

SEISMISCH ONDERWATERGELUID OP HET NEDERLANDS CONTINENTAAL PLAT

RIJKSWATERSTAAT DIENST NOORDZEE

April 2011

C04021.002690



Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 De kaderrichtlijn mariene strategie (KRM)	6
1.3 Onderwatergeluid op het NCP	7
1.4 Seismisch onderzoek	7
1.5 De Mijnbouwwet	8
1.6 Doel van de studie	8
1.7 Werkwijze	8
2 Omvang seismisch handelen	10
2.1 Algemene principes van seismisch onderzoek	10
2.1.1 2D seismisch onderzoek	10
2.1.2 3D seismisch onderzoek	11
2.1.3 4D seismisch onderzoek	12
2.2 Principe van de airgun	12
2.3 Overzicht van uitgevoerd seismisch onderzoek	13
2.3.1 2D seismisch onderzoek	13
2.3.2 3D seismisch onderzoek	16
2.3.3 4D seismisch onderzoek	17
2.3.4 De toekomst	18
2.4 Meldingsplicht	19
3 Seismisch onderwatergeluid	20
3.1 Airguns en onderwatergeluid	20
3.2 Processen in geluidsvoortplanting	20
3.2.1 Geluidsvoortplanting en akoestische energie	20
3.2.2 Processen binnen het waterlichaam	21
3.2.3 Interacties met de grenzen van het waterlichaam	24
3.3 Geluidsvoortplanting op het NCP	28
3.3.1 Het effect van diepte en sediment	28
3.3.2 Geluidsvoortplanting op het NCP	29
4 Effecten op ecologie	32
4.1 Effecten van onderwatergeluid	32
4.1.1 Fysieke- en gedragseffecten	32
4.1.2 Effecten op individu of populatie	33
4.2 Vissen	34
4.2.1 Functie van geluid	34
4.2.2 Geluid produceren en horen	35
4.2.3 Specialisten en generalisten	35
4.2.4 Audiogrammen	36
4.2.5 Effecten van geluid	36

4.3 Zeezoogdieren op het NCP	39
4.3.1 Afbakening onderzoek	39
4.3.2 Soorten	39
4.3.3 Effecten	40
4.3.4 Audiogrammen	40
4.3.5 Communicatie en masking	42
4.3.6 Verstoring	42
4.3.7 Fysieke en fysiologische effecten	43
4.4 Effecten op de mens	45
4.5 Effectbepaling	45
4.6 Risico-inschatting	46
4.6.1 Inschatting op basis van onderzocht oppervlak	46
4.6.2 Inschatting op basis van straal en tijd	48
4.7 Monitoring en Mitigerende maatregelen	51
4.7.1 Internationaal beleid seismisch onderzoek	52
5 Bestuurlijk-juridisch kader	53
5.1 Mijnbouwrecht	53
5.1.1 Doel	53
5.1.2 Historie	53
5.1.3 Soorten mijnrechtelijke stelsels	54
5.1.4 Milieubescherming	54
5.2 Mijnbouwrecht voor opsporing met airguns	55
5.2.1 Mijnbouwbesluit	55
5.2.2 Milieubescherming	56
5.3 Kaderrichtlijn Mariene Strategie	56
5.3.1 Inhoud	56
5.3.2 Implementatie	57
5.4 Implementatie Kaderrichtlijn Mariene Strategie en Mijnbouwrecht	58
5.5 ASCOBANS	59
6 Conclusies	61
7 Plan van aanpak beleid	64
7.1 Inleiding	64
7.2 De praktijk: gevolgen implementatie KRM	64
7.3 Strategieën	65
7.3.1 Stellen van normen in het Mijnbouwbesluit	65
7.3.2 Beleidsroute: rechtstreeks via NWP en BPRW	66
8 Plan van aanpak ‘bepaling achtergrondgeluid’	68
8.1 Definitie achtergrondgeluid	68
8.2 Uitwerking definitie	68
8.2.1 Geluid (1)	68
8.2.2 Locatie (2)	69
8.2.3 Tijd (‘meestal’ (3))	69
8.2.4 Aantal metingen (4)	70
8.3 Meten of modelleren	71

8.4 Plan voor het meten van achtergrondgeluid	72
8.5 Vaststellen achtergrondgeluid	73
8.6 Het modelleren van achtergrondgeluid	74
8.7 Achtergrondgeluid in het buitenland	77
9 Literatuurlijst	78
1 Afkortingen	86
2 Volledige gegevens richtlijn en verdragen	87
3 Kenmerken van onderwatergeluid	88
Colofon	93

Samenvatting

Op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) wordt ten behoeve van olie- en gaswinning seismisch onderzoek met behulp van airguns uitgevoerd om de bodemsamenstelling vast te stellen. Het beleidskader waarbinnen dit toegestaan is, is weergegeven in de Mijnbouwwet. Hieruit blijkt dat seismisch onderzoek op het NCP niet aan uitgebreide wetgeving onderhevig is. Vanwege haar rol bij de implementatie van KRM en de wettelijke advisering bij de Mijnbouwwet is het voor Rijkswaterstaat Dienst Noordzee, afdeling Vergunningverlening en Regulering, noodzakelijk een beter inzicht te krijgen in de omvang en impact van seismisch onderzoek op het NCP. Dit rapport geeft een overzicht van de huidige kennis op dit gebied.

Seismisch onderzoek op het NCP met behulp van airguns wordt zowel 2D als 3D uitgevoerd. Bij 2D onderzoek wordt de bodem door het varen van (rechte) lijnen in kaart gebracht. Bij 3D onderzoek worden door het gebruik van meerdere airguns oppervlaktes in kaart gebracht. Inmiddels worden ook veel gebieden opnieuw onderzocht, wat 4D onderzoek (in de tijd) genoemd wordt. Rond de jaren negentig was de jaarlijks totale onderzochte oppervlakte het grootst (circa 9000 km²). Het onderzochte oppervlak daarna is afgenomen, en sinds 2000 redelijk stabiel gebleven. Op basis van diverse interviews met experts op het gebied van seismisch onderzoek wordt verwacht dat de omvang van seismisch onderzoek op het NCP sterk tussen de jaren kan variëren, maar dat het niet waarschijnlijk is dat het in de toekomst zal verdwijnen.

Het gebruik van airguns produceert onderwatergeluid. Het NCP wordt in het kader onderwatergeluid als een ondiep gebied gekarakteriseerd, waarop het geluid relatief snel uitdooft. Een van de belangrijkste processen die uitdoving veroorzaakt is de reflectie van geluidsgolven, zowel tegen de bodem als het wateroppervlak, waarbij energie verloren gaat. Het invloedsgebied van airguns is hierdoor in vergelijking met diepe gebieden relatief klein. Er zijn veel factoren die de voorplanting van geluid beïnvloeden waardoor het bepalen van een beïnvloedingsgebied rond een airgun niet eenvoudig is. De voortplantingsafstand hangt dus sterk af van verschillende processen.

Onderwatergeluid speelt een belangrijke rol voor zowel vissen als zeezoogdieren. Er zijn natuurlijke- en antropogene geluidsbronnen, die beide kunnen leiden tot effecten op organismen. Effecten kunnen zijn: gewenning, verstoring, gedragsverandering, maskering van communicatie en fysieke schade. Het wel of niet optreden van deze effecten is sterk soortspecifiek en hangt ook af van de frequentie en geluidsniveau van het geluid.

Op basis van audiogrammen kan onderscheid gemaakt worden in de gevoeligheid van soorten voor bepaalde frequenties of geluidsniveaus. Echter, voor het maken van een gedegen effectinschatting op soorten of populaties is de wetenschappelijke kennis te beperkt. Het is vooralsnog niet mogelijk om op basis van een audiogram een effectinschatting op populatieniveau te maken. Omdat geluid op het land tot negatieve effecten op organismen kan leiden wordt er geconcludeerd dat onderwatergeluid (en

daarmee ook seismisch onderzoek) zeer waarschijnlijk ook tot negatieve effecten op mariene organismen kan leiden.

De mens maakt geen onderdeel uit van het mariene ecosysteem, maar is wel regelmatig daarin aanwezig in de vorm van beroepsduikers of recreatieve duikers. De beschreven negatieve effecten kunnen ook bij mensen optreden. Dit blijkt uit een recente melding van een duiker die onwel is geworden op de Noordzee als gevolg van seismisch onderzoek. Om ernstige ongevallen te voorkomen is het belangrijk om regelgeving en handhaving omtrent seismisch onderzoek op te stellen.

Effecten kunnen beperkt worden door het nemen van maatregelen. Omdat vooral een internationale aanpak tot vermindering van effecten op het mariene ecosysteem in de Noordzee zal leiden is het belangrijk dat er internationaal een uniform beleid gehanteerd wordt. Het is belangrijk dat de beschreven monitoring en mitigerende maatregelen in het Nederlandse vergunningbeleid opgenomen- en gehandhaafd worden.

Mochten de effecten van het opsporen van aardolie en aardgas met airguns nu of in de toekomst een meetbaar en blijvend negatief effect hebben op het mariene milieu, dan kan het zijn dat de huidige mijnbouwwet- en regelgeving ten aanzien van verkenningsonderzoek (voor zover dit vergunningsvrij is) moet worden aangepast naar aanleiding van de implementatie van de KRM. Ook als de effecten niet meetbaar en blijvend zijn, kan ervoor worden gekozen om voor het opsporen van aardolie en aardgas met airguns relevante bepalingen in de mariene strategie op te nemen. Ook in dat geval zal de huidige mijnbouwwetgeving aanpassing behoeven. Dit kan door het Mijnbouwbesluit voor vergunningsvrij verkenningsonderzoek (met airguns) op het continentale plat aan te passen aan het NWP en het BPRW en door alle vormen van verkenningsonderzoek op het continentaal plat vergunningsplichtig te maken.

In dit rapport is tot slot een plan van aanpak voor het bepalen van het toekomstige beleid omtrent seismisch onderzoek gegeven. Ook is een plan van aanpak voor het meten en modelleren van achtergrondgeluid beschreven.

HOOFDSTUK 1 Inleiding

1.1

AANLEIDING

Op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) wordt ten behoeve van olie- en gaswinning seismisch onderzoek met behulp van airguns uitgevoerd om de bodemsamenstelling vast te stellen. Het beleidskader waarbinnen dit toegestaan is, is weergegeven in de Mijnbouwwet. Hieruit blijkt dat seismisch onderzoek op het NCP niet aan uitgebreide wetgeving onderhevig is.

Uit het rapport *Assessment of natural and anthropogenic sources and acoustic propagation in the North Sea* (Ainslie et al., 2009) blijkt dat seismisch onderzoek één van de grotere bijdrages levert aan onderwatergeluid op het NCP.

Vanwege haar rol bij de implementatie van KRM en de wettelijke advisering bij de Mijnbouwwet is het voor Rijkswaterstaat Dienst Noordzee, afdeling Vergunningverlening en Regulering Gebruik, noodzakelijk een beter inzicht te krijgen in de omvang en impact van seismisch onderzoek op het NCP. RWS-Noordzee heeft daartoe een opdracht voor adviesverlening gegeven aan Alkyon/Arcadis.

1.2

DE KADERRICHTLIJN MARIENE STRATEGIE (KRM)

In 2008 is de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM) in werking getreden. De KRM richt zich op het bereiken van de Goede Milieutoestand (GMT) in alle Europese zeeën in 2020, waarbij de bescherming van het mariene milieu en duurzaam gebruik in balans zijn. Overweging bij de KRM is dat “het mariene milieu een kostbaar erfgoed is dat moet worden beschermd, behouden en, waar mogelijk, hersteld, met als uiteindelijke doel handhaving van de biodiversiteit en schone, gezonde en productieve zeeën en oceanen met een rijke diversiteit en dynamiek”. De richtlijn moet de integratie van milieuoverwegingen in alle relevante beleidsterreinen bevorderen en de milieupijler vormen van het toekomstige maritieme beleid van de Europese Unie.

De KRM beoogt de bescherming en het behoud van het mariene milieu en het voorkomen van de achteruitgang van mariene ecosystemen. In de KRM worden elf kwalitatieve elementen genoemd voor de beschrijving van de Goede Milieutoestand. Deze elf elementen zijn:

- De biologische diversiteit wordt behouden. De kwaliteit en het voorkomen van habitats en de verspreiding en dichtheid van soorten zijn in overeenstemming met de heersende fysiografische, geografische en klimatologische omstandigheden.
- Door menselijke activiteiten geïntroduceerde niet-inheemse soorten komen voor op een niveau waarbij het ecosysteem niet verandert.

- Populaties van alle commercieel geëxploiteerde soorten vis en schaal- en schelpdieren blijven binnen veilige biologische grenzen en vertonen een opbouw qua leeftijd en omvang die kenmerkend is voor een gezond bestand.
- Alle elementen van de mariene voedselketens, voor zover deze bekend zijn, komen voor in normale dichtheden en diversiteit en op niveaus die de dichtheid van de soorten op lange termijn en het behoud van hun volledige voortplantingsvermogen garanderen.
- Door de mens teweeggebrachte eutrofiëring is tot een minimum beperkt, met name de schadelijke effecten ervan zoals verlies van de biodiversiteit, aantasting van het ecosysteem, schadelijke algenbloei en zuurstofgebrek in de bodemwateren.
- Integriteit van de zeebodem is zodanig dat de structuur en de functies van de ecosystemen gewaarborgd zijn en dat met name bentische ecosystemen niet onevenredig worden aangetast.
- Permanente wijziging van de hydrografische eigenschappen berokkent de mariene ecosystemen geen schade.
- Concentraties van vervuilende stoffen zijn zodanig dat geen verontreinigingseffecten optreden.
- Vervuilende stoffen in vis en andere visserijproducten voor menselijke consumptie overschrijden niet de grenzen die door communautaire wetgeving of andere relevante normen zijn vastgesteld.
- De eigenschappen van, en de hoeveelheden zwerfvuil op zee veroorzaken geen schade aan het kust- en mariene milieu.
- De toevoer van energie, waaronder onderwatergeluid, is op een niveau dat het mariene milieu geen schade berokkent.

De Nederlandse territoriale wateren liggen op het Nederlands Continentaal Plat (NCP). Deze studie richt zich op het laatste element, onderwatergeluid op het NCP.

1.3

ONDERWATERGELUID OP HET NCP

Er zijn vele vormen van onderwatergeluid op het NCP. Ainslie et al. (2009) hebben een inventarisatie gemaakt van het onderwatergeluid op het NCP. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen natuurlijke geluiden zoals wind, regen, geluiden van organismen, golfbreken en antropogeen geluid. Een deel van dit antropogene geluid is bedoeld om te worden geproduceerd, zoals het geluid van seismisch onderzoek en diverse vormen van sonar onderzoek. Ander geluid is niet bedoeld, maar een bijproduct van een activiteit, zoals geluiden van schepen, baggeren, heien, offshore industrie, windmolenparken. Uit het rapport van Ainslie et al (2009) blijkt dat seismisch onderzoek ten behoeve van de olie- en gaswinning een van de belangrijkste veroorzakers is van onderwatergeluid.

Deze studie richt zich op het seismisch onderzoek in het NCP.

1.4

SEISMISCH ONDERZOEK

Seismisch onderzoek heeft het in kaart brengen van de geologische eigenschappen van de grondlagen als doel. Dit kan gedaan worden op het land of in het water. Seismisch onderzoek op het water gebeurt voornamelijk met behulp van een airgun. Een airgun is een apparaat wat lucht onder druk laat ontsnappen. Het signaal dat wordt uitgezonden met de

airgun penetreert in de bodem en wordt door de verschillende grondlagen weerkaatst. Een ontvanger registreert het teruggekaatste signaal. Wanneer dit over een groot gebied gedaan wordt kan met behulp van de data een geologische kaart gecreëerd worden.

Er zijn verschillende methoden voor het uitvoeren van seismisch onderzoek. In de loop der jaren is het NCP al verschillende malen onderzocht met seismisch onderwatergeluid, voornamelijk in opdracht van de olie- en gasindustrie. De operators willen tegenwoordig, met de stijgende olie- en gasprijzen, een duidelijker beeld hebben van hun voorraden. Dit kan betekenen dat een operator de opdracht geeft om nogmaals een gebied in kaart te brengen. Hierdoor kan een overzicht van de grondlagen in tijd verkregen worden.

1.5

DE MIJNBOUWWET

Sinds 2003 wordt de opsporing, winning en opslag van delfstoffen, waaronder aardgas en – olie, gereguleerd door de Mijnbouwwet, het Mijnbouwbesluit en de Mijnbouwregeling. Daarbij gaat het zowel om mijnbouw op het Nederlandse vasteland en in de territoriale zee, als om mijnbouw op het continentaal plat. De Mijnbouwwet bevat het kader van het Nederlandse mijnbouwrecht. In het Mijnbouwbesluit zijn de hoofdlijnen van de Mijnbouwwet uitgewerkt. De Mijnbouwregeling bevat met name technische details. Seismisch onderzoek valt onder de Mijnbouwwet.

1.6

DOEL VAN DE STUDIE

Het doel van de studie is:

- een overzicht te krijgen van het reeds uitgevoerd onderzoek naar de effecten van seismisch onderzoek, specifiek gericht op het veroorzaken van onderwatergeluid;
- inzicht te krijgen in de effecten van onderwatergeluid als gevolg van seismisch onderzoek op het mariene ecosysteem op het NCP;
- meer zicht te krijgen op de ‘witte vlekken’ in beleid-, wet- en regelgeving t.a.v. onderwatergeluid als gevolg van seismisch onderzoek;
- het opstellen van een Plan van Aanpak om te komen tot een goed, gedragen, consistent en onderbouwd beleid ten aanzien van onderwatergeluid als gevolg van seismisch onderzoek
- het opstellen van een plan om een inventarisatie van de huidige geluidstoestand (het achtergrondgeluidsniveau) op het NCP te maken.

1.7

WERKWIJZE

Deze studie is een bureaustudie, wat betekent dat er in wetenschappelijke studies en andere literatuur naar informatie is gezocht. Daarnaast zijn de volgende mensen geïnterviewd:

- René Dekeling (DG Water)
- Gerrit Blacquièr (TNO Defensie & Veiligheid)
- Michael Ainslie (TNO Defensie & Veiligheid)
- Hans Slabbekoorn (Universiteit van Leiden)
- Ed Duin (TNO Bouw en Ondergrond, olie en gas)

De gegevens afkomstig uit seismisch onderzoek zijn beschikbaar gesteld door TNO. Op basis hiervan is een inventarisatie gemaakt van de omvang van seismisch onderzoek op het NCP.

HOOFDSTUK

2 Omvang seismisch handelen

2.1

ALGEMENE PRINCIPES VAN SEISMISCH ONDERZOEK

Seismisch onderzoek heeft als doel het in kaart brengen van de geologische eigenschappen van de grondlagen. Dit kan gedaan worden op het land of in het water. In deze studie gaat het om de offshore seismisch onderzoek op het Nederlands Continentaal Plat (NCP).

Seismisch onderzoek op het water gebeurt voornamelijk met behulp van een airgun. Een airgun is een apparaat wat lucht onder druk wegschiet. Het signaal dat wordt uitgezonden met de airgun penetreert in de bodem en wordt door de verschillende grondlagen weerkaatst. Een ontvanger, in offshore beter bekend als een streamer, registreert het teruggekaatste signaal.

De data bestaan uit een set met ontvangen signalen en de tijd die het heeft gekost voor het signaal om heen en weer te gaan. Geologen kunnen op basis van de grondmechanische eigenschappen bepalen hoe lang het signaal nodig heeft om door een grondlaag te komen. Op deze manier kan een dieptekaart gecreëerd worden en kunnen grondlagen inzichtelijk worden gemaakt. Wanneer dit over een groot gebied gedaan wordt kan met behulp van de data een geologische kaart gecreëerd worden.

Er zijn drie verschillende methoden voor het uitvoeren van seismisch onderzoek: 2D, 3D en 4D seismisch onderzoek.

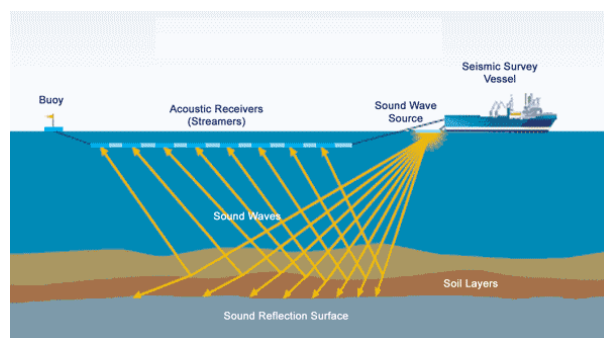
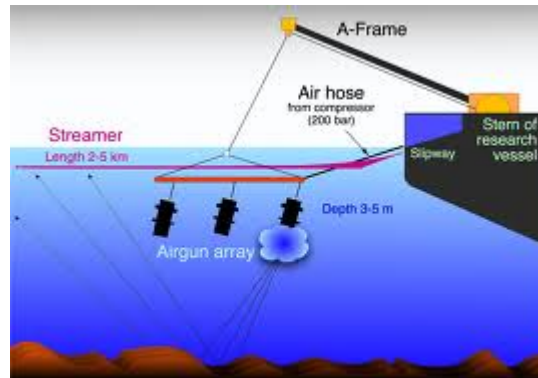
2.1.1

2D SEISMISCH ONDERZOEK

Van oudsher werd er 2D seismisch onderzoek uitgevoerd. 2D seismisch onderzoek op het water bestaat uit een schip met daaraan of vlak daarachter een airgun gemonteerd. Achter het schip wordt één lijn getrokken met ontvangers (streamers) die de signalen, verstuurd door de airgun, registreert. Het nadeel van 2D seismisch onderzoek is dat er maar over één lijn gemeten wordt. Hierdoor moet er veel gevaren worden om een groot gebied in kaart te brengen. In figuur 1 zijn de principes van het 2D seismisch onderzoek weergegeven.

Figuur 1

Principes 2D seismisch onderzoek



2.1.2

3D SEISMISCH ONDERZOEK

Tegenwoordig wordt er veel meer gebruik gemaakt van 3D seismisch onderzoek. 3D seismisch onderzoek werkt volgens hetzelfde principe als 2D seismisch onderzoek, maar het onderzoeksschip is bij 3D onderzoek uitgerust met meerdere airguns, lijnen en ontvangers. Het belangrijkste zijn de meerdere lijnen. Hierdoor kan met één keer varen een veel groter gedeelte van de bodem in kaart worden gebracht. De lijnen die achter het schip aangetrokken worden kunnen een lengte hebben tot circa 10 kilometer. Het aantal lijnen achter een schip kan oplopen tot 16 of zelfs meer. Voor het 3D seismisch onderzoek is het, indien kabels meer dan 150 meter in breedte uit elkaar liggen of langer zijn dan 1500 meter, van belang dat het onderzoeksschip wordt bijgestaan door andere schepen (zie ook: Mijnbouwbesluit: hoofdstuk 2, paragraaf 2.2, artikel 15). Dit ter bescherming van andere scheepvaart en de lijnen. Figuur 2 geeft een impressie van de uitvoering van 3D seismisch onderzoek.

Figuur 2

Impressie 3D seismisch onderzoek



2.1.3

4D SEISMISCH ONDERZOEK

In de loop der jaren is de bodem van het NCP (voornamelijk in opdracht van de olie- en gasindustrie), al verschillende malen door seismisch onderzoek in kaart gebracht. Operators willen tegenwoordig o.a. door de stijgende olie- en gasprijzen een duidelijker beeld hebben van hun voorraden. Dit kan betekenen dat een operator de opdracht geeft om nogmaals een gebied in kaart te brengen. Hierdoor kan een overzicht van de grondlagen en vooral de olie en gasvoorraden in tijd verkregen worden. Dit wordt 4D seismisch onderzoek genoemd.

2.2

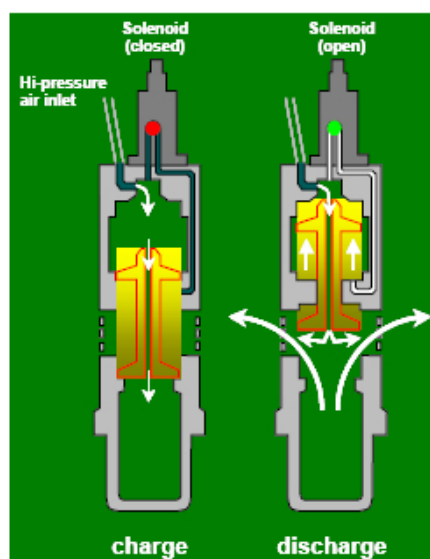
PRINCIPE VAN DE AIRGUN

Zoals al genoemd wordt seismisch onderzoek gedaan met behulp van een airgun. Een airgun werkt als volgt:

Vanaf het onderzoeksschip wordt een kamer onder druk gezet met lucht. Dit gebeurt meestal met een druk tussen de 2000 en 2500 PSI. De airgun wordt ontschoten wanneer er door middel van een elektrisch signaal een ventiel los wordt gelaten. De inhoud van de kamer van een airgun wordt vaak gegeven in kubieke inch. 1 kubieke cm [cm^3] = 0,0610 kubieke inch [in^3]. Een voorbeeld van een airgun is gegeven in figuur 3.

Figuur 3

Airgun principe



De frequentie die wordt gebruikt voor het onderzoek hangt af van de benodigde resolutie en hoe diep men in de aardlaag wil kijken. Voor hoge resolutiesurveys worden meestal frequenties tussen de 10 Hz en 1000 Hz gebruikt. Wil men echter diep in de bodemlaag doordringen (meer dan twee kilometer) dan liggen de gebruikte frequenties lager, tussen de 10 Hz en 200 Hz (Ainslie et al., 2009). In het algemeen genereren grotere airguns geluidspulsen in de range tussen de 10 en 200 Hz, met een geluidsniveau van 222-261 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$. Naast deze voor het onderzoek bruikbare frequenties worden ook hogere frequenties uitgezonden, zij het vaak minder hard. Wanneer bijvoorbeeld de geluidsstrekte van een airgun maximaal 210 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$ bij 40 Hz is, dan is er bij 1000 HZ de geluidsstrekte nog 190 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$ en bij 10.000 HZ 160 dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$.

Uit een klein aantal databestanden van uitgevoerde seismische onderzoeken (beschikbaar gesteld door TNO) blijkt dat de doelfrequenties voor het onderzoek op het NCP variëren van 10 – 100 Hz.

Uit de beschikbare surveygegevens komt naar voren dat een airgun kamer gemiddeld 2080 kubieke inch bevat. De kamers variëren van 1500 kubieke inch tot 3000 kubieke inch.

Dus, hoe lager de frequentie van de airgun des te dieper de geluidsgolf komt. Echter bij lagere frequenties neemt de nauwkeurigheid van de gemeten data af. Bij hogere frequenties van de airgun is de te bereiken diepte kleiner, echter de nauwkeurigheid neemt wel toe. Dit zijn afwegingen die een operator moet maken voordat seismisch onderzoek wordt uitgezet. Voor 4D seismisch onderzoek, waar detail juist van belang is, is een hogere frequentie meer van belang. Bij een eerste verkennend onderzoek, waarbij grote gebieden en grote diepten bekeken moeten worden, is een lagere frequentie van meer belang.

Er is een verschil tussen de frequentie die de ontvangers waarnemen (de instellingen van de streamer, bijvoorbeeld: lage frequentie 5 Hz – hoge frequentie 100 Hz) en de frequenties die airguns werkelijk produceren. Het geproduceerde frequentiespectrum van airgungeluid is groter dan dat door de ontvangers wordt gemeten.

2.3

OVERZICHT VAN UITGEVOERD SEISMISCH ONDERZOEK

2.3.1

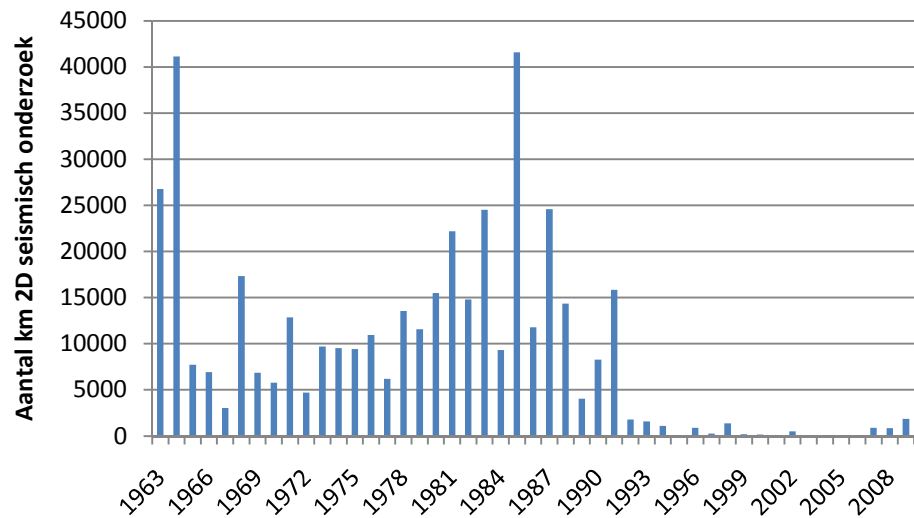
2D SEISMISCH ONDERZOEK

In het verleden is er veel 2D seismisch onderzoek uitgevoerd. Dit is begonnen in de vijftiger jaren van de vorige eeuw. Tot begin jaren '90 van de vorige eeuw is er gebruik gemaakt van de 2D seismische technologie. De (vaar)intensiteit van 2D seismisch onderzoek is groter dan bij 3D seismisch onderzoek, doordat met 3D seismisch onderzoek een perceel in één vaartocht kan worden bestreken terwijl hier bij 2D onderzoek meerdere lijnen voor gevaren moeten worden.

Van 1950 tot 1994 is op het land en in het water bijna 43.000 keer 2D seismisch onderzoek uitgevoerd (www.nlog.nl). In figuur 4 staat een overzicht gegeven van het 2D seismisch onderzoek in de loop der jaren. De piek in intensiteit ligt in de jaren '80. Figuur 4 is gebaseerd op het overzicht van de hoeveelheid seismisch onderzoek op het NCP van TNO.

Figuur 4

Jaarlijks aantal km 2D
seismisch onderzoek



In figuur 5 is een overzicht gegeven van het 2D seismisch onderzoek op het water en land tussen de periode van voor 1970 tot na 1985 en specifiek tussen 1970 en 1985. De volgende perioden zijn weergegeven: jaren voor 1970, 1971-1974, 1975-1979, 1980 – 1984 en 1985 en later.

2D seismisch onderzoek wordt nog maar weinig uitgevoerd, omdat 3D seismisch onderzoek effectiever en daarmee kostenbesparend is.

Figuur 5

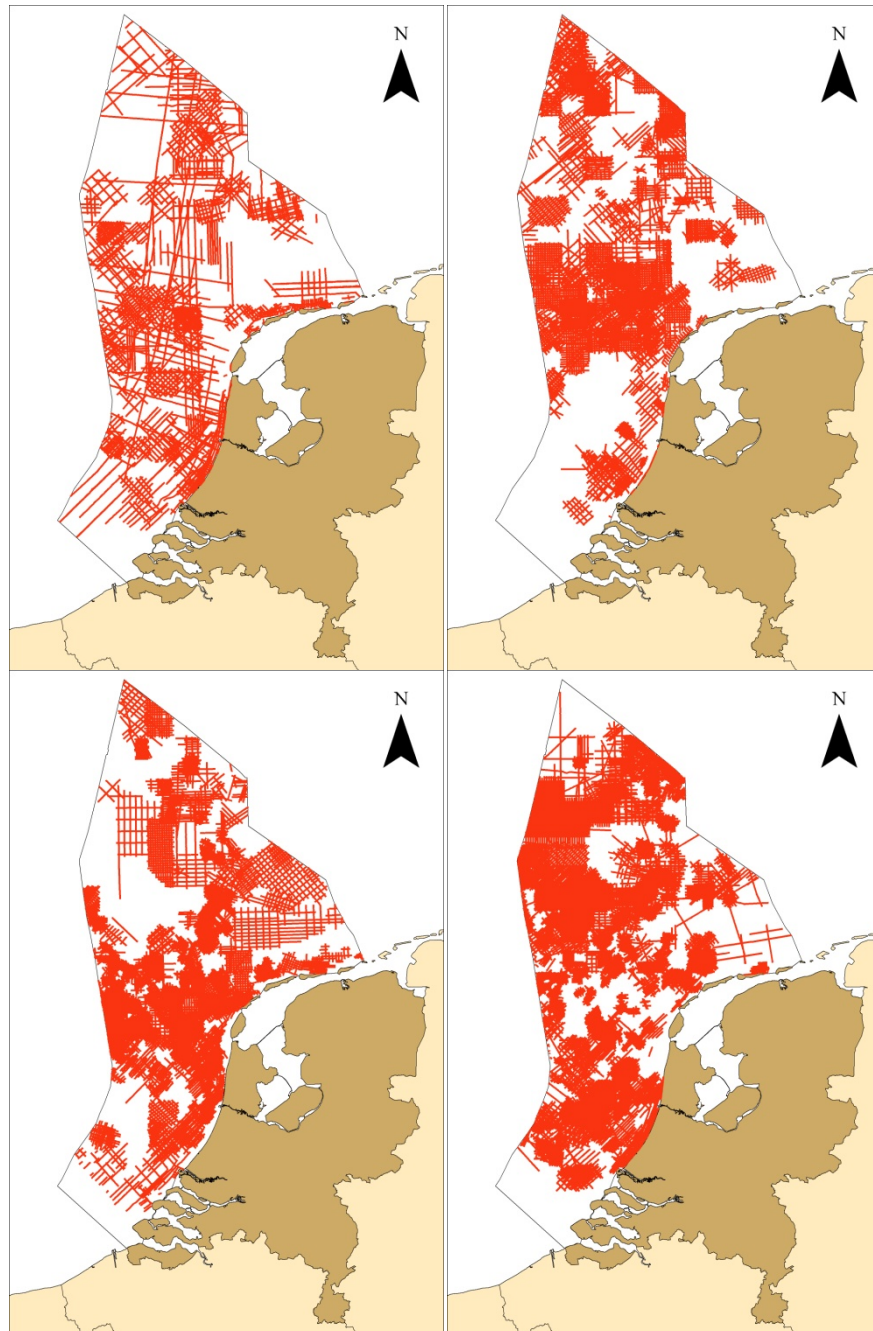
Links boven: 2D voor 1970

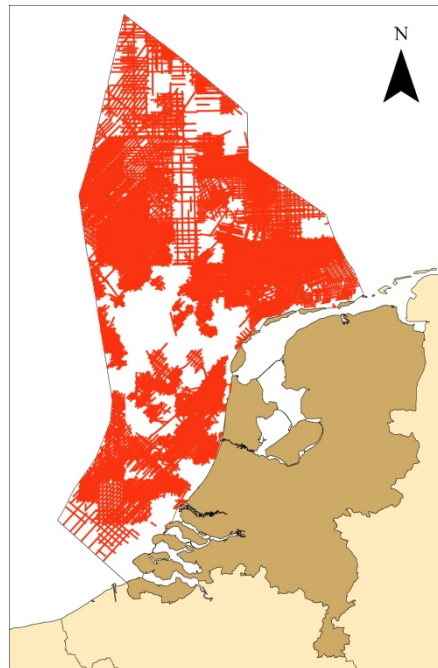
Rechts boven: 2D '70-'74

Links midden: 2D '75-'79

Rechts midden: 2D '80-'84

Volgende blz.: 2D na 1984





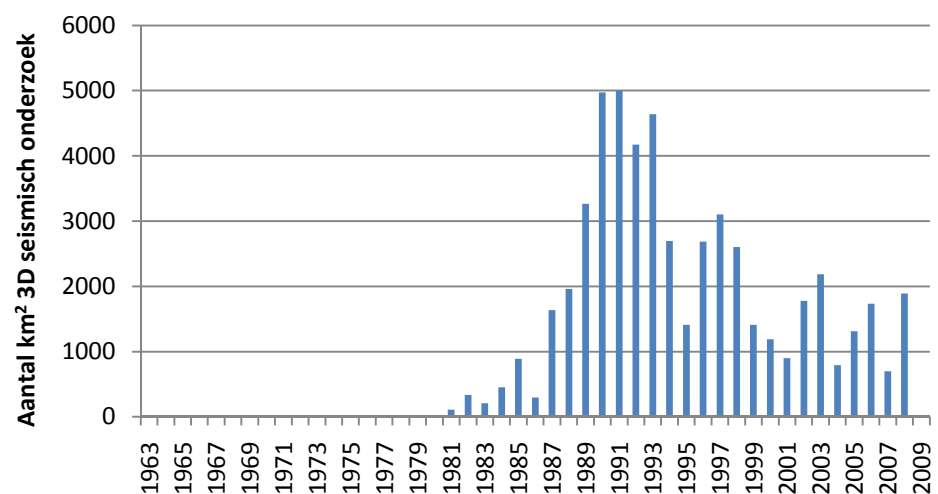
2.3.2

3D SEISMISCH ONDERZOEK

3D seismisch onderzoek is begonnen in de jaren '80 van de vorige eeuw. In de jaren '80 en begin jaren '90 is er (zowel 2D als 3D) zeer veel seismisch onderzoek verricht. In figuur 6 is een overzicht gegeven van het aantal vierkante kilometers dat jaarlijks met 3D seismiek op het NCP is onderzocht. De gegevens zijn gebaseerd op het overzicht van de hoeveelheid seismisch onderzoek op het NCP van TNO. De piek in intensiteit ligt rond de jaren negentig. Hoewel het aantal tochten (niet weergegeven) de laatste 15 jaar is afgenomen, is het totaal onderzochte oppervlak in deze periode grofweg gelijk gebleven.

Figuur 6

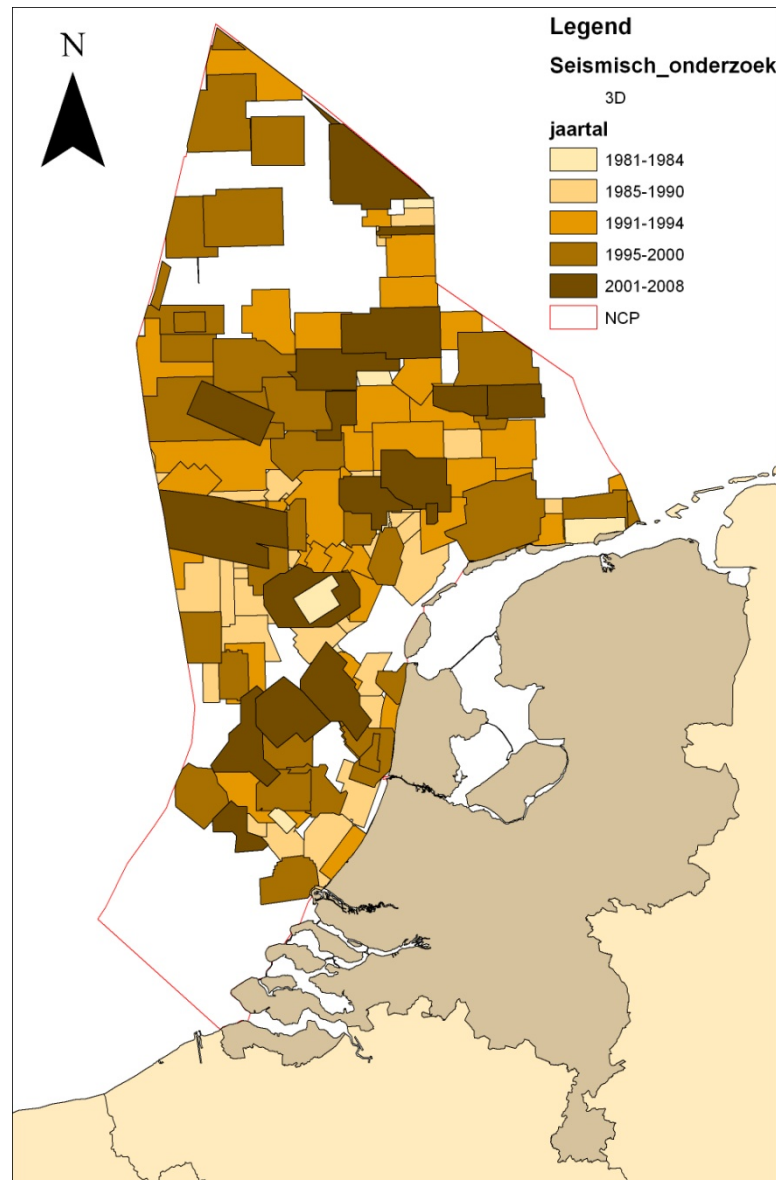
Jaarlijks aantal km² 3D seismisch onderzoek



In figuur 7 is een overzicht gegeven van het 3D seismisch onderzoek op het NCP en op het Nederlands land oppervlak. Dit is een overzicht van het 3D seismisch onderzoek vanaf 1980 tot 2008.

Figuur 7

3D seismisch onderzoek op
het NCP



2.3.3

4D SEISMISCH ONDERZOEK

4D seismisch onderzoek is geen nieuwe technologie, maar het opnieuw uitvoeren van 3D seismisch onderzoek. Door surveys van verschillende jaren met elkaar te vergelijken kunnen operators van olie- en gasindustrie zien hoe het met de huidige voorraden staat. Tevens is de technologie van seismisch onderzoek en de interpretatie van de resultaten verbeterd. Hierdoor kunnen grondlagen nauwkeuriger in beeld gebracht worden. Met behulp van 4D seismisch onderzoek kunnen dus nieuwe velden gevonden worden of kunnen de voorraden beter worden vastgesteld.

4D seismisch onderzoek is nog een relatief nieuw begrip en wordt vooral in de grotere olie- en gasvelden (ten noorden van Groot-Brittannië en voor de kust van Noorwegen gebruikt). Vooralsnog is 4D seismisch onderzoek op het NCP nog niet veel toegepast. Ook voor 4D seismisch onderzoek lopen de toekomstverwachtingen met betrekking tot de omvang van het onderzoek uiteen.

2.3.4

DE TOEKOMST

Over de continuering van 3D seismisch onderzoek in de toekomst bestaat veel onduidelijkheid. Er zijn in deze studie meerdere interviews afgenomen met experts op het gebied van seismisch onderzoek. De verwachtingen over de hoeveelheid seismisch onderzoek in de toekomst lopen uiteen. Aan de ene kant wordt gesteld dat het aantal onderzoeken zal afnemen omdat het de bodem van het NCP inmiddels geheel in kaart is gebracht waardoor er slechts nog een aantal kleine (wellicht 4D) surveys worden verwacht. Aan de andere kant wordt gesteld dat omdat de olie en gas voorraden afnemen de bodem nauwkeuriger in kaart moet worden gebracht, waardoor verwacht wordt dat het aantal surveys gelijk blijft of zelfs zal toenemen.

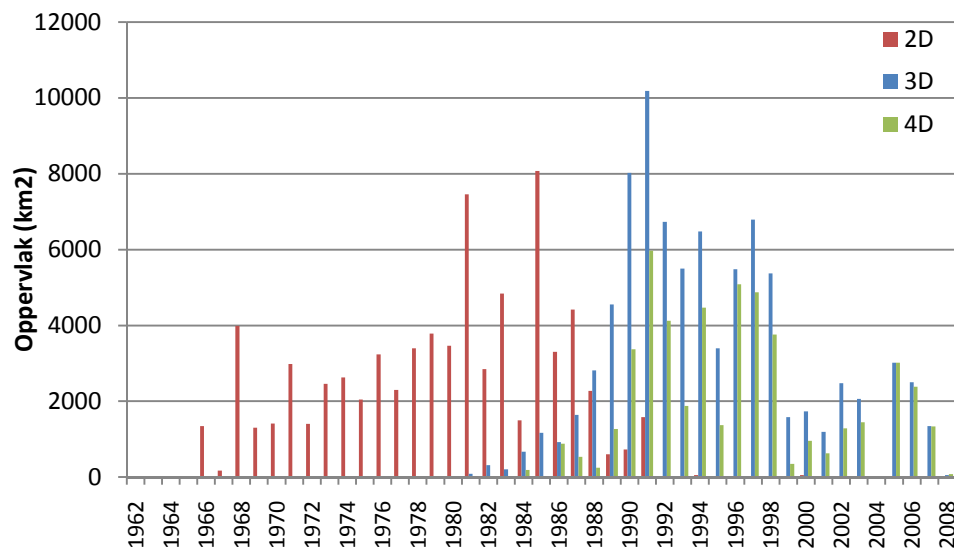
In figuur 8 is een overzicht gegeven van het aantal vierkante kilometers dat jaarlijks is onderzocht met 2D, 3D en 4D. Voor dit overzicht zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Om 2D (lijn) met 3D (oppervlak) te kunnen vergelijken is er vanuit gegaan dat er bij het varen van een 2D lijn, er een breedte van circa 250 meter onderzocht wordt. Dit is een schatting van de gemiddelde afstand tussen twee lijnen op basis van figuur 5. Met deze breedte is 2D omgerekend naar een aantal vierkante kilometers.
- Op de website van TNO (www.nlog.nl) zijn verschillende gegevens over de hoeveelheid seismisch onderzoek te vinden. Er zijn shapefiles beschikbaar (weergegeven in figuur 5 en figuur 7) en er is een overzicht van de hoeveelheid 2D en 3D onderzoek beschikbaar (weergegeven in figuur 4 en figuur 6). De hoeveelheid seismisch onderzoek verschilt tussen de shapefiles en het overzicht, vermoedelijk ontstaan tijdens dataverwerking door TNO. Na overleg met TNO is geconcludeerd dat het overzicht het meest betrouwbaar is. Dit overzicht bevat echter geen gegevens over de hoeveelheid 4D onderzoek. Om toch een indruk te krijgen van de hoeveelheid 4D onderzoek is dit berekend aan de hand van de shapefiles zoals weergegeven in figuur 7. Hiervoor is per jaar de oppervlakte van overlap met voorgaande jaren berekend en dit als 4D onderzoek aangemerkt. In figuur 8 zijn shapefile-gegevens van 2D, 3D en de berekende 4D onderzoek weergegeven.

In figuur 8 zijn de hoeveelheid 2D, 3D en 4D seismisch onderzoek weergegeven. Belangrijk om op te merken is dat de hoeveelheid 4D onderzoek het deel van het 3D onderzoek dat overlap met voorgaande surveys weergeeft. Uit figuur 8 blijkt dat de hoeveelheid seismisch onderzoek met name in de jaren tachtig en negentig het hoogst was. De laatste 10 jaar varieert dit sterk, maar er is geen duidelijke toe- of afname van de hoeveelheid seismisch onderzoek te zien. Zo leek de hoeveelheid bijvoorbeeld rond het jaar 2000 af te nemen tot bijna nul, maar dit is toch in 2003-2005 weer toegenomen. Wel is zichtbaar dat er in de afgelopen jaren ook nieuwe gebieden zijn onderzocht (meer 3D dan 4D). De fluctuaties en de wisselende meningen van expert maakt het moeilijk om te voorspellen wat de trend voor de hoeveelheid seismisch onderzoek in de toekomst gaat worden. Er wordt verwacht dat de hoeveelheid in de toekomst niet zo veel zal zijn als in de jaren tachtig en negentig, maar dat het – sterk variërend – vergelijkbaar zal zijn met de jaren 2000-2010.

Figuur 8

Totaal oppervlak (km²)
seismisch onderzoek.



2.4

MELDINGSPLICHT

De operators (dit zijn in de meeste gevallen de olie- en gasmaatschappijen) geven opdracht aan een seismisch survey bedrijf om een onderzoek uit te voeren. De uitvoerende partij heeft de wettelijke plicht om een kopie van het onderzoek, in opdracht van het Ministerie van Economisch zaken, Landbouw en Innovatie (voorheen: Ministerie van Economische Zaken), te sturen aan TNO. Dit staat omschreven in hoofdstuk 7, paragraaf 7.1, artikel 108 van het Mijnbouwbesluit. Verdere meldingsplicht met betrekking tot verkenningsonderzoek, gericht aan het Ministerie, staan omschreven in Hoofdstuk 2 Verkenningsonderzoek van het Mijnbouwbesluit.

HOOFDSTUK 3 Seismisch onderwatergeluid

3.1 AIRGUNS EN ONDERWATERGELUID

Dit hoofdstuk behandelt het gedrag van het onderwatergeluid dat veroorzaakt wordt door airguns. Onderwatergeluid in zijn algemeenheid heeft een aantal specifieke kenmerken. Voor een samenvatting van de elementaire theorie van onderwatergeluid wordt verwezen naar bijlage 3 en Ainslie et al. (2009).

Het geluid van airguns heeft de volgende kenmerken:

- Het bestaat uit een mengsel van tonen met een breed bereik van frequenties. De sterkste tonen zitten bij de lage frequenties, zodat de geluidsgolven de zeebodem kunnen binnendringen.
- Het geluid wordt constant herhaald. Het door de ondergrond weerkaatste geluid wordt gebruikt om een geologische weergave te creëren van een bepaald gebied van de zeebodem (hoofdstuk 2). Ten eerste zijn er meerdere weerkaatsingen nodig, met een variërende invalshoek, om de structuur rond een punt in de zeebodem te bepalen. Ten tweede kan één enkel airgun schot maar een klein gebied waarnemen, dat op voorhand kleiner is dan het totaal te onderzoeken gebied.

3.2 PROCESSEN IN GELUIDSVOORTPLANTING

3.2.1 GELUIDSVOORTPLANTING EN AKOESTISCHE ENERGIE

In het kort betreft geluidsvoortplanting het patroon van oscillerende deeltjes die door de onderlinge druk waarneembaar zijn als geluid en die zich snel door een medium (bv water) bewegen (oscilleren) terwijl de gemiddelde positie van de deeltjes nauwelijks verandert. Geluidsgolven zijn de ideale oppervlakten waarin waterdeeltjes gecompriëerd of gedilateerd worden. De aankomst van een geluidsgolf en de aanhouding van deze golf, zorgen er voor dat stilstaande deeltjes gaan oscilleren en dus in beweging komen. Door het meten van de afwijking in druk veroorzaakt door de oscillaties van het normale drukniveau wordt een geluidsgolf waargenomen (zie figuur A en B in bijlage 3).

Geluidsvoortplanting kan het best worden gezien als het proces van de door de bron ingevoerde energie transmissie en transformatie in de omgeving. Dit is de energie geassocieerd met de oscillaties van de materiële deeltjes. Als de akoestische energie zich verspreidt vanaf een bron in zijn omgeving, dan moet de akoestische energie behouden

blijven of getransformeerd worden in warmte. De akoestische intensiteit neemt bijvoorbeeld af naarmate de door geluidsgolven bereikte omgeving verder van de geluidsbron ligt.

3.2.2

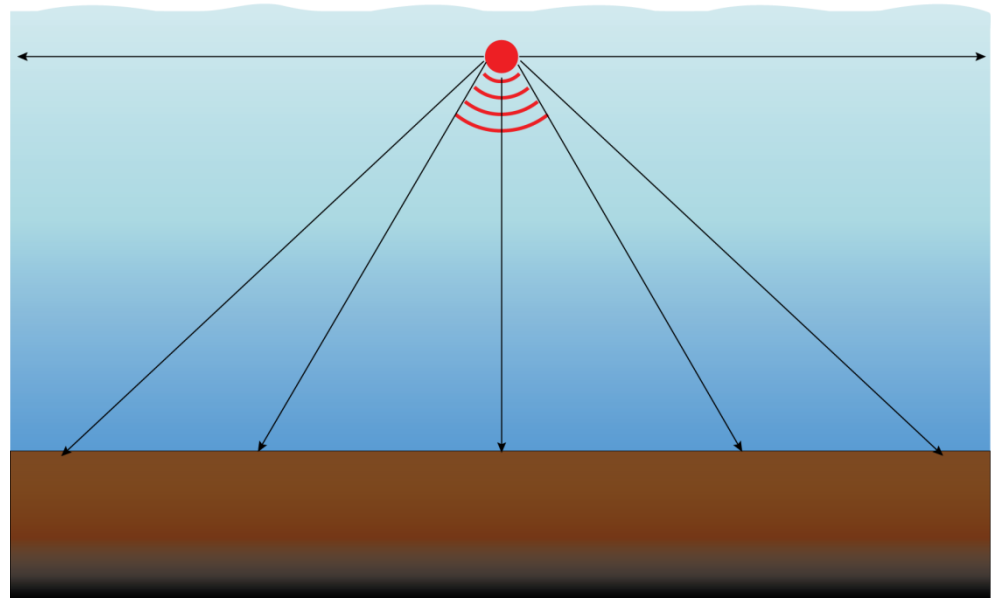
PROCESSEN BINNEN HET WATERLICHAAM

Bij voortplanting van het geluid, in het bijzonder door water, treden een aantal ‘processen’ op. Deze processen zijn beschreven aan de hand van gesimplificeerde omstandigheden. Belangrijke om op te merken is dat de voortplanting van geluid overal dezelfde fysica volgt. In werkelijkheid treden processen samen en gelijktijdig op – elke in mindere of meerdere mate, afhankelijk van hoeverre deze gesimplificeerde omstandigheden in het echt van toepassing zijn. Hoe deze processen van toepassing zijn op de Noordzee is besproken in paragraaf 3.3.

Belangrijke processen die in principe onafhankelijk van de bodem en wateroppervlakte optreden zijn geometrische verspreiding, refractie en absorptie. Geometrische verspreiding is de wijze waarop de door de geluidsbron uitgezonden energie zich in een rechte lijn verplaatst (figuur 9). Geometrische verspreiding is sferisch binnen een kort bereik (binnen een straal evenredig met de diepte) en cilindrisch over grotere bereiken. In figuur 9 geeft het rode symbool de geluidsbron weer en geven de rechte pijlen de voortplantingsrichting van het geluid aan.

Figuur 9

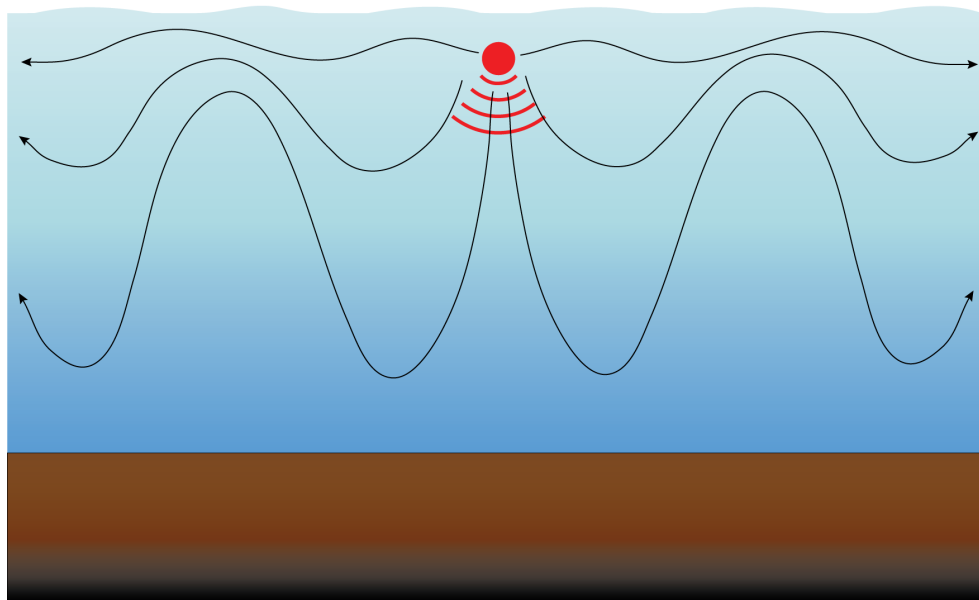
Geluidsstralen bij geometrische verspreiding.



De voortplantingsrichting van een geluidsgolf kan afbuigen. Dit hangt af van de geluidssnelheid die ruimtelijk kan variëren door verschillen in temperatuur, saliniteit en diepte. Dit proces van afbuiging wordt refractie genoemd en is schematisch weergegeven in figuur 10.

Figuur 10

Geluidstralen bij refractie.



Tenslotte is er het proces van absorptie, waarin geluid met hoge frequenties wordt gedempt door de waterviscositeit en omgezet wordt in warmte (weergegeven door de stippellijnen in figuur 11). Tabel 1 laat zien over welke ordegrrootte afstand het geluid met een bepaald frequentiebereik door dit proces wordt uitgedoofd.

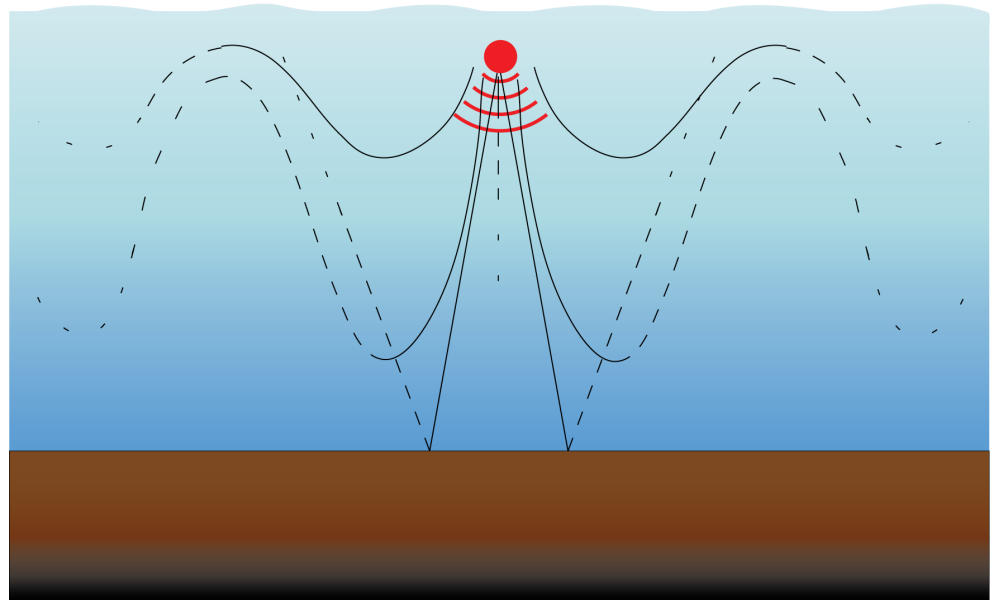
Tabel 1

Frequenties en afstanden die geluidsgolven kunnen bereiken vanwege absorptie (Spindel, 1985)

Frequentiebereik	Ordegrrootte van bereik (diepte wateren)
50-500 kHz	100 m
5-50 kHz	1,000 m
1-5 kHz	10,000 m
1 kHz	100,000 m
$f < 100$ Hz	Afhankelijk van interactie met grenzen

Figuur 11

Absorptie van geluid.



Korte beschrijvingen van deze drie processen zijn te vinden in tabel 2. Ten opzichte van de eenvoudige figuren (8,9 en 10) zijn er in werkelijkheid meer soorten geluidstralen vanaf de bron die elkaar kunnen kruisen, zodat de gehele omgeving gevuld is met variërende hoeveelheden akoestische energie. Dit wordt een interferentiepatroon genoemd. Verschillende geluidsgolven verspreiden zich en versterken of verzwakken de momentane geluidsbelasting op één vast punt.

Tabel 2Processen van
geluidsverspreiding

Proces	Beschrijving	Aanpassing	Gebruik
Geometrische verspreiding Figuur 8	Beschrijft de manier waarop de door de geluidsbron geëmitteerde energie in rechte lijnen wordt verspreid.	Rechte verspreiding kan voorkomen voordat de geluidsgolf de bodem en het wateroppervlak raakt (zie reflectie) en binnen een milieu met uniforme akoestische eigenschappen (zie refractie).	De geluidgolven nemen hele simpele symmetrische vormen aan: sferisch of cilindrisch. Het dimmen van het geluid (intensiteit) is puur een functie van de afstand vanaf de bron.
Refractie Figuur 9	Beschrijft het buigen van de voortplantingsrichting, veroorzaakt door niet-uniforme akoestische eigenschappen van het de omgeving.	Geluidsgolven verspreiden zich naar plaatsen waar de geluidssnelheid het laagste is. Door het buigen kan het (afhankelijk van de waterdiepte) zo zijn dat de golven niet helemaal het wateroppervlak en/of de zeebodem bereiken.	Heel relevant in de diepe oceaan omdat geluidsvoortplanting alleen gestremd kan worden tussen de middendieptes zonder grensweerskaatsing. Stabiele stratificatie in ondiepe wateren kan het geluid naar beneden buigen
Absorptie door chemische reacties Figuur 10	Akoestische oscillaties met hoge frequenties worden gebruikt om chemische reacties op te starten.	Na absorptie bestaat het geluid niet meer. Dit proces heeft verschillende sterktes over het frequentiebereik, maar heeft een specifiek effect op lagere frequenties (zie tabel 1).	De impact op het airgun geluid is secundair omdat lage frequenties de meeste akoestische energie bevatten.
Absorptie door viscositeit Figuur 10	Akoestische oscillaties met heel hoge frequenties worden gedempt door de waterviscositeit en omgezet in warmte; het geluid bestaat niet meer.		

3.2.3

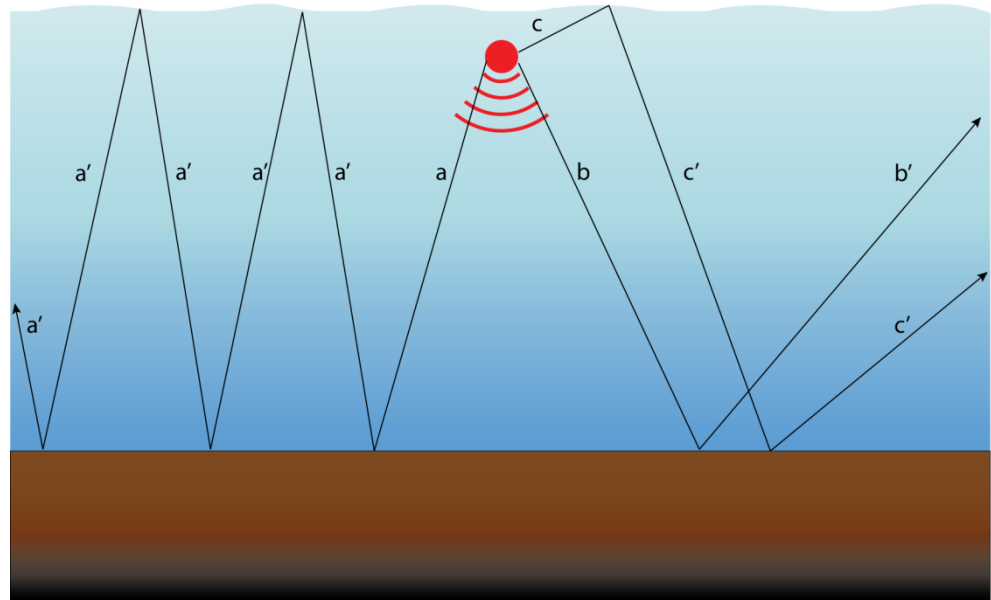
INTERACTIES MET DE GRENZEN VAN HET WATERLICHAAM

Een waterlichaam is begrensd door de bodem en het wateroppervlak. De voortplanting van het geluid wordt daardoor ook beïnvloed omdat de akoestische eigenschappen van de bodemmaterialen en van de lucht anders zijn dan van water. Als dat niet het geval was zou het onderwatergeluid door het overgangsvlak naar de lucht overgedragen worden. Er zijn twee fundamentele processen aan de randen vna het waterlichaam, namelijk reflectie en absorptie.

Reflectie beschrijft het (recht) terugkaatsen van een geluidsgolf door een oppervlak zonder overdracht of verlies van energie naar hetzelfde oppervlak en wordt weergegeven in figuur 12.

Figuur 12

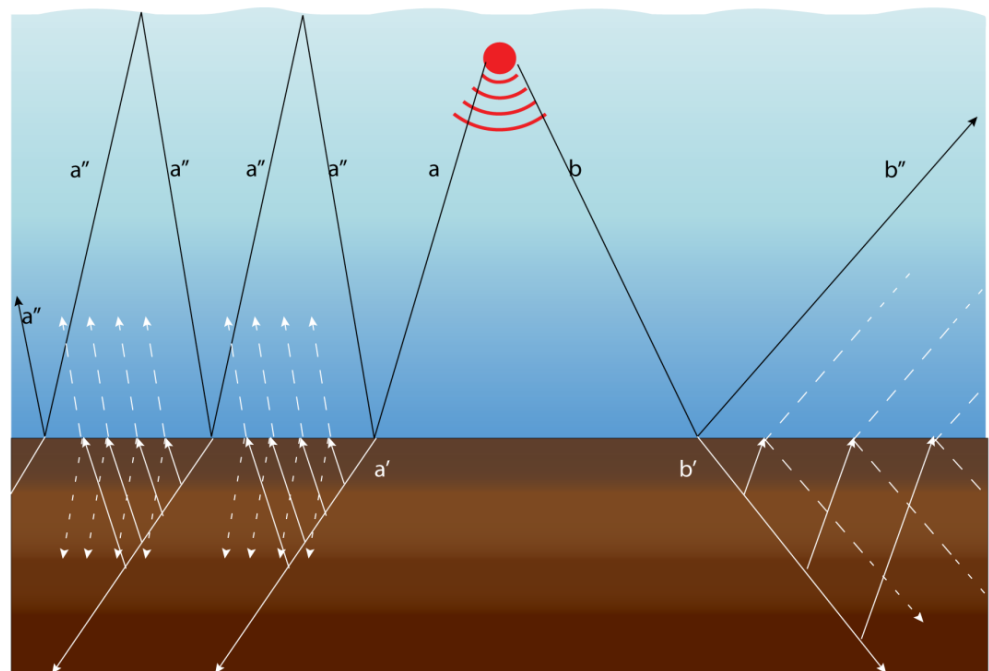
Geluidsstralen na perfecte reflectie



Absorptie ontstaat doordat de in de bodemdeeltjes opgenomen energie (veroorzaakt door geluidsgolven) de bodemdeeltjes laat vibreren. Hierdoor ontstaat geluid in de ondergrond, dat deels wordt geabsorbeerd en zich deels voortplant. Figuur 13 laat dit proces zien.

Figuur 13

Geluidsrefractie met transmissie in de bodem (absorptie).

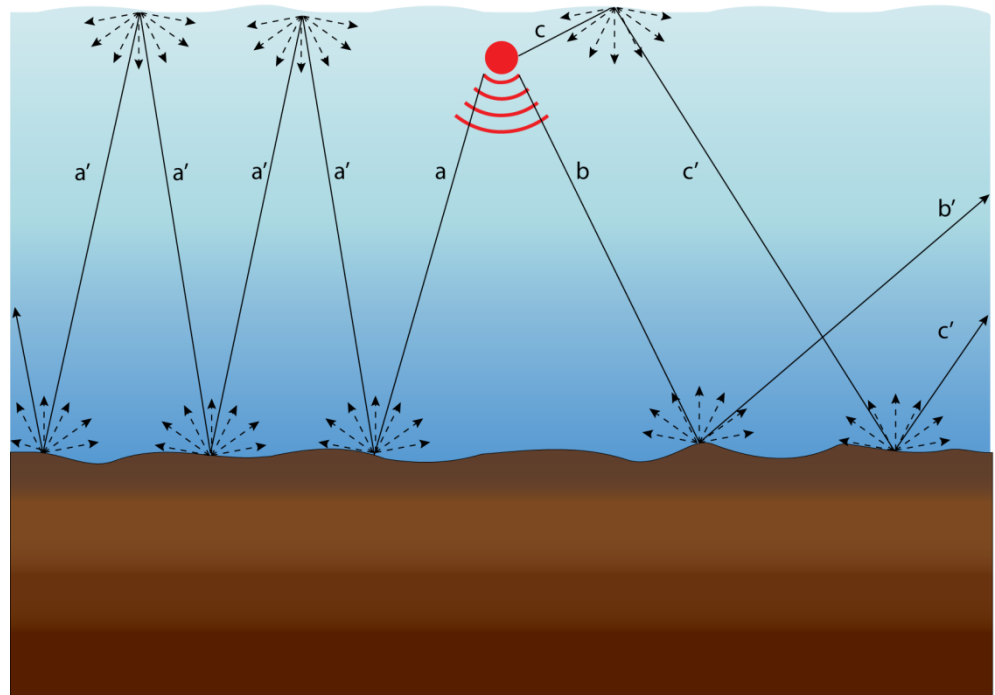


Oneffenheden van de bodem (vanwege verschillen in bodemsamenstelling en ruwheden) en het wateroppervlakt (vanwege de ruwheid van de windgolven) kan een diffuse reflectie veroorzaken in allerlei richtingen. Dit wordt verstrooiing genoemd. Figuur 14 laat het principe van verstrooiing zien. Verstrooiing vindt plaats wanneer de akoestische golflengte

overeenkomt met de typische grootte van de oneffenheden. Omdat de geluidfrequentie gelijk is aan de golflengte gedeeld door de geluidssnelheid, is verstrooiing door oneffenheden enkel effectief bij bepaalde frequenties (Kuperman, 2001).

Figuur 14

Geluidstralen na verstrooiing.



Door het proces van verstrooiing wordt het geluid in willekeurige richtingen weerkaatst (zie gestippelde pijlen in figuur 14). Tevens neemt het aantal geluidgolven dat met een bijna loodrechte invalshoek de bodem kan raken toe. De hoeveelheid geluid dat wordt weerkaatst neemt daardoor af. Verstrooiing veroorzaakt indirect het dimmen van geluidsintensiteit in het waterlichaam.

De bodemsamenstelling heeft invloed op welke geluidgolven weerkaatsen of (afhankelijk van de invalshoek) worden overgedragen naar de bodem. Geluidsgolven die de bodem met een hoek van minder dan ongeveer 55 (slib) of 75 (zand) graden raken, worden gereflecteerd (verstrooid). In werkelijkheid is modellering van verstrooiing complexer dan hier beschreven en wordt door empirische formules bepaald (Jensen, 2001). Ook in het water ontstaat verstrooiing als gevolg van allerlei kleinschalige onregelmatigheden die in de akoestische eigenschappen van water kunnen optreden (bijvoorbeeld turbulentie).

Demping is de combinatie van absorptie en verstrooiing.

Tabel 3

Processen die optreden en worden veroorzaakt door interactie met grenzen.

Proces	Beschrijving	Aanpassing	Gebruik
Perfekte reflectie Figuur 11	Beschrijft het recht terugkaatsen van een geluidsgolf door een oppervlak zonder overdracht of verlies van energie aan hetzelfde oppervlak	Het wateroppervlak is een bijna spiegelende grens door het groot akoestische impedantieverschil tussen water en lucht. Dit komt ook voor tussen water en rotsige zeebodems.	Perfekte refractie geeft een schatting van het effect van de boven- en onderstaande grenzen.
Imperfekte reflectie Figuur 12	Een deel van het geluid dringt de bodem in en verdwijnt uit het water. Hierdoor ontstaat geluid in de bodem.	Laag frequentie proces. Alleen geluidsgolven die onder een hoek groter dan de kritische waarde de bodem bereiken kunnen de bodem binnendringen.	Het echte doel van seismisch onderzoek.
Absorptie Figuur 12	De door bodemdeeltjes opgenomen energie, veroorzaakt door onderwater geluidsgolven, waardoor bodemdeeltjes gaan vibreren (geluid in de ondergrond).	De weerkaatste geluidsgolven zijn zwakker dan de invallende geluidsgolven (geen energieverlies maar energieoverdracht gezien vanaf water). Afhankelijk van frequentie.	Oorzaak van (ook totale) geluidsdemping in ondiep wateren door meervoudige imperfecte reflectie. Ook diffuse geluidbron omdat bodemgeluid sneller is dan onderwatergeluid. De airgun schokgolf komt vroeger aan door de bodem.
Verstrooiing Figuur 13	Beschrijft het diffuse terugkaatsen van de geluidsgolf tegen een oneffen oppervlak (watergolven, bodemruwheden).	Door de tijd variërend wateroppervlak (Spindel, 1985)	Onderhevig aan empirische formules.

3.3 GELUIDSVOORTPLANTING OP HET NCP

De vorige paragraaf heeft in het kort de processen die optreden in het water na het afvuren van een airgun behandeld. Het akoestische 'klimaat' op iedere willekeurige punt in het water (het geluidsspectrum) is dus het resultaat van de energieoverdracht vanuit de bron (de airgun) naar dat punt in alle richtingen, wegens de gecombineerde effecten van geometrische verspreiding, refractie, reflectie, verstrooiing en absorptie. In deze paragraaf wordt ingegaan op de specifieke processen op het NCP.

3.3.1 HET EFFECT VAN DIEPTE EN SEDIMENT

Diepte heeft een effect op de geluidsvoortplanting. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de geluidsvoortplanting in diepe en in ondiepe wateren. Hoe dat onderscheid zich precies uit, hangt af van welke processen uit paragraaf 3.2 dominant zijn. Wanneer geometrische verspreiding en refractie het geluidklimaat bepalen, is er sprake van diepwater akoestiek (deep-water of deep-ocean acoustics). Geluidsvoortplanting treedt op zonder invloed van de bodem, dus in diep water zoals de oceaan. Aan de andere kant, wanneer reflectie en verstrooiing de leidende processen worden is er sprake van akoestiek in ondiep water (shallow-water acoustics). Dit laatste is op het NCP van toepassing.

De typische diepwater akoestische processen kunnen ook in ondiep water ontstaan. Refractie kan optreden door stratificatie door rivierafvoer of verwarming van het oppervlakwater. Er valt te verwachten dat refractie (dus afhankelijk van seizoen, weer, menging door de tijd etc.) de geluidsgolven omlaag buigt. De verstrooiing van geluid aan het wateroppervlak neemt dan af. In het geval van stratificatie wordt verstrooiing alleen door de bodem uitgeoefend en wordt daardoor minder effectief. Met informatie over de temperatuur, saliniteit en diepte kan de refractie geschat worden.

De gemiddelde waterdiepte op het NCP is NAP -34 m, het maximum is NAP -71 m. In ondiep water treedt de geluidsvoortplanting over lange afstanden niet alleen door het water zelf op, maar ook door geluidgolven die in de bodem kunnen penetreren (dus lagere frequenties <1 kHz). Deze geluidgolven kunnen zich in de bodem sneller dan in het water verspreiden, terwijl de geluidintensiteit door de bodem sterker dan door het water gedempt wordt. Hierdoor wordt geluid dat zich door de bodem heeft voortgeplant eerst op een bepaalde locatie waargenomen en daarna pas het geluid dat zich door water heeft voortgeplant.

De laagste frequentie die zich in het waterlichaam kan verspreiden zonder de bodem te penetreren kan redelijk geschat worden. Dit wordt de *cut-off* frequentie genoemd en is afhankelijk van de waterdiepte en de akoestische eigenschappen van bodemmateriaal en water. Geschatte waarden met betrekking tot het NCP zijn weergegeven in tabel 4. Hieruit blijkt dat bruikbare geluidsfrequenties van airguns afnemen met toenemende waterdieptes en met grovere sedimentfracties.

Tabel 4

Cut-off frequenties (Hz)
Geluidsnelheid in water
 $c=1500$ m/s

Waterdiepte (m)	Slib ($c=1575$ m/s)	Zand ($c=1600$ m/s)
10	123	90
20	61	45
40	31	23
60	20	15
70	18	13

In ondiep water worden lage frequenties door verstrooiing (overdracht naar de bodem) gedempt en hoge frequenties door het proces van absorptie snel uitgedoofd. Hierdoor kunnen middenfrequenties zich het verst verspreiden. Hieruit volgt een soort optimale frequentie voor geluidsvoortplanting; deze is omgekeerd evenredig met de waterdiepte en licht afhankelijk van de bodemsoort (Jensen, 2001). Een schatting is ~200-800 Hz in 100 m waterdiepte.

Geluidsvoortplanting in (akoestisch) ondiepe wateren kan dus naar frequentie bereik onderscheiden worden:

- Lage frequenties (lager dan in tabel 4), die in de zeebodem penetreren en daardoor niet verder door het water voortplanten. Hierdoor planten zij zich sneller voort (omdat voortplanting in de bodem sneller gaat dan in water) maar worden ook meer gedempt. Het geluid dat terugkomt in het water wordt minder naarmate de afstand toeneemt. Dit zijn de frequenties waar de geologische studies gebruik van maken.
- Middenfrequenties kunnen deels in de zeebodem penetreren en worden deels gereflecteerd door zeebodem en wateroppervlak terug in het waterlichaam. Hoe meer terugkaatsing, des te meer demping van de geluidsintensiteit. Dus hoe ondieper het water, des te meer demping door terugkaatsing. Stratificatie, indien aanwezig, reduceert de verstrooiing, omdat refractie de geluidsgolven weghoudt van het wateroppervlak. Dit is op het NCP met name relevant in de zones die worden beïnvloed door water uit estuaria. Ook de zeebodem veroorzaakt demping doordat bodemdeeltjes door geluid in trilling worden gebracht en energieverlies optreedt.
- Hoge frequenties worden het gemakkelijkst verstrooid en geabsorbeerd door zowel water als zeebodem.

3.3.2

GELUIDSVOORTPLANTING OP HET NCP

De belangrijkste processen voor geluidsvoortplanting op het NCP zijn dus reflectie en demping (=absorptie en verstrooiing). Bij het wateroppervlak ontstaat verstrooiing door de golven, op de zeebodem door de (zand)vormen en de absorptie in de bodem. In het water zelf treedt het proces van absorptie door het water op, onafhankelijk van de waterdiepte.

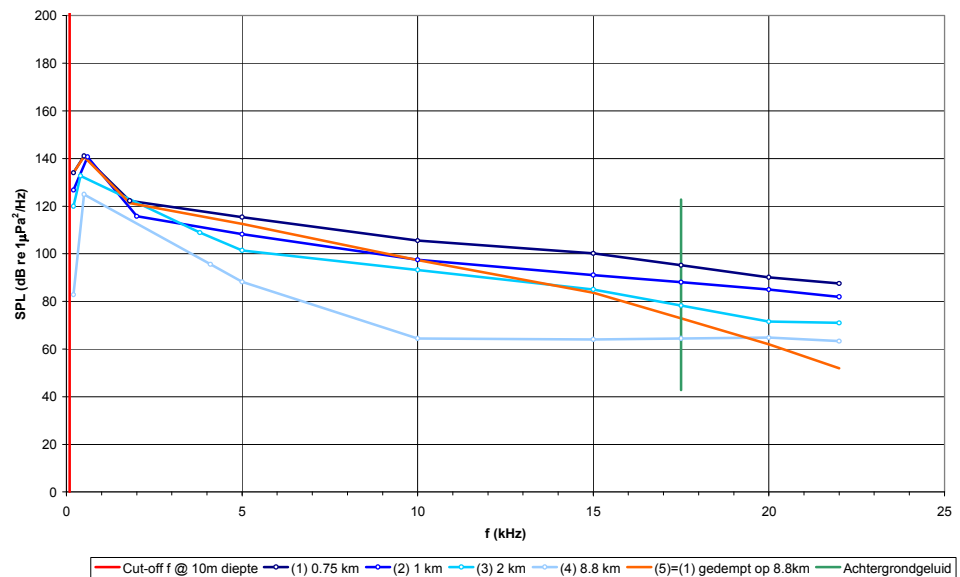
In vergelijking met een diepe oceaan zal het geluid op het NCP minder ver dragen. Met een aantal aannames en een relatief simpele formule voor geometrische spreiding kan een schatting van de afstand dat geluid zich voortplant worden gemaakt.

Om enig gevoel te krijgen voor de mate waarin het geluid zich verspreid door het water, is gebruik gemaakt van de informatie gepubliceerd door Goold & Fish (1998). Figuur 15 laat het door hen gemeten geluidsspectrum zien op 750, 1000, 2000 en 8800 meter van een airgun schot. De geluidsspectra worden weergegeven als blauwe lijnen, die donkerder worden

naarmate ze dichterbij de bron (=de airgun) liggen. Dit is een aangepast figuur op basis van Goold & Fish (1998).

Figuur 15

Geluidspectra bij verschillende afstanden van de airgun (gebaseerd op Goold & Fish, 1998).



De rode lijn is de cut-off frequentie (circa 0,1 kHz) voor een tien meter diepe, zandige bodem. Deze diepte en bodemsamenstelling is gebruikt als een onderste limiet van frequenties die de bodem kunnen penetreren (tabel 1). Het geluid is gemeten in de frequentie range 0,2-22 kHz. De groene lijn geeft de frequentie aan waarboven het gemeten geluid niet meer was te onderscheiden van het achtergrondgeluid. Dit achtergrondgeluid was in dit onderzoek vrij hoog omdat het geluid dat door het onderzoeksschip werd geproduceerd ook is gemeten.

Op het moment dat het geluidsniveau van het geproduceerde geluid even groot is als het geluidsniveau van het achtergrondgeluid kan dit niet meer van elkaar onderscheiden worden. De groene lijn laat zien dat de frequenties van de airgun boven de 17 kHz tussen de 750 meter en 8000 meter van de bron niet meer van achtergrondgeluid onderscheiden kunnen worden. Er wordt hierbij van een achtergrondgeluidsniveau van circa 90 – 100 dB uitgegaan. Dit is consistent met tabel 1 waarin de ordegrottes voor de reductie door absorptie zijn weergegeven.

Door gebruik te maken van de empirische vergelijking voor de absorptie van geluid in de Atlantische Oceaan (de Jong et al., 2010), is een curve berekend (oranje lijn nummer 5) die de demping op 8.8 km voorspelt. Zoals verwacht is de absorptie niet groot bij de laagste frequenties en neemt het effect toe met toenemende frequenties.

Het gebied tussen het gedempt spectrum (lijn nummer 5) en de gemeten curve (lijn nummer 4) bevestigt dat reflectie een belangrijk proces is, wat bijdraagt aan een reductie tot aan 30 dB. Omdat reflectie een diepteafhankelijk proces is en de metingen zijn gedaan bij een diepte van 50 tot 100m, zal dit proces nog belangrijker zijn in het ondiepe NCP.

In Goold en Fish (1998) is de 'luidste' frequentie op 750 meter 0.5 kHz met een SPL van 146 dB re $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ die na 8 km met 16 dB is gereduceerd. Bij 10 kHz is de reductie van de SPL dichtheid over dezelfde afstand 40 dB.

4 Effecten op ecologie

4.1 EFFECTEN VAN ONDERWATERGELUID

Onderwatergeluid kan op verschillende manieren tot effecten op ecologie leiden. Hoewel in toenemende mate onderzoek hiernaar wordt verricht is de huidige kennis nog beperkt. In dit hoofdstuk wordt beschreven op welke manieren effecten zouden kunnen optreden, op welke soortsgroepen effecten worden verwacht en hoe een risicoinschatting kan worden gemaakt. Ook worden mitigerende maatregelen om effecten te beperken beschreven.

4.1.1 FYSIEKE- EN GEDRAGSEFFECTEN

Effecten kunnen worden onderverdeeld in fysieke effecten en gedragseffecten.

Fysieke effecten

Er wordt van fysieke effecten gesproken als er door onderwatergeluid fysieke of fysiologische veranderingen in het organisme optreden.

Fysieke effecten op het individu zijn experimenteel te bepalen door onder laboratoriumomstandigheden organismen aan bepaalde geluidsfrequenties en niveaus bloot te stellen en bijvoorbeeld door middel van dissectie vast te stellen of er fysieke schade is opgetreden. Ook is het mogelijk om fysiologische veranderingen zoals een toename van hartritme of een verandering in hormoonspiegel als gevolg van geluid te meten.

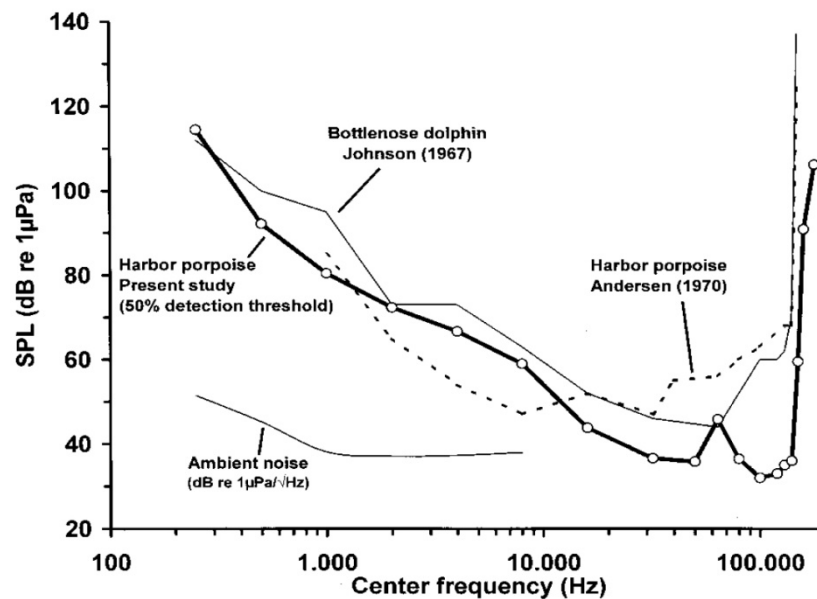
Een veel gebruikte methode om de gevoeligheid voor geluid te meten is om zeezoogdieren onder experimentele omstandigheden bloot te stellen aan geluidsstimuli en met elektrodes te meten of er een verandering in neurale activiteit in de hersenen optreedt (Auditory Brainstem Response ABR: Hastings & Popper (2005)). Met deze methode kunnen grenswaarden in frequenties en niveaus worden bepaald waarbij gesteld kan worden dat als er geen verandering in neurale activiteit wordt gemeten dat er vanuit gegaan wordt dat er ook geen fysieke, fysiologische of gedragsverandering zal optreden. Aan de hand van dit soort experimenten kunnen audiogrammen worden opgesteld.

De gevoeligheid voor geluidsfrequenties is soortspecifiek en kan worden weergegeven in een audiogram. In een audiogram worden frequenties uitgezet tegen het geluidsniveau waarbij soorten het geluid kunnen waarnemen. Een voorbeeld van een audiogram van verschillende soorten is weergegeven in figuur 16. Hierin is aangegeven wat het 'sound pressure level' (SPL) is waarbij frequenties door een bruinvis worden waargenomen. In figuur 16 is ook het audiogram van een tuimelaar (Johnson, 1967) en van een bruinvis uit

een eerder experiment (Andersen, 1970) weergegeven. In dit voorbeeld is te zien dat de bruinvis met name gevoelig is voor frequenties tussen 16 kHz en 140 kHz en minder gevoelig is voor frequenties lager dan 1 kHz. Aan de hand van een audiogram kan mogelijk een effectinschatting van seismisch onderwatergeluid worden gemaakt.

Figuur 16

Audiogram van de bruinvis (*P. phocoena*) met gemiddelde 50% waarnemingsgrenswaarde (Kastelein et al., 2002)



Gedragseffecten

Er wordt van gedragseffecten gesproken als er door onderwatergeluid gedragsveranderingen van het organisme optreden. Er kunnen verschillende gedragsveranderingen optreden, zoals bijvoorbeeld vermijdingsgedrag, aantrekkingsgedrag, schrikreacties, een vermindering van paaigedrag etc. Gedragseffecten zijn moeilijk te bepalen aangezien onder laboratoriumcondities geen natuurlijke situatie kan worden nagebootst en daarom niet zeker is of geobserveerde effecten ook onder natuurlijke omstandigheden zouden plaatsvinden. Door middel van observaties en metingen op zee kunnen tot op zekere hoogte wel veranderingen in gedrag worden afgeleid.

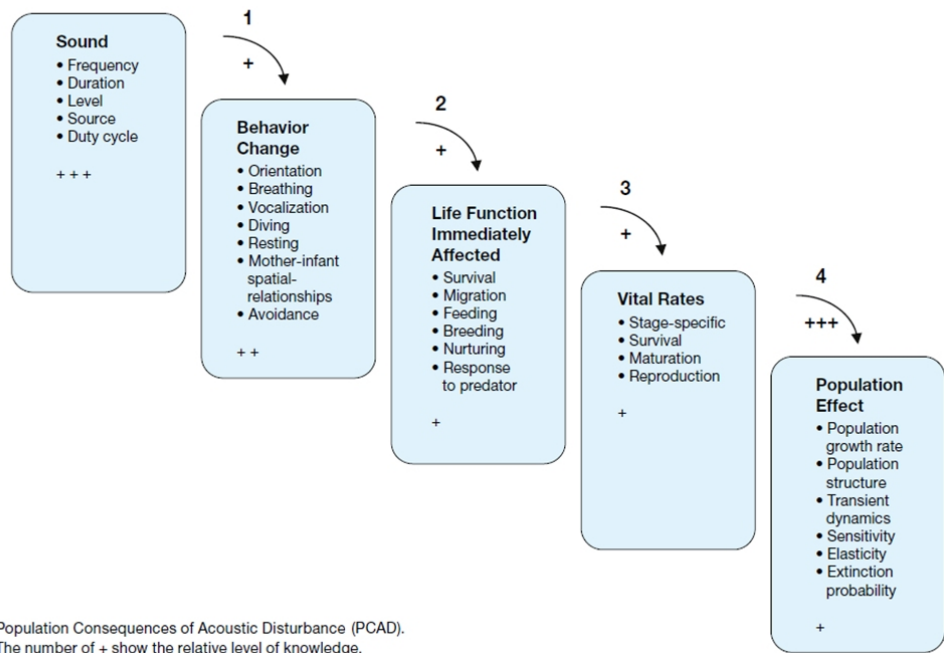
4.1.2

EFFECTEN OP INDIVIDU OF POPULATIE

Effecten kunnen optreden op het individu of op een populatie. Effecten worden over het algemeen bepaald aan de hand van individuen, waarna vervolgens een extrapolatie naar mogelijke effecten op een populatie wordt gemaakt. Het blijkt dat effecten op populatieniveau in de praktijk zeer moeilijk te bepalen zijn. In figuur 17 zijn schematisch de stappen van geluidsbron tot effect op een populatie weergegeven (NRC, 2005). Hieruit blijkt dat er nog veel kennis van de weergegeven stappen ontbreekt en dat het bepalen van effecten op populatieniveau gecompliceerd is.

Figuur 17

Effecten van geluid op populatieniveau. Relatieve kennisniveau is met + aangegeven (uit NRC, 2005).



Bij de effectbepaling van geluid op vissen moet onderscheid gemaakt worden tussen impulsgeluid en continu geluid. Impulsgeluid heeft een hoge geluidsintensiteit en een zeer korte duur terwijl continu geluid een lagere geluidsintensiteit heeft met een langere duur. Voorbeelden van impulsgeluiden zijn explosies, heien, sonar of seismisch onderzoek en voorbeelden van continu geluid zijn scheepsmotoren en natuurlijk achtergrond geluid zoals geluid van golven en regen. Deze inventarisatie richt zich alleen op effecten van het impulsgeluid dat ontstaat bij seismisch onderzoek.

4.2

VISSEN

4.2.1

FUNCTIE VAN GELUID

Het is al sinds lange tijd bekend dat geluid een belangrijke rol speelt bij verschillend gedrag van vissen (Moulton, 1963). Geluid speelt onder andere als communicatiemiddel een belangrijke rol bij vissen (Tavolga, 1971; Bass & McKibben, 2003; van Opzeeland et al, 2007). Geluid kan een belangrijke rol spelen bij voortplanting, agressief gedrag, territoriumverdediging en bescherming (Tavolga, 1971; Demski et al, 1973; Zelik et al, 1999). Ook wordt geluid gebruikt bij het vormen van scholen (Tavolga, 1960) en het detecteren van prooi en predatoren (Banner, 1972; Richard, 1968).

4.2.2 GELUID PRODUCEREN EN HOREN

Vissen kunnen geluid produceren en vanzelfsprekend ook waarnemen.

Produceeren

Geluid kan door vissen op verschillende manieren geproduceerd worden, variërend van het bewegen van botten tot zeer snelle spiercontracties rond de zwemblaas met een frequentie waarbij geluid wordt geproduceerd (Zelick et al., 1999). De meeste energie wordt hierbij geproduceerd bij frequenties tot 1 kHz. De zwemblaas kan bij sommige soorten als 'geluidsversterker' functioneren (Hastings & Popper, 2005). Over het algemeen produceren vissen 'breedbandige signalen met relatief lage frequenties met de meeste energie beneden de 500Hz' (van Opzeeland et al., 2007).

Horen

Vissen kunnen geluid waarnemen met haarcellen die in het gehoororgaan en in het lateral line system aanwezig zijn. De structuur van het binnenste gehoororgaan (inner ear) van vissen is vergelijkbaar met andere vertebraten (Ladich & Popper, 2004). Ook de waarneming en het omzetten van een akoestisch signaal naar een elektrische impuls naar de hersenen is vergelijkbaar met vertebraten. Geluid wordt waargenomen door het otoliet (een kalkstructuur in het oor van vissen) die door geluid in het water in trilling wordt gebracht. In sommige soorten kan de zwemblaas als 'versterker' van het geluid optreden, waarbij soms zelfs een directe verbinding tussen de zwemblaas en het gehoororgaan of een uitbreiding dichtbij het gehoororgaan aanwezig is (bijvoorbeeld in haring).

Voor een gedetailleerde beschrijving van het gehoororgaan in vissen wordt verwezen naar Ladich & Popper (2004)

4.2.3 SPECIALISTEN EN GENERALISTEN

De verschillende structuren om geluid waar te nemen geven aan dat er verschil in gehoorcapaciteit tussen vissen is. Er wordt bij vissen onderscheid gemaakt in gehoorspecialisten en hoorgeneralisten. Gehoorspecialisten zijn de soorten die op verschillende manieren een verbinding tussen de zwemblaas en het gehoororgaan hebben. Hierdoor kan geluid bij lagere geluidsniveaus (thresholds) en een grotere bandbreedte aan frequenties worden waargenomen (Popper, 2003). Over het algemeen geldt dat hoorspecialisten gevoelig zijn voor geluiden tussen de 50 en 2000 Hz en dat hoorgeneralisten gevoelig zijn voor geluiden tussen de 50 en 500 Hz (van Opzeeland et al., 2007).

In hoofdstuk 2 is beschreven dat bij seismisch onderzoek voornamelijk geluid met een frequentie tussen de 10 en 100 Hz wordt geproduceerd. Dit geluid kan dus afhankelijk van het geluidsniveau zowel door hoorgeneralisten als door hoorspecialisten worden waargenomen.

4.2.4

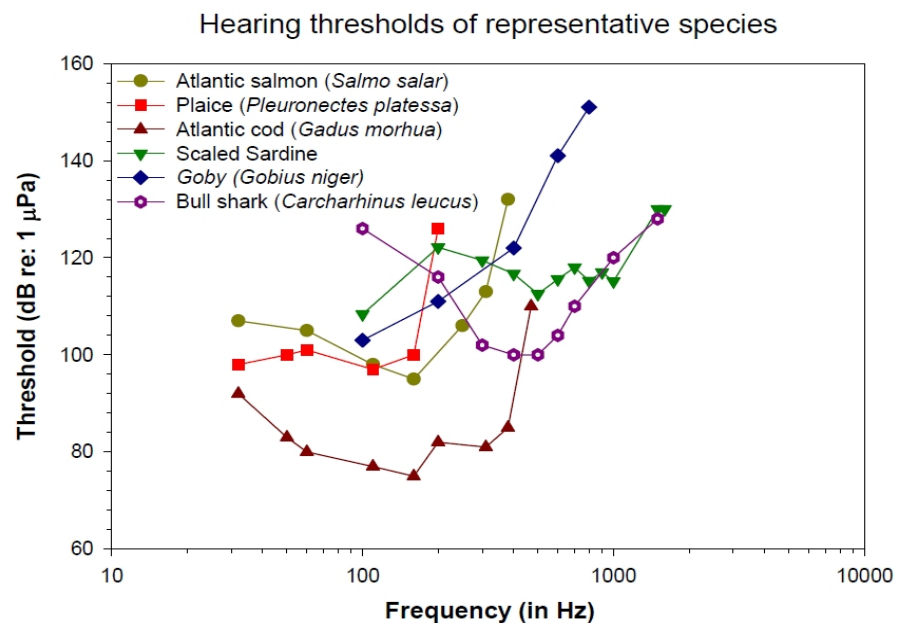
AUDIOGRAMMEN

Van een beperkt aantal soorten zijn grenswaarden van frequenties en bijbehorende geluidsniveaus opgesteld (Fay & Wilber, 1989). Hastings & Popper (2005) hebben deze gegevens voor vissen in een audiogram verwerkt (zie figuur 18). Dit audiogram geeft weer bij welke geluidsniveaus van verschillende frequenties de soorten het geluid kunnen waarnemen.

Uit figuur 18 blijkt dat de meeste vissoorten geluiden hoger dan 1000 Hz niet kunnen waarnemen. Ook blijkt kabeljauw van deze soorten het meest gevoelig (lage drempelwaarde) voor geluid. Voor een gedetailleerde beschrijving van onderstaand audiogram wordt verwezen naar Hastings & Popper (2005).

Figuur 18

Audiogram van zes vissoorten (uit Hastings & Popper, 2005)



4.2.5

EFFECTEN VAN GELUID

De literatuur over effecten van onderwatergeluid op vissen is beperkt. Echter, gezien de effecten die op organismen op land kunnen optreden, is het zeer aannemelijk dat ook vissen negatieve effecten van geluid kunnen ondervinden. Hieronder wordt een overzicht van de literatuur op dit punt gegeven.

Fysieke- en fysiologische effecten

Uit onderzoek naar terrestrische zoogdieren is gebleken dat in gas-gevulde structuren, zoals longen of een zwemblaas, schade in het weefsel kan optreden op het moment dat het geluid door de overgang van vloeistof-gevuld weefsel (zoals spieren) naar gas-gevuld weefsel gaat. Doordat gasweefsel een lagere weerstand (impedantie) heeft dan water, zal het gas in trilling worden gebracht en druk op het vloeistof-gevulde weefsel uitoefenen. In een aantal onderzoeken is aangegeven dat de zwemblaas bij hoge geluidsniveaus (zoals bij explosies) kan scheuren (Gaspin, 1975; Yelverton et al., 1975). Echter, in Hastings & Popper (2005) is

aangegeven dat dit niet is opgetreden bij een experiment met airguns zoals gebruikt wordt in seismisch onderzoek.

Geluid met een hoge intensiteit kan ook leiden tot de vorming van kleine luchtbellens in de bloedbaan, wat bij vissen die over het algemeen relatief kleine aderen hebben kan leiden tot embolie en scheuren van aderen (Turnpenny et al., 1994). In het betreffende onderzoek zijn forel en wijting gedurende 5 minuten blootgesteld aan frequenties tussen de 95 en 410 Hz bij een geluidsniveau van 170 dB (re 1 μ Pa). Echter, de uitvoering van dit (niet peer-reviewed) onderzoek blijkt echter significante problemen te bevatten (Ellison, 1996) en er zijn in de literatuur geen onderzoeken met vergelijkbare resultaten bekend. Het is hierdoor niet bekend of deze schade daadwerkelijk door geluid dat door airguns wordt geproduceerd optreedt.

Ook kan bij hoge geluidsintensiteit (met name bij gehoorspecialisten) neurotrauma optreden, dat zich bij vissen uit in het optreden van bewusteloosheid (Hastings & Popper, 2005). Dit blijkt o.a. uit Hastings (1995), maar ook in dit onderzoek is geen sprake van effecten van airguns, maar van een geluidsbron die over langere periode is ingezet.

Een van de algemene effecten die kan optreden is gehoorverlies. In onderzoeken wordt tijdelijk gehoorverlies vaak uitgedrukt in de temporary threshold shift (TTS). Deze maat geeft aan hoeveel gehoorverlies er tijdelijk optreedt (in dB) en hoe lang dit optreedt. Daarnaast wordt ook het permanente gehoorverlies onderzocht, uitgedrukt in permanent threshold shift (PTS). Dit laatste wordt over het algemeen veroorzaakt door beschadiging van het de haarcellen in het gehoororgaan (Saunders et al., 1991).

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat TTS optreedt bij vissen (Popper & Clarke, 1976; Scholik & Yan, 2001, 2002; Smith et al., 2004a), waarbij het soms enkele weken duurde voordat vissen herstelden van blootstelling aan geluid (Smith et al., 2004b). Uit een onderzoek naar effecten van airguns is gebleken dat bij een blootstelling van vijf geluidspieken van circa 205 dB re 1 μ Pa twee van de drie soorten een TTS van 10-15 dB vertoonden, met een volledig herstel na circa 24 uur (Hastings & Popper, 2005). Uit ander onderzoek met gekooide vissen blijkt echter permanente schade van de haarcellen van verschillende soorten na blootstelling aan airguns, waarbij de schade toenam met de periode van blootstelling (tot 58 dagen) (McCauley et al., 2003). Dit onderzoek bevatte echter slechts een paar soorten, een relatief lange periode van blootstelling en gaf vissen niet de mogelijkheid om te ontsnappen wat onder natuurlijk omstandigheden wel het geval is.

Tot slot kan geluid leiden tot een verandering in fysiologische toestand. Onderwatergeluid kan stress veroorzaken waarbij een verandering in hormoontoestand (Smith et al., 2004b) en hartritme (Graham & Cooke, 2008) kan optreden.

Gedragseffecten

Er zijn slechts een zeer beperkt aantal studies uitgevoerd die directe gedragseffecten van vissen door onderwatergeluid beschrijven. Er zijn wel een aantal studies waaruit indirect blijkt dat gedragseffecten kunnen optreden.

Uit Engas et al. (1996) en Engas & Lokkeborg (2002) blijkt bijvoorbeeld dat visvangsten van schelvis en kabeljauw significant afnamen gedurende enkele dagen na het gebruik van airguns. Op basis hiervan werd geconcludeerd dat vis als gevolg van het geluid uit het gebied wegtrekt, maar hiervan is geen directe data beschikbaar. Slotte et al. (2004) hebben het effect van airguns op haring, blauwe wijting en andere pelagische vissen onderzocht. Hieruit bleek dat er meer vissen tijdens het geluid in dieper water voorkwamen, waaruit afgeleid wordt dat soorten aan het geluid proberen te ontsnappen. Hetzelfde is voor kabeljauw beschreven door Dalen & Raknes (1985). Ook bleek een hogere visdichtheid op een afstand van 30-50 kilometer van de geluidsbron, wat verklaard wordt door migrerende vissen die niet het gebied rondom de geluidsbron inzwemmen maar op die afstand 'ophopen'. Pearson et al. (1992) beschrijven ook een afname van de visvangst (van 52%) van roodbaars in het gebied waar airguns werden afgevuurd.

Er zijn ook waarnemingen vanaf een seismisch onderzoeksschip waarbij vissen in de directe omgeving direct na het afvuren van een airgun uit het water springen, vermoedelijk om het geluid te ontwijken (persoonlijke mededeling, TNO-onderzoeker).

Uit het onderzoek van Wardle et al. (2001) blijkt daarentegen dat het gedrag van vissen op een rif niet veranderd na geluidsverstoring (210 dB re 1 μ Pa op 16 m afstand) door airguns en dat ook geen blijvende schade aan de vissen is waargenomen.

Geluid vormt een belangrijk communicatie- en waarnemingsmiddel voor vissen. Een effect dat kan optreden is dat vissen door een toename van het geluidsniveau niet meer met elkaar kunnen communiceren (in de literatuur wordt dit 'masking' genoemd). Eén van de effecten die dit tot gevolg kan hebben is een afname van voortplantingssucces. Dit kan theoretisch leiden tot effecten op populatieniveau. Ook het verstoren van waarnemingen kan gevolgen hebben als een vis bijvoorbeeld geen informatie over prooi of predatoren kan ontvangen (Hastings & Popper, 2005). Dit gaat ten koste van overleving en kan leiden tot individuele en populatie-effecten. Dit kan zowel veroorzaakt worden door 'masking' (tijdelijk overstemmen) als door het optreden van tijdelijke of permanente doofheid.

Effecten op eieren en larven

Viseieren en larven kunnen ook effecten van onderwatergeluid ondervinden. Deze effecten zijn specifiek en worden daarom afzonderlijk beschreven.

De wetenschappelijke literatuur is ook op dit punt beperkt. Er wordt in de literatuur beschreven dat de kwetsbaarheid van eieren voor geluid afhankelijk kan zijn van het ontwikkelingsstadium waarin de eieren zich bevinden (Jensen & Alderdice, 1989; Piper, 1986; Dwyer et al, 1993), maar dit is niet altijd het geval. Zo hebben Post et al. (1974) beschreven dat er geen schade op eieren van regenboogforel is opgetreden na blootstelling aan airguns, terwijl Smirnov (1959) beschrijft dat er afhankelijk van het eistadium wel schade als gevolg van onderwatergeluid is opgetreden. Deze onderzoeken zijn echter soortspecifiek en in hoeverre dit te extrapoleren is naar andere soorten is niet bekend. Ook de gebruikte geluidsniveaus en frequenties uit bovengenoemde onderzoeken komen niet overeen waardoor vergelijking of het vaststellen van grenswaarden niet mogelijk is.

Een belangrijk punt waarom effecten op viseieren anders kunnen zijn dan op adulte vissen is het feit dat viseieren passief in het water drijven en geen voortbewegingsmogelijkheden hebben. Dit betekent dat, in tegenstelling tot volwassen vissen, eieren niet kunnen ontsnappen bij hoge geluidsintensiteit. Daarnaast is het zo dat als er effecten op een cohort eieren optreden dit veel sneller zal leiden tot effecten op een gehele populatie omdat een cohort uit duizenden eieren kan bestaan.

4.3 ZEEZOOGDIEREN OP HET NCP

4.3.1 AFBAKENING ONDERZOEK

Strandingen van walvissen als gevolg van sonaronderzoek is een belangrijke aanleiding geweest naar wetenschappelijk onderzoek naar de effecten van geluid op zeezoogdieren. Het op grote schaal toepassen van sonartechnieken (o.a. door defensie wereldwijd) heeft er toe geleid dat er wereldwijd veel onderzoek naar effecten van geluid op zoogdieren wordt uitgevoerd en de literatuur hierover uitgebreid is. Dit onderzoek richt zich alleen op effecten van geluid als gevolg van seismisch onderzoek op het NCP.

4.3.2 SOORTEN

De meest voorkomende zeezoogdieren op het NCP zijn de bruinvis, gewone zeehond en grijze zeehond. Deze soorten zijn als habitatsoorten in het kader van Natura 2000 voor het gebied 'Noordzeekustzone' beschermd. Er worden ook verschillende soorten dolfijnen en andere zeezoogdieren in de Noordzee op het NCP waargenomen.

In de laatste decennia zijn er totaal 17 soorten walvissen en dolfijnen waargenomen in de zuidelijke Noordzee (van der Meij & Camphuysen, 2006). De voorgestelde status is weergegeven in tabel 5. Deze gegevens zijn gebaseerd op 36 jaar waarnemingen.

Tabel 5

Voorgestelde status van walvissen en dolfijnen, tussen haakjes staat hoe veel jaar de soorten van de 36 waarnemingsjaren zijn waargenomen.

resident of jaarlijkse bezoeker (31 jaar)	Regelmatische bezoeker of migrant (18-31 jaar)	Onregelmatige bezoeker (4-17 jaar)	Dwaalgast (< 4 jaar)
Bruinvis Witsnuitdolfijn	Tuimelaar	Gewone visvis Dwergvinvis Potvis Gewone spitsnuitdolfijn Griend Beloega Butskop Gestreepte dolfijn Witflankdolfijn	Noordse vinvis Bultrug Grijze dolfijn Spitsnuitdolfijn van De Blainville

Effecten worden beschreven voor bruinvissen en dolfijnen en voor zeehonden. De focus zal vanwege de indicator-status voor de KRM op de bruinvis liggen.

4.3.3

EFFECTEN

Op basis van Richardson et al. (1998) worden de volgende categorieën van effecten op zeezoogdieren onderscheiden:

1. Het geluid kan te zwak zijn om door het dier gehoord te worden, door een hoger achtergrondgeluid of lager geluidsniveau dan de soortspecifieke drempelwaarde;
2. Het geluid kan gehoord worden, maar te zwak zijn om een reactie teweeg te brengen (tolerantie voor geluid);
3. Het geluid leidt tot een gedragsverandering van allerlei mogelijke aard (bv. toename in hartritme of vermijdingsgedrag);
4. Herhaaldelijke blootstelling aan het geluid leidt tot gewenning (afname van gedragsverandering) of blijft leiden tot verstoring;
5. Bij voldoende geluidsniveau kan het leiden tot mogelijke afname van communicatie tussen soorten (masking);
6. Zeer sterk geluid kan leiden tot een tijdelijke doofheid (TTS, zie paragraaf 4.2) of permanente doofheid (PTS, zie paragraaf 4.2). Het geluidsniveau moet hiervoor de soortspecifieke grenswaarden sterk overschrijden.

4.3.4

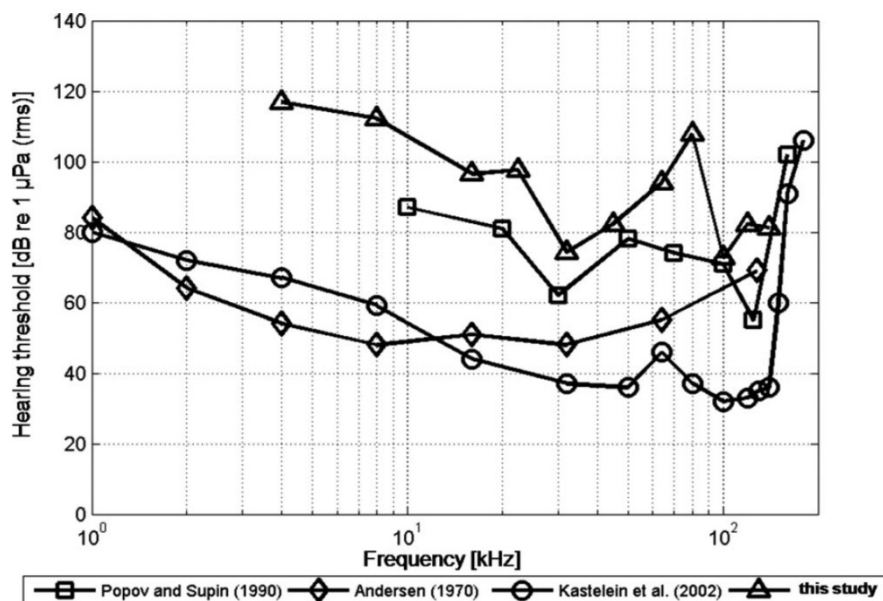
AUDIOGRAMMEN

Bruinvissen en dolfijnen

Bruinvissen en dolfijnen behoren tot de onderorde Odontocetes (tandwalvissen) van de orde Cetacea (walvisachtigen). Het grootste deel van deze groep is gevoelig voor geluid in het (midden)frequentiebereik van circa 150 Hz tot 160 kHz. De bruinvissen en dolfijnen zijn geclassificeerd als soorten met een hoog frequentiebereik van circa 200 Hz tot 180 kHz (Southall et al., 2009). Het daadwerkelijk hoorbare frequentiebereik is soortspecifiek. Bruinvissen zijn bijvoorbeeld het gevoeligst voor geluiden met frequenties hoger dan 100 kHz (Andersen, 1970; Kastelein et al., 2002). Figuur 19 geeft een samengesteld audiogram van vier onderzoeken naar de gevoeligheid voor geluid van de bruinvis, waarin naast een gevoeligheid voor hoge frequenties ook een grote variatie tussen de verschillende onderzoeken is weergegeven (Andersen, 1970; Popov & Supin, 1990; Kastelein et al., 2002; Lucke et al., 2008).

Figuur 19

Audiogram van de bruinvis (*Phocoena phocoena*) gebaseerd op verschillende onderzoeken (uit Lucke et al., 2008).

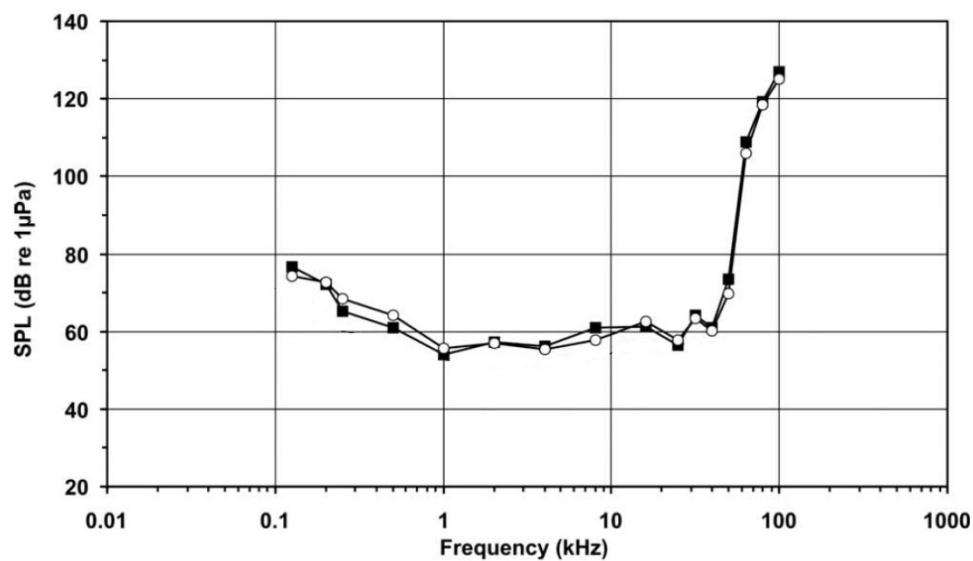


Zeehonden

Zeehonden behoren tot de groep Pinnipedia die over het algemeen gevoelig is voor geluid tussen de frequenties 75 Hz en 75 kHz (Southall et al., 2009). In vergelijking met bruinvissen en dolfijnen kunnen zeehonden beter horen bij lage frequenties maar kunnen minder hoge frequenties waarnemen. Figuur 20 geeft het audiogram van de gewone zeehond (twee individuen) weer, waarin de gevoeligheid voor frequenties van 150 Hz tot circa 100 kHz is weergegeven (Kastelein et al., 2009).

Figuur 20

Audiogram van de gewone zeehond (*Phoca vitulina*, twee individuen), aangepast uit Kastelein et al. (2009)



4.3.5

COMMUNICATIE EN MASKING

Bruinvissen, dolfijnen en zeehonden communiceren voor een belangrijk deel door middel van geluid. Zoals eerder beschreven kan een toename van geluid in het mariene milieu deze communicatie negatief beïnvloeden. Als antropogeen geluid interfereert met het geluid dat soorten gebruiken en de soort hier negatieve effecten van ondervindt wordt dit masking genoemd (Richardson et al., 1998). Dit kan optreden als er geluid met een frequentie wordt geproduceerd dat in het gehoorbereik van de soort ligt en bovendien met een dusdanig hoog geluidsniveau wordt geproduceerd dat het geluid van het organisme overstemd wordt.

In de literatuur wordt gesuggereerd dat het niet waarschijnlijk is dat seismisch onderzoek leidt tot masking doordat het geluid niet continu maar met impulsgeluiden wordt geproduceerd. Doordat bij seismisch onderzoek geluidsimpulsen met een interval van circa 10 seconden worden geproduceerd, kunnen soorten tussen de impulsgeluiden door met elkaar communiceren. Dit is met hydrofoons waargenomen voor bruinvissen en dolfijnen in verschillende onderzoeken (Gordon et al., 2003; Holst et al., 2005; Potter et al., 2007; Smulter et al., 2004), maar wil niet zeggen dat communicatie tijdens de impulsgeluiden niet gemaskeerd werd en dat soorten hier geen hinder van hebben ondervonden. Hetzelfde geldt voor zeehonden, die in theorie ook tijdens de intervallen van de airguns kunnen communiceren. Hier zijn echter geen waarnemingen van in de literatuur bekend.

4.3.6

VERSTORING

Verstoring wordt gedefinieerd als het optreden van een gedragsverandering als gevolg van een bepaalde oorzaak (in dit geval het geluid van airguns) ten opzichte van het normaal vertoonde gedrag. Deze gedragsverandering kan zo klein als een beweging van het hoofd als het vertonen van vluchtgedrag of vermijdingsgedrag. Verstoring kan aan de hand van uitgebreide gedragsstudies met regelmatige en langdurige observaties worden onderzocht.

Gedragsveranderingen zijn moeilijk waar te nemen en te voorspellen en kunnen o.a. afhangen van de soort, leeftijd, ervaring, activiteit waar de soort op dat moment mee bezig is of tijdstip van de dag (Richardson et al., 1998; Wartzok et al., 2003; Weilgart, 2007; Southall et al., 2009). Ook blijft de vraag of een gedragsverandering ook daadwerkelijk leidt tot een effect. Zo hoeft een kleine verplaatsing als gevolg van geluid geen effect te hebben, tenzij het een verplaatsing voor een langere periode van een belangrijk foerageer- of paaigebied betreft (Weilgart, 2007). Daarnaast is het zo dat het niet optreden van een gedragsverandering niet wil zeggen dat er per definitie geen effect is, omdat soorten in slechte conditie of onder stressvolle situatie minder sterk kunnen reageren dan onder normale omstandigheden (Beale & Monaghan, 2004).

Gezien de hierboven beschreven onzekerheden wordt verstoring in onderzoek vaak bepaald aan de hand van het aantal dieren dat binnen een bepaalde range van de geluidsbron aanwezig is, maar ook deze methode brengt onzekerheden met zich mee omdat de kennis over de soort- en geluidspecifieke range en het aantal soorten in een gebied vaak beperkt is.

Hieronder wordt een overzicht van de literatuur over verstoring van de geselecteerde soorten gegeven.

Bruinvissen en dolfijnen

Op basis van beperkte data wordt in de literatuur beschreven dat bruinvissen gevoelig zijn voor het geluid dat door airguns wordt geproduceerd (Stone, 2003; Bain & Williams, 2006). In onderzoek voor de kust van Amerika leken bruinvissen verstoord te worden op 70 km afstand bij een geluidsniveau van slechts <145 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ (Bain & Williams, 2006). Deze afstand is echter niet te extrapoleren naar het NCP omdat geluid zich op het NCP anders voortplant dan door diep water (zie hoofdstuk 3). Uit Stone (2003) en Stone & Tasker (2006) blijken echter ook significante verschillen in zwemrichting van bruinvissen voor de kust van Groot-Brittannië tussen periodes met- en zonder airguns, wat duidt op vermijdingsgedrag voor geluid.

Hoewel vanaf seismische onderzoeksschepen regelmatig dolfijnen vlakbij worden waargenomen, wordt in de literatuur over het algemeen een vermijdingsreactie (vaak tot een afstand van circa 1 km voor airguns beschreven (Goold, 1996; Calambokidis et al., 1998; Goold, 1998; Stone, 2003; Holst et al., 2006; Stone & Tasker, 2006; Weir, 2008). Uit Stone & Tasker (2006) blijkt dat waarnemingen van de witflankdolfijn, witsnuitdolfijnen en alle (onderzochte) odontoceten als groep significant lager waren in periodes met geluid van airguns. Een aantal gedragsobservaties lijken uit te wijzen dat zeezoogdieren tijdens het gebruik van airguns minder foerageren, minder interactie met het onderzoeksschip vertonen en sommige soorten sneller zwemmen. Uit Moulton & Miller (2005) blijkt echter dat sommige dolfijnen soms aangetrokken worden tot airguns en zelfs in de boeg golf van in bedrijf zijnde seismische onderzoeksschepen worden waargenomen.

Zeehonden

Uit Mate & Harvey (1986) en Reeves (1996) blijkt dat zeehonden onder en boven water sterke geluidspulsen tolereren als ze sterk tot een gebied zijn aangetrokken om te foerageren of te reproduceren. Het is de vraag echter of zeehonden dit geluid tolereren of genoodzaakt zijn om te foerageren en toch negatieve effecten van geluid ondervinden. Bij de gewone- en grijze zeehond kunnen als gevolg van airguns gedragsveranderingen optreden (Thompson, 1999), al kan dit verschillen per individu. In dit onderzoek (met gebruik van radio-telemetry) bleef één gewone zeehond op een afstand van 2.5 km van de geluidsbron en hervatte het foerageren pas nadat de airguns waren gestopt, terwijl bij een andere gewone zeehond geen gedragsverandering bij een afstand van 500 m tot de bron is waargenomen. De grijze zeehond vertoonde in dit onderzoek (beperkt) vermijdingsgedrag, verhoogde zwemsnelheid en een verandering in foerageergedrag. Effecten leken echter tijdelijk, aangezien deze zeehonden relatief snel weer in het gebied terugkeerden waar ze aan het geluid waren blootgesteld (Thompson, 1999). Uit Miller et al. (2005) blijkt dat er minder zeehonden aan het wateroppervlak in de nabijheid van de schepen tijdens seismisch onderzoek in vergelijking tot zonder seismisch onderzoek werden waargenomen, maar dat de vermijdingsafstand gering was (enkele honderden meters).

4.3.7

FYSIEKE EN FYSIOLOGISCHE EFFECTEN

Bij zeezoogdieren kunnen vergelijkbare fysieke en fysiologische effecten als bij vissen optreden. De belangrijkste effecten zijn het optreden van tijdelijke- of permanente doofheid (resp. TTS en PTS). Het bepalen van deze effecten is vooralsnog alleen onder laboratoriumcondities en niet onder natuurlijke omstandigheden uitgevoerd.

Temporary- en Permanent Threshold Shifts

Blootstelling aan een harde geluidsbron kan leiden tot tijdelijke of permanente verhoogde grenswaarde waarbij geluid met een bepaald energieniveau nog wordt waargenomen (TTS en PTS) (Yost, 2000). Het optreden van TTS bij mariene zoogdieren is onder andere waargenomen bij tuimelaars na blootstelling aan hard geluid met een geluidsduur van circa 20 minuten (Nachtigall et al., 2003). Op basis van TTS data blijkt dat aan de hand van de energie (hoeveelheid energie bij een bepaalde tijdsduur) in combinatie met het maximale geluidsniveau (peak pressure level) (soortspecifieke) criteria voor blootstelling aan geluid kunnen worden afgeleid.

Bruinvissen en dolfijnen

Lucke et al. (2008) hebben voor de bruinvis de TTS-waarden bij blootstelling aan geluid van airguns bepaald. Hieruit blijkt dat er een TTS optreedt bij een sound pressure level (SPL) van 199.7 dB_{peak-to-peak} re 1 μPa en een sound exposure level (SEL) van 164.3 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$. Gedragsveranderingen van de bruinvis zijn waargenomen bij een SPL van 174 dB_{peak-to-peak} re 1 μPa en een SEL van 145 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$.

Er zijn in de literatuur geen TTS voor dolfijnen bij blootstelling aan geluid van airguns bekend, maar Finneran et al. (2002) hebben TTS gemeten bij blootstelling aan waterguns die vergelijkbaar met airguns korte impuls geluiden met hoog energieniveau en breed frequentiespectrum produceren. Uit dit onderzoek bleek dat bij de hoogste blootstelling (SEL van 188 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$) er geen TTS optrad.

Er zijn in de literatuur geen PTS waarden van bruinvissen of dolfijnen bekend, maar in Southall et al. (2009) wordt geschat dat PTS optreedt bij een verhoging van het geluidsniveau van circa 15 dB ten opzichte van de TTS waarden. Dit is echter niet meer dan indicatief, aangezien het optreden van PTS afhangt van de tijdsduur, piekamplitude, snelheid waarmee het geluidsniveau stijgt, het aantal impulsen achter elkaar en het interval tussen de impulsen en daarnaast ook nog eens locatie- en soortspecifiek is (Ketten, 1994).

Zeehonden

TTS-waarden voor zeehonden bij korte impuls geluiden zoals bij airguns zijn in de literatuur niet bekend. Wel zijn er een aantal onderzoeken uitgevoerd met langere blootstellingsduur aan geluid, waaruit bleek dat de hoogte van de TTS afhangt van de sound exposure level o.a. voor de gewone zeehond. Bij een continue blootstelling van 25 tot 50 minuten aan een geluidsniveau van 80-95 dB trad er een TTS op tussen de 2.9 en 12.2 dB, die binnen 24 uur herstelde bij een frequentie van 2.5 kHz (Kastak et al., 2005). In dit onderzoek wordt gesteld dat er voor de gewone zeehond mogelijk een TTS optreedt bij een SEL (een maat voor de combinatie van geluidsniveau en tijdsduur van het geluid) van 183 tot 206 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$. In Southall et al. (2009) wordt geschat dat er een TTS voor de gewone zeehond bij een impuls geluid optreedt bij een sound exposure level van circa 171 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$, maar dit is niet experimenteel onderzocht.

Overige fysieke- en fysiologische effecten

Uit terrestrisch onderzoek is bekend dat geluid kan leiden tot stress bij zoogdieren (Wright et al., 2007; Wright & Kuczaj, 2007) en ondanks dat data ontbreekt is het aannemelijk dat dit ook voor zoogdieren in het mariene milieu het geval is. Over lange-termijn effecten of effecten op reproductiesucces van geluid op mariene zoogdieren in het algemeen is nog

vrijwel niks bekend (Fair & Becker, 2000; Hildebrand, 2005). Specifiek voor de bruinvis en dolfijnen en zeehonden op het NCP zijn geen overige fysieke en fysiologische effecten als gevolg van geluid van airguns in de literatuur bekend.

4.4

EFFECTEN OP DE MENS

Mensen maken geen deel uit van het mariene ecosysteem, maar kunnen wel daarin aanwezig zijn. Er kan gedacht worden aan duikers die recreatief op wrakken duiken in de Noordzee of beroepsduikers die onderwater aan het werk zijn. Er is geen wetenschappelijke literatuur over effecten van seismisch onderwatergeluid op de mens, maar omdat de mens een vergelijkbaar gehoorsysteem en weefselsamenstelling (spierweefsel, longen, vetweefsel) heeft als bijvoorbeeld een zeehond is het zeer waarschijnlijk dat de negatieve effecten die op zeezoogdieren op kunnen treden ook bij mensen kunnen optreden. Dit kan dus betekenen dat bij duikers als gevolg van seismisch onderzoek gehoorschade of zelfs longscheuren kunnen optreden.

Er wordt op de Noordzee relatief veel gedoken. Het risico dat een duiker schade van seismisch onderzoek ondervindt is dus aanwezig. Dit blijkt ook uit de recente melding van een duiker die onwel is geworden tijdens het duiken door seismisch onderzoek dat in de buurt werd uitgevoerd (2010, zie www.noordzee.nl/actueel_artikel.php?contentID=386). Behalve de meldingsplicht wordt seismisch onderzoek niet gereguleerd en gehandhaafd. Ongevallen met ernstige afloop kunnen momenteel optreden door een gebrek aan regelgeving.

4.5

EFFECTBEPALING

Dit onderzoek richt zich op de inventarisatie van effecten op ecologie als gevolg van seismisch onderzoek (airguns) op het NCP. Het uitgevoerde onderzoek naar effecten van airguns op zowel vissen als zoogdieren is zeer beperkt. Data beperkt zich tot TTS waarden van een aantal soorten en enkele waarnemingen van fysieke schade als gevolg van korte impuls geluiden met een hoog geluidsniveau. Ook zijn er een aantal onderzoeken waarin vermijdingsgedrag van zeezoogdieren voor seismische onderzoeksschepen kwantitatief aangetoond wordt.

Het maken van een gedegen effectinschatting van seismisch onderzoek op de ecologie van het NCP is op basis van de huidige kennis en beperkte data niet mogelijk. Zo weten we bijvoorbeeld wel bij welk geluidsniveau er bij de bruinvis een TTS kan optreden onder laboratoriumomstandigheden, maar of dit ook optreedt onder natuurlijke omstandigheden is niet bekend. Onder natuurlijke omstandigheden kan een soort wegzwemmen om schade aan het gehoorsysteem te beperken of te voorkomen, iets wat onder laboratorium omstandigheden niet mogelijk is. Het is gezien de geproduceerde geluidsniveaus aannemelijk dat er bij het afvuren van de eerste airguns bruinvissen in de directe omgeving effecten ondervinden, maar om dit door te trekken naar effecten op populatieniveau is veel meer kennis over aantallen, verspreiding en gedrag van bruinvissen vereist. Ook kennis over cumulatieve effecten van geluidsbronnen die mogelijk optreden door het herhaaldelijk afvuren van airguns bij onderzoek ontbreekt, maar speelt mogelijk wel een belangrijke rol.

De beschreven effecten op gedrag of communicatie dat onderwatergeluid als gevolg van seismisch onderzoek kan hebben zijn vooral theoretisch. Het maskeren van communicatie tussen vissen of zoogdieren tijdens seismisch onderzoek is niet daadwerkelijk gemeten. Dat het toch aannemelijk is dat dit soort effecten optreden is af te leiden door een vergelijking met geluidseffecten op organismen op land te maken. Er is namelijk geen reden om aan te nemen dat geluid onder water een andere of minder belangrijke functie voor organismen dan geluid boven water heeft. Uit terrestrisch onderzoek is bekend dat geluid op verschillende manieren negatieve effecten op organismen kan hebben en het is op basis daarvan dan ook aannemelijk dat dit voor organismen in het mariene milieu ook het geval is. Door de beperkte observatiemogelijkheden kunnen effecten maar moeilijk bepaald worden en nog moeilijker gekwantificeerd worden. Hoe zou bijvoorbeeld een enkele waarneming van sterfte als gevolg van het geluid van een airgun doorvertaald moeten worden naar effecten op een gehele populatie? Of op welke manier leidt schade aan een cohort vissen tot populatie-effecten? Hoewel het waarschijnlijk is dat er effecten optreden, ontbreekt data hiervoor op grote schaal. Dit geldt voor onderwatergeluid in het algemeen, maar vanzelfsprekend nog meer voor specifiek onderwatergeluid als gevolg van seismisch onderzoek.

4.6

RISICO-INSCHATTING

Het maken van een risicoinschatting van seismisch onderwatergeluid op de ecologie is complex en kan op meerdere manieren worden uitgevoerd. Hieronder worden een aantal mogelijke manieren beschreven.

4.6.1

INSCHATTING OP BASIS VAN ONDERZOCHT OPPERVLAK

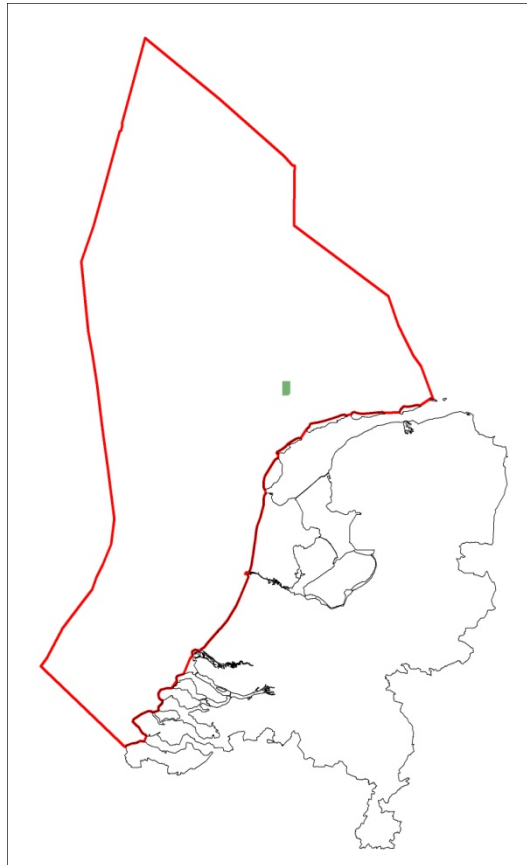
De meest eenvoudige optie is het berekenen welk percentage van het leefgebied van een soort op jaarbasis negatief beïnvloed wordt. Dit percentage kan vervolgens als risicoinschatting worden gebruikt.

Als het hele NCP als geschikt leefgebied voor de bruinvis wordt gezien, kan eenvoudigweg het onderzochte oppervlak gedeeld worden door het totale oppervlak van het NCP. Hierbij wordt aangenomen dat het oppervlak dat onderzocht is geen geschikt leefgebied voor de bruinvis was.

In figuur 21 is ter illustratie het met 3D onderzochte deel (op basis van de shapefiles) in 2008 weergegeven. Dit gebied had een oppervlak van circa 55 km². Het oppervlak van het NCP is circa 60.000 km², waarmee een effectgebied van 0,09% van het totale leefgebied berekend kan worden.

Figuur 21

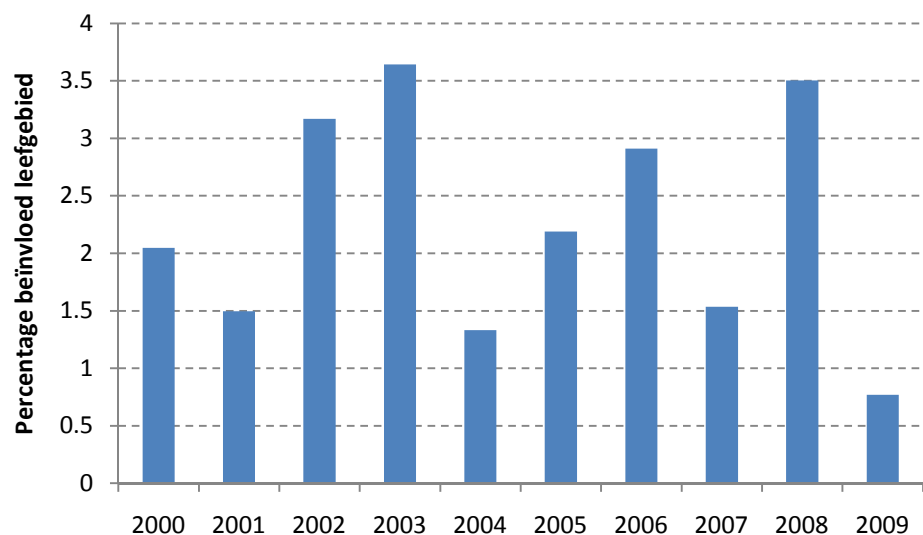
Contour van het NCP met het seismisch onderzochte oppervlak in 2008 (groen).



Op basis van de hoeveelheid 3D seismisch onderzoek kan met deze methode het beïnvloede gebied van de afgelopen jaren berekend worden. Omdat het overzicht van TNO vollediger is dan de shapefiles is het overzicht hierop gebaseerd. Ook hier is er vanuit gegaan dat 2D onderzoek een breedte van 250 meter beïnvloed. Het beïnvloede percentage door 2D en 3D onderzoek ten opzichte van het NCP is weergegeven in figuur 22. Hieruit blijkt dat de afgelopen tien jaar circa 2-4% van het totale leefgebied jaarlijks door seismisch onderwatergeluid beïnvloed is.

Figuur 22

Percentage beïnvloed leefgebied (2D en 3D) ten opzichte van het NCP.



Deze eenvoudige methode heeft een aantal belangrijke nadelen:

- Het geluid beperkt zich niet tot het daadwerkelijk gevaren oppervlak, waardoor het berekende percentage een onderschatting is van het daadwerkelijke beïnvloedingsgebied.
- Er wordt geen rekening gehouden met gebieden met hoge natuurwaarden zoals rustgebieden of foerageergebieden.
- Er wordt geen rekening gehouden met de tijd van beïnvloeding.
- Soortspecifieke effecten worden niet meegenomen.

4.6.2

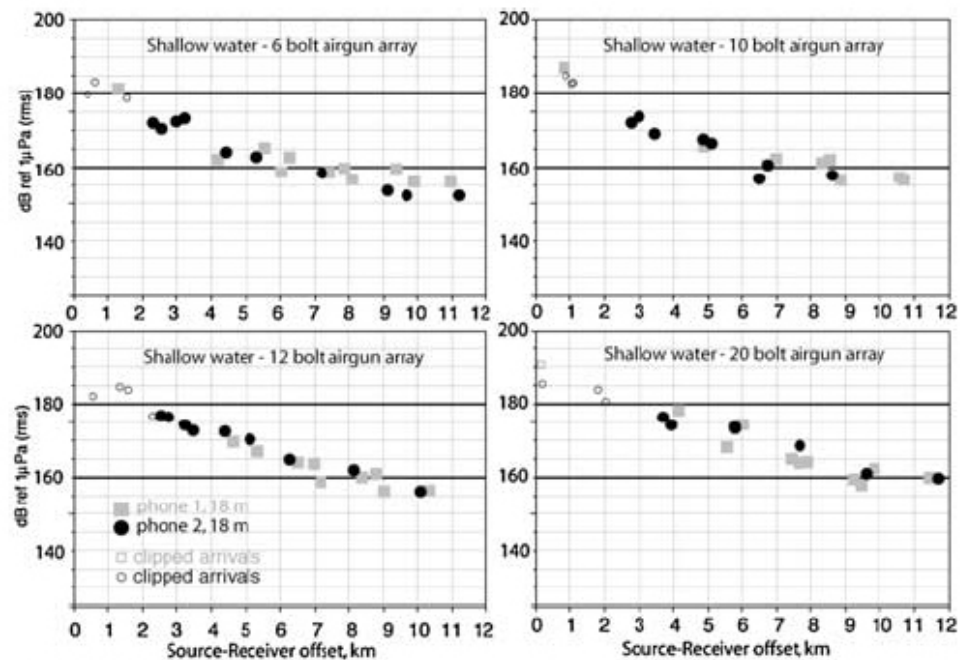
INSCHATTING OP BASIS VAN STRAAL EN TIJD

Omdat onderwatergeluid ver draagt kan de straal van beïnvloeding bij seismisch onderzoek relatief groot zijn. Een indicatie van de straal van beïnvloedingsgebied kan verkregen worden aan de hand van een studie van Tolstoy et al., (2004) waarin in diep en ondiep water gemeten is welk geluidsniveau op welke afstand van de bron aanwezig is (meetrange 150-190 Db (re 1 μ Pa)). Dit onderzoek is uitgevoerd in een ander watersysteem dan de Noordzee en daarom slechts indicatief. De metingen van het ondiepe deel zijn uitgevoerd bij een diepte van circa 30 meter, wat deels representatief is voor de gemiddelde diepte van het NCP. In het onderzoek zijn steeds twee hydrofoons op een diepte van 18 meter gehangen om het geluidsniveau te registreren.

De resultaten zijn weergegeven in figuur 23. De zwarte stippen en grijze blokjes geven de waarden van beide hydrofoons weer. De open cirkels zijn waarden die buiten het nauwkeurige meetbereik van de hydrofoons vielen en geven een onderschatting van het daadwerkelijke geluidsniveau vlakbij de bron. De zwarte lijnen geven de grenswaarden van het Amerikaanse 'National Marine Fisheries Service' aan waarbij er respectievelijk een gedragsverandering (160 dB (re 1 μ Pa)) of schade (180 dB (re 1 μ Pa)) voor zeezoogdieren kan optreden. Op basis van figuur 23 wordt geschat dat bij een afstand van circa 8-10 kilometer het geluidsniveau is afgenomen tot onder de 160 dB (re 1 μ Pa). In dit onderzoek wordt voor zeezoogdieren grofweg een grens van 170-180 dB (re 1 μ Pa) aangehouden als waarde waarbij geen schadelijke effecten optreden. Op basis hiervan kan een veilige straal waarbinnen zoogdieren op het NCP geen effecten ondervinden geschat worden op circa 8 kilometer. Vervolgens kan met deze straal het procentuele beïnvloedde gebied ten opzichte van de totale habitat van een soort berekend worden.

Figuur 23

Gemeten geluidsniveau (dB re 1 μ Pa) in relatie tot de afstand van de bron (blokken en stippen geven verschillende hydrofoons weer) (Tolstoy et al., (2004)).



Er wordt als uitgangspunt genomen dat als er geen seismisch onderzoek wordt uitgevoerd het hele NCP gedurende het hele jaar als geschikt leefgebied voor de bruinvis geldt. Er is dan circa 60.000 km², 365 dagen beschikbaar voor de bruinvis.

Als wordt gesteld dat de straal van beïnvloeding 8 kilometer is (op basis van Tolstoy et al., 2004) en er wordt een onderzoek gedurende 8 weken uitgevoerd dan wordt het leefgebied als volgt beïnvloed:

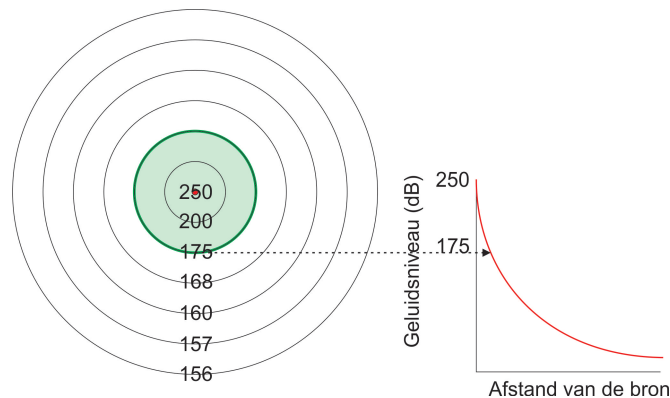
Beïnvloed oppervlak ($A = \pi r^2$): $\pi \times 8^2 = 201$ km².
Tijd: 56 dagen.

Beïnvloedingspercentage: $201/60000 \times 56/365 = 0,05\%$

Bij deze methode is de vraag hoe de werkelijke straal van beïnvloeding berekend kan worden. Dit is sterk locatiespecifiek en daardoor complex te modelleren. Voor het NCP kan dit experimenteel bepaald worden door op verschillende locaties geluidsniveaus op verschillende afstanden van de bron te meten en hier een gestelde grenswaarde aan te koppelen. Dit is geïllustreerd in figuur 24. Hierin is de (theoretische) geluidsafname met de afstand van de bron uitgezet waarin een gekozen grenswaarde (in dit geval 175dB) aan geluidsniveau is gekozen. Hoewel het geluid verder draagt is het invloedsgebied in dit geval beperkt tot de eerste twee cirkels. Dit is een theoretische benadering waarbij in plaats van een gekozen grenswaarde ook soortspecifieke audiogrammen als (basis)uitgangspunt genomen kunnen worden. Vervolgens kan met het invloedsgebied de procentuele beïnvloeding zoals in bovenstaand voorbeeld berekend worden.

Figuur 24

Bepaling invloedsgebied op basis van geluidsniveau (in dB).



Om een overzicht van het beïnvloede percentage van het leefgebied van de afgelopen jaren te krijgen zijn gegevens over de tijdsduur van de surveys nodig. Deze informatie is echter niet beschikbaar. Met een aantal aannames kan wel een schatting worden gemaakt van het beïnvloede gebied met deze methode:

- Er wordt vanuit gegaan dat de survey met een snelheid van 5 knopen (9,26 km/h) wordt uitgevoerd;
- Er wordt vanuit gegaan dat de 3D survey een breedte van een kilometer beslaat.

Op basis van het overzicht van TNO is het beïnvloede oppervlak volgens bovenstaande methode als volgt berekend (2008 ter illustratie):

Tijd

In 2008 is er 838 km 2D en 1893 km² 3D seismisch onderzoek uitgevoerd. Er is vanuit gegaan dat er gevaren wordt met een snelheid van 5 knopen (9.26 km/h). In 2008 heeft het 2D onderzoek daarmee 90.5 uur (3.7 dagen) geduurd. Het 3D onderzoek heeft met een snelheid van 5 knopen 204 uur (8.5 dagen geduurd). In totaal is er 12,2 dagen seismisch onderzoek uitgevoerd.

Berekening percentage

Als er geen seismisch onderzoek wordt uitgevoerd is er 365 dagen per jaar 60.000 km² aan leefgebied voor de bruinvis beschikbaar. Bij het afgaan van een airgun wordt er bij een beïnvloedingsstraal van 8 km (op basis van Tolstoy et al., 2004) 201 km² beïnvloed.

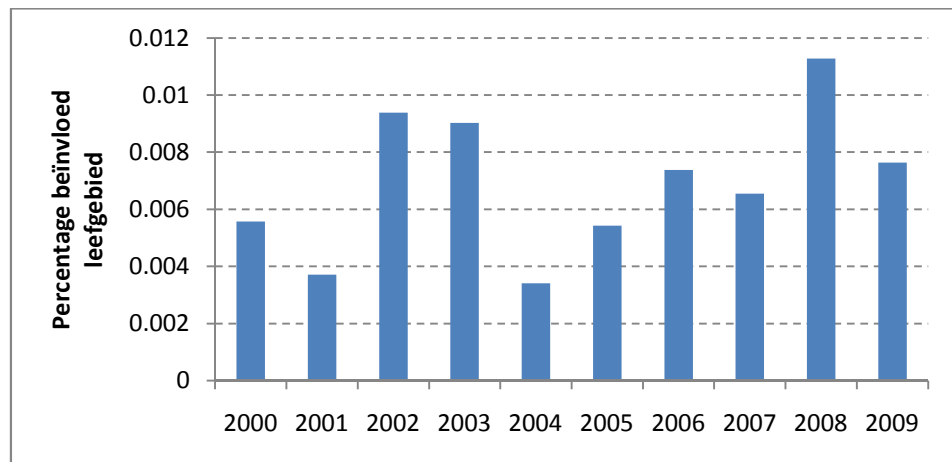
Het beïnvloedingspercentage voor 2008 is als volgt berekend:

Beïnvloedingspercentage: $201/60000 * 12.2/365 = 0,01\%$

De resultaten van deze methode zijn weergegeven in figuur 25. Hierin is te zien dat het percentage (rond de 0,008%) aanzienlijk lager ligt dan bij de voorgaande methode. Dit wordt veroorzaakt door de tijdsfactor, die in voorgaande methode niet is meegenomen. De resultaten betreffen een schatting op basis van aannames en geven een methodiek weer. De invulling van de parameters (zoals de straal op basis van grenswaarden in audiogrammen en de tijdsduur van de surveys) moet door aanvullend onderzoek nauwkeuriger vastgesteld worden.

Figuur 25

Percentage beïnvloed gebied op basis van straal en tijd van 2D en 3D onderzoek.



Ook deze methode heeft een aantal belangrijke nadelen:

- Er wordt geen rekening gehouden met gebieden met hoge natuurwaarden zoals rustgebieden of foerageergebieden.
- Audiogrammen geven aan of een soort een geluid kan horen, niet of er ook daadwerkelijk een negatief effect optreedt.
- Er wordt geen rekening gehouden met kwetsbare periode van organismen, zoals de periode waarin de meeste vis-eieren en larven zich in het water bevinden.
- Cumulatieve effecten van andere geluidsbronnen of van herhalend airgungeluid worden niet meegenomen.
- Bij de tijdsbepaling wordt er van uitgegaan dat het onderzoek 24 uur per dag doorgaat. Afhankelijk van de tijdsduur van stopzetting kan de tijdsduur toenemen, terwijl toch het gebied voor de bruinvis ongeschikt is. Hierdoor kan het totale beïnvloedingspercentage toenemen.

4.7

MONITORING EN MITIGERENDE MAATREGELEN

Er zijn een aantal mogelijkheden om effecten te beperken. Dit is vooral gericht op zeezoogdieren en minder op vis. De volgende maatregelen kunnen genomen worden:

Monitoring

Effecten treden op soorten op die zich binnen een bepaalde range van het onderzoeksschip en de airguns bevinden. In voorgaande paragraaf is beschreven dat het geluidsniveau relatief snel afneemt tot niet-schadelijke niveaus binnen een afstand van circa een kilometer. Een van de manieren om effecten te beperken is om door middel van monitoring aan boord van het onderzoeksschip te kijken of er zeezoogdieren zich aan het wateroppervlak bevinden binnen deze range. Door permanente onafhankelijke waarnemers aan boord te plaatsen kunnen effecten in kaart gebracht worden door gedragsobservaties uit te voeren en deze te rapporteren.

Mitigatiemaatregelen

De volgende mitigerende maatregelen kunnen de effecten beperken:

- Stopzetting: als er zeezoogdieren (of andere waarneembare indicatorsoorten) binnen een gestelde afstandsrange van het schip komen wordt het seismisch onderzoek tijdelijk stopgezet. Het onderzoek wordt hervat als soorten visueel buiten de afstandsrange komen of soorten gedurende 15 minuten niet meer in binnen de afstandsrange zijn waargenomen. Een andere indicator is het plaatsen van hydrofoons aan de buitenkant van het schip en het seismisch onderzoek stopzetten als (communicatie)geluid van zeezoogdieren in de nabijheid wordt geregistreerd.
- 'Ramp-up': de term 'ramp up' wordt in de literatuur gebruikt als aanduiding voor het geleidelijk op gang brengen van het onderzoek, zodat soorten zich kunnen verplaatsen naar buiten het invloedsgebied. Dit kan gebeuren door airguns met een lager geluidsniveau af te vuren, minder airguns tegelijk af te vuren en het interval van afvuren groter te maken. Hierdoor wordt het geluid en daarmee de effecten opgebouwd.
- 'Power down' tijdens draaien: gebieden worden onderzocht door met schepen parallelle lijnen te varen. Een van de mogelijkheden is om het aantal airguns tijdens het draaien van de schepen te verminderen (power down), maar wel ten minste één airgun af te blijven vuren om soorten op afstand te houden.
- Uitgezonden geluid (aantoonbaar) minimaliseren door de bronsterkte aan te passen of het aantal impulsen te verminderen (dit is in feite ook een 'power down').
- Het uitzenden van frequenties die niet nodig zijn voor het geologische onderzoek beperken of voorkomen.
- Speciale procedures: hierbij kan gedacht worden aan maatregelen zoals stopzetting bij waarneming van bijvoorbeeld beschermde of zeldzame soorten of van grote groepen zeezoogdieren of specifiek gedrag hiervan.
- Seismisch onderzoek in gevoelige gebieden (ecologisch rijke of belangrijke zones) minimaliseren.
- Seizoensgebonden seismisch onderzoek. In perioden wanneer er veel vis-eieren en larven in het water zijn (die mogelijk schade ondervinden) de hoeveelheid seismisch onderzoek minimaliseren of beperken.

4.7.1

INTERNATIONAAL BELEID SEISMISCH ONDERZOEK

Het belang van een goede regelgeving voor de uitvoering van seismisch onderzoek om effecten op het mariene ecosysteem te beperken is internationaal erkend. Bovenstaande monitoring en mitigerende maatregelen worden internationaal (al dan niet verplicht) al vaak gehanteerd. Nederland stelt vooralsnog (behalve meldingsplicht) geen eisen aan de uitvoering van seismisch onderzoek.

Omdat vooral een internationale aanpak tot vermindering van effecten op het mariene ecosysteem in de Noordzee zal leiden is het belangrijk dat er een uniform beleid gehanteerd wordt. Het is dan ook belangrijk dat de beschreven monitoring en mitigerende maatregelen in het Nederlandse vergunningbeleid opgenomen worden en gehandhaafd worden.

HOOFDSTUK 5

Bestuurlijk-juridisch kader

5.1 MIJNBOWRECHT

5.1.1 DOEL

De Nederlandse mijnwetgeving heeft altijd tot doel gehad ervoor te zorgen dat:

- opsporing en ontginning van delfstoffen op een goede manier verlopen,
- activiteiten met betrekking tot mijnbouw belasting- en andere inkomsten of voordelen voor de Staat opleveren en
- aan de Staat, indien gewenst, de gelegenheid wordt geboden om aan die activiteiten deel te nemen (Taverne & Den Dulk 2006).

5.1.2 HISTORIE

Periode 1813 - 2003

De eerste Nederlandse wet op het gebied van mijnbouwrecht was de Franse Mijnwet van 21 april 1810, die in 1813 ter gelegenheid van de stichting van het Koninkrijk der Nederlanden onder de Nederlandse wetten werd opgenomen. Hoewel het mijnbouwrecht zich in de 19^e en 20^e eeuw gestaag ontwikkelde, bleef de vigerende wet- en regelgeving tot begin 1967 uitsluitend van toepassing op het vasteland en in de territoriale zee, waar de Nederlandse staat exclusieve jurisdictie had en heeft (Taverne & Den Dulk, 2006, p. V). Exclusieve jurisdictie wil zeggen dat een staat exclusieve bevoegdheid heeft om het gezag uit te oefenen door het stellen, doorvoeren en afdwingen van regels (Kooijmans & Brus, 2008, p.43). Op 20 maart 1966 werd de Convention on the Continental Shelf voor Nederland van kracht. Daarmee kreeg onze staat soevereine rechten met betrekking tot mijnbouwactiviteiten en -installaties op het Nederlands deel van het continentaal plat van de Noordzee (Taverne & Den Dulk, 2006, p. V en 16). Het gaat hier niet om exclusieve jurisdictie, maar om functionele jurisdictie, omdat er uitsluitend met betrekking tot (een) bepaalde functie(s) gezag uitgeoefend mag worden (Kooijmans & Brus, 2008, p.48-49). Het resultaat van deze uitbreiding van de Nederlandse jurisdictie, vinden we terug in de inmiddels niet meer geldende Mijnwet continentaal plat, die op 1 maart 1967 in werking trad.

Periode 2003 - heden

Sinds 1 januari 2003 wordt de opsporing, winning en opslag van delfstoffen, waaronder aardgas en –olie, gereguleerd door de Mijnbouwwet (Mbw), het Mijnbouwbesluit (Mbb) en de Mijnbouwregeling (Mbr). Daarbij gaat het zowel om mijnbouw op het Nederlandse

vasteland en in de territoriale zee, als om mijnbouw op het continentaal plat. De Mijnbouwwet bevat het kader van het Nederlandse mijnbouwrecht. In het Mijnbouwbesluit zijn de hoofdlijnen van de Mijnbouwwet uitgewerkt. De Mijnbouwregeling bevat met name technische details.

5.1.3

SOORTEN MIJNRECHTELIJKE STELSLS

In de literatuur wordt een onderscheid gemaakt tussen (inter)nationale mijnrechtelijke stelsels waarbij het verboden is om mijnbouwactiviteiten te verrichten zonder vergunning en stelsels waarbij mijnbouwactiviteiten uitsluitend mogen worden uitgeoefend op grond van en in overeenstemming met een overeenkomst die wordt gesloten tussen een staat(sonderneming) en een mijnondernemer (Taverne & Den Dulk, 2006, p.48). De Nederlandse mijnbouwwetgeving heeft altijd een vergunningstelsel gekend. Dit betekent dat de vergunninghouder verplicht is de toegestane werkzaamheden te verrichten conform de in de mijnbouwwetgeving opgenomen regels en de aan de vergunning verbonden voorwaarden (Taverne & Den Dulk, 2006, p.48). Lezing van de thans geldende mijnbouwwetgeving bevestigt deze constatering voor het grootste deel. Het opsporen, winnen en opslaan van delfstoffen is inderdaad verboden zonder vergunning (art. 6 en 25 MbW). Het doen van verkenningsonderzoek is echter meestal toegestaan zonder vergunning (zie par. 5.2.1). Voor deze laatste activiteit zijn regels opgenomen in het Mijnbouwbesluit. De wetgever gaat ervan uit dat er verkenningsonderzoek wordt gedaan, voordat men met daadwerkelijke opsporing begint. (Kamerstukken II 1998-1999, 26 219, nr. 3, p. 16). Opvallend is dat er eigenlijk maar één verschil is tussen de definities van beide activiteiten: bij verkenningsonderzoek naar de aanwezigheid van delfstoffen wordt geen boorgat aangebracht, bij opsporing wel (art. 1 letter d en e MbW).

5.1.4

MILIEUBESCHERMING

Als de relatie tussen de hiervoor genoemde activiteiten, voor zover deze plaatsvinden op het continentaal plat, en de bescherming van het milieu in kaart wordt gebracht (Kamerstukken II 1998-1999, nr. 3, p. 18 e.v.) dan levert dit het volgende beeld op:

- De Mijnbouwwet stelt algemene milieueisen die van toepassing zijn op alle vergunningplichtige activiteiten, te weten opsporen, winnen en opslaan (art. 33 MbW);
- De Mijnbouwwet gaat ervan uit, dat voor opsporen, winnen en opslaan mijnbouwwerken, zoals boorgaten en werken voor het winnen van aardgas, worden opgericht en in stand gehouden en vereist hiervoor een mijnbouwmilieuvergunning (art. 40 MbW jo. art. 2 Mbb);
- Het Mijnbouwbesluit bevat milieuregels voor verkenningsonderzoek.

Het Integraal Beheerplan Noordzee 2015 bevat een integraal afwegingskader, dat geldt voor alle vergunningplichtige activiteiten en kan onder meer inhouden dat preventieve maatregelen dienen te worden genomen wanneer er redelijke gronden tot bezorgdheid bestaan dat een activiteit schade toebrengt aan het mariene milieu. Het afwegingskader is uitdrukkelijk niet van toepassing op activiteiten die niet vergunningplichtig zijn.

5.2

MIJNBOUWRECHT VOOR OPSPORING MET AIRGUNS

5.2.1

MIJNBOUWBESLUIT

Deze paragraaf behandelt de regeling uit het Mijnbouwbesluit voor het opsporen van aardgas en –olie met airguns op het continentaal plat. Wie verkenningsonderzoek wil doen, moet minimaal 4 weken voor de aanvang van het verkenningsonderzoek de volgende gegevens verstrekken aan de inspecteur-generaal der mijnen (art. 10 Mbb; www.sodm.nl):

- wijze waarop het onderzoek verricht zal worden;
- een kaart met het onderzoeksgebied en de naam van de opdrachtnemer;
- data waarop het onderzoek zal worden uitgevoerd;
- namen, nationaliteiten en registratiekenmerken van de in te zetten vaartuigen.

Deze mededelingsplicht bestaat alleen voor verkenningsonderzoek met behulp van kunstmatig opgewekte trillingen (art. 9 Mbb). Op grond van deze gegevens kan worden beoordeeld of het voorgenomen verkenningsonderzoek gevaar oplevert voor bijvoorbeeld scheepvaart en visserij (NvT bij Mbb Stb. 2002/604, p. 83-84). Tijdens het verkenningsonderzoek is het verplicht om het Kustwachtcentrum te Den Helder op de hoogte te houden over de voortgang (art. 13 Mbb).

De eisen die in het Mijnbouwbesluit zijn opgenomen voor verkenningsonderzoek op het continentaal plat met airguns zijn meestal geformuleerd als verbod. Vijf van de in totaal zeven verboden zien op zogenaamde bij ministeriële regeling aangegeven restrictiegebieden, die zijn ingesteld ter bescherming van scheepvaart- en defensiebelang. (NvT bij Mbb Stb. 2002/604, p. 54). Het gaat ten eerste en ten tweede om delen van het continentaal plaat die druk respectievelijk matig bevaren worden (art. 17 en 16 Mbb), ten derde en ten vierde om op het continentaal plat gelegen ankergebieden bij aanloophavens en oefen- en schietgebieden (art. 18 en 19 Mbb) en ten vijfde om het gedeelte van de rede van Hoek van Holland dat op het continentaal plat ligt (art. 20 Mbb). De eerst twee verboden gelden niet als de uitrusting en de bemanning van het verkenningsvaartuig voldoet aan extra eisen en er – voor zover het gaat om druk bevaren water - speciaal uitgeruste begeleidingsvaartuigen meevaren. Voor het doen van onderzoek in anker-, schiet- en oefengebieden is een vergunning nodig. Voor de Rede van Hoek van Holland geldt een absoluut verbod. Kortom, wie zonder vergunning verkenningsonderzoek wil doen op het continentaal plat, kan op het overgrote deel daarvan terecht.

De enige eis die het Mijnbouwbesluit stelt ten aanzien van het te gebruiken materiaal, is opgenomen in het zesde verbod. Kabels mogen niet langer zijn dan 1500 meter en de kabels mogen niet meer dan 150 meter van elkaar verwijderd worden, tenzij er een speciaal uitgerust begeleidingsvaartuig meegaat (art. 15 Mbb).

Tot slot is het verboden om zonder toestemming onderzoek te verrichten, indien het zicht vanaf een vaartuig minder is dan de lengte van de bij het onderzoek te gebruiken kabels (art. 14 Mbb). Hier is sprake van een absoluut verbod.

Na afloop van het verkenningsonderzoek dienen de resultaten van het onderzoek te worden verstrekt aan Onze Minister (art. 108 Mbb e.v.).

5.2.2

MILIEUBESCHERMING

De enige specifieke milieubepaling voor verkenningsonderzoek in oppervlaktewater is opgenomen in artikel 12 Mijnbouwbesluit en luidt als volgt: “Bij het verrichten van een verkenningsonderzoek worden maatregelen genomen ter voorkoming van storende geluidseffecten op zeezoogdieren.” In de Nota van Toelichting bij het Mijnbesluit is opgenomen dat hierdoor “zeezoogdieren en walvisachtigen die mogelijk in de buurt van het te verkennen gebied aanwezig zijn op diervriendelijke wijze worden <<gewaarschuwd>>” (NvT bij Mbb Stb. 2002/604, p. 84). De technische uitwerking hiervan vinden we in art. 2.1.1 Mijnbouwregeling: “Indien verkenningsonderzoek plaatsvindt in oppervlaktewater met gebruik van kunstmatig opgewekte trillingen wordt met een laag geluidsvolume begonnen en verloopt de versterking van dat volume geleidelijk.” Opvallend is dat deze mitigerende maatregel ziet op één effect, namelijk het geluidseffect, van verkenningsonderzoek met airguns en op één groep dieren, te weten zeezoogdieren.

Voor de beantwoording van de vraag of het Nederlandse mijnbouwrecht aanpassing behoeft, is tevens nagegaan of Nederland partij is bij internationale verdragen die specifiek van toepassing zijn op onderzoek met airguns naar aardgas en –olie op het continentale plat van de Noordzee en bepalingen bevatten die niet zijn opgenomen in het Nederlandse mijnbouwrecht. Mocht dat namelijk het geval zijn, dan moet daaraan – voor zover er sprake is van ‘een ieder verbindende bepalingen’ - voorrang worden verleend boven het Nederlandse recht (art. 93,94 Grondwet; Bovend'Eert, 2010, p.142; Kooijmans & Brus, 2008, p.91).

De verdragen die doorgenomen zijn, zijn van belang voor het mariene milieu (Backes et al., 2006, p.54-56) en bevatten geen bepalingen die relevant zijn voor dit onderzoek. Het gaat om een aantal algemene zeerechtelijke verdragen, te weten de UN Convention on the Law of the Sea, de Convention on the High Seas en de Convention on the Continental Shelf, alsmede een aantal specifieke milieuverdragen namelijk het MARPOL-verdrag, het Londen dumpingsverdrag, het OSPAR-verdrag en de Overeenkomst van Bonn inzake samenwerking bij bestrijding van verontreiniging van de Noordzee door olie en andere schadelijke stoffen.

5.3

KADERRICHTLIJN MARIENE STRATEGIE

5.3.1

INHOUD

Op 17 juni 2008 is de Kaderrichtlijn mariene strategie (KRM) vastgesteld. Doel van deze richtlijn is de bevordering van het duurzaam gebruik van Europese zeeën en de instandhouding van de daarin gelegen mariene ecosystemen zonder dat dit ten koste gaat van economische activiteiten. De KRM verdeelt de zeeën van de Europese Unie in een aantal regio's en subregio's. De Noordzee vormt samen met het Kattegat en het Kanaal een subregio van de regio noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan.

De richtlijn bevat een aantal kernelementen die samen een mariene strategie vormen:

1. Het vaststellen van een goede milieutoestand op basis van een evaluatie van problemen in het Nederlandse zeewater. Deze evaluatie bestaat onder meer uit een analyse van de belastende factoren die de eigenschappen van de wateren beïnvloeden

en de belangrijkste gevolgen daarvan. Ook een economische (bijv. visserij) en sociale (bijv. toerisme) analyse van het gebruik van de wateren en de kosten van verslechtering van de toestand van het mariene milieu maken deel uit van de analyse (art. 9 lid 1 KRM).

2. Het opstellen van doelstellingen en indicatoren om een goede milieutoestand te bereiken in overeenstemming met andere lidstaten die zeewater in dezelfde regio beheren. Dit moet resulteren in een operationeel programma of programma van maatregelen (art.13 lid 1-4, 7,8 en art. 14 KRM).
3. Het opstellen van een gecoördineerd bewakingsprogramma om de staat van het zeewater en de resultaten van het operationeel programma tijdens en na uitvoering continu te kunnen evalueren (art. 11 lid 1 en 2 KRM).

De deadline voor het opstellen van een operationeel programma is 2015. In 2016 moeten deze programma's van start gaan. In 2019 publiceert de Europese Commissie een eerste evaluatierapport en in 2021 moeten de zeewateren in goede milieutoestand verkeren.

5.3.2

IMPLEMENTATIE

In een richtlijn wordt een staat opgedragen ervoor te zorgen dat binnen een in de richtlijn bepaalde, dwingende termijn een bepaald resultaat in de rechtsorde wordt verwezenlijkt (zie ook art. 288 VWEU). Waar het om gaat is dat de lidstaat een situatie tot stand brengt waarin het conform de richtlijn aangepaste recht zijn volledige werking kan behouden. Meestal vereist dit een aanpassing van de bestaande nationale wet- en regelgeving. Je noemt dit implementatie (Barents & Brinkhorst, 2006, p.188-190; Kooijmans & Brus, 2008, p.270-271). Doorgaans vereist een adequate richtlijnimplementatie het bestaan of de tijdige totstandkoming van een juridisch dwingend normatief kader in de nationale rechtsorde. Implementatie via eenvoudige administratieve praktijken of juridisch niet-bindende administratieve procedures wordt niet geaccepteerd door het Hof van Justitie (o.a. HvJ 12 okt.1995, C-242/94, r.o. 6 en HvJ 30 jan. 1985, C-143/83, r.o. 8). Is niet tijdig aan de implementatieopdracht voldaan of is een niet (geheel) conforme omzetting tot stand gebracht, dan is een lidstaat in gebreke. Voor de Europese Commissie kan dit aanleiding zijn om bij het Hof van Justitie een procedure wegens schending van het gemeenschapsrecht aanhangig te maken op grond van art. 258 VWEU. Als de implementatieopdracht bestaat uit het opstellen van een plan of programma kan het niet-opstellen van een dergelijk document al tot een veroordeling leiden (o.a. HvJ 2 mei 2002, C-292/99 en HvJ 24 januari 2002, C-35/00 inz. afvalbeheerplannen; HvJ 13 juli 2000, C-261/98 inz. aquatisch milieu).

Bij besluit van 23 augustus 2010 is het Waterbesluit gewijzigd in verband met de implementatie en uitvoering van de Kaderrichtlijn mariene strategie, een richtlijn die lidstaten verplicht om een programma op te stellen om een bepaald doel te bereiken (Beijen, 2010, p.69). Voor welke aanpak is hierbij gekozen? De mariene strategie wordt gevat in twee beleidsregels (art. 1.3 Awb), die bij besluit zullen worden vastgesteld. Op de vaststellingsprocedure is de uniforme voorbereidingsprocedure van afdeling 3.4 Awb van toepassing. Het gaat om een nationaal waterplan (NWP; artt. 4.1 – 4.3. Waterwet) en een beheerplan voor de rijkswateren (BPRW; artt. 4.6 – 4.7 Waterwet). Concreet betekent dit dat het nationale waterplan de omschrijving van een goede milieutoestand, milieudoelen en bijbehorende indicatoren en een programma van maatregelen zal bevatten (art. 4.6 lid 2 Waterbesluit). Het thans geldende Nationale Waterplan 2009-2015 zal op deze punten dus moeten worden aangevuld. Een deel van de maatregelen zal een plaats krijgen in het beheerplan voor de rijkswateren (art. 4.16 Waterbesluit).

5.4

IMPLEMENTATIE KADERRICHTLIJN MARIENE STRATEGIE EN MIJNBOUWRECHT

In de toekomst zullen mijnbouwactiviteiten dus geen blijvende afbreuk mogen doen aan de nog vast te leggen 'goede milieutoestand' van het mariene milieu. Voor zover er een vergunning vereist is voor deze activiteiten, dient de aanvraag hiervan getoetst te worden aan het NWP en BPRW (zie par. 5.1.4). De implementatie van de KRM behoeft derhalve voor vergunningsplichtige activiteiten en het oprichten / in stand houden van mijnbouwwerken geen wijziging van de Mijnbouwwet of het daarop gebaseerde Mijnbouwbesluit of de Mijnbouwregeling.

Mocht de KRM op een of andere manier niet-correct of niet-volledig worden geïmplementeerd (in het NWP en BPRW), dan dient deze toch toegepast te worden. Dit vloeit voort uit het beginsel van gemeenschapstrouw (art. 4 lid 3 VWEU/voorheen art. 10 EG-verdrag). Op grond hiervan heeft / hebben de (de)centrale overhe(i)d(en) een zelfstandige rechtsplicht om het gemeenschapsrecht en daarmee de Kaderrichtlijn mariene strategie na te komen (Hessel et al., 2009, p.25).

Mochten onderwatergeluid, seismische effecten en eventuele andere gevolgen van het opsporen van aardolie en – gas met airguns nu of in de toekomst een meetbaar en blijvend negatief effect hebben op het mariene milieu, dan kan het zijn dat de huidige mijnbouwwet- en regelgeving ten aanzien van verkenningsonderzoek – voor zover dit vergunningsvrij is - moet worden aangepast naar aanleiding van de implementatie van de KRM. Ook als de effecten niet meetbaar en blijvend zijn, kan ervoor worden gekozen om voor het opsporen van aardolie en –gas met airguns relevante bepalingen in de mariene strategie op te nemen. Ook in dat geval zal de huidige mijnbouwwetgeving aanpassing behoeven. Opgemerkt dient te worden, dat het in de vorige drie zinnen gestelde voor eventuele overige vormen van vergunningsvrij verkenningsonderzoek naar aardgas en –olie op het continentale plat ook geldt.

Voor het doorvoeren van deze aanpassingen kan gekozen worden tussen de volgende twee strategieën:

1. Het Mijnbouwbesluit voor vergunningsvrij verkenningsonderzoek (met airguns) op het continentale plat aanpassen aan het NWP en het BPRW. Bij wijziging van relevante delen van één of beide plannen zal het Mijnbouwbesluit opnieuw moeten worden aangepast. De maatregelen uit beide plannen zullen mogelijk moeten worden vertaald naar normen die van toepassing zijn op verschillende typen verkenningsonderzoek. Een voorbeeld: Stel dat uit onderzoek blijkt, dat vissen gehoorschade oplopen bij verkenningsonderzoek met airguns en dat deze schade te reduceren is door direct voorafgaand aan het onderzoek de vissen te waarschuwen door lichtsignalen af te geven. Stel dat de mariene strategie naar aanleiding van dit onderzoek wordt aangepast. Het afgeven van lichtsignalen direct voorafgaand aan verkenningsonderzoek wordt verplicht gesteld. Deze aanpassing van de mariene strategie moet vervolgens opgenomen worden in het NWP of het BPRW. Tot slot moet het Mijnbouwbesluit aangepast worden aan het NWP of het BPRW en een bepaling gaan bevatten, dat er voorafgaand aan vergunningsvrij verkenningsonderzoek lichtsignalen moeten worden afgegeven;
2. Alle vormen van verkenningsonderzoek op het continentaal plat vergunningsplichtig maken. Het resultaat hiervan zou zijn dat alle activiteiten (verkennen, opsporen, winnen en opslaan) op het continentaal plat verboden zijn zonder vergunning.

Nederland zou daarmee net als voor 2003 weer een homogeen mijnrechtelijk stelsel krijgen. De Mijnbouwwet, het Mijnbouwbesluit en de Mijnbouwregeling hoeven niet te worden aangepast aan wijzigingen in het NWP of het BRPW, omdat de toetsing van de betreffende vergunning aan het NWP en het BPRW, zoals we hiervoor zagen, verplicht is.

Terug naar het hiervoor gegeven voorbeeld over lichtsignalen. Stel dat de mariene strategie inmiddels is aangepast. Er moeten voorafgaand aan verkenningsonderzoek met airguns lichtsignalen worden afgegeven. Deze uitbreiding van de mariene strategie wordt in het NWP of het BPRW opgenomen. Het Mijnbouwbesluit hoeft bij strategie 2 niet te worden aangepast, omdat voor verkenningsonderzoek met airguns een vergunning nodig is, die getoetst moet worden aan het NWP en het BPRW

5.5

ASCOBANS

ASCOBANS (Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic and North Seas) heeft geen wettelijke status maar wordt wel als uitgangspunt genomen voor het opstellen van het soortbeschermingsplan van de bruinvis. Er wordt daarom een korte beschrijving van ASCOBANS gegeven.

ASCOBANS is opgesteld in 1991 onder toezicht van de 'Convention on Migratory Species' (CMS of Bonn Conventie) en is in 1994 van kracht geworden. Het doelgebied omvatte oorspronkelijk de Baltische Zee en de Noordzee, maar in 2008 is dit uitgebreid met de Noordoost Atlantische Oceaan en de Ierse zee (Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas). Vooralsnog zijn de volgende landen bij de overeenkomst aangesloten:

- België
- Denemarken
- Finland
- Frankrijk
- Duitsland
- Litouwen
- Nederland
- Polen
- Zweden
- Groot-Brittannië

Effectieve bescherming van migrerende zeezoogdieren kan alleen bereikt worden door internationale samenwerking, omdat soorten zich in habitats van verschillende landen bevinden. Het doel van ASCOBANS is om nauwe internationale samenwerking tussen de aangesloten landen te bevorderen om een goede beschermingsstatus van kleine zeezoogdieren te bereiken en te onderhouden.

Het 'Conservation and Management Plan' dat deel uitmaakt van de overeenkomst, verplicht aangesloten landen om deel te nemen aan de bescherming en management van habitats, monitoring en onderzoek, beperken van vervuiling en het informeren van publiek.

Op basis van ASCOBANS wordt er in Nederland op verzoek van het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie een nationaal soortbeschermingsplan voor de bruinvis opgesteld, met als doel te beschrijven hoe een gunstige staat van instandhouding van deze soort bereikt kan worden.

HOOFDSTUK

6 Conclusies

Seismisch onderzoek op het NCP met behulp van airguns werd in het verleden met name 2D uitgevoerd. Met 2D onderzoek is de bodem van het NCP door het varen van rechte lijnen in kaart gebracht. Vanaf de jaren tachtig is de hoeveelheid 2D onderzoek afgenomen en is er steeds vaker gebruik gemaakt van 3D onderzoek, waarbij oppervlaktes in plaats van lijnen in kaart gebracht kunnen worden door het gebruik van meerdere airguns. Rond de jaren negentig was de jaarlijks totale onderzochte oppervlakte (circa 9000 km²) het grootst. Hoewel de onderzochte oppervlakte daarna is afgenomen is dit de afgelopen 10 jaar redelijk stabiel gebleven. Uit interviews met betrokken partijen blijkt dat een voorspelling van de hoeveelheid seismisch onderzoek op het NCP tegenstrijdig is. Enerzijds is het NCP inmiddels in kaart gebracht maar anderzijds wordt seismisch onderzoek nu gebruikt om bestaande olie en gas voorraden te monitoren (4D onderzoek door toevoeging van de tijdsdimensie) in plaats van op te sporen. Er wordt geconcludeerd dat de omvang van seismisch onderzoek op het NCP sterk tussen de jaren kan variëren, maar dat het niet waarschijnlijk is dat seismisch onderzoek in de toekomst zal verdwijnen.

Het NCP wordt in het kader van voortplanting van onderwatergeluid als een ondiep gebied gekarakteriseerd. Dit zorgt er in combinatie met de zandige samenstelling van de bodem voor dat onderwatergeluid relatief snel uitdempt. Er treden verschillende processen op die deze demping veroorzaken. Een van de belangrijkste processen is de reflectie van geluidsgolven, zowel tegen de bodem als het wateroppervlak. Bij elke reflectie gaat energie verloren en dempt het geluid. Het invloedsgebied van airguns is hierdoor in vergelijking met diepe gebieden relatief klein. Er zijn echter veel factoren die de voortplanting van geluid beïnvloeden waardoor het bepalen van een beïnvloedingsgebied rond een airgun op basis van bepaalde geluidscontouren niet eenvoudig is. Uit het onderzoek blijken een aantal waarden die bij de effectbepaling kunnen worden meegenomen. Energie van zeer lage frequenties (lager dan +/- 100Hz) wordt snel in de bodem opgenomen waardoor geluid in dit frequentiebereik niet ver draagt. Ook geluid in het hoge frequentiebereik (>5kHz) draagt niet ver (in de orde van 1-10 km) door het proces van absorptie door water. Geluid in het frequentiebereik van 100 tot 5000 Hz kan zich onderwater wel over grote afstanden voortplanten (>100km).

Geluid speelt een belangrijke rol voor zowel vissen als zeezoogdieren. Het wordt gebruikt om over lange afstanden met soortgenoten te communiceren maar ook om lokaal prooi of predatoren te lokaliseren. Er zijn natuurlijke geluidsbronnen (o.a. door golven of regen) en antropogene geluidsbronnen (scheepvaart, heien, koelwatercentrales), die beide kunnen leiden tot effecten op organismen. Deze effecten zijn (in toenemende mate van ernst) gewenning, verstoring, gedragsverandering, maskering van communicatie en fysieke schade (doofheid, weefselscheuring). Het wel of niet optreden van deze effecten is sterk soortspecifiek en hangt ook af van de frequentie en geluidsniveau van het geluid.

Op basis van audiogrammen kan onderscheid gemaakt worden in de gevoeligheid van soorten voor bepaalde frequenties of geluidsniveaus. Van een aantal soorten, waaronder de gewone zeehond en bruinvis, zijn audiogrammen beschikbaar. Echter, voor het maken van een gedegen effectinschatting op soorten is de wetenschappelijke kennis voornamelijk te beperkt. In het beste geval kan met een audiogram voorspeld worden of een soort een bepaald geluid kan waarnemen, maar of dit vervolgens leidt tot negatieve effecten op het individu of (nog complexer) op een populatie is onbekend. Dit geldt voor zowel vissen als zeezoogdieren. Omdat geluid op het land ook tot negatieve effecten op organismen kan leiden wordt er geconcludeerd dat onderwatergeluid zeer waarschijnlijk ook tot negatieve effecten op mariene organismen kan leiden.

De mens maakt geen onderdeel uit van het mariene ecosysteem, maar is wel regelmatig daarin aanwezig in de vorm van beroepsduikers of recreatieve duikers. De beschreven negatieve effecten kunnen ook bij mensen optreden. Dit blijkt uit een recente melding van een duiker die onwel is geworden op de Noordzee als gevolg van seismisch onderzoek (http://www.noordzee.nl/actueel_artikel.php?contentID=386). Om ernstige ongevallen te voorkomen is het belangrijk om regelgeving en handhaving omtrent seismisch onderzoek op te stellen.

Effecten kunnen beperkt worden door het nemen van een aantal maatregelen. Omdat vooral een internationale aanpak tot vermindering van effecten op het mariene ecosysteem in de Noordzee zal leiden is het belangrijk dat er een uniform beleid gehanteerd wordt. Het is dan ook belangrijk dat de beschreven monitoring en mitigerende maatregelen in het Nederlandse vergunningbeleid opgenomen worden en gehandhaafd worden.

In de toekomst zullen mijnbouwactiviteiten geen blijvende afbreuk mogen doen aan de nog vast te leggen 'goede milieutoestand' van het mariene milieu. Voor zover er een vergunning vereist is voor deze activiteiten, dient de aanvraag hiervan getoetst te worden aan het NWP en BPRW (zie par. 5.1.4). De implementatie van de KRM behoeft derhalve voor vergunningsplichtige activiteiten en het oprichten / in stand houden van mijnbouwwerken geen wijziging van de Mijnbouwwet of het daarop gebaseerde Mijnbouwbesluit of de Mijnbouwregeling.

Mocht de KRM op een of andere manier niet-correct of niet-volledig worden geïmplementeerd (in het NWP en BPRW), dan dient deze toch toegepast te worden. Dit vloeit voort uit het beginsel van gemeenschapstrouw (art. 4 lid 3 VWEU/voorheen art. 10 EG-verdrag). Op grond hiervan heeft / hebben de (de)centrale overhe(i)d(en) een zelfstandige rechtsplicht om het gemeenschapsrecht en daarmee de Kaderrichtlijn mariene strategie na te komen (Hessel et al., 2009, p.25).

Mochten onderwatergeluid, seismische effecten en eventuele andere gevolgen van het opsporen van aardolie en – gas met airguns nu of in de toekomst een meetbaar en blijvend negatief effect hebben op het mariene milieu, dan kan het zijn dat de huidige mijnbouwwet- en regelgeving ten aanzien van verkenningsonderzoek – voor zover dit vergunningsvrij is – moet worden aangepast naar aanleiding van de implementatie van de KRM. Ook als de effecten niet meetbaar en blijvend zijn, kan ervoor worden gekozen om voor het opsporen van aardolie en –gas met airguns relevante bepalingen in de mariene strategie op te nemen. Ook in dat geval zal de huidige mijnbouwwetgeving aanpassing behoeven. Voor het

doorvoeren van deze aanpassingen kan gekozen worden tussen de volgende twee strategieën:

- Het Mijnbouwbesluit voor vergunningsvrij verkenningsonderzoek (met airguns) op het continentale plat aanpassen aan het NWP en het BPRW.
- Alle vormen van verkenningsonderzoek op het continentaal plat vergunningsplichtig maken.

In paragraaf 1.6 zijn de doelen van deze studie omschreven. In bovenstaande conclusie zijn antwoorden gegeven op de eerste drie doelen. De laatste twee doelen, het opstellen van een plan van aanpak met betrekking tot beleid en een plan van aanpak voor het meten van achtergrondgeluid, worden beantwoord in respectievelijk hoofdstuk 7 en 8.

HOOFDSTUK

7

Plan van aanpak beleid

7.1

INLEIDING

In het vorige hoofdstuk is gesteld dat het waarschijnlijk is dat seismisch onderzoek met airguns op het NCP nu en in de toekomst negatieve effecten kan hebben op het mariene milieu. Er is echter op dit moment onvoldoende wetenschappelijk onderzoek en gegevens beschikbaar om dit aan te tonen.

In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe deze veronderstelling doorwerkt in mogelijke beleidsstrategieën. Daarbij is het gekozen perspectief van belang. Bovenstaande constatering is immers op twee manieren uit te leggen:

- *Afwachten*: Er is *op dit moment* geen aantoonbare noodzaak om maatregelen te treffen, die de negatieve effecten van verkennend onderzoek met airguns op het mariene milieu in het NCP mitigeren.
- *Anticiperen*: *In de toekomst* zal er waarschijnlijk sprake zijn van een aantoonbare noodzaak (de implementatie van de KRM) om maatregelen te treffen, die eventuele negatieve effecten van verkennend seismisch onderzoek (met airguns, maar liever nog voor alle – toekomstige vormen van seismisch onderzoek) mitigeren.

7.2

DE PRAKTIJK: GEVOLGEN IMPLEMENTATIE KRM

Afwachten lijkt te impliceren dat de implementatie van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM) kan worden opgepakt, zonder dat daarbij rekening hoeft te worden gehouden met mogelijke negatieve effecten van verkennend seismisch onderzoek.

Echter, in de praktijk betekent implementatie van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie in de eerste plaats dat een evaluatie zal worden uitgevoerd van knelpunten die een goede milieutoestand (kunnen) bedreigen. Bij toetsing van dit rapport aan helder geformuleerde KRM doelstellingen zal blijken in hoeverre seismisch onderzoek deze doelstellingen in de weg staat en in hoeverre maatregelen noodzakelijk zijn.

Vervolgens zal een operationeel programma (programma van maatregelen) moeten worden opgesteld, in overeenstemming met andere lidstaten die zeewater in dezelfde regio beheren. Verwacht wordt dat de maatregelen die betrekking hebben op de effecten van verkennend seismisch onderzoek internationaal onderwerp van discussie zullen zijn. Dit omdat bijvoorbeeld Groot Brittannië alle vormen van seismisch onderzoek die plaatsvinden in het Brits continentaal plat vergunningplichtig heeft gesteld- en Nederland en Groot Brittannië

hierover overeenstemming moeten zien te vinden. Met andere woorden: Groot Brittanie, maar mogelijk ook andere landen, lopen vooruit op de implementatie KRM; Nederland (maar dit moet nog voldoende wetenschappelijk worden aangetoond) in ieder geval voor wat betreft het verkennend seismologisch onderzoek niet.

Kortom, verwacht wordt dat zelfs wanneer ervoor wordt gekozen om de wetenschappelijke ontwikkelingen af te wachten, er voor 2015 een keuze zal moeten worden gemaakt ten aanzien van het opleggen van maatregelen bij verkennend seismisch onderzoek.

Anticiperen betekent in de eerste plaats dat toekomstig onderzoek dat aantoont dat seismisch onderzoek een blijvend en meetbaar negatief effect heeft op het mariene milieu niet hoeft te worden afgewacht. Door nu al na te denken over het opleggen van maatregelen die eventuele negatieve effecten mitigeren zullen ook het NWP en BPRW, waarin de KRM doorwerkt, toekomstbestendiger worden.

7.3

STRATEGIEËN

Anticiperen kan op twee manieren, die wij in deze paragraaf als beleidsstrategieën presenteren. Bij iedere strategie wordt een voorstel voor aanpak gedaan.

7.3.1

STELLEN VAN NORMEN IN HET MIJNBOWBESLUIT

Mijnbouwbesluit aanpassen aan het NWP en het BPRW. Dit zou kunnen door bijvoorbeeld normen (gedragsregels) voor verkennend seismisch onderzoek op te nemen in het Besluit. Het is niet nodig om hiervoor de Mijnbouwwet aan te passen, omdat de beperkte regels op dit moment van toepassing op verkennend onderzoek juist in dit besluit staan benoemd. Deze normen zouden moeten worden afgeleid zijn af te leiden uit het beleid en de maatregelen genoemd in het NWP en het BPRW, waarin de KRM op termijn doorwerkt..

Aanpak

1. Het voornemen om het Mijnbouwbesluit aan te passen, dient in ieder geval te worden gecommuniceerd aan de beroepsvereniging van de olie- en gasindustrie (NOGEPA) als opdrachtgever van verkennend seismisch onderzoek, de belangrijkste uitvoerder (FUGRO), de partij die de verzamelde data opslaat (DINO-loket van TNO) en betrokken milieu-organisaties.
2. Het stellen van normen vraagt om waardeoordelen, waarbij niet alleen inhoudelijk experts maar ook belanghebbenden dienen te worden betrokken. Het verdient daarom aanbeveling om een vertegenwoordiging uit deze organisaties te betrekken bij het opstellen van de normen (bijvoorbeeld in de vorm van Klankbordgroep of Stuurgroep, die reageert op de voorstellen van een uit experts samengestelde Werkgroep).
3. Omdat de groep betrokkenen bij verkennend onderzoek overzichtelijk is, kunnen de resultaten schriftelijk of in de vorm van een mini-symposium worden gepresenteerd.

Kanttekening

Nadeel van deze strategie is dat bij wijziging van één of beide plannen, bijvoorbeeld als gevolg van de implementatie KRM, het Mijnbouwbesluit opnieuw dient te worden aangepast en bovengenoemde stakeholders opnieuw moeten worden geïnformeerd en – bij voorkeur- op enigerlei wijze worden betrokken. Vanuit ARCADIS zien wij dit als een nogal theoretische (want juridisch wel mogelijk) en (vanwege eerder geschetste afhankelijkheid) zeker niet toekomstbestendige ‘omweg’ en raden wij deze route niet aan.

7.3.2**BELEIDSRUTE: RECHTSTREEKS VIA NWP EN BPRW**

Kansrijker is het volgens ons te anticiperen op de internationale afstemming, die in het kader van implementatie KRM zeker zal plaatsvinden en in te steken op normen (gedragsregels) via het NWP en BPRW. Iedere vergunningaanvraag voor opsporing, winning en opslaan wordt op dit moment immers getoetst aan het beleid en de maatregelen in NWP en het BPRW.

Dit biedt kansen voor een andere beleidsstrategie, die we hier de ‘beleidsroute’ noemen. Indien, vooruitlopend op implementatie van de KRM, het NWP en het BPRW worden aangepast, in de zin dat wordt geanticipeerd op de aantoonbare schadelijke effecten op het mariene milieu van onderzoek met airguns en andere vormen van (verkenning) seismisch onderzoek, dan zal dit ertoe leiden dat ook voor deze activiteiten maatregelen kunnen worden opgelegd. Bijvoorbeeld met behulp van een uitgebreide checklist, waarin de normen en maatregelen uit het (aangepaste) NWP en BPRW zijn vertaald. Deze checklist kan worden gebruikt om te toetsen voor welke activiteiten (inclusief verkennende activiteiten) maatregelen moeten worden opgelegd.

Immers, het zou wel heel erg bijzonder zijn dat activiteiten die een negatief effect (kunnen) hebben op het mariene milieu en waarvoor onder Europese regelgeving maatregelen moeten worden getroffen in de huidige nationale (Mijn)wet- en regelgeving ‘buiten schot’ blijven.

Op deze wijze ontstaat als het ware via een ‘beleidsmatige omweg’ een homogeen stelsel van gedragsregels in het NCP, dat bovendien op een heldere manier ook aan niet-rechtstreeks betrokkenen (publiek en milieugroeperingen) is uit te leggen.

Aanpak

1. Vertaling Operationeel Programma KRM in doelen, criteria en maatregelen in het NWP en BPRW.
2. Bestuurlijk vaststellen NWP en BPRW.
3. Eventueel vertalen in een ‘checklist’ voor alle activiteiten in het kader van seismisch onderzoek op het NCP.

4. Tijdig informeren eerdergenoemde stakeholders over wijzigingen in het NWP en BPRW en de gevolgen hiervan voor verkennend seismisch onderzoek in het NWP
5. Aanpassen onderdeel Overwegingen bij de vergunning (verwijzen naar KRM en doorwerking in NWP en BPRW).
6. Desgewenst de groep stakeholders betrekken in de wijze waarop de vergunningaanvraag voor verkennend onderzoek vorm kan krijgen, zonder de administratieve druk te zeer te verhogen.

HOOFDSTUK

8

Plan van aanpak
'bepaling achtergrondgeluid'

8.1

DEFINITIE ACHTERGRONDGELUID

Voordat een plan van aanpak voor het bepalen van het achtergrondgeluidsniveau op het NCP kan worden gemaakt moet het begrip achtergrondgeluid gedefinieerd worden. Volgens OSPAR (2010) kan achtergrondgeluid bestaan uit een combinatie van geluid geproduceerd door natuurlijke geluidsbronnen (golven, regen, geluiden van organismen, etc.) en geluid geproduceerd door antropogene geluidsbronnen (scheepvaart, heien, seismisch onderzoek, etc.). Achtergrondgeluid wordt hierin gedefinieerd als 'geluid op een bepaalde locatie dat meestal aanwezig is tijdens metingen'.

Deze definitie bevat vier belangrijke elementen: (1) geluid, (2) bepaalde locatie, (3) meestal en (4) tijdens metingen. Deze vier elementen vormen de relevante factoren voor het vaststellen van het achtergrondgeluid. Deze factoren worden uitgewerkt in paragraaf 8.2.

Achtergrondgeluid is het grootste deel van de tijd aanwezig en dit wekt mogelijk de indruk dat het daarom niet tot negatieve effecten op het mariene milieu leidt. Dit is niet het geval. Ook achtergrondgeluid kan tot de effecten leiden die in hoofdstuk 4 zijn beschreven. Zo wordt geluid van bijvoorbeeld scheepvaart in een druk bevaren gebied tot achtergrondgeluid gerekend, maar het gebied kan daardoor wel ongeschikt zijn als leefgebied voor zeezoogdieren.

8.2

UITWERKING DEFINITIE

8.2.1

GELUID (1)***Bron***

Achtergrondgeluid wordt niet alleen door natuurlijke geluidsbronnen maar ook door antropogene geluidsbronnen (bijv. scheepvaart) veroorzaakt.

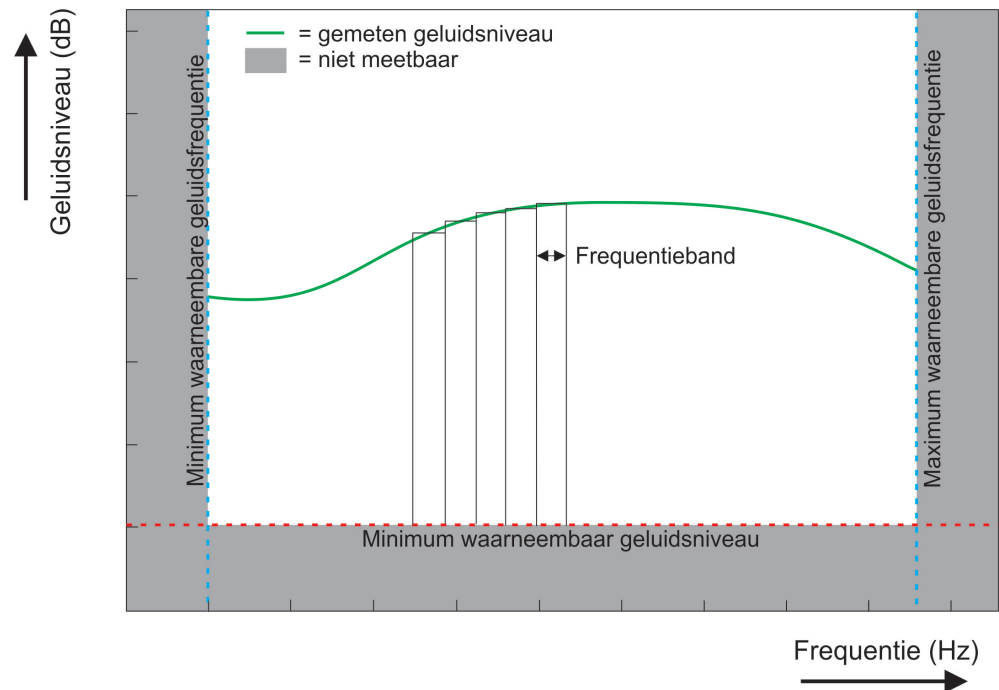
Geluidsspectrum (frequentie & geluidsniveau)

Alle mogelijke frequenties en geluidsniveaus die geproduceerd worden kunnen tot achtergrondgeluid behoren. Het achtergrondgeluid kan worden uitgedrukt in een geluidsspectrum, waarbij frequentie en geluidsniveau tegen elkaar worden uitgezet. Figuur 26 laat een voorbeeld spectrum zien waarin het geluidsniveau is uitgezet tegen de gemeten frequentie. Het geluidsspectrum wordt vastgesteld aan de hand van frequentie-banden.

De beperking om het geluidsspectrum vast te stellen ligt in het meetbereik van de gebruikte apparatuur. Geluiden lager en hoger dan een bepaalde geluidsfrequentie of lager dan een bepaald geluidsniveau worden niet gemeten (instrumentele nulwaarden). Geluiden buiten het meetbereik kunnen mogelijk wel door organismen waargenomen worden en behoren daarom wel tot achtergrondgeluid.

Figuur 26

Voorbeeldspectrum met beperking van meetbereik.



8.2.2

LOCATIE (2)

Horizontale positie

De definitie geeft aan dat achtergrondgeluid locatiespecifiek is. In de Westerschelde is bijvoorbeeld het scheepvaartverkeer intensiever dan in de Waddenzee en beide gebieden hebben dan ook verschillende achtergrondgeluidsniveaus.

Verticale (meet)positie

Bij de bepaling van geluidsniveau speelt de lokale diepte een rol. Geluid wordt meer gedempt naarmate de diepte afneemt.

8.2.3

TIJD ('MEESTAL' (3))

De term 'meestal' brengt een arbitraire maat in het vaststellen van achtergrondgeluid. Er kan worden gesteld dat als een geluidsbron op een bepaalde locatie altijd aanwezig is, zoals bijvoorbeeld een koelwaterpomp aan de kust, dat het geproduceerde geluid tot achtergrondgeluid kan worden gerekend. Echter, als deze pomp alleen overdag draait dan is het de vraag of dit geluid nog steeds tot achtergrondgeluid gerekend moet worden.

Er moet een keuze gemaakt worden in de tijdsduur dat een bepaald geluid aanwezig moet zijn waarbij het tot achtergrondgeluid gerekend wordt. Dit zou idealiter gebaseerd moeten worden op de tijd waarbij er wel of geen effecten optreden, echter het huidige kennisniveau op dit gebied is hiervoor te beperkt. Het maken van deze keuze hangt sterk samen met de tijdsduur van de metingen (zie 'aantal metingen').

8.2.4

AANTAL METINGEN (4)

De laatste belangrijke factor in deze definitie is 'tijdens metingen'. Hoe vaak moet er op een bepaalde locatie gemeten worden om een beeld van het achtergrondgeluid te krijgen? Wanneer moeten deze metingen plaatsvinden? Moet dit continu gemeten worden of met intervals? Stel dat het achtergrondgeluidsniveau in de Voordelta zou moeten worden bepaald. Worden er dan metingen gedurende een dag, week, maand of zelfs jaar of jaren uitgevoerd? Natuurlijke geluidsbronnen produceren bijvoorbeeld door wisselende weersomstandigheden een variabel achtergrondgeluid. Tijdens een storm zal het geluid van golven en regen bijvoorbeeld meer zijn dan tijdens rustig weer. Ook kan communicatie van organismen in bijvoorbeeld paaiperiodes meer optreden. Antropogene geluidsbronnen variëren ook sterk over de tijd. Recreatieve scheepvaart zal bijvoorbeeld in de zomer meer geluid produceren dan in de winter. In welke periode worden metingen uitgevoerd?

De nauwkeurigheid van de bepaling van het achtergrondgeluidsniveau hangt sterk af van de tijdsduur en het aantal metingen dat uitgevoerd gaat worden. Het begrip tijd speelt hierin op verschillende manieren een bepalende rol:

1. Het waarnemen van geluid hangt af van de meetfrequentie van het meetinstrument. Als een geluid optreedt tijdens het meetinterval wordt het niet gemeten. Dit is met name van belang voor het meten van impulsgeluiden die ontstaan bij bijvoorbeeld heien of seismisch onderzoek. De duur van een geluid neemt toe bij geluidsvoortplanting. De kans dat geluid tussen het interval door gemeten wordt is dus groter naarmate de afstand tussen geluidsbron en meetinstrument toeneemt (echo, reflectie). De meetfrequentie is ook gerelateerd aan de hoogste geluidsfrequentie dat kan worden gemeten (door het 'Nyquist-Shannon sampling theorem').
2. Hoe lang moet het geluid gemeten worden om een volledig spectrum te krijgen. Hiervoor moeten een bepaald aantal metingen worden uitgevoerd om een statistisch verantwoord locatiespecifiek spectrum op te kunnen stellen. Deze tijd wordt uitgedrukt als de minimum gemeten tijdsduur, waarbij alle gemeten spectra gekoppeld worden aan een arbitrair moment in de opname (begin, midden, eind etc.).
3. De meetduur wordt uitgedrukt als de tijd waarover de metingen worden uitgevoerd. Dit hangt af van de keuze van periodes waarover het achtergrondgeluid bepaald moet worden. Het bepalen van de meetduur hangt af van doel van het bepalen van het achtergrondgeluid op een locatie.

8.3

METEN OF MODELLEREN

Het is onmogelijk het achtergrondgeluid altijd op alle locaties te meten. Daarom moet het vaststellen van het NCP brede achtergrondgeluid een combinatie van meten en modelleren zijn. Onderwatergeluid modellen kunnen helpen bij het invullen van de leemtes in tijd en ruimte tussen de metingen. De metingen moeten daarbij zo worden ingericht dat ze optimaal helpen het model te kalibreren en valideren.

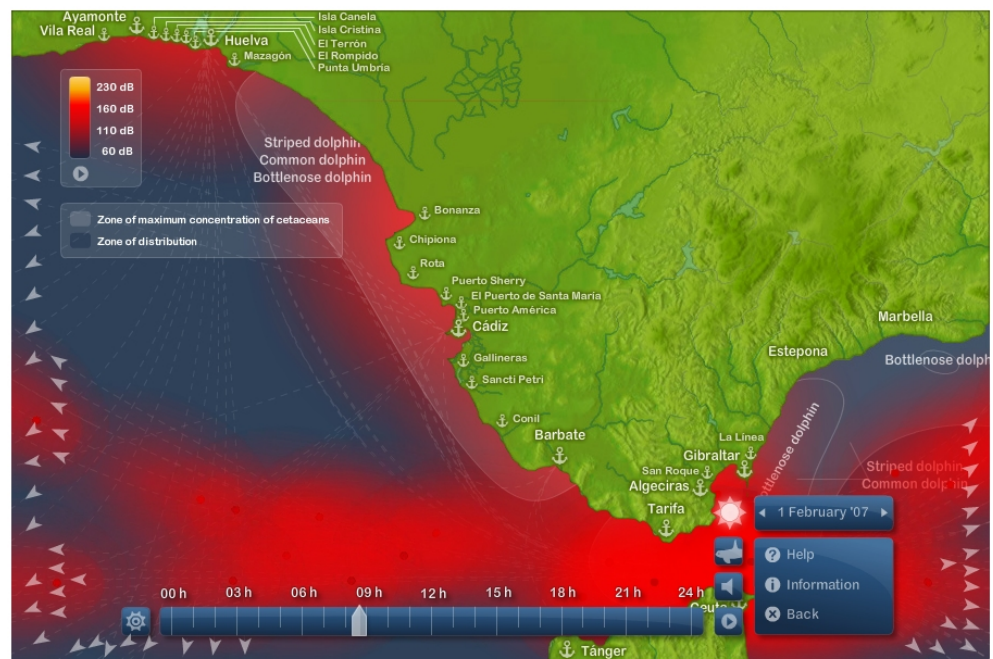
Met behulp van de metingen kan een betrouwbaar model voor achtergrondgeluid en geluidsbronnen worden opgesteld. In dit model worden parameters als frequenties, geluidsniveaus, tijdsduur, voortplanting, invloedsgebied in relatie tot verschillende geluidsbronnen (natuurlijk en antropogeen) meegenomen. Op basis van dit model kan een indicatie van het effecten van geluid op zeezoogdieren worden verkregen, mits ook meer gegevens naar de relatie tussen geluidsniveau en effecten op organismen in de toekomst beschikbaar komen.

Een bijkomend voordeel van het ontwikkelen van een betrouwbaar geluidsmodel is dat dit, naast een volledig tijd- en ruimte gevuld overzicht van achtergrondgeluid, de mogelijkheden geeft tot een goede visuele weergave. Zoals bijvoorbeeld is te vinden op de site http://www.lab.upc.es/index_link.php?web=mapa&lang=ca.

Op deze site zijn geluidsmetingen en modellen gekoppeld aan aanwezige scheepvaart en geluidsbronnen in de kustzone waarmee geluidskaart is opgesteld. Op basis van deze kaart (zie figuur 27) is een effectinschatting op zeezoogdieren gemaakt.

Figuur 27

Geluidskaart van een deel van de kust van Spanje op 1 februari 2007 (www.lab.upc.es).



8.4

PLAN VOOR HET METEN VAN ACHTERGRONDGELUID**Geluid**

Het is van belang om meetinstrumenten te gebruiken die geluidsfrequenties en niveaus kunnen meten die in het gehoorbereik van indicatorsoorten (zoals bijvoorbeeld de bruinvis) liggen.

Locatie*Horizontale positie*

Idealiter zou het achtergrondgeluidsniveau op het hele NCP in kaart gebracht moeten worden. Er kan een grid over de estuaria, Waddenzee, kustwater en open zee worden gelegd waarbij op elk gridpunt het achtergrondgeluidsniveau gemeten kan worden die vervolgens in kaartvorm gepresenteerd kan worden. De keuze van de gridgrootte bepaald vanzelfsprekend de nauwkeurigheid van de kaart.

Het meten van een volledig grid is (afhankelijk van de gridgrootte) vanuit praktisch- en financieel oogpunt onhaalbaar. Er wordt daarom voorgesteld om belangrijke gebieden te selecteren en het achtergrondgeluidsniveau op deze locaties te bepalen. Er kan geselecteerd worden vanuit natuurlijke waarden maar ook vanuit andere factoren. Er kan o.a. gedacht worden aan de volgende sleutellocaties:

- Beschermde gebieden
- Paaiplaatsen
- Opgroeiplaatsen
- Rustplaatsen voor zeehonden
- Migratie routes
- Waterlichamen (Westerschelde, Waddenzee, etc)
- Belangrijke vaarroutes
- Industriële gebieden
- Windmolenparken
- ...

Verticale (meet)positie uitwerking

- Om geluidsniveaus van verschillende locaties te kunnen vergelijken wordt aangeraden te meten op locaties met een aantal vaste dieptes, bijvoorbeeld bij dieptes van 10, 20 en 30 meter.
- Het meetinstrument moet niet te dicht onder het wateroppervlak worden geplaatst, aangezien het geluid door lokale reflectie en verspreiding door interferentie gedimd wordt. Dit geldt ook voor een meetpositie vlak boven de bodem. Afhankelijk van de vraag of er veel variatie in geluidsniveau wordt verwacht wordt aangeraden één of meerdere meetinstrumenten midden in de waterkolom tussen wateroppervlak en bodem te plaatsen.

Tijdsduur en aantal metingen

Er kunnen verschillende periodes zijn waarover het achtergrondgeluid gemeten moet worden. Deze periodes kunnen lang of kort zijn en hangen af van het doel van het bepalen van het achtergrondgeluid. Een aantal mogelijke periodes kunnen zijn:

Kort:

- Dag/nacht, bijvoorbeeld bij:
 - Koelwaterpompen die alleen overdag in gebruik zijn;
 - Scheepvaart dat mogelijk overdag intensiever is.

Lang:

- Seizoen, bijvoorbeeld door:
 - Meer regen en storm in de winter
 - Meer recreatieve scheepvaart in de zomer
- Project, bijvoorbeeld:
 - Aanleg van de tweede maasvlakte of windmolenparken op zee.

Bij het bepalen van een locatiespecifiek achtergrondgeluidsspectrum moeten voldoende metingen worden uitgevoerd om een statistisch onderbouw spectrum op te kunnen stellen. Het meest nauwkeurig zou een continue geluidsmeting over een zo lang mogelijke periode uit te voeren. Een intervalmeting is minder nauwkeurig maar kan mits voldoende lang uitgevoerd en bij een niet te groot interval ook tot voldoende informatie leiden om een spectrum op te stellen.

Vervolgens moet aan de hand van het spectrum bepaald worden welk geluid tot achtergrondgeluid gerekend wordt en welk geluid niet. Hierbij kan bijvoorbeeld een keuze gemaakt worden in de tijdsduur of het aantal keer voorkomen van het geluid ten opzichte van het totale spectrum. Dit wordt toegelicht in paragraaf 8.5. Daar is uitgegaan van een grenswaarde van 5%. Al het geluid (zowel in frequentie als geluidsniveau) dat langer dan 5% van de tijd aanwezig is, wordt gerekend tot achtergrondgeluid. In dit voorbeeld is een grenswaarde van 5% gehanteerd, dit is echter niet op basis van literatuur gebaseerd en geeft meer een indicatie dan werkelijk te hanteren grenswaarde.

Beschrijving techniek van het meten van achtergrondgeluid

Hierboven is beschreven welke factoren belangrijk zijn om te meten en met welke methodiek dit uitgevoerd kan worden. Voor een beschrijving van de technische methodiek wordt verwezen naar de Jong et al. (2010). Hierin worden onder andere beschreven met welke apparatuur gemeten kan worden en welke geluidsindicatoren gemeten kunnen worden.

8.5

VASTSTELLEN ACHTERGRONDGELOID

Gebaseerd op de keuzes van dataverzameling en aanvullende modelleringswerkzaamheden wordt een tijdserie aan S geluidspectra geproduceerd bij een bepaald interval Δt over een bepaalde meetperiode $T = S \Delta t$. Elk spectrum komt overeen met de tijd t .

Eerst wordt de range van geluidsfrequenties opgedeeld in een aantal frequentie-band met een bandbreedte Δf . Vervolgens wordt per band het aantal gemeten geluidsniveaus (SPL's) in alle S spectra (dus over de hele meetperiode) geteld. Van deze SPL's kan een minimum, maximum en gemiddeld geluidsniveau bepaald worden.

De SPL's kunnen vervolgens statistisch geanalyseerd worden. De range van SPL's tussen de laagst meetbare waarde en een geschat absoluut maximum, wordt opgedeeld in intervallen van een aantal series van grenswaarden SPL_1 , SPL_2 , SPL_3 , SPL_4 etc. Als vervolgens het aantal keer dat een bepaalde grenswaarde niet wordt overschreven door de gemeten SPL's wordt geteld, wordt een schatting van de verdeling van het aantal keer dat een SPL in een frequentiebandbreedte Δf optreedt verkregen (frequentie van voorkomen).

Op basis van de verdeling in de frequentie van voorkomen, kan er een keuze gemaakt worden het aantal keer dat een SPL overschreden moet worden om *niet* tot achtergrondgeluid te behoren. Dit wordt als grenswaarde voor achtergrondgeluid gesteld. Als bijvoorbeeld als frequentie van voorkomen een grenswaarde van 95% wordt gesteld, dan behoren alle geluidsniveaus die boven de grenswaarde $SPL_{95\%}$ niet tot achtergrondgeluid. Of anders gezegd, geluid dat minder dan 5% van de tijd voorkomt is geen achtergrondgeluid en geluid dat meer dan 5% van de tijd voorkomt is wel achtergrondgeluid.

Samengevat: Het achtergrondgeluidsniveau bij een bepaalde frequentieband op één specifieke locatie kan gedefinieerd worden als het geluidsniveau dat overschreden wordt met een bepaalde (gekozen) frequentie van voorkomen. De frequentie van voorkomen wordt bepaald op basis van een nauwkeurige meting op de betreffende locatie met een voldoende tijdsduur. Door dit ook voor de andere frequentie-bandbreedtes te doen kan een achtergrondgeluidsspectrum worden opgesteld.

8.6

HET MODELLEREN VAN ACHTERGRONDGELUID

Bij het modelleren van onderwater achtergrondgeluid zijn tal van parameters van invloed op de verspreiding van geluid. Om een nauwkeurig en geijkt model voor het NCP te kunnen ontwikkelen dienen meerdere abiotische en biotische parameters in kaart te worden gebracht. Met deze parameters kan het gedrag en daarmee de verspreiding van een enkele bandbreedte- of breedspectrum geluid voorspeld worden. Factoren van invloed op de modellering van verspreiding van onderwatergeluid kunnen (naast de genoemde factoren in paragraaf 8.4) zijn:

- Bodemlagen
- Bodemsamenstelling
- Bodemprofiel (diepte)
- Temperatuur
- Saliniteit
- Objecten in waterkolom of bodem

Kennis over de bodemeigenschappen is essentieel om te bepalen hoe geluid zich in dit medium gedraagt. De bodemsamenstelling kan over een gemeten traject sterk verschillen. Er zijn dan aan elke bodemtype andere akoestische eigenschappen verbonden. Dit wordt complexer naarmate de bodem uit meerdere lagen bestaat, waardoor zowel over afstand als over diepte de mate van absorptie en reflectie verandert.

Naast verandering in bodemtype wordt de verspreiding van achtergrondgeluid beïnvloedt door de fysische eigenschappen van de waterkolom. Hiervoor geldt eveneens dat deze eigenschappen over afstand en diepte kunnen verschillen. Factoren die een belangrijke rol

hierin spelen zijn temperatuur en saliniteit. Beide hebben een effect op dichtheid van water en zo de mate waarin geluid zich door de waterkolom verspreidt.

De verspreiding van het geluid kan door (natuurlijke) objecten in waterkolom op de bodem worden verstrooid. In open gebieden zoals het NCP zal de invloed hiervan beperkt zijn. Verwacht wordt dat bijvoorbeeld in het deltagebied de verstrooiing van het geluid groter zal zijn ten gevolge van de sterke begrenzing van het gebied door oevers en ondiepe plekken.

De definitie van achtergrondgeluid is gegeven in paragraaf 8.1. Aangezien veel (natuurlijke) bronnen van achtergrond geluid aan te wijzen zijn, is het voor het modelleren van achtergrondgeluid noodzakelijk te definiëren binnen welk geluidsspectrum er gerekend dient te worden. Veelal wordt gekeken naar antropogeen achtergrondgeluid, bijvoorbeeld scheepvaart, heien, seismisch onderzoek.

Het modelleren van de verspreiding van geluid van antropogene bronnen is zeer complex omdat deze uit een breed golvenspectrum bestaan. Elke geluidsgolf vertoont een karakteristiek gedrag in zowel de waterkolom als in de bodem. Het analyseren en interpreteren van de verspreiding van een breed spectrum aan geluidsgolven is tijdsintensief en vergt veel rekencapaciteit. Verschillende frequenties en geluidsterktes moeten worden doorgerekend. Desalniettemin staat daar tegenover dat nauwkeurige voorspellingskaarten kunnen worden gemaakt met de mogelijkheid om jaarrond een goede beeld te schetsen van de antropogene geluidsverspreiding.

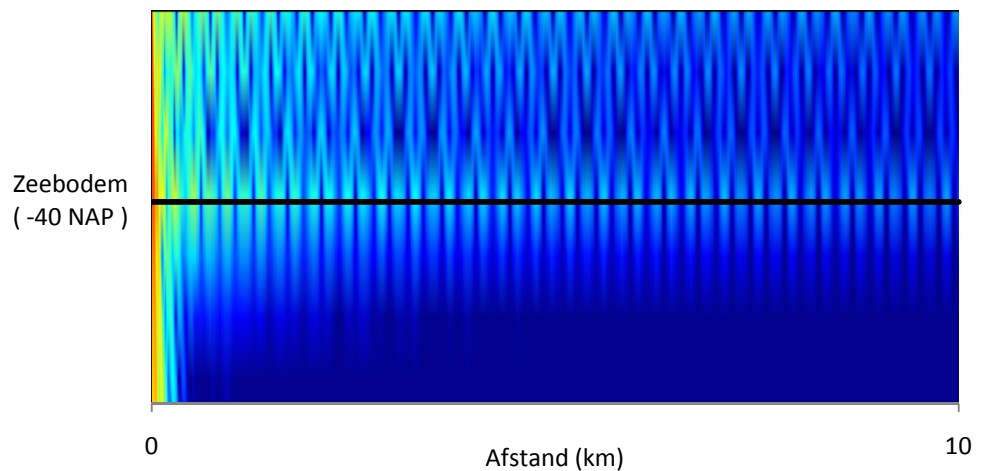
Het nauwkeurig kunnen beschrijven en voorspellingen van de verspreiding van (antropogeen) achtergrondgeluid op specifieke locaties vereist een periode van meten en valideren. Het meten van achtergrondgeluid is reeds in paragraaf 8.4 beschreven en vormt een belangrijke schakel bij de ontwikkeling van een model. De samenkomst van meten en modelleren zal er toe bijdragen dat er kwalitatief goede schattingen kunnen worden gemaakt van de effecten van het geluid rondom bijvoorbeeld windmolenparken en off-shore platformen op zeezoogdieren.

Ter illustratie van de mogelijkheden van het modelleren van de verspreiding van geluid aan de hand van een model is in onderstaand voorbeeld beschreven hoe een geluid met een frequentie van 100Hz zich op het NCP kan voortplanten en hoe het verlies aan energie dat kan optreden grafisch kan worden weergegeven.

Het modelleren van achtergrondgeluid in ondiepe kustwateren met zandige en slibbige bodems is mogelijk. De uitdoving van een (hypothetische) geluidsbron (100Hz, 60 dB (re 1 μ Pa)) op het NCP is gemodelleerd met het model ActUp v.2.2 (Duncan & Maggi, 2006). Modelresultaten bij een hypothetische Noordzee waterkolom van 40m diep laten zien dat de geluidsgolf na 10 kilometer bijna geheel is uitgedoofd. Ondanks dat dit slechts een vereenvoudigde weergave is, biedt het perspectief voor het doorontwikkelen naar een breedspectrum analyse model. In figuur 28 is de absorptie van het geluid weergegeven. Absorptie vindt zowel in de bodem als waterkolom plaats.

Figuur 28

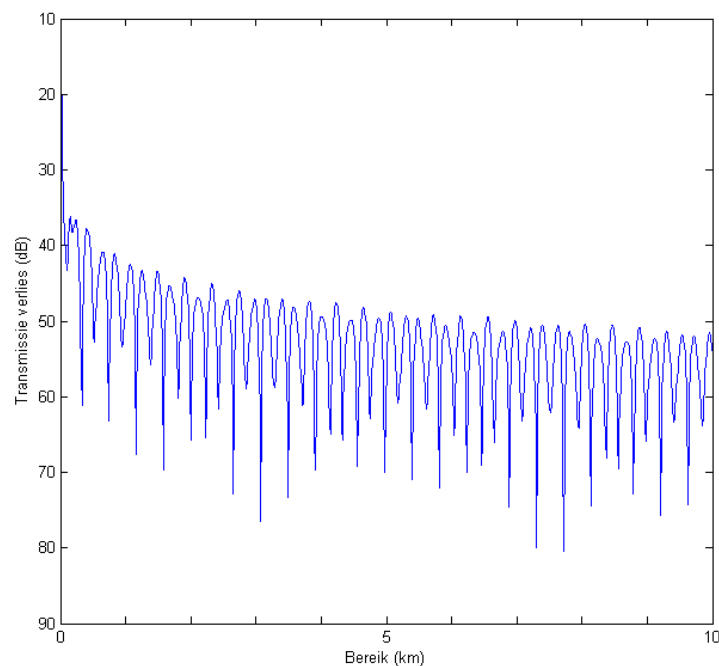
Uitdoven van een 100Hz geluidsgolf (60 dB (re 1 μ Pa)) bij een waterkolom in de Noordzee van 40 m diep. De zwarte lijn geeft de scheiding tussen waterkolom en bodem weer.



Uitdoving van het geluid kan ook worden beschreven door het transmissieverlies weer te geven over de afstand (weergegeven in figuur 29). Hieruit blijkt dat het totale transmissieverlies van een 100Hz geluidsgolf over een afstand van 10 kilometer tussen de 50 en 60 dB ligt en dus nagenoeg is uitgedoofd.

Figuur 29

Transmissieverlies uitgezet tegen afstand van een 100 Hz geluidsbron op het NCP.



Uit dit eenvoudige voorbeeld blijkt dat het mogelijk is om onderwatergeluid te modelleren. Om dit voor een breed frequentiebereik en voor verschillende geluidssterktes en locaties te doen, moet een model worden opgesteld. Hiervoor kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van de richtlijnen zoals beschreven in 'Good Modelling Practices' (van Waveren et al., 2000).

8.7

ACHTERGRONDGELUID IN HET BUITENLAND

Onderwatergeluid op het NCP wordt veroorzaakt door geluidsbronnen van verschillende landen. Om onderwatergeluid en eventuele effecten op het mariene ecosysteem te beperken is een internationale aanpak nodig. Het is daarom van belang om te weten hoe in andere landen tegen onderwatergeluid wordt aangekeken.

In een Britse studie over Marine Pollution (Marine Life Topic Note, October 2005) worden de belangrijkste natuurlijke geluidsbronnen van onderwatergeluid genoemd: aardbevingen, onderwater vulkanen, brekende golven, luchtbellens, regen en onweer. Daarnaast wordt onderwatergeluid veroorzaakt door organismen zelf, namelijk door: vissen, krabben, garnalen, zeezoogdieren, etc.

In 2007 is er onderzoek gedaan in het Verenigd Koninkrijk naar de fysieke gevolgen van onderwatergeluid op mariene zoogdieren en naar de benodigdheden voor passieve akoestische monitoring van mariene onderwatergeluid (Subacoustech, Nedwell et al, 2007a). De belangrijkste antropogene geluidsbronnen die onderwatergeluid veroorzaken op het Engelse deel van het NCP zijn onderwater explosieven (TNT, drijfgassen), seismische bronnen, klopboeren (heien) en lage frequentie sonar (USA, UK marine).

Onderwater- en achtergrondgeluid in Britse wateren is meerdere malen onderzocht door Subacoustech (Nedwell & Brooker, 2008 en Nedwell et al, 2007b). Voor een uitgebreide beschrijving van de methodiek voor het meten van onderwater- en achtergrondgeluid in het Verenigd Koninkrijk wordt verwezen naar Nedwell et al (2007b).

Op Europees niveau zijn verschillende initiatieven die het belang van het meten en reguleren van onderwatergeluid benoemen. Als belangrijkste bronnen die achtergrondgeluid veroorzaken wordt scheepvaart genoemd omdat dit een continue geluidsbron produceert (in tegenstelling tot heien). Internationaal gezien zijn er grote verschillen in intensiteit van achtergrondgeluid tussen verschillende oceanen en gebieden in oceanen. Dit komt met name doordat de scheepvaartintensiteit per locatie sterk verschilt.

Hoewel er wordt opgeroepen om geluidsproductie door scheepvaart te beperken en afspraken hierover met de scheepvaartindustrie te maken is er op Europees niveau geen regelgeving hierover opgesteld.

HOOFDSTUK

9

Literatuurlijst

- Ainslie, M., C. de Jong, H. Dol, G. Blacquière & C. Marasini. 2009. Assessment of natural and anthropogenic sound sources and acoustic propagation in the North Sea. TNO, The Hague.
- Andersen, S. 1970. Auditory sensitivity of the harbour porpoise *Phocoena phocoena*. Investigations on Cetacea 2:255–259.
- Backes, C., P. Gilhuis & N. Koeman. 2006. Milieurecht. Kluwer.
- Bain, D. E., & R. Williams. 2006. Long-range effects of airgun noise on marine mammals: responses as a function of received sound level and distance. Int. Whal. Comm. Working Pap. SC/58/ E 35.
- Banner, A. 1972. Use of sound in predation by young lemon sharks, *Negaprion brevirostris* (Poey). Bulletin of Marine Science 22: 251–283.
- Barents, R. & L. Brinkhorst. 2006. Grondlijnen van Europees recht. Kluwer.
- Bass, A. H. & J. R. McKibben. 2003. Neural mechanisms and behaviors for acoustic communication in teleost fish. Progress in Neurobiology 69:1–26.
- Beale, C. M. & P. Monaghan. 2004. Behavioural responses to human disturbance: a matter of choice? Animal Behaviour 68: 1065–1069.
- Beijen, B. A. 2010. De kwaliteit van milieuriichtlijnen: Europese wetgeving als oorzaak van implementatieproblemen. Boom Juridische Uitgevers.
- Bovend'Eert, P. 2010. Grondwet voor het Koninkrijk der Nederlanden – Tekst & Commentaar. Kluwer.
- Calambokidis, J., D. E. Bain & S. D. Osmek. 1998. Marine mammal research and mitigation in conjunction with air gun operation for the USGS “SHIPS” seismic surveys in 1998. Contract Report submitted to the Minerals Management Service.
- Dalen, J. & A. Raknes. 1985. Scaring effects on fish from three-dimensional seismic surveys. Report No. FO 8504.
- Demski, L. S., J. W. Gerald & A. N. Popper. 1973. Central and peripheral mechanisms of teleost sound production. American Zoologist 13: 1141–1167.
- Dol, H., M. Ainslie, C. de Jong, G. Blacquière & M. van Riet. 2009. Natural and Anthropogenic Sources of Sound in the North Sea.
- Duncan, A. & A. Maggi. 2006. A consistent, user friendly interface for running a variety of underwater acoustic propagation codes. Proceedings of Acoustics: 471–477.

- Dwyer, W. P., W. Fredenberg & D. A. Erdahl. 1993. Influence of electroshock and mechanical shock on survival of trout eggs. *North American Journal of Fisheries Management* 13: 839–843.
- Dyer, I. 2001. Acoustic Noise. In *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Elsevier Science Ltd.
- Ellison, W. 1996. Comments on Turnpenny, et al, “The effects on fish and other marine mammals of high level underwater sound”. Prepared for Department of the Navy, Space and Naval Warfare Systems Command, Washington, DC.
- Engas, A., S. Lokkeborg, E. Ona & A. V. Soldal. 1996. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences* 53: 2238–2249.
- Engas, A. & S. Lokkeborg. 2002. Effects of seismic shooting and vessel-generated noise on fish behaviour and catch rates. *Bioacoustics* 12: 313–315.
- Fair, P. A. & P. R. Becker. 2000. Review of stress in marine mammals. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7: 335–354.
- Fay, R. R. & L. A. Wilber. 1989. Hearing in vertebrates: a psychophysics databook. *The Journal of the Acoustical Society of America* 86: 2044.
- Finneran, J. J., C. E. Schlundt, R. Dear, D. A. Carder & S. H. Ridgway. 2002. Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. *The Journal of the Acoustical Society of America* 111: 2929.
- Gaspin, J. B. 1975. Experimental investigations of the effects of underwater explosions on swimbladder fish. I. 1973 Chesapeake Bay tests.
- Goold, J. C. 1996. Acoustic assessment of populations of common dolphin *Delphinus delphis* in conjunction with seismic surveying. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 76: 811–820.
- Goold, J. C. 1998. Acoustic assessment of populations of common dolphin off the west Wales coast, with perspectives from satellite infrared imagery. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 78: 1353–1364.
- Goold, J. C. & P. J. Fish. 1998. Broadband spectra of seismic survey air-gun emissions, with reference to dolphin auditory thresholds. *The Journal of the Acoustical Society of America* 103: 2177–2184.
- Gordon, J., D. Gillespie, J. Potter, A. Frantzis, M. P. Simmonds, R. Swift & D. Thompson. 2003. A review of the effects of seismic surveys on marine mammals. *Marine Technology Society Journal* 37: 16–34.
- Graham, A. L. & S. J. Cooke. 2008. The effects of noise disturbance from various recreational boating activities common to inland waters on the cardiac physiology of a freshwater fish, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18: 1315–1324.
- Hastings, M. C. 1995. Physical effects of noise on fishes. Pages 979–984 in *Proceedings of INTER-NOISE*.
- Hastings, M. C. & A. N. Popper. 2005. Effects of sound on fish. California Dept. of Transportation.

- Hatch, L.T. & A.J. Wright. 2007. A Brief Review of Anthropogenic Sound in the Ocean. *International Journal of Comparative Psychology* 20: 121-133.
- Hessel, B., E. Perton & M. Schiebroek. 2009. De Dienstenrichtlijn decentraal: de gevolgen van de Dienstenrichtlijn voor decentrale overheden. Sdu Uitgevers.
- Hildebrand, J. A. 2005. Impacts of anthropogenic sound. *Marine mammal research: conservation beyond crisis*: 101-124.
- Hildebrand J. 2005. Sources of Anthropogenic Sound in the Marine Environment.
- Holst, M., W. J. Richardson, W. R. Koski, M. A. Smultea, B. Haley, M. W. Fitzgerald & M. Rawson. 2006. Effects of large and small-source seismic surveys on marine mammals and sea turtles. Page 01 *in* AGU Spring Meeting Abstracts.
- Holst, M., M. A. Smultea, W. R. Koski & B. Haley. 2005. Marine mammal and sea turtle monitoring during Lamont-Doherty Earth Observatory's marine seismic program off the Northern Yucatán Peninsula in the Southern Gulf of Mexico, January-February 2005. LGL Rep. TA2822-31. Rep. from LGL Ltd., King City, Ont., for Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia Univ., Palisades, NY, and Nat. Mar. Fish. Serv., Silver Spring, MD 96.
- Jensen, F. B. 2001. Acoustics, Shallow Water. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, Oxford.
- Jensen, J. O. T. & D. F. Alderdice. 1989. Comparison of mechanical shock sensitivity of eggs of five Pacific salmon (*Oncorhynchus*) species and steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 78: 163-181.
- Johnson, C. S. 1967. Sound detection thresholds in marine mammals.
- de Jong, C., M. Ainslie & G. Blacquière. 2010. Measuring underwater sound: Towards measurement standards and noise descriptors. TNO Report TNO-DV-2009C613.
- Kastak, D., B. L. Southall, R. J. Schusterman & C. R. Kastak. 2005. Underwater temporary threshold shift in pinnipeds: Effects of noise level and duration. *The Journal of the Acoustical Society of America* 118: 3154.
- Kastelein, R., P. Wensveen, L. Hoek & J. Terhune. 2009. Underwater hearing sensitivity of harbor seals (*Phoca vitulina*) for narrow noise bands between 0.2 and 80 kHz. *Journal of the Acoustical Society of America* 126: 476-483.
- Kastelein, R. A., P. Bunschoek, M. Hagedoorn, W. W. L. Au & D. de Haan. 2002. Audiogram of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated signals. *The Journal of the Acoustical Society of America* 112: 334-344.
- Ketten, D. R. 1994. Functional analyses of whale ears: adaptations for underwater hearing. *in* OCEANS'94. 'Oceans Engineering for Today's Technology and Tomorrow's Preservation.' Proceedings.
- Kooijmans, P. & M. Brus. 2008. Internationaal publiekrecht in vogelvlucht. Kluwer.
- Kuperman, W. A. 2001. Acoustics, Deep Ocean. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, Oxford.

- Ladich, F. & A. N. Popper. 2004. Fish Hearing Organs. Evolution of the vertebrate auditory system: 95.
- Lucke, K., P. A. Lepper, M. A. Blanchet & U. Siebert. 2008. Testing the acoustic tolerance of harbour porpoise hearing for impulsive sounds.
- Mate, B. R. & J. T. Harvey. 1986. Acoustical deterrents in marine mammal conflicts with fisheries. *Acoustical Deterrents in Marine Mammal Conflicts with Fisheries*. Newport, Oregon. Oregon Sea Grant: 116.
- McCauley, R. D., J. Fewtrell & A. N. Popper. 2003. High intensity anthropogenic sound damages fish ears. *The Journal of the Acoustical Society of America* 113: 638.
- van der Meij, S. E. & K. Camphuysen. 2006. Distribution and diversity of whales and dolphins (Cetacea) in the Southern North Sea: 1970-2005. *Lutra* 49: 3.
- Miller, G. W., V. D. Moulton, R. A. Davis, M. Holst, P. Millman, A. MacGillivray & D. Hannay. 2005. Monitoring seismic effects on marine mammals—southeastern Beaufort Sea, 2001-2002. *Offshore oil and gas environmental effects monitoring/Approaches and technologies*. Battelle Press, Columbus, OH 631: 511–542.
- Moulton, J. M. 1963. Acoustic behaviour of fishes. *Acoustic Behaviour of Animals*: 655–693.
- Moulton, V. D. & G. W. Miller. 2005. Marine mammal monitoring of a seismic survey on the Scotian Slope. *Acoustic monitoring and marine mammal surveys in the gully and outer Scotian shelf before and during active seismic program*.
- Nachtigall, P. E., J. L. Pawloski & W. W. Au. 2003. Temporary threshold shifts and recovery following noise exposure in the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*). *The Journal of the Acoustical Society of America* 113: 3425.
- Nedwell, J. R., S. J. Parvin, B. Edwards, R. Workman, A. G. Brooker & J. E. Kynoch. 2007a. Measurement and interpretation of underwater noise during construction and operation of offshore windfarms in UK waters. Subacoustech Report No. 544R0738 to COWRIE Lts.
- Nedwell, J. R., A. W. H. Turnpenny, J. Lovell, S. J. Parvin, R. Workman, J. A. L. Spinks & D. Howell D. 2007b. A validation of the dBht as a measure of the behavioural and auditory effects of underwater noise. Subacoustech Report Reference: 534R1231, Published by Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform.
- Nedwell J. R. & Brooker A.G. 2008. Measurement and assessment of background underwater noise and its comparison with noise from pin pile drilling operations during installation of the SeaGen tidal turbine device, Strangfordlough. Subacoustech report, Cowrie Ltd 4 September 2008.
- NRC (National Research Council). 2005. *Marine mammal populations and ocean noise: determining when noise causes biologically significant effects*. Washington, D.C. The National Academies Press.
- van Opzeeland, I., H. Slabbekoorn, T. Andringa & C. ten Cate. 2007. *Vissen en geluidsoverlast*.

- OSPAR. 2010. Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment.
- Pearson, W. H., J. R. Skalski & C. I. Malme. 1992. Effects of sounds from a geophysical survey device on behavior of captive rockfish (*Sebastes spp.*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 49: 1343–1356.
- Piper, R. G. 1986. Fish hatchery management.
- Popov, V. V. & A. Y. Supin. 1990. Electrophysiological studies on hearing in some cetaceans and a manatee. Sensory abilities of cetaceans: Laboratory and field evidence.
- Popper, A. N. 2003. Effects of anthropogenic sounds on fishes. Fisheries 28:24–31.
- Popper, A. N. & N. L. Clarke. 1976. The auditory system of the goldfish (*Carassius auratus*): Effects of intense acoustic stimulation*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology 53: 11–18.
- Post, G., T. M. Kloppel & D. V. Power. 1974. Survival of rainbow trout eggs after receiving physical shocks of known magnitude. Transactions of the American Fisheries Society 103: 711–716.
- Potter, J. R., M. Thillet, C. Douglas, M. A. Chitre, Z. Doborzynski & P. J. Seekings. 2007. Visual and passive acoustic marine mammal observations and high-frequency seismic source characteristics recorded during a seismic survey. Journal of Oceanic Engineering 32: 469–483.
- Reeves, R. R. 1996. Acoustic deterrence of harmful marine mammal-fishery interactions: proceedings of a workshop held in Seattle, Washington, 20-22 March 1996. US Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service.
- Richard, J. D. 1968. Fish attraction with pulsed low-frequency sound. J. Fish. Res. Bd. Can 25: 1441–1452.
- Richardson, W. J., C. R. Green, C. I. Malme & D. H. Thomson. 1995. Marine Mammals and Noise. Academic Press, San Deigo (USA).
- Saunders, J. C., Y. E. Cohen & Y. M. Szymko. 1991. The structural and functional consequences of acoustic injury in the cochlea and peripheral auditory system: a five year update. The Journal of the Acoustical Society of America 90: 136.
- Scholik, A. R. & H. Y. Yan. 2001. Effects of underwater noise on auditory sensitivity of a cyprinid fish. Hearing Research 152: 17–24.
- Slotte, A., K. Hansen, J. Dalen & E. Ona. 2004. Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. Fisheries Research 67:143–150.
- Smirnov, A. I. 1959. The effect of mechanical agitation in different periods of development on the eggs of autumn chum salmon (*Oncorhynchus keta* INFRASP *Autumnalis* Berg, Salmonidae). Fish. Res. Bd. Canada Translation Series 20:873–876.

- Smith, M. E., A. S. Kane & A. N. Popper. 2004a. Acoustical stress and hearing sensitivity in fishes: Does the linear threshold shift hypothesis hold water? *Journal of Experimental Biology* 207: 3591–3602.
- Smith, M. E., A. S. Kane & A. N. Popper. 2004b. Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Experimental Biology* 207: 427–435.
- Smultea, M. A., M. Holst, W. R. Koski & S. Stoltz. 2004. Marine mammal monitoring during Lamont-Doherty Earth Observatory's seismic program in the Southeast Caribbean Sea and adjacent Atlantic Ocean, April-June 2004. LGL Rep. TA2822-26.
- Southall, B. L., A. E. Bowles, W. T. Ellison, J. J. Finneran, R. L. Gentry, C. R. Greene Jr, D. Kastak, D. R. Ketten, J. H. Miller, P. E. Nachtigall, and others. 2009. Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations. *The Journal of the Acoustical Society of America* 125: 2517.
- Spindel, R. C. 1985. Sound transmission in the ocean. *Annual Review of Fluid Mechanics* 17: 217–237.
- Stone, C. J. 2003. The effects of seismic activity on marine mammals in UK water, 1998-2000.
- Stone, C. J. & M. L. Tasker. 2006. The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters. *Journal of Cetacean Research and Management* 8: 255.
- Taverne, B. G. & J. L. Den Dulk. 2006. De Nederlandse mijnwetgeving in historisch perspectief: tekst, toelichting en historische ontwikkeling vanaf 1813. Kluwer.
- Tavolga, W. 1960. Sound production and underwater communication in fishes. In: W. E. Lanyon and W. N. Tavolga, eds., *Animal sounds and communication*, American Institute of Biological Sciences, Washington, D.C., Publication No. 7.:93-136.
- Tavolga, W. N. 1971. 6 Sound Production and Detection. *Fish physiology* 5: 135–205.
- Thompson, D. 1999. Behavioural and physiological responses of harbour (*Phoca vitulina*) and grey (*Halichoerus grypus*) seals to seismic surveys. In: *European research on cetaceans: proceedings of the annual conference of the European Cetacean Society*.
- Tolstoy, M., J. B. Diebold, S. C. Webb, D. R. Bohnenstiehl, E. Chapp, R. C. Holmes & M. Rawson. 2004. Broadband calibration of R/V Ewing seismic sources. *Geophysical Research Letters* 31: L14310.
- Turnpenny, A. W. H., K. P. Thatcher & J. R. Nedwell. 1994. The effects on fish and other marine animals of high-level underwater sound. Report FRR 127:94.
- Tyack, P.L. 2001. Bioacoustics. In *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Elsevier Science Ltd.
- van Waveren, R. H., S. Groot, H. Scholten, F. Van Geer, H. Wösten, R. Koeze & J. Noort. 2000. Good modelling practice handbook. STOWA, Utrecht, The Netherlands.
- Wardle, C. S., T. J. Carter, G. G. Urquhart, A. D. F. Johnstone, A. M. Ziolkowski, G. Hampson & D. Mackie. 2001. Effects of seismic air guns on marine fish. *Continental Shelf Research* 21: 1005-1027.

- Wartzok, D., A. N. Popper, J. Gordon & J. Merrill. 2003. Factors affecting the responses of marine mammals to acoustic disturbance. *Marine Technology Society Journal* 37: 6–15.
- Weilgart, L. S. 2007. A brief review of known effects of noise on marine mammals. *International Journal of Comparative Psychology* 20.
- Weir, C. R. 2008. Overt responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*), sperm whales (*Physeter macrocephalus*), and Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*) to seismic exploration off Angola. *Aquatic Mammals* 34: 71–83.
- Wright, A. J., N. A. Soto, A. L. Baldwin, M. Bateson, C. M. Beale, C. Clark, T. Deak, E. F. Edwards, A. Fernández, A. Godinho, and others. 2007. Do Marine Mammals Experience Stress Related to Anthropogenic Noise? *International Journal of Comparative Psychology* 20.
- Wright, A. J. & S. Kuczaj. 2007. Noise-related stress and marine mammals: An introduction. *International Journal of Comparative Psychology*, this issue, iii-viii.
- Yelverton, J. T., D. R. Richmond, W. Hicks, H. Saunders & E. R. Fletcher. 1975. The relationship between fish size and their response to underwater blast.
- Yost, W. A. 2000. Fundamentals of hearing-an introduction . 2000. Academic Press, New York.
- Zelick, R., D. A. Mann & A. N. Popper. 1999. Acoustic communication in fishes and frogs. *Springer Handbook Of Auditory Research* 11: 363–411.

On-line bronnen (websites laatst bezocht op 15 december 2010)

Acoustical Society of America (USA). Acoustics. <http://www.acoustics.org/>

Advameg Inc (USA). Water Encyclopedia: Sound Transmission in the Ocean,
<http://www.waterencyclopedia.com/Re-St/Sound-Transmission-in-the-Ocean.html>

FAS – Federation of American Scientists (USA). *Fundamentals of Naval Weapons Systems*.
Chapter 8: Principles of Underwater Sound, <http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/fun/part08.htm>

Henderson T (USA). The Physics Classroom. Waves
(<http://www.physicsclassroom.com/Class/waves/>); Sound Waves and Music,
(<http://www.physicsclassroom.com/Class/sound/>)

Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Space Department, Ocean Remote
Sensing Group (USA). A Speed of Sound in Sea Water Calculator,
<http://fermi.jhuapl.edu/denscalc/spdcalc.html>

NOAA - National Ocean and Atmospheric Administration (USA), VENTS Program:
Acoustic Monitoring, <http://www.pmel.noaa.gov/vents/acoustics.html>

NOAA - National Ocean and Atmospheric Administration (USA), Ocean Explorer: Sound in
the Ocean, <http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/sound01/sound01.html>

National Physical Laboratory (UK), Underwater acoustics,
<http://www.npl.co.uk/acoustics/underwater-acoustics/>

NATO Undersea Research Centre (IT). Homepage <http://www.nurc.nato.int/>

OceanLink Project (supported by Bamfield Marine Sciences Centre, Canada). An Ocean of
Sound: An Exploration of Underwater Acoustics,
<http://oceanlink.island.net/oinfo/acoustics/acoustics.html>

University of Loughborough, Underwater Acoustics Research Group (UK). Homepage,
<http://sonar-fs.lboro.ac.uk/>

University of Rhode Island, Office of Marine Programs (USA). Discovery of Sound in the
Sea, <http://www.dosits.org/>

University of Southampton, UAUA - Centre for Ultrasonics and Underwater Acoustics
(UK). Homepage, <http://www.isvr.soton.ac.uk/FDAG/uaua.HTM>

Wikipedia (USA), Underwater Acoustics,
http://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_acoustics

BIJLAGE 1

Afkortingen

AMvB	Algemene Maatregel van Bestuur
Awb	Algemene wet bestuursrecht
art.	artikel
artt.	artikelen
BPRW	beheerplan voor de rijkswateren
EG-verdrag	Verdrag tot oprichting van de Europese Gemeenschap
Gw	Grondwet
HvJ	Hof van Justitie van de Europese Unie
IBN 2015	Integraal Beheerplan Noordzee 2015
KRM	Kaderrichtlijn mariene strategie
Mbb	Mijnbouwbesluit
Mbr	Mijnbouwregeling
Mbw	Mijnbouwwet
NvT	Nota van Toelichting
NWP	nationaal waterplan
Pb EU	Publicatieblad van de Europese Unie
Stb	Staatsblad
Stcrt	Staatscourant
Trb.	Tractatenblad
VWEU	Verdrag betreffende de werking van de Europese Unie

BIJLAGE 2

Volledige gegevens richtlijn en verdragen

- Anti-fouling-verdrag: Verdrag inzake de beperking van schadelijke aangroeiwerende verfsystemen op schepen, Trb. 2004 nr. 44
- Convention on the Continental Shelf, Geneva 29 April 1958, entry into force: 10 June 1964, Trb. 1959 nr. 126
- Convention on the High Seas, Geneva 29 April 1958, entry into force: 30 September 1962, Trb. 1959 nr. 124
- Kaderrichtlijn mariene strategie: Richtlijn 2008/56/EG van het Europees Parlement en de Raad van 17 juni 2008 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het beleid ten aanzien van het mariene milieu, Pb EU L 164/19
- Londens dumpingsverdrag: Verdrag ter voorkoming van verontreiniging van de zee door het storten van afval en andere stoffen, Trb 1973 nr. 172, aangevuld bij protocol in 1996, Trb. 2000 nr. 27
- MARPOL-verdrag: Verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen, Trb. 1975 147, aangevuld bij protocol in 1978, Trb. 1978 nr. 187 en 188
- OPSPAR-verdrag: Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu van de Noordoost Atlantische Oceaan, Trb. 1993 nr. 16
- Overeenkomst van Bonn inzake samenwerking bij bestrijding van verontreiniging van de Noordzee door olie en andere schadelijke stoffen, Trb. 1983 nr 159 en Trb 1989 nr. 125
- UN Convention on the Law of the Sea, Montego Bay, 10 December 1982, Trb. 1983 nr. 83

BIJLAGE 3

Kenmerken van onderwatergeluid

Oscillaties

Het geluid bestaat uit gecomprimeerde en gedilateerde (water)deeltjes die binnen een heel kleine ruimtelijke bereik oscilleren. Deze deeltjes onderling oefenen een druk uit op elkaar, deze onderlinge druk nemen wij waar of meten wij op een plaats als 'geluid'. Vanwege de oscillerende aard, kan geluid worden beschreven als een paar van frequentie en sterkte.

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen twee soort bewegingen. Het eerste is de beweging van een enkel waterdeeltje dat in trilling wordt gebracht en om een vast (gemiddeld) punt heen en weer beweegt. Het tweede is het in oscillatie brengen van 'aanliggende' waterdeeltjes, waardoor de geluidgolf zich voortplant.

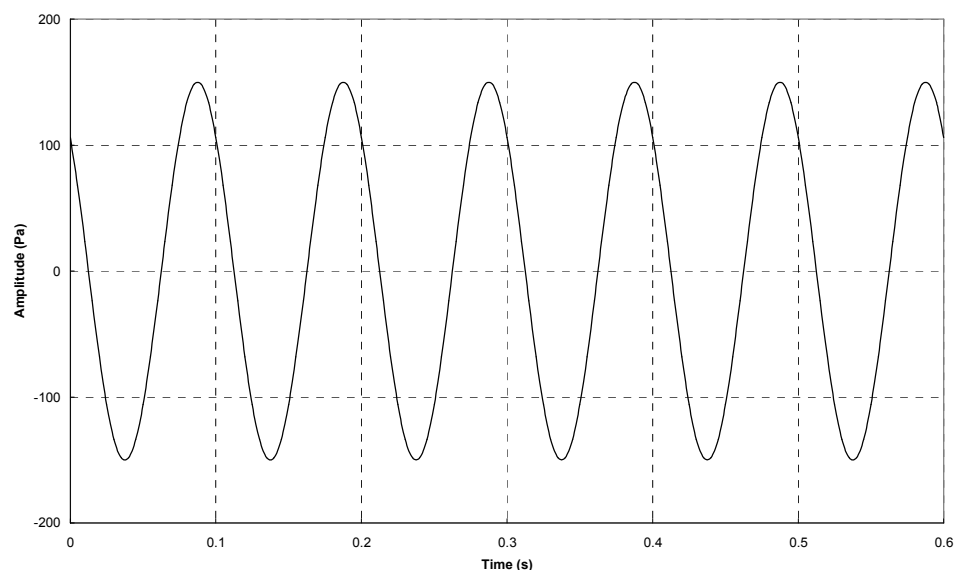
Pure toon en frequentie

Een pure toon is een geluid met alleen een frequentie, bijvoorbeeld de noot uit een goed bespeeld instrument. De frequentie van een pure toon bepaalt de hoogte die gehoord wordt. Fysisch is de toonhoogte de weergave van het aantal oscillaties dat binnen een willekeurig tijdsinterval optreedt.

Sterkte

De sterkte van een pure toon bepaalt hoe gemakkelijk de toon gehoord of gemeten kan worden. Fysisch is dit de weergave van de oscillatiebreedte van de druk die de gecomprimeerde materiële deeltjes waaruit de toon bestaat op elkaar uitoefenen.

Figuur A geeft de druk oscillatie in de tijd op een punt weer van een geluidsgolf van een pure toon met een amplitude van 150 Pa ($=\text{N/m}^2$) en een frequentie van 15Hz. Eén pascal is de druk die uitgeoefend wordt door een kracht van 1 newton (N) op een oppervlak van een vierkante meter. Anders gezegd, 10^5 Pa is ongeveer de druk die een waterkolom van 10 meter hoogte uitoefent.



Figuur A: Druk oscillatie van een pure toon.

De sterkte van geluid (de amplitude van de oscillaties) wordt normaliter indirect uitgedrukt in logaritmes van hun waarde relatief ten opzichte van een referentiewaarde. Deze waarden worden niveaus genoemd en worden uitgedrukt in dB (decibels). Het referentieniveau voor onderwatergeluid is $1 \mu\text{Pa} = 10^{-6} \text{ Pa}$ en het overeenkomende 'sound pressure level' (SPL) van een druk in Pascal gemeten wordt gegeven door:

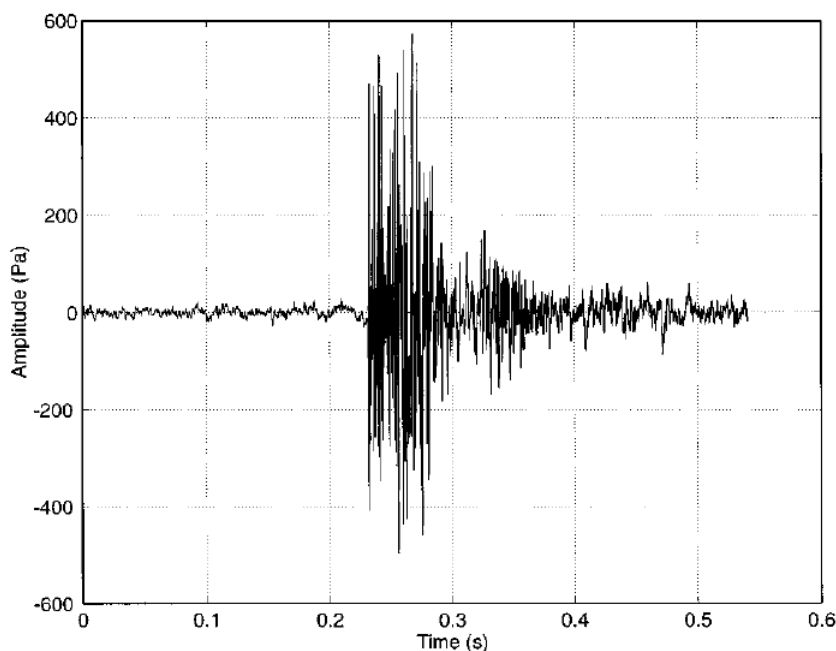
$$\text{SPL}(p) = 10 \log \left(\frac{p}{10^{-6}} \right)^2$$

Omdat geluidsgolven verschillende vormen kunnen hebben (voor continu of impulsgeluid), zijn er verschillende drukweergaves (niveaus) mogelijk die gebruikt kunnen worden. Airguns produceren een herhaaldelijk impulsgeluid. Figuur B geeft een peak-to-peak drukverschil van circa 100Pa weer. Als deze maat voor druk wordt gebruikt om het drukniveau te onderzoeken is de waarde:

$$\text{SPL}_{p-p} = 10 \log \left(\frac{p}{10^{-6}} \right)^2 \sim 180 \text{ dB}$$

Een uitgebreid overzicht van de mogelijkheden is beschreven in TNO (2010).

Opmerking: Geluid drukniveaus in de lucht worden berekend ten opzichte van een ander referentieniveau. Hierdoor mogen drukniveaus van onderwatergeluid of geluid in lucht nooit met elkaar vergeleken worden.



Figuur B. Geluidsgolf gemeten op een locatie 750 meter afstand van een airgun. Uit Goold and Fish (1998)

Het drukverschil zoals weergegeven in figuur B kan ook gebruikt worden om de geluidsblootstelling over een bepaalde periode T te berekenen. Dit wordt gedefinieerd als:

$$E(T) = \int_{-T/2}^{T/2} p^2(t) dt \text{ Pa}^2 \cdot \text{s}$$

Het overeenkomende niveau is het 'sound exposure level'

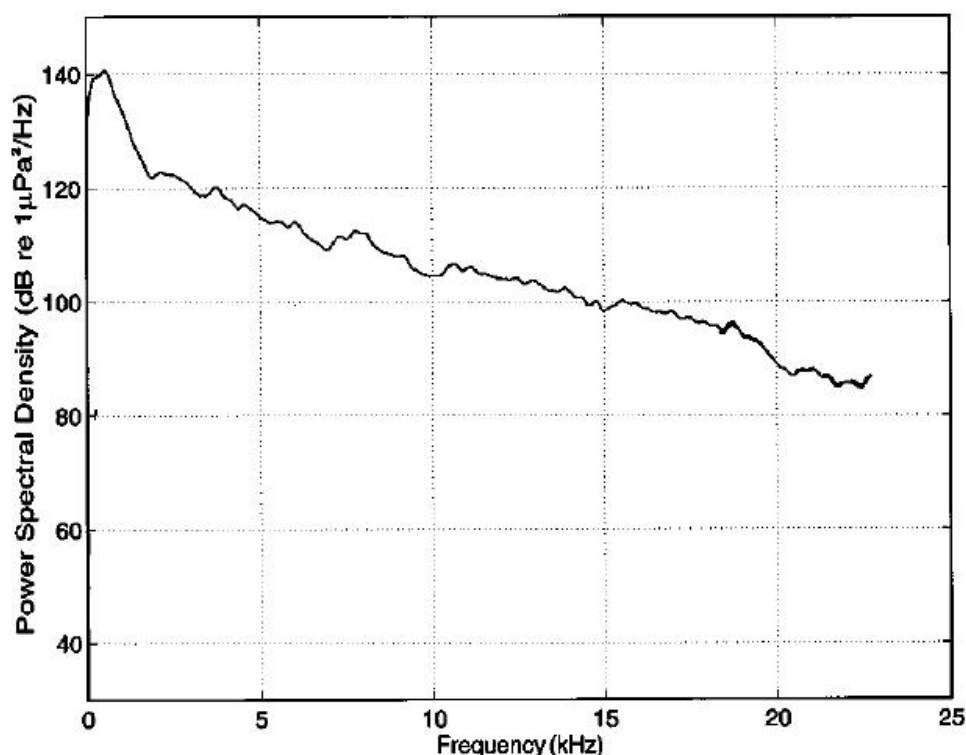
$$SEL(T) = 10 \log \left(\frac{E(T)}{p_{\text{ref}}^2 T_{\text{ref}}} \right)$$

waarin het referentie drukniveau altijd 1 μPa is en de referentieperiode 1 seconde is.

Spectrum

Geluiden die niet bestaan uit een pure toon kunnen worden gezien als een menging van meervoudige tonen met verschillende frequenties. Elke toon (frequentie) draagt bij aan het mengsel met zijn eigen sterkte. De combinatie van de verschillende frequenties en sterktes wordt het **spectrum** genoemd. Het geluid, geproduceerd door een airgun, is geen pure toon (vergelijk figures A en B) en moet dus via een spectrum beschreven worden (zoals in figuur C is weergegeven).

Een spectrum kan worden opgemeten en grafisch worden uitgezet tegen de frequentie en het geluid drukniveau. Airguns produceren een breedbandgeluid (TNO, 2010).



Figuur C. Spectrum van de airgun geluidsgolf van figuur B, aangepast uit Goold and Fish (1998).

Het spectrum geeft de 'structuur' van elk niet-elementair geluid op een locatie (bijvoorbeeld bij de bron of op een bepaald afstand daarvan) en rondom een tijdstip. Het verschil tussen geluiden staat in verband met het verschil tussen de spectra. Voor een airgun bestaat het spectrum grotendeels uit frequenties tussen de 5 en 300 Hz, maar frequenties tot 15 kHz kunnen geproduceerd worden.

Een andere maat van intensiteit van geluid dat ook de rms waarde van druk weergeeft is de oppervlakte onder de grafiek van het spectrum. Hetzelfde geluid kan worden gekarakteriseerd door een andere SPL_{rms} :

$$SPL_{rms} = 10 \log \left(\frac{p_{rms}}{10^{-12}} \right) \sim 140 \text{ dB}$$

dat in dit geval 40 dB lager is dan de SPL_{p-p} .

Tijdelijke variaties

Geluid kan tijdelijk variëren. Terwijl een geluidbron continu akoestische energie uitvoert, kan het mengsel van de frequenties en de sterktes variëren. Ons dagelijks leven bestaat, qua geluid, uit een variërend akoestisch milieu.

Geluiden hebben een begin en een eind of, zoals in het geval van *airguns*, worden geluiden herhaald. Er is dus een belangrijk verschil waarmee rekening gehouden dient te worden met betrekking tot frequenties: de ene als het kenmerk van het geluidsspectrum (de toonhoogte), de andere als het aantal keren waarin een herhaald geluid is geëmitteerd in een bepaald proefinterval.

Relaties tussen frequentie en sterkte

Frequenties en sterkte zijn in principe onafhankelijk van elkaar, omdat een geluid met een aantal bepaalde frequenties verschillende sterkte niveaus kan hebben. Bij een airgun, wat een mechanische bron is, zijn de frequenties en sterktes een gepland resultaat van het ontwerp en functioneren van de apparatuur (zie hoofdstuk 2).

De voortplanting van geluid staat in relatie tot de sterkte en de frequentie. Sommige frequenties hebben een korter voortplantingsbereik vanaf de bron dan andere.

De volgende tabel geeft een samenvatting van enkele fysische grootheden die akoestiek betreffen.

Voorwerp	Grootheid		Formule	Opmerking	SI eenheid
Geluid bij de bron	Energie	(1)		Geluidsbronnen veroorzaken de vibratie van milieudeeltjes. Geluidsbronnen voeren dus elke vorm van energie in het milieu.	joule (J)
	Vermogen	(2)	(1) / duur	Het geeft de hoeveelheid energie, geproduceerd door de geluidsbron, over de tijd, onafhankelijk van de duur van het geluid.	watt (W)
	Intensiteit	(3)	(2) / oppervlakte	Dit is de grootte van akoestisch vermogen rondom de geluidsbron. Onafhankelijk van het bronapparaat. De intensiteit neemt af naarmate de afstand tot de bron groter wordt.	W/m ²
Eigenschappen van het milieu (water)	Dichtheid	(4)		Dit is de hoeveelheid 'stof' binnen het volume eenheid in het milieu. Afhankelijk van de temperatuur, saliniteit en diepte.	kg/m ³
	Geluidsnelheid	(5)		Dit is de snelheid waarmee een geluidsgolf in het milieu beweegt. Afhankelijk van temperatuur, saliniteit en diepte. De snelheid is gelijk voor alle frequenties.	m/s
	Impedantie	(6)	(5) x (4)	De bereidheid van het milieu om het geluid voort te planten. Hoe dichter de stof, hoe sneller de voortplantingsnelheid, hoe groter de bereidheid. Onafhankelijk van frequenties en sterktes.	kg/m ² /s
Geluidsgolf in het milieu	Akoestisch druk	(7)	(7) ² = (3) x (6)	Dit is de geluidsterkte. Hoe groter de intensiteit van de bron en de impedantie van het milieu, des te sterker het geproduceerd geluid.	Pa

Colofon

SEISMISCH ONDERWATERGELUID OP HET NCP

OPDRACHTGEVER:

Rijkswaterstaat Dienst Noordzee
Zaaknummer 31048409

STATUS:

Definitief

AUTEURS:

Belinda Kater
Giordano Lipari
Roelant Snoek
Diederik van Hogendorp
Marjan Jaarsma
Fanny van Heemskerck Pillis
Sjoerd van der Zon

GECONTROLEERD DOOR:

Rob Steijn

VRIJGEGEVEN DOOR:

Belinda Kater

April 2011

ARCADIS NEDERLAND BV
Voorsterweg 28
Postbus 248
8300 AE Emmeloord
Tel +31 527 248 100
Fax +31 527 248 111
www.arcadis.nl
Handelsregister 9036504

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.