

Hvaler og støj i havet

AF BERTEL MØHL og LARS THIELE

For hvaler er lyd den væsentligste kilde til orientering og kommunikation. Støj i havet kan derfor være en trussel mod hvalernes muligheder for at overleve.

Efter den 2. verdenskrig har udviklingen af elektronik og hydrofoner gjort det af med forestillingen om »Havet: Den tavse verden«. Tværtimod ved vi nu, at havet er fyldt med lyde fra naturlige kilder som bølgebrus, regn, storm og is, og også, at krebsdyr, fisk og havpattedyr, både laver og kan høre en mangfoldighed af lyde. Vi er selv begyndt at bruge undervandslyd, som spiller en central rolle for fiskeriet gennem ekkoloddet og sonaren, samt for opsporing af, og kommunikation med ubåde. Det skyldes, at lydbølger er den form for energi, der med mindst tab kan forplante sig under vand. For hvalerne er det en gammel nyhed. Allerede ur-hvalerne, der levede for 45 mill. år siden, viser tydelige tilpasninger til udnyttelse af undervandslyd, og moderne hvaler er helt afhængige af lyd til orientering i forhold til omverdenen. De bruger sonar, og deres sociale adfærd (flokdannelse, parringsvalg m.m.) er baseret på lyd-kommunikation. Faktisk har øret hos hvalerne overtaget så godt som alle de andre fjernsansers funktion. Lugtesansen er ubrugelig under vand, og lugtenerven er degenereret. Med hensyn til synet er sigtbarheden under vand ofte så ringe, at den er mindre end en kropslængde, specielt for de større hvalers vedkommende. En enkelt art klarer sig endda helt uden linse i øjet, og dermed uden billeddannelse.

Hvalerne er altså akustisk orienterende dyr og er som alle andre akustiske systemer begrænset af støj. Igennem deres lange udviklingshistorie har de tilpasset deres akustiske aktiviteter til de vilkår, som det naturlige lyd-

miljø i havet nu en gang sætter. På det seneste er denne baggrundsstøj imidlertid mere og mere domineret af støj, som stammer fra skibstrafik og fiskeri. Hvilke konsekvenser kan dette tænkes at få for hvalerne? For at vurdere dette må vi først se lidt på hvalernes biologi.

Hvalernes niche

De to grupper af hvaler, barde- og tandhvaler, er kun svagt beslægtede, og deres oprindelse blandt landpattedyrene er uklar. Havet stiller nogle ret strenge krav til, hvordan en marin dyreart kan tillade sig at se ud, hvis den skal have en rimelig transportøkonomi. Også varmøkonomien stiller krav: Et tykt isolerende spæklag og termostatstyrede radiatorer i finnerne som gør det muligt for hvalerne at slippe af med den overskudsvarme, andre pattedyr kan svede væk. Langvarige dykninger stiller ligeledes store krav til blodkredsløbets anatomi, funktion og regulering. Med alle disse nødvendige specialiseringer er det måske ikke så sært, at hvalerne har fjernet sig så meget fra landdyrene, at de langt op i oplysnings-tiden regnedes for at være fisk.

Det vigtige er imidlertid, at hvalerne har bevaret nogle af pattedyrenes vigtigste fordele i konkurrencen om ressourcerne: Et højt, men variabelt stofskifte med stabil kropstemperatur, fleksibel, »intelligent« adfærd, diægivning, yngelpleje og social adfærd. Forudsætningen for intelligent adfærd er, at man ved, hvad der sker omkring een, dvs., at der findes effektive sanseorganer, plus naturligvis den fornødne hjernekapacitet til at analysere sanseindtryk-kene. Hvad hjernen angår, findes de absolut største hjerner blandt alle dyr hos hvalerne, men også set i forhold til kropsvægten, og med hensyn til graden af foldning af hjerne-

Bertel Møhl mag. scient.
Zoofysiologisk Inst. Århus Universitet

Lars Thiele civ.ing.
Ødegård og Danneskold-Samsøe K/S

barken, befinder hvalhjernen sig blandt de mest avancerede og i nærheden af de højere primater.

Hvaløret

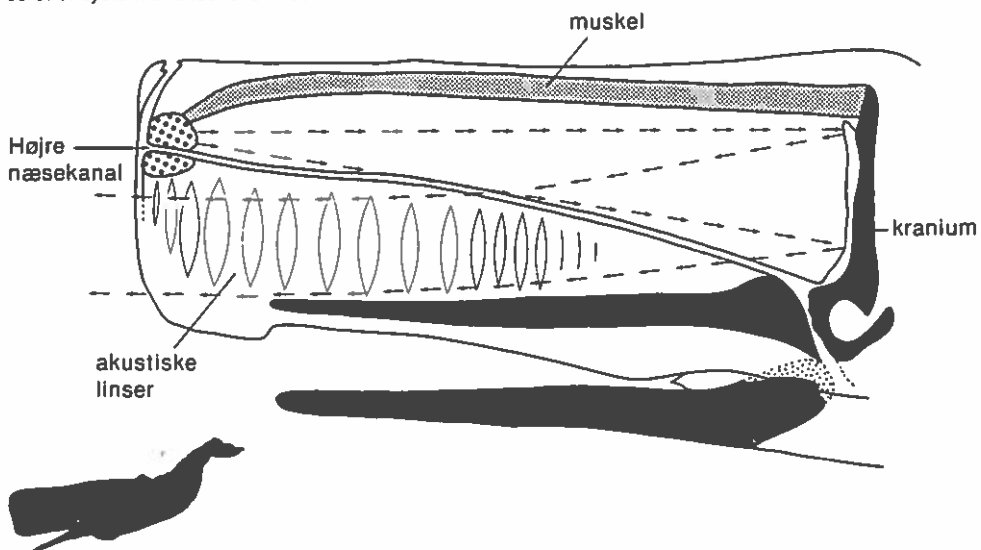
Hvalernes vigtigste fjernsans er som nævnt hørelsen. Hvaløret er en ejendommelig konstruktion. Da en organismes bløde væv (muskler, fedt- og bindevæv, indvolde) i akustisk henseende opfører sig omtrent som havvand, er dyr gennemtrængelige for undervandslyd, der passerer usvækket igennem. De ekkoer, man får på ekkolod fra fiskestimer, er først og fremmest refleksioner fra luftfyldte svømmeblærer. Hvalerne behøver altså intet ydre øre eller øregang; lyden passerer direkte ind gennem hud og spæk, først og fremmest til underkæbens bagerste flade stykke der opsamler lyden på samme måde, som vort ydre øre gør. Herfra ledes lydsvingningerne til mellemøret gennem en bro af fedtvæv, der ligesom mellemøret og det indre øre ligger isoleret i skumfyldte hulrum. Det indre øre er indlejret i en ualmindeligt massiv, lille knogle, der hænger løst under kraniet. Denne knogle fungerer som massen i en seismograf: Når lydsvingning-

erne via mellemøret når frem til det indre øre, sætter de væsken i gangene i det indre øre i bevægelse i forhold til den tunge knogle, som ikke kan bevæges af lydsvingningerne. Den isolerede ophængning sikrer også, at de to ører kan fungere uafhængigt af hinanden. Det er forudsætningen for retningshørelse, en evne som f.eks. svømmedykkere ikke har. Hvalørets følsomhed kender man kun hos nogle få tandhvaler. De hører bedst i ultralydsområdet mellem 30 og 100 kiloHertz (1 kHz = 1000 svingninger pr. sekund); den øvre høregrense ligger ved 150 kHz. Det er omtrent 10 gange over den højeste tone, mennesket kan høre. Hos bardehvalerne, som er for store, til at man kan lave forsøg med dem, kan man af det indre øres opbygning se, at de må kunne høre både meget lave toner, helt ned til 10 Hz såvel som ultralyd, dvs. toner over 20 kHz.

Lydproducerende organer

Også hvalernes lydproducerende organer er helt anderledes end landpattedyrenes. Hvalerne har ingen stemmebånd. Deres lyde laves på oversiden af kraniet med det, der svarer til

Fig. 1. Det lydproducerende organ hos kaskelot. Organets opbygning fortolkes således, at lyden dannes i højre næsebor, sendes bagud og reflekteres fra kraniets forvæg og udsendes fra hovedets forside efter at have passeret et system af akustiske linser.



næsen hos andre pattedyr (fig. 1). Igen er forholdene kun kendt hos tandhvalerne, og endnu kun ufuldstændigt. Det ser dog ud til, at hele det komplicerede system af muskler, luftsække og særligt akustisk fedtvæv, som findes på kraniets overside, er tandhvalernes lydgenerator. Her dannes både de skingre fløjt, såvel som de meget kraftige men korte lyd-pulser, der i lange salver bruges i hvalernes sonarsystem.

Sonar

Sonar er en radar anvendt under vand og baseret på lyd. Snævre lydstråler udsendes og kastes tilbage som ekkoer fra ting i omgivelserne. Ved at lytte til disse ekkoer kan afstand, placering og størrelse af ekkogiveren bestemmes. Hvalernes sonarsystem er overordentlig præcist og følsomt. Forsøg med trænedede delfiner har vist, at ting så små som tennisbolde kan opdages på en afstand af over 100 m, og metaltråde på 0.5 mm's tykkelse kan opdages så betids, at dyret kan svømme uden om. Derimod er tråde af nylon betydeligt sværere at se med hvalsonar, simpelthen fordi tråden er gennemsigtig for lyd. Dette forhold er formentlig årsagen til, at så mange marsvin går til i garn.

Hvad lytter hvalerne efter?

For det første er der deres egne mange lyde, som er bindeleddet mellem artsfællerne. Disse lyde eller sange kan være utroligt komplicerede som hos pukkelhvalerne, hvor alle hanner i et bestemt område i yngletiden synger den samme sang, der indeholder en mængde forskellige motiver i en bestemt rækkefølge. Hele sangen varer op til 30 minutter og gentages igen og igen med minutløs nøjagtighed. Men næste år synger de alle en lidt anderledes sang, og i løbet af de 15 år, man har fulgt dette forhold, har sangen ændret sig betydeligt. De andre hvalers sociale lyde er måske knapt så facinerende som pukkelhvalens, men alle kommunikerer de ved hjælp af lyd. I almindelighed er det sådan, at bardehvalerne bruger meget lave frekvenser under nogle få hundrede Hz, mens tandhvalerne snakker i det noget højere frekvensområde mellem 1 og 20 kHz. F.eks. udsender finhvalerne, der er en bardehval, regelmæssige pulser omkring 20

Hz når de fouragerer. Disse pulser er meget kraftige og kan høres vidt omkring, under visse forhold over tusinder af sømil. Deres funktion menes at være at fortælle andre finhvaler, at her er et godt sted at æde krill, en adfærd som klart vil fremme artens udnyttelse af ressourcerne.

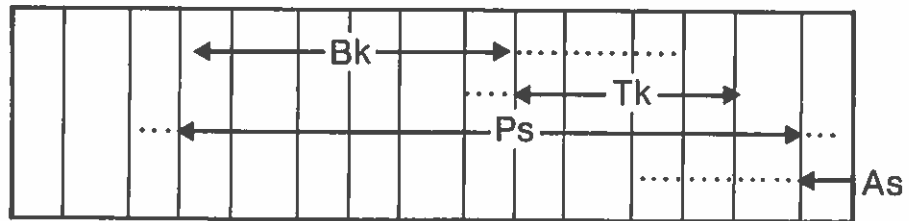
Den mere detaljerede betydning af tandhvalernes mange og varierende lyde er endnu ikke kendt, selvom man fra delfinarierne efterhånden har fået samlet en del oplysninger, men at det sociale samspil i flokkene foregår ved hjælp af disse lyde er utvivlsomt. Delfiner er i udpræget grad flokdyr, og mange arter jager i velorganiserede flokke, en adfærd der ikke er tænkelig uden den lydige kommunikation.

Passiv sonar

Mange andre marine organismer frembringer lyde. Er der tale om byttedyr, er betydningen for hvalerne indlysende, men også de »uspiselige« lydkilder er interessante, fordi de fortæller noget om omgivelserne. Det samme gør de ikke-biologiske, naturlige lydkilder som bølgeskulp, is der revner, strømhvirlur osv. Til sammen tegner alle disse lydkilder omgivelsernes akustiske signatur, som hvalerne kan orientere sig efter, på samme måde som blinde mennesker kan fornemme et rums størrelse og form, tilstedeværelsen af forhindringer, åbne døre osv. ved hjælp af rummets akustiske signatur. Denne måde at orientere sig på kaldes undertiden for passiv sonar, fordi den er baseret på opfangelse af lyd, som den orienterende ikke selv udsender. Denne orienteringsmåde må antages at spille en central rolle for hvalerne.

Baggrundsstøj og lydudbredelse i havet

For de fleste tekniske anvendelser af undervandslyd er det, som ovenfor er kaldt en vandmasses akustiske signatur, kun til gene; det er baggrundsstøj. Havets baggrundsstøj er kraftigst ved lave frekvenser (se fig. 2), og iøvrigt meget afhængig af havoverfladens tilstand. Støjen aftager jævnt mod højere frekvenser, hvad der hænger sammen med, at lyden udbrederes med større og større tab, jo højere frekvensen er. I isdækkede farvande er støjen normalt meget lav, hvilket tilskrives den rolige



Lydniveau

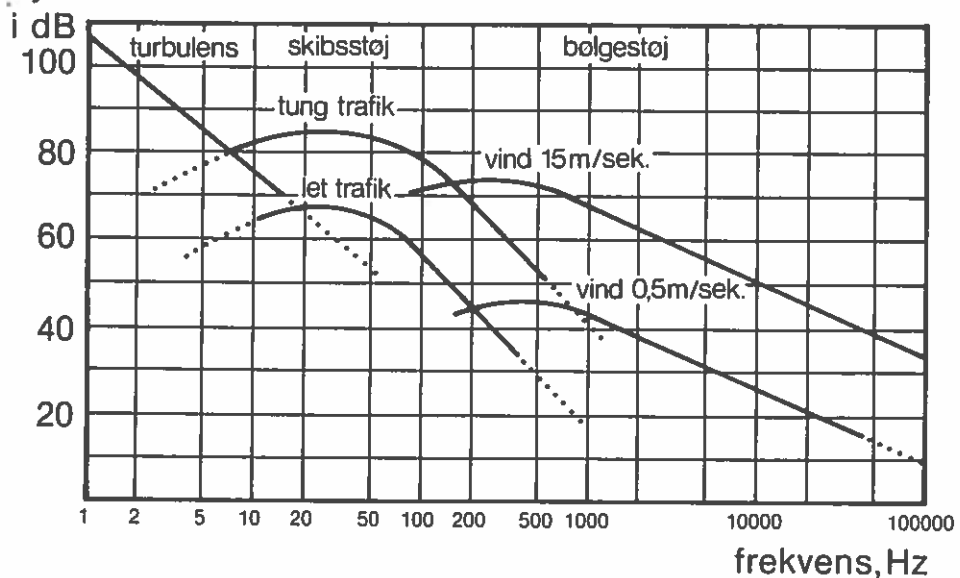


Fig. 2. Støjens gennemsnitlige styrke og frekvensfordeling for henholdsvis skibsstøj og naturlig støj i oceanerne (Måleenheden er dB relativt til $1 \mu\text{Pa} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$). Øverst på figuren er angivet frekvensområderne for hvalernes brug af lyd: Bk = Bardehvalers kommunikation. Tk = Tandhvalernes kommunikation. Ps = Passiv sonar. As = Aktiv sonar.

overflade, men i grænseområdet mellem åbent vand og is vil der ofte være et øget støjniveau.

Lydmiljøet i arktiske farvande

Lydforholdene i de arktiske farvande adskiller sig fra forholdene i de øvrige have dels ved en endnu meget ringe påvirkning fra menneskeskabte aktiviteter og dels ved specielle forhold med hensyn til lydudbredelse og naturligt forekommende støj.

Lydudbredelsen er stærkt påvirket af de kolde vandlag, der forekommer både sommer og vin-

ter i de øverste dele af vandmasserne. Dette betyder, at lydhastigheden vokser med dybden, hvilket indebærer, at lydbølgerne vil blive afbøjet og koncentrere sig i de øverste vandlag, som illustreret i fig. 3.

Dette fænomen indebærer, at lyden i disse lag kun spredes i ringe grad, og en støjkilde vil derfor kunne høres i betragtlige afstande, afhængigt af kildestyrke og baggrundsstøj. Andre faktorer, der påvirker lydudbredelsen, er f.eks. bundforhold, et evt. isdække, absorption af de højere frekvenser og en lang række andre faktorer. Den naturligt forekommende

støj i de arktiske farvande er stærkt domineret af tilstedeværelsen af is i området. Isen kan i sig selv give anledning til støj som f.eks. ved revnedannelser, flager der skrues op mod hinanden, isfjelde der går i stykker eller kæntrer og lignende. Men isen kan også medføre et meget stille lydmiljø, som det f.eks. kan findes under store isdækkede områder. Ved målinger ud for Kap York i foråret 1982 blev der således målt støjniveau'er, der lå væsentligt lavere, end hvad man tidligere havde regnet med for området.

Skibsstøj

Bortset fra nogle få arktiske og antarktiske farvande stammer den væsentligste baggrundsstøj i vore dage ikke længere fra naturlige lyd-kilder, men fra skibstrafikken. Igen er det navnlig ved lave frekvenser under 100 Hz, at støjen er kraftigst. Ved disse frekvenser absorberes lyden forsvindende lidt under udbredelsen, og støjen fra de mange skibe summeres op sådan, at det akustiske miljø overalt i oceanerne domineres af støjen fra skibene.

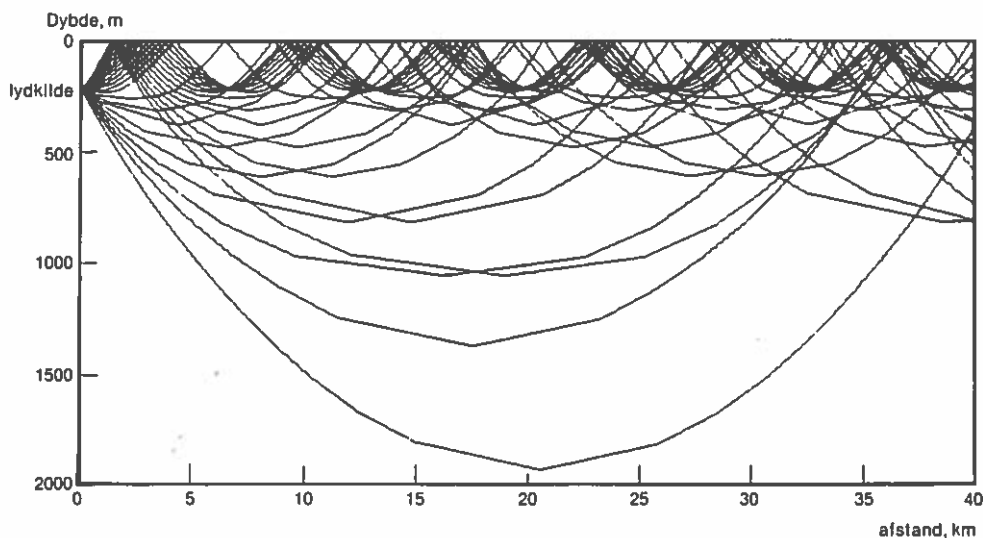
Den kraftige skibsstøj opstår på grund af de særlige forhold omkring de roterende skrueblade. Når undertrykket på skruebladets forside, sugesiden, under passagen af skibsskro-

get når en bestemt værdi, dannes der bobler (*kavitation*), som umiddelbart efter, når skruebladet er fri af skroget, kollapser/forsvinder med et knald. Jo større belastning af skruen, jo mere kavitation. Skruestøjens maksimum ligger på en frekvens, der står i omvendt forhold til skruens diameter, sådan at store skruer med diametre på 3 m og derover støjer kraftigt i området under 100 Hz, mens små skruer har støjmaksimum over denne frekvens. Udover skruestøj vil der også i mindre grad udsendes støj fra maskiner, og specielt for skibe i isfyldte farvande ved brydning af is.

Mulige konsekvenser

En vurdering af, hvad de ændrede akustiske forhold i havet kan betyde for hvalerne, må nødvendigvis blive meget usikker. Den interessante del af hvalernes liv foregår under havets overflade, næsten helt utilgængeligt for direkte observation. En flok hvaler i kontakt med hinanden via lyd kan være spredt over et område på hundreder af kvadratkilometer. Fra et skib kan man kun observere en brøkdal heraf, og det er derfor meget svært at danne sig et normal-billede af sådan en floks adfærd, for slet ikke at tale om afvigelser herfra. En anden vanskelighed består i, at selv for menne-

Fig. 3. Typisk lydudbredelse i arktiske farvande. Lydkilden befinder sig i ca. 200 m's dybde.



sket der ikke i samme grad som hvalerne er afhængige af hørelsen, er betydningen af støj for den almindelige trivsel langt fra fuldt forstået; dette kan ses af den hyppige revision af normer og støjgrænser.

Nogle forhold, som støjens indvirkning på forståeligheden af tale, er imidlertid vel belyst. Denne effekt kaldes maskering. De grundlæggende principper for maskering er blevet undersøgt for en mængde forskellige pattedyr, herunder også tandhvaler, og overalt har man fundet de samme lovmæssigheder: Støj vil maskere et signal, hvis den ligger i samme frekvensområde som signalet og iøvrigt er ligeså kraftig eller kraftigere end signalet. Det ses af fig. 2, at skibsstøjen ikke vil kunne få væsentlig betydning for tandhvalernes kommunikation og sonar, undtagen på korte afstande fra skibe, medens deres passive sonar og bardehvalernes kommunikation vil blive påvirket. Ud fra kendskab til den naturlige baggrundsstøj og skibsstøjens størrelse, samt lydudbredelsesforholdene kan man der-

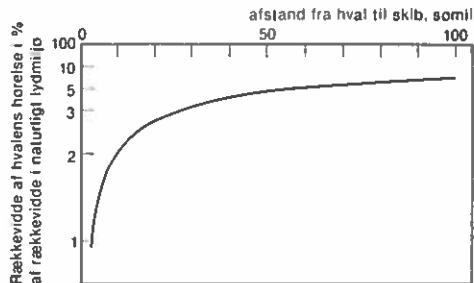
for danne sig et begrundet skøn over, hvor meget rækkevidden af hvalernes passive sonar og lavfrekvente kommunikationssignaler reduceres af støjen fra skibstrafik. Et sådant skøn er vist i fig. 4 for Baffin bugten ved Vestgrønland. For de arktiske farvande er denne støjproblematik blevet aktuel, dels fordi en del ret sjældne hvalarter lever der, dels fordi disse områder som hidtil på grund af isdækket har haft en minimal skibstrafik og baggrundsstøj, nu påtænkes besejlet hele året med en flåde af isbrydende tankskibe med maskinkraft på over 100.000 HK. Af figuren fremgår, at hvis et par hvaler i et område uden skibe har kunnet snakke sammen over f.eks. 2 km, skal de på 60 sømils afstand fra en isbrydende tanker være 100 m fra hinanden for at opnå samme forståelighed.

Førringede levevilkår

Selvom man kan regne sig frem til et rimeligt skøn over, hvor meget hvalernes akustiske rækkevidde formindskes af skibsstøj, er det

Gråhval ud for Californiens kyst (foto Søren Pedersen).





Figur 4. Reduktion i akustisk rækkevidde som følge af støj fra en isbrydende tanker. (Styrke: 170 dB relativt til $1 \mu\text{Pa} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$). I en afstand af 50 sømil fra skibet er rækkevidden af hvalernes hørelse reduceret til ca. 5% af den normale rækkevidde.

ikke muligt at sige noget kvantitativt om, hvad dette betyder for hvalbestandene. At det kvalitativt vil forringe deres livsbetingelser følger af et simpelt, evolutionært ræsonnement: Det forhold, at hvalerne har udviklet en højt specialiseret undervands-høresans, de specielle lydproducerende organer og et væld af akustiske signaler, skyldes at de af hvalernes forfædre som påbegyndte en udvikling i denne retning, fik bedre muligheder for overlevelse således, at de kunne frembringe mere afkom end deres fæller. De akustiske specialiseringer havde en væsentlig overlevelsesværdi. Omvendt må man slutte, at når fordelen ved de akustiske specialiseringer forringes på grund af støj, formindskes denne overlevel-

sesværdi. For en enkelt art som grønlands-hvalen, der trods 60 års fredning ikke har vist sikre tegn på fremgang, må enhver forringelse af bestandens levevilkår give anledning til bekymring for bestandens overlevelse, men argumentet gælder naturligvis også for alle de andre involverede arter.

Mere præcise skøn af den øgede skibsstøjs betydning for hvalerne og de øvrige havpattedyr kan næppe laves, før udforskningen af disse dyrs akustiske adfærd er kommet ud over det nuværende helt foreløbige stade, og det vil kræve både tid, talent og betydelige ressourcer.

Litteratur:

Murchison, A. E. (1980). Detection range and range resolution of echolocating bottlenose porpoise.

I: R. G. Busnel (ed.): *Animal Sonar Systems*, p43-70.

Payne, R. & D. Webb (1971). Orientation by means of long range acoustic signalling in baleen whales.

I: *Annals New York Academy of Sciences*, 188, p110-141.

Fletcher, F. and R. G. Busnel eds.: (1978): Effect of noise on wildlife. pp169-208.

Urlick, R. J. (1975). Principles of Underwater Sound. McGraw-Hill.