

# Lyd fra rakettoppskyting ved Andøya Spaceport forplanter seg ikke langt nok i havet til å forstyrre fisk i de viktige fiskeområdene rundt Andøya.

Karen de Jong<sup>1</sup>, Tonje Nesse Forland<sup>1</sup>, Geir Pedersen<sup>1</sup>, Kate McQueen<sup>1</sup>, Lise Doksæter Sivle<sup>1</sup>, Kristin Mikkelsen<sup>2</sup>, Eirik Rokke<sup>2</sup>, Petter Helgevold Kvalsheim<sup>2</sup>

1. Akustikk og observasjonsmetodikk, Havforskningsinstituttet, 5005 Bergen
2. Forsvarets Forskningsinstitutt, 2027 Kjeller

## **Norsk sammendrag**

Fiskeriene og fiskeområdene utenfor Andøya i Vesterålen er svært viktige, både i nasjonal og internasjonal sammenheng, og fiskeriene har alltid vært en bærebjelke for kystsamfunnene i dette området. Det har over mange år vært uttrykt bekymring fra fiskerne om hvordan aktiviteten på Andøya Space påvirker fisk og fiskerier. Når Andøya Space nå anlegger en fullskala romhavn (Spaceport) for oppskyting av store bæreraketter i tillegg, har de lokale fiskeriinteressene uttrykt økt bekymring både for arealkonflikter og skremmeeffekter fra lyd. I dette prosjektet har vi kartlagt mulige effekter på fisk fra lyden av rakettoppskyting fra Børvågen på Andøya gjennom lydmålinger og oppsummering av dagens kunnskap om effekter av lyd på fisk. Lydmålinger nær fiskeområder viste et veldig lavt signal i som ga ingen økning i det gjennomsnittlige støynivået, vi kommer derfor fram til konklusjonen at oppskytingen fra denne lokasjonen ikke forventes negative effekter hos fisk. Plasseringen av oppskytingsrampen er gunstig ift forplantning av støy ut i sjøen, fordi området utenfor består av grunt vann og skjær som demper lyden. Våre resultater gir ikke grunn til å oppfordre til å bruke mer støydempende tiltak enn allerede i bruk ved Spaceport for å redusere støy i havet.

## **Engelsk sammendrag**

The fisheries and fishing areas off the coast of Andøya in Vesterålen are very important, both nationally and internationally, and the fisheries have always been a cornerstone for the coastal communities in this area. For many years, fishermen have expressed concern about how the activities at Andøya Space may affect fish and fisheries. Now that Andøya Space is building a full-scale spaceport for launching large rockets, local fisheries have expressed increased concern about competition for space and potential avoidance due to noise. In this project, we have mapped possible effects on fish from the sound of rocket launches from Børvågen on Andøya through sound measurements and a summary of current knowledge on the effects of noise on fish. Sound measurements near fishing areas showed a very low signal that did not increase average ambient noise levels, we therefore conclude that the launch from this location is not expected to have negative effects on fish. The location of the launch ramp is advantageous in terms of noise propagation into the sea, because the shallow coastal waters and the abundant skerries in this area dampen the sound. Our results do not provide a reason to recommend using more noise-mitigation measures than are already in use at Spaceport to reduce noise in the sea.

## Contents

1	Innledning .....	5
1.1	Faglig bakgrunn for at prosjektet ble igangsatt.....	5
1.1.1	Opprinnelig konsekvensutredning for Andøya Spaceport - Børvågen .....	5
1.2	Prosjektets omfang .....	7
1.3	Prosjektorganisering.....	7
2	Problemstilling og formål.....	7
2.1	Redegjøre for prosjektets effektmål .....	7
2.2	Redegjøre for prosjektets resultatmål .....	8
3	Prosjektgjennomføring .....	8
3.1	Raketten og rakettoppskytingen. ....	8
3.2	Lydmålinger under rakettoppskyting.....	8
3.2.1	Første måleperiode .....	10
3.2.2	Andre måleperiode.....	10
3.2.3	Utstyr .....	11
3.3	Sammenstilling av litteratur .....	11
4	Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon.....	12
4.1	Detaljert oversikt over oppnådde resultater .....	12
4.1.1	Resultater fra lydmålingen .....	12
4.1.2	Resultater fra litteratursammenstilling .....	18
4.2	Vurdering av funnene.....	22
4.2.1	Kan rakettoppskytingen ikke ha vært representativ? .....	23
4.2.2	Kan hydrofonen ha vært plassert på et sted hvor lyden er mye lavere enn i selve fiskeområde? .....	23
4.2.3	Kan hydrofonen ikke ha tatt opp lyden i hele frekvensområdet til fiskens hørsel? .....	27
4.3	Vurdering av mulighetene for anvendelse av resultater fra prosjektet i næringen .....	28
4.4	Vurdering av i hvilken grad og på hvilken måte resultatene vil bidra til styrket bærekraft.....	28
5	Hovedfunn.....	28

6	Referanser.....	29
7	Leveranser .....	31

# 1 Innledning

## 1.1 Faglig bakgrunn for at prosjektet ble igangsatt

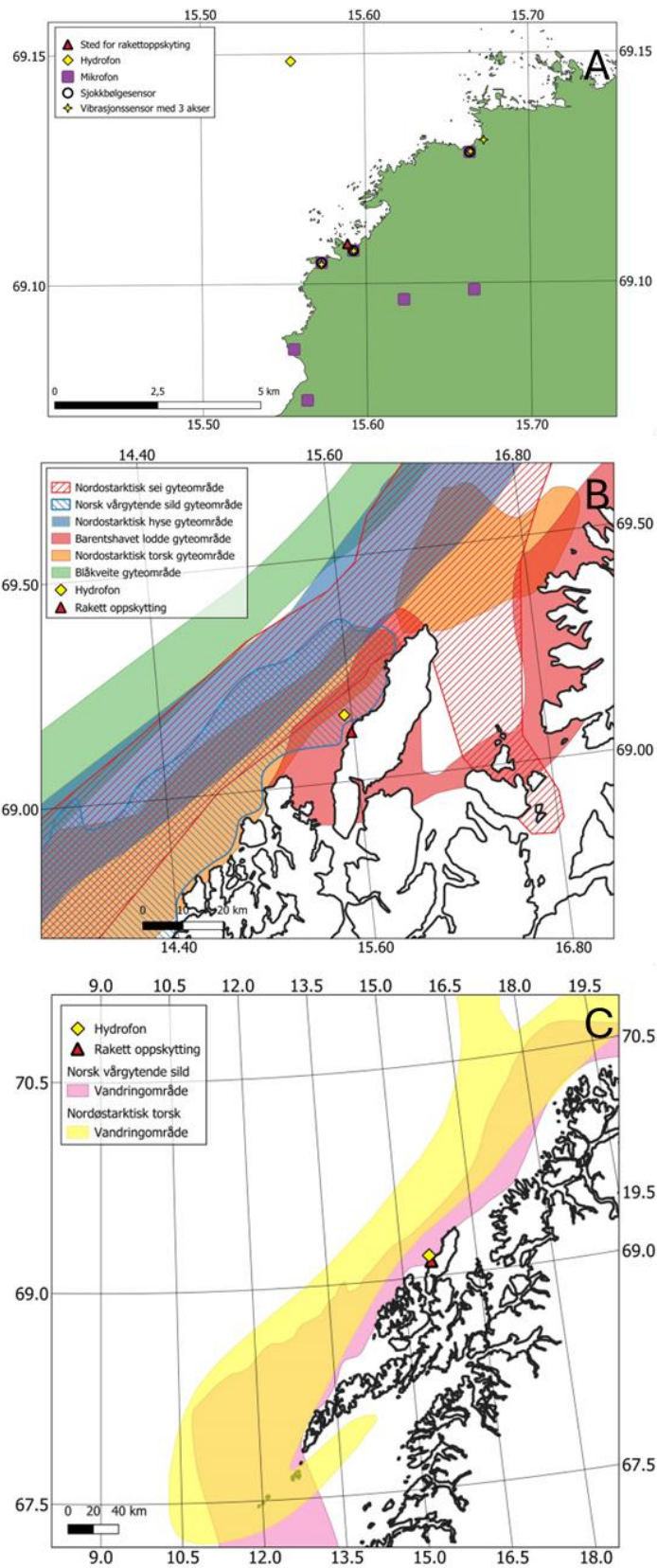
Fiskeriene og fiskeområdene utenfor Andøya i Vesterålen er svært viktige, både i nasjonal og internasjonal sammenheng, og fiskeriene har alltid vært en bærebjelke for kystsamfunnene i dette området. Det har over mange år vært uttrykt bekymring fra fiskerne om hvordan den samlede aktiviteten fra både Forsvar og Andøy Space påvirker fisk og fiskerier, og det fremkommer at de er bekymret både for arealkonflikter og skremmeeffekter (eks. [Fiskeribladet 15.10.2021](#) og [Fiskeribladet 27.02.2024](#)).

Arealkonflikter forekommer når områder avstenges for fiskeriaktivitet over en viss tid i forbindelse med oppskytninger, noe som kan medføre både økt tids- og drivstoffforbruk, samt at fiskerne ikke får tilgang til sine foretrukne fiskeplasser på godværsdagene (som er foretrukket både for fiskeri og rakettoppskyting; [Fiskeribladet 9.10.2023](#)). Fiskerne er urolige da de mener at fisken har forsvunnet fra området grunnet aktivitet tidligere ([Fiskeribladet 31.03.2025](#)). Ved Andøya Spaceport vil det benyttes bæreraketter som er mye større enn det man har opplevd ved tidligere rakettoppskytninger fra Andøya, og det er lite kunnskaper om hvordan støyen fra disse vil bli over og under vann. Det legges på sikt opp til inntil 30 oppskytninger i året med raketter i størrelsesorden om lag 60 tonn. Det er til nå ikke gjort vurderinger av hvordan dette kan påvirke atferd og utbredelse av skrei/norsk-arktisk torsk, blålange og andre arter som er viktige i området.

### 1.1.1 Opprinnelig konsekvensutredning for Andøya Spaceport - Børvågen

Konsekvensutredningen fra 2019 gikk ut fra at rakettoppskytingen ville bli gjort fra en flåte like utenfor Børvågen. Den sammenstilte konsekvensutredningen er basert på 20 fagrapporter med ulike temaer (Norconsult 2019, Vedlegg 20\_Andøya Spaceport\_Sammenstillingsrapport Børvågen 2019-06-28). En av fagrapportene handler om fiskeri (Norconsult 2019, Vedlegg 2\_Andøya Spaceport, fagrapport fiskeri, Børvågen, 2019-07-05) og en om støy fra oppskytingen, men den fokuserte utelukkende på støy på land og dekket ikke støy i havet.

Fagrapporten om mulige ringvirkninger for fiskeri verdsetter fiskeriressursene i området svært høyt: "Området karakteriseres ved at eggakanten utenfor Andøya løper nært opp mot land, og dette gir et meget godt grunnlag for gode gyteområder og fiskeriområder". Det blir påpekt at spesielt perioden februar – april er svært viktige for fiskerinæringen da denne perioden sammenfaller med skreifiskeriet. I den opprinnelige konsekvensutredningen ble konsekvensene for fiskeri blir ansett som små (noe forringet i en av tre utskytingssoner), fordi utskytingssonen overlapper med linefiske. Line er et passivt redskap som blir mindre påvirket hvis en utskytingssone blir stengt i noen timer, fordi det kreves ikke at båten er tilstede hele tiden. Dette har blitt kommentert av fiskerinæringen (se avsnitt 1.1)



Figur 1. Kart som viser: plasseringen av hydrofonden som gjorde lydopptak under oppskytingen, oppskytningsstedet og posisjonene for ytterligere sensorer på land (toppanel); stedet for rakettoppskytingen på Andøya sammen med gyteområder for seks kommersielt viktige fiskearter i området (midtpanel), og gytevandingsområde til Norsk vårgytende sild og nordøstarktisk torsk (bunnpnanel). Kartlag fra hi.no.

Fagrapporten om støy har sett på støynivå i luft relatert grenseverdier for boliger. Det var ikke utarbeidet en fagrapport om støy i havet som del av den opprinnelige konsekvensutredningen. Ut fra de oppgitte sonene er det midlede støynivået nærmest kilden 130 dB re 20  $\mu$ Pa. 130 dB re 20  $\mu$ Pa i luft tilsvarer 192 dB re 1  $\mu$ Pa i vann hvis man vil sammenligne nivå med vanlige lydkilder under vann (Dahl *et al.*, 2007). Det aller meste av lydenergien fra luft vil reflekteres av vann- og jordoverflaten og lite lyd overføres fra luft til vann eller fra luft til fjell til vann, så lyden man hører rundt raketten er ikke nivået fiskene blir utsatt for (se avsnitt 3.2).

I dette prosjektet vil vi spesifikt kartlegge hvor mye lyd fisken blir utsatt for og hvordan dette kan påvirke fiskens adferd i fiskeområdene.

## 1.2 Prosjektets omfang

Prosjektet gikk over 1 år, og var finansiert av FHF med 1.679 000 NOK, pluss en tilleggsfinansiering på 390 000 NOK for å finansiere en ny utsetting av måleutstyr etter at rakettoppskytingen ble utsatt, noe som førte til at det første lydopptaket ikke inneholdt rakettstøy.

## 1.3 Prosjektorganisering

Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) samlet inn lyddata under vann med hydrofoner. Analyse av lydmålingene ble gjort i samarbeid mellom FFI og HI. Havforskningsinstituttet (HI) sammenstilte litteratur og hadde hovedansvaret for prosjektet. En referansegruppe, bestående av representanter fra Andøya Spaceport, Andøya Space Defence, Fiskarlaget, Fiskebåt og en lokale fisker, kom med innspill både før og etter datainnsamlingen og analysene.

# 2 Problemstilling og formål

## 2.1 Redegjøre for prosjektets effektmål

Prosjektet vil bidra med en samlet oversikt over eksisterende kunnskap om effekter av støy, på fisk og fiskeri, med hovedvekt på artene som er viktige fiskeressurser i området rundt Andøya (skrei/norsk-arktisk torsk, blåkveite, sild og sei). Videre vil prosjektet peke på viktige kunnskapshull som kan stimulere videre forskning hvis nødvendig.

Kunnskap fra dette prosjektet vil også direkte kunne inngå i kunnskapsgrunnlag og vurdering i forbindelse med HI og FFI sitt arbeid med rådgivning på støy i havet.

## 2.2 Redegjøre for prosjektets resultatmål

Leveranse	Beskrivelse
L1	Referat fra oppstartsmøte
L2	Referat fra referansegruppemøte 1
L4	Referat fra referansegruppemøte 2
L5	Sluttrapport til FHF
L6	Prosjektrapport med funn og resultater, publisert som en HI/» nettrapport

# 3 Prosjektgjennomføring

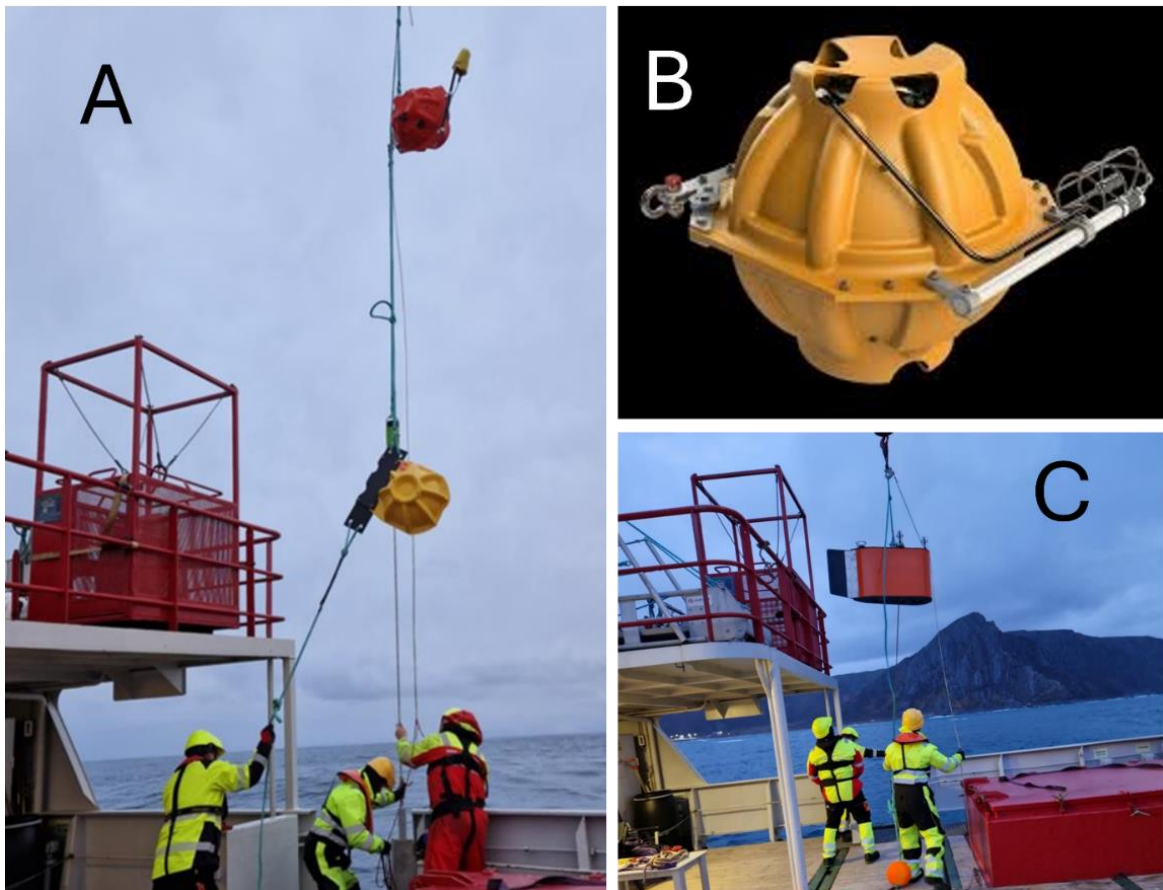
FFI utførte lydmålinger i havet under rakettoppskyting. Dette måtte gjøres to ganger fordi oppskytingen ble utsatt utover første måleperioden. Det ble skutt opp en rakett i andre målingsperiode. HI sammenstilte litteratur om rakettstøy og om hvordan denne type lyd kan påvirke fisk og fiskeri, og ledet prosjektet. Det ble avholdt 3 referansegruppemøter, et før oppskytingen, et etter oppskytingen, og et for å diskutere analysene og foreløpige konklusjoner. Referansegruppen kom med skriftlig innspill til sluttrapporten før innsendingen.

## 3.1 Raketten og rakettoppskytingen.

Målingene av støy i havet utenfor romhavnen i Børvågen ble gjort av den aller første oppskytingen av en bærerakett fra Andøya Spaceport. Det var den den 30m høye og 50 tonn tunge tyske raketten «Spectrum», som etter flere utsettelse tok av som planlagt 12.30 lokal tid den 31. mars 2025. Dette markerer den første bærerakett som noensinne er skutt opp fra europeisk fastland. Etter ca. 30 s slukket motoren på bæreraketten og ca. 10 s senere eksploderte raketten i havoverflaten rett utenfor selve oppskytingsrampen (Rakettoppskytingen på Andøya: Falt ned kort tid etter oppskyting – NRK Nordland)

## 3.2 Lydmålinger under rakettoppskyting

FFI utførte to målinger en 16. november – 14. desember 2024 og en 17. mars – 12. mai 2025.



Figur 2A viser utsett av AMAR hydrofonriggen, 2B viser AMAR riggen som består av en hydrofon montert på en bøye, 2C viser FASAN hydrofonriggen som ikke ble funnet igjen etter stormene.



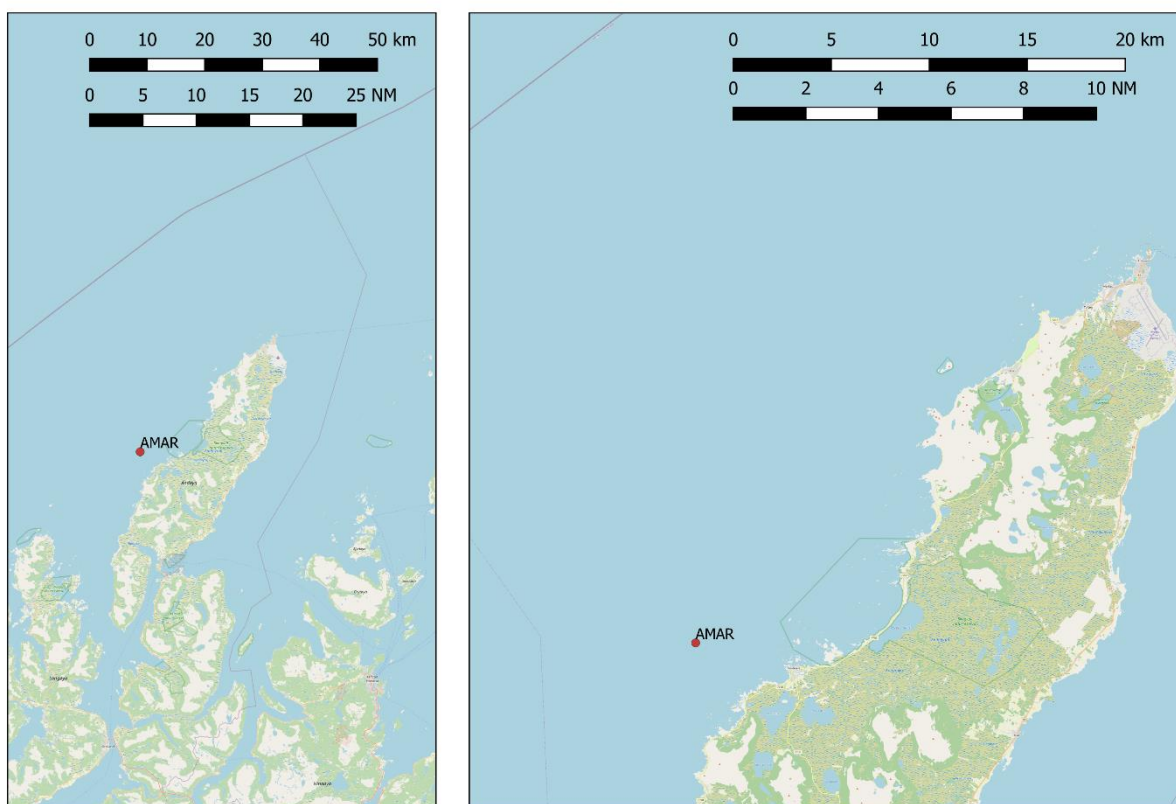
Figur 3. Riggens posisjon under første måleperiode. Grønn: Rigg 1 (FASAN), rød: Rigg 2 (AMAR)

### 3.2.1 Første måleperiode

I første måleperiode ble det ikke skutt opp noen rakett fordi oppskytningen ble utsatt. To hydrofonrigger ble satt ut ved ulike avstander den 16 november (Figur 2,3), men 28. november ble det kjent at oppskytningen ble utsatt til 2025 som var utenfor batterilevetiden til hydrofonene. Hydrofonriggene ble forsøkt hentet 30. november men det var for dårlig vær. Hydrofonriggene ble hentet den 14. desember, men det var bare en av dem (AMAR) som ble funnet. Den andre (FASAN) ble aldri funnet og er antatt å være tatt av en storm.

### 3.2.2 Andre måleperiode

17 mars ble AMAR hydrofonriggeren satt ut på nytt. Posisjonen ble valgt basert på at vi nå bare hadde én rigg, og at erfaring fra første utsett gjorde den indre posisjonen fra første utsett var helt uaktuell. Vi valgte derfor å gå for en posisjon nærmere land enn fiskefeltet (strengt tatt ble den satt litt på innsiden av fiskefeltet) for å unngå at man ikke klarer å registrere lyden fordi man er for langt unna (Figur 4). Samtidig måtte vi finne et sted som var dypt nok til at vi ikke mistet denne riggen også (den første riggen vi satte på innsiden av fiskefeltet forsvant ved første utsett og stod grunnere enn vi vanligvis setter dem). Den 30. mars ble raketten skutt opp og lyden i havet ble registrert.



Figur 4. Riggens posisjon ved andre måleperiode. Posisjon: N: 69.14821; Ø: 15.55167, Vannndyp: ~50m, Avstand til oppskytingsrampen: ~2,5nm.

### 3.2.3 Utstyr

Opptaksenheten som ble brukt var en Jasco AMAR G4 (Ultra Deep) med GeoSpectrum M36-100 hydrofon. Frekvensområdet til hydrofonen er fra 10 Hz – 200 kHz.

Sensitiviteten inkludert forforsterker (preamplifier) var -165 dBV re 1µPa.

Hydrofononriggen var forankret til bunnen med et lodd. 2.8 m over loddet var det en akustisk utløser, «Benthos release», som er en akustisk styrt mekanisk lås som holder et instrument på havbunnen og frigir det ved mottak av et kodet akustisk signal slik at instrumentet kan heves til overflaten. 2.3 m over den akustiske utløseren var selve AMAR-riggen med hydrofonen (ca. 5-6 m over bunnen; se Tabell 1). Over AMAR-riggen var det to oppdriftskuler til med 5-6 m mellom hver (Tabell 1).

Tabell 1: Oversikt over avstander mellom de forskjellige deler av hydrofonrigg AMAR

Fra	Til	Avstand
Øverste trålkule	Benthos oppdriftskule	5m
Benthos oppdriftskule	AMAR	6m
AMAR	Benthos release	2,3m
Benthos release	Offerlodd	2,8m

Angående lyden fra rakettoppskytingen hadde vi en forventning om å måle et signal som lignet på et jordskjelv, med høyere frekvenser i tillegg, men vi hadde ingen forventninger for hvilket lydtrykk utskytingen ville ha. Standard innstillinger for hydrofonen ble derfor brukt, med et høypassfilter på 10 Hz for å unngå at hydrofonen gikk i metning på grunn av de store støymengdene vi forventet (og har observert) på lave frekvenser som blant annet kommer fra bølgene i havet (filteret er en demping av frekvensene under 10Hz, ikke en avskjæring). Denne hydrofonen har ved tidligere anledninger blitt brukt til å måle jordskjelv så vi vet at hydrofonen er egnet for denne typen lydmålinger og vi forventet å observere lavfrekvente vibrasjoner fra oppskytingen.

### 3.3 Sammenstilling av litteratur

Beskrivelsen av fiskens hørsel er gjort basert på tekst og figur fra samme forfattergruppe laget for Havforskningsinstituttets årlige rapport om støy i havet for 2025 (Forland et al., 2025).

Vi klarte ikke å finne litteratur om hvordan lyd fra raketter påvirker marine dyr. Fremgangsmåten ble derfor å se på hvordan lignende typer lyd kan påvirke marine dyr. Vi forventet at lyden fra rakettoppskytingen skulle være lavfrekvent og ligne på lyd fra andre menneskeskapt lyder i havet som seismikk, propellstøy, eksplosjoner, pæling eller vindturbiner.

Siden lydpåvirkning fra seismikk er en av den som er best dokumentert, og lyden fra seismikk er lavfrekvent, med korte impulsive pulser på kort avstand, men lengre,

utoversmurte pulser ved større avstander anså vi denne som en representativ lydkilde. Derfor har vi brukt studier av effekter av lyd fra seismikk, samt skipsstøy og pæling som en antagelse av hvordan fisk eventuelt kan tenkes å respondere på lyd fra rakettoppskyting. Dette er gjennomgått for hver av støykildene, med hovedvekt på norske arter i (Forland *et al.*, 2025) så vi har brukt denne rapporten som hovedkilde til å hente frem relevant litteratur. I tillegg har vi søkt litteratur i Web of Science med «infrasound» and «fish\*» og beskrevet de referanser som direkte viste hva fisk kan høre av infralyd.

For selve lyden fra rakettoppskytinger ble det søkt etter litteratur ved å bruke Google Scholar med søkeord som «underwater rocket noise» og «acoustic noise rocket launch». Det ble ikke funnet litteratur om lydmålinger under vann fra rakettoppskytinger, men det var mye litteratur om lyd på land fra rakettoppskytinger. Dette ble utgangspunktet for å beskrive lydkilden. Den manglende litteraturen for både lyd på virkning og lyd i havet fra rakettoppskytinger viser også et kunnskapshull som dette prosjektet er med på å fylle.

## 4 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

### 4.1 Detaljert oversikt over oppnådde resultater

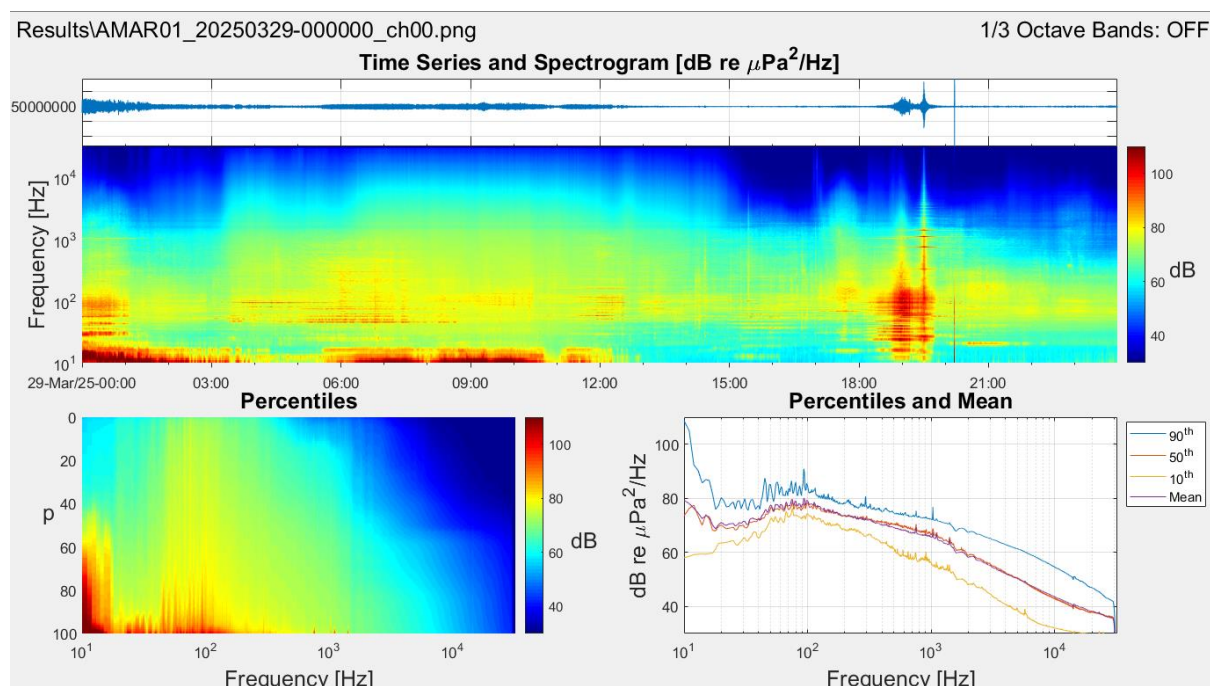
#### 4.1.1 Resultater fra lydmålingen

For å vurdere bakgrunnslydnivået ved hydrofonens posisjon analyserte vi de kontinuerlige lydmålingene i 24 timer dagen før rakettoppskytingen (29. mars 2025) der målingene ble midlet over 1 minutt (Figur 5). Denne dagen var det ganske høy bakgrunnsstøy som kan skyldes vind, strøm og skipstrafikk.

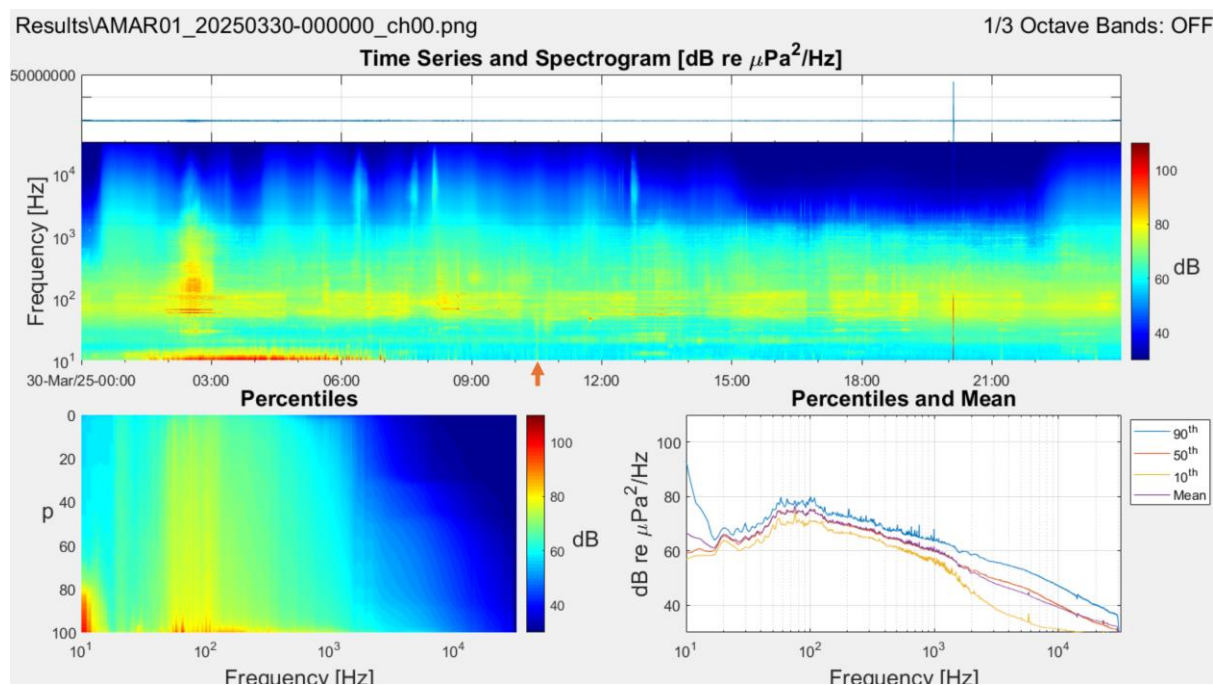
Lydmålingene fra selve oppskytningsdagen ble også først analysert på samme måte for 24 timer midlet over 1 minutt (Figur 6). Denne dagen var det generelt lavere bakgrunnsstøy som kan skyldes svakere vind, mindre strøm og få fartøy, likevel er det ikke mulig å se støy fra selve rakettoppskytingen i Figur 6. Rakettoppskytingen varte i mindre enn 1 minutt, så vi har også plukket ut tidsrommet for oppskytingen som vi ser på mer i detalj.

Raketten ble skutt opp kl. 10:30 UTC den 30. mars. Fra første motor ble tent til raketten flukt ble terminert og den eksploderte i vannoverflaten tok det 45 sekunder. Klokka på hydrofonene er ikke helt nøyaktig, og i tillegg tar det noen sekunder for lyden å nå posisjonen til hydrofonen. Ved å se på lydopptaket kom vi frem til at lyden fra

oppskytningen er synlig i tidsintervallet ca. 10:30:34 til 10:31:19 i lydfilen merket med røde stiplede linjer i Figur 7.



Figur 5. Bakgrunnsstøy i området målt dagen før rakettoppskytingen fra midnatt til midnatt midlet over 1 minutt. De to øverste panelene viser bølgeform og spektrogram som funksjon av tid. De to nederste panelene viser hvilke frekvenser i lyden som var mest dominerende.



Figur 6. Lydmåling fra selve oppskytningsdagen. Lyden fra oppskytingen av raketten er forventet å være synlig ca. kl. 10:30:55 (UTC) markert med rød pil. Lyden for oppskytingen er ikke synlig i denne figuren der lyden er midlet over 1 minutt.

Tabell 2: Klokkeslett (UTC = lokal tid - 2 timer) for hendelser under rakettoppskytingen. Merk at dette er tiden for hendelsene, og at tidsaksen for lydmålingene ikke er tilsvarende på grunn av at lyden bruker tid å nå frem til hydrofonen, pluss en unøyaktighet i klokka på hydrofonen.

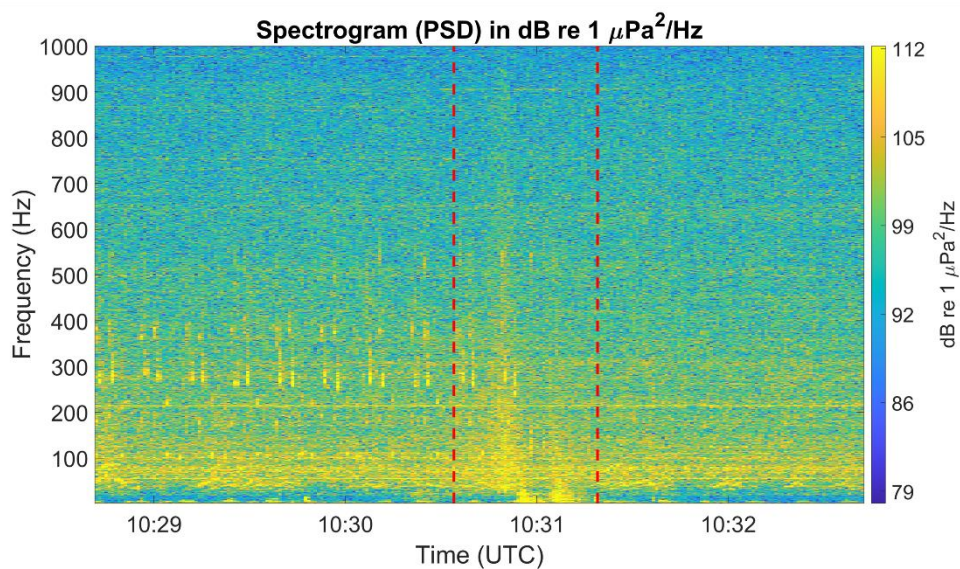
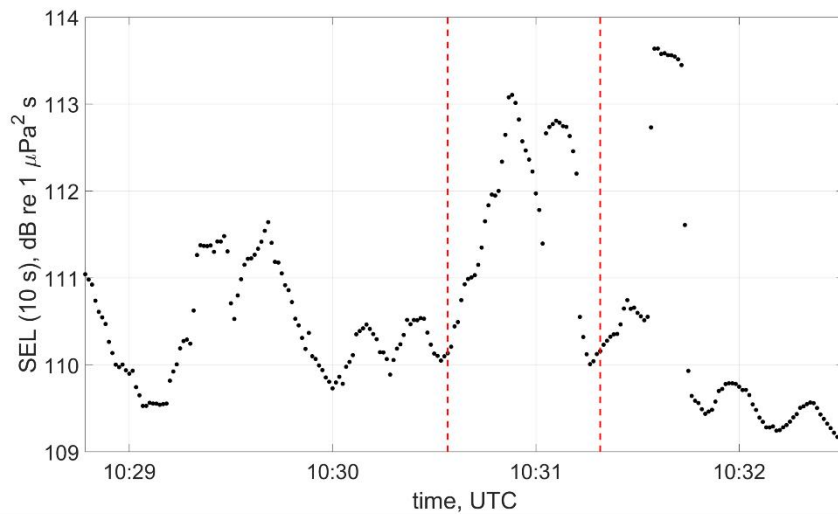
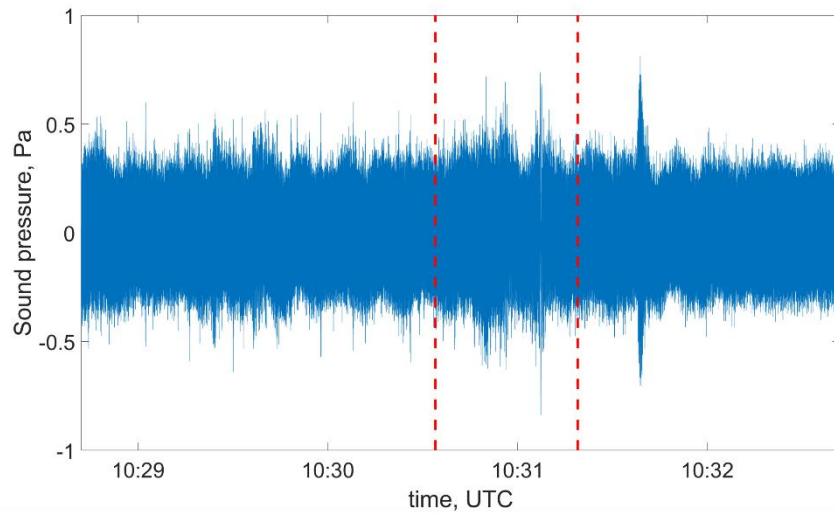
Hendelser under rakettoppskyting den 30. mars 2025	Tid, UTC
Første motor blir tent	10:29:56
Oppskyting (lift off)	10:30:00
Eksplosjon etter terminering av flukt	10:30:41

Lydmålingene fra noen minutter rundt rakettoppskytingen ble analysert grundigere. Det var tydelig at lyden fra rakettoppskytingen ikke var så mye høyere enn bakgrunnsstøyen, men lyden er registrert og kan bli sett mellom kl. 10:30:34 og 10:31:19, markert med røde stiplede linjer i Figur 7. (Rett etter den markerte perioden i Figur 7, øverste panel, kan man se et kraftig signal. Dette kommer ikke fra rakettoppskytingen. Det har en ren frekvens på 6 Hz, og lignende signaler blir sett både før og etter oppskytingen (se lavfrekvente signaler som en rad med gule flekker nederst i spektrogrammet som zoomer inn på de laveste frekvensene i Figur 9).

Lydeksponeringsnivået (Sound exposure level, SEL) i perioden rundt oppskytingen er beregnet per 10 sekunder med 9 sekunder overlapp. Nivået av SEL<sub>10s</sub> under oppskytingen er mellom 110 – 113 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  (Figur 7, midterste panel). Dette er lave verdier på nivå med typisk bakgrunnsstøy i havet.

Om man ser på signalet rundt oppskytingstidspunktet i et spektrogram med høyere tidsoppløsning (Figur 7, nederste panel) er det mulig å se to veldig lavfrekvente (<20 Hz) pulser. Tidspunktet for det første signalet er 10:30:55 (tid i UTC, så 12:30:55 lokal tid), Tidsavstanden mellom toppene på de to signalene er ca. 11 sekunder. Dette kan tilsvare forskjellen i lydpropagasjonen mellom luft og vann. Lyd i luft vil bruke ca. 14 sekunder på 2.5 nmi avstand, men i vann med raskere lydhastighet vil det bare ta ca. 3 sekunder. Det er også et svakt bredbåndet signal før disse to signalene, på litt høyere frekvenser (ca 30 – 700 Hz), dette kan også være relatert til oppskytingen, men det er usikkert siden lignende signaler har blitt observert på andre tidspunktet i datasettet også. Dette kan muligens være lyden fra oppskytingen som har propagert gjennom land og havbunn der lydhastigheten typisk er raskere enn i vann, dette blir gjetting og spekulasjoner, men det blir generert kraftige vibrasjoner fra oppstart av rakettmotorene og i det raketten letter fra bakken som kan bre seg via bakken og i havbunnen. Lyden som kommer ut i vannet er uansett veldig lav.

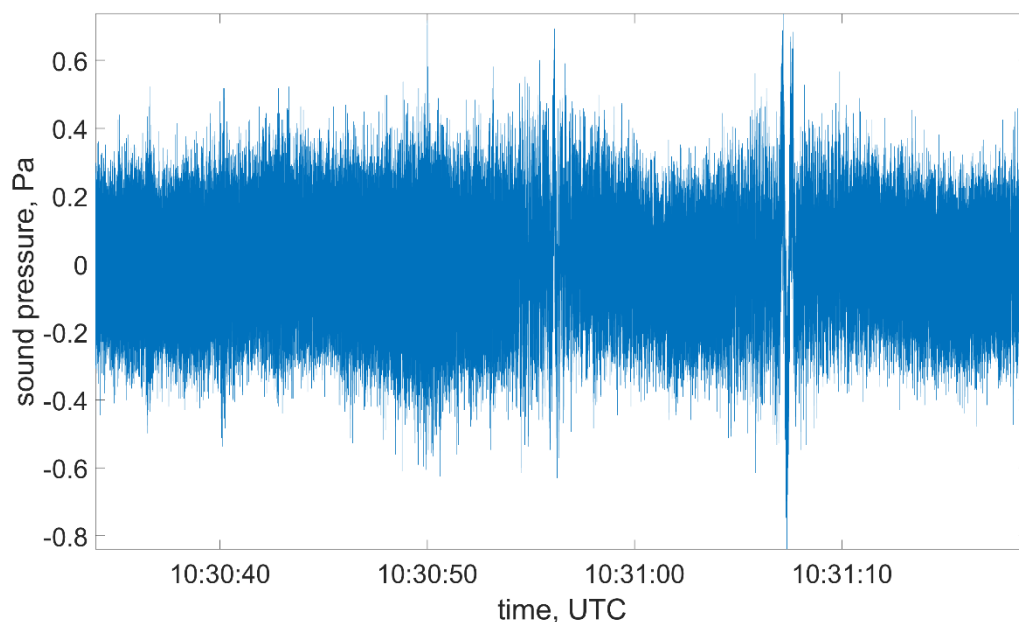
Om man ser nærmere på de 45 sekundene av interesse (Figur 8) kan man se de to lavfrekvente signalene som en slags fortykning i lydimpulsen (fordi perioden til svingningene er lengre). Man kan også se det mer høyfrekvente signalet som kommer litt før disse to.



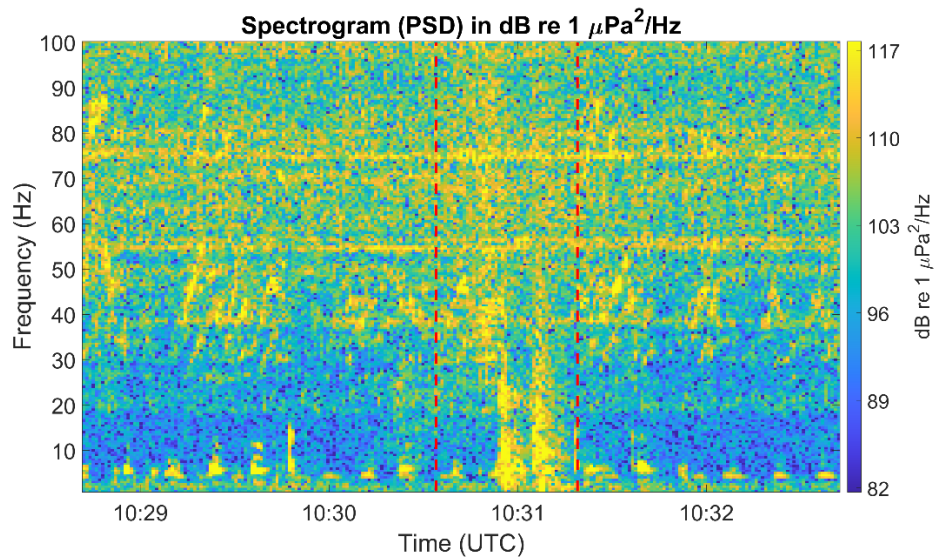
Figur 7. Røde stiplede linjer viser perioden der lyden fra raketten er registrert. Det øverste panelet viser pulsformen til signalet (rådata fra hydrofonen regnet om til pascal (Pa)). Det midterste panelet viser lydeksponeringsnivået (sound exposure level, SEL) integrert over 10 sekunder. Det nederste panelet viser spektrogrammet der vi kan se hvilke frekvensområder som har høyest intensitet.

Konklusjonen når det gjelder lydmålingene er at lyden er lav, så vidt over bakgrunnsstøyen. Det kan man se i Figur der de 45 sekundene rundt oppskytingen er sammenlignet med bakgrunnsstøyen hentet fra de 45 første sekundene av lydopptaket fra Figur 7. Her ser man at i øverste panel at lydnivået er så vidt høyere under rakettoppskytingen. Når man ser på frekvensspekteret (energy spectral density) i det nederste panelet kan man se at det er litt høyre nivå av de laveste frekvensene under rakettoppskytingen.  $SEL_{45s}$ , integrert over 45 sekunder (den totale varigheten av oppskytingen) er 118.4 dB re 1  $\mu Pa^2s$ . Det høyeste lydnivået fra 0 til høyeste topp er på 118.5 dB re 1  $\mu Pa$ .

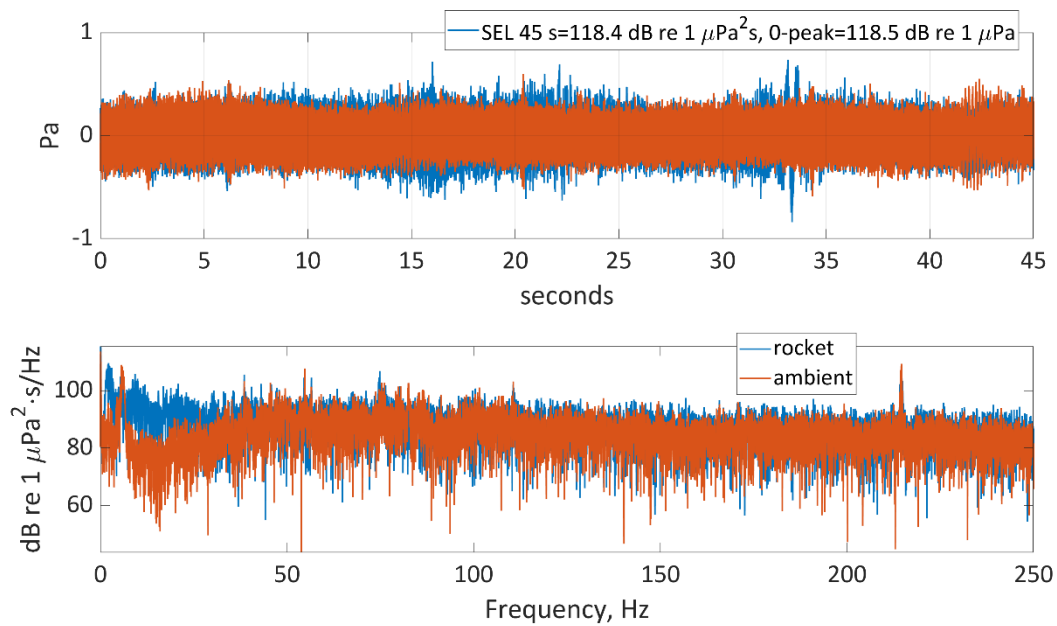
Årsaken til at lyden er så lav er trolig at dette området har forhold som fører til en naturlig demping av lyden fordi det er veldig mange holmer og skjær rundt oppskytningsområdet. I tillegg brer lyd seg generelt dårlig fra luft til vann.



Figur 8. Zoom inn på signalet for 45 sekund rundt oppskyting. Ved 10:30:55 er det en lavfrekvent puls. Det er det også ved 10:31:06. Rundt 10:50 er det også et signal som er lettere å se i spektrogrammet.



Figur 9. Zoomer inn på de laveste frekvensene. Under 10 Hz er det gjentatte signal som var der både før, under og etter oppskytingen, men det er tydelig at de to pulsene rundt 10:31 skiller seg ut. Man ser også et signal rett før 10:30:55 ved litt høyere frekvenser.



Figur 10. Plotter signal og bakgrunnsstøy sammen, og ser på frekvensinnholdet til begge. Bakgrunnsstøyen er de første 45 sekundene fra figur 6, før rakettoppskytingen startet. Rakettlyden har høyere signal ved lave frekvenser (1-30 Hz) enn bakgrunnsstøyen. SEL-verdi er integrert over 45 sekunder.

## 4.1.2 Resultater fra litteratursammenstilling

### 4.1.2.1 Lyd fra rakettoppskytinger

Det kreves betydelige krefter for å sende en rakett til verdensrommet som begynner 100 kilometer over havoverflaten. Selve oppskytingen er den mest støyende delen. Oppskytingen av en rakett varer noen få minutter og består av to faser. Den første fasen varer noen sekunder der raketten blir holdt på plass av store klemmer imens motorene starter. Selve oppstart av motoren genererer vibrasjoner og støy. Motoren forbrenner drivstoff som danner gasser og skaper høyt trykk og høy temperatur. Gassene som strømmer ut av motorens dyse med høy hastighet som resulterer i en motkraft som presser raketten oppover. Samtidig fører den raske ekspansjonen av gasser til kompresjon og dekompresjon av luftmassene rundt som fører til lydbølger. I neste fase blir klemmene som hold raketten på plass fjernet og raketten begynner stige oppover, først sakte og deretter raskere. De kraftigste vibrasjonene dannes i de første 10 sekundene etter raketten letter fra bakken, og det er mye støy de første få minuttene imens raketten akselererer kraftig og bruker mye kraft på å motvirke tyngdekraften (Lubert, 2018; Lubert *et al.*, 2022). Gassen kommer ut av motorens dyse med en hastighet som er høyere enn lydets hastighet, dette skaper sjokkbølger og ulike varianter av turbulens som lager mye høy lyd.

Under oppstigningen akselererer raketten gjennom atmosfæren ved hjelp av motorkraft som må overvinne luftmotstand og tyngdekraft, hastigheten øker gradvis. Etterhvert oppnår selve raketten en hastighet som er høyere enn lydhastigheten i luft, dette lager også sjokkbølger som fører til kraftig lyd.

Når raketten når ønsket høyde og hastighet blir kursen justert. Da kan, for eksempel, nyttelasten slippes for å bli plassert i riktig bane.

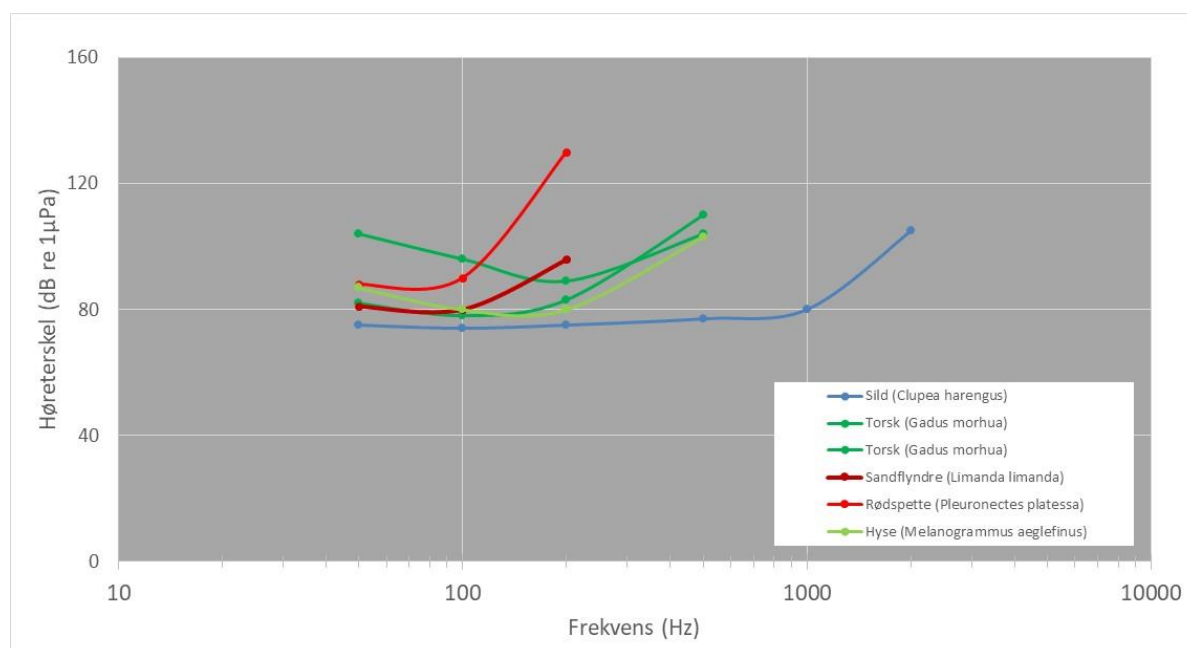
Siden kraftige vibrasjoner og akustiske krefter kan være skadelig for selve raketten blir det gjort mye for å begrense dette. Støydempende tiltak blir dermed en naturlig del av både selve raketten og oppskytningsrampen sin konstruksjon (Lubert *et al.* 2018).

Det har ikke lyktes å finne litteratur som beskriver lyd i hav og vann fra slike bæreraketter, men det finnes mye for lyd og vibrasjoner i målt i luft (oversikt i Lubert *et al.* 2018 og 2022). Raketter produserer lyd over et bredt frekvensspekter, som strekker seg opp til noen kHz, men mesteparten av energien finnes under 100 Hz.

Rakettoppskytinger genererer også lyd ved veldig lave frekvenser, under 20 Hz, som kalles infralyd. Lavfrekvente lydbølger som kan spre seg over store avstander. Lyden fra rakettoppskytingen kan bre seg til havet gjennom luft eller gjennom undergrunnen. Lyden blir kraftig dempet når den går fra ett materiale til et annet, og mesteparten av lyden blir reflektert når den går fra luft til vann.

#### 4.1.2.2 Fiskens Hørsel og adferdsrespons til lyd

Det finnes mange fiskeriressurser i området rundt Andøya, og de viktigste artene er skrei/nordøstarktisk torsk, blåkveite, sild og sei, og det er også flere gyteområder for ulike arter i området (Fig. 1). Fisk har best hørsel på lave frekvenser (Figur 11). Det er ikke publisert noen hørselskurve for blåkveite, men det er rimelig å anta at hørselen er noenlunde lik som hos andre flatfisk uten svømmeblære, som hører best under 100 Hz, og antagelig ikke noe særlig over 200 Hz. Torskefisk, som har svømmeblære, hører noe høyere frekvenser og kan detektere lyd opp til 500-600 Hz. Sild hører godt også på høyere frekvenser, grunnet en kanal mellom det indre øret og svømmeblæren.



Figur 11. Høreterskler for representative fiskearter i området, torsk (grønn), flatfisk (rød) og sild (blå). Terskler er basert på (Chapman and Hawkins, 1973; Sand and Enger, 1973) for torsk der to studier resulterte i to ulike kurver, (Enger, 1967) for sild, (Chapman and Sand, 1974) for sandflyndre og rødspette og (Hawkins, 1973) for hyse.

Det er gjort mange studier på hvordan lyd fra ulike menneskelige støykilder påvirker fisk. Her har vi fokusert på støykilder med lav frekvens, da lyden fra rakettoppskytingen ser ut til å ligge svært lavt i frekvens, typisk seismikk, pæling og skipsstøy.

Torsk er en av de artene en har best kunnskap om hvordan de responderer på lyd. (Engås *et al.*, 1996) viste at både torsk og hyse hadde en kraftig unnvikelse av området hvor det ble skutt seismikk med en kraftig luftkanon, men uten at lydnivået ble målt. Imidlertid viser flere senere studier med mindre luftkanonkilder at torsk ikke forlater området, med lydeksponeringsnivåer (SEL, pr 10 s) opp til 145 dB re 1 μPa<sup>2</sup>s under gyting (McQueen *et al.*, 2022) og 150 dB re 1 μPa<sup>2</sup>s pr skudd (9-12 s) i et beiteområde (van der Knaap *et al.*, 2021). Sistnevnte studie påpeker imidlertid at torsk så ut til å svømme bort fra området etter at seismikken var avsluttet, men det er vanskelig å si om dette var forårsaket av lydeksponeringen. Seismikk på dette lydnivået kan imidlertid forårsake mer subtile adferdsendringer som at fisken svømmer dypere (McQueen *et al.*,

2023; Hynes *et al.*, 2025) eller endrer beiteadferd (van der Knaap *et al.*, 2021; Nguyen *et al.*, 2022). Pæling, en annen kraftig, lavfrekvent lydkilde førte heller ikke til at torsk forlot området (van der Knaap *et al.*, 2022), men uten at lydnivået ble målt. Torsk i merd har også vist respons til båtstøy, i form av å søke sammen og svømme dypere (Engås *et al.*, 1995).

Sei, som også er en torskefisk, er ikke studert like godt som torsk, men antas å ha mye samme reaksjoner som torsken. I en studie ble både torsk og sei i en stor merd eksponert for seismikk. Begge artene hadde noe endring i svømmedyp og fordeling i merden, men denne responsen forsvant relativt raskt, med et lydeksponeringsnivå (SEL pr puls) på ca. 135-155 dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>s (Davidsen *et al.*, 2019). Sei ble også studert under en stor seismikkundersøkelse utenfor Vesterålen i 2009, hvor man fant indikasjoner på at seien trakk unna, da særlig den store fisken, samt at lite mageinnhold kan tyde på en mulig effekt på beiting (Løkkeborg *et al.*, 2012). Her var både fisken og seismikken spredt over et veldig stort område, så det er vanskelig å definere eksponeringsnivå, men hydrofon i eksponeringsområdet viste lydeksponeringsnivåer (SEL over et skudd) opp til 171 dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>s ved nærmeste passering og 170-120 dB over 0-40km avstand (Handegard *et al.*, 2013).

Sild er en pelagisk stimfisk, og det er velkjent at silda responderer på fartøystøy ved å dykke (Vabø *et al.*, 2002; Ona *et al.*, 2007), og generelt viser gjerne pelagiske fisk en tendens til å gå både dypere og i tettere stimer ved eksponering til kraftig lavfrekvent lyd som seismikk og pæling (Kok *et al.*, 2021). Beitende sild viste imidlertid ikke noen signifikant respons til pågående seismikk, verken i form av stimodynamikk, svømmehastighet eller retning, med et lydeksponeringsnivå på 125-155 dB re 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>s (Peña *et al.*, 2013)

Blåkveite, og flatfisk generelt, er ganske lite studert med hensyn til adferdsreaksjoner til lyd. Men under et studie hvor en sammenliknet fangster før under og etter en seismikkundersøkelse i Vesterålen, var blåkveite en av artene som ble undersøkt, og viste at fangstene på garn økte, mens fangstene på line gikk ned under seismikk eksponering (Løkkeborg *et al.*, 2012). Som beskrevet for sei, er det vanskelig å si noe konkret om hvilke lydnivåer disse ble eksponert for.

#### 4.1.2.3 Infralyd

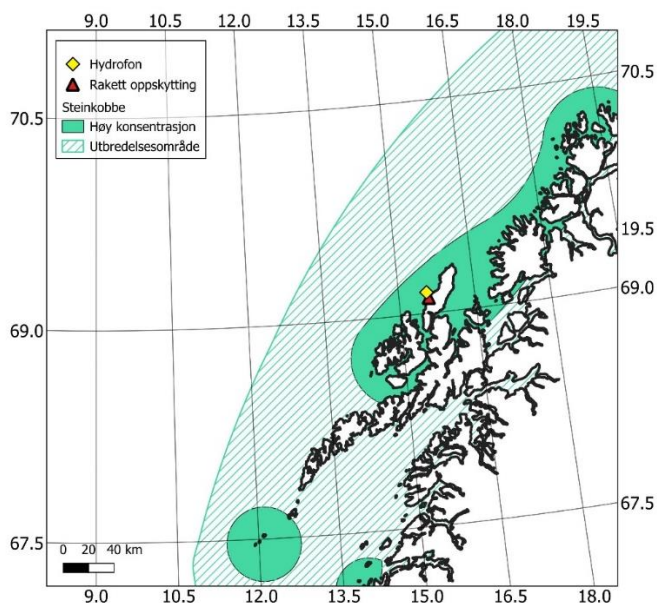
Definisjonen for infralyd er lyd under 20 Hz som er nedre grense for menneskelig hørsel. Mange forskjellige dyr, fra evertebrater til fisk er følsom for infralyd. Det er derfor viktig å påpeke at alle fiskearter sannsynligvis også hører frekvenser lavere enn det som er presentert i Figur 11, men det er svært vanskelig å få til studier med frekvenser under 50 Hz. Siden fiskehørsel ofte har blitt studert i små laboratorieoppsett, og relatert til lydtrykk, er publiserte høreterskler unøyaktig for disse frekvensområdene. De få høreterskler som er fastsatt *in situ* og med spesialiserte måleoppsett for lavfrekvent lyd viser lavfrekvent hørsel ned til under 1 Hz. Selv om fiskehørsel som regel ikke har blitt

testet under 100Hz, kan man likevel anta at fisk hører infralyd (under 20 Hz) omtrent like godt som de hører rundt 100 Hz (Sand og Karlssen, 2000), derfor har vi ikke satt noen nedre grense på de frekvensene fisk kan høre.

#### 4.1.2.4 Mulige effekter på andre dyr enn fisk

Det finnes begrenset litteratur om effektene av rakettoppskytninger på dyr. En studie av steinkobbe kartla aktiviteten til seler i forbindelse med rakettoppskytninger ved en militærbase i California (Thorson et al. 1999 som gjengitt i Harrison 2006). Her fant de ut at det var en sammenheng mellom lydnivå og selens alder på om den forlot området eller ikke. Andelen seler som forlot oppholdsområdet økte med økende lydnivå, og etter dette var nesten alle forsvunnet. Imidlertid var det også slik at i året etter år med oppskytning i samme område var det flere som ble igjen på land, og de som ble igjen var voksne seler, som sannsynligvis hadde opplevd oppskytning tidligere.

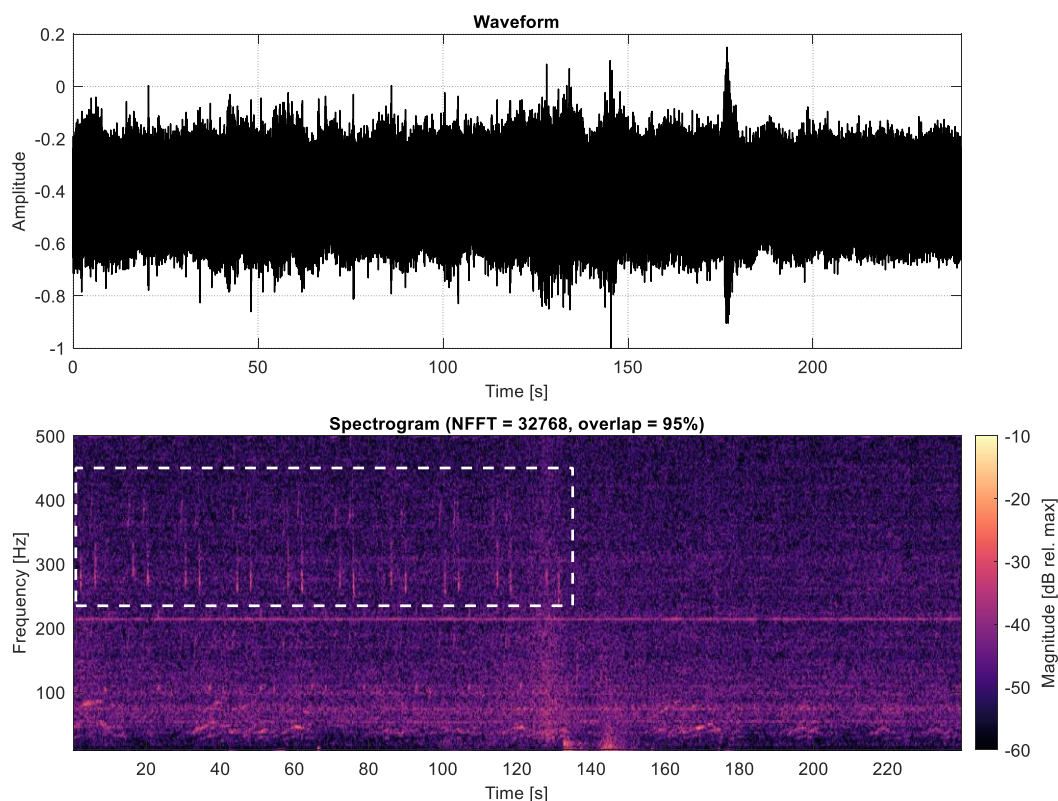
I et annet studie (Holst, 2011), også fra oppskytningsområde i California, så en på adferdsendringer hos sjøløver (*Zalophus californianus*), elefantsele (*Mirounga angustirostris*) og steinkobbe (*Phocena vitulina*). Mens elefantsele bare beveget litt på hodet under oppskytning, ble sjøløvene veldig aktiv, og enten bevegde seg rundt på stranden eller gikk i vannet, men med kortvarig effekt. Steinkobbene viste den største responsen, og flesteparten av selene forlot oppholdsområdet sitt på land og gikk i vannet. De kom tilbake etter noen timer. Dette har ikke ført til en nedgang i populasjonsstørrelse for den populasjonen som er beskrevet i dette studiet, men det påpekes at en lengre periode kan føre til dødelighet for de etterlatte ungene. Steinkobbe finns i høy konsentrasjon rundt Andøya (Figur 12). Dette bør derfor undersøkes nærmere for å kartlegge om det kan gi effekter på populasjonsnivå her.



Figur 12. Utbredelse av steinkobbe i område rundt Andøya. Kartlag fra hi.no.

#### 4.1.2.5 En hval-observasjon i lydmålingene

En interessant observasjon vi gjorde i lydopptakene i tiden rundt oppskytingen var at før oppskyting var det registret vokalisering av en knølhval, som opphørte omtrent samtidig som oppskytingen fant sted (Figur 13). Selv om denne enkeltobservasjonen ikke er grunnlag for å si noe om påvirkning på hval, er det noe som kunne være interessant å undersøke nærmere.



Figur 13. Signal og spektrogram fra figur 7, med hvit boks som indikerer knølhvalkall.

## 4.2 Vurdering av funnene

Siden opptak viste lavt lydnivå, både i dB og sammenlignet med bakgrunnsstøy i området, kommer vi fram til hypotesen at det forventes ingen effekter hos fisk i fiskeområdene nær Andøya fra oppskytinger på Andøya Spaceport i Børvågen. I den påfølgende delen av rapporten prøver vi å avkrefte denne hypotese for å se hvor stor sannsynlighet den har å være sann. Vi ser tre mulige grunner for å avkrefte hypotesen:

- Rakettoppskytingen var ikke representativ
- Hydrofonen var plassert på et sted hvor lyden er lavere enn i selve fiskeområdet
- Hydrofonen har ikke tatt opp lyden i hele frekvensområdet til fiskens hørsel

#### 4.2.1 Kan rakettoppskytingen ikke ha vært representativ?

Ifølge representanter fra Andøya Spaceport var selve oppskytingen (beskrevet i kap. 3.1) representativ for en vanlig oppskyting inntil raketten ble terminert. Type og størrelse av raket som ble brukt er representativ, både for det som brukes nå og som planlegges for fremtiden. Hovedkilden til støy fra rakettoppskytinger er nettopp den første delen der raketten tar av fra bakken og akselererer oppover (Lubert, 2022). Siden denne delen av oppskytingen gikk som planlagt kan vi anta at lyden vi har registrert er representativ, men vi kan ta i betraktning at lyden vil vare noe lenger om ikke raketten faller ned etter 30 sekunder. Det vil likevel være den innledende fasen av oppskytingen som genererer mest intens støy, fordi støyen fra raketten da er tettere koblet mot bakken og vannoverflaten, mens den etterhvert raskt stiger til stor høyde. Fra lydopptak i luft, for eksempel fra NRK ([https://www.nrk.no/video/rakettoppskyting-paa-andoya-feilet\\_5dad9b18-1398-4f82-919e-ae14c2971511](https://www.nrk.no/video/rakettoppskyting-paa-andoya-feilet_5dad9b18-1398-4f82-919e-ae14c2971511)) hører man at lyden blir svakere og forsvinner etter at man ser at raketten begynner å synke (lyd og bilde blir ikke helt synkron fordi lyd hastigheten går saktere enn lyshastigheten), og deretter hører man eksplosjonen når raketten treffer vannoverflaten. I målingene av støy i havet ser vi lite støy fra eksplosjonen (Figur 6).

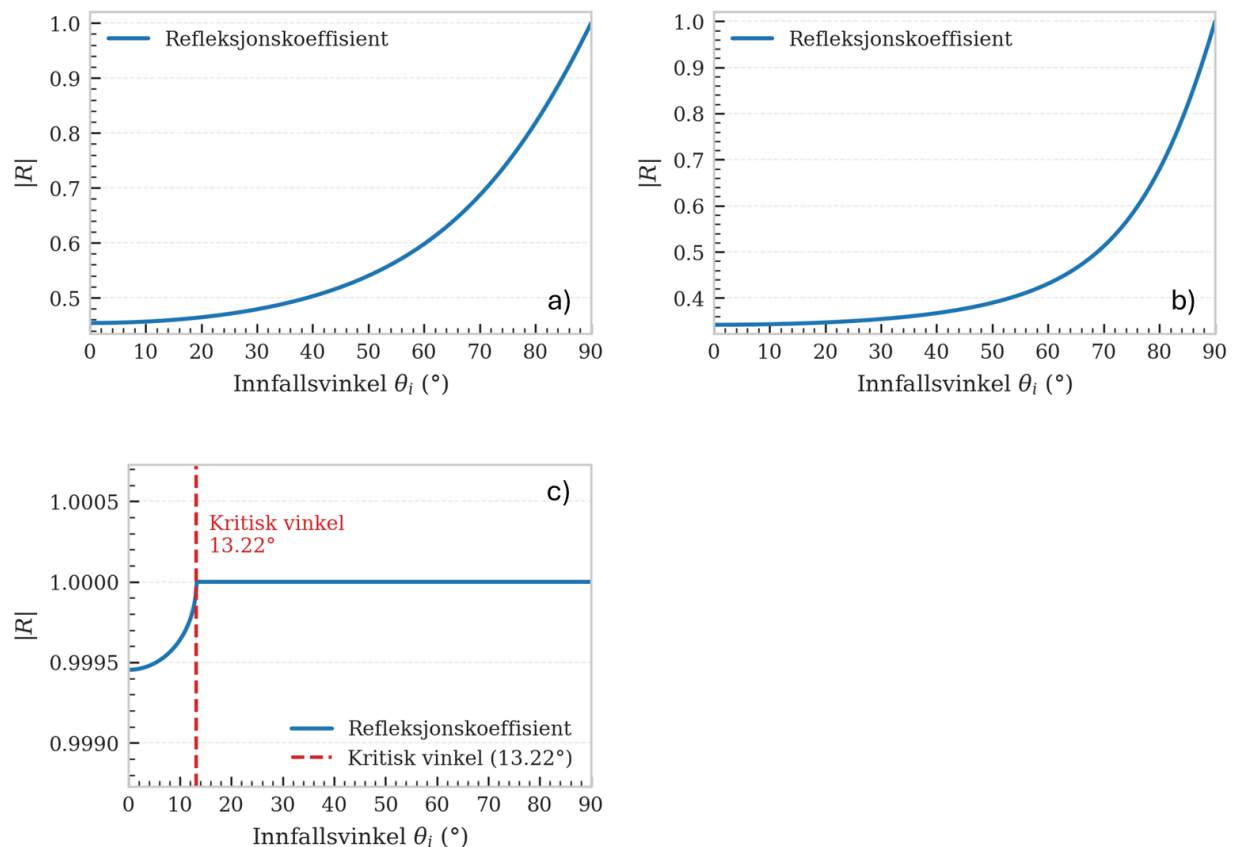
Støydempende tiltak som ble brukt under oppskytingen var flammekanal (flame trench) og vannsprøytesystem (water deluge system). Flammekanal leder gassene som strømmer med høy hastighet ut av raketmotoren bort på en kontrollert og sikker måte. Farlige gasser og flammer blir ledet bort fra oppskytningsområdet, vinkelen på flammekanal er lagt slik at støy og vibrasjoner blir redusert for å unngå skader på raketten (Lubert et al. 2022). Det blir sprøytet mye vann over oppskytningsområdet, inkludert flammekanal, samtidig som raketmotoren tennes. Vannet bidrar til nedkjøling av omgivelsene og til å redusere den akustiske energien. Fordamping av vann fjerner store mengder varme (dominerende effekt). Vandrdåper og damp sprer og demper lydbølger, slik at akustisk skade på raketten og plattformen reduseres i tillegg til at akustisk støy dempes. Selv om akustisk energi delvis konverteres til varme, er denne effekten liten sammenlignet med energien fjernet ved vannets fordamping.

#### 4.2.2 Kan hydrofonen ha vært plassert på et sted hvor lyden er mye lavere enn i selve fiskeområde?

Jordskjelv, eksplosjoner eller andre vibrasjoner i eller på undergrunnen, kan generere bølger av som forplanter seg i grunnen og på overflaten av grunnen. Primær (P) bølger beveger seg i alle materialer frem og tilbake i retningen av bølgeforplantningen, mens sekundær (S) bølger beveger seg på tvers av forplantningsretningen, og kun i elastiske/faste materialer. P bølger beveger seg raskere enn S bølger. I tillegg eksisterer det to type overflatebølger; Love og Rayleigh. Love bølger beveger seg horisontalt fra side

til side vinkelrett på retningen bølgen forplanter seg, mens Raleigh bølger forplanter seg (som havbølger) elliptisk, denne typen sprer seg også mest utover.

Styrken (amplituden) lyden evt. forplanter seg med fra undergrunn til havbunn, undergrunn til vann og havbunn til vann avhenger av flere faktorer som materialet i havbunnen (ulikhet i akustisk impedans) og vinkelen lyden forplanter seg med. Hvis det er stor forskjell i akustisk impedans (produktet av lydshastighet og tetthet i hvert av materialene) mellom havbunn (for eksempel stein) og vann så vil en stor andel av den akustiske energien reflekteres tilbake i havbunnen og liten andel forplantes ut i vannet. Vinkelen en akustisk bølge treffer overgangen mellom to materialer er også viktig. For at en lyd skal kunne forplante seg fra et materiale med høyere impedans (for eksempel stein) til et med lavere impedans (for eksempel vann) må vinkelen lyden treffer grenseflaten med være mindre enn en viss vinkel (kritisk vinkel).

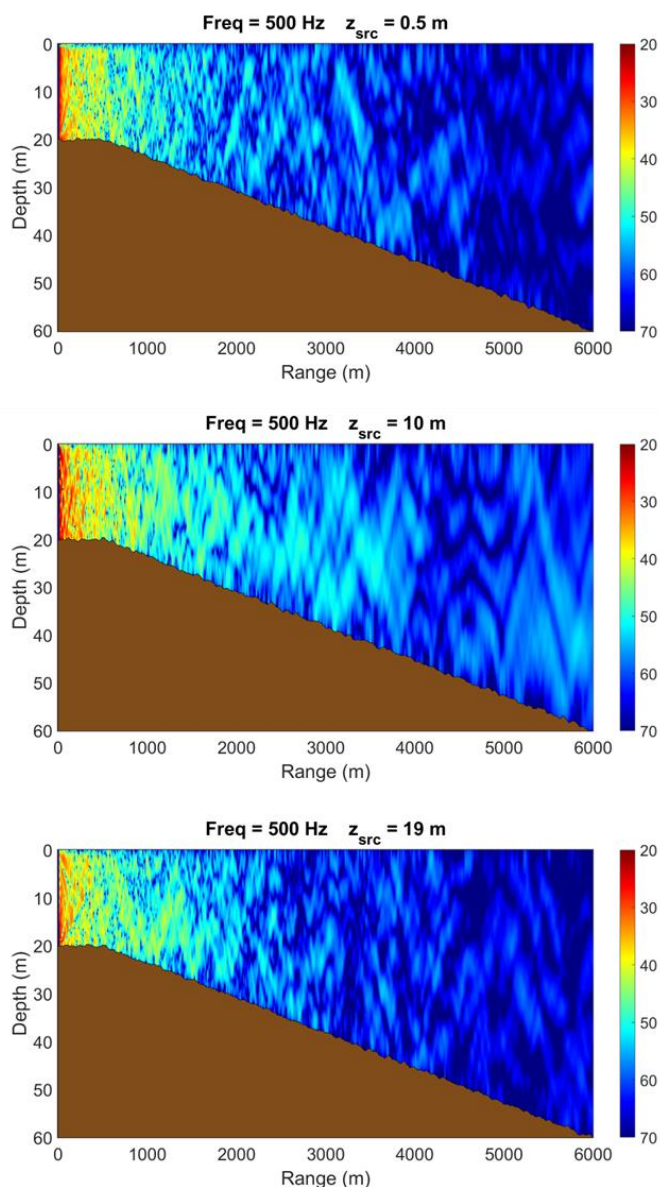


Figur 14. Akustisk refleksjonskoeffisient, forholdstallet mellom reflektert og innfallende lydtrykk, som funksjon av innfallsvinkel. Øverst til venstre: morene til vann, Øverst til høyre: sand til vann, Nederst: luft til vann.

Figur 14 viser eksempler på akustisk refleksjonskoeffisient for en plan bølge som beveger seg mellom ulike materialer. Refleksjonskoeffisienten gir forholdstallet mellom reflektert og innkommende lydtrykk. Denne figuren viser at når lyd går fra undergrunnen (her vist for bunn som består av morene eller sand) til vann så vil under halvparten av lyden bli reflektert, og derfor ikke overført til vann, ved lave vinkler, men ved større vinkler så minker andelen av lyd som blir overført til vannet (Figur 14).



når de letter (15 grader for Boeng 747-400, Boeing AERO magazine Q2 2009), og er dermed nærmere havoverflaten over lenger tid enn en rakett med vertikal oppskytning.



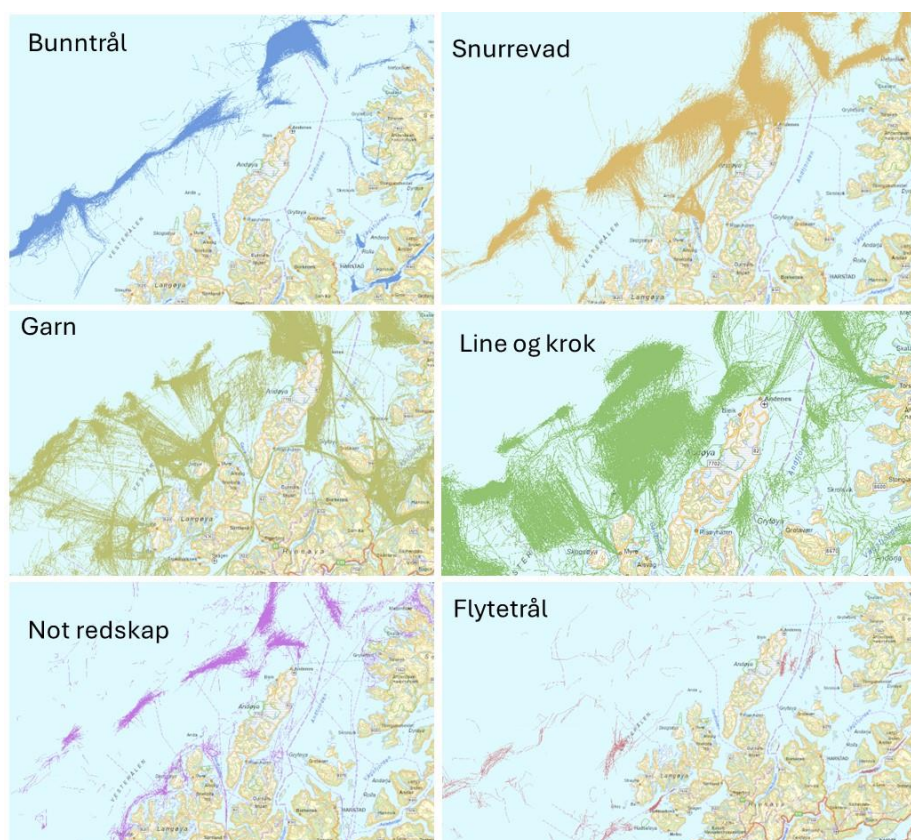
Figur 16. Forplantningstap (gitt i decibel) for en 500 Hz lydkilde plassert nær havoverflaten (øverste panel), midt i vannkolonnen (midtpanel) og nær havbunnen (bunnpanel). Lave verdier indikerer lavt tap, høye verdier indikerer høyt tap.

Basert på disse generelle egenskapene til lyd er det forventet at lite lyd forplanter seg ut i havet fra oppskytingen, enten direkte eller via havbunnen, og at det ikke er noen grunn til å tro at det vil kunne være høyere lydnivå på fiskefeltene som ligger ved større avstander fra oppskytingen enn i området hvor hydrofonen var plassert. Hvis raketten kommer over selve fiskeområdene gjør den høye refleksjonskoeffisienten fra luft til saltvann at veldig lite av lyden som treffer havoverflaten trenger gjennom i vannet, det meste blir reflektert. Lyd som forplanter seg fra land og ut i vann vil avta på grunn av interaksjon med havbunn (tap inn i havbunn, spredning).

### 4.2.3 Kan hydrofonen ikke ha tatt opp lyden i hele frekvensområdet til fiskens hørsel?

Det fremkommer fra litteratursammenstillingen at eksponering for fisk kan fremkalle ulike adferdsreaksjoner hos fisk. Den største bekymringen for fiskerne er at fisken forsvinner fra området, og slik blir utilgjengelig for fiskeriene. Imidlertid viser studiene som oppsummert over at dersom dette skal være tilfelle må lydnivået være betydelig kraftigere enn det vi har målt i forbindelse med denne rakett oppskytingen. Det høyeste lydeksponeringsnivået, SEL, pr 10 sekund som ble målt var 113 dB re 1 uPa<sup>2</sup>s, og det kummulative lydeksponeringsnivået for hele oppskytningen, SEL for 45 sekunder, var 118.4 dB re 1 uPa<sup>2</sup>s. Til sammenligning er det vist at torsk ikke blir spesielt forstyrret av seismikk med lydeksponeringsnivå, SEL pr 10 sekunder, på 145 dB re 1 uPa<sup>2</sup>s (McQueen *et al.*, 2022; McQueen *et al.*, 2023). Det er derfor rimelig å anta at lydnivået var under det som kan forventes å igangsette en adferdsreaksjon.

Fiskeriene kan også påvirkes ved andre mer subtile adferdsendringer. Fiskeri med line og krok er et betydelig fiskeri i området (Figur 17), og dette avhenger av at fisken tar agn. Som beskrevet over, kan lydeksponering påvirke beitemotivasjonen, men igjen var lydnivåene hvor dette ble funnet betydelig høyere enn det som ble målt i rakettoppskytingen. Basert på de målinger som er gjort, kan vi derfor anta at lydnivået er betydelig mindre enn nivåene som ser ut som å igangsette noen adferdsreaksjon.



Figur 17. Oversikt over ulike fiskeredskaper som brukes i området rundt Andøya. De mest vanlige er line og krok, snurrevad og garn. Kilde: Fiskeridirektoratet

Det verd å merke seg at målingene viste at oppskytingen hadde betydelig mye av sin energi i svært lavt frekvensområde, det som gjerne kalles infralyd (<20 Hz).

Opptaksenheten som er brukt er en Jasco AMAR G4 (Ultra Deep) med GeoSpectrum M36-100 hydrofon, med en nominell sensitivitet på -165 dBV re 1 uPA og et standard M36 høypassfilter på 10Hz.

Selv om hydrofonmålingen muligens ikke har fått med seg all infralyden fisken kan høre, forventes det at en rakettoppskyting genererer et bredbåndet signal som også vil gi energi på høyere frekvenser som er fanget opp av hydrofonen. Siden vi ikke ser noe kraftig signal fra rakettsoppskytingen er det ikke forventet at de laveste frekvensene vil gi noe vesentlig høyere SEL enn rapportert.

### 4.3 Vurdering av mulighetene for anvendelse av resultater fra prosjektet i næringen

Våre resultater gir ikke grunn til å oppfordre til å bruke mer støydempende tiltak enn allerede i bruk for å redusere støy i havet. Plasseringen av oppskytingsrampen er på mange måte gunstig ift forplantning av støy ut i sjøen, fordi området utenfor består av grunt vann og skjær som demper lyden (Kjellsby & Kvalsvik 1997)

### 4.4 Vurdering av i hvilken grad og på hvilken måte resultatene vil bidra til styrket bærekraft

Resultatene kan styrke bærekraft gjennom å ha kartlagt effektene hos fisk, og påpekt kunnskapshull for effekter hos andre dyr som bør utredes nærmere. Resultatene gir også en bedre kunnskapsgrunnlag for dialog rundt adferdsendringer hos fisk som følge av rakettoppskytinger.

## 5 Hovedfunn

-Støynivået i vann fra oppskytingen på Andøya Spaceport er lavt og kortvarig. Selve oppskytingslokasjonen har en spesielt gunstig naturlig støydemping på grunn av mange holmer og skjær rundt området.

- Støynivået (SEL pr 10 sekunder på 113 dB re 1 uPa<sup>2</sup>s ) ligger under kjente terskel for respons for de viktigste fiskebestandene i nærheten.
- Det forventes derfor ikke at lyden fra Andøya Spaceport har en effekt på adferd til fisk i området.
- Steinkobbe kan bli påvirket av lyden i luft, og vi har observert at en hval sluttet å vokalisere rund oppskytingstidspunktet. Effekter hos marine pattedyr bør derfor utredes nærmere.
- Dette studiet tar ikke hensyn til andre påvirkninger enn støy fra rakettoppskytinger fra Andøys Spaceport, for eksempel kan arealbeslag som følge av aktiviteten til Andøya Spaceport ha negative konsekvenser for lokalt fiskeri.

## 6 Referanser

- Chapman, C. J., and Hawkins, A. D. 1973. A field study of hearing in the cod, *Gadus morhua* L. *Journal of Comparative Physiology*, 85: 147–167.  
<http://link.springer.com/10.1007/BF00696473> (Accessed 15 November 2024).
- Chapman, C. J., and Sand, O. 1974. Field studies of hearing in two species of flatfish *Pleuronectes platessa* (L.) and *Limanda limanda* (L.) (family pleuronectidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 47: 371–385.  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0300962974900826> (Accessed 30 September 2024).
- Dahl, P. H., Miller, J. H., Cato, D. H., and Andrew, R. K. 2007, January. Underwater Ambient Noise. <https://acousticstoday.org/underwater-ambient-noise/> (Accessed 5 December 2025).
- Davidson, J. G., Dong, H., Linné, M., Andersson, M. H., Piper, A., Prystay, T. S., Hvam, E. B., et al. 2019. Effects of sound exposure from a seismic airgun on heart rate, acceleration and depth use in free-swimming Atlantic cod and saithe. *Conservation Physiology*, 7. Oxford University Press.
- Engås, A., Misund, O. A., Soldal, A. V., Horvei, B., and Solstad, A. 1995. Reactions of penned herring and cod to playback of original, frequency-filtered and time-smoothed vessel sound. *Fisheries Research*, 22: 243–254.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016578369400317P>.
- Engås, A., Løkkeborg, S., Ona, E., and Vold Soldal, A. 1996. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Can. J. Fish. Aquatic Sci*, 53: 2238–2249.
- Enger, P. S. 1967. Hearing in herring. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 22: 527–538. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0010406X67906159> (Accessed 30 September 2024).
- Forland, T. N., Sivle, L. D., de Jong, K., Pedersen, G., Strømme, M., Kutti, T., Durif, C., et al. 2025. Havforskningsinstituttets rådgivning for menneskeskapt støy i havet.

- Rapport fra Havforskningen, 2025–1. Bergen.  
<https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2025-1>.
- Handegard, N. O., Tronstad, T. V., and Hovem, J. M. 2013. Evaluating the effect of seismic surveys on fish - the efficacy of different exposure metrics to explain disturbance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70: 1271–1277.
- Hawkins, A. 1973. Field studies of hearing in teleost fish. *Helgol~inder wiss. Meeresunters.*, 24: 371–390.
- Holst, M. 2011. Responses of Pinnipeds to Navy Missile Launches at San Nicolas Island, California. *Aquatic Mammals*, 37: 139–150.  
<https://www.aquaticmammalsjournal.org/article/vol-37-iss-2-holst/> (Accessed 11 September 2025).
- Hynes, H., Nguyen, D. K., Geoffroy, D. M., Martin, D. S. B., and Morris, D. C. J. 2025. Subtle shift in depth distribution of fish within the impact range of seismic surveying along a continental slope.
- Kok, A. C. M., Bruil, L., Berges, B., Sakinan, S., Debusschere, E., Reubens, J., de Haan, D., *et al.* 2021. An echosounder view on the potential effects of impulsive noise pollution on pelagic fish around windfarms in the North Sea. *Environmental Pollution*, 290. Elsevier Ltd.
- Løkkeborg, S., Ona, E., Vold, A., and Salthaug, A. 2012. Sounds from seismic air guns: Gear-and species-specific effects on catch rates and fish distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69: 1278–1291.
- Lubert, C. P. 2018. From Sputnik to SpaceX®: 60 Years of Rocket Launch Acoustics. *Acoustics Today*, 14: 38.  
<https://acousticstoday.org/issues/2018AT/Winter2018/#p=40> (Accessed 28 October 2024).
- Lubert, C. P., Gee, K. L., and Tsutsumi, S. 2022. Supersonic jet noise from launch vehicles: 50 years since NASA SP-8072a). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 151: 752–791. <https://doi.org/10.1121/10.0009160> (Accessed 4 September 2025).
- McQueen, K., Meager, J. J., Nyqvist, D., Skjæraasen, J. E., Olsen, E. M., Karlsen, Ø., Kvaldheim, P. H., *et al.* 2022. Spawning Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) exposed to noise from seismic airguns do not abandon their spawning site. *ICES Journal of Marine Science*, 79. Oxford University Press.
- McQueen, K., Skjæraasen, J. E., Nyqvist, D., Olsen, E. M., Karlsen, Ø., Meager, J. J., Kvaldheim, P. H., *et al.* 2023. Behavioural responses of wild, spawning Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) to seismic airgun exposure. *ICES Journal of Marine Science*, 80: 1052–1065. Oxford University Press (OUP).
- Nguyen, P. D., Hansen, K. L., Lechat, B., Zajamsek, B., Hansen, C., and Catcheside, P. 2022. Beyond traditional wind farm noise characterisation using transfer learning. *JASA Express Letters*, 2: 052801.  
<https://pubs.aip.org/jel/article/2/5/052801/2843368/Beyond-traditional-wind-farm-noise> (Accessed 13 October 2023).
- Ona, E., Godø, O. R., Handegard, N. O., Hjellvik, V., Patel, R., and Pedersen, G. 2007. Silent research vessels are not quiet. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121: EL145–EL150. AIP Publishing.

- Peña, H., Handegard, N. O., and Ona, E. 2013. Feeding herring schools do not react to seismic air gun surveys. *ICES Journal of Marine Science*, 70: 1174–1180.
- Sand, O., and Enger, P. S. 1973. Evidence For an Auditory Function of the Swimbladder in the Cod. *Journal of Experimental Biology*, 59: 405–414.  
<https://doi.org/10.1242/jeb.59.2.405> (Accessed 26 November 2025).
- Vabø, R., Olsen, K., and Huse, I. 2002. The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring. *Fisheries research*, 58: 59–77. Elsevier.
- van der Knaap, I., Reubens, J., Thomas, L., Ainslie, M. A., Winter, H. V., Hubert, J., Martin, B., *et al.* 2021. Effects of a seismic survey on movement of free-ranging Atlantic cod. *Current Biology*, 31: 1555-1562.e4. Cell Press.
- van der Knaap, I., Slabbekoorn, H., Moens, T., Van den Eynde, D., and Reubens, J. 2022. Effects of pile driving sound on local movement of free-ranging Atlantic cod in the Belgian North Sea. *Environmental Pollution*, 300: 118913.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122001270> (Accessed 13 October 2023).

[Fiskeribladet 15.10.2021](https://www.fiskeribladet.no/meninger/fortsatt-skjar-i-sjoen-for-utviklingen-i-andoy/2-1-1082827): <https://www.fiskeribladet.no/meninger/fortsatt-skjar-i-sjoen-for-utviklingen-i-andoy/2-1-1082827>

[Fiskeribladet 9.10.2023](https://www.fiskeribladet.no/politikk/-vi-kan-ga-pa-havet-men-det-blir-veldig-usikkert-plutselig-blir-vi-jaget/2-1-1530926): <https://www.fiskeribladet.no/politikk/-vi-kan-ga-pa-havet-men-det-blir-veldig-usikkert-plutselig-blir-vi-jaget/2-1-1530926>

[Fiskeribladet 27.02.2024](https://www.fiskeribladet.no/debatt/hvorfor-skal-vi-egentlig-forsvare-nord-norge-/2-1-1603088): <https://www.fiskeribladet.no/debatt/hvorfor-skal-vi-egentlig-forsvare-nord-norge-/2-1-1603088>

[Fiskeribladet 31.03.2025](https://www.fiskeribladet.no/fiskeri/rakettoppskyting-moter-kritikk-legger-fram-en-eventyrfortelling/2-1-1799912): <https://www.fiskeribladet.no/fiskeri/rakettoppskyting-moter-kritikk-legger-fram-en-eventyrfortelling/2-1-1799912>

Norconsult (2019), Vedlegg 2\_Andøya Spaceport, fagrapport fiskeri, Børvågen, 2019-07-05

Norconsult (2019), Vedlegg 20\_Andøya Spaceport\_Sammenstillingsrapport Børvågen 2019-06-28

## 7 Leveranser

Leveranse	Beskrivelse
L1	Referat fra oppstartsmøte
L2	Referat fra referansegruppemøte 1
L4	Referat fra referansegruppemøte 2
L5	Sluttrapport til FHF
L6	Prosjektrapport med funn og resultater, publisert som en HI nettrapport