevannskonsentrasjoner (og dermed  $K_d$ -verdier) basert på sedimentkonsentrasjonen og andel organisk materiale i sedimentet ved hjelp av risikoberegningsverktøyet inkludert i veileder M-409/2015 (Miljødirektoratet, 2015b).

I forbindelse med risikovurderingen fra 2014 ble Vågen inndelt i de 5 delområdene Våg 1 – Våg 5 basert på dybdeforhold, sedimenttype, aktivitet ved kaier og kulturminnesoner (COWI, 2014a). For modelleringen ble det i utgangspunktet valgt å beholde disse delfeltene og utføre separate modelleringer for hvert delfelt. Unntaket er Våg 2 og 3 som ble slått sammen siden sedimenttype og forurensningsnivå er relativt likt i disse områdene. En hotspot med svært høye PAH-konsentrasjoner ble identifisert ved prøvelokalitet K31 i delområde Våg 2 som sterkt påvirket modelleringsresultatet for hele området. Det ble valgt å utelate prøveresultatet fra prøve K31 fra snittverdiene som er benyttet som input til modellen for delområde Våg 2 og 3. Nærmere undersøkelse/avgrensning av hotspotten anbefales utført i detaljprosjekteringsfasen av prosjektet. Mudring av hotspotten kan eventuelt vurderes.

I modelleringen velges det ut noen miljøgifter som vil være styrende for tykkelsen på det kjemiske isolasjonslaget. Dette er de miljøgiftene som har det høyeste forholdet mellom konsentrasjonen i sedimentet og øvre grenseverdi for tilstandsklasse II. Tabell 23 og Tabell 24 illustrerer denne fremgangsmåten for delområde Våg 2/Våg 3 og gir en oppsummering av input data brukt i CapSIM. Samme fremgangsmåte ble brukt for de andre delområdene, og resultatene viser at for alle

delområdene er det PAH-forbindelsen antracen som er styrende for modelleringen, etterfulgt av PAH-forbindelsene pyren og benzo(a)antracen. Når det gjelder metallene, så har kvikksølv det klart høyeste forholdet mellom konsentrasjonen i sedimentet og øvre grenseverdi for tilstandsklasse II. Modellering av tykkelsen på det kjemiske isolasjonslaget er derfor gjennomført for antracen, pyren, benzo(a)antracen og kvikksølv i alle delområdene. Modelleringen ble utført som del av den første versjonen av tiltaksplanen i 2021 og er ikke oppdatert i de reviderte versjonene. Siden modelleringen ble gjennomført, er det gjennomført supplerende sedimentprøvetaking. Snittverdiene av miljøgiftkonsentrasjonene som benyttes som input data har imidlertid ikke endret seg av betydning, og det vurderes derfor ikke som hensiktsmessig å gjennomføre modelleringen på nytt.

**Tabell 23** Input data til CapSim for delområde Våg 2/Våg 3. Venstre tabell viser sedimentkonsentrasjon (snitt fra 2021), beregnet porevannskonsentrasjon og  $K_d$ -verdi. Høyre tabell viser øvre grense for TK 2 iht. veileder M-608/2020 og sedimentkonsentrasjon delt på øvre grense for TK 2. Grått felt markerer parameterne med høyest totalkonsentrasjon/TK2 for organiske miljøgifter og metaller.

| DELOMRÅDE VÅG 2 og Våg 3 |                        |                |                                  |                |                |        |
|--------------------------|------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|----------------|--------|
| Parameter                | Sediment-konsentrasjon |                | Beregnet porevanns-konsentrasjon |                | K <sub>d</sub> |        |
|                          | Enhet                  | Våg 2 og Våg 3 | Enhet                            | Våg 2 og Våg 3 |                |        |
| Arsen                    | mg/kg                  | 16,2           | mg/l                             | 0,0025         | l/kg           | 6607   |
| Bly                      | mg/kg                  | 441            | mg/l                             | 0,0028         | l/kg           | 154882 |
| Kadmium                  | mg/kg                  | 2,4            | mg/l                             | 0,000019       | l/kg           | 130000 |
| Kobber                   | mg/kg                  | 339            | mg/l                             | 0,0139         | l/kg           | 24409  |
| Krom                     | mg/kg                  | 61,6           | mg/l                             | 0,0005         | l/kg           | 120000 |
| Kvikksølv                | mg/kg                  | 8,5            | mg/l                             | 0,00008        | l/kg           | 100000 |
| Nikkel                   | mg/kg                  | 28,9           | mg/l                             | 0,0041         | l/kg           | 7079   |
| Sink                     | mg/kg                  | 877            | mg/l                             | 0,0080         | l/kg           | 110000 |
| Naftalen                 | mg/kg                  | 0,25           | mg/l                             | 0,002061       | l/kg           | 120    |
| Acenafitylen             | mg/kg                  | 0,13           | mg/l                             | 0,000558       | l/kg           | 239    |
| Acenaften                | mg/kg                  | 0,40           | mg/l                             | 0,000862       | l/kg           | 469    |
| Fluoren                  | mg/kg                  | 0,48           | mg/l                             | 0,000508       | l/kg           | 938    |
| Fenantren                | mg/kg                  | 3,9            | mg/l                             | 0,001135       | l/kg           | 3422   |
| Antracen                 | mg/kg                  | 1,3            | mg/l                             | 0,000477       | l/kg           | 2714   |
| Fluoranten               | mg/kg                  | 6,8            | mg/l                             | 0,000759       | l/kg           | 8988   |
| Pyren                    | mg/kg                  | 6,6            | mg/l                             | 0,001226       | l/kg           | 5419   |
| Benzo(a)antracen         | mg/kg                  | 3,9            | mg/l                             | 0,000085       | l/kg           | 46110  |
| Krysen                   | mg/kg                  | 3,7            | mg/l                             | 0,000101       | l/kg           | 36625  |
| Benzo(b)fluoranten       | mg/kg                  | 5,0            | mg/l                             | 0,000065       | l/kg           | 76535  |
| Benzo(k)fluoranten       | mg/kg                  | 2,5            | mg/l                             | 0,000035       | l/kg           | 73076  |
| Benzo(a)pyren            | mg/kg                  | 4,2            | mg/l                             | 0,000055       | l/kg           | 76526  |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren    | mg/kg                  | 2,5            | mg/l                             | 0,000012       | l/kg           | 215666 |
| Dibenzo(a,h)antracen     | mg/kg                  | 0,6            | mg/l                             | 0,000004       | l/kg           | 179382 |
| Benzo(ghi)perylen        | mg/kg                  | 2,7            | mg/l                             | 0,000029       | l/kg           | 94144  |
| PCB 28                   | mg/kg                  | 0,005          | mg/l                             | 0,0000013      | l/kg           | 3744   |
| PCB 52                   | mg/kg                  | 0,020          | mg/l                             | 0,000004       | l/kg           | 4609   |
| PCB 101                  | mg/kg                  | 0,042          | mg/l                             | 0,0000013      | l/kg           | 31170  |
| PCB 118                  | mg/kg                  | 0,039          | mg/l                             | 0,00000012     | l/kg           | 311733 |
| PCB 138                  | mg/kg                  | 0,069          | mg/l                             | 0,000001       | l/kg           | 47187  |
| PCB 153                  | mg/kg                  | 0,064          | mg/l                             | 0,0000001      | l/kg           | 471831 |
| PCB 180                  | mg/kg                  | 0,035          | mg/l                             | 0,0000004      | l/kg           | 89902  |
| TOC*                     | %                      | 9,2            |                                  |                |                |        |

| DELOMRÅDE VÅG 2 og Våg 3 |       |                               |                |
|--------------------------|-------|-------------------------------|----------------|
| Parameter                | Enhet | Øvre grense, TK2 (M-608/2016) | Totalkons/T K2 |
| Arsen                    | mg/kg | 18                            | 0,90           |
| Bly                      | mg/kg | 150                           | 2,94           |
| Kadmium                  | mg/kg | 2,5                           | 0,96           |
| Kobber                   | mg/kg | 84                            | 4,04           |
| Krom                     | mg/kg | 660                           | 0,09           |
| Kvikksølv                | mg/kg | 0,52                          | 16,29          |
| Nikkel                   | mg/kg | 42                            | 0,69           |
| Sink                     | mg/kg | 139                           | 6,31           |
| Naftalen                 | mg/kg | 0,027                         | 9,13           |
| Acenafitylen             | mg/kg | 0,033                         | 4,05           |
| Acenaften                | mg/kg | 0,096                         | 4,21           |
| Fluoren                  | mg/kg | 0,15                          | 3,18           |
| Fenantren                | mg/kg | 0,78                          | 4,98           |
| Antracen                 | mg/kg | 0,0046                        | 281,35         |
| Fluoranten               | mg/kg | 0,4                           | 17,06          |
| Pyren                    | mg/kg | 0,084                         | 79,11          |
| Benzo(a)antracen         | mg/kg | 0,06                          | 65,21          |
| Krysen                   | mg/kg | 0,28                          | 13,21          |
| Benzo(b)fluoranten       | mg/kg | 0,14                          | 35,56          |
| Benzo(k)fluoranten       | mg/kg | 0,135                         | 18,73          |
| Benzo(a)pyren            | mg/kg | 0,183                         | 23,19          |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren    | mg/kg | 0,063                         | 40,41          |
| Dibenzo(a,h)antracen     | mg/kg | 0,027                         | 24,04          |
| Benzo(ghi)perylen        | mg/kg | 0,084                         | 32,25          |
| PCB 28                   | mg/kg | ingen grenseverdi             |                |
| PCB 52                   | mg/kg | ingen grenseverdi             |                |
| PCB 101                  | mg/kg | ingen grenseverdi             |                |
| PCB 118                  | mg/kg | ingen grenseverdi             |                |
| PCB 138                  | mg/kg | ingen grenseverdi             |                |
| PCB 153                  | mg/kg | ingen grenseverdi             |                |
| PCB 180                  | mg/kg | ingen grenseverdi             |                |
| PCB-7                    | mg/kg | 0,0041                        | 63,41          |

\*Prøver eldre enn 2010 er ikke analysert for TOC

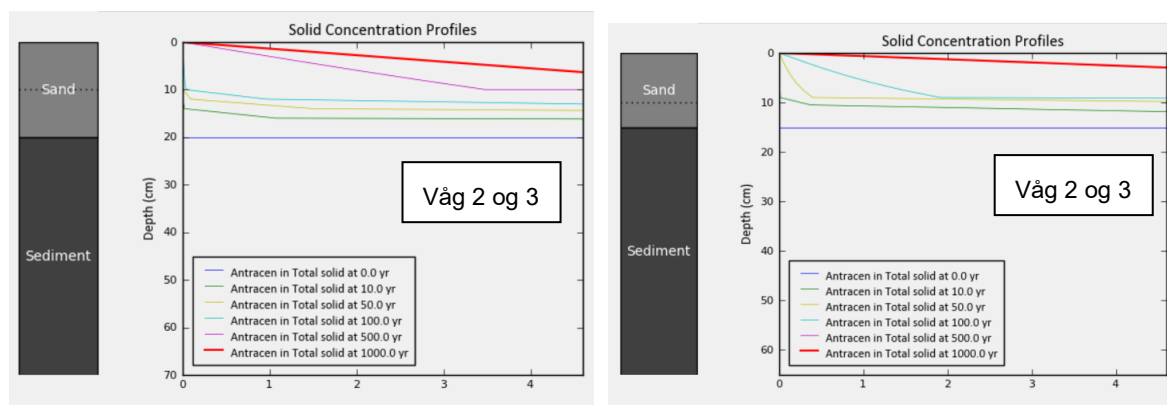
**Tabell 24** Oppsummering av input data til CapSim for de styrende parameterne antracen, pyren og benzo(a)antracen, samt kvikksølv for delområde Våg 2/Våg 3.

| Oppsummering av input dat til CapSim for delområde Våg 2/Våg 3                 |           |          |          |                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|----------|------------------|-----------|
|                                                                                |           | Stoff    |          |                  |           |
| Parameter                                                                      | Enhet     | Antracen | Pyren    | Benzo(a)antracen | Kvikksølv |
| Porevannskonsentrasjon                                                         | µg/l      | 0,477    | 1,226    | 0,085            | 0,08      |
| Kd                                                                             | l/kg      | 2714     | 5419     | 46110            | 100000    |
| TOC                                                                            | %         | 9,2      |          |                  |           |
| Fysisk/kjemiske data hentet fra veileder M-409/2015 (Miljødirektoratet, 2015): |           |          |          |                  |           |
| Molecular weight                                                               | g/mol     | 178,2    | 202,3    | 228,3            | 200,6     |
| Molecular diffusivity in water                                                 | cm2/s     | 6,80E-06 | 6,20E-06 | 5,70E-06         | 8,80E-06  |
| Organic carbon partition coefficient                                           | log(l/kg) | 4,5      | 4,8      | 5,7              | 0         |
| Øverste grense TKII                                                            | µg/kg     | 4,6      | 84       | 60               | 520       |

### Resultater modellering antracen

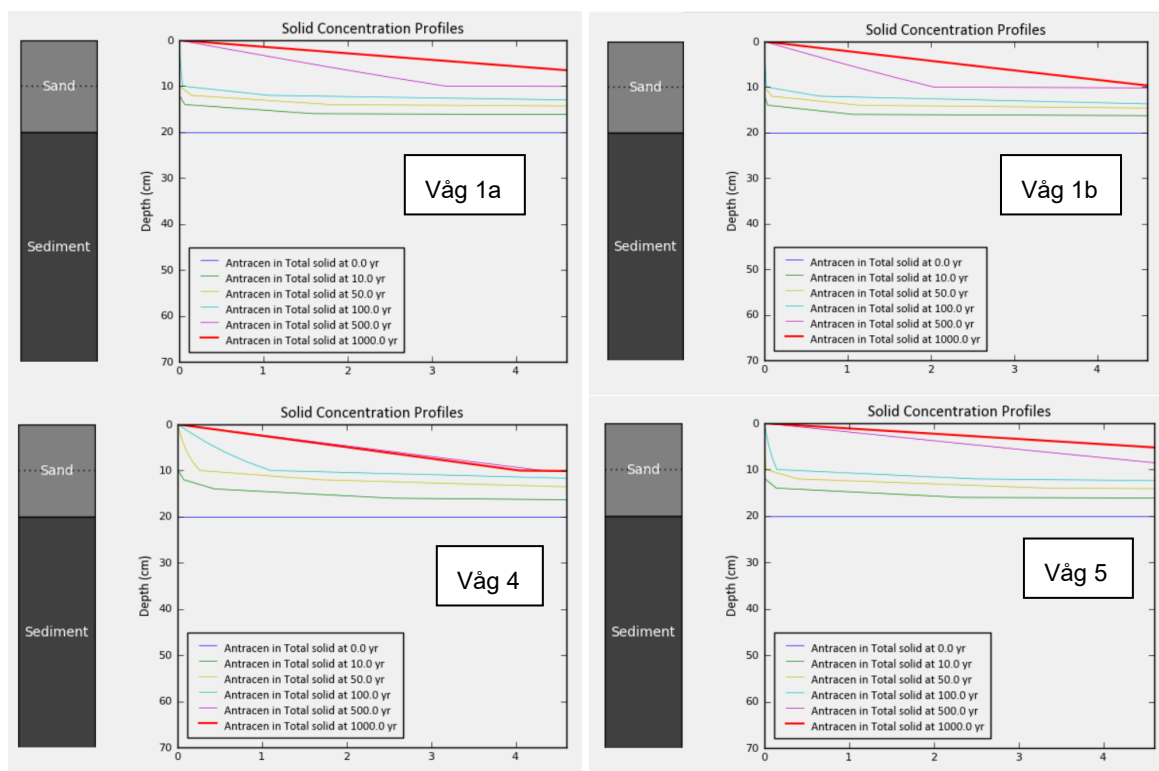
Resultatene for modelleringen av tykkelsen på det kjemiske isolasjonslaget for antracen for delområde Våg 2/Våg 3 er presentert i Figur 30. Figuren viser et utsnitt av sedimentoppbygningen (sediment=opprinnelig sjøbunn og sand=tildekking) og en graf med dybde på y-aksen og sedimentkonsentrasjon på x-aksen. X-aksen er avsluttet ved verdien for øvre grense for tilstandsklasse II for antracen på 4,6 µg/kg. Det er utført simuleringer med forskjellige tykkelse på sandlaget for å se hvor tykt laget må være for at konsentrasjonen av antracen ikke overstiger 4,6 µg/kg ved 5 cm dybde etter 1000 år (rød linje i grafen). Resultatene viser at ved bruk av input datasettet gitt i Tabell 24, så trengs det et isolasjonslag på 20 cm (inkluderer 10 cm bioturbasjonslag) for at kravet om at konsentrasjonen av antracen ikke overstiger 4,6 µg/kg ved 5 cm dybde etter 1000 år skal være oppfylt (Figur 30, venstre graf). Et isolasjonslag på 15 cm oppfyller ikke dette kravet (Figur 30, høyre graf). Et isolasjonslag på 15 cm vil heller ikke oppfylle kravet om tidsrammen blir satt til 500 år.

*Kravet tilfredsstilt ved 20 cm sandlag (figur til venstre), men ikke ved 15 cm sandlag (figur til høyre)*



**Figur 30** Resultater fra modelleringen av det kjemiske isolasjonslaget for antracen for delområde Våg 2/Våg 3 (se Figur 15 for delområder). X-aksen er kun vist opp til øvre grense for tilstandsklasse II (4,6 µg/kg for antracen). Kravet overholdes dersom rød linje (1000 år) krysser y-aksen under 5 cm dybde. Ved 20 cm sandlag er dette kravet oppfylt (figur til venstre), mens kravet ikke er oppfylt ved et 15 cm sandlag (figur til høyre).

Tilsvarende modellering er også utført for de andre delområdene (Figur 31). Modelleringsresultatene viser at det også for disse delområdene trengs et isolasjonslag på omtrent 20 cm (inkluderer 10 cm bioturbasjonslag) for at kravet om at konsentrasjonen av antracen ikke overstiger 4,6 µg/kg ved 5 cm dybde etter 1000 år skal være oppfylt. Selv om miljøgiftkonsentrasjonene i sedimentprøvene i delområde Våg 4 generelt er lavere enn i de andre delområdene, så er Kd-verdien og innholdet av TOC lavere for delområde Våg 4, noe som tilsier høyere grad av utlekking av antracen fra sediment til porevann i Våg 4 sammenlignet med de andre delområdene.



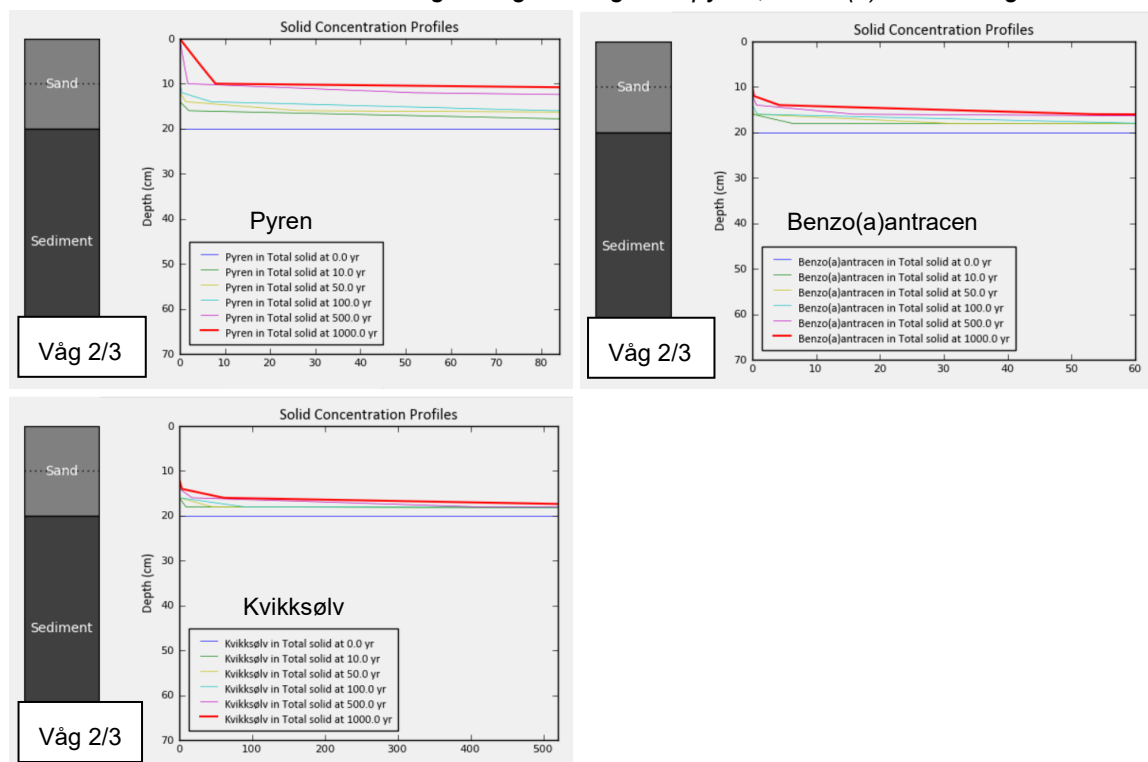
**Figur 31** Resultater fra modelleringen av det kjemiske isolasjonslaget for antracen for delområdene Våg 1a, Våg 1b, Våg 4 og Våg 5 (se Figur 15 for delområder). X-aksen er kun vist opp til øvre grense for tilstandsklasse II ( $4,6 \mu\text{g/kg}$  for antracen). Kravet overholdes dersom rød linje (1000 år) krysser y-aksen under 5 cm dybde. Kravet er oppfylt ved et ca. 20 cm sandlag for alle delområdene.

### Resultater modellering pyren, benzo(a)antracen og kvikksølv

Det er også utført simuleringer for å se hvor tykt det kjemiske isolasjonslaget må være for at konsentrasjonen av pyren, benzo(a)antracen og kvikksølv ikke overstiger øvre grenseverdi for tilstandsklasse II for disse forbindelsene ved 5 cm dybde etter 1000 år. Disse forbindelsene er valgt fordi de har det høyeste forholdet mellom konsentrasjonen i sedimentet og øvre grenseverdi for tilstandsklasse II etter antracen (Tabell 23). Modelleringen for disse stoffene er gjennomført for å kontrollere at det er antracen som er styrende for tiltaket.

Resultatet av modelleringen viser at kravet om at konsentrasjonen av pyren, benzo(a)antracen og kvikksølv ikke skal overstige øvre grense for tilstandsklasse II ved 5 cm dybde etter 1000 år er tilfredsstillt med god margin for alle delområdene dersom isolasjonslaget er 20 cm (inkluderer 10 cm bioturbasjonslag) (Figur 32). Modelleringene viser dermed at det er resultatene for antracen som vil være styrende for tykkelsen på isolasjonslaget i alle delområdene, dvs. at det er nødvendig med et kjemisk isolasjonslag på 20 cm (inkluderer 10 cm bioturbasjonslag) i Vågen ved bruk av sandmasser som tildekking.

Kravet tilfredsstilt ved 20 cm sandlag med god margin for pyren, benzo(a)antracen og kvikksølv

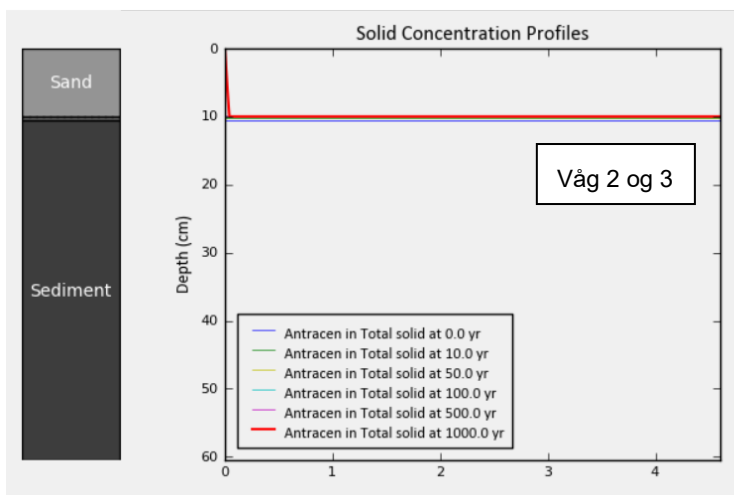


Figur 32 Resultater fra modelleringen av det kjemiske isolasjonslaget for pyren, benzo(a)antracen og kvikksølv for delområdene Våg 2/3 (se Figur 15 for delområder). Kravet overholdes dersom rød linje (1000 år) krysser y-aksen under 5 cm dybde. Kravet er oppfylt ved et ca. 20 cm sandlag med god margin for både pyren, benzo(a)antracen og kvikksølv. Modelleringen viste de samme resultatene for de andre delområdene.

#### 5.3.4 Modellering av kjemisk isolasjonslag med aktivt kull

For å øke tildekkingens evne til å binde forurensning som kan transporteres fra de forurensede sedimentene og gjennom tildekkingen, så kan det blandes inn materialer med høyere sorpsjonskapasitet, for eksempel aktivt kull, for de miljøgiftene som tildekkingen skal hindre spredning av (Miljødirektoratet, 2016a). Ved inkludering av et slikt aktivt lag i tildekkingen, vil man kunne redusere tykkelsen på det totale tildekkingslaget og likevel opprettholde tildekkingens evne til å isolere miljøgiftene i det underliggende sedimentet. Et tynnere tildekkingslag kan være å foretrekke for eksempel på ustabil sjøbunn der det er fare for utrasinger, eller i grunne områder der man ikke ønsker å endre eksisterende seillingsdyp nevneverdig (forutsetter erosjonssikring).

For alle delområdene i Vågen er det gjennomført modellering av det kjemiske isolasjonslag med en kombinasjon av 10 cm sand og 0,5 cm ( $2 \text{ kg/m}^2$ ) aktivt kull. Resultatene viser at kravet om at konsentrasjonen av antracen, pyren, benzo(a)antracen og kvikksølv ikke skal overstige øvre grense for tilstandsklasse II ved 5 cm dybde etter 1000 år er tilfredsstilt med god margin for alle delområdene. Modelleringresultatene for antracen for Våg 2/Våg 3 er vist i Figur 33. Dersom detaljprosjekteringsfasen avdekker forhold som tilsier at det er fordelaktig med et tynnere tildekkingslag enn det modelleringen/vurderingene viser er nødvendig med tildekking av mineralske masser, så vil et kjemisk isolasjonslag bestående av en kombinasjon av 10 cm sand og 0,5 cm ( $2 \text{ kg/m}^2$ ) aktivt kull være et alternativ.



**Figur 33** Resultater fra modelleringen av det kjemiske isolasjonslag med en kombinasjon av 10 cm sand og 0,5 cm ( $2 \text{ kg/m}^2$ ) aktivt kull for antracen for delområde Våg 2/Våg 3. X-aksen er kun vist opp til øvre grense for tilstandsklasse II ( $4,6 \mu\text{g/kg}$  for antracen). Kravet overholdes dersom rød linje (1000 år) krysser y-aksen under 5 cm dybde. Modelleringen viste de samme resultatene for de andre delområdene.

Ved eventuell inkludering av et lag med aktivt kull i tildekkingslaget, bør det unngås å legge kull-laget i toppen av tildekkingen der bunnfaunaen kommer i kontakt med kull-laget. En testtildekking med bruk av et tynt tildekkingslag (1-2 cm) med leire og aktivt kull i Grenlandsfjordene har vist at bruk av aktivt kull har hatt en negativ effekt på faunasamfunnet som har vedvart i minst ni år (NIVA, 2019). En slik negativ effekt på faunasamfunnet kan imidlertid unngås dersom tildekkingen bygges opp slik at laget med aktivt kull blir plassert under bioturbasjonslaget. I et testfelt i Store Lungegårdsvannet, der deler av feltet ble tildekket med et 20 cm skjellsand og et lag med aktivt kull ca. 15 cm under toppen av tildekkingslaget, ble det påvist flere arter og individer i 1 års kontrollen enn i undersøkelsen utført før tildekkingen (COWI, 2019a).

### 5.3.5 Erosjonssikringslag

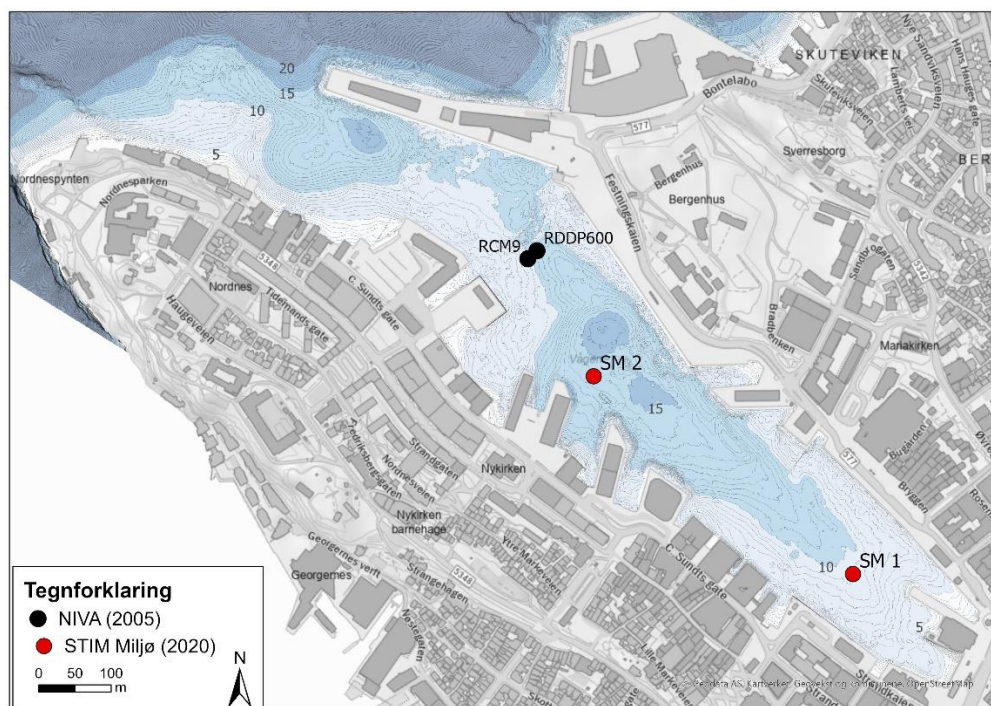
Erosjonsbeskyttelse av tildekking i havneområder er viktig for å hindre at tildekkingslaget skades og ikke fungerer etter hensikten, og for å hindre forflytning av masser og masseansamlinger som kan redusere seilingsdyp i allerede grunne områder. Behovet for erosjonssikring i Vågen er vurdert basert på modellering av propellstrøm for utvalgte båter med anløp i Vågen (Eidnes, 2021; COWI, 2025a), undersøkelser av tidevannsstrøm (STIM, 2020; NIVA 2005) og tar hensyn til observert erosjon på sjøbunnen. I tillegg er det tatt hensyn til erfaringer med erosjonssikring fra andre prosjekter, som blant annet Renere Puddefjord (COWI, 2020), og gjort en totalvurdering der risiko for erosjon, miljøpåvirkning og bunnforhold er tatt hensyn til.

#### Strømmålinger

Det er gjennomført strømmålinger i Vågen i 2020 (STIM, 2020), og i forbindelse med modellering av miljøgift og partikkeltransport i Vågen i 2005 (NIVA, 2005). Strømmålingene er gjort ved tre lokaliteter i midten av Vågen (Figur 34) og målingene representerer et gjennomsnittlig (måleperiode 10 min.) strømningsmønster i Vågen og fanger ikke maksimale bunnstrømmer i typiske propell-erosjonshendelser.

I indre delen av Vågen (SM1) (Figur 34) var strømhastigheten høyest på 1,5 m vanndyp med en gjennomsnittsstrøm på  $16,6 \text{ cm/s}$  og maksimumsstrøm på  $79,6 \text{ cm/s}$  ( $0,79 \text{ m/s}$ ) (STIM, 2020).

Retningen på hovedstrømmen var mot nord-nordvest og følger dermed formen på Vågen, noe som kan tyde på at topografien sammen med tidevann og vind er de styrende mekanismene for overflatestrømmen. På 6,5 m dybde var imidlertid hovedstrømretning mot nord-nordøst (47,7 cm/s) noe som tyder på en generell påvirkning fra propellstrømmer fra Strandkaaien. Bunnmålinger på 10 m vandndyp viser en betydelig lavere strøm med gjennomsnitts- og maksimumshastighet på henholdsvis 3,4 cm/s og 25,2 cm/s. Også her er retningen nord-nordøst som kan tyde på samme type påvirkning som ved 6,5 m dybde, men da i mindre grad med tanke på strømstyrke (STIM, 2020).

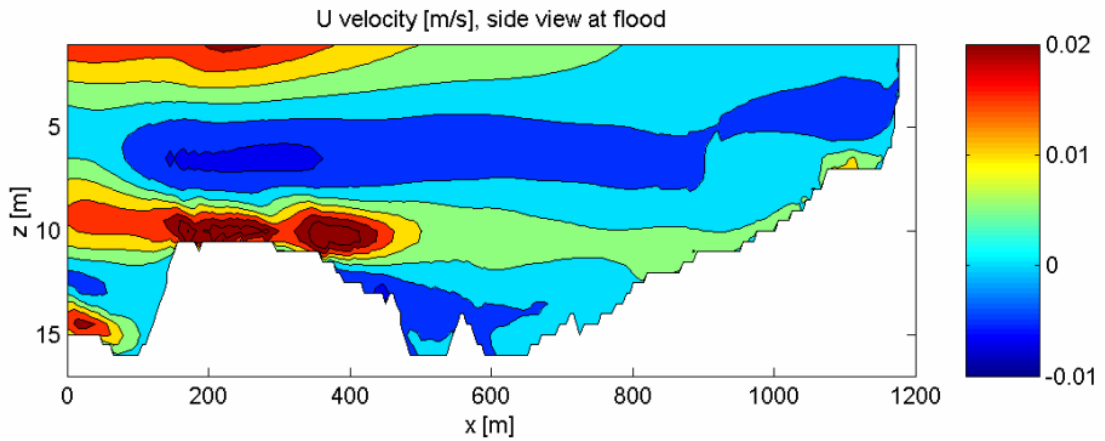


Figur 34 Lokalisering av strømmålere i Vågen.

Ved stasjon SM2 i den midtre delen av Vågen viste strømmålingene hovedstrøm i nord-nordvestlig retning på dybdene 2 og 7 m. På 12 m dyp var hovedstrømretning mot vest, mens bunnstrømmen på 15 m skilte seg klart ut med en sørlig retning. Resultatene kan være et resultat av lokal påvirkning fra propellstrøm. Som ved stasjon SM1 var strømhastigheten høyest øverst i vannsøylen (maksimum 79,6 cm/s ved 2 m). Bunnmålingene på 15 m hadde en gjennomsnitts- og maksimumsstrømhastighet på henholdsvis 3 og 23 cm/s (STIM, 2020).

Over terskelen mellom Skolten/Festningskaaien og Tollbodkaaien er vandndypet kun ca. 9 m, og målte strømhastigheter på terskelen indikerer at den kritiske skjærstyrken til finkornete sedimenter (silt og leire) kan overskrides (Figur 35) (NIVA, 2005). Undersøkelser av sedimentfordeling i Vågen indikerer at det er relativt grove sedimenter og fast bunn over terskelen og flere steder langs kaiområdene hvor det er kraftige bunnstrømmer (se kap. 2.2, Figur 5 og kap. 3.1.7), og spredning av forurensede partikler med tidevannsstrømmer fra disse områdene er derfor trolig begrenset (NIVA, 2005).

Det er av praktiske årsaker ikke målt strømhastigheter på grunne områder ved kaiene og direkte knyttet til propell-generert strøm fra båter og skip. De gjennomsnittlige strømhastighetene målt i punktene vist i Figur 34 vil derfor ikke fange opp de største strømhastighetene fra propellstrømmer som kan forårsake punkterosjon i et tildekkingslag. For å vurdere dette, er det modellert propellgenerert bunnstrøm.



Figur 35 Modellert strømhastighet (m/s) på ulike dyp ved tidevannspåvirkning (ingen vind eller propellstrøm) i lengdesnitt av Vågen fra Skolten (venstre) til Torget (høyre). Figuren viser strømhastighet ved flo sjø med netto transport inn Vågen. Maksimale hastigheter (ca. 2 cm/s) oppstår over terskelen der tverrsnittarealet er minst (NIVA, 2005).

Modellering av propellstrøm

Det er utført to uavhengige modelleringer av propellgenerert bunnstrøm og erosjon i Vågen. Den første ble utført av Eidnes (2021), mens en oppfølgende vurdering ble utført av COWI (2025a). Begge beregningene tar utgangspunkt i det samme datasettet av antatt representative fartøy som er valgt ut fra størrelse og anløpshyppighet, der store båter med hyppige anløp anses som dimensjonerende for propellstrøm og tilhørende erosjon (Tabell 25). Aktuelt motorpådrag er oppgitt av kaptein, rederi eller eier, og er antatt typiske verdier for kontrollert inn- og utseiling under normale vær- og strømforhold.

Tabell 25 Tekniske data for fartøyene som er brukt i beregningene av propellgenerert bunnstrøm (Eidnes 2021).

| Kategori                        | Fartøy                  | Dyp-<br>gående (m) | Propell-<br>dyp (m) | Propell-<br>diameter (m) | Motror-<br>kraft<br>(kW) | Pådrag (%) |         |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------|---------|
|                                 |                         |                    |                     |                          |                          | aktuelt    | dobbelt |
| Cruiseskip                      | AIDA                    | 7,3                | 4,7                 | 5,2                      | 2 x 25 000               | 4          | 8       |
| Bergings- og redningsfartøy     | Kristian G. Jebsen 2 *) | 2,0                | 0,5                 | 0,5                      | 2 000                    | 30         | 60      |
| Slepe- og skyvefartøy           | BB Server               | 5,35               | 4,8                 | 2,7                      | 3 874                    | 20         | 40      |
| Forskyving- og anker-håndtering | Olympic Zeus            | 8,0                | 4,75                | 4,5                      | 4 000                    | 20         | 40      |
| Supplyfartøy                    | Island Vanguard         | 7,7                | 4,5                 | 4,3                      | 12 000                   | 15         | 30      |
| Hurtigbåt                       | Vingtor *)              | 1,68               | 2,0                 | 0,5                      | 4 x 749                  | 10         | 20      |
| Seilbåt                         | Statsraad Lehmkuhl      | 5,2                | 3,5                 | 2,0                      | 825                      | 45         | 90      |
| Småbåt                          | Princess 68             | 1,6                | 1,2                 | 0,75                     | 2 x 1 014                | 40         | 80      |

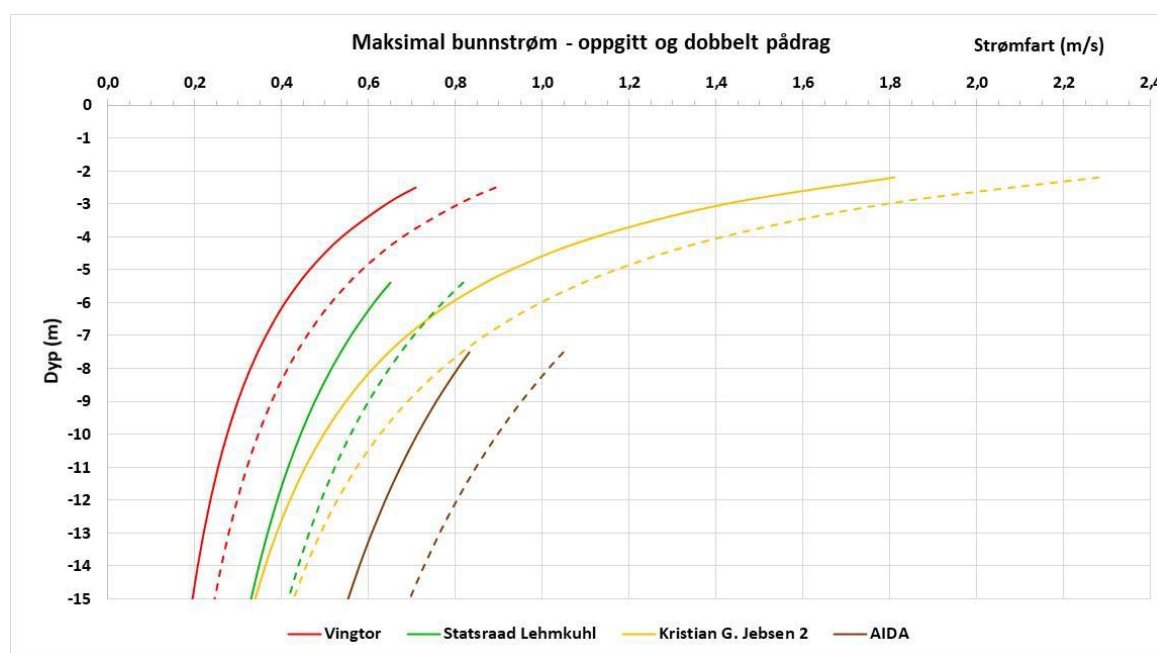
\*) Vannjet

Resultatene fra de to modellberegningene er svært forskjellige, og beregningene gjort av Eidnes (2021) kommer ut med betydelig lavere bunnstrømmer og kornstørrelser enn PIANC-modellen som ble benyttet av COWI (COWI, 2025a).

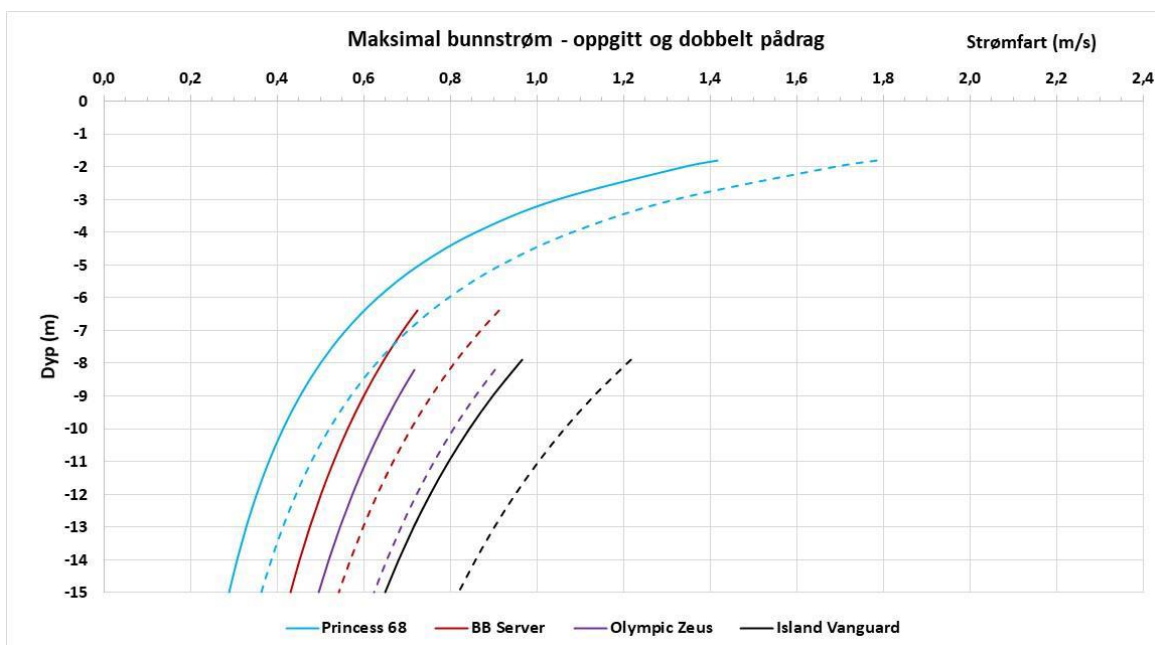
Eidnes (2021) kommer ut med bunnstrømhastigheter i størrelsesorden 0,2-1,8 m/s (Figur 36) og maksimum median kornstørrelse på 3,4 mm (D50), noe som i praksis tilsier at det ikke er behov for erosjonssikring i noen områder i Vågen. Modellen benyttet av COWI (2025a) kommer ut med høyere bunnstrømhastigheter, i størrelsesorden 1-5 m/s for hovedpropell på sannsynlige vanddyb i Vågen, og opptil 10-14 m/s bunnstrøm generert av vannjet på grunt vann (f.eks. hurtigbåten MS Vingtor) (Figur 37). For eksempel er det i COWI (2025a) beregnet at supply-skipet Island Vanguard vil kunne skape en bunnstrøm på 4,7 m/s på 10 m vanddyb, noe som vil kreve erosjonssikring med D50 på over 924 mm for å beskytte tildekkingslaget. For bunnstrømmer fra baugpropeller reflektert fra kaifronter er det beregnet behov for kornstørrelser opptil 1840 mm for å motstå erosjon (COWI, 2025a). I praksis tilsier dette betongmadrasser i store områder av Vågen.

Forskjellen på de to beregningene er knyttet til hvordan propellstrøm og kornstørrelse er beregnet ut fra de dimensjonerende fartøyene. Beregningene gjort av Eidnes (2021) tar utgangspunkt i SINTEF-modellen og er en videreutviklet versjon av fremgangsmåten som ble benyttet i Renere Havn Trondheim (SINTEF, 2011) og i Puddefjorden (SINTEF, 2016). Beregningene gjort av COWI (2025a) er gjort i henhold til det internasjonale PIANC rammeverket (PIANC, 2015), og det er flere forskjeller i disse to tilnærmingene som kan forklare forskjellene. Mens Eidnes (2021) antar en horisontal bunnstrøm tar PIANC-rammeverket hensyn til kai-typer og refleksjon av propellstrøm både fra hoved- og baugpropell noe som gir økte bunnstrømhastigheter. Det er også forskjell i hvordan bunnstrømmen beregnes. Eidnes (2021) tar utgangspunkt i et gjennomsnitt av strømhastigheten i «plumen» bak fartøyet, mens PIANC-rammeverket, som COWI (2025a) følger, anbefaler at det benyttes maksimumshastighet i den genererte bunnstrømmen. I tillegg benytter de to beregningene forskjellig metode for bestemmelse av stabil kornstørrelse ved ulike vannstrøm.

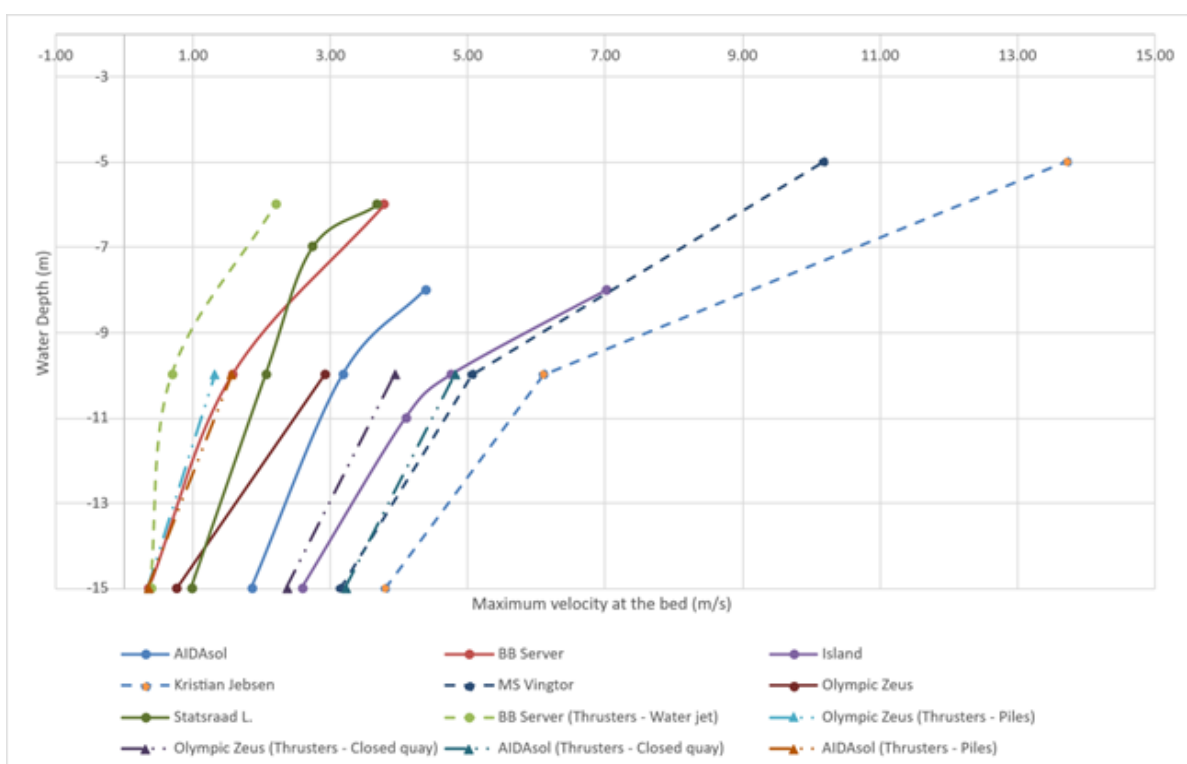
De to modellberegningene tilsier altså svært forskjellige behov for erosjonssikring av tildekkingsmassene. Det må derfor gjøres en helhetlig vurdering av behovet for erosjonssikring basert på modelleringsresultatene, strømmålingene og andre observasjoner i tiltaksområdet, samt erfaringer med erosjonssikring fra andre tildekkingsprosjekter.



Figuren fortsetter på neste side



Figur 36 Maksimal propellstrøm ved bunnen for oppgitt motorpådrag (heltrukken kurve) og dobbelt motorpådrag (stiplet kurve) for vandyp ned til 15 m (Eidnes, 2021).



Figur 37 Bunnstrømshastigheter for dimensjonerende fartøy beregnet fra PIANC-rammeverk. Båter med vannjet er vist med stiplete linjer, mens baugpropeller er vist med stiplete linjer og trekanter (COWI, 2025a).

### **Obervert erosjon**

Video fra dykking langs Festningskaaien og Tollbodkaaien viser at det har foregått erosjon i dagens bunnmateriale langs kaifrontene som har dannet en voll med grus og stein ca. 4-5 meter ut fra kaifronten (se kap. 3.1.7). Denne vollen sees mer eller mindre sammenhengende langs Festningskaaien, men med noe ulike kornstørrelser i overflaten, og noe mindre utbredt langs Tollbodkaaien. Video fra dykking langs Strandkainen viser ikke åpenbar erosjon, men tidligere undersøkelser har vist at det er netto erosjon fra områder utenfor Strandkaaien. I en undersøkelse gjort av Bergen Sjøfartsmuseum ble det over 14 måneder i 2011-2012 undersøkt erosjon og resedimentasjon av masser ved Strandkaaien og Bryggen (Wammer, 2013). Resultatene indikerte en erosjonshastighet på ca. 3 cm/år i det undersøkte området ved Strandkaaien, mens det var en netto sedimentasjon på 0-1 cm ved Bryggen og i et referanseområde midt i indre del av Vågen (Wammer, 2013).

### **Erfaringer fra andre tildekkingsområder**

Det er gjort tiltak med tildekking av forurensede bunnsedimenter i en rekke havneområder i Norge, bl.a. gjennom ulike «Renere Havn» prosjekter (Laugesen m fl., 2015). Noen av disse er sammenlignbare med det planlagte tiltaket i Vågen og kan brukes som erfaringsbakgrunn for dimensjonering av erosjonsikring i Vågen.

Renere Puddefjord er det mest nærliggende prosjektet å hente erfaring fra. Sjøbunnen i Puddefjorden ble tildekket med tunnelboremaskin (TBM) masser med erosjonssikring i utsatte områder. Det ble gjort en rekke vurderinger av dimensjonering av erosjonssikringslaget (COWI 2017b). Det ble gjort to uavhengige beregninger av propellstrøm og kornstørrelser fra representativ skipstrafikk. Resultatene hadde noen ulikheter, men kom ut med propellstrømhastigheter på opptil 5 m/s (SINTEF, 2016), og anbefalt kornstørrelser med median (D50) på opptil 390 mm og betongmadrasser i områder med bunnstrømhastigheter større enn 4 m/s (NGI, 2016a). Basert på disse to beregningene og en helhetsvurdering, ble det valgt en mindre konservativ tilnærming med bruk av 20/120 mm masser (D50 = 60 mm) som erosjonssikring i utsatte områder. Det ble vurdert at en viss risiko for erosjon og vedlikehold i enkelte deler av tildekkingen ville være mest kost-nytte effektivt (COWI 2017b). 4-årskontrollen av tiltaket antydte punkterosjon i enkelte områder (COWI, 2023d), mens en oppfølgende undersøkelse konkluderte med at omfanget ikke var så stort at det var behov for re-tildekking (COWI 2023e). Ny vurdering av erosjonssikringslaget i Puddefjorden vil bli utført som del av 8-årskontrollen i 2026.

I Renere Havn Trondheim ble det beregnet tilsvarende propellstrøm som i Puddefjorden med utgangspunkt i representativ båttrafikk i området. Det ble beregnet maksimum propellstrømhastigheter i størrelseorden 0,4 - 4,1 m/s, og anbefalt kornstørrelse (D50) for erosjonssikring på mellom 10 og 123 mm (SINTEF, 2011). I praksis ble det benyttet erosjonssikring på 0-18, 0-40 og 0-63 mm mens det ble lagt betongmadrass i et område (Nyhavna) (Salomonsen, 2019). Overvåking indikerer at tildekkingslaget i hovedsak ligger intakt, men at det også her forekommer erosjon i enkelte punkter (COWI, 2022b).

I Harstad Havn ble sjøbunnen tildekket på mellom 15 og 20 meters vanddyb i tillegg til noen områder grunnere enn 15 m. Strømhastigheten ble antatt å ligge på rundt 0,1-1,0 m/s på 15 m dyp (Rambøll, 2011), og det ble tildekket med i hovedsak naturlige masser fra Riøyrenna og i utsatte områder erosjonssikret med pukk (0-32 mm). Overvåking i 2015 og 2016 viste at tildekkingslaget ligger intakt under 15 m, men at både tildekkingslaget og erosjonssikringen var erodert bort av propellererosjon ved hurtigbåtkaien (Multiconsult, 2017). I 2017 ble det lagt ut betongmadrasser som tiltak for å hindre ytterligere propellererosjon i dette området (Falck Dykkertjeneste AS, 2017).

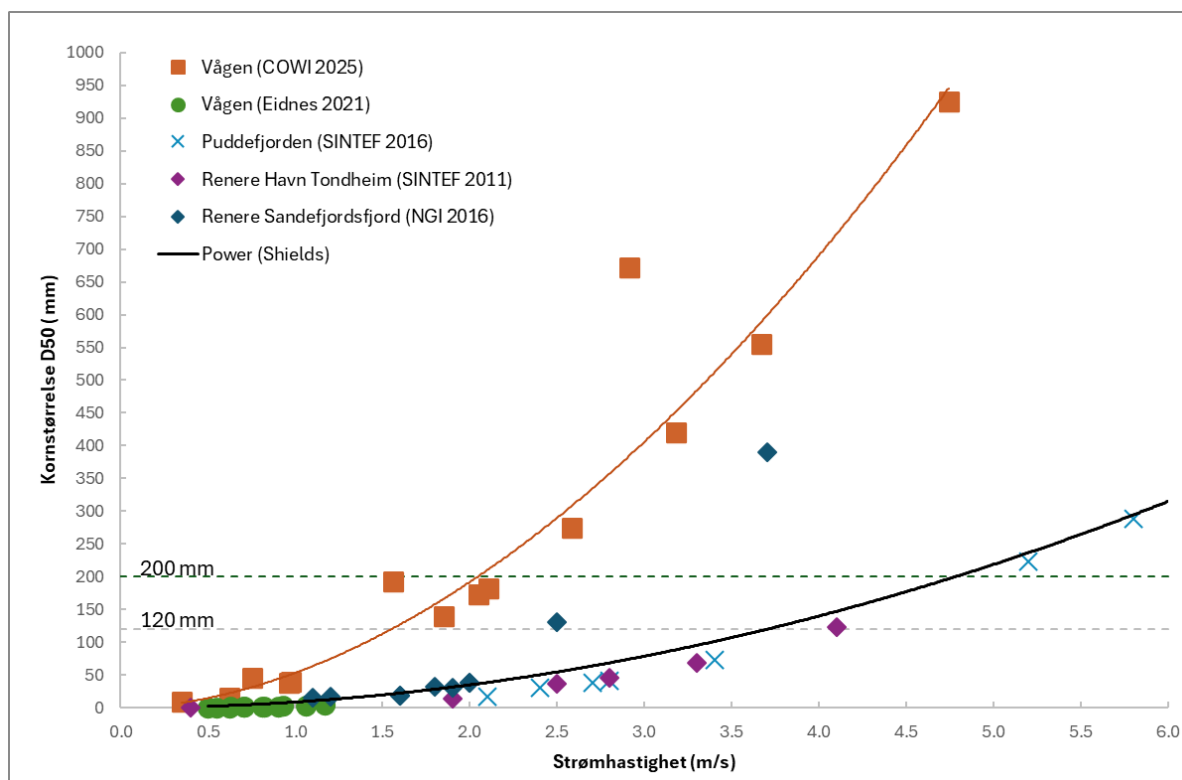
I prosjektet Renere Sandefjordsfjord ble det i utgangspunktet prosjektert et tildekkingslag med 0-8 mm masser med erosjonssikring med kornstørrelser opp mot 300 mm. Dimensjoneringen av erosjonssikringslaget ble imidlertid antatt å være konservativt, og basert på en totalvurdering av risiko for miljøeffekter, mudringsbehov, geoteknikk og seilingsdybde ble det for enkelte områder vurdert at en mindre konservativ løsning med økt risiko for erosjon kunne velges (Sandefjord kommune, 2019; NGI, 2016). I praksis ble det benyttet masser med D50 på 260 mm som erosjonssikring i de mest utsatte områdene (Asplan Viak, DNV GL og NGI, 2016).

### **Vurdering av behov for erosjonssikring i Vågen**

Modelleringsresultatene (Eidnes, 2021; COWI, 2025) indikerte svært forskjellig behov for erosjonssikring i Vågen. Resultatene fra Eidnes (2021) tilsier at det ikke er behov for erosjonssikring. Basert på erfaringer fra tilsvarende tildekking i andre havneområder og observert erosjon ved bl.a. Festningskaiaen, Strandkaiaen og Tollbodkaiaen er det imidlertid et åpenbart behov for erosjonssikring ved tildekking av grunne områder i Vågen. Resultatet fra modelleringen som følger PIANC-rammeverket (COWI, 2025a) støtter at det vil være et behov for erosjonssikring, men virker å være konservativt sammenlignet med vurderinger gjort i andre havner i Norge.

Figur 38 viser en sammenstilling av bunnstrømhastigheter og kornstørrelser beregnet for erosjonssikring i ulike tildekkingsprosjekter, modellresultatene for Vågen (Eidnes, 2021; COWI, 2025) i tillegg til en teoretisk sammenheng mellom strøm og stabil kornstørrelse ifølge Shields formel (van Rijn, 1993). Shields formel beskriver kornstørrelse som funksjon av laminær vannstrøm gitt strømmens skjærspenning mot bunnen, bunnens ruhet og friksjon. I eksempelet er det benyttet en friksjonskoeffisient på 0,0061, typisk ruhet for stein på 0,1 m, og et vanddyp på 5 m. Shields formel tar ikke høyde for turbulens som følge av propellstrøm slik som PIANC rammeverket, og vil derfor komme ut med mindre kornstørrelser. Dette vil altså være et noe mindre konservativt estimat, og dermed med en mulig underestimering av nødvendig erosjonssikring.

Som det kommer frem av Figur 38 er bunnstrømhastighetene beregnet for Vågen (COWI, 2025a) tilsvarende det som er funnet i andre havner. PIANC rammeverket estimerer imidlertid behov for grovere kornstørrelser enn SINTEF og NGI sine beregningsmetoder for samme bunnstrømmer. Eksempelene fra Renere Havn Trondheim (SINTEF, 2011) og Renere Puddefjord (SINTEF, 2016) følger i stor grad Shields-kurven og gir systematisk lavere D50 enn resultatene beregnet med PIANC rammeverket. Beregningene fra Renere Sandefjordsfjord (NGI, 2016) følger Shields-kurven opptil bunnstrøm på ca. 2 m/s, men estimerer kornstørrelser som ligger et sted mellom Shields-kurven og Vågen (COWI, 2025a) for strømhastigheter større enn 2 m/s.



**Figur 38** Sammenheng mellom bunnstrømhastigheter og kornstørrelser (D50) beregnet for ulike tildekkingsprosjekter i Norge (punkt) sammenlignet med en eksponentiell Shields-kurve (svart linje). Data fra Vågen (COWI, 2025a) inkluderer ikke vannjet-generert bunnstrøm. Stiplede horisontale linjer indikerer maksimumskornstørrelse (200 og 120 mm) for foreslått erosjonssikring med 50-200mm og 20-120 masser i Vågen.

Erfaringer fra tildekkingsprosjekter ulike steder i Norge viser at det flere steder er gjort en kost-nyttevurdering der man legger seg på en noe mindre konservativ linje enn modelleringsresultater fra dimensjonerende fartøy tilsier. I praksis godtar man da en viss risiko for erosjon og framtidig vedlikehold, men unngår svært store tiltakskostnader og store områder dekket med betongmadrasser. I både Renere Sandefjordsfjord og Renere Puddefjord ble det gjort en balansert vurdering av miljørisiko, type sedimenter på sjøbunnen, og aksept for en viss risiko for erosjon i valg av erosjonssikringsmateriale. Beregningene vist i Figur 38 ble ansett for konservative i begge disse prosjektene, og i praksis ble det benyttet finere kornstørrelser enn det beregningene tilsa (f.eks. 20-120 mm i Puddefjorden). For erosjonssikring i Vågen er det gjort en tilsvarende vurdering.

- › I de dypeste områdene innenfor terskelen i Vågen, i hoper og i områder hvor det ikke er trafikk av store båter er det antatt at bunnstrømmer fra propeller vil være minimale. Dette tilsier at det ikke er nødvendig med erosjonssikring i disse områdene (mørk blå farge i Figur 39).
- › I grunnere områder med stor båttrafikk indikerer både erfaring fra andre tildekkingsområder og modelleringsresultatene at det bør legges erosjonssikring oppå tildekkingsmaterialet. Her foreslås det å bruke 20-120 mm masser i et 20 cm tykt lag. Den groveste andelen av dette materialet (120 mm) vil ifølge Shields-kurven motstå erosjon ved bunnstrøm opptil ca. 3,7 m/s (lys blå farge i Figur 39).
- › I noen utsatte områder langs kaifronter og områder med spesielt stor påvirkning anbefales det å benytte noe grovere erosjonssikring. Erfaring fra Puddefjorden og Sandefjordsfjorden indikerer at

20-120 mm masser kan bli for lite, og det anbefales å grovere erosjonssikring. Kornstørrelser på 200 mm vil ifølge Shields formel kunne motstå erosjon med bunnstrøm opptil ca. 4,8 m/s som tilsvarer de største bunnstrømhastighetene fra hoved-propellene til fartøy i Vågen (Figur 38). Modellresultatene indikerer imidlertid at strømmer fra baugpropeller vil kunne erodere enda grovere masser ved kaifronten (COWI, 2025a). Om man likevel tar en mindre konservativ tilnærming, og godtar noe risiko for erosjon, vil f.eks. 50-200 mm masser i 30 cm tykkelse kunne benyttes i disse områdene (skraverte områder i Figur 39).

- › I spesielt utsatte områder hvor det ikke vil være mulig å legge på lag med grove erosjonssikringsmasser på grunn av krav om seilingsdyp, eller det skal sikres mot erosjon ved kaifronten fra baugpropellstrøm, vil det være aktuelt å legge betongmadrasser (svarte områder i Figur 39).

### 5.3.6 Oppsummering tildekking

Tabell 26 viser en oppsummering av resultatene fra modelleringene og vurderingene utført i kapittel 5.3. I tillegg til et kjemisk isolasjonslag på 20 cm (inkl. bioturbasjonslag) og et adveksjonslag på 10 cm er det det lagt inn et usikkerhetslag på 10 cm. Usikkerhetslaget tar høyde for følgende forhold:

- › usikkerhet i utleggingen (ujevn utleggingstykkelse)
- › eventuell innblanding av tildekkingsmasser i opprinnelig sjøbunn
- › eventuelle hotspots som ikke er fanget opp av miljøkartleggingen
- › forskjeller i egenskaper mellom sand, som er benyttet i modelleringen av tykkelse på kjemisk isolasjonslag, og anbefalt tildekkingsmateriale TBM eller 0-32/0-64 mm masse.

Vågen er en aktiv havn med et stort potensiale for propell-erosjon. Gitt en totalvurdering av miljørisiko og aksept for en viss risiko for erosjon og framtidig vedlikehold er det vurdert at det er behov for å erosjonssikre størstedelen av tiltaksområdet med et 20 cm lag med 20-120 mm masse. I mindre, spesielt propellutsatte områder bør det benyttes en grovere erosjonssikring i form av f.eks. 50-200 mm. Med så store kornstørrelser som 50-200 mm, må erosjonssikringslaget økes til 30 cm tykkelse. Siden disse områdene er avgrenset i utbredelse, er det valgt å redusere tykkelsen på adveksjons- og usikkerhetslaget slik at det totale tildekkingslaget ikke overstiger 60 cm. I disse områdene blir det særlig viktig å ha fokus på jevn utlegging siden usikkerhetslaget er redusert. Det forventes imidlertid minimalt med innblanding av tildekkingsmasser i opprinnelig sjøbunn i de mest propellutsatte områdene siden finstoffet her trolig er blitt erodert bort og sjøbunnen er relativt grovkornet og fast.

Totalt gir dette et tildekkingslag på 40 cm i områder uten erosjonssikring og 60 cm i området der erosjonssikring anbefales.

I områder inntil kaier gjør hensynet til bevaring av seilingsdybde og bevaring av kaistabilitet det utfordrende å finne en ideell tiltaksløsning. I disse områdene er det valgt å inngå et kompromiss i form av å redusere tildekkingslaget til 25 cm eller legge betongmadrasser i en tykkelse på 10 cm.

Endelig valg av type tildekkingsmasser gjøres i den videre detaljeringen av tiltaket. Ytterligere detaljering av tildekkingslaget gjøres også i detaljprosjekteringsfasen. Det skal særlig sees nærmere på utbredelsen av det groveste erosjonssikringslaget og kompromissløsningen med bruk av betongmadrasser og det tynnere tildekkingslaget foran kaier.

**Tabell 26** Oppsummering anbefalt oppbygging tildekkingslag. I områder foran kaier der man må ta hensyn til seilingsdybde og kaistabilitet, er det lagt inn tynnere tildekkingslag enn angitt i tabellen som et kompromiss. Se Figur 39 for tiltakskart.

| Type lag                                  | Tykkelse (cm)                       | Tildekkingsmateriale                          |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Kjemisk isolasjonslag og bioturbasjonslag | 20                                  | TBM eller velgradert 0-32 eller 0-64 mm masse |
| Adveksjonslag og blandingslag/usikkerhet  | 20 (10 ved grov erosjonssikring)    | TBM eller velgradert 0-32 eller 0-64 mm masse |
| Erosjonssikringslag, middels              | 20                                  | 20-120 mm masse                               |
| Erosjonssikringslag, grov                 | 30                                  | 50-200 mm masse                               |
| <b>Totalt</b>                             | <b>60 (40 uten erosjonssikring)</b> |                                               |

## 5.4 Anbefalt tiltaksløsning

Figur 39 viser en oversikt over anbefalt tiltaksløsning for Vågen. Hele tiltaksområdet har et areal på ca. 275 000 m<sup>2</sup>. Skrotrydning anbefales gjennomført i hele tiltaksområdet. I tillegg anbefales følgende tiltak (se Figur 39 for fargekoder):

### Mudring (~ 12 000 m<sup>2</sup>):

- › I rødt areal og rødt areal med striper anbefales mudring i en tykkelse på ca. 60 cm før tildekking.
- › I rosa areal anbefales mudring av det finkornet topplaget, ca. 20 cm. Basert på tidligere mudring i området forventes kompakte, rene masser under topplaget og dermed ingen behov for tildekking.

### Tildekking uten erosjonssikring (~ 57 000 m<sup>2</sup>):

- › I mørkeblått areal anbefales tildekking med mineralske masser med en tykkelse på ca. 40 cm bestående av enten TBM-masser eller velgradert 0-32 eller 0-64 mm masse.

### Tildekking og erosjonssikring (~ 188 000 m<sup>2</sup>):

- › I lyseblått og rødt areal anbefales tildekking med mineralske masser med en tykkelse på ca. 40 cm bestående av TBM eller velgradert 0-32 eller 0-64 mm masse. Deretter anbefales erosjonssikring med 20-120 mm masse med tykkelse på ca. 20 cm.
- › I lyseblått/rødt areal med striper anbefales tildekking med mineralske masser med en tykkelse på ca. 30 cm bestående av TBM eller velgradert 0-32 eller 0-64 mm masse. Deretter anbefales erosjonssikring med 50-200 mm masse med tykkelse på ca. 30 cm.
- › I mørkegrønt areal anbefales tildekking bestående av TBM eller velgradert 0-32 eller 0-64 mm masse og deretter erosjonssikring med 20-120 mm masse. Total tykkelse på ca. 25 cm.
- › Lysegrønt areal med striper dekker en erosjonsgrop som har dannet seg inn mot Festningskaaien. Det anbefales å fylle gropen med 50-200 mm masse i en tykkelse på ca. 30 cm for å forhindre videre erosjon og oppvirvling av forurenset finstoff.

### Betongmadrass (~ 1 350 m<sup>2</sup>):

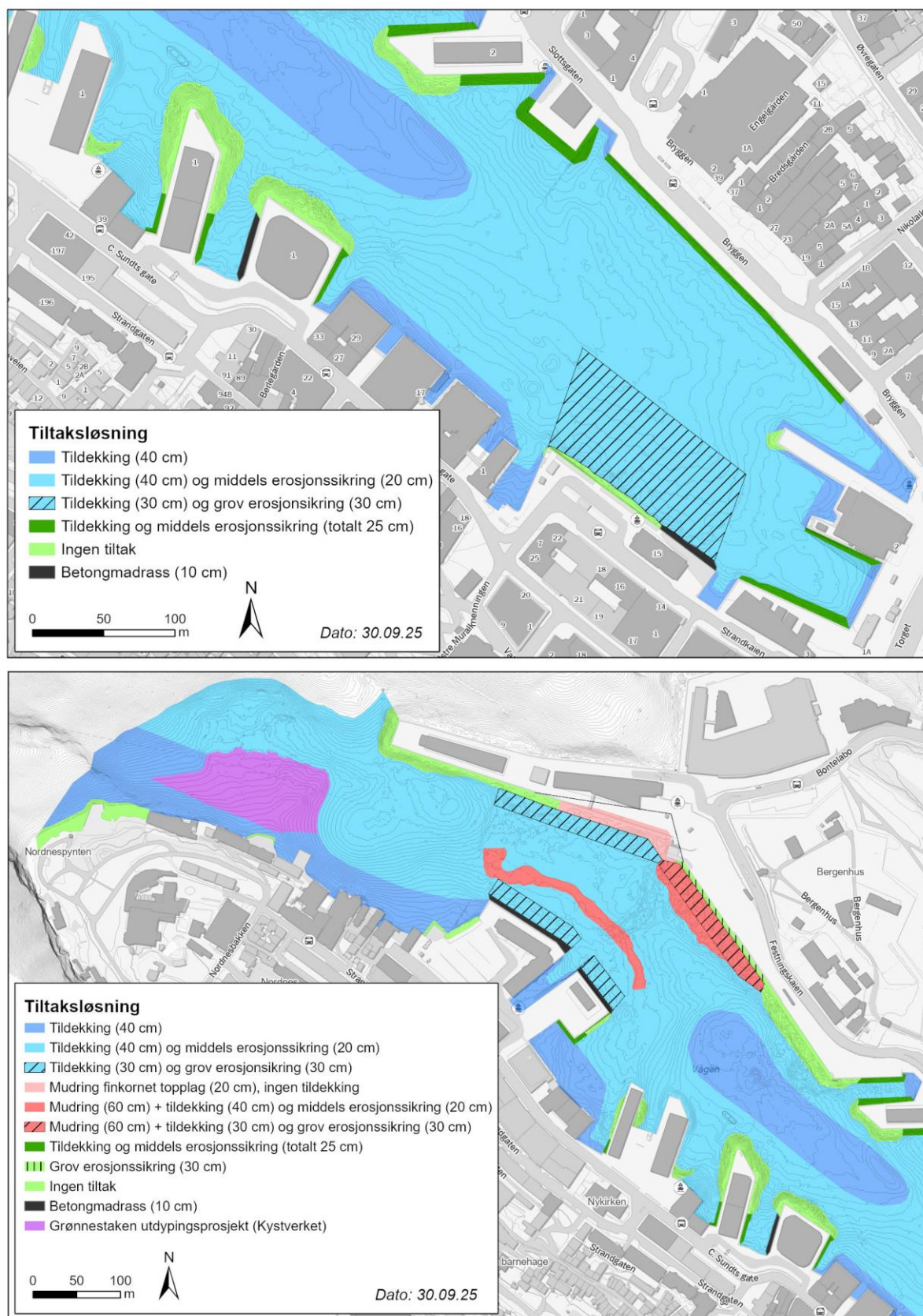
- › I svart areal anbefales tildekking med betongmadrasser i tykkelse på ca. 10 cm.

**Ingen behov for tiltak (~ 14 300 m<sup>2</sup>):**

- › Sjøbunnen innenfor lysegrønt areal består av bratte sprengsteinsskråninger med minimalt med finstoff. Kun skrotrydning anbefales utført i disse områdene.

**Grønnestaken utdypingsprosjekt (~ 11 500 m<sup>2</sup>):**

I lilla areal planlegger Kystverket tiltak for å øke seilingsdypet. Tidspunktet for tiltaket er ikke fastsatt, men det anbefales at Kystverkets tiltak gjennomføres før eller eventuelt samtidig med Renere Havn Bergens prosjekt. Dersom Kystverkets tiltak gjennomføres først, må det som minimum gjennomføres overvåkning av utdypningsprosjektets område under Renere Havn Bergens prosjekt for å vurdere om det har skjedd rekontaminering av området og dermed om det er behov for re-tildekking. Arealet er derfor inkludert i tiltaksområdet til Renere Havn Bergen selv om Kystverket er ansvarlig for selve utdypningsprosjektet. Dersom Kystverkets tiltak utføres etter Renere Havn Bergens prosjekt, må Kystverket gjennomføre overvåking og eventuelle avbøtende tiltak for å påse at deres tiltak ikke medfører skader på/rekontaminering av Renere Havn Bergens tildekkingslag.



Figur 39

Foreslått tiltaksløsning for Vågen. Dybdekoter med 0,5 m ekvidistanse er vist. Det henvises til Figur 7 for oversikt over kainavn rundt Vågen.

Tabell 27 viser et overslag over mengde mudringsmasse og mengde tildekkingsmasse basert på den anbefalte tiltaksløsningen. Estimater over mengde mudringsmasse inkluderer en overmudring på 0,2 m i hele mudringsarealet.

Tabell 27      *Estimat over mengde mudringsmasse og tildekkingsmasse. Fargekodene viser til kartet i Figur 39. \*Mudringsvolumet inkluderer 0,2 m overmudring i hele mudringsarealet.*

| Type tiltak                                 | Mengde (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------------------|--------------------------|
| Mudringsmasse                               | 8 500*                   |
| Tildekkingsmasse (TBM el. 0-64 el. 0-32 mm) | 95 000                   |
| Erosjonssikring middels (20-120 mm)         | 33 000                   |
| Erosjonssikring grov (50-200 mm)            | 7 000                    |

## 5.5 Disponeringsløsning mudringsmasser

Prosjektet forbereder levering av mudringsmasser til eksisterende deponi på land, men vil vurdere andre alternativ for massedisponering dersom gjennomføringsplanen for tiltaket i Vågen viser seg å sammenfalle med andre prosjekter som legger til rette for strandkantdeponi eller sjøbunnsdeponi.

## 5.6 Klimagassbudsjett

Parallelt med detaljeringen av tiltaksløsningen er det gjennomført en overordnet beregning av klimagassutslipp ved ulike alternative løsninger og vurdert aktuelle tiltak som kan redusere prosjektets samlede karbonavtrykk (COWI, 2025e).

Flere faktorer vil påvirke klimagassbudsjettet for tiltaket. Generelt sett vil det være en fordel å benytte eksisterende masser som ligger på lager fremfor å knuse ned nye masser til tildekkingslaget. Dersom f.eks. gjenværende TBM masser fra Ulriks-tunellen kan benyttes, trenger disse kun å transporteres fra dagens lagringssted på Gaupås rett utenfor Bergen til tiltaksområdet. Sammenlignet med å knuse ned nye masser, vil bruk av TBM masser redusere klimagassutslippene med over 200 tonn CO<sub>2</sub>e og bidra til sirkulærøkonomi ved å utnytte eksisterende ressurser.

Som et alternativ for erosjonssikring vurderes muligheten for å benytte betongmadrasser i områder som er særlig utsatt for propellerrosjon. Betongmadrasser har større utslipp enn sprengstein, og fra et klimagassperspektiv bør bruken av betongmadrasser minimeres. Dersom betongmadrasser må benyttes bør det undersøkes om lavkarbonbetong kan fungere i sjø.

Deponeringsløsning og deponeringssted vil også påvirke klimagassbudsjettet i stor grad. Klimagassutslippene vil bli vesentlig lavere dersom man velger å håndtere mudringsmassene lokalt fremfor å frakte dem over lengre distanser.

For en løsningskombinasjon der det benyttes TBM-masser, mudringsmasser håndteres lokalt og det bare benyttes sprengstein til erosjonssikring er klimagassutslippet estimert til under 1000 tonn CO<sub>2</sub>e, mens en løsning der det benyttes nye nedknuste tildekkingsmasser, mudringsmassene leveres til

regionalt deponi og det benyttes betongmadrasser til 5% av erosjonssikringen er estimert til over 2600 tonn CO<sub>2</sub>e. Valgt løsning for deponering av mudringsmassene har størst utslag på utslipps-størrelsen.

Prosjektet vil videre vurdere mulighetene for noe bruk av utslippsfrie anleggsmaskiner. Eventuell bruk av elektriske gravemaskiner på anleggsplassen er vurdert til å kunne gi en reduksjon på ca. 180 tonn CO<sub>2</sub>e, og dersom det benyttes elektriske biler for transport av masser der disse må gå på vei, kan utslippet fra landtransport reduseres med ca. 350 tonn CO<sub>2</sub>e.

Prosjektet kan også generere bedre vilkår for blant annet oppvekst av tareskog og på den måten bidra til at området på sikt kan lagre mer CO<sub>2</sub> enn det som er tilfelle i dag.

## 5.7 Vurdering av avbøtende tiltak for å verne om naturmangfold

Hensynet til naturmangfold skal alltid vektlegges ved planlegging av tiltak som kan endre naturforholdene i et tiltaksområde. Naturmangfoldloven § 8 beskriver krav til kunnskapsgrunnlag for vurdering av et tiltak sin betydning for de lokale naturverdiene og økosystemet.

For tiltaksområdet er tilgjengelig kunnskap om naturforholdene på stedet innhentet fra nasjonale databaser, undervannsfilmning og en rekke miljøkartlegginger i perioden 1992-2024, inkludert grabb/kjerneprøver, toksisitetstester og bioakkumulasjonstester (COWI et al., 2005 (med vedlegg); COWI, 2012; 2014a; Rådgivende Biologer, 2012; COWI, 2023c).

Basert på tilgjengelig informasjon vurderes det slik at områdene der det skal utføres tiltak ikke har noen naturtype eller arter av spesifikk økologisk verdi som må hensyntas under tiltak. Tildekking av sjøbunnen med rene masser vil ødelegge eksisterende habitat og midlertidig øke potensialet for oppvirvling og utlekking av miljøgifter. De nye massene vil imidlertid fungere som nytt substrat for reetablering av bunndyrsamfunnet og dermed høyst sannsynlig på sikt forbedre den økologiske tilstanden. Artssammensetningen etter rekolonisering av ny sjøbunn vil være påvirket av hvilket tildekkingsmateriale som blir valgt.

## 5.8 Risiko for rekontaminering etter tiltak

En forutsetning for at tiltak mot forurensede sedimenter skal ha varig effekt, er at man har god oversikt og kontroll med eventuelle forurensningskilder i området. Som en del av de tiltaksforberedende undersøkelsene er det gjennomført møter med forskjellige interessenter, søk på nett og i databaser, samt beregninger for å fremskaffe en oversikt over eventuelle kilder på land som kan bidra til ny spredning av forurensning til sjøbunnen i Vågen. Potensielle kilder er knyttet til tidligere aktiviteter og dagens arealbruk.

### 5.8.1 Kildesporing av bedrifter

I 2020 ble det utført et kildesøk av bedrifter som kan bidra med tilførsel av forurensning til Vågen. Det ble undersøkt om det eksisterer i) bedrifter med utslippstillatelse fra Fylkesmannen eller Miljødirektoratet, ii) bedrifter som slipper forurenset vann til kommunalt nett eller overvann, eller iii) andre aktuelle virksomheter i området uten utslippstillatelse.

Under kildesporingen ble det ikke funnet aktive eller nedlagte anlegg med utslippstillatelse i nærområdet. VA-etaten ble kontaktet for en oversikt over bedrifter med påslippstillatelser for å levere avløpsvann til kommunalt nett eller med oljeutskillere og fettutskillere. De fleste på denne listen bestod av restauranter og hoteller med fettutskillere og bidrar ikke til tilførsel av nevneverdige mengder miljøgifter til Vågen.

Det ble også gjort søk i databaser som Miljødirektoratets grunnforurensningsdatabase, gulesider, 1880, finn, o.l. med søkeord som verksted, service, lager, maskin, bedrift, industri, o.l. Det ble funnet lite aktuelle bedrifter i området. Informasjon om et par trykkeri, verksted og kjemikalieutsalg ble videreformidlet til Statsforvalteren i Vestland med tanke på eventuell videre oppfølging gjennom tilsyn.

### 5.8.2 Forurensset grunn

Det ble gjennomført søk i Miljødirektoratets database Grunnforurensning 03.11.25 som viste seks registrerte lokaliteter i nedslagsfeltet til Vågen (Figur 40):

- › Lokalitet ID 3917 "DKV, vaskeplass": Registrert med påvirkningsgrad 2 "Akseptabel tilstand med dagens arealbruk".
- › Lokalitet ID 3888 "Svensgården, Bryggen": Registrert med påvirkningsgrad 2 "Akseptabel tilstand med dagens arealbruk".
- › Lokalitet ID 14726 "Kabeltrase Koengen": Registrert med påvirkningsgrad 1 "Lite eller ikke forurensset – ikke behov for tiltak uansett arealbruk".
- › Lokalitet ID 3955 "M. Waages Småindustri (nedlagt)": Registrert med påvirkningsgrad "Mistanke om forurensning".
- › Lokalitet ID 20934 «Tollbodkaien»: Registrert med påvirkningsgrad 2 «Akseptabel tilstand med dagens arealbruk»
- › Lokalitet ID 19242 «Martin Vahls gate, Sandviken»: Registrert med påvirkningsgrad 2 «Akseptabel tilstand med dagens arealbruk»



Figur 40 Utsnitt av Grunnforurensningsdatabasen for nedslagsfeltet til Vågen 03.11.25.

Det kan ikke utelukkes at det kan forekomme andre arealer med grunnforurensning i nedslagsfeltet til Vågen som ikke er registrert i Grunnforurensningsdatabasen siden forurensning i byjord generelt er utbredt. Dette kan for eksempel være arealer i tilknytning til vei eller tomter der forurensende aktiviteter har pågått i tidligere tider. Ved et eventuelt terrenginngrep i slike arealer, skal forurensningsrisikoen generelt fanges opp av forurensningsforskriftens kapittel 2 som krever at tiltakshaver skal vurdere om det er forurenset grunn i områder der et terrenginngrep er planlagt gjennomført. Ved inngrep i antatt forurenset grunn, skal tiltakshaver sørge for at det blir utført nødvendige undersøkelser og videre utarbeide en tiltaksplan som blant annet skal sikre at anleggsarbeidet ikke medfører forurensningsspredning eller fare for skade på helse og miljø.

### 5.8.3 Havneaktivitet

Den 27.08.20 ble det gjennomført et møte mellom Renere Havn Bergen og Bergen Havn AS angående potensielle forurensningskilder relatert til havneaktiviteten i Vågen. Tema som blant annet skrogvask, scrubber-anlegg, bunkring og avfallshåndtering ble tatt opp.

Bergen Havn orienterte om at de ikke gir tillatelse til skrogvask ved kaier i Bergen. Et nytt vaskeanlegg er under utvikling, og skrogvask kan bli tilbudt som tjeneste i Bergen i fremtiden. Det foregår ikke vasking av tanker i havnen.

En del cruiseskip benytter scrubber-anlegg for å vaske svovel og partikler ut fra eksosen (kan være enten "open-loop" eller "closed-loop" system). I et "open-loop" system slippes vaskevann direkte ut der det skjer, normalt ved ca. halvparten av båter ved kai i Bergen. Det kan ikke utelukkes at noe forurensning tilføres sjøvannet fra denne aktiviteten, men det er utfordrende å kvantifisere mengder.

Bunkring av større skip skjer daglig ved kaiene ved hjelp av bunkringsfartøy. Større skip har lenser for oppsamling i tilfelle utslipp. Ytterst på en liten flytebrygge ved Munkebryggen finnes det to pumper for småbåter. Det er registrert lokale hendelser i forbindelse med lekkasje fra fartøy og utslipp i forbindelse med vask av fritidsbåtdekk.

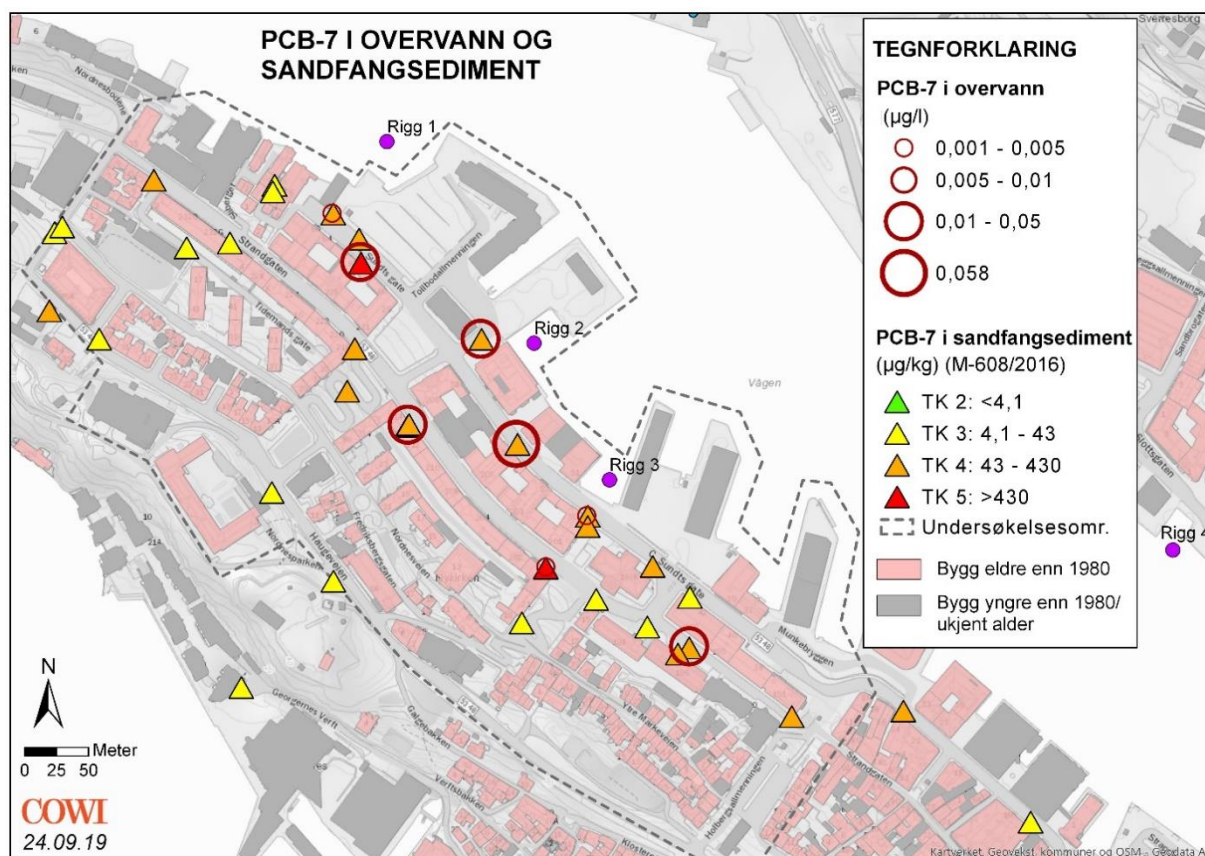
I hopen mellom Dreggekaien og Bryggen registreres det iblant oljefilm på vannet. Oljefilmen fordamper etter kort tid og er "ikke-aksjonerbar". Det er ikke funnet noe kilde til utslippene relatert til båttrafikk eller havneaktivitet, og det er vurdert til at kilden ligger på land. Iblant registreres det utslipp til Vågen som man ikke finner kilden til.

#### 5.8.4 Overvannstransport av miljøgifter til sjø

C. Sundtsgate og Strandgaten på Nordnes på vestsiden av Vågen har i flere undersøkelser utpekt seg med høye konsentrasjoner av PCB i fasademateriale og sandfangsmateriale (COWI, 2013; 2014b). I forbindelse med rehabilitering og fornying av avløpssystemet, ble det i 2015 gjennomført målinger av miljøgifter i overløpssvann fra 8 overvannskummer i området i en nedbørsrik periode (COWI, 2015b). I tillegg ble det gjennomført målinger med blant annet sedimentfeller og blåskjell i sjø nær 3 overløp fra avløpsnett på Nordnes og 1 overløp mellom Dreggekai og Bryggen (Figur 41).

Analysene av overvannsprøverne fra overvannskummene innenfor studieområdet på Nordnes viste at PCB transporteres i overvannssystemet til en viss grad (Figur 41). Alle de analyserte overvannsprøvene inneholdt PCB-konsentrasjoner mellom 0,001 og 0,058 µg/l. Det ble også påvist betydelige mengder bly, kobber og sink i overvannet (COWI, 2015b).

Materialet i sedimentfellene på de 4 måleriggene i sjø var forurensset i tilstandsklasse IV eller V for kvikksølv og kobber, tilstandsklasse IV for bly og tilstandsklasse III for PCB-7. Målinger av miljøgifter i blåskjell viste et signifikant høyere nivå av kobber, bly, PCB-7, PAH-16 og TBT i de eksponerte blåskjellprøvene sammenliknet med kontrollprøven. Det ble påvist relativt like nivåer av miljøgifter i sedimentfelle materialet, sandfangssedimentene og sjøsedimentene rundt de 4 målestasjonene, med unntak av kvikksølv som ble påvist i høye konsentrasjoner i sedimentfellene og sjøsedimentene og i lave konsentrasjoner i overvannssystemet. Undersøkelsen konkluderte med at det skjer en viss spredning av miljøgifter til sjø med overvannet, samt at det skjer en oppvirvling av forurensede sedimenter flere meter opp i vannsøylen fra sjøbunnen i Vågen (COWI, 2015b).



Figur 41 Oversikt over målinger av PCB i overvann og sandfangsediment på Nordnes (fra COWI, 2015b). Riggene i sjø er lokalisert i nærheten av overløp fra avløpsnett.

Målingene av miljøgifter i overvann fra 2015 fokuserte på et avgrenset område på Nordnes. For å estimere mengde miljøgifter som fraktes med overvann og potensielt kan tilføres sjøen fra hele nedslagsfeltet til Vågen, er det benyttet en metode for beregning av midlere årlige utslipp av miljøgifter fra overvann til vannforekomster gitt i VA-miljøblad 114/2015 (Stiftelsen VA-miljøblad, 2015). Metoden er basert på oppgitte sjablongverdier for miljøgiftkonsentrasjon i overvann fra områder med tette flater og ulik type aktivitet. Sjablongverdiene er basert på målinger av miljøgifter i overvann både i Norden og andre land (Lindholm, 2004). Sjablongverdiene representerer "urenset" vann, det vil si vann som ikke har gått gjennom sandfang eller andre former for renseinstallasjoner. Beregningen er utarbeidet for forskjellige arealtyper og er basert på parameterne arealstørrelse, andel tette flater av totalareal, andel av tette flater som er knyttet til rørnett, nedbørsmengde, fordamping og stoffkonsentrasjon i avrenningen.

Mengde miljøgifter som fraktes med overvann og potensielt kan tilføres Vågen er beregnet for hvert stoff med utgangspunkt i følgende formel:

$$U \text{ (g/år)} = Q_{\text{år}} \text{ (m}^3\text{/år)} * \text{kons (ug/l)} * k$$

$$Q_{\text{år}} \text{ (m}^3\text{/år)} = A \text{ (m}^2) * P \text{ (mm)} - b \text{ (mm)} * a * k$$

U = Potensielt utslipp med urensset overvann

$Q_{\text{år}}$  = Vannmengde per år

A = Areal

P = Nedbør, normalnedbør i Bergen er 2250 mm/år (kilde: eklime.no)

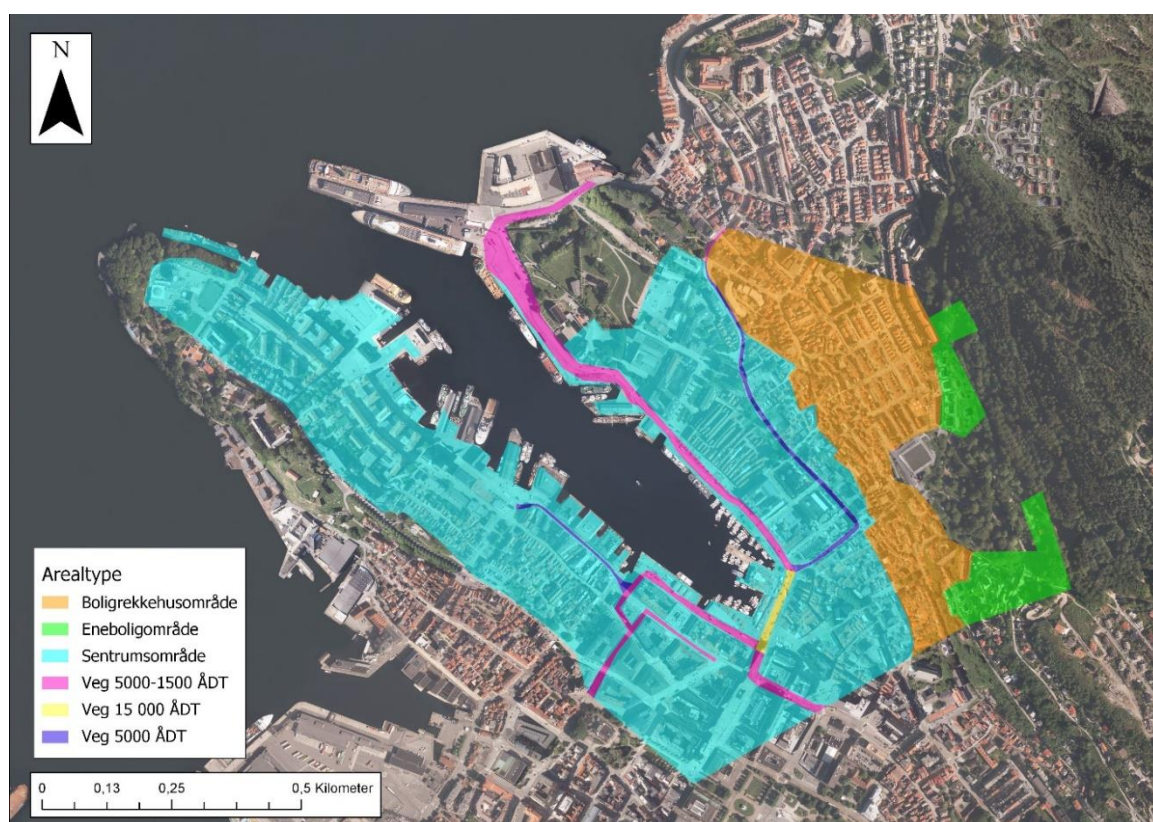
b = Tap på grunn av fordamping, 100 mm for flattere terreng (sjablongverdi)

a = Andel tette flater (1)

kons = konsentrasjon av miljøgifter i overvann for aktuell arealtype

k = korreksjonsfaktor for å få rett benevnning (0,001)

Nedslagsfeltet til Vågen ble inndelt i ulike arealtyper i henhold til kategoriene oppgitt i VA-miljøblad 114/2015 (Stiftelsen VA-miljøblad, 2015): Eneboligområder, boligrekkehusområder, sentrumsområder og trafikkerte arealer (ÅDT 5000, ÅDT 5000-15 000 og ÅDT 15 000) (Figur 42). Det understrekes at deler av trafikkarealene har en ÅDT som er høyere eller lavere enn de tre brukte ÅDT-kategoriene, men det er gjort en skjønnsmessig vurdering av at disse verdiene representerer en gjennomsnittlig trafikkbelastning i det gitt området. Større grøntarealer innenfor alle områdekategoriene er ikke inkludert i arealestimatene.



**Figur 42** Inndelingen av nedslagsfeltet til Vågen i henhold til kategoriene gitt i VA-miljøblad 114/2015 (Stiftelsen VA-miljøblad, 2015). Større grøntområder/parker er ikke tatt med i inndelingen.

Tabell 28 viser estimatene av midlere årlige utslipp av miljøgifter fra "urenset" overvann til Vågen basert på sjablongverdiene oppgitt i VA-miljøblad 114/2015. Estimaten viser at de tre største bidragene kommer fra sink, kobber og bly med henholdsvis 147, 26 og 20 kg/år. For PCB-7 er det estimert et årlig utslipp på 0,085 kg, og for PAH-16 og PAH-forbindelsen benzo(a)pyren viser estimatene henholdsvis 0,6 kg og 0,09 kg. En tilsvarende beregning for nedslagsfeltet til Store Lungegårdsvannet viser at de tre største bidragene også i dette området kommer fra sink, kobber og bly med henholdsvis 330, 72 og 40 kg/år (COWI, 2019b).

I tillegg til det totale årlige utslippet av miljøgifter fra hele nedslagsfeltet til Vågen viser Tabell 28 også de individuelle utslippsbidragene fra hver av arealkategoriene. Resultatene viser at for alle miljøgifter

er det "Sentrumsområde" som har de høyeste bidragene, etterfulgt av "Veger med ÅDT 5000 – 15 000". Sentrumsområde utgjør også den største andelen av arealinndelingen.

**Tabell 28** Miljøgifter produsert pr. år fra tette flater i området som drenerer til Vågen basert på sjablongverdier og formelverk gitt i VA-miljøblad nr. 114/2015 (Stiftelsen VA-miljøblad, 2015). Større grøntarealer er ikke inkludert i arealestimatene

| Data om tette flater |                        |                |            |                |             | Konsentrasjoner i overvann (sjablongverdier) |         |         |         |         |         |         |          |          |          |
|----------------------|------------------------|----------------|------------|----------------|-------------|----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Type areal           | Areal i m <sup>2</sup> | % tette flater | Deltagende | Nedbør (mm/år) | Tap (mm/år) | Cd µg/l                                      | Cr µg/l | Cu µg/l | Hg µg/l | Ni µg/l | Pb µg/l | Zn µg/l | PAH µg/l | BaP µg/l | PCB µg/l |
| Sentrumsomr          | 540 000                | 80             | 0,9        | 2250           | 50          | 1                                            | 5       | 22      | 0,05    | 8,5     | 20      | 140     | 0,6      | 0,1      | 0,08     |
| Eneboligomr          | 45 000                 | 20             | 0,55       | 2250           | 50          | 0,5                                          | 4       | 20      | 0,02    | 6       | 10      | 80      | 0,6      | 0,05     | 0,08     |
| Boligrekkehusomr     | 161 000                | 40             | 0,6        | 2250           | 50          | 0,6                                          | 6       | 25      | 0,02    | 7       | 12      | 85      | 0,6      | 0,05     | 0,08     |
| Veger ÅDT 5000       | 7 250                  | 100            | 1          | 2250           | 50          | 0,31                                         | 9       | 30      | 0,08    | 6       | 8       | 97      | 0,32     | 0,02     | 0,08     |
| Veger ÅDT 5000-15000 | 40 000                 | 100            | 1          | 2250           | 50          | 0,345                                        | 11      | 38,5    | 0,08    | 8       | 12,5    | 164     | 0,52     | 0,025    | 0,08     |
| Veger ÅDT 15 000     | 3000                   | 100            | 1          | 2250           | 50          | 0,38                                         | 13      | 47      | 0,08    | 10      | 17      | 231     | 0,72     | 0,03     | 0,08     |

| Type areal           | Produsert per år fra tette flater (basert på sjablongverdier) |            |             |             |            |             |              |             |             |             |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|                      | Cd kg/år                                                      | Cr kg/år   | Cu kg/år    | Hg kg/år    | Ni kg/år   | Pb kg/år    | Zn kg/år     | PAH kg/år   | BaP kg/år   | PCB kg/år   |
| Sentrumsomr          | 0,855                                                         | 4,277      | 18,818      | 0,043       | 7,271      | 17,107      | 119,750      | 0,513       | 0,086       | 0,068       |
| Eneboligomr          | 0,005                                                         | 0,044      | 0,218       | 0,000       | 0,065      | 0,109       | 0,871        | 0,007       | 0,001       | 0,001       |
| Boligrekkehusomr     | 0,051                                                         | 0,510      | 2,125       | 0,002       | 0,595      | 1,020       | 7,226        | 0,051       | 0,004       | 0,007       |
| Veger ÅDT 5000       | 0,005                                                         | 0,144      | 0,479       | 0,001       | 0,096      | 0,128       | 1,547        | 0,005       | 0,000       | 0,001       |
| Veger ÅDT 5000-15000 | 0,030                                                         | 0,968      | 3,388       | 0,007       | 0,704      | 1,100       | 14,432       | 0,046       | 0,002       | 0,007       |
| Veger ÅDT 15 000     | 0,003                                                         | 0,172      | 0,620       | 0,001       | 0,132      | 0,224       | 3,049        | 0,010       | 0,000       | 0,001       |
| <b>Sum</b>           | <b>0,95</b>                                                   | <b>6,1</b> | <b>25,6</b> | <b>0,05</b> | <b>8,9</b> | <b>19,7</b> | <b>146,9</b> | <b>0,63</b> | <b>0,09</b> | <b>0,09</b> |

Det understrekes at estimatene vist i Tabell 28 gjelder for en situasjon der alt overvann fra tette flater i området rundt Vågen går "urenset" til Vågen, dvs. dersom overvannet ikke blir ført gjennom sandfangskummer eller eventuelle andre renseinstallasjoner.

Den reelle situasjonen rundt Vågen er at overvann i all hovedsak føres via gatesluk med sandfang og videre til ledningsnett. Per i dag føres deler av overvannet til utslipp i Vågen via separat overvannsnett og deler til avløpsrenseanlegg via et felles ledningsnett for spillvann og overvann. Fellesnettet har overløp til Vågen som trer i kraft ved nedbørshendelser som overskrider nettets kapasitet (Figur 46). Vågen mottar i dag ikke bidrag fra miljøgifter i overvannet som går til renseanlegget. Bergen kommune planlegger imidlertid rehabilitering av avløpssystemet, og da vil overvann og spillvann separeres. Dette vil medføre at mindre overvann blir ledet til renseanlegg og mer overvann vil bli sluppet ut i Vågen via flere lokale utslippspunkt. Mengde miljøgifter som slippes ut i Vågen etter rehabiliteringen kan dermed nærme seg estimatene over mengde miljøgifter produsert per år fra tette flater i området, - avhengig av i hvor stor grad sandfangskummer og andre lokale renseinstallasjoner lykkes i å redusere konsentrasjonene av miljøgifter i overvannet før utslipp til sjø. Sandfang fungerer som lokale renseanlegg for overvann og kan holde tilbake ca. 50 % av partikkelbundet forurensning forutsatt at de tømmes før de blir for fulle (Norsk Vann, 2021) (Stiftelsen VA-miljøblad, 2016). Disse utslippene vil dermed kunne reduseres betydelig gjennom god drift av sandfangene. For å sikre tilbakeholdelse av mest mulig partikkelbundet forurensning og hindre utspyling av sedimenter ved stor vannføring, må sandfangene ha dyp sedimentasjonsgrøp og tømmes når det er 50 cm vanddybde mellom sedimentoverflaten og utløpsrøret (Norsk Vann, 2021) (Stiftelsen VA-miljøblad, 2016). Bergen kommune, ved prosjektet Renere havn Bergen, gjennomførte i perioden 2021-2023 et pilotprosjekt som hadde som formål å bidra til redusert spredning av miljøgifter fra overvann til sjø gjennom å tilrettelegge for bedre drift og utnyttelse av rensepotensialet i eksisterende sandfang. Prosjektet ble gjennomført sammen med Bergen kommune, Vestland fylkeskommune, Statsforvalteren i Vestland og flere tømmeentreprenører. Resultatene fra pilotprosjektet viste et tydelig behov for en mer målrettet

sandfangstømming. Bergen kommune iverksatte på bakgrunn av dette flere tiltak for å bedre grunnlaget for god sandfangsdrift i kommunale veier (COWI, 2023a).

Det bør iverksettes tiltak som reduserer risikoen for rekontaminering så lenge disse er kostnadseffektive. Behovsprøvd tømming av sandfang er et enkelt og rimelig tiltak. Det må likevel påregnes at ikke alle kilder til rekontaminering kan stanses helt. Det langsiktige miljømålet tar høyde for at veiavrenning, rehabilitering av fasader og annen aktivitet over tid vil tilføre tiltaksområdet noe ny forurensning, men setter samtidig en grense for hva som er akseptabelt. Området må overvåkes etter tiltak for å følge med på eventuell rekontaminering og identifisere kilder.

### 5.8.5 Nærliggende forurensede sjøområder

Det er påvist risiko for spredning av forurensning fra sjøbunnen i Sandviken-området nord for Vågen (COWI, 2024c). Området ved Skuteviken (Skoltegrunnskaiaen – Kristiansholm) ligger nærmest Vågen og kan utgjøre en risiko for spredning av ny forurensning til Vågen etter opprydding (Figur).

Sjøbunnen er særlig forurenset av kvikksølv, kobber, PAH og TBT som er i tilstandsklasse IV-V og PCB som er i tilstandsklasse IV. Ved Skoltegrunnskaiaen og Bontelabo er det stor trafikk og hyppige anløp av store skip som gir potensiale for propellersjøl, men bunnsedimentene er hovedsakelig grovkornede og i fraksjon sand eller grovere. Dette vil begrense spredning av partikkelbundet forurensning fra dette delområdet. NIVA har vurdert strømforholdene i Vågen og konkludert med at netto strøm går ut mot Byfjorden når det er fjære sjø og innover i Vågen når det er flo sjø (NIVA, 2005). Både NIVA og STIM (STIM Miljø, 2020) mener at bunnstrømmen som følger topografien inn Vågen er relativt rolig, NIVA anslår 1-2 cm/s inn til terskelen i Vågen. Basert på dette er det generelt grunn til å tro at propelloppvirvlet materiale fra Skoltegrunnskaiaen-Bontelabo vil re-sedimentere relativt lokalt og i mindre grad være i suspensjon over lengre tid og ha potensiale til å transporteres med vannmassene over lengre strekninger inn i Vågen eller ut i Byfjorden.

Strekningen Skoltegrunnskaiaen - Kristiansholm er imidlertid utsatt for vind og bølgepåvirkning fra nordvest på grunn av at det er en lang åpen strekning over fjorden i den retningen. Skuteviken som ligger midt i dette området er særlig utsatt, og sedimentet her har mer finstoff som holdes lengre i suspensjon. Bølgene kan virvle opp sediment, og når de bryter, dannes bølgedrevne strømninger som kan transportere også tyngre partikler over større strekninger. En undersøkelse med sedimentfeller i Skuteviken samlet vesentlig mer sediment enn i andre sammenliknbare områder (COWI, 2024c). Ifølge bølgeteorien forventes det en bølgedrevet strømning fra Skuteviken til Vågen i dette området. Vinddrevet strømning forventes også i grunne områder fra Skuteviken til Vågen under nordvestlige vindhendelser.

Det kan bli aktuelt å gjennomføre målinger av strømninger, bølger (som kan virvle opp sediment) og sedimenttransport i dette området for å verifisere i hvilken grad partikkelbundet forurensning kan spres fra Skuteviken til Vågen og bidra til rekontaminering etter opprydding.



Figur 43 Kart over Vågen og delområder i Sandviken. Delområdene er avgrenset mot Byfjorden ved kote -20 m. Bratte areal og mindre forurensede områder mellom kote 0 og - 20 m er ikke inkludert i delområdene.

## 6 Tiltaksrettede undersøkelser

Denne tiltaksplanen har gitt en anbefalt løsning for tiltak mot forurenset sjøbunn, men den har ikke til hensikt å presentere en fullstendig detaljprosjektering. Ved en eventuell godkjenning av søknad for tiltak mot forurenset sjøbunn i Vågen, må detaljprosjektering utføres før gjennomføring av tiltak. I dette kapittelet beskrives diverse tiltaksrettede undersøkelser som er gjennomført eller må gjennomføres i detaljprosjekteringsfasen.

### 6.1 Marine kulturminner

Vågen er tett knyttet mot Middelalderbyen Bergen, og den er unik med hensyn til tetthet av marine kulturminner (Stiftelsen Bergens Sjøfartsmuseum, 2010). Tiltaket i Vågen skal foregå innenfor området til kulturminnet Vågen (kulturminne-ID 89237) som er vernet etter kulturminneloven §14 Skipsfunn, og området til det automatisk vernede kulturminnet Middelalderbyen Bergen (kulturminne-ID 89237). Det er ikke tidligere gjennomført sjøbunnstiltak av denne størrelsen i et område med så sterke marinarkeologiske interesser i Norge.

Renere Havn Bergen sendte inn søknad om dispensasjon etter kulturminneloven i 2022 og har fulgt opp søknaden med fortløpende dialog og supplerende notat (COWI, 2022a) (COWI, 2024a). I juli 2025 etterspurte Vestland Fylkeskommune ytterligere tilleggsinformasjon som ble besvart i september (COWI, 2025d). Som grunnlag for svar på forespørselen er det gjort geotekniske vurderinger av tildekkingens påvirkning på sjøbunnen (COWI, 2025b) og en marinarkeologisk vurdering av tildekkingens mulige effekt på kulturminner og kulturlag i Vågen (Norconsult, 2025).

Den geotekniske vurderingen konkluderer med at det planlagte tildekking- og erosjonslaget vil utgjøre en lav tilleggslast på sjøbunnen og være i intervallet 1,3-6 kN/m<sup>2</sup>. Beregnede setninger er generelt små, og setninger vil i all hovedsak foregå i den øverste delen av sjøbunnen. Forventede setninger som følge av tildekkingens tilleggslast er estimert til 0-11 mm i de store områdene av Vågen der sjøbunnen er relativt fast. Typisk vil over 80 % av setninger i dette området skje i den øverste 0-0,5 meter av sjøbunnen. I enkelte bløtere områder sentralt i Vågen, spesielt i fordypninger innenfor terskelen, kan det forekomme noe større setninger, anslagsvis ca. 60 mm, men i disse bløteste områdene vil 100 % av setningene forekomme i det øverste bløte laget, typisk mellom 0-1,8 m under sjøbunnen. Den dynamiske tilleggslasten som nedslaget til steinpartikler vil utøve på sjøbunnen i det tildekkingsmassene legges ut er beregnet til å ha innvirkning på de øvre 0-15 cm av sjøbunnen. Nedslaget til større stein som legges som erosjonssikring oppå tildekkingslaget vil bli dempet av tildekkingslaget som legges først, og utlegging av steinlaget vil derfor få minimal påvirkning på den opprinnelige sjøbunnen (COWI, 2025b).

Samlet konkluderer den marinarkeologiske fagrapporten med at den forventede påvirkningen på kulturminner og kulturlag er liten. Områdene som tidligere er vurdert til størst potensiale for middelalderske kulturlag, fra Bryggen i en bue inn mot Torget, ligger i fastere masser som vil få minst tilleggsbelastning. Løst gjenstandsmateriale liggende på sjøbunn og i øvre løsere lag av sjøbunnen vil få større påvirkning av tildekking, både i form av tilleggslast og mekanisk påvirkning. Dette vil imidlertid være gjenstandsmateriale som er løsrevet fra kontekst og ha mindre kildeverdi enn gjenstandsmateriale som er bedre bevart i kulturlagene dypere i sjøbunnen. Synlige vrak på sjøbunnen i Vågen må vurderes og tilpasses individuelt i forhold til tildekking. Rapporten påpeker også at tildekking kan være positivt for bevaringsforholdene (Norconsult, 2025).

I november 2025 fikk Renere havn Bergen dispensasjon fra kulturminneloven for å gjennomføre tiltakene i Vågen. Det er ulike forvaltningsstyresmakter som har myndighet for de to kulturminnekategoriene. Dispensasjon er innvilget av Vestland Fylkeskommune for kulturminnet Vågen (kulturminne-ID 89237) etter kulturminneloven § 14 og tilrådning fra Bergens Sjøfartsmuseum (Vestland fylkeskommune, 2025). Dispensasjon er også innvilget av Riksantikvaren for kulturminnet Middelalderbyen Bergen (kulturminne-ID 89237) etter kulturminneloven § 8 og tilrådning fra Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU) (Riksantikvaren, 2025a). Tillatelsene gjelder kun det omsøkte tiltaket og bortfaller dersom tiltaket ikke er iverksatt innen 3 år.

Kulturminnemyndighetene anerkjenner at miljøtiltaket har en høy samfunnsmessig verdi og i begrenset grad vil påvirke kulturmiljøet. Bare en begrenset del av Vågen er kartlagt arkeologisk, men tidligere undersøkelser har vist at kunnskapspotensialet er stort. Tildekking kan ha en positiv beskyttende innvirkning på kulturlagene, men vil gjøre kulturminnene lite tilgjengelige i lang tid. Dispensasjonsvedtakene stiller derfor som vilkår for tillatelsene at det gjennomføres arkeologiske undersøkelser før anleggsarbeidet starter. Undersøkelsene skal utføres av Bergens Sjøfartsmuseum og NIKU. Riksantikvaren har vedtatt plan og budsjett for disse undersøkelsene etter kulturminneloven § 10 (Riksantikvaren, 2025b).

Dispensasjonene fra Vestland Fylkeskommune og Riksantikvaren er gitt med følgende vilkår:

- **Marinarkeologisk undersøkelse utføres av Bergens Sjøfartsmuseum**

Før anleggsstart skal Bergens Sjøfartsmuseum gjennomføre en marinarkeologisk undersøkelse i Vågen. Plan og budsjett for utgravingen er utarbeidet av Bergens Sjøfartsmuseum (Bergens Sjøfartsmuseum, 2025). Prosjektplanen omfatter forarbeid, feltarbeid, etterarbeid, formidling og håndtering av forurenset sediment. Feltarbeidet er planlagt gjennomført i løpet av 21 uker i vinterhalvåret. Det skal utføres inspeksjonsdykk med innsamling av løsfunn i utvalgte områder samt inspeksjon av en formasjon sørøst for Holbergskaiaen der en tidligere undersøkelse har antydnet at det kan ligge et vrak. Videre skal det foregå utgraving i 5 sjakter ned til steril bunn og uttak av 7 kjerneprøver i område ved sjaktene. Kjernene skal benyttes til pollen- og markofossilanalyser samt datering og zooarkeologiske analyser (sistnevnte utføres av NIKU). Lokalisering av sjaktene er vist i Figur 44. Sjaktene skal ha bunnareal 3 x 5 m og utgjør til sammen utgraving av ca. 650 m<sup>3</sup> sjøbunn. Utgravingen skal gjøres med ejektorsug. Dykkerarbeidet planlegges dels utført av yrkesdykkere og dels av marinarkeologer. Sedimentet skal gjennomgås av marinarkeologer i to parallelle sålde-kr på en arbeidsflåte. Gjenstander skal videre håndteres og grovsorteres på land før transport til Universitetsmuseet i Bergen og Bergens Sjøfartsmuseum for konservering, katalogisering, magasinerings og registrering. Det er budsjettert med noe formidling underveis. Blant annet vil det være en formidler tilstede ved utgravingen i noen timer i uken for å ha dialog med publikum på stedet. Museet vil også holde populærvitenskapelige foredrag. Løpende oppdatering om prosjektet skal deles via museets kanaler i sosiale medier. Det skal utarbeides en utgravingsrapport fra arbeidet.

- **Arkeologisk arbeid i tilknytning til Middelalderbyen Bergen skal utføres av NIKU**

Plan og budsjett for arbeidet er utarbeidet av NIKU (Norsk institutt for kulturminneforskning, 2025). NIKU skal delta med en person under feltperioden til den marinarkeologiske undersøkelsen som ledes av Bergens Sjøfartsmuseum. NIKU sitt arbeid består av å fortløpende vurdere lag og kontekst, skille ut gjenstandsfunn tilknyttet Middelalderbyen Bergen og videre håndtere og katalogisere gjenstandsmaterialet fra middelalderen i henhold til krav fra Universitetsmuseet i Bergen. NIKU skal også gjennomgå alt dyrebeinsmateriale fra utgravingen og utføre zooarkeologiske analyser av utvalgte prøver. NIKU skal ta ut prøver fra de sju kjerneboringene for datering og kartlegging av kulturlagenes bevaringsforhold. Det skal utarbeides en arkeologisk rapport fra arbeidet.

- **Tiltakshaver skal koste de arkeologiske undersøkelserne.**
- **Ev. nye skipsfunn.** Dersom det blir gjort nye skipsfunn som omfattes av kulturminneloven §14 (eldre enn 100 år) må det fattes nye dispensasjonsvedtak med egne prosjektbeskrivelser og egne budsjett for ev. arkeologiske undersøkelser.
- **Ev. funn av andre kulturminner** enn de tillatelsen gjelder for, eller kulturminner som på grunn av det omsøkte tiltaket ikke kan bevares i et langtidsperspektiv, og arbeidet ikke kan fullføres uten direkte inngrep i disse, skal arbeidet stanses og det må tas kontakt med Riksantikvaren. Tiltakshaver plikter i så fall å dekke ev. kostnader til arkeologisk gransking av automatisk fredede kulturminner.
- **Praktiske avklaringer.** Bergen kommune skal sørge for avklaring av eventuelle praktiske forhold av betydning for gjennomføring av det arkeologiske feltarbeidet med Bergens Sjøfartsmuseum
- **Ferdigmelding fra Bergens Sjøfartsmuseum.** Tiltakene kan ikke gjennomføres før det er mottatt ferdigmelding fra Bergens Sjøfartsmuseum via Vestland Fylkeskommune.
- **Marinarkeologisk overvåking ved mudring.** Bergens Sjøfartsmuseum skal overvåke under gjennomføring av mudring. Omfanget av overvåkingen må avklares nærmere.
- **Eventuelle endringer.** Ev. mindre endringer/avvik fra omsøkte plan må avklares med kulturminnemyndighet. Større endringer krever ny skriftlig søknad.



Figur 44 Lokalisering av sjakter som skal graves ut i forbindelse med den marinarkeologiske granskingen i Vågen (Bergens Sjøfartsmuseum, 2025).

Det forventes derfor at det vil bli behov for ytterligere avklaringer og dialog med kulturminnemyndighetene fram mot tiltaksgjennomføring.

Sjaktene som skal graves ut i forbindelse med den marinarkeologiske undersøkelsen ligger i et område med svært forurenset sjøbunn, og arbeidet vil kreve tillatelse etter Forurensningsloven. Renere Havn Bergen skal bistå Sjøfartsmuseet med miljørelaterte vurderinger av massehåndtering og utarbeiding av søknad til Statsforvalteren.

Bergen kommune vil være formell byggherre for den arkeologiske undersøkelsen og vil i den sammenheng ha et overordnet SHA-ansvar. I de videre forberedelsene til den marinarkeologiske undersøkelsen vil det bli avklart om det er behov for at kommunen også bidrar med en byggeleder og eventuell miljøoppfølging under gjennomføringen av utgravingen.

## 6.2 Ledninger

En oversikt over VA-ledninger i tiltaksområdet er vist i Figur 46. Datasettet er innhentet fra Bergen Vann 21.11.24 og supplert med kjente private ledninger.

Alle ledninger ble filmet av dykker i april 2025. Inspeksjonen omfattet til sammen 33 avløpsledninger og/eller utslipp nært kaifront (overvann, spillvann, fellesledninger) og ett kjølevannsinntak som går til Mathallen (Figur 45). Det er ikke registrert drikkevannsledninger på sjøbunnen i Vågen. De fleste ledninger og utløp ble gjenfunnet av dykker i felt, men tre inspeksjonspunkt ble ikke funnet. Dykkerne registrerte i tillegg 10 ledninger/utløp som ikke lå inne i datasettet fra før. Alle ledninger og utløp ble filmet og beskrevet med hensyn til utforming og eventuelle skade eller mangler. Dykker målte også avstand mellom sjøbunn og utløp/inntak (IMC Diving, 2025).

Ledninger som ligger på sjøbunnen i tiltaksområdet må hensyntas ved tildekking. Enkelte utløp er mindre enn 60 cm over sjøbunnen. Disse kan bli påvirket og må sikres fri åpning over framtidig sjøbunn. Inspeksjonen viste også at mange av avløp- og overvannsledningene har utslipp høyt oppe i murt kaifront, og disse vil ikke bli berørt av de planlagte tiltakene mot forurenset sjøbunn.

Basert på dykkerinspeksjonen er det identifisert åtte ledninger på sjøbunnen, sju utløp i kaifront nært sjøbunnen og ett kjølevannsinntak som kan bli påvirket av tildekkingstiltaket (Tabell 29). De fleste ledningene er kommunale overvann- og avløpsledninger som forvaltes av Bergen Vann og som må beholdes. Ledninger i tilknytning til Mathallen forvaltes av Etat for Bygg og Eiendom, og det er opplyst at kjølevannsinntaket er i drift. I tillegg er det en privat overvannsledning og en privat pumpeledning for spillvann som kan bli berørt.

Dykkerinspeksjonen avdekket at flere av ledningene har dårlig tilstand i dag, og enkelte utslippspunkt er helt eller delvis tettet igjen av masser. Bergen Vann har opplyst at de vil vurdere å gjennomføre eventuelle reparasjoner/utskiftninger før eller samtidig med sjøbunnstiltakene i Vågen.

Basert på informasjonen fra dykkerundersøkelsen og ledningseierne er det gjennomført en VA-faglig vurdering av hvilke beskyttelsestiltak som kan gjennomføres slik at ledningene opprettholder sin funksjon både under og etter tiltaket mot forurenset sjøbunn i Vågen (COWI, 2025c). Aktuelle tekniske løsninger er tilpasset hver enkelt av de aktuelle ledningene sin funksjon og må detaljeres videre i dialog med ledningseierne i detaljprosjekteringsfasen for tiltaket i Vågen.



Figur 45 Kjølevannsinntaket til Mathallen ved Torget innerst i Vågen (Q2 i Figur 46).

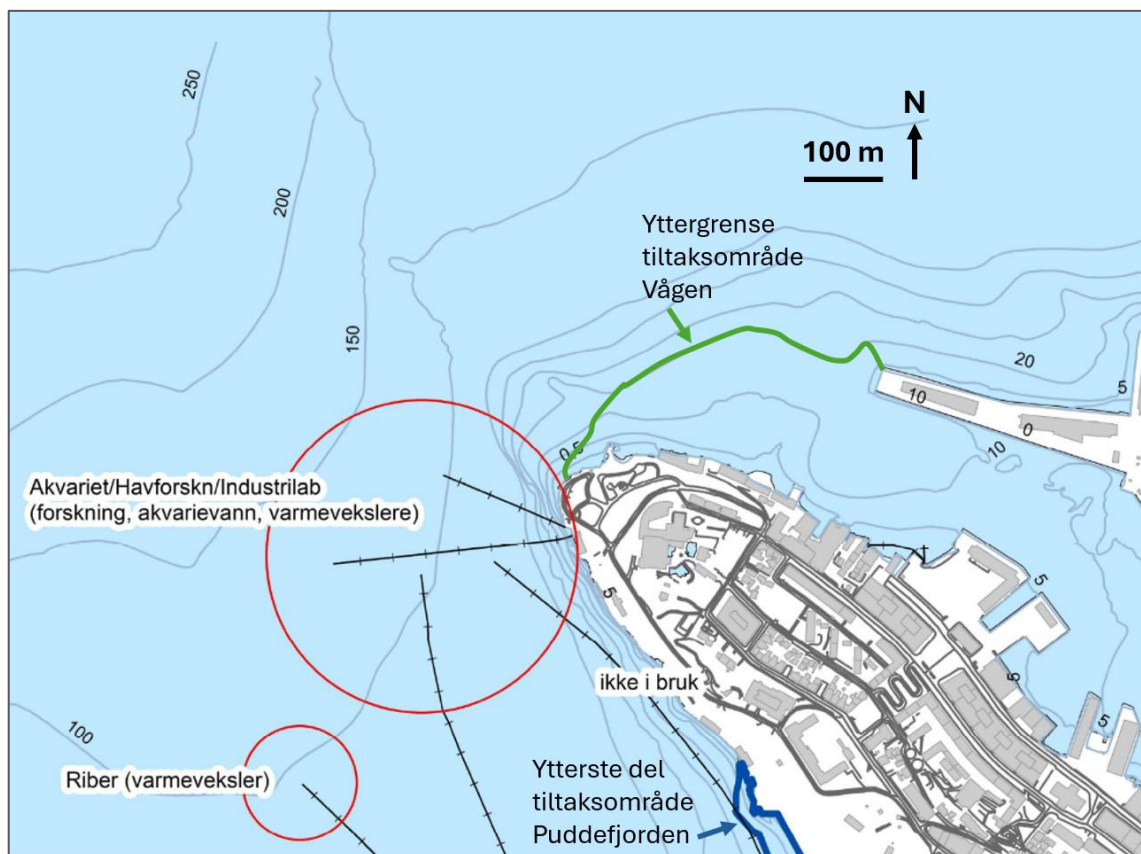
Tabell 29 Oversikt over identifiserte ledninger og utløp nært kaifront som kan bli berørt av sjøbunnstiltakene i Vågen. Lokalisering av ledninger og utløp er vist i Figur 46.

| ID  | Type                                 | Beskrivelse                      | Eier                     | Merknad                                                               |
|-----|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| A   | Overvann                             | Ledning på sjøbunn               | Privat                   |                                                                       |
| B   | Overløp spillvann                    | Ledning på sjøbunn               | Bergen Vann              |                                                                       |
| C   | Pumpeledning spillvann               | Ledning på sjøbunn               | Bergen Vann              |                                                                       |
| C2  | Overvann                             | Utløp ved kaifront, nært sjøbunn | Bergen Vann              |                                                                       |
| D   | Overløp avløp felles                 | Ledning på sjøbunn               | Bergen Vann              |                                                                       |
| H   | Pumpeledning spillvann               | Ledning på sjøbunn               | Privat                   |                                                                       |
| J   | Overløp avløp felles                 | Ledning på sjøbunn               | Bergen Vann              |                                                                       |
| K   | Overvann                             | Utløp ved kaifront, nært sjøbunn | Bergen Vann              | Ikke funnet ved dykkerinspeksjon                                      |
| L   | Overløp avløp felles                 | Ledning på sjøbunn               | Bergen Vann              |                                                                       |
| P   | Overvann                             | Utløp ved kaifront, nært sjøbunn | Etat for Bygg og Eiendom | Mathallen. Ikke funnet ved dykkerinspeksjon                           |
| Q   | Overvann                             | Utløp ved kaifront, nært sjøbunn | Etat for Bygg og Eiendom | Mathallen. Ikke funnet ved dykkerinspeksjon                           |
| Q2  | Sjøvannsinntak                       | Ledning på sjøbunn               | Etat for Bygg og Eiendom | Mathallen. Inntak kjølevann                                           |
| R   | Overløp avløp felles                 | Utløp ved kaifront, nært sjøbunn | Bergen Vann              |                                                                       |
| S   | Overløp avløp felles                 | Utløp ved kaifront, nært sjøbunn | Bergen Vann              |                                                                       |
| S2* | Ukjent. Antatt overløp avløp felles. | Utløp ved kaifront, nært sjøbunn |                          | Observerte av dykker. Utløp nært pkt. S. Ikke markert i ledningskart. |
| W   | Overløp avløp felles                 | Ledning på sjøbunn               | Bergen Vann              |                                                                       |



**Figur 46** Oversikt over ledninger i tiltaksområdet. Ledningsdata er innhentet fra Bergen Vann 21.11.24. Ledninger/utslipp/vanninntak som kan bli berørt av tildekkingstiltaket i Vågen er markert med lilla sirkler.

Akvariat, Havforskningsinstituttet og Høyteknologisenteret har 8 vanninntak i Puddefjorden vest for Nordnespynten. Der er fire inntak på 50 m dybde, ett inntak på 100 m dybde og tre inntak på 120 m dybde (Figur 47). Vanninntakene ligger fra ca. 130 til 320 m fra yttergrensen til tiltaksområdet i Vågen. Sjøvannsinntakene er ikke tilkoblet noen form for filter og er derfor sårbare for store mengder partikler. Det finnes også flere vanninntak lenger inne i Puddefjorden.



Figur 47 Oversikt over vanninntak i Puddefjorden vest for tiltaksområdet i Vågen (bakgrunnskart fra DNV GL, 2016).

Før tiltaket mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden i 2017 gjennomførte DNV GL en vurdering av hvordan sjøvannsinntakene i Puddefjorden skulle ivaretas under tiltaket (DNV GL, 2016). Aktuelle avbøtende tiltak som ble anbefalt var å planlegge tildekkingen slik at tidevannsstrømmen fører partikler vekk fra inntaket, gjennomføre prøvetildekking for å studere partikkelspredningsmønsteret, benytte kontinuerlige turbiditetsmålere under utlegging som kan fange opp spredning i vannsøylen, ta vannprøver ved alle inntak før og under tildekking, benytte siltgardin for å beskytte inntaket mot partikler og undersøke med eier om inntaket ev. kan tas ut av bruk for en kort periode.

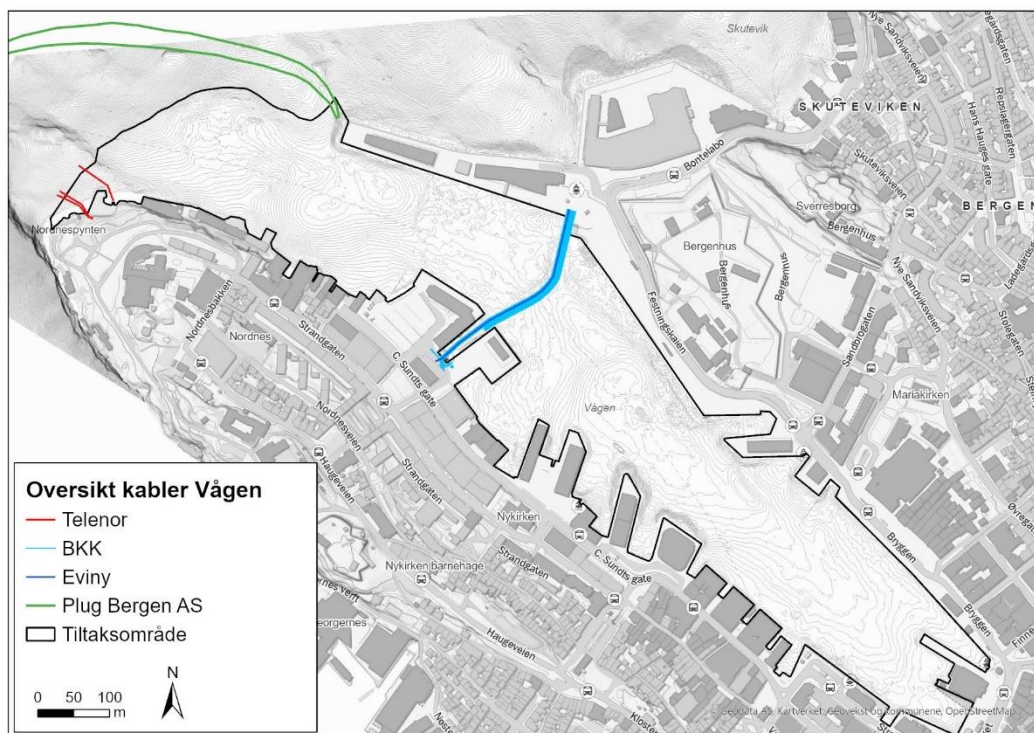
Under tildekking av sjøbunnen i Puddefjorden ble det plassert ut turbiditetsloggere mellom den ytterste delen av tiltaksområdet i Puddefjorden (Figur 47) og de sårbare vanninntakene til Akvariet, Havforskningsinstituttet og Høyteknologisenteret for å følge med på spredningen av partikler (COWI, 2019c). For å redusere mengden partikler som kunne spres ut til sjøvannsinntakene, ble tildekkingen utført på innadgående strøm. Siden finstoffet i TBM-massene som ble brukt i tildekkingen holdt seg lenge i suspensjon, ble partikler likevel spredt utover mot vanninntakene når strømmen snudde. Som følge av at hovedstrømmen presser vannet mot Nordnes og deretter utover i Byfjorden, sedimenterte imidlertid ikke partiklene i området der vanninntakene er plassert. Partiklene holdt seg i vannsøylen fra 0 til 20 m dypde når de passerte Nordnes, dvs. et godt stykke over vanninntakene, og sedimenterte sannsynligvis lenger ute i Byfjorden (COWI, 2019c).

Under tiltaket i Vågen skal det rettes spesiell oppmerksomhet mot vanninntakene vest for Nordnes og inntaket til Mathallen ved Torget. Det skal gjøres spredningsmålinger i startfasen av tildekkingsarbeidet for å samle erfaring vedrørende spredning av partikler ved innadgående og utadgående strøm. Turbiditetsloggere med alarm må settes ut for å overvåke vannkvaliteten ved inntakene mens anleggsarbeid pågår. Når anleggsperioden er fastsatt, må ledningseier kontaktes for å avklare om

sjøvannsinntaket må være i drift og bekrefte kontaktinformasjon og varslingsbehov. Overvåkingstiltak tilpasses disse opplysningene og erfaringer fra anleggsdriften. Grenseverdi for partikkelinnhold avhenger av hva sjøvannet brukes til og defineres før arbeidet starter opp. Grenseverdi og varslingsliste innarbeides i beredskapsplanen for anleggsarbeidet.

### 6.3 Kabler

I Vågen finnes det kabler tilhørende Telenor, Plug Bergen AS og BKK/Eviny. Kabeltraseene er vist i Figur 48. Prosjektet har fremskaffet informasjon fra kabeleierne om hvorvidt kablene er i bruk, om de ligger beskyttet på sjøbunnen og om de kan tildekkes med prosjektert tildekkingsstykkelse.



Figur 48 Oversikt over kabler i Vågen

Telenor har tre sjøkabler som går ut fra Nordnespynten (Figur 48). Kablene er ikke i bruk i dag. Telenor opplyser om at det ikke er aktuelt å ta kablene i bruk igjen og at de kan tildekkes med prosjektert tildekkingsstykkelse (Telenor, 2025).

Plug Bergen AS har kabler som går ut fra ytterste del av Skoltegrunnskaaien (Figur 48). De første 15 meterne ut fra kaaien er kablene beskyttet med PE rør. Plug Bergen opplyser om at det kan være mulig å tildekke kablene med 40-60 cm masse, men at det vil være krav til massene i form av at de ikke kan inneholde store steiner (Plug Bergen AS, 2025). Kablene kan evt. dekkles med betongmatter før tildekkingsmassene legges ut. Før arbeidene igangsettes må det utføres en risikovurdering på om kablene må være spenningsløse når arbeidene utføres. Prosjektet kontakter Plug Bergen igjen når det er avklart hvilke typer tildekkingsmasser som skal benyttes.

BKK har kabler i en trasé mellom Tollbodkaaien og Festningskaaien/Skoltegrunnskaaien (Figur 48). I den samme traséen ligger det en kabel fra Eviny. Kablene er beskyttet med rør og er senket noe ned i

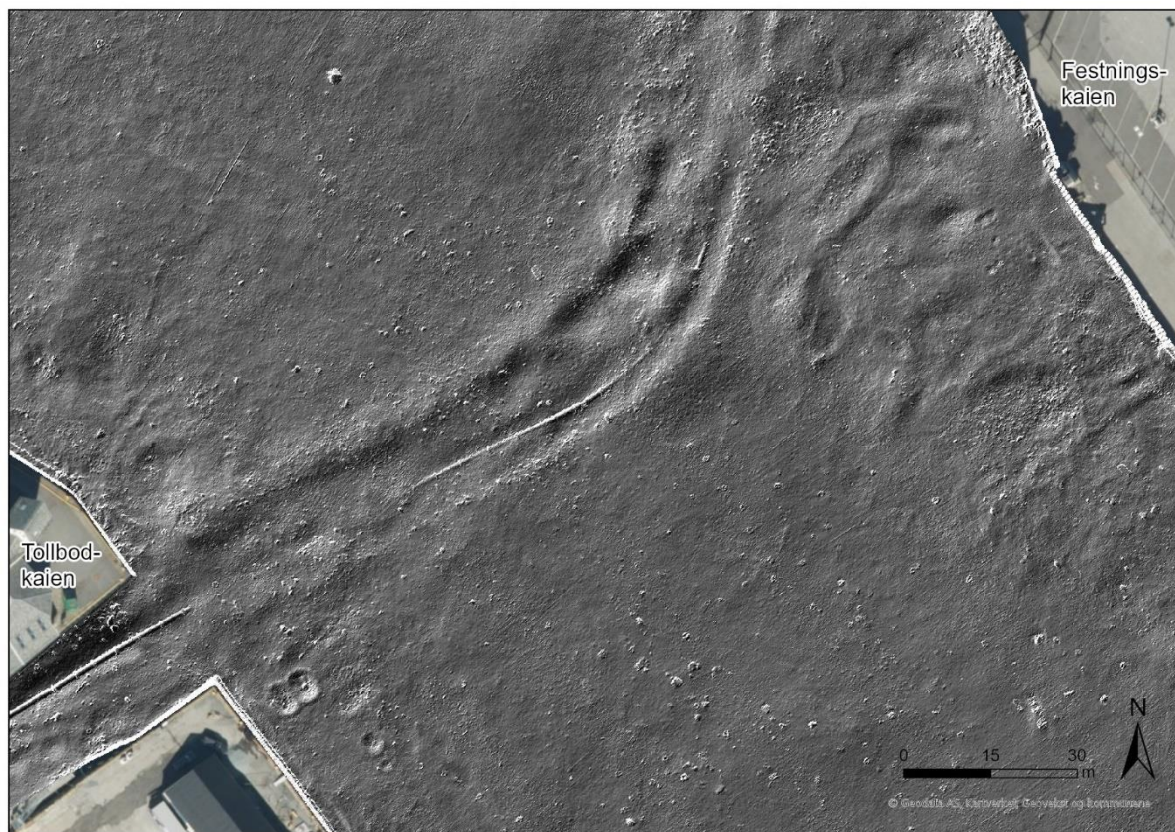
sjøbunnen. Traséen ble etablert i 2018. Det kan være mulig å tildekke kablene, men det må særlig gjøres en vurdering av belastningen på landtakene (BKK, 2025). Prosjektet kontakter BKK/Eviny når det er avklart hvilke typer tildekkingsmasser som skal benyttes.

## 6.4 Dybdekartlegging

I forbindelse med den marinarkeologiske undersøkelsen i 2009-2010, ble det gjennomført en heldekkende dybdekartlegging i Vågen med multistråleekkolodd. I 2016 gjennomførte Kystverket en ny heldekkende dybdekartlegging i Vågen, mens de i 2018 kartla dybdene i et begrenset areal langs Skolten, Festningskaaien og Bryggen.

I 2025 har Nearshore Survey AS i regi av Renere Havn Bergen prosjektet utført en ny, heldekkende dybdekartlegging i Vågen (Nearshore Survey AS, 2025). Kartleggingen er utført med et Kongsberg EM2040C multistråle-ekkolodd som opererer innenfor frekvensområdet 200-400 kHz. Innmåling på oppmålingsfartøyet og kalibrering er gjort iht. produsenten og Kartverkets spesifikasjoner. Med dual-head-konfigurasjon ombord på kartleggingsfartøyet registreres 800 målepunkt for hvert ping, hvilket gir mange tusen målepunkt per sekund og datatetthet på 10x10 cm for Vågen.

I tillegg til sjøbunnsdybder, gir dybdekartleggingen informasjon om overflatestrukturer i tiltaksområdet. Figur 49 viser et skyggerelieffkart over området mellom Tollbodkaaien og Festningskaaien. Utsnittet viser blant annet BKKs kabelgrøft, type overflatemasser, mulige erosjonsspor, etc. Dette er svært nyttig informasjon som grunnlag for detaljeringen av tiltaket.



**Figur 49** Skyggerelieffkart basert på sjøbunnskartlegging utført i 2025 av Nearshore Survey, 2025. Utsnittet viser blant annet BKKs kabelgrøft, type overflatemasser, mulige erosjonsspor, etc.

## 6.5 Kartlegging av sjøbunnen ved Ballastbryggen

I den ytre delen av tiltaksområdet, på Nordnespynten ved innseilingen til Vågen, finnes et friluftsområde som Bergen kommune har tilrettelagt med badevik og en rehabilitert brygge kalt Ballastbryggen med rampe for universell tilkomst (Figur 50). Stranden er dekket med grov grus, og vest og øst for badeviken er strandsonen dominert av svaberg og/eller store steiner.

Helningskart basert på dybdedata fra 2016 viser noen svært bratte sjøområder rundt Ballastbryggen og et stykke utenfor bryggen (røde områder i Figur 51). Dybdedatasettet dekker ikke den grunne strandsonen, så det finnes ikke helningsdata for dette området. I 2024 ble det tatt prøver av finstoff fra sjøbunnen ca. 10-15 m utenfor Ballastbryggen (prøve BK i Tabell 14). Analyseresultatene viste relativt lave konsentrasjoner av metaller, PCB og TBT, mens det ble påvist flere PAH-forbindelser i tilstandsklasse IV og V.

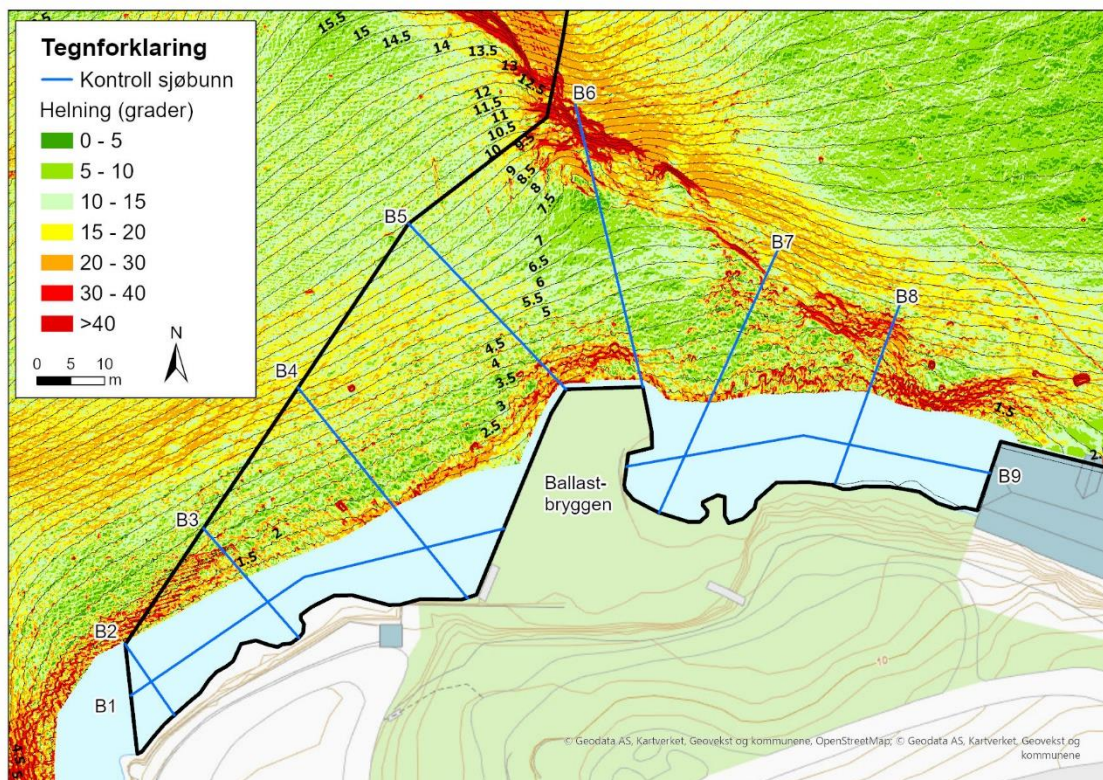
Våren 2025 ble det gjennomført filming av sjøbunnen rundt Ballastbryggen for å fremskaffe mer informasjon om strandsonen. Filmingen ble utført av IMC Diving i trasekter som vist i Figur 51. Sjøbunnen ble beskrevet med tanke på finstoffinnhold og helningsgrad for å avgrense områdene der det er behov for å gjøre tiltak mot forurensset sjøbunn.

Kartleggingen av sjøbunnen viste at det ikke er nødvendig å gjennomføre tiltak i strandsonen siden den består av berg eller grovkornede masser som forurensning ikke binder seg til. Fra stranden i badeviken og utover er det lagt et lag av stein/pukk, og sjøbunnen rundt Ballastbryggen er dekket av stein på alle kanter. På pynten helt vest i området, ble det registrert mye tang og tare som vokser på steingrunn (ved transekt B2 i Figur 51). Lenger ute fra land (grønne områder i Figur 51) er sjøbunnen flatere og består av mer finstoff. I de bratte områdene et stykke nord og nordøst for Ballastbryggen (røde områder i Figur 51) ble det registrert eksponert fjellgrunn.

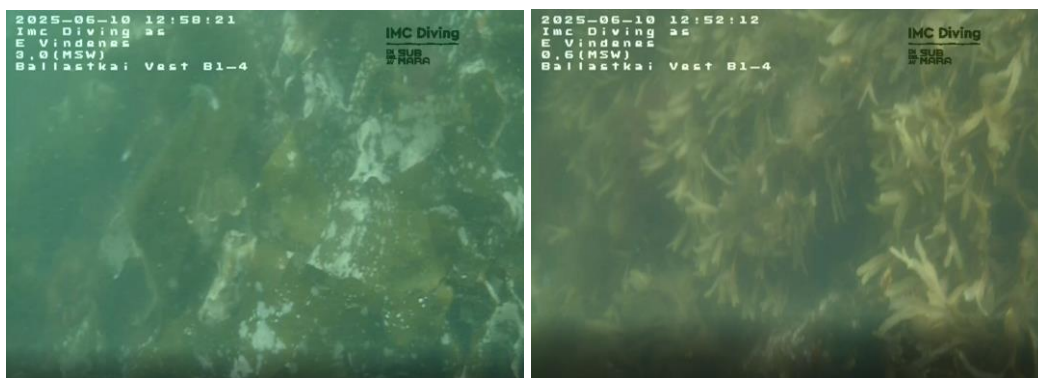
Informasjonen fra kartleggingen av sjøbunnen i området ble benyttet som input til tiltaksløsningen som er presentert i avsnitt 5.4 og Figur 39. Det anbefales å tildekke de flatere, grønne områdene i Figur 51 der det er registrert en del finstoff som inneholder forurensning. Det anbefales ikke å gjøre tiltak i strandsonen siden massene der er grovkornede. Dette medfører også at områder med tang og tare i strandsonen blir bevart. De svært bratte områdene nord og nordøst for Ballastbryggen der det ble registrert eksponert fjellgrunn trenger i utgangspunktet ikke tildekking. Men siden områdene med eksponert fjellgrunn er svært avgrenset, er det praktisk sett enklere å inkludere disse i tildekkingsområdet.



Figur 50 Badeplassen ved Ballastbryggen ytterst på Nordnes (Foto: Bergen kommune).



Figur 51 Film-traséer ved Ballastbryggen. Ytterkanten av tiltaksområdet er vist med svart linje. Dybdeedata/helningskart dekker ikke den grunne strandsonen (blått areal).



Figur 52 Bilder av tang og tare over steingrunn nordvest i tiltaksområdet (ved transekt B2 i Figur 51).



Figur 53 Bilder av badeviken med grov grus på stranden og stein/pukk på sjøbunnen utenfor stranden (innerste del av transekt B7 i Figur 51).

## 6.6 Kartlegging av skrot

Som del av tiltaket mot forurenset sjøbunn i Vågen planlegges det skrotrydding i forkant av mudring og tildekking. Formålet med skrotryddingen er å fjerne objekter som potensielt kan forårsake spredning av forurensning i fremtiden, samt objekter som kan penetrere tildekkingslaget. I tillegg vil skrotrydding ha en bevisstgjørende effekt på befolkningen ved å synliggjøre hva som er blitt kastet på sjøbunnen. Under tiltakene mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden og Store Lungegårdsvannet ble store mengder dekk, metallskrot (f.eks. sykler, motorer), plastavfall (trafikk-kjegler, hagemøbler, presenninger), elektrisk avfall (batterier) og betonggjenstander (fortøynings- og rørlednings-lodd) hentet opp fra sjøbunnen ved hjelp av dykkere eller spesialbygd undervanns verktøybærer med gripeverktøy og kamera. Skoleklasser og media ble invitert på befarings til riggområdet der skrotet ble mellomlagret.

De marinarkeologiske undersøkelsene i Vågen har påvist en god del løse kulturminner i sjøbunns-overflaten, særlig fragmenter av keramikk og kritt-piper. Disse kulturminnene vil i all hovedsak være mindre enn objektene som hentes opp som del av en skrotrydding (jf. skrotet som ble hentet opp fra Store Lungegårdsvannet og Puddefjorden). Under skrotryddingen i Vågen vil det også være anledning for marinarkeolog å være til stede for å vurdere objektene som ryddes. Både dykkere og spesialbygde undervannsverktøy for skrotrydding benytter kamera som man kan følge med på underveis, og objektene som hentes opp vil bli vasket på prosjektets riggområde der de kan vurderes nærmere.

Skrotfjerning inkluderes vanligvis som post i anbudsdokumentene for et oppryddingstiltak, og det er derfor viktig å skaffe en viss oversikt over skrot i tiltaksområdet før utarbeidelsen av anbudsdokumentene. Hovedkartleggingen av skrot kan imidlertid ikke gjøres for lang tid i forkant av tiltaket da mengden skrot på sjøbunnen kan forandre seg over tid. I havneområdet gjennomfører Bergen Havn kartlegging av skrot langs kaier en gang i året med ROV, og de fjerner en del større objekter som bildekk, el-sparkesykler, etc. COWI deltok på en slik kartleggingsrunde i januar 2021 for å få informasjon om kaifronter og sjøbunnen foran kaier, samt forekomst av skrot på sjøbunnen. Bilder fra ROV-opptakene er vist i Figur 54. En lokal dykkerklubb bidrar i egen regi også til fjerning av skrot i Vågen, særlig i den indre delen av Vågen. I dette området finnes det særlig mange bokser som blir kastet på sjøen fra land eller småbåter. Objekter på sjøbunnen kan kartlegges med forskjellige metoder som blant annet multistråleekkolodd (større objekter vises i skyggerelieffkart) og undervannsfilmning med ROV eller dykker.



**Figur 54** Bilder fra ROV undersøkelse utført av Bergen Havn langs kaifronter i Vågen i januar 2021. Filming påviste en del større objekter som handlevogner, sparkesykler, bildekk, etc. I området mellom Bryggen og Torgutstikkeren ble det påvist et område der det har samlet seg særlig mange bokser som er kastet på sjøen fra land eller småbåter.

## 6.7 Geoteknisk stabilitet

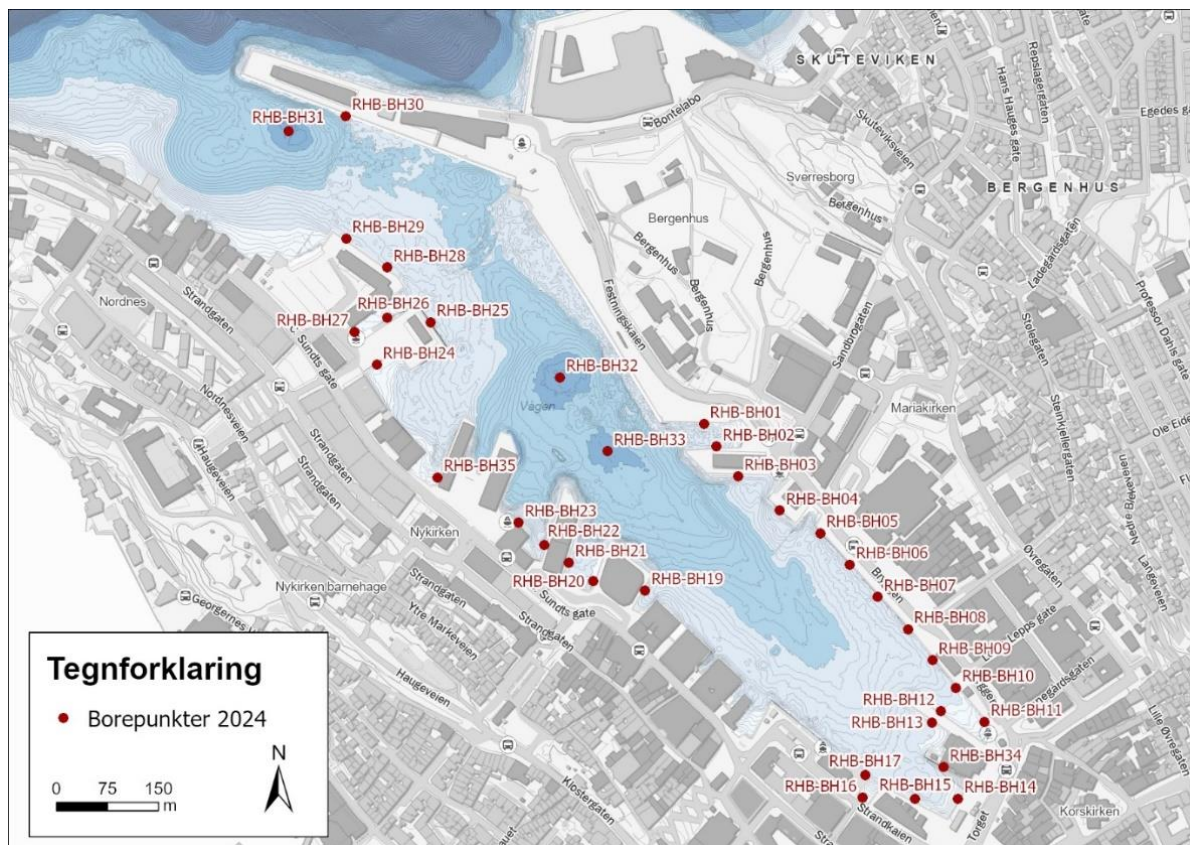
Renere Havn Bergen gjennomførte geotekniske grunnundersøkelser i Vågen i 2024 (COWI, 2024e). Feltarbeidet omfattet 34 totalsonderinger og opptak av 10 prøveserier (Figur 55). I tillegg ble det gjort innmålinger av kaiene der det var gjennomført totalsonderinger. Basert på resultatene fra de geotekniske grunnundersøkelsene sammen med relevant informasjon fra databaser/arkiv og tidligere grunnundersøkelser ble det utført geotekniske vurderinger av stabilitet av murkaier og pelekaier ved mudring, samt vurderinger av sjøbunnsstabilitet i havnebassenget ved mudring og tildekking (COWI, 2024f).

Vurderingene viste at sikkerhet mot undervannsskred er tilfredsstillende for mudring og tildekking i de sentrale delene av havnebassenget (COWI, 2024f). Eventuell mudring bør utføres fra skråningstopp til skråningsbunn, mens tildekking bør gjøres fra bunn til topp av skråning.

Vurderingene rundt pelekaier konkluderte med at påhengskreftene per pel ved tildekking vil bli svært beskjedne og at tildekking rundt pelene kan gjennomføres (COWI, 2024f). Ved mudring av faste masser rundt pelene risikerer man å forringe horisontal kapasitet og stivhet til kaianlegget. Finkornede masser kan mudres fra disse områdene, men mudring av kornstørrelser over 5 cm bør begrenses.

Vurderingene viste at stabiliteten vil være anstrengt ved eventuell mudring nær mange av murkaiene i Vågen. Informasjonen som foreligger indikerer at det finnes steinblokker foran og under murfot som er helt avgjørende for murens stabilitet, og disse må ikke flyttes på under mudring. Ved eventuell mudring nær murkaier (3-5 m) anbefales det sugemudring som metode.

De geotekniske stabilitetsvurderingene ble benyttet som input til oppdatering av tiltaksløsningen (oppdatert tiltaksløsning er presentert i kapittel 5.4).



Figur 55 Lokalteter for geotekniske grunnundersøkelser i Vågen utført av Renere Havn Bergen i 2024 (fra COWI, 2024f).

## 6.8 Tildekkingsmasser

Som del av detaljprosjekteringen bør man vurdere om det finnes masser i lokalområdet som kan være egnet til bruk som tildekkingslag og som er tilgjengelig i perioden tiltaket skal utføres. Massene som skal benyttes i tildekkingslaget må tilfredsstille kravene gitt i veileder M-411/2015 (Miljødirektoratet, 2015d) med hensyn på blant annet kjemisk innhold og kornfordeling, samt andre krav som eventuelt vil bli beskrevet i detaljprosjekteringen.

## 6.9 Sannsynlighet for å finne eksplosiver (UXO)

Ubåtbunkeren på Laksevåg ved Puddefjorden i Bergen ble bombet under krigen. I dette området ble det gjennomført kartlegging av UXO (udetonerte bomber) på sjøbunnen før gjennomføringen av tiltaket mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden. Det er mindre sjanse for å finne UXO i Vågen, og det ble ikke påvist mistenkelige objekter i forbindelse med de relativt omfattende undersøkelsene av sjøbunnen som ble gjennomført som del av den marinarkeologiske undersøkelsen i 2009-2010. Det ble likevel valgt å utføre en UXO-kartlegging i 2025 i Vågen med samme metode som ble brukt i Puddefjorden.

UXO-undersøkelsen i Vågen ble utført av Nearshore Survey AS ved hjelp av en kombinasjon av magnetometerdata, multistråledata og sub-bottom data (sub-bottom data fra 2009, men endring antas å være minimal). For innsamling av magnetometerdata ble det benyttet to Geometrics G882 marine magnetometere, rigget i gradiometerkonfigurasjon, for på den måten lettere kunne registrere mindre

anomalier i områder med sterkt dominerende bakgrunnsfelt. Instrumentene blir montert i en ramme som taues etter fartøyet og posisjoneres ved hjelp av akustisk undervannsnavigasjonssystem (Figur 56). Undersøkelsene vil ikke direkte kunne klassifisere eventuelle funn, men påvise «high-spots» i det dominerende magnetfeltet og derved påvise sammenheng mellom objekter på sjøbunnen, synlig i multistråledata samt registreringer fra tidligere gjennomførte sub-bottom undersøkelser (2009). Relevante funn ble deretter undersøkt med ROV med LED-lys, HD-kamera og metalldetektor.

Det kan ikke ligge fartøy i nærheten når man utfører magnetometer undersøkelser. På grunn av utfordringer relatert til flytting av veteranbåter som har fast plass i Vågen, ble magnetometer undersøkelsen forsinket i henhold til oppsatt plan og først ferdigstilt i november 2025. Den oppfølgende ROV undersøkelsen er planlagt utført i desember 2025, og resultatene vil bli rapportert i desember 2025/januar 2026.



Figur 56 Bilde av kartleggingsfartøyet ved kai i Vågen. Fartøyet har 12 m nedsenkbar arm/bom for styring av de to magnetometerne i gradiometer-konfigurasjonen.

## 6.10 Filming av før-situasjonen på sjøbunnen

For å skape en forståelse for viktigheten og nytteverdien av større sedimenttiltak, er det viktig å informere innbyggere og media om tiltaket. I den forbindelse er visualisering av forholdene på sjøbunnen før og etter tiltak nyttig. I prosjektet Renere Puddefjord ble det gjennomført undervannsfilmning med høyoppløselig kamera før og etter tildekking som del av informasjonsarbeidet. Basert på filmopptakene ble det utarbeidet en video som ble utlagt på Bergen kommunes hjemmeside: <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/renere-havn-bergen/puddefjorden>.

Filming med høyoppløselig kamera gir en helt annen kvalitet på bildene/filmene enn det man oppnår med vanlig ROV-kamera. I Vågen planlegges det å gjennomføre filming av førtilstanden med høyoppløselig kamera i detaljprosjekteringsfasen. Filmingen skal gjentas etter tiltaket for å sammenligne tilstanden på sjøbunnen før og etter tiltak. Film-materiellet skal benyttes i kommunens informasjonsarbeid.

## 6.11 Plan for informasjon og medvirkning for interessenter

Erfaringer fra tilsvarende oppryddingsprosjekter har tydelig vist behovet for utstrakt informasjon til publikum og involvering av interessenter for å skape forståelse for valgte tiltak og legge til rette for en smidig tiltaksgjennomføring.

Vågen ligger midt i Bergen sentrum, og området betyr mye for bergenserne og er byens inngangsport for mange tilreisende og turister. I tillegg til aktiv havnedrift kombinert med historiske bygninger og kulturminnevern på land og i sjø, er området preget av annen næringsvirksomhet, boliger og trafikk. Vågen er omkranset av kaier, og de fleste er åpne for allmenn ferdsel. Langs hele Vågen ligger det butikker, hoteller, spisesteder og andre virksomheter. Over kaiene går fylkesveg 577. Kaiområder benyttes også til ulike arrangementer som konserter, utstillinger og ulike festivaler. Området benyttes til rekreasjon generelt og har stor ferdsel av gående og syklende. Det er stor aktivitet hele året og mer eller mindre hele døgnet.

Gjennomføring av tiltak mot forurenset sjøbunn i dette området vil kunne påvirke og bli påvirket av en rekke interessenter. Interessenter er typisk ansvarlige for havnedrift/samferdsel/kollektivtrafikk, andre pågående prosjekter i tilknytning til tiltaket/tiltaksområdet, lokalt næringsliv, grunneiere, brukere, interesseorganisasjoner, myndigheter, ulike autoriteter, politikere og media. Interessenter vil utgjøre ulike muligheter og eventuelt trusler for prosjektet. Noen vil kun ønske informasjon, mens andre kan/må involveres for å få til god logistikk i gjennomføringen. Enkelte interessenter kan også bli ambassadører for prosjektet dersom de involveres i planlegging av gjennomføringen.

Det er gjennomført en interessentanalyse for tiltaket i Vågen (COWI, 2021) og utarbeidet en kommunikasjon- og medvirkningsplan (COWI, 2023b). Interessentanalysen identifiserer interessentene, deres interessenivå, forventinger og påvirkningskraft på prosjektet slik at involvering og informasjon kan tilpasses behovet. Kommunikasjon- og medvirkningsplanen identifiserer prioriterte grupper for medvirkning og dialog og foreslår kommunikasjonskanaler og arenaer for medvirkning.

Det er planlagt en rekke aktiviteter for å sikre tilstrekkelig informasjon til alle interessenter samt tett involvering og dialog med utvalgte grupper. Aktuelle aktiviteter er informasjon på nettsider, i media, i bybildet, høringsrunder, folkemøter og særmøter.

I 2025 har prosjektet gjennomført flere særmøter med Bergen Havn i forbindelse med detaljering av tiltaksløsning og planlegging av anleggsfasen. Bergen Havns behov for seilingsdybde, dagens bruk og plan for fremtidig bruk ble gjennomgått kai for kai. Brukerne av de ulike kaiene som Bergen Havn drifter ble gjennomgått. Aktuelle områder som kan benyttes som riggareal ble identifisert. Videre dialog med tanke på ytterligere detaljering av tiltaksløsningen og utarbeidelse av gjennomføringsplan er planlagt med Bergen Havn, samt private kaieiere og fylkeskommunen som har ansvar for rutetrafikken fra Strandkai terminalen.

I forbindelse med behandling av søknad om tillatelse til tiltak etter kulturminneloven, har prosjektet i 2025 hatt tett dialog med kulturminnemyndighetene. Det er gjennomført flere særmøter med fokus på å avklare tildekkingslagets påvirkning på marinarkeologiske objekter i sjøbunnen, og prosjektet har svart ut etterspurt tilleggsinformasjon med utarbeidelse av rapporter med geotekniske og marinarkeologiske vurderinger (COWI, 2025b; Norconsult, 2025).

I 2025 er det også gjennomført møter med Kystverket i forbindelse med planleggingen av Kystverkets utdypingsprosjekt i den ytre delen av Vågen. Møtene har hatt fokus på mulig samarbeid om håndtering av mudringsmasser, kontroll- og overvåkningsarbeid og utveksling av datagrunnlag. Prosjektene vil fortsette å ha tett dialog framover for å sikre et best mulig samarbeid og utnytte synergieffekter mellom prosjektene.

Kommunikasjon med interessenter er en viktig del av prosjektet og skal følges opp både før, under og etter tiltaket.

## 6.12 Havnedrift i anleggsfasen

Vågen er en travel havn med døgndrift. Det er gjennomført innledende møter med Bergen Havn for å avdekke hvilke konsekvenser anleggsfasen kan få for havnelogistikken og hvordan det kan tilrettelegges for en smidig gjennomføring. Informasjon og føringer fra disse møtene gjengis i dette kapittelet og vil være grunnlag for videre arbeid med en gjennomføringsplan for anleggsfasen.

I sommerhalvåret er det ekstra mye trafikk i Vågen. Mest mulig av anleggsfasen og den marinarkeologiske undersøkelsen bør derfor gjennomføres i perioden september – april. Høytider som jul og påske bør unngås.

Anleggsarbeidet vil ikke medføre avsperring av seilingsleden i Vågen, men ved arbeid nært kai vil disse ha redusert tilgang fra sjøen. Bergen Havn er positive til tiltaket, og opplyser at de kan tilpasse bruken av kaiene i anleggsfasen forutsatt at anleggsarbeidet i Vågen planlegges godt og tidlig (Bergen Havn, 2025). De viktigste faktorene i havnelogistikken er seilingsdyp og tilgang til landstrøm. Det foregår også rutetrafikk for persontransport og noen sightseeing-aktivitet med helårsaktivitet der avstanden mellom ordinær og midlertidig kai vil være av betydning. Disse virksomhetene vil ha behov for god tid til å informere sine passasjerer om midlertidig endring av kai for avgang og anløp.

### Viktige kaier i ytre del av Vågen

Skoltegrunnskaien og Festningskaien er svært viktige kaier. Skoltegrunnskaien har strøm til både offshore- og cruisefartøy, og denne kaien er den eneste med tube for ombordstigning til cruiseskip. Cruiseskip bestiller plass 2-3 år i forkant, og ev. flytting av disse må planlegges i god tid. Festningskaien har offshore-strøm og er også mye brukt. Bergen Havn opplyser at de kan stenge av deler av disse kaiene om gangen. Anleggsarbeidet må gjøres felt for felt slik at ikke hele kaien er stengt samtidig, og delområder bør ferdigstilles før ferier slik at kaiene er tilgjengelige da.

Tollbodkaien har strøm til mindre cruiseskip og offshorefartøy, brønnbåter og marinefartøy og benyttes av denne type fartøy hele året. Tollbodhopen har også aktivitet hele året og benyttes blant annet av Redningsselskapets fartøy og Bergen Havn sine arbeidsbåter.

### **Viktige kaier i indre del av Vågen**

Nykirkekaien er fast hjemmehavn for Havforskningsinstituttets fartøy; Hans Brattström, Johan Hjort og G.O. Sars. Fartøyene kan flyttes til midlertidig kai dersom de er i Bergen når tiltaket gjennomføres. Munkebryggen benyttes blant annet av offshorebåter.

Strandkaiaen er den travleste kaiaen i indre del av Vågen og benyttes av Skyss (Vestland fylkeskommune) til persontrafikk med hurtigbåter. Kaiaen har hyppige anløp hele uken. Ytre del benyttes av pendlerrute til Askøy og Nordhordland. For å holde rutetidene, ligger båtene med baugen inn og pådrag på motor for å holde båten i posisjon ved kai ved av- og påstigning. Indre del av Strandkaiaen benyttes av hurtigbåter til Sunnhordland og Sogn. Disse båtene fortøyer, og har ikke pådrag på motorene når de ligger ved kai. Hurtigbåtene har behov for tilgang til strøm for lading. I anleggsfasen kan anløpene trolig flyttes midlertidig til Munkebryggen og/eller Holbergskaien.

Wahlendalshopen/Blauwhopen og Zachariasbryggen benyttes til persontrafikk hele året, mens Strandkaiaen nord/Børshopen har turisttrafikk deler av året. Alternative kaier kan avtales. Wahlendalshopen benyttes også av firma som selger båter. Dreggekaiaen brukes til henting av turister, men har mindre aktivitet om vinteren. Bryggen benyttes hovedsakelig av fritidsbåter og deler av kaiaen kan stenges ved behov.

Bradbenken er Statsråd Lehmkuhl sin kai. Det er ønskelig at tiltaket gjennomføres når Statsråden er på tokt, men skipet kan flyttes til midlertidig kai dersom den er i Bergen når tiltaket gjennomføres. Beffen har helårsrute med persontransport fra Bradbenken til Nykirkekaiaen. Tilgang til kai kan tilpasses.

### **Kommunikasjon i planfase og ved anleggsgjennomføring**

I planleggingsfasen skal Renere Havn Bergen forholde seg til Bergen Havn sin maritime operasjonsleder og planlegger. Bergen Havn vil sørge for den videre dialogen med operatørene som benytter de ulike kaiene med unntak av Skyss (Vestland fylkeskommune) der Renere Havn Bergen skal ta initiativ til felles planlegging og koordinering.

I gjennomføringsfasen vil Bergen Havn sende ut en generell melding om at fartøy må vise aktsomhet, og prosjektet skal da ha direktekontakt med Havnevakten som koordinerer aktiviteten ved kaiene når arbeidet foregår.



Figur 57 Vågen. Hurtigbåten til Askøy er på vei ut fra Strandkaien (foto: COWI)

## 6.13 Riggområde

I anleggsfasen vil prosjektet ha behov for et riggområde nært Vågen. Riggområdet skal ivareta funksjoner som prosjektkontor, brakkerigg for entreprenør, vask/sortering og utkjøring av skrot, renseanlegg for vaskevann og ev. avvanningsvann fra mudringsmasser, parkering, fortøyning av arbeidsbåter, etc.

Det er gjort en innledende sondering av aktuelle tilgjengelige arealer. Bergen Havn har opplyst at deler av Festningskaia kan benyttes som riggområde (Bergen Havn, 2025). Bergen kommune disponerer et areal på Tollbodkaia som også kan være aktuelt. Lokalitetene er vist i

Figur 58. Tilgang, fordeler/ulempene ved de aktuelle områdene og endelig arealbehov skal avklares i detaljprosjekteringsfasen.



Figur 58 Deler av Festningskaien og Tollbodkaien er aktuelle som riggområder ved anleggsgjennomføringen i Vågen.

## 7 Kontroll og overvåkning

### 7.1 Miljøeffekt ved tiltak på kort og lang sikt

Mudring og tildekking av miljøgiftene på sjøbunnen i Vågen vil håndtere og isolere store mengder forurensning og bedre miljøforholdene for mennesker og miljø. Mest sannsynlig vil oppryddingen gi redusert opptak av miljøgifter i organismer og forhindre spredning av miljøgifter i nærområdet og til sjøområdet utenfor. Dette vil på sikt bidra til at konsentrasjonen av miljøgifter i sjølevende organismer reduseres.

Det skal utføres overvåking under gjennomføring, etter avsluttet tiltak og over tid for å dokumentere hvilken miljøeffekt tiltaket har. Resultatene skal gi grunnlag for å følge opp vilkår i tillatelsen til tiltaket og vurdere måloppnåelse med hensyn til tiltaksmål og langsiktige miljømål.

For å kunne vurdere tiltakets effekt og identifisere eventuell rekontaminering etter tiltak, er det avgjørende at det foreligger et godt sammenlikningsgrunnlag i form av dokumentasjon av førtilstanden. Måleprogrammene for de ulike prosjektfasene bør i størst mulig grad benytte faste målestasjoner og metoder slik at måleresultatene er sammenliknbare.

## 7.2 Kartlegging av før-tilstanden

For å kunne evaluere effekten av et tiltak mot forurensset sjøbunn over tid, er det svært viktig at det foreligger kunnskap om miljøtilstanden i tiltaksområdet før tiltak for alle parametere og typer målinger som vil bli brukt i overvåking under og etter tiltak.

### 7.2.1 Kjemisk miljøtilstand i sediment

Det er gjennomført en omfattende kartlegging av den kjemiske miljøtilstanden til sjøbunnen i Vågen (avsnitt 3.1), og resultatene fra disse før-målingene vil bli sammenlignet med resultatene fra sedimentprøver som skal tas etter ferdig utført tiltak.

### 7.2.2 Spredningsforhold og økologisk tilstand

I perioden 2020-2023 ble det gjennomført en forundersøkelse i faste målestasjoner og med de samme metodene for kartleggingen av spredningsforhold og økologisk tilstand som det forventes at vil bli brukt ved overvåking under og etter tiltaket.

Forundersøkelsen omfattet måling av partikkelbundet forurensning i vannfase, vannkvalitet, opptak av miljøgifter i biota, utlekking fra sjøbunnen og økologisk tilstand i bløtbunnsfauna. Målingene ble repetert flere ganger for å fange opp variasjoner over tid. Resultatene gir et godt sammenlikningsgrunnlag for senere målinger under og etter tiltak (avsnitt 7.3 og 7.5), blant annet med hensyn til å vurdere oppnåelse av miljømålet om å ikke spre miljøgifter til Byfjorden (avsnitt 4.2) og langsiktige miljømål for økosystemet i området (avsnitt 4.1).

For at framtidige overvåkingsresultater skal være mest mulig sammenliknbare, er det viktig at de samme stasjonene og metodene gjenbrukes i så stor grad som mulig. Tabell 30 gir en oversikt over hvilke undersøkelsesmetoder som ble benyttet, og Tabell 31 viser omfanget med hensyn til antall målestasjoner, antall prøvetakingsomganger og hvilke analyser som ble utført på det innsamlede prøvematerialet. Figur 59 viser målestasjonene som ble benyttet (ST11-ST15). Stasjonene er samlokalisert med andre relevante undersøkelser. To av stasjonene (ST11 og ST12) er lokalisert nært stasjoner i Byfjordsundersøkelsen der det foreligger historiske målinger for blant annet bløtbunnsfauna (Uni Research Miljø SAM-Marin, 2017). En stasjon (ST13) er lokalisert nært Festningskaia som ble benyttet som prøvepunkt ved kostholdsradundersøkelsen i 2007 (Måge A. og Franzen S, 2007). Resultater, koordinater for målestasjonene og nærmere opplysninger om metoder og årstid for de ulike undersøkelsene er gitt i rapporten *Forundersøkelse i Vågen. Spredning av miljøgifter før tiltak mot forurensset sjøbunn* (COWI, 2023c).

Tabell 30 Oversikt over miljøforholdene som er undersøkt og hvilke metoder som er benyttet

| Miljøforhold                                          | Undersøkelsesmetode                                        |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Spredning av partikkelbundet forurensning             | Sedimentfeller                                             |
| Vannkvalitet                                          | Vannprøver og passive prøvetakere (POM)                    |
| Opptak av miljøgifter i biota                         | Blåskjell, støtteparametere CTD                            |
| Spredning av forurensning ved utlekking fra sjøbunnen | Bentiske flukskammer med passiv prøvtaker (SPMD)           |
| Økologisk tilstand                                    | Bløtbunnsfauna, støtteparametere og miljøgifter i sediment |

**Tabell 31** Oppsummering av førmålinger i Vågen med prøvetyper, målestasjoner, antall prøver og analyser pr. målerunde samt totalt antall prøveomganger. Sedimentfeller var utplassert i 1-3 nivå per målestasjon.

| Prøvetyper                                       | Måle-<br>stasjoner | Prøver/nivå<br>pr. omgang | Prøve-<br>omganger | Analyseparametere                                                               |
|--------------------------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Sedimentfeller                                   | 5 (ST11-15)        | 11                        | 7                  | Total mengde materiale (g TS), 8 metaller, PCB-7, PAH-16 og TBT                 |
| Vannprøver                                       | 5 (ST11-15)        | 7                         | 4                  | 8 metaller, turbiditet                                                          |
| Passiv prøvetaker POM                            | 5 (ST11-15)        | 7                         | 4                  | PCB-7, PAH-16                                                                   |
| CTD                                              | 5 (ST11-15)        | 5                         | 6                  | Temperatur, salinitet, oksygen og turbiditet                                    |
| Blåskjell                                        | 5 (ST11-15)        | 6 + 2 null                | 2                  | 8 metaller, PCB-7, PAH-16, dioksiner, dioksinliknende PCB, TS, kondisjonsindeks |
| Bentiske flukskammer, med passiv prøvetaker SPMD | 4 (ST12-15)        | 4 + 1 null                | 2                  | PCB-7, PAH-16                                                                   |
| Bløtbunnsfauna                                   | 3 (ST13, 14, 17)   | 3                         | 1                  | Antall individer, taksonomi og indeksering                                      |
| Bunnsediment <sup>1</sup>                        | 3 (ST13-15)        | 3                         | 1                  | Miljøpakke sediment (miljøgifter, finstoff, TOC, total-N), Dr. Calux            |

<sup>1</sup> Støtte til vurdering av bunndyrindekser ettersom de responderer dårlig på miljøgifter



**Figur 59** Målestasjoner i Vågen der det er gjennomført forundersøkelser i 2020-2023 (COWI, 2023c).

### 7.2.3 Turbiditetsmålinger

Turbiditet er et mål på uklarheten i vannet, hovedsakelig representert av mengden av finpartikulært materiale som eksempelvis silt eller leire. I tillatelse til tiltak i forurenset sjøbunn blir det vanligvis gitt en grenseverdi for turbiditet og stilt krav om online overvåking med alarm ved overskridelse av grenseverdi. Det bør derfor gjennomføres førmålinger av turbiditet i tiltaksområdet for å kartlegge nivået av naturlig turbiditet og eventuell påvirkning fra båttrafikk og overløp for å gi referanseverdier til bruk under overvåking av anleggsarbeidet. Det planlegges å benytte målestasjoner i Figur 59 og gjennomføre turbiditetsmålinger i minst to omganger før gjennomføring av tiltaket. Målingene må gjennomføres i perioder med normal skipsaktivitet.

## 7.3 Miljørisikovurdering for anleggsfasen

Anleggsarbeid innebærer risiko for negativ påvirkning på miljø og omgivelser. Miljørisikourdering benyttes som verktøy for å identifisere risikoforhold og nødvendige tiltak som må gjennomføres for å ivareta ytre miljø og overholde vilkår i tillatelser.

Foreløpige kvalitative vurderinger er gjort av en arbeidsgruppe og basert på gjeldende tiltaksplan for Vågen, overordnede myndighetskrav, rammetillatelse etter Plan- og bygningsloven, søknader etter Forurensingsloven og Kulturminneloven samt foreløpige avklaringer mot Statsforvalteren i Vestland, Vestland fylkeskommune og Bergen Havn.

Analysen omfatter følgende hovedaktivitetene som inngår i anleggsfasen i Vågen: marinarkeologisk undersøkelse (gjennomføres av Bergens Sjøfartsmuseum), skrottrydding, mudring, tildekking med rene tildekkingsmasser og erosjonssikring med steinmasser og ev. betongmadrasser.

Miljørisikovurderingen omfatter identifisering og vurdering av farer/hendelser som kan medføre risiko for miljøskade og/eller brudd på tillatelse knyttet til følgende miljøtemaene:

- › Avfallshåndtering og materialvalg
- › Utslipp til jord, vann og luft
- › Støy og vibrasjoner
- › Naturmangfold
- › Kulturmiljø
- › Bymiljø og friluftsliv
- › Klimagass og energiforbruk
- › Naturressurser og naturfare

Det er benyttet standard ROS-metodikk basert på metode i NS 5815 *Risikovurdering av anleggsarbeid*. Kriterier for sannsynlighet, konsekvens og risikoaksept er vist i Tabell 32.

Tabell 32 Kriterier for sannsynlighet og konsekvens. Akseptkriterier for risiko.

|               |    |              | Konsekvens                                                                  |                                                                                          |                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                   |
|---------------|----|--------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               |    |              | K1                                                                          | K2                                                                                       | K3                                                                               | K4                                                                                  | K5                                                                                                |
|               |    |              | Liten miljøskade<br>Kort restitusjonstid<br>Ikke brudd på<br>tillatelse/mål | Moderat miljøskade<br>Kort restitusjonstid<br>Ikke vesentlige brudd på<br>tillatelse/mål | Moderat miljøskade<br>Lang restitusjonstid<br>Moderat brudd på<br>tillatelse/mål | Alvorlig miljøskade<br>Lang restitusjonstid<br>Vesentlig brudd på<br>tillatelse/mål | Svært alvorlig<br>miljøskade<br>Langvarig, ikke reversibel<br>Alvorlig brudd på<br>tillatelse/mål |
| Sannsynlighet | S5 | Ukentlig     |                                                                             |                                                                                          |                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                   |
|               | S4 | Månedlig     |                                                                             |                                                                                          |                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                   |
|               | S3 | Hvert halvår |                                                                             |                                                                                          |                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                   |
|               | S2 | Hvert år     |                                                                             |                                                                                          |                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                   |
|               | S1 | Hvert 5 år   |                                                                             |                                                                                          |                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                   |

| Akseptkriterier                                    |                                     |                                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Akseptabel risiko. Oppretthold eksisterende tiltak | Middels risiko. Tiltak må vurderes. | Høy risiko. Tiltak må gjennomføres. |

For alle hendelser med middels eller høy risiko er det angitt risikoreduserende og/eller skadebegrensende tiltak som skal gjennomføres i videre planlegging og/eller som krav i kontroll- og overvåkingsplan og entreprenørkontrakt. En matrise med alle vurderte hendelser og tiltak er gitt i vedlegg 1.

Miljøriskovurderingen skal oppdateres og detaljeres når endelige planer og tillatelser med vilkår foreligger. I den forbindelse vil også andre tiltaksmål fra byggherre som for eksempel klimamål og mål knyttet til omdømme/klager, bli inkludert.

## 7.4 Overvåking av tiltak, beredskap og avbøtende tiltak

Tiltaket mot forurenset sjøbunn i Vågen skal gjennomføres slik at det ikke foregår miljøskadelig spredning av miljøgifter og unødvendig oppvirvling av forurensede masser under anleggsarbeidet. Det skal utarbeides en kontroll- og overvåkingsplan i detaljprosjekteringsfasen som fastsetter hvordan tiltakshaver skal følge opp prosjektets mål. Planen skal beskrive oppfølging av entreprenørens arbeid og ivaretagelse av vilkår i tillatelsen.

Kontroll- og overvåkingsplanen skal:

- Sikre at arbeidet foregår som beskrevet og i henhold til vilkårene i tillatelsene.
- Angi overvåking/prøvetaking, ansvarsforhold og grenseverdier.
- Sikre at strakstiltak kan iverksettes ved behov.
- Beskrive en beredskapsplan for håndtering av uønskede hendelser.
- Dokumentere tiltaksgjennomføringen og effekt på ytre miljø.

Kontroll- og overvåkingsplanen skal baseres på resultater av en miljørisikoanalyse. Miljørisikoanalysen er en systematisk gjennomgang av mulige hendelser som kan utgjøre en risiko for utslipp til ytre miljø i anleggsfasen og hvilke risikoreduserende tiltak som kan iverksettes for å forebygge utslipp.

Både mudring og utlegging av tildekkingsmasser vil kunne medføre oppvirvling av forurensede sedimenter, særlig i områder med bløtere sedimenter. Metodikken bør være så skånsom som mulig for å redusere oppvirvling og spredning.

Ved mudring er det spesielt stor sjanse for oppvirvling og spredning av forurensede partikler fra sjøbunnen, litt avhengig av mudringsmetode. Sugemudring medfører generelt mindre spredning av forurensede partikler enn mudring ved hjelp av grabb, men sugemudring gir et mye mer vannholdig sediment som må avvannes før videre håndtering. I Vågen vil forholdene enkelte steder tillate bruk av siltgardin ved mudring. Dette dreier seg primært om hopene. Det anbefales derfor bruk av siltgardin for å hindre spredning av forurensede partikler i forbindelse med mudring i disse områdene. Entreprenøren skal sikre funksjonen av gardinen gjennom daglig kontroll så lenge det foregår arbeid i området innenfor. Oljelenser bør være tilgjengelig under mudringsarbeidet for å hindre spredning av eventuell oljefilm fra de forurensede mudringsmassene eller utslipp fra fartøy eller maskiner.

For overvåkning under tiltaksgjennomføring anbefales det å benytte turbiditetsmålinger, sedimentfeller, vannprøver og passive prøvetakere.

Turbiditetsmålinger benyttes som indikator for spredning av partikler og partikkelbundet forurensning. Måling gjennomføres kontinuerlig under tiltaksperioden og benyttes som styrende parameter. Turbiditetsmålingene bør utføres ved en upåvirket referansestasjon og i området innen 100 m fra anleggsarbeidet. Målerne sender data til ansvarlig overvåker via mobilnettet og er tilknyttet en alarmfunksjon. Det foreslås at det etableres en turbiditetsgrense på 10 NTU over bakgrunnsverdiene gjennom et 20 minuts tidsintervall. Dersom grensen overskrides, bør arbeidet stanses inntil årsaken er avklart og turbiditetsverdiene er under tillatt nivå i et 20 minuts tidsintervall. Det bør da tas en vannprøve som analyseres for miljøgifter for å avdekke om spredningen er av oppvirvlet forurenset sjøbunn eller tildekkingsmasser. Dersom vannprøvene viser at det foregår spredning av tildekkingsmasser, kan det vurderes å heve turbiditetsgrensen. Dette gjelder særlig dersom det blir hyppige driftsstans grunnet høye turbiditetsverdier. Visuell inspeksjon med loggføring og manuelle turbiditetsmålinger bør benyttes ved vannprøvetaking for miljøgiftsanalyser og ved synlig blakking, slik at vannprøvene tas i området med høyest turbiditet.

Sedimentfeller benyttes for å dokumentere eventuell spredning av forurensede partikler under tiltaksgjennomføringen. Sedimentfeller bør i størst mulig grad utplasseres ved de samme lokalitetene som i før-målingene, og sedimentfelle materialet skal analyseres for de samme parameterne som i før-målingene. Det må gjøres en vurdering i anleggsfasen av hvor lenge sedimentfellene må stå ute for å samle nok materiale for analyse.

For å dokumentere om det foregår spredning av organisk forurensning i vannfasen, bør det benyttes passive prøvetakere (POM). De passive prøvetakerene anbefales plassert ut ca. 1,5 m over sjøbunnen ved de samme stasjoner og i samme tidsrom som sedimentfellene. For å dokumentere spredning av metaller, bør det tas vannprøver ved hver stasjon hvor det er plassert ut sedimentfeller. Vannprøvene tas fra samme nivå som de passive prøvetakerne står.

Kontroll- og overvåkningsplanen som skal utarbeides i detaljprosjekteringsfasen vil gi en mer detaljert beskrivelse av hvordan dette skal utføres og hvilke tiltak som skal iverksettes ved uønskede hendelser.

## 7.5 Sluttkontroll og rapportering av tiltaket

Etter tiltak skal det gjennomføres en sluttkontroll for å sjekke at tiltaksgjennomføringen har gått som planlagt og gitt forventet resultat. Sluttkontrollen skal være knyttet opp mot krav i tillatelsen og tiltaksmål og dokumentere om disse er oppnådd.

Etter utlegging av tildekkingsmassene, skal tykkelsen og utbredelse av tildekkingslaget dokumenteres. Sluttkontrollen av mektighet av tildekkingslaget skal dokumenteres ved at bunntopografien kartlegges med tilstrekkelig nøyaktighet til at det kan sammenlignes med kartleggingen utført i forkant av tiltak. Mektigheten av tildekkingslaget skal også dokumenteres med hjelp av avlesning av målepinner som settes ut i forkant av tiltaket. Målepinnene skal videre benyttes for kontroll av om det foregår erosjon av tildekkingslaget i årene etter tiltaket. Eventuelle områder der målinger viser at tildekkingslagets tykkelse ikke er innenfor minimumsgrense for akseptert tykkelse, vil utløse re-tildekking/supplerende tildekking.

Det vil bli utført prøvetaking av overflatesedimentene (0-10 cm) i etterkant av tiltaket. Omfanget og metode for prøvetakingen skal beskrives i kontroll- og overvåkningsplanen som utarbeides i detaljprosjekteringsfasen. Akseptkriteriet er at prøvene tilfredsstiller tiltaksmålet som innebærer at miljøgiftkonsentrasjonen i toppsedimentene skal være i tilstandsklasse II i henhold til veileder M-608/2020.

Sluttkontrollen skal gjennomføres innen fire uker etter at tiltaket er avsluttet. Sluttkontrollen vil gi en dokumentasjon på om utleggingen av massene har vært utført med minimal oppvirvling og spredning av miljøgifter fra dagens sjøbunn og gi grunnlag for eventuelt ytterligere tildekking av delområder hvor tiltaksmålet ikke er oppfylt eller tildekkingslaget ikke har tilstrekkelig tykkelse.

Sluttdokumentasjon skal sendes til forurensningsmyndighetene etter at tiltaket er gjennomført og skal minimum inneholde:

- Overvåkingsresultater fra gjennomføringsfasen
- Resultater fra sluttkontrollen
- Dokumentasjon av mengde sediment som er mudret og dokumentasjon på levering av mudringsmassene
- Type tildekkingsmasser, mengde og oppnådd tykkelse
- Arealet som er berørt og UTM-koordinater for avgrensning
- Eventuelle avvik fra tillatelsen og hvilke avbøtende tiltak som ble iverksatt

Data fra prøvetaking i sedimenter, vann og biota som gjøres etter tiltak skal registreres i databasen Vannmiljø.

## 7.6 Overvåking etter tiltak

Når den aktive fasen av tiltaket er over og etter at sluttkontrollen er gjennomført, skal det legges en plan for videre overvåking for å vurdere effekten av tiltaket i et 5-10 års perspektiv. Planen skal angi omfang, frekvens og metoder for overvåkning, med vurderingspunkter underveis for evaluering av resultater og trender.

Overvåkingsprogrammet skal dokumentere:

- om tildekkings- og erosjonssikringslaget er intakt og fungerer etter hensikten
- om miljømålene for Vågen overholdes
- status for reetablering av bunnfauna og arts mangfold på sjøbunnen
- om det foregår rekontaminering av tiltaksområdet

Overvåkingen kan omfatte både fysisk kontroll av tildekkingslaget, undersøkelse av kjemisk utlekking av miljøgifter og biologiske parametere. Overvåkingen bør være godt samordnet med undersøkelsene fra før tiltaket ble gjennomført og fortrinnsvis inkludere de samme prøvetakingsstasjonene og målemetodene. Programmet bør i størst mulig grad koordineres med annen pågående overvåking og være i tråd med Vannforskriftens bestemmelser.

## 8 Budsjett og fremdriftsplan

### 8.1 Budsjett for tiltaket

Basiskalkylen for tiltaket i Vågen er oppdatert i 2024, og det er gjennomført en usikkerhetsanalyse i henhold til Monte Carlo-metoden (COWI, 2024d). Analysen belyser usikkerheten i kostnadskalkylen og identifisere de viktigste usikkerhetsdriverne i prosjektet.

Det er knyttet en del usikkerhet til flere faktorer som påvirker kostnadsestimatet for tiltaket mot forurenset sjøbunn i Vågen. Tidligere usikkerhet omkring hvilke vilkår som vil bli stilt i forbindelse med tillatelse etter kulturminneloven og omfanget av den varslede marinarkeologiske undersøkelsen som skal utføres før tiltaksgjennomføring er redusert nå når dispensasjonsvedtaket er gitt. Andre usikkerheter er knyttet til faktorer som skal avklares i gjenstående planlegging samt plunder og heft som kan oppstå i anleggsfasen som følge av koordinering med havnedrift og kulturminnemyndigheter.

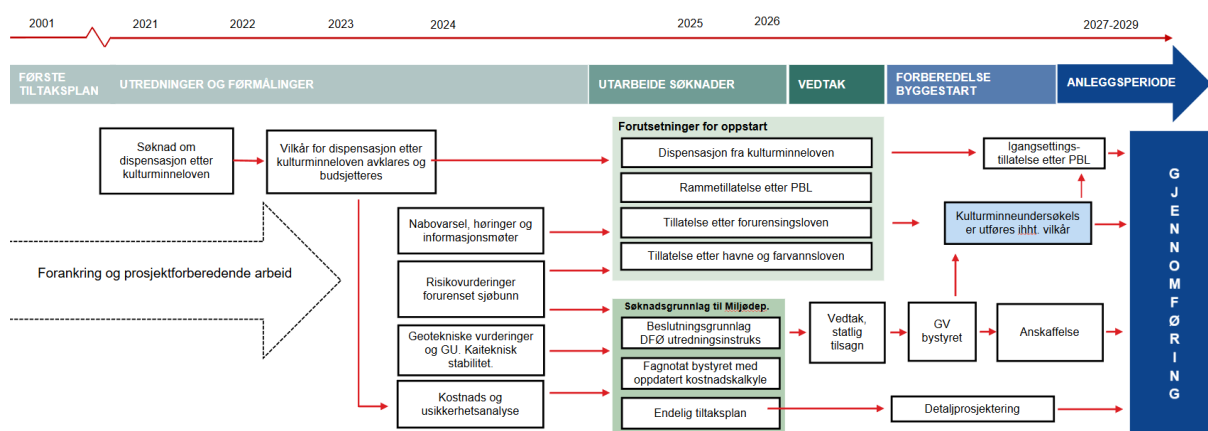
Det er i varierende grad også knyttet usikkerhet til alternative metoder for håndtering av forurensete mudringsmasser. Levering av mudringsmasser til eksisterende deponi på land har høyest kostnad i basiskalkylen, men det er en løsning som har lav usikkerhet. Det er forbundet vesentlig større usikkerhet ved alternativene som er deponering i et eventuelt nytt strandkantdeponi i samarbeid med kaiutvikling på Dokken eller Skoltegrunnskaiaen, eller deponering i et nytt sjøbunnsdeponi for eksempel i samarbeid med Kystverkets prosjekt ved Grønnestaken. Usikkerheten gjelder faktorer som er utenfor prosjektets mandat og som er av betydning for kostnad og gjennomførbarhet. Prosjektet forbereder levering av mudringsmasser til eksisterende deponi på land, men vil vurdere andre alternativ for massedisponering dersom gjennomføringsplanen for tiltaket i Vågen viser seg å sammenfalle med andre prosjekter som legger til rette for strandkantdeponi eller sjøbunnsdeponi.

Kostnads- og usikkerhetsanalysen skal oppdateres i 2026.

## 8.2 Fremdriftsplan

Kulturminnemyndighetene har stilt som som vilkår for dispensasjonen fra kulturminneloven at det utføres en marinarkeologisk undersøkelse i Vågen før miljøtiltaket kan gjennomføres (kap. 6.1). Bergen kommune vil søke om midlertidig oppstart av denne undersøkelsen i 2026 slik at det arkeologiske feltarbeidet kan gjennomføres i løpet av vinteren 2026/27. Tiltaksarbeidet i Vågen kan da starte tidligst i 2027, forutsatt at prosjektet prioriteres for bevilgning over Statsbudsettet.

I løpet av 2026 vil Bergen kommune sende inn søknad om statlig finansiering av opprydding i Vågen som stor ny satsing. Skissen under illustrerer tidslinjen i gjennomførte aktiviteter for Vågen og for planlagte aktiviteter frem til tiltaksgjennomføring (Figur 60).



Figur 60 Fremdriftsplan for opprydding i forurenset sjøbunn i Vågen. Tidsplanen er tentativ da den avhenger av saksbehandlingstider hos flere sektormyndigheter, samt finansiering.

## 9 Konklusjon og anbefaling

Følgende miljømål for tiltaket i Vågen er vedtatt av Bergen bystyre (Bergen bystyre, bystyresak 131-15):

- › Spredning av miljøgifter fra sedimentene i Vågen skal reduseres med 80 %.
- › Ny tilførsel av miljøgifter fra land skal minimaliseres.
- › Tiltak skal utføres skånsomt for å bidra til bevarelse av kulturminner i området.
- › Tiltak skal planlegges og gjennomføres på en måte som er minst mulig til hinder for daglig havnedrift og til minst mulig sjenanse for nærmiljøet.

Det er gjennomført en tiltaksvurdering av forurenset sjøbunn i Vågen hvor alternative tiltaksmetoder er vurdert. På bakgrunn av tiltaksvurderingen foreslås det følgende valg av metode for opprydding av forurenset sjøbunn i Vågen. Tiltaksløsningen skal detaljeres nærmere i detaljprosjekteringsfasen.

- › Skrotrydding i hele tiltaksområdet (ca. 275 000 m<sup>2</sup>)
- › Mudring (fjerning) av forurensede sedimenter for å beholde dagens seilingsdyp i et areal på ca. 12 000 m<sup>2</sup>. Mengde mudringsmasse er estimert til ca. 8 500 m<sup>3</sup>.
- › Tildekking av forurensede sedimenter i et areal på ca. 245 000 m<sup>2</sup> med 40 cm TBM-masser eller velgradert 0-32 eller 0-64 mm masser. Mengde tildekkingsmasse er estimert til ca. 95 000 m<sup>3</sup>.
- › Erosjonssikring i et areal på ca. 188 000 m<sup>2</sup> med 20-120 og 50-200 mm masse. Total mengde erosjonssikringsmasse er estimert til ca. 40 000 m<sup>3</sup>. I tillegg anbefales betongmadrasser som erosjonssikring foran noen få kaier.

Tiltaket mot forurenset sjøbunn i Vågen er et av flere tiltak som skal bidra til at vannforekomsten "Byfjorden indre del" skal oppnå Vannforskriftens generelle miljømål om minst "god" økologisk og kjemisk tilstand.

I henhold til veileder M-350/2015 vil man etter tiltak kunne akseptere konsentrasjoner av miljøgifter tilsvarende tilstandsklasse III for områder hvor landbaserte forurensningskilder ikke er stoppet, noe som er tilfelle for Vågen. Det er imidlertid et overordnet mål for Renere Havn Bergen å redusere ny tilførsel av forurensning i størst mulig grad.

Beregnet mengde som tas ut av sirkulasjon ved gjennomføring av tildekkingen for de prioriterte stoffene bly, kadmium, kvikksølv, PAH-16, PCB og TBT er henholdsvis 15 423, 48, 180, 1 865, 7 og 23 kg. Området er også sterkt forurenset av kobber og sink, og de tilsvarende tallene for disse stoffene er 9 115 og 25 750 kg. I tillegg kommer forurensningen som fjernes ved mudring.

Bergen kommune har fått dispensasjon fra kulturminneloven til gjennomføring av tiltaket på visse vilkår. Det vesentligste vilkåret er at det må gjennomføres en marinarkeologisk undersøkelse før anleggsarbeidet kan starte. Kommunen har også fått rammetillatelse til tiltaket iht. Plan og bygningsloven. Begge tillatelsene har som vilkår at arbeidet starter i løpet av 3 år.

Planleggingsarbeidet foregår i tett dialog med Bergen Havn for å sikre tilstrekkelig seilingsdyp etter tiltak og en smidig anleggsgjennomføring.

Finansieringen av tiltaket er ikke avklart, og tidspunkt for gjennomføring av tiltaket er dermed ikke fastlagt. Det planlegges for oppstart av den marinarkeologiske undersøkelsen i 2026 og estimeres at selve miljøtiltaket tidligst kan starte i 2027.

## 10 Referanser

- Andersson, M., Volden, T., Haugland, T. og Ottesen, R.T., 2002. PCB i yttervegger i hus fra Bergen og uteområdene rundt bygningene. NGU-rapport 2002.012.
- Argus Survey AS, 2010. Dybdekartlegginger med multistråle ekkolodd i Vågen.
- Asplan Viak, DNV GL og NGI 2016, Appendiks 1.8 Prosjekteringsrapport tildekking, Sandefjord Kommune
- Aquateam, 2008. Tungmetaller og organiske miljøgifter i innløps og utløpsvann fra kommunale renseanlegg i 2006. Rapport 07-029.
- Bergen bystyre, 2015. Vedtak om overordnet miljømål for Bergen havn og miljømål for tiltak i Vågen. Møte 28.05.15, sak 131-15.
- Bergen Havn AS, 2020. Årsmelding 2020.
- Bergen Havn AS, 2025. Pers.med. Maritim operasjonsleder Hestetraet og Maritim planlegger Færestrand. Arbeidsmøter 10.04.25 og 25.08.25.
- Bergen kommune, 2006. Reguleringsplan med tilhørende bestemmelser for Bergenshus Vågen, kaiene og Bryggen. Plan nr 16040000.
- Bergen kommune, 2012. Kommunedelplan Bergen indre havn. Planbeskrivelse. 2008. Plan nr. 18740000
- Bergen kommune, Bystyre saksnr. 53-13, 2013. Miljøgifter å havbunnen i Bergen havn, status og oppfølging.
- Bergens Sjøfartsmuseum, 2010. Hovedrapport. Marinarkeologisk forundersøkelse i Vågen, Bergen 2009-2010.
- Bergens Sjøfartsmuseum, 2025. Prosjektplan og budsjett for arkeologisk utgravning i Vågen, Bergen. Kulturminne-ID 89237-1. I brev fra Vestland Fylkeskommune datert 26.11.2025, vedl 1-4. 2025.
- BKK, 2025. Pers. kom. Jon Bjarte Carlsen 19.09.25.
- CapSim manual, 2018. CapSim Quick-Start Manual, 12/11/18. Reile Research Group, Texas Tech University, USA.
- COWI med NIVA, NGI og NGU på oppdrag fra Fylkesmannen i Hordaland, 2005. Bergen havn Tiltaksplan fase II. Oppdragsnr. 114863.
- COWI, 2012. Analyse av sedimentkjerner fra Vågen. Prosjektnr. A005136
- COWI, 2013. Prøvetaking sandfang, Vågen 2012. Fagrapport, A005136-2013-01.
- COWI, 2014a. Oppdatert risikovurdering av forurenset sjøbunn i Vågen, Bergen. A005136-2013-03.
- COWI, 2014b. Kartlegging Nordnes fase 1 – Sandfang. Fagrapport, A040950-2014-04.
- COWI, 2014c. Miljøgifter i Bergen Havn. Forslag til Miljømål for Vågen. Fagrapport A040950-2014-2.
- COWI, 2015a. Forurenset sjøbunn i Puddefjorden – Risikovurdering. Fagrapport A040950-2015-01.
- COWI, 2015b. Forurensning i fasader og overvann på Nordnes, Bergen. Fagrapport, A040950-2015-03.

COWI, 2016a. Oppdatert risikovurdering av forurenset sediment i Store Lungegårdsvannet. Trinn 1-3. Fagrapport.

COWI, 2016b. Tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvannet, Bergen. Fagrapport.

COWI, 2017a. Forundersøkelse. Spredning av miljøgifter i Puddefjorden og Store Lungegårdsvannet. Fagrapport A079577-2017-02.

COWI, 2017b. Samlet vurdering av erosjonssikring i Renere Puddefjord.

COWI, 2019a. 1 årskontroll av testtildekking i Store Lungegårdsvannet. Fagrapport A109463-2019-09.

COWI, 2019b. Kartlegging av landkilder, Store Lungegårdsvannet. Mulige kilder til ny tilførsel av miljøgifter fra land til sjø. Fagrapport, A109463-2019-04.

COWI, 2019c. Renere Puddefjord – Sluttrapport. A095679-2019-001.

COWI, 2020. 1-årskontroll etter tiltak mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden. Fagrapport, RAP-A109463-2020-01.

COWI, 2021. Interessentanalyse - Vågen. Dokument nr. A109463-2021-08.

COWI, 2022a. Søknad om dispensasjons fra kulturminneloven, Vågen, Bergen kommune. Rapport nr. A243166-2022-01.

COWI 2022b Miljøovervåking etter tiltak mot forurenset sjøbunn i Trondheim havn 2022 Rapport nr. A238745

COWI, 2023a. Erfaringer fra kartlegging av sandfangsdrift i Bergen. Pilotprosjekt om innhenting av driftsdata for bedre utnyttelse av rensesensetialet i sandfang. Rapport nr. A243166-2023-09.

COWI, 2023b. Kommunikasjons- og medvirkningsplan Vågen. Rapport nr. A243166-2023-12.

COWI, 2023c. Forundersøkelse i Vågen. Spredning av miljøgifter før tiltak mot forurenset sjøbunn. Rap.nr. A243166-2023-13.

COWI 2023d. 4-Årskontroll etter tiltak mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden, Bergen kommune

COWI, 2023e. Oppfølging av funn i 4-årskontroll av tiltak mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden, Bergen Kommune

COWI, 2024a. Supplering til søknad om dispensasjon fra kulturminneloven for sedimenttiltak i Vågen, Bergen. Rapport nr. A243166-2024-13.

COWI, 2024b. Oppdatert risikovurdering av forurenset sediment i Vågen. Rapport nr. A243166-2024-09.

COWI, 2024c. Risikovurdering av forurenset sjøbunn i Sandviken, trinn 1-3. Rapport nr. A243166-2024-02.

COWI, 2024d. Usikkerhetsanalyse Renere Havn Bergen, tiltaksområde Vågen. Rapport nr. A243166-2024-10 (utkast)

COWI, 2024e. Grunnundersøkelser for kaiteknisk utredning. Geoteknisk datarapport Vågen. Rapport nr. A287661-RAP-RIG-001.

COWI, 2024f. Vågen – geoteknisk rapport. Versjon 03, oktober 2025. Rapport nr. A243166-2024-14.

COWI, 2025a. Propeller jet velocities: Vågen Harbour. Rapport nr. A243166-2025-05.

COWI, 2025b. Geoteknisk vurderingsrapport – påvirkning fra utleggingsmasser på sjøbunnen i Vågen. Dokument nr. A243166-2025-06

COWI, 2025c. VA-ledninger i Vågen. Tilstandskontroll og forslag til avbøtende tiltak ved tildekking av sjøbunnen. Dokument nr. A243166-2025-10

COWI, 2025d. Svar på spørsmål om tilleggsinformasjon - Dispensasjon fra kulturminneloven, Vågen i Bergen. Brev til Vestland fylkeskommune 30.09.25.

COWI, 2025e. Klimagassberegninger for sedimenttiltak i Vågen. Rapport nr. A243166-2025-01.

Direktoratsgruppen for gjennomføring av vannforskriften, 2018. Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver.

DNV GL, 2016. Tildekking Puddefjorden – Vurdering av tildekking, erosjonssikring og sjøvannsinntak. Rapportnr. 2016-0029, Rev. 0.

Eek E., Godøy O., Aasgaard P., Breedveld G.D, 2007. Experimental determination of efficiency of capping materials during consolidation of metal-contaminated dredged material. ScienceDirect. Chemosphere 69 (2007) 719-728.

Eidnes, 2021. Propellstrøm og -erosjon I Bergen havn. Notat fra ESS, datert 15.04.2021

Falck Dykkertjeneste AS, 2017. Sluttdokumentasjon Hurtigbåtkaia, Harstad Havn, Harstad kommune.

GeoSubSea AS, 2009. Marinakustiske undersøkelser i Vågen, Bergen. Arkiv Bergens Sjøfartsmuseum.

Havforskningsinstituttet, 2023. Sjømat fra havner og fjorder med kostadvarsel. En undersøkelse av fremmedstoff I torsk, brosme og krabbe fra områdene Bergen, Kragerø, Grenland og Ålesund fra 2019-2021. Rapport 2023-48.

Huettel og Webster, 2001. Porewater flow in permeable sediments. Boudreasu, B.P., Jørgensen, B.b. (Eds). The Benthic Boundary Layer. Oxford University Press, Oxford, pp. 144-179.

IMC Diving, 2025. Dykkerapport. Kontroll av utslipp i Vågen. 27.03.2025.

Kibsgaard A. med Oen A., 2004. Risikovurdering av sediment i Bergen havn. Delrapport i tiltaksplan for forurensede sedimenter Bergen havn, Fase 2. Teknisk notat NGI. prosjektnr 20031196.

Klif, 2011. TA-2802/2011. Risikovurdering av forurenset sediment. Veileder, Klima og forurensningsdirektoratet.

Laugesen, J.; Eek, E; Møskeland, T, 2015. Oppsummering av erfaring med tildekking av forurenset sjøbunn. Miljødirektoratet.

Lindholm, 2018. Generelt om sandfang og rensing av miljøgifter. Foredrag Norsk Vannforening.

Mattilsynet 2023. Artikkel: Advarsel. Unng fisk og skalldyr fra forurensede havner, fjorder og innsjøer. Bergen. Publisert 31.10.2023. <https://www.mattilsynet.no/mat-og-drikke/forbrukere/unnga-fisk-og-skalldyr-fra-forurensede-havner-fjorder-og-innsjoer>

Miljødirektoratet, 2015a. M-325/2015. Tiltaksplaner for opprydding i forurenset sjøbunn. Faktaark.

- Miljødirektoratet, 2015b. M-409/2015. Risikovurdering av forurenset sediment. Veileder.
- Miljødirektoratet, 2015c. M-350/2015. Veileder for håndtering av sediment – revidert 25. mai 2018. Veileder.
- Miljødirektoratet, 2015d. M-411/2015. Testprogram for tildekkingsmasser. Forurenset sjøbunn. Veileder.
- Miljødirektoratet, 2016a. M-502/2016. Oppsummering av erfaring med tildekking av forurenset sjøbunn.
- Miljødirektoratet, 2016b. M-409. Veileder for risikovurdering av forurenset sediment
- Miljødirektoratet, 2017. M-831/2017. Nøkkellindikator for det nasjonale arbeidet med forurenset sjøbunn. Med tilhørende regnearkbasert beregningsverktøy (m831\_beregningsverktoy.xlsm). Veileder.
- Miljødirektoratet, 2020. M-608/2020. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020. Veileder.
- Multiconsult, 2017. Overvåking Harstad Havn. Harstad Kommune
- Måge A. og Franzen S., 2007. Kostholdsrådsundersøkelse, Bergen Byfjord 2007. NIFES-rapport.
- Måge A. og Franzen S., 2009a. Kostholdsrådsundersøkelse, fritidsfisk Bergen, 2008-2009. Kvikksølv i torskefisk og PCB i lever. NIFES-rapport.
- Måge A. og Franzen S. 2009b. Utvidet kostholdsrådsundersøkelse, Bergen Byfjord 2009. NIFES-rapport.
- Nearshore Survey AS, 2025. Dybdekartlegging og UXO-undersøkelse i Vågen, Bergen.
- NGI, 2016a. Design av tildekking i Puddefjorden, Bergen kommune
- NGI, 2016b. Konsekvensvurdering av erosjonsløsninger, Sandefjord Kommune
- NGU, 2002. PCB i yttervegger i hus fra Bergen og i uteområdene i bygningene. Rapport 2002.102.
- NGU, 2005. Spredning av miljøgifter fra tette flater i Bergen. Rapport 2005.051.
- NGU, 2010. PCB i maling og sandfang fra området Kirkebukten, Bergen. Rapport nr. 2010.051.
- NIVA, 2005. Modellering av miljøgifttransport i Vågen, Bergen havn. Delrapport til tiltaksplan for forurensede sedimenter i Bergen havn, Fase 2. NIVA-rapport nr. 5055.
- NIVA, 2019. Undersøkelser av kjemisk utlekking aog biota på testfelt på sjøbunnen i Grenlandsfjordene 2018-2019. Fagrapport.
- Norsk Standard, 2017. Vannundersøkelse. Overvåking av miljøgifter i blåskjell (*Mytilus* spp.). Innsamling av utplasserte eller stedeagne skjell og prøvebehandling. NS9434:2017.
- Norsk Vann, 2021. Forurensning i overvann fra urbane flater - vannmiljømål og rensetiltak. Rapport nr. B27/2021.
- Nøttveit, O.M. og Wammer E.U., 2010. Rapport fra marinarkeologisk forundersøkelse i Vågen, Bergen. Bergens Sjøfartsmuseum.

Norconsult, 2025. Marinarkeologiske vurderinger ved tildekking av sjøbunn i Vågen. Oppdragsnr. 52506261, dokument 001.

Ottesen, R.T. og Volden, T. 1999. Jordforurensning i Bergen. NGU-rapport 99.022.

PIANC, 2015. WG180- Guidelines for protection of berthing structures from scour caused by ships.

Plug Bergen AS, 2025. Pers. kom. Tommy Angeltveit 11.03.25.

Rambøll 2011, Tiltaksplan Harstad Havn 15-Tiltaksplan, Harstad kommune

van Rijn, Leo C., 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers, estuaries and Coastal Seas, Aqua Publications

Riksantikvaren, 2025a. Innvilget søknad om dispensasjon jf. kulturminneloven §8 første ledd for mudring, tildekking og erosjonssikring av sjøbunn, Vågen. Kulturminne-ID 89049: Middelalderbyen Bergen. Ref. 22/03465-30465-30. I brev fra Vestland Fylkeskommune 26.11.25 vedl. 5-6. 2025a.

Riksantikvaren, 2025b. Vedtak om utgifter til særskilt gransking av automatisk fredete kulturminner, jf. kulturminneloven §10 første ledd vedr dispensasjon for mudring og tildekking, prosjekt Renere havn Vågen. Ref. 22/03465-30. I brev fra Vestland Fylkeskommune 26.11.25 vedl. 7. 2025b.

Rutger van der Loeff, 1980. Time variation in terstitial nutrient concentration at an exposed subtidal station in the dutch Wadden Sea. Netherlands journal of Sea Research. 14(2): 123-143.

Rådgivende Biologer, 2012. Miljøgifter i sediment i 4 utvalgte områder i Bergen havn september 2012. Rapport nr. 1625.

Rådgivende Biologer, 2023. Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2021-2024. Årsrapport 2023.

Sandefjord kommune, 2019. Erfaringsrapport byggherre - Renere Sandefjordsfjord

Salomonsen, S. 2019. Erfaringer fra Renere Havn i Trondheim 2009-2016, Trondheim kommune

SFT, 2007. TA-2230/2007. Risikovurdering av forurensset sediment. Veileder (*erstattet av veileder M-409/2015*).

SINTEF, 2011. Oppvirvling av sediment fra Skipstrafikk i Trondheim havn. NGI-rapport.

SINTEF 2016. Renere havn Bergen. Propellerosjon og erosjonsbeskyttelse.

Stiftelsen VA-miljøblad, 2015. Beregning av utslipp av miljøgifter til vannforekomster. Nr 114/2015. 2015.

Stiftelsen VA-miljøblad, 2016. Gatesandfang. Nr 117 / 2016. 2016.

STIM, 2020. Strømmålinger i Vågen. STIM Miljø Rapport 70-2020.

Stortingsmelding nr. 14, 2006-2007. Sammen for et giftfritt miljø – forutsetninger for en tryggere fremtid. [St.meld. nr. 14 \(2006-2007\) - regjeringen.no](#)

Telenor, 2025. Pers. kom. Alf Ove Lindås 17.06.25.

UniResearch, 2014. Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2015. SAM e-rapport nr. 27-2014.

UniResearch, 2015. Naturtypekartlegging i Vågen 2015. SAM Notat, 2015.

Uni Research Miljø SAM-Marin, 2017. Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2016. Samlerapport 2011-2016. SAM e-rapport nr. 06-2017|

Uriansrud F. og Stenstrøm P., 2005. Modellering av miljøgifttransport i Vågen, Bergen havn. Delrapport til tiltaksplan for forurensede sedimenter Bergen havn, Fase 2. NIVA-rapport nr 5055.

Vannforekomst "Byfjorden Indre del" på VannNett-Portal, 2024. Tiltak. [www.vann-nett.no](http://www.vann-nett.no).

Vestland fylkeskommune, 2021. Vestland vassregion. Tiltaksprogram for Vestland vassregion 2022-2027. Versjon 28.10.21.

Vestland fylkeskommune, 2022. Vestland vassregion. Regional plan for vassforvaltning for Vestland vassregion 2022-2027. Godkjent av Klima- og miljødepartementet 31.10.22.

Vestland fylkeskommune, 2025. Innvilga søknad om dispensasjon frå kulturminnelova §14 - Vågen Askeladden ID. 89237 - Bergen kommune. Ref 2022/81293-32. Datert 26.11.25. 2025.

Wammer E.U., 2012. Rapport fra marinarkeologisk miljøovervåking i Vågen, Bergen. Første fase: Undersøkelse oktober 2011-januar 2012. Bergens Sjøfartsmuseum.

Wammer E.U., 2013. Rapport fra marinarkeologisk miljøovervåking i Vågen, Bergen. Andre fase: Oppfølgende undersøkelser november 2012. Bergens Sjøfartsmuseum.

## 11 Vedlegg

Vedlegg 1 Miljøriskovurdering for anleggsfase. Innledende vurdering per 06.11.25

Miljøriskovurdering for anleggsfase, Vågen

Hensikt

Sikre ivaretagelse av myndighetskrav og tillatelser. Identifisere risiko og nødvendige tiltak. Avklare ansvarforhold BH vs Entr. Grunnlag for detaljplanlegging, kontroll- og overvåkingsplan, anskaffelse.

Omfang

Risiko for ytre miljø ved gjennomføring av tiltak mot forurenset sjøbunn i Vågen. Anleggsarbeidet omfatter marinarknologisk undersøkelse, skrotrydding, mudring, tildekking med rene tildekkingsmasser og erosjonssikring med steinmasser og betongmadrasser. Analysen omfatter miljøtema: Avfallshåndtering og materialvalg, utslipp til jord, vann og luft, støy, naturmangfold, kulturarv, påvirkning på by- og friluftsliv, klimagass og energiforbruk, naturressurser, naturfarre  
Analysen omfatter ikke SHA.

Grunnlag

Søknader om tillatelse og foreløpige avklaringer mot Statsforvalter, Fylkeskommunen og Bergen Havn  
Tiltaksplan for Vågen og oppdaterte tiltakskart pr 29.09.25  
Foreløpig informasjon om BSJ sin plan for marinarknologisk undersøkelse i Vågen  
[Rammetillatelse / planføresegn](#)  
[Fyller inn dato for søknader og tillatelser når disse er mottatt](#)  
[Fyller inn ev andre prosjektmål som kommunen har for anleggsgjennomføringen; klimagass, omdømme mv](#)

Metode

Grov ROS-analyse basert på NS5815 Risikovurdering av anleggsarbeid ( og SVV mal miljørisk?).  
Sannsynlighet og konsekvens er vurdert mot definerte kriterier fra 1-5.

Kriterier for sannsynlighet

| S-verdi | Sannsynlighet | Sannsynlighet            |
|---------|---------------|--------------------------|
| S1      | Svært liten   | Hvert år eller sjeldnere |
| S2      | Liten         | Månedlig                 |
| S3      | Moderat       | Ukentlig                 |
| S4      | Stor          | Daglig                   |
| S5      | Svært stor    | Flere ganger om dagen    |

Kriterier for konsekvens

| K-verdi | Konsekvens     | Konsekvens                                                                                   |
|---------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| K1      | Ubetydelig     | Liten miljøskade og kort restitusjonstid.<br>Ingen brudd på utslippstillatelse               |
| K2      | Liten          | Moderat skade og kort restitusjonstid<br>Ingen vesentlige brudd på utslippstillatelse        |
| K3      | Moderat        | Moderat skade og lang restitusjonstid.<br>Moderate brudd på utslippstillatelsen              |
| K4      | Alvorlig       | Alvorlig skade og lang restitusjonstid.<br>Vesentlige brudd på utslippstillatelsen           |
| K5      | Svært alvorlig | Svært alvorlig, langvarig og ikke reversibel skade.<br>Alvorlig brudd på utslippstillatelsen |

Risikonivå

|    |             | K1          | K2    | K3      | K4       | K5             |
|----|-------------|-------------|-------|---------|----------|----------------|
|    |             | Svært liten | Liten | Moderat | Alvorlig | Svært alvorlig |
| S5 | Svært stor  |             |       |         |          |                |
| S4 | Stor        |             |       |         |          |                |
| S3 | Moderat     |             |       |         |          |                |
| S2 | Liten       |             |       |         |          |                |
| S1 | Svært liten |             |       |         |          |                |

Akseptkriterier

| Risikonivå | Beskrivelse                                        |
|------------|----------------------------------------------------|
|            | Akseptabel risiko. Oppretthold eksisterende tiltak |
|            | Middels risiko. Tiltak må vurderes.                |
|            | Høy risiko. Tiltak må gjennomføres.                |

Gjennomføring

Arbeidsmøte 1 og 2: Innledende vurderinger. 30.10.2025, 06.11.25. Deltakere Bergen kommune: ACK, ER og COWI: AVSU, AMG  
[Arbeidsmøte 3: Oppdatering når tillatelser er mottatt](#)

## Resultater

[Fyll inn](#)

## Forkortelser

S=sannsynlighet, K=konsekvens, KOP=kontroll- og overvåkingsplan, Entr=Entreprenør, BH=Byggherre, SFVL=Statsforvalteren i Vestland, VLFK= Vestland Fylkeskommune, BSJ=Bergens Sjøfartsmuseum  
BEH: Bergen Havn

Miljørisikovurdering for anleggsfase, Vågen

Omfang og grunnlag: se beskrivelse i Tiltaksplan for Vågen kapittel 7.3.

Gjennomføring: Innledende kvalitativ vurdering utført i arbeidsmøter oktober/november 2025 med deltakere fra Bergen kommune Bymiljøetat og COWI

Forkortelser: S=sannsynlighet, K=konsekvens, KOP=kontroll- og overvåkingsplan, Entr=Entreprenør, BH=Byggherre, SFVL=Statsforvalteren i Vestland, VLFK= Vestland Fylkeskommune, BSJ=Bergens Sjøfartsmuseum, BEH: Bergen Havn. Kml: Kulturminneloven

|  |                 | Konsekvens                                                               |                                                                                       |                                                                               |                                                                                  |                                                                                             |
|--|-----------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                 | K1                                                                       | K2                                                                                    | K3                                                                            | K4                                                                               | K5                                                                                          |
|  |                 | Liten miljøskade<br>Kort restitusjonstid<br>Ikke brudd på tillatelse/mål | Moderat miljøskade<br>Kort restitusjonstid<br>Ikke vesentlige brudd på tillatelse/mål | Moderat miljøskade<br>Lang restitusjonstid<br>Moderat brudd på tillatelse/mål | Alvorlig miljøskade<br>Lang restitusjonstid<br>Vesentlig brudd på tillatelse/mål | Svært alvorlig miljøskade<br>Langvarig, ikke reversibel<br>Alvorlig brudd på tillatelse/mål |
|  |                 | Sannsynlighet                                                            |                                                                                       |                                                                               |                                                                                  |                                                                                             |
|  | S5 Ukentlig     |                                                                          |                                                                                       |                                                                               |                                                                                  |                                                                                             |
|  | S4 Månedlig     |                                                                          |                                                                                       |                                                                               |                                                                                  |                                                                                             |
|  | S3 Hvert halvår |                                                                          |                                                                                       |                                                                               |                                                                                  |                                                                                             |
|  | S2 Hvert år     |                                                                          |                                                                                       |                                                                               |                                                                                  |                                                                                             |
|  | S1 Hvert 5 år   |                                                                          |                                                                                       |                                                                               |                                                                                  |                                                                                             |

| RISIKOVURDERING |                                           |                                   |                                          |                                                                       |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                   |   |                    | RISIKOREDUSERENDE TILTAK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                           |   |                     |              |                      |                        |                      |
|-----------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------|--------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Nr              | Miljøtema                                 | Aktivitet                         | Problemstilling                          | Miljøkrav/-mål                                                        | Uønsket hendelse                                                      | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | S                                                                                                                                                                                                                                                 | K | Risiko uten tiltak | Risikoreduserende tiltak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | S                                                                                                                                                                                                         | K | Risiko etter tiltak | Dokument     | Ansvar for utførelse | Frist/ framdrift       |                      |
| 1               | Andre forhold/generelt for alle miljøtema | Generelt                          | Forebygge og håndtere uønskede hendelser | Myndighetskrav<br><br>Tillatelser                                     | Mangelfull KOP, IK og beredskapsplan<br><br>Uavklarte ansvarsforhold  | Anleggsarbeidet innebærer håndtering av avfall og forurenset masse samt beskyttelse av rene masser og ny ren sjøbunn mot ny forurensning i et område med aktiv havnedrift og kulturarv.<br><br>Gjennomføring av arbeidet, kontroll og oppfølging av avvik kan bli mangelfull eller unødig forsinket dersom ansvarsforhold ikke er definert og forstått, eller dersom forebyggende og skadebegrensende rutiner er mangelfulle eller ikke implementert. |                                                                                                                                                                                                                                                   |   | ❌ 3                | Kontroll- og overvåkingsplan (KOP) skal avklare ansvar for kontroll og oppfølging av hendelser. Planen skal gjennomgås i planleggingsmøte med entreprenør før anleggsstart.<br><br>Entreprenør skal dokumentere at krav i kontroll- og overvåkingsplanen er implementert i egen internkontroll og beredskapsplan.<br><br>Entreprenør skal dokumentere tilstrekkelig og kompetent personell.<br><br>Analyseresultater og avvik skal rapporteres regelmessig og gjennomgås i byggemøter. |                                                                                                                                                                                                           |   | ✅ 1                 | KOP kap.x.x. | Entr, BH             | Forarbeid, anleggsfase |                      |
| 2               |                                           | Generelt                          | Forebygge og håndtere uønskede hendelser | Myndighetskrav<br><br>Tillatelser                                     | Tidspress, uklar kommunikasjon og planlegging                         | Arbeidet skal utføres i en travel havn. Tidspress og uklar kommunikasjon (internt i prosjektet eller mot brukere BEH) kan medføre økt risiko for ytre miljø. Mangelfulle gjennomføringsplaner kan øke faren for rekontaminering av oppryddede områder.                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                   |   | ❌ 3                | Entreprenør må løpende utarbeide detaljert gjennomføringsplan for anleggsarbeidet i samråd med byggherre/BEH/kaieier.<br><br>Kommunikasjon mellom BH, Entr og internt i arbeidslag, skal være tydelig slik at misforståelser unngås.                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                           |   | ✅ 1                 | KOP          | Entr, BH             | Forarbeid, anleggsfase |                      |
| 3               |                                           | Avfallshåndtering og materialvalg | Generelt                                 | Avfallshåndtering                                                     | Forurensningsloven, Avfallsforskriften, Tillatelse fra Statsforvalter | Feil sortering, håndtering, lagring, deklarerer, levering av avfall.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Det vil genereres avfall i forbindelse med skrottrydding, muddring, drift og vedlikehold av anleggsmaskiner og generell anleggsvirksomhet. Type avfall (skrot, slam fra renseanlegg, mudringsmasser, siltgardin, olje, arbeidsklær/tekstiler mm.) |   |                    | ❌ 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Avfallsplan skal foreligge før oppstart. Rutiner for oppbevaring, deklarerer og levering av avfall til godkjent mottak. Drift og oppfølging av avfallsplan i anleggsfase. Dokumentasjon på levert avfall. |   |                     | ✅ 1          | KOP                  | Entr                   | Forarbeid, utførelse |
| 4               | Avfallshåndtering og materialvalg         | Marinarkeologisk undersøkelse     | Avfallshåndtering                        | Forurensningsloven, Avfallsforskriften, Tillatelse fra Statsforvalter | Feil sortering, håndtering, lagring, deklarerer, levering av avfall.  | Det vil genereres avfall i forbindelse med marinarkeologisk utgraving (mudring, drift og vedlikehold av anleggsmaskiner og generell anleggsvirksomhet. Type avfall (skrot, slam fra renseanlegg, mudringsmasser, olje mm.)                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                   |   | ❌ 3                | Ansvarsfordeling mellom BSJ/BH mht. miljøoppfølging må avklares<br><br>Avfallsplan skal foreligge før oppstart. Rutiner for oppbevaring, deklarerer og levering av avfall til godkjent mottak. Drift og oppfølging av avfallsplan i anleggsfase.<br><br>Levert avfall skal dokumenteres.                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                           |   | ✅ 1                 | BSJ feltplan | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse   |                      |

| RISIKOVURDERING |                                   |               |                                                              |                                                                                                                                              |                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   |                    | RISIKOREDUSERENDE TILTAK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |   |                     |          |                      |                      |
|-----------------|-----------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---------------------|----------|----------------------|----------------------|
| Nr              | Miljøtema                         | Aktivitet     | Problemstilling                                              | Miljøkrav/-mål                                                                                                                               | Uønsket hendelse                                                                              | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | S | K | Risiko uten tiltak | Risikoreduserende tiltak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | S | K | Risiko etter tiltak | Dokument | Ansvar for utførelse | Frist/ framdrift     |
| 5               | Avfallshåndtering og materialvalg | Generelt      | Forbruk av materialer                                        | Produktkontrolloven, Veileder for gjennomføring "Vurdering av helse- og miljøfarlige stoffer på byggeplasser", Tillatelse fra Statsforvalter | Bruk av produkter med stoffer som kan være en risiko for helse og miljø.                      | Det skal generelt benyttes færre kjemikalier og materialer i anleggsfasen. Type hydrauliskolje etc. må stemme med beredskapsmaterieill på stedet.<br><br>Type betong i betongmatter (må tåle marint miljø og ikke avgir uønskede stoffer)                                                                                                                                                                                         |   |   | ⚠️ 1               | 2 Systemer for vurdering av farlige kjemikalier med sikte på substitusjon (utskifting). Substitusjonspikten innebærer at alle som bruker eller planlegger å bruke produkter med stoffer som kan være en risiko for helse og miljø, har plikt til å vurdere om det er mulig å bruke mindre farlige alternativer.                                                                 |   |   | ✅ 1                 | KOP      | Entr                 | Forarbeid            |
| 6               | Forurensning av jord og vann      | Skrotrydding  | Avrenning av forurensning fra område for håndtering av skrot | Forurensningsloven<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter                                                                                      | Utilstrekkelig oppsamling av slam/vann og dimensjonering av renseanlegg. Svikt i renseanlegg. | Anlegget vil håndtere svært forurenset masse fra sjøbunnen i TK 5. Håndtering og vask av skrot kan føre til utslipp av slam og/eller forurenset vann til omgivelsene.<br><br>Tillatelsen vil inneholde krav til overvåking og grenseverdier for innhold i utslippsvann fra vasking av skrot og avvanning av mudringsmasse.<br><br>Riggområde med areal for håndtering av avfall blir trolig på Tollbdkaaien eller Festningskaaien |   |   | ❌ 3                | 3 System vaskeanlegg av avfall inkludert oppsamling og rensing av vann som overholder grenseverdier i tillatelsen.<br><br>Driftsrutiner for renseanlegg, prøvetaking, drift og tilsyn med vaskeplass inkl leverin av slam fra vaskeanlegg til godkjent deponi og rapportering til BH.<br><br>Beredskapsrutiner hvis renseanlegget svikter. Rutiner skal foreligge før oppstart. |   |   | ✅ 1                 | KOP      | Entr                 | Forarbeid, utførelse |
| 7               | Forurensning av jord og vann      | Mudring       | Avrenning av forurensning fra håndtering av mudringsmasser   | Forurensningsloven<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter                                                                                      | Utilstrekkelig løsning for avvanning og transport av mudringsmasser                           | Det skal mudres ca . XX m³ sjøbunn i ytre del av Vågen, TK ≤3. Massene må avvannes før videre transport.<br><br>Tillatelsen vil inneholde grenseverdier for utslipp av vann fra avvanning av mudringsmasser og deponering av massene.                                                                                                                                                                                             |   |   | ❌ 3                | 3 Løsning for avvanning må tilpasses forurensningsgrad i mudringsmassene slik at grenseverdier i tillatelsen overholdes.                                                                                                                                                                                                                                                        |   |   | ✅ 1                 | KOP      | Entr                 | Forarbeid, utførelse |
| 8               | Forurensning av jord og vann      | Uhellsutslipp | Utslipp av olje, drivstoff eller andre kjemikalier           | Forurensningsloven<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter                                                                                      | Uhell, søl, lekkasje                                                                          | Generelt skal det benyttes få kjemikalier. Det kan imidlertid oppstå utslipp av olje og drivstoff som følge av lekkasje på maskiner, utslipp fra riggområde/verksted eller ved påfylling eller oppbevaring av kjemikalier.                                                                                                                                                                                                        |   |   | ❌ 3                | 3 Riggplan.<br><br>Rutine for oppbevaring og håndtering av kjemikalier og påfyll av drivstoff.<br><br>Vedlikeholdsplan for maskiner som kan ha utslippsmessig betydning.<br><br>Beredskap- og varslingsplan. Tilgjengelig beredskapsmaterieill for rask håndtering av ev. utslipp. Materieill må fungere for aktuelle kjemikalier som benyttes                                  |   |   | ✅ 1                 | KOP      | Entr                 | Forarbeid, utførelse |

| RISIKOVURDERING |                    |              |                                                        |                                                     |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |                    | RISIKOREDUSERENDE TILTAK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |   |                     |                        |                      |                      |
|-----------------|--------------------|--------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| Nr              | Miljøtema          | Aktivitet    | Problemstilling                                        | Miljøkrav/-mål                                      | Uønsket hendelse                                                                                                                                    | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | S | K | Risiko uten tiltak | Risikoreduserende tiltak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | S | K | Risiko etter tiltak | Dokument               | Ansvar for utførelse | Frist/ framdrift     |
| 9               | Forurensning i sjø | Skrotrydding | Spredning av forurensning fra gammel sjøbunn           | Forurensningsloven<br>Tillatelse fra Statsforvalter | Oppvirvling og spredning av forurensning i forbindelse med skrotrydding                                                                             | Det skal hentes opp skrot som har ligget delvis nedgravd i forurenset sjøbunn. Avhengig av valgt metode vil forurensning kunne spres når skrot heves til vannoverflaten, og gjenstander i delvis oppløsning kan spre avfall (eks. morkne dekk).<br><br>Skrotrydding skal utføres før tildekking med rene masser og skal ikke kunne rekontaminere oppryddede områder. Spredning av forurensning ut av tiltaksområdet må unngås.<br><br>BEH har ansvar for å rydde avfall nyere enn 2008. Forventer at det er begrenset omfang og relativt små gjenstander som skal håndteres av prosjektet. Kortvarig aktivitet, begrenset spredning av forurensning. Omfang skal kartlegges før oppstart. |   |   | ⚠️ 2               | Skånsom heving av skrot fra sjøbunnen direkte til fartøy.<br><br>Skrot skal oppbevares og transporteres på tett dekke for å unngå spredning av forurenset slam/vann under arbeidet.                                                                                                                                                                                  |   |   | ✅ 1                 | KOP                    | Entr                 | Utførelse            |
| 10              | Forurensning i sjø | Mudring      | Spredning av forurensning fra gammel sjøbunn           | Forurensningsloven<br>Tillatelse fra Statsforvalter | Oppvirvling og spredning av forurensning i forbindelse med mudring                                                                                  | Det skal mudres i forurenset sjøbunn i ytre del av Vågen, TK ≤3. Relativt grove masser. Avhengig av valgt metode vil forurenset slam spres når massene heves til overflaten.<br><br>Rekkefølgekrav; mudring skal utføres før tildekking slik at rekontaminering unngås.<br><br>Tillatelsen angir krav til overvåking og grenseverdi for turbiditet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   |   | ⚠️ 2               | Rekkefølgekrav innarbeidet i framdriftsplan.<br><br>Kontinuerlig måling av turbiditet og tiltak ved overskridelse av grenseverdi.<br><br>Beredskapsplan.                                                                                                                                                                                                             |   |   | ✅ 1                 | KOP<br>Fremdrifts-plan | Entr                 | Forarbeid, utførelse |
| 11              | Forurensning i sjø | Tildekking   | Spredning av forurensning fra gammel sjøbunn.          | Forurensningsloven<br>Tillatelse fra Statsforvalter | Oppvirvling og spredning av forurensning ved tildekking.<br><br>Re-sedimentering av forurenset materiale på toppen av rent tildekkingslag.          | Det skal tildekkes med rene masser på gammel forurenset sjøbunn med varierende fasthet. Avhengig av valgt metode for nedføring av massene vil gammel sjøbunn kunne bli virvlet opp og resedimentere på toppen av tildekkingslaget.<br><br>Tillatelsen vil angi krav til overvåking og grenseverdi for turbiditet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |   | ❌ 3                | Krav til kontrollert nedføring og utlegging av tildekkingsmassene.<br><br>Vurdere utlegging i flere lag i definerte områder med størst fare for oppvirvling.<br><br>Kontinuerlig måling av turbiditet og tiltak ved overskridelse av grenseverdi.<br><br>Kontroll av at kjemisk kvalitet i ny sjøbunn er under tiltaksmål (TK2). Kontroll pr delfelt (innen 4 uker). |   |   | ✅ 1                 | KOP                    | Entr                 | Forarbeid, utførelse |
| 12              | Forurensning i sjø | Tildekking   | Spredning av forurensning fra ikke-tildekkede områder. | Forurensningsloven<br>Tillatelse fra Statsforvalter | Oppvirvling og spredning av finstoff fra områder nært kaier som ikke kan tildekkes.<br><br>Rekontaminering av tildekkingslage under og etter tiltak | Om det blir ikke-tildekkede arealer nært kaier avklares våren 2026 i samråd med BEH.<br><br>Vurdering av rekontamineringsrisiko skal inkluderes i oppdatert søknad etter forurensningsloven våren 2026.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   | ❌ 3                | Hensynssone i KPA.<br><br>Krav til tiltak ved framtidig vedlikehold og arbeid i de ikke-tildekkede områdene.                                                                                                                                                                                                                                                         |   |   | ⚠️ 2                |                        | BH                   | Forarbeid            |

| RISIKOVURDERING |                    |            |                                                            |                                                                 |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |   | RISIKOREDUSERENDE TILTAK |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |   |                     |          |                      |                      |
|-----------------|--------------------|------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---------------------|----------|----------------------|----------------------|
| Nr              | Miljøtema          | Aktivitet  | Problemstilling                                            | Miljøkrav/-mål                                                  | Uønsket hendelse                                                                    | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                             | S | K | Risiko uten tiltak       | Risikoreduserende tiltak                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | S | K | Risiko etter tiltak | Dokument | Ansvar for utførelse | Frist/ framdrift     |
| 13              | Forurensning i sjø | Tildekking | Forurensede tildekkingsmasser                              | Forurensningsloven M-411<br>Tillatelse fra Statsforvalter       | Mangelfull kontroll og dokumentasjon.                                               | Det skal benyttes masser som tilfredsstillende krav i veileder M-411.                                                                                                                                                                                                                   |   |   | ✖ 3                      | Visuell kontroll, prøvetaking og dokumentasjon av kvalitet iht. M-411                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   | ✔ 1                 | KOP      | Entr                 | Forarbeid            |
| 14              | Forurensning i sjø | Tildekking | Forurensning av sjøvannsinntak                             | Forurensningsloven<br><br>Krav fra brukere (kvalitet og mengde) | Spredning av forurensning til vanninntak                                            | Mathallen har inntak av kjølevann ved Torgkaia vest, i område som skal tildekkes og erosjonssikres. Det skal etableres midlertidig løsning i anleggsfase og ny inntaksledning legges oppå tildekkingslaget etter tiltak.<br><br>Akvariet/HI har et sjøvannsinntak nordvest for Nordnes. |   |   | ✖ 3                      | Midlertidig løsning for Mathallen må etableres i samråd med EBE.<br><br>Overvåking av partikkelspredning ut av Vågen mht. sjøvannsinntaket til Akvariet/HI.<br><br>Beredskap- og varslingsplan som inkluderer kontaktpersoner for sjøvannsinntakene                                                                            |   |   | ✔ 1                 | KOP      | BH                   | Forarbeid, utførelse |
| 15              | Forurensning i sjø | Generelt   | Utrasing fra land, skade på kaier                          | Krav fra BEH og kaiforvalter<br><br>Kulturminneloven            | Ustabile kaikonstruksjoner, undergraving ved mudring, dunk/slag fra anleggsmaskiner | Basert på geoteknisk vurdering og hensyn til seilingsdyp og kaistabilitet er det valgt å ikke mudre i beltet 0-5 m fra kai. Det planlegges noe mudring utenfor Festningskaia. Kaien er spuntet i flere omganger.<br><br>Det skal legges ut tildekkingsmasser inn til kaier.             |   |   | ✖ 3                      | Vurderer overvåking av ev. bevegelser i kai (sensorer). Dokumentere om bevegelse.<br><br>Krav om forsiktig arbeid ved utlegging av masser nært kaier                                                                                                                                                                           |   |   | ✔ 1                 | KOPI     | Entr, BH             | Forarbeid, utførelse |
| 16              | Forurensning i sjø | Generelt   | Detonering av eksplosiver                                  | Forurensningsloven                                              | Ukontrollert detonering av eksplosiver                                              | En ukontrollert detonering vil kunne forårsake stor skade på personell og utstyr samt føre til spredning av forurenset masse.<br><br>UXO-kartlegging pågår høst 2026.<br><br>Avventer vurdering til UXO-rapport foreligger.                                                             |   |   |                          | Ev. oppfølging av UXO-undersøkelsen (innhente erfaring fra feks. forsvarsbygg, andre havner, historier)<br><br>Det forutsettes at forebyggende og skadebegrensende tiltak implementeres i SHA-planen for anlegget ut over generell beredskapsplan.<br><br>Risikoreduserende tiltak vurderes ikke som nødvendige for ytre miljø |   |   |                     | SHA-plan | Entr, BH             | Forarbeid            |
| 17              | Forurensning i sjø | Tildekking | Feil kornfordeling i tildekking- og erosjonssikringsmasser | BH tiltaks mål                                                  | For grove/fine tildekkingsmasser. Utlekking gjennom tildekking over tid             | Tildekkingstykkelse og erosjonssikring er designet for en spesifisert kornfordeling. Grenseverdier er angitt i detaljprosjekt. Kornfordeling kan variere (særlig i TBM-masser)                                                                                                          |   |   | ⚠ 2                      | Entr må dokumentere at kornfordelingen er innenfor angitt størrelse                                                                                                                                                                                                                                                            |   |   | ✔ 1                 | KOP      | Entr                 | Forarbeid            |
| 18              | Forurensning i sjø | Tildekking | Tynnere tildekking-/erosjonssikringslag enn planlagt.      | BH tiltaks mål                                                  | Utlekking gjennom tildekking over tid. Mangelfull kontroll på utleggingsutstyr.     | Nøyaktighet i utleggingstykkelse avhenger av valgt metode. Det stilles krav til grenseverdi for akseptabelt variasjon og krav til sluttokumentasjon i detaljprosjekt.                                                                                                                   |   |   | ⚠ 2                      | Entr må kunne dokumentere bruk av materiell som gir jevn og riktig tildekkingstykkelse.<br><br>Sluttkontroll av tildekkingstykkelse og resultater innenfor oppgitt intervall.                                                                                                                                                  |   |   | ✔ 1                 | KOP      | Entr                 | Forarbeid, utførelse |

| RISIKOVURDERING |                              |                               |                                                                       |                                                         |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |   |                    | RISIKOREDUSERENDE TILTAK                                                                                                                                     |   |   |                     |              |                      |                      |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Nr              | Miljøtema                    | Aktivitet                     | Problemstilling                                                       | Miljøkrav/-mål                                          | Uønsket hendelse                                                      | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | S | K | Risiko uten tiltak | Risikoreduserende tiltak                                                                                                                                     | S | K | Risiko etter tiltak | Dokument     | Ansvar for utførelse | Frist/ framdrift     |
| 19              | Forurensning av jord og vann | Generelt                      | Akutt forurensning eller økt fare for forurensning på land/i sjø      | Tillatelse fra Statsforvalter                           | Dårlig vær, uforutsette hendelser, teknisk svikt                      | Arbeidet skal foregå ved/på sjø og kan være utsatt ved dårlig vær (vind/bølger/frost). Teknisk svikt i renseanlegg, anleggsmaskiner eller annet utstyr kan forårsake akutt forurensning eller økt forurensningsfare.<br><br>Vågen er generelt lite værutsatt, men er utsatt ved sterk vind fra nord. Det er generelt stor beredskap i Vågen (Bergen Havn, brannvesenet mv.) |   |   | ⚠️ 2               | Plan for vedlikehold av utstyr. Beredskapsplan og beredskapsutstyr.<br><br>Fortløpende tilpassing av arbeidet til værvarsel                                  |   |   | ✅ 1                 | KOP          | Entr, BH             | Forarbeid            |
| 20              | Forurensning av jord og vann | Generelt                      | Rekontaminering av område ved Grønnestaken og ev. sjøbunnsdeponi      | Forurensningsloven<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter | Spredning av forurensning fra anleggsarbeidet til Kystverkets områder | Mulig spredning av partikkelbundet forurensning kan skje ved mudring foran Festningskaien.<br><br>Det er foreløpig uklart når Kystverket skal gjennomføre tiltak ved Grønnestaken, hva det omfatter og om de etablerer ferdig tildekket sjøbunnsdeponi.                                                                                                                     |   |   | ❌ 3                | Tiltakene Grønnestaken og Vågen må koordineres i fremdrift og tiltak.                                                                                        |   |   |                     |              | BH                   | Forarbeid            |
| 21              | Forurensning av jord og vann | Marinarkeologisk undersøkelse | Utslipp av forurensning fra vasking/håndtering av gjenstander på land | Forurensningsloven<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter | Utilstrekkelig håndtering av forurenset vann                          | Praktisk gjennomføring og omfang må avklares med BSJ og tilpasses ev. utslippskrav fra SFVL.<br><br>Avvente vurdering til plan fra BSJ foreligger.                                                                                                                                                                                                                          |   |   |                    | Plan for håndtering av forurenset vann fra land.<br><br>Løsning for vannhåndtering vhenger av mengde og forurensningsgrad. Søke om påslipp til avløpsnettet? |   |   |                     | BSJ feltplan | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse |
| 22              | Forurensning av jord og vann | Marinarkeologisk undersøkelse | Utslipp av olje, drivstoff eller andre kjemikalier                    | Forurensningsloven<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter | Uhell, søl, lekkasje                                                  | Det skal benyttes fartøy og maskiner med olje og drivstoff. Annet? Preserveringskjemikalier?<br><br>Avvente vurdering til plan fra BSJ foreligger                                                                                                                                                                                                                           |   |   |                    | Beredskapsplan, varslingsplan og beredskapsmaterieill                                                                                                        |   |   |                     | BSJ feltplan | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse |
| 23              | Forurensning i sjø           | Marinarkeologisk undersøkelse | Spredning av forurensning ved graving av sjakter                      | Forurensningsloven<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter | Oppvirvling og spredning av forurensning.                             | Det skal graves sjakter vha. sugemudring i svært forurenset sjøbunn, TK5. Sugemudring gir generelt lite oppvirvling og spredning under arbeid. Fare for vanninntaket til Mathallen?<br><br>Avvente vurdering til plan fra BSJ foreligger                                                                                                                                    |   |   |                    |                                                                                                                                                              |   |   |                     | BSJ feltplan | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse |
| 24              | Forurensning i sjø           | Marinarkeologisk undersøkelse | Avrenning av forurensning fra håndtering av mudringsmasser            | Forurensningsloven<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter | Utilstrekkelig løsning for avvanning og transport av mudringsmasser   | Det skal sugemudres ca. 700 m³ sjøbunn i TK 5. Massene vil ha lavt tørrstoffinnhold og må avvannes før videre transport. Tillatelsen vil inneholde grenseverdier for utslipp av vann fra avvanning av mudringsmasser og deponering av massene.<br><br>Avvente vurdering til plan fra BSJ foreligger                                                                         |   |   |                    | Plan for håndtering må utarbeides i god tid. Fortløpende transport til avvanningsanlegg og videre til godkjent deponi.                                       |   |   |                     | BSJ feltplan | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse |

| RISIKOVURDERING |                     |                               |                                                          |                                                                             |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |                    | RISIKOREDUSERENDE TILTAK                                                                                                                                                              |   |   |                     |              |                      |                                                           |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---------------------|--------------|----------------------|-----------------------------------------------------------|
| Nr              | Miljøtema           | Aktivitet                     | Problemstilling                                          | Miljøkrav/-mål                                                              | Uønsket hendelse                                                                                                        | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | S | K | Risiko uten tiltak | Risikoreduserende tiltak                                                                                                                                                              | S | K | Risiko etter tiltak | Dokument     | Ansvar for utførelse | Frist/ framdrift                                          |
| 25              | Forurensning i sjø  | Marinarkeologisk undersøkelse | Fysisk skade på kai ved bruk av anleggsmaskiner nært kai | Rammetillatelse<br><br>Krav fra BEH og kaiforvalter<br><br>Kulturminneloven | Dunk/slag fra anleggsmaskiner ved arbeid nært kaier                                                                     | Avvente vurdering til plan fra BSJ foreligger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |   |                    |                                                                                                                                                                                       |   |   |                     | BSJ feltplan | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse                                      |
| 26              | Luftforurensning    | Marinarkeologisk undersøkelse | Lukt                                                     | Forurensningsloven<br>Tillatelse fra Statsforvalter                         | Sjenerende lukt fra håndtering av mudringsmasser                                                                        | Det skal sugemudres ca . 700 m³ sjøbunn med lavt oksygeninnhold og sterk H <sub>2</sub> S-lukt. Arbeidet med gjennomgang av sediment foregår i friluft. Rask fortynning. Arbeid om vinteren.<br><br>Avvente vurdering til plan fra BSJ foreligger                                                                                                                                                            |   |   |                    |                                                                                                                                                                                       |   |   |                     | BSJ feltplan | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse                                      |
| 27              | Luftforurensning    | Mudring                       | Lukt                                                     | Forurensningsloven<br>Tillatelse fra statsforvalter                         | Sjenerende lukt fra håndtering av mudringsmasser                                                                        | Det skal mudres i områder med relativt gode oksygenforhold, grove masser med lite organisk innhold. Forventer lite H <sub>2</sub> S-lukt. Arbeidet med gjennomgang av sediment foregår i friluft. Rask fortynning. Arbeid om vinteren.                                                                                                                                                                       |   |   | ✔ 1                |                                                                                                                                                                                       |   |   |                     |              |                      |                                                           |
| 28              | Luftforurensning    | Tildekking                    | Støv                                                     | Forurensningsloven<br>Tillatelse fra Statsforvalter                         | Støvfukt fra transport av masser, omlasting eller utlegging. Tørt vær.                                                  | Tildeckingsmasser med stor andel finstoff skal transporteres og lastes om på båt/lekter. Potensiale for støvfukt og risiko for sjenerende støvnedfall på tørre dager. Forventet grenseverdi i tillatelse fra SFVL er 5g/m² og 30dgr (?)                                                                                                                                                                      |   |   | ✔ 1                | Støvdempende tiltak, støvmålinger ved klage                                                                                                                                           |   |   |                     | KOP          | Entr                 | Utførelse                                                 |
| 29              | Luftforurensning    | Generelt                      | Eksos                                                    | Forurensningsloven<br>Tillatelse fra Statsforvalter<br><br>BH miljømål?     | Vesentlig bidrag til lokalt dårlig luftkvalitet (gasser, partikler). Utslipp NOX og partikler fra tunge anleggsmaskiner | Det skal foregå transport av masser og avfall om vinteren i områder med potensielt dårlig luftkvalitet. Ikke tillatt med massetransport inn til sentrum på bil? Frakt på fv må avklares før igangsettelse (ref. rammetillatelse).<br><br>Ca xx m³ tildeckingsmasse skal transporteres på båt. Mudringsmasser skal fraktes ut av området med bil / båt. Skrot skal transporteres ut av tiltaksområdet på bil. |   |   | ⚠ 2                | Krav til kjøretøyparken for å redusere den totale belastningen av utslipp. Det skal minimum benyttes maskiner som tilfredsstillter Euro 6 og Stage-klasse 4.<br><br>Tomgangsdrift?    |   |   |                     | KOP          | Entr                 | Forarbeid, utførelse                                      |
| 30              | Støy og vibrasjoner | Generelt                      | Støy over grenseverdi                                    | Pbl. §12-7 nr.3)<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter<br><br>BH miljømål?   | Støyende maskiner og utstyr                                                                                             | Det skal foregå omlasting og håndtering av masser med ulike typer maskiner nært boligområder, hoteller.<br><br>Grenseverdi er angitt i tillatelse.                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   | ⚠ 2                | Beregning av forventet støynivå skal foreligge før anleggsstart og dokumentere at støynivå blir innenfor angitte krav. Støymåling ved klager.<br><br>Arbeidstidsbestemmelser? Omdømme |   |   |                     | KOP          | Entr                 | Mudrings masser skal fraktes ut av området med bil / båt. |
| 31              | Støy og vibrasjoner | Marinarkeologisk undersøkelse | Støy over grenseverdi                                    | Pbl. §12-7 nr.3)<br><br>Tillatelse fra Statsforvalter<br><br>BH miljømål?   | Støyende maskiner og utstyr                                                                                             | Støyende aktiviteter?<br><br>Avventer vurdering til plan fra BSJ foreligger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |   |                    | Arbeidstidsbestemmelser? Omdømme                                                                                                                                                      |   |   |                     | BSJ feltplan | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse                                      |

| RISIKOVURDERING |                            |            |                                                                      |                                                  |                                                                             | RISIKOREDUSERENDE TILTAK                                                                                                                                                                                                                                    |   |   |                    |   |   |                                                                                                                                                                                             |          |                      |                      |
|-----------------|----------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------|----------------------|
| Nr              | Miljøtema                  | Aktivitet  | Problemstilling                                                      | Miljøkrav/-mål                                   | Uønsket hendelse                                                            | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                 | S | K | Risiko uten tiltak | S | K | Risiko etter tiltak                                                                                                                                                                         | Dokument | Ansvar for utførelse | Frist/ framdrift     |
| 32              | Klimagass og energiforbruk | Generelt   | Klimagassutslipp og ressursbruk                                      | BH miljømål                                      | Valg av løsning med unødvendig høyt klimagassutslipp                        | Klimagassbudsjett av ulike alternative løsninger viser mulighet for å redusere klimagassutslipp ved bruk av TBM-masser, lokal deponeringsordning for mudringsmasser og redusert bruk av betongmadrasser                                                     |   |   | ⓘ                  |   |   | Klimaavtrykk inkluderes i valg av tiltaksløsning.<br><br>Vurdere bruk av lavkarbonbetong i betongmadrasser.<br><br>Vurdere andre klimatiltak                                                |          | BH                   | Forarbeid            |
| 32              | Klimagass og energiforbruk | Generelt   | Klimagassutslipp og ressursbruk                                      | BH miljømål                                      | Unødvendig høyt utslipp og ressursbruk som følge av maskinpark og transport | Det skal foregå transport av store mengder masse.<br><br>Bergen kommunes krav til utslippsfrie anleggsplasser omfatter ikke arbeid i sjø, men det oppfordres til miljøvennlige valg av maskinpark og planlegging av logistikk og massetransport.            |   |   | ⓘ                  |   |   | Krav til elektriske kjøretøy og anleggsmaskiner?<br><br>Ladetilgang?                                                                                                                        |          | Entr                 | Forarbeid, utførelse |
| 33              | Naturmangfold              | Generelt   | Redusert kvalitet på leverområde for fisk og andre marine organismer | Naturmangfoldloven                               | Spredning av forurensning i anleggsfase                                     | Naturtypen og arts mangfoldet i området er vurdert til å ha liten verdi. Tiltaket vil innebære en forbigående forverring og så en stor forbedring for naturmiljøet.<br><br>Anleggsarbeidet vil bety liten endring da det er stor aktivitet i Vågen fra før. |   |   | ⓘ                  |   |   | Krav til metodevalg og kontinuerlig kontroll av spredning ved hjelp av online turbiditetsmåling.<br><br>Overvåking av miljøeffekt på lang og kort sikt.                                     | KOP      | Entr, BH             | Forarbeid, utførelse |
| 34              | Naturmangfold              | Generelt   | Spredning av fremmede arter                                          | Forkrift om fremmede arter                       | Spredning av havnespy til Bergen                                            | Båter og utstyr kan spre smitte mellom havneområder                                                                                                                                                                                                         |   |   | ✗                  |   |   | Entr skal følge Bergen Havn sine rutiner.<br><br>Utstyr som brukes i sjø skal være vasket i ferskvann og/eller vært helt tørket opp etter bruk i andre marine områder.                      | KOP      | Entr                 | Utførelse            |
| 35              | Kulturmiljø                | Mudring    | Tap av kulturminner                                                  | Kulturminneloven<br>Tillatelse<br>Fylkeskommunen | Tap av kulturminner eller skade på gjenstander ved mudring                  | Arbeidet skal pågå i vernet område.<br><br>Mudringen skal foregå i ytre del av Vågen som er mindre interessant mht. kulturminner sammenliknet med indre del av Vågen.                                                                                       |   |   | ⓘ                  |   |   | Tilrettelegge for at arkeolog kan gjennomgå mudringsmassene før deponering.<br><br>Varsling og stans dersom det påtreffes større objekter.<br><br>Obs, andre vilkår kan komme i tillatelsen | KOP      | Entr                 | Forarbeid, utførelse |
| 36              | Kulturmiljø                | Tildekking | Skade på kulturminner som følge av kompresjon                        | Kulturminneloven<br>Tillatelse<br>Fylkeskommunen | Ødeleggelse som følge av setninger                                          | Geoknisk- og marin arkeologisk vurdering er utført og konkluderer med liten sannsynlighet for skade.                                                                                                                                                        |   |   | ✓                  |   |   |                                                                                                                                                                                             |          | BH                   |                      |
| 37              | Kulturmiljø                | Generelt   | Skade på kulturminner som følge av endrede kjemiske forhold          | Kulturminneloven<br>Tillatelse<br>Fylkeskommunen | Ødeleggelse som følge av endringer i oksygenforhold og miljøgifter          | Tildekking kan medføre redusert oksygentilgang. Generelt positivt mht. bevaringsforhold.<br><br>Tildekkingen vil ikke medføre en økning i miljøgifter nedover i sjøbunnen og kulturlagene.                                                                  |   |   | ✓                  |   |   | Ev. vilkår om overvåking<br><br>Obs, andre vilkår kan komme i tillatelsen                                                                                                                   |          | BH                   |                      |

| RISIKOVURDERING |                        |                               |                                            |                                                  |                                                                                           | RISIKOREDUSERENDE TILTAK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |   |                    |   |   |                     |                    |                      |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------|---|---|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Nr              | Miljøtema              | Aktivitet                     | Problemstilling                            | Miljøkrav/-mål                                   | Uønsket hendelse                                                                          | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | S | K | Risiko uten tiltak | S | K | Risiko etter tiltak | Dokument           | Ansvar for utførelse | Frist/ framdrift     |
| 38              | Kulturmiljø            | Generelt                      | Påvirkning på grunnvannstand under Bryggen | Kulturminneloven<br>Tillatelse<br>Fylkeskommunen | Endring av grunnvannstransport gjennom sjøbunnen som følge av tildekking                  | Avventer vurdering til vilkår i disp. fra Kml. er mottatt.<br><br>I forb. med Bybaneprosjektet er det gjort vurderinger av effekt av ev. spunt og anleggsarbeid (NGU De Beer). Se overføringsverdi til Vågenprosjektet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |                    |   |   |                     |                    | BH                   | Forarbeid            |
| 39              | Kulturmiljø            | Marinarkeologisk undersøkelse | Tap av kulturminner                        | Kulturminneloven<br>Tillatelse<br>Fylkeskommunen | Tap av kulturminner eller skade på kaier eller gjenstander ved utgraving                  | Det forutsettes at dette er vurdert og ivarettatt av BSJ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |   | ✓                  |   |   |                     | BSJ feltplan       | BSJ/BH?              | Forarbeid, utførelse |
| 40              | Bymiljø og friluftsliv | Generelt                      | Arealinngrep                               | Rammetillatelse                                  | Anleggsaktivitet på sårbare areal                                                         | Anleggsarbeidet skal foregå i en aktiv havn. Riggområder etableres på industriområde (Festningskaien eller Tollbodkaien).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |   | ✓                  |   |   |                     |                    |                      |                      |
| 41              | Bymiljø og friluftsliv | Generelt                      | Havnedrift og persontransport på sjø       | Tillatelse Bergen Havn                           | Ulempe for havnedrift og persontransport (rutetrafikk, sightseeingbåter) i anleggsperiode | Anleggsarbeidet foregår i et aktivt havneområde. Anleggsarbeidet skal ikke medføre avsperringer av seilingsled, men kaier vil være uten tilkomst i kortere perioder.<br><br>Prosjektet forholder seg til Bergen Havn som koordinerer og tilrettelegger før og under tiltak.<br><br>Rutetrafikk fra Strandkaien (Skyss) må ha midlertidig alternativ kai. Persontransport med Beffen kan trenge alternativ kai. Sightseeing båter er i mindre grad i drift om vinteren mens anleggsarbeidet skal foregå. Det kan bli behov for tilrettelegging for enkelte ruter. |   |   | ✗                  |   |   |                     | KOP                | BH/Entr              | Forarbeid, utførelse |
| 42              | Bymiljø og friluftsliv | Tildekking                    | Havnedrift                                 | Tillatelse fra Bergen Havn                       | For tykk tildekking, redusert seilingsdyp ved viktige kaier                               | Det stilles krav til nøyaktighet i utleggelse og kontroll av tykkelse på tildekkingslaget.<br><br>BH, Entr og BEH må ha omforent kartgrunnlag.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   | ✗                  |   |   |                     | KOP                | Entr                 | Utførelse            |
| 43              | Bymiljø og friluftsliv | Generelt                      | Private kaier                              | Tillatelse Bergen Havn<br>Rammetillatelse        | Redusert tilgang til private kaier i anleggsperiode                                       | Nabovarsling er utført i forb. med søknad om rammetillatelse. Juridisk avklaring tilsier at ingen har eiendomsrett i sjø, prosjektet skal sikre tilfløttsrett for grunneiere langs Vågen (2024).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |   | ✗                  |   |   |                     | Kommunikasjonsplan | BH                   | Forarbeid, utførelse |
| 44              | Bymiljø og friluftsliv | Generelt                      | Handel, hotellnæring, turisme på land      | BH miljømål                                      | Ulempe for handel og hotellnæring i anleggsperiode                                        | Nabovarsling er utført i forb. med søkn om rammetillatelse.<br><br>Anleggsarbeidet vil ikke medføre avsperringer på land med unntak av riggområder. (Støy og luftforurensning behandles som egne hendelser)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |   | !                  |   |   |                     |                    |                      |                      |

[illegible]