



# Ljudlandskapet under ytan – vad är det som låter och vilka lyssnar?

Mathias H. Andersson  
FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut  
[Mathias.Andersson@foi.se](mailto:Mathias.Andersson@foi.se)



**Avstånd till båt: 300 meter**

# Ljudlandskapet i vatten

- Ljudet färdas snabbt och långt under vattnet
- Stora variation av havsmiljön kring vår kust
- Djur använder ljud till navigation, kommunikation, hitta föda och upptäcka faror
- Mänskligt ljud kan påverka beteendet, öka stressnivån, skapa ohälsa och vara direkt dödligt.
- Ljudnivåerna går upp i våra hav!
- Buller är sådant ljud som är oönskat och kan **förorena** ett ljudlandskap

Mindre mänskligt buller är alltid bra!



Buller är klassat som en förorening av EU och FN



# Ljudkällor under vattnet

**Naturligt** - regn, åska, vind

**Biologisk** - fiskar, valar, kräftdjur

**Av människan genererat ljud** - fartyg, sonarer, ekolod, byggnationer, explosioner, seismiska ekolod



*Impulsivt ljud* – kortvarigt och högre ljudstyrka

*Kontinuerligt ljud* – långvarigt och oftast lägre ljudstyrka

Ljud förekommer både som **tryck** och som **vibration**

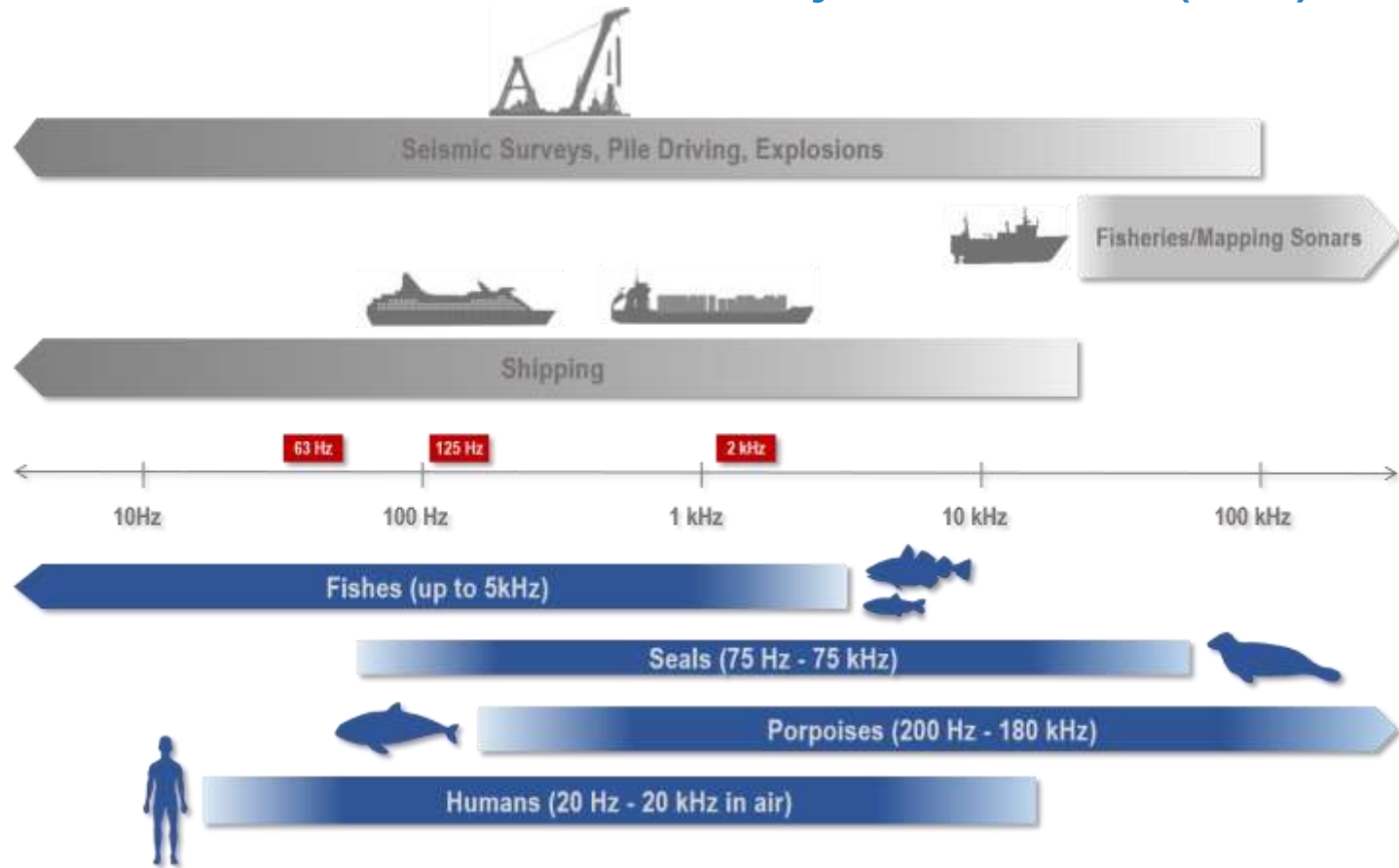
→ marina djur har olika organ att registrera dessa



Undervattensvärden är inte naturligt tyst!



# Frekvensintervall – tonhöjd i Hertz (Hz)

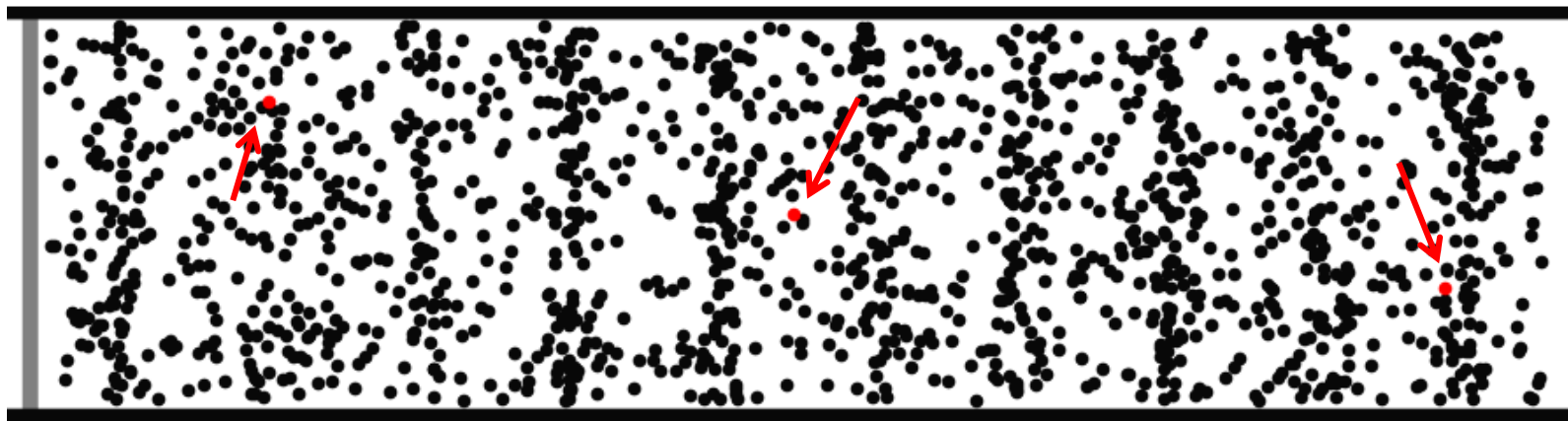


# Ljudtryck/rörelse

Ljud färdas 5 gånger snabbare i vatten än luft - 1500 m/s

Ljud består av två komponenter:

- Ljudtryck → referensenhet dB rel 1  $\mu\text{Pa}$
- Partikelrörelse (acceleration) → referensenhet dB rel 1  $\mu\text{m/s}^2$

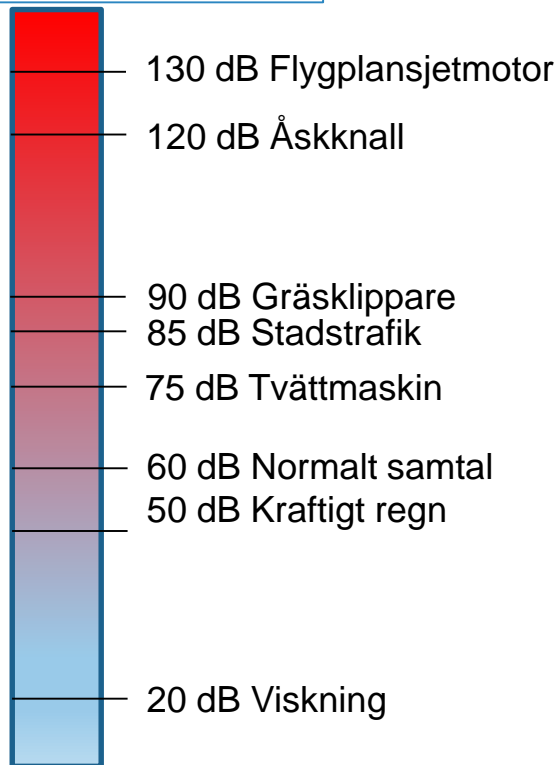


# Ljudnivå – decibel (dB)

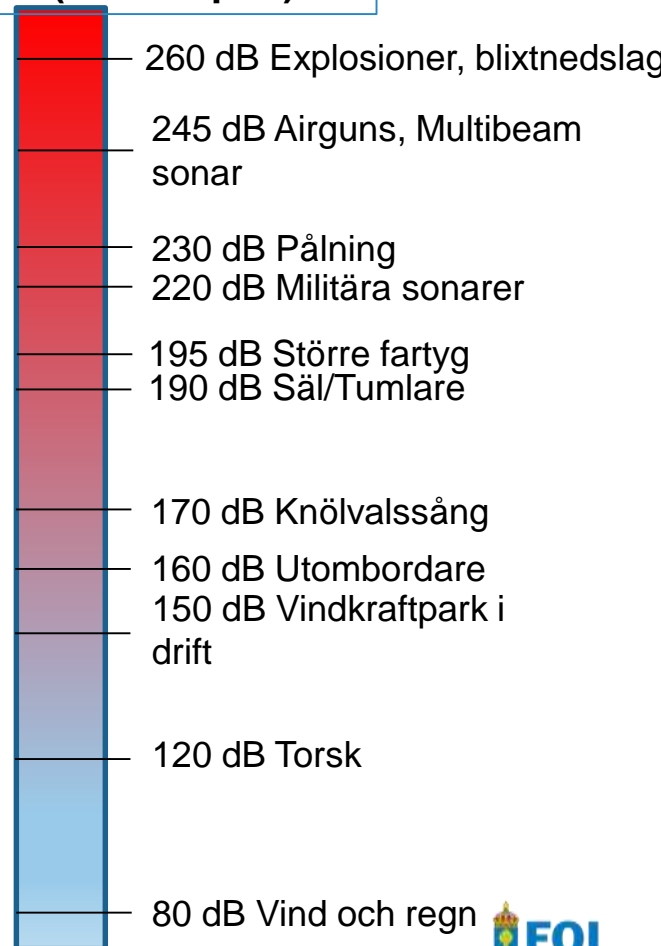
Luft och vatten har olika referensvärden

- Enhet för tryck är Pascal (Pa)
- Ljudnivåer i luft och vatten ska inte jämföras!

i luft (dB re 20  $\mu$ Pa)



I vatten (dB re 1  $\mu$ Pa)



Observera att värden till ovan inte är några exakta nivåer utan det finns en mycket stor variation för varje källa



# Ljudutbredning i vatten

Bottentopografi

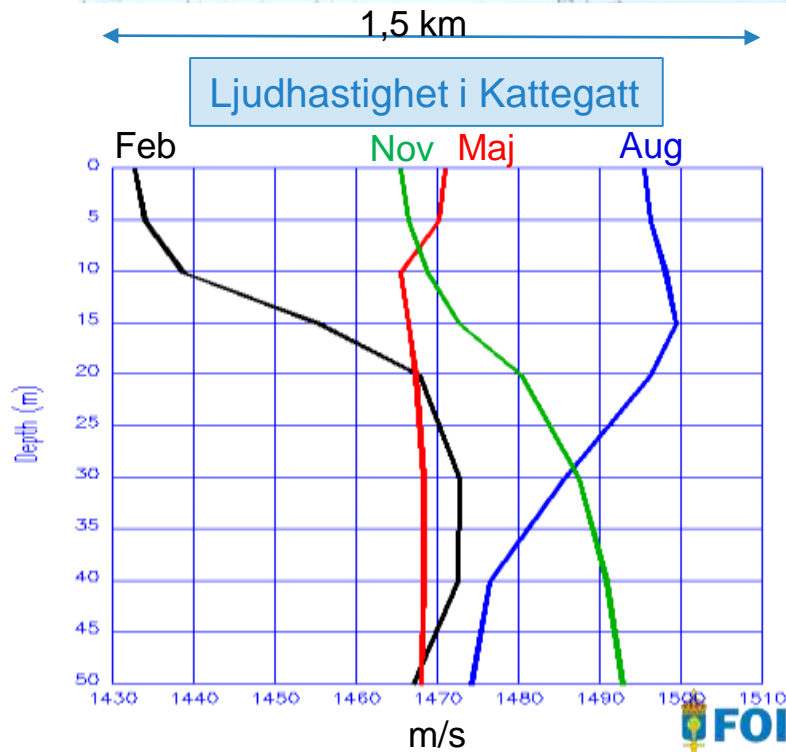
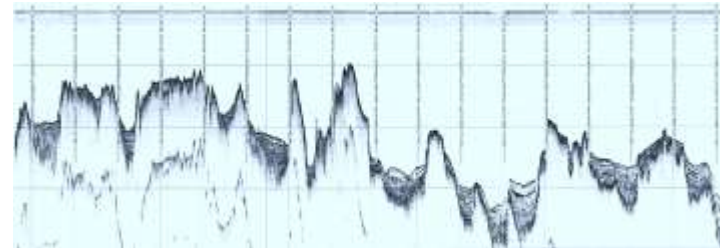
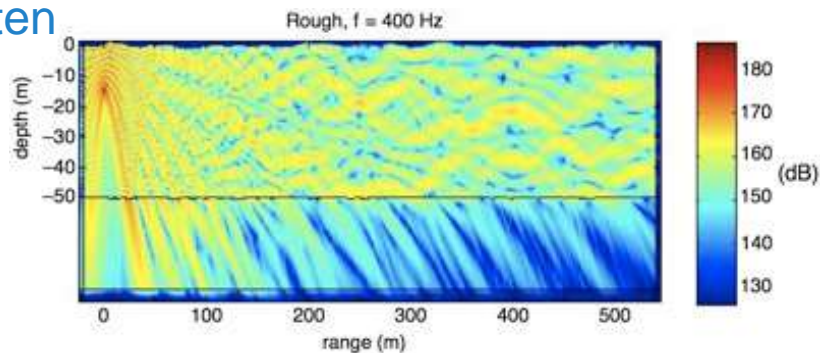
Bottenmaterial sand, lera, berg (inte bara ytskiktet)

Ljudkällans djup och riktning

Skiktning i vattnet, salthalt och temperatur

Frekvensberoende absorption

Skiljer sig mycket mellan grunda och djupa vatten



# Havsmiljödirektivet

Enligt Kommissionens beslut 2017/848 lyder D11:

*Tillförsel av energi, inbegripet undervattensbuller, ligger på nivåer som inte påverkar den marina miljön på ett negativt sätt:*

D11C1 impulsivt ljud (nationellt/ICES register)

D11C2 kontinuerligt ljud (övervakning/modeller)

-fångar inte alltid fritidsbåtar – men skall det göra det?

Nationell miljöövervakning finansierad av HaV

Regional samordning:

Helcom – samordning Östersjön

Ospar – samordning Nordsjön



**OSPAR**  
**COMMISSION**

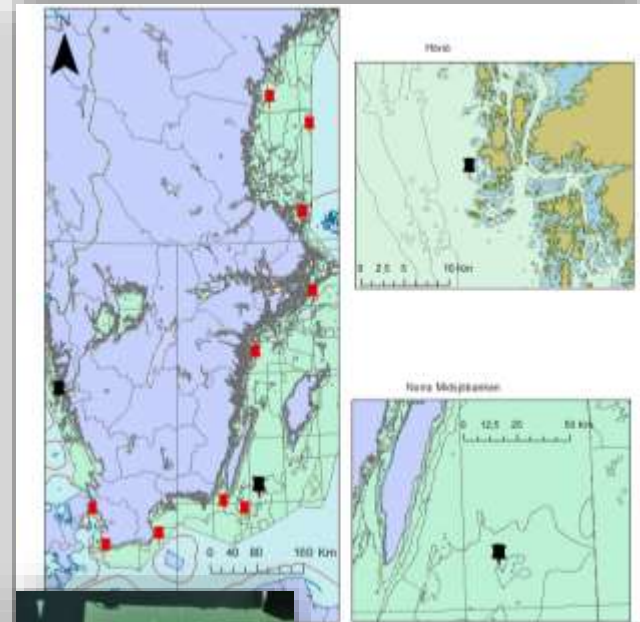
**Havs**  
**och Vatten**  
**myndigheten**



# Nationella miljöövervakning

- Övervaka bullernivåer i havet över tiden
- FOI ansvarig för två autonoma hydrofonstationer, servas var 6e månad
  - Östersjön (Norra Midsjöbanken)
  - Västerhavet – Hönö (strax väster om Göteborg)
- Finansieras av HaV och utförs i samarbete med SMHI

**Men vilka är ljudkällorna som bidrar till de uppmätta ljudnivåerna?  
- Viktigt för förvaltningen av havet!**



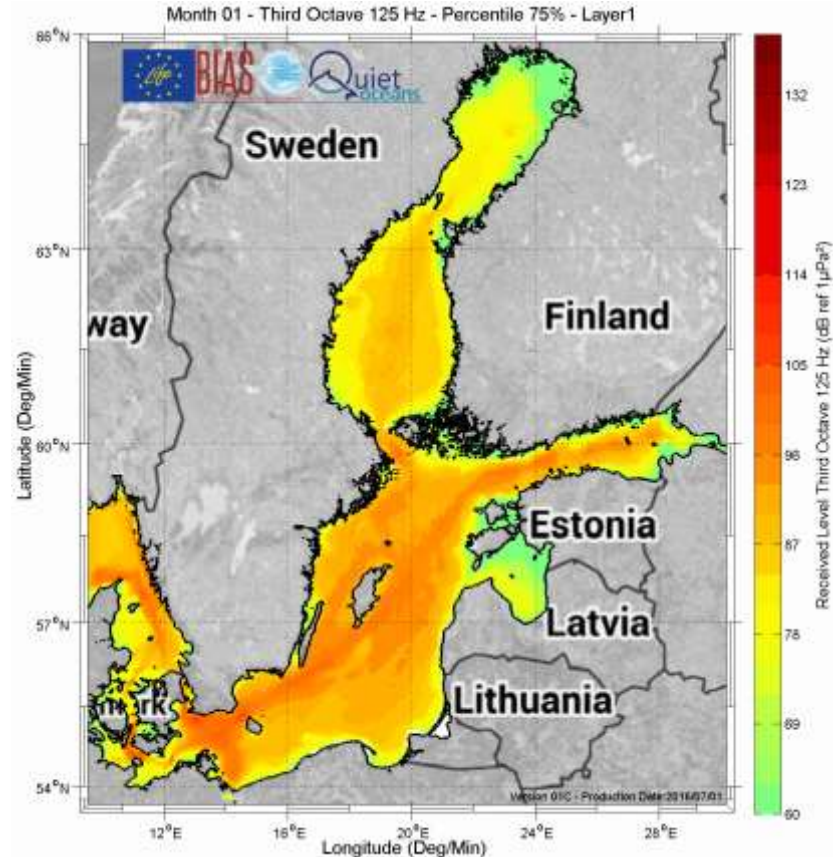
Havs  
och Vatten  
myndigheten



# Ljudmiljön i Östersjön

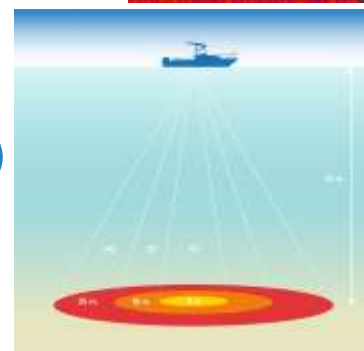
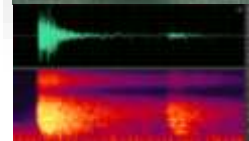
- EU LIFE projekt BIAS
- Standardiserade mätningar  
37 positioner under 2104
- Storskalig modellering av  
Östersjön
- Miljöparametrar, AIS, VMS
- Månadskartor för specifika  
frekvenser och djupintervall

125 Hz, 75 % av tiden



# Impulsiva ljudkällor

- Kunskapsläget är bäst för pålning, seismiska tryckluftskanonen och explosioner – mätningar/modeller
- Sonar/ekolod
  - Kommersiell kartläggning av havsbotten
  - Militära applikationer
  - Civila fritidsbåtar
  - Fiske
  - Pulstyper - smalbandiga pulser, frekvenssvep (chirp)
  - Frekvenser – ca 25 till 300 kHz
  - Vertikalt/horisontell sändning



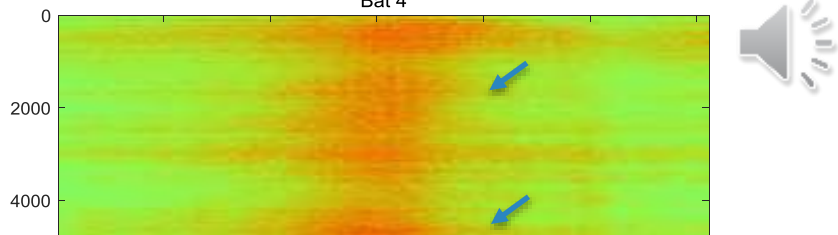
# Kontinuerliga ljudkällor

- Kunskapsläget är bäst för kommersiella fartyg – som källa (mätningar/modeller) och var de befinner sig (AIS/VMS)
- Havsbaserad vindkraft (mätningar/modeller)
- Fritidsbåtar – få mätningar, inga modeller, låg kunskap om var de befinner sig (AIS klass B?)
- Fritidsbåtsbuller skiljer sig åt från ovan ljudkällor på flera sett!

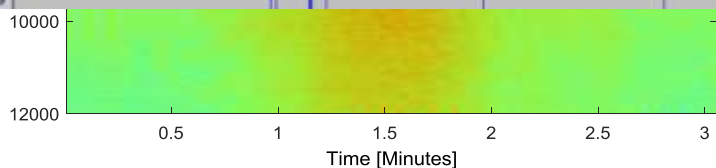
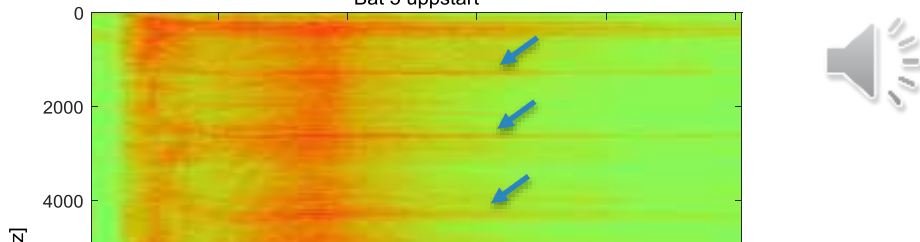


# Fritidsbåtar motorbuller

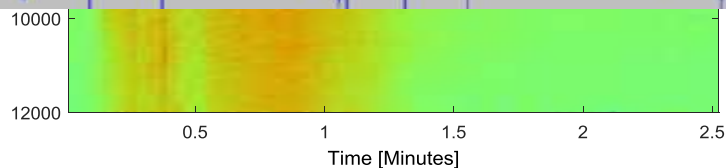
Båt 4



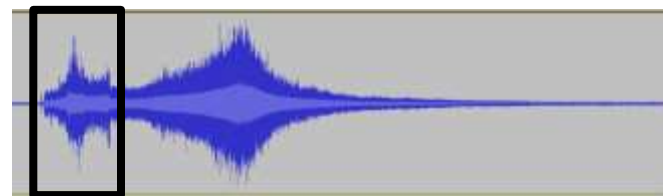
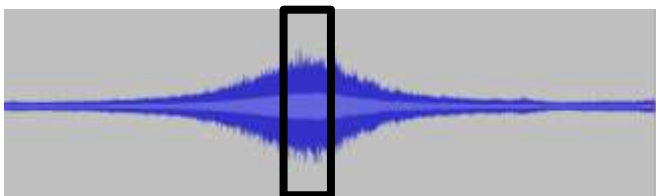
Båt 5 uppstart



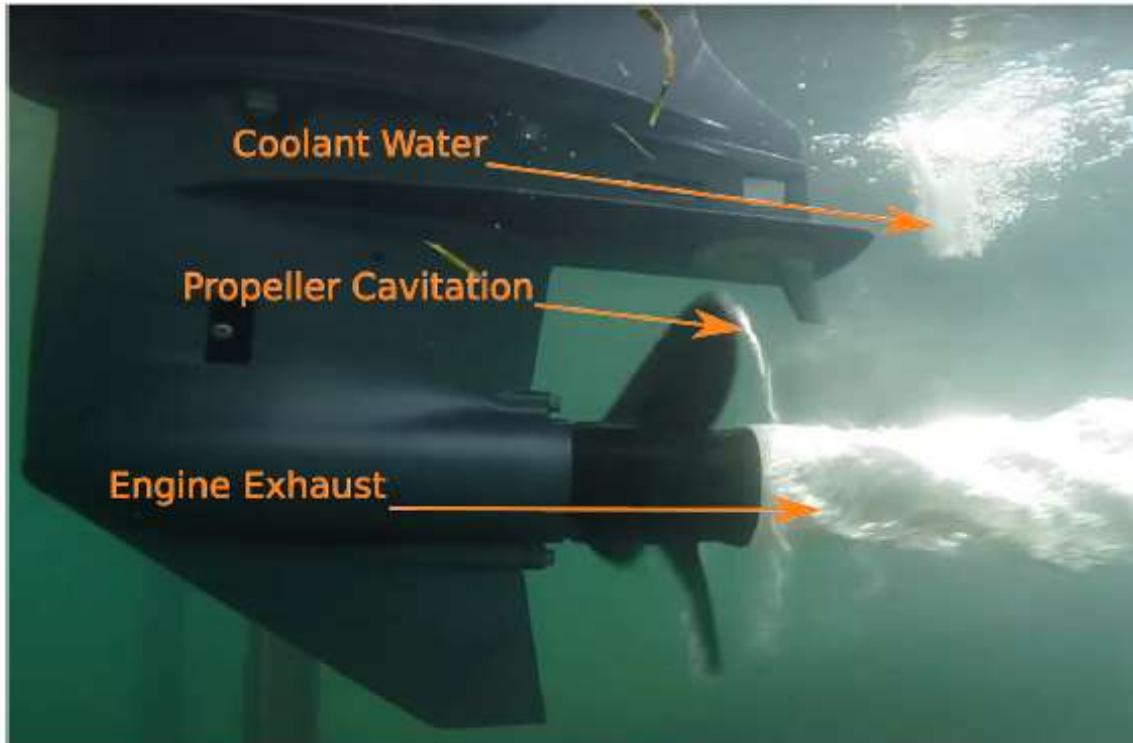
Time [Minutes]



Time [Minutes]



# Fritidsbåtar motorbuller

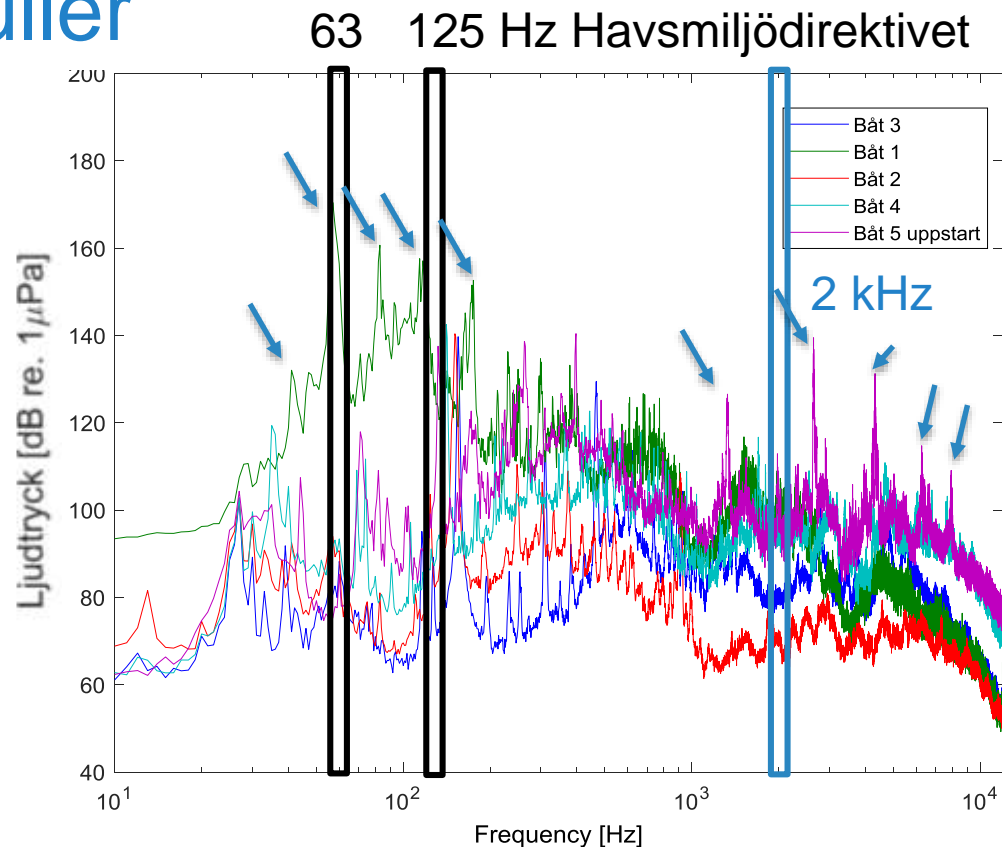


Pollera et al 2017 Modulation of high frequency noise by engine tones of small boats. J. Acoust. Soc. Am. 142 (1), July 2017



# Fritidsbåtar motorbuller

- Stor variation mellan ljudkällor men oftast lägre nivå än större fartyg
- Toner kommer från propellerns rotation, motorns tänd frekvens, avgasutsläpp
- Energi både vid:
  - - lägre < 1 kHz
  - - högre 1 – 10 kHz
- Kustnära och grunda områden – komplex ljudutbredning
- Båtar rör sig snabbt och oberäkneligt
- Säsongsberoende



# Modell för påverkan



## Källan

Ljudnivå  
Varaktighet  
Frekvens



## Miljön

Salthalt  
Temperatur  
Botten



## Mottagaren

Anatomi  
Kontext/personlighet  
Tidigare erfarenhet



# Effekter av buller

## Död

Helt nära en stark ljudkälla

## Fysiologisk skada

Övergående eller permanent hörselskada, hörselorganet blir överstimulerat, nervskador

## Beteendemässig påverkan

Avbrott i födosök, kortvarig flykt, lämnar området, separation, *fysiologisk stressreaktion*

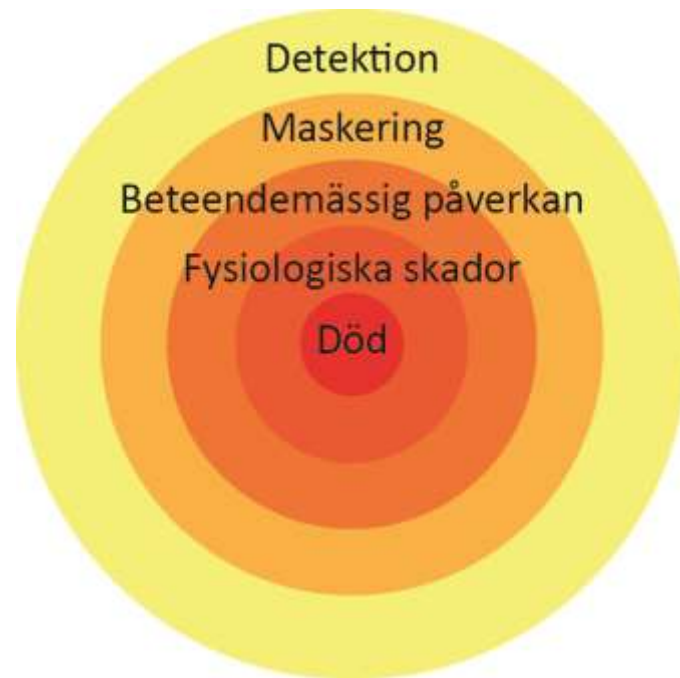
## Maskering

Buller "dränker" naturliga ljud, minskar kommunikationsavstånd

Marina djur har en begränsad förmåga att ändra frekvens eller ljudnivå

## Detektion

Hörbart – ej förenat med påverkan



*Känsligheten  
variera mellan arter  
och över året*

# Effekter av buller

## Död

Helt nära en stark ljudkälla

## Fysiologisk skada

Övergående eller permanent hörselskada, hörselorganet blir överstimulerat, nervskador

## Beteendemässig påverkan

Avbrott i födosök, kortvarig flykt, lämnar området, separation, *fysiologisk stressreaktion*

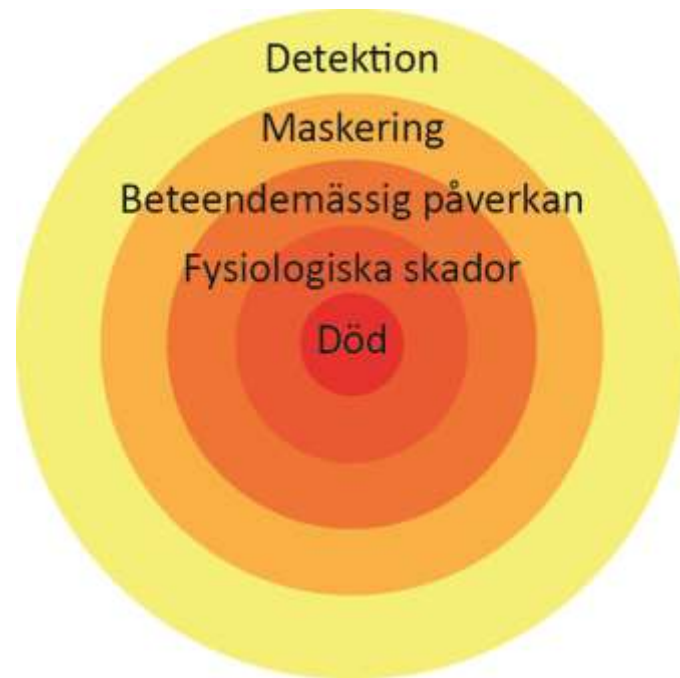
## Maskering

Buller ”dränker” naturliga ljud, minskar kommunikationsavstånd

Marina djur har en begränsad förmåga att ändra frekvens eller ljudnivå

## Detektion

Hörbart – ej förenat med påverkan



*Känsligheten  
variera mellan arter  
och över året*

# Effekter av buller

## Död

Helt nära en stark ljudkälla

## Fysiologisk skada

Övergående eller permanent hörselskada, hörselorganet blir överstimulerat, nervskador

## Beteendemässig påverkan

Avbrott i födosök, kortvarig flykt, lämnar området, separation, *fysiologisk stressreaktion*

## Maskering

Buller ”dränker” naturliga ljud, minskar kommunikationsavstånd

Marina djur har en begränsad förmåga att ändra frekvens eller ljudnivå

## Detektion

Hörbart – ej förenat med påverkan

## Underlag för reglering av undervattensljud vid pålning

MATHIAS H ANDERSSON, SANDRA ANDERSSON, JIMMY AHLSEN, BRODD LEIF ANDERSSON, JONATAN HAMMAR, LEIF KG PERSSON, JÖRGEN PIHL, PETER SIGRAY, ANDREAS WIKSTRÖM

RAPPORT 6723 • AUGUSTI 2016



# Vad behöver vi veta mera om

- Vad skiljer fritidsbåtar från kommersiella fartyg där det finns mest kunskap om buller idag: frekvensintervall – ljudnivå?
- Vad påverkar ljudnivån?
  - propellertyp, inställning, montering,
  - hastighet, körstil
  - inombordare, utombordare (2 eller 4 takt),vattenjet
  - bensinmotor vs elmotor.
- Vilka pulstyper används av ekoloden idag och i framtiden?
- Går det att anpassa sändningen för att minimera potentiell påverkan?
- Var finns båtarna? Hur kan vi uppskatta detta?
- Hur påverkar motorbuller och ekolod de marina djuren i våra vatten?

Vad kan man göra för att minska ljudet från fritidsbåtar?



Tack för er uppmärksamhet!

Hör gärna av er med frågor

Mathias Andersson, [mathias.andersson@foi.se](mailto:mathias.andersson@foi.se), [www.foi.se](http://www.foi.se)