

Overvåke partikkelspredning En praktisk tilnærming til bakgrunnsnivå og grenseverdi

MINERALS FOR A SUSTAINABLE FUTURE

SAFETY | ENVIRONMENT | INNOVATION

Report Prepared by



Owner: Karoline Høyvik	Approved by: Ylva Wård	
Version: 1.0	Submitted Date: 12.09.2024	Approved Date: 20.11.2024



OVERVÅKE PARTIKKELSPREDNING FØRDEFJORDEN

En praktisk tilnærming til bakgrunnsnivå og grenseverdi

Engebø Rutile & Garnet AS

Rapportnr.: 2024-2025, Rev. 0

Dokumentnr.: 2229690

Dato: 2024-09--12





Prosjektnavn: Overvåke partikkelspredning Førdefjorden
Rapporttittel: En praktisk tilnærming til bakgrunnsnivå og grenseverdi
Oppdragsgiver: Engebø Rutile & Garnet AS, 6800 Førde
DNV AS Energy Systems
Environmental Risk Nordics
Veritasveien 1, 1363 Høvik

Kontaktperson: Ylva Wård
Dato: 2024-09--12
Prosjektnr.: 10506429
Org. enhet: Environmental Risk Mgt Nordics-
Rapportnr.: 2024-2025, Rev. 0
Dokumentnr.: 2229690
Tel: +47 67 57 99 00
945 748 931

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

Oppdragsbeskrivelse:

Utført av:

Jensen, Tor

Digitally signed by Jensen, Tor
Date: 2024.11.18 18:50:30
+01'00'

Tor Jensen
Vice President - Head of Section

Verifisert av:

Møskeland,
Thomas

Digitally signed by
Møskeland, Thomas
Date: 2024.11.18
20:41:22 +01'00'

Thomas Møskeland
Senior principal consultant

Godkjent av:

Hauso,
Marianne

Digitally signed by
Hauso, Marianne
Date: 2024.11.19
06:56:22 +01'00'

Marianne Hauso
Service Area Manager

Internt i DNV er informasjonen i dette dokumentet klassifisert som:

	Kan dokumentet bli distribuert internt i DNV etter en gitt dato?	
	Nei	Ja
<input checked="" type="checkbox"/> Open	--	--
<input type="checkbox"/> DNV Restricted	--	--
<input type="checkbox"/> DNV Confidential	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> DNV Secret	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Flere personer som er autorisert til å distribuere dette dokumentet internt i DNV:

Keywords

Partikler, turbiditet, grenseverdi

Rev. no.	Date	Reason for issue	Prepared by	Verified by	Approved by
0	2024-09-12	First issue	TJEN	THM	Service Area Manager

Copyright © DNV 2024. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

UAVHENGIGHET, UPARTISKHET OG BEGRENSNINGER I RÅDGIVNINGENS UTSTREKNING

Dette dokumentet inneholder innhold levert av DNV. Vær oppmerksom på følgende:

Etiske uavhengighetstiltak

For å opprettholde den nødvendige integritet og upartiskhet som er essensielt for våre tredjepartsroller knyttet til samsvarsvurderinger, utfører DNV innledende interessekonfliktvurderinger før vi påtar oss engasjement i tilknytning til rådgivningstjenester.

Rolleprioritet

Denne rapporten er utarbeidet av DNV i sin rådgivende kapasitet, etter at vi har gjort interessekonfliktvurderinger. Innholdet i rapporten er adskilt fra DNVs ulike roller som uavhengig leverandør av tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering. Hvor overlapp eksisterer mellom disse to typene av tjenester, vil tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering utført av DNV være uavhengige av rådgivning som er gitt på vegne av DNV og de vil ha forrang over de rådgivende tjenestene som ytes.

Fremtidige tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering

Innholdet i dette dokumentet vil ikke forplikte eller påvirke DNVs uavhengige og upartiske dømmekraft eller utfallet i eventuelle fremtidige tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering som utføres av DNV hvor det kan være en viss tilknytning og sammenheng mellom rådgivingen som er gjort og den fremtidige tredjeparts tjenesten knyttet til samsvarsvurdering som skal ytes.

Gjennomgang av overholdelse

DNVs overholdelse av etiske regler og bransjestandarder når det gjelder skille av DNVs ulike roller og tjenester er underlagt periodiske eksterne gjennomganger.

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG	1
2	INTRODUKSJON	3
3	GRENSEVERDI FOR PARTIKKELKONSENTRASJON	4
3.1	Måle partikler i vannmasser	4
3.2	Bakgrunnsnivå	5
3.2.1	Geografiske variasjoner	8
3.2.2	Sesongmessige variasjoner	12
3.2.3	Dybdevariasjoner	17
3.2.4	Naturlig bakgrunnsnivå	21
3.3	Praktisk tilnærming til måling opp imot en grenseverdi	21
4	EN OPPSUMMERING SETT I LYS AV TILLATELSEN	22
5	REFERANSER	23

1 SAMMENDRAG

Ifølge tillatelsen til deponering av avgangsmasser i Førdefjorden har Engebø Rutile og Garnet AS strenge grenseverdier å forholde seg til. Grenseverdier for konsentrasjoner av partikler i sjøen er satt til 2 mg/l. Fra august 2023 har det blitt målt turbiditet for å beregne et bakgrunnsnivå. Resultatene fra turbiditetsmålingene presenteres i denne rapporten.

I tillatelsen er det tre forutsetninger som det er behov for å avklare nærmere. Dette gjelder:

- Grenseverdien som er gitt i tillatelsen inkluderer naturlig bakgrunnsnivå. Erfaringsmessig (for eksempel fra mudringsarbeid ved tiltak i forurenset sediment i havner og fjorder) settes grenseverdier som en verdi over bakgrunnsnivå.
- Grenseverdien settes som en konsentrasjon (mg/l), mens dagens sensorer måler på lysgjennomskinnelighet eller lysrefleksjon («backscatter») og uttrykker turbiditet
- Konsentrasjonen skal overvåkes kontinuerlig, uten at det er beskrevet over hvor lang tid eller hvilket dyp som skal inkluderes i forhold til en grenseverdi.

Bakgrunnsnivå

Bakgrunnsnivå for turbiditet, målt i en profil fra overflaten til bunn, viser spesielt store variasjoner i de øverste 50m og nær bunnen, og enkeltmålinger vil overskride grenseverdien på 2 mg/l uten deponering fra bedriften.

Gjennomsnittsmålinger viser imidlertid lave nivåer, både mellom stasjoner, i løpet av måleperioden, men også i ulike dyp. Variasjonen i måldataene er imidlertid størst i overflaten. Tas det hensyn til denne variasjonen er naturlig bakgrunnsnivå beregnet til å være 0,4 FTU i perioden det er målt turbiditet i fjorden, basert på hele vannsøylen. Legger en til grunn dybdeintervallet 50-200m er tilsvarende bakgrunnsnivå beregnet til å være 0,3 FTU.

Tillatelsen gjelder konsentrasjon (mg/l), målingene er basert på turbiditet. Inntil annen kunnskap foreligger settes 1 FTU lik 1 mg/l. Når deponeringen er i gang er det mulig å gjøre analyser for å verifisere om dette stemmer for deponiområdet, og å gjøre nødvendige tilpasninger basert på dette.

Kontinuerlig målinger

For å sammenlikne turbiditetsmålingene med en grenseverdi foreslås det å gjøre dette basert på data samlet inn i dybdesjiktet 50 til 210m. Det måles 40m over utslippspunktet (beregnet til 210m), ved 150m dyp og 50m dyp. De øverste 50m har vist seg å variere mye i turbiditet og i henhold til tillatelsen er det grunnere enn 210m som skal inkluderes, derfor dybdesjiktet 50 til 210m. Bakgrunnsnivået beregnet fra månedlige innsamlingen fra referansestasjonene

Spørsmål og korte svar basert på undersøkelsene som er gjennomført:

Geografisk variasjon:

Spørsmål: Er bakgrunnsnivået ulikt mellom ulike områder av fjorden, f.eks. inne i deponiet, ved grensen av deponiet (randsonen), og fremtidig referansestasjoner?

Svar: Det er liten forskjell i gjennomsnittlig turbiditet i ulike områder eller geografisk plassering

Sesongmessige variasjoner

Spørsmålet: varierer turbiditeten i løpet av måleperioden?

Svar: Det er liten forskjell i gjennomsnittlige verdier av turbiditet gjennom året

Dybdevariasjoner:

Spørsmål: Er det enkelte dyp (dybdeintervall) hvor turbiditeten er høyere enn andre dyp?

Svar: Ja, høyest enkeltmålinger av turbiditet ble observert spesielt grunnere enn 50m

Naturlig bakgrunnsnivå

Spørsmål: Hva er det naturlige bakgrunnsnivået i fjorden?

Svar: Høyt bakgrunnsnivå er beregnet til 0,4 FTU

Konklusjon

Det er samlet inn turbiditetsdata i over ett år. Dette har gitt viktig kunnskap om variasjon i de målte dataene, og som vil ha betydning for hvordan grenseverdiene i tillatelsen bør tolkes.

- **Konsentrasjon** (mg/l) settes lik turbiditet (FTU eller NTU) inntil annen informasjon foreligger. I og med at målingene skal gjøres "**kontinuerlig**" er det kun sensorer som måler på **turbiditet** som kan benyttes.
- Bakgrunnsnivået er variabelt. **Grenseverdien** som det skal måles opp imot består av to variabler; utslippsmengde og bakgrunnsverdier. Bakgrunnsnivå, uttrykt som et glidende middel for et utvalg av referansestasjoner er beregnet til 0,4 FTU, og 0,3 FTU i sjiktet 50 til 200m
- **Maksimal** tillatt konsentrasjon av partikler tilført fjorden ved utslippspunktet er tilsvarende 2 FTU. Dette vil bli fulgt opp med målinger på 50, 150 og 210m dyp. Tilvarende gjelder 3 FTU ved randsonen. Dette vil bli fulgt opp med månedlig målinger og angitt som et snitt fra 50m dyp og ned til bunnen.
- **Kontinuerlig**. Det foreslås å gjennomføre mange målinger igjennom et døgn. I og med at en må forholde seg til et variabelt bakgrunnsnivå foreslås at tiltak gjøres på basis av et månedsmiddel.

2 Introduksjon

Nordic Rutile (nå Engebø Rutile & Garnet) har tillatelse til å deponere gruveavfall i et begrenset område av Førdefjorden. I «tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven» (Tillatelse nr. 2016.0721.T, tillatelsen gitt 5. juni 2015, endret 23. juni 2023) er det gitt grenseverdier for partikkelkonsentrasjon i vannsøylen og mengde sedimentering på sjøbunnen. Utslippsmengdene av avgangsmassene har en grenseverdi på 4 millioner tonn per år (suspendert stoff), og det kan maksimalt deponeres 170 millioner tonn avgangsmasser. *Alle grenseverdier skal overholdes innenfor fastsatte midlingstider. Variasjoner i utslippene innenfor de fastsatte midlingstidene skal ikke avvike fra hva som er vanlig for den aktuelle type virksomhet i en slik grad at det kan føre til økt skade eller ulempe for miljøet (Miljødirektoratet 2015).*

Følgende spesifikke krav gjelder for driftsfasen:

- Deponiet skal maksimalt nå opp til 220 meters vanddyp.
- Grenseverdier for konsentrasjoner og sedimentering av partikler i området regulert til sjødeponi, inkludert naturlig bakgrunnsnivå er i tillatelsen beskrevet som:
 - Konsentrasjonen av partikler i vannmassene skal være maksimalt 2 mg/l høyere enn 40 meter over utslippspunkt for avgangsmassene (dvs fra 210m og oppover i vannmassene).
 - Konsentrasjonen av partikler i vannmassene skal være maksimalt 3 mg/l ved grensen for det regulerte deponiområdet.
 - Sedimentering av partikler på fjordbunnen skal utgjøre maksimalt 3 mm per år ved grensen for det regulerte deponiområdet.
 - Konsentrasjonene skal overvåkes kontinuerlig. Dersom konsentrasjonskravene i vannmassene overskrides skal deponeringen stoppes inntil videre. Videre deponering skal ikke skje før årsak til overskridelsene er avklart og behandlet.

I denne rapporten er det gitt en vurdering av grenseverdiene, foreslått midlingstid, og en praktisk tilnærming til overvåking av partikkelspredning.

3 GRENSEVERDI FOR PARTIKKELKONSENTRASJON

I kravene til grenseverdier gitt i tillatelsen er det noen problemstillinger som må avklares ytterligere:

- Hvordan måles konsentrasjon av partikler (i tillatelsen er det vektkonsentrasjon som er enheten dvs mg/l)?
- Hva betyr å måle kontinuerlig (hvordan måles en konsentrasjon kontinuerlig?)
- Hvordan skal bedriften forholde seg til at grenseverdien i tillatelsen inkluderer bakgrunnsnivå, som vil variere med tid og rom
- Hvilke data skal inkluderes i forhold til grenseverdien (tid og rom, midling av data)

I de følgende kapitlene diskuteres disse problemstillingene.

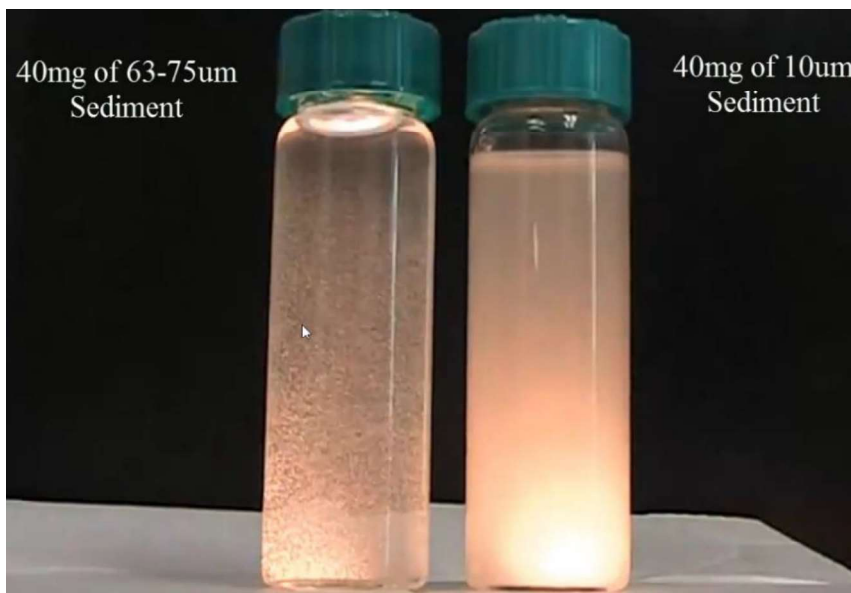
3.1 Måle partikler i vannmasser

Det å måle partikkelkonsentrasjon (mengde suspendert stoff) i sjøen gjøres vanligvis enten ved å samle inn vannprøver og deretter veie mengde partikler i vannmassene (NS-EN 872-2005), eller å bruke sensorer som måler turbiditeten (iht NS 9433:2017). Innsamling av prøver gir konsentrasjon, bruk av sensorer gir ikke konsentrasjon direkte, men gir et mål for lysrefleksjon som er et indirekte mål på partikkelkonsentrasjon.

De aller fleste sensorer som brukes i forbindelse med overvåking, måler på turbiditet (eksempelvis optisk backscatter), og det er mulig å få sanntidsdata for hvor klart vannet er. En måler på hvor gjennomskinnelig vannmassene er (se boksen til høyre). Turbiditet er altså et mål på vannets klarhet (refleksjon av lys) og gir ingen informasjon om konsentrasjonen av partikler i vannmasser. Turbiditet påvirkes av partikkelstørrelser, fargen og form, men også av konsentrasjonen av partikler i vannet (Aquatec Group)¹.

Turbiditet oppgis i en enhet som er basert på kalibreringsløsningen som brukes eller vinkelen på det innfallende lyset. Det finnes en rekke ulike turbiditetsenheter som NTU, FNU, FTU og FAU. Alle disse er basert på en kalibrering med formasin, og viser samme enhet. Imidlertid er det ikke nødvendigvis et lineært forhold mellom turbiditet og konsentrasjon av suspendert stoff. Dette skyldes at turbiditet vil være påvirket av mange forhold som partikkelstørrelse, konsentrasjon, partikkel form og farge

[What is the difference between the turbidity units NTU, FNU, FTU, and FAU?](#)
[What is a JTU? \(hach.com\)](#)



Figur 1. Eksempel på samme konsentrasjon, men ulike turbiditet. Fra Sequoia Scientific [Turbidity vs Laser Diffraction \(youtube.com\)](#)

¹(Aquatec Group Ltd - 'But I don't want turbidity'...

Det er i praksis ingen måte å konvertere turbiditet til konsentrasjon av suspendert stoff. En tilnærming kan være å ta vannprøver for å måle konsentrasjonen og å måle turbiditeten fra samme sted, og med bruk av en konverteringsformel si noe om sammenhengen mellom turbiditet og konsentrasjon. Imidlertid vil resultatet kun gjelde for akkurat det punktet og den tiden prøvene ble tatt.

Det er altså en betydelig usikkerhet rundt slike beregninger, noe som også er tatt opp i Norsk Standard (NS 9433:2017). I NS9433:2017 har de av praktiske hensyn satt forholdet mellom turbiditet og suspendert stoff til 1:1. *Forholdet mellom turbiditet og suspendert stoff er som regel tilnærmet lineært innenfor de aktuelle måleintervallene i Norge, og det er vanligvis liten variasjon i forholdet mellom ulike sedimenter. Dette viser at måling av turbiditet er en egnet metode for å vurdere mengden partikler og spredning av partikler i vann (NS 9433:2017).*

Det er utviklet sensorer som er basert på høy frekvent akustikk hvor det er mulig å få et mål for konsentrasjon av partikler, men enten er sensitiviteten for lav (fra 10 mg/l og oppover), og/eller de kan kun brukes på grunt vann (<100m dyp, for eksempel vil en sensor fra Aquatec (AQUAscat typisk måle partikler i størrelsesintervallet 20 til 500 µm i radius, og fra 10 mg/l i konsentrasjon ([Aquatec Group Ltd - AQUAscat® 1000S](#)). Sensoren LISST AOBs fra Sequoia har lavere deteksjonsgrense på partikkelstørrelser, men kan kun opereres ned til 100m dyp ([LISST-AOBs Super-Turbidity Sensor - Sequoia Scientific](#)). LISST-200X er en annen sensor fra Sequoia ([LISST-200X - Sequoia Scientific](#)) som både inkluderer partikkelstørrelsesfordeling (in-situ), men da som volumkonsentrasjon (µl/l). Dette er et instrument som vil gi viktig tilleggsinformasjon om partikkelfordelingen og vil bli vurdert som en tilleggssensor i overvåkingen.

Konklusjon: Måling av partikler i vannmassene vil i hovedsak baseres på turbiditetsmålinger. Det vil bli gjort forsøk i fjorden for å se om forholdet mellom konsentrasjon og turbiditet avviker betydelig fra 1:1, men dette kan ikke gjøres før etter at deponeringen har startet. Videre i dette dokumentet er forholdet mellom konsentrasjon og turbiditet satt til 1:1. (1 mg/l = 1 FTU).

3.2 Bakgrunnsnivå

For konsentrasjoner og sedimentering av partikler i området regulert til sjødeponi er naturlig bakgrunnsnivå inkludert i grenseverdiene gitt i tillatelsen.

Naturlig bakgrunnsnivå er ikke et statisk nivå/konsentrasjon for en fjord, da det varierer med årstiden grunnet klimatiske forhold, med lokale tilførsler av partikler (erosjon fra land som tilføres fjorden via bekker og elver), med dypet (gjerne da i sammenheng med sjiktninger i sjøen) eller med biologisk aktivitet som planktonoppblomstring.

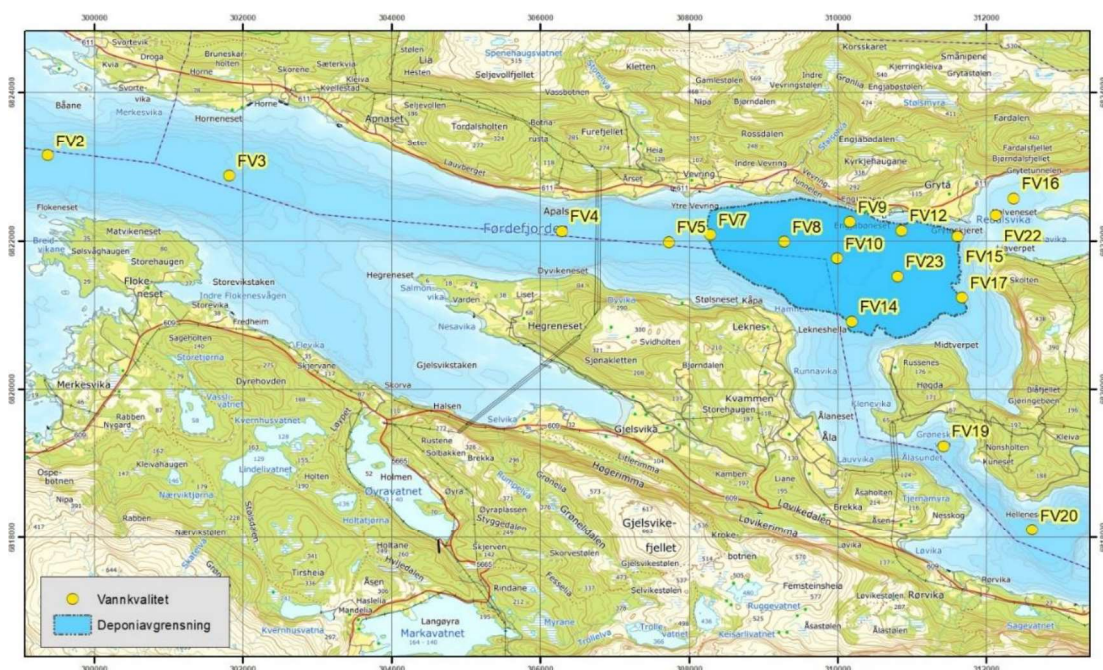
Basert på overnevnte gir det lite mening at grenseverdiene inkluderer naturlig bakgrunnsnivå, i og med at bakgrunnsnivået varierer. Det heller ikke mulig å skille partikkelbidraget fra bedriften fra andre kilder. Når det måles *in-situ* vil det i praksis være total konsentrasjonen eller total turbiditet som måles, uavhengig av kilde. for eksempel tilførsler via elver/bekker eller biologisk produksjon som ved oppblomstring av plankton. Det som er praktisk mulig og anvendelig i en feltsituasjon er å måle partikelmengder/turbiditet på referansestasjoner, og å bruke dette som antatt bakgrunnsnivå.

Basert på overnevnte består grenseverdien består altså av to variable:

1. bakgrunnskonsentrasjon (fra mange kilder)
2. tilførte partikler via deponering.

For å dokumentere variasjonen i naturlig bakgrunnsnivå er det gjennomført profilerende turbiditetsmålinger, annenhver måned i 2023 og månedlig i 2024. Stasjonsnettet er vist i Figur 2. Måleintervallet ble satt til hvert sekund som ga 2-3 målinger pr meter dyp. Alle profilerende målinger ble gjennomført med en CTD fra SAIV (Seapoint sensor; bølgelengde på LED lyset er 880nm hvor målingen gjøres innenfor 5 cm fra selve sensoren). Det reflekterte lyset måles mellom 15

og 150 grader). Alle de innsamlede målingene gjennomført i 2023 og 2024 er å betrakte som bakgrunnsmålinger og representerer variasjonen gjennom et år mellom stasjoner på grunn av lokale forskjeller og i ulike dyp.



Figur 2. Vannkvalitetsstasjoner som er brukt for å vurdere naturlig bakgrunnsnivå for turbiditet (partikler).

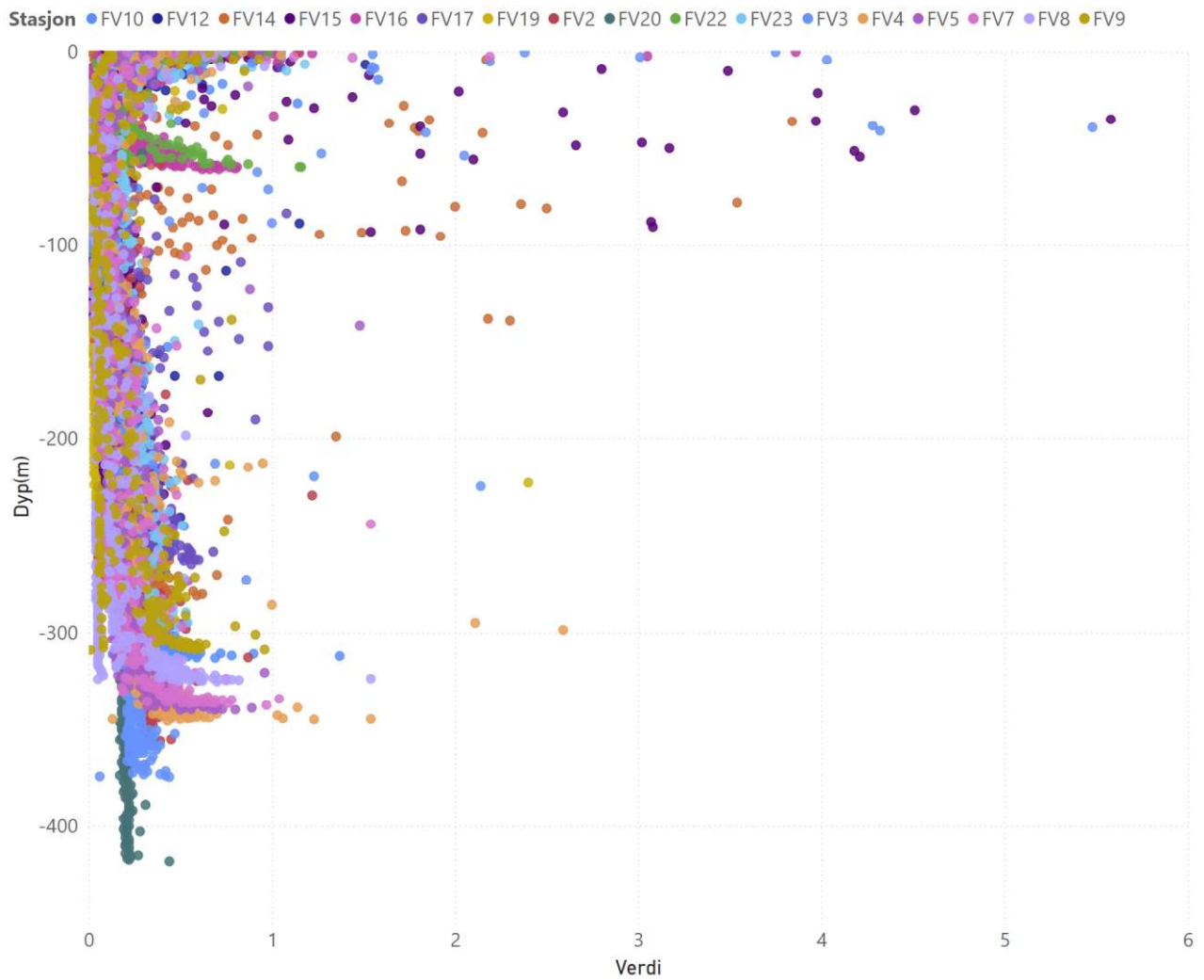
Den gjennomsnittlige turbiditeten (FTU) i hele fjorden ble målt til 0,19 FTU (standardavvik 0,36). Dette er basert på rådata innsamlet fra alle dyp (ca 35 000 målinger). Ekskluderes uteliggere i dataene (det som anses som feil data av ulike årsaker, ca. 1% av dataene) påvirker ikke det snittet nevneverdig, men derimot standardavviket², som er forventet da noen høye avvikende verdier fjernes. Gjennomsnittlig FTU basert på «godkjente» data er 0,17 FTU (sd 0,16). Snittet for 2024 er tilsvarende som 2023, se Tabell 1.

Tabell 1. Bakgrunnsnivå for hele vannsøylen basert på over 32 000 målinger fra 14 stasjoner i Fårdefjorden i 2023 og 2024. Oppgitt som snitt med standardavvik (sd) og median.

År	2023	2024	Alle målinger
Snitt	0,16 (sd 0,22)	0,18 (sd 0,12)	0,17 (sd 0,16)
Median	0,12	0,15	0,13

Fårdefjorden er en dyp fjord (350m) og det vil være forskjeller i bakgrunnsnivået både mellom ulike dyp, mellom stasjoner og mellom år/årstider. Noe som illustrert i Figur 3 hvor alle data for hele undersøkelsen er presentert. Størst spredning i dataene er i de grunne områdene av fjorden (<100m), men det er også noe større spredning like over bunnen på flere stasjoner. Imidlertid utgjør disse relativt høye verdiene en liten del av det totale antall målte data (omtrent 0,2% er høyere enn grenseverdien på 2 FTU og ca 14% er høyere sammenliknet med gjennomsnittet på 0,2 FTU).

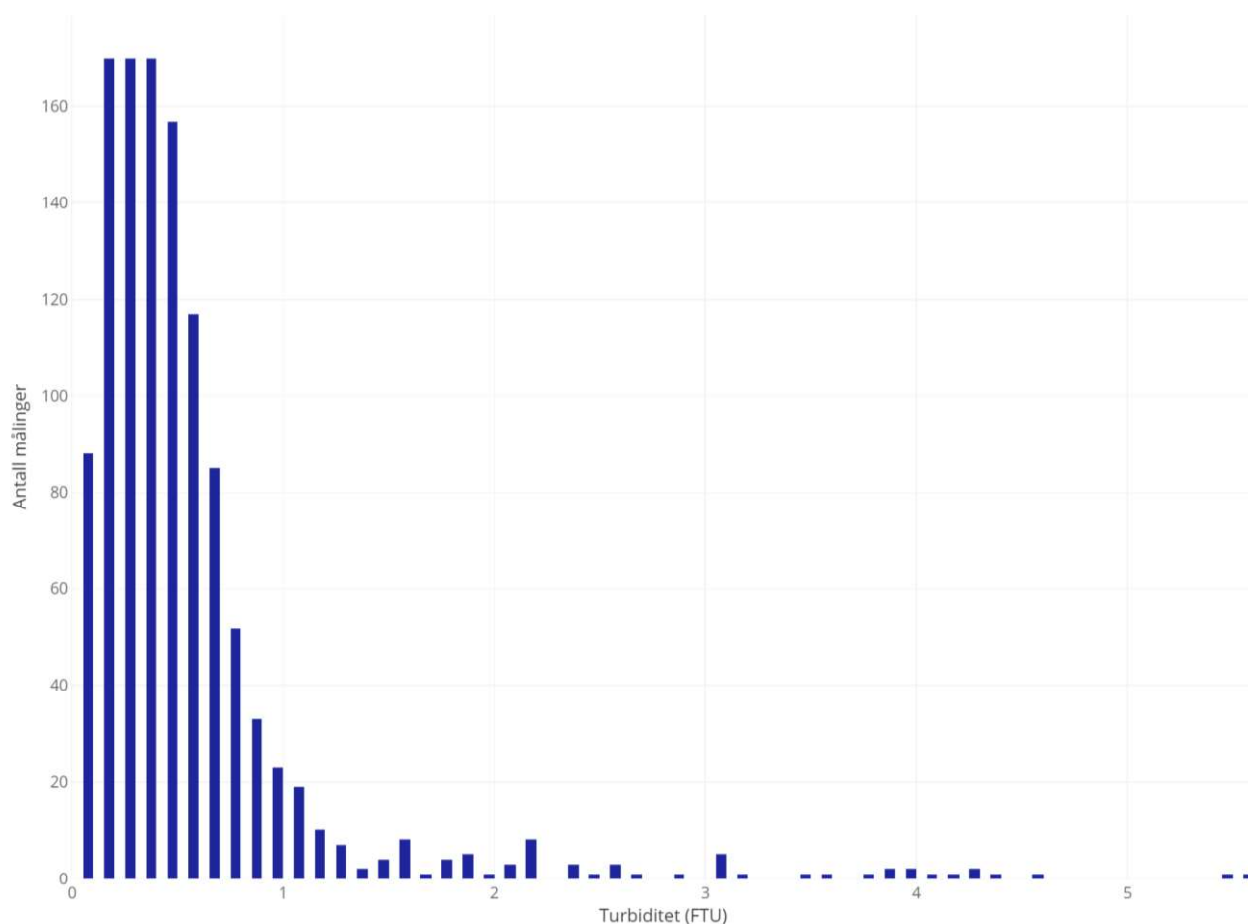
² Standardavviket er et mål for spredningen av verdiene i et datasett



Figur 3. Alle stasjoner alle turbiditetsmålinger (månedlige målinger fra august 2023 t.o.m august 2024).

I Figur 4 er fordelingen av alle data vist, og det kan observeres at for hele vannsøylen er dataene skjevt fordelt mot venstre, og en har en hale av enkeltmålinger med høye verdier).

I de neste kapitlene diskuteres variasjon i bakgrunnsnivå i forhold til geografi, tid og dyp.



Figur 4. Fordeling av turbiditetsmålingene. Skjev fordeling mot høyre (en hale av målinger som er vesentlig høyere enn snittet). Gjelder alle målinger gjennomført månedlig fra august 2023 t.o.m august 2024

3.2.1 Geografiske variasjoner

Med geografisk variasjon har vi lagt til grunn ulike områder i tilknytning til deponiet, inkludert stasjoner som er plassert inne i selve deponiet, i randsonen, rett utenfor deponiet og på et utvalg referansestasjoner.

Spørsmål: Er bakgrunnsnivået ulikt mellom ulike områder av fjorden, f.eks. inne i deponiet, ved grensen av deponiet (randsonen), og fremtidig referansestasjoner?

Svar: Det er liten forskjell i gjennomsnittlig turbiditet i ulike områder eller geografisk plassering

Følgende stasjoner representerer fire områdene av fjorden:

- **deponi** (FV8, FV9, FV10, FV12 og FV23)
- **randsonen** (FV7, FV14, FV17 og FV15)
- **utenfor deponiet** (FV5, FV16 og FV22)
- **referansestasjoner** (FV2, FV3, FV4 og FV20)

Merk at stasjoner som er gruppert sammen i de ulike områdene ikke har samme dyp, og når det diskuteres geografisk variasjon så er det i forhold til deponiet (det betyr at stasjoner i samme gruppe kan være ulike basert på andre påvirkningsfaktorer som for eksempel avstand til elver eller tilførsel av overvann).

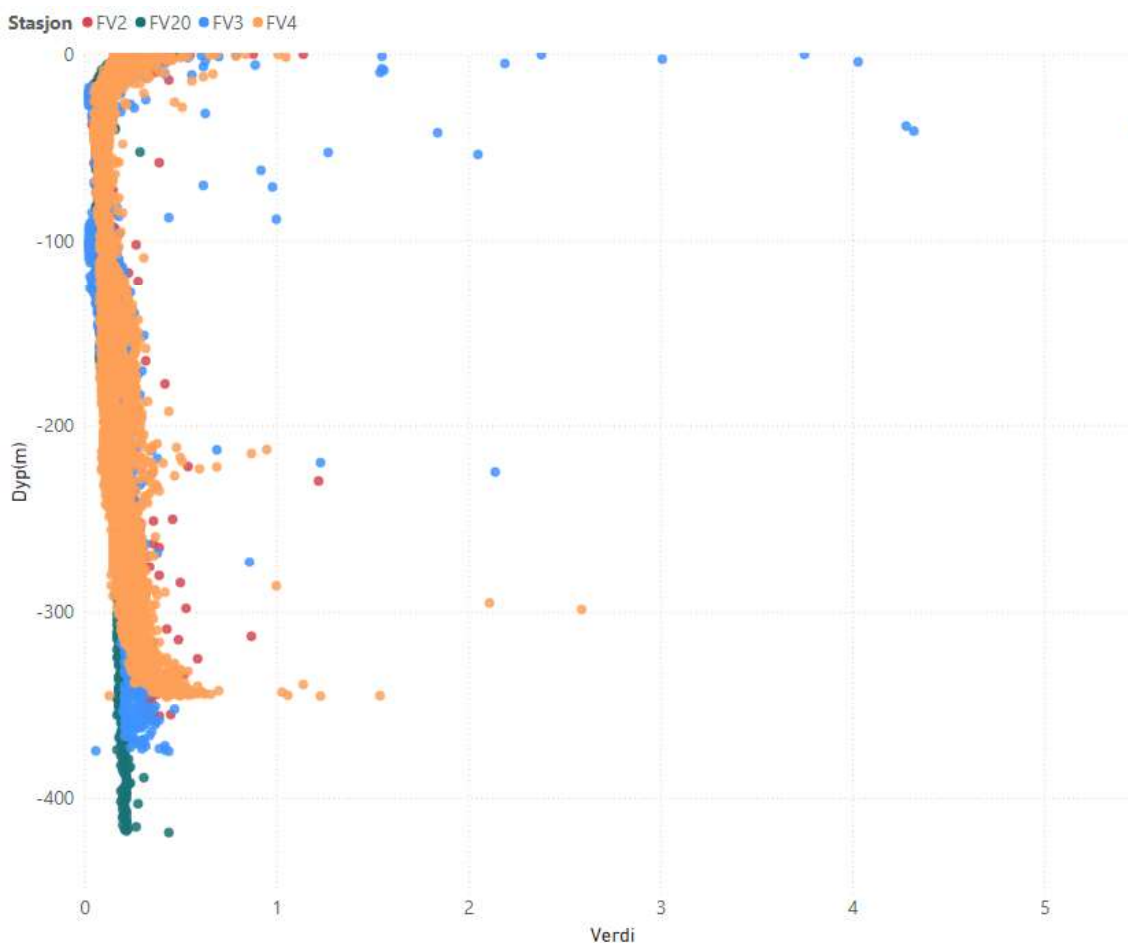
Data fra alle målingene gjennomført fra august 2023 til april 2024 er vist for referansestasjonene i Figur 5, utenfor deponiområdet i Figur 6, i randsonen av deponiet i Figur 7, og inne i selve området som er avsatt for deponiet i Figur 8. Gjennomsnittsverdi for turbiditet for de samme områdene er vist i Tabell 2.

Tabell 2. Gjennomsnitt (standardavvik sd.) turbiditet for de ulike områdene av fjorden

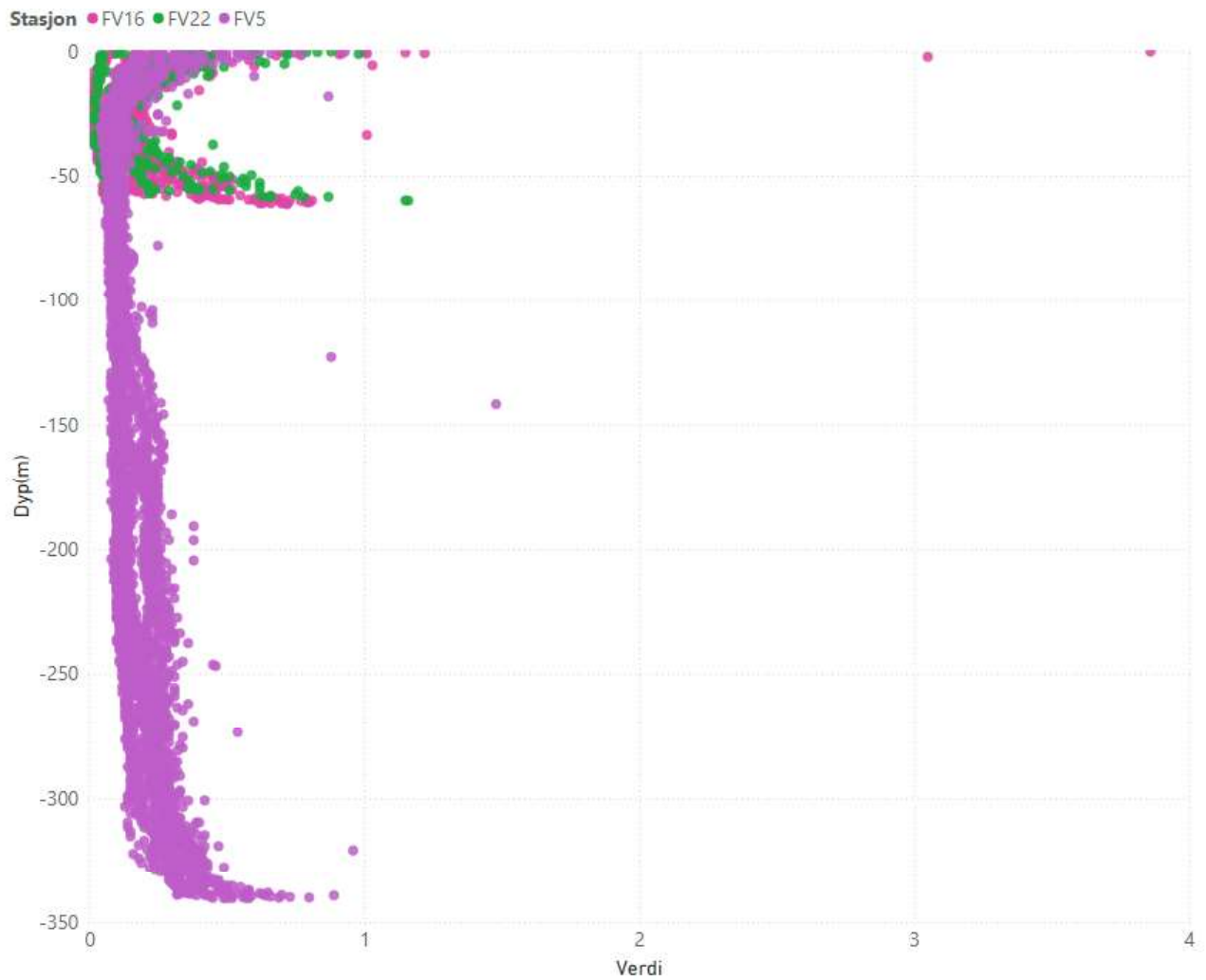
Områder	Referanse	Utenfor	Randsone	Deponi
Gjennomsnitt	0,19 (sd 0,20)	0,21 (sd 0,48)	0,19 (sd 0,47)	0,15 (sd 0,15)
Referanse: FV2, FV3, FV4 og FV20; Utenfor: FV5, FV16 og FV22; Randsone: FV7, FV14, FV17 og FV15; Deponi: FV8, FV9, FV10, FV12 og FV23				

De gjennomsnittlige FTU- verdiene var generelt veldig lave for alle områdene, og noe lavere for stasjonene i deponiet (også lavest standardavvik, det vil si relativt få målinger som avviker mye fra snittet). Høyeste måling i deponiområdet ble målt til 1,3 FTU. For de andre områdene var det enkelte høye målinger, opp imot 6 FTU på stasjon FV15 (randsonen) og FV3 (referanseområdet). Både utenfor og i randsonen er standardavviket relativt høy sammenlignet med snittverdien (altså mange høye verdier i datasettet).

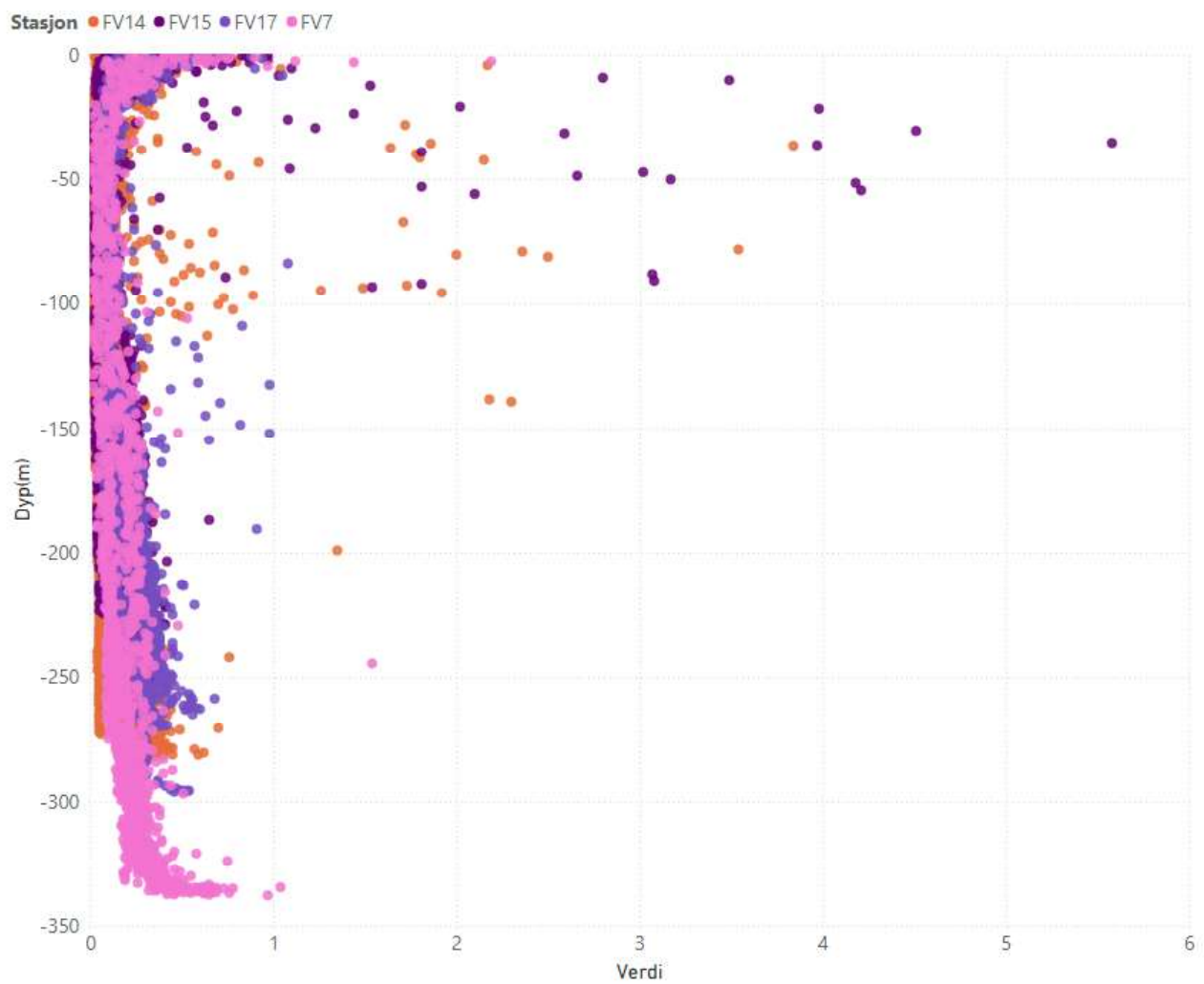
Dataene samlet inn så langt viser at det er liten variasjon i gjennomsnittlig turbiditet, men det er perioder eller dyp som skiller seg noe ut med vesentlig høyere enkeltverdier enn snittet. Det diskuteres i de neste kapitlene.



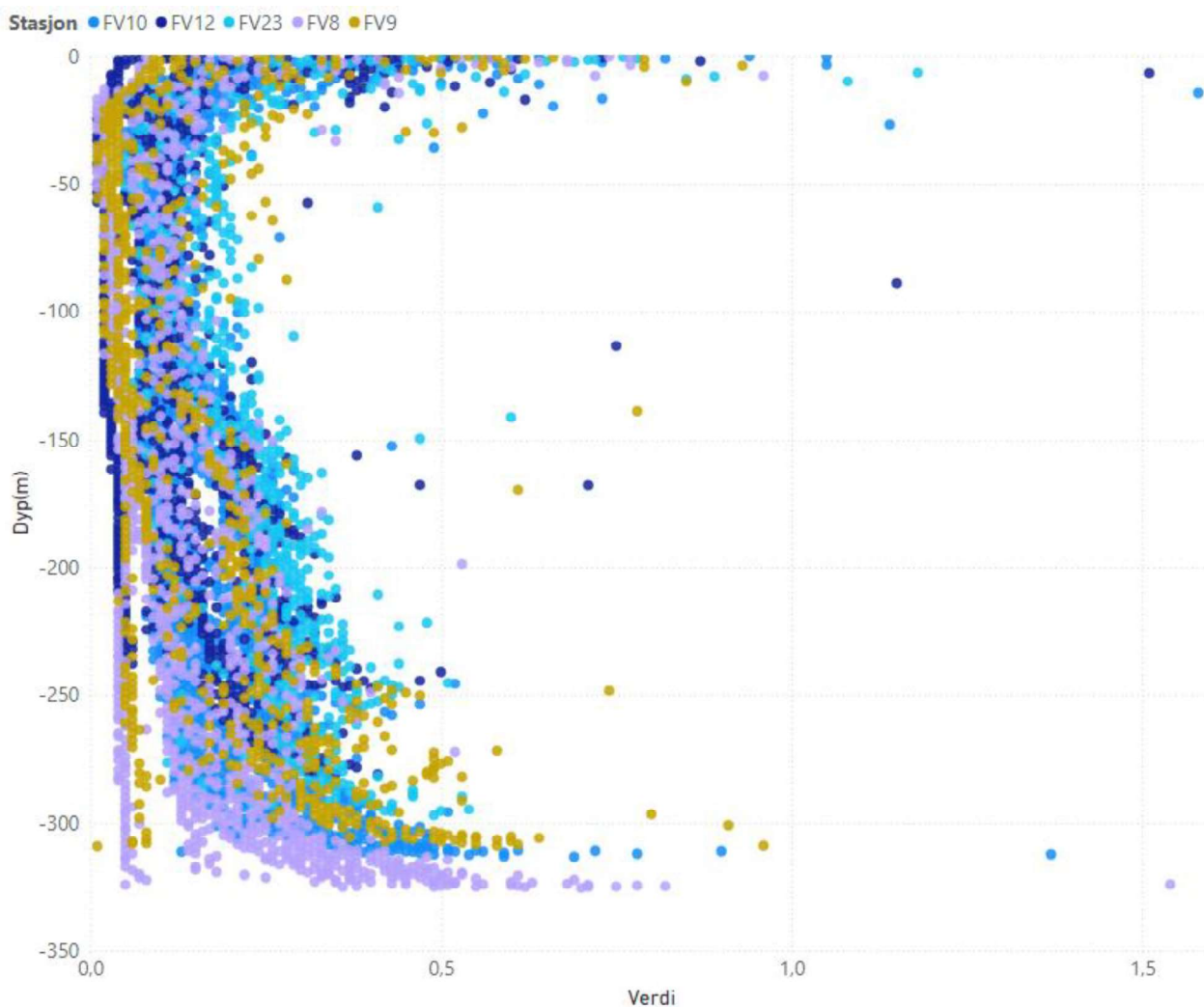
Figur 5. Alle målinger av turbiditet fra august 2023 t.o.m. august 2024 for referansestasjoner (representert med FV3, FV4 og FV20 for hele perioden, og F2 de siste 3 månedene).



Figur 6. Alle målinger av turbiditet fra august 2023 t.o.m. august 2024 for området utenfor deponiet (representert med FV5, FV16 og FV22)



Figur 7. Alle målinger av turbiditet fra august 2023 t.o.m. august 2024 for randsonen (representert med FV7, FV14, FV17 og FV15)



Figur 8. Alle målinger av turbiditet fra august 2023 t.o.m. august 2024 for deponiområdet (representert med FV8, FV9, FV10, FV12 og FV23)

3.2.2 Sesongmessige variasjoner

Med sesongmessige variasjoner har vi lagt til grunn målinger gjennomført annenhver måned i 2023 og månedlig i 2024. Det er inkludert målinger fra august 2023 til juni 2024 i denne vurderingen.

Spørsmålet: varierer turbiditeten i løpet av måleperioden?

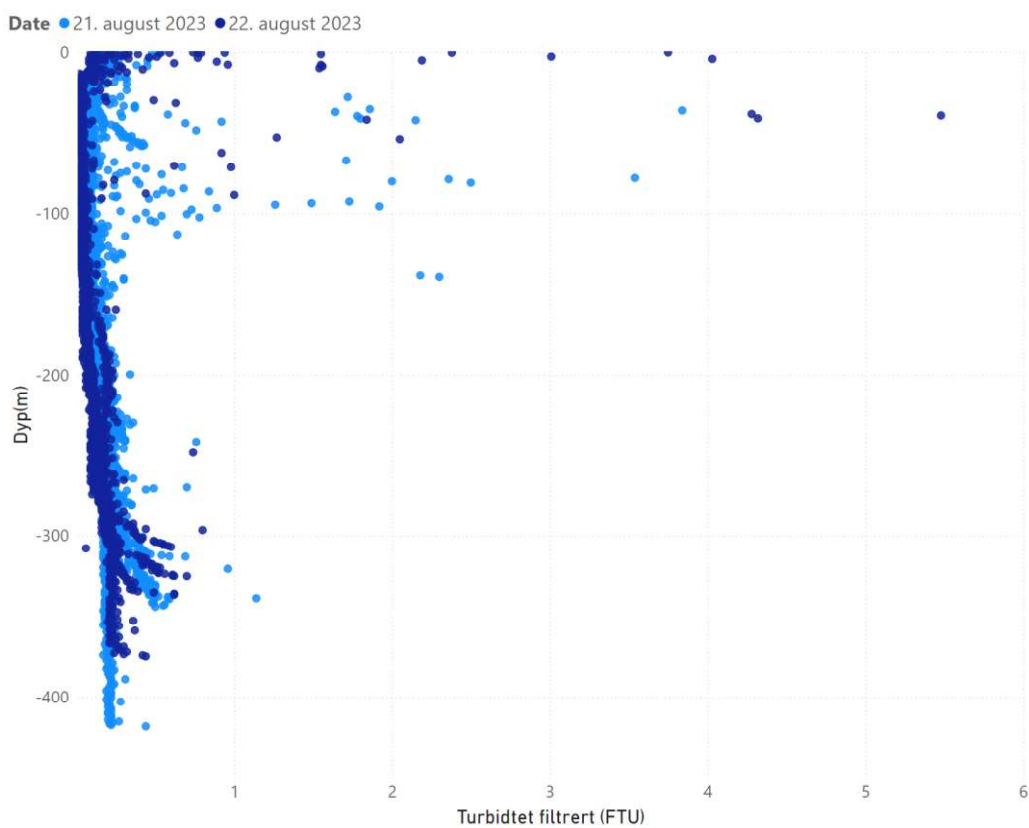
Svar: Det er liten forskjell i gjennomsnittlige verdier av turbiditet gjennom året

I Figur 9 til Figur 13 er alle målingene for hele fjorden vist for hver måned prøvene ble samlet inn.

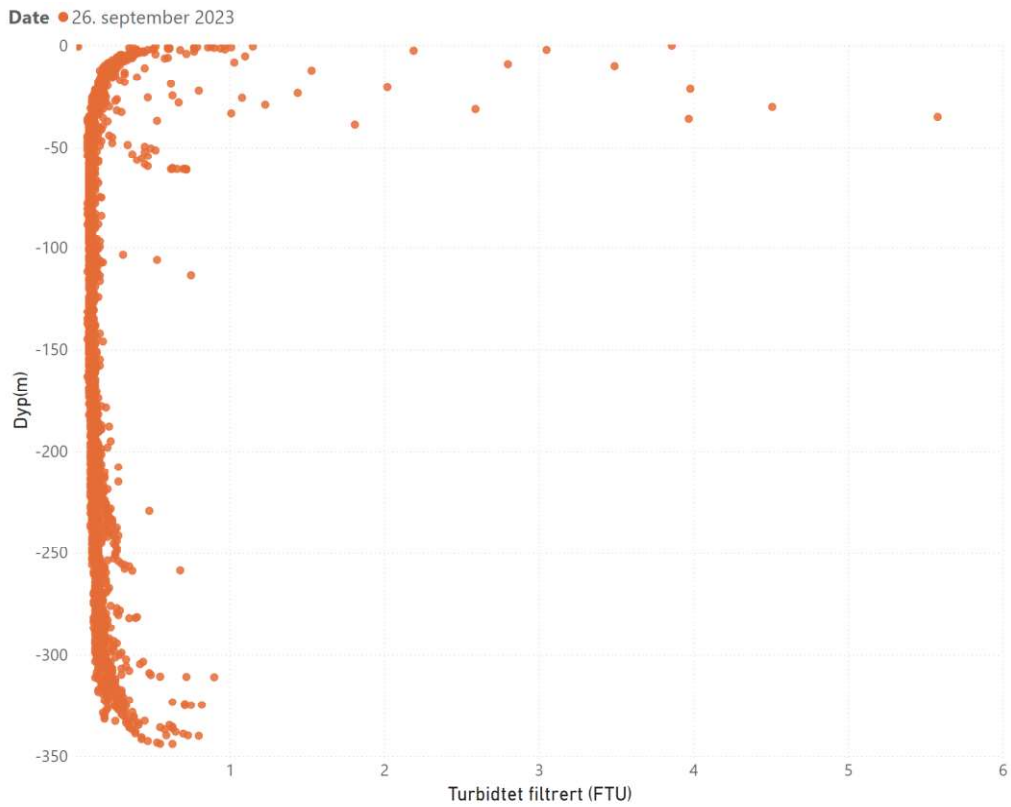
Basert på gjennomsnitt- eller medianverdier er det liten forskjell i turbiditet mellom tidspunktene målingene ble gjennomført. Turbiditetsverdiene varierer mellom 0,15 FTU og 0,18 FTU (medianen er 0,12 FTU), som er lavt, se Tabell 2. Det er enkelte målinger som er vesentlig høyere enn snittverdien. Dette gjelder f.eks. i august, september og desember hvor det ble målt turbiditet godt over 5 FTU (og hvor standardavviket er høyere enn snittet som forteller at det er enkelte høye målinger). Det betyr at det er perioder av året hvor enkeltverdier vil overskride grenseverdiene som er satt, og det uten deponering fra bedriften. I 2024 er det kun i august det ble målt enkeltverdier over 2 (høyest på F4 med målt verdi på 2,6 FTU).

Tabell 3. Gjennomsnitt (standardavvik sd.) målt turbiditet i forhold til når målingene er gjennomført (bi-månedlig i 2023 og månedlig i 2024).

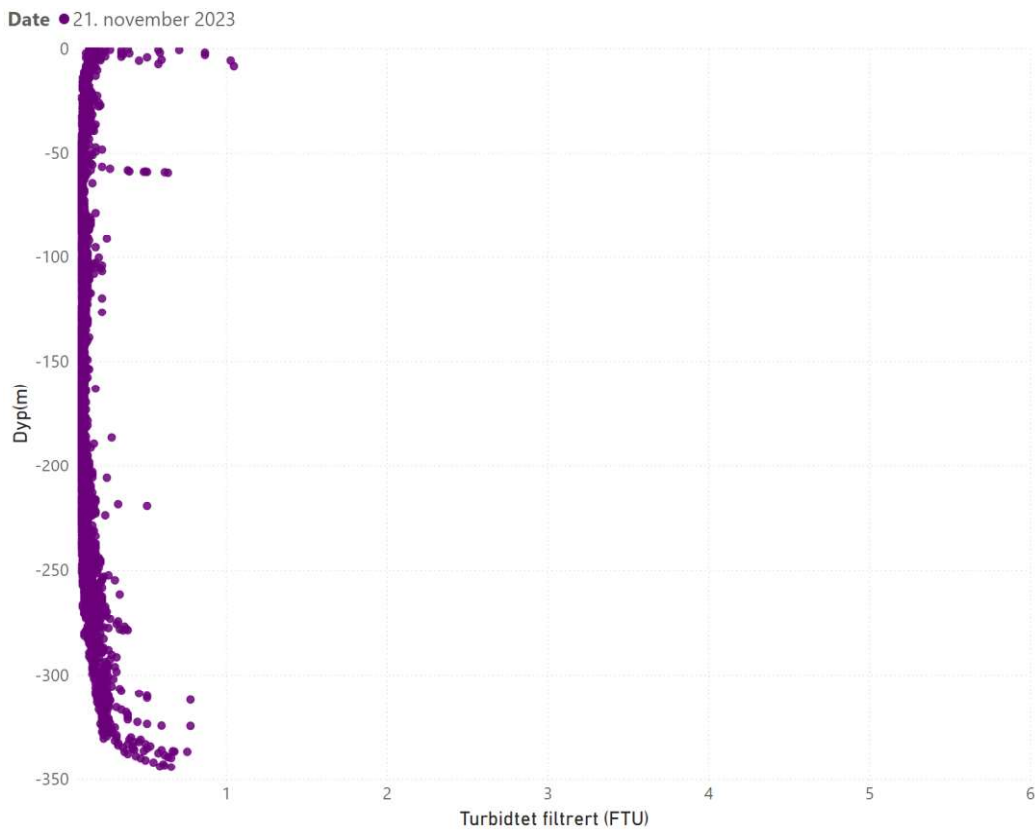
Områder	Aug.23	Sept.23	Nov.23	Des.23	Alle målinger i 2024
Gjennomsnitt	0,16 (sd 0,24)	0,18 (sd 0,28)	0,15 (sd 0,09)	0,17 (sd 0,23)	0,18 (sd 0,12)



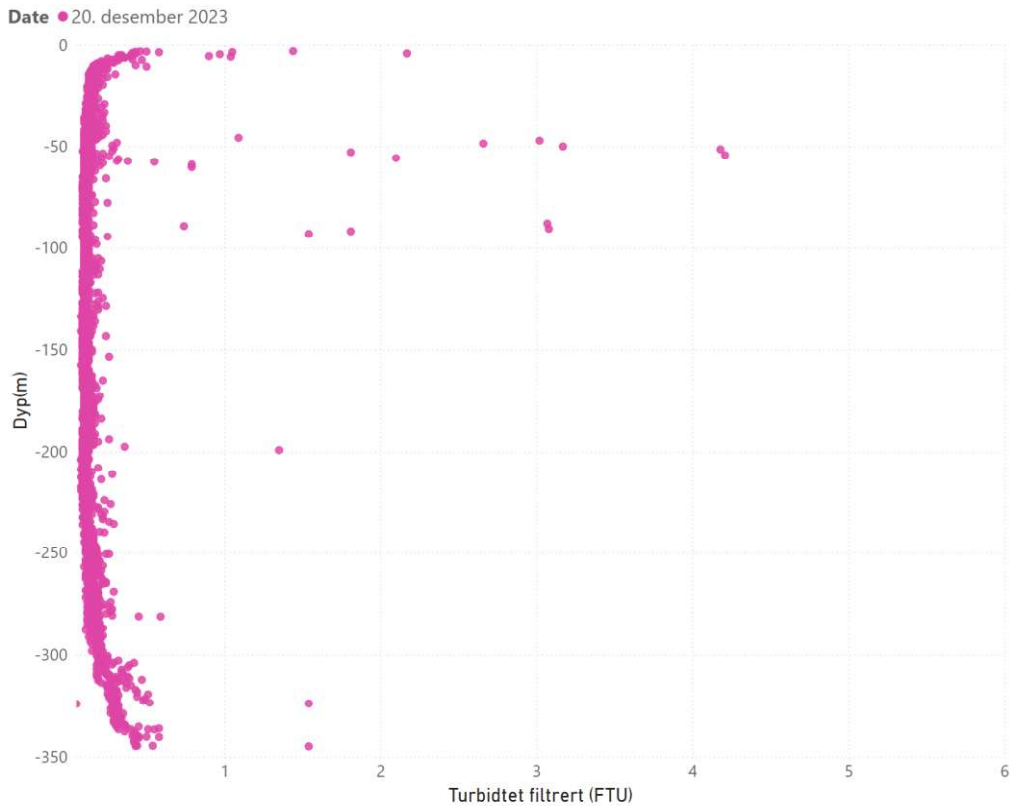
Figur 9. Alle målinger av turbiditet fra august 2023 i alle stasjoner (inkluderte også FV20 som er en dyp stasjon).



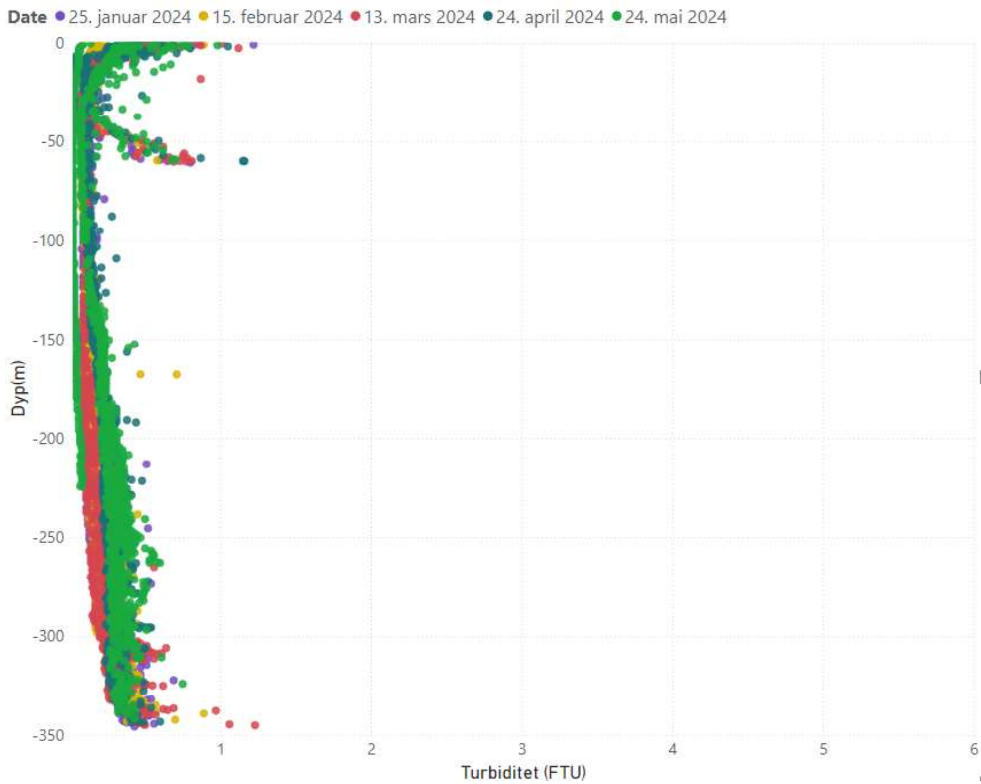
Figur 10. Alle målinger av turbiditet fra september 2023 i alle stasjoner.



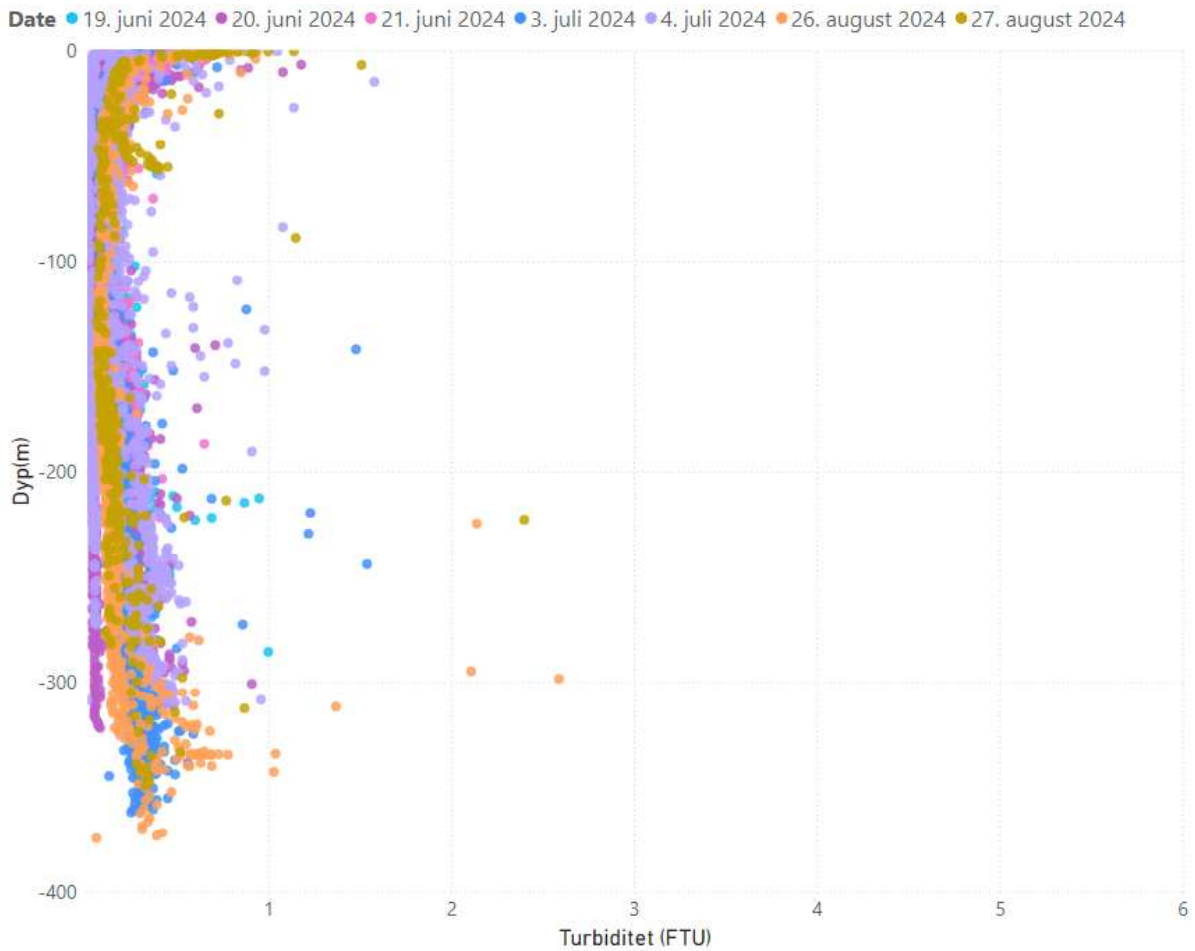
Figur 11. Alle målinger av turbiditet fra november 2023 i alle stasjoner.



Figur 12. Alle målinger av turbiditet fra desember 2023 i alle stasjoner.



Figur 13. Alle målinger av turbiditet i alle stasjoner for perioden januar til og med mai 2024.



Figur 14. Alle målinger av turbiditet i alle stasjoner for perioden juni til og med august 2024.

3.2.3 Dybdevariasjoner

I de to foregående kapitlene så vi at det var liten forskjell mellom hvor prøvene samles inn, og når de samles inn i forhold til gjennomsnittlig turbiditetsverdier. Men det er også tydelig at det finnes noen relativt høye verdier i målingene (en hale av data med høye verdier), se Figur 4. Det vil si det er perioder hvor enkeltmålinger vil overskride grenseverdiene som er gitt. I dette kapitlet ser vi litt mer på variasjon av turbiditet med dypet.

Spørsmål: Er det enkelte dyp (dybdeintervall) hvor turbiditeten er høyere enn andre dyp?

Svar: Ja, høyest enkeltmålinger av turbiditet ble observert spesielt grunnere enn 50m

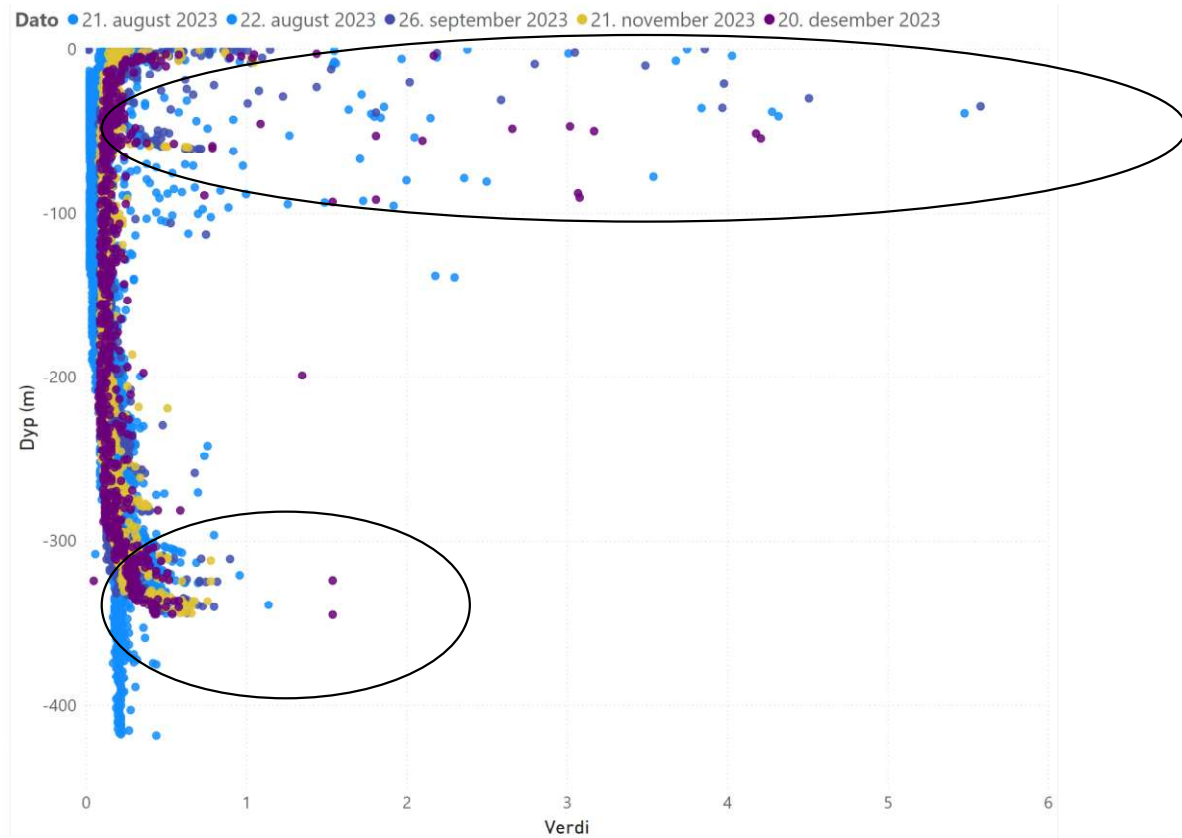
Det er observert enkelte målinger med høyere bakgrunnsverdier (og godt over grenseverdier på 2 mg/l) i alle dyp, men det er en indikasjon på at enkeltmålinger oftest opptrer i det øvre vannlaget (grunnere enn 50m) og i enkelte perioder også nær bunnen, se Figur 15 som presenterer alle målingene gjennomført i 2023 og 2024.

- Mange enkeltmålinger er høyest grunnere enn 100m (og spesielt grunnere enn 50m), i et område hvor en også ser at det er en del sjiktninger i sjøen (lagdeling).
- Mange målinger er høyest nær bunnen (store variasjoner med mange «høye» verdier)

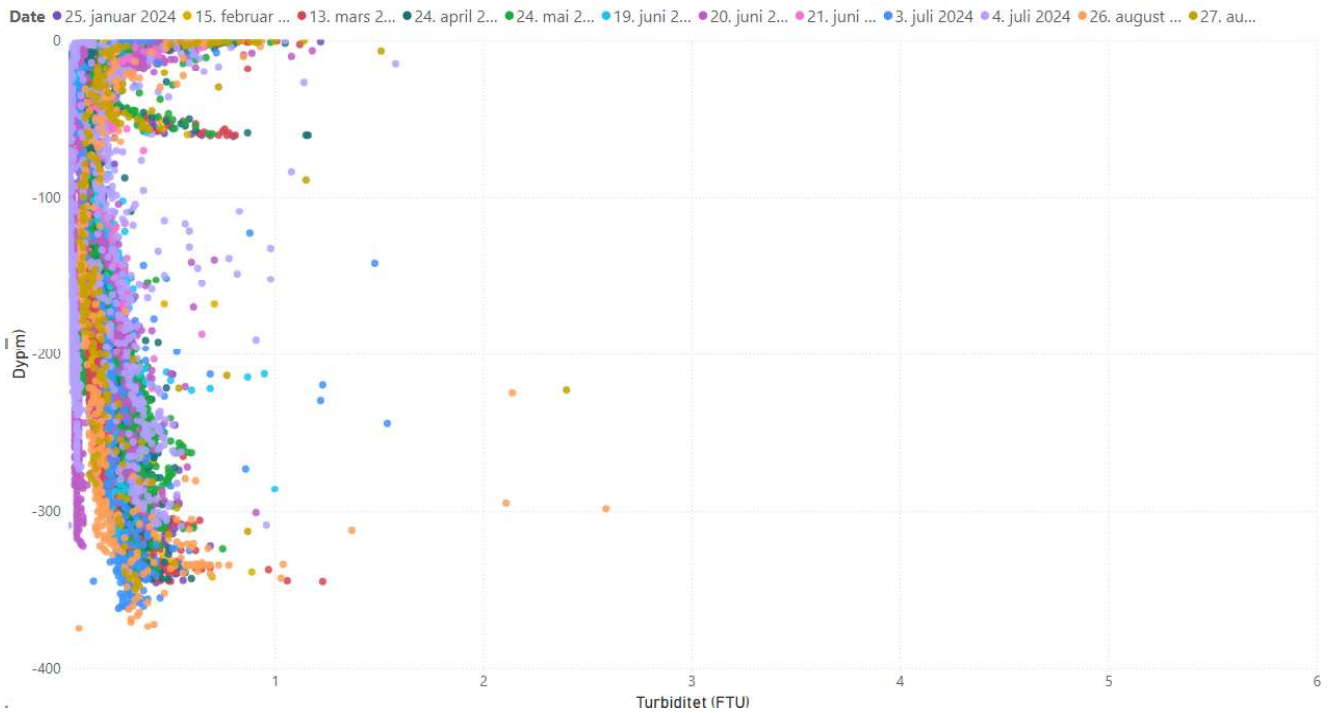
Figur 17, som gjelder målinger innhentet rett vest for kaianlegget, viser at i korte periode er det målt en turbiditet på nesten 2 FTU. De kontinuerlige målingene er gjennomført fra to dyp 2 og 12m i 2024, og understøtter at det er varierende turbiditet i overflaten.

For å se ytterligere på trender i dataene ble resultatene fra målingene delt inn i ulike dybdeintervall. I Figur 18 er målingene delt inn i følgende intervaller: 0-10m (angitt som 0 i figurene); 10-25m; 25-50m; 50-100m; 100-150m; 150-200m; 200-250m; 250-300m; 300-350m og dypere enn 350m. De høyeste enkeltverdier ble målt grunnere enn 100m, og det var også størst variasjon i målingene i de grunnere deler av fjorden. Det ble målt turbiditetsverdier over 2 FTU i alle sjiktninger grunnere enn 150m. Høyest gjennomsnitt var i overflatevannet (0-10m dyp) og økende mot bunnen (300-350m) (begge hadde et snitt på 0,3 FTU), se

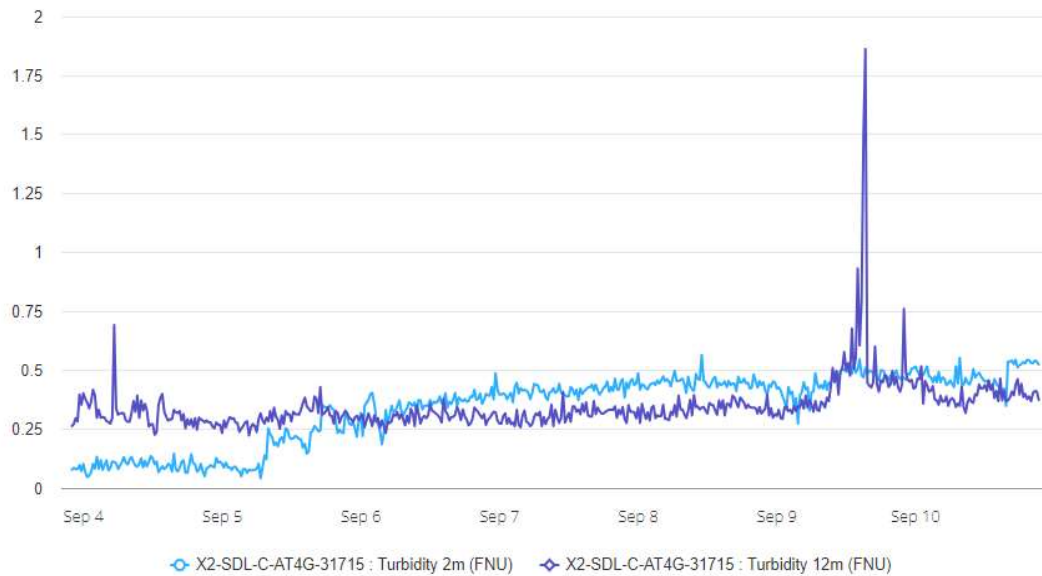
Tabell 4. Maksimal målt turbiditet i stasjoner som ligger i randsonen av deponiet hadde også målinger som var 2 FTU ned til 150m dyp, se Tabell 5. Dette kan forklares at det er de grunnere deler av fjorden som mottar avrenning med partikler fra land (overvann, bekker osv), samt at sjiktninger i vannmassene er tydeligst i de øverste 100m.



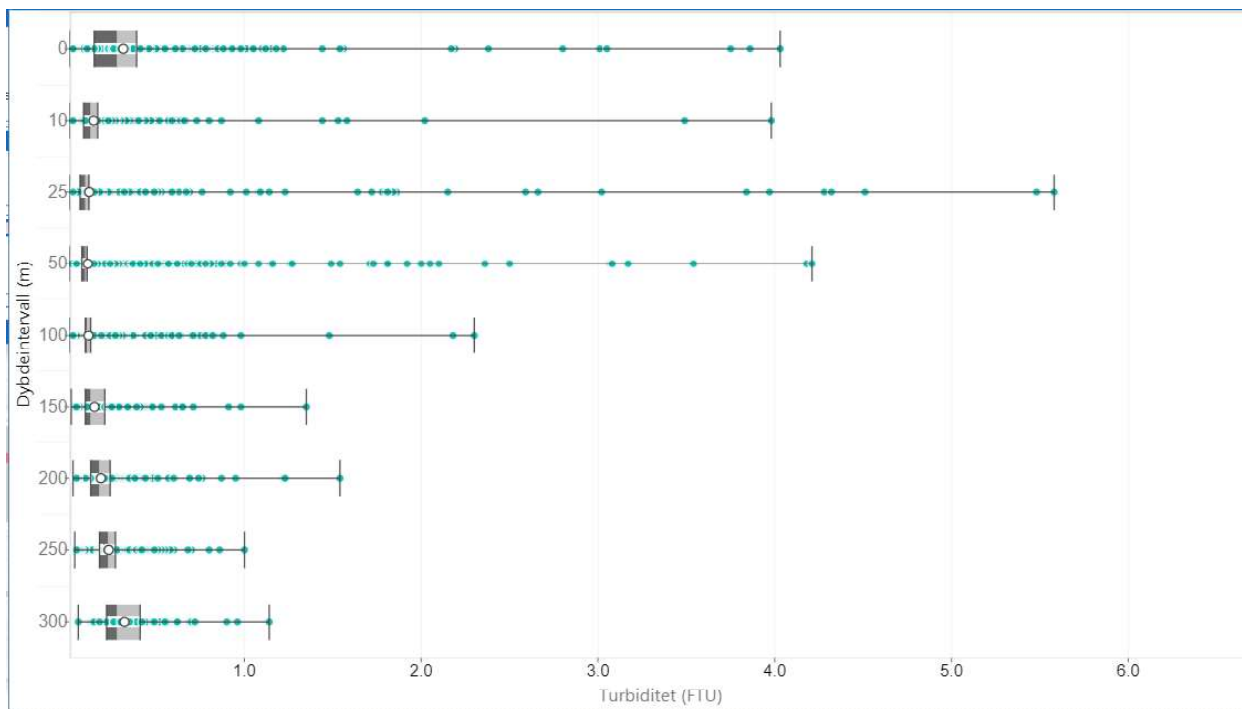
Figur 15. Turbiditet (FTU) for alle stasjoner alle målinger i 2023, og viser at det er først og fremst i de øverste 50m dyp og ned mot bunnen en finner målinger som avviker fra gjennomsnittsmålingene.



Figur 16. Turbiditet (FTU) for alle stasjoner alle målinger i 2024, og viser at det er først og fremst i de øverste 30-50m dyp dypere enn 200m en finner målinger som avviker fra gjennomsnittsmålingene.



Figur 17. Eksempel på kontinuerlig målinger i overflaten (2 og 12m dyp) vest for kaianlegget og som viser turbiditeten (FTU) fra 4. september til 10. september, med perioder hvor turbiditeten var nesten 2 FTU i en kort periode



Figur 18. Turbiditet målt på alle stasjon fra august 2023 t.o.m august 2024, og presentert i ulike dybdeintervaller (0=0-10m; 10=10-25m; 25=25-50m osv). Figuren viser gjennomsnitt (skille mellom mørk og lys i boksene), median (rund ring i boksen) og enkeltmålinger, med høyeste verdi angitt som en strek til høyre for hvert av intervallene.

Tabell 4. Gjennomsnittlig turbiditetsverdi og maksimalt målt verdi i ulike dybdeintervall basert på alle målinger (alle stasjoner) fra august 2023 t.o.m. august 2024.

Dybdeintervall	Snitt	Maks verdi
0-10m	0,33	4,03
10-25m	0,15	3,98
25-50m	0,12	5,58
50-100m	0,11	4,21
100-150m	0,12	2,3
150-200m	0,15	1,35
200-250m	0,19	2,40
250-300m	0,23	2,59
300-350m	0,32	1,54

Tabell 5. Gjennomsnittlig turbiditetsverdi og maksimalt målt verdi i ulike dybdeintervall basert på alle målinger (alle stasjoner) fra august 2023 t.o.m. august 2024 på stasjoner som ligger i randsonen av deponiområdet (representert med stasjonene FV7, FV14, FV15 og FV17).

Dybdeintervall	Snitt	Maks verdi (FTU)
0-10m	0,33	2,8
10-25m	0,16	3,98
25-50m	0,14	5,58
50-100m	0,12	4,21
100-150m	0,12	2,3
150-200m	0,15	1,35
200-250m	0,19	1,54
250-300m	0,23	0,7
300-350m	0,34	1,04

3.2.4 Naturlig bakgrunnsnivå

Spørsmål: Hva er det naturlige bakgrunnsnivået i fjorden?

Svar: Et høyt bakgrunnsnivå er beregnet til 0,4 FTU

Målingene som er gjennomført i forbindelse med basisundersøkelser (før-situasjon) har vist generelt lave turbiditetsnivåer, men at det er en del variasjon i dataene. Dette kommer til uttrykk ved at standardavviket kan være høyere enn snittverdien. Denne variabiliteten i dataene bør komme til uttrykk når en skal angi hva som er naturlig bakgrunnsnivå. Rent statistisk kan det beregnes en 95% sannsynlighet for at målingene vil falle innenfor et gitt intervall. Alternativt har vi valgt å legge til grunn verdien som representerer 95% persentilen (det tallet som utgjør 95% av alle tallene i stigende rekkefølge. Er det 100 tall i en rekke, så er det tallverdien for tall nr 95 som angir 95% persentilen).

I Tabell 6 er gjennomsnittet for alle målingene pr måned vist, som et snitt, standardavviket og 95% persentilen. For målingene i 2023 var 95% persentiklen basert på alle målinger og alle dyp 0,34 FTU, og for målinger gjennomført i 2024 tilsvarende 0,43 FTU. For alle målingene gjennomført i 2023 og 2024 er 95% persentilen 0,37 FTU. (eller 0,4 FTU, som et høy antatt bakgrunnsnivå).

3.3 Praktisk tilnærming til måling opp imot en grenseverdi

Planlagt utslippsdyp vil være 50m over bunnen, dvs på ca 250m dyp. Grenseverdien i utslippstillatelsen gjelder for 40m over planlagt utslippsdyp. Det vil si grenseverdien som det skal overvåkes i forhold til, gjelder grunnere enn 210m dyp. Målingene som er gjennomført i 2023 og 2024 har vist stor variabilitet grunnere enn 100m, og spesielt grunnere enn 50m. Basert på dette er det fornuftig at det er vannsjiktet mellom 50 og 210m dyp som overvåkes spesifikt i forhold til grenseverdien. Det vil si at en bør plassere ut sensorer i dette sjiktet og som overvåker turbiditeten kontinuerlig.

Måledataene ble delt inn i følgende sjikt: 0-10m; 10-25m; 25-50m; 50-100m; 100-150m; 150-200m; 200-250m; 250-300m; 300-350m. For å forenkle den videre databehandlingen er måledata fra 50 til 200m benyttet (og ikke 50-210m). I

Tabell 6 er månedlige gjennomsnittsmålinger vist for både hele vannsøylen og for sjiktet mellom 50 og 200m.

Bakgrunnsnivået for hele vannsøylen var 0,37 FTU, og tilsvarende for sjiktet 50-200m var bakgrunnsnivået 0,24 FTU.

Selv om det er litt forskjell betraktes begge nivåer som lave bakgrunnsnivå.

Tabell 6. Gjennomsnitt alle målinger for alle stasjoner, alle dyp til venstre og sjiktningen 50 til 200m til høyre.

	Alle stasjoner						
	Alle dyp			Vannsøyle (50-200m)			
	Snitt	SD	95% pers.	Snitt	SD	95% pers.	
aug.23	0,16	0,24	0,36	0,11	0,18	0,19	
sep.23	0,18	0,28	0,40	0,12	0,07	0,14	
nov.23	0,15	0,09	0,27	0,12	0,04	0,14	
des.23	0,17	0,23	0,32	0,14	0,27	0,17	
Alle måneder (2023)	0,16	0,22	0,34	0,12	0,16	0,16	
jan.24	0,17	0,09	0,36	0,12	0,04	0,15	
feb.24	0,16	0,09	0,35	0,12	0,05	0,16	
mar.24	0,17	0,12	0,44	0,12	0,07	0,13	
apr.24	0,21	0,10	0,38	0,17	0,07	0,24	
mai.24	0,22	0,12	0,40	0,15	0,08	0,24	
jun.24	0,18	0,11	0,37	0,15	0,09	0,27	
jul.24	0,16	0,13	0,37	0,11	0,10	0,25	
aug.24	0,18	0,16	0,50			0,15	
Alle måneder (2024)	0,18	0,12	0,43	0,13	0,07	0,25	
Totalt							
	0,17	0,16	0,37	0,12	0,11	0,24	

Som påpekt tidligere vil bakgrunnsnivået variere. I forbindelse med fremtidig overvåking vil måledataene inkludere både bidrag fra avgangen, men også hva som tilføres naturlig til fjorden (bakgrunnsnivå) av partikler. Sensorene som måler turbiditet vil måle **total** turbiditet. For å ha en form for kontroll på hva «bakgrunnsnivået» vil bidra med i målingene foreslås det å beregne et glidende middel basert på de siste 6 månedene. Hvis denne middel verdien endrer seg signifikant fra forrige 6 månedersperiode bør dette reflekteres i forhold til grenseverdien.

For målinger gjennomført på referansestasjonene i 2023 og 2024 er bakgrunnsverdien for det «glidende snittet» i perioden august 2023 til januar 2024, lik 0,17 FTU, se Tabell 7. Deretter varierer dette snittet lite, med unntak av perioden januar til juni og februar til juli som begge hadde en bakgrunnsverdi på 0,25 FTU. En bakgrunnsverdi på 0,4 synes derfor å være et robust anslag.

Tabell 7. Beregning av glidende «bakgrunnsverdi» for 6 måneders perioder i sjiktet 50 til 200m dyp på referansestasjoner (FV2, FV3, FV4 og FV20).

6 mnd glidende middel	Snitt	Stdev	Bakgrunnsverdi (95% persentilen)
August t.o.m. januar	0,13	0,26	0,17
September t.o.m februar	0,12	0,03	0,17
November t.o.m april	0,13	0,03	0,19
Desember t.o.m mai	0,13	0,04	0,21
Januar t.o.m juni	0,14	0,06	0,25
Februar t.o.m juli	0,14	0,06	0,25

4 EN OPPSUMMERING SETT I LYS AV TILLATELSEN

Det er samlet inn turbiditetsdata i over ett år. Dette har gitt viktig kunnskap om variasjon i de målte dataene, og som vil ha betydning for hvordan grenseverdiene i tillatelsen bør tolkes.

- **Konsentrasjon** (mg/l) settes lik turbiditet (FTU eller NTU) inntil annen informasjon foreligger. I og med at målingene skal gjøres “**kontinuerlig**” er det kun sensorer som måler på **turbiditet** som kan benyttes.
- Bakgrunnsnivået er variabelt. **Grenseverdien** som det skal måles opp imot består av to variabler; utslippsmengde og bakgrunnsverdier. Bakgrunnsnivå, uttrykt som et glidende middel for et utvalg av referansestasjoner er beregnet til 0,4 FTU, og 0,3 FTU i sjiktet 50 til 200m
- **Maksimal** tillatt konsentrasjon av partikler tilført fjorden ved utslippspunktet er tilsvarende 2 FTU. Dette vil bli fulgt opp med målinger på 50, 150 og 210m dyp. Tilvarende gjelder 3 FTU ved randsonen. Dette vil bli fulgt opp med månedlig målinger og angitt som et snitt fra 50m dyp og ned til bunnen.
- **Kontinuerlig**. Det foreslås å gjennomføre mange målinger igjennom et døgn. I og med at en må forholde seg til et variabelt bakgrunnsnivå foreslås at tiltak gjøres på basis av et månedsmiddel.



5 REFERANSER

NS-EN 872-2005. Water quality – determination of suspended solids- method by filtration through glass fibre filteres

NS 9433:2017. Turbidity surveys of measures in water bodies







Om DNV

Vi er et globalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering med tilstedeværelse i over 100 land. Vårt formål er å sikre liv, verdier og miljøet. Med vår unike tekniske ekspertise og uavhengighet bistår vi våre kunder med å forbedre sikkerhet, effektivitet og bærekraft.

Enten vi godkjenner et nytt skipsdesign, optimerer energiproduksjonen fra en vindmøllepark, analyserer sensordata fra en gassrørledning eller sertifiserer verdikjeden til en matprodusent, hjelper vi våre kunder med å ta gode og riktige beslutninger og øke tilliten til virksomheten, produktene og tjenestene deres. Verden er i endring. Vi kan påvirke utviklingen. Sammen skal vi takle de globale utfordringene og omstillingene vi vil møte.