

PROJECTNUMMER 002.448.40
PROJECTLEIDER Guus Siteur
AUTEUR Symen Veldhuis

CLASSIFICATIE C1 - Publieke Informatie
DATUM 20 juli 2021
STATUS Definitief
REFERENTIE HKN-TTB-06935
PAGINA 1 van 30

Heiplan

Net op zee Hollandse Kust Noord, platforms HNA en HWA



Samenvatting

Dit document presenteert het “heiplan” van de transformator platformen Hollandse Kust Noord Alpha (HNA) en Hollandse Kust West Alpha (HWA).

Dit werkplan is opgesteld om te voldoen aan de eisen gesteld in:

- voorschrift 12, gesteld in de vergunning inzake de Wet natuurbescherming (ref. DGNVLG / 19087688).

Dit werkplan is niet het enige plan dat opgesteld dient te worden; andere plannen dienen voor de vergunning inzake de Waterwet (ref. RWS-2019/13702) ingediend te worden:

- Werkplan aanleg en onderhoud kabels (voorschrift 4);
- Werkplan aanleg en onderhoud platforms (voorschrift 5.4);
- Verlichting en markeringsplan (voorschrift 6);
- Werkplan scheepvaart (voorschrift 7);
- Verwijderingsplan (voorschrift 9);
- Veiligheids- en calamiteitenplan (voorschrift 11);
- Werkplan kabels / verbindingsmoffen strand (voorschrift 13);

Hierbij dient te worden vermeld dat het Verlichting en markeringsplan ook een vereiste is vanuit de vergunning inzake Wet natuurbescherming (Wnb) (ref. DGNVLG / 19087688).

Dit heiplan beschrijft de diverse aspecten rondom het heien van de funderingspalen platformen Hollandse Kust Noord Alpha (HNA) en Hollandse Kust West Alpha (HWA) en met name:

- Uit welke installatie-onderdelen het transformator platform bestaat;
- Welke partijen het werk zullen uitvoeren;
- Welke specialisten betrokken zijn of zullen worden bij de uitvoer;
- Welke “acoustic deterrent devices” toegepast zullen worden;
- Welke heihamer(s) geselecteerd zijn en met welke hei-energie deze toegepast zullen worden;
- Welke “slow & soft start” methodiek gevolgd zal worden;
- Wat het verwachte onderwatergeluid is zonder/met geluidsreducerende maatregelen;
- Welke geluidsreducerende maatregel toegepast zal worden;
- Wat de verwachte hei-energie en hei-duur is;
- Hoe de rapportage naar de betrokken instanties verzorgd zal worden;
- Hoe met bovenstaande aan de relevante (overheids)voorschriften wordt voldaan.

Door ITAP is een geluidstudie en een inventarisatie van geschikte geluidsreducerende maatregelen uitgevoerd. De resultaten daarvan zijn in dit heiplan opgenomen; de ITAP-analyses zijn toegevoegd als bijlage 1.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Inhoudsopgave	3
1. Inleiding	4
2. Vergunning	10
3. Locatie, Tijdsplanning, Beschrijving & Communicatie	12
4. Tijdsplanning	16
5. Heipaal installatie	18
6. Geluidsanalyse	23
7. Geluid mitigerende maatregelen en metingen	24
8. Verificatie vergunning eisen	28
Bijlagen	30

1. Inleiding

1.1 Afkortingen

De volgende afkortingen worden gebruikt in dit plan:

ADD	Acoustic Deterrent Devices
DP2	Dynamic Positioning klasse 2
DP3	Dynamic Positioning klasse 3
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EFI	Joint Venture Engie Fabricom / Iemants
EEZ	Nederlandse exclusieve economische zone
HKN	Project Hollands Kust
HNA	Hollandse Kust Noord Alpha platform
HWA	Hollandse Kust West Alpha platform
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation & Lighthouse Authorities
kV	Kilovolt
LAT	Lowest Astronomical Tide
MSL	Mean Sea Level (= LAT plus ~2 meter)
NOZ	Net op Zee
OHVS	Offshore High Voltage Station
OTS	Offshore Tussen Station
RWS	Rijkswaterstaat
SEL	Sound Exposure Level (single strike)
SER	Sociaal Economische Raad
SODM	Staatstoezicht op de Mijnen
TenneT	TenneT TSO BV
UPS	Niet-onderbreekbare (noodstroom)voeding (Uninterruptible Power Supply)
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984
Wnb	Wet natuurbescherming
WOZ	Wet windenergie op zee
Wtw	Waterwet

1.2 Projectachtergrond

De Nederlandse overheid heeft doelstellingen geformuleerd en in Europees verband afspraken gemaakt over het realiseren van de opwekking van duurzame, hernieuwbare, energie. Onderdeel hiervan is een groot aandeel in windenergie. In het Energieakkoord voor duurzame groei (SER, 2013) is concreet vastgelegd dat er 3.450 MW aan windvermogen op zee gerealiseerd moet worden, bovenop de toen al geplande of gerealiseerd 1.000 MW. De complete 4.450 MW dient operationeel te zijn in 2023. De Wet windenergie op zee (WOZ) is in juli 2015 in werking getreden als wettelijk kader voor het op grote schaal realiseren van Wind op Zee. Hierdoor heeft de overheid de mogelijkheid om kavels uit te geven voor de ontwikkeling van windparken op zee.

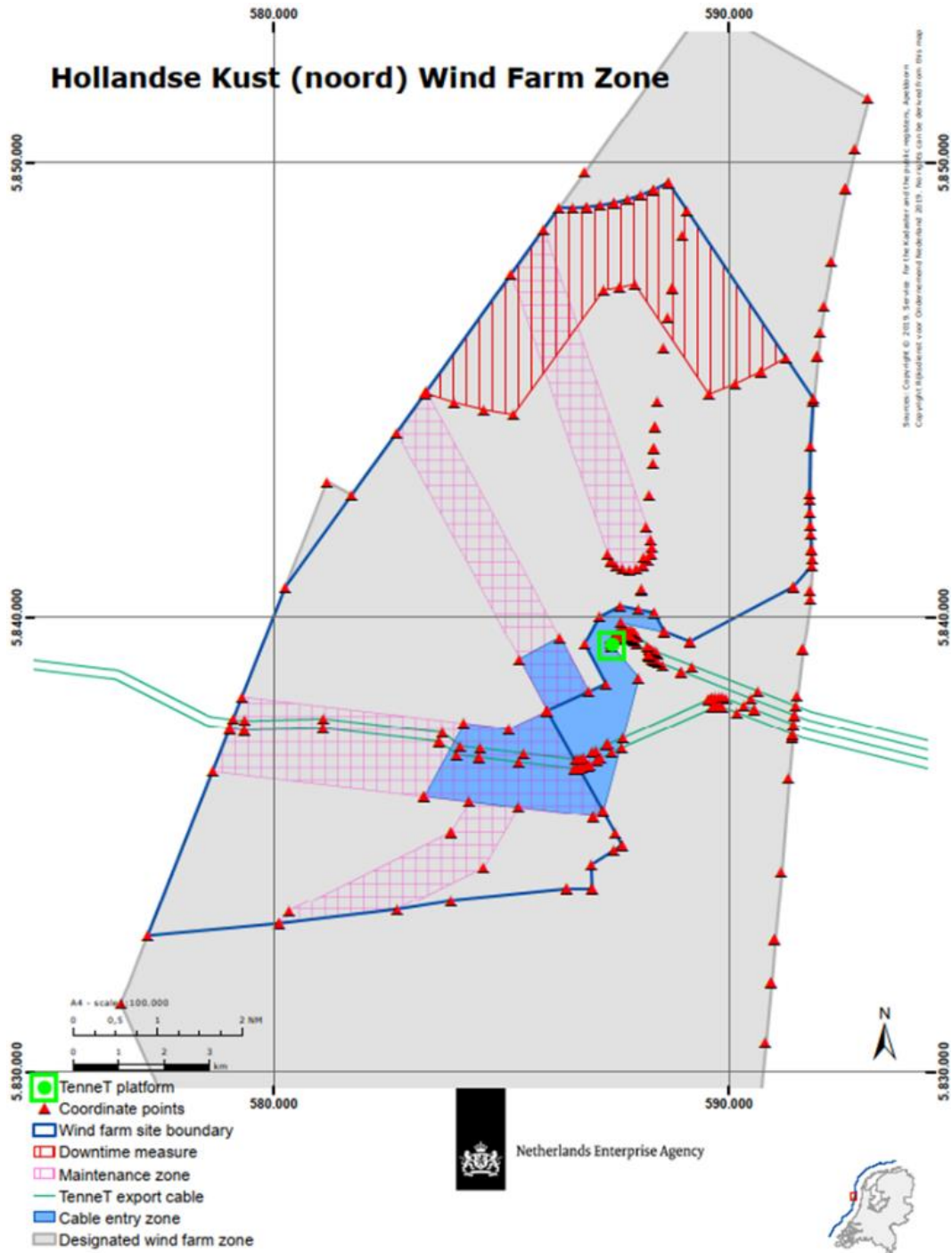
TenneT TSO BV (hierna TenneT) ontwikkelt het net op zee (NOZ): TenneT is als offshore-netbeheerder verantwoordelijk voor de levering van de offshore-netaansluiting in de Nederlandse sector, van waaruit de opgewekte windenergie naar het onshore-net wordt getransporteerd. Hieronder vallen naast de verbindingen voor het transport van elektriciteit van de toekomstige windenergiegebieden ook de bijbehorende planologische besluiten en vergunningsaanvragen. Binnen elke netverbinding is een 700 MW AC offshore-tussenstation (OTS) opgenomen. Dit komt neer op zeven gestandaardiseerde platforms die in drie offshore-gebieden worden aangelegd, te weten: Borssele, Hollandse Kust (Zuid), Hollandse Kust (Noord en West Alpha) en Hollandse Kust West Beta.

Het project waarvoor dit plan is opgesteld heeft betrekking op transformatorplatform Hollandse Kust Noord Alpha en Hollandse Kust West Alpha (afgekort op de identificatiepanelen: HNA en HWA);

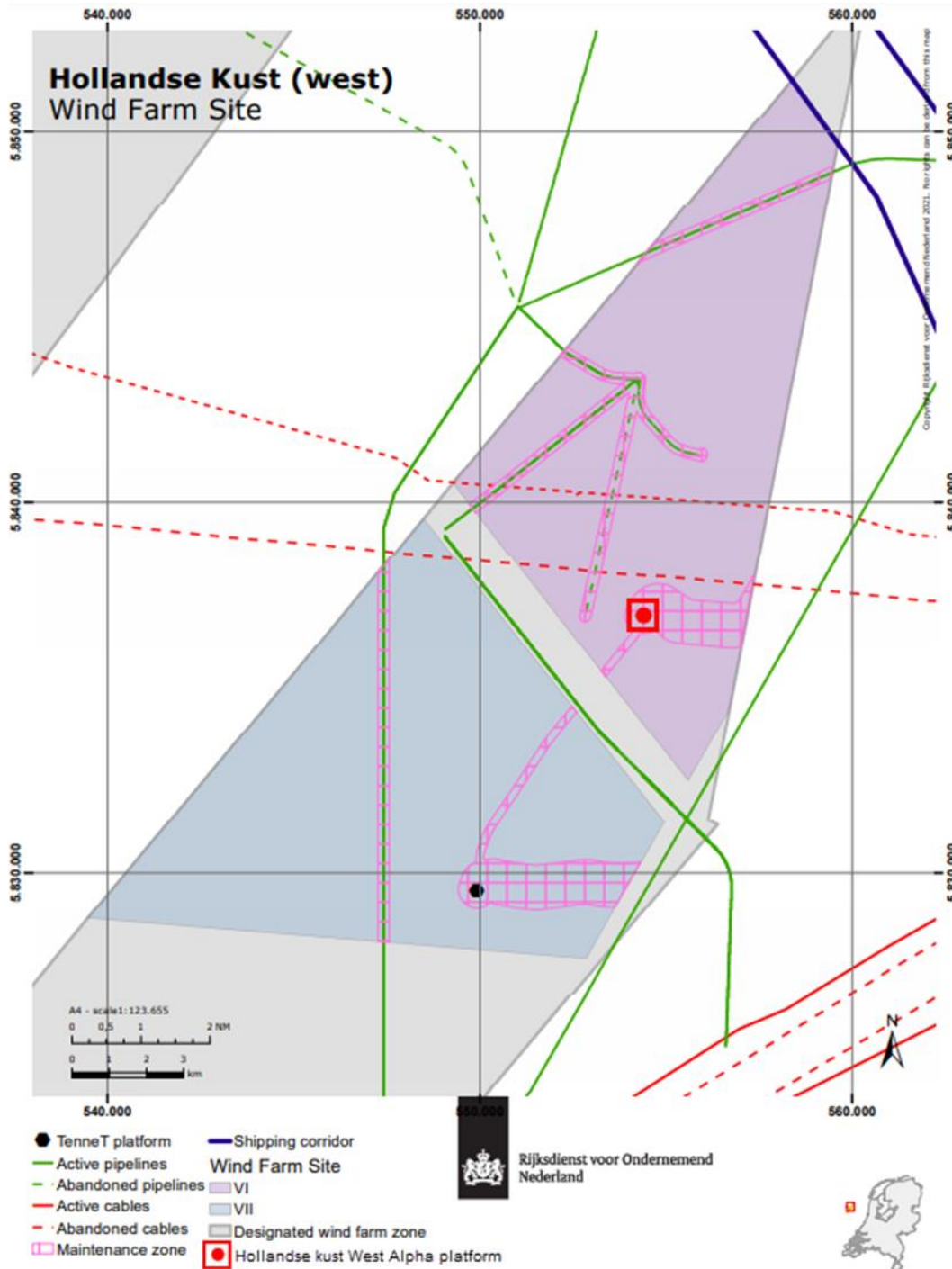
Het net op zee bestaat voor zowel Hollandse Kust Noord als Hollandse Kust West Alpha uit:

- Een offshore platform voor de aansluiting van de windturbines en het transformeren van 66 kV naar 220 kV in windenergiegebied Hollandse Kust (Noord) en een offshore platform in windenergiegebied Hollandse Kust (West Alpha).
- Vier 220 kV-kabelsystemen op zee (offshore) waarvan twee tussen het platform van Hollandse Kust (West Alpha) naar land én twee 220 kV-kabelsystemen op zee (offshore) tussen het platform van Hollandse Kust (Noord) naar land. De vier systemen worden vanaf het platform Hollandse Kust (Noord) gebundeld. Vier ondergrondse 220 kV-kabelsystemen op land (onshore) voor het verdere transport naar een 220/380 kV-transformatorstation.
- Realisatie van een nieuw transformatorstation op land voor het transformeren van 220 kV-wisselstroom naar 380 kV-wisselstroom en 220 kV-compensatie.
- Maximaal vier 380 kV-kabelsystemen op land om de opgewekte stroom bij het bestaande 380 kV-station Beverwijk aan te sluiten op het landelijke hoogspanningsnet, eventueel met bijbehorende installaties zoals blindlastcompensatiespoelen.

TenneT heeft EFI (Joint Venture van Engie Fabricom / Iemants) gecontracteerd voor de engineering, inkoop, constructie en installatie van de OHVS platformen HNA en HWA. De transformatorplatforms zullen hoogspannings-, schakel- en transformatieapparatuur bevatten, evenals hulpfaciliteiten ter ondersteuning van deze hoogspanningsapparatuur.



Figuur 1.2.3 - Positie van platform Hollandse Kust Noord (HNA)



Figuur Positie

Figuur 1.2.4 - Positie van platform Hollandse Kust West Alpha (HWA)

1.3 Doel van dit heiplan

Dit document presenteert het “heiplan” van de transformator platform Hollandse Kust Noord (HNA) en Hollandse Kust West Alpha (HWA).

Dit document is opgesteld om te voldoen aan het voorschrift 12 van de vergunning op grond van de Wet natuurbescherming (ref. DGNVLG / 19087688). Eventuele wijzigingen in het goedgekeurde heiplan worden vooraf ter goedkeuring bij de waterbeheerder ingediend.

Het heiplan is opgesteld voor de constructiefase van beide platformen.

1.4 Informatiebronnen

Bij het maken van dit heiplan zijn de volgende documenten gebruikt:

- Modelling of underwater noise emissions during pile-driving construction work van ITAP GmbH (zie bijlage 1) voor zowel HNA als HWA
- Pile Driving report (HKN-DEO-EG-MST-0019) met daarin de paalspecificatie (zie bijlage 2)
- Gegevensbladen gebruikte apparatuur (zie bijlage 3).
- Pile Driveability Analysis – van DEME Offshore BE NV (HKN-EFI-02086);
- Transportation & Installation Plan – Jacket installation van DEME Offshore BE NV;

Bij het schrijven van dit heiplan is het noodzakelijk de werkzaamheden te beschrijven en de in te zetten Schepen (of andere drijvende installaties) apparatuur vast te leggen. De details zijn nog niet overal bekend. De schepen (of andere drijvende installaties) en apparatuur die in dit heiplan beschreven worden, zijn de schepen (of de scheepstypen) en apparatuur die hoogstwaarschijnlijk ingezet gaan worden. Voor aanvang van de werkzaamheden worden de exacte gegevens en ‘call signs’ doorgegeven en bevestigd. Hierbij is het uitgangspunt dat er gelijkwaardige of betere schepen gebruikt gaan worden.

2. Vergunning

Voor het uitvoeren van het heien van de palen voor het project HNA en HWA is door TenneT een vergunning Wet natuurbescherming aangevraagd. Deze vergunning is verleend door Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit met als referentie DGNVLG / 19087688.

Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit heeft bij het verlenen van de vergunning een aantal voorwaarden ("voorschriften") gesteld, waaronder het opstellen van een Heiplan (voorschrift 12) en een Verlichtingsplan (voorschrift 22).

Dit heiplan wordt ingediend om te voldoen aan de eisen gesteld in voorschriften 12 t.e.m. 19 van de vergunning Wet natuurbescherming:

12. De vergunninghouder stelt een heiplan op en dient dat uiterlijk 8 weken voorafgaand aan de start van de bouw schriftelijk of per e-mail (wetnatuurbescherming@mininv.n1) ter goedkeuring in bij het bevoegd gezag, t.a.v. het Team Natuurvergunningen.
13. De vergunninghouder spant zich in om in een zo kort mogelijk aaneengesloten periode zo min mogelijk onderwatergeluid te produceren.
14. De vergunninghouder onderbouwt in het heiplan welk(e) type(s) afschrikmiddel(len) gebruikt zal of zullen worden, waarbij hij ingaat op de effectiviteit van het of de gekozen type(n).
15. De vergunninghouder maakt gebruik van één of meer op de relevante frequenties afgestelde 'acoustic deterrent device(s)' gedurende een half uur voor het begin van de heiwerkzaamheden alsmede gedurende het heien. De ADD moet een minimaal bereik van 500 meter hebben. De ADD zal aan blijven gedurende de heiwerkzaamheden. De ADD wordt stilgelegd als het heien voor een periode van meer dan 4 uur wordt onderbroken en aan het eind van de werkdag.
16. De heiwerkzaamheden vangen aan met een soft start. De duur en het vermogen van de soft start dient zodanig te zijn dat bruinvissen de gelegenheid hebben om naar een veilige locatie te zwemmen. De vergunninghouder onderbouwt in het heiplan de duur en het vermogen van de soft start.
17. Als gevolg van de bouw van de platforms mag op enig moment het geluidsniveau onder water tijdens het heien de in de onderstaande tabel vermelde geluidsnorm niet overschrijden. De geluidsnorm voor het heien is gelijk aan de normen zoals gebruikt in de vergunning voor Net op Zee Hollandse Kust (zuid).

Geluidsnorm (dB re μ Pa_{2s} SEL1 op 750 meter van de geluidsbron)

Januari tot en met mei	Juni tot en met augustus	September tot en met december
162	167	169

18. Het geluidsniveau dient tijdens het heien door of namens de vergunninghouder continu gemeten te worden. De geluidsmetingen dienen per geheide funderingspaal, binnen uiterlijk twee werkdagen na de afronding van het heien van de betreffende funderingspaal schriftelijk of per e-mail (wetnatuurbescherming@mininv.n1) te worden toegezonden aan het bevoegd gezag, t.a.v. het Team Natuurvergunningen.

19. De werkzaamheden worden uitgevoerd conform het heiplan als bedoeld in voorschrift 12.

Alsook de eisen gesteld in voorschriften j t.e.m. q van de ontheffing Wet natuurbescherming:

- j) U dient een heiplan op te stellen en dat uiterlijk 8 weken voorafgaand aan de start van de werkzaamheden ter goedkeuring aan het bevoegde gezag aan te bieden.
- k) Ten aanzien van het gebruik van een Acoustic Deterrent Device (ADD) geldt aanvullend het volgende: u dient gebruik te maken van één of meer op de relevante frequenties afgestelde 'acoustic deterrent device(s)' gedurende een half uur voor het begin van de heiwerkzaamheden alsmede gedurende het heien. De ADD moet een minimaal bereik van 500 meter hebben. De ADD zal aan blijven gedurende de heiwerkzaamheden. De ADD wordt stilgelegd als het heien voor een periode van meer dan 4 uur wordt onderbroken en aan het eind van de werkdag.
- l) U dient in het heiplan te onderbouwen welk(e) type(s) afschrikmiddel(en) gebruikt zal of zullen worden, waarbij u ingaat op de effectiviteit van het middel en/of de gekozen type(n). U dient uw keuze te baseren op de uitkomst waarbij zo min mogelijk negatieve effecten optreden ten aanzien van de aanwezige beschermde soorten.
- m) De heiwerkzaamheden vangen aan met een soft start. De duur en het vermogen van de soft start dient zodanig te zijn dat de bruinvissen de gelegenheid hebben om naar een veilige locatie te zwemmen. U dient in het heiplan de duur en het vermogen van de soft start nader te onderbouwen.
- n) Heiwerkzaamheden dienen in maximaal 48 uur per platform uitgevoerd te worden in een aaneensluitende periode. Wanneer dit onderbouwd door weersomstandigheden niet haalbaar is, dienen de werkzaamheden te worden stilgelegd tot een later tijdstip waarop de werkzaamheden kunnen worden hervat en in een zo kort mogelijke periode (binnen 48 uur) worden afgerond.
- o) U dient de geluidsproductie zo ver mogelijk te reduceren; de genoemde normen, zoals opgenomen onder voorschrift p, gelden hierbij als maximumwaarde.
- p) Als gevolg van de bouw van de platforms mag op enig moment het geluidsniveau onder water tijdens het heien de in de onderstaande tabel vermelde geluidsnorm niet overschrijden. De geluidsnorm voor het heien is gelijk aan de normen zoals gebruikt in de vergunning voor Net op Zee Hollandse Kust (zuid).

Geluidsnorm (dB re $\mu\text{Pa}2\text{s SEL1}$ op 750 meter van de geluidsbron)

Januari tot en met mei	Juni tot en met augustus	September tot en met december
162	167	169

- q) Het geluidsniveau dient tijdens het heien door of namens u continu gemeten te worden. Het is hierbij uitdrukkelijk niet toegestaan om de vastgestelde geluidsniveaus te overschrijden. Een overschrijding van de geluidsniveaus dient onmiddellijk gemeld te worden bij het bevoegd gezag.

De uitvoering van de bouw- en opstartwerkzaamheden van de platformen HNA en HWA is verspreid over de jaren 2021 t/m 2023. Daarna volgt een operationele periode van ongeveer 30 jaar. Dit heiplan beschrijft de werkzaamheden voor het heien van de palen van beide platforms gedurende de constructieperiode.

3. Locatie, Tijdsplanning, Beschrijving & Communicatie

3.1 Locatie & Tijdsplanning

De geografische posities van de twee transformatorplatforms zijn (zie ook figuur 1.2.2 tot en met 1.2.6):

Hollandse Kust Noord;

WGS84 4° 17,61067' 52° 41,86635' (Oost, Noord)

ETRS89 zone 31 Noord 587410 Easting 5839436 Northing

De waterdiepte op bovengenoemde geografische posities is ongeveer 24m LAT

De werkzaamheden van de jacketinstallatie voor Hollandse Kust Noord, en derhalve ook van de heiwerkzaamheden, zijn gepland in de periode September t/m uiterlijk December 2021.

De werkzaamheden van de topside installatie voor Hollandse Kust Noord, is gepland van Mei t/m Juli 2022.

Hollandse Kust West Alpha;

WGS84 E 3°48'16.549" N 52°40'47.13"

ETRS89 zone 31 Noord 554395 Easting 5836951 Northing

De waterdiepte op bovengenoemde geografische posities is ongeveer 28m LAT

De werkzaamheden van de jacketinstallatie voor Hollandse Kust West Alpha, en derhalve ook van de heiwerkzaamheden, zijn gepland in de periode van Mei t/m Juli 2022.

De werkzaamheden van de topside installatie voor Hollandse Kust West Alpha zijn gepland van Mei t/m Juli 2023.

3.2 Platform beschrijving

Elk van de transformator platforms bestaat uit de volgende 4 hoofdonderdelen, zoals aangeduid in figuur 3.2. Dit figuur is een animatie van het Borssele platform. Er is geen animatie beschikbaar voor HNA en HWA. De onderdelen als hieronder omschreven zijn vergelijkbaar. Het grootste verschil is dat er slechts 4 heipalen worden gebruikt in plaats van 6.

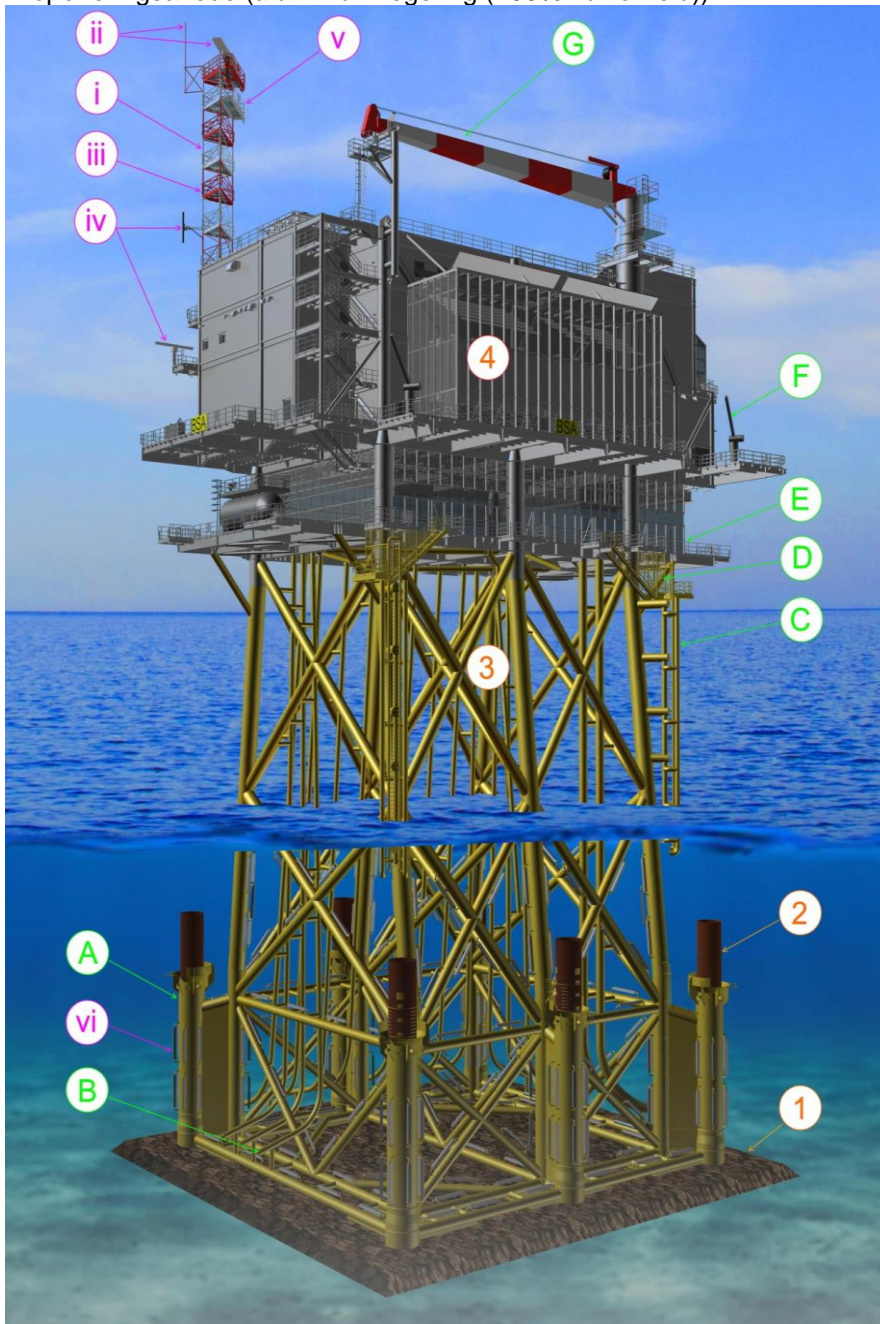
- 1 erosiebescherming (scour protection);
- 2 fundering (4 heipalen);
- 3 onderbouw (jacket);
- 4 bovenbouw (topside).

In figuur 3.2 zijn ook een aantal onderdelen van het platform aangeduid, die in de loop van dit werkplan ter sprake komen:

- A. geleider voor heipaal (pile-sleeve);
- B. geleider voor binnentrekken van kabels (J-tube);
- C. zeeladder (in afwijking van de afbeelding zullen er bij de zeeladder rustmomenten gecreëerd worden);
- D. toegangshek;
- E. kabeldek;
- F. kleine hulpkraan;
- G. platformkraan.

In figuur 3.2 zijn tevens een aantal onderdelen van het platform aangeduid ter verduidelijking van de opvolging van de “overige bepalingen” (voorschrift 32 van de Watetwetvergunning):

- i. antennemast;
- ii. nautische radar (met bliksemafleider);
- iii. diverse antennes, waaronder voor een AIS basisstation (kustwacht);
- iv. vogel detectie radar (horizontaal/verticaal);
- v. wind snelheid/richting meetapparatuur (KNMI);
- vi. opofferingsanode (aluminium legering (>95% zuiverheid)).



Figuur 3.2. - Opbouw van het standaard TenneT transformatorplatform (deze illustratie is niet van platform HNA of HWA, welke beide 4 heipalen hebben, maar dient ter illustratie van de onderdelen)

3.3 Communicatie

3.3.1 Bevoegd gezag & belanghebbenden

De volgende (scheepvaart gerelateerde) autoriteiten zijn direct of indirect betrokken bij de aanleg van net op zee Hollandse Kust Noord en Hollandse Kust West Alpha:

- **Ministerie LNV** (als bevoegd gezag voor de Wet Natuurbeschermingsvergunning en de ontheffing in het kader van de Wet natuurbescherming)
- **Rijkswaterstaat (RWS)** (namens Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat als bevoegd gezag voor de watervergunning en de werkplannen);
- **Kustwacht** (als uitvoerende instantie namens RWS, verantwoordelijk voor nautisch beheer Noordzee);
- **Staatstoezicht op de Mijnen** (vanuit Arboregelgeving aangewezen toezichthouder voor offshore elektrische infrastructuur geïnstalleerd op de zeebodem in de Nederlandse exclusieve economische zone).

Met Rijkswaterstaat (RWS) vindt reeds op regelmatige basis overleg plaats i.v.m. de voorschriften die opgenomen zijn in de Watervergunning.

De volgende belanghebbenden zijn direct of indirect betrokken bij de aanleg van het net op zee Hollandse Kust Noord en Hollandse Kust West Alpha:

- **Marine operatie centrale (MOC)** van TenneT;
- **'Windpark Crosswind'** (aanleg van de windparken in de kavels van het windenergiegebied Hollandse Kust Noord)
- **'Windpark exploitant HKW'** (aanleg van de windparken in de kavels van het windenergiegebied Hollandse Kust West)

Vanwege de aansluiting van de kabels op de transformatorplatforms is er reeds, op een regelmatige basis, overleg tussen TenneT en de belanghebbende partijen in de windenergiegebieden. Hierbij worden naast technische zaken ook voortgang en tijdsplanning besproken.

De platform-installatieactiviteiten vinden in principe plaats in de 500 meter veiligheidszone rondom het platform. Door deze 500 meter veiligheidszone rondom de individuele platforms en rondom de kavels met windturbines, is overleg in principe alleen nodig met het MOC van TenneT als men in een andere veiligheidszone werkzaamheden dient uit te voeren.

De platforms zullen alleen operationeel zijn conform het goedgekeurde verlichtingsplan. Eventuele wijzigingen in het goedgekeurde verlichtingsplan worden vooraf ter goedkeuring voorgelegd aan de waterbeheerder en bevoegd gezag voor de Wnb-vergunning en -ontheffing.

3.3.2 Voor aanvang werkzaamheden

Voor aanvang van de werkzaamheden, zal door TenneT een startoverleg worden georganiseerd met RWS en de Kustwacht. Op verzoek zullen andere belanghebbende partijen in de gelegenheid gesteld worden dit startoverleg bij te wonen. Dit startoverleg zal een gecombineerd overleg zijn, waarin zowel het 'werkplan aanleg en onderhoudswerkzaamheden platforms', het 'werkplan scheepvaart' en het 'calamiteitenplan' besproken wordt.

Tijdens dit overleg kunnen eventuele aanvullende veiligheidsvoorwaarden (bijvoorbeeld de veiligheid van de werken zelf, alsmede het omringende scheepvaartverkeer), welke door Kustwacht noodzakelijk geacht worden, besproken worden.

Aangezien de platformen buiten de 12 nautische mijl zones liggen, is de port of Amsterdam niet betrokken in deze discussies, tenzij anders aangegeven door de Kustwacht.

Het uiteindelijke ontwerp van de platforms wordt uiterlijk 4 weken voordat de aanlegwerkzaamheden van de platforms starten toegezonden aan de waterbeheerder. Uiterlijk 14 dagen voor de aanvang van de werkzaamheden meldt de vergunninghouder dit schriftelijke of op elektronische wijze aan in ieder geval de Kustwacht, met een afschrift aan de handhavingsambtenaar en de Dienst der hydrografie (Watervergunning, Voorschrift 7, lid 6). Deze melding bevat minimaal:

- een duidelijke omschrijving van de plaats der werkzaamheden;
- de aard, de tijdsduur en omvang der werkzaamheden (door middel van een werkplan en tijdschema);
- het in te zetten materieel; de door de vaartuigen gevoerde seinen en/of verlichting en de naam van alle in te zetten werkvaartuigen/platforms, inclusief 'callsign' en contact details;
- de dag waarop de werkzaamheden zullen beginnen;
- de voor de vergunninghouder werkzame contactpersoon;
- een beschrijving van de in het belang van de scheepvaart te nemen maatregelen.

Eventuele wijzigingen ten opzichte van het goedgekeurde werkplan worden vooraf ter goedkeuring ingediend bij de waterbeheerder.

3.3.3 Tijdens werkzaamheden

Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden (installatie, scheepsbewegingen etc.) zullen de Kustwacht, en de handhavingsambtenaar wekelijks (of binnen een andere termijn die te zijner tijd met de Kustwacht wordt afgesproken) per e-mail geïnformeerd worden over de voortgang van de werkzaamheden (Watervergunning, voorschrift 7, lid 9). Hierbij worden vermeld:

- de werkzaamheden van de afgelopen week;
- de voorgenomen werkzaamheden van de komende week (bijgewerkte) planning);
- de toekomstige positie van de tewerkstelling van de diverse vaartuigen;

In combinatie met, of ter aanvulling op bovenstaande melding, wordt wekelijks (of binnen een andere termijn die te zijner tijd met de Kustwacht wordt afgesproken) een actueel 'overzicht bestemmingsverkeer' gestuurd naar het Kustwachtcentrum (CCC), met vaartuigen met toestemming tot het betreden van de 500 meter veiligheidszone. TenneT ziet erop toe dat dit overzicht afgestemd en gecombineerd wordt met de scheepvaartbewegingen van Crosswind voor de kavels in windenergiegebied Hollandse Kust (Noord) alsmede met de operator van windmolenpark HKW.

Tijdens de werkzaamheden zal EFI dagelijks een situatierapport aan de Kustwacht opsturen. In dit situatierapport wordt ten minste aangegeven welke schepen op die dag bij het werk betrokken zijn naast alle overige details die door de Kustwacht gewenst zijn, volgens de eisen van de Kustwacht en RWS.

De vaartuigen waarmee de werkzaamheden worden uitgevoerd melden zich bij het Kustwachtcentrum bij daadwerkelijke aanvang van de werkzaamheden. Wanneer de aanvang van de werkzaamheden niet op het aangegeven tijdstip kan plaatsvinden, meldt TenneT, of de uitvoerend (onder)aannemer dit zo spoedig mogelijk bij de handhavingsambtenaar en de Kustwacht.

Binnen 24 uur nadat de werkzaamheden zijn beëindigd, meldt de vergunninghouder of het vaartuig waarmee de werkzaamheden zijn uitgevoerd dit schriftelijk (of per e-mail) aan de Kustwacht en de handhavingsambtenaar.

Het zou kunnen dat tijdens de uitvoering van de werkzaamheden voorwerpen, sporen of overblijfselen worden aangetroffen welke redelijkerwijs vermoed van historisch, oudheidkundig of wetenschappelijk belang zijn. In dat geval wordt de vindplaats gemarkeerd en aan directeur van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Afdeling Strategie en Internationaal gemeld. Meldingen worden ook aan het Kustwachtcentrum, de Dienst der Hydrografie en de Waterbeheerder worden doorgegeven. De vergunninghouder neemt maatregelen om verdere aantasting van aanwezige dan wel aangetroffen objecten zoveel mogelijk te voorkomen. De waterbeheerder kan aanvullende maatregelen voorschrijven, waaronder het treffen van maatregelen tot behoud van archeologische waarden of het doen van een opgraving of het archeologisch begeleiden van de werkzaamheden. Tijdens de werkzaamheden wordt het boekje "Herkennen van archeologische vondsten uit waterbodems en hoe daar mee om te gaan" gevolgd. Hier wordt overeenkomstig naar gehandeld.

4. Tijdsplanning

Het aansluiten, testen en in werking stellen van platform HNA zal uiterlijk 31 December 2022 gereed zijn. Voor platform HWA zal dit uiterlijk 31 December 2023 zijn.

De exacte tijdsplanning is nog niet voor alle activiteiten bekend. Wanneer aanvullende informatie beschikbaar is, zal deze tijdig aan de beheerder en het bevoegd gezag doorgegeven worden. Het tijdstip waarop de vergunde activiteit daadwerkelijk wordt gestart, wordt minimaal twee weken voor de aanvang ervan gemeld aan bevoegd gezag. Zodra de werkzaamheden met betrekking tot de vergunde activiteit feitelijk zijn beëindigd, wordt dit uiterlijk binnen een week bij het bevoegd gezag gemeld overeenkomstig

voorschrift 10 van de Wet natuurbescherming vergunning.

De verwachte perioden van de werkzaamheden voor platform HNA zijn als volgt:

Activiteit ¹	Startdatum	Einddatum	Looptijd
NGE / UXO-onderzoek	Maart 2021	Juni 2021	14 dagen
Aanbrengen erosiebescherming (scour protection)	Juni – September 2021	Juni – September 2021	7 dagen
Installatie onderzijde: fundering (heipalen) en onderbouw (jacket) inclusief grouten	September – November 2021	September – December 2021	6 dagen (exclusief weersverlet)
Installatie bovenzijde (topside)	Mei – Juli 2022	Mei – Juli 2022	1 dag (exclusief weersverlet)
Bedrijfstelling van platform (inclusief verbinden en testen)	Augustus 2022	December 2022	

De verwachte perioden van de werkzaamheden voor platform HWA zijn als volgt:

Activiteit ¹	Startdatum	Einddatum	Looptijd
NGE / UXO-onderzoek	Maart 2021	Juni 2021	14 dagen
Aanbrengen erosiebescherming (scour protection)	Augustus 2021 – Mei 2022	Augustus 2021 – Mei 2022	7 dagen
Installatie onderzijde: fundering (heipalen) en onderbouw (jacket)	Mei 2022 – Juli 2022	Mei 2022 – Juli 2022	6 dagen (exclusief weersverlet)
Installatie bovenzijde (topside)	Mei 2023– Juli 2023	Mei 2023– Juli 2023	1 dag (exclusief weersverlet)
Bedrijfstelling van platform (inclusief verbinden en testen)	Augustus 2023	December 2023	

¹ De installatieperiodes zijn onderhevig aan verandering en worden nog nader afgestemd. Eventuele wijzigingen zullen, zodra deze definitief zijn, worden doorgegeven aan de relevante betrokken autoriteiten.

5. Heipaal installatie

5.1 Inleiding

Door het gewicht en de grootte van de onderbouw (jacket) kunnen alleen speciale kraanschepen de onderbouw hijsen en plaatsen. De onderbouw van Hollandse Kust Noord zal in principe gehesen en geplaatst worden door het HLV-kraanschip Gulliver (Figuur 5.1.1 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**), een kraanschip van Scaldis. Wanneer het kraanschip onverwacht niet in te zetten is, zal een vergelijkbaar ander kraanschip gebruikt worden. In principe wordt de Gulliver ingezet voor het plaatsen van de heipalen in de geleiders van de onderbouw en het wegheien van de heipalen alsmede het grouten. Er kan ook ander materieel worden ingezet voor het plaatsen en heien van de heipalen (zoals een Jack Up Vessel) en/of grouten (zoals een Jack Up Vessel of offshore constructieschip/bevoorradingsschip). De werkwijze voor het heien van het alternatieve materieel is in grote lijnen gelijkwaardig als van een kraanschip, significante verschillen zullen in het vervolg van de tekst worden aangegeven.

De onderbouw en de heipalen van Hollandse Kust West Alpha zal in principe gehesen geplaatst, geheid en geïnstalleerd worden door het offshore installatie schip Orion (Figuur 5.1.2 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**), een kraanschip van DEME, of een vergelijkbaar ander kraanschip wanneer ze onverwacht niet in te zetten is. Ook hier is er de mogelijkheid om ander materiaal in te zetten voor delen van de scope.

Beide kraanschepen zijn zeewaardig en beschikken over een dynamisch positioneersysteem, waarbij de Gulliver over een DP2 systeem beschikt en de Orion over een DP3 systeem. Daarnaast beschikken beide schepen over een ankersysteem. Het werkgebied van beide schepen strekt zich uit over de gehele wereld.



Figuur 5.1.1: Offshore DP2 Heavy lift vessel Gulliver



Figuur 5.1.2: Multipurpose offshore DP3 heavy lift vessel Orion

5.2 Werkmethode

De volgende algemene werkmethode zal aangehouden worden bij het heien van de heipalen:

- 1) Aansteken van geluid mitigerend materiaal (hoofdstuk 7)
- 2) Hijskabels vastmaken aan de heihamer
- 3) Lift de heihamer op de follower;
- 4) Connecteer de heihamer aan de follower;
- 5) Heihamer positioneren bovenop één van de heipalen;
- 6) Finale check van het geluid mitigerend materiaal;
- 7) Start de slow & soft-start procedure waarbij de hamer op minimale energie slaat voor minstens 10 minuten.
- 8) Hei de 4 palen tot de gewenste diepte. In deze stap zal de hamer energie aangepast worden afhankelijk van de grond condities en het gedrag van de paal;
- 9) Ophijsen van de heihamer + follower combinatie;
- 10) Losmaken van de follower die verbonden is aan de hamer;

Na het heien steekt de paal maar een gelimiteerde afstand uit de onderbouw. Om de palen op diepte te kunnen heien is er een tussenstuk nodig tussen de paal en de hamer genaamd de 'follower'. Deze follower kan in de haven of op zee geconnecteerd worden aan de hamer om beiden als één geheel op te tillen en te plaatsen op de paal (zoals in bovenstaande procedure beschreven staat). Een andere optie is dat de follower en hamer elk apart op de paal gehesen worden.

De volgorde van installeren zoals hierboven beschreven gaat uit van de (ideale) situatie waarin alle 4 de heipalen in één keer in de onderbouw (jacket) geplaatst worden om vervolgens, door middel van de hydraulische heihamer, tot de gewenste penetratie geheid worden. Deze methodiek kan veranderen ten gevolge van (weer)condities op locatie. Bij ongewenste weersomstandigheden worden de palen apart of in kleinere groepen geïnstalleerd en geheid. Uit technisch oogpunt is deze handelingswijze identiek, echter de totale uitvoeringstijd zal langer zijn.

Voor het controleren van en assisteren bij de werkzaamheden onderwater, waaronder visualisatie geven van de juiste heidiepte, wordt gebruik gemaakt van een observatie onderwaterrobot (ROV = Remote Operated Vehicle). Er zijn verschillende ROV's beschikbaar. De observatie ROV behoort tot de uitrusting van het installatieschip. De ROV is via kabels verbonden met het installatieschip en zal ook vanaf daar bestuurd worden.

5.3 Paalspecificaties

Het HNA platform heeft 4 identieke heipalen met elk een buitendiameter van 2.438 m (96 inch) en een lengte van 53.2 m. Deze worden over een lengte van 38 meter in de grond geheid. De heipaalktekening is toegevoegd als bijlage 2.

Het HWA platform heeft 4 heipalen met elk een buitendiameter van 2.438 m (96 inch). De lengte en de grondpenetratie is voor elke paal verschillend:

Paallocatie	Paallengte [m]	Grondpenetratie [m]
A1	68.9	45.5
A3	85.4	62.0
C1	59.4	36.0
C3	52.4	29.0

Merk op dat de bovenvermelde afmetingen kunnen veranderen sinds het ontwerp nog niet gefinaliseerd is.

5.4 Heihamer

Voor het heien maakt men gebruik van speciaal ontwikkelde heihamers zoals:

- 1) S800 (maximaal 800 kJ)
- 2) S1200 (maximaal 1200 kJ)
- 3) S1400 (maximaal 1400 kJ)
- 4) MHU1900S (maximaal 1900 kJ)

Gegevensbladen voor de S800 en MHU1900S hamers zijn toegevoegd in bijlage 3.

5.5 Haalbaarheidsstudie

Voor het hei-proces is een "pile driveability analysis" (haalbaarheidsstudie) uitgevoerd voor zowel voor HNA als HWA. Deze studie laat zien dat de maximaal benodigde hei-energie naar verwachting 760 kJ is voor HNA en 1140kJ voor HWA. Indien de finale haalbaarheidsstudie op HWA aangeeft dat een hogere energie nodig is, zal er een update van dit heiplan worden voorgelegd ter goedkeuring.

Na de "slow & soft-start" periode (zie paragraaf 7.3) zal de hei-energie geleidelijk toenemen tot maximaal de maximale hei-energie van de specifieke hamer.

In de ITAP-studies (zie bijlage 1) zijn bij de effectberekeningen uitgegaan van de maximale hei-energie.

De heiwerkzaamheden zullen in maximaal 48 uur per platform uitgevoerd worden in een aaneengesloten periode. Wanneer dit onderbouwd door (weers)omstandigheden niet haalbaar is, dienen de werkzaamheden te worden stilgelegd tot een later tijdstip waarop de werkzaamheden kunnen worden hervat.

Indien met de maximale hei-energie de paal niet meer verder penetreert is een 'refusal' opgetreden. Dit is een situatie waarbij het heien tot stilstand komt door een onverwacht hoge grondweerstand. Een 'refusal' kan worden voorkomen door de hei-energie tijdelijk te verhogen om de optredende (extra) grondweerstand te overwinnen. Om deze reden kan het noodzakelijk zijn om tijdelijk een hogere hei-energie te gebruiken dan de bovenvermelde maximale hei-energie. Indien de gebruikte heihamer deze hogere hei-energie niet kan

leveren, zal een andere hei-hamer gemobiliseerd en gebruikt worden. Een 'refusal' wordt echter onwaarschijnlijk geacht omdat op de plek van elke heipaal aanvullend grondonderzoek is verricht. Mocht een 'refusal' toch voorkomen dan is het onwaarschijnlijk dat dit zich tijdens de eerste fase van het heien voordoet (relatief zachte zandgrond). Hierdoor zullen de zeezoogdieren tijdens het verlaten van het gebied in deze hei-fase niet plotseling aan een veel hoger energieniveau worden blootgesteld.

Mochten er tijdens de uitvoering, ondanks alle voorzorgmaatregelen, indicaties zijn dat de toegestane geluidsnorm overschreden dreigt te worden, dan zal de maximale hei-energie beperkt worden teneinde binnen de geluidsnorm te blijven. Als deze situatie zich voor doet zal het aantal heiklappen en dus de heiduur toenemen.

6. Geluidsanalyse

ITAP heeft op basis van de heikbaarheidsstudie (pile driveability analysis) geanalyseerd of de te verwachten geluidsniveaus, bij uitvoering van de geplande mitigerende maatregelen, binnen de gestelde geluidsnormen blijven voor zowel het HNA als HWA platform.

In die studie is met behulp van het in-house ITAP GMBH empirisch voorspellingsmodel allereerst uitgerekend wat de te verwachten SEL (Sound Exposure Level single strike) op een afstand van 750 meter van de paal is wanneer wordt geheid zonder mitigerende maatregelen. Vervolgens is op basis van door ITAP en vergelijkbare instanties gepubliceerde informatie door ITAP berekend welke reductie van de SEL behaald kan worden met verschillende beschikbare mitigerende maatregelen.

Zonder enige vorm van mitigerende maatregelen wordt door ITAP een SEL van 170 dB re $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ berekend voor HNA wanneer er een hei-energie van 760 kJ gebruikt wordt. Dit komt overeen met de maximale energie van de S800 hamer. Dit is 1dB hoger dan wat is toegelaten volgens de vergunning voor uitvoeringsperiode September – December (169dB).

Voor HWA de SEL voor een energie van 1140 kJ is 172 dB re $\mu\text{Pa}^2\text{s}$. Dit komt overeen met de maximale energie van een S1200 hamer. Dit is 10dB hoger dan wat is toegelaten volgens de vergunning voor uitvoeringsperiode Januari – Mei (162dB) en 5dB hoger dan de limiet voor uitvoeringsperiode Juni - Augustus.

Er bestaan verschillende geluidsmitigerende maatregelen waarbij twee opties aangehaald worden in het ITAP rapport en de verwachte reductie is berekend:

- Enkel groot bubbelgordijn: reductie $\geq 11\text{dB}$.
- Grout annulus bubbelgordijn: reductie tussen 2 en 3dB.

Voor HNA (ongemitigeerd 170dB, limiet 169dB) zal een enkel groot bubbelgordijn worden toegepast wat resulteert in een theoretisch geluidsniveau onder de limiet ($\leq 159\text{dB}$).

Voor HWA (ongemitigeerd 172dB, limiet 162/165dB) zal eveneens een enkel groot bubbelgordijn worden toegepast om het geluidsniveau onder de limiet ($\leq 159\text{dB}$) te brengen.

De uitkomsten van de ITAP-analyses zijn opgenomen in bijlage 1.

7. Geluid mitigerende maatregelen en metingen

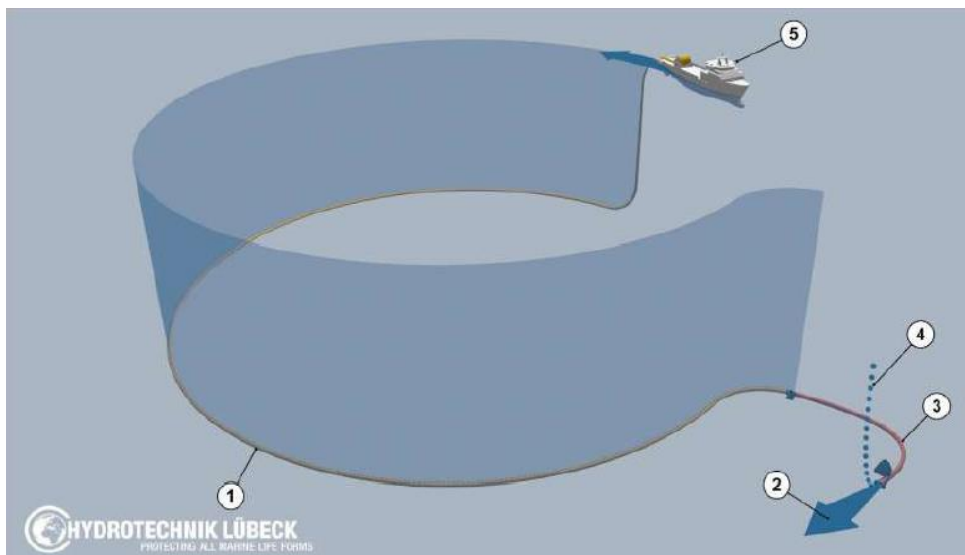
Tijdens het heien kunnen de geluid gerelateerde activiteiten opgedeeld worden in vier delen:

1. Geluidsmitigatie: het beperken van de geluidsuitstraling;
2. Acoustic deterrent devices (ADDs)
3. Slow & soft-start procedure: hierdoor worden de zeezoogdieren verdreven om permanente verhoging van de gehoordrempel (PTS) te voorkomen en krijgen ze voldoende tijd om het gebied te verlaten;
4. Geluidsmeting: het meten van de geluidsproductie.

7.1 Geluid mitigerende maatregelen

Zoals besproken in hoofdstuk 6 zijn geluid mitigerende maatregelen nodig om het maximale geluidsniveau op 750m onder de limieten te houden zoals beschreven in voorschrift 17. Er is gekozen om een enkel groot bubbelgordijn toe te passen op zowel HKN als HWA.

Het enkel groot bubbelgordijn bestaat uit een geperforeerd slang die rondom de installatiezone op de zeebodem geplaatst wordt. Deze slang wordt aangesloten op luchtcompressoren. Door lucht op hoge druk te pompen door de slang zal de lucht door de geperforeerde gaten stromen. Dit resulteert in het vormen van bubbels. Deze luchtbubbels hebben een geluid reducerend effect. Op onderstaande figuur is dit ter illustratie afgebeeld.



Figuur 7.1.1: Concept van een dubbel bubble curtain

Merk op dat ook andere geluidsmitigerende systemen beschikbaar zijn en kunnen ingezet worden als aanvulling op de beschreven systemen.

7.2 Acoustic Deterrend Devices

Acoustic Deterrent Devices (ADD's) zijn onder water geplaatste apparaten die onderwatergeluid produceren, met als doel bruinvissen uit het gebied te verdrijven voor aanvang van de heiwerkzaamheden. Conform de voorgeschreven in te zetten mitigerende maatregelen wordt gebruik gemaakt van ADD's met een bereik van minimaal 500 meter. Waarschijnlijk zal er gebruik gemaakt worden van een Lofitech seal scarer om de bruinvissen proactief af te stoten uit het werkgebied. Het effectieve bereik van deze seal scarer is 7.500 meter, wat afdoende is om de bruinvissen al gedurende de 30 minuten voor start van de werkzaamheden uit het gebied te verjagen.

De ADD wordt minimaal 30 minuten voor aanvang van de "slow & soft start" procedure aangezet en zullen continu in werking blijven tijdens de hei-werkzaamheden. De ADD wordt uitgezet als het heien gedurende een periode van meer dan 4 uur wordt stilgelegd.

7.3 Slow & soft-start procedure

Het heien zal gestart worden met een slow & soft-start procedure. Hierbij zal met minimale hei-energie (+/- 88kJ voor S800 hamer) geslagen worden op de paal gedurende minimaal 10 minuten. Gedurende deze procedure zal het interval tussen de slagen verminderen.

Deze slow & soft-start procedure laat toe dat bruinvissen de site kunnen verlaten waar ze permanente gehoorschade (PTS) kunnen oplopen (impulsgeluid door heiwerkzaamheden kunnen inderdaad leiden tot een verstoring van tijdelijke aard (TTS/stress/vluchtgedrag). Deze worden tot een minimum beperkt door te starten met 30min ADD, 10min soft start. Bovendien zal heienergie in de eerste meters ook nog relatief beperkt zijn (maximale energie wordt pas bereikt naar het einde toe). In de veronderstelling dat de bruinvissen zwemmen met een gemiddelde snelheid van tussen de 5,4 en 7 km/h als heiwerkzaamheden worden aangevangen (*) zullen deze na 10 minuten een afstand van ongeveer 900m tot 1.17 km hebben afgelegd. Dit betekent dat de duur van de slow & soft-start procedure voldoende is om de zeezoogdieren (bruinvis en zeehond), voldoende de tijd te geven om zich te verplaatsen buiten de PTS zone. Na 40 min (inclusief ADD) is de afgelegde afstand tussen de 3,6 km en 4,67 km wat ruim boven de PTS afstand is.

(*) Bron: Kastelein et al., 2018: "Swimming Speed of a Harbor Porpoise (*Phocoena phocoena*) during Playbacks of Offshore Pile Driving Sound."

7.4 Geluidsmetingen

Conform de vergunning/ontheffing dient aangetoond te worden dat de daadwerkelijke geluidsproductie binnen de geldende geluidsnormen is gebleven. Dit gebeurt door middel van het uitvoeren van onderwatergeluidsmetingen.

De apparatuur voor het meten van onderwatergeluid bestaat uit een hydrofoon die in het water wordt geplaatst, een akoestische recorder om het geregistreerde geluid op te nemen en een radio transmitter om

de metingen uit te sturen tijdens het heien. De hydrofoon meet de geproduceerde geluidniveaus en de frequentiespectra op een bepaalde afstand van de bron. De locatie van de hydrofoon (op 750m van het midden van de onderbouw) zal worden bepaald in goed overleg met de belanghebbenden (kustwacht en aannemers in de windturbine kavels) en gemarkeerd worden met behulp van één of meerdere boeien. Voorafgaand aan de heiwerkzaamheden wordt een functietest uitgevoerd. De geluidsmetingen kunnen online doorgestuurd worden naar een ontvanger die op het installatieschip geplaatst kan worden. Hierdoor is het mogelijk om toezicht te houden op de actuele geluidsniveaus en kan, indien nodig en mogelijk, de heien-energie verminderd worden als het gemeten geluid te luid is.

De offshore uitvoering zal bestaan uit het volgende:

- Plaatsen van markeringsboei(en);
- Plaatsen van geluidsapparatuur ("hydrofoon + recorder") op afstand van ongeveer 750 meter van het midden van de onderbouw;
- Meten van onderwatergeluidsniveaus en -frequenties tijdens heien-activiteiten;
- Verwijderen van markeringsboei(en);
- Geluidsanalyse en toetsing aan geluidsnorm.

De geluidsmetingen worden per funderingspaal, na de afronding van het heien van de betreffende funderingspaal geanalyseerd en worden binnen 2 werkdagen na afronding van de heiwerkzaamheden naar het bevoegd gezag gestuurd.

7.5 Overzicht van Maatregelen

Onderstaande tabel toont een overzicht van de verschillende maatregelen, zoals beschreven in dit heiplan, die er gezamenlijk voor zorgen dat de Fauna en Flora rondom het platform geen schade zal oplopen.

A. Afschrikmethodes		
A1	ADD – Lofitech Sealscarer (of gelijkaardig)	30 minuten voor start van de “slow & soft-start” procedure + continu gedurende de heiwerkzaamheden. Deze worden uitgeschakeld indien het heien langer dan 4 uren onderbroken wordt (Paragraaf 7.2)
A2	slow & soft-start procedure	10 minuten voor de start van de heiwerkzaamheden (Paragraaf 7.3)
B. Geluid mitigerende maatregelen		
B1	Geluid mitigerende maatregel(en)	De geluid mitigerende maatregel die wordt toegepast is een enkel groot bubbelgordijn. (Paragraaf 7.1)
C Geluidsmetingen		
C1	Hydrofoon + recorder	Meet de geluidsignalen op gedurende het heiproces. Wordt geplaatst op ongeveer 750 meter van het midden van de onderbouw. (Paragraaf 7.4)
D. Rapportage		
D1	Geluidsmetingen (per heipaal; binnen 2 werkdagen na het beëindigen van de heioperatie)	Samenvatting zal de volgende onderdelen bevatten: <ul style="list-style-type: none"> • Locatie van het heien • Locatie van de hydrofoon • Toegepaste hydrofoon • Toegepaste heihamer • Start / einde van heien (per paal) • Effectieve hei-duur (per paal) • Hei-energie (samenvatting, per paal) • Geluidsniveau (samenvatting, per paal)

8. Verificatie vergunning eisen

Vergunning en voorschriftnummer	Voorschrift	Verificatie						
Vergunning Wet natuurbescherming Voorschrift 12	De vergunninghouder stelt een heiplan op en dient dat uiterlijk 8 weken voorafgaand aan de start van de bouw schriftelijk of per e-mail (wetnatuurbescherming@mininv.n1) ter goedkeuring in bij het bevoegd gezag, t.a.v. het Team Natuurvergunningen.	Alle paragrafen						
Vergunning Wet natuurbescherming Voorschrift 13	De vergunninghouder spant zich in om in een zo kort mogelijk aaneengesloten periode zo min mogelijk onderwatergeluid te produceren.	Paragraaf 5.5						
Vergunning Wet natuurbescherming Voorschrift 14	De vergunninghouder onderbouwt in het heiplan welk(e) type(s) afschrikmiddel(len) gebruikt zal of zullen worden, waarbij hij ingaat op de effectiviteit van het of de gekozen type(n).	Paragraaf 7.1						
Vergunning Wet natuurbescherming Voorschrift 15	De vergunninghouder maakt gebruik van één of meer op de relevante frequenties afgestelde 'acoustic deterrent device(s)' gedurende een half uur voor het begin van de heiwerkzaamheden alsmede gedurende het heien. De ADD moet een minimaal bereik van 500 meter hebben. De ADD zal aan blijven gedurende de heiwerkzaamheden. De ADD wordt stilgelegd als het heien voor een periode van meer dan 4 uur wordt onderbroken en aan het eind van de werkdag.	Paragraaf 7.2						
Vergunning Wet natuurbescherming Voorschrift 16	De heiwerkzaamheden vangen aan met een soft start. De duur en het vermogen van de soft start dient zodanig te zijn dat bruinvissen de gelegenheid hebben om naar een veilige locatie te zwemmen. De vergunninghouder onderbouwt in het heiplan de duur en het vermogen van de soft start.	Paragraaf 7.3						
Vergunning Wet natuurbescherming Voorschrift 17	Als gevolg van de bouw van de platforms mag op enig moment het geluidsniveau onder water tijdens het heien de in de onderstaande tabel vermelde geluidsnorm niet overschrijden. De geluidsnorm voor het heien is gelijk aan de normen zoals gebruikt in de vergunning voor Net op Zee Hollandse Kust (zuid). <table border="1" data-bbox="603 1458 1139 1581"> <caption>Geluidsnorm (dB re μPa_{2s} SEL1 op 750 meter van de geluidsbron)</caption> <thead> <tr> <th>Januari tot en met mei</th> <th>Juni tot en met augustus</th> <th>September tot en met december</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>162</td> <td>167</td> <td>169</td> </tr> </tbody> </table>	Januari tot en met mei	Juni tot en met augustus	September tot en met december	162	167	169	Hoofdstuk 6
Januari tot en met mei	Juni tot en met augustus	September tot en met december						
162	167	169						
Vergunning Wet natuurbescherming Voorschrift 18	Het geluidsniveau dient tijdens het heien door of namens de vergunninghouder continu gemeten te worden. De geluidsmetingen dienen per geheide funderingspaal, binnen uiterlijk twee werkdagen na de afronding van het heien van de betreffende funderingspaal schriftelijk of per e-mail (wetnatuurbescherming@mininv.n1) te worden toegezonden aan het bevoegd gezag, t.a.v. het Team Natuurvergunningen.	Paragraaf 7.4						
Vergunning Wet natuurbescherming Voorschrift 19	De werkzaamheden worden uitgevoerd conform het heiplan als bedoeld in voorschrift 12.	Alle paragrafen						
Ontheffing Wet	U dient een heiplan op te stellen en dat uiterlijk 8 weken	Alle paragrafen						

natuurbescherming Voorschrift j	voorafgaand aan de start van de werkzaamheden ter goedkeuring aan het bevoegde gezag aan te bieden.							
Ontheffing Wet natuurbescherming Voorschrift k	Ten aanzien van het gebruik van een Acoustic Deterrent Device (ADD) geldt aanvullend het volgende: u dient gebruik te maken van één of meer op de relevante frequenties afgestelde 'acoustic deterrent device(s)' gedurende een half uur voor het begin van de heiwerkzaamheden alsmede gedurende het heien. De ADD moet een minimaal bereik van 500 meter hebben. De ADD zal aan blijven gedurende de heiwerkzaamheden. De ADD wordt stilgelegd als het heien voor een periode van meer dan 4 uur wordt onderbroken en aan het eind van de werkdag.	Paragraaf 7.2						
Ontheffing Wet natuurbescherming Voorschrift l	U dient in het heiplan te onderbouwen welk(e) type(s) afschrikmiddel(len) gebruikt zal of zullen worden, waarbij u ingaat op de effectiviteit van het middel en/of de gekozen type(n). U dient uw keuze te baseren op de uitkomst waarbij zo min mogelijk negatieve effecten optreden ten aanzien van de aanwezige beschermde soorten.	Paragraaf 7.1						
Ontheffing Wet natuurbescherming Voorschrift m	De heiwerkzaamheden vangen aan met een soft start. De duur en het vermogen van de soft start dient zodanig te zijn dat de bruinvissen de gelegenheid hebben om naar een veilige locatie te zwemmen. U dient in het heiplan de duur en het vermogen van de soft start nader te onderbouwen.	Paragraaf 7.3						
Ontheffing Wet natuurbescherming Voorschrift n	Heiwerkzaamheden dienen in maximaal 48 uur per platform uitgevoerd te worden in een aaneensluitende periode. Wanneer dit onderbouwd door weersomstandigheden niet haalbaar is, dienen de werkzaamheden te worden stilgelegd tot een later tijdstip waarop de werkzaamheden kunnen worden hervat en in een zo kort mogelijke periode (binnen 48 uur) worden afgerond.	Paragraaf 5.5						
Ontheffing Wet natuurbescherming Voorschrift o	U dient de geluidsproductie zo ver mogelijk te reduceren; de genoemde normen, zoals opgenomen onder voorschrift p, gelden hierbij als maximumwaarde.	Paragraaf 6						
Ontheffing Wet natuurbescherming Voorschrift p	Als gevolg van de bouw van de platforms mag op enig moment het geluidsniveau onder water tijdens het heien de in de onderstaande tabel vermelde geluidsnorm niet overschrijden. De geluidsnorm voor het heien is gelijk aan de normen zoals gebruikt in de vergunning voor Net op Zee Hollandse Kust (zuid). <table border="1" data-bbox="603 1512 1139 1630"> <caption>Geluidsnorm (dB re μPa_2s SEL1 op 750 meter van de geluidsbron)</caption> <thead> <tr> <th>Januari tot en met mei</th> <th>Juni tot en met augustus</th> <th>September tot en met december</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>162</td> <td>167</td> <td>169</td> </tr> </tbody> </table>	Januari tot en met mei	Juni tot en met augustus	September tot en met december	162	167	169	Paragraaf 6
Januari tot en met mei	Juni tot en met augustus	September tot en met december						
162	167	169						
Ontheffing Wet natuurbescherming Voorschrift q	Het geluidsniveau dient tijdens het heien door of namens u continu gemeten te worden. Het is hierbij uitdrukkelijk niet toegestaan om de vastgestelde geluidsniveaus te overschrijden. Een overschrijding van de geluidsniveaus dient onmiddellijk gemeld te worden bij het bevoegd gezag.	Paragraaf 7.4						

Bijlagen

Bijlage 1	Geluidstudies ITAP
Bijlage 2	Paalspecificaties
Bijlage 3	HYDROHAMMER S-800
Bijlage 4	MHU 1900S

Bijlagen

Bijlage 1	Geluidstudies ITAP
Bijlage 2	Paalspecificaties
Bijlage 3	HYDROHAMMER S-800
Bijlage 4	MHU 1900S

Bijlage 1 ITAP study

Hollandse Kust West Alpha Offshore Substation EIA – Technical report

Modeling of underwater noise emissions during pile-driving construction work

Oldenburg, July 9th 2021

Version 1

Contracting body: DEME Offshore
Haven 1025 – Scheldedijk 30
2070 Zwijndrecht
Belgium

Execution: Patrick Remmers, B.Eng.
Stephan Gerlach, M.Sc.



Sitz

itap GmbH
Marie-Curie-Straße 8
26129 Oldenburg

Amtsgericht Oldenburg
HRB: 12 06 97

Kontakt

Telefon (0441) 570 61-0
Fax (0441) 570 61-10
Mail info@itap.de

Geschäftsführer

Dr. Michael A. Bellmann

Bankverbindung

Raiffeisenbank Oldenburg
IBAN:
DE80 2806 0228 0080 0880 00
BIC: GENO DEF1 OL2

Commerzbank AG
IBAN:
DE70 2804 0046 0405 6552 00
BIC: COBA DEFF XXX

USt.-ID.-Nr. DE 181 295 042

itap GmbH
Institute for Technical and Applied Physics GmbH
Marie-Curie-Straße 8
D – 26129 Oldenburg

Scope of report: 40 pages

Table of contents

1.	Executive summary	5
2.	Project description and scope of this document.....	7
3.	Acoustic basics	9
4.	Model approaches.....	14
4.1	Sound propagation in the North Sea	14
4.2	Underwater noise mitigation values	17
4.3	Model description	17
4.4	Determination of the source and propagation level	19
4.5	Calculation procedure.....	25
4.6	Model uncertainties	26
5.	Modeling scenarios	27
5.1	Existing conditions	27
5.2	Acoustically relevant input data.....	28
6.	Modeling results.....	29
7.	Noise mitigation	31
7.1	Noise Mitigation System (NMS)	31
7.2	Noise Abatement Systems (NAS).....	32
7.3	Level values using preselected noise mitigation measures.....	36
8.	References	39

Revision table

Version	Date	Comment
1	09.07.2021	First draft

This version replaces all previous versions.

Units:

$\mu\text{m/s}$ - micrometer per second

μPa - micropascal

bar - 100 kPa

dB - decibel

Hz - hertz

kHz - kilohertz

kPa - kilopascal

m - meter

min - minute

mm - millimeters

Pa - pascal

s - second

Metrics:

ss - single strike (energy) equivalent Sound Pressure Level

TL - Transmission Loss

α - absorption coefficient

λ - wave length

ρ - density of a medium

E - sound exposure

E_{cum} - cumulative sound exposure

F - $10 \log_{10}(f [kHz])$

L_{hg} - background noise level

$L_{p,pk}$ - zero-to-peak Sound Pressure Level

SEL - single strike Sound Exposure Level

SEL_{05} - 5 % exceedance Sound Exposure Level

SEL_{cum} - cumulative Sound Exposure Level

SPL - (energy-) equivalent continuous Sound Pressure Level

T - averaging time

Z - acoustic characteristic impedance

c - sound velocity

f - frequency

f_g - cut off frequency

k - propagation term

n - count

p - sound pressure

$p(t)$ - time variant sound pressure

p_0 - reference sound pressure

$p_{k,pk}$ - peak-to-peak Sound Pressure Level

p_{pk} - maximum sound pressure

v - particle velocity

Abbreviations:

BBC	Big Bubble Curtain, Big Bubble Curtain
BfN	Bundesamt für Naturschutz (engl. Federal Agency for Nature Conservation)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (engl. Federal Maritime and Hydrographic Agency)
DBBC	double Big Bubble Curtain
DP	Dynamic Positioning
EEZ	Exclusive Economic Zone , <i>Exclusive Economic Zone</i>
EIA	Environmental Impact Assessment
GABC	Grout Annulus Bubble Curtain
HSD	Hydro Sound Damper
IIg	zone classification according to Thiele & Schellstede
MNRU	<i>Menck</i> Noise Reduction Unit
MSFD	marine strategy framework directive
MSL	Mean Sea Level
NAS	Noise Abatement System
NMS	Noise Mitigation System
OSS	Offshore Substation
PTS	Permanent Threshold Shift
rms	root mean square, root mean square
SRD	Soil Resistance Value
T1	<i>1st Tertial of a year, 1st Tertial of a year</i>
TTS	Temporary Threshold Shift

1. Executive summary

DEME Offshore is planning the construction and installation of a Jacket foundation for the Offshore Substation *Hollandse Kust West Alpha* in the EEZ of the Dutch *North Sea*. By applying a post-piling procedure, it is intended to install 4 Pin-Piles with a maximum diameter of 2,438 mm to fix the Jacket foundation into the seabed.

The installation of foundation structures into the seabed by means of impact pile-driving causes noise levels, which might be harmful for marine mammals and fish (Lucke, et al. 2009). The *itap – Institute for Technical and Applied Physics GmbH* was commissioned to carry out the modeling of underwater pile-driving noise during the construction of the OSS *Hollandse Kust West Alpha*.

Modeling scenarios, including pile diameter, hammer type and OSS location, were defined to reflect the actual project to the highest extent possible, with the objective to determine expected noise levels, allowing for accurate environmental impact assessment of the pile-driving activities. Five different blow energies from 570 kJ up to 1,851 kJ are used to model the pile-driving noise within this report. Modelling included single strike Sound Exposure Levels (*SEL*) as well as zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$) levels.

The following *SEL* and $L_{p,pk}$ levels at a distance of 750 m to the impact pile-driving are forecasted for the unmitigated pile-driving.

Blow Energy [kJ]	<i>SEL</i> in 750 m distance	$L_{p,pk}$ in 750 m distance
570	170	193
760	171	194
1,140	173	196
1,330	173	196
1,851	174	198

For the pile-driving, seasonal noise mitigation values are defined for offshore-supply stations in the Netherlands for the Sound Exposure Level in 750 m to the piling. In the first Terial from January to May inclusive (T1), the *SEL1* (corresponding to the maximum *SEL*) must not exceed 162 dB, from June to August inclusive (T2), the *SEL1* must not exceed 167 dB and from September to December inclusive (T3), the *SEL1* must not exceed 169 dB.

Depending on the construction period and the maximum blow energy used, the application of noise mitigation measures is required to comply with the defined noise mitigation values determined by the responsible authority *Rijkswaterstaat*.

Based on experiences an overall noise reduction of an optimized single BBC shall be ≥ 11 dB. For a GABC no reliable evaluation of the achievable overall noise reduction in accordance with DIN SPEC 45653 (2017) exist. It is likely that the pile-driving noise will be reduced by 2 dB to 3 dB in combination with a HSD-net above the pile sleeve further increase to 5 dB is expected.

A compliance of the Dutch noise mitigation value in T2 and T3 2021 by application of an optimized single Big Bubble Curtain should be guaranteed quite equal to which of the expected maximum blow energy is used.

In case of applying the GABC in combination a compliance with the noise mitigation values by using blow energies of up to 1140 kJ in T2 and up to 1,850 kJ in T3 is likely. But due to drifting effects and the overall prediction uncertainty a real time (online) underwater noise monitoring at 750 m distance should be applied. A possible contingency plan might be to limit the pile-driving activities to periods during slake tide. In case blow energies of $> 1,000$ kJ are required a real time (online) underwater noise monitoring shall be applied. However, a non-compliance with the noise mitigation value cannot be excluded even during slake tide pile-driving.

In case of an installation within T1 the noise reduction requirements are ranged between 8 and 12 dB. By application of an optimized single BBC a compliance of the noise mitigation value is likely for blow energies below 1330 kJ. The application of a real time (online) underwater noise monitoring, especially if the blow energies $> 1,000$ kJ are likely, is advised. The reduced noise mitigation values for the period January to May are not achievable by applying a GABC+HSD combination.

Oldenburg, July 9th 2021



Stephan Gerlach, M. Sc.



Dr. Michael a. Bellmann

2. Project description and scope of this document

The company *DEME Offshore* is planning the construction and installation of the Offshore Substation (OSS) *Hollandse Kust West Alpha*. The OSS *Hollandse Kust West Alpha* will be located within the OWF *Hollandse Kust West* in the Dutch Exclusive Economic Zone (EEZ) in the *North Sea*; approximately 40 km west of the coast of Ijmuiden (see Figure 1).

The OSS *Hollandse Kust West Alpha* includes a Jacket and a topside. It is planned to build the Jacket foundation as a 4-leg lift steel Jacket with a Pin-Pile at each corner. The Pin-Piles will have a diameter of 2,438 mm, installed in a post-piling procedure.

The soil in the plan area essentially consists of medium dense to very dense sand. The water depth in the project area is approximately 28 m (MSL).

The installation of foundation structures into the seabed by means of impact pile-driving caused noise levels, which might be harmful for marine mammals and fish (Lucke, et al. 2009).

The *itap – Institute for Technical and Applied Physics GmbH* was commissioned to carry out the modeling of (un)mitigated underwater pile-driving noise during the construction phase of the Offshore Substation and to evaluate if and how a compliance with the Dutch noise mitigation values, depending on season of installation, is possible by application of noise abatement systems.

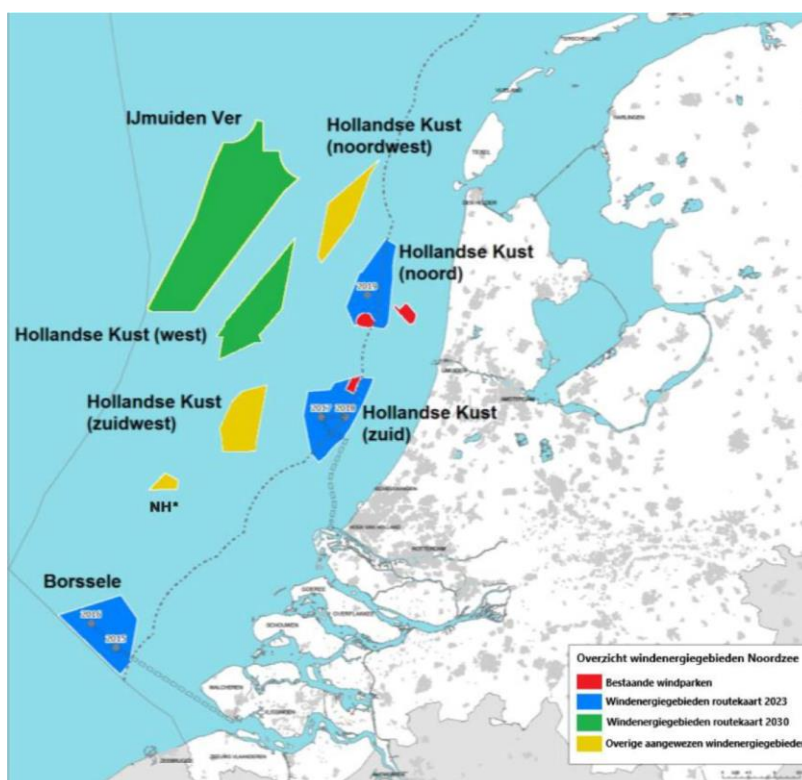


Figure 1: Location of the offshore substation (OSS) Hollandse Kust West Alpha within in the Dutch AWZ in the North Sea (source: DEME).

The Pin-Piles are large steel piles that are driven into the seabed by the application of a hydraulic hammer. According to current planning it is expected to use blow energies of 570 kJ, 760 kJ, 1,140kJ, 1,330 kJ and 1,851. The use of a follower between pile head and hydraulic hammer is envisaged, assuming a 10% efficiency loss in the force applied to the pile head/anvil.

3. Acoustic basics

Sound is a rapid, often periodic variation of pressure, which additively overlays the ambient pressure (in water the hydrostatic pressure). This involves a reciprocating motion of water particles, which is usually described by particle velocity v . Particle velocity means the alternating velocity of a particle oscillating about its rest position in a medium. Particle velocity is not to be confused with sound velocity c_{water} , thus, the propagation velocity of sound in a medium, which generally is $c_{water} = 1,500$ m/s in water. Particle velocity v is considerably less than sound velocity c .

Sound pressure p and particle velocity v are associated by the acoustic characteristic impedance Z , which characterizes the wave impedance of a medium as follows:

$$Z = \frac{p}{v}$$

Equation 1

In the far field, that means in a distance¹ of some wavelengths (frequency dependent) from the source of sound, the impedance is:

$$Z = \rho c$$

Equation 2

with ρ – density of a medium and c – sound velocity.

For instance, when the sound pressure amplitude is 1 Pa (with a sinusoidal signal, it is equivalent to a Sound Pressure Level of 117 dB re 1 μ Pa or a zero-to-peak Sound Pressure Level of 120 dB re 1 μ Pa), a particle velocity in water of approximately 0.7 μ m/s is obtained.

In acoustics, the intensity of sounds is generally not described by the measurand sound pressure (or particle velocity), but by the level in dB (decibel) known from the telecommunication engineering. There are different sound levels, however:

- (energy-) equivalent continuous Sound Pressure Level – SPL ,
- single strike Sound Exposure Level – SEL ,
- cumulative Sound Exposure Level – SEL_{cum} ,
- zero-to-peak Sound Pressure Level $L_{p,pk}$.

¹ The boundary between near and far field in hydro sound is not exactly defined or measured. It is a frequency-dependent value. In airborne sound, a value of $\geq 2\lambda$ is assumed. For underwater sound, values of $\geq 5\lambda$ can be found in the literature.

SPL and *SEL* can be specified independent of frequency, which means as broadband single values, as well as frequency-resolved, for example, in one-third octave bands (third spectrum).

In the following, the level values mentioned above are briefly described.

(Energy-) equivalent continuous Sound Pressure Level (*SPL*)

The *SPL* is the most common measurand in acoustics and is defined as:

$$SPL = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) [\text{dB}]$$

Equation 3

with

$p(t)$ - time-variant sound pressure,

p_0 - reference sound pressure (in underwater sound 1 μPa),

T - averaging time.

Sometimes in literature, the label *SPL* is used for a Sound Pressure Level without time averaging. According to this definition, the continuous Sound Pressure Level over an interval is than labeled as SPL_{rms} with the index rms for root mean square. In this report, the terminology according to the DIN ISO 18406 (2017) is used and the index rms is omitted and the *SPL* in this report is equal to SPL_{rms} , since a definition according to Equation 3 already implies averaging. In some nations, the rms value of the Sound Pressure Level (SPL_{SS}) of each single strike shall be determined. Therefore, the duration of each single strike shall be considered.

Sound Exposure Level (*SEL*)

For the characterization of pile-driving sounds, the *SPL* solely is an insufficient measure, since it does not only depend on the strength of the pile-driving blows, but also on the averaging time and the breaks between the pile-driving blows. The sound exposure – E or rather the resulting Sound Exposure Level – *SEL* is more appropriate. Both values are defined as follows:

$$E = \frac{1}{T_0} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt$$

Equation 4

$$SEL = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_0} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \text{ [dB]}$$

Equation 5

with

T_1 and T_2 - starting and ending time of the averaging (should be determined, so that the sound event is between T_1 and T_2),

T_0 - reference 1 second.

Therefore, the Sound Exposure Level of a sound impulse (pile-driving blow) is the (*SPL*) level of a continuous sound of 1 s duration and the same acoustic energy as the impulse.

The Sound Exposure Level (*SEL*) and the Sound Pressure Level (*SPL*) can be converted into each other:

$$SEL = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{SPL}{10}} - 10^{\frac{L_{hg}}{10}} \right) - 10 \log_{10} \left(\frac{nT_0}{T} \right) \text{ [dB]}$$

Equation 6

with

n - number of sound events, thus the pile-driving blows, within the time T ,

T_0 - 1 s,

L_{hg} - noise and background level between the single pile-driving blows.

Thus, Equation 6 provides the average Sound Exposure Level (*SEL*) of n sound events (pile-driving blows) from just one Sound Pressure Level (*SPL*) measurement. In case, that the background level between the pile-driving blows is significantly minor to the pile-driving sound (for instance > 10 dB), it can be calculated with a simplification of Equation 6 and a sufficient degree of accuracy as follows:

$$SEL \approx SPL - 10 \log_{10} \left(\frac{nT_0}{T} \right) \text{ [dB]}$$

Equation 7

Note: In some guidelines for measuring underwater noise, i. e. Germany (BSH, 2011), an averaged Sound Exposure Level of 30 s is defined (SEL_{30s}) according to Equation 7.

Note: The SEL_1 (also known as SEL_{max}) as noise mitigation value from Rijkswaterstaat denotes that all measured SEL values from each pile-driving activity most comply with the threshold.

Cumulative Sound Exposure Level (SEL_{cum})

A value for the noise dose is the cumulative Sound Exposure Level (SEL_{cum}) and is defined as follows:

$$SEL_{cum} = 10 \log_{10} \left(\frac{E_{cum}}{E_{ref}} \right) \text{ [dB]}$$

Equation 8

With the cumulative sound exposure E_{cum} for N transient sound events with the frequency unweighted sound exposure E_n

$$E_{cum} = \sum_{n=1}^N E_n$$

Equation 9

and the reference exposure $E_{ref} = p_{ref}^2 \cdot T_{ref}$, in which p_{ref} is the reference sound pressure 1 μPa and T_{ref} the reference duration 1 s.

Technical note: In some guidelines for underwater noise measurements, the cumulative SEL_{cum} shall be determined to evaluate the impact on defined species (e. g. NOAA, 2018; Danish Energy Agency, 2016). The information on SEL_{cum} is included in this report for informational purposes only.

Zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$)

This parameter is a measure for sound pressure peaks. Compared to Sound Pressure Level (SPL) and Sound Exposure Level (SEL), there is no average determination:

$$L_{p,pk} = 20 \log_{10} \left(\frac{|p_{pk}|}{p_0} \right) \text{ [dB]}$$

Equation 10

with

$|p_{pk}|$ - maximum determined Sound Pressure.

Figure 2 depicts an example. The zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$) is always higher than the Sound Exposure Level (SEL). Generally, the difference between L and SEL during pile-driving works is 20 dB to 25 dB. Some authors prefer the peak-to-peak value ($L_{pk,pk}$) instead of the $L_{p,pk}$. A visual definition of this parameter is given in Figure 2, but this metric is not defined in the ISO 18405 (2017). This factor does not describe the maximum achieved (absolute) Sound Pressure Level, but the difference between the maximum negative and the maximum positive amplitude of an impulse. This value is maximal 6 dB higher than the zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$).

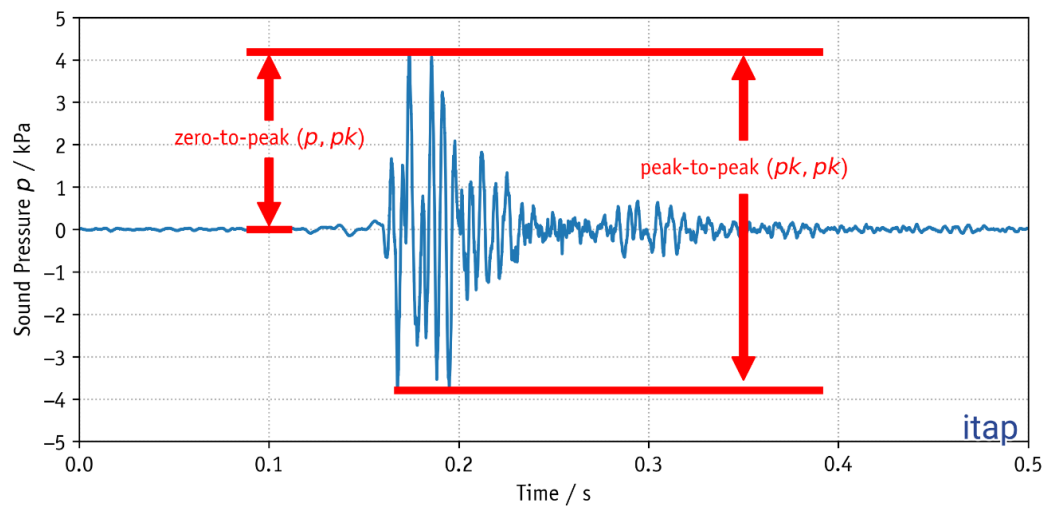


Figure 2: Typical measured time signal of underwater sound due to pile-driving in a distance of several 100 m.

4. Model approaches

4.1 Sound propagation in the North Sea

Impact of the distance

For approximate calculations it can be assumed, that the sound pressure decreases with the distance according to a basic power law. The level in dB is reduced about:

$$TL = k \cdot \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \text{ [dB]}$$

Equation 11

with

- r_1 and r_2 - the distance to the source of sound increases from r_1 to r_2 ,
- TL - Transmission Loss,
- k - absolute term (in shallow waters, an often used value is $k = 15$, for spherical propagation, $k = 20$).

Often, the Transmission Loss is indicated for the distance $r_1 = 1$ m (fictitious distance to an assumed point source). This is used to calculate the sound power of pile-driving in a distance of 1 m; often this is called source level. Equation 11 then reduces to: $TL = -k \log_{10}(r)$. Additionally, it has to be considered, that the equation above is only valid for the far field of an acoustic signal, meaning in some distance (frequency dependent) to the source.

Additionally, the absorption in water becomes more apparent in distances of several kilometers and leads to a further reduction of the sound pressure. This is taken into account with a constant α proportional to the distance. Equation 11 expands to:

$$TL = -k \log_{10}(r) + \alpha r \text{ [dB]}$$

Equation 12

For regions in the *North Sea* with water depths below 50 m, the following Equation 13 leads to realistic results compared to pile-driving noise measurements in different regions in the *North Sea*. The example in the „Guideline for underwater noise – Installation of impact-driven piles“ (Danish Energy Agency 2016) considered the same Transmission Loss.

$$TL = -14.72 \log_{10}(r) + 0.00027 r \text{ [dB]}$$

Equation 13

Thiele and Schellstede (1980) specified frequency dependent approximation equations for the calculation of sound propagation in different regions of the *North Sea* as well as for “rough” and “smooth” sea. For the installation of the foundations, typically a “smooth” sea is required.

So, the following equation for shallow water and smooth sea (IIg) will be compared with measurement results from different OWF construction phases by means of impact pile-driving in the *North Sea* in Figure 3:

$$TL = -(23 + 0.7 F) \log_{10} r + (0.3 + 0.05 F + 0.005 F^2) r 10^{-3} \text{ [dB]}$$

Equation 14

with

$F = 10 \log_{10}(f \text{ [kHz]})$, with frequency f [Hz]

r – distance [m].

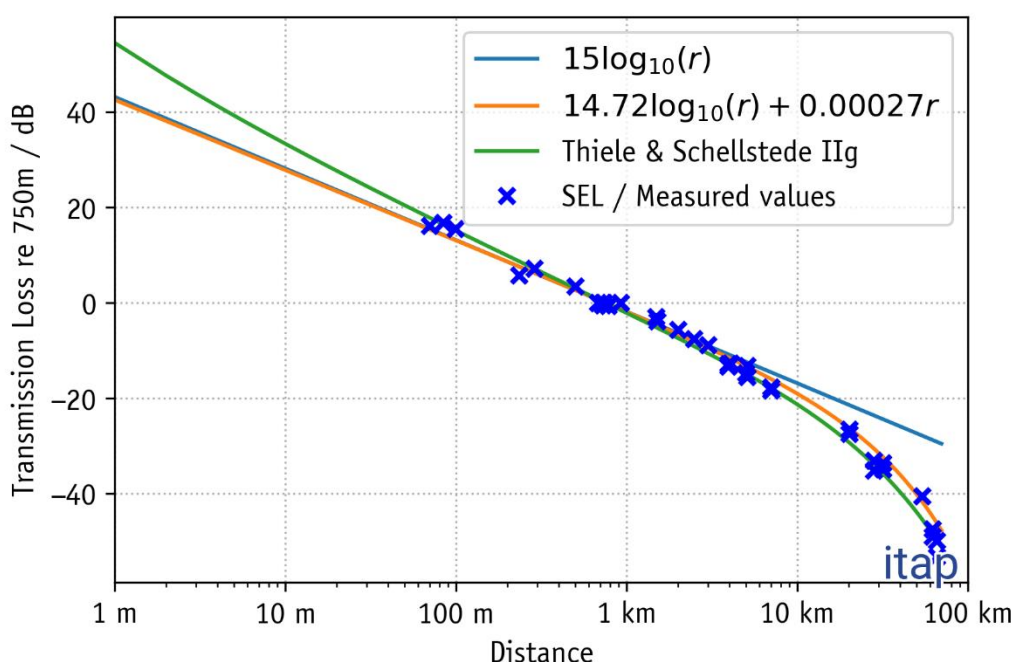


Figure 3: Different predicted Transmission Loss (TL) curves according to Equation 11 ($15 \log_{10} R$), Equation 13 ($14.72 \log_{10} R + 0.00027 R$) and the semi-empirical approach of Thiele und Schellstede IIg (1980) (Equation 14), compared with existing offshore measurement data. The measurement data originate from pile-driving measurements from different offshore wind farms in the *North Sea* in Germany and the Netherlands. The water depth in all OWF was less than 50 m.

Equation 13 and Equation 14 show a high similarity and a high correspondence with the measured values of the Sound Exposure Level (SEL) during pile-driving (see Figure 3) in different regions of the *North Sea* with comparable water depths. Only for distances less than 100 m, the equations differ from each other. The more common Equation 14 is considered for the OSS *Hollandse Kust West Alpha* prognosis.

The Transmission Loss will be considered for each direction. Site-specific changes in the bathymetry will be considered by the frequency-dependent impact of the water depth as described below.

Impact of the water depth

The water depth also influences the sound propagation in the ocean. Below a certain cut-off frequency (f_g), a continuous sound propagation is impossible. The shallower the water, the higher this cut-off frequency. The cut-off frequency (f_g) also depends on the type of sediment. The lower limit frequency for predominantly arenaceous soil as a function of the water depth is depicted in Figure 4. Moreover, the band widths of the lower cut-off frequency (f_g) at different soil layers, e. g. clay and chalk (till or moraine), are illustrated in grey (Jensen, et al. 2011). Sound around the cut-off frequency (f_g) is reduced or damped to a larger extent with an increasing distance to the sound source than it is calculated with Equation 14.

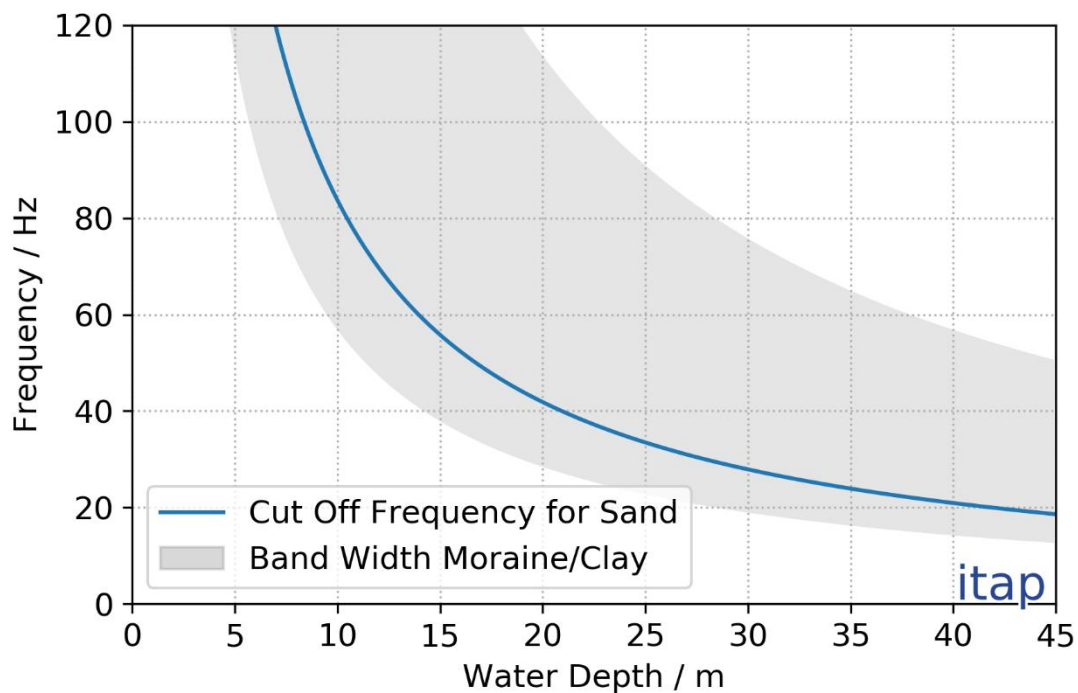


Figure 4: Theoretical lower (limit) frequency (f_g) for an undisturbed sound propagation in water as a function of the water depth for different soil stratifications (example adapted from Urick (1983); Jensen et al., (2011); the example shows the possible range caused by different layers, the layer does not necessarily correspond to the layers in the construction field).

4.2 Underwater noise mitigation values

The emission of underwater noise during pile-driving is a human intervention in the marine environment, which can have negative effects on the marine fauna. High Sound Pressure Levels might have the potential to harm marine mammals or fish, potentially leading to behavioral disturbance, temporary hearing loss (TTS, Temporary Threshold Shift) or permanent hearing loss (PTS, Permanent Threshold Shift).

The marine strategy framework directive (MSFD) contains an obligation for the member states to determine a marine strategy (action plan) within a certain period. In execution thereof, the Netherlands have already environmental targets.

The noise mitigation values have been provided by *DEME Offshore*. Rijkswaterstaat as the Ministry of Infrastructure and Water Management is the regulatory and monitoring authority for offshore projects in the Dutch EEZ and has defined the following target.

The installation of the offshore substation (OSS) shall not exceed the following underwater noise levels (Table 1), defined for the maximum Sound Exposure Level $SEL_1 = SEL_{max}$ in a distance of 750 m to the respective pile-driving construction site:

Table 1 Noise mitigation values $SEL_1 = SEL_{max}$ at 750 m of the noise source.

Tertial	Duration	Noise mitigation value [dB re μPa^2s]
T1	January to May	162
T2	June to August	167
T3	September to December	169

4.3 Model description

The (standard-) model of the *itap GmbH* is an empirical model, i. e., it is based on measured Sound Exposure Levels (SEL) and on zero-to-peak Sound Pressure Levels ($L_{p,pk}$) of previous projects. Therefore, this sort of model is an “adaptive” model, which becomes more “precise” with increasing input data.

The emitted sound level depends on many different factors, such as e. g. wall thickness, blow energy, diameter and soil composition (soil resistance) and water depth. However, since all parameters mentioned might interact with each other, it is not possible to make exact statements on the impact of a single parameter. In a first step, only one parameter, the “pile diameter”, is considered.

Figure 5 shows sound levels measured during pile-driving construction works at a number of windfarms plotted over the input parameter “pile diameter”. The bigger the sound emitting

surface in the water, the bigger the sound entry. This means, the evaluation-relevant level values increase with increasing pile surface, thus the diameter of the pile. It should also be noted that the relationship is not linear.

The model uncertainty is ± 5 dB, just taking into account the input parameter „pile diameter“, and is based on the scatter of the actual existing measuring results from Figure 5, which is probably due to further influencing factors, such as e. g. blow energy and reflecting pile skin surface.

The following comparison between the predicted values and the actually measured level values was covered adequately in any case by the specified model uncertainty (± 5 dB). In most cases, the model slightly overestimated the level value in 750 m distance (not published data). Therefore, an application in the present case is possible from a practical point of view. Therefore, the model is likely to be conservative.

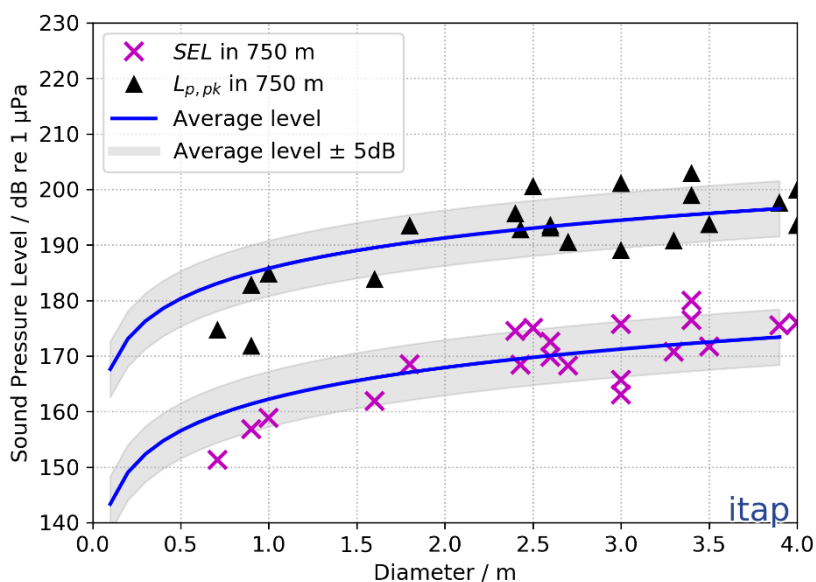


Figure 5: Measured zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$) and broadband 5 % exceedance Sound Exposure Levels (SEL_{05}) during unmitigated pile-driving construction works at a number of OWFs as function of the pile diameter.

Moreover, in this model, additions resp. deductions for very high and very low maximum blow energies are used in a second step. Considering the actually applied maximum blow energy resp. the maximum blow energy estimated in the model, normally, differences between the model and the real measuring values of about 2 dB were obtained. In the majority of cases, the model slightly overestimated the level value at a distance of 750 m with the input data “pile diameter” and “maximum blow energy”.

Within the scope of a master’s thesis at the *itap GmbH*, it was found, that the impact of the blow energy used is on average about 2.5 dB per duplication of blow energy (Gündert, 2014).

This finding resulted from investigations at different foundations, at which the variations of the blow energy during pile-driving (penetration depth) were statistically compared to corresponding level changes (each from soft-start to maximum blow energy).

Therefore, this additional module for the existing model of the *itap GmbH* is able to predict the evaluation-relevant level values for each single blow with given courses of blow energy. The model uncertainty of this statistic model (*itap GmbH* basic model + extension) is verifiably ± 2 dB; a slight overestimation of this model could be proven as well.

Gündert (2014) shows that the blow energies used and the penetration depth considerably influence the resulting sound pollution with a significant correlation of penetration depth and blow energy used. Considering the influencing factors “pile diameter”, “maximum blow energy” and “penetration depth”, a model uncertainty of ± 2 dB in the range of measurement inaccuracy could be achieved. The biggest amount of the measured variances could thus be traced back to the three influencing factors mentioned above.

Since an exact modeling of the blow energy to be applied over the entire penetration depth (per blow) is not possible without further “uncertainties”, additions and deductions for the maximum blow energy are considered.

Based on experiences of the last few years and the findings from the master’s thesis, it can be assumed, that the model uncertainty can be minimized significantly in due consideration of the above mentioned additions and deductions.

4.4 Determination of the source and propagation level

The Sound Exposure Level (*SEL*) varies in the course of a pile-driving and depends on, as mentioned before, several parameters (e. g. reflecting pile skin surface, blow energy, soil conditions, wall thickness, etc.). The applied model just considers the pile diameter as influencing parameter in a first step. To get a statistically valid result of the loudest expected blows, the empirical model is based on the 5 % exceedance of the Sound Exposure Level (*SEL*₀₅) during one pile installation.

4.4.1 Blow energy

The evaluation-relevant level values (*SEL* and *L_{p,pk}*) increase with growing blow energy. Based on the experiences of previous construction projects, a starting point for the determination of the influence parameter “blow energy” is assumed. Assuming this, additions resp. deductions of 2.5 dB per doubling/halving for higher resp. lower maximum blow energies are estimated in the model.

The used blow energies were determined in cooperation with the client and are also based on the so far performed soil investigations. In order to achieve the final depth, maximum blow energy of the pile hammer (if necessary at all) will empirically only be applied for a short time to the end of a pile-driving.

An increase of the blow energy is required if a certain number of blows to achieve the penetration depth of e. g. 0.25 m is exceeded (risk of material fatigue due to too high blow rates).

The experiences from the practice show, that mostly lower blow energies are applied than predicted before in the “worst case”.

4.4.2 Hydraulic hammer

Currently, the influence of different hydraulic hammer types is not taken into account, since too many influencing parameters and factors exist, e. g. anvil design, contact area between hammer and pile, pile gripper or pile-guiding frame. Theoretical studies point out that the influence of different hammer types could be in a range of 0 dB to max. 3 dB. Additionally, no valid empirical data regarding different hammer types and different hammers of the same type currently exist. Therefore, the *itap* model is focusing on the worst case (loudest possible) scenario. In case new and statistically valid results for the influencing factor hammer type will be available within the project duration, these findings will be taken into account.

Based on experiences it is expected that a large hammer with reduced capacity will radiate slightly low noise into the water with a given same blow energy as a small hammer with full capacity (Bellmann, et al. 2020).

4.4.3 Ground couplings

The influence of different ground conditions is currently still subject to research. However, it can be assumed, that the used blow energy will also increase with growing soil resistance (SRD-value) of a soil layer. As the construction field essentially consists of sand and a sand-clay mixture and the measurement data shown in chapter 4.3, Figure 5 were largely determined on sandy and medium-tight, argillaceous underground, it can be assumed, that the sound emissions to be expected are the same as the regression line shown in Figure 5. For this reason, in the model, a frequency-independent safety margin for the soil conditions (ground coupling) is not necessary.

4.4.4 Spectrum of piling noise

The estimations of the broadband Sound Exposure Level (SEL) and the zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$)-value shown in chapter 4.3 below are based on the broadband measuring data of different studies (Figure 5). However, sound propagation in the sea is highly frequency-dependent; see chapter 4.1. For this reason, estimations of the frequency composition of the respective source levels² have to be made for the calculations.

Figure 6 shows the spectral distribution of the Sound Exposure Levels (SEL), which have been determined during pile-driving works at different piles (gray lines). The spectra determined at different distances as well as at different blow energies and pile diameters run similarly. The frequency spectrum shows a maximum within the range 60 Hz - 250 Hz. At frequencies above approx. 250 Hz, the level decrease gradually, while for frequencies lower than approx. 60 Hz, a steep decrease in levels is observed. The cut-off frequency for the steep fall-off at low frequencies depends on the water depth. The deeper the water, the lower the cut-off frequency. The water depth in the project area is 28 m, the cut-off frequency will be 30 Hz.

From measurements collected over the last two years, it has become apparent, that the hydraulic hammer type as well as the pile diameter can have an influence on the piling noise spectrum to be expected. By trend, the local maximum shifts in case of larger pile hammer types and larger pile diameters to lower frequencies. At present, however, these influencing factors cannot be estimated with statistical validity.

In detail, the spectral course of a piling noise event is not exactly predictable according to the present state of knowledge. Thus, for the modeling, an idealized model spectrum for the Sound Exposure Level will be extracted from the measured data of comparable construction projects. Figure 6 shows the shape of this idealized 1/3-octave-spectrum in red color. The frequency-dependent amplitudes are normalized in a way that the sum level of this spectrum in 750 m distance corresponds to the source levels determined before. Since 2016, the model of the *itap GmbH* calculates the evaluation-relevant level values on the measured Sound Exposure Level (5 % percentile level, SEL_{05}) and the measured zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$).

² "Source level" means the Sound Exposure Level (SEL) or zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$) at a fictive distance of 750 m to an imagined point sound source.

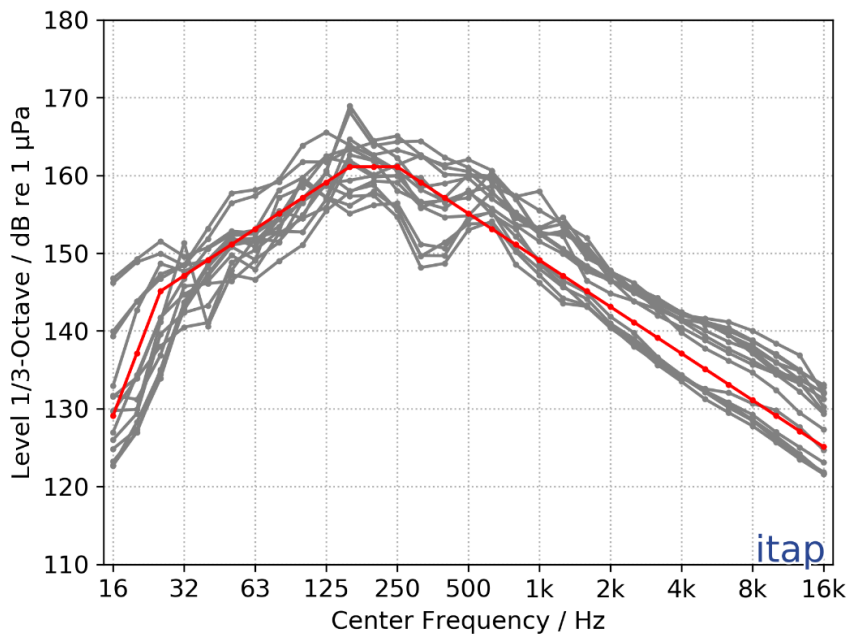


Figure 6: The model spectrum (red) estimated for piling noise, based on different measuring data (grey: measuring data) for Pin-Piles.

4.4.5 Acoustic connections/couplings to the Jacket-structure

For the construction of Jacket-foundations, two different installation procedures are possible. The pre-piling and the post-piling procedure. With the pre-piling, first, the piles are inserted into the ground by a pile-driving template and afterwards, the Jacket-foundation is placed on the intended position. On the other hand, in the post-piling procedure, first, the Jacket-foundation is placed on the intended position and afterwards, it is fixed to the ground with the driven piles.

From the acoustical point of view, both variants bear the risk that sound bridges can occur between pile and foundation structure or pile-driving template, whereby the vibrations of the pile are transferred to the foundation or the template. The consequence would be a higher sound input into the water due to rattling effects of the structure.

In order to consider possible acoustic connections/couplings, a safety margin of 2.5 dB needs to be added to the model for the piling noise emissions of the pin-piles. This addition is conservative and is considered to represent the worst-case conditions and based on experiences (Bellmann *et al.*, 2020).

4.4.6 Water depth

The water depth also influences the sound propagation in the sea. Below a certain cut-off frequency, however, a continuous sound propagation is not possible. The shallower the water, the higher this frequency is. Figure 4 in chapter 4.1 shows the cut-off frequencies for an undisturbed sound propagation. For the modeling, all frequencies below this cut-off frequency will decrease with 12 dB/octave. Decisive is the minimum water depth between source and receiver. The used bathymetry data were provided from (EMODnet, 2020). The water depth in the project area is approximately 28 m. This results in a cut-off frequency of 30 Hz for 28 m.

4.4.7 Pile length

For impact pile-driving two possibilities exist: For Monopiles the impact hammer is always above the sea surface and the pile length will always cover the full water column.

For Pin-Piles it might happen that the hammer is submerged towards the end of pile-driving (Lippert, et al. 2017). As a result, the sound radiating pile skin surface decreases continuously with the ongoing driving activity (Nehls und Bellmann 2015). In contrast, the hammer energy increases continuously throughout the piling sequence with increasing soil resistance (SRD-value). Generally, the evaluation-relevant level values increase continuously with increasing driving energy within the first 50 % to 65 % of the entire pile-driving, where usually 75 % to 80 % of the maximum driving energy is reached. At the end of pile-driving, the level values can be reduced by several dB despite a further increase of driving energy because of the reduced pile skin surface (Lippert, et al. 2017). Therefore, hammer energy and the sound radiating pile skin surface have to be regarded theoretically for a prognosis of evaluation-relevant level values to be expected. But there are also measurements with a constant *SEL* available where the radiating pile surface decreases and the blow energy increase during piling. In case a follower is used for the installation of Pin-Piles the stick-up length will increase significantly and thus reducing the impact of submerged hammering.

However, the embedded length of any pile in the seabed is highly correlated with the required blow energy to overcome the soil resistance. Therefore, the embedded length is not a linear independent parameter in the model.

An *SEL* example of a typical Monopile and Pin-Pile installation is shown in Figure 7.

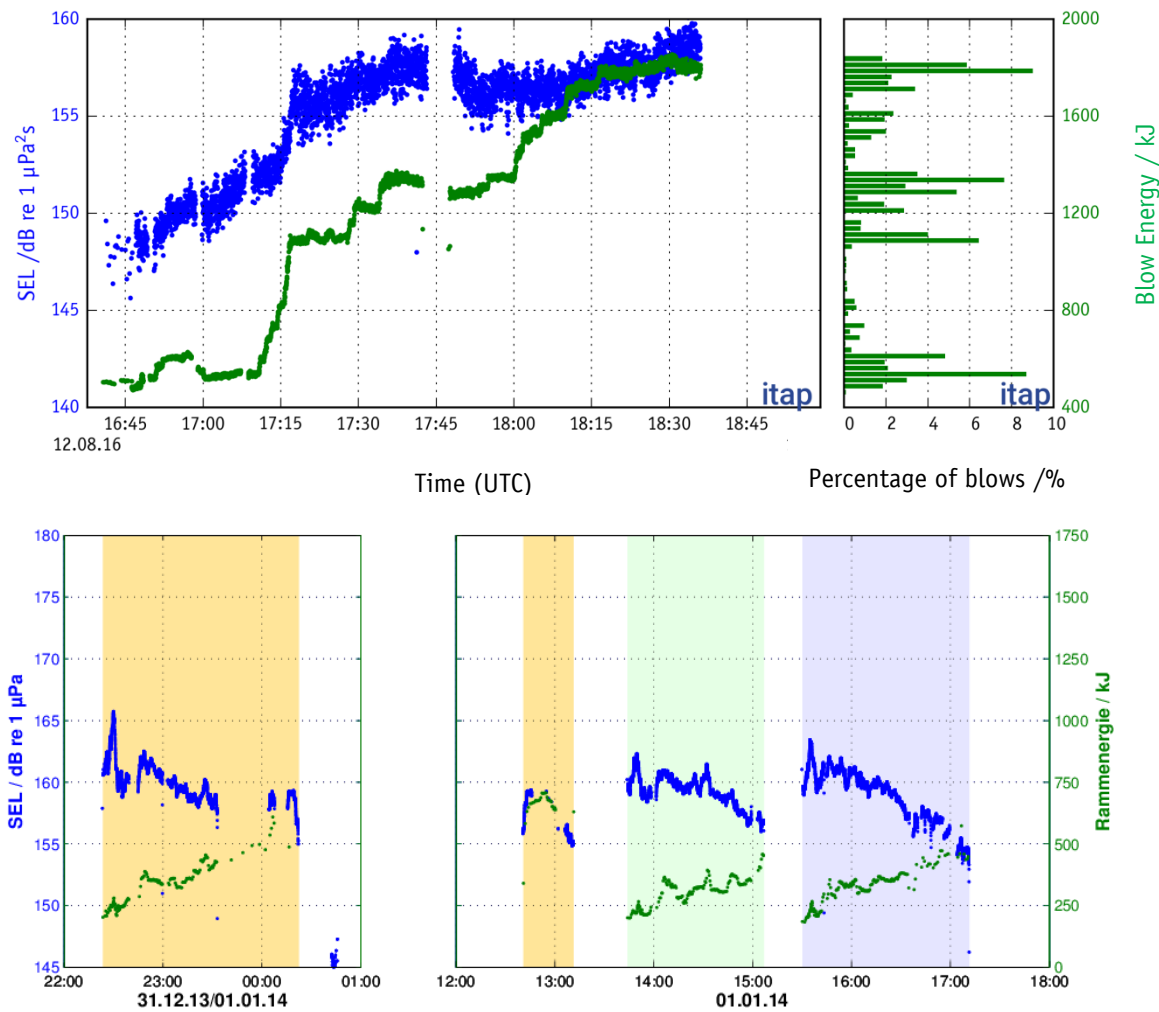


Figure 7 Top: Sound Exposure Level (*SEL*) as a function of time (blue line) and the used blow energy (green line) for a typical monopile installation in the North Sea. Bottom: A possible example for a Jacket-installation with three skirt-piles (colored background marked the three different piles).

4.4.8 Transmission loss

For modeling, Equation 14 is considered. The impact of the absorption parameter α is increasing with the distance, so it becomes more relevant for larger distances. By modeling the Transmission Loss via such a propagation function, a plain wave in water is assumed. This is only the case for distances from the pile larger than the water depth, when the directly emitted sound from the pile is superimposed with the first reflections from the water surface and the sediment. Below 50 m from the pile, no plain wave field has formed within the water column, the noise level will be below the level calculated with Equation 14. In the model results, the noise level will be constant over the first 50 m from the pile.

4.4.9 Model requirements

The empirical pile-driving model fulfills the national guidelines from regulators in Germany (BSH 2013) and Denmark (Danish Energy Agency 2016) for impact pile-driving predictions including the required outputs. Additionally, the *itap GmbH* is accredited for underwater noise predictions and measurements in accordance with the ISO 17025 (2018). International guidelines or standards for underwater pile-driving noise predictions do not exist today. Other nations also do not have fixed guidance for the predictions; typically, the requirements on the predictions will be defined separately for each construction project. This model has already been applied in countries like Germany, Denmark, The Netherlands, United Kingdom, Belgium, France, USA, Australia and Taiwan.

4.5 Calculation procedure

In the following subsections, the different calculation procedures/steps and sub-model runs are described in detail.

4.5.1 Step 1: Determination of *SEL* and $L_{p,pk}$ at 750 m distance to the source

The *itap* model predicts the Sound Exposure Level (*SEL*) and the zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$) based on the empirical data base in a specified distance of 750 m to the source in accordance with the requirements of the German measurement guidance (BSH 2011) and the international standard (ISO 18406 2017). The model results depend on the following parameters:

- (i) the pile diameter,
- (ii) the maximum blow energy (worst-case-scenario),
- (iii) the water depth and
- (iv) the safety margins for e. g. coupling effects, acoustic connections between pile and Jacket-structure.

4.5.2 Step 2: Frequency dependency of the source level and Transmission Loss

Estimations for the broadband Sound Exposure Level (SEL) and the zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$) value are based on empirical broadband data from different OWF construction phases (Bellmann, et al. 2020). Sound propagation in the ocean, however, is frequency-dependent, as discussed in chapter 4.1.

The spectral approaches for the piling noise at 750 m will be determined from empirical data (see chapter 4.4.4) and an approach for the Transmission Loss (TL) will be considered. The selection of the spectral shape based on empirical data as well as the overall level will be adapted to the predicted broadband Sound Exposure Level (SEL).

4.6 Model uncertainties

Both, the modeling of the “source strength” or “source level” of the pile-driving noise and the pile-driving analysis for the determination of the maximum blow energies as well as the modeling of the underwater noise propagation by applying Transmission Loss approaches (for instance the Transmission Loss according to Danish Energy Agency (2016) or Thiele & Schellstede; chapter 4.1) includes a certain degree of uncertainty and thereby the derived calculated/predicted level values as well as their impact range.

Measurements from completed construction projects (Bellmann, et al. 2020) with large Monopile show, that the measured SEL at the end of the pile-driving sequence stays constant or decreases by up to 25 % despite an increase of the blow energy, i. e., it does not increase. One possible explanatory approach for this is the high penetration depth of the Pin-Piles and the resulting elevated stiffness of the pile to be driven.

Occasionally, however, the Sound Exposure Levels steadily increased until the maximum penetration depth was reached (at simultaneous increase of the blow energy). This is why always the maximum blow energy is applied for all calculations.

By determining the source level just with the input parameter “pile diameter”, an uncertainty of +/- 5 dB arises (Figure 5). To reduce the uncertainty assumptions for the second relevant effective parameter “blow energy” are made and additions and deductions are considered based on an initial value.

By considering the effective parameter “blow energy”, the uncertainty is clearly reduced. The comparison of the model predictions with real measuring data from 2012 until now shows an uncertainty of ± 2 dB (unpublished data from different projects) for the Sound Exposure Level in a distance of 750 m to the piling event with the tendency, that the *itap* model results with the input data “pile diameter” and “blow energy” leads to conservative metrics *SEL* and *L_{p,pk}* in a distance of 750 m.

5. Modeling scenarios

5.1 Existing conditions

The water depth in the project area is approx. 28 m. For the forecast, Pin-Piles with 2,438 mm diameter and blow energies of 570 kJ, 760 kJ, 950 kJ, 1,140 kJ and 1,330 kJ are considered. Differences in soil resistance (SRD-value) of the soil layer also result in different blow energies. Further significant impacts of the sediment are not to be expected for the existing sediment layer.

For the project area, a good intermixing of the water without a distinct sound velocity profile can be assumed. This leads to a constant sound velocity over the whole water depth. For the model, an average sound velocity of 1,480 m/s is assumed. The sound velocity in water depends on salinity and temperature and has a minor impact on the cut-off-frequency caused by water depth (Jensen, et al. 2011).

The model does not consider any background level. Especially when considering a scenario including a mitigation system, some results can be below the background noise level.

5.2 Acoustically relevant input data

The following input data will be considered for the model:

Input data for the foundations	
- Foundation type:	Pin-Pile
- Pile diameter:	2,438 mm
- Water depth:	approx. 28 m (MSL) at <i>OSS Hollandse Kust West Alpha</i>
- Water condition:	Good intermixing of the water without a distinct sound velocity profile.
- Blow energy:	570 kJ, 760 kJ, 1,100 kJ, 1,330 kJ and 1,851 kJ
Model assumption to calculate the source level:	
- Input parameter #1:	Pile diameter.
- Input parameter #2:	Blow energy: initial value (model internal parameter) 1,000 kJ; 2.5 dB addition or deduction per duplication or halving of blow energy.
- Soil conditions:	No additions.
- Pile surface:	No deduction for the Pin-Piles due to application of a follower.
- Penetration depth:	No additions or deductions (see possible impact in chapter 4.4.3).
- Acoustic coupling	2.5 dB
- Transmission Loss:	According to Equation 14.
- Water depth:	Cut-off frequency 30 Hz (28 m)
- Model version:	1.03

6. Modeling results

Considering the model approaches in chapter 4, the following evaluation-relevant Sound Exposure Levels (SEL) and zero-to-peak Sound Pressure Levels ($L_{p,pk}$) are expected for different maximum blow energies at a distance of 750 m to the construction site:

For the model, the Sound Exposure Level (SEL) and zero-to-peak Sound Pressure Level ($L_{p,pk}$) are calculated separately by an empirical model (Model-Version: 1.03). The presented Sound Exposure Level (SEL) in Table 2 is related to the listed blow energy. This value represents the sound energy for every single blow by using this blow energy. However, pile driving usually requires several thousand blows with different pile driving energies. In addition, noise mitigation values do not refer to a single blow but to the level distribution during a complete pile driving. This means that the specified SEL values are identical to the maximum value ($SEL_{max} = SEL1$) to be maintained for a sequence, if the specified blow energy is identical to the maximum blow energy. For percentage exceedance levels, the specified SEL values are also equal to this if the percentage share of blows with maximum energy is greater than the exceedance share. If the noise mitigation value refers to a fixed average time, for example 30 s, the average Sound Exposure Level for 30 s (SEL_{30s}) is identical to the calculated values, provided the blow energy is constant over 30 s.

Table 2: Calculated unmitigated Sound Exposure Level (SEL) and unmitigated zero-to-peak sound pressure level ($L_{p,pk}$) in 750 m distance to the Pin-Pile (diameter of 2,438 mm) installation with different blow energies.

Blow Energy [kJ]	SEL in 750 m distance	$L_{p,pk}$ in 750 m distance
570	170	193
760	171	194
1,140	173	196
1,330	173	196
1,851	174	198

Figure 8 shows the Sound Exposure Level (SEL) using 1,851 kJ blow energy as a function of distance.

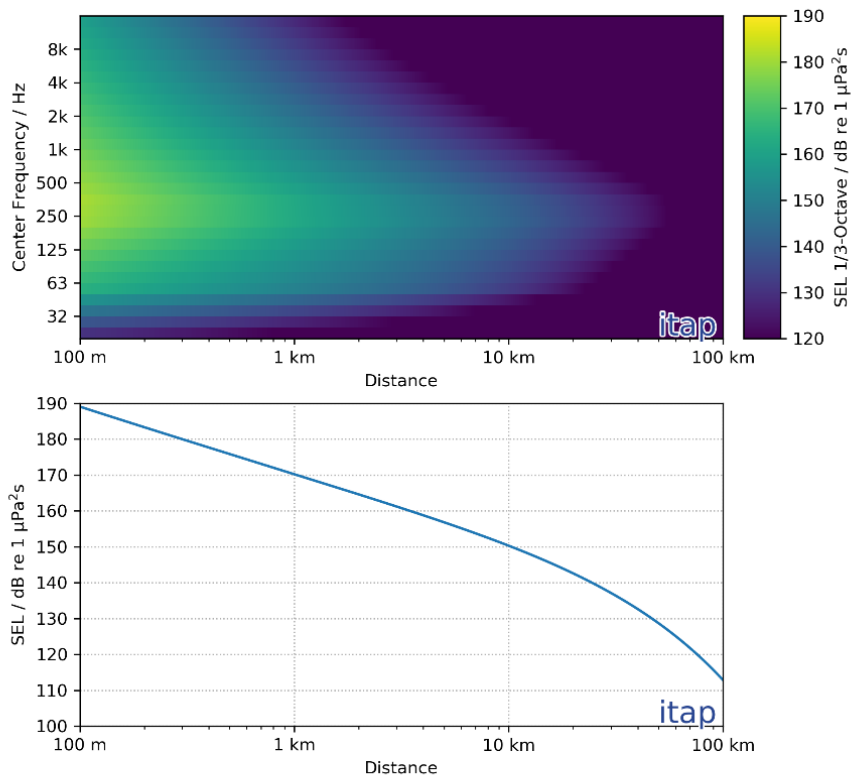


Figure 8: Predicted SEL (unweighted) due to driving Pin-Piles with a diameter of 2,438 mm at a maximum blow energy of 1,330 kJ as a function of distance. The spectrogram on top shows the SEL divided in 1/3-octave components. On the y-axis, the frequency is listed and the x-axis shows the distance. The value of the unweighted spectrum in every 1/3-octave-band is marked by different colors; yellow for high levels and blue for low levels. The diagram below shows the broadband values SEL.

7. Noise mitigation

Impact pile-driving leads to impulsive noise emissions with high levels (so-called pile-driving noise), which could harm marine life (Lucke, et al. 2009). For the environmentally sustainable use of renewable energy sources at sea, it is therefore necessary to reduce this sound input into the water. Therefore, the seasonally different noise mitigation values for the Sound Exposure Level (*SEL*) are set by *Rijkswaterstaat* (set in "*Vergunning Wet Natuurbescherming*" and "*Ontheffing Wet Natuurbescherming*"), that have to be fulfilled at a distance of 750 m to the pile-driving construction site. The maximum Sound Exposure Level (*SEL1*) is relevant to observe the seasonal different noise mitigation values of 162 dB_{SEL} to 169dB_{SEL} (see Table 1), i. e. the *SEL1* must be below these values depending on the month the construction work is performed and the maximum blow energy applied.

Hence, depending on the month the construction work is performed and the maximum used blow energy, noise mitigation measures must be planned for this project, that are able to reduce the pile-driving noise to comply with the noise mitigation value.

In general, noise mitigation can be achieved by the application of

- Noise Mitigation Systems (NMS), means to reduce the sound source level itself,
- Noise Abatement Systems (NAS), means to reduce/damp the pile-driving noise in the water.

A general overview of Noise Mitigation Systems, technical Noise Abatement Systems and possible alternative low-noise foundation structures and -procedures was published on behalf of the Federal Agency for Nature Conservation (BfN) for the first time in 2011 (Koschinski und Lüdemann 2011). In the following years, this study was updated twice (Koschinski und Lüdemann 2013) and (Koschinski und Lüdemann 2019). In Verfuss *et al.* (2019), a general overview of technical NAS is also given on behalf of the Scottish Natural Heritage. In this study, the effectiveness of each single Noise Abatement System and the expected costs of application are assessed by questionnaires. In Bellmann *et al.* (2020), an overview of the achieved overall noise reductions with Noise Mitigation Systems and Noise Abatement Systems within German waters is summarized.

7.1 Noise Mitigation System (NMS)

A robust and reliable possibility for reducing the source level during pile-driving is the reduction of the applied blow energy. Empirically, the acoustic parameters decrease about approx. 2.5 dB, when the blow energy is halved (Gündert, van der Par und Bellmann 2014) by applying "noise-optimized" pile-driving procedures with high blow rates and blow counts as

well as low energy. Typically, for such a “noise-optimized” pile-driving, a large hammer of the latest generation is used by 50 % to 60 % of its capacity (Bellmann, et al. 2020).

The application of a “noise-optimized” pile-driving procedure significantly depends on the soil resistance, which is mostly highly depending on the penetration depth; the higher the penetration depth, the higher the blow energy usually must be. Furthermore, the application of the “noise-optimized” pile-driving procedure must be checked carefully before construction regarding pile fatigue, soil resistance and piling duration; means, this noise mitigation system is not applicable in all pile-driving projects.

The sound reduction potential of “noise-optimized” pile-driving procedures is currently estimated at several decibels and is mostly used in combination with a real-time (online) underwater noise monitoring at 750 m.

However, new impact hammer techniques are currently under development like the *Menck* Noise Reduction Unit (MNRU), *IHC PULSE* or the *Blue-Piling* hammer. These new hammer techniques try to reduce the peak amplitude of the force transmission between hammer and pile and to prolong the duration of each single strike. Currently, these new noise mitigation systems are under construction or development and no applications under offshore-conditions were performed, so that no reliable predictions regarding the overall noise reduction potential can be given now.

7.2 Noise Abatement Systems (NAS)

At present, noise reductions for the *SEL* of up to 15 dB are possible by using a single NAS (Bellmann *et al.*, 2020) and by applying a combination of two NAS, it was possible to achieve noise reductions of 20 dB in water depths of up to 40 m and moderate currents (≤ 0.75 m/s). The overall reduction of each NAS significantly depends on technical-constructive factors such as foundation type and site-specific factors as for example water depth. Therefore, all NAS shall project-specifically be adapted.

The achieved overall noise reduction of a single NAS or combinations of two NAS show variances of several decibels, especially by applying combinations of NAS, even when technical problems or malfunctions of the applied NAS can be excluded (Bellmann, et al. 2020). Nevertheless, experiences showed, that not project-specifically optimized NAS or technical problems significantly reduce the overall noise reduction (Bellmann, et al. 2020). Furthermore, the overall noise reduction is highly frequency-dependent. Thus, the resulting (single-number) sound reduction depends on the spectral composition of the unmitigated piling-driving noise (unmitigated pile-driving spectrum). An increase of the overall prediction uncertainty of several decibels for mitigated pile-driving is likely due to the uncertainties by

predicting the unmitigated spectrum as well as the achievable noise reduction of the applied NAS.

7.2.1 Single or double Big Bubble Curtains (BBC and DBBC)

The single (BBC) and double Big Bubble Curtain (DBBC) is one of the most practicable and most frequently used NAS (> 600 applications). Additionally, the BBC-system is the only far-from-pile noise mitigation measure. Two funded R&D-projects were conducted to understand the main influencing factors of a Big Bubble Curtain on the overall noise reduction (Nehls und Bellmann 2015); (Bellmann, et al. 2020).

Experiences show, that by applying a BBC-system, the overall noise reductions for the Sound Exposure Level (*SEL*) significantly depend on the system configuration, current and water depth. With increasing water depth, the performance of a BBC slightly decreases. Experiences showed, that noise reductions of up to 18 dB (maximum measured noise reduction) in 40 m water depth are possible by using an optimized "Double Big Bubble Curtain" (DBBC) in the Baltic Sea with very low current (Bellmann *et al.*, 2020). The averaged noise reduction of an optimized DBBC with moderate current (≤ 0.75 m/s) mostly ranged between 15 dB and 16 dB. For higher currents, the likelihood of drifting effects of the bubble curtain is extremely high, which means the overall reduction becomes direction-dependent. For shallower water, the overall noise reduction might increase slightly.

Decisive for a successful application are:

- (i) a sufficient amount of compressed air and
- (ii) a complete wrapping of the pile by the Big Bubble Curtain.

The required air volume depends on the water depth due to the static pressure of the surrounding water. In the North Sea (where the most BBC-applications took place), an applied air volume of ≥ 0.5 m³/(min*m) is currently state-of-the-art for water depths up to 40 m (Bellmann *et al.*, 2020). In order to enable a complete wrapping of the pile, a sufficient distance of the Big Bubble Curtain nozzle hoses to the pile is required. This distance depends on the local current and the water depth (drifting effects). Means, by setting up the BBC-system configuration, the water depth and the current, but also the type of installation vessel (DP, anchor moored floating vessel or jack-up barge) shall be considered by designing the overall length of the applied nozzle hoses and the layout shape used. Typically, a current of up to 1 knot is no problem for applying an optimized BBC-system with respect to the drifting effects. Nevertheless, applying only a single BBC instead of a double BBC will reduce the overall noise reduction by 2 to 4 dB. Hereafter, the minimum BBC system requirements from already closed pile driving projects are listed (Bellmann, et al. 2020).

System configurations for an optimized single / double Big Bubble Curtain:

hole size (diameter) and hole spacing:	1 - 2 mm all ca. 20 - 30 cm
applied air volume:	$\geq 0,5 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m})$
distance of the nozzle hoses:	\geq a water depth between 1st and 2nd BBC
typical nozzle hose diameter:	currently 100 mm (limits the overall length of a single BBC to 1,000 m due to air flow dynamic boundaries)
total length of nozzle hoses:	\leq double: 1,800 m (single: < 1,000 m)
overall life-time of each nozzle hose is limited:	currently best practice < 80 - 100 applications
pressure of the compressed air inside the nozzle hoses:	2 – 3 bar higher than the static pressure of the water outside; -> in water depth of up to 30 m an operational pressure of the compressors shall be minimum 8.5 to 10 bar ³
regular maintenance of the applied nozzle hoses	
no turbulence-producing obstacles in the nozzle hoses	

The achieved noise reduction is independent of the foundation design (Monopile or Jacket construction). The exact adaptation of a (D)BBC to local conditions is not part of an underwater noise forecast. Due to the high variances caused by different system configurations, it is not possible to make accurate predictions about the expected noise reduction. In order to achieve the maximum noise reduction a continuous underwater noise monitoring is recommended so that errors can be corrected immediately, and new adjustments can be made quickly.

7.2.2 Grout Annulus Bubble Curtain (GABC)

In the construction of Jacket-structures in the post-piling-procedure, the piles are driven through so-called pile-sleeves.

³ Typically, the pressure of the compressed air can be measured onboard of the BBC supply vessel on the manifold. Based on experiences the pressure will slightly decreasing inside the nozzle hoses with distance to the manifold due to physical parameters like water temperature etc. as well as due to the fact that air will leave the nozzle hose on the seabed. Based on measurements inside the nozzle hoses a pressure of 9.3 bar at the manifold is sufficient for water depth up to 40 m to ensure an overpressure inside the nozzle hose of 2 – 3 bars always.

There are two possible types of pile-sleeves:

- (i) The pile-sleeve is an inherent part of the Jacket-construction and extends from the lower edge, i. e. the seabed, to the upper edge above the water surface of the total Jacket-structure, i. e. the piles are always driven above the water surface and the pile-sleeve covers the entire water column.
- (ii) The pile-sleeve is only several meters high and is rigidly connected to the Jacket-structure at the lower edge. Alternatively, instead of the Jacket-construction, a pile installation frame can be used. In the course of the pile-driving, the piles (Pin-Piles) are thus driven below the water surface and end only a few meters above the seabed resp. the pile-sleeve.

With the two methods described, compressed air can be introduced into the gap between pile and pile-sleeve. The compressed air is usually introduced via the permanently installed pipelines for the cementation of the piles (grouting lines), which are mostly located at the bottom of the pile-sleeve. The air bubbles ascend in the gap between pile and pile-sleeve to the top. The gap thus fills with an air-water-mixture.

Experiences have shown, that due to drifting effects, the noise-reducing effectiveness for Pin-Piles is in the range of a few decibels (Bellmann *et al.*, 2020). An exact evaluation of a GABC for Pin-Pile installation in accordance with DIN SPEK 45653 (2017) is not possible since this GABC was always applied in combination with a single or double BBC; only for several minutes of pile-driving the GABC was turned off and the measured levels at 750 m increased slightly. With pile-sleeves from the seabed to the water surface (so-called Main-Piles where no submerged hammering happened), a noise reduction of up to 7 dB can be achieved (Bellmann *et al.*, 2020). The main influencing factor of the achievable overall noise reduction are the sleeve height and the current. Because the raising bubbles will be drifted away by current above the pile sleeve.

7.2.3 Hydro Sound Damper (HSD)

The Hydro Sound Damper is a near-to-pile Noise Abatement System, which often is applied in combination with a single or a double Big Bubble Curtain.

The HSD-system consists of a net with HSD-elements and a lowering and lifting device. The HSD-elements consist of different foam elements in different sizes. Each HSD-element is adjusted to different frequencies and water depths, so that the HSD-system must be adjusted to each individual offshore project.

The whole system (lowering and lifting device, nets and HSD-elements) can be telescoped via winch systems for the transport as well as for the mobilization and demobilization.

Until now, this Noise Abatement System was always used in combination with a single or double Big Bubble Curtain as standard during Monopile installations with pile diameters up to 8 m and a water depth to approx. 40 m. Test measurements by only applying the HSD system in accordance to the DIN SPEC 45653 (2017) showed a constant noise reduction of 10 dB in the North Sea at water depths of up to 40 m.

7.2.4 Combination of HSD and GABC

Due to the geometric constraints of a jacket installation, it is not possible to completely enclose the pile with the HSD net as is done in monopile installations. However, it is possible to use the HSD system above the piling sleeve. In the area of the piling sleeve the sound radiation can be attenuated by the GABC. It can be assumed that this combination will achieve a lower sound reduction compared to an HSD system in a monopile installation. Compared to a GBAC system alone, the sound radiation is reduced over the entire pile. In sum, the total sound reduction can be expected to be in the decibel range between the HSD and the GABC. For the example given in Chapter 7.3, an attenuation of the Sound Exposure Level (*SEL*) by 5 dB and 11 dB for the zero-to-peak level ($L_{p,k}$) is assumed.

7.3 Level values using preselected noise mitigation measures

Table 3 shows the predicted *SEL* and $L_{p,pk}$ values using a noise abatement system to reduce the pile-driving noise in the water. Either a single Big Bubble Curtain (BBC) or a Grout Annulus Bubble Curtain in combination with a HSD-System as described in chapter XX is assumed, resulting in an overall noise reduction of -11 dB for the BBC and -5 dB for the GABC for the *SEL*. The reduction of the zero-to-peak level is approx. 5-6 dB higher.

Table 3: Calculated Sound Exposure Level (*SEL*) and zero-to-peak sound pressure level ($L_{p,pk}$) in 750 m distance to the Pin-Pile (diameter of 2,438 mm) installation using a NAS (either GABC or BBC with different blow energies and either a GABC or BBC used).

Blow Energy [kJ]	NAS	<i>SEL</i> in 750 m distance	$L_{p,pk}$ in 750 m distance
570	BBC	159	177

760	BBC	160	178
1,140	BBC	162	180
1,330	BBC	162	180
1,851	BBC	163	182
570	GABC+HSD	165	182
760	GABC+HSD	166	183
1,140	GABC+HSD	167	184
1,330	GABC+HSD	168	185
1,851	GABC+HSD	169	186

For the pile-driving, seasonal noise mitigation values are defined for offshore-supply stations in the Netherlands for the Sound Exposure Level in 750 m to the piling. In the first Tertian from January to May inclusive (T1), the *SEL*₁ (corresponding to the maximum *SEL*) must not exceed 162 dB, from June to August inclusive (T2), the *SEL*₁ must not exceed 167 dB and from September to December inclusive (T3), the *SEL*₁ must not exceed 169 dB.

Depending on the construction period and the maximum blow energy used, the application of noise mitigation measures is required to comply with the defined noise mitigation values determined by the responsible authority *Rijkswaterstaat*.

Based on experiences an overall noise reduction of an optimized single BBC shall be ≥ 11 dB. For a GABC no reliable evaluation of the achievable overall noise reduction in accordance with DIN SPEC 45653 (2017) exist. It is likely that the pile-driving noise will be reduced by 2 dB to 3 dB in combination with a HSD-net above the pile sleeve further increase to 5 dB is expected.

A compliance of the Dutch noise mitigation value in T2 and T3 2021 by application of an optimized single Big Bubble Curtain should be guaranteed quite equal to which of the expected maximum blow energy is used.

In case of applying the GABC in combination a compliance with the noise mitigation values by using blow energies of up to 1140 kJ in T2 and up to 1,850 kJ in T3 is likely. But due to drifting effects and the overall prediction uncertainty a real time (online) underwater noise monitoring at 750 m distance should be applied. A possible contingency plan might be to limit the pile-driving activities to periods during slake tide. In case blow energies of $> 1,000$ kJ are required a real time (online) underwater noise monitoring shall be applied. However, a non-compliance with the noise mitigation value cannot be excluded even during slake tide pile-driving.

In case of an installation within T1 the noise reduction requirements are ranged between 8 and 12 dB. By application of an optimized single BBC a compliance of the noise mitigation value is likely for blow energies below 1330 kJ. The application of a real time (online) underwater noise monitoring, especially if the blow energies > 1,000 kJ are likely, is advised. The reduced noise mitigation values for the period January to May are not achievable by applying a GABC+HSD combination.

8. References

- Bellmann, Michael A., Jana Brinkmann, Adrian May, Torben Wendt, Stephan Gerlach, und Patrick Remmers. „Underwater noise during the impulse pile-driving procedure: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values. Supported by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)), FKZ UM16 881500. Commissioned and managed by the Federal Maritime and Hydrographic Agency (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)), Order No. 10036866. Edited by the itap GmbH.“ Tech. rep., itap GmbH, 2020.
- BSH. „Measuring instruction for underwater sound monitoring – Current approach with annotations - Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.“ 2011.
- BSH. „Offshore Wind Farms – Prediction of Underwater Sound – Minimum Requirements on Documentation - Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.“ *This report (Report No. M100004/29) was created as part of the research project "Accompanying ecological research at the alpha ventus offshore test site for the evaluation of BSH Standard for Environmental Impact Assessment (StUKplus)" on behalf of the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (project number 0327689A) and as part of the research project "Study on assessment approaches for monitoring underwater noise associated with offshore approval procedures, spatial planning, and the Marine Strategy Framework Directive" created on behalf of the BSH (order number 10020764)*, 2013.
- Danish Energy Agency. „Guideline for underwater noise – Installation of Impact-driven piles.“ *Energistyrelsen, Center for Energiressourcer*, 2016.
- DIN 17025. *DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC _17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN _ISO/IEC _17025:2017*. Standard, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, 2018.
- DIN 45653. *DIN SPEC 45653:2017-04, Hochseewindparks - In-situ-Ermittlung der Einfügungsdämpfung schallreduzierender Maßnahmen im Unterwasserbereich; Text Deutsch und Englisch*. Standard, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, 2017.
- Gündert, S., S. van der Par, und M. Bellmann. „Empirische Modellierung zur Prädiktion von Hydroschallimmissionen bei Impulsrammung von Fundamenten für Offshore-Windenergieanlagen.“ *DAGA*, 2014: 449-545.

- ISO 18406. „ISO 18406:2017, Underwater acoustics – Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving.“ Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2017.
- Jensen, Finn B., William A. Kuperman, Michael B. Porter, und Henrik Schmidt. *Computational ocean acoustics*. Springer Science & Business Media, 2011.
- Koschinski, S., und K. Lüdemann. „Noise mitigation for the construction of increasingly large offshore wind turbines – Technical options for complying with noise limits, report on behalf of BfN.“ *Bonn, Germany*, 2019: 1–42.
- Koschinski, S., und K. Lüdemann. „Stand der Entwicklungen schallminimierender Maßnahmen beim Bau von Offshore-Windenergieanlagen, report on behalf of BfN.“ *Bonn, Germany*, 2011: 1–83.
- Koschinski, Sven, und K. Lüdemann. „Development of noise mitigation measures in offshore wind farm construction.“ *Commissioned by the Federal Agency for Nature Conservation*, 2013: 1–102.
- Lippert, S., M. Huisman, M. Ruhnau, und K. von Estorff. „Prognosis of underwater pile driving noise for submerged skirt piles of jacket structures.“ *th Underwater Acoustics Conference and Exhibition (UACE 2017), Skiathos, Greece*, 2017.
- Lucke, K., U. Siebert, P. A. Lepper, und M. A. Blanchet. „Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli.“ *J. Acoust. Soc. Am.* 425 (2009): 4060–4070.
- Nehls, G., und M. A. Bellmann. „Weiterentwicklung und Erprobung des „Großen Blasenschleiers“ zur Minderung der Hydroschallemissionen bei Offshore-Rammarbeiten. Gefördert durch PTJ und BMWi, FKZ 0325645A/B/C/D.“ Tech. rep., 2015.
- Thiele, R., und G. Schellstede. „Standardwerte zur Ausbreitungsdämpfung in der Nordsee.“ *FWG-Bericht 1980-7, Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*, 1980.
- Urick, R. J. *Principles of underwater sound*. 3. McGraw-Hill, Inc., 1983.
- Verfuss, Ursula K., Rachael R. Sinclair, und Carol Sparling. „A review of noise abatement systems for offshore wind farm construction noise, and the potential for their application in Scottish waters (Report No. 1070).“ Tech. rep., Scottish Natural Heritage, 2019.

8 PERMANENT WORKS

8.1 Skirt piles

8.1.1 General arrangement

In total 4 skirt piles (Figure 4) will be driven into the soil. Each will be positioned through one of the pile sleeves. At the grout zone the skirt piles have weld beats on the outside.

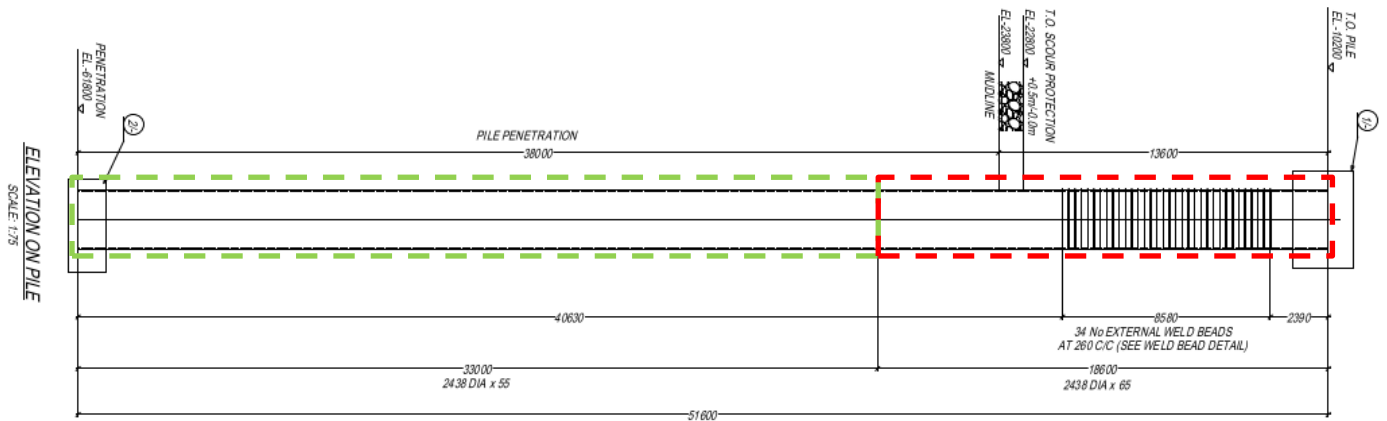


Figure 4: General arrangement of the HKN skirt pile [17] – Section 1 (- -) & Section 2 (- -)

The general information of the above skirt pile is summarized in Table 1 [17].

Parameter	Value	Unit
Length	51600	mm
Outer diameter	2438	mm
Length section 1	18600	mm
Thickness section 1	65	mm
Length section 2	33000	mm
Thickness section 2	55	mm
Bottom of pile once installed	-61800	mLAT
Top of pile once installed	-10200	mLAT

Table 1 - Relevant general information of the skirt pile [17]

Weld beats are present on the pile to enable better contact with the grout once the grouting operation has been executed. The tolerance on the penetration depth of the pile is such that the lowest weld beats remain above the upper grout seal avoiding damage to the seal at all times.

8.1.2 Pile stick-up

The theoretical pile penetration in the soil is 38m which corresponds to a position of the top of the pile after driving of -10,2 mLAT (Figure 4). When at final depth, no clashes of the driving equipment with the pile sleeve must be present. Therefore the theoretical distance between the top of the pile and top of the catcher plate, which is the pile stick-up, is determined (Figure 5). This is theoretically 900 mm (Figure 6 and Figure 7) above the catcher plate. Due to the tolerances on the scour protection (+0.5m/-0.0m as per Figure 6) and the penetration of the pile (+0.0m/-0.5m as per section 7.3.2) the minimal pile stick-up is -100 mm (thus below the catcher plate).

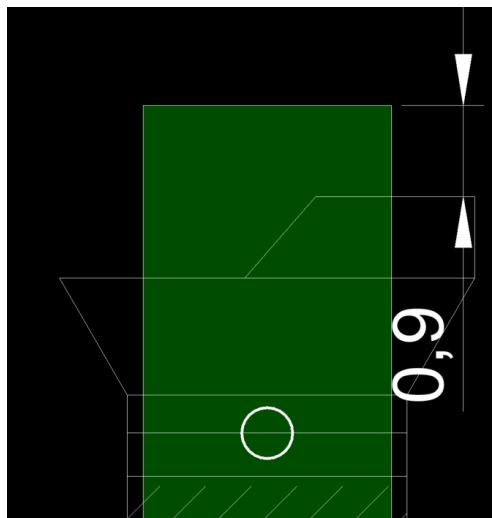


Figure 5: Visualization of the pile stick-up (Green = skirt pile)

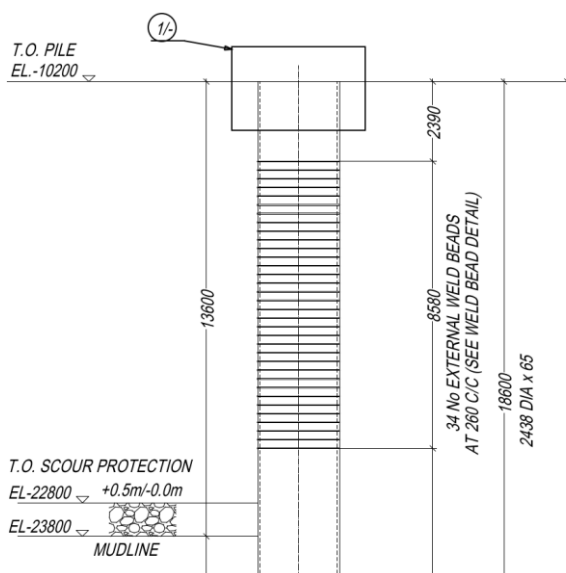


Figure 6: Designed top of pile (-10.2 mLAT) [17]

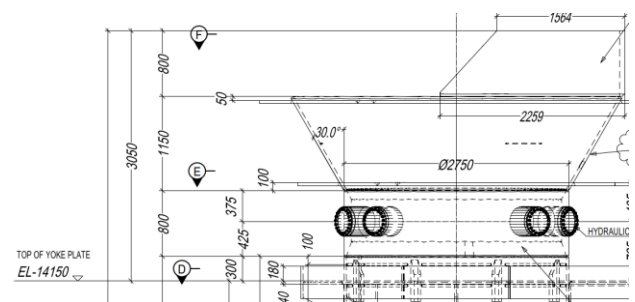


Figure 7: Theoretical elevation of the catcher plate (-11.1 mLAT) [18]

The available pile stick-up at the end of driving is insufficient to place a hammer directly onto the pile (this would result in a clash between the hammer sleeve (Section 9.3.1) and the pile sleeve's cone, therefore a follower will be used (see section 9.4).

8.2 Pile Sleeve

Each pile will be lifted inside one of the four pile sleeves (Figure 8). Once stabbed it will be driven through the pile sleeve and grouted. The sleeve features a number of installation aids:

- 1) The Capture Plate;
- 2) Shims
- 3) Electrical continuity plates;
- 4) Hydraulic grippers;
- 5) Grouting system.

The first 4 items are discussed in the sections below. For details about the grouting system, reference is made to the grouting operations Method Statement [7].

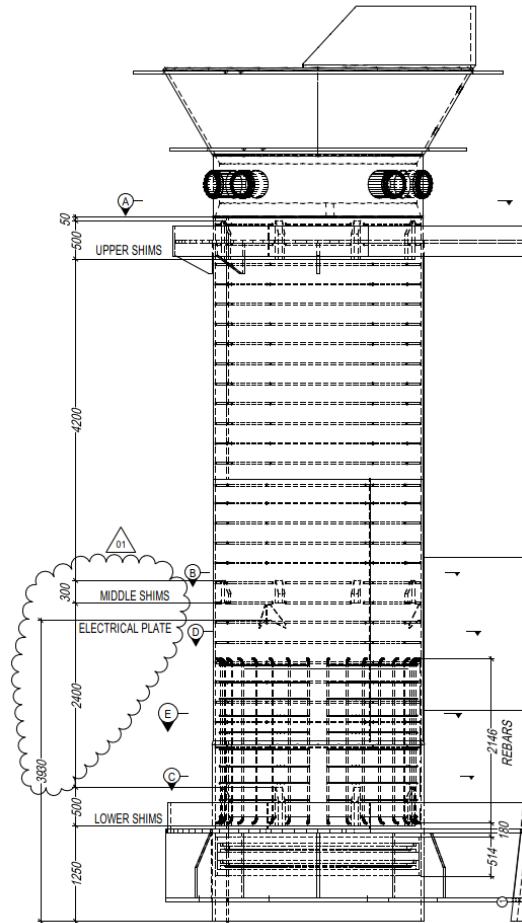


Figure 8: General arrangement of the pile sleeve [18]

8.2.1 Capture plate

The pile will be lifted inside the pile sleeve. To ease the positioning of the pile inside the sleeve when the pile is free hanging, a 60 mm thick and 800 mm high capture plate is installed on top of each pile sleeve (Figure 9). This plate has been designed for pile impact. As detailed in the Pre-Service Analysis calculation report [19], the capture plate is able to resist 10% of the total pile weight acting vertically and horizontally.

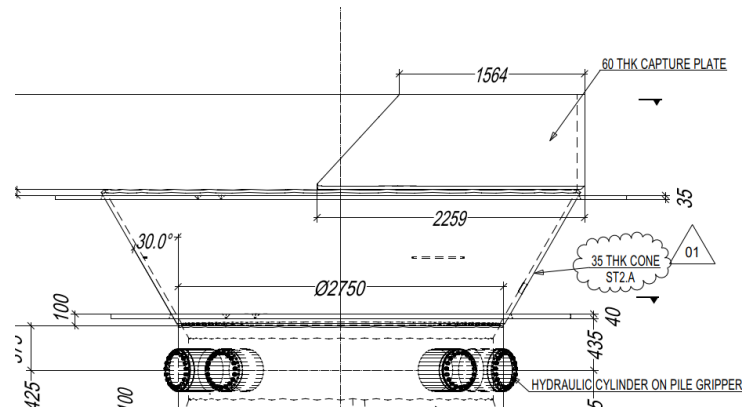


Figure 9: Capture plate on top of the pile sleeve [18]

8.2.2 Shims

During pile driving, the pile sleeve will act as a template/guide for the piles (Figure 8). At 3 heights, 8 shims each (24 in total, Figure 10) are installed to assure:

- pile inclination during stabbing the pile and driving ($<0.5^\circ$);
- grout thickness [20];
- grout seal integrity during stabbing and driving.

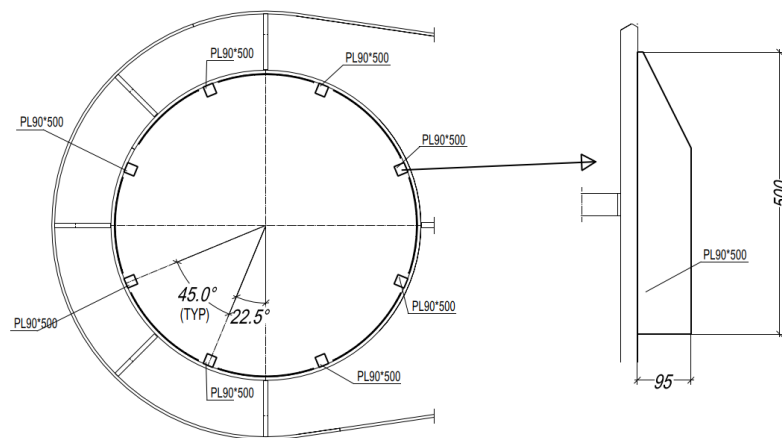


Figure 10: Orientation and details of upper shim plates [18]

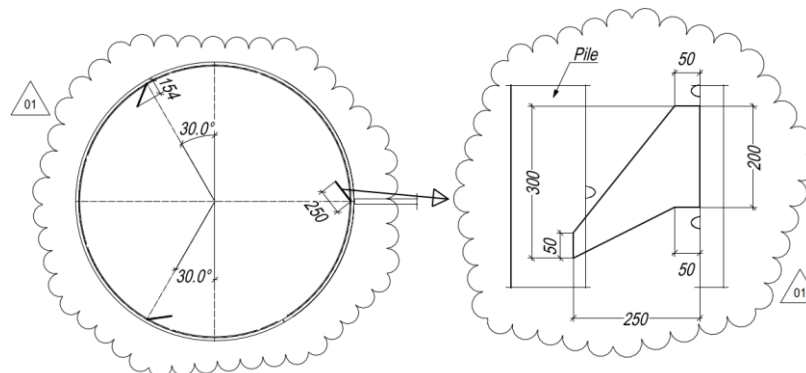


Figure 11: Orientation and details of the electric plates [18]

Normally, during pile driving, one side of the pile touches some of the shims. This will most likely lead to a localized clash with the weld beats present on the pile and possibly local damage to the weld beats/shims during driving.

8.2.3 Electrical continuity plates

The earthing connection between the pile sleeve and the pile is created by the presence of electrical continuity plates in the pile sleeve (Figure 11). The design of these plates is such that they will be in contact with the pile during pile lowering and pile driving. This contact provides the earthing connection from jacket structure to piles.

8.2.4 Hydraulic grippers

Above the upper shims hydraulic grippers are installed (Figure 8 and Figure 12). Once pile driving is completed and, if required, levelling is performed so that the jacket tilt is in tolerance (0.5° from the vertical), the hydraulic grippers will be engaged by connecting the hydraulic power pack to the hydraulic lines inlet, located at the top of the jacket legs (Figure 13).

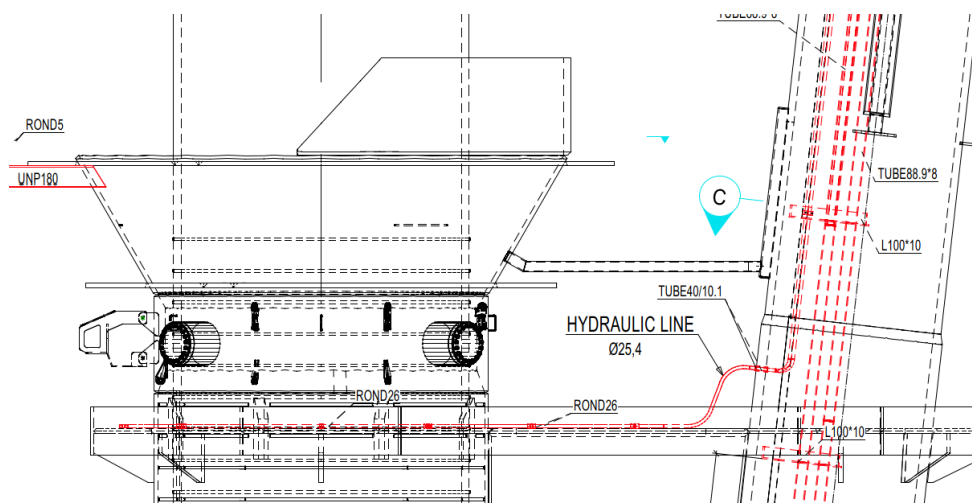


Figure 12: Hydraulic grippers and hydraulic line [21]

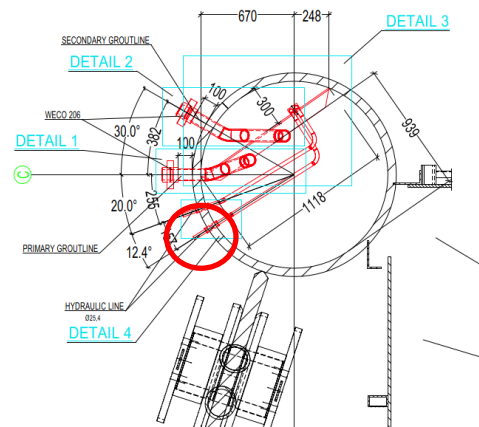
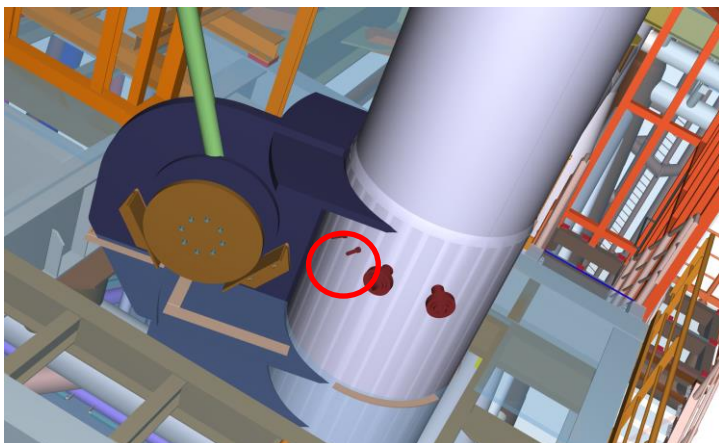


Figure 13: Hydraulic lines inlet (red) from the 3D model (left) and design drawing (right) [21]

8.3 Scour protection

Before the installation of the jacket, scour protection with a minimal thickness of 1 meter is placed on the seabed consisting of a filter layer and an armour layer. These layers consist of 1"-5" and 3"-9" HD rocks respectively. The details of the scour protection and the installation method are found in the Scour Protection Method Statement [22].

9 PLANT & MACHINERY

9.1 Vessel

Pile driving will be performed from the vessel that performs the jacket installation or from another suitable vessel. In case the HLV will install the piles, the piles will be upended by HLV on the transport barge [23] and directly lifted into place.



Figure 14: General Arrangement of the H-401 barge

The seafastening of the piles on board the barge will consist of simple stoppers (details to follow). Upending will be done on hard wooden mats. After upending, the hard wood will be broken (Figure 15).



Figure 15: Example of upending frame with hard wood (to be considered lost after use)

9.2 Internal Lifting Tool

The Internal Lifting Tool (ILT) is a hydraulically operated lifting tool which engages gripper blocks to clamp itself inside the pile once inserted (Figure 16). When the ILT is installed, the guide spacers of the tool will rest against the top of the pile. The gripper elements will then be in the right position to interface with the pile internal wall. The tool will be equipped with main rigging for upending and lifting the piles in vertical position.



Figure 16: Example of an ILT

9.3 Hammer

The skirt piles are driven into the seabed with an IHC S-800 Hydrohammer. Figure 17 provides a general impression.

The detailed specifications of this hammer can be found in the technical specification sheet [24]. In general, the hammer spread consists of:

- 1 x IHC Hydrohammer, type S-800
- 1 x Power pack P-3300W or equivalent, filled with standard hydraulic oil.
- 1 x Conductor Sleeve 2500 mm
- 1 x Hose Bracket
- 1 x Control Cable reel ER-200
- 1 x Set of spare parts for the hammer and power pack, stored in a 20 ft. container
- 1 x Set of basic tools

Critical spare parts will be on board in case of breakdown or maintenance. Other spare parts will be available on board or at the IHC yard in The Netherlands.

The hammer is lifted with dedicated rigging according to engineered lifting plan [25].

9.3.1 Hammer sleeve

The hammer sleeve houses the anvil and anvil ring and ensures correct positioning of the hammer onto the skirt. The IHC 2500mm sleeve will be used, adapted to suit the 96" skirt piles. Figure 18 shows an overview and some details of the 6500 mm Sleeve with rollerboxes. More details can be found in the IHC hammer specifications [24].

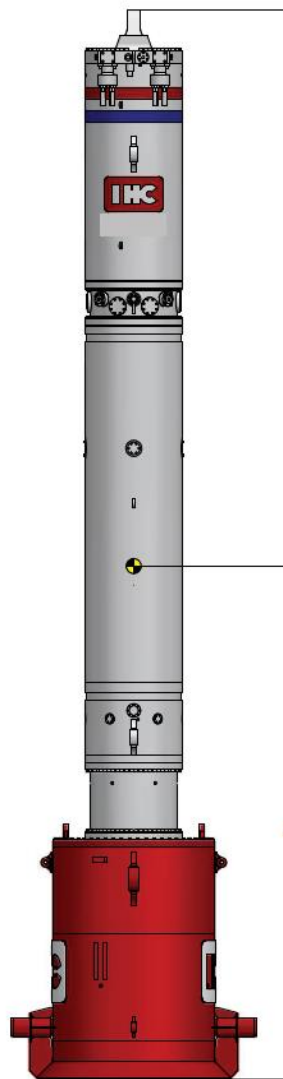


Figure 17: General arrangement hydrohammer

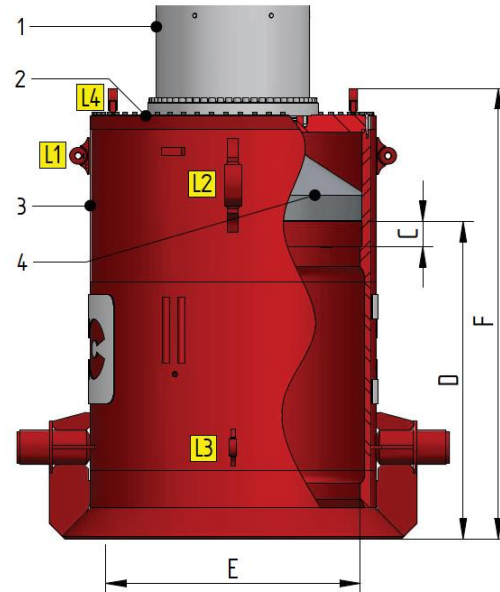


Figure 18: Detailed view of the hammer sleeve (1: Hydrohammer, 2: Connection ring, 3: Conductor sleeve, 4: Anvil)

9.3.2 Hammer seafastening

The hammer will be stored on deck. A seafastening grillage will be foreseen and acts as the interface structure between the deck and the hammer sleeve.

9.3.3 Hammer Log

During pile driving a hammer log is created by the control system. This log summarizes the following parameters during pile driving (per 25cm):

- Date
- Time
- Penetration [m]
- Blow count [-/25cm]
- Blowrate [-/min]
- Energy [kJ]
- Total energy [kJ/25cm]

Every 25cm of skirt pile penetration a signal is given to the IHC hammer control system. This signal summarizes the parameters of the last 25cm and allows the hammer operator to evaluate the pile driving operation.

Self-penetration depth of the skirt pile with hammer on top is verified by the survey system or ROV and added to the hammer log.

9.3.4 Pile driving refusal

The pile driving refusal criteria are defined by IHC as the point where the pile driving resistance exceeds one of the following two situations:

- An average of 250 blows/25 cm pile penetration over six consecutive distances of 25 cm. This is equivalent to a maximum of 1500 blows for a distance of 1500 cm or less;
- Or, exceeds 650 blows per single distance 25 cm penetration

This shall not apply if there has been a delay in pile driving operations for one hour or longer. For the next 25 cm the blow count may be 1000 as a maximum.

Above blow count criteria represent very hard driving conditions and have the purpose to protect the hammer for mechanical breakdown or failures. The practical maximum for continuous driving conditions is a blow count of approximately 80-100 blows/0.25 m at maximum pile driving energy.

9.3.5 Driveability assessment

A driveability study is performed in the respective report [26]. Driving predictions are made based on the soil conditions found on-site. The report concludes that the skirt piles can be driven to final penetration depth with the selected IHC S-800 hammer for both Lower Bound and Upper Bound conditions and criteria.

9.4 Follower

As stated in section 8.1.2, the hammer sleeve will clash with the pile sleeve once the pile is nearing its target depth. Therefore a follower (Figure 19) will be placed between the top of the pile and the hammer. The lower part of the follower, approximately 4 m long, consists of spacers which will be inserted in the skirt pile. The top part, which is approximately 6.7m long, will stick out of the top of the pile.

The hammer will drive on the top of the follower. The driving energy will go through the follower and be transmitted to the pile. Note that efficiency losses due to use of the follower were taken into account into the drivability analysis [26].

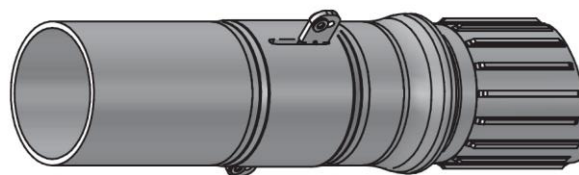


Figure 19: 3D view of the preliminary follower

There are two options to install the follower on top of the pile:

1. The follower is lifted separately on the pile by using the ILT. Afterwards, the hammer is positioned on top of the follower to perform the driving operation.
2. The follower is connected on deck to the hammer sleeve. The hammer-follower combination is lifted on top of the pile.

Both options can be used during the pile installation operations.

9.5 PDA measuring

On 2 out of 4 skirt piles a pile dynamic load test will be performed. The chosen piles are the ones at the side of the boat landings of the jacket (i.e. closest to the installation vessel); namely A1 and A3. The load tests shall be performed directly after the pile has reached target depth. Afterwards the results shall be evaluated and interpreted.

To enable this measurement 2 acceleration sensors and 2 strain sensors shall be positioned onto the pile. Reference is made to the technical specification for more details of the sensors and their position onto the pile [27].

After the PDA measurements, the ROV will cut the main cable running from the pile to the deck. The 2 acceleration sensors, the 2 strain sensors and the local cabling on the pile will be lost and remain on the pile.

9.6 Noise mitigation system

Pile driving creates noise which can cause injuries to the marine life. A noise prognosis study was performed [28] and concluded that noise abatement systems are necessary to comply with the noise limits as stipulated in the permits.

The considered noise mitigation systems are described in the noise mitigation concept [28]. Deployment of these are described in the MST Noise Mitigation System Installation [5].

One action taken to limit the consequences to the marine life has direct impact on the driving procedure, namely the Soft Start Procedure. This consists of starting the driving process by giving unique blows at minimal energy settings for a minimum of 10 minutes.

Afterwards, the energy and the number of consecutive blows will increase gradually until a constant driving process is reached. The procedure serves to scare any seals, other sea mammals and fish away from the pile driving location.

9.7 Survey system

During the piling of the jacket, survey measurements will be performed to check the inclination of the jacket and the pile penetration. Reference is made to the method statement for survey for more information [8].

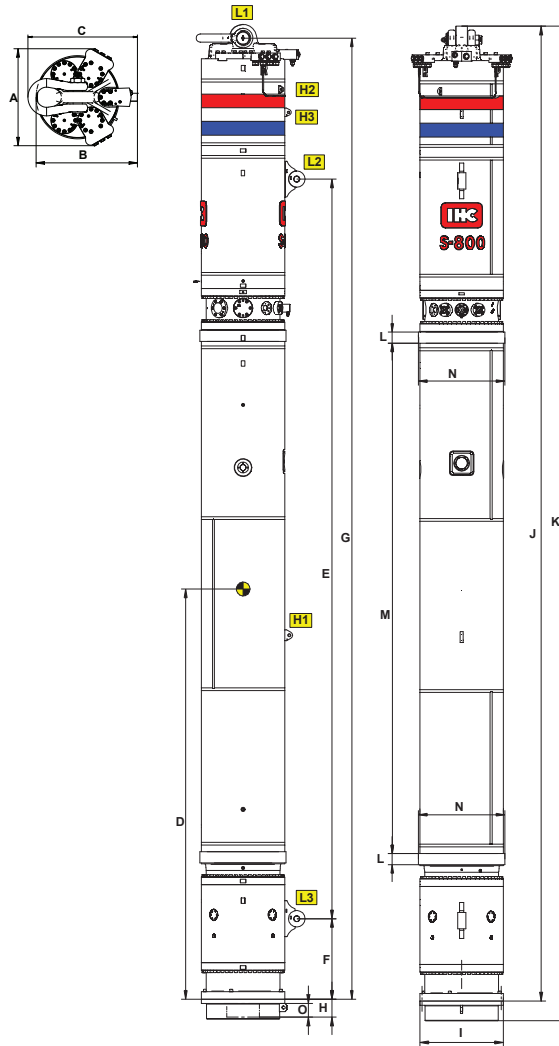
9.8 ROV system

During lifting of the pile driving spread and driving operations, a ROV will be deployed to provide underwater footage. Reference is made to the method statement for jacket installation for more information about the ROV [1].

Hydrohammer® S-800

Application:
Hydrohammer® for steel piles
Piling free hanging in air and underwater

data sheet no. 1.1.10014
 revision 9
 date June, 2016
 page 1/2
 code no. 85 33 00 00



Pos.	Description	Length [mm]	Pos.	Description	Length [mm]
A	Transport width	1470	I	Outer diameter	1220
B	Transport height (without shackle)	1535	J	Length	14245
C	Transport height (with shackle)	1660	K	Transport length (incl. cover)	14535
D	Centre of gravity	5995	L	Height ballast collar	160
E	Position lifting eyes	10810	M	Position ballast collar	7460
F	Position lifting eyes	1180	N	Diameter ballast collar	1260
G	Length under crane hook	14045	O	Fall out ram weight pin	200
H	Required length in sleeve	260			

Pos.	Lifting eyes	Working Load Limit [tons]	Hole diam. Ø [mm]	Thickness [mm]
L1		250	145	170
L2/L3		85	84	120
H1		13,5	40	45
H2		6,5	26	30
H3		9,5	33	40

Use Green Pin® Heavy duty (type P- 6036) for Top Shackle



Hydrohammer® S-800

data sheet no.	1.1.10014
revision	9
date	June, 2016
page	2/2
code no.	85 33 00 00

Operating data

Max. net energy	800 kJ
Min. net energy	88 kJ
Blow rate	45 Blows/min
At max. energy and recommended oil flow	

Weight

Ram	40 tons
Hammer (incl. ram, in air)	85 tons
Hammer (incl. ram, in salt water) (Only if fully submerged)	70 tons

Hydraulic data

Operating pressure	250 bar
Max. pressure	350 bar
Recommended oil flow	2200 l/min
Power pack, back pressure valve setting	18 - 22 bar
Power pack, back pressure valve	activated

Gas filling pressure

Vertical pile driving only! Values will vary for:
- pile driving under different angles with the vertical,
- pile driving underwater depending on water depth.

Supply accumulator (Nitrogen)	130 - 160 bar
Return accumulator (Nitrogen):	
- with activated back pressure valve*	13 - 17 bar
- without back pressure valve	3 - 5 bar
Cap (Nitrogen or Air)	26 - 34 bar

Safety setting

Cap	60 bar
-----	--------

Hose connections

Oil supply 2x2" hose (P)	M68x2 male
Oil return 3x2" hose (R)	M68x2 male
Air to cap (CA)	M42x2 male

* NOTE

IHC IQIP recommends to use a back pressure in the return line of the hydraulic system circuit while pile driving. In case a power pack does not have a back pressure valve installed, it is recommended to install one.

Bijlage 4 MHU 1900S



OPERATIONAL DATA – STANDARD CONFIGURATION

MHU 1900S

Hammer foot 84".

Net impact data:

Minimum energy	190 kJ
Maximum energy above water	1900 kJ

Hydraulic data:

For hose length 100 m	
Average operating pressure	250 bar
Recommended oil flow	3200 L/min
Blow rate at 1900 kJ with recommended oil flow	32 bl/min
Maximum blow rate	100bl/min
Hydraulic connection, supply	4 x 2"
Hydraulic connection, return	5 x 2"

Weights:

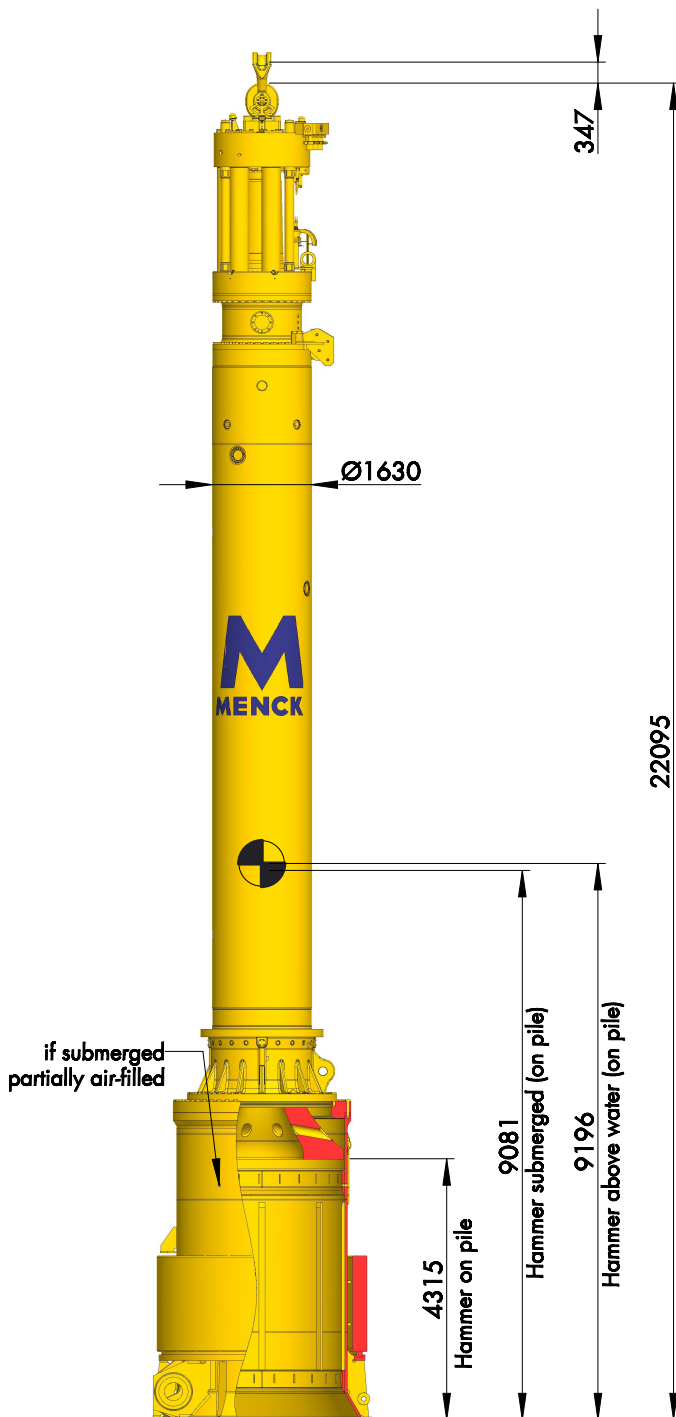
Ram weight	92 t
Hammer weight	158 t
Hammer length	16.9 m

Special features:

- Above and underwater operation
- With pile sleeve and anvil
adaptable to various pile diameters
- Double-acting hydraulic drive
- Accurate energy through closed-loop control
- Shock absorber ring
- Extensive safety features

0695-10070 Rev. D 30. Jan 17

Net impact and hydraulic data are approximate values and depend on the equipment configuration; Subject to modification and error.

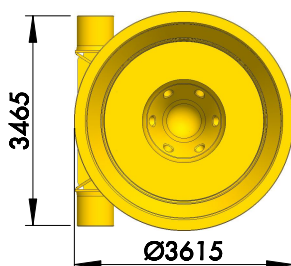


WEIGHTS & DIMENSIONS – STANDARD CONFIGURATION

MHU 1900S

For outer pile diameter of 60" – 102";
underwater configuration; ecc. pins.

Part	Weight (t)
MHU 1900S, hammer foot 84"	158
Anvil 60" - 102"	30
Pile sleeve 102" incl. adapter	30
Underwater ballast	27
Total weight above water	245
Total weight submerged	198



0696-10152

Rev.B

01-Feb-17

All dimensions in mm unless noted otherwise.
All weights and dimensions are nominal.
Subject to modification and error.

YOUR SUCCESS - BASED ON MENCK