



## FOI MEMO

Projekt/Project  
Hamn- och fritidsbåtsbuller

Sidnr/Page no  
1 (12)

Projektnummer/Project no Kund/Customer  
E64183 Transportstyrelsen  
FoT-område  
Undervattensteknik

Författare/Author  
Emilia Lalander, Mikael Svedendahl,  
Robin Larsson Nordström, Torbjörn Johansson,  
Mathias H. Andersson

Datum/Date Memo nummer/Number  
2021-06-24 FOI Memo 7578

### **Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattenssignaturer på kommersiella fartyg**

Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen

Titel/Title

Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

# 1 Introduktion

Ljud i havet kan bestå av både mänskligt genererat ljud och av naturligt förekommande ljud från vind, nederbörd, is och biologiskt liv. I hamnar och längs kuster är det vanligt med ljud från olika typer av fartyg och mindre båtar, men också från landaktiviteter genom ljudutbredning ner i vattnet. Undervattensbuller har fått stor uppmärksamhet de senaste åren (Duarte m.fl. 2021), och för att uppskatta potentiella miljöproblem kopplade till antropogena ljudkällor, behövs det utökad kunskap om dessa ljudkällor. Exempel på publikationer om mätningar nationellt är t.ex. mätningar i Göteborgs hamn (Petrović m.fl. 2008), och ljudmätningar inom det nationella miljöövervakningsprogrammet (Lalander och Andersson 2017).

Ljudnivån under vattnet är starkt beroende av den hydroakustiska miljön, eftersom vattendjup, botten- och vattnets skiktningar påverkar hur ljudet utbreder och dämpas (Andersson m.fl. 2017; Morén m.fl. 2019; Urick 1983). Även hydrofonens djup kommer spela roll för vilka ljudnivåer som uppmäts. Avstånd till ljudkällorna, huruvida de står still eller är rörliga, om de är naturliga eller antropogena, samt deras akustiska signaturers egenskaper (särskilt hur nivå varierar som funktion av frekvensen) kommer också att inverka. Därför kan ljudnivån skilja sig åt ganska mycket vid olika platser inom samma område och dessutom ändras över tiden.

För att få en bra uppskattning av de olika ljudkällornas inverkan på den totala ljudnivån i havet, måste en beskrivning av deras källegenskaper göras. Kommersiella fartyg är en vanlig och ofta dominerade ljudkälla i havet och det finns internationella standarder och klassnoteringar som beskriver hur man mäter deras akustiska signaturer, även kallat Underwater Radiated Noise (URN)(t.ex. ANSI, 2009; ISO, 2012; Bureau Veritas, 2018). Dock skiljer sig de olika standarderna och klassnoteringarnas metoder åt, och noggrannheterna i slutresultaten varierar beroende på de olika riktlinjernas kravställningar, t.ex. på uppskattningen av ljudets dämpning. Ett fartygs akustiska signatur kan bli del av ett framtida internationellt regelverk (IMO, 2010), och det finns därför ett behov hos både industri och myndigheter att på ett enkelt och kostnadseffektivt sätt få en grov uppskattning av akustiska signaturer genererade av kommersiella fartyg. En metod för akustisk signaturbestämning med förenklingar i bestämmandet av ljudutbredningen kommer innehålla osäkerheter, men kommer ge ett mer korrekt resultat än om ljudutbredningen inte beaktas alls.

Kommersiella fartygs akustiska signaturer används även idag för att bygga upp källmodeller, med ändamålet att skapa regionala ljudkartor (Macgillivray och de Jong, 2021). Dessa ljudkartor är viktiga verktyg i förvaltares arbete med att utvärdera miljöbelastningen på havet från undervattensbuller. För att förbättra dessa källmodeller måste ett stort antal akustiska signaturer mätas och beräknas. Hittills har dock få sådana försök gjorts, men se Wladichuk m.fl., (2019) där syftet var att kvantifiera källstyrkan från olika typer av fritidsbåtar.

Detta projekt har två mål:

1. Presentera en undersökning av bakgrundsljudet i Göteborgs hamninlopp (figur 1). Detta görs genom att spela in bakgrundsljudet vid tre olika platser, och göra en översiktlig statistik beskrivning över uppmätt ljud. Vidare analyseras fartygsrörelserna i området och deras påverkan på ljudnivån. Slutligen identifieras även andra förekommande ljudkällor.
2. Utveckla en förenklad metod för att med hjälp av redan inspelad akustisk data beräkna och bygga statistik på fartygssignaturer från kommersiella fartyg. Denna metod ska använda sig av Bureau Veritas mät- och analysrekommendationer, och nyttjar dessutom data på fartygsrörelser. Vidare automatiseras processen så att en större mängd signaturer kan beräknas och lagras i en databas. Detta förenklar vid utvecklingsarbete av källmodeller för ljudkartor, samt vid utformning av ett möjligt framtida regelverk. Det ger även fartygsägare och skeppare information om det egna utstrålade bullret.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

Projektet har finansierats av Transportstyrelsen som i sin tur har stöttats av Havs- och vattenmyndigheten anslag 11.1. Detta är en kortare sammanfattning av resultaten, mer detaljerad information och resultat finns i en engelsk teknisk rapport (Lalander m.fl. 2021).



Figur 1. Vänster: En av mätplatserna nära Göteborgs hamn, här med ett mudderverk i aktion. Höger: De andra två mätplatserna låg längre ut från Göteborgs hamn, här ett fartyg på väg in i mot Göteborg. Foto © FOI.

Titel/Title

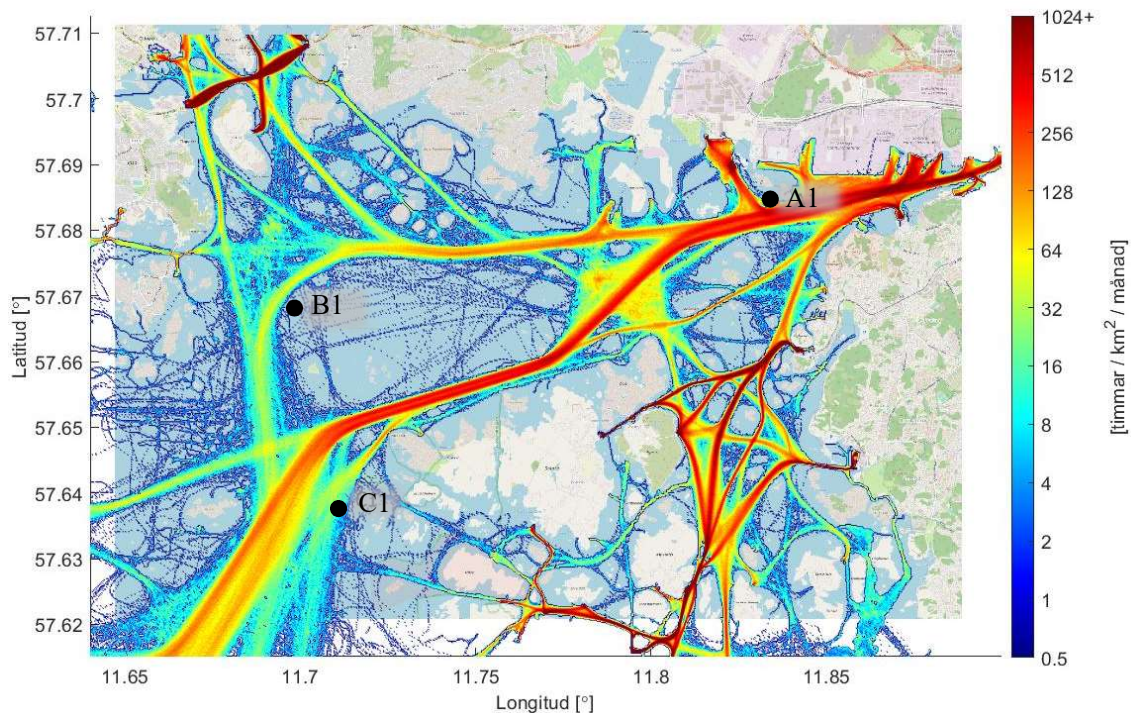
Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

## 2 Undersökning av ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp

### 2.1 Metod

För att undersöka undervattensbullret i Göteborgs hamninlopp, genomfördes mätningar under ca tre månader på tre positioner i och utanför Göteborgs hamn. Den första mätplatsen var i hamninloppet (A1, Älvsborgs fästning), den andra vid en farled med lägre antal passerande fartyg (B1, Danska Liljan) och den tredje vid en större farled (C1, Böttö). I figur 2 visas fartygsdensiteten omkring Göteborgs hamn och de tre mätpositionerna under mätperioden. Fartygens positionsdata baserades på deras automatiska indentifikationssystem (Automatic Identification System, AIS) som via en licens från Sjöfartsverket, sparades lokalt hos Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI). Förutom att möjliggöra illustrativa översiktsbilder över fartygsintensiteten likt den som ges i figur 2, används dessa positionsdata för att beräkna statistik även för avstånden mellan fartygen och hydrofonsystemen, samt för fartygens fart. Detta är viktig information vid analys av skillnader i uppmätta ljudnivåer mellan de tre punkterna.



Figur 2. Karta över Göteborgs hamninlopp med mätstationerna utmärkta samt fartygsdensitet (färgskalan).

Ljudmätningarna gjordes med tre identiska hydrofonsystem (Ocean Instruments, Soundtrap 300STD). Hydrofonsystemen satt på riggas som var bottenförankrade, och hydrofonen var på alla positioner ca 3 m över botten. Mätningarna pågick mellan 2020-09-17 till 2020-12-09. Data processerades i 1/3-oktavband mellan 10 Hz och 20 kHz enligt en regional standard (Crawford, Robinson and Wang, 2018; Wang, Ward and Robinson, 2020). Instrumenten har dock ett högpasfilter på 20 Hz vilket påverkar den inspelade nivån under 50 Hz. Därför presenteras endast resultat från 50 Hz och uppåt. För mer detaljer, se Lalander m.fl. (2021).

Titel/Title

Memo nummer/Number

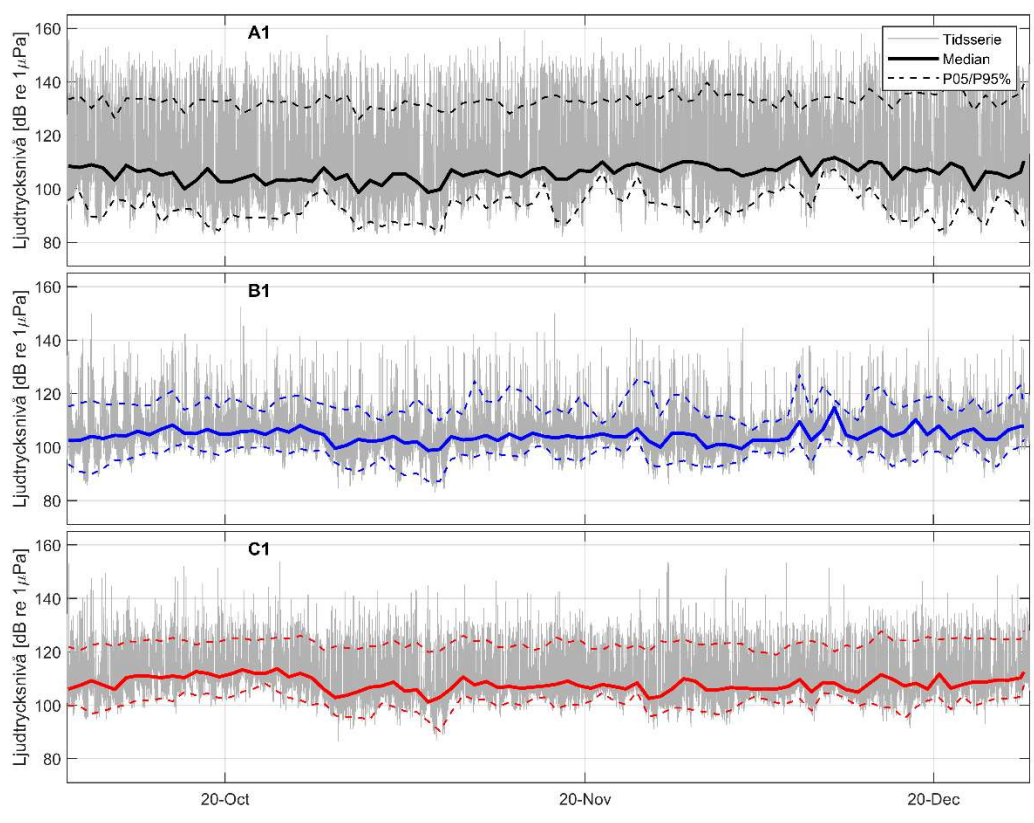
Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

## 2.2 Resultat

Det var stora skillnader mellan positionerna vad gäller bottenpografi, djup och medelavstånd till passerande fartyg, vilket påverkar de uppmätta ljudtrycksnivåerna. Genom att jämföra tidpunkten för de starka topparna i figur 3 med fartygens positioner, gick det att konstatera att dessa toppar sammanfaller med fartygspassager.

Utöver dessa nivåtopparns förekomst i tiden kan även en långsammare nivåvariation observeras, vilken framkommer tydligt genom att betrakta den undre percentilen (den streckade linjen med lägst nivå). Denna variation kan inte förklaras enbart av fartygstrafikförändringar, utan beror troligen även på väderförändringar. Ökad vindstyrka bidrar sannolikt till en ökning av ljudtryckets lägstanivå, men inte till någon betydande förändring av toppvärden. Förändringar i ljudhastighetsprofilen kan däremot ha stor betydelse för ljudtrycksnivån. Exempelvis kan några varma dagar ge upphov till en för ljudvågorna nedåtbrytande profil, som sedan snabbt kan försvinna när vattnet blandas runt vid en storm. Det kan påverka ljudtrycksnivåerna vid platser där ljudkällorna är långt från hydrofonen, t.ex. vid C1, men denna effekt har inte studerats här.

Slutligen visar analyser av andra ljudkällor som kan påverka ljudtrycksnivån, såsom muddringsaktiviteter som pågick under mätperioden, att dessa endast har en liten påverkan jämfört med fartygsaktiviteterna (Lalander m.fl. 2021).



Figur 3. Tidsserie för den uppmätta bredbandiga ljudtrycksnivån (50 Hz till 10 kHz) vid A1, B1 och C1 för mätperioden 2020-09-17 till 2020-12-09. De streckade linjerna visar ljudtrycksnivån 5% respektive 95% av tiden under ett dygn, och heldragna linjer visar medianen.

En intressant jämförelse mellan de uppmätta ljudnivåerna vid de tre olika mätplatserna, fås genom att betrakta statistik för frekvensbandet 500 Hz. Detta frekvensband valdes eftersom det vid lägre frekvenser finns risk för stark dämpning i bottensedimenten (Morén m.fl. 2019) och att ljudvågor inte

Titel/Title

Memo nummer/Number

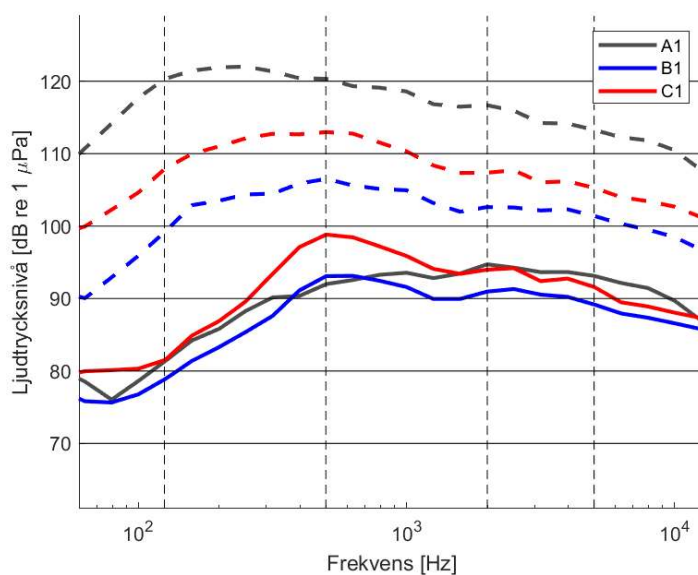
Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

kan utbreda sig, så kallad cut-off (Urlick, 1983). Vid högre frekvenser än 500 Hz minskar bidraget från fartygsbuller. I tabell 1 visas därför medianen och 95% percentilen för ljudtrycksnivån i frekvensbandet 500 Hz, för respektive position.

Tabell 1. Resultat från AIS-analys och ljudmätningar som visar statistik för fartygsdata och för ljudtrycksnivån i frekvensbandet 500 Hz.

Position	Vattendjup (m)	Avstånd till fartyg (m)		Fartygshastighet (kn)		Antal fartyg per timme	Ljudtryck (dB re 1 $\mu$ Pa)	
		Median	5%-percentil	Medel	SD		Median @500 Hz	95%-percentil @500 Hz
A1	11	287	84	8.6	5.5	5	92	120
B1	18	660	290	11	6.9	0.6	93	108
C1	20	863	139	14	5.4	2.5	99	114

Vid A1, där avståndet till fartygen är ca 290 m hälften av tiden och 5% av tiden närmare än 100 m, uppmättes de högsta topparna i ljudtrycksnivå. Mediannivån är å andra sidan snarlik mellan A1 och B1 i detta frekvensband, medan mediannivån för C1 är störst. Vid den större farleden (C1) kör fartygen något snabbare, och medianen av ljudtrycksnivån i frekvensbandet 100 Hz till 1 kHz blev störst vid denna position (figur 4), trots att avståndet hälften av tiden var störst där, och trots att 95%-percentilen var ca 8-10 dB större för A1 än för C1 för alla frekvensband. Lägst var ljudtrycksnivån vid den mindre farleden (B1).



Figur 4. Ljudtrycksnivån (1/3-oktavband) presenterat genom medianen (heldragna linjer) och 95%-percentilen (streckade linjer) för de tre positionerna. Svarta streckade vertikala linjer visar 125 Hz, 500 Hz, 2 kHz samt 5 kHz.

För att nå slutsatser på vilka lokala miljöfaktorer och andra potentiella ljudkällor som påverkar de uppmätta ljudnivåerna vid de tre platserna, behöver fördjupade analyser göras. Detta rymdes inte inom detta projekt, men är viktiga att göra för att få en större förståelse för variationen i ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

## 2.3 Slutsatser

De skillnader som finns i omgivande miljö och avstånd till fartygspassager mellan de tre positionerna, spelade stor roll för det uppmätta ljudtryckets nivå. Följande slutsatser kan dras från resultaten:

- Lokala akustiska miljöfaktorer som påverkar ljudutbredningen har stor påverkan på resultatet.
- Av de antropogena källorna så har fartygstrafiken störst inverkan på ljudmiljön både i och utanför hamninloppet, till och med vid platser där endast ett fåtal fartyg passerar.
- Inspelade mätdata utgör ett bra underlag för fördjupade studier av fartygstrafikens påverkan på ljudmiljön vid Göteborgs hamninlopp.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

## 3 Förenklad metod för uppskattning av fartygssignatur

Som nämndes i introduktionen, finns det flera standarder beskrivna för hur kommersiella fartygssignaturer ska uppskattas. Skattningens noggrannhet varierar mellan de olika standarderna, vilket till stor del är kopplat till uppskattning/beräkning av den hydroakustiska miljön samt hur många passager som behöver göras. Med hydroakustisk miljö menas effekter som påverkar ljudutbredningen, vilken har en väldigt stor betydelse för beräknad källnivå, och därmed för dess osäkerhet (Andersson m.fl. 2017). Det finns behov av olika nivåer av noggrannhet för fartygssignaturer, alltifrån hög noggrannhet för t.ex. marinens fartyg och forskningsfartyg, till lägre noggrannhet för kommersiella fartyg inom ett möjligt framtida regelverk för att minska undervattenbullret i havet. Dessa beräkningar kan ge information till redare och skeppare eller fungera som indata till källmodeller för ljudkartor. I det här kapitlet presenteras en förenklad metod för att beräkna fartygssignaturer.

### 3.1 Metod

Beräkningarna av fartygens akustiska signaturer grundar sig på inspelade ljudmätningar dels från Göteborgs hamninlopp och dels från södra Kattegatt från 2020, där akustiska data spelades in med liknande system som beskrevs i avsnitt 2.1. Fartygens rörelsemönster i de aktuella områdena samlades in via en licens från Sjöfartsverket där data sparas lokalt hos FOI.

Första delen av metoden består i att plocka ut de kommersiella fartygspassager, som anses lämpliga från data från södra Kattegatt för att användas i analysen, baserat huvudsakligen på fartygets avstånd från hydrofonpositionerna, dess hastighet samt minsta avstånd till andra fartyg i närheten som kan störa ljudmätningen. Den andra delen av metoden består i att beräkna fartygssignaturen, enligt en etablerad standard från Bureau Veritas (Bureau Veritas, 2018). Det innebär, i korta drag, att ljuddata för den kommersiella fartygspassagen som identifierades i första delen korrigeras för avståndet till hydrofonen via en enkel formel för ljudets utbredningsförlust, vilken ligger mellan sfärisk och cylindrisk spridning ( $TL = 17 \log_{10}(R)$ ). Detta görs för att få fram utsänd nivå på en meters avstånd från en tänkt punktkälla som representerar fartyget, dvs. fartygets akustiska signatur. Miljöparametrar såsom bottentyp och ljudhastighetsprofil har däremot inte beaktats vilket påverkar noggrannheten i den uppskattade akustiska signaturen. För mer detaljer, se Lalander m.fl. (2021).

För att kontrollera hur väl den förenklade metoden fungerar jämfört en mer detaljerad mätning, används data från en mätning av ett fartyg, kallat referensfartyget, som genomfördes 2014 enligt Bureau Veritas mätstandard. Referensfartyget passerade upprepade gånger mätpositionerna i Göteborgs hamninlopp under den aktuella mätperioden. Med hjälp av metoden ovan kunde signaturen beräknas och jämföras med fartygssignaturen som beräknades 2014. Fartygspassager med en hastighet av 11-13 kn var de enda som användes i jämförelsen då det var 11 kn som användes vid mätningen 2014. Vattendjup 2014 var 105 m, vilket är betydligt större än vattendjupen vid mätningarna i och omkring Göteborgs hamn (se tabell 1). Även andra, här ej kontrollerade miljöparametrar som t.ex. bottensediment och ljudhastighetsprofil påverkar ljudutbredningen, och därmed jämförelsen.

### 3.2 Resultat och diskussion

Totalt beräknades 300 akustiska signaturer från kommersiella fartygspassager i södra Kattegatt. Resultatet från varje akustisk signaturberäkning sparades i en XML-fil (Extensible Markup Language) med information om fartyget, passagen nära hydrofonen, en scenarioöversikt (en karta som visar hydrofonpositionen, fartygets rutt och annat närliggande fartyg, om sådana fanns) och akustiska signaturdiagram med både 1 Hz och 1/3-oktavbandupplösning. Tidigare genererade akustiska signaturer, om

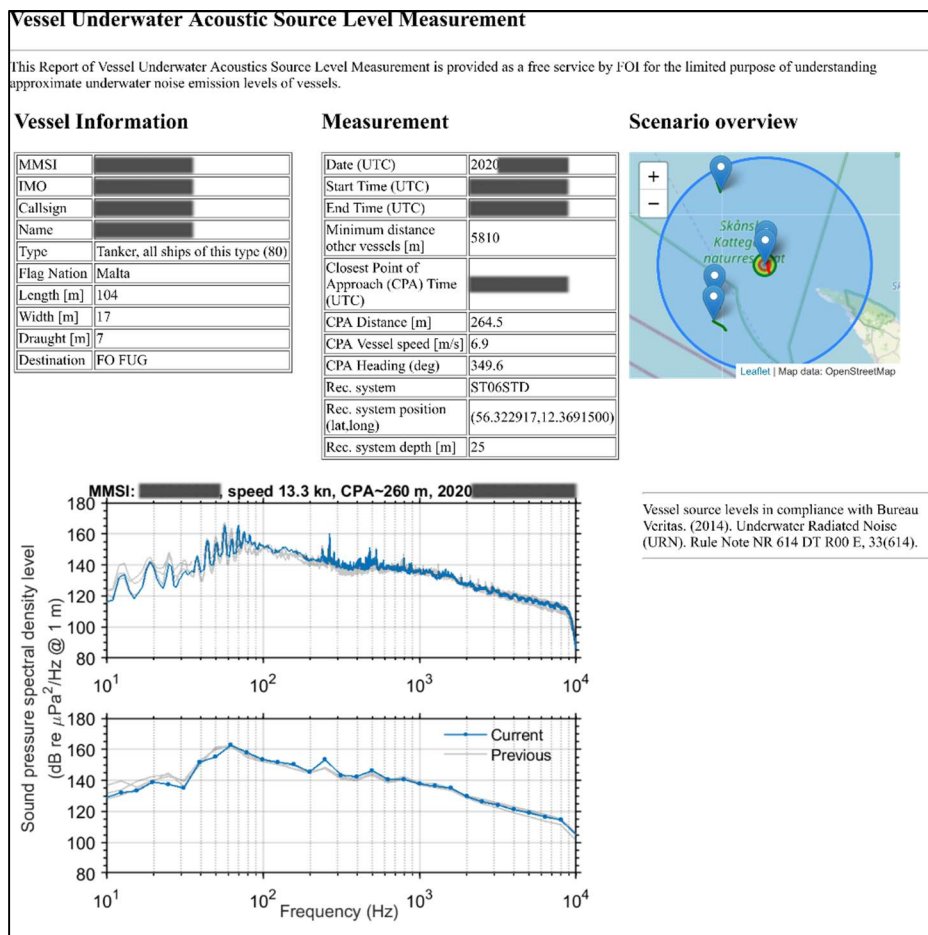


Titel/Title

Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens- FOI Memo 7578  
signaturer på kommersiella fartyg

tillgängliga, lades också till i bakgrunden av signaturdiagrammen för jämförelse. XML-formatet valdes eftersom det kan användas som inmatning till ett automatiskt rapportgeneratorskript. I figur 5 ges ett exempel på hur en sådan rapport kan se ut.



Figur 5. Förslag på hur en rapport kan se ut för den akustiska signaturen. Rapporten innehåller, förutom den uppmätta akustiska signaturen, tidigare mätningar (om några finns i databasen), tekniska detaljer för ett fartyg som passerat hydrofonen, dess position vid mättillfället, samt en kartöversikt av mättillfället. Den akustiska signaturen visas i 1 Hz-band (överst) samt 1/3-oktavband som spektral densitet (nederst). Vissa detaljer har tagits bort för att inte avslöja fartygets identitet.

Jämförelsen mellan referensfartygets mer noggranna mätning från 2014 och de gjorda i Göteborgs hamninlopp vid positionerna A1 och B1, visar relativt bra överensstämmelse vid frekvenser på 200 Hz och högre (figur 6a). Under denna frekvens beror skillnaderna förmodligen på att uppskattningen av ljudutbredningen inte är lika bra. Djupet och andra faktorer som sedimenttyp och ljudhastighetsprofil påverkar ljudutbredningsförlusten och bidrar till en ökad osäkerhet i den uppskattade källstyrkan (Andersson m. fl. 2017). Dessutom påverkas instrumenten som användes i mätningarna vid Göteborgs hamninlopp av ett högpasfilter, så känsligheten avtar under 50 Hz.

De beräknade källnivåerna vid C1 visar god överensstämmelse över 200 Hz för farten 10 kn, men relativt dålig överensstämmelse för 11,5 kn (figur 6b). Den sämre överensstämmelsen kan ha orsakats av större förändringar av ljudutbredningsförluster vid tidpunkten för 11,5 kn-passagen eller att fartyget hade andra driftinställningar.

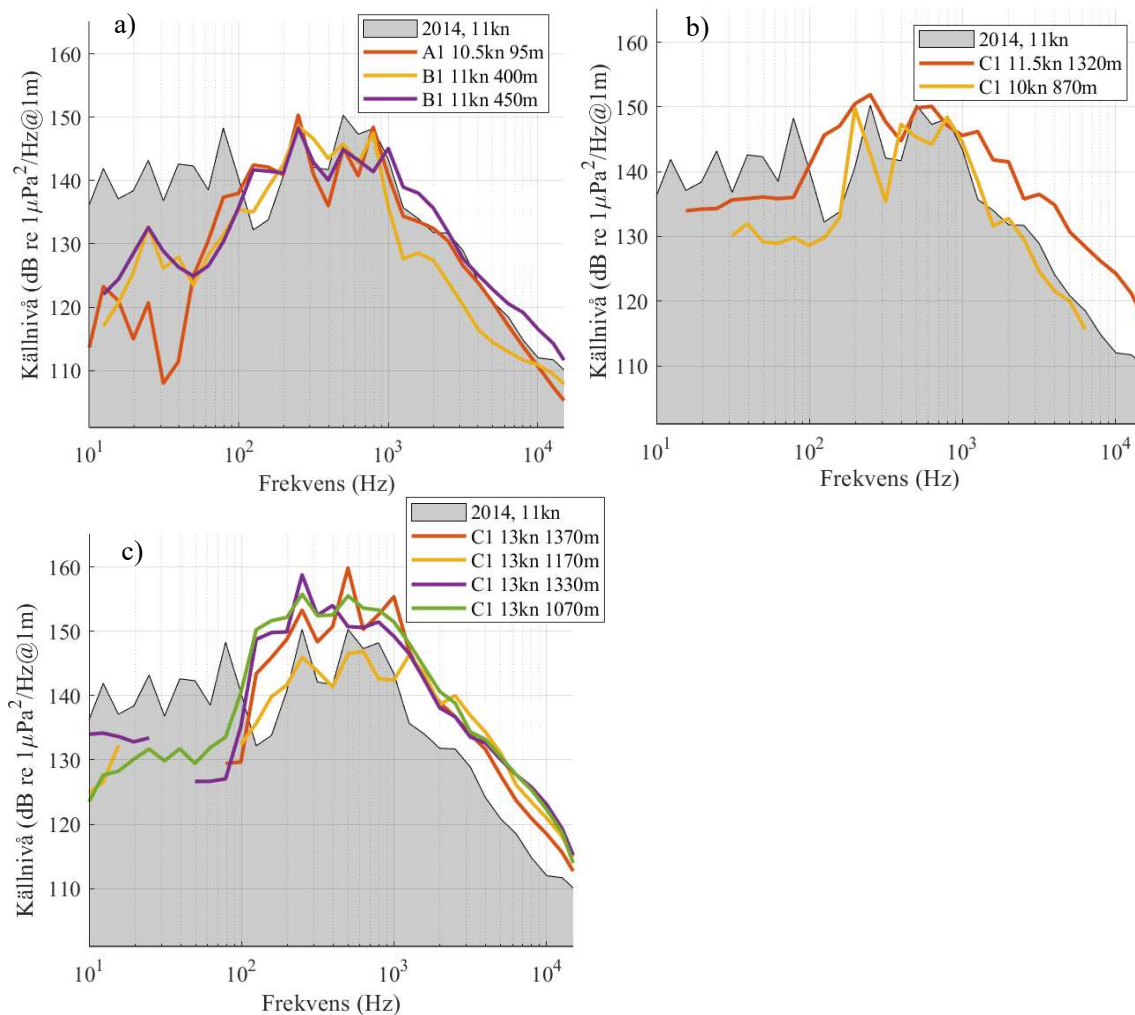
Titel/Title

Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

För passager vid C1 där farten var 13 kn blev jämförelser med den akustiska signaturen från 2014 inte lika bra, utan ligger ca 5-10 dB över, men pekar ändå på intressanta resultat. Tre av de fyra passagerarna är betydligt mer snarlika än den fjärde (figur 6c). Dessa resultat indikerar att god repeterbarhet är möjlig, förutsatt att ljudutbredningsförlusten inte förändras markant. Liknande resultat kan ses i en studie från södra Östersjön, där passagerare/Ro-ro-fartygs signaturer uppmätts med liknande hydrofonsystem. Där varierade den akustiska signaturen (skillnaden mellan 99% och 1% percentil) med uppemot 15 dB över ca 20 passager, trots att ljudutbredningsförlusten beräknades med hög noggrannhet (Karasalo m.fl. 2017). Mot den bakgrunden är det inte troligt att den metod som presenteras här, vilken är betydligt enklare, kan generera resultat med mindre variation än så. Att skillnaderna i resultaten ändå blir mindre över ett brett frekvensband kan bero på flera saker, t.ex. att referensfartyget är ett arbetsfartyg med små variationer i faktorer som t.ex. fartygets djupgående. En annan sannolik orsak är att variationen i avstånd och fart är betydligt mindre i denna studie än i Karasalo m.fl. (2017).

Slutligen kan det observeras att källnivåerna beräknade för passager vid 13 kn är högre än de som motsvarar 11 kn, vilket är rimligt eftersom det tar mer kraft att driva fartyget vid 13 kn än vid 11 kn. Den mest sannolika källan är kavitation, dock inte nödvändigtvis vid alla frekvenser.



Figur 6. Referensfartygets beräknade akustiska signaturer från a) passager vid A1 och B1 med hastigheten 10-11 kn, b) passager vid C1 med hastigheten 10-11,5 kn och c) passager vid C1 med hastigheten 13 kn jämfört med akustisk signatur från referensfartyget från 2014 beräknad med en hastighet av 11 kn.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

De akustiska signaturer av fartyg som genererades med hjälp av den framtagna metoden kan användas för att studera olika fartygsklassers utstrålade buller i allmänhet. Vidare kan metoden ge information till rederier och skeppare om fartygens utstrålade buller, vilket i framtiden kan ha stor betydelse om bullernivåer för enskilda fartyg regleras. Noggrannheten i de beräknade källnivåerna kan förbättras genom beräkningar och modellering av ljudutbredningsförluster, vilket är ett naturligt nästa steg att ta.

### 3.3 Slutsatser

Ett förslag på en förenklad metod för att uppskatta den akustiska signaturen på kommersiella fartyg har tagits fram. Cirka trehundra akustiska signaturer från fartygspassager i södra Kattegatt beräknades med denna metod, varav några validerades med ett referensfartyg.

- Den automatiserade processen med att filtrera bort fartygspassager där andra fartyg kunde störa ljudmätningen, visade på ett effektivt sätt att få fram relevant ljuddata.
- Validering mot ett referensfartyg visar på att metoden fungerade relativt väl för frekvenser över ca 200 Hz, vid 11 knop och 20 m vattendjup. Dock begränsas överensstämmelsen mellan mätningar av att miljöparametrar såsom ljudhastighetsprofil och bottenbeskaffenhet inte tas i beaktning. Metoden behöver nu valideras mot flera fartyg innan den kan anses fungera väl.
- Den lokala hydroakustiska miljön spelar stor roll för den uppskattade signaturen, och kunskap om ett fartygs driftsinställningar och andra faktorer som påverkar utstrålat buller kan bidra till ökad förståelse för variation i uppmätta signaturer.
- Den framtagna metoden har visat på en möjlighet att på ett kostnadseffektivt och automatiserat sätt mäta och beräkna kommersiella fartygs akustiska signaturer, men det skall noteras att noggrannheten inte är lika hög som vid en mer sofistikerad mätning. En sådan skulle t.ex. kunna utföras vid en för ändamålet avsedd mätstation, där ljudutbredningsförhållandena och fartygets driftsförhållanden är kända.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Ljudmiljön i Göteborgs hamninlopp och studier av akustiska undervattens-  
signaturer på kommersiella fartyg FOI Memo 7578

## 4 Referenser

Andersson, B. L. *m. fl.* (2017) *Akustiska metoder för stöd vid mätning och analys av fartygssignaturer*, FOI Memo 5999.

ANSI (2009) *Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships – Part I :General Requirements*, ANSI/ASA S12.64.

Bureau Veritas (2018) *Underwater Radiated Noise (URN), Rule Note NR 614 DT R02 E*.

Crawford, N., Robinson, S. and Wang, L. (2018) *Standard procedure for equipment performance, calibration and deployment, Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS)*.

Duarte, C. M. *m. fl.* (2021) 'The soundscape of the Anthropocene ocean', *Science*, 371(6529).

IMO (2010) *Noise from commercial shipping and its adverse impact on marine life, MEPC 61st session*.

ISO (2012) 'ISO/DIS 16554 - Ships and marine technology - Marine environment protection - Measurement and reporting of underwater sound radiated from merchant ships. DRAFT International Standard', p. 22.

Karasalo, I. *m. fl.* (2017) 'Estimates of source spectra of ships from long term recordings in the Baltic sea', *Frontiers in Marine Science*, 4(JUN), pp. 1–13.

Lalander, E. *m. fl.* (2021) *The soundscape in the port of Gothenburg and estimations of ship underwater signatures*. FOI-R--5156--SE.

Lalander, E. and Andersson, M. H. (2017) *Övervakning av buller enligt havsmiljödirektivets deskriptor 11, slutrapport KABAM 2017, FOI Memo 6310*.

Morén, P. *m. fl.* (2019) *Plattformsbundna uv- sensorsystem 2016 – 2018, slutrapport, FOI-R-4697 SE*.

Petrović, S. *m. fl.* (2008) 'Analysis of underwater acoustic and electric noise in the port of Gothenburg', *Oceans 2008*.

Urlick, R. J. (1983) *Principles of Underwater Sound: third edition*. New York: McGraw-Hill.

Wang, A. L., Ward, J. and Robinson, S. (2020) 'Jompans Standard for Data Processing of Measured Data (Draft)', (February 2019).

Wladichuk, J. L. *m. fl.* (2019) 'Systematic source level measurements of whale watching vessels and other small boats', *The Journal of Ocean Technology*, 14(3), pp. 108–126.