

Pilotproject voor het gebruik van onderwater-geluidloggers voor het monitoren van omgevingsfactoren

Klaus Lucke
Rapport C152.12

IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever: Groningen Seaports (GSP), NUON en RWE/Essent
p/a GSP (pervoerder)
Postbus 20004
9930 PA Delfzijl

Publicatiedatum: 23/01/2013

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

P.O. Box 68 1970 AB IJmuiden Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 26 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 77 4400 AB Yerseke Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 59 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 57 1780 AB Den Helder Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)223 63 06 87 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl	P.O. Box 167 1790 AD Den Burg Texel Phone: +31 (0)317 48 09 00 Fax: +31 (0)317 48 73 62 E-Mail: imares@wur.nl www.imares.wur.nl
--	--	---	--

© 2012 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V12.4

Inhoudsopgave

1.	Samenvatting.....	4
2.	Inleiding.....	5
3.	Methoden.....	6
	Introductie in onderwatergeluid.....	6
	Apparaten.....	8
	Locatie en studieperiode.....	9
	Analyse.....	10
	Verwerking omgevingsgeluid.....	11
	Scheepvaart.....	11
	Beschouwde bouwgerelateerde activiteiten.....	13
4.	Resultaten.....	14
	Functioneren van de geluidsrecorders.....	14
	Achtergrondgeluidniveau / Omgevingsgeluid.....	14
	Natuurlijke factoren die bijdragen aan achtergrondgeluid.....	16
	Scheepvaart.....	18
	Scheepsgeluidwaarnemingen (JASCO).....	18
	Scheepsactiviteit (IMARES).....	21
	Bouwgerelateerde activiteiten.....	23
	Heien.....	23
	Damwanden Trillen:.....	26
	Baggeren & Verspreiden:.....	32
	RIBs (Rigid Inflatable Boats, opblaasbare speedboten van vormvast materiaal).....	36
	Peilen (GSP, Maandelijks, GEOplus).....	37
	Stenen plaatsen.....	37
	Trilblok buisplanken.....	37
	Het gelijktijdig voorkomen van bouwactiviteiten.....	37
	Geluidsniveaus.....	39
5.	Discussie.....	40
	Scheepvaart.....	40
	Bouwgerelateerde activiteiten.....	40
6.	Conclusies.....	42
7.	Kwaliteitsborging.....	43
8.	Acroniemen en afkortingen.....	43
9.	Referenties.....	44
	Verantwoording.....	45

1. Samenvatting

Om onderwatergeluid op te kunnen nemen, zijn in de winter van 2011/2012 voor een periode van meer dan drie maanden twee geluidsloggers geplaatst in de Eems. De locaties zijn zo gekozen dat één van de recorders vlakbij de ingang van de Eemshaven hangt, terwijl de andere vlakbij de zandbank Hond & Paap gesitueerd is. Het doel van dit pilotproject is het testen van de bruikbaarheid van de techniek om geluidsuitstoot, van zowel bouwgerelateerde activiteiten bij de Eemshaven als niet aan de bouw gerelateerde activiteiten, te identificeren en deze te koppelen aan de gerapporteerde tijdsinformatie van de bouwactiviteiten. De opnames lieten zien dat het niveau van het achtergrondgeluid in de Eems vooral vanwege de sterke stroming relatief hoog is. Passerende Scheepvaart op de Eems bleek de grootste bijdrage te leveren aan het totale onderwatergeluid ter plaatse van de geluidsloggers, waarbij dit geluid verschillende keren bouwgerelateerde activiteiten maskeerde. Het resultaat laat zien dat verschillende typen geluidsbronnen, naast de scheepvaart op de Eems, met zekerheid konden worden geïdentificeerd. Het gaat hierbij om Heien aan land, Damwanden Trillen in direct contact met het water, RIB's (opblaasbare speedboten van vormvast materiaal). Deze activiteiten vinden zowel op het land als ook in het water of in direct contact daarmee plaats. Bij activiteiten op het land plant het geluid zich eerst boven de grond en dan in het water voort. Slechts zeer intensief geluid, zoals dat van Heien en Damwand Trillen, is dan ook nog op een afstand van enkele kilometers te detecteren. Bij direct contact met het water kunnen ook activiteiten die minder geluid produceren, zoals Baggeren of Scheepvaart, vanwege de directe voortplanting van het geluid door het water, op nog grotere afstand worden gedetecteerd. Verschillende geluiden van andere activiteiten konden beschreven en geïdentificeerd worden, maar moeten nog worden bevestigd. In zijn algemeenheid is er een goede overeenkomst tussen de gerapporteerde en de geïdentificeerde activiteiten. Dit pilotproject toont aan dat deze techniek in principe geschikt is om de ontbrekende koppeling te vormen tussen de bouwactiviteiten en de gegevens over het vóórkomen en het gedrag van zeezoogdieren in het Eems-Dollardgebied. Niettemin zullen voor komende praktische toepassingen van het geluidsloggersysteem als bewakingsmethode meer en vooral gecontroleerde geluidsmetingen en analyses moeten worden uitgevoerd tijdens individuele activiteiten, om tot een betrouwbare verzameling te komen van kwalitatieve en kwantitatieve onderwatergeluidssignaturen van alle relevante activiteiten. De opnames van de afzonderlijke activiteiten zijn qua omvang beperkt omdat de noiseloggers niet gedurende de hele looptijd van het project foutloos hebben gewerkt. Het gevolg daarvan was dat het aantal positieve identificaties van de afzonderlijke menselijke activiteiten eveneens beperkt is. Omdat de tijdstippen waarop een positieve identificatie mogelijk was, niet overeenkomen met de periodes waarin de zeehonden de zandbank opgaan (haul-out), kan in het kader van deze pilotstudie anders dan verwacht geen onderzoek worden gedaan naar de oorzaak-gevolgketen die door geluid in gang wordt gezet.

Deze studie heeft aangetoond dat eerst gerichte metingen van de geluiden die van de afzonderlijke activiteiten uitgaan, nodig zijn, wil men deze methode grootschalig inzetten als instrument voor het monitoren van de effecten van bouwactiviteiten op zeehonden. Daarmee zou het dan mogelijk zijn alle activiteiten en de akoestische kenmerken ervan onomstotelijk te identificeren. Vervolgens kan deze methode zodanig verder verfijnd worden dat zij als instrument voor de early-warning-functie kan dienen.

2. Inleiding

De bouwwerkzaamheden die door Groningen Seaports (GSP), RWE en NUON (de initiatiefnemers) in en rond de Eemshaven worden uitgevoerd omvatten verschillende activiteiten die mogelijk onderwatergeluid in de Eems veroorzaken of waarvan is aangetoond dat ze dat doen (Ainslie *et al.* 2008). In het kader van de reguliere monitoring van de vergunningplichtige activiteiten van de initiatiefnemers heeft IMARES de zeezoogdieren in dit gebied, zowel de bruinvissen als gewone en grijze zeehonden, de afgelopen jaren intensief gemonitord om de potentiële effecten van de bouwwerkzaamheden op het ruimtelijk gebruik en het gedrag van deze dieren te analyseren. Hoewel er statistisch-significante correlaties werden gevonden, is de causale koppeling tussen de bouwgerelateerde activiteiten en de gedocumenteerde reacties van zeezoogdieren hierbij niet onderzocht. Het ter plaatse meten van onderwatergeluid is echter cruciaal omdat onderwatergeluid in het algemeen de meest waarschijnlijke impuls voor elke snelle, abnormale reactie van zeezoogdieren is. Geluid wordt door water efficiënter getransporteerd dan welke andere vorm van energie ook omdat akoestische energie niet zo snel wordt geabsorbeerd als bijvoorbeeld licht. Dienovereenkomstig is de gevoeligheid van zeezoogdieren voor deze vorm van energie een zeer effectieve evolutionaire aanpassing. Onderzoek naar onderwatergeluid, met name in relatief ondiepe gebieden zoals de Noordzee en Waddenzee en met de hier gebruikte technieken, staat nog in de kinderschoenen. Het belang ervan wordt echter steeds meer onderkend. De onderhavige studie is geïnitieerd door GSP en IMARES en werd mogelijk gemaakt door de gezamenlijke financiering van Nuon, RWE, GSP, Provincie Groningen en IMARES.

In deze rapportage presenteren we de resultaten van een pilotproject waarbij onderwatergeluid op twee locaties in de Eems is opgenomen met behulp van twee autonome geluidsrecorders (d.w.z. zonder externe verbinding). Dit project is opgezet met het doel de haalbaarheid van deze opnametechniek te testen in de context van het analyseren van potentiële omgevingsfactoren. Hieronder ligt de hypothese dat alle geluidsbronnen verstoring kunnen zijn en dat het op deze wijze mogelijk is om zowel geluidsuitstoot veroorzaakt door de bouwgerelateerde activiteiten te identificeren als om andere geluidsbronnen te beschrijven die anders mogelijk niet ontdekt zouden zijn. De focus van deze studie ligt op het koppelen van de geluidsoptnamen met de informatie over de bouwgerelateerde activiteiten in de Eemshaven en niet op het analyseren van de hele dataset van de geluidsoptnamen.

Er zijn twee locaties uitgekozen voor het opstellen van de geluidsloggers, één het dichtst bij de Eemshaven om een goede "signal-to-noise ratio" (verhouding tussen het geluid van de werkzaamheden en het omgevingsgeluid) d.w.z. een goede detectiemogelijkheid, te krijgen. Deze informatie is relevant voor de analyses met betrekking tot de zwem- en duikactiviteiten van zeehonden en bruinvissen voor de haven. Wanneer bijvoorbeeld in een bepaald gebied ontwijkgedrag wordt waargenomen, dan zou het mogelijk zijn dit gedrag te analyseren en direct te koppelen aan het opgenomen onderwatergeluid. De tweede geluidsrecorder was opgesteld bij de zandbank Hond&Paap, de zeehondenligplaats die het dichtst bij de bouwlocatie ligt. Het aantal zeehonden dat gebruik maakt van de ligplaats, wordt gedurende de dag continu gemonitord met behulp van een videocamera als onderdeel van het reguliere monitoringonderzoek naar de mogelijke effecten van de bouwactiviteiten in de Eemshaven. Bovendien zijn deze aantallen een belangrijke parameter in het 'Early Warning-systeem' dat momenteel gebruikt wordt om potentiële negatieve effecten van de bouwwerkzaamheden op de zeehonden in de omgeving van de Eemshaven snel te detecteren. Een gedetailleerde analyse van de akoestische dataset kan de waarneembaarheid van bouwgerelateerde activiteiten op zowel land als in het water aan het licht brengen; een belangrijk vereiste hiervoor is gedetailleerde informatie over het tijdstip waarop deze activiteiten plaatsvonden. Door de datasets van beide locaties te vergelijken, is het mogelijk de aanpak, waarbij de biologische studie wordt aangevuld met deze fysische component, te testen. Uiteindelijk kunnen daarmee de waargenomen gedragingen van de zeezoogdieren direct worden gekoppeld aan de bouwgerelateerde activiteiten op grond van hun specifieke onderwatergeluidssignatuur.

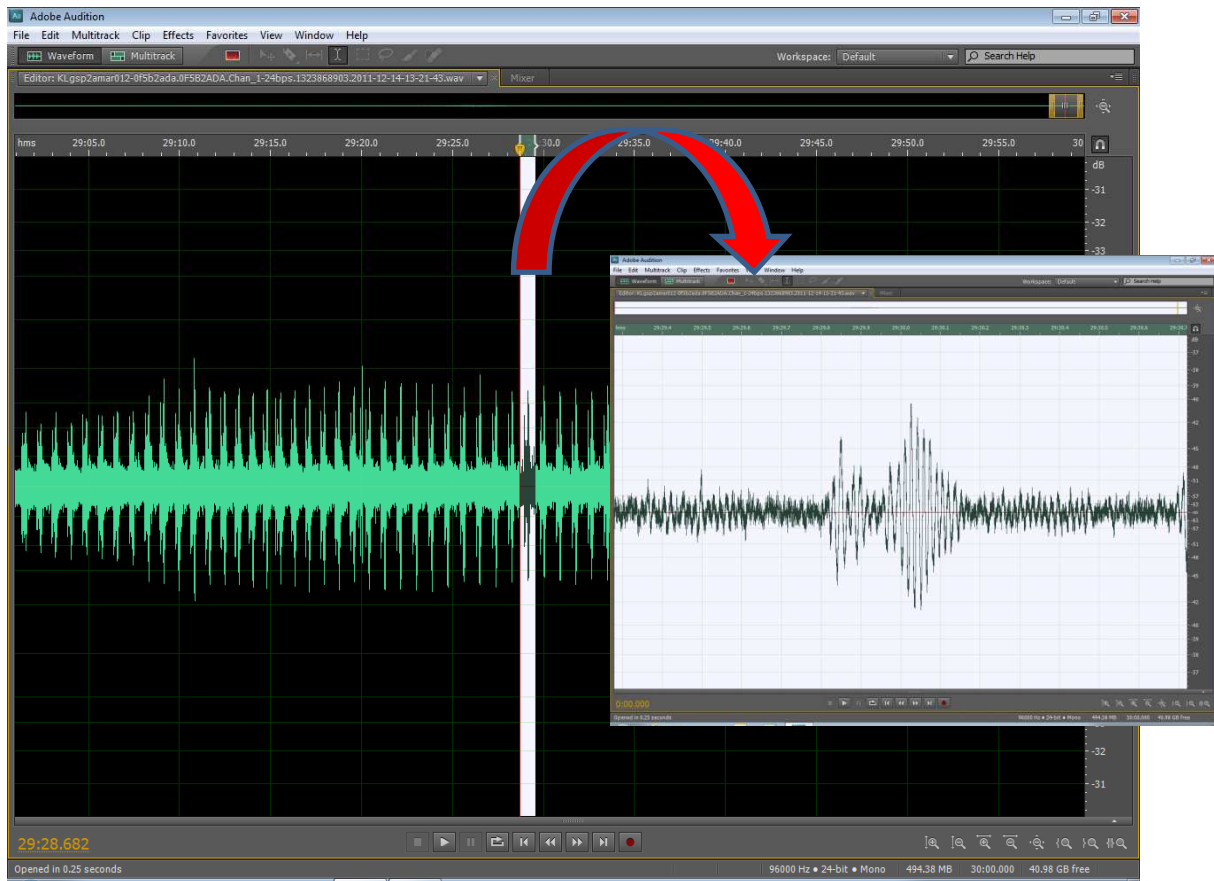
3. Methoden

Introductie in onderwatergeluid

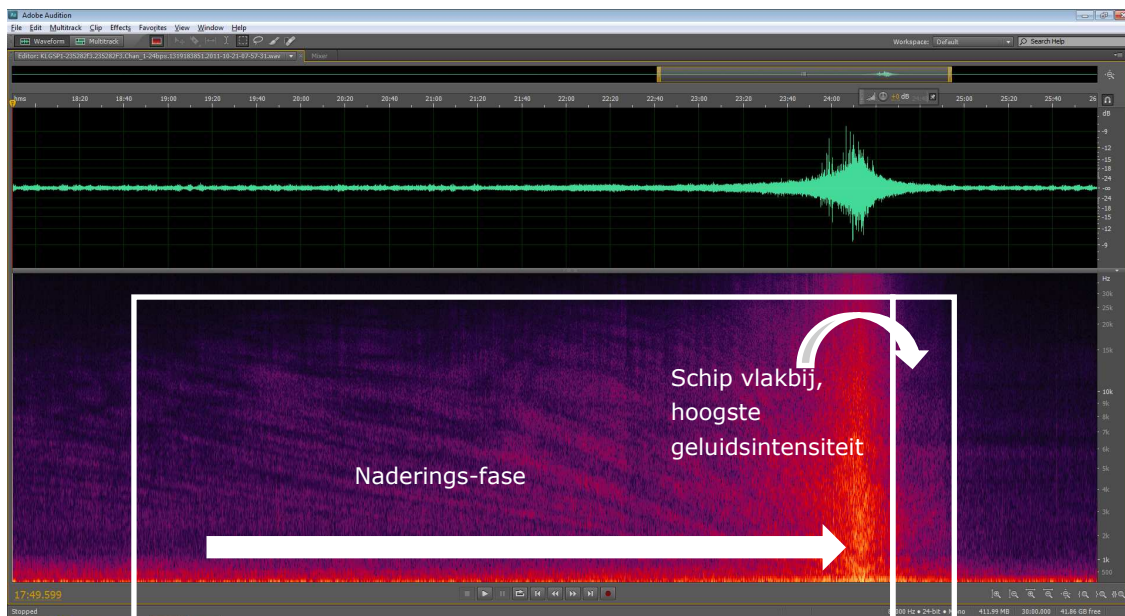
Geluid wordt in de lucht en in het water doorgegeven door drukverschillen, met andere woorden compressie van de lucht of het water wordt gevolgd door verwijding. Het gehoorsysteem van mensen, maar ook van zeezoogdieren, is in staat deze mechanische gebeurtenis om te zetten in het waarnemen van een geluid. Waar golflengtes van geluid worden weergegeven in Hz (1 Hz = 1 trilling per seconde, 1kHz = 1.000 trillingen per seconde) wordt het geluidsniveau volgens afspraak weergegeven in dB re 1 μ Pa (lees: Decibel ten opzichte van een micro-Pascal) onderwater en dB re 20 μ Pa in de lucht.

Terwijl een normale toon (bijvoorbeeld de toon 'a' in de absolute toonladder) een specifieke toonhoogte heeft, heeft een normaal geluid (bijvoorbeeld een passerende auto) een brede frequentieband. Deze frequentieband kan net als de toonhoogte in de tijd veranderen, waardoor het geluid dat we waarnemen verandert (in toonhoogte afneemt als we naderbij komen en juist toeneemt wanneer we van het geluid weggaan).

Geluid kan beschreven en gevisualiseerd worden door de druk of de energie die het signaal bevat. De druk is weergegeven als geluidsdrukniveau (SPL – sound pressure level) in Pa of zoals volgens de leer van de akoestiek als dB re (=t.o.v.) $\times \mu$ Pa. Het geluidsdrukniveau (SPL) beschrijft de maximum positieve en negatieve piek van de drukgolf (die op een bepaald moment in de tijd plaatsvindt). Deze eenheid kan gekenmerkt worden door meer karakteriserende termen als 'rms' of 'piek-piek', om de precieze berekening van de waarden uit te leggen. Aangezien in deze studie de geluidsniveaus van verschillende activiteiten alleen worden vergeleken in relatieve en niet in absolute termen, worden deze gedetailleerde weergaven toegevoegd waar dat zinvol is, maar niet verder besproken. De zogenaamde golfvormweergave (waveform display) is de grafische weergave van de geluidsdruk die snel verandert in de tijd (zie Figuur 1). De geluidsenergie is weergegeven als het Sound Exposure Level (SEL, d.w.z. het geluidblootstellingsniveau) en de eenheid is dB re 1 μ Pa²s. De energie die een geluid bevat, kan gevisualiseerd worden in een spectrogram zoals bij wijze van voorbeeld is weergegeven voor en passerend schip in figuur 2.



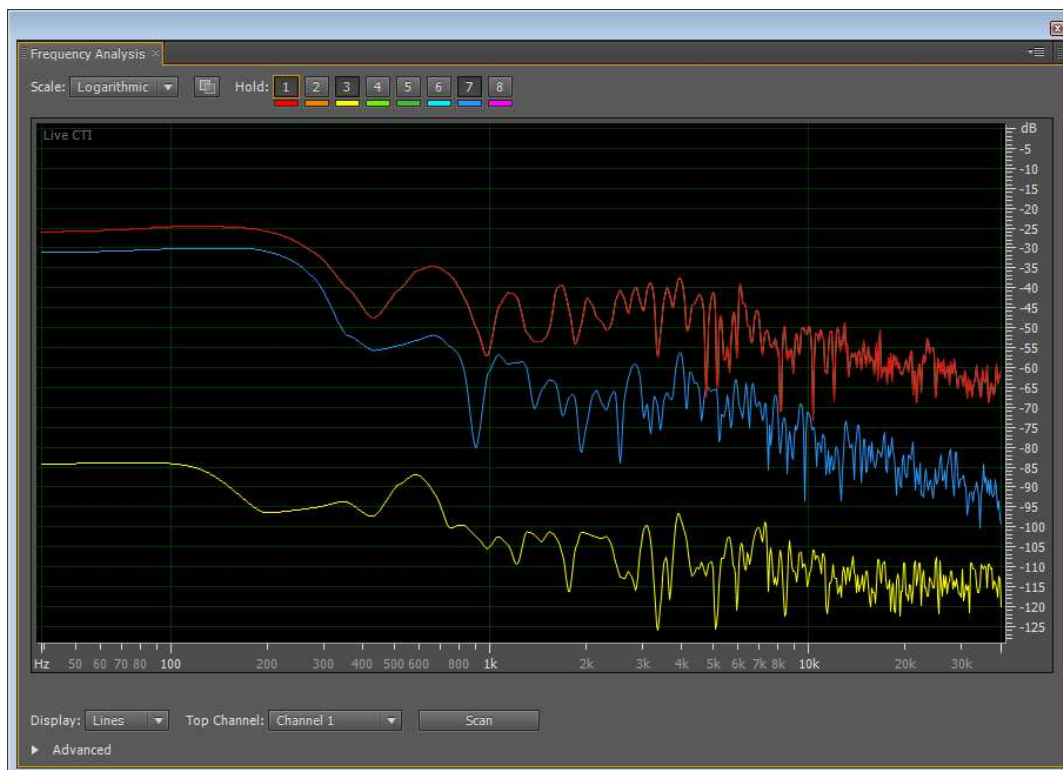
Figuur 1: Golfvorm van een reeks heistoten (groot figuur op de achtergrond) en ingezoomd de golfvorm van een enkele heistoot (klein figuur op de voorgrond). Op de x-as is de tijd in seconden weergegeven, op de y-as de geluidsdruk (of amplitude).



Figuur 2: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van een passerend schip langs de geluidsrecorder. De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.

Met afnemende afstand tot de geluidsrecorder neemt de energie van het geluid van het schip toe. Dit wordt in de grafiek weergegeven door de kleuren die veranderen van zwart naar blauw, naar rood en

oranje tot geel (de hoogste intensiteit). De gebogen lijnen die in het figuur te zien zijn, staan bekend als het 'Lloyd's mirror interferentiepatroon', waarbij het buigpunt ligt bij het punt waar het schip het dichtst bij is. Akoestisch gezien representeren deze gekantelde lijnen een afnemende toonhoogte van het geluid (het geluid klinkt lager) en een toenemende toonhoogte wanneer het schip wegvaart.



Figuur 3: Frequentie-analyse van twee passerende schepen (rode en blauwe lijn) vergeleken met het normale achtergrondgeluid (gele lijn). Deze analyse laat de energieverbreiding van het geluid (niveau in dB, op de y-as) over het opgenomen frequentiebereik zien. In de figuur is te zien dat de energie van het scheepsgeluid verdeeld is over het gehele gemeten frequentiebereik, net als het achtergrondgeluid.

Dit is een vereenvoudigde weergave van het onderwerp (met betrekking tot de correcte terminologie) maar binnen de reikwijdte van het project kan worden volstaan met deze terminologie zonder verder in detail te treden.

Het is zeer belangrijk op te merken dat geluiden in de lucht en onder water niet hetzelfde zijn. Door verschillen in dichtheid en de verschillen in referentiedruk (20 μPa in de lucht en 1 μPa in water) is het geluidsdrumniveau in de lucht in principe 62 dB lager dan in water. Ook hier geldt dat in strikte wetenschappelijke terminologie dit onderwerp veel complexer is omdat deze vergelijking alleen gemaakt kan worden in het geval van geluidsintensiteit. Neemt niet weg dat dit verschil als een goede indicator kan dienen. Het hele rapport door worden de verschillende geluiden gepresenteerd door één of meerdere van deze weergavetypen om of de structuur in de tijd (veranderende amplitude in de tijd) of de veranderingen in de geluidsenergieverspreiding in de tijd te benadrukken.

Apparaten

Voor het meetprogramma zijn twee autonome Multi-Channel Akoestische recorders (AMAR, door JASCO Applied Sciences, zie figuur 4) in het onderzoeksgebied opgesteld. Akoestische informatie werd continu opgenomen in een 24-bit resolutie en 80.000 samples per seconde. De AMARs waren uitgerust met GTI-M8E hydrofoons, die een nominale gevoeligheid hebben van -164 dB re 1 V/ μPa en waren ingesteld voor een signaalversterking (engl.: gain) van 0 dB. De 'spectral density noise floor' (de spektrale geluidsverspreiding) van de AMARs in deze samenstelling is ongeveer 34 dB re 1 μPa , en de bruikbare

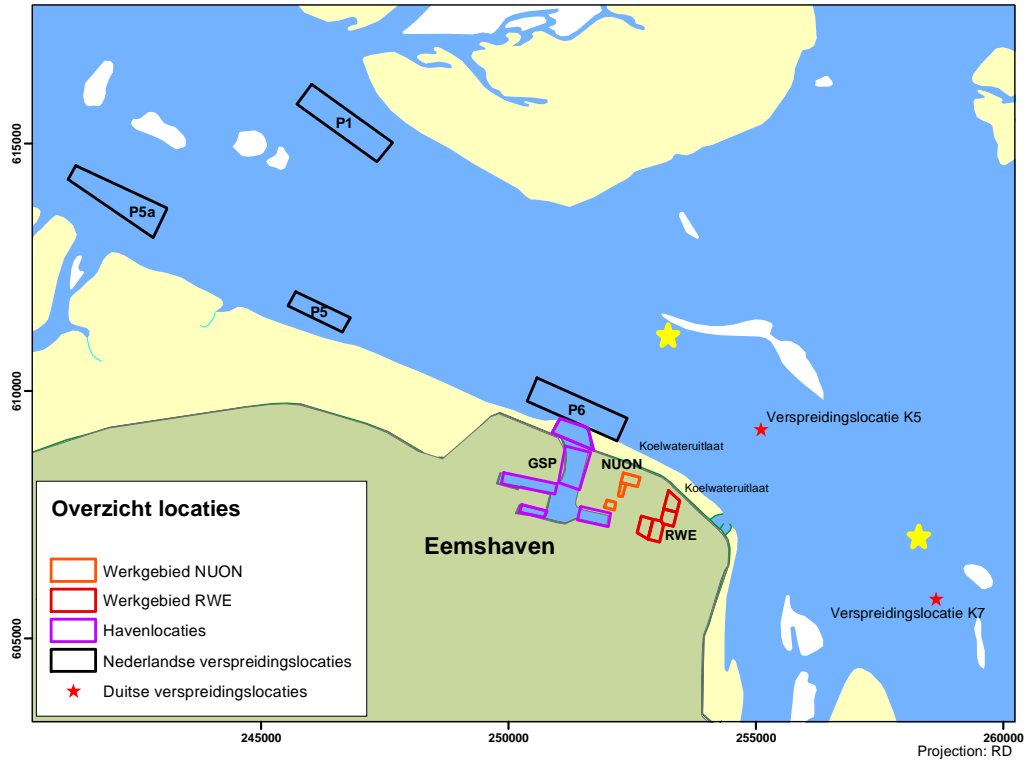
bandbreedte is 10–40.000 Hz. De gegevens werden direct opgeslagen in het interne 1023 GB compact flash geheugen. Omdat deze systemen geen hard-drives gebruiken die zelf geluid produceren en veel energie nodig hebben, zouden de AMARs gedurende de hele periode waarin ze waren opgesteld, kunnen werken.



Figuur 4. De geluidsrecorders (AMAR G2 meest linkse en middelste foto: JASCO Applied Sciences) en de AMAR-opstelling in de Eems (rechtse foto).

Locatie en studieperiode

De twee geluidsrecorders waren bevestigd aan bestaande boeien in de Eems (die ook gebruikt waren voor de CPODs voor de reguliere GSP-monitoring). Het Eems-estuarium wordt gekenmerkt door relatief ondiep water (GSP 4: 11m en GSP 7: 15 m) en sterke getijdenstromen. Beide opnamelocaties (zie figuur 5) liggen dicht bij de vaargeul die de havens van Emden (D), Delfzijl en de Eemshaven (beide NL) verbindt met de Noordzee.



Figuur 5. De belangrijkste locaties van de bouwactiviteiten in en rond de Eemshaven en de locatie van de twee geluidsrecorders in de Eems (gele sterren).

De onderzoeksperiode was opgedeeld in twee fases: de eerste fase duurde van 4 oktober tot 23 november 2011, de tweede fase duurde van 23 november 2011 tot 17 januari 2012. De exacte opstellingsinformatie is gegeven in tabel 1.

Tabel 1. Opstellingslocatie en opnameperioden van de akoestische recorders in de Eems in 2011/ 2012

Boei	Opnamelocatie	Latitude (°N)	Longitude (°W)	opname start (UTC)	opname eind (UTC)
GSP 4	18	53.47311	6.80873	04-Oct-11 10:47	23-Nov-11 09:27
GSP 7	22	53.39623	6.97291	04-Oct-11 12:29	23-Nov-11 07:20
GSP 4	12	53.39623	6.97291	23-Nov-11 07:52	17-Jan-12 09:55
GSP 7	76	53.47311	6.80873	23-Nov-11 10:20	17-Jan-12 12:43

Het frequentiebereik van de apparatuur is 10 Hz – 40 kHz. Dit bereik beslaat de meeste menselijke activiteiten betrokken bij de bouw in de Eemshaven (behalve sonaractiviteiten).

Analyse

De eerste stap in de analyse van de gegevens van de geluidsrecorders is gericht op het identificeren van het normale achtergrondgeluid in de Eems, om preciezer te zijn: dat naast de Eemshaven en de zandbank Hond & Paap. In de volgende stap worden dan de bouwgerelateerde en andere menselijke activiteiten geïdentificeerd. Naast geluid van de bouwactiviteiten ligt de nadruk in deze studie op het analyseren van scheepsactiviteiten aangezien wordt aangenomen dat scheepsgeluid het meeste bijdraagt aan het onderwatergeluid in de Eems. Informatie over het type activiteit dat plaatsvindt in combinatie met gegevens over het moment waarop en waar deze activiteit plaatsvindt (beide in de hoogste mogelijke resolutie) zijn hiervoor onmisbaar.

Verwerking omgevingsgeluid

Een eerste analyse van de opgenomen data werd in opdracht van IMARES uitgevoerd door JASCO. Deze eerste analyse richtte zich ook op het achtergrondgeluid (omgevingsgeluid) in de Eems. Omgevingsgeluid en scheepsgeluid werden automatisch geanalyseerd met een speciale computerconfiguratie die 800 keer sneller draaide dan de 'echte' duur van de opnamen (800 uur geluidsofname kon hierdoor in 1 uur geanalyseerd worden).

Omgevingsgeluidniveaus werden bestudeerd om de referentiewaarden van het onderwatergeluid bij de opnamelocaties vast te leggen. Het omgevingsgeluid werd geanalyseerd met behulp van een 'snelle fouriertransformatie' (Fast Fourier Transform - FFT) met Hamming-venster. Deze was ingesteld op een resolutie van 1 Hz en 50% vensteroverlap. 120 FFT's die op deze manier werden uitgevoerd, werden gemiddeld om '1 minuut-gemiddelde' spectra te leveren.

De geluidsniveaus op elk opnamestation worden weergegeven als:

1. Breedband en ongeveer decade-band geluidsdrukkniveaus (SPLs) in de tijd voor de frequentiebanden: 10 Hz-40 kHz, 10 Hz-100 Hz, 100 Hz-1 kHz en 1-10 kHz.
2. Percentiel van het spectrale niveau: Histogram van elke frequentie-bin voor alle '1-minuut gegevens' van elke recorder zijn berekend. De 5de, 25ste, 50ste, 75ste, en 95ste percentielen zijn weergegeven. De 95ste percentielcurve geeft het frequentie-afhankelijke niveau dat wordt overschreden door 95% van de '1-minuut gemiddelden'. Evenzo ligt 95% van de '1-minuut spectrale niveaus' onder de 5de percentielcurve.

Scheepvaart

De eerste stap in de analyse van de scheepvaartgegevens in de Eems werd uitgevoerd door JASCO. Deze analyse richtte zich op een beoordeling van de detecteerbaarheid en het maken van een kwantitatieve analyse van de scheepsactiviteiten voor een complete opnameperiode. Omdat de opnamenreeks te omvangrijk is om elke scheepspassage met de hand te documenteren, werd een algoritme (met twee gevoeligheidsinstellingen) gebruikt om de schepen te detecteren. Scheepsgeluid werd automatisch geanalyseerd met een speciale computerconfiguratie die 800 keer sneller draaide dan de 'echte' tijdsduur van de opnamen. Deze configuratie was ontworpen om smalle pieken in toon te lokaliseren die karakteristiek zijn voor scheepsmotoren, pompen en transmissie. De tonale detector berekent spectra door een 2-s snelle fouriertransformatie met Hamming-venster en 25% vooruitgang te gebruiken. De spectra zijn gelimiteerd tot een bereik van 0-2000 Hz en aaneengeschaald om een 120 seconde detectiewerkruimte te creëren. Op elk tijdsegment is een 'split-window normalizer' toegepast, die tonale frequenties benadrukt en 'wide band' voorbijgaande gebeurtenissen onderdrukt. De aan elkaar liggende tijd-frequentie-bins die boven de detectiedrempelwaarde vallen, worden 'samen gevoegd' om contouren te creëren door een contour-volgend algoritme te gebruiken. De contouren worden dan gesorteerd om vast te stellen of deze kwalificeren als scheepswaarneming. De contoursorteerder wordt gestuurd door een door de gebruiker gedefinieerd bestand.

In dit geval zoekt de contoursorteerder naar scheepstonalen die gedefinieerd zijn door:

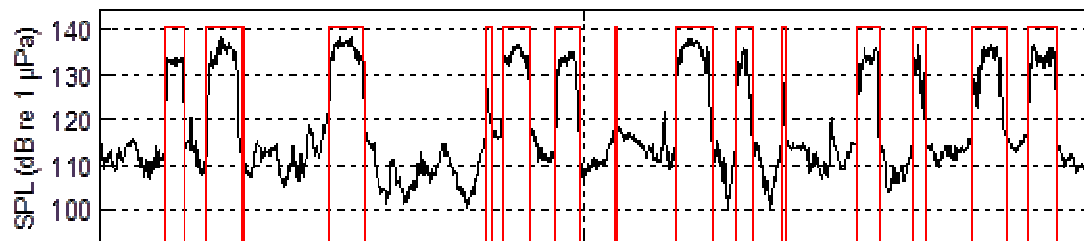
- Meervoudige frequentiecomponenten, waarvan elke:
 - tenminste 5 seconden lang is
 - een maximale bandbreedte van 20 Hz heeft
- De som van alle componenten is tenminste 10 seconden lang
- De bandbreedte van alle componenten is tenminste 40 Hz breed.

Contouren die aan deze beschrijving voldoen, leveren scheepswaarnemingen op grote afstand.

De lange-afstandsscheepsgeluiddetector is bijzonder goed in het identificeren van schepen op grote afstand, die in een constante richting en met een constante snelheid bewegen. Wanneer schepen de recorder naderen verandert hun geluidsignatuur door interferentie met breedbandcavitatie en Dopplerverschuivingen. In dat geval is de lange-afstanddetector minder effectief.

De korte-afstandsscheepsgeluiddetector vindt energiepieken in de rms SPL gemiddeld over 1/3 oktaaf banden met nominale middenfrequenties tussen 40 and 203 Hz ($n = 11$ frequentiegebieden in totaal). Geluidspieken worden gezien als korte-afstandsscheepsgeluidwaarnemingen (zie Figuur 6 als voorbeeld) wanneer ze aan de volgende criteria voldoen:

- De oprijzende pieken stijgen met meer dan 10 dB boven het achtergrondgeluid uit
- Pieken overschrijden een rms SPL van 120 dB tov 1 μ Pa
- Pieken duren tenminste 5 minuten en minder dan 1 uur
- De pieken behelzen tenminste 40% van de lange-afstandsgeluidwaarnemingen



Figuur 6: Voorbeeldweergave van het ontvangen geluidsdruk niveau (rms) op station GSP 7 en de resultaten van de classificatie van scheepspassages gebaseerd op het detectiealgoritme (vessel-noise detector).

Beschouwde bouwgerelateerde activiteiten

De bouwgerelateerde activiteiten (zoals gerapporteerd door GSP, RWE en NUON voor 2011) die in deze studie worden meegenomen zijn:

- ❖ Heien RWE
- ❖ Damwanden Trillen: RWE en Nuon
- ❖ Trilblok buisplanken
- ❖ Baggeren + Verspreiden
- ❖ RIBs (opblaasbare speedboten van vormvast materiaal)
- ❖ Stenen plaatsen
- ❖ Peilen (GSP, Maandelijks, GEOplus)

De geluidskarakteristieken van de meeste van deze activiteiten zijn alleen beschreven voor transmissie door de lucht of zijn helemaal onbekend. De enige goed beschreven activiteit is heien, maar in dat geval gaat het bijna alleen om offshore-heien, hetgeen bij de Eemshaven niet aan de orde is. In deze studie moesten we echter de uitstoot, of de overdracht, van het onderwatergeluid via de grond bepalen.

Van Heien, Damwanden trillen en TrilblokBuisplanken wordt verwacht dat ze stootsgewijze geluiden produceren die zich in verschillende tempo's herhalen. In het geval van Damwanden Trillen vonden sommige activiteiten plaats in direct contact met het water. Daarom moeten de verwachte ontvangen niveaus van dit geluid hoger zijn dan voor geluid dat is voortgebracht door activiteiten op land. Van Baggeren, Verspreiden en RIBs wordt verwacht dat ze zullen leiden tot een meer continue geluidsuitstoot in het water. Het type geluid dat voortkomt uit stenen storten is onbekend. Peilen is waarschijnlijk de enige activiteit die niet kan worden geïdentificeerd omdat het frequentiebereik van de opnamen niet breed genoeg is om de sonarsignalen te bestrijken.

Baggeren, Verspreiden en Sonar representeren bewegende geluidsbronnen. De ontvangen geluiden moeten daarom bijbehorende temporele veranderingen in het geluidsspectrum en het geluidsniveau bevatten als de schepen zich ten opzichte van de geluidsrecorders verplaatsen. De andere geluidsbronnen zijn stilstaand en leiden daarmee tot constante geluidsspectra en -niveaus.

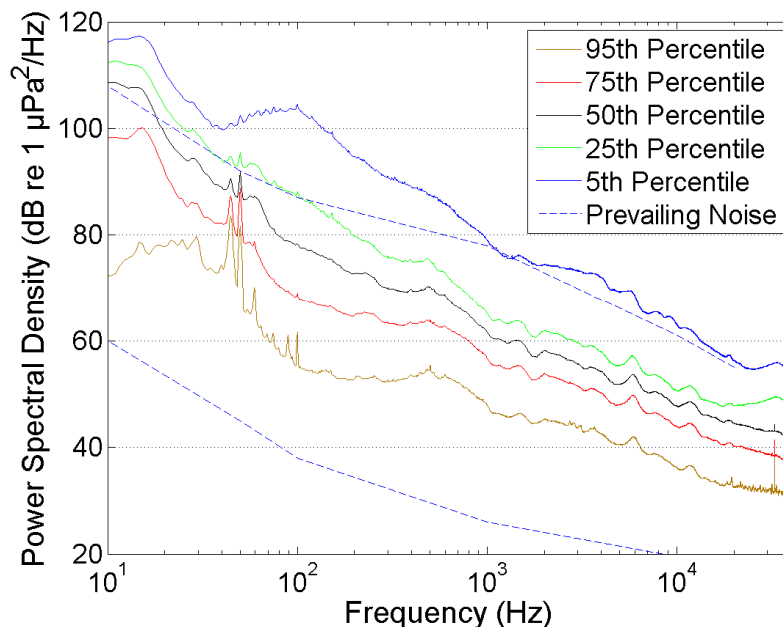
4. Resultaten

Functioneren van de geluidsrecorders

Gedurende de eerste fase van de plaatsing van de geluidsrecorders heeft de recorder die het dichtst bij de ingang van de Eemhaven was opgesteld niet gewerkt. Dit kwam waarschijnlijk doordat een aansluiting in de elektronica is losgeschoten. Het opnemen hervatte toen de recorder aan boord van het Rijkswaterstaatvaartuig aan de stroomvoorziening (batterijen) werd gekoppeld, maar stopte bijna gelijk weer nog voordat de recorder weer onderwater was gelaten. De andere recorder heeft continu opgenomen gedurende de gehele plaatsingsperiode. Gedurende de tweede fase namen beide recorders onderwatergeluid op. Om de reeks te ontvangen geluidsbronnen te maximaliseren werd besloten om de grootst mogelijke opnamesnelheid (= grootste frequentiebereik) te gebruiken. Deze configuratie leidde echter tot onverwachte fouten in de recordersoftware en resulteerde in talloze 'gaten' van verschillende tijdsduren in de opnamen. Niettemin overlappen de opnamen van beide locaties gedeeltelijk in de tijd en is het mogelijk om een vergelijkende beoordeling uit te voeren met betrekking tot de kwaliteit van de opnamen en om de geluidsbronnen te identificeren.

Achtergrondgeluidniveau / Omgevingsgeluid

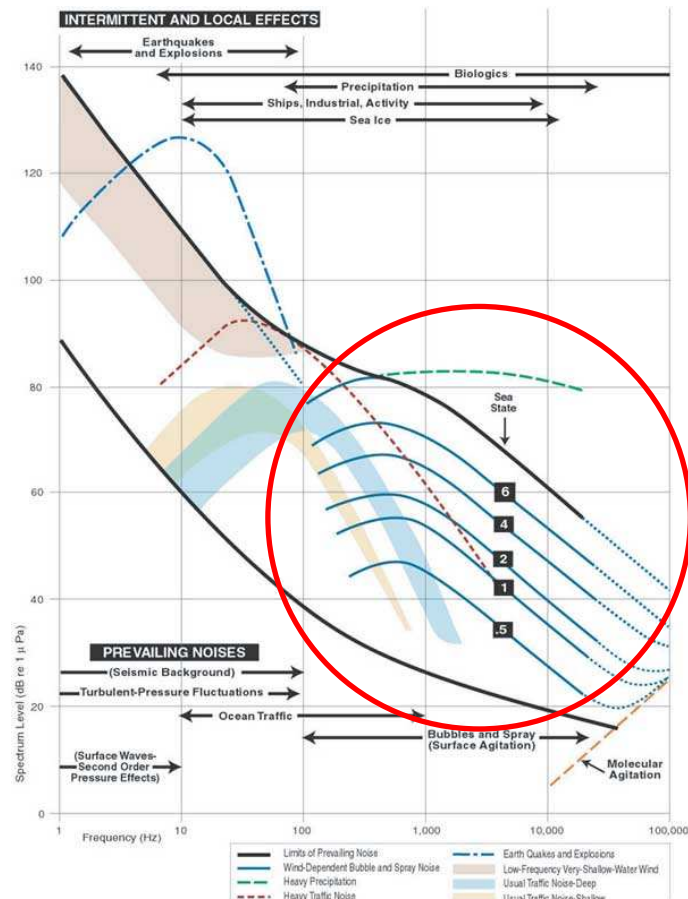
De kwantitatieve analyse van het omgevingsgeluid werd uitgevoerd door JASCO. Een representatief voorbeeld van de resultaten is hieronder weergegeven voor de opnamen van recorder GSP 7, AMAR 22 voor de eerste opnamefase. Figuur 7 laat de percentielen van de spectrale niveaus zien van het achtergrondgeluid tijdens de eerste opnameperiode op de locatie van GSP 7 (AMAR 22).



Figuur 7 (overgenomen uit het Engelstalige JASCO-rapport). Percentile 1 min power spectral density levels (dB re 1 µPa²/Hz) voor de opnameperiode. Percentielen van spectrale niveaus: Histogram van elke frequentie- bin voor alle 1-minuut gegevens van elke recorder zijn berekend. De 5de, 25ste, 50ste, 75ste, en 95ste percentielen zijn weergegeven. De 95% percentielcurve beschrijft de frequentieafhankelijke niveaus die door 95% van de '1-minuut gemiddelden' worden overschreden. Evenzo ligt 95% van de '1-minuut spectrale niveaus' onder de 5de percentielcurve. De stippellijn geeft de 'grenzen van het overheersende geluid' van de Wenz-curves aan; zie figuur 8.

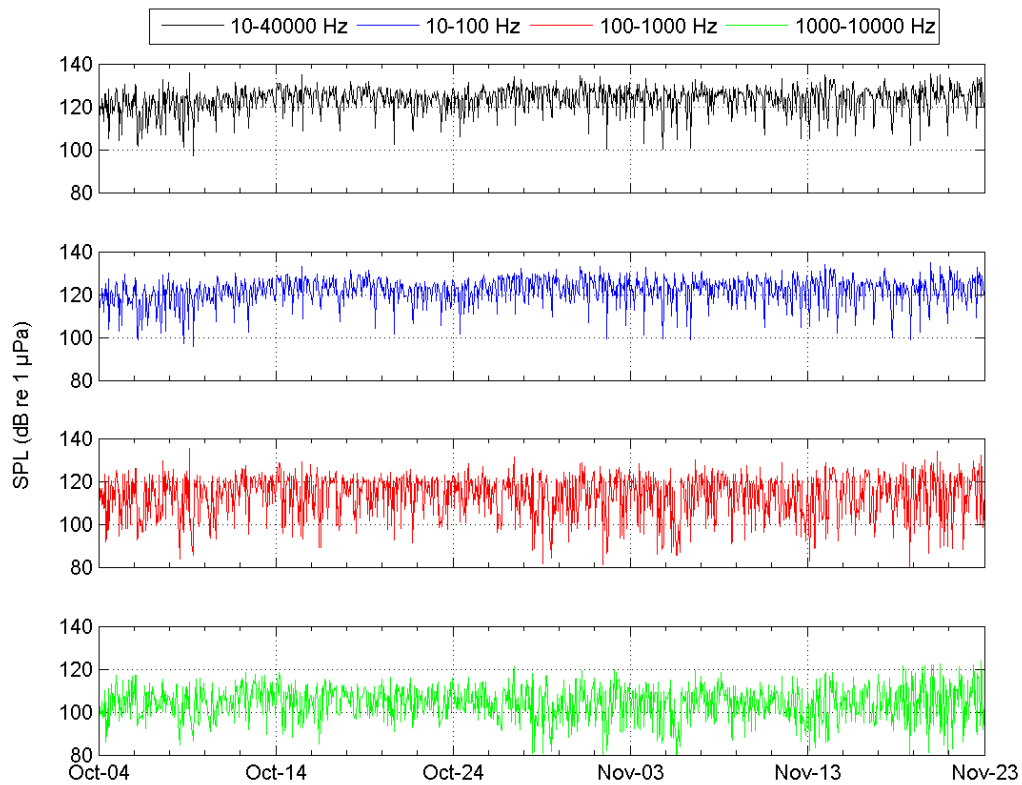
In het algemeen nemen de spectrale niveaus bijna lineair af met toenemende frequentie van 10 Hz tot 40 kHz. Dit is een algemeen verschijnsel van de spectrale gegevens van omgevingsgeluid.

Het 50^{ste} percentiel (de mediaan van de spectrale gemiddelden van 1 minuut) kan vergeleken worden met de bekende Wenz- omgevingsgeluidcurves die worden weergegeven (Figuur 8). De Wenz-curves laten variabiliteitsreeksen zien van spectrale niveaus van het omgevingsgeluid als functie van frequentie, gebaseerd op metingen buiten de Grote Oceaan-kust van Amerika tijdens een verscheidenheid aan weer, scheepvaart en seismische condities. De Wenz-curves zijn generiek en worden alleen gebruikt voor globale vergelijkingen.



Figuur 8: Wenz-curves die de spectrale dichtheidniveaus van de geluidsdruk van marien onderwatergeluid afkomstig van weer, wind, geologische activiteit en commerciële scheepvaart weergegeven voor condities die bij diep water horen (Ocean Studies Board 2003 aangepast van Wenz 1962). De dikke zwarte lijnen geven de grenzen aan van overheersend omgevingsgeluid. De rode cirkel geeft het gebied van frequenties en geluidsniveaus die van belang zijn voor omgevingsgeluid. De sea state is een eenheid die verschillende golfhoogtes beschrijft (wind kracht 4 Bft = sea state van ongeveer 3).

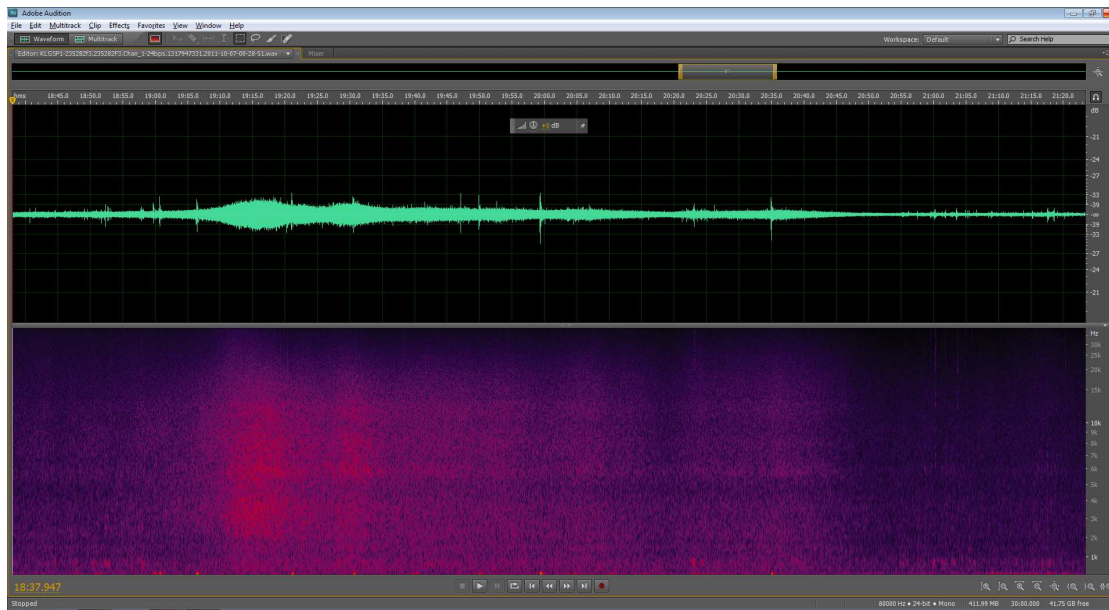
De analyses van het omgevingsgeluid die zijn uitgevoerd door JASCO laten zien dat het normale achtergrondgeluidsniveau bij beide opnamelocaties hoger is dan in offshore-gebieden in ongestoorde situaties (figuur 7 en 9 in vergelijking tot figuur 8). Het omgevingsgeluid in de Eems is voornamelijk laagfrequent en wordt waarschijnlijk veroorzaakt door sterke stromingen, met de bijbehorende verschuivingen van het sediment, wind en golven. Dit houdt in dat het laagfrequente gedeelte van elk door mensen veroorzaakt geluid dat wordt geproduceerd tijdens de bouwwerkzaamheden en dat in het water uitstraalt (of direct door bijvoorbeeld Dreggen of indirect door bijvoorbeeld Heien op het land) tenminste gedeeltelijk zal worden gemaskeerd gedurende perioden met sterke stroming.



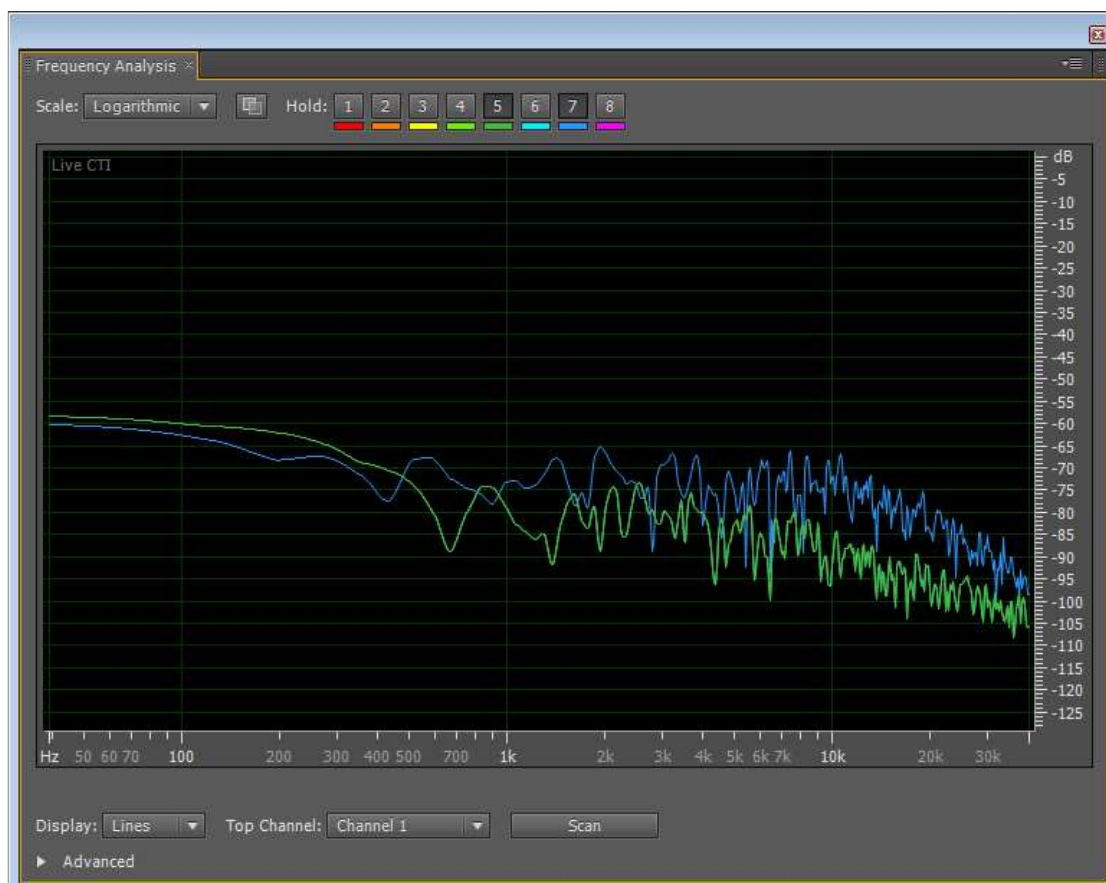
Figuur 9: Breedband en ongeveer decade-band geluidsdruk niveaus (SPLs) over de tijd voor de frequentiebanden: 10 Hz–40 kHz, 10 Hz–100 Hz, 100 Hz–1 kHz en 1–10 kHz. De verhoogde geluidsniveaus die zichtbaar zijn in het spectrogram beneden 1000 Hz worden toegeschreven aan het rinkelende geluid van de ketting van de boei.

Natuurlijke factoren die bijdragen aan achtergrondgeluid

De belangrijkste factoren die bijdragen aan het omgevingsgeluid in de Eems zijn bewegend sediment als gevolg van sterke getijdestromen, maar ook regen, golven en biologische bronnen (als garnalen, vissen en zeezoogdieren). Figuur 10 geeft een voorbeeld weer van het geluid dat wordt geproduceerd door een regenbui bij recorder GSP 7.



Figuur 10: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid geproduceerd door regen bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 7 op 07/10/2011 (om 02:47). Het ontvangen niveau (in dB) weergegeven op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



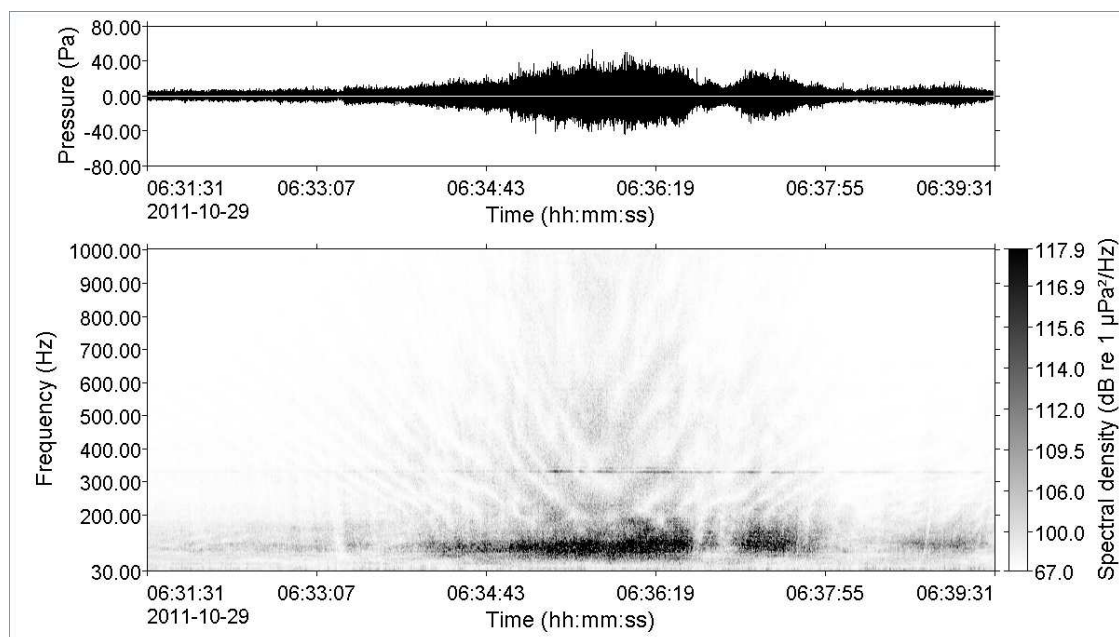
Figuur 11: Frequentie-analyse van geluid geproduceerd door regen (blauwe lijn) vergeleken met het normale achtergrondgeluid (groene lijn) bij de locatie van geluidsrecorder GSP 7 op 07.10.2011 (beginnend om 00:47) . Het niveau van de ontvangen geluidsenergie (y-as) is weergegeven als een functie van de frequentie (x-as).

In de grafiek is te zien dat regen een continu breedbandgeluid veroorzaakt onder water, op lage tot gemiddelde niveaus. Het achtergrondgeluid wordt hierdoor verhoogd met ongeveer 20 dB (afhankelijk van de zwaarte van de regenbui). Toenemende windsnelheden zouden onderwatergeluid produceren door toenemende golfbewegingen. Dit wordt weerspiegeld in een toegenomen algeheel achtergrondgeluid. Andere bronnen die bijdragen aan het natuurlijke achtergrondgeluid zijn niet geïdentificeerd binnen de voorbeeldanalyses die in deze studie zijn uitgevoerd.

Scheepvaart

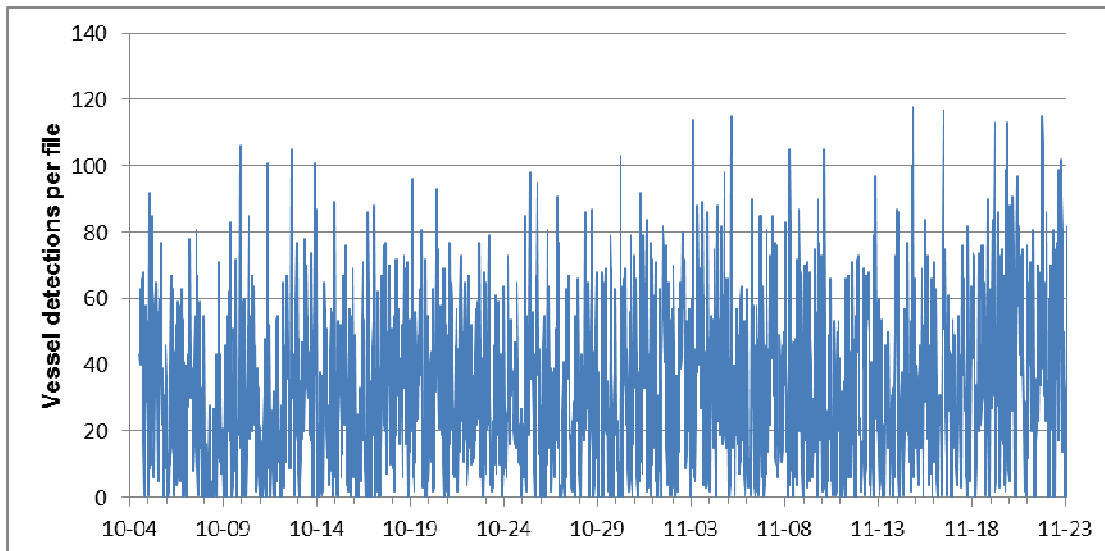
Scheepsgeluidwaarnemingen (JASCO)

Figuur 12 laat de golfvorm en een spectrogram zien van een geluid veroorzaakt door een schip dat de recorder passeert.



Figuur 12. Spectrogram dat de smalbandige tonalen (horizontale banden) toont van een schip dat de locatie van recorder GSP 7 (AMAR 22) passeert op 29.10.2010 (65.336 pts FFT, 20.000 real samples, 10.000 pts overlap, Reisz window). De frequentie is weergegeven (in Hz) op de linker y-as, tijd op de x-as en de ontvangen spectrale dichtheid (in dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) op de verticale staaf aan de rechterkant van het figuur.

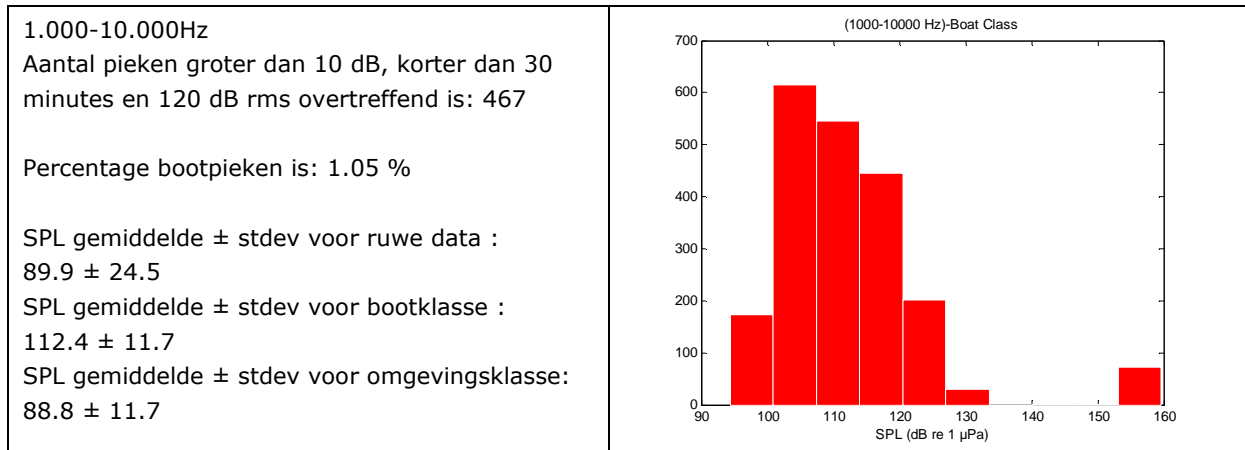
Figuur 12 laat het typische 'Lloyds mirror interferentiepatroon' zien dat ontstaat bij het positiepunt (closest point of approach -CPA) van het schip dat het dichtst bij de recorder ligt. De geautomatiseerde scheepsdetector (hierboven beschreven) neemt gelijkmatige tonale frequenties waar, die worden geproduceerd door voorbijkomende schepen. De tonen verschijnen als horizontale lijnen in spectrogrammen en kunnen gezien worden in, bijvoorbeeld, het spectrogram in figuur 12. Een samenvatting van de waarneming van schepen en boten in het onderzoeksgebied is weergegeven in **Error! Reference source not found.** 13.



Figuur 13. Het aantal scheepswaarnemingen (per 30 minuten in de file) van de locatie waar recorder GSP 7 (AMAR 22) gedurende de eerste opnamefase, berekend met de geautomatiseerde analyses uitgevoerd door JASCO.

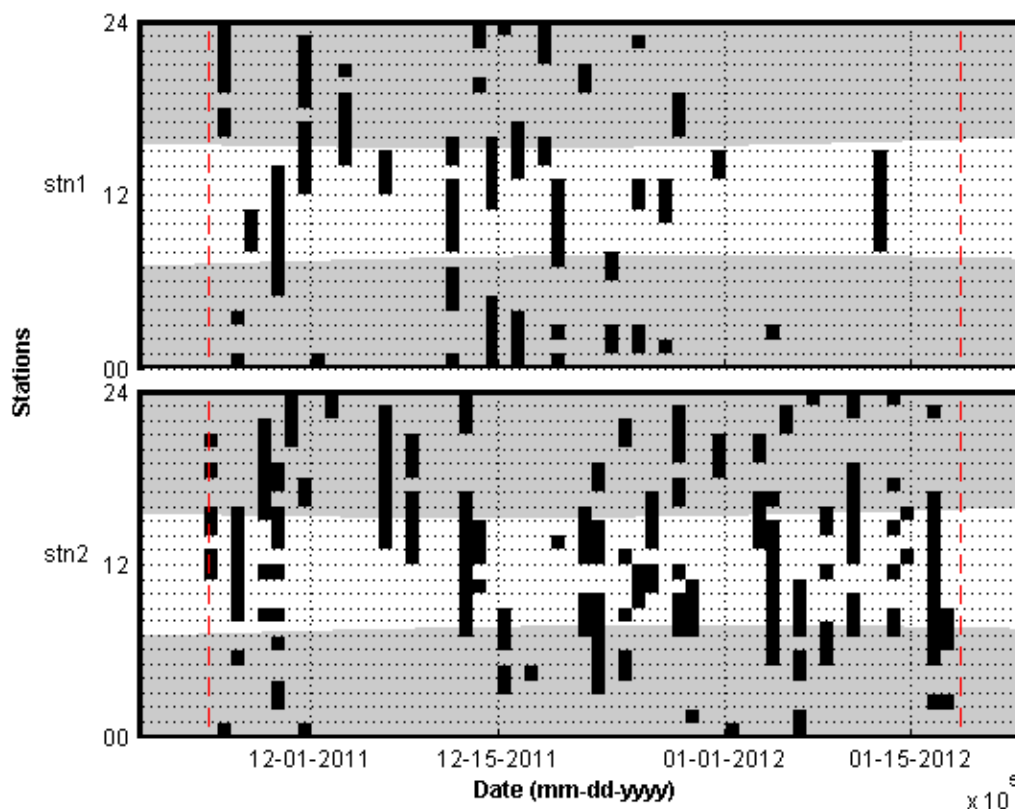
De geautomatiseerde analyse leverde ook een verspreiding van ontvangen geluidsniveaus over verschillende frequentiebanden. Daardoor wordt het mogelijk het effect van scheepvaart op de waarnemingskansen van andere geluiden (zoals bouw gerelateerde geluiden) te kwantificeren. Figuur 14 laat het resultaat zien van de locatie van recorder GSP 4 (AMAR 12) gedurende de tweede opnamefase.

<p>10-100 Hz Aantal pieken groter dan 10 dB, korter dan 30 minutes en 120 dB rms overtreffend is: 481</p> <p>Percentage bootpieken is: 1.08 %</p> <p>SPL gemiddelde /stdev voor ruwe data : 97.8 ± 25.5</p> <p>SPL gemiddelde /stdev voor bootklasse : 119.8 ± 9.5</p> <p>SPL gemiddelde /stdev voor omgevingsklasse : 96.3 ± 9.5</p>	
<p>100-1000 Hz Aantal pieken groter dan 10 dB, korter dan 30 minutes en 120 dB rms overtreffend is: 1470</p> <p>Percentage bootpieken is: 3.29 %</p> <p>SPL gemiddelde ± stdev voor ruwe data : 93.5 ± 24.4</p> <p>SPL gemiddelde ± stdev voor bootklasse : 118.4 ± 9.5</p> <p>SPL gemiddelde ± stdev voor omgevingsklasse : 89.1 ± 9.5</p>	



Figuur 14: Resultaten van de kwantitatieve analyse van de geluidsoptnamen op de positie van recorder GSP 4 gemaakt tussen 23.11.2011 en 17.01.2012. De drie grafieken tonen de numerieke resultaten voor verschillende frequentiebanden en geven een grafische weergave van de verspreiding van de ontvangen geluidsdrumniveaus in elk van deze banden.

Een vergelijking tussen de scheepvaartgegevens (geleverd door GSP voor 2011) en de analyse van de video-opnamen van Hond&Paap laat zien dat het aantal scheepswaarnemingen resulterend uit de geautomatiseerde analyses duidelijk hoger is dan het echte aantal schepen dat de geluidsrecorder direct passeert. Daarom werd een meer conservatieve analyse uitgevoerd om de vals-positieve scheepswaarnemingen te elimineren, dat wil zeggen de onderwatergeluidgevallen die onjuist aan scheepsgeluid werden toegeschreven of de scheepsgeluiden die van ver weg kwamen te verwijderen.



Figuur 15. Het voorkomen van scheepsgeluidwaarnemingen per uur in de akoestische data opgenomen op de locaties van beide recorders van 23.11.2011 tot 16.01.2012. Donkere lijnen geven de aanwezigheid van een schip aan in een half-uursperiode. De grijze gebieden geven de tijd aan dat het donker was, dus van zonsondergang tot zonsopkomst (Ocean Time Series Group 2009). De rode stippellijnen geven het moment aan waarop de recorder werd geplaatst en weer werd opgehaald.

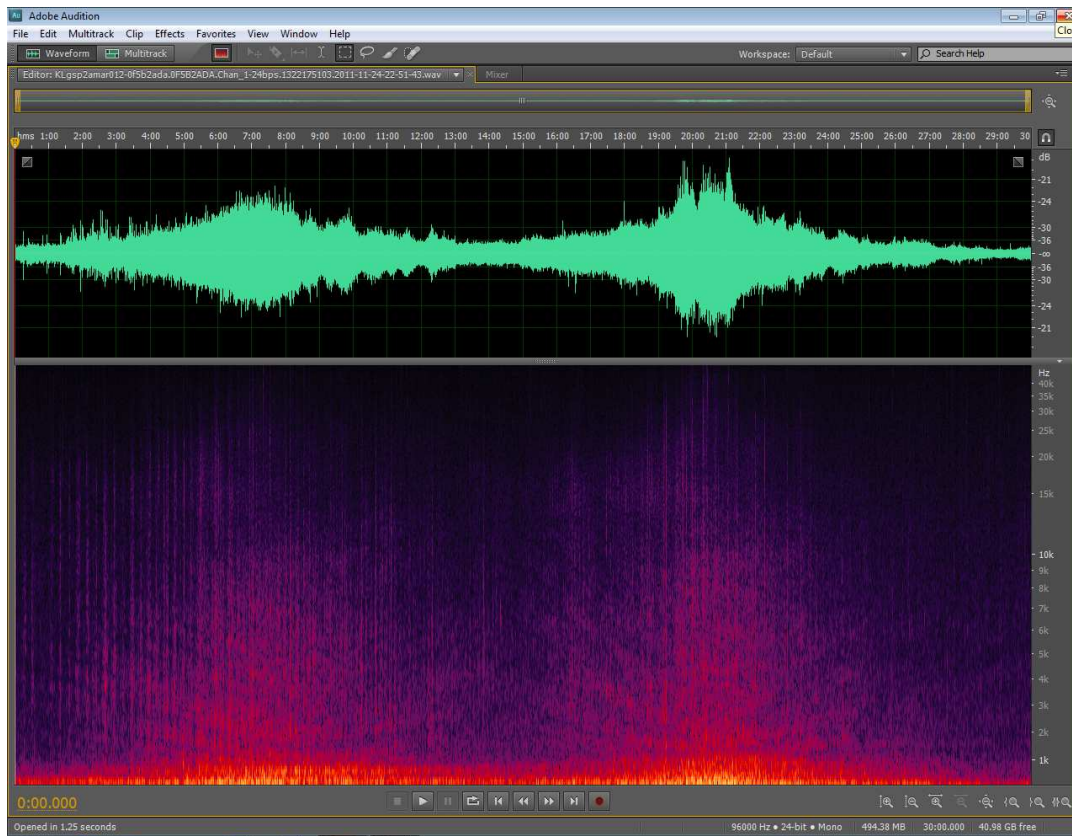
Scheepsactiviteit (IMARES)

Naast de geautomatiseerde analyse werd door IMARES een visuele analyse uitgevoerd van de scheepvaartgeluiden. Het doel van deze analyse was de waarneembaarheid van de scheepspassages te vergelijken met de geautomatiseerde analyses en de mogelijkheid te beoordelen om het aantal en de geluidsniveaus van schepen die de recorder passeren, te kwantificeren. Tabel 2 laat een voorbeeld zien van het aantal schepen dat in elk half uur opnametijd visueel werd waargenomen.

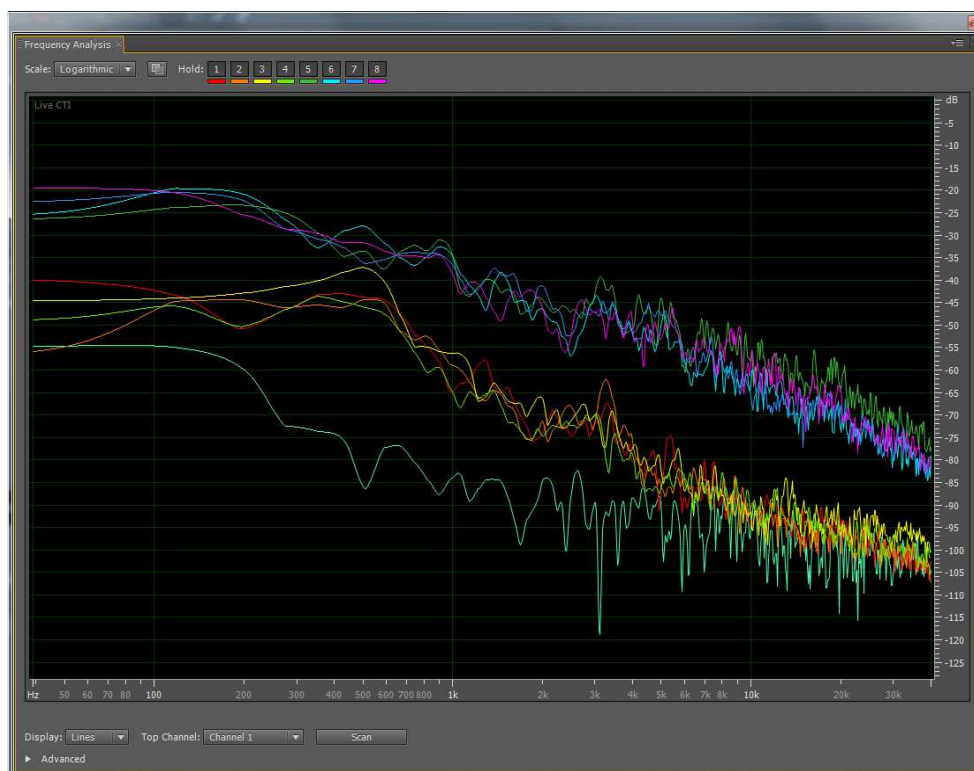
Tabel 2: Datum en starttijd van de geluidsopnamen van GSP 7 (voorbeeldperiode) en het aantal passerende schepen in elk van deze perioden.

Datum_tijd_aanvang	Aantal passerende schepen
10/7/2011 11:28	1
10/7/2011 11:58	1
10/7/2011 12:28	2
10/7/2011 12:58	2
10/7/2011 13:28	0
10/7/2011 13:58	0
10/7/2011 14:28	1
10/7/2011 14:58	3
10/7/2011 15:28	2
10/7/2011 15:58	2
10/7/2011 16:28	1
10/7/2011 16:58	1
10/7/2011 17:28	2

De figuren 16 en 17 laten de golfvorm, het spectrogram en de energieverbreiding zien van het geluid dat werd uitgestoten door twee passerende schepen.



Figuur 16: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van twee schepen die de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 passeren op 24.11.2011 (beginnend om 23:58 en 00:11). De tijd is weergegevens op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



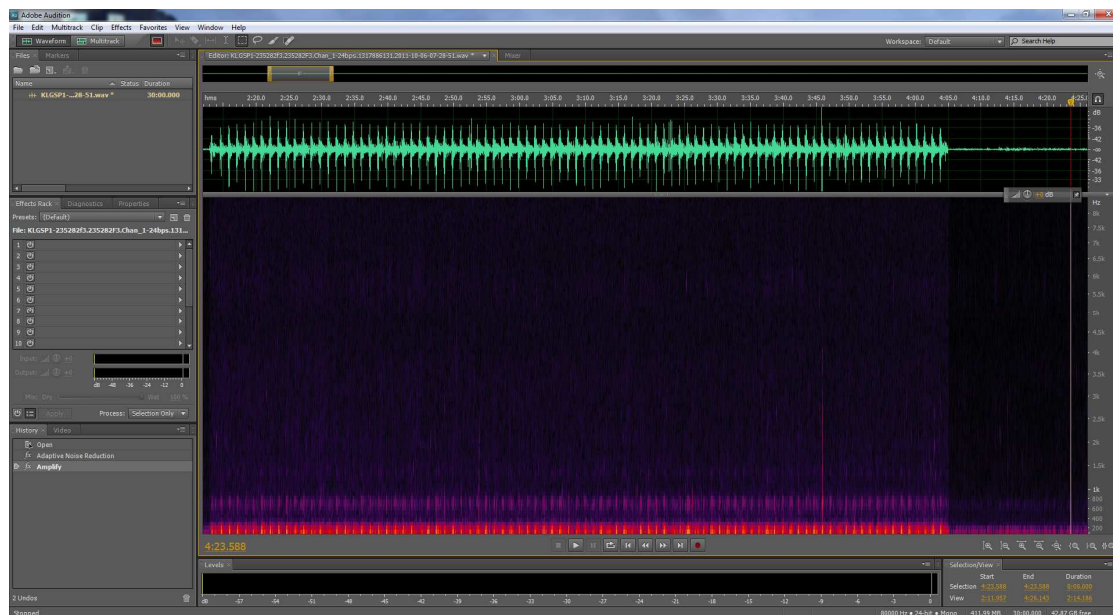
Figuur 17 Verspreiding van akoestische energie van het geluid dat werd uitgestoten door twee schepen (bovenste en middelste lijnensets) over het gemeten frequentiebereik in vergelijking tot het normale achtergrondgeluid (onderste lijn). De x-as beschrijft de frequentie (logaritmische weergave), de y-as het ontvangen niveau (in dB). De verschillende kleuren duiden op metingen op verschillende momenten in de tijd.

De duur van de scheepspassages kan niet precies worden vastgesteld omdat er geen duidelijk start- en eindpunt te identificeren is. De duur varieert tussen een paar minuten (<5 min) en >30 minuten. Het scheepsgeluid moet echter wel met tenminste enkele dB boven het achtergrond geluid uit komen (signaal ten opzichte van ruis ratio) voordat een schip ook als schip geïdentificeerd kan worden. De ontvangen geluidsniveaus die worden veroorzaakt door voorbijvarende schepen kan het achtergrondgeluid met meer dan 70 dB overtreffen (gebaseerd op de exemplarische analyse van de data, maar kan ook nog hoger zijn).

Bouwgerelateerde activiteiten

Heien

Heien is verschillende keren visueel geïdentificeerd op de opnamen van beide recorders van beide opnamefasen, twee keer op 14.12.2011 uitgevoerd voor RWE op positie R9UVY, en met een tijdsverschil tussen het aangegeven tijdstip van de activiteit en de opname van 28 minuten, een keer op 06.10.2011 in opdracht van RWE op positie R5UEX. Naast de visuele opsporing werd het opgenomen geluid ook beluisterd door een akoestisch expert. De verwachte akoestische signatuur (stootsgewijs geluid, regelmatig herhaald over een lange tijdsduur) kwam in alle gevallen overeen en overlapt met de gerapporteerde heiperioden in de Eemshaven. Het ontvangen niveau overtrof het achtergrondgeluid met meer dan 20 dB in piekniveaus en met meer dan 40 dB in de spectrale energieverbreiding. Akoestische maskering door passerende schepen werd meerdere keren waargenomen als heigeluiden in het scheepsgeluid verdween of er juist uit tevoorschijn kwam.



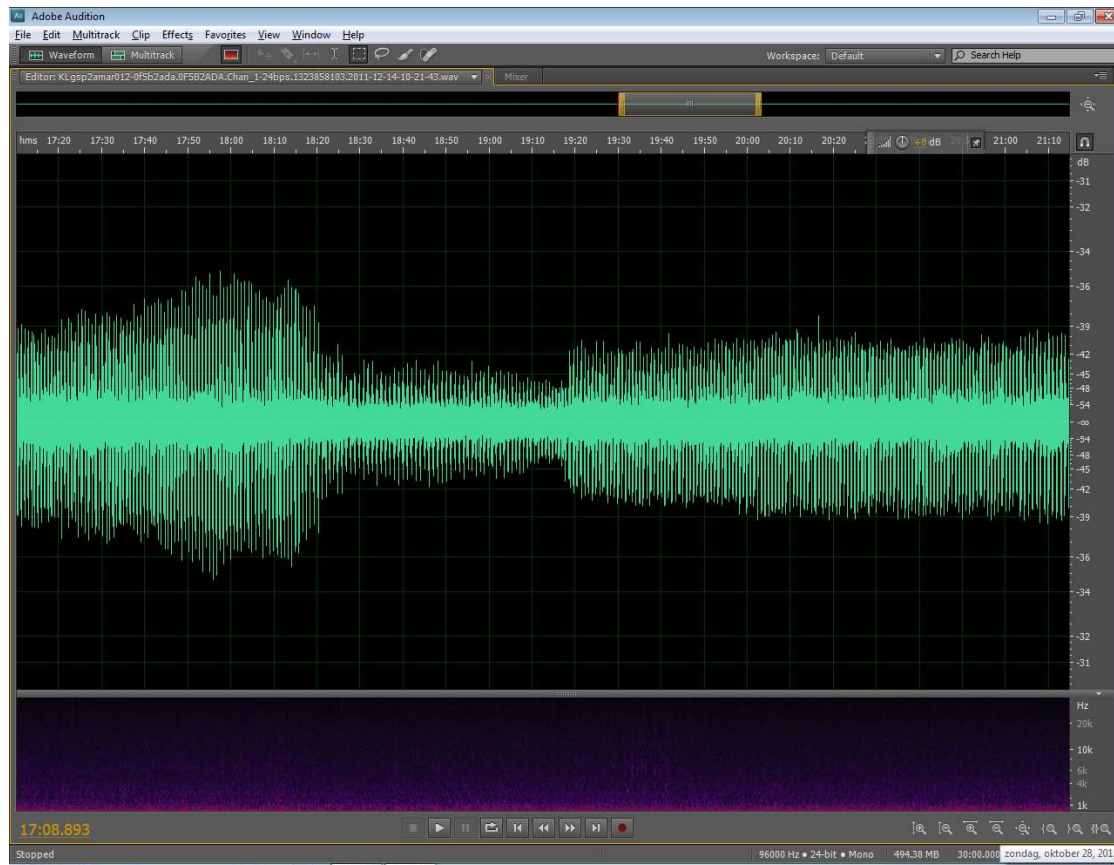
Figuur 18: : Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 7 geproduceerd door heien op land op 06.10.2011 (beginnend om 09:28). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



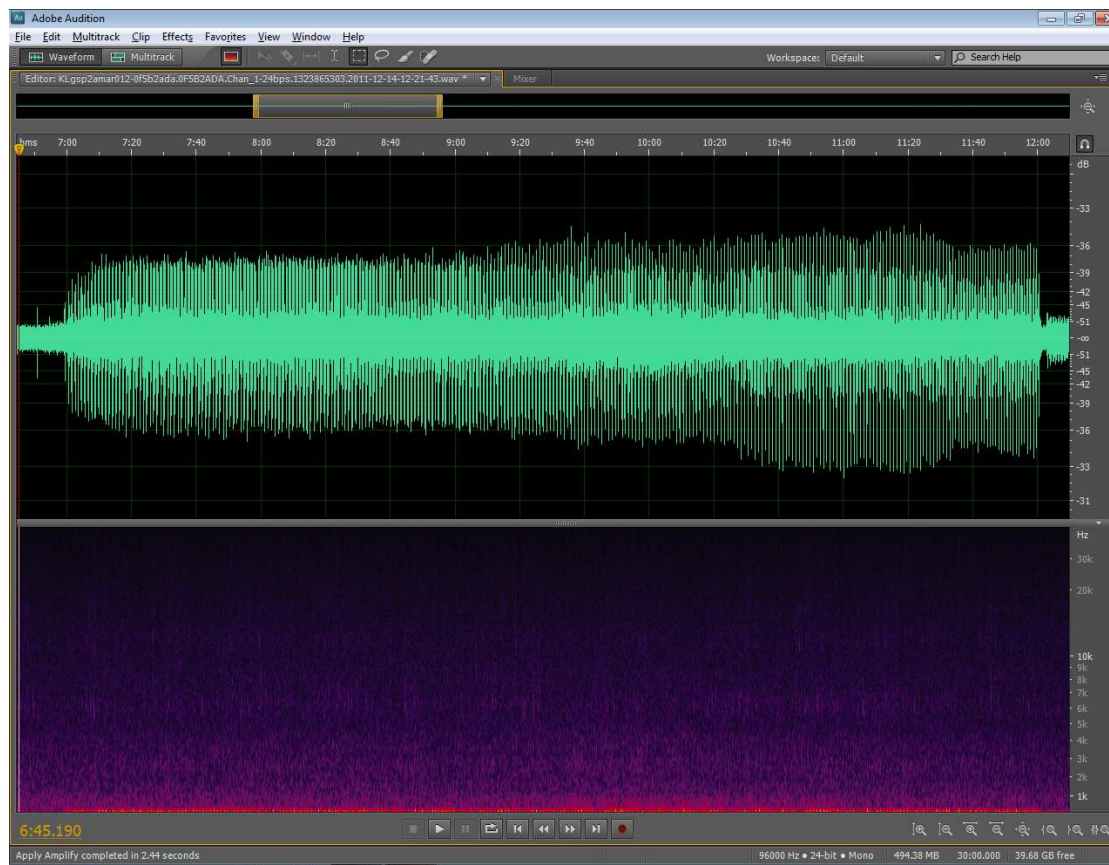
Figuur 19: Verspreiding van akoestische energie van het geluid dat werd uitgestoten door Heien (rode lijn) over het gemeten frequentiebereik in vergelijking tot het normale achtergrondgeluid (blauwe lijn) . De x-as beschrijft de frequentie (logaritmische weergave), de y-as het ontvangen niveau (in dB). De verschillende kleuren duiden op metingen op verschillende momenten in de tijd.

Het interval tussen opeenvolgende stoten varieerde tussen 0.7 en 1.3 heistoten per seconde voor Heien. In sommige gevallen werd een snelheid van 2.5 heistoten per seconde gedetecteerd. Zonder exacte kennis over de instellingen die zijn gekozen door de hei-operators is het natuurlijk onmogelijk om de exacte activiteit te identificeren, maar gebaseerd op de beschikbare tijdsinformatie kan de toegenomen stootsnelheid duiden op het uittrekken van de pile sheets.

Ook de intensiteit van de ontvangen heistoten varieerde, zowel tussen verschillende heiactiviteiten (een serie van heistoten) als binnen een heiactiviteit (zie figuur 20). Dit kan veroorzaakt worden door aanpassingen in de hei-energie (veranderde instellingen van de hydraulische hamer), maar kan ook duiden op andere hei-activiteiten die tegelijkertijd plaatsvinden op een andere locatie.



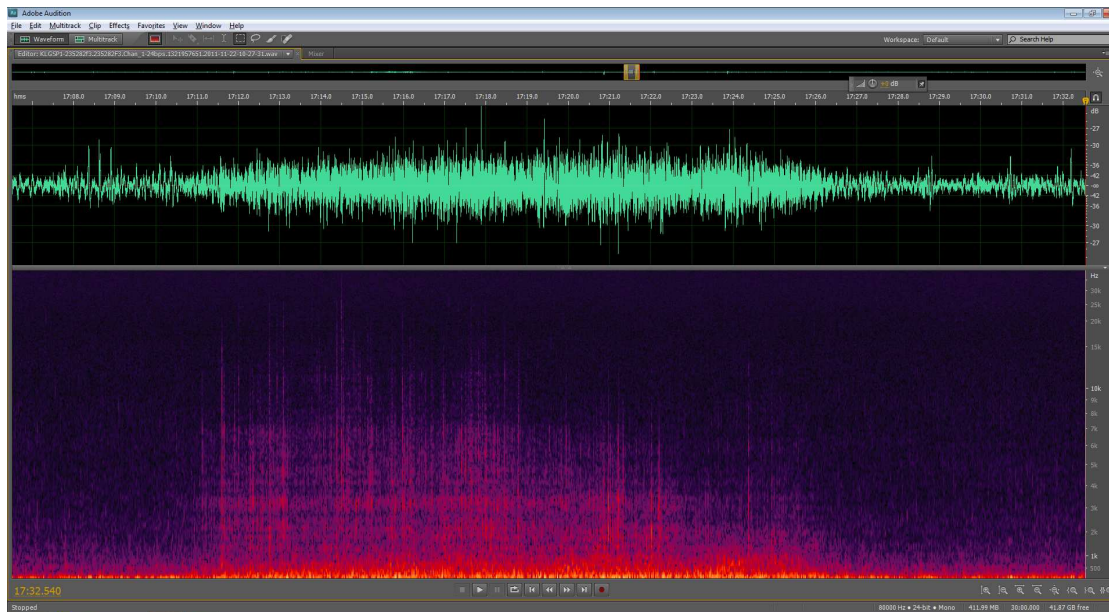
Figuur 20: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 7 geproduceerd door heien op land op 14.12.2011 (beginnend om 11:38). De tijd is weergegevens op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



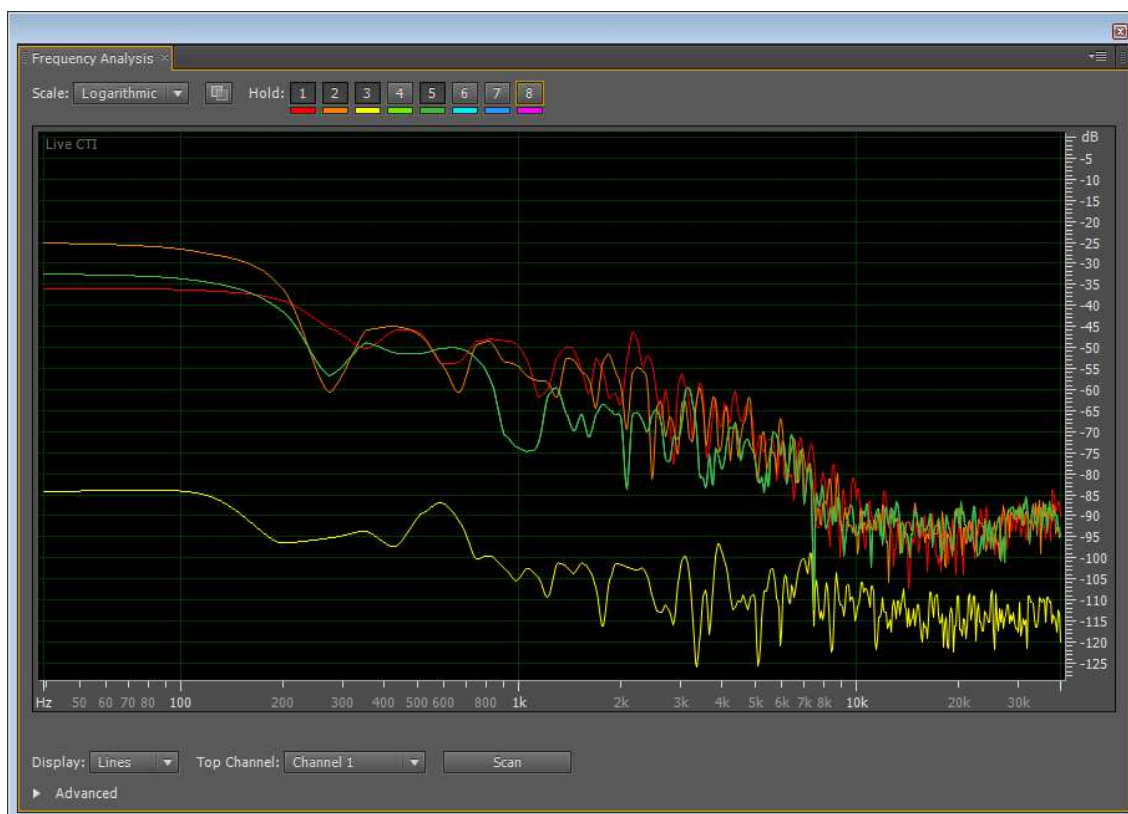
Figuur 21: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 geproduceerd door heien op land op 14.12.2011 (beginnend om 13:21). De tijd is weergegevens op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.

Damwanden Trillen

Damwanden Trillen is verschillende keren visueel geïdentificeerd op de opnamen van GSP 4 tijdens de tweede opnamefase. De waargenomen gevallen van Damwand Trillen werden gevonden met behulp van de geleverde informatie over de tijdsperioden waarin de activiteit plaatsvond (22.11.2011: Damwanden trillen NUON bij Koelwaterinlaat). De exacte tijd waarop het Damwand Trillen in de opnamen geïdentificeerd was kwam echter niet altijd overeen met het tijdstip dat was gerapporteerd voor die dag (30.11.2011: Trillen van Damwanden vindt op die dag plaats door NUON bij de Koelwaterinlaat, maar niet op het exacte tijdstip (verschil van >2 uur)). Vervolgens werd het geluid dat was geïdentificeerd als Damwand Trillen bevestigd door een 'gehoorsevaluatie' (waarbij een akoestisch expert naar de geluiden luisterde). De akoestische karakteristieken van het geïdentificeerde geluid kwamen daarnaast ook overeen met de verwachte waarden. Twee voorbeelden van Damwand Trillen zijn weergegeven in de figuren 22 – 29. Deze activiteit vond hoogstwaarschijnlijk plaats in direct contact met het water van de Eems.

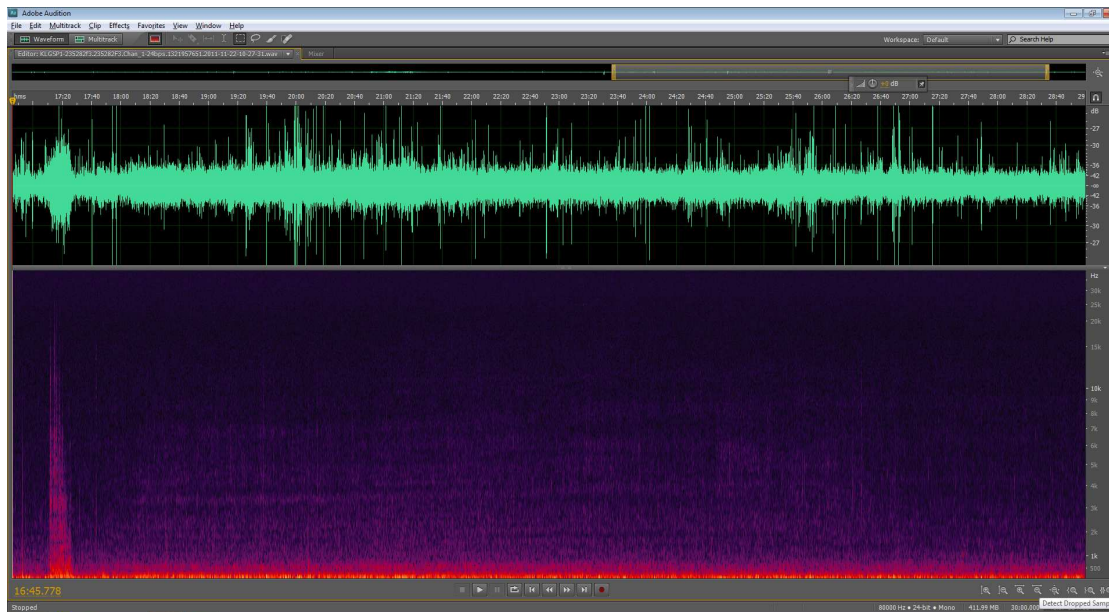


Figuur 22: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 geproduceerd door Damwand Trillen op 22.11.2011 (beginnend om 11:44). De tijd is weergegevens op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.

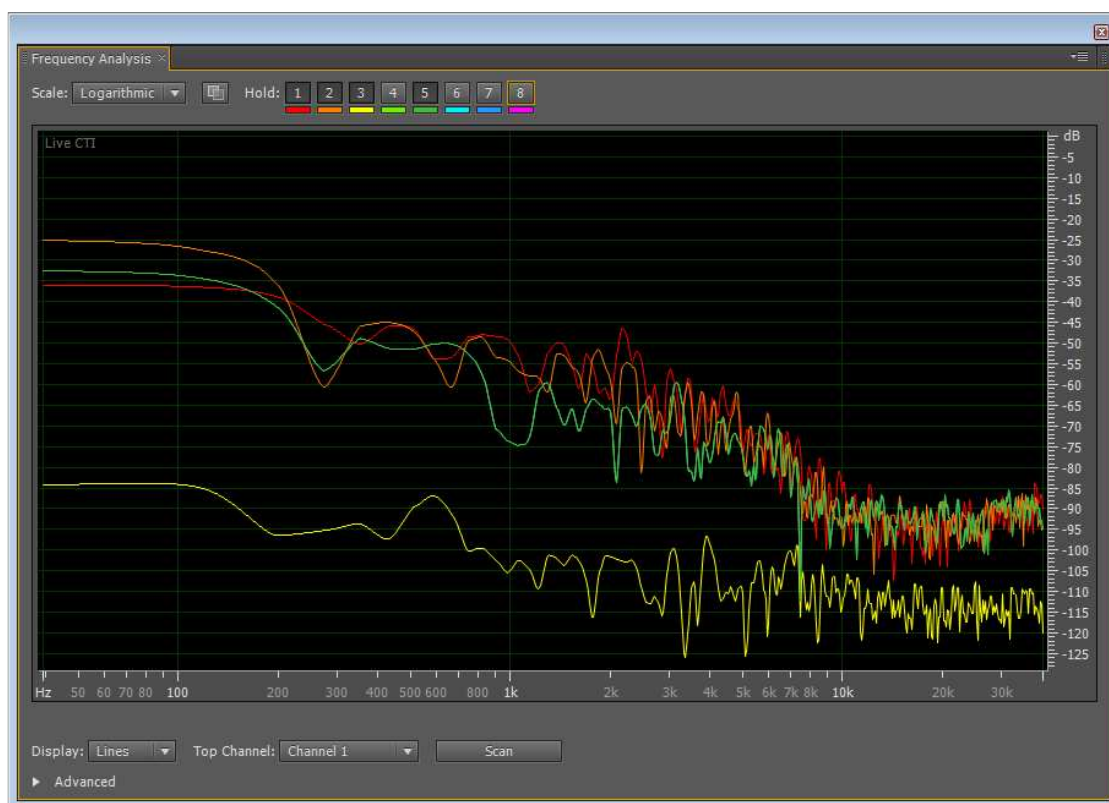


Figuur 23: Verspreiding van akoestische energie van het geluid dat werd uitgestoten door Damwand Trillen (bovenste lijnenset) over het gemeten frequentiebereik in vergelijking tot het normale achtergrondgeluid (onderste lijn). De x-as beschrijft de frequentie (logaritmische weergave), de y-as het ontvangen niveau (in dB). De verschillende kleuren duiden op metingen op verschillende momenten in de tijd.

Het spectrum van de verschillende impulsen verandert niet tijdens de gehele periode dat het geluid wordt geproduceerd.

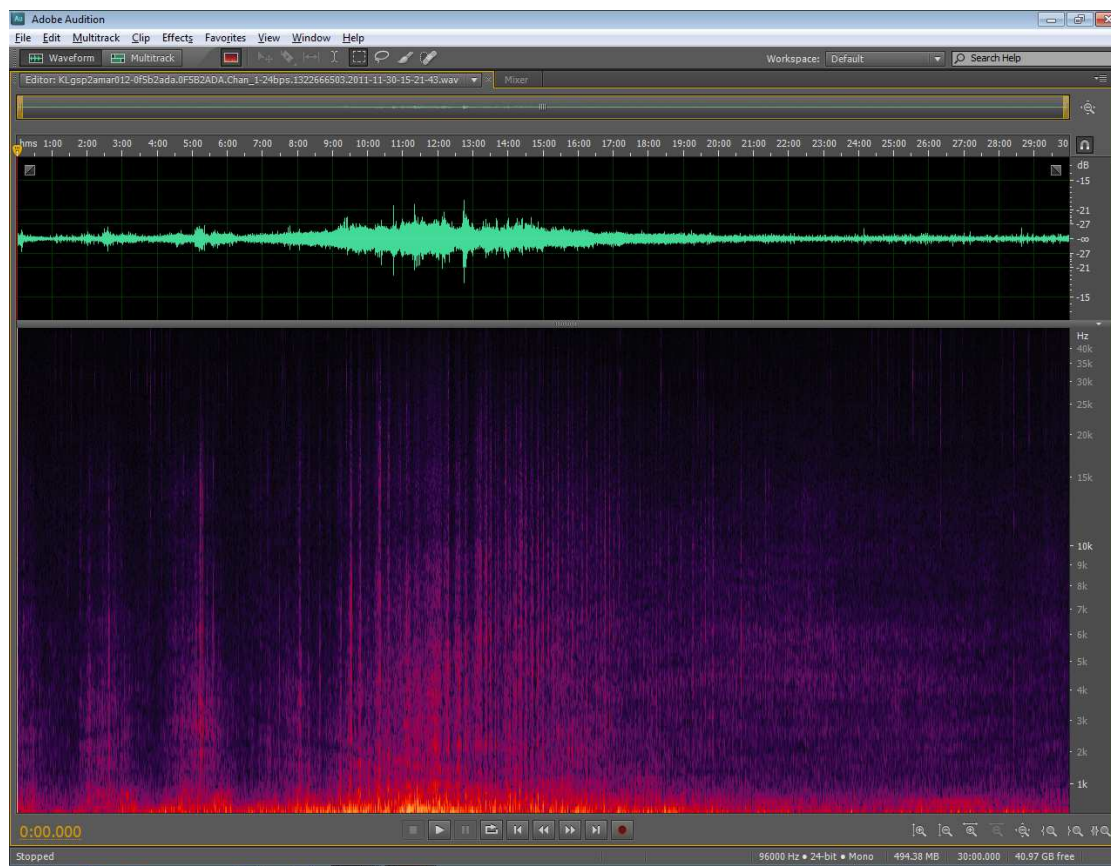


Figuur 24: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 geproduceerd door Damwand Trillen op 22.11.2011 (beginnend om 11:44). De tijd is weergegevens op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



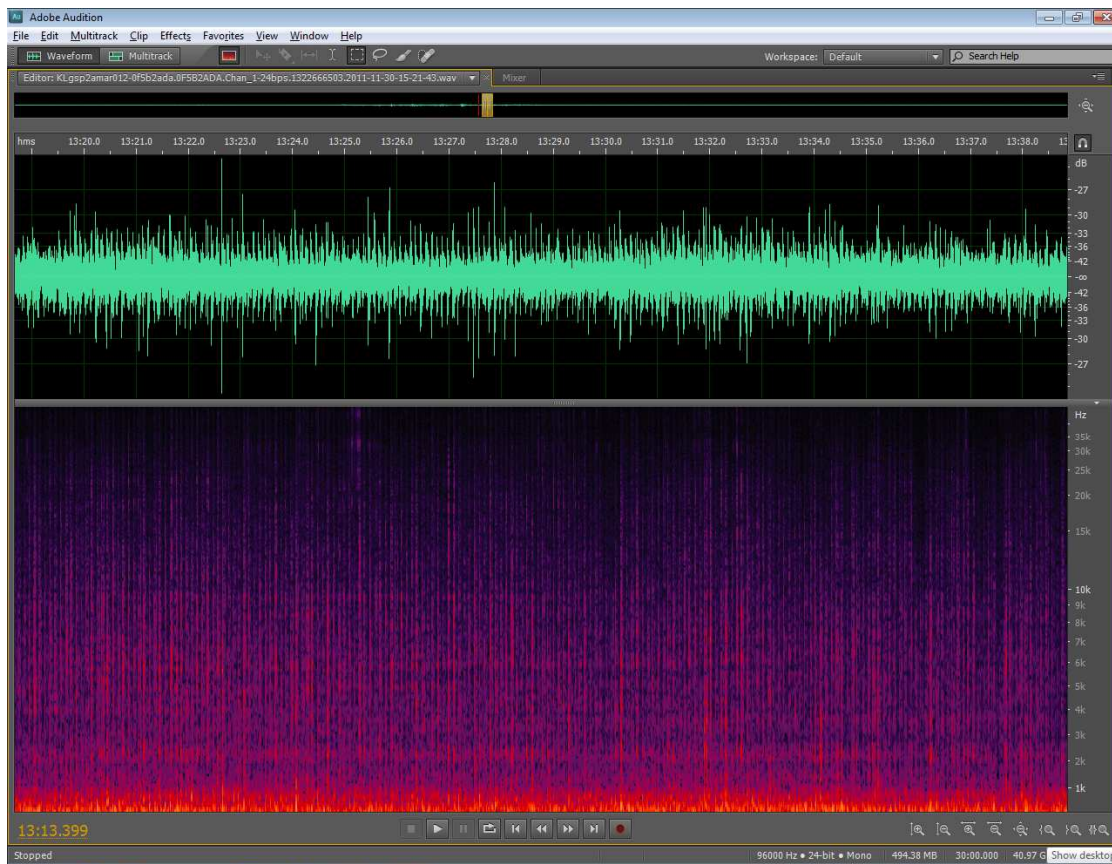
Figuur 25: Verspreiding van akoestische energie van het geluid dat werd uitgestoten door Damwand Trillen (bovenste lijnenset) over het gemeten frequentiebereik in vergelijking tot het normale achtergrondgeluid (onderste lijn) . De x-as beschrijft de frequentie (logaritmische weergave), de y-as het ontvangen niveau (in dB). De verschillende kleuren duiden op metingen op verschillende momenten in de tijd.

Een ander voorbeeld van Damwand Trillen is gegeven in de figuren 26-29.

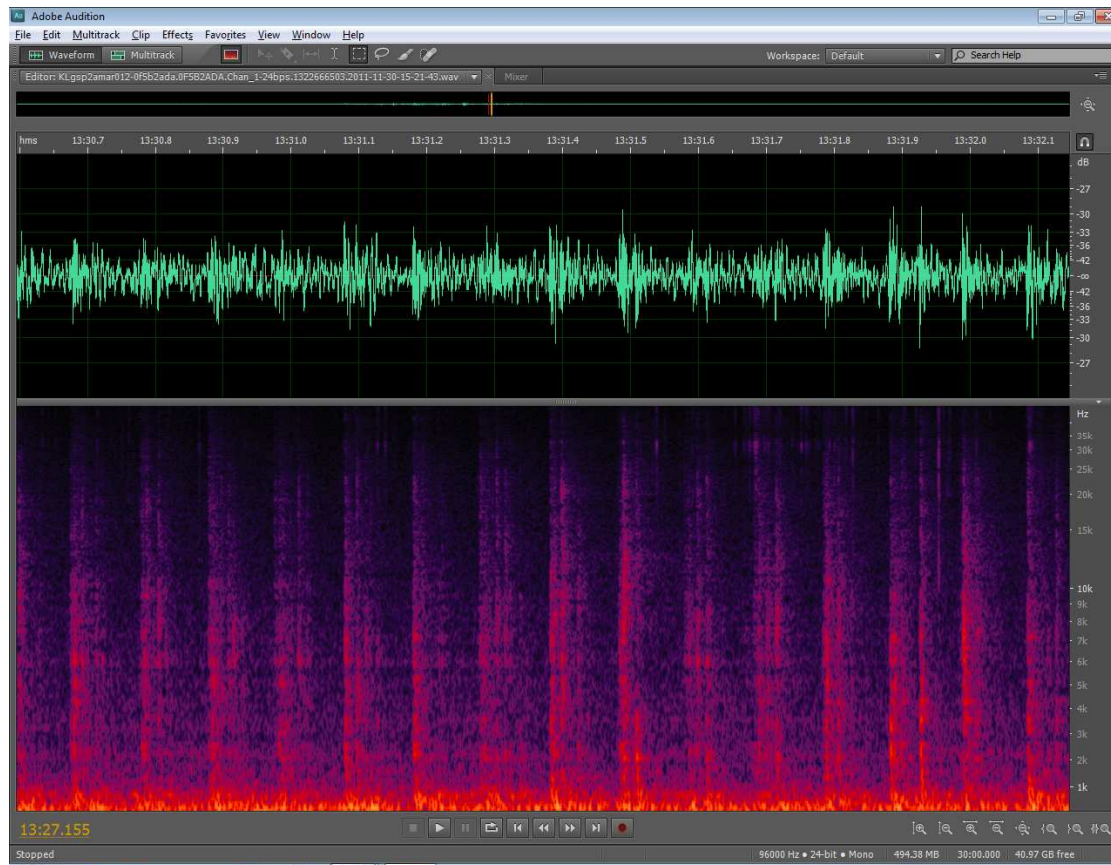


Figuur 26: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 geproduceerd door Damwand Trillen op 31.11.2011 (beginnend om 16:21). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.

In figuur 27 en 28 is dezelfde gebeurtenis weergegeven in een steeds hogere temporele resolutie (ingezoomd).



Figuur 27: Golfvorm met toegenomen resolutie t.o.v. figuur 26 (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 geproduceerd door Damwand Trillen op 31.11.2011 (beginnend om 16:21). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



Figuur 28: Golfvorm met toegenomen resolutie t.o.v. figuur 26 en 27 (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 geproduceerd door Damwand Trillen op 31.11.2011 (beginnend om 16:21). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



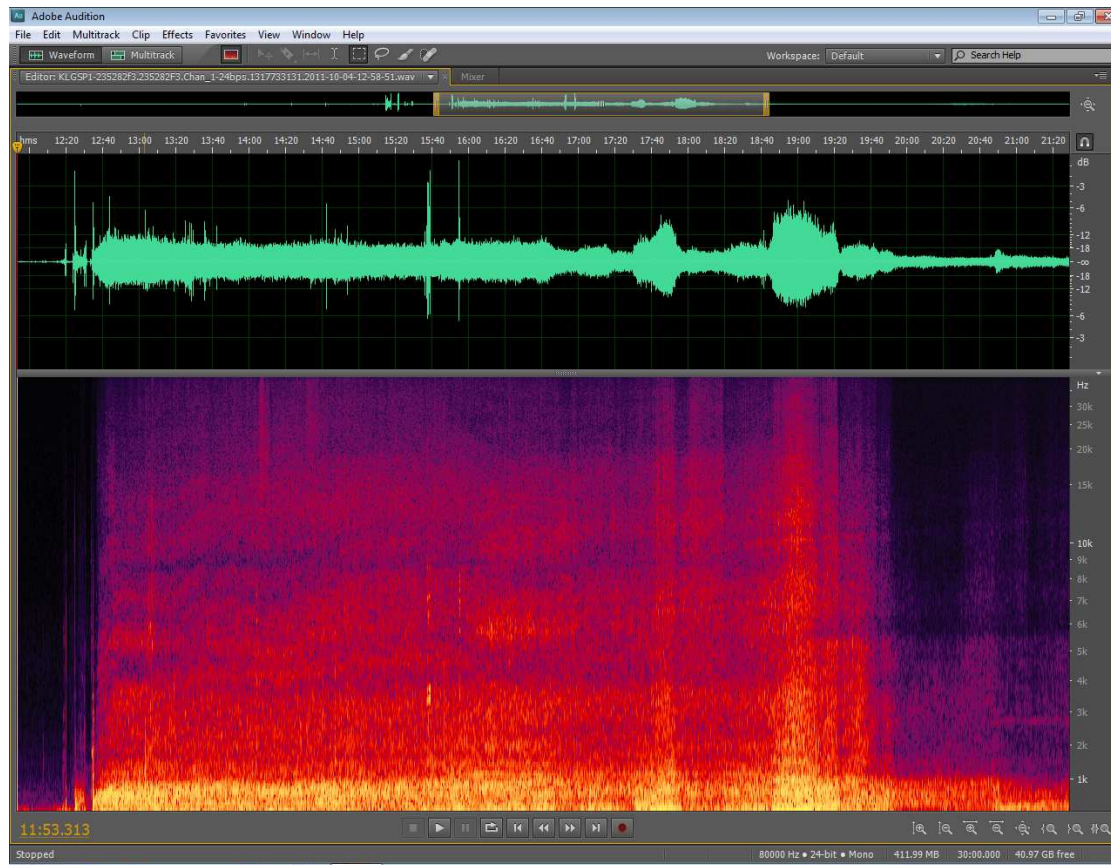
Figuur 29: Verspreiding van akoestische energie van het geluid dat werd uitgestoten door Damwand Trillen over het gemeten frequentiebereik. De x-as beschrijft de frequentie (logaritmische weergave), de y-as het ontvangen niveau (in dB). De verschillende kleuren duiden op metingen op verschillende momenten in de tijd.

De geluiden die worden toegeschreven aan Damwand Trillen zijn stootsgewijze geluiden die herhaaldelijk worden uitgezonden op hoge snelheid. Het ontvangen niveau komt tot 55 dB boven het omgevingsgeluid uit. De spectrale verspreiding van de geluidsenergie verandert niet tijdens de duur van de activiteit. Dit indiceert dat het om een stilstaande geluidsbron gaat.

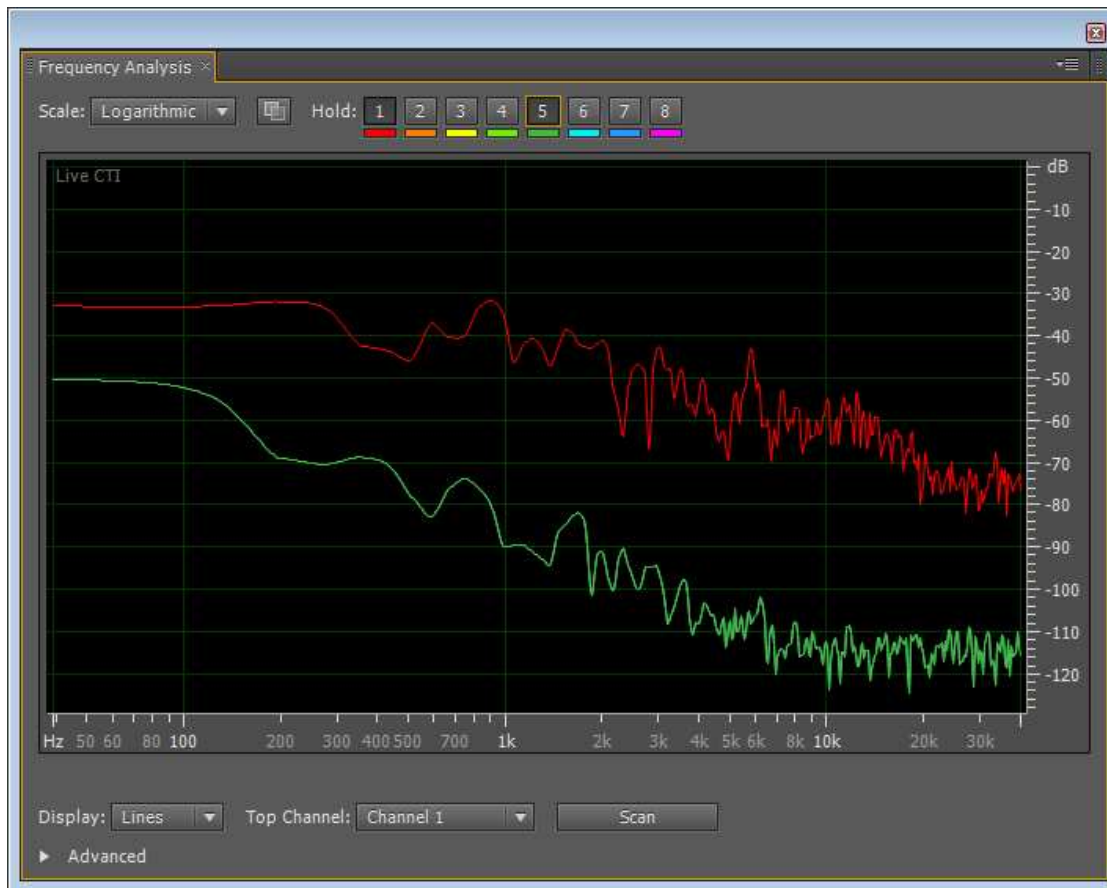
Baggeren & Verspreiden

Het Baggeren en Verspreiden van baggerspecie is niet eenduidig geïdentificeerd. Bij één gelegenheid, op 04.10.2011, kwam de informatie van de golfvorm en de spectrale weergave overeen met de verwachte akoestische signatuur van Baggeren (zie figuur 30), echter niet exact met de door de opdrachtgever of derden (Baggeren AussenEems; uitgevoerd in opdracht van de Duitse overheid) verstrekte data. Wel werden voor een later tijdstip (+ 14 minuten) baggeractiviteiten in de Julianahaven, uitgevoerd door de fa. Van der Kamp, gemeld. De op 11.10.2011 als baggeractiviteit geïdentificeerde opname komt in de tijd overeen met het onderhoudsbaggeren van GSP in het Doekegatkanaal. Ook is er met een verschil van 27 minuten overeenstemming met de baggeractiviteiten die in de Eems in opdracht van de Duitse overheid bij km 50 werden uitgevoerd.

Informatie uit de gepubliceerde literatuur over de uitgestoten geluidsniveaus is in deze context niet bruikbaar zonder informatie over de exacte locatie van het schip (b.v. door data vanuit de Automatic Identification System, AIS) en de afstand tot de noise logger. De spectrale compositie en energieverspreiding van de opgenomen geluiden komen overeen met de gerapporteerde spectra van deze activiteit.



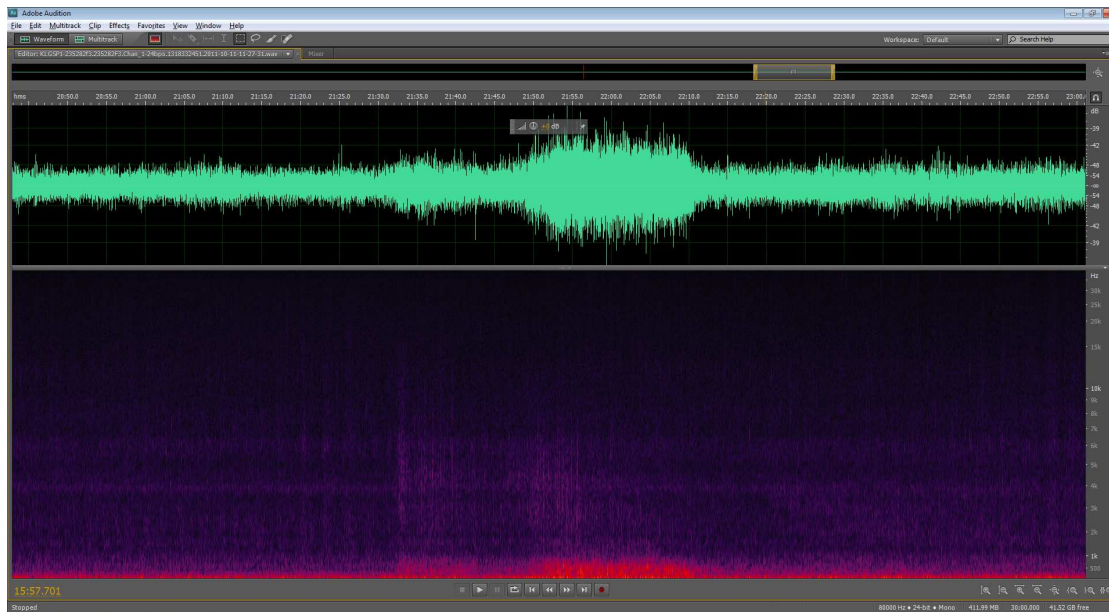
Figuur 30: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 dat waarschijnlijk wordt geproduceerd door Baggeren op 04.10.2011 (beginnend om 15:10). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



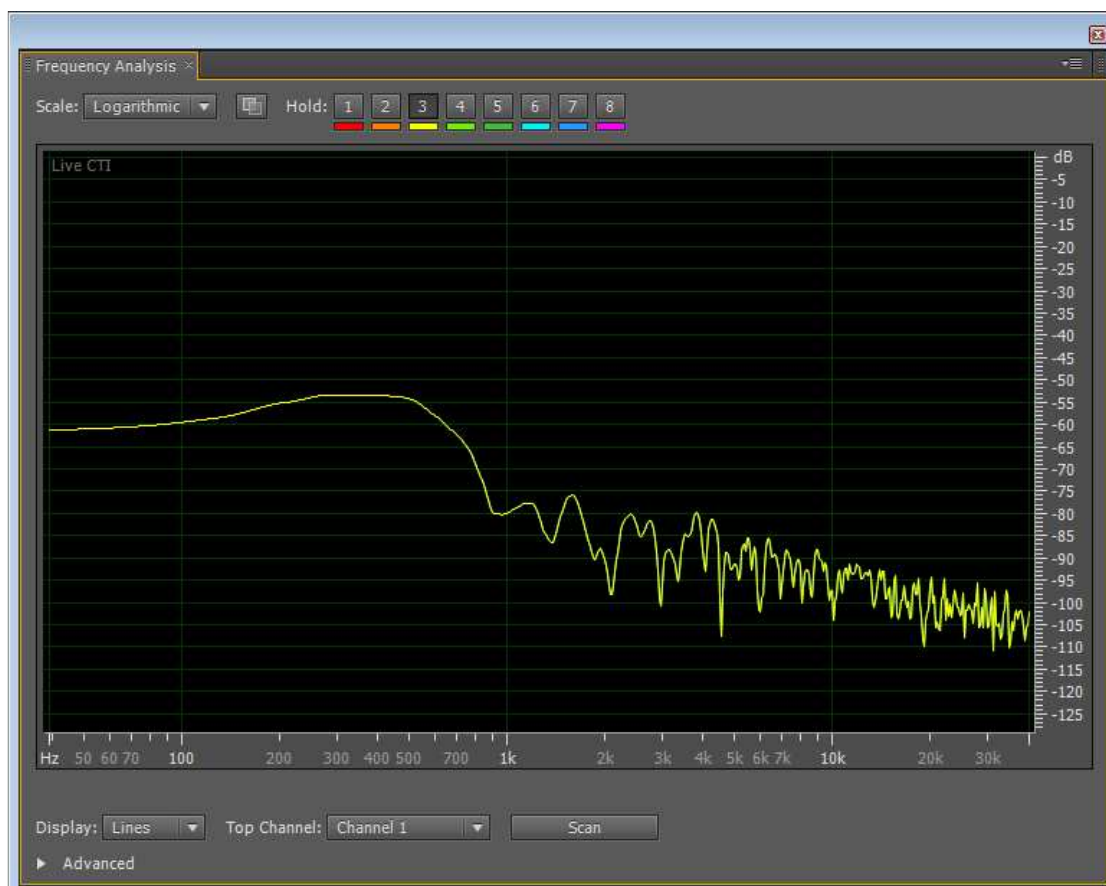
Figuur 31: Verspreiding van akoestische energie van het geluid dat werd uitgestoten door Bageren (rode lijn) over het gemeten frequentiebereik in vergelijking tot het normale achtergrondgeluid (groene lijn). De x-as beschrijft de frequentie (logaritmische weergave), de y-as het ontvangen niveau (in dB).

De geluidsniveau veranderen enigszins tijdens de duur van de activiteit, daarnaast kan op het einde van de geluidsduur een typisch scheepsgeluid worden gehoord. Daarom wordt aangenomen dat dit een langzaam bewegende, op een schip gestationeerde geluidsbron is.

Op 11.10.2011 werd een ander geluid geïdentificeerd als een mogelijke akoestische signatuur van Verspreiden (figuren 32 en 33). Deze classificatie is gebaseerd op het tijdstip en de ruimtelijke informatie die voor deze activiteit is geleverd en een gehoorsevaluatie (waarbij een akoestisch expert naar de geluiden luisterde).



Figuur 32: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 dat waarschijnlijk wordt geproduceerd door Verspreiden van baggerspecie op 11.10.2011 (beginnend om 13:48). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.

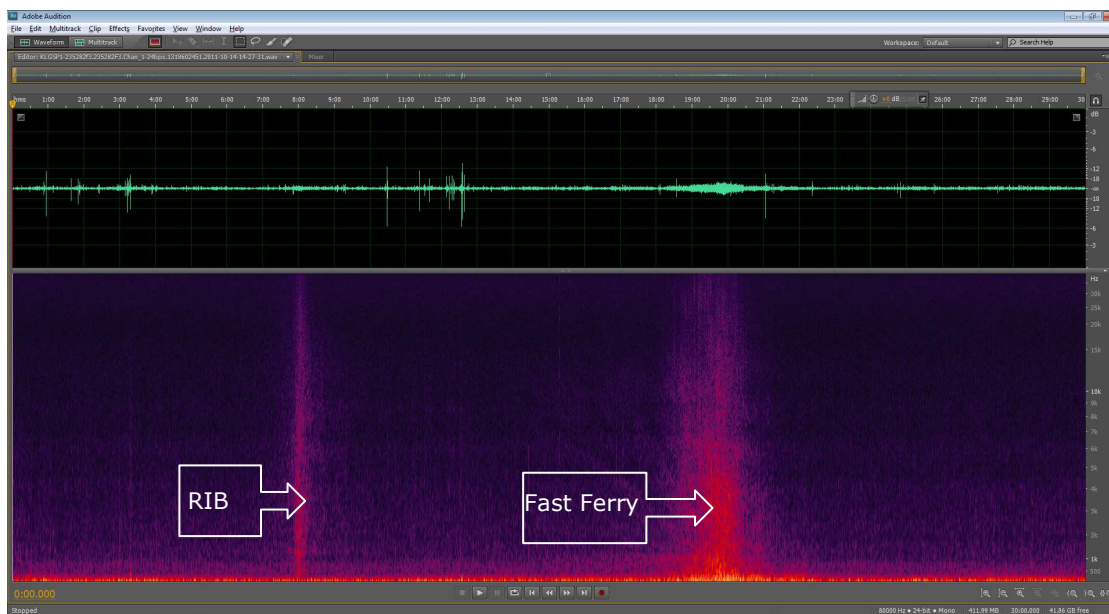


Figuur 33: Verspreiding van akoestische energie van het geluid dat werd uitgestoten door Verspreiden van baggerspecie (gele lijn) over het gemeten frequentiebereik. De x-as beschrijft de frequentie (logaritmische weergave), de y-as het ontvangen niveau (in dB).

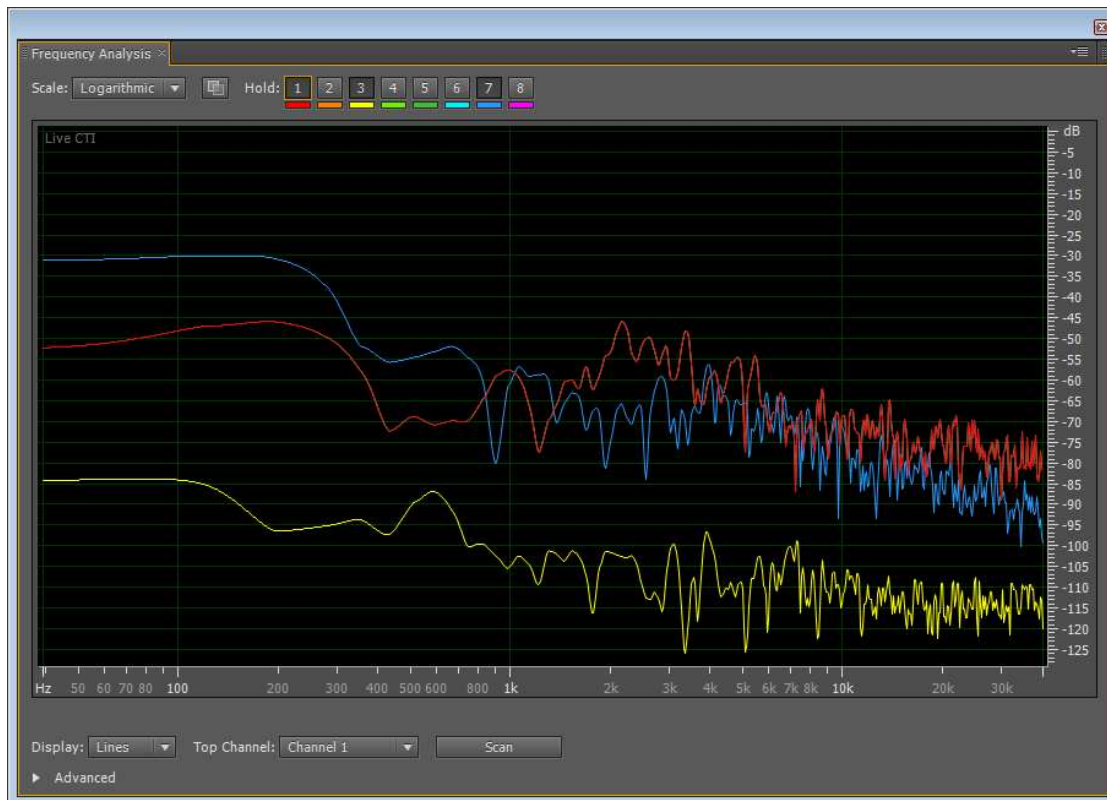
Omdat er geen gedetailleerde informatie beschikbaar is over de akoestische karakteristieken van deze specifieke activiteit moet deze identificatie als indicatief worden gezien.

RIBs (Rigid Inflatable Boats, opblaasbare speedboten van vormvast materiaal)

Uit de visuele analyse van de opgenomen data van de eerste opnamefase bij recorder GSP 7 (Hond&Paap) blijkt dat het passeren van RIBs waargenomen kan worden. Naast de visuele opsporing werd het opgenomen geluid ook beluisterd door een akoestisch expert. De verwachte akoestische signatuur (verwachte spectrum hoger door hogere RPMs (aantal omwentelingen per minuut), kortere duur door hogere snelheid en veranderend spectrum en geluidsniveau over de tijd) kwam overeen. Een potentiële vals-positieve identificatie door verwarring met een 'fast-ferry' werd uitgesloten door opvolgende dagen te controleren op regelmatig terugkeren van deze signatuur en het uitsluiten van het regelmatig voorkomen van signaturen van snelle schepen. Figuur 34 laat een voorbeeld zien van het passeren van een RIB, gevolgd door een 'fast-ferry' op 14.10.2011 (beginnend om 16:35 en 16:55).



Figuur 34: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 geproduceerd door een RIB gevolgd door geluid dat waarschijnlijk wordt geproduceerd door een 'fast-ferry' op 14.10.2011 (beginnend om 16:35 en 16:55). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



Figuur 35: Verspreiding van akoestische energie van het geluid dat werd uitgestoten door twee vaartuigen (rode lijn een RIB, blauwe lijn een snel bewegend groter schip, waarschijnlijk een 'fast-ferry') over het gemeten frequentiebereik in vergelijking tot het normale achtergrondgeluid (groene lijn). De x-as beschrijft de frequentie (logaritmische weergave), de y-as het ontvangen niveau (in dB).

De akoestische energie van de signatuur die werd geïdentificeerd als RIB is verhoogd in de hogere frequenties en overtreft dat van een passerend schip (blauwe lijn) met maximaal 25 dB.

Peilen (GSP, Maandelijks, GEOplus)

Deze activiteit is niet geïdentificeerd in de geluidsopnamen.

Stenen plaatsen

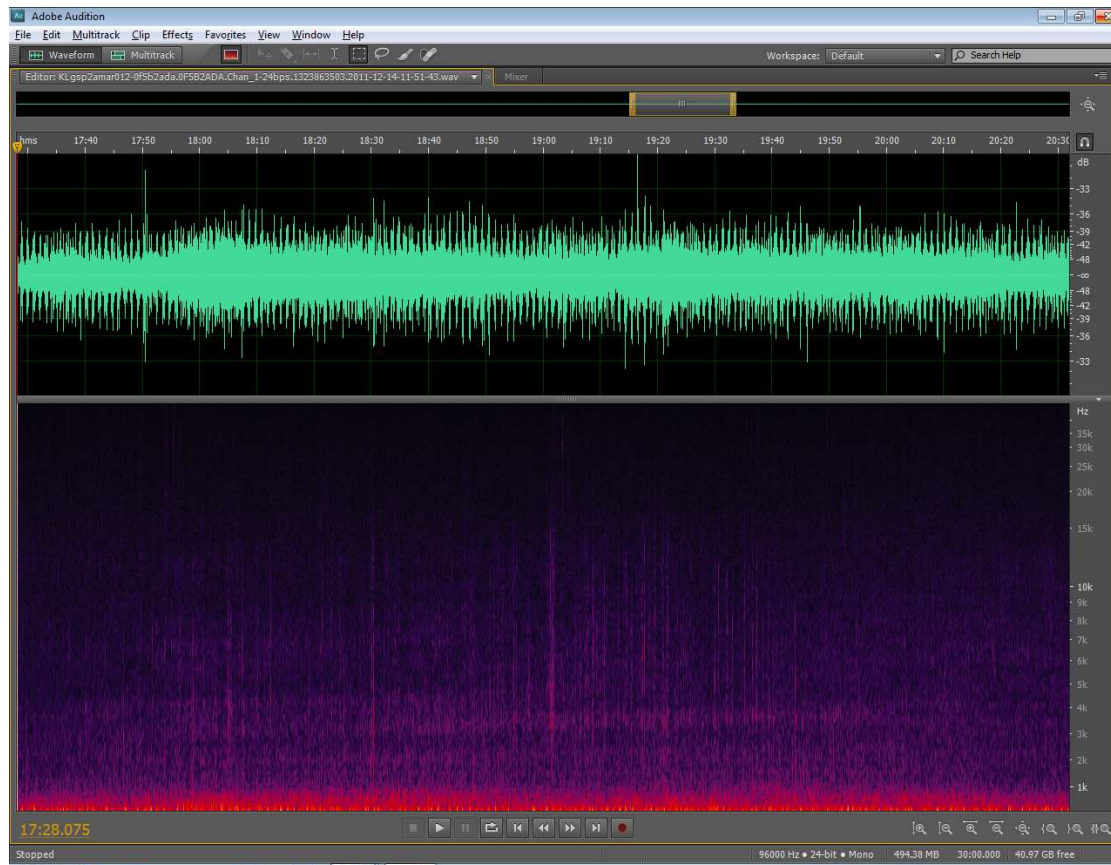
Deze activiteit is niet geïdentificeerd in de geluidsopnamen.

Trilblok buisplanken

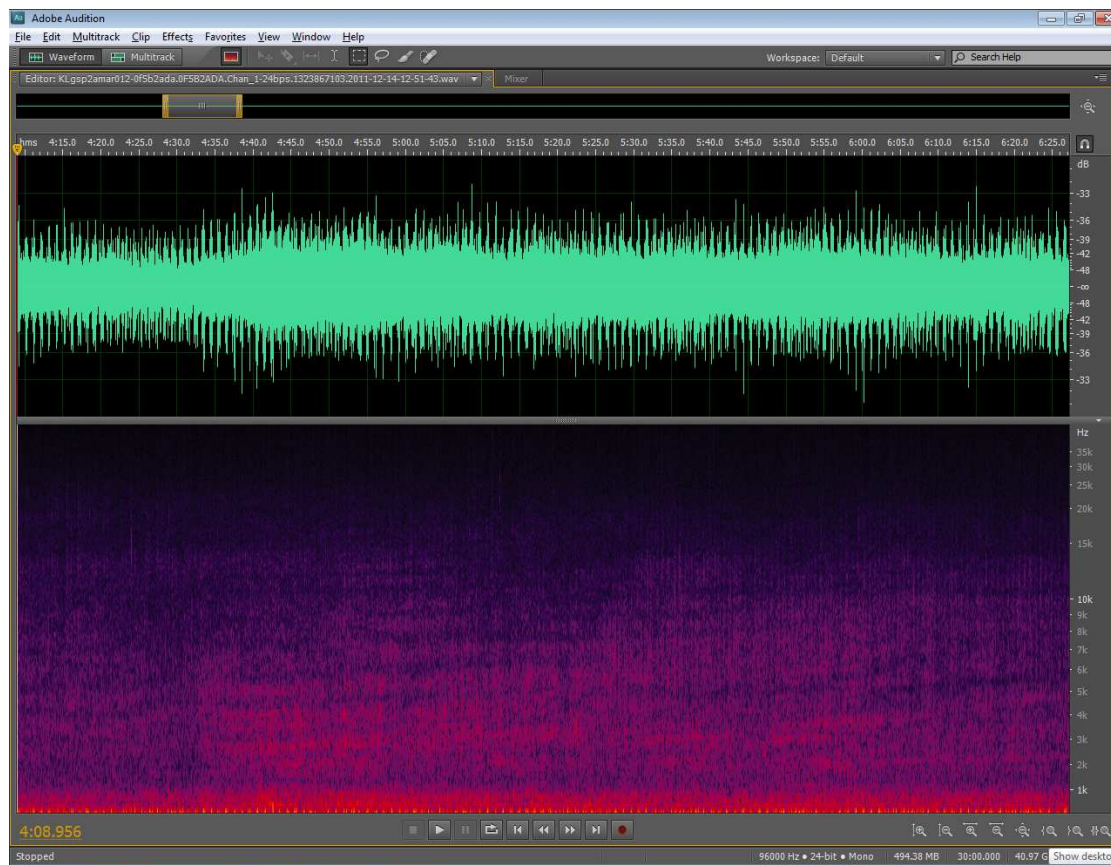
Deze activiteit werd mogelijk geïdentificeerd op 10.10.2011 van 10:45-11:10. Op hetzelfde tijdstip worden buispalen bij de oliesteiger en in de Julianahaven ingetrild, maar doordat deze activiteit grotendeels overlapt met Heien RWE was het onmogelijk om de akoestische signatuur te onderscheiden. Zonder een hogere temporele resolutie voor Trilblok buisplanken kunnen de geluiden niet worden toegeschreven aan deze activiteit.

Het gelijktijdig voorkomen van bouwactiviteiten

De visuele analyses van het geluid lieten zien dat er meerdere gevallen waren waarbij twee bouwgerelateerde activiteiten tegelijkertijd uitgevoerd werden in de Eemshaven. De akoestische signatuur van deze opeengestapelde akoestische uitstoot is weergegeven in figuur 36 en 37. Hierbij gaat het om Heien RWE op positie R9UVY en Damwanden Trillen in opdracht van NUON bij de koelwaterinlaat.



Figuur 36: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 dat waarschijnlijk wordt geproduceerd door Heien en Damwand Trillen dat tegelijkertijd plaatsvond op 14.12.2011 (beginnend om 13:10). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.



Figuur 37: Golfvorm (bovenste grafiek) en spectrogram (onderste grafiek) van geluid bij de locatie van de geluidsrecorder GSP 4 dat waarschijnlijk wordt geproduceerd door Heien en Damwand Trillen dat tegelijkertijd plaatsvond op 14.12.2011 (beginnend om 13:56). De tijd is weergegeven op de x-as, het ontvangen niveau (in dB) op de y-as in de bovenste grafiek en de frequentie in logaritmische schaal (kHz) op de y-as in de onderste grafiek.

Geluidsniveaus

Van de geïdentificeerde geluiden kon de volgende rangorde worden gemaakt, gebaseerd op het ontvangen geluidsniveau boven het omgevingsgeluid dat van elke activiteit werd opgenomen door de recorders.

Tabel 3: Lijst van de verschillende activiteiten en het bijbehorende geluidsniveau boven het omgevingsgeluid.

Activiteit	dB above background noise (maximum detected in this study)
Scheepvaart (algemeen)	50
Fast Ferry	30
RIB	30
Heien	25
Damwanden trillen	20
Baggeren	30

Deze niveaus weerspiegelen niet de eigenlijke geluidsniveaus bij de bron (hoe luid het geluid van een activiteit daadwerkelijk is), maar representeren de relatieve luidheid van deze activiteiten in relatie tot de positie van de geluidsrecorders.

5. Discussie

Scheepvaart

Het waarnemingsbereik van een geluidsrecorder voor geluid hangt in de eerste plaats van het achtergrondgeluid af, maar ook van het geluidsniveau en de positie van de geluidsbron. De geautomatiseerde en de visuele analyses laten zien dat schepen duidelijk als zodanig kunnen worden geïdentificeerd wanneer ze voorbijvaren. Het geluidsniveau hangt af van het type schip, de snelheid en de afstand tot de recorder. Zonder precise informatie met betrekking tot deze parameters is het onmogelijk om het 'detectiebereik' van de recorders voor schepen te definiëren. De geautomatiseerde analyses laten echter zien dat er veel meer schepen geïdentificeerd kunnen worden dan er daadwerkelijk voorbijkomen, met andere woorden dat het aantal schepen overschat wordt door de geautomatiseerde analyse. Het aantal visueel geïdentificeerde schepen is daarentegen waarschijnlijk een onderschatting van het aantal schepen dat de recorder passeert. Omdat dit proefproject is gebaseerd op de hypothese dat zeehonden (en bruinvissen) verstoord worden door onderwatergeluid, is de exacte positie van de recorders essentieel terwijl het type analyse (geautomatiseerd versus visueel) aangepast kan worden en geverifieerd kan worden door AIS-data en analyses van de video van Hond & Paap.

Het type schip kan met enige zekerheid gekarakteriseerd worden op basis van de spectrale energiever spreiding en de duur van het voorbijvaren. In deze context was het mogelijk om de fast-ferry van Emden naar Borkum en bijvoorbeeld RIBs van elkaar te onderscheiden (zie hieronder).

De geluidsniveaus die worden ontvangen door de recorders kunnen het omgevingsgeluidniveau overtreffen met meer dan 70 dB. De duur van het voorbijvaren van een schip en het geluidsniveau dat wordt uitgestoten is langer en hoger wanneer een schip tegen de stroom invaart en korter en lager wanneer met de stroom mee wordt gevaren. Het akoestisch maskerend effect dat wordt veroorzaakt door scheepsgeluid kan in het gehele gemeten frequentiebereik voorkomen. Het vermindert het eerst op de hoge frequenties, of met een toenemende afstand van het schip tot de recorder, of met een over het algemeen lager geluidsniveau. Deze maskerende effecten kunnen het waarnemen en identificeren van andere, stillere geluiden in hetzelfde frequentiebereik negatief beïnvloeden.

Samenvattend kan worden gesteld dat onderwatergeluidopnamen een betrouwbaar middel zijn om scheepsactiviteiten in de Eems te identificeren. De kwantificering is afhankelijk van het gevraagde bereik (afstand) van waarnemingen. Een waardevolle bron van informatie om de kwantificering van de akoestische methode te kalibreren wordt gevormd door de AIS-data. Hetzelfde zou bereikt kunnen worden door de video-opnamen van Hond & Paap te gebruiken. De hoek van de camera kan worden aangepast zo dat alle passerende schepen waargenomen kunnen worden gedurende de dag, zonder de informatie over het aantal zeehonden op de zandbank te verliezen.

Bouwgerelateerde activiteiten

Bouwactiviteiten, zoals Heien, Damwanden Trillen, Baggeren en Verspreiden en RIBs, kunnen waargenomen en geïdentificeerd worden met behulp van de akoestische opnamen. De mate van zekerheid van deze identificaties varieert echter tussen de verschillende geluidsbronnen. Het bewijs voor Heien is onbetwist. De waargenomen variaties in het ontvangen geluidsniveau van de heistoten kunnen ofwel veroorzaakt worden door aanpassingen in de stootenergie (aangepaste instellingen van de hydraulische hamer) ofwel duiden op andere hei-activiteiten die tegelijkertijd plaatsvinden op een andere locatie. Heien RWE was b.v. op de locaties R9UVY en R5UEX duidelijk waarneembaar, maar niet op andere locaties. Baggeren was op twee locaties waarneembaar terwijl deze activiteit werd uitgevoerd: in het Doekegatkanaal en in de Eems. Wanneer van een normale verspreiding en afname van onderwatergeluid wordt uitgegaan, is het waarschijnlijk dat het geluid hier door de baggerwerkzaamheden in de vaargeul van de Eems werd veroorzaakt.

Het Damwanden Trillen is ook met een hoge mate van zekerheid geïdentificeerd. Het tijdstip van de geïdentificeerde activiteit komt met de daarvoor opgegeven periode overeen, maar het probleem is dat de informatie over de periode waarin deze activiteit is uitgevoerd, niet exact is. Het feit dat NUON de techniek gebruikte in direct contact met water (bij een afwatering naar de Eems, niet in de haven) met een direct geluidspad op een locatie niet ver van de recorders, maakt het aannemelijk dat de opgenomen akoestische gebeurtenissen ook daadwerkelijk het Damwanden Trillen representeren. Een gecontroleerde opname van het onderwatergeluid in combinatie met een visuele controle met betrekking tot de aanwezigheid van de activiteit, zou in dit verband absolute zekerheid kunnen geven.

De aanwezigheid van RIBs werd verschillende keren geïdentificeerd. De akoestische signatuur en het moment waarop het geluid werd opgevangen geven aanleiding tot een vrij zekere identificatie van deze activiteit.

Baggeren en Verspreiden in de Eems (in opdracht van de Duitse overheid) en in de Eemshaven (voor GSP) zijn mogelijk geïdentificeerd. In beide gevallen was de akoestische signatuur zichtbaar en akoestisch geverifieerd, maar zonder gecontroleerde akoestische metingen blijft de zekerheid van de identificatie gelimiteerd. Opgrond van de normale akoestische verspreiding van de geluidsgolven is het echter onwaarschijnlijk dat de geluiden uit de haven zich tot de posities van de geluidsloggers hebben kunnen voortplanten. Daarom moet worden aangenomen dat de geïdentificeerde baggeractiviteiten in de Eems zijn uitgevoerd. Er is echter geen overeenstemming met de activiteiten die door de Duitse zijde zijn gemeld.

Het feit dat Peilen (GSP, Maandelijks and GEOplus) niet geïdentificeerd kon worden, moet worden toegeschreven aan de frequentie van de sonars die ver buiten het frequentiebereik van de huidige instellingen van de recorders ligt. Deze instellingen zijn echter bewust gekozen omdat anders – bij een instelling t.b.v. hogere frequenties – de inzet van de noiseloggers aanzienlijk beperkter (ca. 75%) zou zijn geweest. Het verlies aan opnametijd stond in geen verhouding tot het (toen laag ingeschatte) risico op het niet kunnen detecteren van Peilen. Bovendien speelt hier het probleem dat tot nu toe niet kan worden verklaard waarom de zeezoogdieren in reactie op de peilsignalen vermijdingsgedrag vertonen terwijl deze signalen ver buiten hun hoorbereik liggen. Aangenomen moet worden, dat signaal-artefakte hier een rol spelen (side-bands), die laagfrequent zijn en daardoor zowel door de dieren als de noiseloggers (bij de gekozen instellingen) te detecteren zijn.

Stenen plaatsen and Trilblok buisplanken in de Julianahaven en bij de Oliesteiger konden evenmin worden geïdentificeerd. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de beperkte overlap van de opnamen met de informatie over de werkelijke activiteiten. In alle gevallen is het belangrijk om de exacte informatie te hebben van het moment waarop een bepaalde activiteit plaatsvindt. In sommige gevallen was deze informatie met voldoende nauwkeurigheid geleverd. In andere gevallen was de nauwkeurigheid echter niet voldoende (b.v. Trilblok buisplanken) en resulteerde dat in afnemende zekerheid van de identificatie.

De missende identificaties moeten nu op andere wijze verkregen worden. Dat kan door een gecontroleerde opname met een visuele verificatie van de aanwezigheid van de activiteit of door het beschikbaar krijgen van informatie in een voldoende hoge resolutie met betrekking tot de tijdsperiode en locatie van elke activiteit. Daarnaast zou elke activiteit apart moeten worden uitgevoerd om verwarring tussen de activiteiten te voorkomen. Scheepvaart is de enige activiteit die ook geverifieerd en gekwantificeerd kan worden met behulp van AIS-data of video-opnamen die met de camera zijn gemaakt op de zandbank Hond & Paap.

De technische problemen met de recorders hebben er voor gezorgd dat er minder geluidsoptnamen beschikbaar waren voor de analyses in deze studie. Met een grotere dataset zou het misschien mogelijk zijn geweest om meer of alle activiteiten te identificeren. Maar de beperkingen met betrekking tot precieze informatie over de tijdsperiode en locatie van de activiteiten hadden in dat geval een onbetwiste identificatie in sommige gevallen nog steeds verhinderd.

6. Conclusies

Met deze methode is het mogelijk om menselijke activiteiten, zoals scheepvaart op de Eems en bouwactiviteiten op het land, te identificeren. Het belangrijkste doel van dit proef-project is daarmee bereikt.

Door geluidsrecorders op strategische plaatsen te positioneren, zoals in de nabijheid van activiteiten die gemonitord moeten worden of bij belangrijke verblijfplaatsen van zeezoogdieren, is het mogelijk om veranderingen in de aanwezigheid of het gedrag van deze dieren door het onderwatergeluid dat wordt uitgestoten door deze activiteiten, direct te bewijzen of uit te sluiten en zo een doelgerichte waarschuwing te geven. Een voorwaarde is dat de apparatuur perfect werkt. Het verstrekken van informatie over de tijdsperiode en de locatie van de activiteiten in de hoogst mogelijke resolutie blijft noodzakelijk om de potentiële bron van de verstoring onomstotelijk te kunnen identificeren.

Een early-warningsysteem dat volledig is gebaseerd op akoestische detecties (m.b.v. van noiseloggers) is niet voldoende omdat de geluiden van de bouwgerelateerde activiteiten niet altijd voldoende duidelijk te onderscheiden zullen zijn van de geluiden in de omgeving. Bovendien zijn tot op heden geen eenduidige kwantitatieve criteria vast te stellen die aangeven wanneer zeezoogdieren een (vlucht)reactie vertonen. Het vaststellen van drempelwaarden die wanneer ze worden overschreden automatisch een alarm afgeven, is voorlopig alleen voor extreem hoge geluidsniveaus denkbaar. Het fijn tunen van de noiselogger-instellingen is een iteratief proces, waarvoor aanvullende pilot-studies met noiseloggers nodig zijn bij het gelijktijdig observeren van zeezoogdieren. De geluidsopnamen bieden de unieke mogelijkheid om achteraf de oorzaak van een geobserveerde (vlucht)reactie van de dieren te traceren. Idealiter is dat inclusief de waarneming van peilsignalen. Door geluidsrecorders met een hogere meetsnelheid (d.w.z. en grotere frequentiebereik) te gebruiken, zal het mogelijk zijn om ook activiteiten waar te nemen die geluid in hogere frequenties uitstoten, zoals bij voorbeeld sonars en dieptemeters.

Deze studie heeft aangetoond dat eerst gerichte metingen van de geluiden die van de afzonderlijke activiteiten uitgaan, nodig zijn, wil men deze methode grootschalig inzetten als instrument voor het monitoren van de effecten van bouwactiviteiten op zeehonden. Daarmee zou het dan mogelijk zijn alle activiteiten en de akoestische kenmerken ervan onomstotelijk te identificeren. Vervolgens kan deze methode zodanig verder verfijnd worden dat zij als instrument voor de early-warning-functie kan dienen.

7. Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

8. Acroniemen en afkortingen

AMAR	Autonomous Multi-channel Acoustic Recorder (JASCO Applied Sciences)
dB	Decibel
FFT	Fast Fourier transformatie
GB	Gigabyte (1024^3 bytes)
Hz	Hertz, standaard eenheid van frequency, $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
μPa	Micropascal
min	Minuut
pt	Punt
rms	Root-mean-square = Kwadratisch gemiddelde
s	Seconde
SEL	Sound exposure level - niveau van blootstelling (dB re $1 \mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$)
SPL	Sound pressure level -geluidsdrukniveau (dB re $1 \mu\text{Pa}$)

9. Referenties

- Ainslie MA, de Jong CAF, Verboom WC & Blacquièrè G 2008. Concept Rapportage Geluidmetingen Eemshaven. In: Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, Rijswijk.
- Wenz, GM 1962. Acoustic ambient noise in the ocean. Journal of the Acoustical Society of America, 34: 1936-1956.

Verantwoording

Rapport C152.12

Projectnummer: 430.61006.25

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Prof. Han Lindeboom
Directielid Wetenschap

Handtekening:



Datum: 23 Januari 2013

Akkoord: Jakob Asjes
Afdelingshoofd

Handtekening:



Datum: 23 Januari 2013